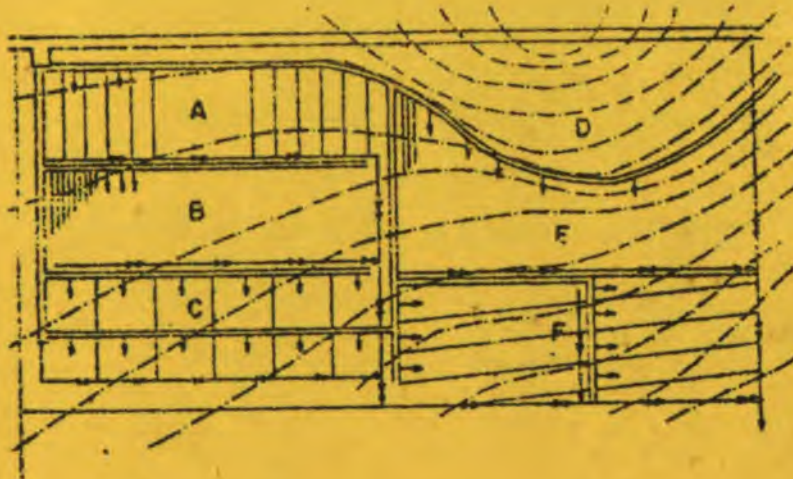




IICA

Représentation en Haïti
P. B. 2020
Port-au-Prince

IICA-CIDIA



METHODES D'IRRIGATION
DES
PARCELLES CULTIVEES
par

R. Humberto PIZARRO C.

- A. Irrigation par planches dans un terrain nivelé
- B. Irrigation par rigoles droites dans un terrain nivelé
- C. Irrigation par bassin rectangulaire dans un terrain nivelé
- D. Terrain élevé non-irrigué
- E. Irrigation par rigoles suivant les courbes de niveau et micro-sillons
- F. Irrigation par bassin suivant les courbes de niveau.

Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.

IICA OM
AZ/HT-
86-033
v.1

AZ/HT 86 - 033

Vol I

IICA-



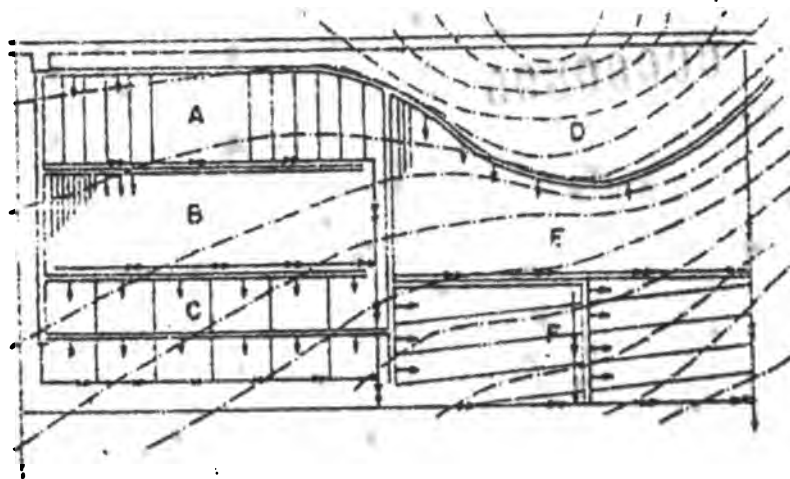


IICA

Représentation en Haiti

P. B. 1969

Port-au-Prince



**METHODES D'IRRIGATION
DES
PARCELLES CULTIVEES**

par

R. Humberto PIZARRO C.

- A. Irrigation par planches dans un terrain nivelé
- B. Irrigation par rigoles droites dans un terrain nivelé
- C. Irrigation par bassin rectangulaire dans un terrain nivelé
- D. Terrain élevé non-irrigué
- E. Irrigation par rigoles suivant les courbes de niveau et micro-sillons
- F. Irrigation par bassin suivant les courbes de niveau.

Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.

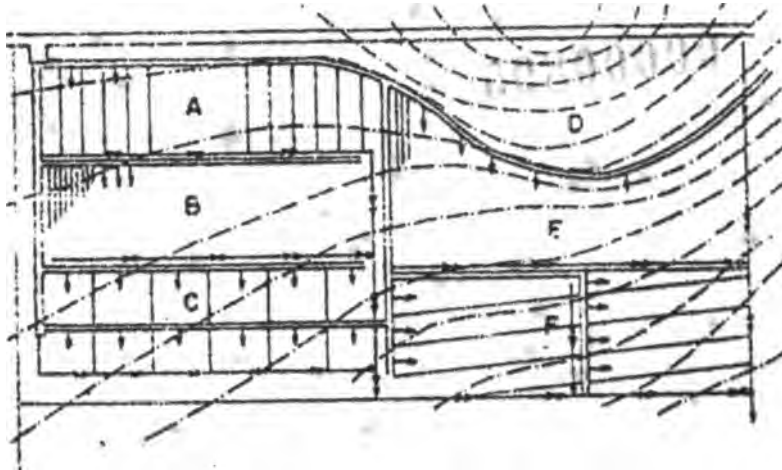
A2/HT 86 - 033





IICA

Représentation en Haiti
P. B. 2000
Port-au-Prince



**METHODES D'IRRIGATION
DES
PARCELLES CULTIVEES**

par

R. Humberto PIZARRO C.

- A. Irrigation par planches dans un terrain nivelé
- B. Irrigation par rigoles droites dans un terrain nivelé
- C. Irrigation par bassin rectangulaire dans un terrain nivelé
- D. Terrain élevé non-irrigué
- E. Irrigation par rigoles suivant les courbes de niveau et micro-sillons
- F. Irrigation par bassin suivant les courbes de niveau.

Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.

A2/HT 86 - 033

©M

1:CA
A2/HT
86-033
v. 1

BV-000050+V.1

00000895

P R E F A C E

Il ne se passe de jour que l'on entende dire au paysan haïtien: "Si j'avais de l'eau je pourrais produire plus". Néanmoins, on s'accorde à reconnaître que même au niveau des périmètres irrigués, la productivité et la production agricoles demeurent relativement faibles.

Aussi, pensons-nous que le problème de l'eau dans l'agriculture haïtienne est plus une affaire de gestion de l'application de l'eau à la parcelle du paysan que de disponibilité absolue dans le temps et l'espace.

L'ouvrage du Dr. Humberto Pizarro vient par ses méthodes d'irrigation des parcelles cultivées, rationaliser la gestion de l'eau au niveau de la ferme.

Cependant, l'Auteur a compris que l'eau, le sol, la plante et le paysan constituent un système qui n'est pas seulement bio-physique (Chapitre II, III et IV), mais encore un système qui intègre le paysan haïtien dans toute la complexité de ses systèmes de production agricole (Tout le reste de l'ouvrage).

En ce sens, le Dr. Pizarro a montré à ses lecteurs qu'il est plus qu'un Spécialiste en irrigation. Il est un gestionnaire de l'eau.



Dr Percy Aitken-Sook
Représentant Résident
de l'IICA en Haïti.

P R E A M B U L E

L'irrigation en Haïti doit contribuer à l'augmentation de la productivité et de la production agricoles afin de satisfaire la demande du pays. Aussi, l'eau dérivée des rivières, des sources ou exploitée du sous-sol par le biais des forages doit arriver à la parcelle en quantité suffisante et avec la fréquence désirée pour favoriser la croissance optimale des plantes. En Haïti, jusqu'à présent l'irrigation a été considérée comme la mise en place de structures telles que: barrages, canaux etc; cependant la maîtrise de l'application de l'eau à la parcelle constitue un aspect aussi important que la partie physique d'un système d'irrigation. Cet ouvrage est destiné à mettre en relief, à travers les différents chapitres, les modalités d'application de l'eau sur le terrain. On y trouvera les aspects suivants:

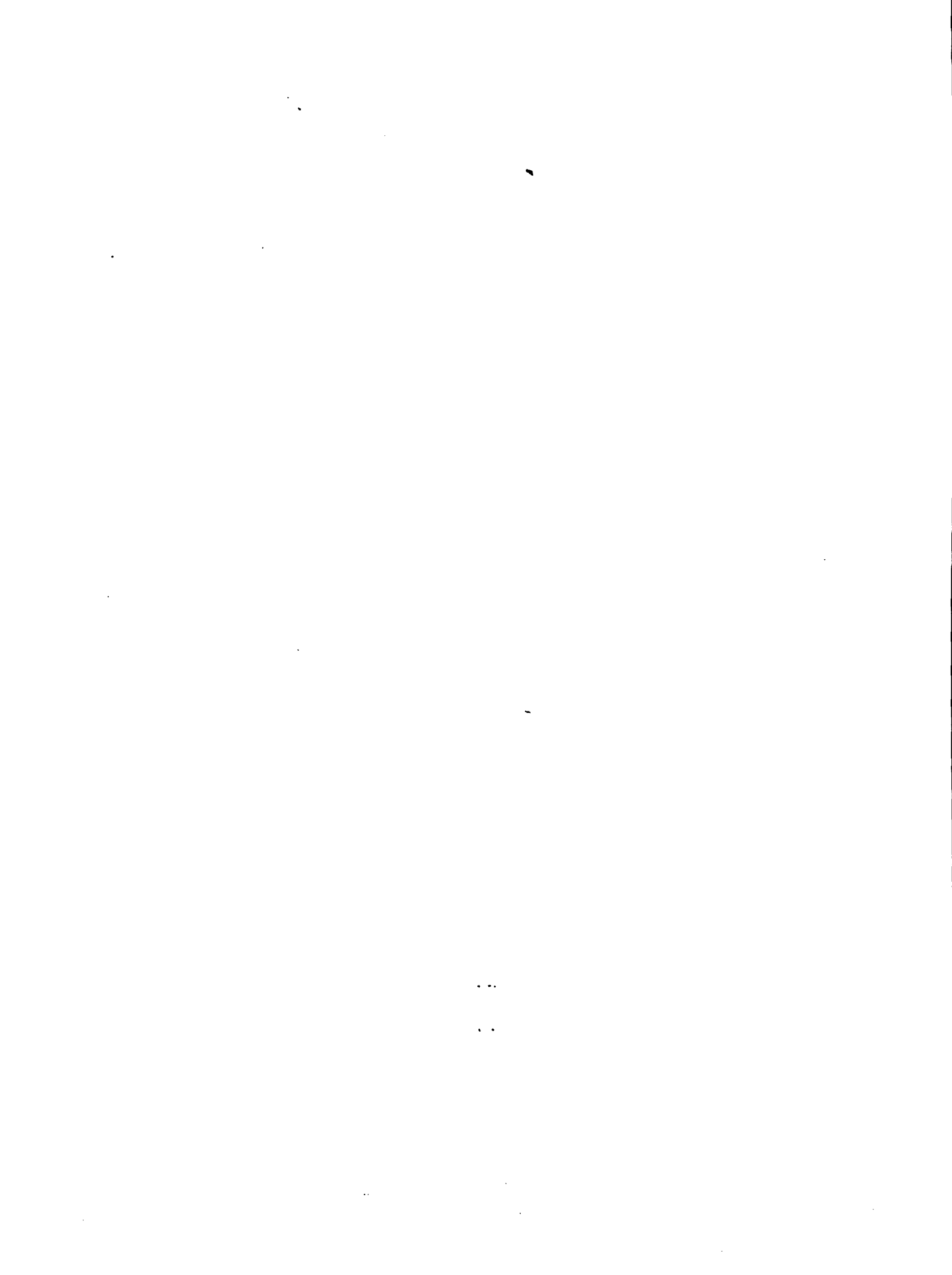
Premier chapitre: "Considérations sur l'irrigation"; montre le caractère intégral que l'on doit accorder à tout système d'irrigation. On fait aussi remarquer le rôle du drainage pour donner aux plantes l'environnement requis pour leur croissance.

Deuxième chapitre: "Éléments de base d'un sol irrigué"; présente les paramètres dont la maîtrise permet d'obtenir une irrigation efficace et efficiente.

Troisième chapitre: "L'énergie dans le sol"; fait référence au déplacement de l'eau dans le sol, l'effet de l'évapotranspiration et la fréquence du déclenchement de l'irrigation pour éviter le flétrissement des plantes.

Quatrième chapitre, il est consacré aux structures de distribution de l'eau à la ferme. Il fait ressortir l'importance du contrôle et du jaugeage du débit dans la gestion de l'eau pour aboutir à une répartition équitable parmi les usagers, en accordant à l'eau sa fonction sociale dans l'activité agricole.

Cinquième chapitre traite du choix de la méthode d'application de l'eau à la parcelle. Il met en relief l'ensemble des facteurs à considérer pour décider de la modalité la plus convenable permettant une irrigation en permanence de la parcelle. La compréhension des critères permet d'établir la méthode d'application qui harmonise ces facteurs.



Le sixième chapitre consacré spécifiquement à l'irrigation par inondation présente les modalités d'application ainsi que tous les éléments à considérer pour le dimensionnement des unités d'irrigation et le débit d'eau d'application.

Le chapitre sept présente l'irrigation par rigoles. Cette technique très utilisée en Haïti mérite une large diffusion. Dans ce chapitre on montre les types de rigoles et les facteurs à considérer dans le dimensionnement en tenant compte de la pente ainsi que le débit d'application.

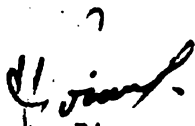
Le huitième chapitre consacré à l'irrigation par aspersion, présente les différents types d'appareils employés pour appliquer l'eau à la parcelle en simulant la pluie. On met en relief le coût de l'installation, de l'opération et de l'entretien de l'équipement vis à vis des bénéfices que vont entraîner son utilisation. Pour illustrer ceci, un exemple de dimensionnement d'un système conventionnel par aspersion est donné.

Le neuvième chapitre concerne l'irrigation goutte à goutte, il introduit ce système mécanisé d'application de l'eau à la parcelle en mettant l'accent sur la technologie d'irrigation employée dans la mesure où l'eau a une grande valeur pour l'économie du pays. Les bénéfices, les inconvénients ainsi que les critères à respecter pour sa mise en place sont également montrés dans ce chapitre. Les deux derniers procédés: irrigation par aspersion et irrigation goutte à goutte constituent des méthodes d'avenir pour Haïti lorsque les différents usages de l'eau deviendront compétitifs (Agriculture - foyers - industries).

Le chapitre dix fait référence au rôle des usagers de l'eau dans un système d'irrigation ainsi qu'à l'importance capitale de leur participation dans les services d'administration, opération et entretien de l'infrastructure (canaux, drains, routes rurale, ouvrages d'arts) pour que l'eau arrive de façon permanente à la parcelle, en quantité et au moment programmés.



L'information présentée dans cet ouvrage sera utile aux agronomes, ingénieurs dont les activités sont liées à l'agriculture irriguée; et aux étudiants en génie rural qui trouveront ici les éléments fondamentaux pour comprendre ce type d'agriculture.



Humberto Pizarro
Spécialiste en Irrigation
et Drainage
IICA/Haiti

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I

	Page
Considération sur l'irrigation	
Généralités.....	1
1.1 Données de base pour la planification de l'irrigation.....	3
1.2 Aspects physiques et aspect non-structurel d'un système d'irrigation.....	4
1.2.1 Aspect physique d'un système d'irrigation.....	4
1.2.2 Aspect non-structurel d'un système d'irrigation.....	6
1.3 L'irrigation et l'augmentation de la production agricole.....	7
1.4 Disponibilité de l'eau pour l'irrigation et la protection du bassin versant.....	8
1.5 Irrigation et Drainage.....	9

CHAPITRE II

Eléments de base d'un sol irrigué	
Généralités.....	11
Concepts utilisés dans les relations sol-eau.....	11
Densité des solides (D_s).....	11
Poids spécifiques (γ).....	12
Densité volumétrique (D_v).....	12
Volume spécifique sec (V_{sp}).....	12
Porosité (n).....	13
Indice de vide (e).....	14
Teneur en humidité du sol.....	14
Teneur en eau gravimétrique (W).....	14
Teneur en eau volumétrique (θ).....	14
Degré de saturation (S).....	15
Teneur en air relative (n_a).....	15
Porosité et indice de vide.....	15



Degré de saturation, porosité et teneur en eau volumétrique.....	15
Indice de vide, densité de solides et densité volumétrique.....	16
Teneur en eau gravimétrique, teneur en eau volumétrique et densité volumétrique.....	16
Teneur en air, teneur en eau volumétrique et degré de saturation...	16
Le sol servant de réservoir d'eau pour les plantes.....	16
La texture du sol.....	17
La capacité au champ.....	18
Le point de flétrissement.....	20
Humidité disponible.....	20
Profondeur active des racines.....	20
Point critique d'humidité et gestion du déficit d'humidité.....	20

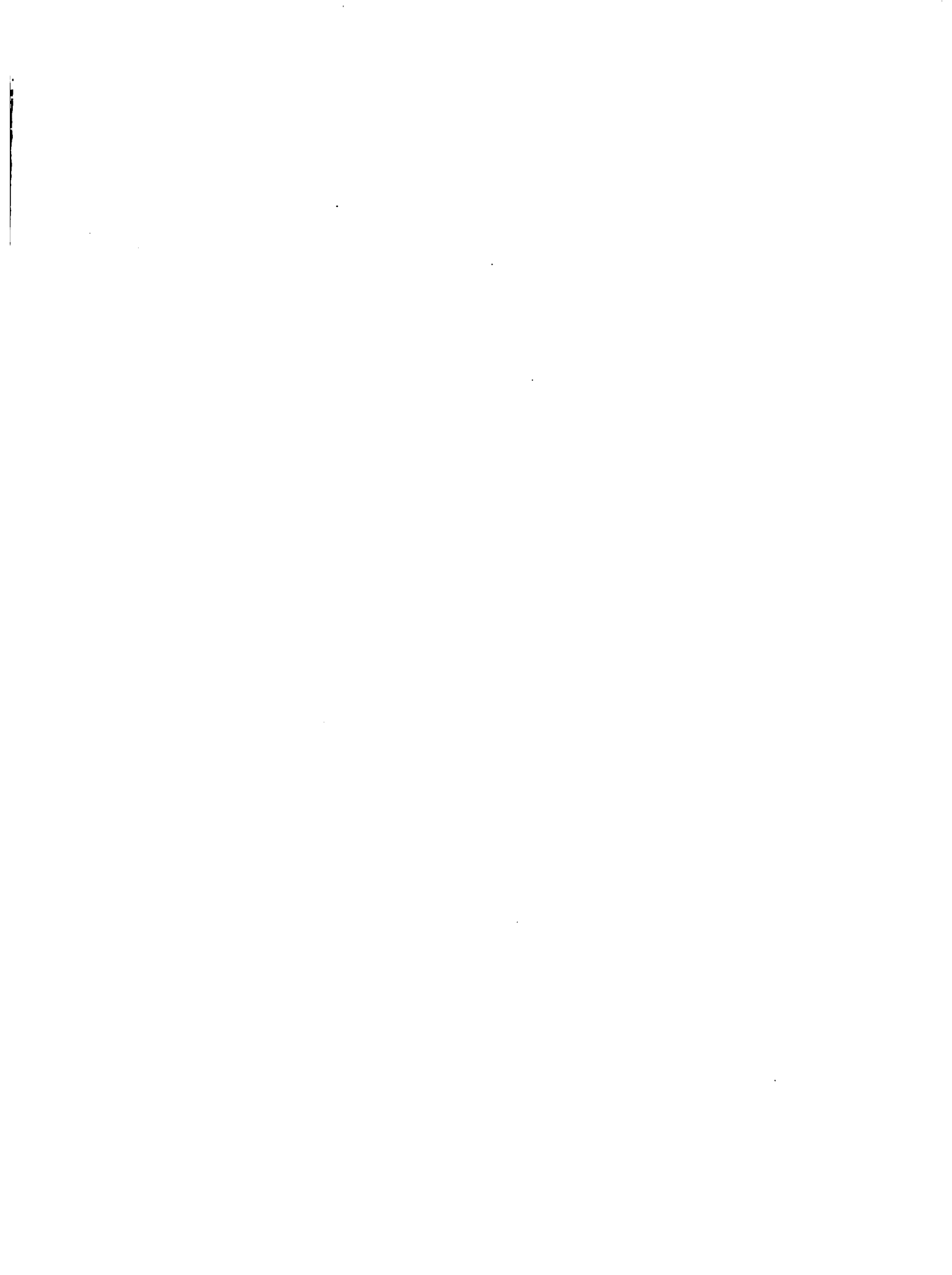
CHAPITRE III

L'énergie dans le sol

Généralités.....	32
3.1 Energie gravitationnelle (E_g).....	32
3.2 Energie de Pression (E_p).....	32
3.3 Potentiel osmotique.....	33
3.4 Mesure du potentiel hydrique dans le sol.....	33
3.5 L'écoulement de l'eau dans le sol.....	42
3.6 L'évapotranspiration - Disponibilité de l'eau pour les cultures.....	43
Fréquence d'application de l'eau à la parcelle	
3.6.1 L'évapotranspiration.....	43
3.7 L'efficacité de l'irrigation.....	45

CHAPITRE IV

Les structures pour le contrôle et la distribution de l'eau dans la ferme.....	51
Généralités.....	51
4.1 Les structures de prise et de conduction de l'eau.....	51



4.2	La conduction de l'eau dans la ferme.....	52
4.3	Les structures pour le jaugeage du débit.....	55
4.4	Les méthodes et les structures disponibles pour le jaugeage....	56
	Le flotteur.....	56
	Le moulinet.....	58
	Appareil pouvant jauger directement le débit.....	60
	Le flume dégorgé.....	60
	Le jaugeur Parshall.....	61
	Le déversoir.....	62
	Application.....	68

CHAPITRE V

Le choix de la méthode d'application de l'eau à la parcelle		
	Généralités.....	90
5.1	Avantages et inconvénients des méthodes d'application de l'eau à la parcelle.....	91
5.1.1	Méthodes gravitaires.....	91
5.1.2	Méthodes mécanisées.....	92
5.2	Les méthodes gravitaires d'application de l'eau à la parcelle..	95
5.3	La source d'approvisionnement en eau.....	96
5.4	La répartition de l'eau aux usagers.....	96
5.5	Justification du choix de la méthode d'application de l'eau à la parcelle.....	98

CHAPITRE VI

Application de l'eau par submersion ou inondation		
	Généralités.....	110
6.1	Submersion par digues ou irrigation par calants.....	110
6.1.1	L'effet de la pente dans l'irrigation par digues.....	111
6.1.2	La largeur du calant.....	112
6.1.3	Le débit disponible.....	112
6.1.4	Dimension des digues.....	113



6.1.5	Contrôle du débit.....	113
6.2	Dimensionnement de l'irrigation par submersion.....	114
6.2.1	Calcul de la lame d'eau à appliquer au sol.....	114
6.2.2	Test d'infiltration.....	115
6.3	Exemple de dimensionnement d'une unité parcellaire pouvant être irriguée par submersion.....	117
6.3.1	Données de base.....	117
6.3.2	Test de rétention d'humidité.....	117
6.3.3	Test d'avancement et de récession.....	119
6.3.4	Autres données.....	119
6.4	Exemple de dimensionnement de l'irrigation par digues.....	131
	Test d'infiltration.....	131
	Calcul de la vitesse d'infiltration.....	132
	Essai pour construire la courbe de rétention d'humidité du sol.	133

CHAPITRE VII

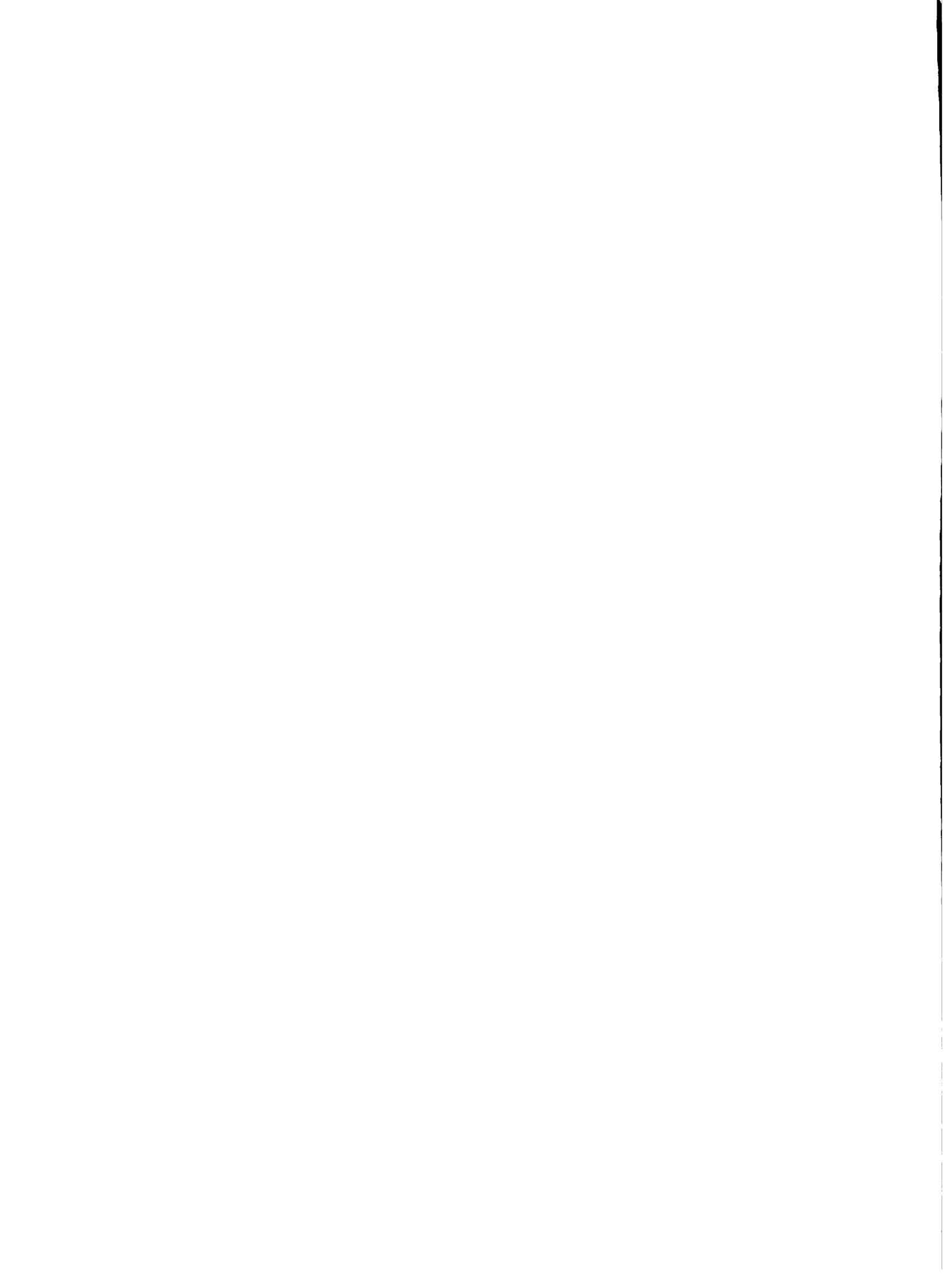
L'irrigation par rigoles

	Généralités.....	144
7.1	Caractéristiques.....	144
7.2	Ecartement des rigoles.....	145
7.3	Pente de la rigole.....	145
7.4	Rigoles suivant les courbes de niveau.....	146
7.5	Les rigoles en zig-zag.....	146
7.6	La longueur des rigoles.....	146
7.7	Mesure du débit.....	147
7.8	Contrôle du débit d'entrée dans les rigoles.....	149
7.9	Lame d'eau appliquée.....	150
7.10	Dimensionnement de l'irrigation à la parcelle par rigoles.....	151

