

Manuel d'irrigation

Planification, développement, suivi et évaluation de
l'agriculture irriguée avec la participation des paysans

Module I

Le développement d'un projet d'irrigation, un processus aux multiples facettes

Aspects sociaux, économiques, techniques, agronomiques,
sanitaires et environnementaux à prendre en considération
dans une étude de faisabilité

Élaboré par

Andreas P. SAVVA

et

Karen FRENKEN

Spécialistes des ressources en eau

Bureau sous-régional de la FAO pour l'Afrique orientale et australe

En collaboration avec

Simon MADYIWA, Ingénieur-consultant (irrigation)

Kennedy MUDIMA, Spécialiste du programme national d'irrigation, Zimbabwe

Tove LILJA, Cadre associé, FAO-SAFR

Harare, 2001

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Bureau sous-régional pour l'Afrique orientale et australe (SAFR)

Harare, 2002



Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

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

Tous droits réservés. Les informations ci-après peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur.

© FAO SAFR 2001

Mise en page et préparation pour l'impression: Fontline International, Les Pailles, Maurice
Langue originale: anglais. Traduction en français par: Luc Pierre Raemdonck

Table des matières

Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Avant-propos	vii
Remerciements	ix
Tableau de conversion des unités	x
Liste des symboles et abréviations	xi
1. INTRODUCTION	1
1.1. L'approche «bassin fluvial» ou «bassin versant»	1
1.2. Conservation du sol et de l'eau	1
1.3. Développement d'un projet d'irrigation de surface, par aspersion et localisée	2
2. PARTICIPATION DES AGRICULTEURS AU DÉVELOPPEMENT D'UN PROJET D'IRRIGATION	5
2.1. Principes de la participation	5
2.2. Identification des parties prenantes	7
2.3. Définition des rôles des parties prenantes	7
2.4. Participation des agriculteurs à la planification et à l'aménagement des périmètres irrigués	7
2.4.1. Participation des agriculteurs à l'identification des ressources	8
2.4.2. Participation des agriculteurs à la planification et à la conception d'un projet d'irrigation	8
2.4.3. Participation des agriculteurs à la mise en œuvre d'un projet d'irrigation	9
2.4.4. Responsabilités relatives à l'exploitation et à l'entretien des périmètres irrigués	10
2.5. Suivi et évaluation d'aménagements exploités par plusieurs petits agriculteurs	10
3. CRITÈRES DE CHOIX D'UN SYSTÈME D'IRRIGATION	13
3.1. Types de systèmes d'irrigation	13
3.1.1. Systèmes d'irrigation de surface	13
3.1.2. Systèmes d'irrigation par aspersion	16
3.1.3. Systèmes d'irrigation localisée	28
3.2. Efficacités d'irrigation	29
3.3. Paramètres déterminant le choix d'un système d'irrigation	31
3.3.1. L'eau	32
3.3.2. Le sol et la topographie	33
3.3.3. Le climat et les cultures	34
3.3.4. Le capital et la main-d'œuvre	35
3.3.5. Énergie	35
3.3.6. Aspects sociaux et politiques	35
3.3.7. Aspects socio-économiques	36
3.3.8. Aspects sanitaires	37
3.3.9. Aspects environnementaux	37
3.4. Méthodologies utilisées dans le choix d'un système d'irrigation	37
3.5. Conclusion	42
4. ASPECTS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX D'UN AMÉNAGEMENT D'IRRIGATION	43
4.1. Maladies d'origine hydrique et modes de transmission	43
4.1.1. Paludisme	44
4.1.2. Bilharziose	44

4.2.	Mesures de prévention des maladies	44
4.2.1.	Mesures d'aménagement hydraulique visant à prévenir les maladies	45
4.2.2.	Mesures visant à réduire les contacts homme-vecteur	47
4.3.	Mesures de lutte contre les maladies après la construction	48
4.3.1.	Lutte biologique et chimique	48
4.3.2.	Lutte physique	48
4.4.	Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE)	49
4.4.1.	Hydrologie	50
4.4.2.	Qualité de l'eau	50
4.4.3.	Propriétés et salinité du sol	50
4.4.4.	Biodiversité	50
5.	LISTES DE POINTAGE POUR L'ÉVALUATION DE L'IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE, AGRO-TECHNIQUE, SANITAIRE ET ENVIRONNEMENTAL D'UN AMÉNAGEMENT D'IRRIGATION	51
5.1.	Liste de pointage pour l'évaluation de l'impact socio-économique d'un aménagement d'irrigation	51
5.2.	Liste de pointage pour l'évaluation agro-technique en vue du choix d'un système d'irrigation	51
5.3.	Liste de pointage pour l'évaluation des risques sanitaires d'un aménagement d'irrigation	52
5.4.	Liste de pointage pour l'évaluation de l'impact environnemental (EIE) d'un aménagement d'irrigation	54
6.	PRINCIPES ET LIGNES DIRECTRICES POUR LA PRÉPARATION DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ D'UN PROJET D'IRRIGATION	57
6.1.	Climat et ressources naturelles	57
6.1.1.	Climat	57
6.1.2.	Terres	57
6.1.3.	Eau	57
6.2.	Agriculture	58
6.2.1.	Pratiques agricoles existantes	58
6.2.2.	Régime foncier	58
6.2.3.	Système agricole proposé	58
6.3.	Crédit et commercialisation	58
6.4.	Aspects techniques	59
6.5.	Aspects sociaux	59
6.6.	Aspects liés à l'organisation et à la gestion du projet	59
6.6.1.	Organisation de la planification et de la construction	59
6.6.2.	Organisation de l'exploitation, de l'entretien et de la gestion	59
6.6.3.	Services de vulgarisation	59
6.7.	Évaluation de l'impact sanitaire et environnemental	60
6.8.	Analyse économique et financière	60
6.9.	Présentation de l'étude de faisabilité	60
	RÉFÉRENCES	61

Liste des figures

1.	Irrigation par sillons	14
2.	Types d'humidification de sols à texture grossière et fine	14
3.	Schéma d'un système d'irrigation par planches	15
4.	Schéma d'un système d'irrigation par bassins	16
5.	Schéma d'un système d'irrigation par aspersion à déplacement périodique	17
6.	Schéma d'un système d'irrigation par aspersion portable	18
7.	Plan d'une installation d'irrigation par aspersion semi portable basé sur un écartement de 12 m x 12 m avec des tertiaires desservant deux parcelles	19
8.	Plan d'une installation d'irrigation par aspersion à alimentation par tuyaux flexibles sur la base d'un espacement de 12 m x 12 m	20
9.	Schéma d'un système d'irrigation par rampe d'asperseurs montée sur roues et rampe montée sur roues	21
10.	Schéma d'un système d'irrigation par rampe d'asperseurs tractée et montage sur patins ou sur roues d'une rampe tractée	22
11.	Schéma d'un système d'irrigation par canon et machine d'irrigation	23
12.	Schéma d'un système d'irrigation par aspersion à poste fixe	24
13.	Irrigation par aspersion au moyen de tuyaux perforés	24
14.	Rampe pivotante et chantier d'arrosage	25
15.	Système de rampe frontale	26
16.	Arroseur automoteur à câble et schémas de principe	27
17.	Éléments essentiels d'un système d'irrigation localisée	28
18.	Relation entre l'eau de surface et l'eau souterraine	32
19.	Causes et effets d'une réduction de la qualité de l'eau dans un système fluvial	38
20.	Coupe transversale type d'un canal de distribution trapézoïdal dans une installation utilisée par plusieurs petits agriculteurs	46
21.	Ouvrage de dérivation à drainage libre	47
22.	Présentation schématique de différents types de mauvaises herbes	49

Liste des tableaux

1	Étapes et activités de développement d'un projet destiné à plusieurs petits exploitants	6
2.	Efficiences du transport, des canaux de distribution et de l'arrosage à la parcelle	29
3.	Efficiences d'irrigation par aspersion à la ferme dans différents climats	30
4.	Efficiences d'arrosage à la parcelle pour des systèmes d'irrigation par aspersion bien gérés	30
5.	Efficiences du système pour des réseaux d'irrigation localisée	31
6.	Facteurs techniques déterminant le choix de la méthode d'irrigation	39
7.	Facteurs d'aménagement du périmètre déterminant le choix de la méthode d'irrigation	39
8.	Facteurs déterminant le choix de systèmes d'irrigation modernes pour des pays en développement	40
9.	Autres facteurs déterminant le choix de systèmes d'irrigation pour des pays en développement	41
10.	Classification environnementale des infections d'origine hydrique	43
11.	Vitesses moyennes dans un canal trapézoïdal pour la lutte contre les mollusques vecteurs de la bilharziose dans l'hémisphère occidental	45
12.	Débits dans un canal Agritex standard	46
13.	Mesures d'aménagement et d'atténuation visant à réduire les risques pour la santé publique	52
14.	Mesures d'aménagement et d'atténuation visant à lutter contre la dégradation des sols	54

Avant-propos

La première édition du Manuel d'irrigation, publiée en deux volumes, date de 1990. Elle avait été élaborée par le personnel de la FAO participant au projet «Irrigation pour petits agriculteurs» (UNDP/FAO/AGRITEX/ZIM/85/004)¹. Tirée à deux cent exemplaires, elle fut épuisée deux ans après sa publication.

Bien que ce manuel ait été rédigé principalement en référence au Zimbabwe, il avait suscité un vif intérêt dans plusieurs pays de la sous-région, d'où la décision de produire une deuxième édition en y intégrant l'expérience acquise lors de l'utilisation du manuel précédent, qui avait servi de référence de base pour le programme de formation AGRITEX² des agriculteurs irrigants et pour l'Université du Zimbabwe. Publiée en 1994 en un volume dans le cadre du projet «Assistance technique au programme AGRITEX» (UNDP/FAO/AGRITEX/ZIM/91/005), cette édition avait été préparée par les auteurs de la première publication avec l'assistance d'un comité de révision issu de AGRITEX³. Les deux cent exemplaires de cette édition furent, eux aussi, épuisés deux ans après leur parution.

La création, en 1995, d'un Bureau sous-régional de la FAO pour l'Afrique orientale et australe (SAFR) à Harare (Zimbabwe) visait à permettre aux pays de la sous-région⁴ d'accéder facilement à des services d'appui et d'assistance technique. Pour répondre à une demande de soutien très forte dans le domaine de l'irrigation pour petits exploitants de la part des pays de la sous-région, le Bureau SAFR s'est adjoint, par la suite, les services de quatre spécialistes de l'aménagement des ressources en eau et met actuellement en oeuvre un certain nombre de programmes visant à fournir cet appui. Parmi ces initiatives, il y a la publication d'une nouvelle édition régionale du manuel d'irrigation destinée à soutenir des programmes nationaux de formation dans plusieurs pays de la sous-région et à servir de référence clé à un autre programme majeur, la formation sous-régionale en planification et conception de projets d'irrigation pour petits agriculteurs.

Cette troisième édition cherche à approfondir les aspects technique, agronomique et économique de l'irrigation pour petits exploitants, ceci en raison du manque de références pratiques disponibles dans ce domaine. Elle introduit de nouveaux modules traitant des dimensions sociales, sanitaires et environnementales du développement de l'irrigation. Cependant, comme le présent ouvrage s'adresse au praticien de l'irrigation, il se contente d'en donner un bref aperçu, mettant en évidence les passerelles qui existent entre les différentes disciplines que recouvre le développement de l'irrigation.

Les efforts déployés par l'Équipe chargée de l'aménagement des ressources en eau au Bureau SAFR pour mener à bien la publication du présent manuel constituent une contribution précieuse à la diffusion des connaissances et à la formation des agriculteurs irrigants dans la sous-région. Les sujets abordés intéresseront les programmes de formation nationaux et sous-régionaux en planification, conception, construction, exploitation, maintenance et aménagement à la ferme des ressources hydriques des installations d'irrigation. Cette initiative aidera à réaliser la mission de la FAO: accroître la production alimentaire par la maîtrise, l'intensification et la diversification des ressources en eau. Ces éléments constituent, par ailleurs, le fondement du Programme spécial pour la sécurité alimentaire (PSSA).

Le présent manuel est le fruit de plusieurs années d'expérience dans le domaine de la formation d'ingénieurs spécialistes de l'irrigation et de travail sur le terrain dans la sous-région. Les méthodes employées ont été testées sur place et soumises avec succès à l'épreuve du temps.

¹ A.P. Sava, Conseiller technique principal; J. Stoutjesdijk, Ingénieur (irrigation); P.M.A. Regnier, Ingénieur (irrigation); S.V. Hindkjuer, Économiste.

² Agritex: Département des services techniques et de vulgarisation agricoles, Ministère des Terres et de l'Agriculture, Zimbabwe.

³ Comité de révision: E. Chidenga, Spécialiste en chef de l'irrigation a.i.; P. Chipadza, Spécialiste principal de l'irrigation; A. Dube, Spécialiste principal de l'irrigation; L. Forichi, Spécialiste de l'irrigation; L. Madhiri, Fonctionnaire principal chargé de l'irrigation a.i.; S. Madyiwa, Spécialiste de l'irrigation; P. Malusalila, Spécialiste en chef de la production végétale; R. Mariya, Sous-secrétaire, Département de l'économie et des marchés; D. Tawonezwi, Économiste agricole.

⁴ Les 21 pays suivants font partie de la région FAO-SAFR: Afrique du Sud, Angola, Botswana, Burundi, Comores, Érythrée, Éthiopie, Kenya, Lesotho, Madagascar, Malawi, Maurice, Mozambique, Namibie, Ouganda, Rwanda, Seychelles, Swaziland, Tanzanie, Zambie, Zimbabwe.

Pour faciliter l'accès aux différents sujets abordés, l'ouvrage a été divisé en 14 modules couvrant les thèmes ci-après:

- Module 1: Le développement de l'irrigation, un processus aux multiples facettes
- Module 2: Évaluation des ressources naturelles
- Module 3: Aspects agronomiques de la production de cultures irriguées
- Module 4: Besoins en eau des cultures et programmation des arrosages
- Module 5: La station de pompage en irrigation
- Module 6: Recommandations pour la préparation des dessins techniques
- Module 7: Systèmes d'irrigation de surface: planification, conception, fonctionnement et maintenance
- Module 8: Systèmes d'irrigation par aspersion: planification, conception, fonctionnement et maintenance
- Module 9: Systèmes d'irrigation localisée: planification, conception, fonctionnement et maintenance
- Module 10: Matériel d'irrigation pour systèmes sous pression
- Module 11: Évaluation financière et économique des projets d'irrigation
- Module 12: Recommandations pour la préparation des documents de soumission à un appel d'offres
- Module 13: Construction des installations d'irrigation
- Module 14: Surveillance de la performance technique et financière d'un projet d'irrigation

Ce manuel pratique de technique d'irrigation était très attendu. Il sera, j'en suis certaine, fort utile aux ingénieurs, expérimentés ou débutants, spécialisés dans le domaine.

Victoria Sekitoleko
Représentante sous-régionale de la FAO
pour l'Afrique orientale et australe

Remerciements

Cette troisième édition du Manuel d'irrigation est une initiative du Bureau sous-régional pour l'Afrique orientale et australe (SAFR).

L'ensemble du projet a été dirigé et coordonné par Andreas P. Savva et Karen Frenken, Spécialistes des ressources en eau au Bureau sous-régional FAO-SAFR, qui sont les auteurs principaux. Karen Frenken s'est également chargée de l'édition technique.

Les personnes suivantes ont collaboré aux différents modules: Fabeon Chigumira (Module 3), Patrick Chigura (Module 7), Mawira Chitima (Module 4), Owen Hughes (Module 3), Tove Lilja (Modules 1, 5, 8, 11 et 14), Simon Madyiwa (Modules 1, 5, 7, 8, 12 et 14), Susan Minae (Modules 11 et 14), Victor Mthamo (Modules 5, 7, 8 et 13), Kennedy Mudima (Modules 1, 4, 5, 8, 9 et 13), Personal Sithole (Modules 11 et 14), Samuel Sunguro (Module 2), Lee Tirivamwe (Modules 2, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13 et 14).

La préparation de quelques dessins par Solomon Maina est appréciée.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à Chris Pappas d'avoir collaboré à la mise en page de l'ouvrage.

Tableau de conversion des unités

Longueur

1 pouce (inch, in)	0.0254 m
1 pied (foot, ft)	0.3048 m
1 yard (yd)	0.9144 m
1 mile	1609.344 m
1 mètre (m)	39.37 pouces (inches, in)
1 mètre (m)	3.28 pieds (feet, ft)
1 mètre (m)	1.094 yard (yd)
1 kilomètre (Km)	0.62 mile

Surface

1 pouce carré (square inch, in ²)	6.4516 x 10 ⁻² m ²
1 pied carré (square foot, ft ²)	0.0929 m ²
1 yard carré (square yard, yd ²)	0.8361 m ²
1 acre	4046.86 m ²
1 acre	0.4046 ha
1 centimètre carré (cm ²)	0.155 pouce carré (in ²)
1 mètre carré (m ²)	10.76 pieds carrés (ft ²)
1 mètre carré (m ²)	1.196 yard carré (yd ²)
1 mètre carré (m ²)	0.00024 acre
1 hectare (ha)	2.47 acres

Volume

1 pouce cube (cubic inch, in ³)	1.6387 x 10 ⁽⁻⁵⁾ m ³
1 pied cube (cubic foot, ft ³)	0.0283 m ³
1 yard cube (cubic yard, yd ³)	0.7646 m ³
1 centimètre cube (cm ³)	0.061 pouce cube (in ³)
1 mètre cube (m ³)	35.315 pieds cubes (ft ³)
1 mètre cube (m ³)	1.308 yard cube (yd ³)

Capacité

1 gallon UK	0.0045 m ³
1 gallon US	0.0037 m ³
1 baril UK	0.1639 m ³
1 baril US	0.1190 m ³
1 pinte	0.5681 l
1 gallon US (sec)	0.0044 m ³
1 litre (l)	0.22 gallon UK
1 litre (l)	0.264 gallon US
1 litre (l)	0.0061 baril UK
1 hectolitre (hl)	100 litres = 0.61 baril UK = 0.84 baril US
1 litre (l)	1.760 pintes
1 mètre cube d'eau (m ³)	1 000 l = 227 gallons US (sec)
1 baril UK	164 litres

Poids

1 once (oz)	28.3286 g
1 livre	0.4535 kg
1 tonne anglaise (long ton)	1016.05 kg
1 tonne américaine (short ton)	907.185 kg
1 gramme (g)	0.0353 onces (oz)
1 kilogramme (kg)	1 000 g = 2.20462 livres
1 tonne	1 000 kg = 0.984 long ton = 1.102 short ton

Pression

1 livreforce pied (pound force) par in ²	6894.76 N/m ²
1 livreforce pied / in ²	5 1.7 mm Hg
1 Pascal (PA)	1 N/m ² = 0.000145 livreforce/in ²
1 atmosphère	760 mm Hg = 14.7 livreforce/in ² (lbf/in ²)
1 atmosphère	1 bar
1 bar	10 mètre
1 bar	100 kpa

Energie

1 Unité thermique britannique (B.t.u)	1055.966 J
1 livreforce pied (foot pound force)	1.3559 J
1 B.t.u	0.25188 kilocalorie
1 B.t.u	0.0002930 KWh
1 Joule (J)	0.000947 B.t.u.
1 Joule (J)	0.7375 livreforce pied (ft.lbf)
1 kilocalorie (Kcal)	4185.5 J = 3.97 B.t.u.
1 kilowattheure (kWh)	3 600 000 J = 3412 B.t.u.

Puissance

1 Joule/sec	0.7376 livreforce pied/sec
1 livreforce pied/sec	1.3557 watt
1 cheval vapeur métrique (ch)	0.9861 cheval vapeur (bhp)
1 Kcal/h	0.001162 kW
1 watt (W)	1 Joule/sec = 0.7376 livreforce pied/sec (ft lbf/s)
1 cheval vapeur (bhp)	745.7 watts 550 ft lbf/s
1 cheval vapeur (bhp)	1.014 cheval vapeur métrique (ch)
1 kilowatt (kW)	860 Kcal/h = 1.34 cheval vapeur (bhp)

Température

°C (degré Celsius ou centigrade)	°C = 5/9 x (°F - 32)
°F (degré Fahrenheit)	°F = 1.8 x °C + °F
°K (degré Kelvin)	°K = °C + 273.15

Liste des symboles et abréviations

AC	Amiante-ciment
AGRITEX	Département des services d'assistance technique et de vulgarisation agricoles (Zimbabwe)
ASEG	Programme d'analyse socio-économique selon le genre
AUE	Association d'usagers de l'eau
CGI	Comité de gestion de l'irrigation
E&E	Exploitation et entretien
EIE	Évaluation de l'impact sur l'environnement
EPA	École pratique d'agriculture
ERP	Évaluation rurale participative
ILRI	Institut international pour la mise en valeur et l'amélioration des terres
NPSHA	Hauteur de charge nette absolue disponible
OIT	Organisation internationale du travail
ONG	Organisation non gouvernementale
PI	Protection intégrée contre les organismes nuisibles
PT&E-FWM	Formation et vulgarisation participatives relatives à la gestion de l'eau par les agriculteurs
uPVC	Chlorure de polyvinyle non plastifié

Chapitre 1

Introduction

La sécheresse et les inondations affectent périodiquement les moyens de subsistance de millions de personnes à travers le monde. Ces phénomènes, qui résultent de la variabilité du climat, font partie des risques de l'agriculture dans la majeure partie de l'Afrique orientale et australe. En guise de riposte, les personnes vivant dans des zones sujettes aux variations climatiques extrêmes ont mis au point des systèmes de subsistance et de production permettant de minimiser les risques liés aux variations climatiques extrêmes. Toutefois, suite aux poussées démographiques du siècle dernier et à la pression croissante exercée sur les terres, l'exploitation des sols s'est intensifiée et les sols, comme les populations, sont devenus plus vulnérables aux effets des phénomènes climatiques. Dans un environnement plus complexe et par le biais de systèmes de production sophistiqués, les hommes, le bétail, les cultures et la faune et la flore sauvages se disputent désormais des ressources de plus en plus rares. Avec le temps, ces pressions finiront par accroître la vulnérabilité aux sécheresses et aux inondations et, par un effet de chute en spirale, entraîneront de nouvelles dégradations des ressources et pertes de productivité.

Une sécheresse grave ou une série de sécheresses consécutives peut constituer un facteur déclenchant qui exacerbe les problèmes sociaux et économiques et, d'une façon générale, menace la sécurité des moyens de subsistance de la société. Ces difficultés se ressentent plus particulièrement dans les économies les moins diversifiées, où pratiquement tout le monde dépend de l'agriculture, directement ou indirectement. En dépit de la faible rentabilité des terres, de la main-d'œuvre et du capital, les agriculteurs ont longtemps maintenu une panoplie de stratégies et solutions locales pour gérer les risques et faire face à l'insuffisance de la productivité en général. Cependant, on reconnaît généralement qu'une agriculture pratiquée avec des moyens limités n'est aujourd'hui plus en mesure de répondre aux besoins de subsistance de populations croissantes dans des milieux arides fragiles. Face aux circonstances actuelles, il faut impérativement développer des méthodes de gestion durable des ressources naturelles.

1.1. L'approche «bassin fluvial» ou «bassin versant»

Un bassin versant, ou de drainage, constitue un cadre idéal pour la gestion des ressources naturelles et l'aménagement des terres rurales ainsi que, dans une large mesure, des terres urbaines ou périurbaines. Cette zone est généralement définie comme une unité hydrologique mais peut également être utilisée comme unité physico-biologique ou socio-économique/politique pour la planification et la gestion des ressources naturelles.

L'aménagement d'un bassin versant ou fluvial consiste à formuler et exécuter une série de mesures relatives à la manipulation des ressources dans cette région afin de fournir des biens et services sans provoquer d'effets nuisibles pour les sols et les ressources en eau (FAO, 1996). Cette activité d'aménagement doit prendre en considération les facteurs sociaux, économiques et institutionnels entrant en jeu dans le bassin et à l'extérieur de celui-ci. Elle repose sur un principe essentiel: tout travail de planification et de mise en œuvre s'effectue dans le cadre de méthodes participatives et d'instruments connexes au niveau régional ou national ainsi qu'à l'échelon du sous-bassin, de la communauté et de l'exploitation.

Une telle approche comporte des avantages indéniables, en particulier là où la sécheresse et la gestion de l'eau sont des problèmes critiques. Elle offre un environnement géographique où il est possible de s'attaquer, de façon coordonnée et programmée, aux relations dynamiques qui existent entre les conditions locales de sécheresse ou d'inondation et leurs causes sous-jacentes et fournit un cadre naturel pour pouvoir atteindre des conditions hydrologiques et environnementales optimales et renforcer la productivité durable dans la zone du bassin versant.

1.2. Conservation du sol et de l'eau

Les petits agriculteurs disposent de tout un éventail de techniques de gestion intégrée des ressources naturelles permettant d'améliorer la gestion des sols, de l'eau et des éléments nutritifs avec des méthodes rentables et faciles à adopter. En voici quelques exemples:

- ❖ Bonne gestion en exploitation du fumier de ferme, s'il y en a, avec apport ciblé de ce fumier et d'azote minéral (seul ou en association)
- ❖ Utilisation et gestion améliorées d'autres substances organiques au sein de l'exploitation
- ❖ Rotation des cultures de légumineuses, notamment avec différentes dispositions spatiales pour les cultures intercalaires, afin d'améliorer la fertilité du sol et en utilisant plus particulièrement des légumineuses résistantes à la sécheresse et versatiles
- ❖ Utilisation de courbes de niveau sans pente, de puits d'infiltration, du billonnage cloisonné modifié et autres techniques appropriées de récupération de l'eau de pluie pour accroître la collecte et l'infiltration des précipitations
- ❖ Bonne préparation et couverture des terres et plantations coïncidant avec une bonne humidité du sol

Par une amélioration de la conservation des sols et de l'eau, l'agriculture pluviale peut augmenter la production alimentaire par unité de surface cultivée et unité de volume d'eau, ce qui favorisera dans une large mesure la sécurité alimentaire. En réalité, la majeure partie des denrées alimentaires dans le monde, en particulier en Afrique orientale et australe, provient de cultures non irriguées. Mais seulement 15 à 30% des précipitations sont exploitées pour la production vivrière: 70 à 85% de l'eau de pluie dans des systèmes d'agriculture en milieu aride «se perd» au niveau de la parcelle et les pertes sont souvent plus importantes encore, le volume d'eau de pluie utilisé par les plantes vivrières pouvant être inférieur à 10% lorsque le ruissellement de surface est important et que les éléments nutritifs du sol sont fortement appauvris.

Même si la faiblesse des rendements est une caractéristique de l'agriculture pluviale, il est possible d'améliorer la productivité des systèmes non irrigués avec le reste d'eau disponible grâce à une meilleure gestion eau/sol/cultures, dans le cadre par exemple d'une agriculture de conservation⁵. Le défi consiste à accroître le volume de l'eau disponible pour les cultures afin de satisfaire à la longue leurs besoins en eau, d'optimiser l'infiltration et la capacité de rétention en eau du sol et d'améliorer la capacité d'absorption d'eau par les plantes.

Les rendements des cultures et la rentabilité par volume de précipitations reçues pourraient être maximisés avec, d'une

saison à l'autre, une gestion du système cultural capable de faire face à diverses situations. La mise en œuvre de programmes agricoles adaptables⁶ permettrait de fournir des informations localisées sur les prévisions pluviométriques pour la saison à venir et d'offrir aux agriculteurs des directives ou des recommandations détaillées sur la marche à suivre en fonction de ces prévisions.

En zone aride et pour les cultures pluviales en particulier, il faut s'efforcer avant tout de réduire les pertes d'eau par ruissellement et évaporation et d'optimiser la transpiration. Cela peut se faire par la conservation de l'eau *in situ* ou par la récupération de l'eau. La conservation de l'eau *in situ* vise à empêcher le ruissellement et à retenir le plus possible l'eau de pluie là où elle tombe et à réduire l'évaporation. La récupération de l'eau est la collecte et la concentration de l'eau de pluie et de ruissellement utilisée ensuite pour l'irrigation (FAO, 1991). Plus précisément, il s'agit de recueillir et de concentrer le ruissellement d'eau de pluie provenant d'un bassin versant relativement vaste pour l'utiliser sur une superficie cultivée plus réduite. Il existe différentes techniques de récupération de l'eau et la collecte de l'eau peut en fait être considérée comme un type d'irrigation.

Pour plus d'informations sur l'agriculture pluviale, la conservation des sols et de l'eau et les techniques de récolte d'eau, le lecteur est invité à consulter des ouvrages spécialisés sur le sujet. Le présent Manuel d'irrigation aborde uniquement le développement de systèmes d'irrigation de surface, d'irrigation par aspersion et d'irrigation localisée.

1.3. Développement d'un projet d'irrigation de surface, par aspersion et localisée

Le contexte social et institutionnel d'un aménagement hydro-agricole a un immense impact sur la performance ultime d'un réseau d'irrigation. Depuis plusieurs années, la mise en œuvre de projets d'irrigation, en particulier ceux menés par des gouvernements et certains bailleurs de fonds, s'est faite selon une approche directive. Or, l'expérience a montré que si les agriculteurs ne participent pas à toutes les étapes du développement, ils perdent tout sentiment d'appropriation et abordent donc l'initiative comme si elle leur était étrangère, ce qui compromet les performances à long terme et la viabilité de l'opération.

⁵ Agriculture de conservation: Un concept visant à conserver, améliorer et utiliser plus efficacement les ressources naturelles par une gestion intégrée de l'eau, la sol et des ressources biologiques en combinaison avec des intrants externes limités

⁶ Agriculture adaptable: un système agricole flexible dans lequel des décisions clés qui affectent l'utilisation de l'eau par les cultures et le rendement des cultures sont modifiés chaque saison afin de répondre à des prédictions de la pluie saisonnière avant et au début de la saison, la durée, l'indice d'intensité et d'autres paramètres éventuels.

Selon la FAO (1995), les projets planifiés avec les bénéficiaires, plutôt que pour eux, se sont avérés plus durables sans pour autant être plus coûteux. Le chapitre 2 donne des lignes directrices pour le développement participatif de périmètres irrigués exploités par plusieurs petits paysans.

Il importe de choisir le bon système d'irrigation en prenant en compte plusieurs paramètres, notamment les ressources en eau, la topographie, la nature du sol, le climat, les types de culture envisagés, la disponibilité et le coût du capital et de la main-d'oeuvre, l'intérêt de telle ou telle technique d'irrigation pour les agriculteurs et les besoins en énergie qu'elle suppose, l'efficacité de l'utilisation de l'eau ainsi que les aspects socio-économiques, sanitaires et environnementaux. Le chapitre 3 examine les différents critères censés déterminer le choix par les planificateurs et les ingénieurs du système convenant le mieux à une situation particulière. La planification et la conception proprement dites des différents systèmes d'irrigation seront étudiés dans les modules 7 (irrigation de surface), 8 (irrigation par aspersion) et 9 (irrigation localisée).

Il est nécessaire de suivre et d'évaluer de façon continue l'impact de l'irrigation sur la santé et l'environnement. Le chapitre 4 vise à sensibiliser les planificateurs et les usagers aux maladies d'origine hydrique provenant d'aménagements hydro-agricoles. Il propose également l'incorporation aux stades de la planification et de la conception de mesures d'aménagement hydraulique préventives et l'adoption de techniques de gestion environnementale destinées à réduire le risque de maladie à transmission hydrique et à préserver l'environnement.

Des listes de contrôle pour l'évaluation de l'impact socio-économique, agro-technique, sanitaire et environnemental des aménagements d'irrigation sont fournies au chapitre 5.

Enfin, le chapitre 6 explique comment incorporer les différents aspects sociaux, économiques, physiques, techniques, environnementaux et de production végétale dans une étude de faisabilité.

Chapitre 2

Participation des agriculteurs au développement d'un projet d'irrigation

Selon Chancellor et Hide (1996), très peu d'études ont été publiées sur les facteurs de succès ou d'échec d'un processus de conception et de mise en œuvre d'aménagements de petite irrigation dans les pays en développement. La plupart des manuels consacrés à la conception font très peu référence aux questions socio-économiques liées à l'aménagement, l'exploitation et la gestion de périmètres irrigués destinés à des communautés. Il est vrai que dans les projets privés ou réalisés à l'initiative d'agriculteurs, les problèmes de participation paysanne sont rares. Cependant, pour les projets lancés par des bailleurs de fonds ou des gouvernements, une consultation étroite entre agriculteurs et organismes d'exécution s'impose à tous les stades du développement. Cela peut se faire dans le cadre d'une stratégie participative au niveau de la planification, de la conception, de la construction et de la gestion des installations (tableau 1).

2.1. Principes de la participation

Le but de la participation des parties prenantes au développement d'un projet est de donner aux planificateurs des informations essentielles sur les personnes, les groupes, les organisations et institutions intervenant dans le projet ou ayant un rapport avec celui-ci. Cette démarche doit en principe permettre la prise en compte des intérêts et attentes de tous les acteurs concernés et faciliter le règlement de conflits éventuels.

Pour encourager la participation des groupes intéressés, certaines mesures s'imposent:

- ❖ identifier les personnes, groupes et organisations qui ont un rapport avec le projet ou qui en subiront les effets;
- ❖ identifier leur degré d'influence sur le projet; par exemple certains acteurs clés comme les femmes, qui constituent la majeure partie de la main-d'œuvre, ou les personnes déplacées devraient avoir bien plus de poids que les intervenants secondaires comme les intermédiaires,
- ❖ les faire participer à tous les processus de décision et définir l'influence qu'ils exercent sur le projet;
- ❖ leur garantir et leur donner le sentiment qu'ils ont la possibilité de peser sur le cours du développement.