CHAPITRE VIII

Irrigation par aspersion

	Généralités.....	164
--	------------------	-----

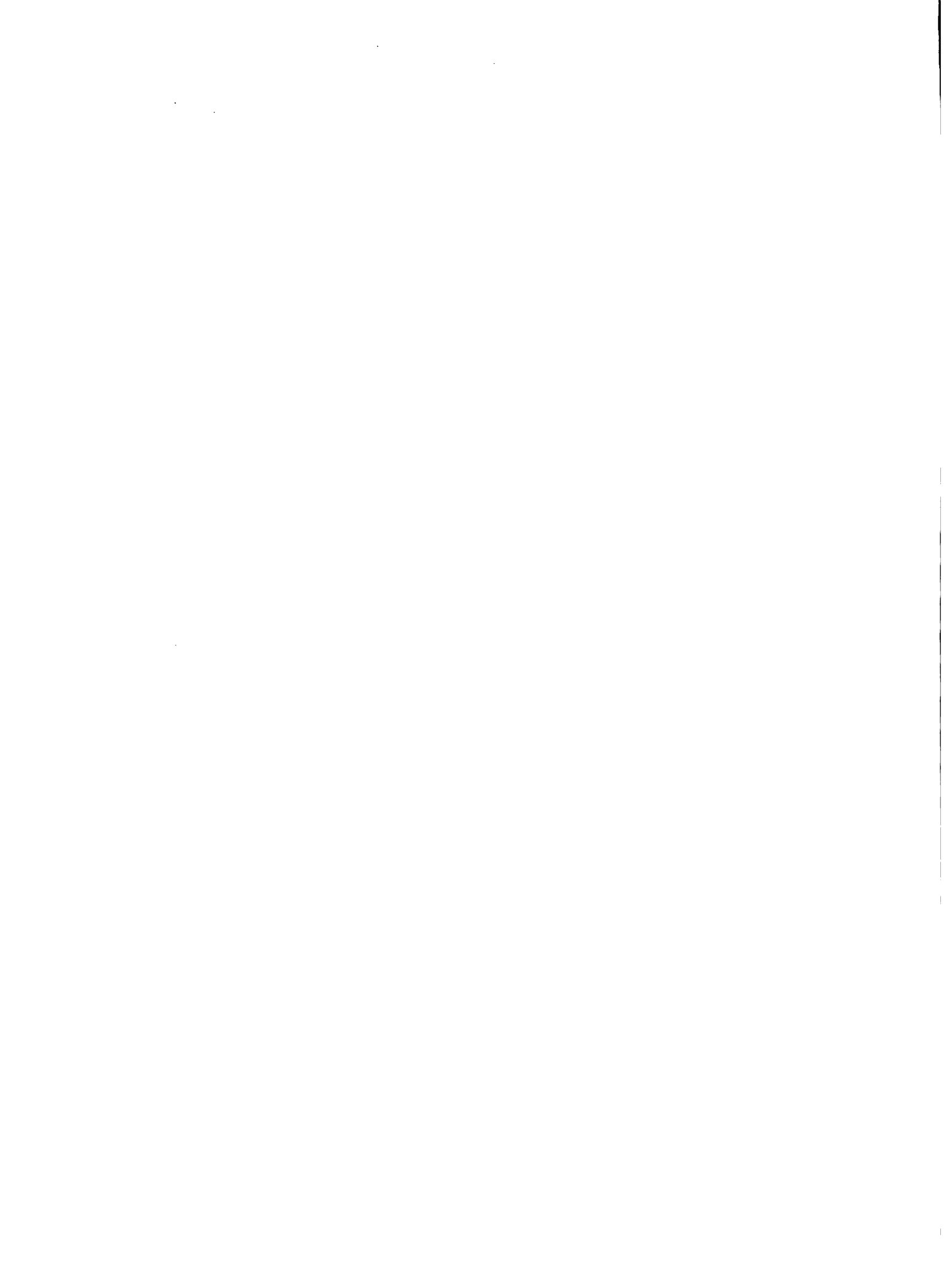


8.1	Bénéfices de l'irrigation par aspersion.....	164
8.2	Les désavantages du système d'irrigation.....	165
8.3	Composantes de la méthode d'irrigation par aspersion.....	165
8.4	Evolution du système d'irrigation par aspersion.....	166
8.4.1	Classification des asperseurs.....	167
8.4.2	Coefficient d'uniformité.....	167
8.4.3	Les pertes de charge dans les tuyaux.....	168
8.4.4	Les pertes de charge dans les latéraux.....	169
8.4.5	Les pertes de charge secondaires.....	169
8.4.6	Les asperseurs et leurs principes de fonctionnement.....	170
8.5	Données de base pour le dimensionnement d'un équipement par aspersion.....	183

CHAPITRE IX

Irrigation goutte à goutte

	Généralités.....	201
9.1	Schéma de la disposition d'un système d'irrigation goutte à goutte.....	202
9.2	L'unité de contrôle d'un système d'irrigation goutte à goutte.	204
9.3	Types d'émetteurs goutte à goutte.....	213
9.3.1	Emetteurs à longue trajectoire.....	213
9.3.3	Emetteurs de vortex.....	214
9.4	Distribution de l'eau dans le profil du sol irrigué par goutte à goutte.....	215
9.5	Principe de dimensionnement du système d'irrigation goutte à goutte.....	218
9.6	Dimensionnement hydraulique d'un système d'irrigation goutte à goutte.....	229
9.7	Exemple de dimensionnement d'un système d'irrigation goutte à goutte.....	230
9.8	Détermination pratique de l'uniformité d'application d'un sys- tème goutte à goutte.....	235



CHAPITRE X

L'Organisation des usagers et le tarif d'irrigation

Généralités.....	239
10.1 Le service d'opération.....	240
10.2 Le service d'entretien.....	241
10.3 Le service d'administration.....	241
10.4 Le financement des services.....	242
10.5 Le tarif d'irrigation.....	242
Bibliographie.....	245



LISTE DES FIGURES

	Page
Fig. II-1: Schéma des relations de masse et volume des composantes du sol.....	11
Fig. II-1 (a): Schéma d'une courbe granulométrique.....	13
Fig. II-2: Schéma de la fonction réservoir du sol.....	16
Fig. II-3: Le triangle des classes de texture.....	18
Fig. II-3 (a): Schéma des classes de texture du sol et leur effet dans le mouvement descendant de l'eau.....	21
Fig. II-4: Courbe de rétention d'humidité pour divers types de sol...	23
Fig. II-5: Relation entre les niveaux d'eau disponible utilisée et le potentiel matriciel pour différents types de texture du sol.....	24
Fig. II-6: Productivité relative du blé et de l'orge en fonction du potentiel matriciel auquel on a appliqué l'irrigation.....	25
Fig. II-7: Productivité relative des haricots en fonction du cycle phénologique.....	26
Fig. II-8: Schéma d'extraction de l'humidité des plantes poussant dans un sol de profil uniforme sans limitation d'eau.....	27
Fig. II-9: Schéma d'extraction d'humidité d'après la teneur en eau disponible dans les couches du sol.....	27
Fig. II-10: Diagramme de Riverside pour le classement de l'eau d'irrigation.....	28
Fig. II-11: Classement de l'eau dans le sol et teneur en eau dans un sol limono-sablonneux et un sol limoneux fin.....	29
Fig. II-12: Schéma de profondeur des racines (en pied) de quelques cultures.....	30
Fig. II-13: Le profil du sol et le développement des racines.....	31
Figures III	
Fig. III-1: Schéma du concept de potentiel de référence.....	34
Fig. III-2: Blocs de gypse couramment utilisés pour déterminer la teneur en eau du sol.....	36



Fig. III-3: Appareil de jaugeage portable pour être utilisé avec des blocs de gypse.....	37
Fig. III-4: Schéma montrant les termes du théorème de Bernoulli appliqué à l'écoulement de l'eau dans les tuyaux.....	38
Fig. III-5: Schéma montrant les composantes de la charge hydraulique dans le cas du piézomètre et du tensiomètre.....	38
Fig. III-6: Courbes caractéristiques d'humidité.....	39
Fig. III-7: Schéma de l'installation des tensiomètres pour mesurer la teneur en eau du sol.....	39
Fig. III-8: Schéma de l'installation d'un appareil de résistance électrique pour mesurer la teneur en eau.....	40
Fig. III-9: Schéma de l'évapotranspiration.....	41

Figures IV

Fig. IV-1: Schéma de la section transversale d'un canal trapézoïdal..	53
Fig. IV-2: Schéma de la section transversale d'un canal rectangulaire.....	54
Fig. IV-3: Schéma de la section transversale d'un canal naturel.....	59
Fig. IV-4: Profils divers.....	71
Fig. IV-5: Schéma d'une prise avec barrage de dérivation.....	72
Fig. IV-6: Schéma d'une prise d'eau.....	73
Fig. IV-7: Schéma d'un partiteur.....	74
Fig. IV-7 (a): Schéma d'une prise d'eau.....	75
Fig. IV-7 (b): Détail de la construction des structures de contrôle dans des canaux pourvus de chutes.....	76
Fig. IV-8: Structures hydrauliques de contrôle dans les canaux de conduction et de canaux d'arrosage.....	77
Fig. IV-9: Schéma d'un battardeau portatif pour être utilisé dans les canaux revêtus.....	78
Fig. IV-10: Structures préfabriquées pour le contrôle du débit d'eau dans les canaux d'arrosage.....	79

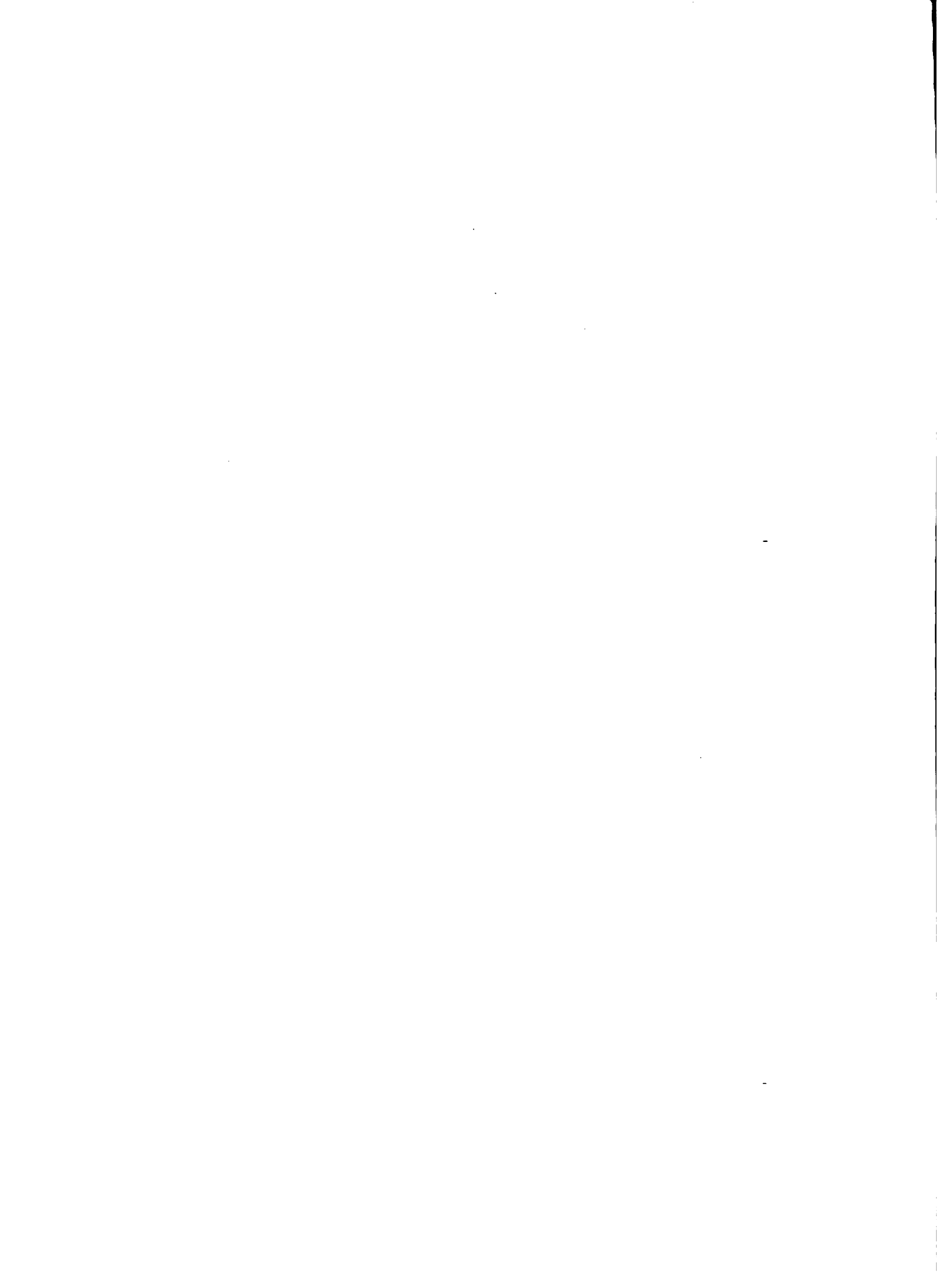


Fig. IV-11: Schéma de structures en bois et en béton ainsi que leur installation pour le contrôle des débits dans les tuyaux d'arrosage.....	80
Fig. IV-12: Boîte de distribution de l'eau de deux sorties (en bois)	81
Fig. IV-13: Application de l'eau à la parcelle, du canal à la rigole par l'emploi des siphons.....	82
Fig. IV-14 (a): Planche en plastique fonctionnant comme batardeau pourvu d'un tuyau de sortie pour contrôler le débit dans le canal d'arrosage.....	83
Fig. IV-14 (b): Batardeau formé d'une barre métallique et d'une pièce en plastique.....	83
Fig. IV-15: Structure simple (en bois et vanne en fer) glissante pour être utilisée au niveau de la parcelle pour un débit de 60 l/s.....	84
Fig. IV-16: Schéma d'un canal revêtu en béton.....	85
Fig. IV-17: Schéma de l'installation d'un tuyau pour la conduction de l'eau.....	86
Fig. IV-18: Schéma d'un jaugeur Parshall en fonctionnement.....	87
Fig. IV-19: Schéma d'un jaugeur Parshall.....	88
Fig. IV-20: Schéma d'un jaugeur dégorgé.....	89

Figures V

Fig. V-1: Schéma de l'irrigation par rigoles alimentées par un tuyau principal pourvu de tuyaux à raccords ouverts.....	100
Fig. V-2: Schéma d'un tuyau d'alimentation pourvu d'une vanne robinet.....	100
Fig. V-3: Schéma d'un tuyau perforé pour l'irrigation par rigoles...	101
Fig. V-4: Tuyau perforé pourvu d'un double hydrants portatifs.....	101
Fig. V-5: Schéma d'une installation pour la réalisation d'un test d'infiltration dans les rigoles.....	102
Fig. V-6: Schéma pour déterminer l'infiltration dans les rigoles....	102
Fig. V-7: Schéma de l'irrigation par rigoles en pente.....	103

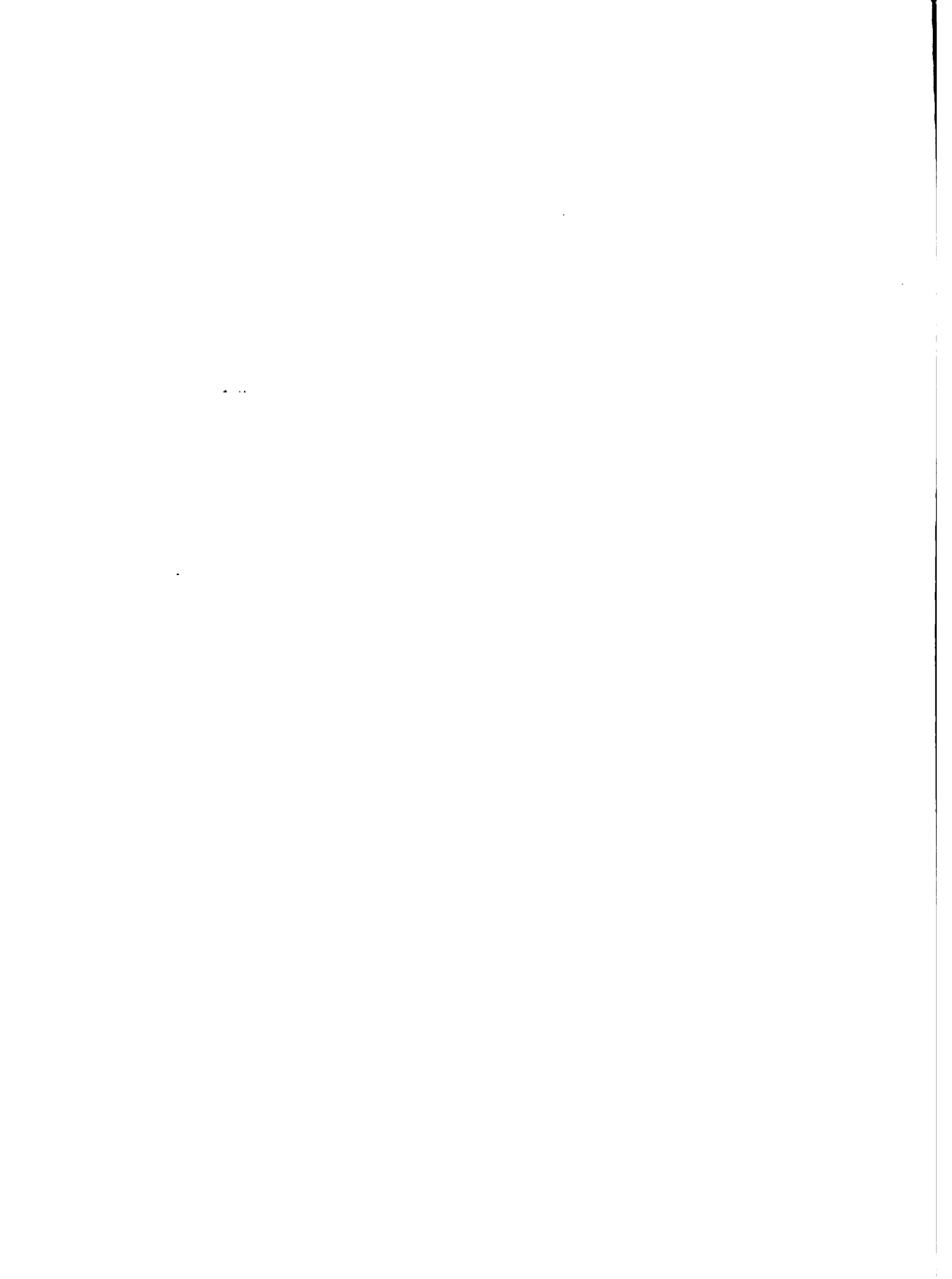


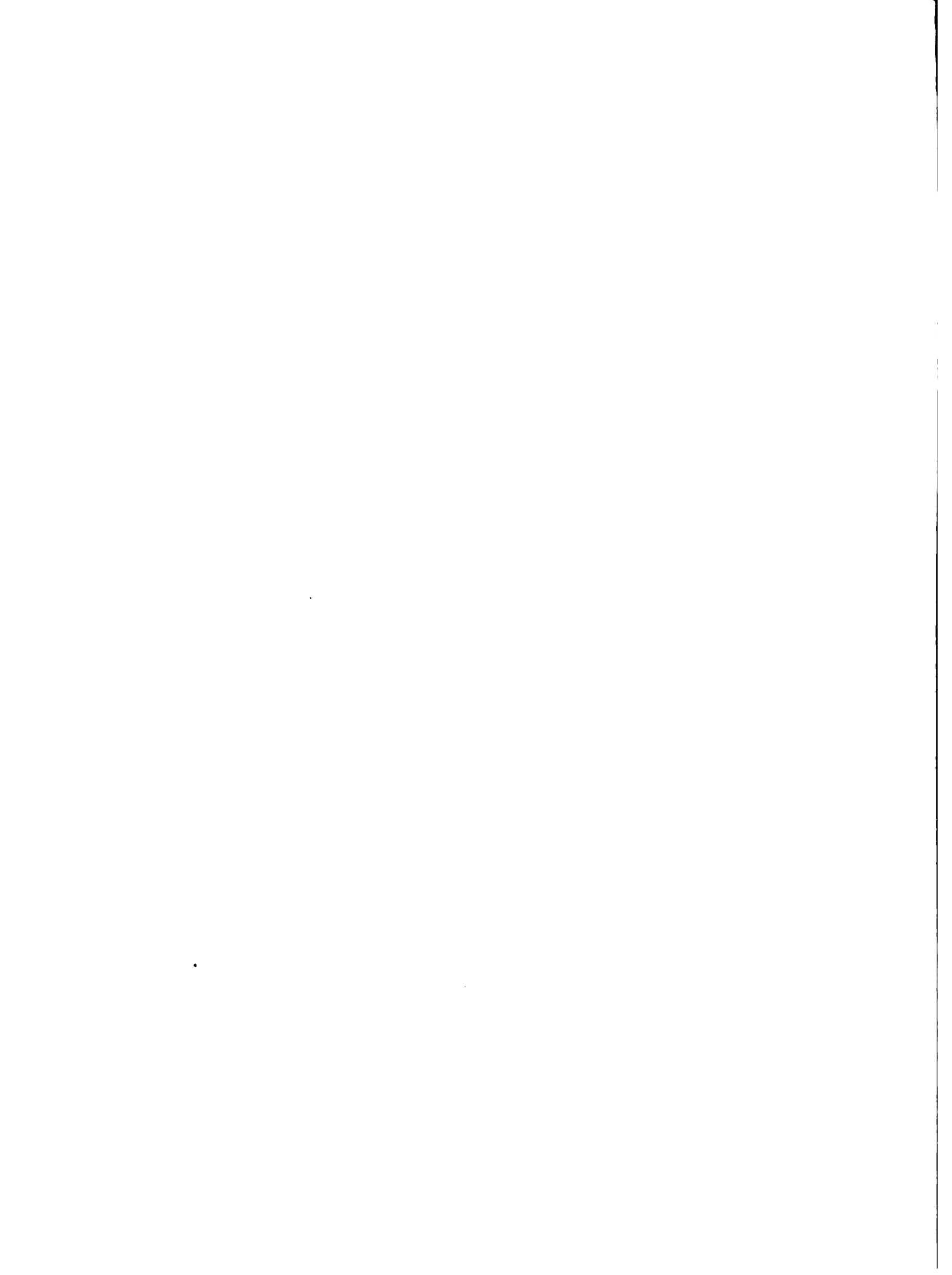
Fig. V-8: Schéma d'un dispositif pour l'irrigation par rigoles.....	104
Fig. V-9: Schéma des rigoles.....	104
Fig. V-10: Schéma de l'infiltration de l'eau dans l'irrigation par rigoles.....	105
Fig. V-11: Schéma de la distribution de l'humidité dans le sol lors- qu'on irrigue par rigoles.....	105
Fig. V-12: Schéma de la pénétration de l'eau dans l'irrigation par rigoles.....	106
Fig. V-13: Schéma de l'infiltration d'après la technique d'applica- tion de l'eau à la parcelle.....	107
Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.....	108
Fig. V-15: Schéma de l'irrigation par calants.....	109

Figures VI

Fig. VI-1: Courbes d'infiltration.....	116
Fig. VI-2: Courbes caractéristiques d'humidité.....	118
Fig. VI-3: Courbes d'avancement et de récession.....	120
Fig. VI-3 (a): Schéma de la section transversale de l'irrigation par calant.....	130
Fig. VI-3 (b): Courbe d'avancement et de récession de l'écoulement pour l'irrigation par calants.....	130
Fig. VI-4: Courbe caractéristique d'humidité.....	134
Fig. VI-5: Courbe d'avancement et de récession - Irrigation par calants.....	136
Fig. VI-5(a): Schéma de l'irrig. par calants - Effet de la pente sur la distribution de l'eau.....	143
Fig. VII-1: Courbe d'avancement dans une rigole.....	157

Figures VIII

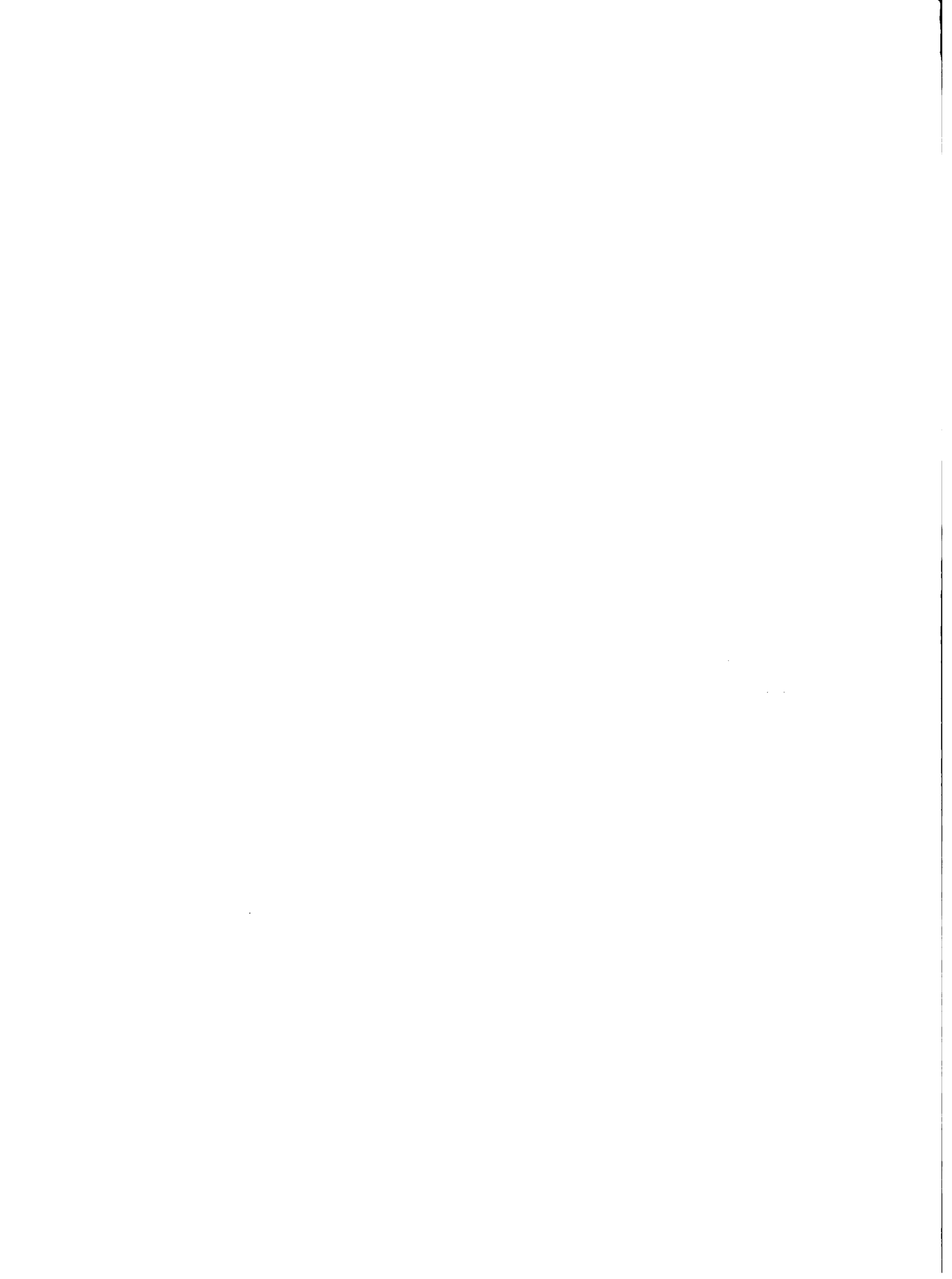
Fig. VIII-1: Diagramme universel de Moody pour le calcul du coeffi- cient f	173
Fig. VIII-2: Abaque pour le calcul des pertes de charge d'après la formule de Hazen-Williams.....	174



VIII-3: Perte de charge dans les tuyaux en aluminium et en pvc.....	178
VIII-4: Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	182
VIII-5: Composantes d'un asperseur rotatif.....	190
VIII-6: Schéma d'une installation d'irrigation par aspersion.....	191
VIII-7: Quelques accessoires de l'équipement d'irrigation par aspersion.....	192
VIII-8: Disposition des asperseurs dans un système d'irrigation par aspersion du type conventionnel.....	193
VIII-9: Profils de distribution de l'eau d'un asperseur fonction- nant sous différentes pressions.....	194
VIII-10: Profils de distribution spéciales de l'eau d'un asperseur (effet du vent).....	194

Figures IX

IX-1: Schéma de la disposition d'un système d'irrigation goutte à goutte.....	208
IX-2: Schéma de l'unité de contrôle d'un équipement pour l'irriga- tion goutte à goutte.....	209
IX-3: Filtres en toile métallique.....	210
IX-4: Filtre de gravier.....	211
IX-5: L'Hydrocyclone.....	212
IX-6: Distribution de l'eau dans le sol à partir d'un goutteur.....	217
IX-7: Schéma des goutteurs montés sur le tuyau.....	226
IX-8: Schéma des goutteurs raccordés dans le tuyau.....	227
IX-9: Assemblage d'une sortie multiple.....	228
IX-10: Graphique permettant de déterminer l'uniformité.....	238



LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau II-1: Dimensions des particules du sol.....	17
Tableau II-2: Termes généraux employés pour identifier les types de sol.....	19
Tableau IV-1: Valeur de "n" pour la formule de Manning.....	67
Tableau VII-1: Relation débit maximum non-érosif en pente de la rigole.....	148
Tableau VII-2: Longueur maximale des rigoles (en m) pour différents types de hauteur d'eau à appliquer et pour différen- tes pentes.....	149
Tableau VII-3: Débit (en l/s) d'après le diamètre du tube et de la charge h.....	150
Tableau VIII-1: Classification et caractéristiques des types d'as- perseurs les plus utilisés.....	172
Tableau VIII-2: Valeurs du coefficient C de l'équation de Hazen- Williams pour les différents types de conduites.....	175
Tableau VIII-3: Perte de charge dans les tuyaux en plastique, en livre par pouce carré par 1000 pieds et en charge hydraulique (pied) par 1000 pieds.....	176
Tableau VIII-4: Pertes de charge des tuyaux en aluminium, en livre par pouce carré, par 1000 pieds et en charge hydrau- lique par 1000 pieds.....	177
Tableau VIII-5: Coefficient F pour les tuyaux en aluminium et en PVC.....	179
Tableau VIII-6: Asperseurs type moyen - Données de fonctionnement...	180
Tableau VIII-7: Asperseurs type moyen - Données de fonctionnement...	181
Tableau IX-1: Perte de charge localisée à travers les émetteurs.....	215
Tableau IX-2: Ecartement entre les émetteurs pour trois types de sol et trois débits d'application différents.....	220
Tableau IX-3: Valeurs de F pour différents types de sols et pour différents débits.....	223

CHAPITRE I

CONSIDERATIONS SUR L'IRRIGATION

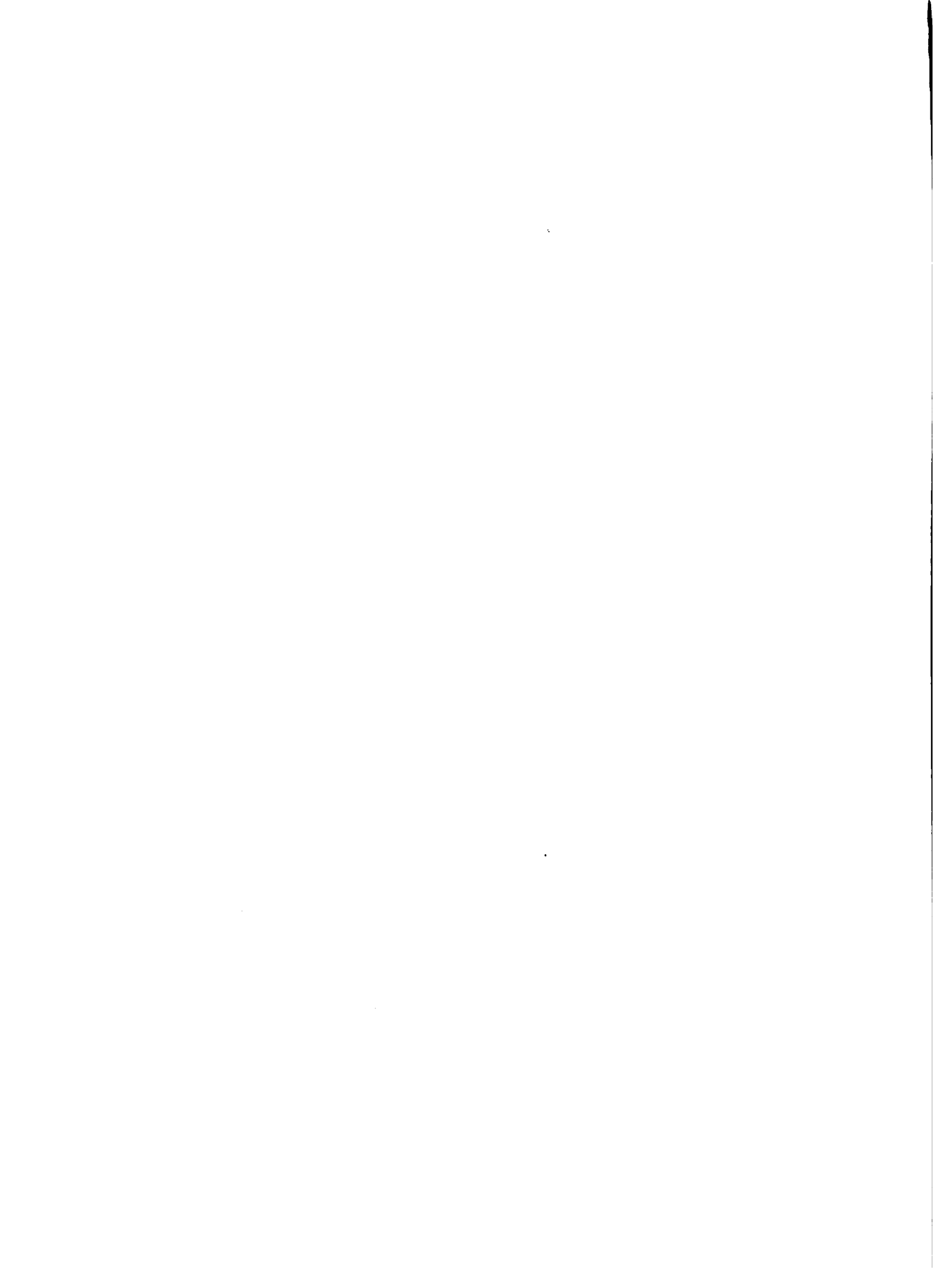
Généralités

L'irrigation est un ensemble de techniques utilisées pour amener et distribuer l'eau (en complément des précipitations atmosphériques) nécessaire à la mise en valeur agricole, à l'introduction de nouvelles cultures et à l'amélioration des rendements.

L'irrigation peut avoir un caractère complémentaire dans les régions semi-humides puisqu'elle comble le déficit hydrique causé par le manque de pluie qui caractérise ces zones. Un tel investissement est justifié dans ces régions que si le bénéfice net à réaliser à partir de l'agriculture irriguée dépasse largement le résultat obtenu dans l'agriculture pluviale.

Dans les zones arides et semi-arides, l'irrigation est indispensable pour la réalisation des activités agricoles. L'eau constitue un élément limitant de l'agriculture, c'est ce qui à porter à développer la fonction de production de l'eau. L'augmentation de la productivité va de paire avec celle de la consommation de l'eau (jusqu'à une certaine limite). C'est ainsi que le comportement de certaines cultures comme le haricot, le maïs, la pomme de terre, la patate douce etc, a été maîtrisé sous la gestion de cette ressource qui est exprimée en termes de productivité relative. La productivité potentielle (100 %) serait celle obtenue dans la meilleure condition d'humidité. Lorsque la teneur en eau dans le sol est inférieure à la valeur optimale, la productivité est diminuée. Elle est exprimée en pourcentage par rapport à la valeur potentielle.

Pour réaliser ces projets d'irrigation, les pays en développement le plus souvent, s'adressent à des organismes de financement (Banque Inter-

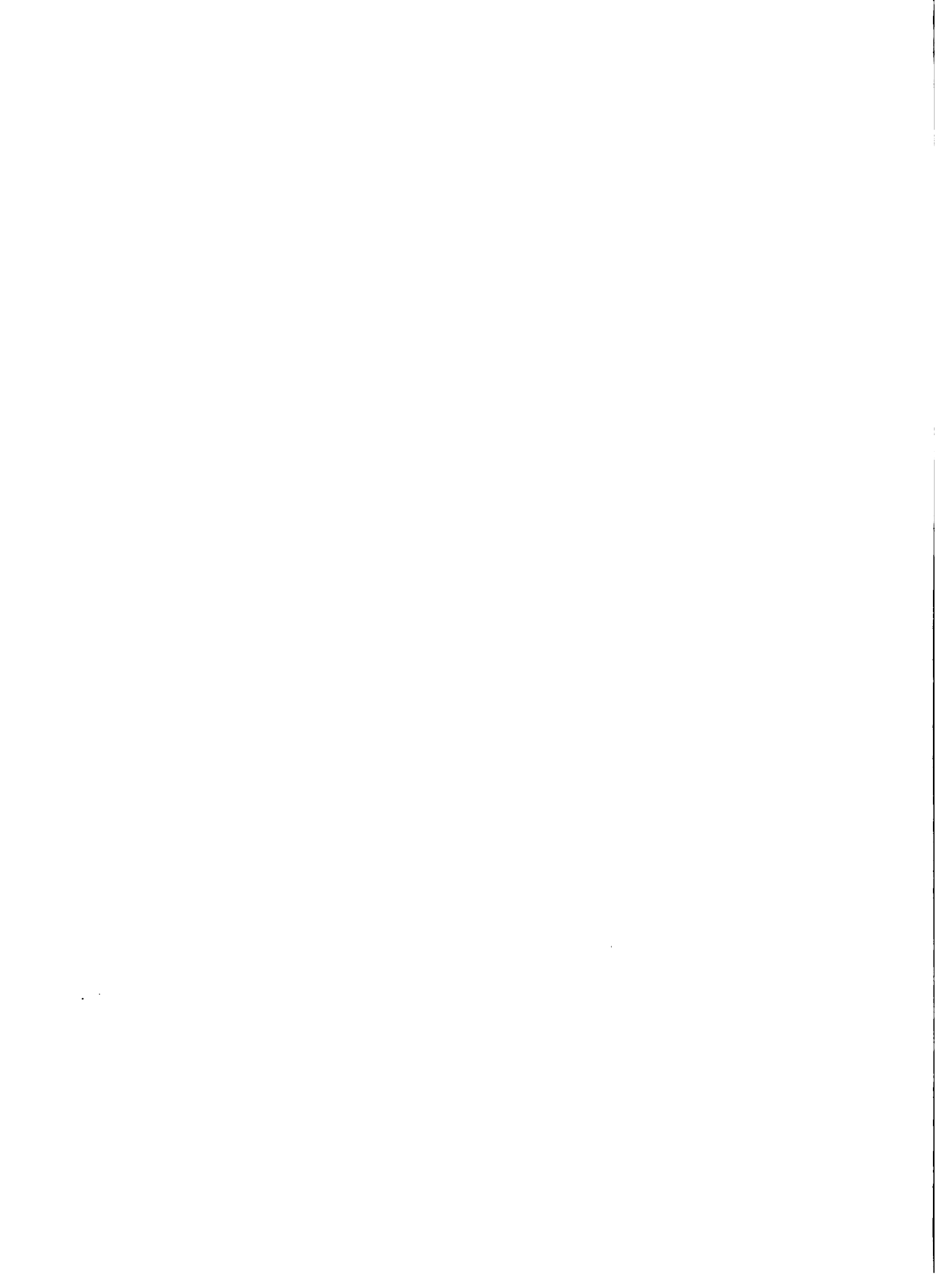


américaine de Développement, Banque Mondiale, Agence Internationale pour le Développement, Agence Canadienne pour le Développement International, etc) pour trouver les fonds nécessaires. Quoique le taux d'intérêt de ces agences est relativement bas, ces pays pour honorer ses dettes doivent faire beaucoup de sacrifices. C'est la raison pour laquelle, il faut veiller à ce qu'ils aient un effet multiplicateur. Cela signifie que, d'une part les études détaillées de génie accompagnées de spécifications techniques doivent précéder la construction des ouvrages et d'autre part que l'aménagement parcellaire (nivellement du terrain, mise en place des canaux et drains parcelaires, vanne de distribution de l'eau à la parcelle) et l'organisation des usagers de l'eau doivent contribuer à l'arrivée de l'eau à la parcelle en quantité suffisante et au moment où les plantes en ont réellement besoin.

En Haïti, l'irrigation est une tradition. En effet le paysan connaît l'importance de l'eau dans l'agriculture, ce qui le porte à bien manipuler la main d'eau qu'il a à sa disposition. Mais souvent il se heurte à beaucoup de difficultés:

- 1) A l'étiage le débit de l'eau est rarement suffisant pour satisfaire les besoins de la superficie emblavée;
- 2) Absence de structure pour la distribution de l'eau à la parcelle;
- 3) En général, le contrôleur d'irrigation détermine le tour d'eau sans tenir compte du cycle phénologique des cultures qui s'y trouvent;
- 4) Absence d'organisation des usagers qui pourrait faciliter une distribution équitable de l'eau, ainsi la superficie cultivée à l'étiage pourrait se faire en fonction du plan de cultures irriguées.

Il existe en Haïti plus de 200 systèmes d'irrigation. Ces systèmes sont de deux sortes: Il y en a dont les surfaces irriguées sont très grandes comme par exemple le système de l'Artibonite (32 000 Ha). D'autres ont la surface petite comme par exemple le système de Fond Coq (31 Ha) qui est ali-



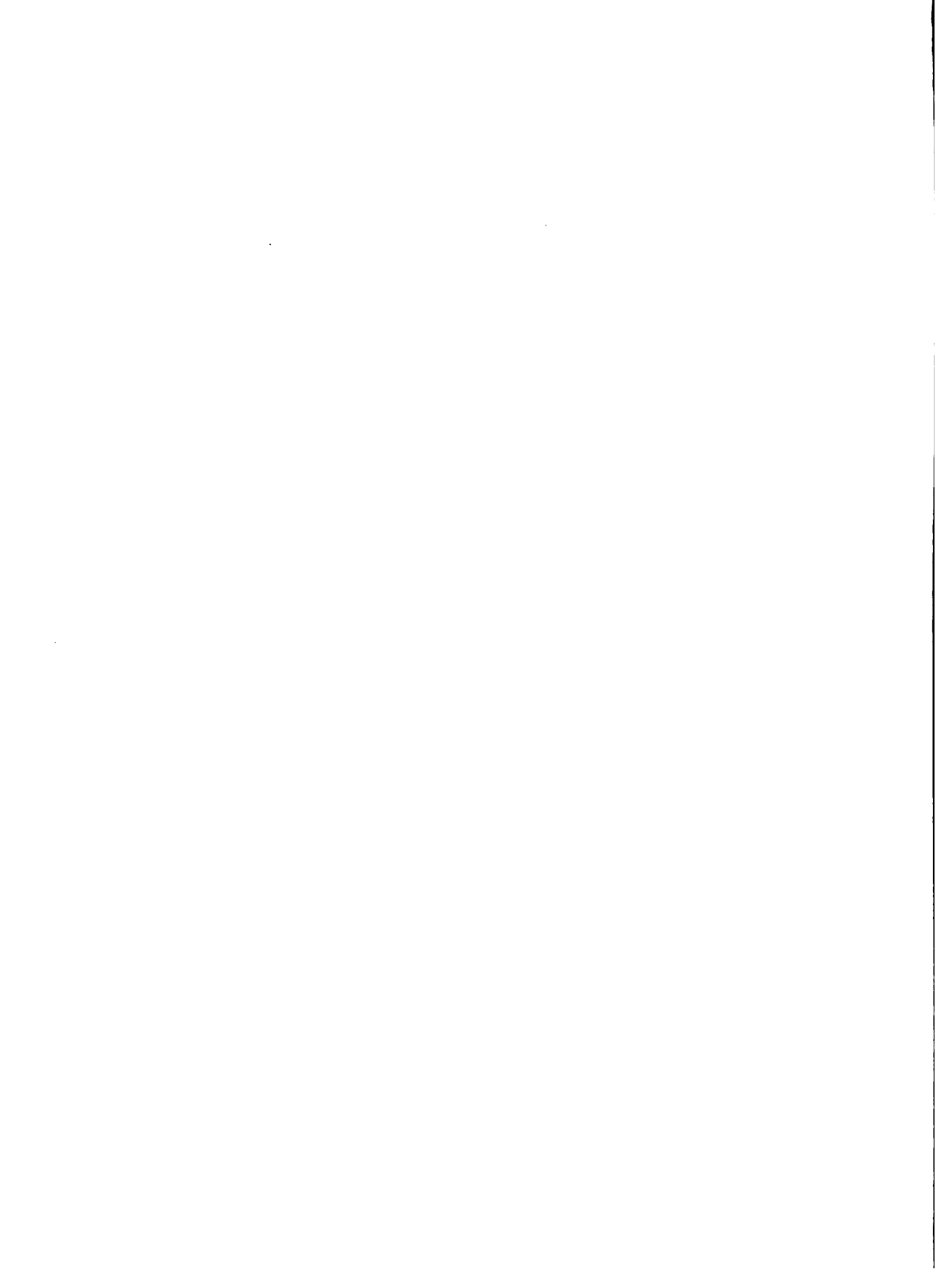
menté par la rivière Trois Rivières à Port-de-Paix. En général, l'eau d'irrigation est mal utilisée. Le manque d'entretien des canaux, le manque de structures de dérivation (batardeaux, partiteurs, vannes etc) sont respectivement responsables d'une mauvaise conduction de l'eau et une mauvaise répartition de celle-ci. De plus, le manque de connaissance sur les propriétés hydriques du sol entraînent des pertes par percolation et par ruissellement ainsi qu'une mauvaise répartition de l'humidité dans le profil du sol.

1.1 Données de base pour une planification de l'irrigation

La planification de l'utilisation rationnelle des ressources hydriques se base sur l'analyse des données de précipitation et des débits, lesquelles doivent avoir été enregistrées pour une période au moins de 30 ans.

Pour déterminer les besoins d'irrigation ainsi que la superficie qui peut être irriguée, il est nécessaire de connaître la précipitation effective dans la zone à irriguer ainsi que les débits disponibles tout le long de l'année. Les valeurs de précipitation et de débits choisis sont celles qui ont une probabilité d'occurrence égal à 80 %. En ce qui a trait aux ouvrages d'évacuation ou de protection contre les inondations, il faut disposer des valeurs instantanées des crues et l'hydrogramme type de la zone afin de donner aux structures des dimensions appropriées. Dans la plupart des cas, ces données ne sont pas disponibles en Haïti, ce qui oblige le planificateur à faire des estimations par le biais des techniques de simulation dont le résultat est toujours approximatif. Ceci peut conduire soit au surdimensionnement des ouvrages (lorsque l'on veut être conservateur) soit à leur sousdimensionnement, lorsque dans l'interprétation des données historiques on n'a pas tenu compte du changement de l'environnement hydrologique (déboisement, érosion, changement des pentes, variation de la capacité d'infiltration, etc.)

Il est très difficile de connaître dans sa vraie grandeur la nature hydro-climatologique du milieu si les données de base ne sont pas com-



nues., ce qui constitue une contrainte à la planification. Pour obtenir ces données, la disponibilité de fonds est quasi négligeable. Il faudra donc remédier la situation en dotant le pays d'un réseau national d'appareils de mesure des éléments hydrométéorologiques.

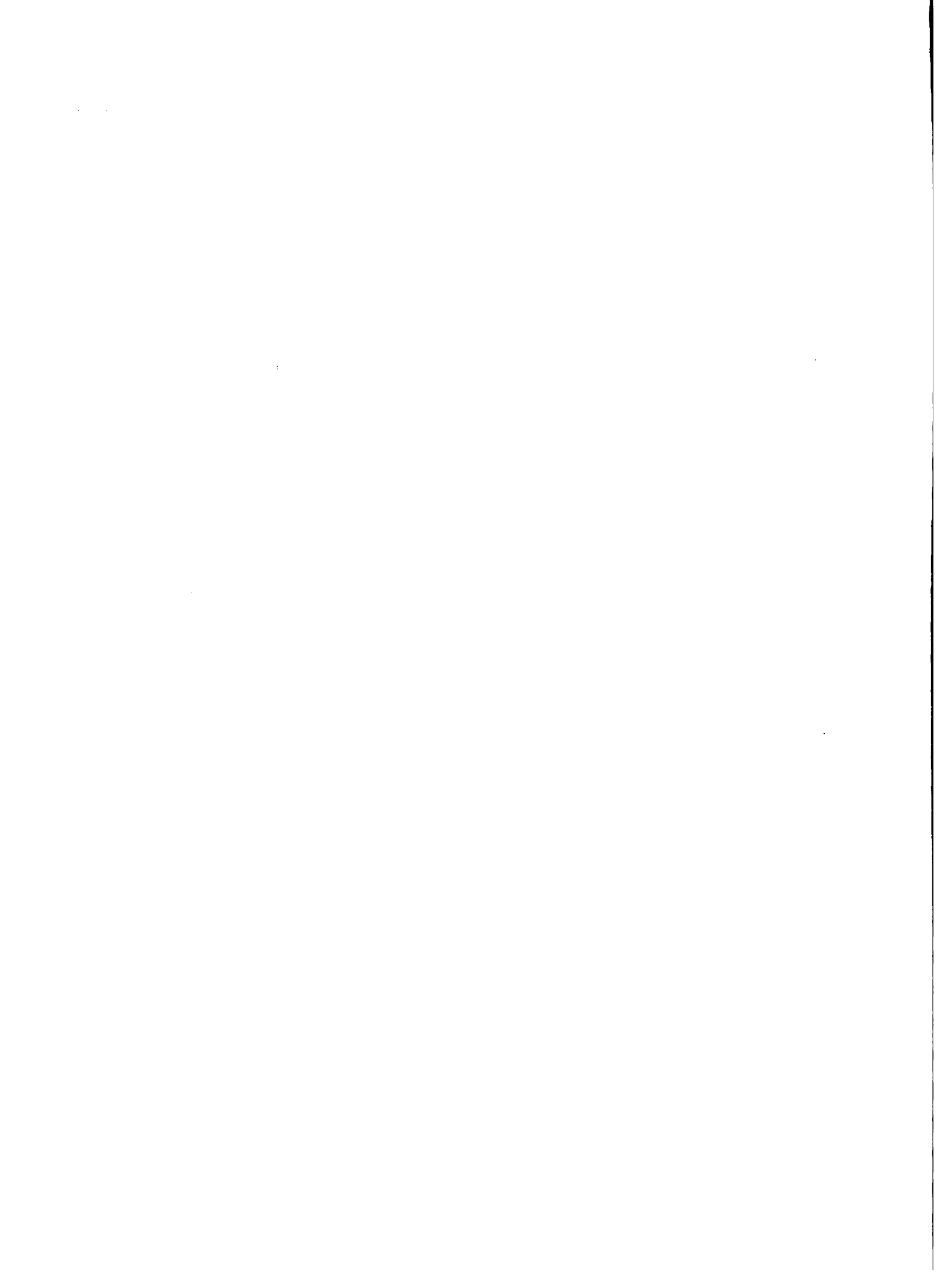
1.2 Aspects physique et aspect non structurel d'un système d'irrigation

En Haïti l'irrigation est principalement gravitaire. La plupart des systèmes d'irrigation sont alimentés à partir de l'eau superficielle des rivières et des sources. Une quantité très minime est obtenue par pompage de l'eau souterraine mais l'application de l'eau à la parcelle est gravitaire. Il existe deux systèmes d'irrigation par aspersion: un à Port-au-Prince et l'autre au Cap Haïtien). On ne pratique pas l'irrigation localisée.