Pour cerner les questions déterminantes en matière de participation paysanne, les planificateurs doivent connaître:

- a) les caractéristiques des groupes d'agriculteurs avec lesquels ils traitent:
 - milieu social, religion et aspects culturels
 - statut des groupes dans la société (formel ou informel)
 - structures institutionnelles et de leadership
 - contraintes actuelles et priorités des agriculteurs
- b) les intérêts, les motifs et les attitudes des agriculteurs:
 - besoins et aspirations
 - intérêts ouvertement exprimés ou cachés et intérêts catégoriels
 - espoirs, attentes et craintes concernant le projet
 - attitudes, cordiales ou hostiles, à l'égard des organismes d'exécution et autres groupes
- c) le potentiel des agriculteurs:
 - points forts des groupes sur le plan des compétences, des moyens, des connaissances, des droits, etc.
 - faiblesses et lacunes, par exemple en ce qui concerne la connaissance des avantages du projet
 - ce que le groupe peut apporter ou refuser d'apporter au projet
- d) les implications des éléments ci-dessus sur la planification, la conception et la construction du projet:
 - la manière dont il faut concevoir et mettre en œuvre le projet pour répondre aux préoccupations et besoins des exploitants ou groupes d'agriculteurs.

A cet égard, le planificateur peut avoir recours à l'évaluation rurale participative pour mieux comprendre les difficultés existantes et les perceptions des paysans en ce qui concerne les méthodes d'irrigation permettant d'éliminer certaines contraintes de la production végétale. Afin d'éviter toute ingérence de la part d'individus ou groupes ayant des intérêts particuliers, les agriculteurs doivent, au cours de ce processus, identifier les parties prenantes qui seront associées à la planification participative. En outre, il y a lieu d'indiquer clairement, dès le départ, aux parties concernées non seulement les avantages mais aussi les responsabilités qui vont de pair avec un nouveau projet.

Tableau 1

Étapes et activités de développement d'un projet destiné à plusieurs petits exploitants (adapté de Chancellor et Hide, 1996)

Étape du projet	Principales activités	But
IDENTIFICATION	<ul style="list-style-type: none"> Facilitation de la sensibilisation des agriculteurs Identification des besoins perçus par les agriculteurs Demande d'assistance de la part des agriculteurs 	<ul style="list-style-type: none"> S'assurer que le développement est déterminé par une demande
PRÉFAISABILITÉ	<ul style="list-style-type: none"> Premières visites de terrain et évaluations rurales participatives Collecte des données physiques et socio-économiques disponibles Examen des parties prenantes Première approbation ou rejet de la pré faisabilité par les parties prenantes 	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer sur le terrain les possibilités d'irrigation Identifier les objectifs, les besoins et les capacités des agriculteurs Obtenir les informations générales qui permettront de décider en connaissance de cause Identifier les parties prenantes, déterminer leurs rôles et intérêts, mettre en évidence les conflits potentiels et les points forts Utiliser les données et conclusions disponibles pour déterminer la faisabilité à un stade préliminaire
FAISABILITÉ	<ul style="list-style-type: none"> Collecte de données physiques détaillées et enquêtes de terrain Enquête/évaluation socio-économique Évaluation financière et institutionnelle Étude préliminaire et évaluation des coûts Participation des agriculteurs au choix du type d'aménagement Mise en place d'une organisation d'agriculteurs appropriée Préparer le rapport de faisabilité de projet, comprenant l'évaluation économique et financière 	<ul style="list-style-type: none"> S'assurer que l'on dispose des ressources nécessaires pour répondre aux objectifs des agriculteurs S'assurer que l'on dispose des ressources nécessaires pour réaliser l'aménagement proposé Déterminer les budgets de l'exploitation agricole et les besoins organisationnels dans la perspective d'une assistance Fournir une base pour la discussion avec les agriculteurs Offrir la possibilité de modifier l'étude ou d'annuler la demande Établir une base pour les emprunts, la gestion, l'exploitation et l'entretien Pouvoir comparer des projets ou études de projet en concurrence pour un financement
APPROBATION CONDITIONNELLE	<ul style="list-style-type: none"> Approbation de la part des professionnels de l'irrigation et des agriculteurs 	<ul style="list-style-type: none"> Garantir la qualité de l'étude
ÉTUDES DÉTAILLÉES	<ul style="list-style-type: none"> Évaluation des capacités et des besoins en matière d'exploitation et d'entretien Évaluation des données finales et choix définitifs des agriculteurs Préparation des études détaillées, des devis quantitatifs et des contrats Mise au point des arrangements financiers Détermination précise des contributions des agriculteurs et contrat fixant ces contributions 	<ul style="list-style-type: none"> Faire en sorte que la conception concorde avec les capacités des agriculteurs Permettre une participation informée des agriculteurs Finaliser les détails et les coûts Garantir aux agriculteurs la disponibilité d'un crédit à un coût raisonnable Permettre aux agriculteurs d'exercer la responsabilité de leur participation financière et pratique
APPROBATION DÉFINITIVE	<ul style="list-style-type: none"> Approbation de la part de toutes les principales parties prenantes 	<ul style="list-style-type: none"> mise en œuvre d'une responsabilité multipartite
MISE EN ŒUVRE (SUPERVISÉE PAR MINISTÈRE/ ORGANISME DE FINANCEMENT/ COMITE D'AGRICULTEURS)	<ul style="list-style-type: none"> Réception des soumissions Choix d'un entrepreneur et établissement de contrats Lancement d'un prêt en faveur des agriculteurs Participation des agriculteurs à la construction Formation des agriculteurs aux pratiques agricoles, à la gestion de l'eau à la ferme, à la commercialisation et à l'exploitation et l'entretien Remise du périmètre aux agriculteurs 	<ul style="list-style-type: none"> Permettre un choix présentant un bon rapport coût-efficacité Assurer le paiement des travaux et matériaux Développer le sentiment d'appartenance et les compétences nécessaires pour les futures activités d'exploitation et d'entretien Favoriser une utilisation rationnelle de l'eau, de bons rendements et une activité durable Permettre aux agriculteurs d'assumer la responsabilité du projet
SUIVI ET ÉVALUATION	<ul style="list-style-type: none"> Évaluation régulière de la performance Formation et vulgarisation continues 	<ul style="list-style-type: none"> Veiller à ce que les objectifs soient atteints et maintenus Encourager une amélioration permanente

2.2. Identification des parties prenantes

Les parties prenantes sont des individus, des groupes ou des organisations intéressés par un projet particulier. En irrigation, ce sont généralement des agriculteurs, des personnes déplacées par le projet, des organismes de crédit, le gouvernement, des bailleurs de fonds, des fournisseurs d'intrants, des prestataires de services et des acheteurs.

Pendant la phase d'identification, il convient de déterminer en premier lieu les parties prenantes. Idéalement, le développement d'un projet se fait à l'initiative des agriculteurs pour pouvoir être déterminé par leurs besoins. Toutefois, un gouvernement, des donateurs, des ONG ou d'autres organismes peuvent identifier un besoin chez les exploitants. Dans ce cas, il appartient à l'institution qui dirige le projet de sensibiliser les agriculteurs et les autres parties intéressées aux avantages de l'irrigation et d'obtenir leur autorisation pour la réalisation.

Tout au long du processus de développement, il faudra organiser des réunions et maintenir un dialogue permanent pour permettre aux acteurs d'apporter leur contribution et pour identifier et désamorcer d'éventuels conflits. Il convient également de conclure des accords, de préférence écrits et signés, stipulant les fonctions incombant à chaque partie tout au long du projet, au cours des phases de planification, de conception, de mise en œuvre, d'exploitation et de maintenance.

2.3. Définition des rôles des parties prenantes

Il est nécessaire de définir clairement le rôle de chaque partie prenante pour éviter tout conflit de responsabilité. Généralement, les principaux acteurs sont les exploitants et l'organisme d'irrigation, très souvent une institution publique. Les responsabilités de cet organisme sont de nature technique. Elles comprennent notamment la réalisation d'études de terrain telles que l'évaluation des ressources en eau, les études topographiques, pédologiques et socio-économiques, la conception des réseaux, l'évaluation technique et financière des projets, la supervision des travaux de construction et la vulgarisation des techniques d'irrigation. Les agriculteurs, pour leur part, fournissent les terres à irriguer, organisent le financement de l'aménagement (s'il n'est pas assuré par le gouvernement ou les bailleurs de fonds), fournissent la main-d'œuvre pour les études et les travaux de construction ainsi que toute autre assistance nécessaire à l'exécution du projet. Les exploitants doivent former un Comité de gestion de l'irrigation ou une Association des usagers de l'eau qui servira de point de contact entre eux et les autres partenaires. Ces comités, qui fonctionnent sur la base de

statuts établis et adoptés par les agriculteurs lors de réunions générales, supervisent le fonctionnement et l'entretien de l'infrastructure d'irrigation.

Le gouvernement, les bailleurs de fonds et les organismes de crédit occupent une place prépondérante car sans financement les projets ne peuvent pas être développés. En outre, les pouvoirs publics et les bailleurs facilitent l'adoption et la mise en œuvre de politiques et stratégies appropriées tendant à renforcer le développement de l'irrigation. Les autorités locales peuvent, elles aussi, remplir cette fonction de facilitateur en attirant l'attention des décideurs sur la nécessité de ce développement. Le secteur privé, par l'intermédiaire des fournisseurs de matériel et d'intrants d'irrigation, et les acheteurs de produits agricoles ont également un rôle positif à jouer dans ce domaine.

Il est absolument indispensable d'organiser régulièrement des réunions de parties prenantes pour s'informer mutuellement sur les faits nouveaux et tracer la voie à suivre. Ces rencontres doivent faire l'objet de comptes rendus approuvés et signés auxquels il pourra être fait référence ultérieurement en cas de problème. La présence d'un vulgarisateur à ces réunions peut faciliter l'établissement des procès-verbaux, surtout si un grand nombre d'agriculteurs sont analphabètes.

2.4. Participation des agriculteurs à la planification et à l'aménagement des périmètres irrigués

La participation des agriculteurs à la planification et à l'aménagement des périmètres est une condition essentielle de succès, tout comme la prise en compte, à toutes les étapes, des problèmes liés au rôle des femmes. Pour obtenir des lignes directrices détaillées sur l'ajustement de la planification, de la conception et de la mise en œuvre de l'irrigation en fonction des disparités entre les sexes, le lecteur se reportera au guide sur l'intégration des questions socio-économiques et de la problématique homme-femme dans le sous-secteur de l'irrigation (FAO, 1998). Cet ouvrage, élaboré dans le cadre du programme conjoint FAO/OIT d'analyse socio-économique selon le genre (ASEG), a pour but de favoriser la planification participative des périmètres irrigués ainsi que l'intégration des dimensions socio-économiques et des aspects liés aux disparités entre les sexes dans le processus de planification. Il vise à long terme à améliorer la performance des activités d'irrigation, tout en renforçant le statut de la femme en zone rurale et des groupes défavorisés. Cet ouvrage s'adresse aux professionnels qui s'occupent de la planification, de la conception et de la mise en œuvre de

programmes d'irrigation. Il est donc destiné aux ingénieurs spécialistes de l'irrigation, aux membres d'équipes pluridisciplinaires chargées de missions d'identification et de formulation, au personnel de projets de développement rural, aux fonctionnaires de l'Etat, au personnel d'ONG et aux sociétés d'études et de conseil.

2.4.1. Participation des agriculteurs à l'identification des ressources

En règle générale, les exploitants disposent comme ressources des terres (qu'ils en soient propriétaires ou non) et de la main-d'œuvre mais ont besoin d'assistance pour acquérir d'autres ressources comme les capitaux ou l'eau. Dans cette section nous aborderons uniquement les questions relatives à la terre et à la main-d'œuvre en raison de l'importance que leur accorde le monde paysan, ce qui ne veut pas dire que les autres problématiques sont moins cruciales.

Terre

La question de l'utilisation des terres et celle de la participation des communautés sont inextricablement liées. Les planificateurs doivent tenir compte du fait que tout nouvel aménagement qui modifie les modes traditionnels d'utilisation des terres est source potentielle de conflit. Les risques de différend doivent être identifiés et traités dès le départ. Pour cela, il convient d'associer étroitement les communautés concernées à la prise de décision depuis le début.

Le fait de posséder la terre incite fortement à y investir. Généralement, le propriétaire d'un périmètre d'irrigation privé sera tout disposé à améliorer son installation et à y effectuer les activités d'exploitation et d'entretien nécessaires. Cela n'est pas toujours le cas sur des terres communales. Les aménagements hydro-agricoles qui y sont entrepris perturbent généralement la répartition des terres. Souvent certaines personnes perdent leurs terres lorsque celles-ci sont converties en périmètres irrigués, des superficies qui auraient pu être exploitées pour des cultures, des pâturages ou la chasse par exemple. En même temps, les paysans dont les terres ne seront probablement pas converties mais qui se voient attribuer des parcelles irriguées semblent tirer profit de la situation. Dans d'autres cas, l'aménagement ne peut être réalisé en raison de problèmes de redistribution des terres. Il est, dès lors, nécessaire d'organiser des réunions avec tous les agriculteurs, leurs responsables locaux, les pouvoirs publics et autres parties prenantes afin de parvenir à des compromis sur la redistribution foncière ou de s'entendre sur des compensations. Ces arrangements doivent être établis avant la décision d'entreprendre l'exécution du

projet. Il importe également de veiller à ce que les parties intéressées comprennent bien les accords conclus et s'engagent à les mettre en oeuvre.

Main-d'œuvre

Dans la plupart des pays d'Afrique australe, l'agriculture pluviale fait appel à une main-d'œuvre familiale pendant environ cinq mois par an tandis que les cultures irriguées nécessitent une main-d'œuvre tout au long de l'année. Aussi la question des besoins de main-d'œuvre pour une activité d'irrigation déterminée est-elle particulièrement importante. Généralement, les agriculteurs ont déjà, avant le démarrage d'un projet d'irrigation, des activités au sein et en dehors de l'exploitation. L'irrigation apporte donc une charge de travail supplémentaire.

Selon Chancellor et Hide (1996), certains pays d'Afrique subsaharienne font face à des pénuries de main-d'œuvre dues à l'utilisation de techniques à forte intensité de main-d'œuvre et à la migration de la main-d'œuvre masculine vers les villes. Ce sont donc principalement les femmes qui travaillent dans l'agriculture et qui se trouvent ainsi surchargées de travail.

Par conséquent, il est essentiel d'évaluer, lors de la planification, les besoins de main-d'œuvre des différents aménagements possibles par rapport aux effectifs disponibles afin de déterminer quand et où des pénuries peuvent se produire (voir aussi le Module 11). Chaque option aura ses propres impératifs dans ce domaine, qu'il faudra examiner avec les agriculteurs. L'évaluation doit aussi tenir compte de la question de la main-d'œuvre féminine de façon à ce que les études évitent autant que possible toute surcharge de travail pour les femmes, déjà très occupées. Cela signifie que les techniques d'irrigation choisies doivent être sensibles aux disparités entre les sexes (FAO, 1998). Par exemple, l'utilisation d'asperseurs alimentés en eau par des tuyaux flexibles implique des tâches légères qui se limitent au déplacement du trépied et du tuyau d'un emplacement à l'autre. Au Zimbabwe, ce système connaît un succès croissant auprès des petits producteurs: 30% des aménagements de petite irrigation en sont équipés (FAO, 2000).

2.4.2. Participation des agriculteurs à la planification et à la conception d'un projet d'irrigation

Les agriculteurs associés à la planification doivent être en mesure de prendre des décisions en connaissance de cause. C'est pourquoi, avant de s'engager dans ce processus participatif, il leur faut prendre connaissance des différentes options possibles en matière d'aménagement et de production irriguée. On considère généralement que pour

initier les agriculteurs à la planification participative et à la prise de décision informée, il faut leur faire visiter plusieurs périmètres d'irrigation faisant appel à différentes techniques et les amener à discuter avec les exploitants utilisant ces installations. Il s'est avéré que cette approche, instaurée au Zimbabwe à la fin des années 80, favorisait la réceptivité et la prise de décision fondée sur des informations appropriées. Elle permet aux agriculteurs de jouer un rôle prépondérant dans la planification en y participant de plusieurs manières:

- ❖ Les agriculteurs choisissent les terres à irriguer et l'organisme d'irrigation les aide à déterminer si elles conviennent
- ❖ Les communautés vivant dans la zone à aménager participent à l'évaluation de l'impact du projet sur l'environnement (EIE) en fournissant des informations essentielles notamment sur l'utilisation actuelle des ressources naturelles, l'écologie, la santé des populations, etc.
- ❖ Les agriculteurs fournissent la main-d'œuvre pour les études topographiques, pédologiques et socio-économiques. Ils déterminent, par l'intermédiaire de leur comité, qui est responsable de telle ou telle activité
- ❖ Ils fournissent des renseignements sur les inondations qui se sont produites dans le passé, indiquent les zones exposées et suggèrent aux planificateurs des endroits appropriés pour l'installation de la station de pompage d'eau de rivière, pour éviter qu'elle soit inondée
- ❖ Les agriculteurs choisissent les cultures à exploiter dans le cadre du projet tandis que l'organisme de tutelle intervient uniquement pour leur donner des conseils techniques sur l'adaptabilité des cultures choisies en fonction du climat, de la nature du sol, des coûts de production et de la rentabilité escomptée ainsi que sur leur potentiel de commercialisation
- ❖ L'organisme d'irrigation facilite l'initiation des agriculteurs aux différentes méthodes d'irrigation et leur explique les avantages et les inconvénients de chacune d'elles; les agriculteurs proposent ensuite les méthodes d'irrigation qu'ils souhaitent être prises en compte dans l'étude
- ❖ Les futurs irrigants proposent des tailles de parcelle à irriguer et l'organisme d'irrigation informe sur la gestion, la main-d'œuvre et le coût des intrants pour différentes superficies ainsi que sur la capacité des terres et des ressources en eau à satisfaire aux exigences des différentes tailles proposées

- ❖ Une fois les études techniques achevées, l'organisme d'irrigation explique aux agriculteurs quels sont les autres aménagements possibles et leurs incidences respectives sur la redistribution des terres, les ressources en eau potentielles, la taille des parcelles, la superficie totale à irriguer, les programmes de culture, les besoins en main-d'oeuvre, les coûts d'investissement, les frais d'exploitation et de maintenance, les aspects environnementaux, les modes d'utilisation des terres et d'autres aspects
- ❖ Enfin, les agriculteurs décident des options à adopter.

Une fois que ceux-ci ont choisi le type d'aménagement, l'organisme et les exploitants doivent signer un accord indiquant l'option retenue. Il s'agit surtout au cours de ce processus d'aider les agriculteurs à évaluer la solution de compromis entre ce qu'ils souhaitent et ce qui est techniquement faisable, économiquement viable et écologiquement rationnel.

La durée de ce processus varie en fonction des groupes, de la taille du périmètre et du nombre de bénéficiaires. L'expérience acquise au Zimbabwe a montré que la préparation des études de faisabilité avec la participation des agriculteurs pouvait durer de 3 ou 4 mois pour des petits périmètres (10-20 ha) à un an pour des superficies de 100 ha.

2.4.3. Participation des agriculteurs à la mise en œuvre d'un projet d'irrigation

La mise en œuvre d'un projet d'irrigation suppose la préparation de documents d'appel d'offres pour la construction, l'évaluation des soumissions, le choix du maître d'oeuvre et la supervision des travaux de construction. Les agriculteurs doivent participer à toutes ces opérations, surtout s'ils contribuent financièrement, en espèces ou en nature, au projet. L'organisme d'irrigation se charge de fournir des informations techniques pour aider les exploitants à prendre des décisions. Ces derniers mettent à disposition leurs propres travailleurs pour certains travaux de construction comme le creusement de tranchées, le remblayage, la pose de conduites, le nivellement et la préparation du béton. Ces interventions leur permettront en outre d'acquérir l'expérience nécessaire par la suite pour l'entretien des équipements. A cet égard, il est recommandé d'utiliser, lorsque cela est possible, des méthodes à forte intensité de main-d'oeuvre. La supervision des travaux de construction demeure la responsabilité de l'organisme d'irrigation. Lorsque les agriculteurs versent une contribution en espèces, ils devraient également signer des autorisations pour les paiements destinés à l'entrepreneur.

2.4.4. Responsabilités relatives à l'exploitation et à l'entretien des périmètres irrigués

Les responsabilités sur le plan de l'exploitation et de l'entretien doivent être claires dès le début pour toutes les parties. Pour aider les agriculteurs à faire leur choix parmi les différents projets possibles, les planificateurs estimeront les besoins en matière d'exploitation et de maintenance au stade de l'étude et les examineront avec les exploitants. Si l'organisme d'irrigation est supposé couvrir les frais d'exploitation et d'entretien pendant une certaine période avant le transfert aux agriculteurs, ces derniers doivent organiser et préparer cette transition longtemps à l'avance.

Malgré la précieuse expérience qu'ils ont acquise pendant la planification et la mise en œuvre pour ce qui concerne l'exploitation et la maintenance du périmètre irrigué, les agriculteurs ont encore besoin d'une aide à la formation, assurée par l'organisme d'irrigation et le service de vulgarisation, dans les domaines suivants:

- ❖ Production végétale et protection des cultures
- ❖ Programmation des arrosages et gestion de l'eau en exploitation
- ❖ Programmation de l'entretien du réseau
- ❖ Comptabilité
- ❖ Accès aux marchés et informations sur les marchés.

Cette formation devra être pratique, de manière à fournir l'expérience concrète nécessaire, et tenir compte du fait que l'expérience de la plupart des petits producteurs d'Afrique orientale et australe se limite à l'agriculture pluviale.

La méthodologie de l'école pratique d'agriculture, lancée récemment dans la sous-région, est un bon moyen de poursuivre le processus participatif après la construction et de le suivre pendant l'exploitation du périmètre. Pour cela, la FAO a établi un programme intitulé «Formation et vulgarisation participatives relatives à la gestion de l'eau par les agriculteurs (PT&E-FWM)» (FAO, 2001) qui fournit des lignes directrices, des procédures et des matériels

appropriés pour la mise en place d'un programme de formation et de vulgarisation participatives destiné au personnel technique, aux vulgarisateurs et autres parties intéressées. Le but est d'aider les agriculteurs à assurer la gestion de l'eau au niveau de la parcelle et du réseau et à adapter, de façon durable, des technologies appropriées de gestion de l'eau. Cette initiative présente un intérêt particulier pour les programmes de transfert de la gestion de l'irrigation, puisqu'elle aide les associations d'usagers de l'eau à assurer l'exploitation et l'entretien de réseaux exploités par des agriculteurs, ainsi que pour les programmes d'irrigation destinés à plusieurs petits producteurs, car elle donne des conseils aux agriculteurs sur les techniques de maîtrise de l'eau.

2.5. Suivi et évaluation d'aménagements exploités par plusieurs petits agriculteurs

Une fois le périmètre irrigué mis en œuvre, il faut suivre en permanence ses performances afin de déceler les contraintes et les opportunités et d'améliorer l'efficacité d'irrigation. Plusieurs paramètres d'efficacité, notamment technique, peuvent être mesurés et évalués, comme les efficacités d'utilisation de l'eau et autres indicateurs connexes; les analyses économiques pour évaluer la performance économique et financière; et les analyses socio-économiques, qui déterminent l'impact de la performance économique sur le bien-être social des personnes. Le Module 14 aborde plus en détail le suivi de la performance technique et financière.

On trouvera dans l'encadré 1 un exemple classique de mise en œuvre réussie d'un projet d'irrigation fondé sur la participation des agriculteurs, un succès que reflètent les bénéfices socio-économiques qu'en tire la communauté. Ces informations qui mettent en évidence le succès du périmètre irrigué de Hama Mavhaire au Zimbabwe équipé d'un système alimenté en eau par des tuyaux flexibles proviennent d'une étude destinée à évaluer l'impact socio-économique de trois aménagements au Zimbabwe où plusieurs petits exploitants partagent l'infrastructure d'irrigation (FAO, 1997a).

Encadré 1:**Exemple de mise en œuvre réussie d'un aménagement destiné à plusieurs petits paysans avec la participation des agriculteurs (Source: FAO, 1997a et Savva, 1998)**

Le périmètre de Hama Mavhaire au Zimbabwe, équipé d'un système alimenté en eau par des tuyaux flexibles, couvre 96 hectares et a été réparti à parts égales entre 96 agriculteurs, dont 70% de femmes. Il est situé dans une zone agro-écologique aride qui reçoit environ 450 mm de précipitations par an. L'agriculture non irriguée échoue 3 à 4 années sur 5 en moyenne. L'aménagement du périmètre a démarré en 1989, suite aux pressions exercées par des agriculteurs sur les pouvoirs publics.

Participation des agriculteurs à la planification et à la conception

Le gouvernement a envoyé sur le site du projet une équipe d'experts composée d'ingénieurs, d'agronomes et d'économistes pour réaliser une étude de faisabilité. Plusieurs réunions ont été organisées pour permettre aux planificateurs de connaître les attentes des agriculteurs et expliquer aux agriculteurs les potentialités et les exigences de l'aménagement proposé. Ces rencontres ont été suivies d'une enquête socio-économique de référence. Les autorités locales ont ensuite choisi, parmi un grand nombre de candidats, les personnes qui semblaient les plus intéressées par le projet. Le périmètre était constitué à 80% de terres non cultivées, les 20% restants étant des parcelles arables appartenant à des agriculteurs qui ont été choisis pour le projet. Le groupe de paysans, futur partenaire du projet, a élu son propre comité chargé de traiter avec les planificateurs toutes les questions relatives au nouvel aménagement.

Pour faciliter une prise de décision en connaissance de cause, des visites d'installations, d'irrigation de surface et par aspersion ont été organisées au cours desquelles les agriculteurs ont longuement discuté avec leurs homologues de questions diverses, comme le choix du système d'irrigation, les types de cultures irriguées, les besoins en engrais, les rendements des cultures et la commercialisation. Cette expérience pratique s'est avérée utile pour les exploitants lorsqu'ils ont finalement dû choisir un système d'irrigation et les cultures à exploiter. Après avoir élaboré les différentes options d'étude possibles, les experts ont présenté ces solutions aux agriculteurs et expliqué leurs avantages et inconvénients respectifs. Les agriculteurs ont finalement adopté un système d'irrigation par aspersion à alimentation par tuyaux flexibles. Ce processus a duré un an.

Participation des agriculteurs à la construction

Une fois l'étude approuvée, des documents d'appel d'offres ont été préparés, lesquels stipulaient que les exploitants fourniraient toute la main-d'œuvre nécessaire pour la construction. Pendant la construction, le groupe a fourni la main-d'œuvre pour le creusement des tranchées et le remblayage et a aidé les personnes chargées de la pose des conduites à transporter et placer les tuyaux et raccords. Grâce à cette participation, les agriculteurs ont pu se familiariser avec la pose de conduites et autres réparations générales à effectuer sur leur réseau. En outre, l'entrepreneur a formé un paysan par bloc irrigué à la réparation d'asperseurs. Les ingénieurs spécialistes de l'irrigation et les vulgarisateurs ont fourni une formation dans les domaines suivants: leadership, comptabilité, gestion de réseau d'irrigation, pratiques agronomiques améliorées et programmation des arrosages. Ce processus a duré six mois pour la première tranche de 48 hectares et trois mois pour les 48 hectares restants.

Impact socio-économique de l'aménagement de périmètres irrigués

L'étude d'impact socio-économique a montré qu'en moyenne, le revenu net par exploitant de parcelle a quadruplé suite à l'introduction de l'irrigation, leur marge brute annuelle estimative passant de 650 dollar EU pour 2.5 hectares de production en culture sèche à 2 775 dollar EU pour un hectare irrigué. Autre avantage de l'introduction de l'irrigation: lorsque l'électricité a été apportée dans la région de Hama Mavhaire pour faire fonctionner la pompe, le centre commercial situé à proximité a également été raccordé. Avant la construction des aménagements, il n'y avait qu'une épicerie générale, un débit de boissons et un moulin équipé d'un moteur diesel. Il y a aujourd'hui trois épiceries, deux débits de boisson, quatre moulins à moteur électrique et une boucherie. De plus, un exploitant a confirmé qu'une part importante des fonds qu'il a investis dans la boutique qu'il possède dans un centre commercial proche provient du produit de ses cultures irriguées.

D'autres signes reflètent une augmentation sensible du niveau de vie des irrigants. Environ 29% des exploitants auraient acheté entre une et quatre têtes de bétail avec les revenus de l'irrigation au cours des cinq à six premières années d'exploitation de l'aménagement. En outre, 13% d'entre eux ont construit une maison en briques sous tôle et 10% ont installé des panneaux solaires pendant la même période. Les femmes, qui constituent la majorité des exploitants de parcelles et sont représentées dans tous les comités, ont indiqué que l'irrigation leur permettait aussi de payer les frais de scolarité de leurs enfants.

Le succès du périmètre irrigué de Hama Mavhaire est dû en grande partie à la ferme volonté du groupe d'améliorer les conditions de vie de ses membres. Les approches participatives adoptées pour l'aménagement du réseau ont donné l'occasion au groupe, aux planificateurs et aux parties chargées de l'exécution de planifier et mettre en œuvre un réseau d'irrigation de façon conjointe, rendant ainsi le projet techniquement faisable et acceptable sur le plan social.

Chapitre 3

Critères de choix d'un système d'irrigation

Pour choisir un système d'irrigation, plusieurs paramètres doivent être pris en considération, notamment les ressources en eau, la topographie, la nature du sol, le climat, les types de cultures envisagés, la disponibilité et le coût du capital et de la main-d'oeuvre, l'opportunité pour les agriculteurs d'une technique d'irrigation particulière et les besoins en énergie qu'elle suppose, les efficacités d'utilisation de l'eau ainsi que les aspects socio-économiques, sanitaires et environnementaux. S'il est déconseillé de ne retenir qu'un seul critère, il y a néanmoins des situations où un seul de ces facteurs pèse lourdement dans le choix du système.

L'impact socio-économique d'un système d'irrigation détermine dans une large mesure le succès du projet. Il s'agit des retombées socio-économiques, positives et négatives, non seulement pour le gouvernement mais surtout pour les communautés vivant sur le lieu du projet et la façon dont ces effets influent sur la durabilité de l'opération.

Les aspects sanitaires et environnementaux ont également leur importance. L'introduction de l'irrigation dans une région donnée n'a pas que des effets bénéfiques pour la santé; elle comporte des risques sanitaires si des mesures d'atténuation ne sont pas prévues pendant la conception, la mise en œuvre, l'exploitation et la gestion. Sur le plan environnemental, les menaces potentielles sont notamment la salinisation et la dégradation de la biodiversité.

Il faut donc obtenir toutes les informations et données disponibles et analyser l'ensemble des facteurs avant de procéder éventuellement à une classification des critères de choix d'un système. Pour réaliser un projet durable, il faut étudier toutes les informations techniques, socio-économiques, sanitaires et environnementales avec pour objectif la mise en place d'un système techniquement faisable, économiquement viable, acceptable sur le plan social et écologiquement rationnel.

3.1. Types de systèmes d'irrigation

Pour être en mesure de choisir un système d'irrigation adapté à une région donnée, il importe d'étudier les types de systèmes couramment utilisés. On distingue quatre grandes classes de systèmes fondées sur la méthode de l'apport d'eau au sol: (1) irrigation de surface, (2) irrigation par aspersion, (3) irrigation localisée et (4) irrigation souterraine.

Les systèmes de surface amènent l'eau au sol par écoulement à la surface du sol. Dans cette catégorie figurent les systèmes d'irrigation par sillons, par planches et par bassins. Dans les systèmes par aspersion, l'eau est transportée et distribuée dans des réseaux de conduites sous pression avant d'être pulvérisée sur les terres. Il existe plusieurs types d'aménagements par aspersion, que l'on peut regrouper en deux grandes catégories: les systèmes à poste fixe et les systèmes à déplacement continu. Dans les systèmes d'irrigation localisée, on utilise un réseau de tuyaux de distribution pour répartir et livrer de l'eau filtrée (et de l'engrais) à un point prédéterminé. Les principales méthodes sont l'irrigation goutte à goutte, par micro-diffuseurs et par barboteurs. Plus récemment, des systèmes de rampes enfouies dans la zone racinaire des végétaux ont été mis au point. En irrigation souterraine, l'application de l'eau souterraine jusqu'à la rhizosphère s'effectue par exhaussement ou abaissement de la nappe souterraine. En tant que tels, il s'agit de systèmes d'écoulement des eaux de drainage.

3.1.1. Systèmes d'irrigation de surface

Avec cette méthode, l'eau ruisselle sur la surface du sol pour l'humidifier totalement ou en partie. Elle se subdivise en différentes techniques: irrigation par sillons, par planches et par bassins. Le plan du réseau jusqu'au niveau de la parcelle, notamment des canaux et des drains, peut être similaire pour chaque système. Les faibles efficacités d'irrigation sont généralement attribuées à un mauvais nivellement des terres, à une taille de jets inadéquate et à des changements de types de sol dans la zone irriguée, verticalement comme horizontalement.

Selon la FAO (1989), 95% des superficies irriguées dans le monde utilisent cette technique. Par rapport aux autres méthodes, les systèmes de surface présentent surtout les avantages suivants: facilité d'exploitation et d'entretien avec un personnel qualifié, pas de sensibilité aux effets du vent et, comme l'irrigation par sillons, facilité de lessivage des sels accumulés dans la rhizosphère. Ils engendrent généralement des coûts énergétiques peu élevés.

Ces systèmes présentent cependant plusieurs inconvénients. Ils sont moins efficaces sur le plan de l'arrosage que les systèmes d'irrigation par aspersion ou localisée. Les variations des caractéristiques du sol dans

l'espace et dans le temps, telles que la vitesse d'infiltration ou la texture, compliquent le choix et la mise en œuvre des pratiques de gestion de l'eau. Il est également difficile d'appliquer les arrosages légers et fréquents nécessaires au début et à la fin de la campagne agricole. Un autre inconvénient, par rapport à l'irrigation par aspersion ou localisée, est le besoin important de main-d'oeuvre lorsque celle-ci est peu abondante.

Les trois méthodes d'irrigation de surface, examinées plus en détail dans le Module 7, sont décrites ci-dessous.

Irrigation par sillons

Ce type d'aménagement comporte des sillons et des billons dont la forme, l'espacement et la longueur varient principalement en fonction des cultures envisagées et des types de sol. La figure 1 représente un aménagement

d'irrigation par sillons. Pour apporter l'eau du fossé aux sillons, on utilise généralement des siphons.