1.2.1 Aspect physique d'un système d'irrigation

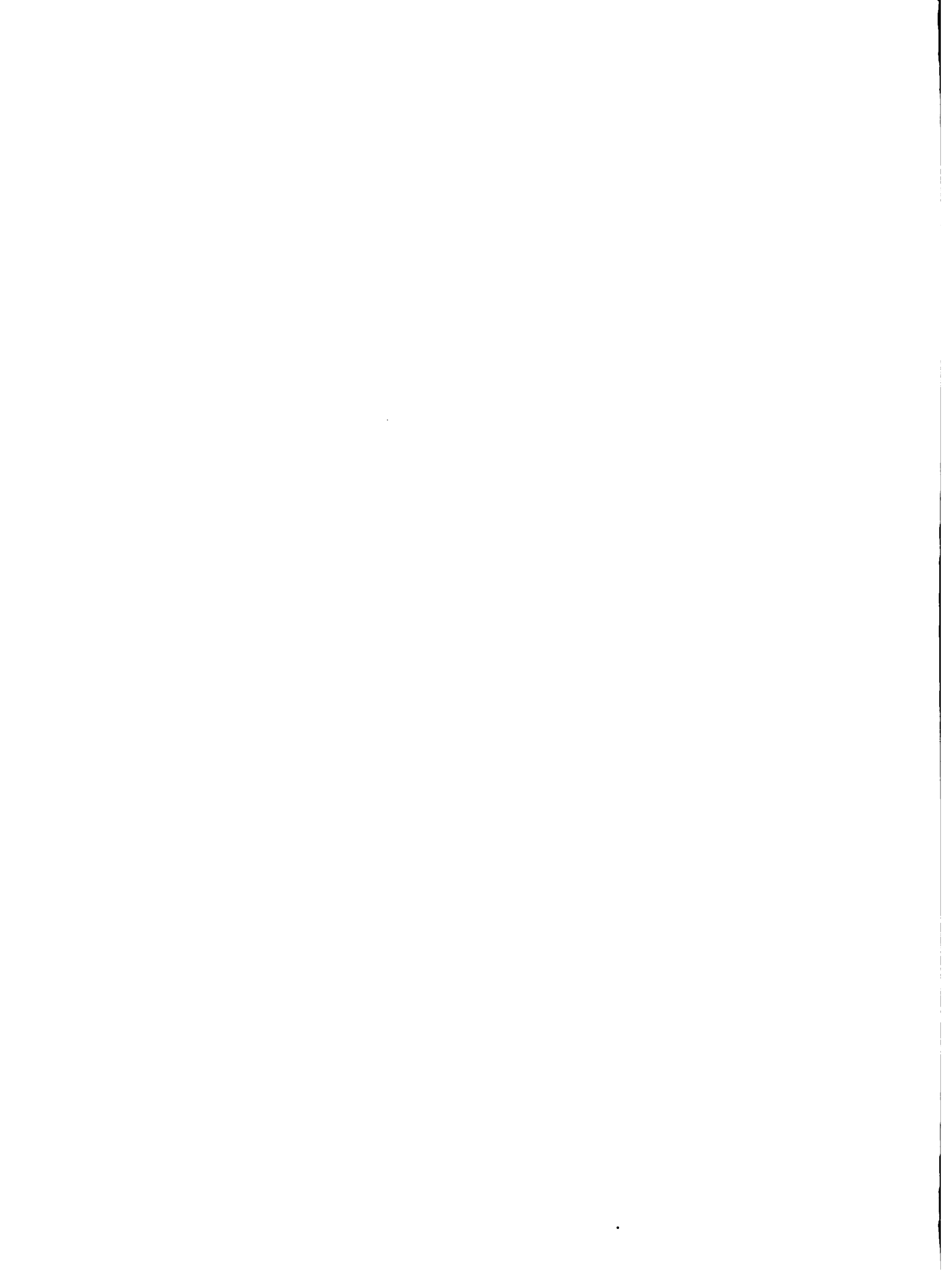
Les ouvrages nécessaires pour assurer l'arrivée de l'eau à la parcelle sont:

- 1) Le barrage de dérivation qui a pour fonction de faire monter le niveau de l'eau en étiage et permettant ainsi son captage. La structure est composée d'un seuil type créager et d'un bassin de dissipation d'énergie.
- 2) La vanne de chasse qui a pour but d'évacuer les sédiments cumulés en amont du barrage. Elle doit être ouverte en permanence, durant la saison humide pour permettre le passage des matières solides. Elle sera fermée à l'étiage pour favoriser le captage de l'eau pour l'irrigation.
- 3) Les vannes de captage du débit d'irrigation. Elles doivent faciliter l'entrée de l'eau dans les réseaux des canaux. Elles resteront ouvertes à l'étiage afin de dériver toute l'eau disponible dans la rivière. Pendant la saison humide elles seront fermées certains jours.



L'ensemble d'ouvrages mentionnés ci-dessus s'appelle ouvrage de prise. Il doit être pourvu de servo-mécanismes automatiques et manuels pour fonctionner, ainsi que d'un radio pour la communication avec la zone irriguée.

- 4) Le canal tête morte. On appelle ainsi la longueur du canal principal qui ne délivre pas d'eau aux canaux secondaires. Le canal tête morte doit avoir la capacité nécessaire pour permettre l'irrigation de toute la superficie emblavée pendant la période de pointe.
- 5) Le réseau des canaux de conduction qui comprend le canal principal, les canaux secondaires et tertiaires.
- 6) Le réseau des canaux de distribution composé de canaux parcelnaires.
- 7) L'ensemble des structures localisées d'opération du système d'irrigation, tel que:
 - 7.1 le dessableur ou bassin de sédimentation placé à quelques mètres après le captage de l'eau. Cet ouvrage est surtout nécessaire lorsque l'écoulement charrie des matières solides (lesquels doivent être retournés à la rivière);
 - 7.2 le bassin de répartition lorsque le canal principal doit alimenter plusieurs canaux secondaires, les battardeaux pour faire monter le niveau d'eau afin de faciliter le captage;
 - 7.3 les partiteurs, structures employées pour répartir l'eau proportionnellement;
 - 7.4 les jaugeurs: ouvrages servant à mesurer le débit délivré à la ferme;
 - 7.5 les vannes dont l'ouverture permet la livraison de l'eau à la ferme;
 - 7.6 les siphons et les aqueducs qui permettront au système de faire face aux dépressions topographiques;



7.7 Les chutes employées pour diminuer les pentes raides.

7.8 Les canaux latéraux d'évacuation qui aident à maintenir le niveau d'eau dans le canal principal.

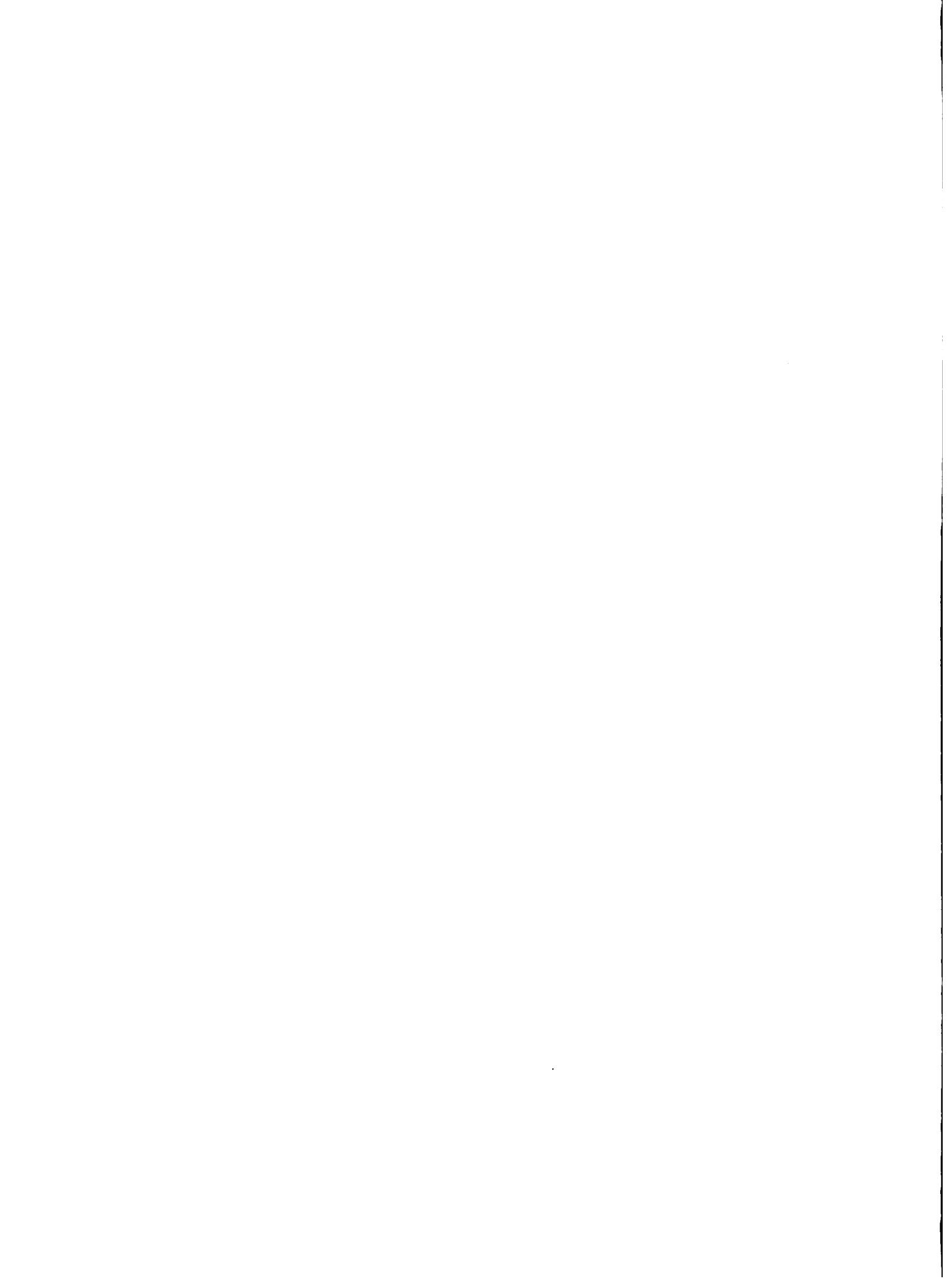
7.9 Les ponts et les routes d'inspections qui facilitent la circulation et la surveillance du fonctionnement des structures.

1.2.2 Aspect non structurel d'un système d'irrigation

Les éléments non structurels qui font partie d'un système d'irrigation sont: les plantes, le sol, le climat et les usagers. Les plantes doivent être les plus appropriées à l'environnement écologique pour donner le maximum de rendement. En ce qui a trait au sol: sa capacité d'infiltration et d'emmagasinement de l'eau doivent être connues et maîtrisées par l'usager. Pour le climat: tous les paramètres tels que: la température, la radiation solaire, la durée du jour, l'évaporation, l'évapotranspiration, l'humidité relative, la vitesse du vent, la précipitation totale doivent être bien connues par le planteur.

L'usager est celui qui appliquera l'eau à la parcelle, il doit connaître la nature du sol et les besoins des cultures qui s'y trouvent afin de déterminer le moment de déclencher l'irrigation ainsi que la durée de celle-ci. Il veillera à utiliser rationnellement les ressources hydriques disponibles en préparant d'avance son plan de cultures irriguées afin de réduire la superficie à emblaver à l'étiage lorsque l'eau fait défaut. De plus, ils doivent s'organiser pour prendre la responsabilité ainsi que pour assurer l'opération, l'entretien et la conservation du système d'irrigation.

Chaque système aura sa propre réglementation où seront spécifiés les droits et les obligations des usagers ainsi que la façon de distribuer l'eau selon les différentes périodes du cycle hydrologique. Dans un système d'irrigation, l'eau disponible sera répartie aux planteurs équitablement, quelle que



soit la localisation de la ferme. Le volume d'eau accordé à chaque unité de terre (pour la même culture) doit être constant. La contribution du planteur aux dépenses des services d'opération, entretien et administration pour chaque unité de terre doit être la même. Une bonne coopération entre les usagers assurera le meilleur fonctionnement du système, ce qui garantit la stabilité du paysan et ferait de l'agriculture une activité attractive.

1.3 L'Irrigation et l'augmentation de la production agricole

Vue la demande croissante des produits alimentaires due à l'augmentation de la population, l'agriculture voit d'une part diminuer ses disponibilités en ressources hydriques (la priorité est accordée aux consommateurs domestiques) et d'autre part la superficie de terres irrigables est diminuée considérablement par la construction des logements. Face à une telle situation, l'irrigation, par un emploi efficient de l'eau doit contribuer à irriguer une plus grande superficie et à accroître le rendement des cultures.

A l'heure actuelle l'efficience de l'application de l'eau à la parcelle par des procédures gravitaires (bassins d'infiltration, calants, rigoles, microsillons) est généralement faible. Pour obtenir une combinaison optimale du type de sol, de la topographie, du débit disponible et des dimensions de la parcelle à irriguer; le travail de recherche doit être orienter à réduire les pertes par percolation ainsi que celles de la distribution de l'eau dans le profil du sol.

Le réseau de conduction doit être revêtu et pourvu de structures pour le jaugeage et le contrôle du débit, de cette façon les pertes par conduction seront diminuées. Pour encourager les planteurs à améliorer l'efficience d'utilisaton on doit établir un tarif d'irrigation sur la base du volume d'eau délivré.

1.4 La disponibilité de l'eau par l'irrigation et la protection du bassin versant

L'écoulement conduit par le cours d'eau principal est la somme de ruissellement provenant des précipitations tombées sur le bassin versant. Le réseau hydrographique du bassin versant est composé de l'ensemble des ruisseaux, des ravines et des rivières débouchant dans la rivière ou le fleuve principal. Plus le réseau hydrographique est grand, plus rapide et plus grand va être la formation de l'hydrogramme dans le cours principal. Les caractéristiques hydrologiques du bassin versant (capacité d'interception par la présence de la végétation, capacité de rétention à cause d'une bonne infiltration et d'une faible pente) contribuent à la formation du ruissellement. Pour obtenir une utilisation rationnelle des ressources hydriques disponibles dans le bassin versant il est nécessaire d'avoir un ruissellement régulier et permanent pendant toute l'année, ce qui permettra d'éviter les inondations et d'assurer la planification de ces ressources. Pour cela, il faut protéger le bassin versant en veillant à la conservation de la couverture végétative, laquelle a la propriété de réduire la grandeur et d'étaler le ruissellement, de protéger le sol contre l'érosion car elle conserve la pente du relief et évite la formation des sédiments. Pour assurer la disponibilité permanente des ressources hydriques dans la zone irriguée, il est nécessaire d'aménager le bassin versant afin de maintenir l'équilibre écologique.

Il est donc regrettable que cette idée maitresse n'ait pas été observée en Haïti et que à l'heure actuelle la détérioration des bassins versants du pays est généralisée, ce qui donne lieu à de fréquentes inondations emportant d'énormes masses de matières solides, lesquelles diminuent la capacité agricole du sol, réduisent la capacité des canaux et souvent responsables des pertes de vies humaines et des biens. Face à cette réalité, l'aménagement d'un système d'irrigation doit se faire de manière intégrale afin de rétablir l'équilibre écologique dont l'importance a été présentée ci-dessus, autrement tous les investissements en aval seront menacés par les perturbations de l'amont.



1.5 Irrigation et drainage

Le drainage est le complément indispensable de l'irrigation pour le contrôle de l'humidité et de la salinité dans le sol. Il est constitué d'un réseau de conduites (fermées ou ouvertes), d'ouvrages d'art: buses, ponceaux; et de routes d'inspection permettant aussi l'évacuation de l'excès d'eau du terrain agricole. Cet excès d'eau peut provenir soit de l'eau de pluie (directement ou par infiltration), soit de l'eau d'irrigation. La capacité du réseau de drainage est fonction:

- de la pluie (Intensité, durée, fréquence, quantité totale et distribution dans le temps et dans l'espace);

- de l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation. Plus l'efficacité est basse (à cause d'une mauvaise distribution de l'humidité dans le profil du sol et à cause des pertes par percolation), plus grands sont les besoins de drainage;

- de la quantité de l'eau d'irrigation. Si la teneur en sel de celle-ci est forte, les besoins de lessivage seront plus importants;

- de la salinité du sol;

- de la tolérance des plantes à la salinité.

Ces deux derniers éléments donnent la qualité de l'eau de drainage. L'évaluation précise des facteurs ci-dessus présentés vont permettre le dimensionnement adéquat du réseau de drainage.

Pour ce qui a trait à la conduction de l'eau de drainage, on applique les principes de l'écoulement à la surface libre, il faut de l'énergie pour le déplacement de l'eau. Dans les zones côtières à faible pente pour l'évacuation finale, l'eau doit être pompée vers la mer, ce qui demande une dépense additionnelle dans l'opération du système. Par ailleurs il convient de signaler que le lent déplacement de l'eau de drainage favorise le développement des plantes aquatiques qui constituent un obstacle à l'écoulement, c'est pourquoi il est impératif d'entretenir le système de drainage pour assurer son bon fonc-

tionnement. Le tarif du système d'irrigation doit permettre le fonctionnement intégral et permanent des composantes physiques du système d'irrigation (réseau des canaux, des drains et des routes).

CHAPITRE II

ELEMENTS DE BASE D'UN SOL IRRIGUE

Généralités

La terre et l'eau sont des ressources fondamentales du milieu naturel et de l'agriculture, c'est la raison pour laquelle il convient de les utiliser de manière rationnelle.

Le sol est un système hétérogène, il est composé de plusieurs éléments: solides, liquides et gazeux. Son squelette est formé de particules dispersées entre lesquelles se trouve l'espace poreux.

Relations du volume et de la masse entre les composantes du sol

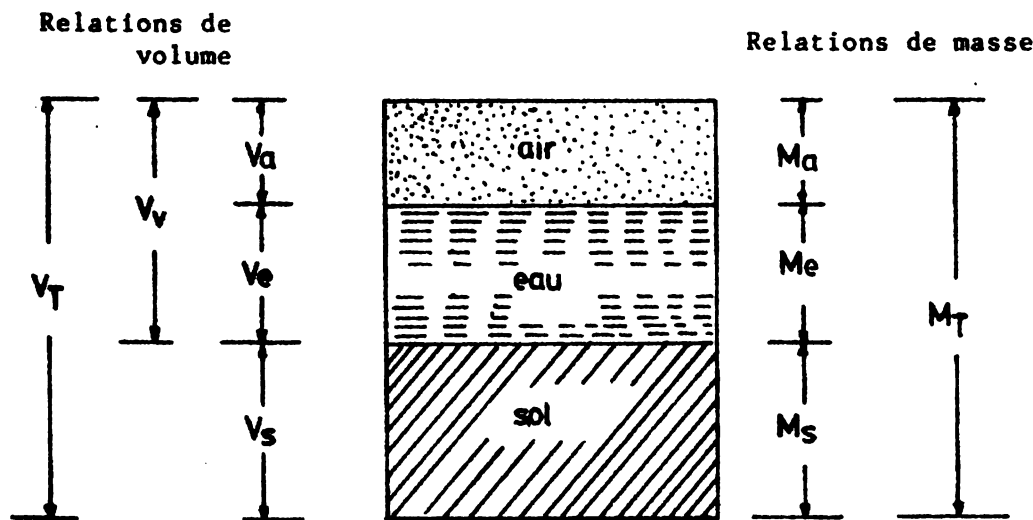


Figure II-1. Schéma des relations de masse et volume des composantes du sol.

Concepts utilisés dans les relations sol - eau

Densité des solides (D_s)

$$D_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (1)$$

Dans la majorité des sols minéraux D_s varie entre 2,6 et 2,7 gr/cm^3 . La présence des matières organiques diminue cette valeur.

Poids spécifiques (γ)

$$\gamma = \frac{\text{Poids}}{\text{Volume}} = \frac{M_s \cdot g}{\text{Volume}} = D_s \cdot g \quad (2)$$

s'exprime en grf/cm^3 (gramme force par centimètre cube)

Densité volumétrique (D_v)

$$D_v = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_e + V_a} \quad (3)$$

Elle exprime la relation entre la masse des particules solides après séchage et le volume total du sol. Le volume total est composé du volume de solides et du volume de pores). D_v est inférieure à D_s , si le volume de pores est 0,5 du volume total. $D_v = 1,3 - 1,35 \text{ gr/cm}^3$. Pour un sol sablonneux $D_v = 1,6 \text{ gr/cm}^3$ et pour un sol argileux $D_v = 1,1 \text{ gr/cm}^3$.

La densité volumétrique dépend de la structure du sol et du degré de compactage.

Volume spécifique sec (V_{sp})

$$V_{sp} = \frac{V_t}{M_s} = \frac{1}{D_v} \quad (4)$$

Porosité (n)

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_a + V_e}{V_s + V_a + V_e}$$

La porosité est un indicateur du volume relatif de pores. Cette va-

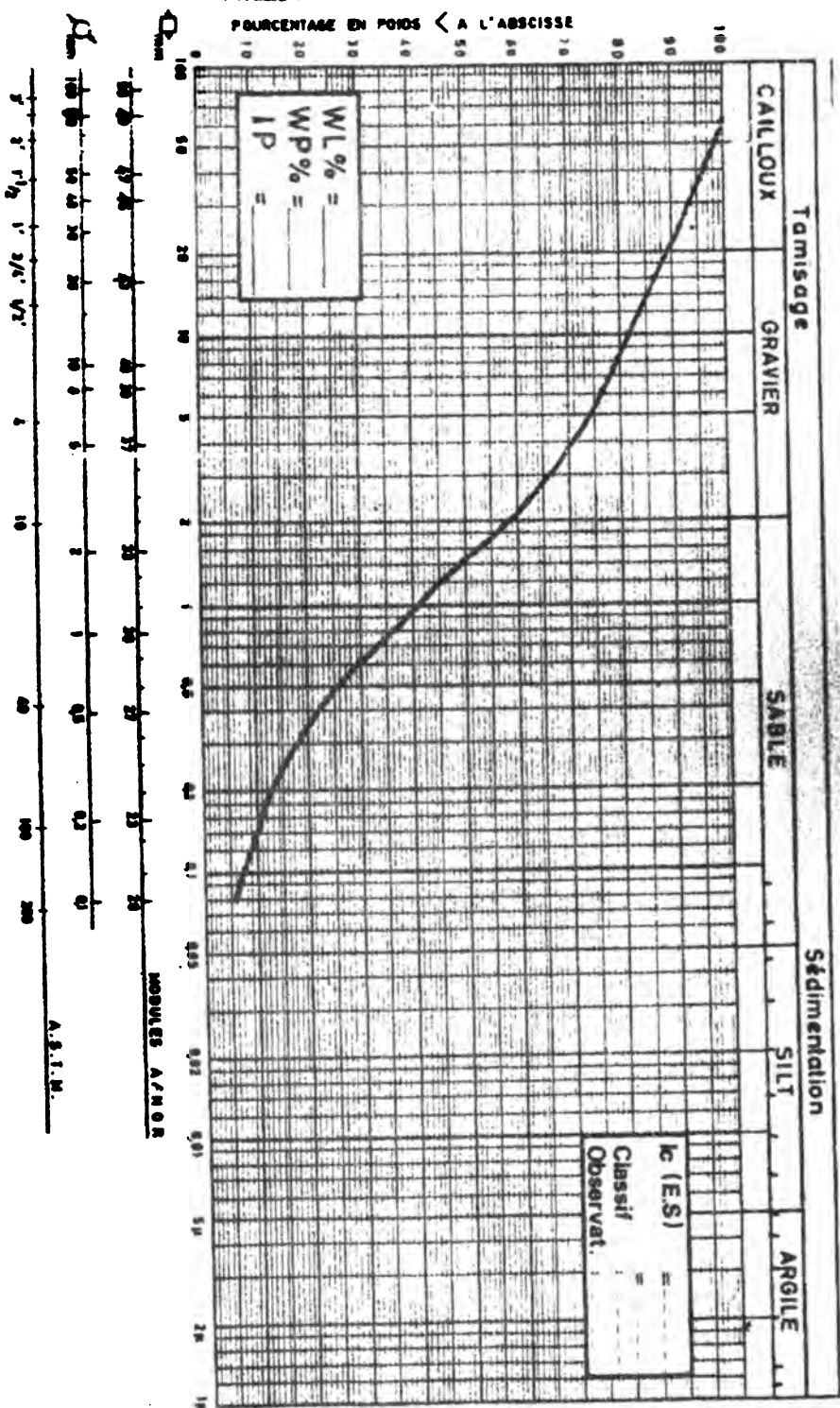


Fig. II-1 (a): Schéma d'une courbe granulométrique.

leur varie entre 0,3 à 0,6. Pour les sols sablonneux celle-ci s'approche de 0,3 et pour les sols argileux elle tend vers 0,6.