Selon Kay (1986), la largeur des sillons varie de 250 à 400 mm, leur profondeur de 150 à 300 mm et leur écartement de 0.75 à 1 m, selon la nature du sol, les cultures et la taille du jet d'eau à appliquer au sillon. Sur les sols à texture grossière il faut des sillons peu espacés afin d'obtenir un écoulement latéral de l'eau dans la zone racinaire. La figure 2, qui représente les formes générales de l'humidification du sable et de l'argile, montre que l'écoulement latéral est plus important dans l'argile que dans le sable. En règle générale, les longueurs des sillons varient de 60 m environ sur des sols à texture grossière à 500 m sur des sols à texture fine, selon la pente du terrain, la taille du jet et la dose d'arrosage. Les inclinaisons minimum et maximum des sillons doivent être de 0.05% et 2% respectivement dans les régions à faible intensité pluviométrique. Lorsqu'il

Figure 1
Irrigation par sillons (Source: FAO, 1985)



Figure 2
Types d'humidification de sols à texture grossière et fine (Source: Kay, 1986)



Il y a un risque d'érosion en raison de pluies intenses, la pente maximum ne doit pas dépasser 0.3%.

La plupart des cultures de plein champ, sauf les plus denses comme le blé, ainsi que les vergers et les vignes, peuvent être irrigués par sillons. Cependant, ce type d'irrigation présente un risque de salinisation localisée dans les billons.

Irrigation par planches

Les planches ou calants sont des bandes de terre séparées par des diguettes qui guident l'eau déversée sur le champ. Elles sont rectangulaires ou sinueuses, selon la forme du champ. Les planches descendent en pente uniforme à partir de la source d'eau. Elles doivent être nivelées en largeur, pour une humidification homogène de toute la zone, et permettre un drainage libre à l'extrémité. La figure 3 présente un schéma d'irrigation par planches. Généralement, l'eau des canaux se répand sur le champ par des siphons. Lorsqu'il n'y a pas de pente transversale, l'eau siphonnée couvre de façon uniforme la largeur de la planche. Les inclinaisons inégales et les pentes transversales des planches sont les problèmes les plus fréquents et engendrent de faibles efficacités d'irrigation.

La longueur des planches varie de 60 à 800 m et leur largeur de 3 à 30 m selon la nature du sol, la taille du jet, la dose d'arrosage, la pente, la taille du champ et les pratiques agricoles. Généralement, pour une taille de jet, une dose d'arrosage et une pente identiques, la largeur de la planche diminue à mesure que la texture du sol devient plus grossière car les sols à texture grossière donnent une vitesse

d'infiltration plus élevée que les sols à texture fine et, par conséquent, un écoulement latéral moins important.

La longueur des planches, pour une largeur de 12 m, varie de 60 m pour une dose d'arrosage de 100 mm, une pente de 2% et un jet de 15 l/s sur des sols sableux à 300 m pour une dose d'arrosage de 200 mm, une pente de 0.4% et un jet de 4 l/s sur des sols argileux. Leur inclinaison minimale est de 1% tandis que le maximum est de 2% en zone humide et de 5% en zone aride, en fonction de la couverture végétale. Plus la couverture végétale est dense, plus le risque d'érosion diminue et plus la planche peut être inclinée. Cependant, le couvert végétal ne constitue un facteur déterminant que dans le cas où la planche est couverte par une culture permanente, comme un pâturage.

Irrigation par bassins

C'est la méthode d'irrigation de surface la plus répandue; elle est surtout utilisée pour le riz. Un bassin est une surface de terre nivelée entourée de diguettes de terre et qui ne nécessite pas d'écoulement dirigé et contrôlé (FAO, 1989). Pour obtenir une bonne uniformité d'arrosage, il faut remplir rapidement les bassins; ensuite, l'eau s'infiltré de manière uniforme sur toute la surface de chacun des bassins. Cette méthode est un excellent moyen de lessiver les sels nuisibles. Il convient néanmoins de mettre également en place un bon système de drainage pour éliminer l'excès d'eau.

Les bassins peuvent être adaptés à n'importe quel type de culture, de sol et de pratique culturale. Au nombre des

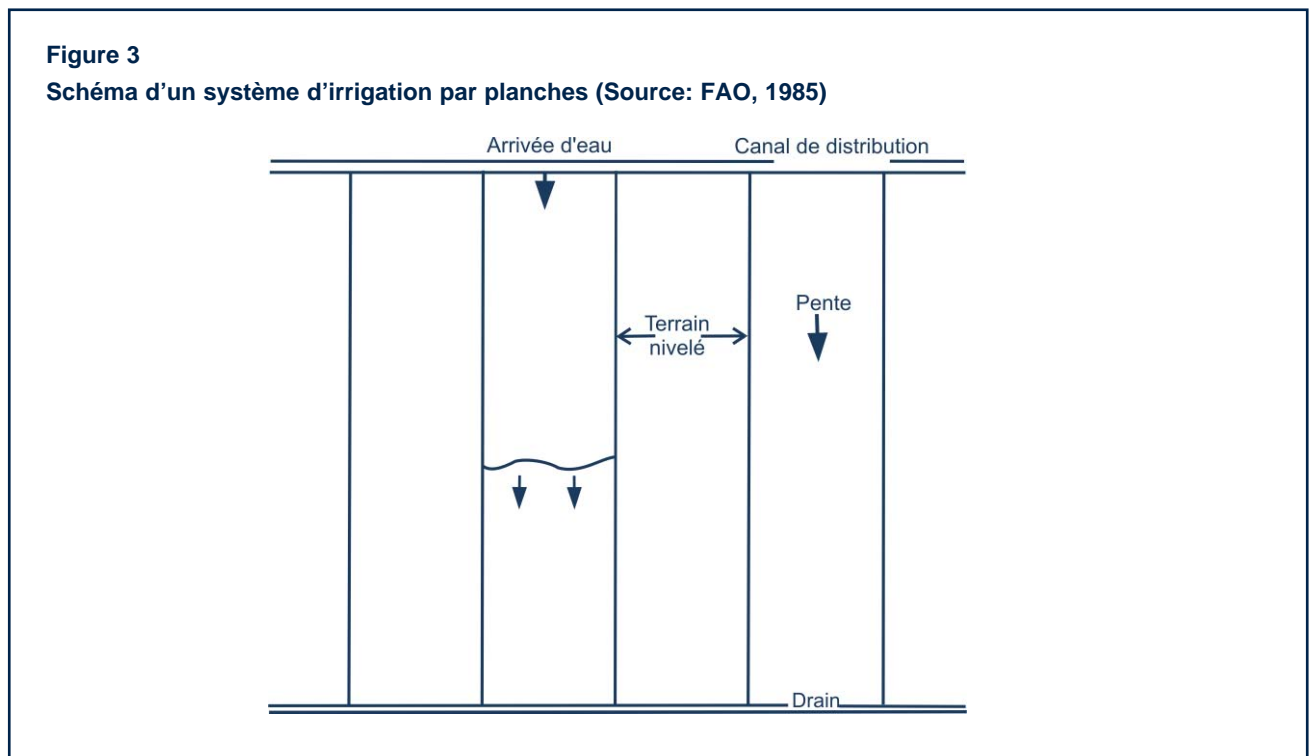
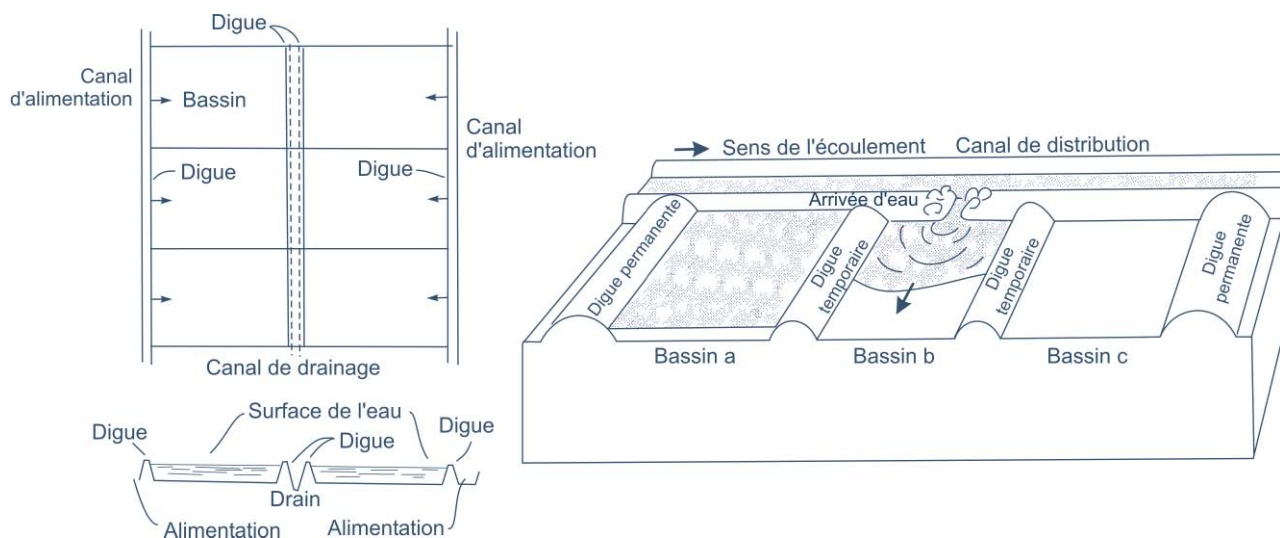
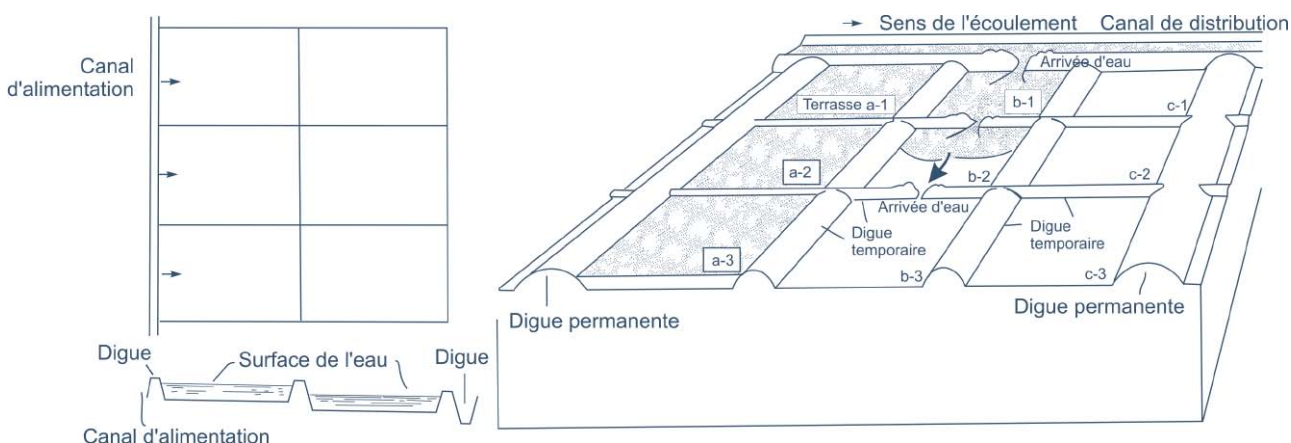


Figure 4
Schéma d'un système d'irrigation par bassins (Source: FAO, 1985)



Méthode d'alimentation directe des bassins avec un canal de drainage à mi-chemin entre les canaux d'alimentation. Le bassin «a» est irrigué, puis le bassin «b» et ainsi de suite.



Méthode d'alimentation en cascade des bassins avec disposition en gradins. Idéal sur un terrain en terrasses où l'eau amenée à la terrasse supérieure se déverse ensuite sur une terrasse plus basse et ainsi de suite.

cultures irriguées par bassins il y a notamment le riz, la luzerne, les cultures en lignes et les vergers. La taille des bassins varie de 1-2 m² à 3-4 ha selon la dose d'arrosage, la pente du terrain et les pratiques agricoles. En général, pour un même taille de jet et une même dose d'irrigation, les bassins doivent être plus petits sur un sol léger que sur un sol lourd. Sur des terrains fortement inclinés, la construction de terrasses peut s'avérer nécessaire pour l'installation des bassins. La largeur des terrasses varie habituellement de 1.5 m sur des pentes de 4% à 150 m sur des pentes de 0.1%. La figure 4 représente des bassins rectangulaires irrigués avec l'eau d'un canal situé sur l'exploitation.

3.1.2. Systèmes d'irrigation par aspersion

Une installation d'irrigation par aspersion est formée d'un réseau de conduites dans lesquelles circule de l'eau sous pression qui est livrée aux cultures au moyen de buses d'asperseur. Ce système simule la pluie, l'eau étant appliquée par pulvérisation aérienne. Cette technique est d'ailleurs également appelée «arrosage en pluie». De ce fait, la distribution de l'eau dans certains systèmes par aspersion est considérablement altérée par la vitesse et le régime du vent dans une région particulière.

Les systèmes d'irrigation par aspersion conviennent à la plupart des cultures, sauf celles dont le feuillage ne tolère

pas un contact prolongé avec l'eau ou celles qui nécessitent une stagnation d'eau à un certain stade de leur croissance. Contrairement à la quasi-totalité des installations d'irrigation de surface, ils se prêtent bien aux arrosages légers et fréquents. Ils comportent un important élément de gestion intégrée en ce sens qu'on applique facilement le volume exact d'eau requis alors qu'en irrigation de surface, il est impossible de livrer avec précision la dose d'arrosage souhaitée à un moment donné. Les besoins en main-d'œuvre sont nettement moins importants que pour les infrastructures de surface. En revanche, ces systèmes sont relativement peu économes en énergie et la qualité de l'eau doit être assez bonne pour ce qui est de la teneur en sodium et chlorite. Ils sont également sensibles au vent.

Il existe plusieurs types de systèmes d'irrigation par aspersion, que l'on peut classer en **systèmes à poste fixe**, qui fonctionnent avec des asperseurs à des positions fixes, du moins pendant un certain temps, et **systèmes à déplacement continu**, qui fonctionnent pendant qu'ils se déplacent.

Installations fixes

Cette catégorie peut encore être subdivisée selon qu'il est nécessaire ou non de déplacer les asperseurs suivant une série de positions au cours de l'arrosage d'un champ. On distingue donc entre **systèmes à déplacement périodique** et **systèmes à poste fixe**. Les systèmes à déplacement périodique sont à leur tour subdivisés, selon la méthode de déplacement des asperseurs et des rampes, en systèmes déplacés à la main et systèmes à déplacement mécanique.

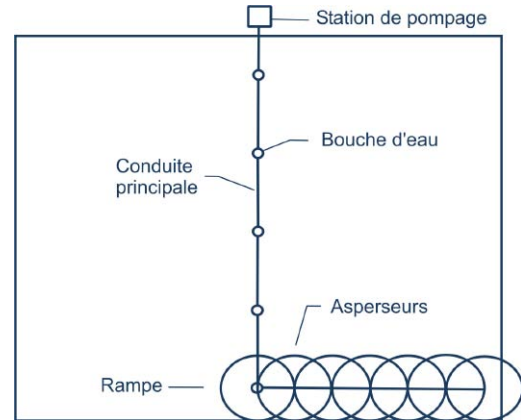
Systèmes d'irrigation par aspersion déplacés périodiquement à la main

Les systèmes de rampes déplacées à la main comprennent des conduites principales portables ou enterrées, des conduites secondaires et des vannes de bouche d'eau placées à intervalles pour le branchement des rampes (figure 5).

Ils utilisent généralement des rampes à raccordement rapide qui sont transportées à la main d'une prise d'eau à l'autre. Ils exigent donc une main-d'œuvre plus nombreuse que les autres méthodes par aspersion. Ce sont en fait les prédécesseurs des systèmes à déplacement mécanique, qui ont été mis au point pour réduire la main-d'œuvre. Les systèmes déplacés à la main conviennent pour des champs de forme irrégulière, des topographies à déclivité relativement forte et peuvent être utilisés pour la plupart des cultures de plein champ.

Figure 5

Schéma d'un système d'irrigation par aspersion à déplacement périodique (Source: Keller et Bliesner, 1990)

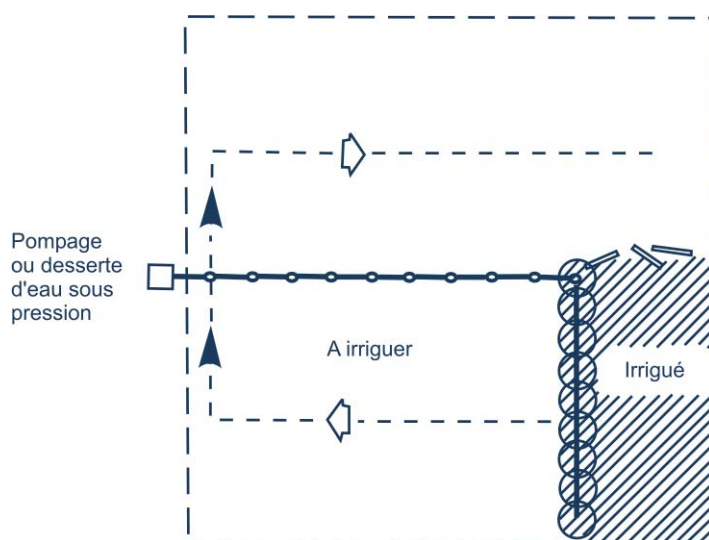


Les besoins de main-d'œuvre étant importants, ils conviennent parfaitement là où celle-ci est abondante et bon marché. On trouvera ci-dessous une brève description des différentes installations déplacées périodiquement à la main (portables, semi-portables et alimentées en eau par des tuyaux flexibles). Les différents systèmes se distinguent selon que leurs éléments sont déplaçables ou fixes.

Systèmes portables

Ce type de système comporte des conduites principales, des conduites secondaires, des rampes en aluminium ou en acier léger portables et parfois même des pompes portables. Cela signifie que le matériel peut être déplacé d'une zone à l'autre pour effectuer les activités d'irrigation requises. Il est donc possible d'irriguer des champs différents occupés par différentes cultures avec le même matériel. Ce type d'installation convient pour des superficies situées le long de cours d'eau pérennes ou qui disposent de plusieurs sources d'eau à proximité ou comme irrigation d'appoint. On l'utilise beaucoup pour le tabac en raison de la rotation de 3-4 ans appliquée pour cette culture. La figure 6 représente un système portable avec une seule rampe en service. La zone en grisé est déjà irriguée. La rampe se déplace vers la pompe dans le sens des aiguilles d'une montre. Lorsqu'elle atteint la dernière position, la plus proche de la pompe, elle passe de l'autre côté de la conduite principale puis s'éloigne de la station de pompage. Une fois ce côté terminé, la conduite principale peut être placée à un autre poste et la partie suivante sera irriguée en déplaçant la rampe de la façon décrite ci-dessus.

Figure 6
Schéma d'un système d'irrigation par aspersion portable (Source: FAO, 1990)



Systèmes semi-portables

Le système semi-portable ou semi-permanent est généralement équipé de conduites principales et secondaires permanentes en amiante-ciment ou en uPVC, qui doivent être enterrées, et de rampes déplaçables en aluminium ou en acier léger. Les conduites principales et secondaires ne peuvent donc pas être déplacées. Les systèmes portables et semi-portables sont couramment utilisés dans de nombreuses régions du monde. La figure 7 représente une installation semi-portable dans laquelle les rampes d'asperseurs sont déplacées pendant l'irrigation. On trouvera une description plus détaillée des systèmes semi-portables dans le Module 8.

Systèmes à alimentation par tuyaux flexibles

Ces systèmes comportent des conduites principales et secondaires et des rampes enterrées. Les tuyaux sont fixés, à une extrémité, sur les prises d'eau ou bouches d'arrosage des rampes et à l'autre, sur les tubes allongés, montés sur trépied. Les asperseurs sont fixés sur des trépieds. Généralement, chaque tuyau est relié à un asperseur. La figure 8 représente schématiquement un système alimenté en eau par des tuyaux souples dans lequel les asperseurs, raccordés à la conduite d'alimentation par des flexibles, occupent différentes positions. Une condition essentielle à une humidification uniforme est le caractère systématique du déplacement des asperseurs d'un poste à l'autre, qui permet d'obtenir un chevauchement adéquat.

Le tuyau et le trépied sont déplacés manuellement d'un poste d'aspersion à l'autre. Utilisés initialement pour

arroser des citrus et des vergers, ces systèmes sont aujourd'hui de plus en plus répandus en Afrique australe dans les exploitations de canne à sucre, les cultures de plein champ et les cultures légumières. La longueur du tuyau varie en fonction de la facilité d'exploitation recherchée et de l'investissement initial. Une longueur de 30 m est considérée comme raisonnable. Le système d'irrigation à alimentation par tuyaux flexibles est mis en œuvre avec succès au Zimbabwe dans le secteur de la petite irrigation depuis 1988. Une estimation réalisée en 1997 a révélé que plus de 30% des périmètres de petite irrigation avaient recours à cette technique. D'autres pays, comme l'Afrique du Sud, le Swaziland, le Malawi et le Kenya, l'utilisent également. Une description plus détaillée est donnée dans le Module 8.

Systèmes déplacés périodiquement par un moyen mécanique

Plusieurs systèmes à déplacement mécanique ont été introduits ces trente dernières années dans le but de réduire le coût de la main-d'œuvre. Les plus courants sont brièvement décrits ci-dessous.

Rampe montée sur roues ou sur supports équipés de roues

Ces systèmes diffèrent de ceux déplacés manuellement par le fait que le déplacement de la rampe s'effectue mécaniquement. Ils consistent en une rampe à raccords rigides montée sur roues entraînée mécaniquement par une source d'énergie (un moteur, par exemple) en son milieu ou à son extrémité. Le nombre de roues varie selon la

Figure 7

Plan d'une installation d'irrigation par aspersion semi portable basé sur un écartement de 12 m x 12 m avec des tertiaires desservant deux parcelles

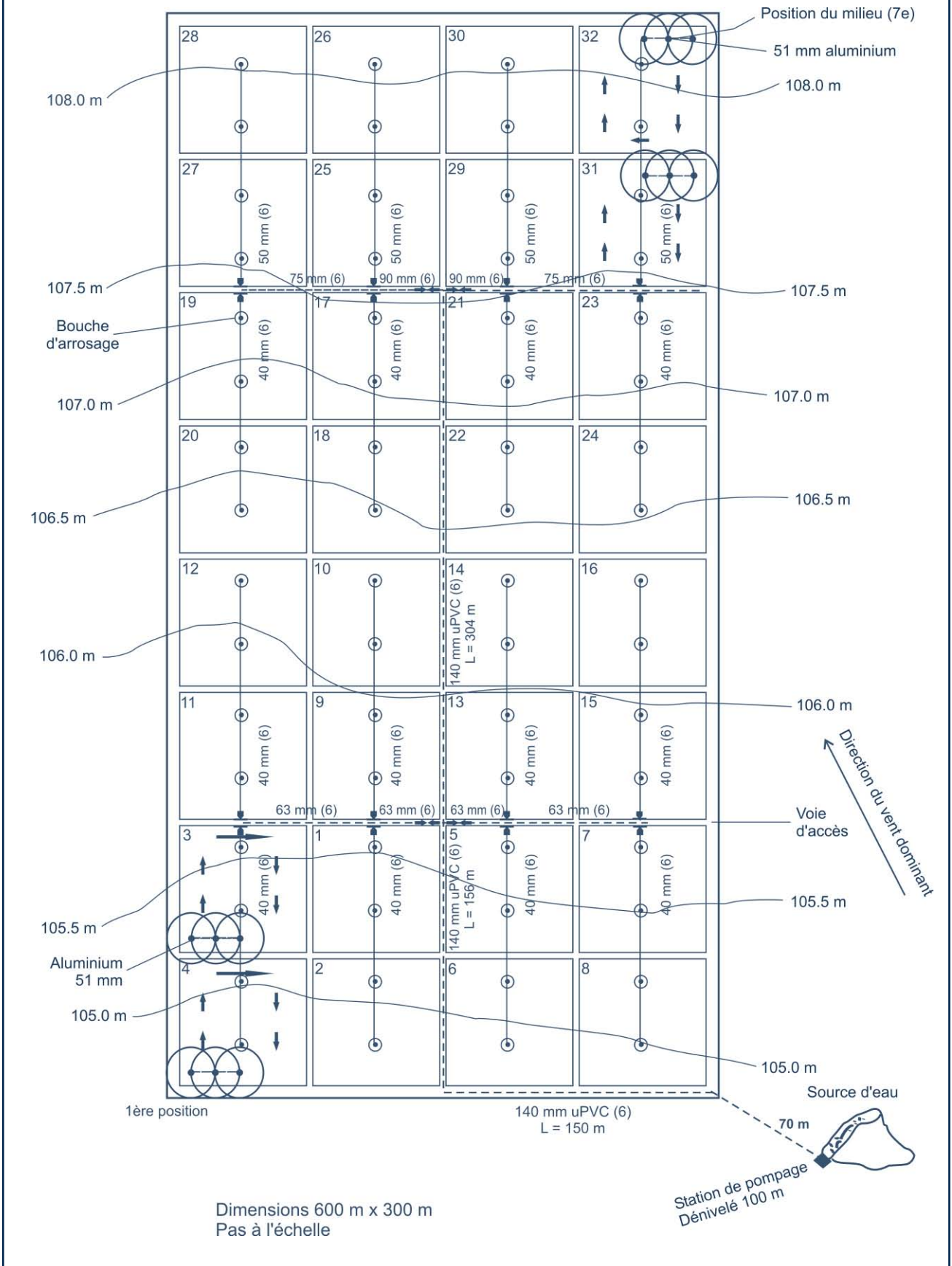


Figure 8

Plan d'une installation d'irrigation par aspersion à alimentation par tuyaux flexibles sur la base d'un espacement de 12 m x 12 m

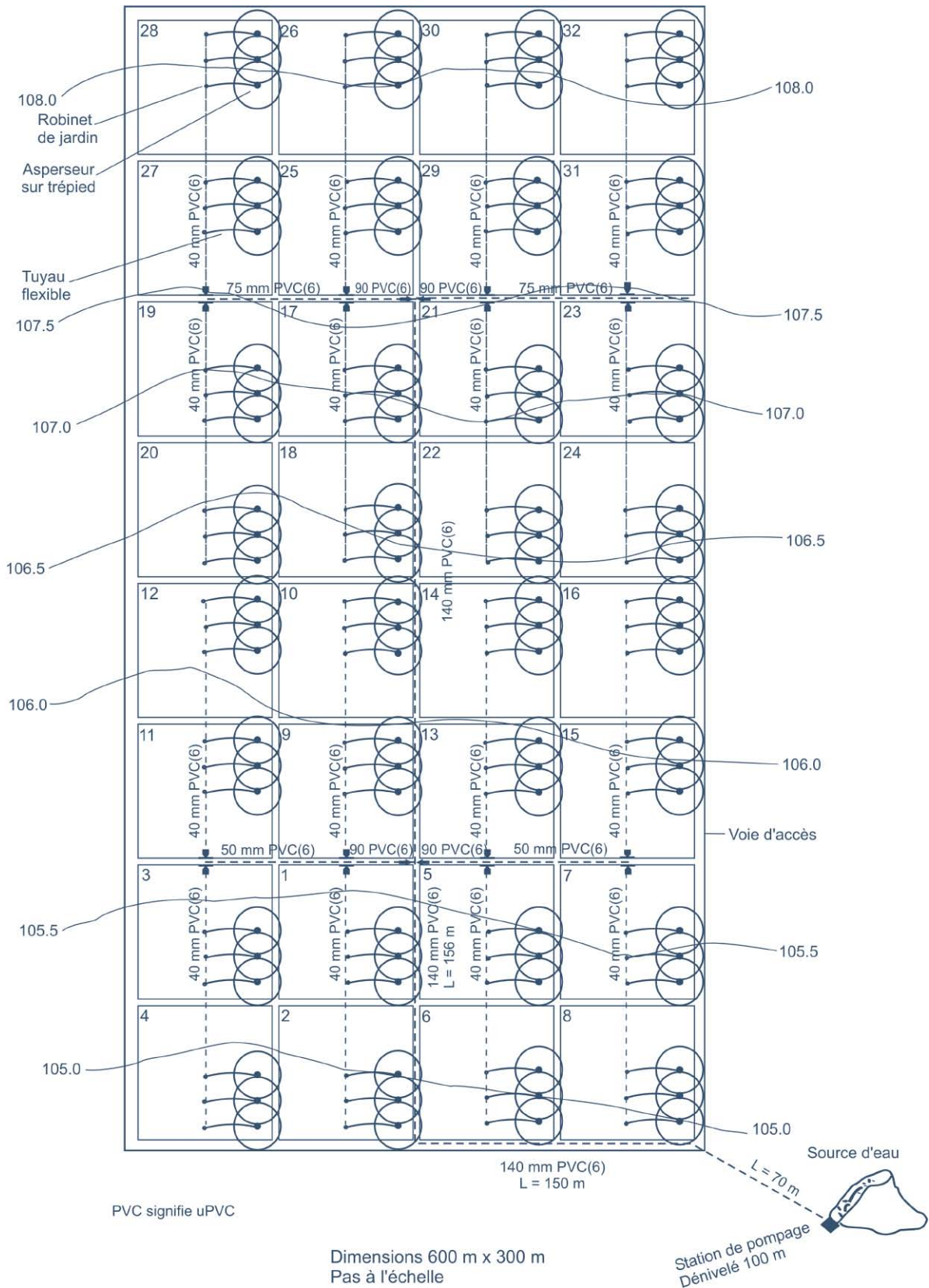
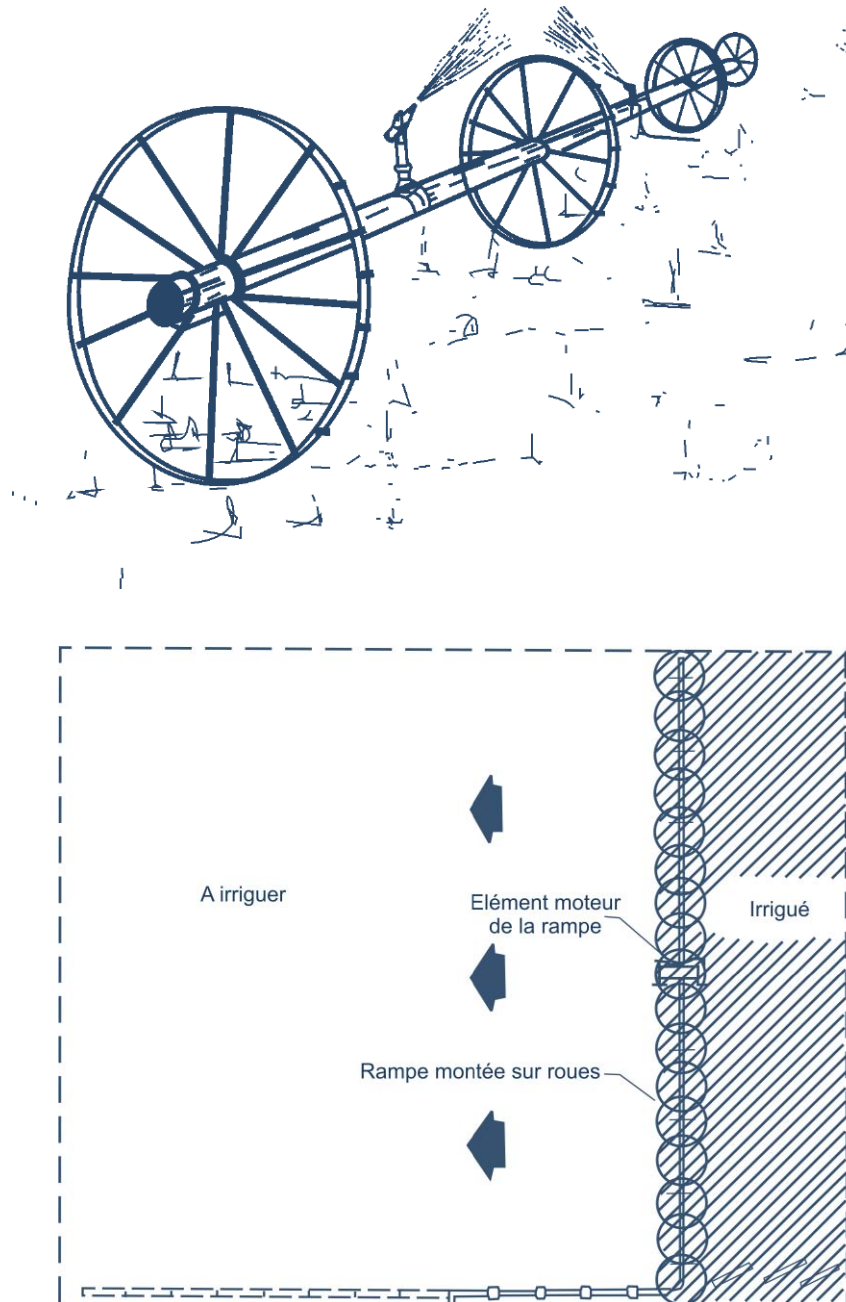


Figure 9

Schéma d'un système d'irrigation par rampe d'asperseurs montée sur roues et rampe montée sur roues
(Source: FAO, 1982)



longueur de la rampe. La rampe est reliée à la conduite principale par un tuyau souple ou un tube portable en aluminium. Pendant le fonctionnement, les roues restent immobiles. Lorsqu'il faut changer la position de la rampe, un moteur entraîne les roues jusqu'à l'emplacement suivant. La figure 9 représente un schéma type de chantier d'arrosage avec ce système et sa rampe montée sur roues.