Indice de vide (e)

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_a + V_e}{V_s} \quad (6)$$

Teneur en humidité du sol

La teneur en humidité d'un sol peut être exprimée sous plusieurs formes:

- a - En relation à la masse totale;
- b - En relation au volume de solides;
- c - En relation au volume total;
- d - En relation au volume de pores.

Teneur en eau gravimétrique (w)

$$w = \frac{M_e}{M_s} \quad (7)$$

C'est la relation qui existe entre la masse d'eau et la masse du milieu poreux sec (terre séchée au four à 105°C).

Dans un sol minéral saturé w varie entre 25 et 60 % (selon la durée volumétrique). Dans les sols argileux w a une valeur plus élevée. Pour les sols organiques il est supérieur à 100 %.

Teneur en eau volumétrique (θ)

$$\theta = \frac{V_e}{V_t} = \frac{V_e}{V_e + V_s + V_a} = \frac{V_e}{V_s + V_v} \quad (8)$$

Pour les sols sablonneux saturés θ varie entre 40 et 50 %. Les plus

fortes valeurs correspondent aux sols argileux. On préfère employer θ à la place de w parce que θ est lié au volume d'eau appliquée au sol.

Degré de saturation (S)

$$S = \frac{V_e}{V_v} = \frac{V_e}{V_a + V_e} \quad (9)$$

$S = 0$ pour un sol sec

$S = 100$ pour un sol complètement saturé.

Teneur en air relative (n_a)

$$n_a = \frac{V_a}{V_t} = \frac{V_a}{V_s + V_v} = \frac{V_a}{V_s + V_a + V_e} \quad (10)$$

Elle exprime la quantité relative d'air dans le sol. C'est un facteur important dans l'aération de celui-ci. Elle est liée au degré de saturation du sol.

$$n_a = n - S$$

Porosité et indice de vide n et e .

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (12)$$

$$e = \left(\frac{n}{1 - n} \right) \quad (13)$$

Degré de saturation (S), Porosité (n) et teneur en eau volumérique (θ)

$$n = \frac{\theta}{S} ; \quad S = \frac{\theta}{n} ; \quad \theta = nS \quad (14)$$

Indice de vide (e), densité de solides (D_s) et densité volumétrique (D_v)

$$n = 1 - \frac{D_v}{D_s} \quad (16)$$

Teneur en eau gravimétrique (w), teneur en eau volumétrique (θ) et densité volumétrique

$$\theta = \frac{w D_v}{\rho_e} \quad (17)$$

Teneur en air (n_a), teneur en eau volumétrique (n) et degré de saturation (S)

$$n_a = n - \theta = n(1 - S) \quad (18)$$

Sol servant de réservoir d'eau pour les plantes

L'espace poreux du sol peut être considéré comme étant un réservoir où l'eau est emmagasinée (alimentée par l'irrigation ou par la pluie). Celle-ci est utilisée par les plantes pour satisfaire leurs besoins (évapotranspiration).

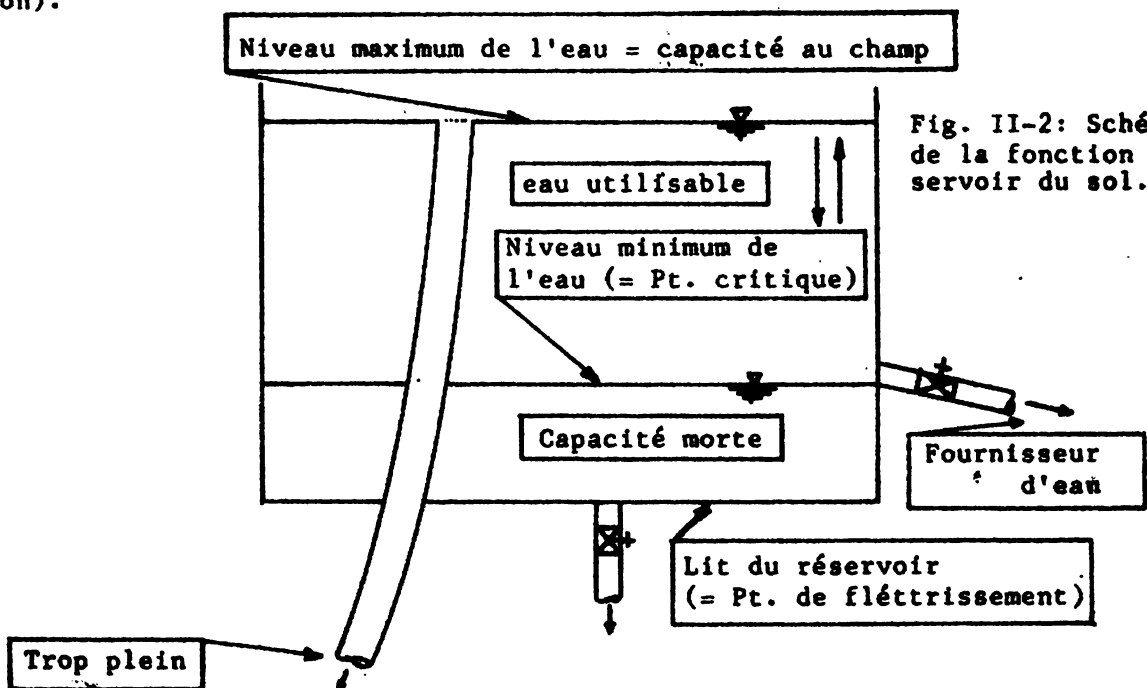


Fig. II-2: Schéma de la fonction réservoir du sol.



La texture du sol

Il est défini par la proportion de sable, d'argile et de limon se trouvant dans le sol. Les dimensions qui permettent d'identifier les différents types de particules (sable, limon, argile) sont données dans le tableau II-1.

TABLEAU II-1. Dimensions des particules du sol

<u>Particule</u>	<u>Diamètre (mm)</u>
Sable.....	2,00 - 0,05
Sable très grossier.....	2,00 - 1,00
Sable grossier.....	1,00 - 0,50
Sable moyen.....	0,50 - 0,25
Sable fin.....	0,25 - 0,10
Sable très fin.....	0,10 - 0,05
Limon.....	0,05 - 0,002
Limon grossier.....	0,05 - 0,02
Limon fin.....	0,02 - 0,002
Argile.....	0,002

Le tableau montre les termes généraux employés pour identifier les types de sol, lesquels sont aussi détaillés dans le triangle textuel présenté dans la figure II-3.

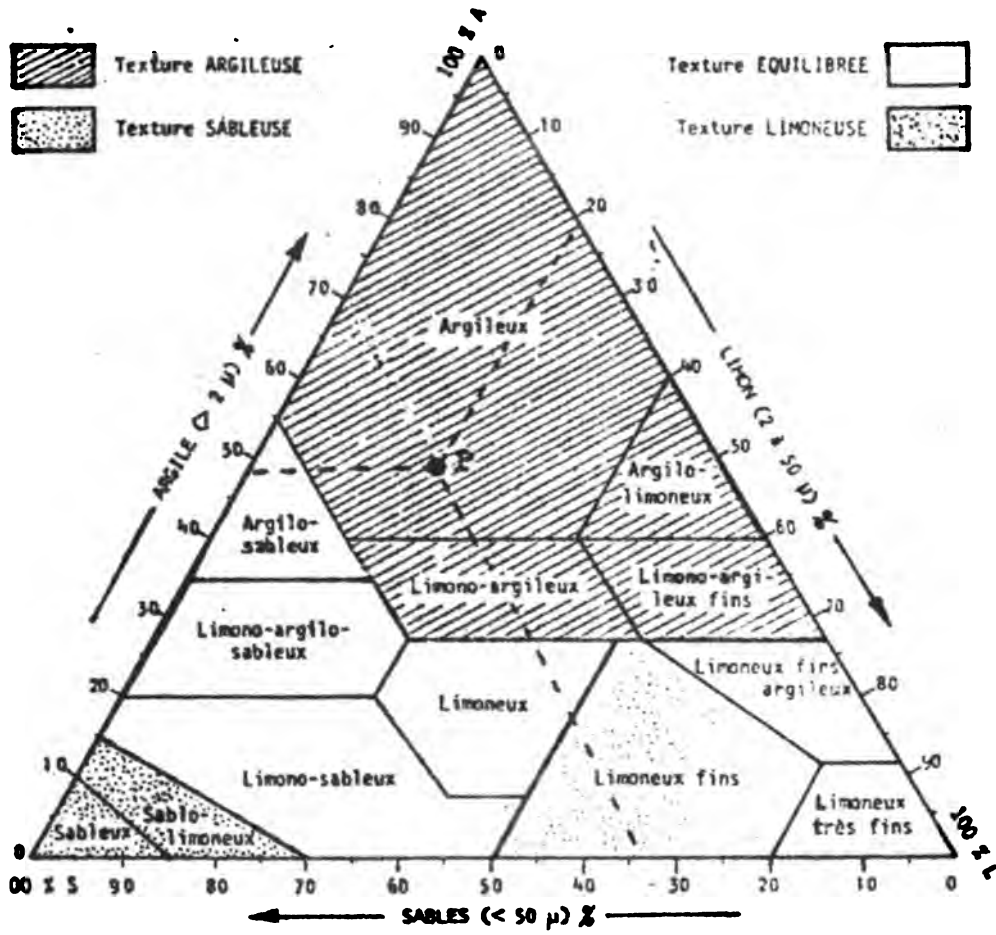


Fig. II-3: Le triangle des classes de texture

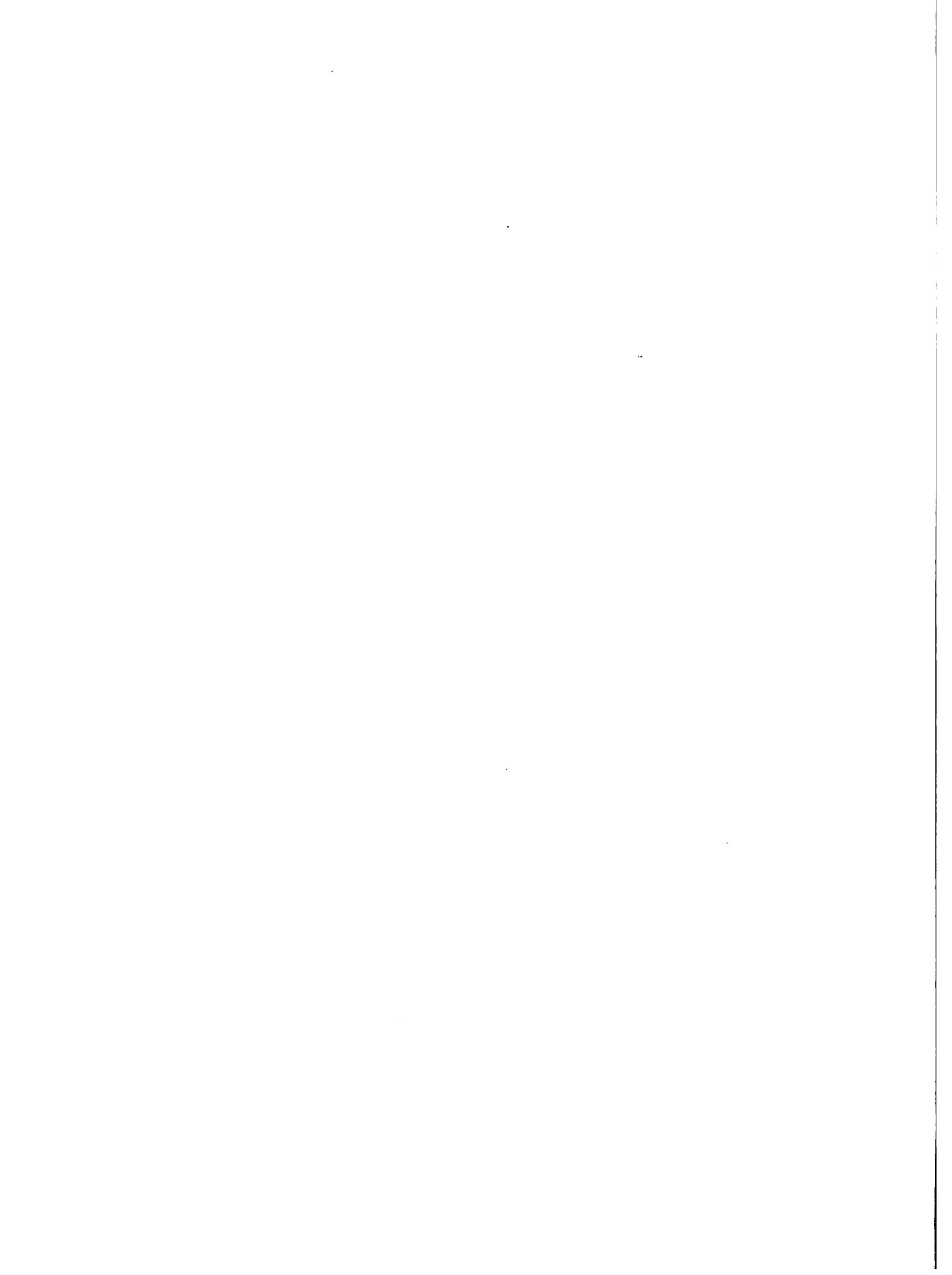


TABLEAU II-2. Termes généraux employés pour identifier les types de sol

<u>Terme Général</u>	<u>Composition de base</u>
Sol sablonneux (texture grossière)	sable et sablo-limoneux
Sol franc (texture modérée)	{ limo-sablonneux limo-sablonneux fin
(texture moyenne)	{ limo-sablonneux très fin limoneux limoneux fin limoneux très fin
(texture modérée fine)	{ limono-argileux limono-argilo-sablonneux limono-argilo-fin
Sol argileux (texture fine)	{ argilo-sablonneux argilo limoneux argileux

La capacité au champ

C'est la teneur en eau, un à trois jours après la saturation du sol et après que celui-ci ait été drainé naturellement. On considère que la capacité au champ est une constante, bien que le mouvement de l'eau dans le sol n'a pas de limite. La capacité est exprimée en pourcentage par rapport au poids du sol sec.

Exemple: Un échantillon de sol humide à CC pèse 100 gr. Après séchage pendant 24 heures à 105°C son poids est de 80 gr. La capacité au champ sera donc:

$$CC = \frac{100 - 80}{80} \times 100 = \frac{20}{80} \times 100 = 25$$

$$CC = 25 \%$$

Point de flétrissement permanent

Au fur et à mesure que l'eau est consommée dans le sol (par l'évapotranspiration) la tension augmente. A 15 atmosphères les plantes ne sont plus en mesure d'extraire l'eau du sol et elles commencent à flétrir. La teneur en eau correspondante est appelée point de flétrissement permanent. Il est exprimé en pourcentage par rapport au poids du sol sec.

Exemple: Un échantillon de sol au point de flétrissement pèse 100 gr. Après séchage pendant 24 heures à 105°C il pèse 95 grammes. Le point de flétrissement permanent sera:

$$PPF = \frac{100 - 95}{95} \times 100 = \frac{5}{95} \times 100 = 5$$

$$PPF = 5 \%$$

Humidité disponible

La différence en teneur en eau entre la capacité au champ et le point de flétrissement d'un sol constitue l'humidité disponible pour les plantes. Il convient de souligner que dans l'agriculture irriguée, l'irrigation est déclenchée bien avant que la teneur en eau du sol arrive au point de flétrissement permanent, pour ne pas affecter la productivité des cultures.

Profondeur active des racines

Les racines des plantes sont actives principalement dans la partie supérieure de la zone des racines où elles puisent le plus fort pourcentage d'eau dont elles ont besoin. Cette partie du sol qui se situe au niveau de ces racines est nommée Profondeur active des racines.

Point critique d'humidité et Gestion du déficit d'humidité

L'expérience sur la productivité des cultures montre que l'on obtient les meilleurs rendements lorsque la teneur en eau dans la profondeur active

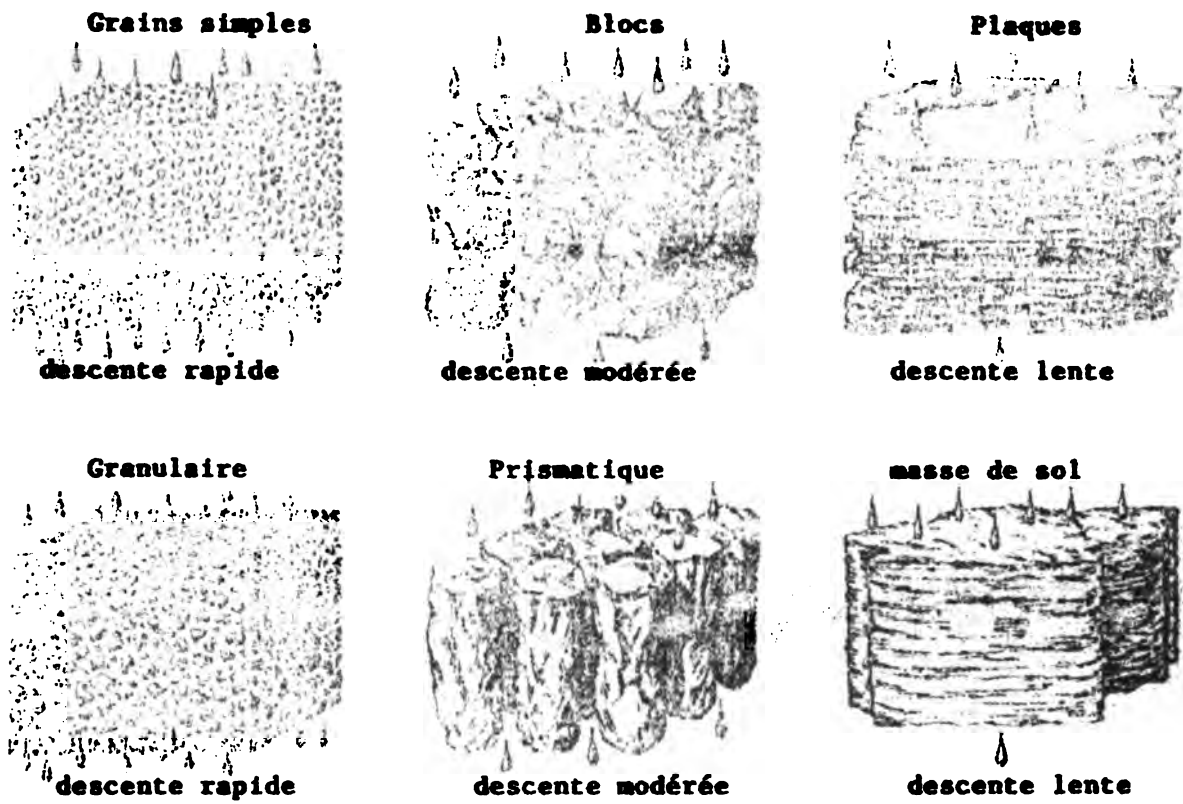
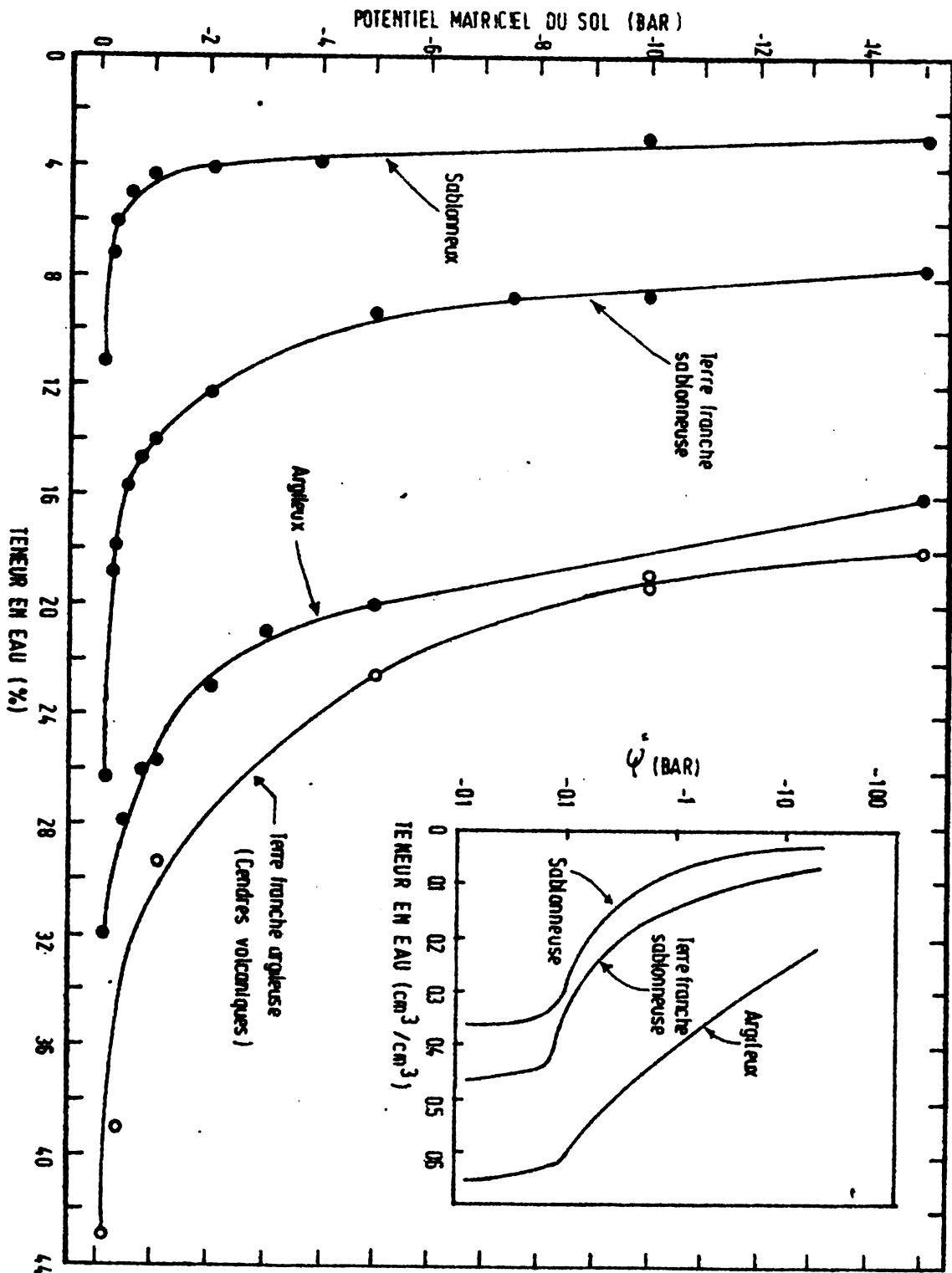


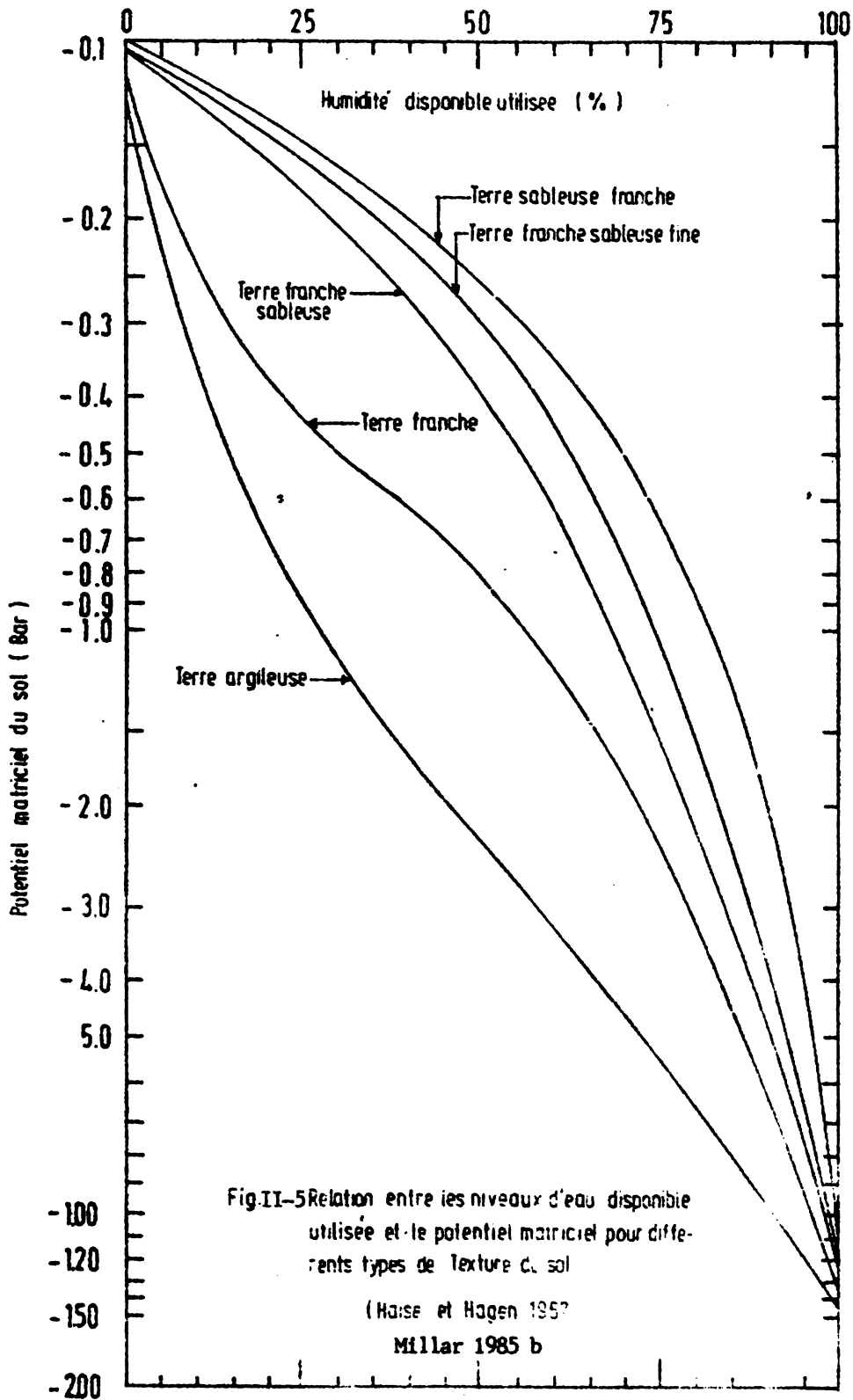
Fig. II-3a: Schéma de classes de structure du sol et leur effet dans le mouvement descendant de l'eau.

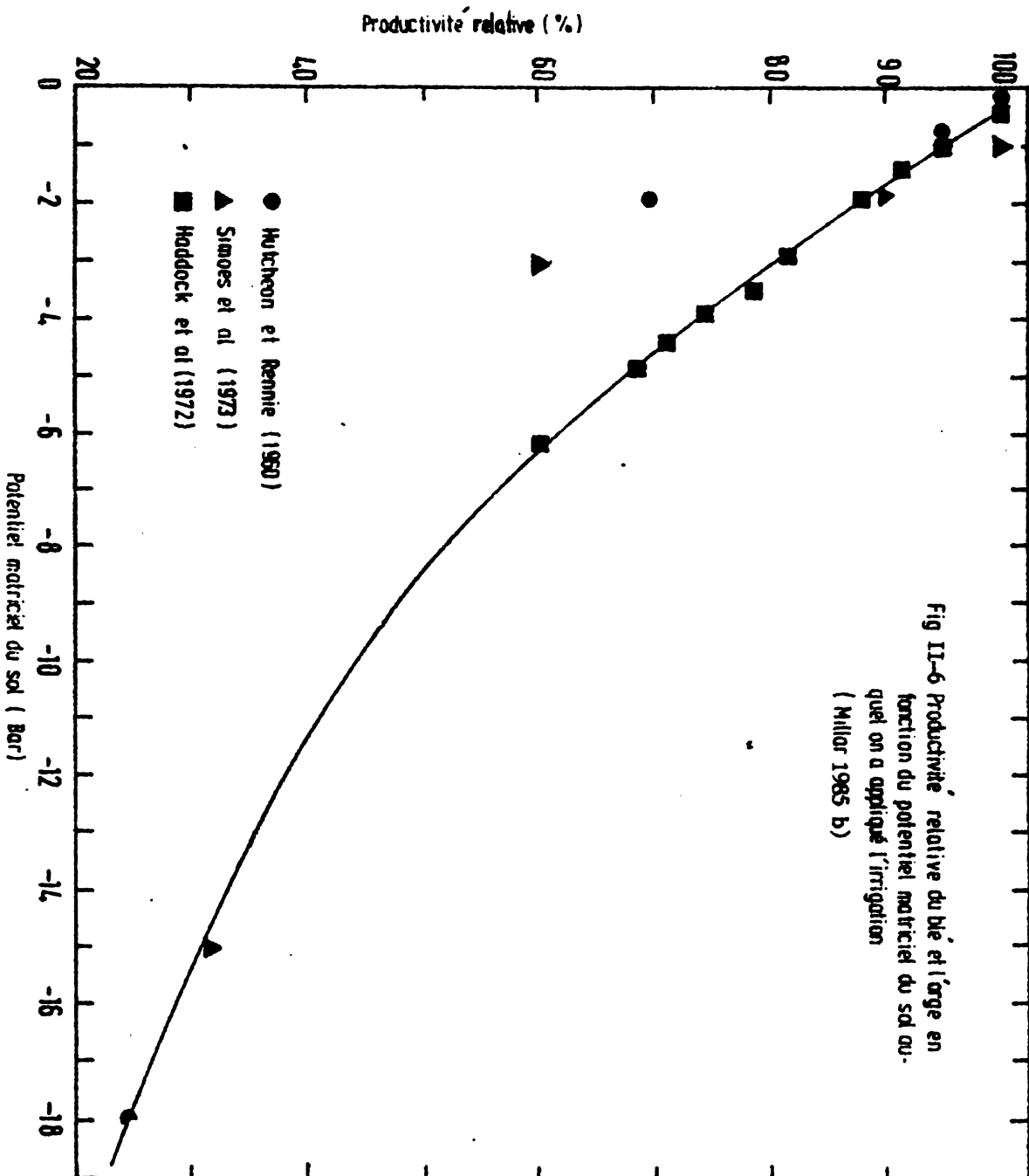
des racines n'atteint pas le point de flétrissement. C'est pour cette raison que la gestion de l'humidité dans le sol doit tolérer seulement la consommation d'une partie de la teneur en eau disponible. Le niveau d'humidité au-dessous duquel la teneur en eau ne doit pas descendre est nommé Point critique d'humidité. Ce niveau d'humidité varie selon le type de sol, du climat, de culture et selon la partie biologique à récolter ainsi que la disponibilité en eau (Figure II-4, II-5, II-6 et II-7).

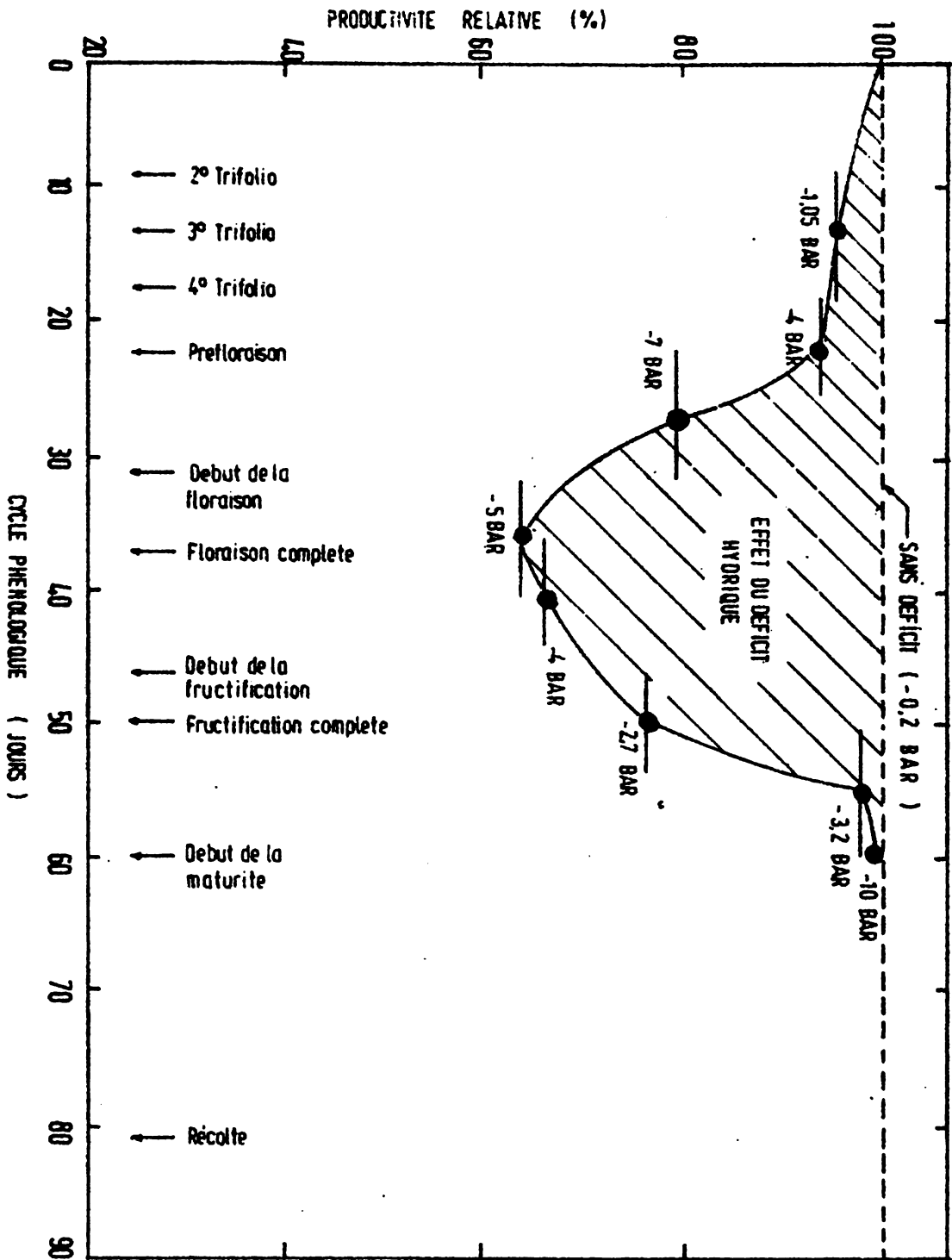


FIGII-4: Courbe de retention d'humidite pour divers types de sols.

Millar 1985 a







FigII-7 Productivité relative des barreaux en fonction du cycle phenologique (Magalhaes et al 1979 MILLAR 1985 b)

Profondeur des racines
 Profondeur d'extraction d'humidité D

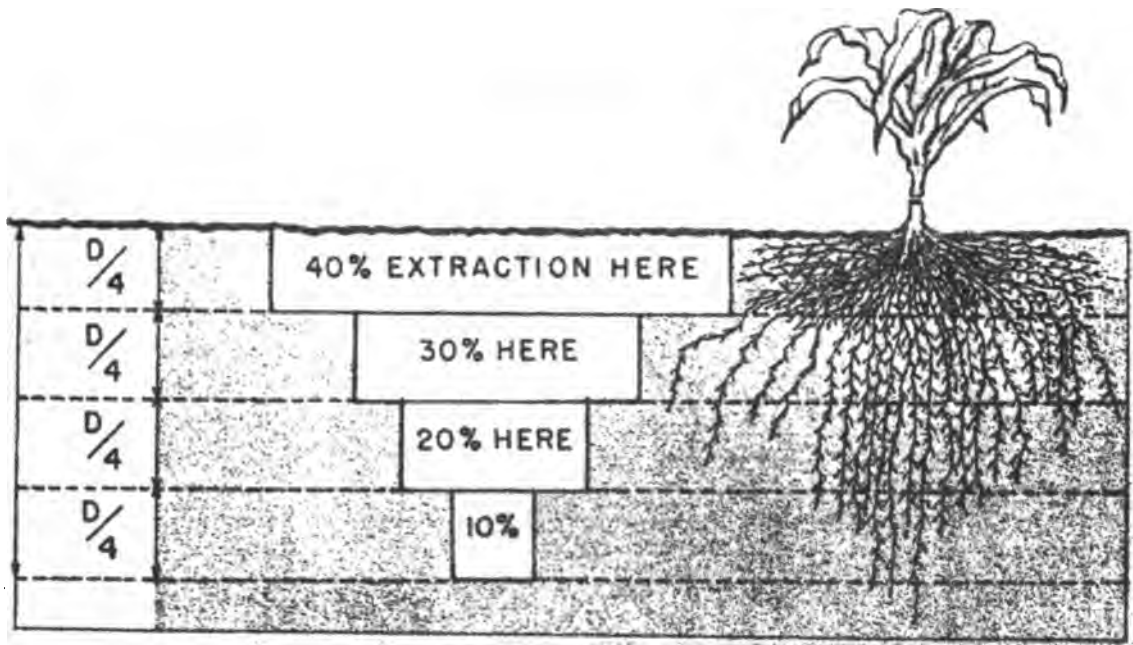


Fig. II-8: Schéma d'extraction de l'humidité des plantes poussant dans un sol de profil uniforme sans limitation d'eau.

Profondeur des racines D
 $1/4 D, 1/4 D, 1/4 D, 1/4 D$

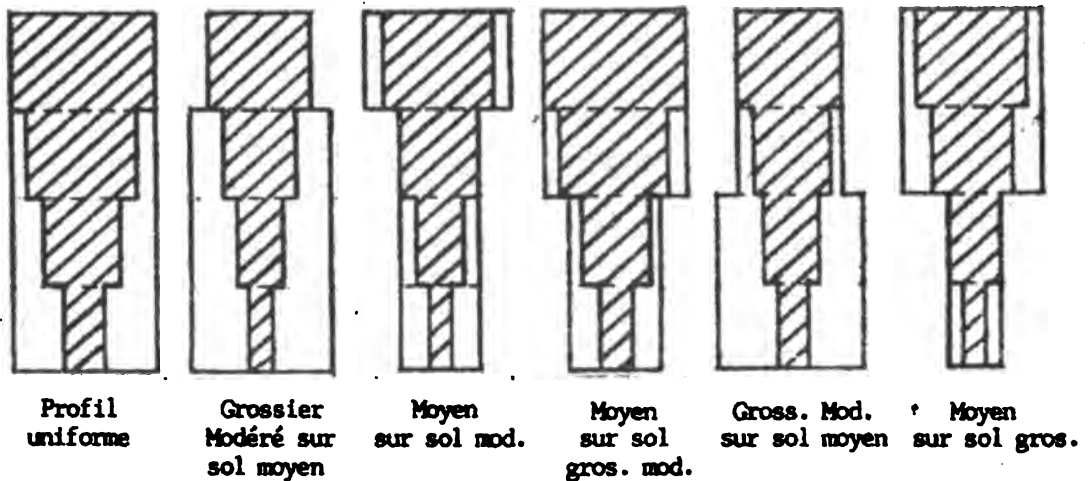


Fig. II-9: Schéma d'extraction d'humidité d'après la teneur en eau disponible dans les couches du sol. La largeur de chaque profil représente la teneur en eau disponible

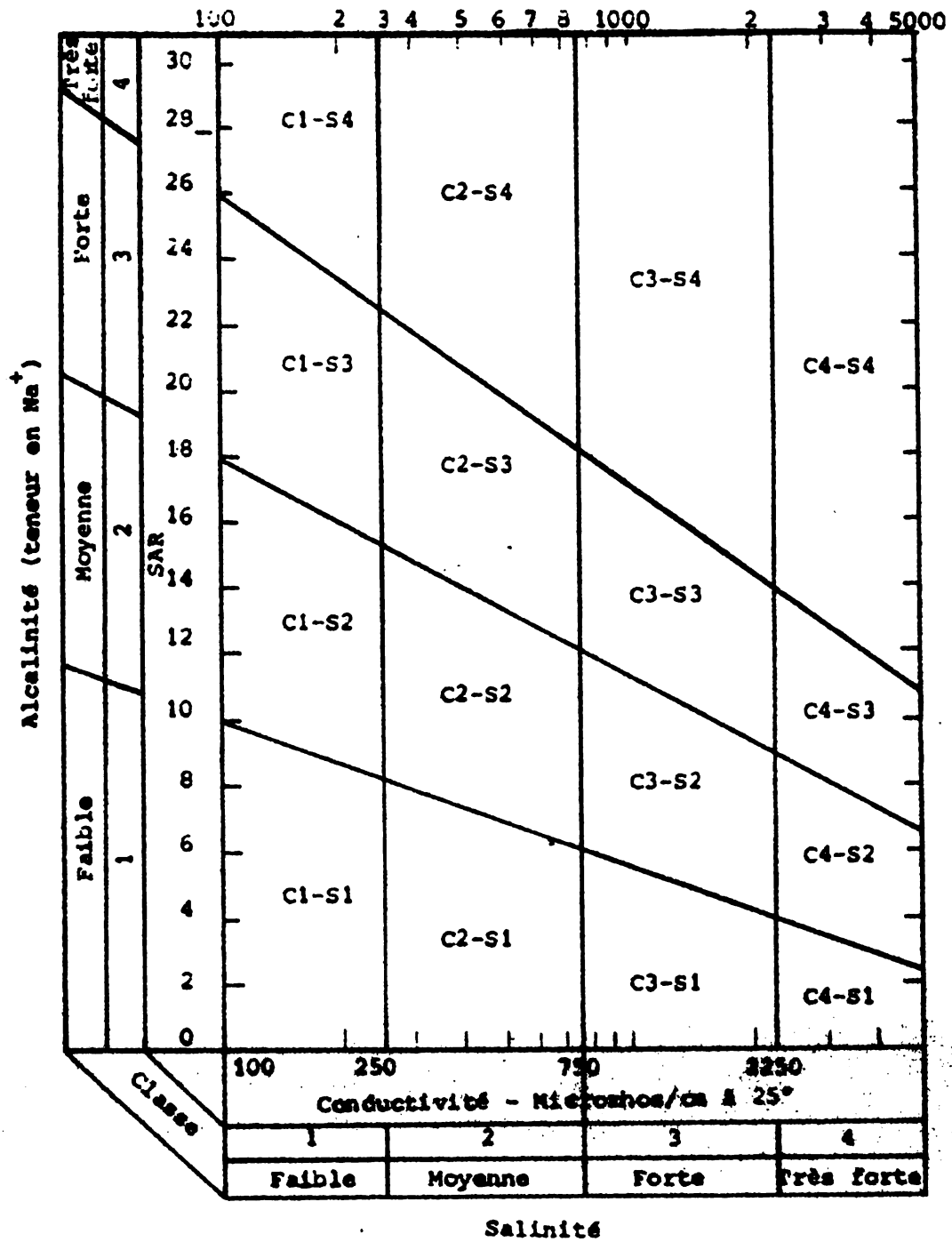


Fig. II-10: Diagramme de Riverside pour le classement de l'eau d'irrigation

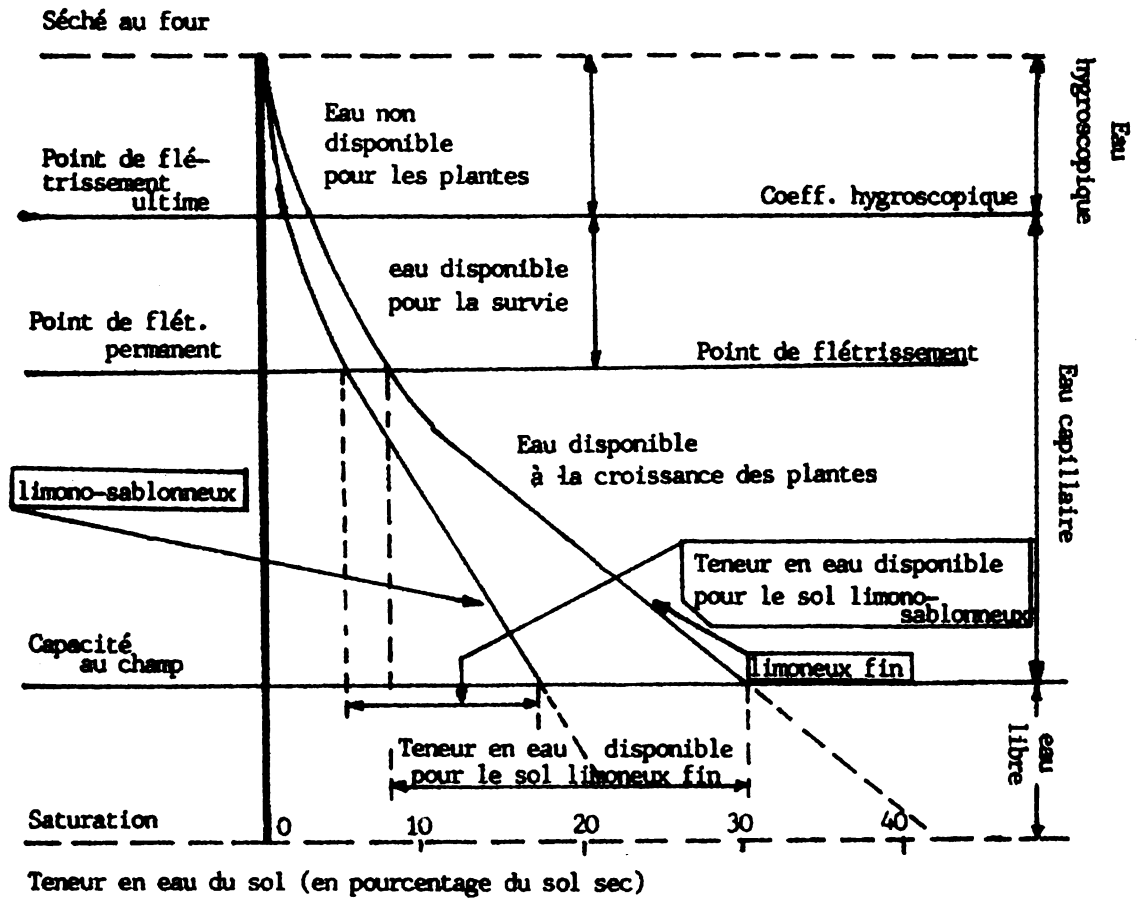


Fig.II-11: Classement de l'eau dans le sol et teneur en eau dans un sol limono-sablonneux et un sol limoneux fin

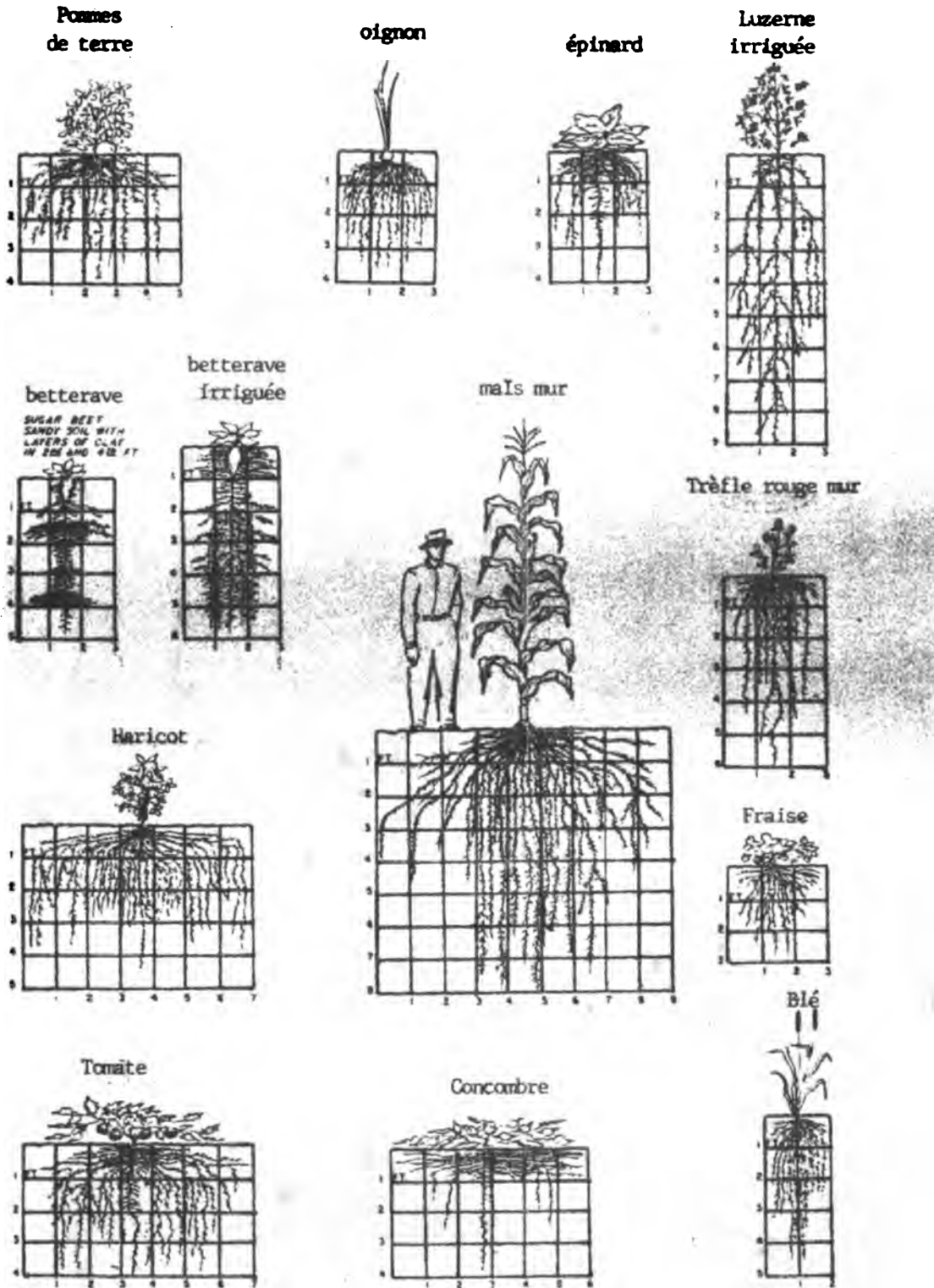
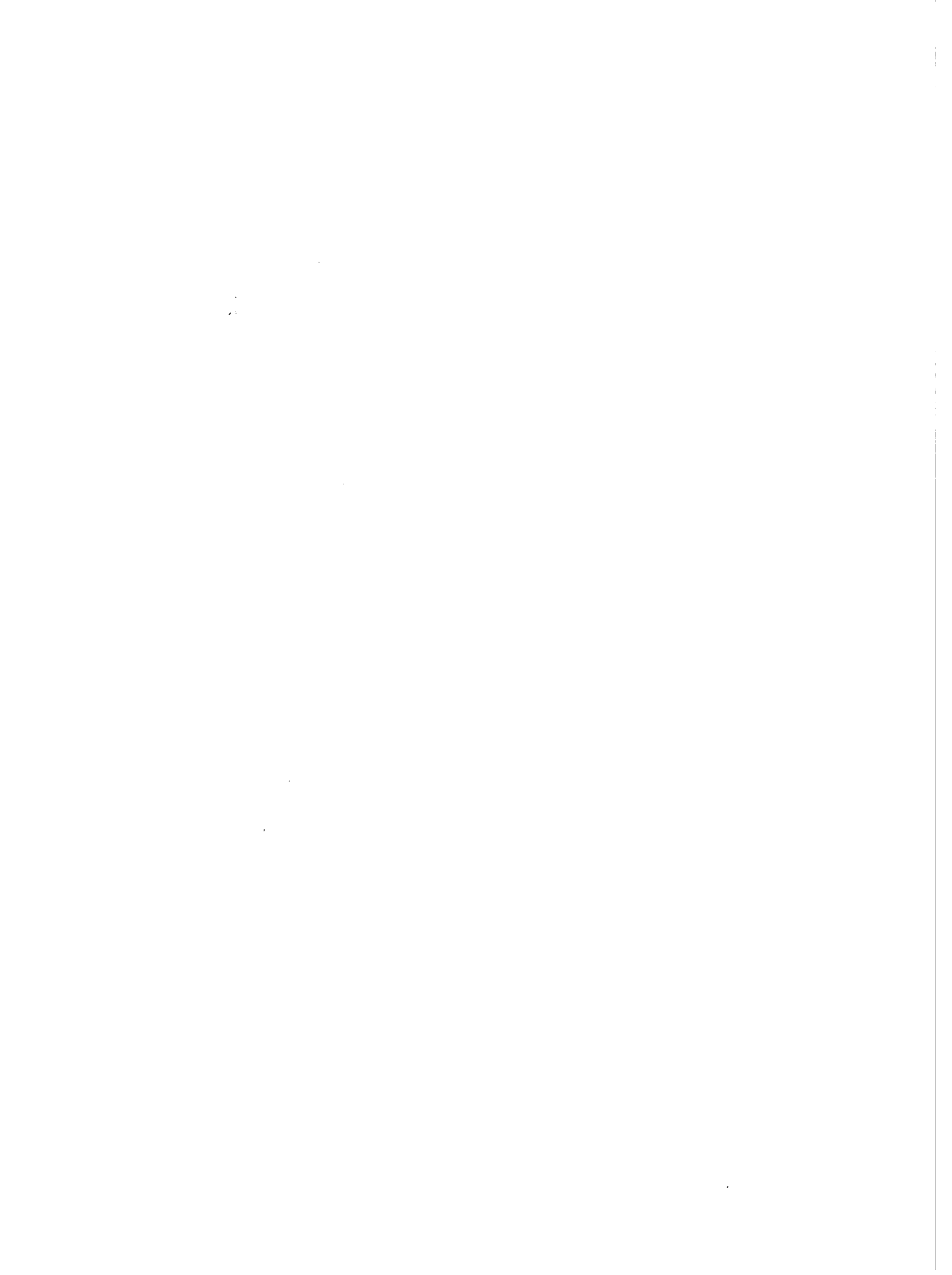


Fig. II-12: Schéma de profondeur des racines (en pied) de quelques cultures.