Ce matériel présente l'inconvénient de convenir uniquement pour des cultures basses et principalement des

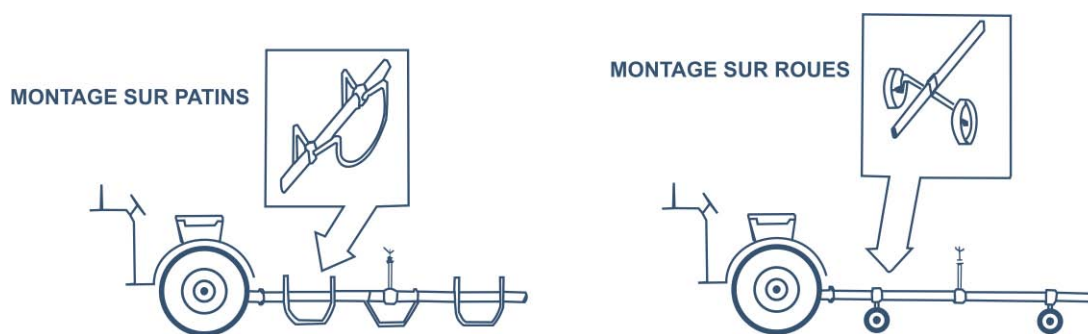
champs rectangulaires. En raison de la longueur de la rampe (environ 500 m) il s'adapte mal aux topographies peu homogènes ou aux pentes raides. Avec le système de rampe sur supports équipés de roues, la rampe est élevée à 1.5 m du sol, ce qui permet d'arroser des cultures plus hautes. De façon générale, les deux systèmes présentent l'inconvénient de devoir être tractés jusqu'à leur position de départ une fois qu'ils ont atteint l'extrémité du champ, une opération qui prend beaucoup de temps.

Systèmes de rampe tractée

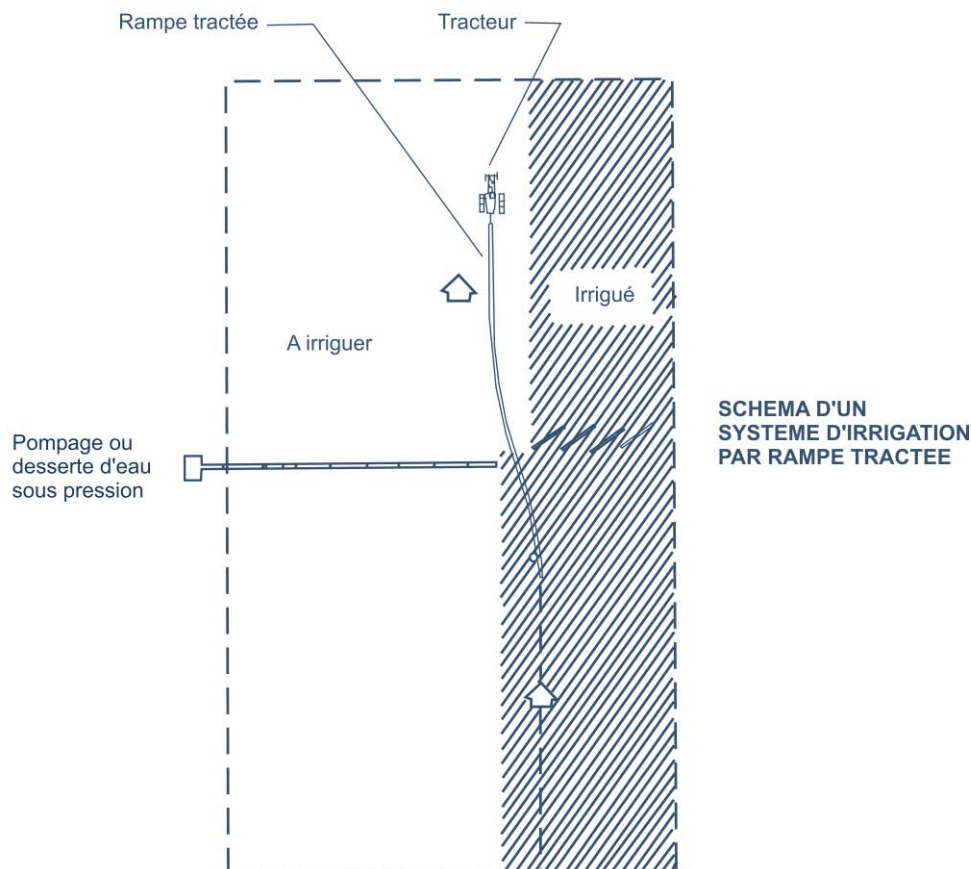
Ces systèmes sont à peu près les mêmes que les systèmes à déplacement manuel mais ils sont équipés de rampes à raccords rigides, pouvant atteindre 400 m de long, reliés à la conduite principale pendant le fonctionnement. Ils doivent en outre être remorqués d'un côté à l'autre de la conduite principale, généralement à l'aide de machines

comme des tracteurs plutôt qu'à la main. En raison de la longueur de la rampe, ce système n'est pas conçu pour des champs de forme irrégulière, des topographies accidentées et peu homogènes ou des cultures en lignes cultivées suivant les courbes de niveau. La figure 10 est une représentation schématique de la rampe sur patins ou sur roues et des mouvements successifs d'un système d'irrigation par rampe tractée.

Figure 10
Schéma d'un système d'irrigation par rampe d'asperseurs tractée et montage sur patins ou sur roues d'une rampe tractée (Source: FAO, 1982)



Montage sur patins ou sur roues d'une rampe d'asperseurs tractée



Systèmes d'irrigation par canon et par arroseur géant

Les canons d'arrosage sont munis de grosses buses, de 16 mm de diamètre ou plus. Leur rotation est assurée par un batteur. Les arroseurs géants sont équipés de bras rotatifs portant les asperseurs. Les deux types d'appareils fonctionnent à une charge pouvant atteindre 62 mètres (soit 6.2 bars) et livrent un débit d'environ 31.5 l/s (Keller et Bliesner, 1990). Ils sont employés pour la plupart des cultures, principalement en irrigation d'appoint. Leur utilisation se limite aux sols à texture grossière car les sols à texture plus lourde ont des vitesses d'infiltration faibles

incompatibles avec les taux d'arrosage élevés de ces matériels.

Les canons et arroseurs géants sont généralement montés sur un chariot ou sur patins, qu'il faut tracter d'un poste à l'autre. La figure 11 représente deux schémas types d'aménagement d'irrigation par canon. Dans le premier cas, le canon est tiré vers l'enrouleur fixe par le tuyau d'alimentation en eau; dans l'autre, il se tire sur le tuyau d'alimentation et l'enrouleur avance vers l'ancrage du tuyau à mesure que le tuyau s'enroule sur le tambour.

Figure 11
Schéma d'un système d'irrigation par canon et machine d'irrigation (Source: FAO, 1982)

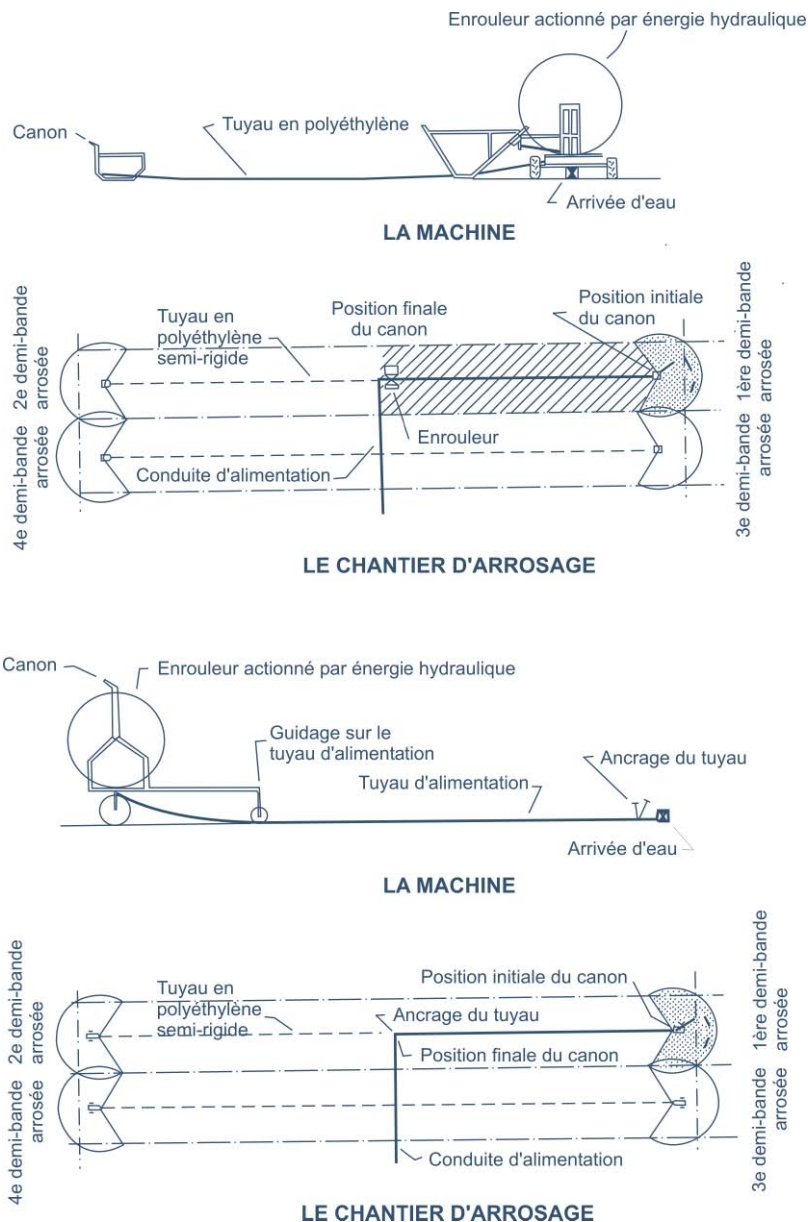
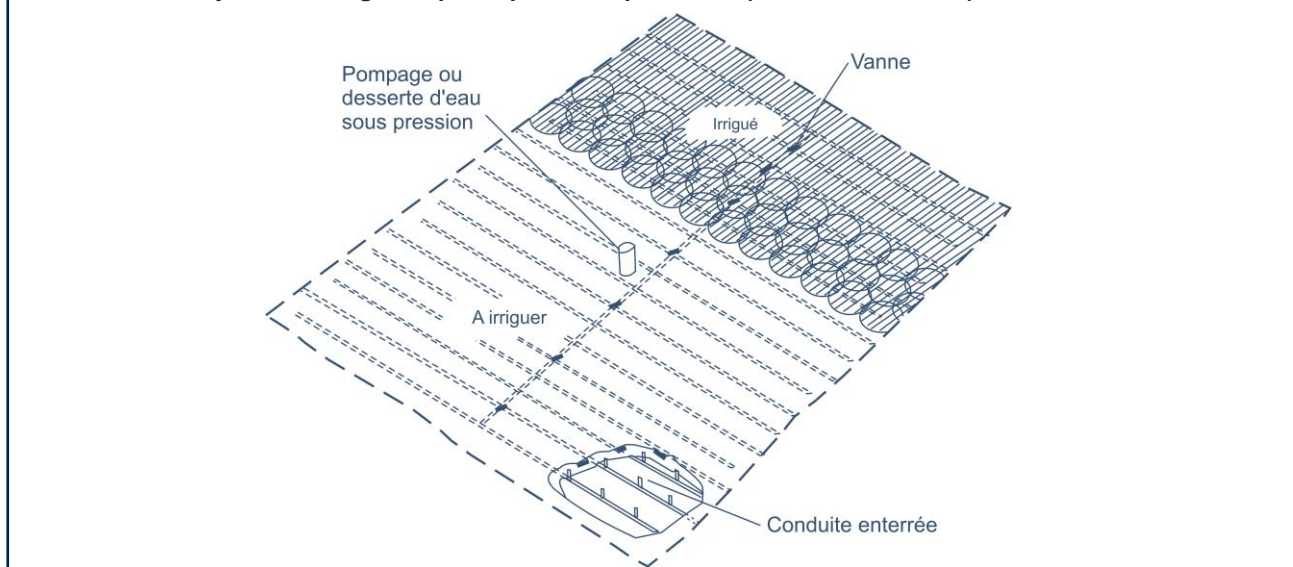


Figure 12

Schéma d'un système d'irrigation par aspersion à poste fixe (Source: FAO, 1982)



Systèmes d'irrigation par aspersion à poste fixe

Ces systèmes peuvent être subdivisés en systèmes fixes à couverture intégrale et systèmes permanents, décrits plus loin. Au niveau de l'exploitation, ce sont des installations de type «marche-arrêt» qui nécessitent donc un temps de travail très faible mais requièrent un important investissement financier.

Les systèmes à poste fixe peuvent être automatisés avec un système de contrôle automatique programmable pour l'arrosage, le rafraîchissement et la protection contre le gel. Dans l'exemple du réseau d'irrigation par aspersion à poste fixe à la figure 12, tout le système est entièrement fixe.

Systèmes fixes à couverture intégrale

Ces systèmes possèdent des rampes en quantité suffisante pour rendre leur déplacement inutile. Les conduites principales ou secondaires peuvent être enterrées ou portables. Les asperseurs sont généralement suffisamment nombreux et ne doivent donc pas être déplacés pendant la période d'irrigation mais leur position est parfois modifiée à l'intérieur de la surface couverte par les rampes. Ces systèmes sont utilisés pour les cultures de haute valeur et conviennent pour des arrosages légers et fréquents, notamment pour la germination des semences.

Systèmes permanents

Ils sont constitués de conduites principales et secondaires et de rampes enterrées permanentes avec des asperseurs fixés en permanence sur les rampes. Souvent seul le tube allonge et son asperseur dépassent du sol. Ce type d'équipement permet de réaliser des arrosages légers et fréquents, sert à protéger contre le gel et à rafraîchir

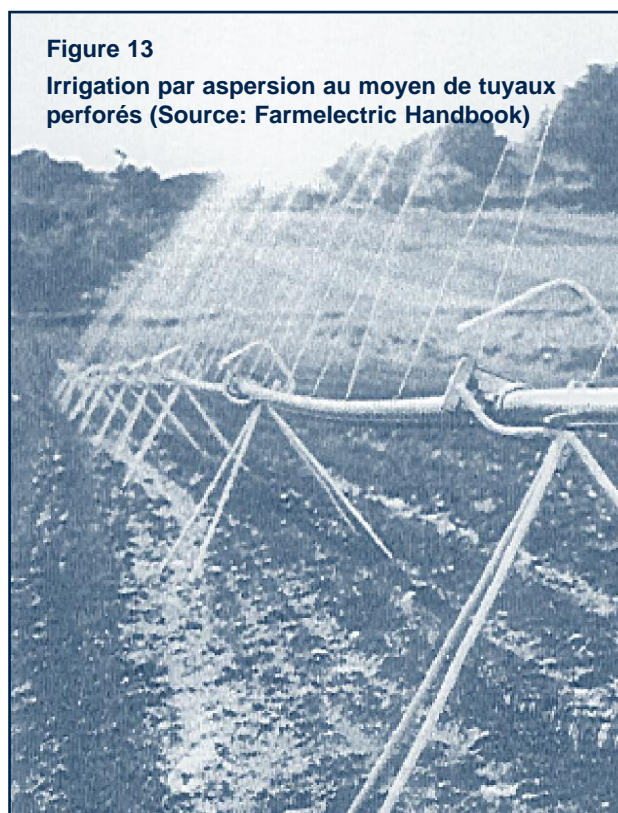
l'atmosphère et convient idéalement à l'automatisation. Il est souvent utilisé pour l'irrigation de vergers, de vignobles et autres cultures spéciales. Il offre de hautes efficacités d'irrigation et nécessite très peu de main-d'oeuvre.

Systèmes d'irrigation par aspersion équipés de tuyaux perforés

Ces systèmes utilisent des tuyaux percés de petits trous pour pulvériser l'eau (figure 13). Les trous, généralement de 1.6 mm de diamètre, sont espacés de façon uniforme

Figure 13

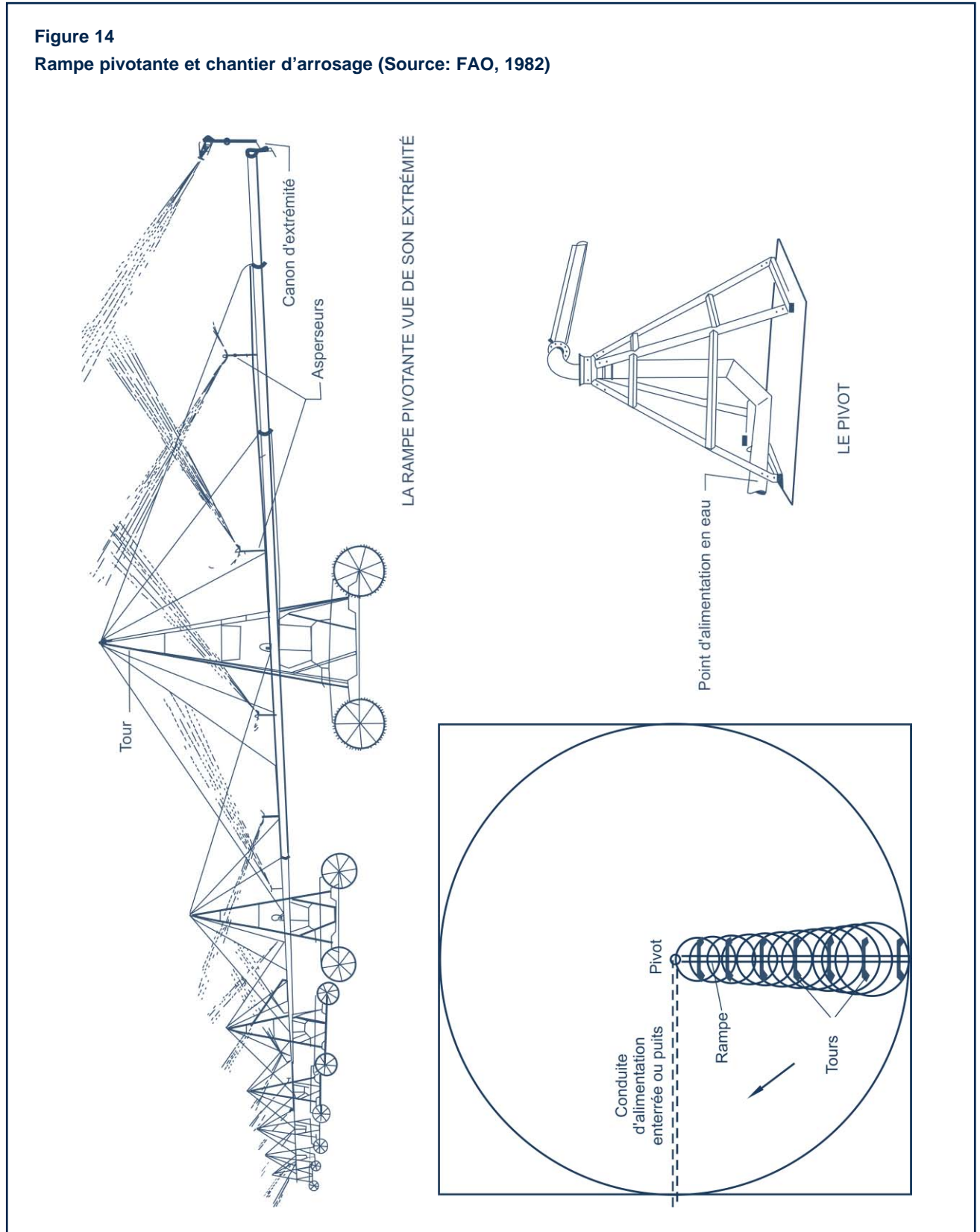
Irrigation par aspersion au moyen de tuyaux perforés (Source: Farmelectric Handbook)



sur le haut et les côtés de la rampe. Selon Keller et Bliesner (1990), ce système sert principalement à l'arrosage de gazons de jardin et se prête bien aux sols à texture grossière en raison de ses vitesses d'arrosage élevées. Avec une vitesse d'arrosage minimum réalisable d'environ 13 mm/h, il ne

convient pas aux sols à texture lourde. Au Zimbabwe, ce type d'équipement est utilisé pour la production de légumes et de plants de tabac mais son emploi tend à diminuer du fait du succès croissant de l'irrigation par micro-asperseurs.

Figure 14
Rampe pivotante et chantier d'arrosage (Source: FAO, 1982)



Systèmes à déplacement continu

Il s'agit de systèmes équipés de rampes d'asperseurs motorisées qui arrosent pendant qu'elles se déplacent. Leur développement répond à un besoin de réduction de main-d'œuvre. Sont principalement inclus dans cette catégorie les rampes pivotantes, les rampes frontales et les arroseurs automoteurs.

Rampe pivotante

C'est l'un des systèmes d'irrigation les plus répandus. L'équipement à pivot central est constitué d'une rampe montée sur des tours d'acier. L'extrémité fixe de la rampe, le pivot, est branchée sur une alimentation en eau (figure 14). Le tuyau porte différentes tailles d'asperseurs à impact, de tourniquets à deux buses ou de micro-diffuseurs. Les tours d'acier, ou travées, sont équipées de roues qui tournent de façon continue autour d'un axe central pivotant. La vitesse de déplacement varie d'une tour à l'autre. Plus la tour est proche du centre de la rampe pivotante plus les roues tournent lentement.

Les rampes pivotantes diffèrent en longueur selon la surface à irriguer et peuvent arroser jusqu'à 120 ha. Leur hauteur varie également: les profils sont bas, standard ou hauts (de 3 à 5 m). Les rampes peuvent être équipées de canons d'extrémité pour irriguer des superficies irrégulières à la périphérie du cercle. Ces systèmes s'emploient pour la plupart des cultures de plein champ. Ils sont

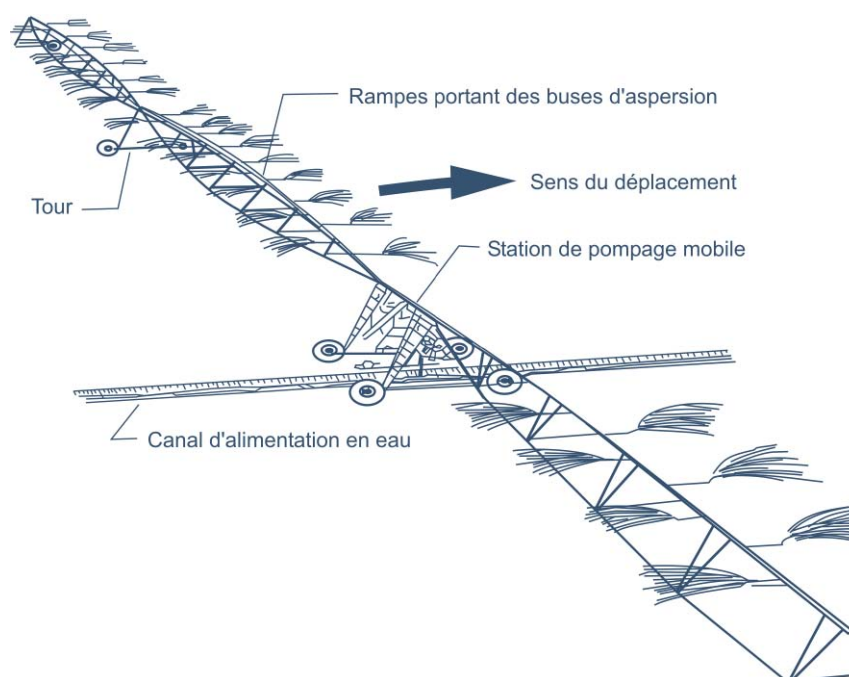
particulièrement indiqués sur des sols qui tolèrent des vitesses d'infiltration importantes et des périmètres dépourvus d'obstacles telles que lignes électriques ou bâtiments.

L'emploi des rampes pivotantes est en expansion dans les grandes exploitations d'Afrique orientale et australe. Le succès des rampes pivotantes munies de buses tient principalement au faible coût par hectare des gros modèles et aux faibles besoins de main-d'œuvre et d'énergie. Les équipements équipés de cannes de descente qui placent les buses juste au-dessus des cultures sont très utiles dans des conditions de vent fort.

Rampes frontales

Ces systèmes sont similaires aux rampes pivotantes, à la différence qu'au lieu d'avoir une alimentation en eau fournie à partir d'un axe central autour duquel tourne la rampe, un dispositif d'alimentation, tel qu'un canal découvert ou un tuyau flexible, est fourni sur toute la longueur de l'axe de déplacement de la rampe. La rampe avance donc de façon linéaire pendant l'arrosage. De ce fait, ce système sert à arroser des champs rectangulaires, qui doivent être libres de tout obstacle. Une fois qu'il a atteint l'extrémité de la parcelle irriguée, l'appareil est ramené au point de départ. La figure 15 représente un système de rampe frontale puisant l'eau dans un canal d'alimentation à mesure qu'il avance.

Figure 15
Système de rampe frontale (Source: FAO, 1982)



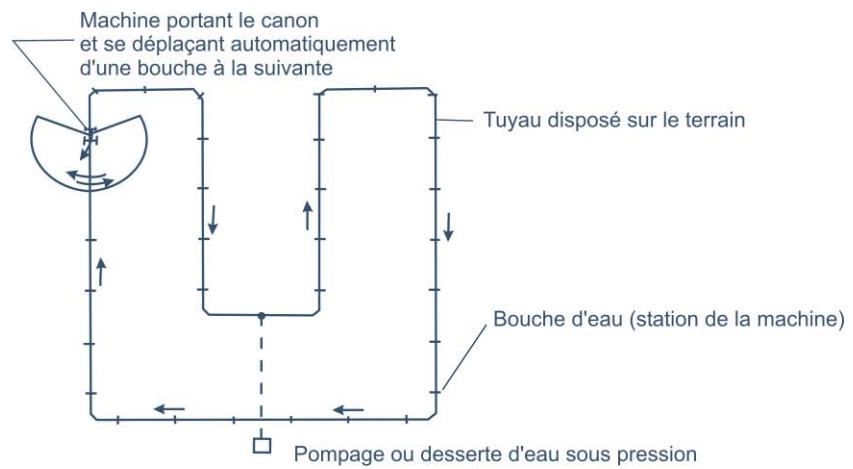
Arroseurs automoteurs

Une des variantes les plus récentes des systèmes à déplacement continu est le chariot mobile équipé d'une rampe se déplaçant de façon continue pendant l'arrosage. Un long tuyau flexible assure l'alimentation en eau à partir de la conduite principale. La rampe est un canon ou un arroseur géant équipé de diffuseurs basse pression monté sur une machine d'irrigation équipée de roues. La figure 16 illustre les éléments d'un appareil tiré par un câble et donne le schéma type d'un réseau.

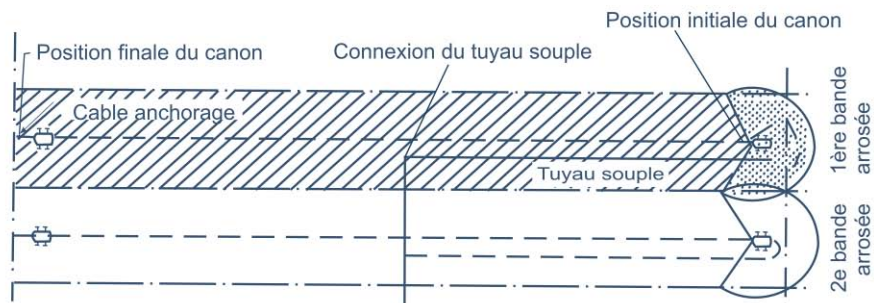
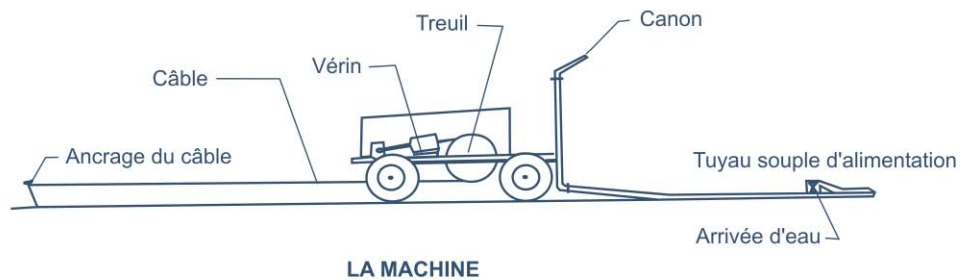
Les canons d'arrosage peuvent également être tractés par un tuyau flexible pendant l'arrosage, comme le montre la figure 11. Dans ce cas, la machine d'irrigation se traîne sur le tuyau d'alimentation en eau ou est tractée par celui-ci. Contrairement au canon automoteur, l'arroseur géant équipé de buses basse pression est comparable à la rampe pivotante et a fait ses preuves dans l'irrigation de plusieurs types de cultures produites sur des sols différents.

Figure 16

Arroseur automoteur à câble et schémas de principe (Source: FAO, 1982)



Chantier d'arrosage d'une machine se déplaçant automatiquement entre les postes d'arrosage



3.1.3. Systèmes d'irrigation localisée

L'irrigation localisée permet un apport direct d'eau filtrée (et d'engrais) sur le sol et dans le sol. L'eau est distribuée à basse pression par un réseau de conduites, selon un schéma prédéterminé, et appliquée à faibles débits à chaque plante ou à proximité. On distingue trois grandes catégories d'irrigation localisée:

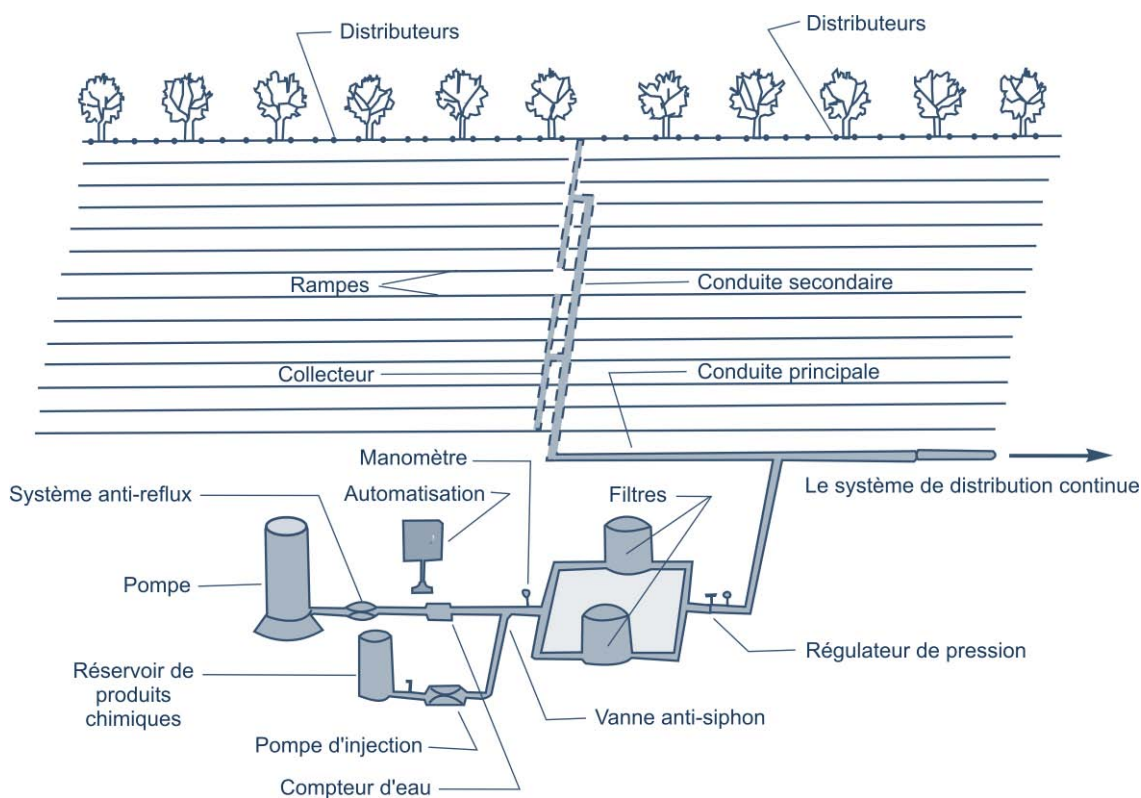
- ❖ *irrigation goutte à goutte*: des goutteurs apportent lentement l'eau à la surface du sol;
- ❖ *irrigation par micro-diffuseurs*: l'eau est pulvérisée sur le sol près de chaque arbre;
- ❖ *irrigation par barboteurs*: un petit cours d'eau inonde des petits bassins ou le sol à côté de chaque arbre.

Une installation comprend l'unité de tête qui filtre et contrôle l'alimentation en eau et en engrais du réseau, les tuyaux en plastique enterrés qui assurent l'alimentation des rampes, les rampes en polyéthylène (généralement de 16 à 20 mm de diamètre) qui apportent l'eau aux distributeurs et les distributeurs qui livrent l'eau à des endroits et à des débits prédéterminés. La figure 17 montre les éléments de

base d'un système d'irrigation localisée. C'est un système qui requiert d'importants investissements. Il est composé d'éléments de gestion intégrée et nécessite une main-d'œuvre peu importante mais qualifiée.

Cette technique a pour principal avantage la possibilité de réduire les besoins en eau et d'atteindre une très grande efficacité, tout en augmentant le rendement et la qualité des cultures. Elle a donné de bons rendements en arboriculture et production légumière. La irrigation localisée permet des arrosages très fréquents, quotidiens si nécessaire. C'est pourquoi elle se prête particulièrement bien aux sols légers peu profonds, quelle que soit la pente, et aux cultures à faible enracinement. Elle s'est avérée adéquate pour la plupart des cultures en lignes. Les principaux inconvénients sont le coût d'investissement, la sensibilité à l'obstruction et l'accumulation localisée de sels, surtout dans les zones à faible pluviométrie. De ce fait, ce type de système nécessite une gestion minutieuse sur le plan de l'entretien. Le Module 9 étudie la planification, la conception, l'exploitation et la maintenance des systèmes d'irrigation localisée.

Figure 17
Éléments essentiels d'un système d'irrigation localisée (Source: FAO, 1997b)



3.2. Efficacités d'irrigation

La population humaine étant de plus en plus nombreuse, la demande de ressources en eau ne cesse de croître. Aussi assiste-t-on aujourd'hui à une concurrence farouche pour l'utilisation de l'eau à des fins agricoles, industrielles, domestiques et environnementales. Cela suppose une utilisation de l'eau - disponible en quantité limitée - plus efficace pour limiter les conflits entre les différents secteurs d'activité. On trouvera dans cette section quelques informations essentielles susceptibles d'aider les planificateurs à choisir un système d'irrigation en fonction du degré d'efficacité. Pour plus de précisions, le lecteur pourra consulter des ouvrages traitant plus particulièrement de ce sujet.

Au cours de l'arrosage des cultures, des pertes d'eau se produisent. Ces pertes doivent être prises en compte lors du calcul des besoins d'irrigation bruts d'un projet. Ceci peut se faire à l'aide d'un facteur d'efficacité, qui sera évalué au stade de la planification. Le degré d'efficacité varie en fonction du type de système. La superficie qu'il est possible d'irriguer à partir d'une source d'eau limitée sera d'autant plus importante que l'efficacité d'irrigation sera

bonne et plus le lessivage des éléments nutritifs et les dégâts causés au sol seront limités, plus le système sera respectueux de l'environnement. L'eau économisée peut servir à d'autres fins de production

L'efficacité globale, aussi appelée efficacité du système (E_s), comprend l'efficacité de transport (E_t), l'efficacité des canaux de distribution (E_c) et l'efficacité d'irrigation à la parcelle (E_a). Selon la FAO (1992):

- ❖ l'efficacité de transport (E_t) est le rapport entre l'eau reçue à la prise d'eau d'un bloc de champs et l'eau libérée à l'unité de tête;
- ❖ l'efficacité des canaux de distribution (E_c) est le rapport entre l'eau reçue à la prise d'eau de la parcelle et l'eau reçue à la prise d'eau du bloc de champs;
- ❖ l'efficacité d'irrigation à la parcelle (E_p) est le rapport entre l'eau directement disponible pour la culture et l'eau reçue à la prise d'eau du champ;
- ❖ l'efficacité du système (E_s) est le rapport entre l'eau mise directement à la disposition de la culture et l'eau libérée à l'unité de tête, soit $E_s = E_t \times E_c \times E_p$.

Tableau 2
Efficacités du transport, des canaux de distribution et de l'arrosage à la parcelle (Adapté de: FAO, 1992)

Système d'irrigation et type d'efficacité	USDA	US (SCS)	CIID/ILRI
Efficacité de transport (E_t)			
- Alimentation continue sans changement de débit important			0.9
- Alimentation par rotation dans des projets de 3 000-7 000 ha et zones de rotation de 70-300 ha avec gestion efficace de l'eau			0.8
- Alimentation par rotation dans des grands périmètres (> 10 000 ha) et des petits périmètres (< 1 000 ha) avec, dans les deux cas, des problèmes de communication et une gestion moins efficace			
Sur la base d'un programme préétabli			0.7
Sur la base d'une distribution à la demande			0.65
Efficacité des canaux de distribution (E_c)			
- Blocs d'une superficie supérieure à 20 ha			
: canaux non revêtus			0.8
: canaux revêtus ou conduites			0.9
- Blocs jusqu'à 20 ha			
: canaux non revêtus			0.7
: canaux revêtus ou conduites			0.8
Efficacité d'arrosage à la parcelle (E_a)			
- Méthodes de surface			
sols légers	0.55		
sols moyens	0.70		
sols lourds	0.60		
Planche en pente		0.60-0.70	0.53
Bassin et planche plate		0.60-0.80	0.58
Rigole de niveau		0.50-0.55	
Sillon		0.55-0.70	0.57
Raie		0.50-0.70	
- Méthodes souterraines		Jusqu'à 0.80	
- Aspersions			
: climat chaud et sec		0.60	
: climat tempéré		0.70	0.67
: humide et frais		0.80	
- Riz			0.32

L'efficacité de transport et l'efficacité des canaux de distribution sont parfois combinées pour former ce que l'on appelle l'«efficacité du système de distribution», E_d , où $E_d = E_t \times E_c$. De même, l'efficacité des canaux de distribution et celle de l'irrigation à la parcelle se regroupent parfois dans une seule catégorie: l'efficacité d'irrigation à la ferme, E_f , où $E_f = E_c \times E_p$.

L'efficacité des ouvrages de transport est déterminée par plusieurs facteurs, notamment la taille de la superficie irriguée, la taille de l'unité de distribution par rotation, le nombre et les types de cultures cultivées, le type de système de transport et les installations techniques et de gestion pour la maîtrise de l'eau. L'efficacité des canaux de distribution est conditionnée par le mode d'exploitation des infrastructures, le type de sol eu égard aux pertes par infiltration, les dimensions des canaux et la taille des blocs

Tableau 3
Efficacités d'irrigation par aspersion à la ferme dans différents climats (Adapté de: FAO, 1982)

Climat/Température	Efficacité d'irrigation à la ferme E_f *
Frais	0.80
Tempéré	0.75
Chaud	0.70
Désertique	0.65

* Assuming no losses in the distribution system (E_c and $E_p = 1$)

Tableau 4
Efficacités d'arrosage à la parcelle pour des systèmes d'irrigation par aspersion bien gérés (Source: Keller et Bliesner, 1990)

Systèmes et conditions environnementales	Efficacité d'arrosage à la parcelle E_a
Systèmes mobiles et fixes avec excellente uniformité dans des climats frais ou humides et des conditions de vent faible	0.85
Efficacité type pour des systèmes mobiles dans la plupart des climats et conditions de vent; et pour des systèmes fixes avec des vitesses d'arrosage moyennes à élevées et une bonne uniformité dans la plupart des climats et conditions de vent	0.80
Efficacité type utilisée pour des systèmes fixes de dimensions moyennes dans la plupart des climats et conditions de vent et pour des systèmes mobiles dans des climats désertiques et des conditions de vent fort	0.75
Systèmes fixes avec des vitesses d'arrosage élevées dans des climats désertiques et des conditions de vent fort ou avec des vitesses d'arrosage faibles sous d'autres climats avec régime de vent fort; arroseurs automoteurs	0.70
Systèmes fixes avec des vitesses d'arrosage relativement faibles dans des climats désertiques et des conditions de vent fort ou avec des vitesses d'arrosage faibles dans des climats désertiques et avec régime de vent fort	0.65
Systèmes fixes avec des vitesses d'arrosage faibles en gouttelettes fonctionnant dans des climats désertiques et avec des vents moyens à forts; et canons ou arroseurs géants	0.60

Légende pour les systèmes fixes:

- 1) faibles vitesses d'arrosage: 2.5-5.0 mm/h
- 2) vitesses d'arrosage moyennes: 5.0-10 mm/h
- 3) vitesses d'arrosage élevées: plus de 10 mm/h

irrigués. En ce qui concerne l'efficacité du système de distribution, la qualité des opérations techniques et d'organisation constitue un facteur particulièrement déterminant. L'efficacité d'irrigation à la ferme dépend de l'exploitation du principal réseau de distribution d'eau et des compétences des agriculteurs en matière d'irrigation. Les tableaux 2, 3, 4 et 5 présentent des efficacités d'irrigation types selon les expériences décrites dans quatre études différentes.

Le tableau 2 donne les efficacités de transport, des canaux de distribution et d'arrosage à la parcelle pour quatre systèmes d'irrigation différents, telles qu'elles sont proposées par certaines institutions dans différentes conditions sur le plan de l'infrastructure et de la gestion du transport et de la distribution de l'eau.

Les efficacités d'irrigation à la ferme des systèmes d'irrigation par aspersion varient selon les climats. Le tableau 3 reprend les chiffres proposés par la FAO (1982) sur la base du climat.

Le tableau 4 fournit quelques efficacités types d'irrigation à la parcelle dans des systèmes par aspersion bien gérés. Les données sont classées en fonction du type de système utilisé et du climat.

Le tableau 5 présente des efficacités de système (E_s) pouvant servir au calcul des besoins d'irrigation bruts dans des aménagements d'irrigation localisée.

Tableau 5
Efficiences du système pour des réseaux d'irrigation localisée (Source: Rainbird International, 1980)

Climat	Effizienz du système E_s^*
Chaud et sec	0.85
Tempéré	0.90
Humide	0.95

* En supposant qu'il n'y ait aucune perte dans le réseau de distribution (Et et $E_c = 1$)

Le choix des moyens de transport et de distribution d'eau dépend du type de système. Ainsi, les efficacités de transport (E_t) et des canaux de distribution (E_c), et par conséquent l'efficacité du réseau de distribution (E_d), varient selon que l'installation est sous pression ou non. C'est cependant l'efficacité d'arrosage à la parcelle (E_p) qui diffère le plus d'un type de système à l'autre. Généralement, les systèmes d'irrigation localisée sont les plus efficaces (E_p : 85-95%), suivis des systèmes d'irrigation par aspersion (E_p : 60-85%) et des systèmes d'irrigation de surface (E_p : 55-80%). Sur la base de ces données, un système d'irrigation localisée augmente la superficie irriguée de 12 à 42% ($95/85 \times 100$ to $85/60 \times 100$) par rapport à un système par aspersion et de 19 à 55% ($95/80 \times 100$ to $85/55 \times 100$) par rapport à un système de surface.

Concernant l'étude des efficacités de l'irrigation par aspersion à la parcelle (E_p), les données publiées par différentes sources concordent généralement et l'ingénieur utilisera donc l'une quelconque de ces sources, en privilégiant celle qui décrit le mieux les conditions locales. Des différences existent cependant d'une référence à l'autre, en particulier pour les systèmes de surface, car le climat, les sols et les conditions de gestion varient selon les pays. Il est donc préférable de disposer de données locales.

Pour ce qui est de l'efficacité globale du système (E_s), en supposant une efficacité E_t de 0.9 pour des canaux revêtus et un débit continu et une efficacité E_c de 0.8 pour des canaux revêtus, l'efficacité E_s pour des installations de surface sera comprise entre 0.40 ($0.9 \times 0.8 \times 0.55$) et 0.58 ($0.9 \times 0.8 \times 0.8$). E_s dans des systèmes sous pression, si l'on admet que E_t et E_c ont une valeur de 1, variera entre 0.60 ($1 \times 1 \times 0.6$) et 0.85 ($1 \times 1 \times 0.85$) en irrigation par aspersion et entre 0.85 ($1 \times 1 \times 0.85$) et 0.95 ($1 \times 1 \times 0.95$) en irrigation localisée. Ce simple calcul montre que par rapport à l'irrigation de surface, l'irrigation localisée permet de doubler la superficie irriguée. L'augmentation de cette superficie pour l'irrigation par aspersion peut être supérieure à 50%.

L'efficacité d'un système d'irrigation dépend du niveau de gestion pendant l'exploitation ainsi que du degré de gestion intégrée dans le système. En général, les techniques d'irrigation localisée et par aspersion offrent une meilleure gestion intégrée que l'irrigation de surface. Ils permettent ainsi de livrer l'eau pendant une période prédéterminée et de réaliser de bonnes efficacités d'irrigation. C'est surtout le cas avec les équipements automatisés, mais cela s'applique également pour des installations par aspersion plus simples, notamment semi-portables et portables, pour autant que l'agriculteur connaisse la durée d'arrosage. Avec l'irrigation de surface, il est souvent difficile d'appliquer l'eau avec le même degré de précision qu'en irrigation localisée et par aspersion. C'est pourquoi les installations sont moins efficaces. Leurs performances peuvent cependant être considérablement améliorées si les parcelles sont nivelées correctement et régulièrement, si l'exploitant applique les débits adéquats et si la gestion intégrée est facilitée par l'automatisation.

3.3. Paramètres déterminant le choix d'un système d'irrigation

Après avoir examiné les différents types d'irrigation à leur disposition, l'ingénieur spécialiste de l'irrigation et le client décident du système à adopter. Leur choix se fonde sur plusieurs facteurs, énumérés ci-dessous, qui doivent tous être pris en compte lors du processus de décision:

1. Eau
2. Sols et topographie
3. Climat et cultures
4. Capital et main-d'oeuvre
5. Energie
6. Aspects sociaux et politiques
7. Aspects socio-économiques
8. Aspects sanitaires
9. Aspects environnementaux

Une analyse, basée sur ces facteurs, doit être réalisée et différents systèmes possibles seront conçus (étude de faisabilité). Il convient ensuite d'effectuer une analyse économique et financière pour déterminer l'option la plus viable économiquement et financièrement. L'analyse économique et financière est abordée dans le Module 11.

3.3.1. L'eau

Pour faciliter le choix du système d'irrigation, il est nécessaire de répondre à un certain nombre de questions concernant l'eau:

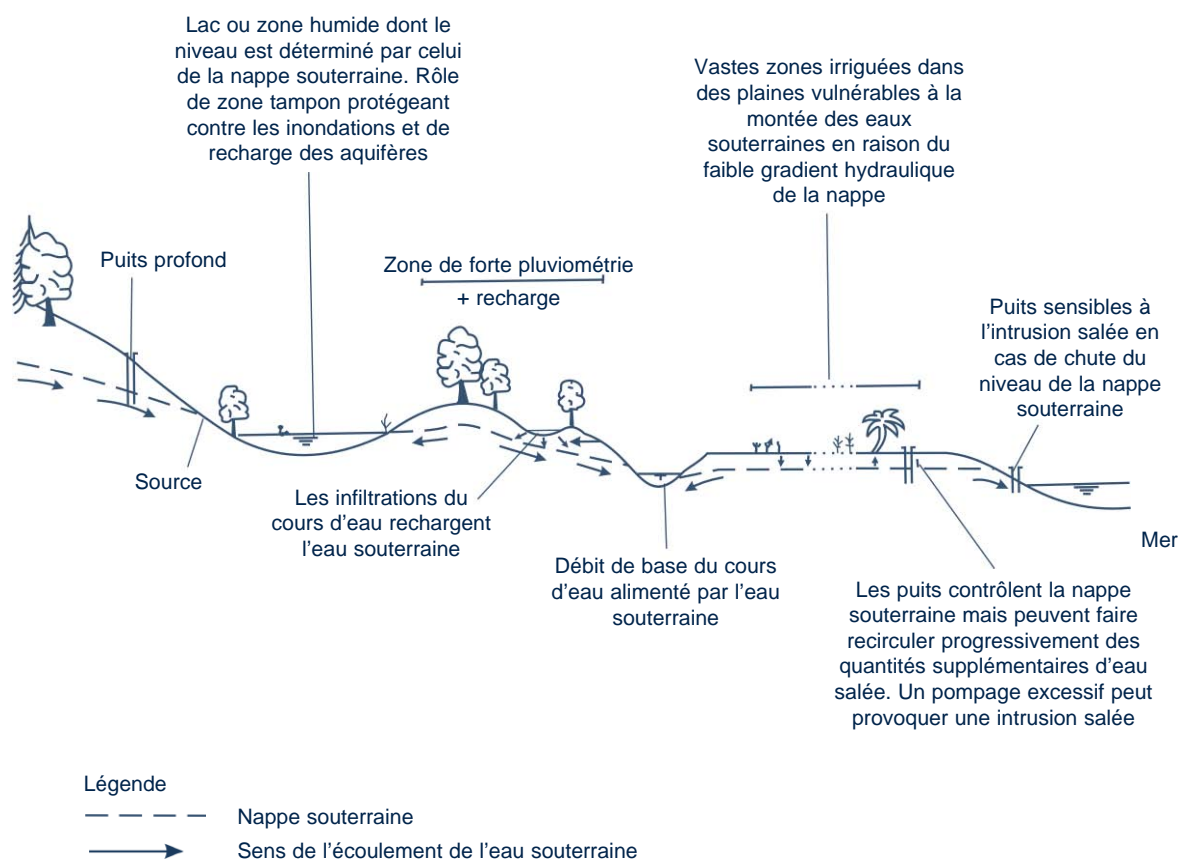
- 1) Quel est le coût de la livraison de l'eau, aux débits requis, depuis la source jusqu'à l'exploitation et quel système conviendrait pour ce coût?
- 2) Le débit est-il suffisant pour une irrigation de surface? Si ce n'est pas le cas, faut-il adopter un système plus efficace ou réduire la superficie prévue pour une irrigation de surface?
- 3) Le débit est-il disponible aux quantités requises tout au long de la période de croissance et, dans le cas contraire, en quoi cela affecte-t-il le choix du système?
- 4) La salinité influe-t-elle sur le choix du système?
- 5) La teneur de l'eau en sédiments influe-t-elle sur le choix?

Les sources d'eau

La source de l'eau d'irrigation peut être de l'eau de surface, de l'eau souterraine ou une eau non conventionnelle (eau dessalée, eaux usées traitées, etc.). Les deux premiers types de source d'eau sont les plus couramment utilisés à travers le monde.

L'eau de surface est constituée d'écoulements fluviaux et d'eaux de barrages, d'étangs et de lacs ainsi que d'eaux de recharge provenant de nappes souterraines. L'écoulement fluvial résulte du ruissellement et du débit de base du cours d'eau, lequel est alimenté par les eaux de la nappe phréatique. L'écoulement fluvial peut constituer une bonne source d'eau propre, bien qu'il contienne parfois toutes sortes de sédiments. Son état dépend du régime d'écoulement et de l'état du bassin versant. Il importe de le mesurer régulièrement pour établir le débit par rapport à la saison et aux besoins d'irrigation. Les stations de jaugeage installées à cet effet possèdent généralement les données

Figure 18
Relation entre l'eau de surface et l'eau souterraine (Source: FAO, 1995)



d'un nombre d'années suffisant pour pouvoir prédire avec certitude les quantités d'eau qui peuvent être extraites à des fins d'irrigation. En l'absence de données, des mesures de débit doivent être réalisées. Les barrages, les lacs et les étangs emmagasinent de l'eau utilisable en période de pénurie et notamment en cas d'écoulement saisonnier des cours d'eau. Des études sur la gestion des réservoirs devraient permettre de développer l'irrigation de façon à ce que la source d'alimentation en eau réponde à la demande. L'eau souterraine est une eau stockée dans des nappes aquifères qui sont réalimentées par les pluies, les cours d'eau, les lacs et les barrages. En règle générale, ce type d'eau contient de plus fortes concentrations de particules solides dissoutes que l'eau de surface car l'eau de recharge dissout des substances minérales qu'elle apporte ensuite à la nappe souterraine. La relation entre l'eau souterraine et l'eau de surface est décrite dans la figure 18.

On a recours à des sources d'eau non conventionnelles lorsque l'eau d'irrigation n'est pas facilement disponible aux quantités requises et pour assurer une protection efficace de l'environnement. Sont comprises dans cette catégorie les eaux usées industrielles et municipales ainsi que l'eau de mer dessalée. Les eaux usées traitées servent à irriguer des plantes qui tolèrent certains niveaux de salinité, comme l'herbe ou les pelouses. L'utilisation d'eaux usées gagne du terrain dans certains pays d'Afrique australe: la Namibie utilise déjà ce type d'eau; le Botswana et le Zimbabwe suivent l'exemple. Le coût croissant de la mise en valeur de l'eau douce ou l'absence de cette ressource rendent cette solution attrayante. Quant à l'eau dessalée, elle est principalement employée à des fins domestiques et industrielles en raison du coût encore élevé du dessalement.

La distance et le dénivelé entre la source et le champ influent considérablement sur le choix du système d'irrigation. La distance a un impact sur le coût de l'eau, ce qui signifie que l'eau doit être utilisée de façon rationnelle. Pour cela, il faut adopter des systèmes plus économes en eau. Quant au dénivelé, il déterminera si l'eau peut être distribuée sous pression. Si, par exemple, il y a assez de pression pour se passer de pompage, on préférera peut-être un système sous pression à un système de surface. C'est le cas lorsque l'eau tombe naturellement d'un point suffisamment élevé pour faire fonctionner des asperseurs à la pression de service requise. Lorsque le pompage est inévitable, le choix peut être identique si l'adoption d'un système d'irrigation moins efficace offre des avantages qui valent largement les dépenses liées au pompage.

La quantité d'eau

Le débit disponible à la source et la période de prélèvement sont des éléments essentiels. Les petits débits imposeront

un système d'irrigation conçu pour des apports fréquents et en petites quantités alors que les débits importants seront associés à des systèmes nécessitant de grandes quantités d'eau. Le caractère saisonnier de l'approvisionnement en eau intervient aussi dans le choix du système. Par exemple, des approvisionnements saisonniers limités peuvent amener à adopter des systèmes plus rationnels afin de maintenir la répartition des cultures souhaitée pour une surface déterminée. Les systèmes de distribution par rotation fournissent des débits élevés par intermittence; dans ce cas, on optera pour l'irrigation de surface, généralement caractérisée par l'application de fortes doses d'arrosage. Lorsque l'eau fournie provient de ressources souterraines, le rendement optimal du puits constituera un élément décisif non seulement pour la taille du périmètre mais aussi pour la question de savoir si cet écoulement satisfait directement les débits requis en irrigation de surface. Les frais supplémentaires liés à l'installation de réservoirs de stockage dans l'exploitation ont également une incidence sur le choix du système.

La qualité de l'eau

La composition chimique de l'eau ainsi que la charge solide peut influencer sur le choix de la méthode d'irrigation. La présence d'éléments comme le sodium (Na), le chlore (Cl) ou le bore (B) au-delà de certains seuils risque de provoquer des brûlures sur le feuillage et la défoliation en irrigation par aspersion. De même, la concentration totale des sels dans l'eau a une incidence sur les besoins de lessivage. Dans ces conditions, l'irrigation par sillons n'est peut-être pas le système idéal pour certaines cultures. En règle générale, une eau de mauvaise qualité doit être utilisée plus fréquemment et en plus grandes quantités qu'une eau de bonne qualité. Ce paramètre influe sur le choix du système. La charge solide de l'eau détermine les besoins en filtration d'un système goutte à goutte et le choix du goutteur et, par conséquent, son applicabilité dans des conditions particulières. De même, les matières solides augmentent l'usure des pompes et des autres éléments des équipements par aspersion. Il faut toujours effectuer des tests de qualité de l'eau avant d'arrêter son choix.

3.3.2. Le sol et la topographie

Plusieurs facteurs liés à la nature du sol guident le choix du système d'irrigation à la ferme: la texture et la structure, les profondeurs et les profils, le drainage, la salinité.

Texture et structure du sol

Ces paramètres doivent être pris en compte car ils ont un impact sur l'eau disponible du sol (la capacité au champ moins le point de flétrissement permanent) et la vitesse

d'infiltration des sols. L'eau disponible conditionne la fréquence d'arrosage et, par conséquent, le choix de la méthode d'irrigation. La vitesse d'infiltration détermine la longueur du parcours et la taille des planches, des sillons et des bassins ainsi que la vitesse d'arrosage en irrigation par aspersion et localisée. Généralement, les sols à texture grossière ont des vitesses d'infiltration élevées et de faibles capacités de stockage de l'eau du sol. Ils imposent, de ce fait, des longueurs de parcours plus courtes en irrigation de surface (ce qui suppose plus de canaux et des coûts plus élevés) mais supportent des vitesses d'arrosage élevées. Ils nécessitent aussi des applications d'eau fréquentes. C'est pourquoi les sols légers amèneront à choisir une méthode localisée ou par aspersion. L'inverse est vrai pour les sols à texture plus lourde. La texture du sol joue un rôle également dans la capacité de traction de matériels lourds comme les rampes pivotantes.

Profondeur et profil du sol

La profondeur et le profil du sol ont une incidence sur la capacité de stockage de l'eau dans le sol et, par conséquent, sur la fréquence d'arrosage. Des sols profonds, uniformes présentant une bonne structure permettent un stockage d'eau important pour l'alimentation des plantes pendant de longues périodes entre les arrosages. Il n'est pas rare cependant que des sols de faible profondeur (inférieure à 30 cm parfois) soient aménagés pour l'irrigation. Dans certains cas, leur texture légère exige un apport d'eau fréquent. Si le premier type de sol peut être irrigué avec des systèmes de surface ou par aspersion, le recours à l'irrigation de surface sur des sols légers risque de causer de graves problèmes de ruissellement et de drainage. La stratification des sols peut influencer considérablement sur la circulation de l'eau dans le sol ainsi que sur la capacité de stockage des sols; elle aura donc une incidence sur les paramètres d'étude et le coût du système.

Drainage et salinité du sol

Le drainage des sols irrigués, naturel ou au moyen d'installations, est un complément essentiel de l'irrigation. Associé à un programme d'arrosage approprié, il permet le lessivage des sels et de l'eau excédentaires s'accumulant dans la zone racinaire de la plante et de maintenir ainsi un bon équilibre entre les éléments nutritifs et l'eau. Les caractéristiques du sol, superficielles et souterraines, conditionnent sa capacité à évacuer l'eau en excès. Des sols plus aptes au drainage se prêtent mieux aux systèmes d'irrigation engendrant une grande quantité d'eau de drainage, comme les systèmes de surface. L'inverse est vrai pour les sols mal drainés, qui nécessitent des installations produisant moins d'eau de drainage, comme les systèmes

d'irrigation localisée. A cet égard, les méthodes comportant un mécanisme intégré de maîtrise de l'eau permettent de réduire considérablement les besoins de drainage et, par conséquent, le coût total du projet.

Lors du choix du système d'irrigation, il faut également tenir compte de la salinité du sol. Les sols présentant des problèmes de salinité ont besoin d'être lessivés avant et/ou pendant la période végétative, en fonction du degré de salinité. Certains systèmes, notamment en irrigation par sillons, ne satisfont pas les besoins les plus élémentaires de lessivage uniforme et dans certains cas même favorisent la concentration de sels dans la partie la plus active de la zone racinaire.

Topographie

La topographie est l'un des éléments qui conditionnent le plus le choix d'un système, en particulier le lieu et la hauteur de la source d'approvisionnement en eau par rapport à la parcelle, aux pentes et à l'uniformité du terrain. Les déclivités limitent le choix car elles déterminent la longueur de parcours et la main-d'œuvre requise pour l'exploitation du système. Généralement, les aménagements d'irrigation demandent des pentes uniformes, entre 0 et 5%. Les terrains en forte pente sont peu propices à l'irrigation de surface car il faut procéder à de nombreux nivellements, à grands frais et au risque d'enlever la couche de terre fertile à la surface du sol. S'il y a une perte en sols fertiles, il faudra apporter plus d'engrais aux cultures, ce qui entraîne également un surcoût. En revanche, l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée se pratiquent sur des terrains plus pentus. Les microreliefs ont une influence sur les besoins de nivellement pour irrigation. Les sols peu profonds en pente peuvent être exploités avec des systèmes qui ne nécessitent guère ou pas de nivellement.

3.3.3. Le climat et les cultures

L'assolement d'un projet doit être conçu pour permettre de produire avec succès les cultures choisies dans le climat et sur les sols existants. Ces cultures doivent en outre être commercialisables à des prix économiques. C'est pourquoi il est nécessaire de bien connaître les pratiques culturales qui y sont associées et de faire en sorte que le système d'irrigation envisagé soit compatible avec ces pratiques et avec les contraintes physiques de l'exploitation.

Le riz paddy, par exemple, nécessite une submersion partielle des plantes pendant la majeure partie de la période de croissance. Pour cela, on a recours à une méthode d'irrigation de surface utilisant des bassins plats ou très bien nivelés.

La plupart des cultures légumières se caractérisent par une zone racinaire effective peu profonde et répondent mieux à des faibles taux de tarissement de l'eau. Par conséquent, on préférera les systèmes d'irrigation capables de fournir de petites quantités d'eau à courts intervalles. On note à ce propos que suite à l'introduction de l'irrigation localisée pour ces cultures, des agriculteurs de plusieurs pays du Proche-Orient et d'Afrique ont signalé des augmentations de rendement allant jusqu'à 100%. La germination des semences exige des arrosages fréquent et légers. Dans ce cas, l'irrigation par aspersion ou localisée peut être privilégiée, surtout sur des sols légers. La qualité des fruits de certaines plantes comme les tomates ou les concombres se dégrade lorsque ceux-ci reposent sur des sols humides. On optera alors pour une irrigation par sillons ou goutte à goutte plutôt que par aspersion, par bassins ou par planches.

La stagnation de l'eau engendre des maladies au col de certains arbres comme le citrus. Il est donc recommandé d'utiliser des systèmes qui apportent l'eau à une certaine distance du tronc, notamment le goutte à goutte ou la méthode par sillons.

Dans des climats chauds et/ou désertiques, il est parfois nécessaire de rafraîchir l'atmosphère pour certaines cultures, en particulier à certains stades de leur croissance. La meilleure option sera alors l'aspersion. De la même façon, lorsque les conditions climatiques posent des problèmes de gel, un système d'irrigation par aspersion, s'il est conçu à cet effet, peut être utilisé pour la protection contre le gel sur l'ensemble ou sur une partie de la superficie irriguée.

Certaines cultures sont sensibles au mode d'application de l'eau. Les systèmes qui humidifient toute la plante (par aspersion, par exemple) peuvent avoir des effets indésirables comme des brûlures sur feuillage, la formation de taches sur les fruits et leur déformation, la pourriture de la cime, etc. Ces considérations interviennent dans le choix d'un système adapté à ces végétaux.

3.3.4. Le capital et la main-d'œuvre

La disponibilité et le coût du capital et de la main-d'œuvre nécessaires pour l'aménagement du périmètre et l'exploitation du système d'irrigation conditionnent aussi dans une large mesure le choix du système. En général, le coût d'un système augmente en fonction du degré de complexité des dispositifs hydrauliques et de la présence d'éléments destinés à réduire la main-d'œuvre. En revanche, le coût du réseau de drainage augmente à mesure que diminue le nombre d'ouvrages hydrauliques. Lorsqu'il y a pénurie de main-d'œuvre ou que celle-ci est relativement peu qualifiée ou chère, on a habituellement recours à des systèmes à faible intensité de main-d'œuvre.

3.3.5. Énergie

Un autre critère important dans le choix d'un système d'irrigation est le besoin en énergie des différentes options étudiées. Des études réalisées dans l'Etat de Washington (Etats-Unis) sur les besoins énergétiques des différents systèmes – fabrication, transport et installation compris – ont montré que ceux-ci augmentent dans cet ordre: surface, goutte à goutte, aspersion. Il faut toutefois tenir compte du fait que l'irrigation de surface demande généralement plus d'eau en raison de moins bonnes efficacités et peut donc nécessiter plus d'énergie s'il est nécessaire de pomper l'eau (voir Module 5). D'un point de vue économique et environnemental, il est préférable d'opter pour un aménagement qui utilise le moins d'énergie possible.

3.3.6. Aspects sociaux et politiques

Tendances historiques

Dans les pays en développement où certaines personnes pratiquant traditionnellement une agriculture non irriguée sont réinstallées sur des terres irriguées, il se pose souvent la question du choix d'une méthode d'irrigation appropriée pour des gens sans expérience. C'est souvent l'irrigation de surface qui est retenue, un choix justifié par la simplicité des opérations d'exploitation et de maintenance pour des exploitants non qualifiés. Malheureusement, cette décision, généralement faussée pour des raisons historiques, ne tient pas compte de l'élément essentiel: la gestion de l'eau. L'irrigation de surface ne comporte pas de mécanisme intégré de gestion de l'eau. Selon son propre jugement, l'irrigant applique ce qu'il considère comme la bonne dose d'arrosage. Il ne faut pas oublier qu'en agriculture non irriguée, les meilleurs rendements s'obtiennent généralement les années pluvieuses. L'agriculteur a donc tendance à penser que plus le volume d'eau apporté aux cultures est important, meilleurs seront les rendements. Par conséquent, il est essentiel d'utiliser, dans une certaine mesure, des systèmes intégrant un élément de gestion de l'eau ou de donner aux agriculteurs une formation sur les aspects de la gestion de l'eau en irrigation de surface. Pour des personnes inexpérimentées, l'irrigation est une tâche très difficile qui peut engendrer des efficacités d'irrigation médiocres, des problèmes de drainage et des engorgements.

Au Zimbabwe, les périmètres de «Nyanyadzi» et «Exchange» illustrent bien ces difficultés. Les très faibles efficacités d'irrigation et les problèmes de saturation en eau dans ce dernier résultent d'une mauvaise gestion de l'eau et d'un manque d'entretien. C'est pourquoi on ne soulignera jamais assez combien il est important de confier

L'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation de surface à des personnes qualifiées. Plus récemment, la pénurie d'eau, les considérations environnementales et le coût de plus en plus élevé de la mise en valeur de l'eau ont rendu nécessaires une meilleure gestion de l'eau au niveau de l'exploitation, une utilisation plus efficace des systèmes d'irrigation et la tendance à l'utilisation d'eaux usées traitées.

Préférences de l'agriculteur ou du groupe d'agriculteurs

L'irrigation est une entreprise individuelle ou communautaire. Le système envisagé doit répondre aux préférences du ou des utilisateur(s). Cela signifie que l'utilisateur doit exercer une influence considérable sur le choix de la méthode à adopter. Pour réaliser cet objectif, on peut avoir recours à des méthodes participatives où l'utilisateur final participe à tous les processus, depuis la planification jusqu'à la mise en œuvre (voir Chapitre 1).

Femmes

L'expérience a montré que dans de nombreux pays, les femmes représentent jusqu'à 70% de la main-d'œuvre dans les projets de petite irrigation. En même temps, elles sont peu représentées aux réunions de planification de l'irrigation alors que les hommes y assistent en grand nombre et prennent les décisions pour elles. Une méthode d'irrigation qui nécessite une main-d'œuvre abondante ne fera qu'alourdir la charge qui pèse sur l'agricultrice. Aussi veillera-t-on, lors de la sélection, à assurer une participation féminine aussi active que possible et, au besoin, à éviter d'incorporer un coefficient de main-d'œuvre trop élevé. A cet égard, la formation et l'initiation des hommes comme des femmes aux différentes techniques possibles au cours de la planification participative incitera les femmes à jouer un rôle plus actif. Dans certains cas, il est recommandé d'organiser des discussions de groupe sur des sujets particuliers.