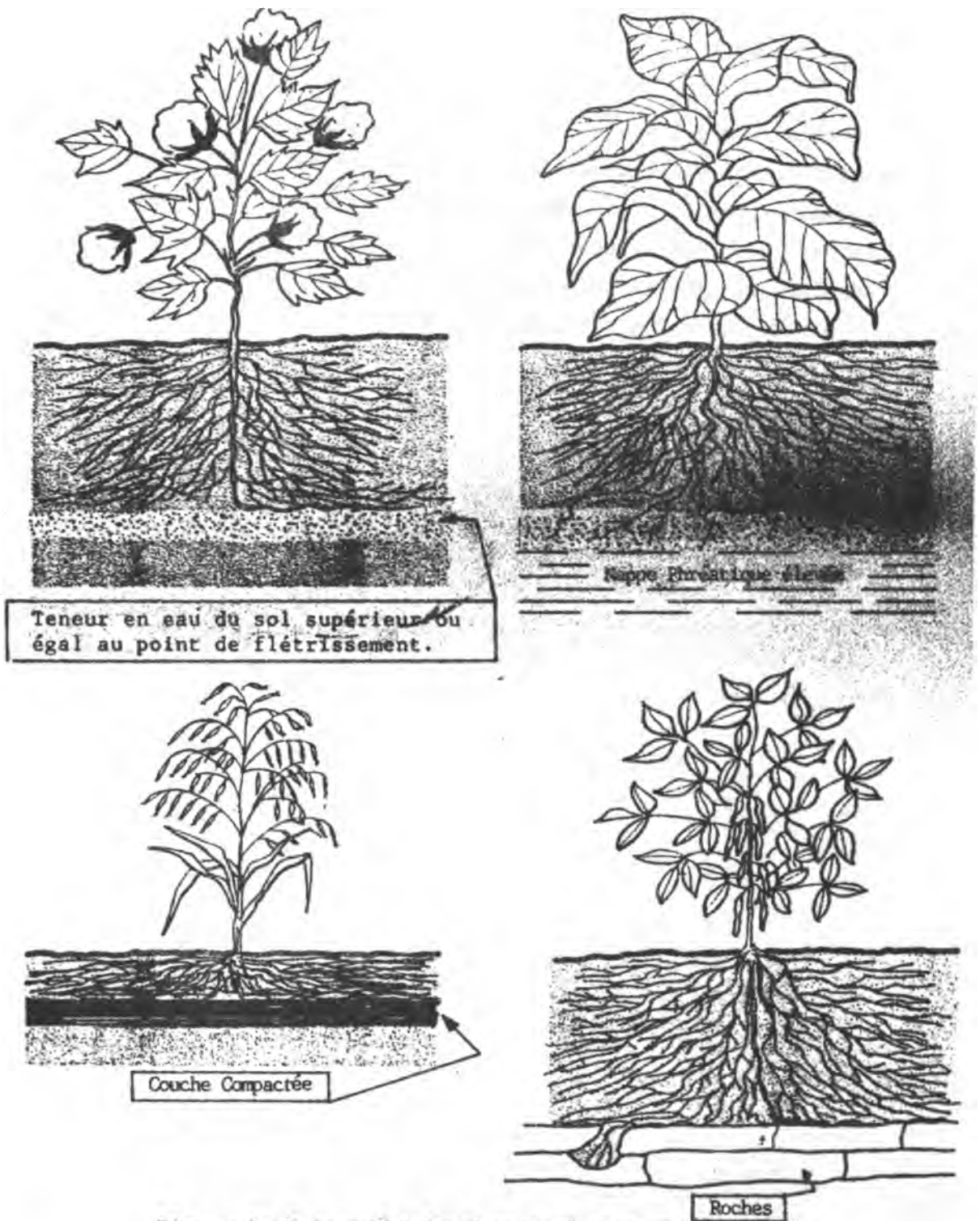


Figure II-13 le profil du sol et le développement des racines.

CHAPITRE III

ENERGIE DANS LE SOL

Généralités:

Dans un point donné une particule d'eau possède une énergie égale à la somme de l'énergie potentielle (énergie de position appelée aussi énergie gravitationnelle), (ϕ_g) de l'énergie de pression (ϕ_p) et de l'énergie osmotique (ϕ_o). L'énergie spécifique de l'eau est connue sous le nom de potentiel hydrique dans le sol (L'énergie cinétique de l'eau dans le sol est négligeable). Le déplacement de l'eau se fait du point de fort potentiel hydrique au point de bas potentiel hydrique.

$$\phi_t = \phi_g + \phi_p + \phi_o \quad (19)$$

$$\frac{d\phi_t}{dx} = \text{Gradient de potentiel hydrique} \quad (20)$$

3.1 Energie Gravitationnelle (Eg)

$$E_g = M \cdot g \cdot Z$$

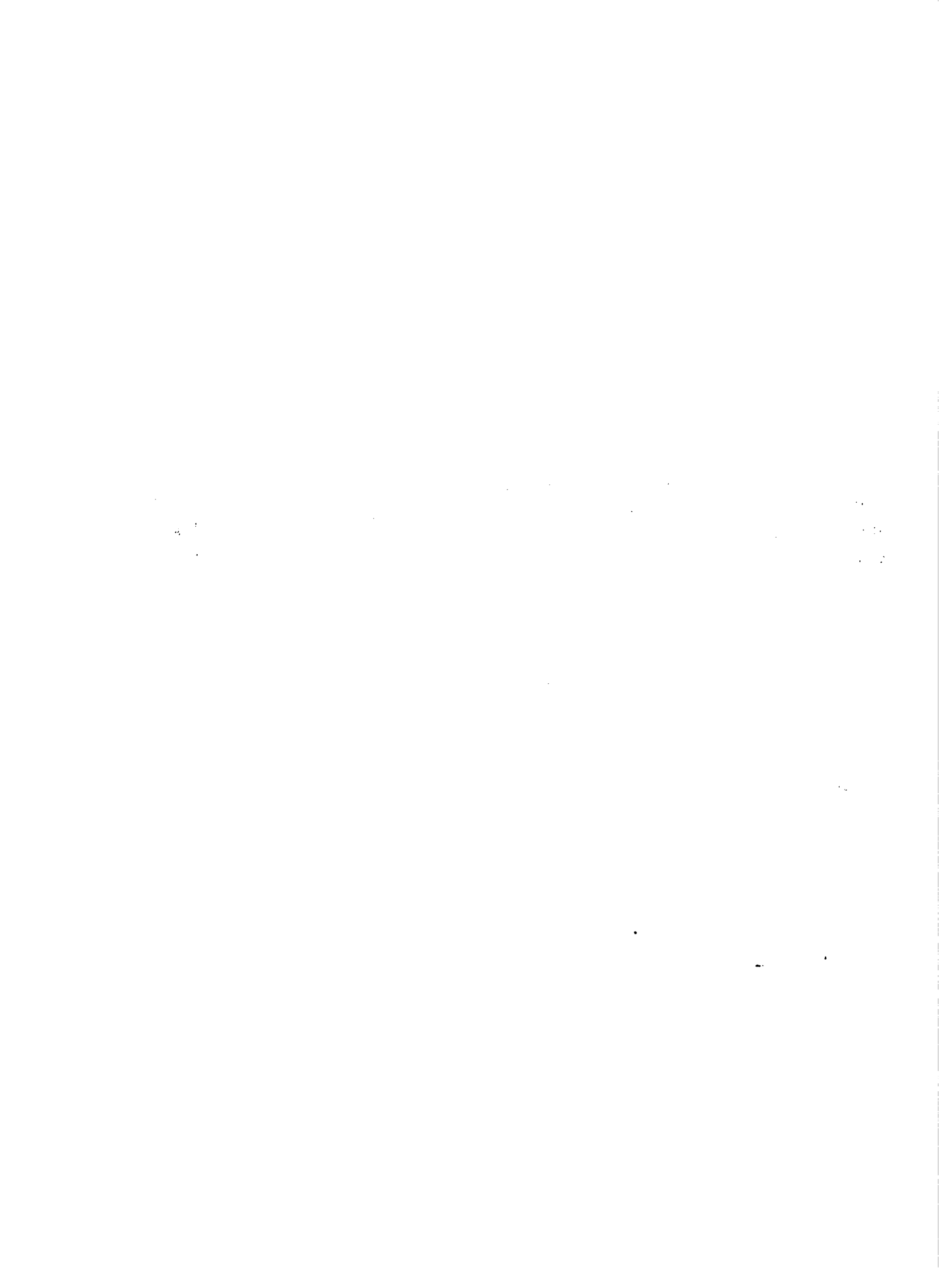
$$\phi_g = \frac{E_g}{M} = gZ \quad (21)$$

3.2 Energie de pression (Ep)

$$\begin{aligned} E_p &= p \cdot A = \rho g h \cdot A \\ \phi_p &= h \end{aligned} \quad (22)$$

Où :

- ϕ_t = Potentiel hydrique total
- ϕ_g = Potentiel hydrique gravitationnel
- ϕ_p = Potentiel hydrique de pression
- ϕ_o = Potentiel hydrique osmotique



- d_x = Distance dans la direction de l'écoulement
 M = Masse du fluide.
 g = Accélération de la pesanteur.
 z = Côte du point par rapport au niveau de référence
 p = Pression du fluide
 h = Hauteur d'eau par rapport au niveau de référence
 A = Aire normale à la pression
 ρ_e = Densité de l'eau

3.3 Potentiel osmotique

La présence de sels dans l'eau modifie l'énergie potentielle particulièrement la pression des vapeurs d'eau dans le sol. Ce phénomène est important dans l'interaction des racines des plantes et le sol.

Si l'on néglige l'effet du potentiel osmotique, le potentiel hydrique du sol peut ainsi s'exprimer:

$$\phi_t = gz + h \quad (23)$$

Le potentiel hydrique du sol s'exprime en Newton-mètre/Newton, soit unités de longueur ou unités de charge hydraulique. Le potentiel hydrique négatif (vers lequel coulera l'eau), exprimé en cm de charge hydraulique peut acquérir de fortes valeurs, par exemple -15.000 cm. Schoefield a proposé l'échelle pF pour exprimer le potentiel hydrique du sol. La valeur pF est égal au logarithme décimal du potentiel hydrique exprimé en cm. Ainsi pF = 1 équivaut à un potentiel hydrique de -10 cm. et pF = 3 équivaut à un potentiel hydrique de -1.000 cm. Si pour un sol, le potentiel hydrique au point de flétrissement est égal à -15.000 cm, son pF est 4,17.

3.4 Mesure du potentiel hydrique dans le sol

La valeur du potentiel hydrique dans le sol permet de savoir la disponibilité de l'eau pour les plantes. Pour un sol donné, il existe une relation entre la teneur en eau et le potentiel hydrique. On donne le nom de

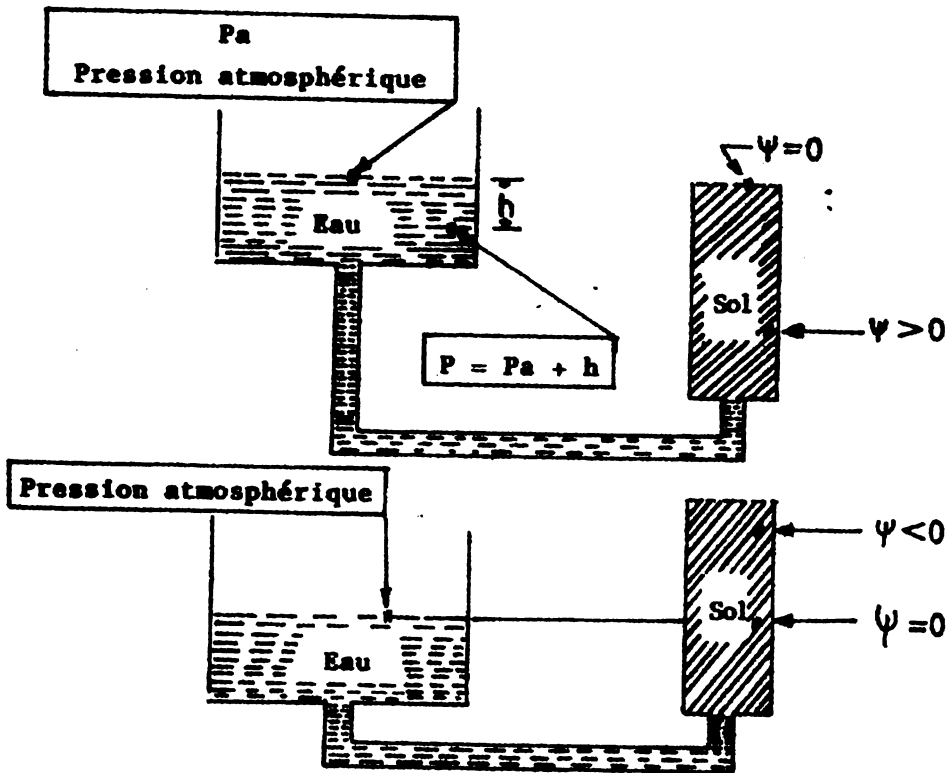


Fig. III-1: Schéma du concept de Potentiel de Référence.

Courbe d'humidité du sol au lieu géométrique qui lie le potentiel hydrique et la teneur en eau. Les tensiomètres, les blocs de gypse, les psychromètres sont des appareils utilisés pour la détermination du potentiel hydrique du sol.

Mesure de la teneur en eau dans le sol

La teneur en eau dans le sol aide à déterminer la quantité et le moment d'appliquer l'eau à la parcelle. Il existe des procédures directes permettant de déterminer la teneur en eau du sol, celles-ci consistent à prendre un échantillon dans le sol, on trouve le poids humide (P_1), puis on fait sécher l'échantillon au four pendant 24 heures à 105°C après quoi on trouve le poids sec (P_2). La teneur en eau sera:

$$w = \frac{P_1 - P_2}{P_2}$$

$$\theta = w \cdot \frac{Dv}{\rho_e}$$

La procédure dont les formules viennent d'être présentées ci-dessus demande beaucoup de temps mais son coût est bon marché et son résultat est précis.

Les procédures indirectes, tels que les blocs de bouyoucos, la rétention des neutrons et la diminution des rayons gamma sont onéreux et requièrent au préalable la construction d'une courbe d'étalonnage.

Valeurs de référence de la teneur en eau du sol utilisées dans l'application de l'eau à la parcelle

Le sol, par le biais de sa capillarité (dimension des pores et la tension superficielle de l'eau) et de l'adsorption (surface spécifique de l'argile) peut absorber l'eau. Lorsqu'on applique de l'eau sur la surface du sol,

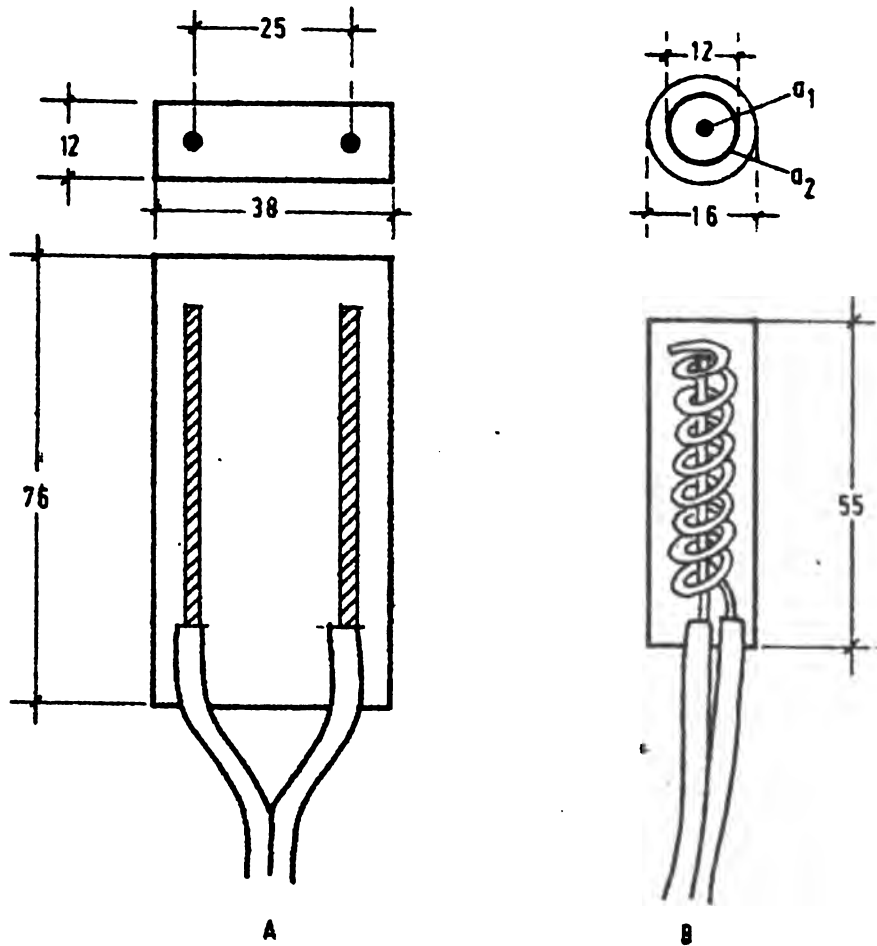
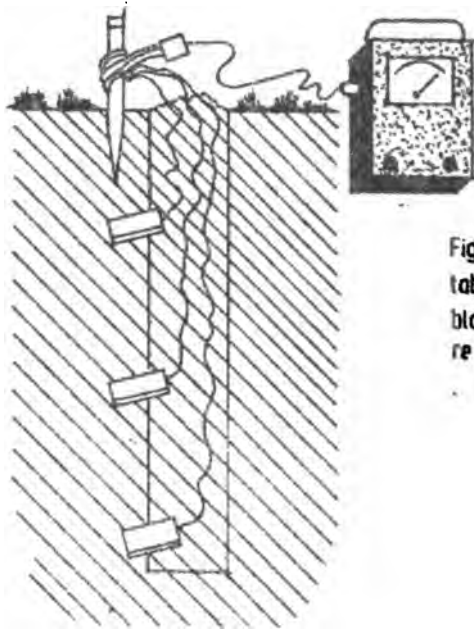
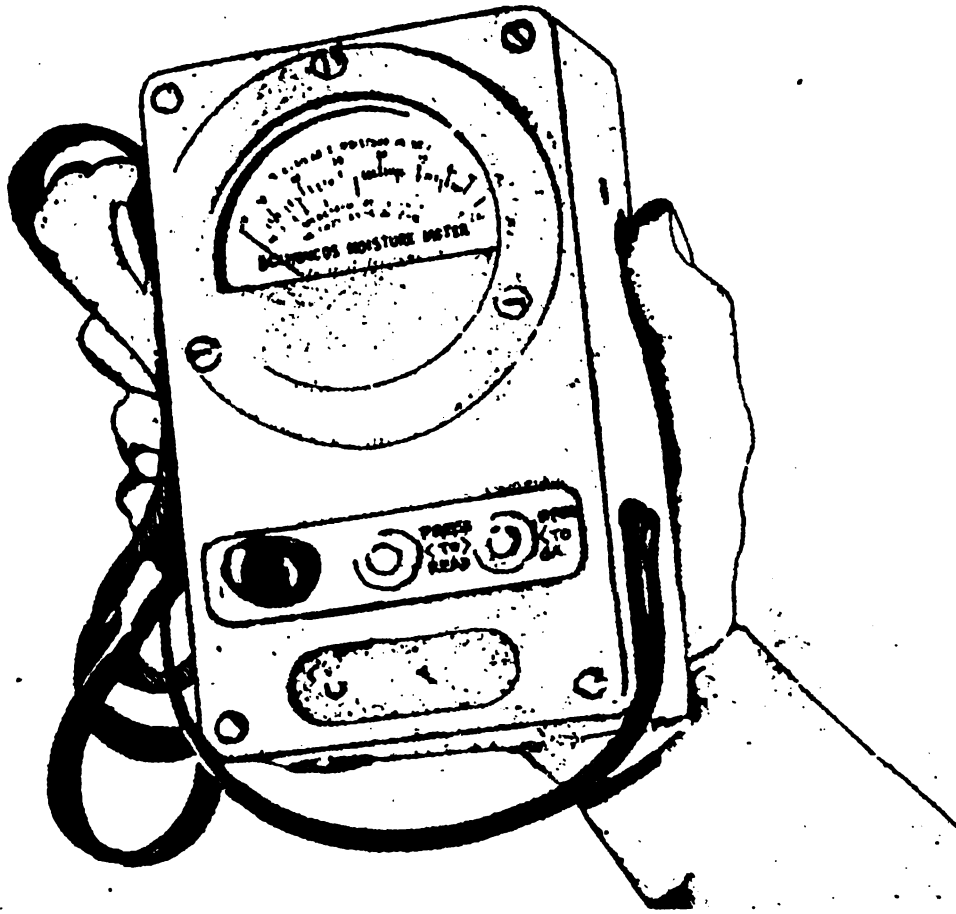


Fig III-2: Blocs de gypse couramment utilisés pour déterminer la teneur en eau du sol
(Miller 1985 c)



FigIII-3Appareil de jaugeage portable pour être utilisé avec les blocs de gypse (Bayoucos moisture meter). (Millar 1985 c)



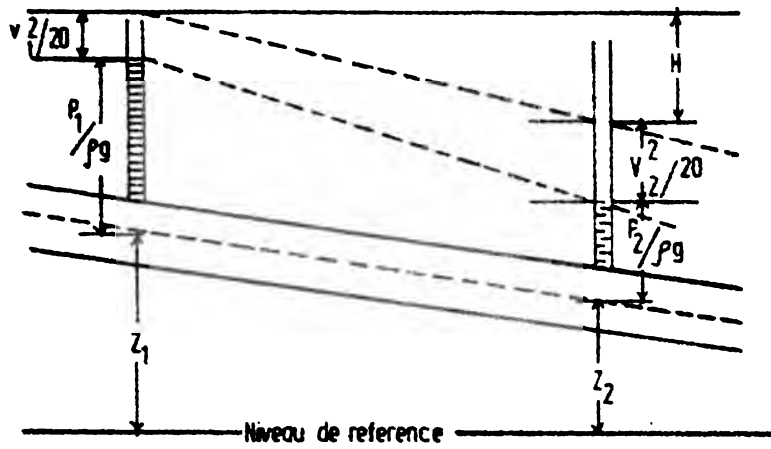


Fig.III-4 Schema qui montre les termes du théorème de Bernoulli appliqué à l'écoulement de l'eau dans les tuyaux

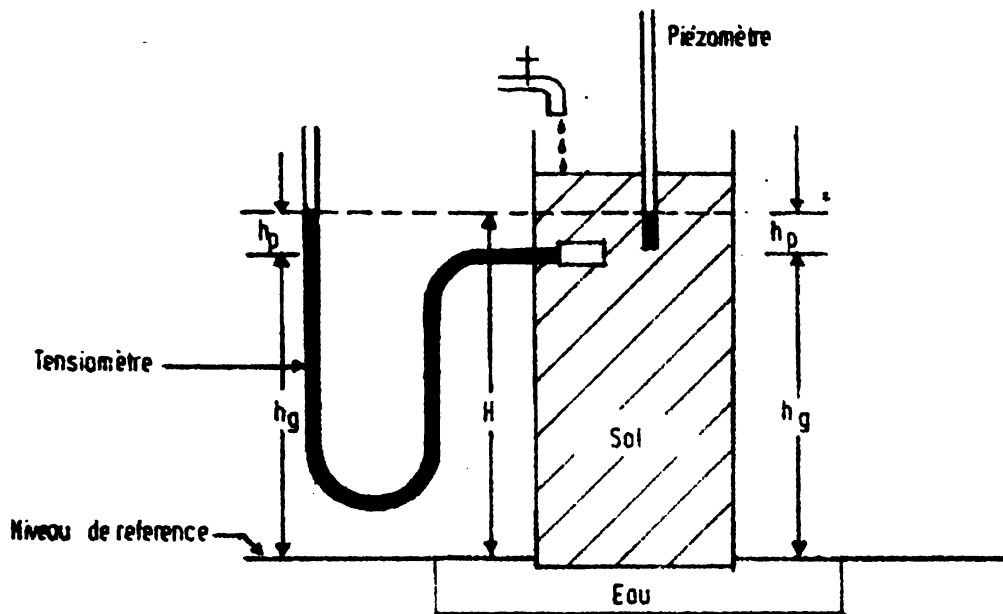


Fig.III-5 Schema qui montre les composantes de la charge hydraulique dans le cas du piézomètre et du tensiomètre



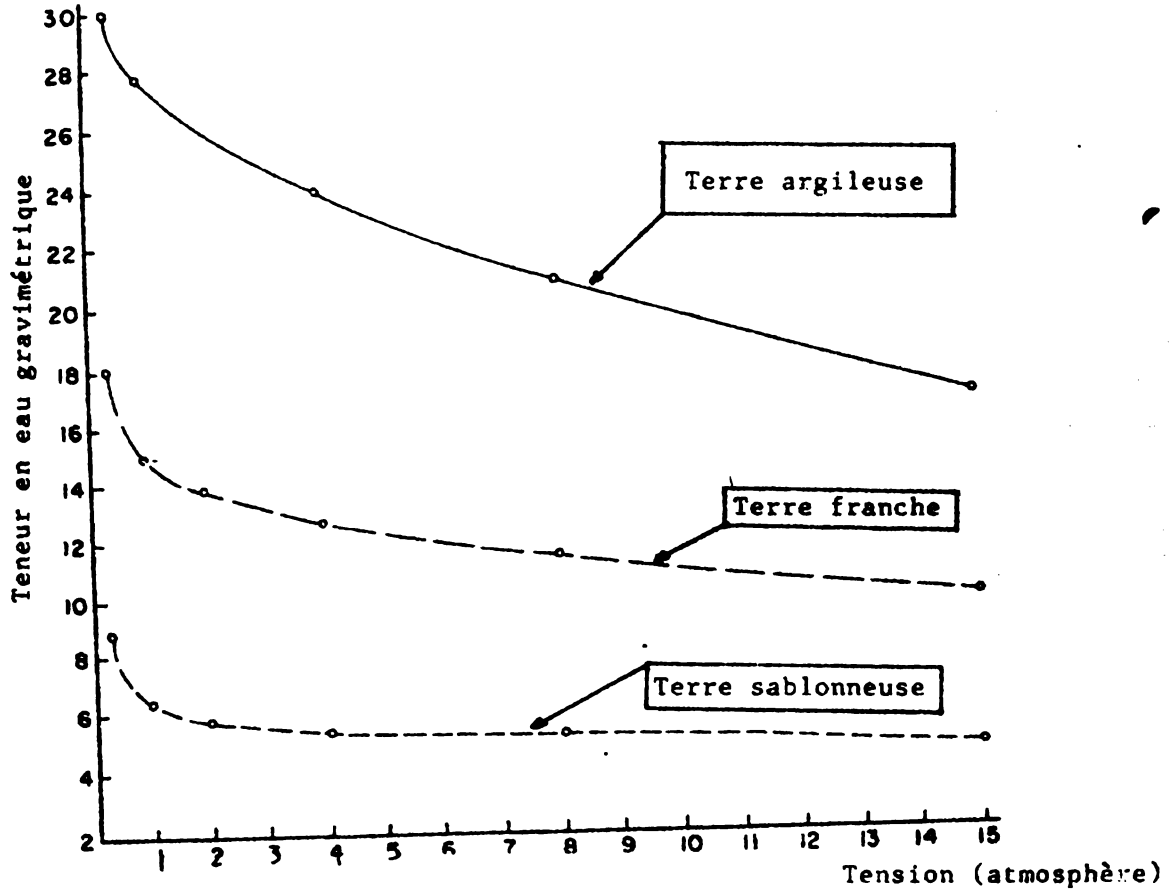


Fig. III-6: Courbes caractéristiques d'humidité.