Influences institutionnelles et politiques

Les conditions extérieures à la sphère immédiate de l'irrigation, et même de l'agriculture, peuvent influencer sur le choix du système. Ces conditions sont très complexes et difficilement quantifiables. Le régime de la propriété foncière, les droits d'usage de l'eau, les incitations financières fournies par le gouvernement, la fiscalité et autres questions réglementaires et juridiques sont quelques-uns des facteurs qu'il convient de bien comprendre dès le début du processus de sélection. Si, par exemple, il est difficile de se procurer certains éléments d'un système d'irrigation dans le pays ou la région et si leur importation nécessite un apport important de devises étrangères, cet équipement ne

sera pas facile à adopter si ces devises font défaut. En même temps, un grand nombre de projets d'irrigation sont financés par des bailleurs de fonds externes ou des organismes de crédit. Cette situation peut conduire à écarter ou préférer certaines techniques sans tenir compte de tous les autres critères en raison des politiques et attitudes adoptées par les bailleurs.

Le développement de l'irrigation s'inscrit généralement dans le cadre de la politique nationale de développement, qui peut également peser sur le choix du système. Par exemple, certains pays encouragent l'augmentation du nombre d'emplois dans l'agriculture afin de réduire le chômage. Une telle politique peut dissuader d'avoir recours à des méthodes économes en main-d'œuvre. D'un autre côté, là où la main-d'œuvre est rare et peu fiable, on peut recommander des systèmes qui limitent les effectifs.

Les aspects institutionnels revêtent une importance particulière dans les pays en développement où la taille des parcelles limite l'éventail des systèmes possibles. Une superficie très réduite où plusieurs cultures sont produites en même temps se prête mal à une irrigation par aspersion. Une méthode d'irrigation de surface ou localisée se révélera probablement plus appropriée.

Dans certains cas, la durabilité du matériel constitue un autre facteur important, surtout pour les petits agriculteurs ayant peu de moyens financiers ou vivant dans des régions éloignées des grands centres.

3.3.7. Aspects socio-économiques

L'expérience montre qu'en petite irrigation, le coût de l'aménagement est constitué jusqu'à 80% de dépenses de mise en valeur des ressources en eau telles que la construction d'un barrage de petite ou moyenne dimension. Ces coûts sont en forte augmentation car les meilleurs sites pour la construction de barrages ont déjà été aménagés, ce qui fait monter le coût de l'eau au m³. Parallèlement à cette évolution, la pression démographique sur les terres s'intensifie au point que des terres peu fertiles sont désormais mises en culture, provoquant une dégradation des sols et l'envasement des barrages, ce qui entraîne aussi une augmentation du prix de l'eau.

L'un des arguments en faveur du développement de l'irrigation est la nécessité de transformer le paysan pratiquant une agriculture de subsistance en exploitant commercial intégré dans l'économie des pays en développement, ce qui explique le besoin de faire participer le plus grand nombre possible de petits exploitants au développement de l'irrigation. A ce propos, il faut noter qu'au Zimbabwe, les périmètres les plus performants en

petite irrigation possèdent de longues listes d'attente de personnes prêtes à prendre la place d'un membre qui souhaiterait abandonner l'irrigation.

En ce qui concerne le coût élevé de l'eau et le besoin de satisfaire la forte demande d'irrigation, il s'est avéré que l'adoption de systèmes plus efficaces constituait le meilleur moyen de faire face à ces défis, tant sur le plan économique que d'un point de vue social et politique. Cet aspect mérite donc d'être sérieusement pris en compte dans le processus de choix d'un système d'irrigation.

3.3.8. Aspects sanitaires

Souvent la question des risques sanitaires liés à l'un ou l'autre système d'irrigation est négligée et c'est la population la plus vulnérable (les femmes et les enfants) qui en pâtit. Comme les principaux utilisateurs des infrastructures d'irrigation sont les femmes en milieu rural, la vulnérabilité des différentes techniques vis-à-vis de certains risques sanitaires doit être analysée et prise en compte pendant le processus de décision.

Dans de nombreuses régions de l'Afrique orientale et australe, deux maladies d'origine hydrique inquiètent particulièrement: le paludisme et la bilharziose. Il convient donc d'éviter les aménagements qui favorisent ces maladies ou de les modifier. Sur ce plan, les canaux non revêtus offrent des lieux de reproduction propices aux mollusques porteurs des parasites de la bilharziose. En installant des canaux revêtus de béton pour le drainage libre, on réduit considérablement les facteurs de risque liés à cette affection. Ces risques sont encore plus atténués dans les réseaux d'irrigation sous pression (aspersion et irrigation localisée notamment) qui ne nécessitent aucun système de drainage et où l'eau est pompée bien au-dessous de la surface de l'eau, où il y a peu de parasites. Cependant, lorsqu'ils pénètrent dans l'eau, les gens s'exposent à la maladie. La tendance à la réutilisation d'eaux usées traitées ajoute une nouvelle dimension au processus de sélection étant donné les risques supplémentaires de parasitose, de fièvre typhoïde, de choléra et de salmonelle. Les questions sanitaires sont examinées plus en détail au Chapitre 4.

3.3.9. Aspects environnementaux

L'impact environnemental des différents systèmes d'irrigation doit être pris en compte lors du choix d'un système d'irrigation. Que faire de l'eau de drainage? Faut-il l'évacuer dans une dépression proche, en créant ainsi des conditions idéales pour la reproduction des moustiques et la propagation du paludisme dans la population participant au projet? Doit-elle être rejetée dans le cours d'eau d'où elle provient, au risque d'augmenter la salinité et la

pollution chimique en aval? Ou conviendrait-il plutôt d'adopter des systèmes de substitution comportant un élément intégré de gestion de l'eau et limitant le déversement d'eau de drainage polluée? De quelle façon l'une ou l'autre solution affecte-t-elle, à court et long terme, la pêche dans la rivière?

Ce sont là quelques-unes des questions qu'il y a lieu de se poser si l'on veut éviter que les aménagements d'irrigation nuisent à l'environnement et à la santé et obtenir les bénéfices à long terme d'une irrigation durable. Pour prédire quelles seront les incidences écologiques de l'aménagement d'irrigation, une évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) doit être réalisée avant la création du projet et utilisée comme l'un des critères d'approbation de la mise en œuvre de l'aménagement et de sélection du système d'irrigation.

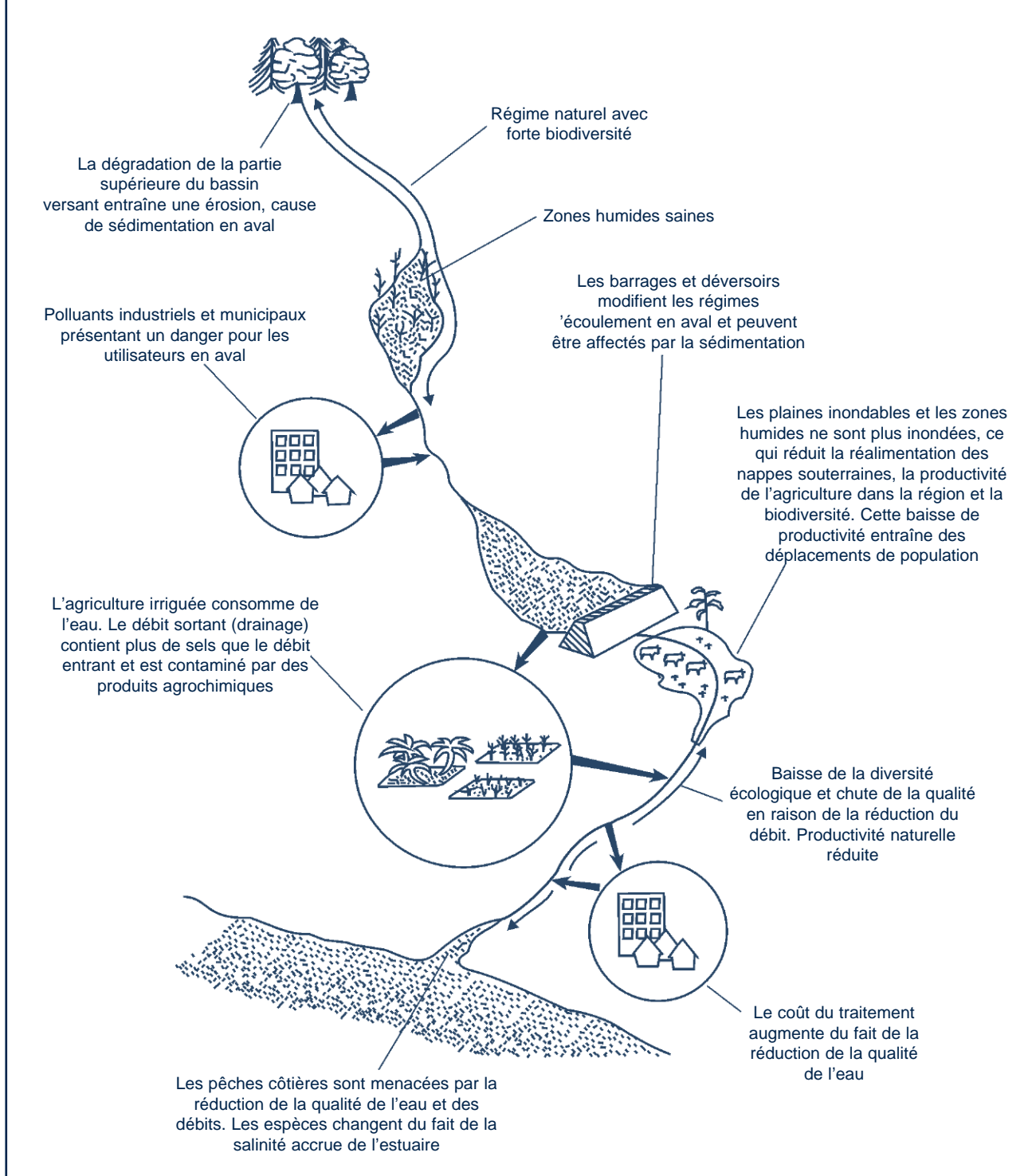
Lors de la planification d'un projet d'irrigation, il faut toujours avoir à l'esprit la protection de la biodiversité. L'écosystème est un système autonome et équilibré d'organismes vivants interdépendants et qui assure le développement physique de ces organismes. Tout changement qui y est apporté, suite au développement d'infrastructures, a des conséquences inévitables sur les organismes vivants et leur diversité. C'est ce que l'étude d'impact environnemental cherche à déterminer et à réduire le plus possible. On trouvera des informations plus détaillées sur l'évaluation de l'impact environnemental dans FAO (1995).

Dans le bassin versant d'un cours d'eau, on trouve des utilisateurs d'eau en amont et en aval. Le long du cours d'eau se trouvent des habitats où une diversité d'espèces se procurent leurs moyens de subsistance. La planification du bassin fluvial permet de limiter dans un même bassin versant l'impact négatif d'un projet sur un autre et sur les organismes vivants. Une bonne planification et une gestion environnementale adéquate protégeront l'environnement. La figure 19 montre, à titre d'exemple, quelques-uns des effets de la dégradation de la qualité de l'eau dans un système fluvial. Les questions environnementales sont traitées de façon plus approfondie au Chapitre 4.

3.4. Méthodologies utilisées dans le choix d'un système d'irrigation

Pour choisir un système d'irrigation, on s'appuie sur plusieurs critères (comme il est expliqué dans les sections précédentes) dont les plus courants sont: l'efficacité du système, le capital à investir, l'adaptabilité à différentes cultures et différents sols, les besoins de main-d'œuvre et le coût de l'exploitation et de l'entretien. Field et Collier (non daté) établissent une distinction entre les facteurs tech-

Figure 19
Causes et effets d'une réduction de la qualité de l'eau dans un système fluvial (Source: FAO, 1995)



niques et les facteurs d'aménagement du périmètre. Leurs critères de choix sont présentés dans les tableaux 6 et 7.

Malheureusement, ces critères s'appliquent à l'irrigation au champ et ne prennent pas en compte les systèmes qui comportent divers dispositifs de transport et de distribution de l'eau. De plus, le tableau 6 distingue différents types d'irrigation de surface mais place dans la même catégorie

tous les types d'irrigation par aspersion, classés comme gros consommateurs d'énergie. Or, il existe aujourd'hui des asperseurs qui fonctionnent à une charge de 10-15 mètres (1-1.5 bar) à la buse, ce qui est très proche des besoins en énergie des goutteurs.

Dans le tableau 6, la présentation d'une efficacité potentielle de 60% pour l'irrigation de surface combinée à

Tableau 6

Facteurs techniques déterminant le choix de la méthode d'irrigation (Source: Field et Collier, non daté)

Méthode d'irrigation	Cultures	Sols	Main-d'oeuvre (heures/ha irrigué)	Besoins en énergie	Efficiéce potentielle (%)	Coût d l'investissement
Surface:					60	Faible
- bassins	Toutes	Argile, limon	0.5-1.5	Faibles		
- planches	Toutes sauf riz	Argile, limon	1.0-3.0	Faibles		
- sillons	Toutes sauf riz et semées/semées en lignes	Argile, limon	2.0-4.0	Faibles		
Aspersion	Toutes sauf riz	Limon, sable	1.5-3.0	Importants	75	Moyen
Goutte à goutte	Cultures en lignes, vergers	Tous types	0.2-0.5	Moyens	90	Elevé

Tableau 7

Facteurs d'aménagement du périmètre déterminant le choix de la méthode d'irrigation (Source: Field et Collier, non daté)

Méthode d'irrigation	Conception	Construction	Exploitation	Entretien
Surface	Simple	Simple	Complexe	Simple
Aspersion	Complexe	Complexe	Simple	Complexe
Goutte à goutte	Complexe	Complexe	Simple	Complexe

un faible coût d'investissement est trompeuse. En Afrique australe, le coût des aménagements de surface destinés à des petits exploitants est 20 à 40% plus élevé que celui d'équipements par aspersion alimentés en eau par des tuyaux flexibles, en raison du coût que représentent les canaux à revêtement de béton et le nivellement. En ce qui concerne l'efficiéce globale, elle dépasse rarement 50% même avec des canaux de transport et de distribution revêtus.

Si on examine les besoins de main-d'oeuvre des systèmes de surface et ceux des systèmes par aspersion, ils semblent presque identiques. Or, au Zimbabwe par exemple, l'expérience a montré qu'il faut six heures pour irriguer un hectare avec la méthode par planches alors que l'arrosage de la même surface, à la demande de pointe, ne prendra qu'une heure avec un équipement d'aspersion à alimentation par tuyaux flexibles. Là encore, il existe aujourd'hui une variété de systèmes par aspersion adaptés à différents types de sol et conditions de main-d'oeuvre.

En examinant le tableau 7, on a l'impression que la conception et la construction de périmètres d'irrigation de surface est une affaire toute simple. Or la pratique montre que pour établir la longueur de parcours et le débit appropriés, compte tenu du fait que la plupart des sols ne sont pas uniformes horizontalement et verticalement, il faut de l'expérience en raison du nombre paramètres inconnus. La construction de canaux revêtus et le nivellement sont des tâches également complexes et demandant une grande précision.

La conception de réseaux d'irrigation par aspersion est relativement simple et fondée sur des processus d'ingénierie bien établis tandis que leur construction se limite, dans la plupart des cas, au creusement de tranchées et à la pose de conduites.

Keller et Bliesner (1990) résument les principaux facteurs institutionnels influant sur le choix d'un type d'installation particulier dans les pays en développement (tableau 8).

La **Divisibilité** désigne la capacité d'adaptation de la technique aux petites exploitations, qui sont courantes dans les pays en développement. Dans la sous-catégorie **Divisibilité** totale figurent les techniques qui conviennent économiquement à n'importe quelle taille de parcelle. La **Divisibilité partielle** s'applique aux techniques qui peuvent être adaptées aux petites exploitations mais difficilement et à grands frais. La dernière catégorie, **Aucune divisibilité**, regroupe les techniques non adaptables aux parcelles de taille réduite.

La rubrique **Entretenu par** précise qui est capable d'assurer l'exploitation et la maintenance et donne ainsi une indication sur la durabilité physique de l'installation. La mention **Agriculteur** suggère un entretien facile du matériel; **Producteur** la possibilité d'effectuer l'entretien en exploitation moyennant un niveau élevé d'aptitude technique; **Commerçant** le besoin de faire appel à un commerçant local disposant d'un matériel de base pour les réparations; **Agence** le recours à du matériel et des compétences spécialisés pour maintenir l'équipement

Tableau 8

Facteurs déterminant le choix de systèmes d'irrigation modernes pour des pays en développement (Source: Keller et Bliesner, 1990)

Méthode et type	Divisibilité	Entretenu par	Risque	Compétences pour la gestion, l'exploitation et l'entretien	Effort	Solidité
Surface: alimentation par canaux						
Bassins	Totale (1)	Producteur	Faible	Maîtrise	5	Extrêmement durable
Planches	Totale (1)	Agriculteur	Faible	Maîtrise	6	Extrêmement durable
Sillons	Totale (1)	Agriculteur	Faible	Moyennes	10	Extrêmement durable
Surface: pompage/alimentation par conduites						
Bassins plats	Partielle (1)	Commerçant	Moyen	Maîtrise	3	Robuste
Planches	Partielle	Commerçant	Moyen	Maîtrise	3	Robuste
Sillons	Partielle (1)	Commerçant	Moyen	Maîtrise	6	Robuste
Aspersion						
Déplacement manuel	Totale	Commerçant	Moyen	Simple	9	Durable
Rampe tractée	Partielle	Commerçant	Moyen	Moyennes	5	Durable
Rampe sur roues	Partielle	Commerçant	Élevé	Moyennes	6	Durable
Rampe sur supports équipés de roues	Aucune	Agence	Élevé	Maîtrise	5	Fragile
Alimenté en eau par des flexibles	Totale (1)	Agriculteur	Moyen	Simple	10/7	Durable
Canon automoteur	Partielle	Agence	Élevé	Maîtrise	4	Relativement solide
Rampe pivotante	Aucune	Agence	Élevé	Complexes	1	Relativement solide
Rampe frontale	Aucune	Agence	Élevé	Complexes	2	Relativement solide
Aspersion fixe couverture intégrale						
Portable	Totale (1)	Commerçant	Moyen	Moyennes	5	Durable
Permanent	Totale (1)	Agriculteur	Moyen	Moyennes	1	Durable
Localisée: source ponctuelle						
Goutte à goutte	Totale (1)	Producteur	Élevé	Complexes	2	Fragile
Micro-diffuseurs	Totale (1)	Producteur	Moyen	Complexes	2	Durable
Barboteurs	Totale (1)	Producteur	Faible	Complexes	4	Robuste
Tuyau flexible-bassins	Totale (1)	Agriculteur	Faible	Simple	10	Robuste
Localisée: source linéaire						
Réutilisable	Totale (1)	Producteur	Élevé	Complexes	5	Fragile
Jetable	Totale (1)	Producteur	Élevé	Complexes	3	Fragile

(1) convient pour des champs de forme irrégulière

d'irrigation, y compris les pompes à moteur, en état de fonctionnement.

La catégorie **Risque** concerne le problème d'une mauvaise récolte due à des pannes au niveau de l'installation. Le risque est **Faible** lorsque le système n'est pas sensible aux pannes au niveau de l'exploitation; **Moyen** dans les systèmes sous pression qui peuvent continuer à fonctionner même en cas de dysfonctionnement de certaines pièces à la ferme; **Élevé** dans des systèmes nécessitant un haut degré de filtration et des systèmes vulnérables aux pannes au sein de l'exploitation. Une panne survenant à un stade critique de la période végétative doit être réparée immédiatement. Des temps de réparation importants peuvent provoquer l'échec complet de la récolte.

La **Gestion, l'exploitation et l'entretien** de systèmes d'irrigation à la ferme exigent des compétences et un effort correspondant au type de système employé. Dans la catégorie **Compétences**, les auteurs évaluent la complexité de l'activité de gestion requise pour atteindre des efficacités d'irrigation raisonnables. Ils y incorporent également la nature des compétences, le niveau de soutien pour les services et les pièces de rechange pour maintenir le réseau en bon état de fonctionnement. **Simple** désigne un niveau de compétences élémentaire; **Moyennes** un niveau élevé de compétences pour l'exploitation et l'entretien de l'installation; **Maîtrise** une très bonne expérience pratique sur le terrain pour gérer les écoulements et obtenir les efficacités attendues et **Complexes** des compétences techniques poussées pour

l'exploitation et l'entretien adéquats de l'équipement. Le terme **Effort** désigne le temps nécessaire pour gérer, exploiter et entretenir l'aménagement, exprimé en heures par hectare par mois.

La dernière catégorie, **Solidité**, qualifie la durabilité de l'équipement de distribution et en exploitation. L'expression **Extrêmement durable** convient pour les installations d'irrigation de surface alimentées par canaux qui, en général, ne tombent pas en panne. **Robuste** s'applique aux matériels comportant peu de pièces mécaniques ou complexes, qui eux aussi, en principe, ne tombent pas en panne. **Durable** fait référence à des systèmes qui nécessitent certaines pièces détachées et des installations d'entretien mais qui tombent rarement en

panne et dont la manipulation ne nécessite pas de soins particuliers. Sont qualifiés comme **Relativement solides** les systèmes qui doivent être manipulés et entretenus avec soin pour continuer à fonctionner, comme les machines d'irrigation. Les installations **Fragiles**, comme celles de l'irrigation goutte à goutte, nécessitent une manipulation attentive et de nombreuses pièces de rechange du fait de la fragilité de leurs éléments.

Bien qu'elle soit plus détaillée, cette méthodologie n'intègre pas les dépenses d'investissement, les besoins en énergie, etc. Le tableau 9, basé sur l'expérience acquise au Moyen Orient et en Afrique, donne des informations supplémentaires qui complètent les critères du tableau 8.

Tableau 9
Autres facteurs déterminant le choix de systèmes d'irrigation pour des pays en développement

Système et type	Cultures	Efficacité potentielle ¹	Besoins de main-d'oeuvre (h/ha irrigué)	Besoins énergie	Coût en d'investissement	Conception et construction	Exploitation	Entretien
Surface: Argile en limon sols								
• Gravitaire - canaux non revêtus		30%	6	Faibles	Faible	Relativement complexe	Complexe	Simple mais exige main-d'oeuvre abondante
Bassins Planches Sillons - canaux revêtus	Toutes Toutes sauf riz Toutes sauf peu espacées	45%	6	Faibles	Elevé	Complexe	Complexe	Simple, main-d'oeuvre relativement abondante
• Pompage - canaux revêtus		45%	6	Importants	Elevé	Complexe	Complexe	Relativement complexe, main-d'oeuvre relativement abondante
Bassins Planches Sillons	Toutes Toutes sauf riz Toutes sauf peu espacées							
Aspersion: Presque tous types sols								
• Semi portable et alimenté en eau par flexibles	Toutes sauf riz	75%	3-4	Importants	Relativement élevé	Relativement simple	Simple	Relativement complexe
• Rampe pivotante et frontale	Toutes sauf riz	90%	0.5	Moyens	Moyen	Complexe	Simple	Complexe
Localisée: Tous types sols								
• Goutte à goutte, micro-diffuseurs, micro-asperseurs	Toutes sauf cultures peu espacées (en goutte à goutte)	90%	0.5	Moyens	Elevé	Relativement complexe	Simple	Relativement complexe

¹Désigne l'efficacité globale ou efficacité du système, qui comprend les efficacités du transport, des canaux de distribution et de l'arrosage

3.5. Conclusion

Le choix d'un système d'irrigation à la ferme est un processus complexe qui fait intervenir des éléments techniques, socio-économiques, environnementaux et sanitaires. L'analyse de tous les faits en rapport avec ces éléments représente une démarche indispensable qui permet de trouver une solution viable au cas par cas. Après avoir étudié tous les critères, il faut classer chaque système prometteur par rapport aux différents paramètres examinés afin de déterminer les options prioritaires pour la sélection, la préparation d'études détaillées et les estimations de coût. L'importance relative de chaque paramètre dans le choix du système varie selon les cas.

Les considérations économiques joueront un rôle décisif dans le choix final. Parmi les données requises pour réaliser une analyse financière et économique des solutions présélectionnées il y a les taux d'intérêt, le coût de la main-d'œuvre, la rente foncière, le coût de l'énergie ainsi que le coût de production de chacune des cultures irriguées. Les autres informations nécessaires comprennent notamment le coût d'investissement de l'infrastructure, la durée de vie et le coût des différents éléments du système d'irrigation ainsi que la main-d'œuvre et l'énergie requises pour l'entretien de chaque système examiné.

Chapitre 4

Aspects sanitaires et environnementaux d'un aménagement d'irrigation

L'eau d'irrigation peut contenir les agents pathogènes de certaines maladies transmissibles à l'homme et fournir un milieu propice à la reproduction et à la propagation de leurs vecteurs. La création de plans d'eau et d'infrastructures d'irrigation et de drainage à ciel ouvert attire parfois certains vecteurs vers des régions où ils n'existaient pas auparavant ou favorise un accroissement rapide de leur densité initiale. Les fortes concentrations de population humaine qu'entraînent les aménagements d'irrigation créent un environnement favorable à la prolifération de maladies transmissibles. En effet, l'irrigation peut aussi introduire des agents pathogènes par le biais des migrations humaines. Les maladies transmises par l'eau peuvent être évitées ou limitées par une bonne conception technique et une gestion environnementale appropriée. Pour cela, il faut que les planificateurs connaissent bien les vecteurs, y compris leurs habitats et leur comportement.

La gestion environnementale des maladies à transmission hydrique vise à réduire les contacts homme-vecteur par des mesures rationnelles de gestion de l'environnement, notamment en ce qui concerne la localisation des villages, l'approvisionnement en eau potable et l'installation de toilettes. Au cours de la phase de planification, il importe aussi de se pencher sur les changements écologiques qu'entraîne le projet. Outre le fait qu'il modifie les modes d'utilisation des sols autour de l'aménagement, le projet

d'irrigation a un effet sur la biodiversité du bassin versant dans lequel il est implanté. Pour évaluer l'effet potentiel d'un aménagement sur l'écologie d'une région, on utilise comme outil de planification une étude d'impact environnemental. Cette étude fournit aux planificateurs et aux décideurs des informations vitales sur les incidences des projets prévus. Les aménagements d'irrigation modifient l'hydrologie des cours d'eau, la qualité de l'eau et de l'air, les propriétés et la salinité du sol, l'érosion et la sédimentation ainsi que toute l'écologie sur le site du projet et autour de celui-ci (voir Section 4.4).

4.1. Maladies d'origine hydrique et modes de transmission

Le tableau 10 donne une liste de maladies d'origine hydrique et une brève description des catégories auxquelles elles appartiennent. Cette classification est basée sur des conditions propres à la plupart des pays en développement où ce type d'affection est courant, à savoir:

- ❖ l'insuffisance de l'approvisionnement en eau des ménages, de l'assainissement et des services d'élimination des déchets solides;
- ❖ de mauvaises conditions de logement et d'hygiène;
- ❖ un mauvaise situation sanitaire en général en raison de facteurs économiques défavorables;

Tableau 10

Classification environnementale des infections d'origine hydrique (Adapté de: ILRI, 1994)

Catégorie	Quelques infections/maladies	Mode de transmission
1) transmission orofécale (eau de boisson contaminée ou contact avec de l'eau contaminée)	<ul style="list-style-type: none">• Diarrhées et dysenteries (dysenterie amibienne, choléra)• Fièvres (typhoïde)• Hépatite A	Par de l'eau de boisson contaminée
2) transmission par contact avec de l'eau contaminée (infections cutanées et oculaires; autres)	<ul style="list-style-type: none">• Septicémie cutanée	Mauvaise hygiène personnelle et contact avec de l'eau contaminée
3) contractée dans l'eau (pénétration à travers la peau; ingestion)	<ul style="list-style-type: none">• Schistosomiase (bilharziose)• Dracunculose	Par un invertébré aquatique (mollusque)
4) insecte vecteur lié à l'eau (piqûre près de l'eau; reproduction dans l'eau)	<ul style="list-style-type: none">• Paludisme• Filariose lymphatique (éléphantiasis)• Onchocercose (cécité des rivières)• Encéphalite japonaise (inflammation du cerveau)	Par des insectes qui dépendent de l'eau pour leur propagation
5) Infections	<ul style="list-style-type: none">• Ascaride (vers ronds)• Ankylostomiase (ankylostome)	Conditions sanitaires inadéquates/contaminantes

- ❖ la multiplication des habitats des vecteurs engendrée par le développement de projets relatifs aux ressources en eau tels que les aménagements d'irrigation

Selon l'ILRI (1994), environ 200 millions de personnes sont atteintes de bilharziose en zone tropicale tandis que la FAO (1999) estime que le paludisme affecte un nombre identique d'individus et fait 1 à 2 millions de victimes chaque année. Ces deux maladies sévissent surtout en Afrique. Les maladies d'origine hydrique à transmission vectorielle reprises dans le tableau 10 (catégories 3 et 4) peuvent être classées comme suit par ordre décroissant d'importance au niveau mondial:

- ❖ Paludisme
- ❖ Schistosomiase, ou bilharziose
- ❖ Encéphalite japonaise, ou inflammation du cerveau
- ❖ Filarioses lymphatiques, ou éléphantiasis
- ❖ Onchocercose, ou cécité des rivières

Certaines de ces affections sont, bien entendu, localement plus prédominantes. L'inflammation du cerveau sévit sous forme de flambées épidémiques se soldant par des taux de mortalité infantile élevés. Elle est très répandue en riziculture irriguée en Asie du Sud, du Sud-Est et de l'Est. L'éléphantiasis, maladie principalement urbaine, est également associée aux terres irriguées d'Afrique centrale ainsi qu'aux réservoirs infestés de mauvaises herbes et aux latrines en Asie du Sud et du Sud-Est. La cécité des rivières est une affection courante en Afrique de l'Ouest, en Afrique centrale et en Amérique centrale.

Nous nous bornerons ici à décrire le paludisme et la bilharziose, car elles sont très répandues dans les aménagements d'irrigation, comptent parmi les principales maladies au niveau mondial et sont une source de grande inquiétude en Afrique. La connaissance des conditions favorables pour les hôtes de ces deux catégories de maladies aide à identifier les mesures techniques et environnementales à prendre en compte dans la conception et l'exploitation des périmètres. On distingue entre les mesures de lutte préventives contre la maladie, liées à la conception, et les mesures de lutte après la construction, en rapport avec la protection environnementale au niveau de l'exploitation du périmètre. Ces dispositions sont décrites dans les sections 4.2 et 4.3 respectivement.

4.1.1. Paludisme

Cette maladie est due à l'infestation par des protozoaires du genre *Plasmodium*. Les parasites plasmodiaux se transmettent à l'homme par des piqûres de moustiques anophèles femelles. L'eau est un élément essentiel de

l'environnement du moustique. Les anophèles se reproduisent sur les bords abrités des lacs, étangs, cours d'eau, réservoirs et canaux. L'association eau - mauvaises herbes constitue un habitat idéal.

L'intervalle de temps entre le moment où le moustique pond ses œufs et l'apparition de l'insecte adulte capable de voler est d'environ une semaine à des températures variant de 30°C à 32°C et de deux semaines à 20°C - 25°C. Il faut se rappeler que le paludisme est responsable d'une forte morbidité et mortalité dans les pays tropicaux et subtropicaux à travers le monde.

4.1.2. Bilharziose

L'infection par la bilharziose survient au contact d'une eau contaminée par des mollusques aquatiques et semi-aquatiques infectés, qui servent d'hôtes intermédiaires dans le cycle vital des schistosomes, le parasite responsable de la bilharziose. L'interruption du cycle vital est un moyen de lutter contre les schistosomes et, par conséquent, contre la maladie. Les mollusques, qui peuvent constituer l'indice principal pour la lutte antivectorielle lors de l'étude technique de périmètres irrigués, présentent entre autres les caractéristiques suivantes:

- a) les mollusques semi-aquatiques, comme les oncomelania, peuvent survivre dans des plans d'eau asséchés même lorsque ceux-ci ne contiennent de l'eau que trois mois par an; on les trouve dans les fossés, les canaux d'irrigation, les drains, les marais et les rizières.
- b) les mollusques préfèrent la végétation dense, qui les protège de la lumière directe du soleil et des courants, et des eaux légèrement polluées contenant des matières fécales et organiques.
- c) ils tolèrent une large gamme de pH, de 5 à 10.
- d) ils ne tolèrent pas:
 - les vitesses d'écoulement égales ou supérieures à 0.6 m/s pour des débits de 1 à 50m³/sec (tableau 11)
 - les turbulences
 - des profondeurs de plus de 1.5 m.

4.2. Mesures de prévention des maladies

Les projets d'irrigation de surface posent généralement plus de problèmes de maladies que les projets d'irrigation par aspersion car leur infrastructure offre plus d'habitats aux vecteurs des maladies que les conduites fermées des réseaux irrigués par aspersion. Cela tient à la nature même de l'installation de surface mais les deux systèmes peuvent favoriser la reproduction de moustiques s'il y a une stagnation d'eau dans les champs par suite d'un sur-arrosage.

Les sections suivantes traitent des mesures de protection sanitaire applicables principalement aux réseaux de surface, puisque c'est dans ce type d'aménagement que se posent la plupart des problèmes sanitaires et environnementaux.

4.2.1. Mesures d'aménagement hydraulique visant à prévenir les maladies

Il est possible d'incorporer lors de la conception et de la construction de projets d'irrigation des mesures de protection sanitaire qui vont réduire le risque d'infection, notamment:

- ❖ l'augmentation des vitesses d'écoulement dans les canaux et les drains et, lorsque cela est possible, l'élimination des réservoirs de stockage de nuit;
- ❖ le revêtement des canaux;
- ❖ l'installation de structures hydrauliques à drainage libre;
- ❖ la construction de bons systèmes de drainage;
- ❖ le nivellement des terres;
- ❖ un programme d'arrosage et un apport d'eau appropriés.

Vitesse d'écoulement

Une faible vitesse d'écoulement dans les canaux et les drains favorise la création d'habitats pour les parasites et les vecteurs. Pour déloger un mollusque d'un canal ou d'une autre surface, il faut produire une force de traction sur sa coquille. D'après l'ILRI (1994), des recherches en laboratoire réalisées sur le mollusque *Biomphalaria glabrata*, courant dans l'hémisphère occidental, ont indiqué qu'une vitesse de 0.94 m/s permettait de chasser complètement les mollusques, quelle que soit leur taille, des surfaces dures et lisses et qu'avec une vitesse de 0.36 m/s on obtenait le même effet sur des surfaces molles et granuleuses. Il a été observé que sur les surfaces lisses, les mollusques se détachaient à une vitesse d'environ 0.60 m/s, considérée comme une vitesse d'arrachement, et étaient complètement immobilisés à 0.20-0.30 m/s. Ces résultats ont été comparés avec des tests de force statique qui ont

montré qu'une vitesse de 0.33 m/s immobilisait les mollusques tandis qu'une vitesse de 0.65 m/s permettait de les détacher.

A partir de ces résultats, on a calculé les vitesses moyennes capables de produire l'immobilisation ou l'arrachement. Le tableau 11 présente les vitesses estimées pour l'immobilisation des mollusques dans une large gamme de géométries de canaux. Les mollusques seront immobilisés à des valeurs inférieures à celles indiquées.

En général, les mollusques ne tolèrent pas les vitesses égales ou supérieures à 0.6 m/s, selon les surfaces sur lesquelles ils s'accrochent et le débit dans le canal. Ces vitesses peuvent être utilisées comme valeurs de référence pour la conception. Il a également été établi que les vitesses de projet utilisées pour des dispositifs chassant les moustiques dans des cours d'eau naturels en Asie et aux Caraïbes étaient de 0.4-0.5 m/s pour des débits intermittents, ce qui est inférieur à la vitesse requise pour l'immobilisation des mollusques.

Il est préférable d'opter pour des vitesses supérieures, qu'il faudra prévoir dans les études chaque fois que cela est possible. Les ouvrages placés dans le réseau de canaux, tels que les barrages de stockage de nuit, ont tendance à réduire les vitesses et doivent donc être évités autant que possible mais ils créent surtout des plans d'eau découverts propices aux maladies à transmission vectorielle. Cependant, dans le cas de canaux non revêtus, on veillera à éviter une érosion due à des vitesses trop élevées. L'expérience du périmètre irrigué de Mushandike au Zimbabwe fournit des informations supplémentaires sur les vitesses dans les canaux et ouvrages revêtus de béton (Thomson *et al.*, 1996; Chimbari *et al.*, 1993). Une pente de canal de 0.2% a été choisie pour la taille standard du canal secondaire, ce qui a donné une vitesse d'écoulement maximum de 0.85 m/sec.

Revêtement des canaux

Sur le plan technique, le revêtement des canaux répond principalement au souci d'améliorer les efficacités de transport et de distribution par l'élimination ou la réduction des infiltrations d'eau.

Tableau 11

Vitesses moyennes dans un canal trapézoïdal pour la lutte contre les mollusques vecteurs de la bilharziose dans l'hémisphère occidental (Source: ILRI, 1994)

Débit dans le canal (m ³ /s)	Vitesses moyennes immobilisantes dans le canal (m/s)
1	0.58
5	0.67
10	0.71
20	0.75
30	0.78
50	0.81

Du point de vue de la lutte contre les vecteurs, les canaux revêtus:

- ❖ augmentent les vitesses d'écoulement,
- ❖ empêchent, s'ils sont bien entretenus, l'enracinement des mauvaises herbes,
- ❖ limitent la stagnation et l'engorgement en réduisant les infiltrations,
- ❖ sèchent plus rapidement que les canaux non revêtus,
- ❖ ont des surfaces dures qui découragent l'installation de mollusques vecteurs,
- ❖ facilitent la lutte antivectorielle par la gestion de l'eau et l'utilisation de produits chimiques.

Le revêtement ne permet pas à lui seul d'augmenter les vitesses jusqu'au seuil requis pour la maîtrise des vecteurs. Celles-ci dépendent également de la pente longitudinale du canal. Le tableau 12 montre l'effet de cette inclinaison sur les vitesses dans des canaux trapézoïdaux revêtus de béton construits par le Département des services d'assistance technique et de vulgarisation agricoles (Agritex) au

Zimbabwe pour des aménagements d'irrigation exploités par plusieurs petits exploitants.

Plus la pente du canal est forte, plus l'eau circule rapidement et, par conséquent, moins l'habitat est favorable. La comparaison des tableaux 11 et 12 révèle un problème potentiel de mollusques dans des canaux plus petits présentant une déclivité de 1:1000 mais on élimine ce problème en construisant des canaux avec une pente de 1:300. Il ne faut cependant pas oublier que la déclivité générale du périmètre détermine dans une large mesure les pentes des canaux. Il est néanmoins possible d'atteindre les vitesses recherchées et de maintenir une hauteur d'eau suffisante en procédant à un endiguement des canaux combiné avec des chutes.

Ouvrages hydrauliques à drainage libre

Les ouvrages qui retardent l'écoulement ou empêchent le drainage complet constituent de bons habitats pour les mollusques porteurs de la bilharziose et les moustiques. C'est le cas, par exemple, des déversoirs de dérivation en bec de canard et des ouvrages dotés de bassins

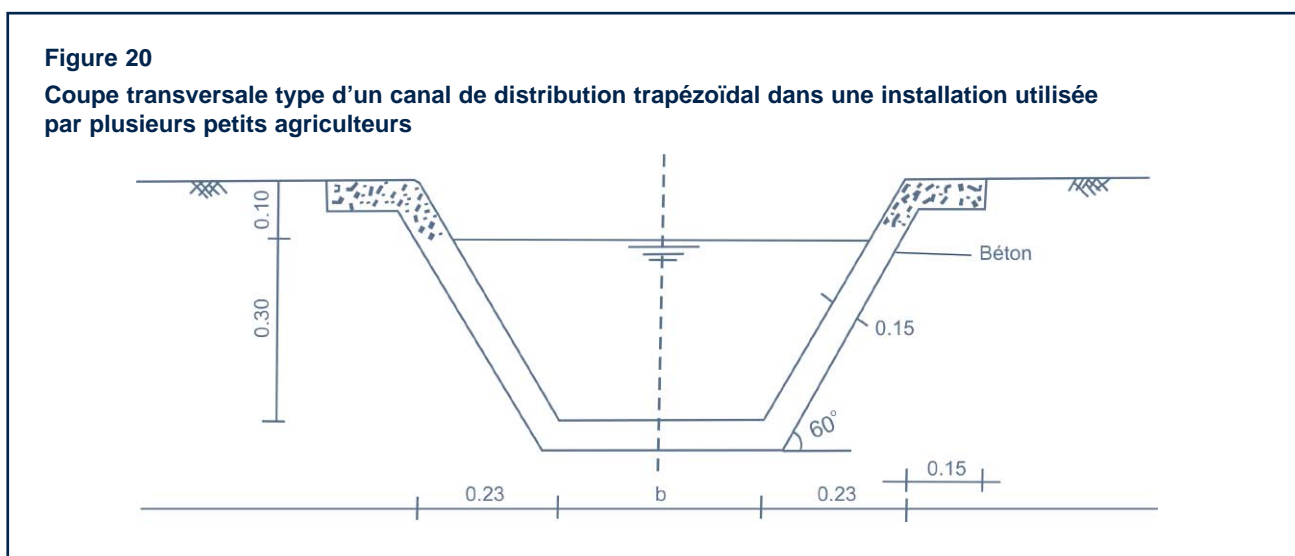


Tableau 12
Débits dans un canal Agritex standard

Largeur du plafond (m)	Pente longitudinale	Débit (m³/s)	Aire de la section transversale (m²)	Vitesse (m/sec)
0.25	1:1000	0.058	0.127	0.46
0.30	1:1000	0.068	0.142	0.48
0.35	1:1000	0.077	0.157	0.49
0.40	1:1000	0.087	0.172	0.51
0.45	1:1000	0.097	0.187	0.52
0.50	1:1000	0.108	0.202	0.53
0.25	1:300	0.105	0.127	0.83
0.30	1:300	0.123	0.142	0.87
0.35	1:300	0.140	0.157	0.89
0.40	1:300	0.158	0.172	0.92
0.45	1:300	0.177	0.187	0.95
0.50	1:300	0.195	0.202	0.97

d'amortissement submergés, tels que les partiteurs (voir Module 7). La plupart de ces ouvrages peuvent être remplacés par des structures à drainage libre, qui permettent d'éviter l'eau stagnante dans des conditions de fonctionnement normales. Ces dispositifs améliorés ne sont pas nécessairement plus chers. Par exemple, le déversoir en bec de canard pourrait être remplacé par un ouvrage de dérivation à drainage libre, comme le montre la figure 21. Ce type d'ouvrage nécessite néanmoins une chute de 0.35 m et ne convient donc pas à des terrains plats, à moins d'élever artificiellement la hauteur du canal en amont, ce qui coûte cher.

Les chutes sont très couramment utilisées dans les réseaux d'irrigation de surface. Les plus petites n'ont pas besoin de bassin d'amortissement. Il faut cependant installer des chutes de grande dimension pour dissiper l'excès d'énergie. Au lieu d'utiliser un bassin submergé, on peut envisager un bassin d'amortissement au même niveau que le canal en aval et avec des blocs de tranquillisation pour atténuer l'énergie et induire le ressaut. Pour plus de détails sur les chutes, voir le Module 7.

Système de drainage

Pour évacuer le surplus d'eau d'irrigation, les systèmes de surface ont besoin de réseaux de drainage. Ceux-ci constituent un habitat idéal pour le parasite du moustique mais s'ils sont bien conçus et entretenus, les risques peuvent cependant être réduits. Compte tenu du cycle vital du moustique, l'étude du système de drainage doit prévoir l'évacuation de l'eau avant que le moustique ait achevé son cycle larvaire. Pour la lutte contre les moustiques, le temps fictif recommandé pour l'évacuation des drains est d'une et

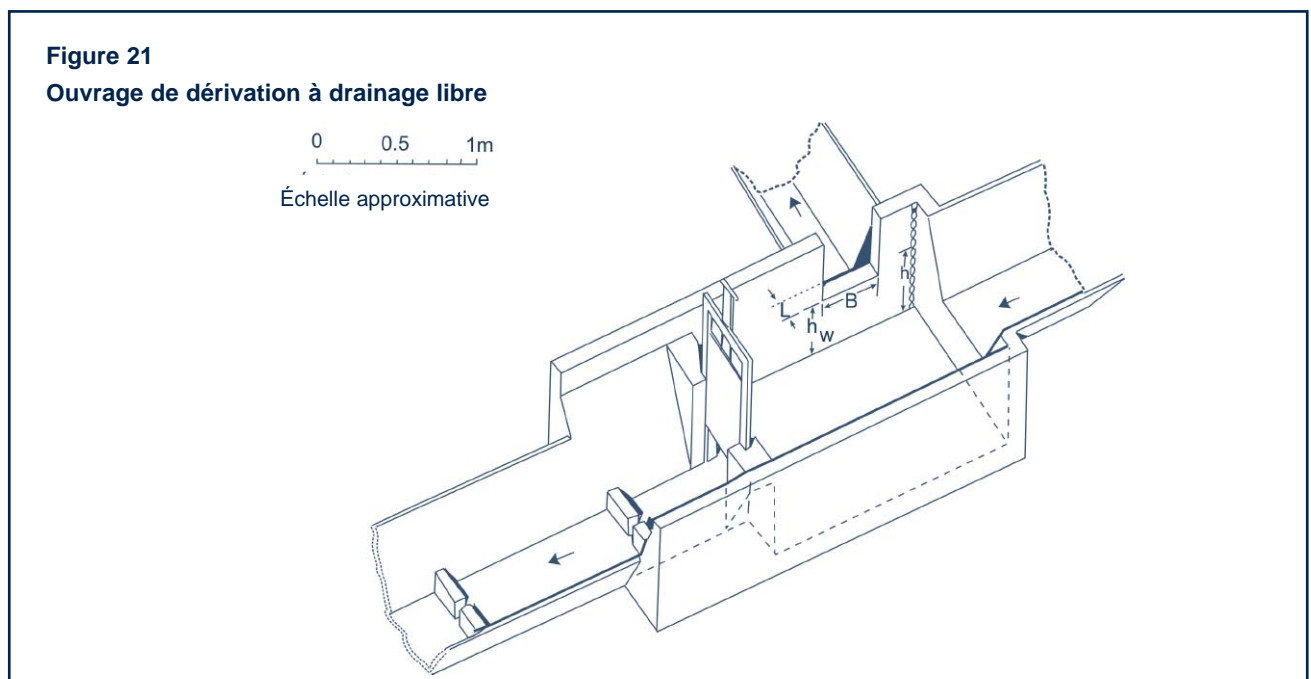
de deux semaines respectivement pour les deux gammes de températures mentionnées dans la section 4.1.1. Pour la lutte contre les mollusques, le système de drainage doit être capable d'éliminer l'eau dans un délai de un à deux mois, ce qui signifie qu'une installation conçue pour la lutte antimoustiques conviendra aussi pour la lutte contre les mollusques. Ce critère peut être utilisé pour le dimensionnement des canaux de drainage pendant la conception. Le réseau de drainage doit être conçu de façon à ce que les drains débouchent sur des collecteurs situés à l'extrémité inférieure du champ où l'eau quitte complètement la superficie irriguée. En l'absence de cours d'eau à proximité du périmètre, l'eau de drainage peut être réutilisée pour la production.

Nivellement des terres

Cette opération consiste à égaliser un terrain en vue d'une utilisation plus efficace de l'eau d'irrigation. Elle élimine également les dépressions, qui sont des lieux de reproduction potentiels pour les moustiques et les mollusques. L'étude d'un périmètre d'irrigation, surtout pour les installations de surface, doit incorporer le calcul des déblais et remblais nécessaires pour le nivellement. Il faut noter cependant que le nivellement coûte cher et peut entraîner l'enlèvement de la couche arable s'il n'est pas convenablement réalisé.

4.2.2. Mesures visant à réduire les contacts homme-vecteur

En réduisant au minimum les contacts homme-vecteur par les mesures décrites ci-dessous, on limite la propagation du vecteur des maladies.



Localisation des villages

Les petits exploitants partageant une infrastructure d'irrigation et les travailleurs agricoles employés sur des grands périmètres irrigués sont particulièrement exposés aux maladies à transmission hydrique, surtout si leurs villages sont situés près de plans d'eau à ciel ouvert. Les villages devraient se trouver à au moins un kilomètre de plans d'eau découverts tels que canaux, drains, réservoirs de stockage de nuit. Pour que les villageois acceptent cet éloignement, un approvisionnement en eau potable doit être fourni à proximité des habitations afin de dissuader les agriculteurs d'utiliser l'eau d'irrigation et de drainage pour la toilette ou d'autres usages domestiques. Il faut reconnaître que l'implantation de villages par ce moyen n'est pas toujours possible, auquel cas d'autres mesures de lutte contre les maladies, notamment à l'aide de produits chimiques, devront être employées.

Approvisionnement en eau domestique

Les puits forés, équipés d'une pompe à main ou à moteur, sont généralement considérés comme une source sûre d'eau potable. Dans un pays comme le Zimbabwe, la recommandation officielle fixe à 20 le nombre de familles par puits. Les puits doivent être installés non seulement près des villages mais aussi sur le périmètre irrigué pour éviter que les agriculteurs utilisent l'eau des canaux et des drains lorsqu'ils se trouvent sur les parcelles. Ils doivent être dotés d'un dispositif de drainage pour éviter l'accumulation d'eau dans des étangs et endroits boueux et être clôturés pour empêcher les animaux de s'abreuver dans les zones humides autour des points de captage. Des planches à lessiver en béton doivent être installées et reliées au réseau de drainage.

Latrines à fosse

L'installation de plusieurs latrines à fosse sur le périmètre irrigué est indispensable. Au Zimbabwe, le nombre recommandé de toilettes est d'une unité pour 6 ha ou pour 50 personnes. Des latrines à fosse doivent également être fournies dans les villages.

Abreuvoirs pour bétail

Des abreuvoirs doivent être installés aux endroits stratégiques à l'extérieur du périmètre irrigué pour dissuader les agriculteurs d'amener leur bétail aux barrages, canaux d'irrigation et drains. Les abreuvoirs pourraient être conçus, lorsque cela est possible, pour un remplissage par gravité ou pompage manuel afin de réduire les dépenses d'énergie. Il faut prévoir le rinçage périodique des abreuvoirs.

4.3. Mesures de lutte contre les maladies après la construction

Un certain nombre de mesures postérieures à la construction permettent de réduire le nombre de cas de maladies d'origine hydrique. Il s'agit notamment de mesures de lutte biologiques, chimiques, physiques et environnementales. Les questions environnementales sont abordées dans la section 4.4.

4.3.1. Lutte biologique et chimique

Habituellement, la lutte biologique consiste à introduire dans la zone visée des agents de lutte biologique ou à augmenter leur nombre pour qu'ils se multiplient aux dépens des agents pathogènes. Une fois en place, la lutte biologique se perpétue naturellement. Elle est cependant inefficace contre les mauvaises herbes et requiert un niveau élevé de compétences.

Les mesures de lutte chimique sont un moyen efficace de lutte contre les parasites mais elles sont souvent coûteuses et peuvent entraîner une dégradation de l'environnement si elles sont mal appliquées. Utilisation de pesticides et d'herbicides nécessite une bonne connaissance des produits. Ceux-ci peuvent en outre avoir des effets nuisibles sur des organismes non ciblés et limiter l'utilisation d'eau pendant quelque temps après leur application. Dans certains cas, l'apport de pesticides fait apparaître de nouveaux ravageurs agricoles ou vecteurs.

Compte tenu de ces éléments, il faut impérativement établir des stratégies et des programmes de protection intégrée contre les organismes nuisibles de façon à pouvoir surveiller les vecteurs et mettre en place des systèmes d'alerte précoce pour enrayer les flambées épidémiques (voir Module 3). Ces mesures doivent être appliquées en coopération étroite avec les autorités sanitaires.

4.3.2. Lutte physique

On entend par lutte physique les mesures de nature technique qui visent à limiter l'envasement, l'envahissement par les plantes aquatiques et autres types de végétation par des méthodes manuelles ou mécaniques. La connaissance des différents types de mauvaises herbes aide à déterminer le moyen de les combattre. Pour les besoins de ce module, on se contentera de mentionner les différentes catégories de mauvaises herbes: plantes submergées, plantes flottant librement, plantes au feuillage flottant et plantes émergées. La figure 22 donne une présentation schématique de ces mauvaises herbes qui poussent dans les canaux.

C'est la densité des plantes dans un canal, selon la superficie et le type de mauvaise herbe, qui détermine à quel moment

il faut procéder au désherbage. Comme l'envasement prend souvent beaucoup plus de temps que l'infestation par des plantes aquatiques, l'enlèvement des plantes sera plus fréquente que le curage. L'évacuation de la vase élimine aussi les plantes aquatiques.

Une fois établi, le réseau d'irrigation devra être entretenu pour empêcher la formation de plans d'eau pouvant abriter des mollusques et des moustiques. Les canaux, drains, réservoirs de stockage de nuit et autres ouvrages hydrauliques connexes doivent être régulièrement débarrassés de la vase et des mauvaises herbes qui s'y sont accumulés. Pour cela, il faut un programme d'entretien. Pour la lutte antivectorielle, ce programme fait partie de l'entretien général de l'infrastructure d'irrigation. Il sera décrit en détail dans le contexte de l'exploitation et de la maintenance des périmètres irrigués dans les modules consacrés à l'irrigation de surface (Module 7), par aspersion (Module 8) et localisée (Module 9).

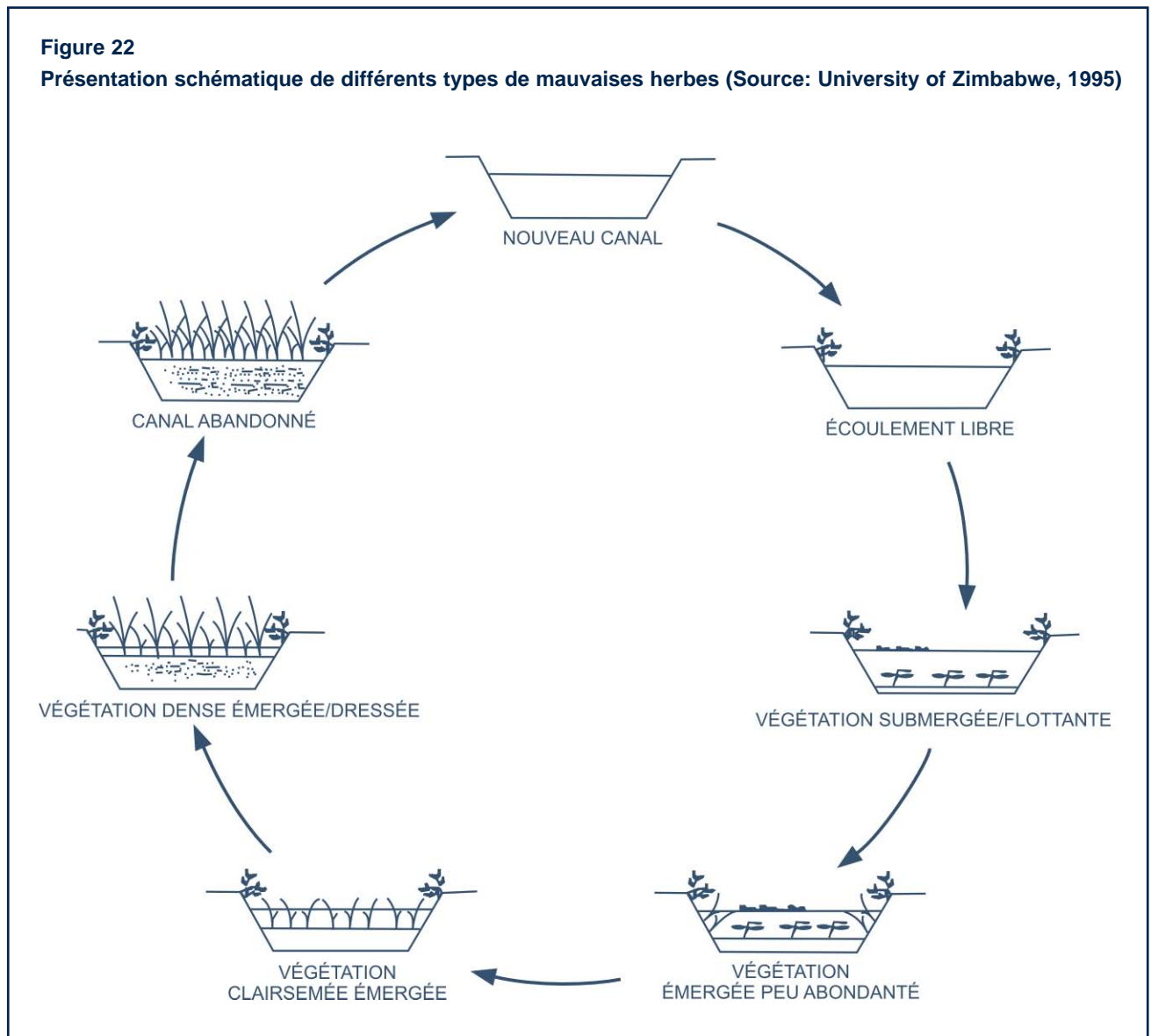
Les systèmes d'irrigation sous pression, qui distribuent l'eau par conduites et ne comportent pas d'étendues d'eau découvertes au niveau de la parcelle, présentent l'avantage intrinsèque de pouvoir maîtriser les vecteurs des maladies liées à l'eau. L'absence de système de drainage dans ce type d'installation, combiné à une meilleure application de l'eau, est un avantage supplémentaire. Toutefois, les gros éclatements de tuyaux peuvent entraîner des risques sanitaires si les réparations ne sont pas effectuées immédiatement.

4.4. Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE)

Selon la FAO (1995), une étude d'impact environnemental est un processus structuré qui vise à prévoir les conséquences pour l'environnement des activités de développement humain et à planifier les mesures permettant d'éliminer ou de réduire les effets néfastes et

Figure 22

Présentation schématique de différents types de mauvaises herbes (Source: University of Zimbabwe, 1995)



d'accroître les effets positifs. Cette évaluation constitue donc pour les planificateurs et les décideurs un outil de gestion qui complète les autres considérations techniques et économiques. Elle comprend les étapes suivantes:

- Sélection : étape qui permet de déterminer si un projet particulier justifie la réalisation d'une évaluation d'impact complète, en fonction de la taille du projet ou d'informations concernant le site.
- Tri : processus visant à déterminer, avec la participation de la communauté, quelles sont les questions essentielles qu'il y a lieu d'étudier.
- Prédiction & Atténuation : élément central d'une évaluation qui consiste à examiner différentes options d'atténuation d'impact réalistes et abordables.
- Gestion & Suivi : élaboration d'un plan d'action environnemental sur la base des options d'atténuation évaluées et des exigences institutionnelles pour la mise en œuvre.
- Audit : réalisation d'un audit environnemental sur la base des expériences acquises après la mise en œuvre du projet.

Dans les sections suivantes, nous abordons brièvement quelques-uns des impacts importants d'un périmètre irrigué que fait apparaître une évaluation d'impact environnemental.

4.4.1. Hydrologie

Les projets d'irrigation modifient l'hydrologie des cours d'eau et des eaux souterraines par leur consommation de ces ressources. Il arrive que l'écologie de la zone ne puisse pas faire face aux changements provoqués par un nouveau projet ou par la réhabilitation d'un aménagement existant. La modification de l'hydrologie a également un impact sur les utilisateurs en aval. Il est donc nécessaire de définir clairement les usagers d'eau actuels et futurs et de faire en sorte que leurs besoins soient compatibles avec les débits actuels et futurs dans un bassin fluvial donné. L'abaissement du niveau de la nappe souterraine affecte aussi d'autres utilisateurs, tels que la faune et la flore, en particulier dans les zones humides. L'exploitation continue et non contrôlée de l'eau souterraine peut avoir de graves conséquences économiques et environnementales et devrait bénéficier d'une attention particulière lors de la planification.

4.4.2. Qualité de l'eau

L'eau est essentielle pour l'homme, l'agriculture, l'activité industrielle et l'environnement. Une eau polluée peut contenir des substances toxiques en quantités intolérables pour l'homme, les animaux et les plantes. Lorsque le régime hydrologique est modifié, la qualité de l'eau change également. Les produits agrochimiques utilisés dans la production végétale irriguée et les produits chimiques déversés dans les cours d'eau par les industries ont des effets nuisibles sur l'environnement. Une planification appropriée doit être mise en place pour limiter ces effets. Le lecteur trouvera dans FAO (1995) des directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation.

4.4.3. Propriétés et salinité du sol

L'irrigation va de pair avec une production végétale intensive, qui a un effet marqué sur la fertilité, le caractère érosif et éventuellement la salinité du sol. Les sels contenus dans l'eau d'irrigation ainsi que dans les engrais, les pesticides et l'eau souterraine peuvent accroître la salinité du sol. L'accumulation de sel cause des dommages irréversibles au sol. Pour un développement durable de l'irrigation, une planification et une utilisation appropriées de l'irrigation sont donc essentielles.

4.4.4. Biodiversité

En modifiant les modes d'utilisation des terres des zones proches et environnantes, les réseaux d'irrigation ont un impact majeur sur la biodiversité du cours d'eau ou de l'eau souterraine dans leurs bassins versants respectifs. L'étude d'impact environnemental doit mettre en évidence les effets des futurs aménagements sur les mammifères, les poissons, les reptiles, les insectes et autres espèces menacées qui risquent d'être affectées par une modification de leur habitat. Les zones humides et les plaines sont parmi les terres les plus productives. Elles abritent une grande variété d'espèces, y compris du gibier d'eau et des oiseaux migrateurs, et outre leur fonction de zone tampon protégeant contre les inondations, elles se prêtent parfaitement à l'installation de stations d'épuration d'eau relativement peu coûteuses et permettent aussi de protéger les côtes contre l'érosion. Les zones humides ont besoin d'être constamment réalimentées en eau douce. Cependant, un apport salin ou réduit, résultant d'une mauvaise planification de l'irrigation ou de la présence d'autres projets en amont, aura des effets dévastateurs sur la fertilité du sol ainsi que sur l'eau douce nécessaire aux hommes, aux poissons, aux oiseaux et autres animaux dépendant des zones humides (FAO, 2002).

Chapitre 5

Listes de pointage pour l'évaluation de l'impact socio-économique, agro-technique, sanitaire et environnemental d'un aménagement d'irrigation

Les listes de pointage pour l'évaluation de l'impact socio-économique, agro-technique, sanitaire et environnemental présentées ci-dessous ne sont pas exhaustives. Field et Collier (1998) donnent plus de détails sur ces listes destinées à faciliter la préparation de projets de petite irrigation en Afrique subsaharienne.

5.1. Liste de pointage pour l'évaluation de l'impact socio-économique d'un aménagement d'irrigation

La liste non exhaustive ci-dessous a pour but de faciliter une évaluation rapide de l'impact socio-économique d'un aménagement d'irrigation:

- ❖ Une évaluation rurale participative a-t-elle été réalisée?
- ❖ Le projet modifiera-t-il les conditions de vie des résidents? Si oui, ces changements ont-ils été recensés et notés?
- ❖ Les préférences traditionnelles ont-elles été prises en compte lors de la conception du réseau?
- ❖ Le planificateur sait-il ce que tous les groupes attendent ou exigent du projet?
- ❖ Les sources potentielles de conflit ont-elles été recensées?
- ❖ Le régime foncier applicable aux agriculteurs et agricultrices est-il pris en compte?
- ❖ Toutes les personnes ou tous les groupes concernés par le projet sont-ils convenablement informés sur le nouvel aménagement et leurs nouveaux rôles?
- ❖ Les responsabilités, droits et obligations sont-ils clairs pour toutes les parties? Sont-ils consignés dans un document écrit et signé?
- ❖ Les contraintes que représentent les activités proposées pour toutes les parties en termes de temps, de travail et de moyens financiers ont-elles été prises en compte?
- ❖ Les besoins des agricultrices ont-ils été pris en compte et/ou quelles incidences les activités proposées auront-elles en termes de temps et de travail pour les femmes?

- ❖ Toutes les parties ont-elles eu l'occasion d'exprimer leurs opinions?
- ❖ Les opinions de toutes les parties ont-elles été notées?
- ❖ Y a-t-il des preuves que les opinions des gens ont été prises en compte et incorporées dans la planification?
- ❖ Des groupes de défense des intérêts des agriculteurs ont-ils été formés, par exemple sous la forme de Comités de gestion de l'irrigation?
- ❖ Pour chaque question essentielle ou source de conflit potentielle identifiée a-t-on étudié les différentes solutions possibles pour limiter ou éviter les différends anticipés au moyen d'approches participatives?
- ❖ Si les impacts de la nouvelle construction ne sont pas acceptables ou viables d'un point de vue social, le projet a-t-il été annulé? Qui a le pouvoir de décider de la continuation ou de l'annulation du projet?

5.2. Liste de pointage pour l'évaluation agro-technique en vue du choix d'un système d'irrigation

La liste non exhaustive ci-dessous a pour but de faciliter une évaluation agro-technique rapide destinée à choisir un système d'irrigation:

Le système d'irrigation est-il adapté aux caractéristiques agro-techniques suivantes sur le site concerné:

- ❖ Ressources en eau: accessibilité, quantité et qualité?
- ❖ Sols: texture, structure, profils et profondeurs, salinité et drainage?
- ❖ Topographie: pente?
- ❖ Climat et cultures: arrosage du feuillage ou des racines, enracinement peu profond, etc.?
- ❖ Capital et main-d'œuvre: disponibilité et coût?
- ❖ Énergie: disponibilité et coût?

Pour chaque question à laquelle vous avez répondu «non», étudiez et présentez les différentes solutions techniques possibles pour adapter le système.

5.3. Liste de pointage pour l'évaluation des risques sanitaires d'un aménagement d'irrigation

La liste non exhaustive ci-dessous a pour but de faciliter une évaluation rapide des risques sanitaires que présente un aménagement d'irrigation:

Est-ce que le projet:

- ❖ entraînera une augmentation du nombre de sites favorisant la reproduction des vecteurs des maladies liées à l'eau?

- ❖ entraînera une modification de la qualité de l'eau de boisson?
- ❖ augmentera la transmission de maladies par le contact animal-vecteur?
- ❖ augmentera la transmission de maladies par le contact homme-vecteur?
- ❖ comportera l'utilisation de substances toxiques?

Pour chaque question à laquelle vous avez répondu «oui», consultez le tableau 13 pour trouver un moyen de limiter ou d'atténuer les dommages.

Tableau 13
Mesures d'aménagement et d'atténuation visant à réduire les risques pour la santé publique

Effets négatifs potentiels	Mesures d'atténuation
Risques pour la santé publique	• Limiter la recrudescence des maladies à transmission hydrique et la vulnérabilité des communautés rurales à l'intérieur et autour des périmètres
<ul style="list-style-type: none"> • Introduction ou recrudescence de maladies à transmission hydrique (schistosomiase, paludisme, etc.) et vulnérabilité des communautés rurales à l'intérieur et autour des périmètres • Accidents parfois mortels, notamment pendant la construction, et risque de noyade dans les canaux, les réservoirs de stockage de nuit, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revêtir tous les canaux non revêtus ou utiliser des conduites pour le réseau d'alimentation et de distribution afin de limiter les infiltrations d'eau, l'eau stagnante constituant un habitat propice pour les vecteurs de ces maladies - Incorporer des ouvrages à drainage libre dans la conception du réseau d'alimentation, de transport et de distribution - Installer des vannes aux extrémités des canaux pour permettre leur nettoyage - Comblé ou drainer les dépressions le long des canaux et des voies d'accès ou à l'intérieur et autour des périmètres irrigués afin de réduire la stagnation de l'eau - Entretenir le système de drainage en le curant et en le désherbant régulièrement. Nivelé la zone irriguée pour éviter la stagnation d'eau durant l'arrosage - Curer et désherber régulièrement les réservoirs de stockage de nuit et les canaux et désherber les berges des canaux - Curer et désherber les autres ouvrages hydrauliques du réseau d'irrigation tels que partiteurs, déversoirs, canaux sur appuis, chutes, etc. - Remplacer le bitume sur les joints des canaux pour réduire les pertes par infiltration - Réparer les digues le long des canaux, les canaux et autres ouvrages - Lorsque cela est possible, faire varier les niveaux de l'eau dans les barrages de stockage de nuit pour dessécher les mollusques aquatiques et les larves des anophèles - Faire sécher régulièrement, dans la mesure du possible, les canaux par une rotation de l'alimentation en eau afin de ne pas les garder constamment humides - Avoir recours à la prophylaxie - Traiter les maladies - Appliquer les règles de sécurité relatives à la construction - Utiliser des opérateurs de machine qualifiés et respecter les réglementations concernant l'utilisation et l'élimination de matières dangereuses - Utiliser une technologie appropriée - Protéger les gens contre les dangers que pourraient poser certains ouvrages, par exemple en clôturant les réservoirs et les canaux présentant un risque de noyade pour les personnes, surtout les enfants, et les animaux
Pollution de l'eau et du sol	
<ul style="list-style-type: none"> • Contamination de l'eau de surface, de l'eau souterraine et du sol due à des concentrations toxiques de métaux lourds et de produits agrochimiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Protéger les têtes de puits contre d'éventuelles contaminations: <ul style="list-style-type: none"> (a) inspecter périodiquement et, le cas échéant, respecter les directives pour la construction de puits (b) installer des dispositifs de prévention de reflux et des vannes anti-retour (c) se placer à au moins 30 m du puits lors d'opérations de mélange, de chargement et de stockage de produits agrochimiques (d) surveiller régulièrement la qualité du puits en faisant tester des échantillons d'eau afin de vérifier la conformité aux normes de qualité recommandées (e) connaître les variables propres au site qui influent sur la vulnérabilité de l'aquifère - Gérer l'irrigation de façon à limiter le transport de produits chimiques, d'éléments nutritifs ou de sédiments à partir de la surface du sol ou de la rhizosphère: <ul style="list-style-type: none"> (a) programmer les arrosages en fonction des besoins en eau des cultures et du tarissement de l'eau du sol et appliquer l'eau en conséquence (b) moderniser ou entretenir le matériel et le réseau d'irrigation de manière à améliorer l'efficacité d'arrosage (c) procéder au lessivage des sels solubles au moment où la teneur du sol en nitrate résiduel est faible (d) réduire les vitesses d'arrosage pour éviter l'écoulement ou la percolation profonde pendant ou immédiatement après l'épandage de produits agrochimiques

Effets négatifs potentiels	Mesures d'atténuation
<ul style="list-style-type: none"> • Transport d'agents pathogènes provenant d'engrais à base d'excréments 	<ul style="list-style-type: none"> - Gérer les apports d'azote de façon à optimiser la croissance des cultures et la rentabilité économique tout en protégeant la qualité de l'eau: <ul style="list-style-type: none"> (a) prélever des échantillons de sol jusqu'à au moins 0.6 m ou à la profondeur d'enracinement des cultures pour déterminer le NO₃ – N résiduel (b) établir le rendement par rapport au taux d'application d'azote pendant au moins les cinq années précédentes (c) tenir compte de toutes les sources d'azote lorsqu'on détermine les besoins en engrais azotés: ces sources peuvent être des matières organiques, des résidus d'anciennes cultures, du nitrate d'eau d'irrigation, du nitrate contenu dans le sol et du fumier (d) utiliser des engrais-retards à libération progressive d'azote et des inhibiteurs de nitrification selon les besoins (e) répartir l'apport d'azote en autant d'applications qu'il est possible de réaliser sur le plan économique et agronomique (f) éviter l'épandage d'azote sur des pentes, surtout sur des sols sableux et des aquifères vulnérables (g) préparer un plan annuel de gestion de l'azote pour chaque culture - Employer les pesticides à bon escient et limiter les effets collatéraux <ul style="list-style-type: none"> (a) donner une formation approfondie à toutes les personnes chargées de l'épandage de substances chimiques et prévoir éventuellement la délivrance d'un certificat avant l'emploi de ces produits (b) choisir les pesticides en fonction des variables propres au site et relatives à la gestion pour limiter la contamination éventuelle de l'eau souterraine (c) s'assurer que les personnes chargées de l'épandage de produits chimiques connaissent les caractéristiques du site en question, y compris le type de sol, la profondeur de l'eau souterraine et les risques d'érosion (d) pour déterminer si un pesticide particulier convient sur le site, comparer les risques liés au lessivage de substances chimiques, la persistance du produit et sa toxicité dans les conditions déterminées (e) inspecter, calibrer et entretenir régulièrement le matériel d'épandage (f) limiter les gaspillages et l'entreposage de pesticides en achetant et mélangeant uniquement les quantités de produits chimiques nécessaires; utiliser des conteneurs réutilisables pour éviter les problèmes liés à leur élimination - Noter tous les pesticides et engrais utilisés: Tenir des données sur les éléments suivants: <ul style="list-style-type: none"> (a) analyses de l'eau d'irrigation (b) résultats des tests pédologiques (c) rendements escomptés des cultures (d) recommandations concernant les engrais azotés (e) engrais et/ou fumier appliqués (f) quantité d'eau d'irrigation apportée (g) rendements réels des cultures (h) tous les pesticides utilisés, y compris: marque, formule, enregistrement, quantité utilisée et date d'utilisation, lieu précis d'utilisation, nom, adresse et numéro de certification de l'utilisateur (i) ces données doivent être conservées pendant au moins 3 ans - Gérer les besoins en phosphore de la production végétale de manière à optimiser la croissance des cultures et à limiter la dégradation des ressources en eau: <ul style="list-style-type: none"> (a) mettre en oeuvre des pratiques et ouvrages de conservation des sols aux normes SCS ou locales pour lutter contre l'érosion (b) effectuer des tests pédologiques de la couche labourable et appliquer l'engrais en suivant les recommandations issues des tests (c) tenir compte également du phosphore provenant du fumier et d'autres sources lorsqu'on détermine le taux d'application de phosphore (d) répandre des herbes filtrantes autour des champs cultivés érosifs pour capturer et filtrer le phosphore dans l'écoulement de surface (e) incorporer dans le sol le phosphore appliqué à la surface - Adopter la protection intégrée contre les organismes nuisibles (PI) comme stratégie dans les prises de décision en matière de lutte contre les ravageurs: <ul style="list-style-type: none"> (a) surveiller les populations de ravageurs et de prédateurs (b) choisir des variétés résistantes aux ravageurs (c) programmer les semis et récoltes de façon à limiter les dégâts causés par les ravageurs (d) alterner la succession des cultures pour briser le cycle vital des ravageurs (e) privilégier les traitements localisés ou grouper les pesticides plutôt que de faire des épandages en couverture (f) utiliser des insectes bénéfiques et autres moyens de lutte biologique - Les déjections d'animaux doivent être convenablement récoltées, entreposées et appliquées à des taux agronomiques pour la production végétale afin d'éviter leur rejet dans les eaux de surface ou souterraines. Pour cela, procéder comme suit: <ul style="list-style-type: none"> (a) analyser le fumier pour déterminer la teneur en éléments nutritifs et le pourcentage de matière sèche (voir s'il existe des recommandations à ce sujet) (b) réduire la quantité d'engrais azoté en fonction de la quantité d'azote dans le fumier (c) éviter l'épandage d'engrais sur des sols saturés et incorporer l'engrais après application

D'autres éléments importants doivent être pris en compte en ce qui concerne les paramètres sanitaires:

- ❖ Les départements compétents au sein du ministère de la santé et d'autres institutions concernées du secteur de la santé interviennent-ils et sont-ils consultés au tout début du projet?
- ❖ Dans quelle mesure les mesures de prévention sont-elles comprises et les modes de transmission connus?
- ❖ Les résidents ont-ils accès à des services de vulgarisation sanitaire et à des structures de soins?

- ❖ A-t-on désigné une personne responsable de la surveillance?
- ❖ Si oui, est-elle suffisamment qualifiée pour s'acquitter des fonctions liées à cette tâche?

5.4. Liste de pointage pour l'évaluation de l'impact environnemental (EIE) d'un aménagement d'irrigation

On trouvera des indications détaillées sur la façon de réaliser une étude d'impact environnemental dans d'autres

Tableau 14
Mesures d'aménagement et d'atténuation visant à lutter contre la dégradation des sols

Effets négatifs potentiels	Mesures d'atténuation
<ul style="list-style-type: none"> • Engorgement 	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter et lutter contre l'engorgement: <ul style="list-style-type: none"> (a) en régulant l'apport d'eau de façon à éviter le sur-arrosage (b) en installant et en entretenant un système de drainage adéquat, éventuellement un système souterrain s'il y a lieu (c) en utilisant des canaux revêtus ou des conduites pour prévenir l'infiltration (d) en choisissant, au stade de la conception, des systèmes d'irrigation efficaces, par aspersion ou goutte à goutte par exemple
<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la salinité, de l'alcalinité, de la sodicité et de l'acidité du sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Stratégies de gestion pour réduire la salinisation et ses effets sur les cultures: <ul style="list-style-type: none"> (a) lessivage des sels par des chasses régulières (b) utilisation de programmes d'arrosage appropriés incorporant les besoins de lessivage (normalement 10-20% ajoutés au besoin d'irrigation) ou lessivage pendant la saison des pluies (c) installation d'un système de drainage adapté (d) modification des techniques de travail du sol (e) ajustement des systèmes de culture en choisissant des cultures résistantes à la salinité et en évitant la monoculture (f) incorporation de substances qui améliorent le sol, en ajoutant notamment du gypse à l'eau d'irrigation afin de réduire la teneur en sodium des sols (g) déversement sans risques de l'eau de drainage sur des terres inutilisées (si elles ne sont pas menacées) ou dans des étangs d'évaporation (où les effets peuvent être contenus) (h) utilisation d'une eau de bonne qualité
<ul style="list-style-type: none"> • Perte ou accumulation de sol due à l'érosion hydrique sur les terres irriguées 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire l'érosion des sols dans les périmètres irrigués en préparant soigneusement l'étude (prise en compte des dimensions des champs, de la taille des jets et des gouttes, de la nature des sols, de la pente et de l'organisation de la parcelle) et en prenant les mesures suivantes: <ul style="list-style-type: none"> (a) utilisation de canaux revêtus ou de conduites pour le transport de l'eau (b) installation d'ouvrages de drainage et de conservation des sols adéquats sur les terres irriguées (c) choix du débit approprié pour les sillons, planches et bassins (d) utilisation de la charge correcte entre les canaux de distribution et les terres irriguées, généralement de 15 à 30 cm (e) utilisation de plastique ou autres matériaux pour réduire l'impact de l'eau des siphons sur les terres irriguées (f) utilisation de siphons, barrages régulateurs, vannes, canaux de décharge pour l'application, la maîtrise et l'évacuation de l'eau (g) utilisation d'asperseurs ayant une vitesse d'arrosage inférieure à la vitesse d'infiltration du sol à irriguer (h) nivellement et construction d'ouvrages de conservation (i) opérations de déblai-remblai appropriées par endiguements de cours d'eau (j) implantation de végétation dans les zones défrichées après les travaux de construction des équipements d'irrigation
<ul style="list-style-type: none"> • Erosion du sol suite à une intensification de l'activité humaine aux alentours, notamment l'expansion des cultures pluviales et de l'élevage et le besoin accru de bois de chauffage • Perte de fertilité du sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures à prendre: <ul style="list-style-type: none"> (a) Bonne planification des zones d'habitation pour éviter de dépasser la capacité limite des zones alentour (b) Prévoir l'implantation de villages, la présence de bétail, les besoins en bois de chauffage et la création de jardins potagers à l'intérieur et autour du périmètre.

publications, notamment FAO (1995) et les Principes directeurs de la Banque mondiale pour l'évaluation de l'impact environnemental. Il n'est donc pas nécessaire de développer ici ces recommandations. Dans cette section nous donnons des informations générales sur certains des aspects importants à traiter dans une évaluation d'impact environnemental ainsi que sur les effets négatifs que peuvent comporter les projets d'irrigation et les mesures d'atténuation possibles. Cette information est fournie sous forme de listes de contrôle, que les planificateurs et les communautés peuvent utiliser au cours du développement et de l'exploitation d'aménagements. La liste ci-dessous fournit des exemples de questions auxquelles il convient de répondre durant la planification. Le tableau 14 passe en revue une série d'effets nuisibles possibles et les mesures permettant de les atténuer.

Est-ce que le projet:

- ❖ aura un impact sur les zones biologiques sensibles menacées d'érosion ou de pollution, telles que les zones humides ou les sources d'eau potable par exemple? Y a-t-il un risque d'eutrophisation?
- ❖ contribuera à modifier la structure ou la fertilité des sols?
- ❖ contribuera à la salinisation ou à l'engorgement des sols?
- ❖ aura un impact important sur la disponibilité de l'eau de surface et de l'eau souterraine à l'échelle locale et régionale? Y a-t-il un risque de prélèvement de l'eau souterraine? Ou d'intrusion salée?
- ❖ contribuera dans une large mesure à la pollution des terres et de l'eau à court et long terme?
- ❖ aura un impact considérable sur les zones abritant des espèces végétales uniques ou sensibles et les modifiera?
- ❖ entraînera manifestement une utilisation accrue de produits chimiques, tels que les engrais et pesticides?
- ❖ impliquera l'utilisation de substances chimiques ou de produits non biodégradables?
- ❖ présentera un risque de propagation involontaire de la pollution au-delà de la zone contrôlée du projet par voie aérienne, hydrique ou à travers la chaîne alimentaire?
- ❖ prévoit la manipulation de produits chimiques dangereux par des personnes n'ayant pas les compétences requises?
- ❖ augmentera l'utilisation de ressources naturelles fossiles?

D'autres aspects importants doivent être pris en compte:

- ❖ A-t-on désigné un responsable de la surveillance?
- ❖ Dans quelle mesure les résidents comprennent-ils les causes et effets environnementaux à l'échelle mondiale, régionale et locale?
- ❖ Y a-t-il sur le site des zones de végétation ou arborées pour empêcher l'érosion du sol?

Chapitre 6

Principes et lignes directrices pour la préparation de l'étude de faisabilité d'un projet d'irrigation

Les études de faisabilité sont un moyen d'évaluer des options de développement en vue d'un investissement, en l'occurrence un investissement dans l'irrigation. Dans le cas d'un aménagement d'irrigation, il s'agit d'évaluer les aspects physiques liés aux terres, à l'eau et au climat ainsi que le potentiel de production végétale et les programmes de culture compte tenu de ces éléments physiques. Une appréciation est portée sur les différentes options techniques possibles en ce qui concerne les bénéfices, les coûts, l'exploitation et l'entretien, la compatibilité avec les terres et les ressources en eau disponibles, l'impact environnemental, la santé des utilisateurs et la vie sociale et le bien-être des irrigants. Enfin, ce type d'analyse examine d'un point de vue critique les possibilités de commercialisation et l'accès aux marchés et évalue les aspects financiers et économiques de l'aménagement. En résumé, l'étude de faisabilité est censée fournir au client une série d'options et lui recommander celle qui est la plus appropriée, c'est-à-dire celle qui combine faisabilité technique, viabilité financière et économique, intérêt social et durabilité environnementale.

Pour les projets d'irrigation, l'étude de faisabilité doit en principe couvrir les domaines suivants:

1. Climat et ressources naturelles
2. Agriculture
3. Crédit et commercialisation
4. Aspects techniques du projet
5. Aspects sociaux du projet
6. Aspects liés à l'organisation et à la gestion du projet
7. Aspects sanitaires et environnementaux du projet
8. Analyse économique et financière

Dans les chapitres précédents, le caractère multidimensionnel du processus d'aménagement avait été mis en évidence. Ce chapitre analyse brièvement la présentation de ce processus à travers l'élaboration d'une étude de faisabilité.

6.1. Climat et ressources naturelles

En règle générale, le climat et l'évaluation des ressources naturelles (terres et eau) potentielles et disponibles figurent

parmi les premiers aspects à aborder dans la préparation d'une étude de faisabilité.

6.1.1. Climat

Les principales données climatiques sont la pluviométrie, les températures minimum et maximum, l'humidité relative minimum et maximum, le vent et les heures d'ensoleillement.

Le climat est un facteur important dans la production végétale. Chaque culture a ses propres exigences en termes de température, d'humidité et de lumière. Par ailleurs, le risque de gel pendant certaines périodes exclut plusieurs végétaux du programme de culture. D'une manière générale, avant de préparer un programme de culture il est nécessaire de procéder à une analyse des données climatiques concernant la production végétale.

L'exactitude des estimations des besoins en eau des cultures dépend aussi fortement de la disponibilité de données météorologiques précises. Des marges d'erreur de 20% seulement dans ces estimations peuvent affecter considérablement l'économie d'un projet, en particulier en Afrique où les coûts de la mise en valeur de l'eau sont élevés. Il est donc indispensable de disposer de données météorologiques à long terme fiables, notamment sur la pluviométrie.

6.1.2. Terres

Combinée avec les caractéristiques du sol, la topographie du terrain permettra de déterminer si les terres sont irrigables et de choisir les surfaces qui se prêtent le mieux à l'irrigation. Cette évaluation sera réalisée grâce aux enquêtes pédologiques et topographiques présentées en détail dans le Module 2.

6.1.3. Eau

Pour évaluer le potentiel des ressources en eau, on a besoin de données sur l'écoulement fluvial et la qualité de l'eau portant sur une longue période. En l'absence de données hydrologiques, on utilise les relevés pluviométriques ou les débits des cours d'eau avoisinants pour les estimations. Pour les ressources souterraines, on effectue des études hydrologiques et on utilise les données relatives aux puits

existants et puits test pour établir les rendements à long terme et court terme de l'aquifère (Module 2).

Néanmoins, indépendamment de la disponibilité de l'eau, il est nécessaire de mener une enquête sur le droit d'usage de l'eau. Cette question acquiert une importance croissante avec la création de comités chargés de la gestion de l'eau et la mise en place de stratégies, politiques et législations sur l'eau dans de nombreux pays d'Afrique. Il faut donc obtenir auprès des autorités compétentes un droit d'eau, c'est-à-dire l'autorisation d'utiliser l'eau. Comme l'utilisation de ressources hydriques transfrontières est régie par des accords entre les Etats partageant le même bassin fluvial ainsi que par le droit international, l'étude de faisabilité doit traiter ces questions à mesure qu'elles se posent.

Chaque fois qu'un nouveau réseau est planifié, les demandes d'eau existantes en amont et en aval doivent être déterminées et prises en compte. Dans certains cas, il existe un système bien établi de droits d'eau ou un accord de type coutumier entre résidents régissant le mode d'attribution de l'eau d'irrigation. Les changements proposés de demande d'eau doivent être examinés de façon approfondie avec l'autorité nationale chargée de la régulation des prélèvements d'eau (Field et Collier, 1998).

La qualité de l'eau et les débits, paramètres importants pour le choix des cultures et de la méthode d'irrigation, doivent être pris en compte dans les enquêtes sur les ressources en eau que l'on compte entreprendre. Une attention particulière sera accordée au risque d'envasement des réservoirs d'eau et à la protection des bassins versants pour éviter une baisse rapide du rendement des barrages.

6.2. Agriculture

Comme l'aménagement d'irrigation a pour vocation la production agricole, les installations doivent être conçues à cet effet. L'objectif n'est pas le transport de l'eau mais l'irrigation de cultures. Par conséquent, les approches techniques adoptées doivent être envisagées comme faisant partie d'un système plus large (production végétale irriguée) que servira la mise en place du périmètre envisagé.

6.2.1. Pratiques agricoles existantes

Les pratiques agricoles existantes sont évaluées pour dresser un état des lieux sans le projet. Des données sont extraites de l'enquête socio-économique de référence puis agrégées pour obtenir le coût moyen de production et les marges brutes et enfin incorporées dans l'analyse économique et financière. Ces mêmes enquêtes fourniront des informations sur la disponibilité de la main-d'œuvre familiale en

agriculture pluviale et, à l'avenir, en irrigation et évalueront la nécessité de recruter des ouvriers agricoles.

6.2.2. Régime foncier

Le régime foncier pour les petits exploitants varie d'un pays à l'autre en Afrique subsaharienne. Dans certains pays, les paysans ont le droit d'utiliser la terre tandis que dans d'autres ils possèdent des titres de propriété pour leurs parcelles. La façon dont l'un ou l'autre type de régime influe sur les différents aspects du projet doit être développée dans l'étude de faisabilité.

6.2.3. Système agricole proposé

En fonction du climat et du potentiel de ressources naturelles, plusieurs cultures sont choisies et examinées et des programmes et rotations de cultures sont élaborés puis étudiés avec les paysans. Il faut également établir les besoins végétatifs de chaque culture et les rendements escomptés et estimer les besoins en eau des différents programmes de culture possibles. Les budgets d'exploitation de ces cultures sont préparés puis présentés dans l'étude de faisabilité dans le cadre de l'analyse économique et financière. Leurs potentiels de commercialisation sont également analysés dans le chapitre de l'étude consacré à ce sujet.

6.3. Crédit et commercialisation

En règle générale, la production végétale irriguée est un système à forte consommation d'intrants et à taux de production élevé. Les paysans doivent acheter des semences, des engrais et des produits chimiques pour optimiser leur système de production mais les flux de trésorerie engendrés par l'agriculture pluviale conventionnelle sont trop faibles pour pouvoir entreprendre un tel investissement. Le besoin de crédit est donc important. Dans l'étude, il faudra donc passer en revue les options envisageables et faire des recommandations compte tenu du régime foncier en vigueur dans le périmètre.

Le choix et la répartition des cultures ont une influence sur l'organisation de la parcelle et la méthode d'irrigation. Toutefois, la sélection des cultures ainsi que les programmes de culture sont déterminés par les possibilités de commercialisation. Il faut donc évaluer les marchés existants ainsi que le système de transport et l'infrastructure routière et leur potentiel de développement. Les prix du marché, les frais de transport et les prix à la ferme doivent être anticipés en tenant compte de l'augmentation prévue du volume de production. Les installations de transformation et/ou de stockage doivent être considérées comme faisant partie de la stratégie de commercialisation.

6.4. Aspects techniques

Cette partie de l'étude de faisabilité couvre la réhabilitation et/ou l'extension de réseaux d'irrigation existants ainsi que le développement de nouveaux périmètres. Elle traite des sujets suivants: mise en valeur de l'eau, système de distribution, stockage de l'eau, ouvrages de contrôle, dispositifs de mesure, installations d'irrigation en exploitation et drainage. Ces équipements et d'autres ouvrages nécessitent des études préliminaires et des estimations de coût.

Ce chapitre aborde également les droits d'eau en rapport avec la disponibilité de l'eau, le choix du système d'irrigation à la ferme et les besoins de drainage. Les aspects techniques sont analysés en détail dans les Modules 7, 8 et 9.

6.5. Aspects sociaux

Les objectifs et les résultats attendus du projet ne peuvent pas être réalisés si les préoccupations des exploitants concernant les profits et les coûts, la faisabilité, l'utilité et, plus généralement, leurs priorités dans la vie ne correspondent pas à ce que le projet attend d'eux. Il arrive parfois que les priorités des agriculteurs diffèrent de celles du projet. D'où la nécessité de déterminer si les agriculteurs jugent leur participation à l'aménagement du périmètre acceptable et opportune. Pour faire progresser les travaux d'aménagement en fonction de la capacité d'absorption de la population, il importe de tenir compte de paramètres tels que le niveau d'alphabétisation, les connaissances et compétences en agriculture, l'expérience dans le domaine de l'irrigation, les questions d'égalité entre les sexes et les attitudes vis-à-vis du changement lorsqu'on analyse les aspects sociaux du projet.

Un aménagement d'irrigation provoque généralement un choc culturel dans une communauté paysanne. Dans des conditions pluviométriques monomodales, les agriculteurs travaillent quelques mois de l'année en agriculture pluviale. Dans un certain sens, ils sont sous-employés et peuvent consacrer beaucoup de temps à la vie sociale de la communauté. En revanche, la production irriguée, pour être rentable, exige une attention presque quotidienne pendant toute l'année. La capacité de la communauté à s'adapter à cette évolution et à d'autres changements revêt alors une importance capitale et doit faire l'objet de discussions approfondies avec les exploitants.

6.6. Aspects liés à l'organisation et à la gestion du projet

Il est indispensable d'analyser la structure et les compétences des organismes responsables de l'organisation

et de la gestion du projet. Comme il faut s'attendre à ce qu'un certain nombre de problèmes ou difficultés se posent pendant la planification, la construction et l'exploitation d'un projet relativement important, la présence ou la création d'organismes compétents chargés de gérer la planification et la mise en œuvre du projet s'impose.

6.6.1. Organisation de la planification et de la construction

La planification et la construction d'un réseau d'irrigation exploité par plusieurs petits paysans fait intervenir plusieurs acteurs, dont les principaux sont les autorités rurales, les chefs coutumiers, les agriculteurs, le département ou ministère concerné au niveau central, des consultants et des entrepreneurs. Dans certains cas, des sous-traitants participent également à la construction de certaines parties de l'aménagement. Il faut donc disposer d'une institution compétente qui coordonnera et supervisera les travaux de toutes les parties associées à la planification et à la mise en œuvre. Cet organisme sera chargé de désigner, par des procédures établies, l'entrepreneur et les sous-traitants. En général, choisir un entrepreneur inexpérimenté en raison d'une offre financièrement plus intéressante ne permet pas toujours de réaliser des économies. Les retards pris par un entrepreneur peuvent avoir un effet boule de neige sur d'autres entrepreneurs et sur l'ensemble du projet.

6.6.2. Organisation de l'exploitation, de l'entretien et de la gestion

Le développement de projets d'irrigation coûte cher, surtout en Afrique subsaharienne. L'investissement doit donc être productif le plus rapidement possible. Pour cela, il faut prévoir dès la phase d'étude de faisabilité la disponibilité en temps voulu des ingénieurs, agronomes et techniciens qualifiés nécessaires. Une même attention sera accordée à l'évaluation des besoins de formation des agriculteurs, pour que ceux-ci puissent prendre des décisions en connaissance de cause et exploiter, entretenir et gérer la partie du réseau située au champ.

6.6.3. Services de vulgarisation

Les services de vulgarisation d'un pays ont pour mission de former des agriculteurs et de faciliter l'adoption de nouvelles pratiques agricoles. En Afrique subsaharienne, la plupart des vulgarisateurs connaissent cependant mal les méthodes d'irrigation. Il est donc indispensable d'évaluer le niveau des compétences dans ce domaine et de répondre aux besoins de formation du personnel. Si la capacité à produire les résultats souhaités dépend dans une large mesure de la capacité d'adaptation des agriculteurs, il faut néanmoins chercher à développer et mettre en œuvre une

formation appropriée pour les paysans en faisant appel à divers moyens, comme les recherches en exploitation, les démonstrations, les écoles pratiques d'agriculture et les services consultatifs bénéficiant de l'assistance de spécialistes.

6.7. Évaluation de l'impact sanitaire et environnemental

Très souvent les aspects sanitaires et environnementaux de l'aménagement d'irrigation ne reçoivent pas l'attention qu'ils méritent dans les études de faisabilité. Pourtant, les maladies d'origine hydrique affectent la santé des irrigants et, par conséquent, la performance globale du projet. Il y a donc lieu d'incorporer dans l'étude des mesures visant à réduire ces problèmes par des solutions techniques ou autres. L'impact de l'aménagement d'irrigation sur l'environnement est tout aussi important en raison des répercussions sur la qualité des ressources en eau et sur leurs utilisateurs en aval ainsi que sur l'écosystème tout entier. Pour plus de détails, le lecteur se reportera au Chapitre 4.

6.8. Analyse économique et financière

L'analyse économique et financière est destinée à évaluer un projet d'aménagement. La partie économique cherche à lui donner sa justification tandis que l'étude financière évalue sa capacité à rembourser les dépenses d'investissement et d'exploitation. Autrement dit, l'analyse économique évalue la viabilité économique de différentes options et aide ainsi à choisir l'une d'entre elles. L'analyse financière évalue différentes options financières en ce qui concerne les taux d'intérêt, les échéanciers de remboursement et la durée de l'emprunt. Pour plus de détails à ce sujet, voir le Module 11.

6.9. Présentation de l'étude de faisabilité

On trouvera ci-dessous un aperçu du contenu d'une étude de faisabilité pour un aménagement d'irrigation exploité par plusieurs petits exploitants:

- Chapitre 1 : Résumé
- Chapitre 2 : Aperçu général
- Chapitre 3 : Site
- Chapitre 4 : Ressources en terres
- Chapitre 5 : Ressources en eau
- Chapitre 6 : Climat
- Chapitre 7 : Agriculture
- Chapitre 8 : Irrigation
- Chapitre 9 : Environnement social
- Chapitre 10 : Crédit et commercialisation
- Chapitre 11 : Exigences techniques
- Chapitre 12 : Analyse d'impact sanitaire et environnemental
- Chapitre 13 : Organisation, entretien et gestion
- Chapitre 14 : Coût d'investissement
- Chapitre 15 : Coût de l'exploitation et de l'entretien
- Chapitre 16 : Analyse économique et financière
- Chapitre 18 : Conclusions et recommandations

Références

- Chancellor, F.M. et Hide, J.M. 1996. *Smallholder irrigation: Ways forward. Guidelines for achieving appropriate scheme design*. Volume 1: Guidelines. 91 p. Volume 2: Case studies. 92 p. Draft Report OD 136. HR. Wallingford. Volume 1. 91p.
- Chimbari, M., Chandiwana, S.K., Ndelela, B., Ndhlovu, P.D., Chitsiko, R.J., Thomson, A.J. et Bolton, P. 1993. *Schistosomiasis control measures for small irrigation schemes in Zimbabwe*. Final report on monitoring at Mushandike irrigation scheme. Report OD 128. HR Wallingford. 82 p. + appendices.
- FAO. 1982. La mécanisation de l'irrigation par aspersion. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage no 35*. L. Rolland. Rome, Italie. 409 p.
- FAO. 1985. Irrigation methods. *Gestion des eaux en irrigation – Manuels de formation no 5*. C. Brouwer, K. Prins, M. Kay et M. Heibloem. Rome, Italie.
- FAO. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage no 45*. W.R. Walker. Rome, Italie. 137 p.
- FAO. 1991. *Water harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*. Will Critchley et Klaus Siegert. Rome, Italie. 133 p.
- FAO. 1992. *Crop water requirements*. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage no 24*. J. Doorenbos et W.O. Pruitt. Rome, Italie. 144 p.
- FAO. 1995. Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage no 53*. T.C. Dougherty et A.W. Hall. Rome, Italie. 75 p.
- FAO. 1996. *Development of a national watershed management programme*. T. Marghescu. Rome, Italie.
- FAO. 1997a. *Assessment of the socio-economic impact of irrigation development on smallholder farmers: Case studies of Hama-Mavhaire, Hoyuyu 5 and Nyadire irrigation schemes*. Rabson Dhlodhlo. FAO-SAFR. Harare, Zimbabwe. 28 p.
- FAO. 1997b. Small-scale irrigation for arid zones: principles and options. *Collection FAO: développement no. 2*. Rome, Italie.
- FAO. 1998. *Socio-economic and gender analysis programme (SEAGA): Sector guide irrigation*. Eva Jordans. Rome, Italie. Ce document est également disponible dans *Collection FAO: Supports numériques sur les terres et les eaux no 12: Irrigation Guidelines*. <http://www.fao.org/ag/agl/>
- FAO. 1999. *Comparative assessment of the malaria and schistosomiasis risks associated with surface and sprinkler irrigation schemes in Zimbabwe*. (en préparation)
- FAO. 2000. *Socio-economic impact of smallholder irrigation in Zimbabwe. Case studies of ten irrigation schemes*. FAO-SAFR. Harare, Zimbabwe. 142 p.
- FAO. 2001. *Participatory Training & Extension in Farmers' Water Management (PT&E-FWM)*. *Collection FAO: Supports numériques sur les terres et les eaux no 14*. <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/farmerwatertraining>
- FAO. 2002. *Wetland development and management in SADC countries*. Rapport d'un atelier sous-régional, 19-23 novembre 2001, Harare, Zimbabwe. Editeurs: Karen Frenken et Isiah Mharapara. FAO-SAFR, Harare. 190 p.
- Farmelectric Handbook. *Pumping and Irrigation: A guide to the design of simple pumping systems*. Warwickshire. 61 p.
- Field, W.P et Collier, F.W. non daté. *Guidelines for water management and irrigation development*. HR. Wallingford, Institute of Hydrology. FAO/DFID/CIID. 169 p.

- Field, W.P. et Collier, F.W. 1998. *Checklist to assist preparation of small-scale irrigation projects in sub-Saharan Africa*. CIID, HR Wallingford, DFID, FAO. Ce document est également disponible dans Collection FAO: Supports numériques sur les terres et les eaux no. 12: Irrigation Guidelines. <http://www.fao.org/ag/agl/>
- ILRI. 1994. *Health and irrigation; incorporation of disease-control measures in irrigation, a multi-faceted task in design, construction, operation*. Par Oomen, J.M.V., de Wolf, J. et Jobin, W.R. ILRI Publication 45. Volume 1. Pays-Bas. 304 p.
- Kay, M. 1986. *Surface irrigation: systems and practice*. Bedford. 141 p.
- Keller, J. et Bliesner, R. 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Chapman and Hall, New York. 739 p.
- Rain Bird International. 1980. *Design manual drip irrigation systems*.
- Rockstrom, J. 1996. *Green water security for the food makers of tomorrow: windows of opportunity in drought prone savannas*. RELMA.
- Savva, A. 1998. *Study assesses socio-economic impact of Hama Mavhaire – largest of three FAO developed schemes*. Article publié dans Farming World Magazine, Février 1998. Harare. 2 p.
- Thomson, A.J., Chimbari, M., Chandiwana, S.K., Ndlela, B. et Chitsiko, R.J. 1996. *Control of schistosomiasis: a practical guide for irrigation development*. Report OD/TN 78. HR Wallingford. 37 p.
- University of Zimbabwe. 1995. *Management of weeds in irrigation and drainage workshop, 8-9 March 1995*. Research project by Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough University of Technology and Agricultural and Rural Development Association (ARDA). Harare.