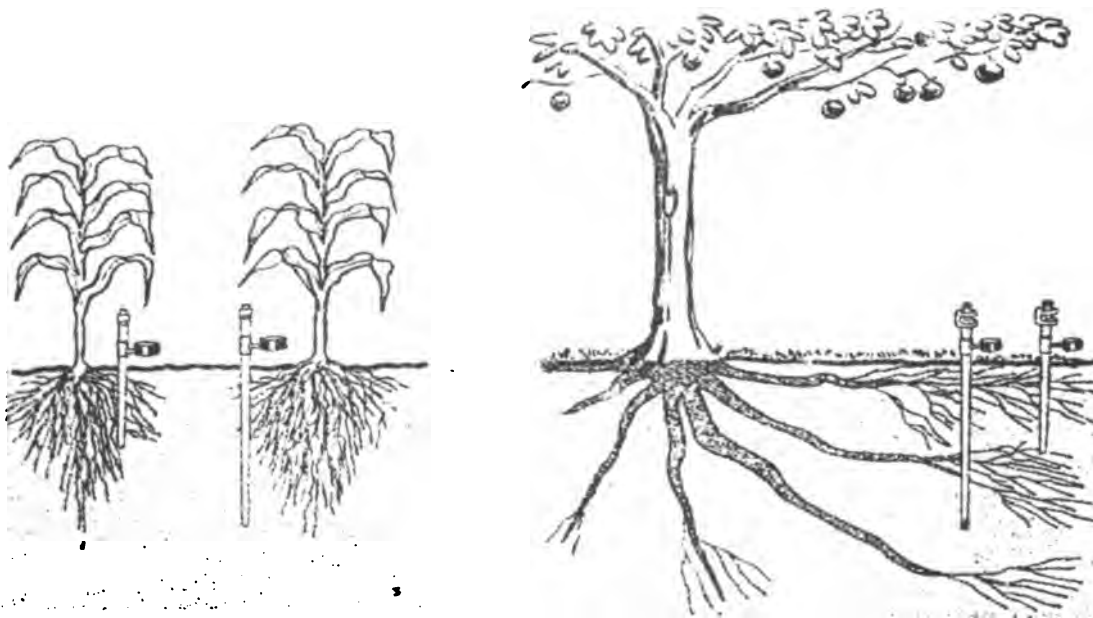


Fig. III-7: Schéma de l'installation de tensiomètres pour mesurer la teneur en eau du sol.

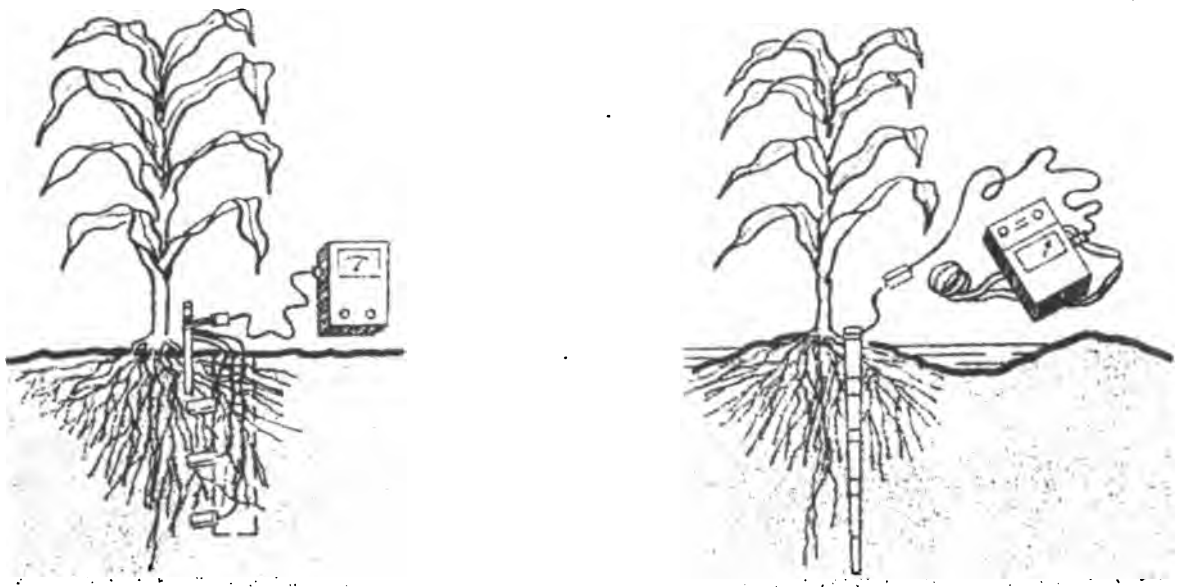


Fig. III-8: Schéma de l'installation d'un appareil de résistance électrique pour mesurer la teneur en eau.

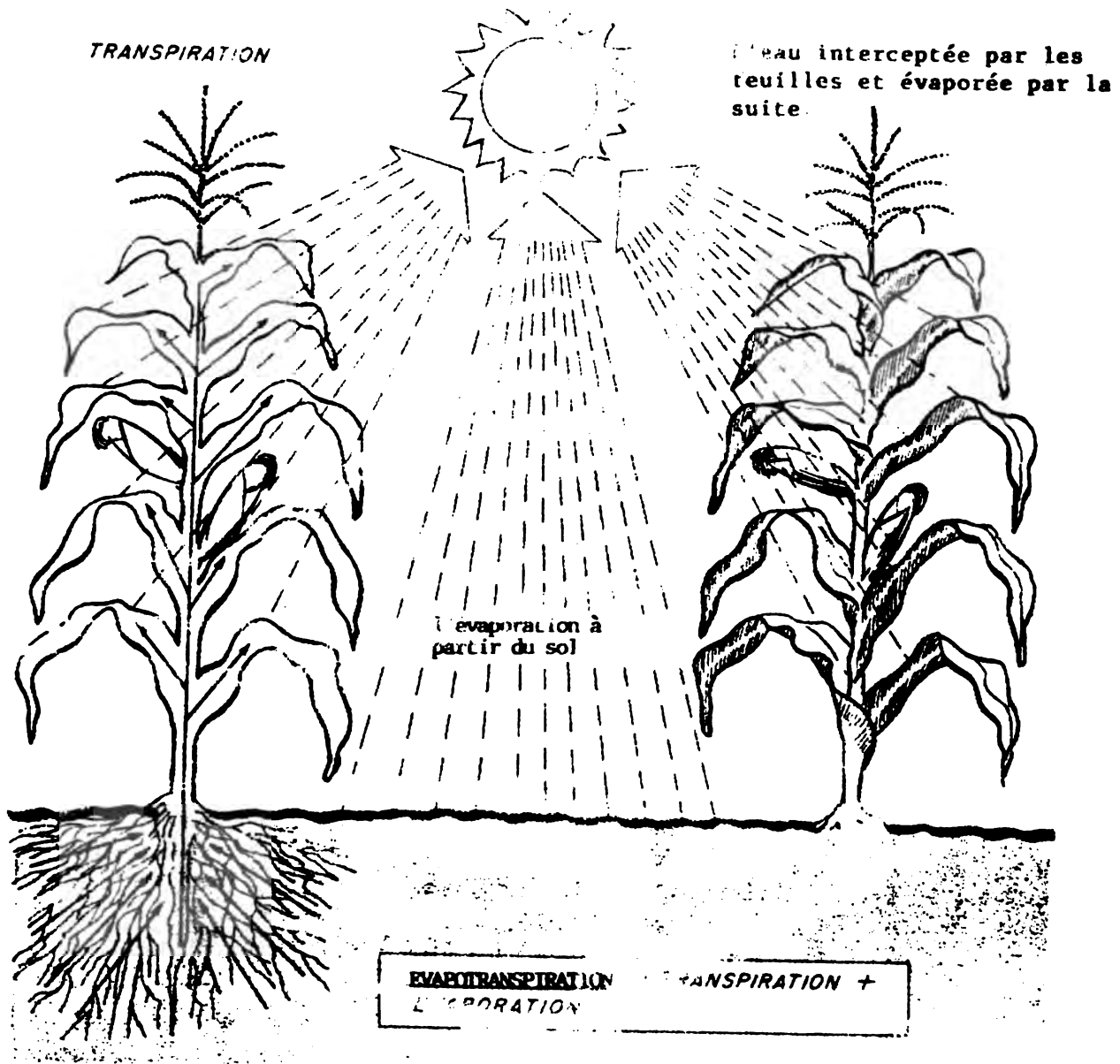


Fig. III-9: Schéma de l'évapotranspiration.



la couche superficielle se sature, l'espace poreux se gorge d'eau et le potentiel hydrique du sol devient alors positif. Contrairement à cette dernière, les couches inférieures ont une teneur en eau inférieure, leur espace poreux est occupé par l'air et par l'eau, et le potentiel hydrique est négatif. Il existe donc une différence de potentiel hydrique entre la couche supérieure et celles se trouvant au-dessous. Les premières permettent l'écoulement descendant de l'eau. Le débit va s'affaiblir considérablement après deux ou trois jours. La teneur en eau correspondant du sol (saturé au début) à la suite d'un drainage libre est dénommée Capacité au champ. La valeur de celle-ci varie selon la texture du sol.

Par ailleurs, lorsqu'une plante n'est plus en mesure de puiser l'eau du sol, à cause de la forte rétention de celui-ci, on dit que la teneur en eau y relative est au point de flétrissement. L'expérience montre que cette valeur se trouve sous un potentiel hydrique de -15.000 cm de charge hydraulique ($pF = 4,17$).

3.5 L'écoulement de l'eau dans le sol

L'écoulement de l'eau dans le sol tient compte de:

- a) l'infiltration ou de la pénétration de l'eau dans le profil du sol;
- b) la distribution de l'eau dans les différentes couches du profil;
- c) la percolation (drainage) au passage de l'eau au-delà de la zone des racines;
- d) l'évaporation à la sortie de l'eau à l'extérieur du profil du sol et le passage de l'eau se trouvant dans le sol vers les racines des plantes.

Ces aspects de l'écoulement qui agissent simultanément déterminent la teneur en eau dans un point du sol.

La vitesse de l'écoulement de l'eau dans le sol dépend, d'une part de l'énergie qui agit sur celle-ci et d'autre part de la résistance qu'offre le milieu poreux.

L'expérience montre que le débit qui traverse une colonne de sol est proportionnel à la section transversale et à la charge hydraulique et inversement proportionnel à la distance de déplacement du fluide dans le milieu poreux.

$$Q = \alpha \frac{A \cdot \Delta \phi}{L} = K \frac{A \Delta \phi}{L}$$

$$q = \frac{Q}{A} = K \frac{\Delta \phi}{L} \quad (24)$$

Où :

- Q = Débit total
- A = Aire de la section transversale
- L = Longueur de déplacement du fluide dans le milieu poreux
- $\Delta \phi$ = Charge hydraulique disponible
- K = Conductivité hydraulique
- q = Débit spécifique ou vitesse.

L'équation (24) est connue sous le nom de "Loi de Darcy"

3.6 L'évapotranspiration - Disponibilité de l'eau pour les cultures - Fréquence d'application de l'eau à la parcelle.

3.6.1 L'évapotranspiration

C'est la quantité d'eau transpirée par les plantes ajoutée à l'évaporation à partir du sol et de la surface humide de la végétation. Elle s'exprime en mm/jour.

Compte tenu que pour déterminer l'évapotranspiration réelle d'une culture on utilise des procédures indirectes, on a proposé les critères suivants:

3.6.1.1 Evapotranspiration d'une culture de référence (ET_o)

C'est le taux d'évapotranspiration à partir d'une surface en gazon, dont la hauteur uniforme se situe entre 8 et 15 cm, recouvrant entièrement le sol et de croissance accélérée et évidemment sans problème d'eau, s'exprime en mm/jour.

3.6.1.2 Evapotranspiration de la culture (ET)

C'est le taux d'évapotranspiration d'une culture libre de maladie, poussant dans un vaste champ (1 ha ou plus), bénéficiant des conditions pédologiques optimales et ayant une teneur en eau suffisante, ce qui permet d'atteindre la fertilité désirée en réalisant totalement son potentiel productif pour le milieu.

$$ET (\text{Culture}) = K_c ET_o; \text{ mm/jour}$$

3.6.1.3 Besoin en eau des cultures (BE)

C'est la hauteur d'eau nécessaire à une culture ou à un plan de culture diversifié pour combler la perte d'eau provoquée par l'évapotranspiration pendant une période donnée mm/jour.

3.6.1.4 Besoin net en eau d'irrigation (BNEI)

C'est la hauteur d'eau (non compris les apports des précipitations, de l'eau du sous-sol, de l'eau emmagasinée dans le sol, des débits entrants superficiels ou souterrains) nécessaire pour assurer une production agricole normale.

3.6.1.5 Besoins bruts en eau d'irrigation (BBEI)

C'est la hauteur d'eau (non compris les apports fournis par les précipitations, l'eau du sous-sol, l'eau emmagasinée dans le sol, les débits entrants superficiels ou souterrains) nécessaire pour assurer une production agricole normale et combler les fuites ainsi que les pertes d'exploitation, mm/période.

La transpiration dépend du gradient de pression existant entre les feuilles de la plante et l'atmosphère. L'eau absorbée par les racines quitte les plantes à travers les feuilles sur la demande évaporative de l'atmosphère.

Pour pouvoir croître convenablement, les plantes doivent garder l'eau de façon à ce que la demande évaporative soit équilibrée par l'offre disponible. Toutefois, il faudra tenir compte que la demande évaporative est continue, alors que la pluie et l'irrigation ne le sont pas.

La plante, pour continuer à vivre, doit recevoir l'eau retenue dans le milieu poreux du sol.

3.7. L'efficience de l'irrigation

Les caractéristiques du milieu poreux sont sa capacité d'emmagasinage et de conduction de l'eau, ce qui permet de déterminer la fréquence d'irrigation, c'est-à-dire le moment de déclencher l'irrigation.

De plus, la méthode d'application de l'eau à la parcelle permet de déterminer comment l'eau doit être appliquée, quel débit utiliser et pendant combien de temps.

L'efficience d'application de l'irrigation dépend des caractéristiques hydriques du sol ainsi que de la manipulation de l'eau. Parmi celles-ci on doit considérer:

- La planification du système d'application de l'eau (Dimension du champ, sa direction, la pente du terrain, les structures d'alimentation de l'eau, la structure de contrôle de débit et la réception de l'eau de colature;
-
- Le débit disponible et la direction de l'écoulement superficiel;
- La fréquence de l'application de l'eau;
- La durée de l'application du débit.

Parmi les caractéristiques hydriques du sol on peut citer: la vitesse d'infiltration; la capacité de rétention de l'eau, l'épaisseur du profil du sol, la densité volumétrique des différentes couches du profil du sol.

L'efficacité de l'eau à la parcelle admet qu'il peut avoir des pertes d'eau par percolation au-delà de la profondeur des racines et également par ruissellement superficiel. Pour chaque procédure de l'application de l'eau à la parcelle, il est nécessaire de fixer une valeur de l'efficacité de l'application de l'eau à la parcelle afin de planifier l'utilisation rationnelle des ressources hydriques disponibles.

3.7.1 Efficiéce d'irrigation et ses composantes

3.7.1.1 La demande d'irrigation

$$DI = \frac{D.U.C}{Eap} \quad (25)$$

Où :

DI = Demande d'irrigation

DUC = Demande d'irrigation consomptive

Eap = Efficacité d'application

3.7.1.2 L'efficacité d'application de l'eau à la parcelle

C'est la relation entre le volume d'eau emmagasinée par unité de surface et le volume d'eau à l'entrée.

$$Eap = \frac{V_e - V_s}{V_e} \times 100 \quad (26)$$

Où :

V_e = Volume d'entrée = $Q_e \times t$.

- Q_e = Débit d'entrée
 t = Durée de l'application du débit Q_e
 V_s = Volume de sortie = $Q_s \times t$
 Q_s = Débit de sortie
 t = Durée du débit de sortie

Le volume de sortie considère les pertes par ruissellement superficiel et par percolation profonde.

Une efficacité d'application de 100 (c'est-à-dire $E_{ap} = 100$) n'est pas un indice d'une bonne irrigation du point de vue agronomique, puisque si l'on applique 100 m^3 d'eau dans un terrain mesurant une hectare, ce volume va s'emmagasiner dans le sol sans être utile aux plantes.

Par ailleurs, il est nécessaire que l'eau appliquée soit accessible aux plantes, c'est-à-dire qu'elle soit stockée au niveau des racines.

$$E_{em} = \frac{\text{Volume emmagasiné}}{\text{Volume nécessaire pour faire monter la teneur en eau au niveau souhaité.}}$$

Dans ce cas aussi, une valeur de $E_{em} = 100$ n'indique pas une bonne irrigation, puisque l'on peut faire monter la teneur en eau au niveau souhaité soit par gaspillage, soit par ruissellement superficiel ou par percolation profonde. On a introduit le critère d'efficacité d'uniformité E_u .

$$E_u = 1 - \frac{\sum |x_i|}{N \cdot \bar{x}} \quad (27)$$

Où :

\bar{x} = Profondeur moyenne de pénétration de l'eau

x_i = Déviation de la profondeur de pénétration de l'eau par rapport à \bar{x}

$$x_i = (x_i - \bar{x})$$

N = Nombre de mesures de profondeur de pénétration de l'eau;

x_i = Une observation de l'échantillon N.

Pour évaluer le degré d'utilisation de l'eau, on a défini l'effi-
cience d'utilisation (E_{UT}) ou efficacité agronomique par l'expression:

$$E_{UT} = E_{ap} \times E_u \times E_{cm} \quad (28)$$

3.7.1.3 L'efficacité d'irrigation et le rendement des cultures

Le fait que dans les pays des zones arides et semi-arides, l'eau est devenu un facteur limitant de la mise en agriculture de la superficie agricole potentielle et économiquement regable a motivé le pays à améliorer leur efficacité d'irrigation et à déterminer leurs besoins réels en eau dans l'agriculture irriguée et à analyser la possibilité d'économiser cette ressource, sans affecter la productivité des cultures.

On a constaté qu'à l'heure actuelle, le volume utilisé pour l'irrigation peut être diminué si l'efficacité est augmenté.



1. couvrir les dépenses d'opération des structures hydrauliques (barrages, canaux, etc).
2. rembourser totalement ou partiellement l'investissement réalisé afin que l'eau de la source (rivière, réservoir, source, sous-sol, lac) soit disponible pour l'irrigation.
3. couvrir les dépenses d'entretien des réseaux: d'irrigation, drainage et routière
4. couvrir les dépenses de l'administration du système

Les modalités employées pour déterminer la valeur de la redevance d'irrigation sont:

- Contribution unique par usager
- Contribution par unité de surface
- Contribution par superficie irriguée
- Contribution différentielle en fonction de la superficie irriguée, du type de culture et de la localisation de la parcelle
- Contribution par volume d'eau utilisée

La contribution par volume d'eau utilisée c'est une pratique qui motive à l'usager à améliorer l'efficacité de l'irrigation, cependant l'opération est complexe parce qu'on doit mesurer le volume d'eau ce qui demande l'installation d'appareil de gaugeage ainsi que l'organisation des usagers.

En relation à l'économie de l'eau d'irrigation, on a introduit les termes Fonction de Production de l'eau et la productivité marginale, c'est-à-dire la productivité additionnelle que l'on peut obtenir en augmentant l'irrigation divisée par la quantité additionnelle d'eau appliquée. Du point de vue de l'optimisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation, l'application plus fréquente de l'eau en petites quantités de telle manière de maintenir de façon constante une faible succion dans le profil du sol permet de remettre au sol des quantités d'eau inférieures à l'évapotranspiration et pourtant réduire la consommation d'eau.

L'efficience d'irrigation et la méthode d'application de l'eau à la parcelle

L'opération adéquate de la méthode d'application de l'eau permet d'obtenir l'efficience agronomique de l'irrigation. Le Tableau III.1 montre les valeurs possibles de l'efficience selon la méthode d'application.

Tableau III.1 Efficiences possibles d'obtenir selon la méthode d'application de l'eau

Méthode d'application	Eap.	Eem.	Eu.	Eut.
Inondation	0.40	0.85	0.60	0.20
Rigoles et Microsillons	0.55	0.85	0.75	0.35
Galants	0.60	0.90	0.70	0.38
Aspersion	0.90	1.00	0.85	0.76
Goutte à Goutte	0.95	1.00	0.90	0.86

7.1.4 La redevance de l'irrigation et l'efficience d'irrigation

La redevance de l'irrigation (pour donner un prix à l'eau afin que celle-ci soit considérée comme un intrant de valeur économique dans l'agriculture), peut être calculée en utilisant différents critères visant à:

CHAPITRE IV

LES STRUCTURES POUR LE CONTROLE ET LA DISTRIBUTION DE L'EAU DANS LA FERME

Généralités

Le jaugeage et le contrôle de de l'eau sont indispensable pour une distribution équitative et pour une distribution économique. Ils permettent de veiller à l'exécution du programme d'approvisionnement ainsi qu'à déterminer les quantités d'eau nécessaire pour son utilisation dans la ferme. Le jaugeage aide aussi à connaître les pertes d'eau dans la conduction et à déterminer la cause de cette perte pour les éliminés.

4.1 Les structures de prise et de conduction de l'eau

Les ouvrages de captage ou de contrôle de débit sont installés à l'extrémité amont du canal. Ils servent à recevoir et à contrôler le débit provenant d'une rivière, d'un réservoir ou d'un canal principal. Leur dimension et leur forme dépendent de leur efficacité ainsi que de leur fonctionnement. L'entrée de l'eau dans la ferme se fait à l'aide d'une vanne ou d'un partiteur. On disposera à l'intérieur de la ferme des vannes, des batardeaux, des chutes, des boîtes de distribution, etc; lesquels permettront une bonne répartition de l'eau pour l'alimentation des canaux tertiaires. De plus, ils assurent le contrôle du niveau et du débit de l'eau.

Pour le captage du débit d'un canal latéral on emploie un batardeau ou retenu qui fera monter le niveau de l'eau. Pour un contrôle du débit, dans le cas d'une application à l'aide de rigoles, on utilise les boîtes de captage et les siphons, lesquels vont faciliter l'opération. Les siphons peuvent être en plastique ou en aluminium et ils sont faciles à installer. Le débit d'application par siphon est fonction de la charge hydraulique, du diamètre du siphon et du nombre de ceux-ci. Pour le faire fonctionner on procède de la manière suivante :

- a) immerger le siphon jusqu'à ce qu'il soit rempli d'eau;
- b) boucher une de ses extrémités avec un bouchon ou avec la main;

- c) régler le débit en soulevant et en abaissant la sortie (on fait varier la charge hydraulique);
- d) l'extrémité immergée du siphon sera placée à une profondeur qui lui permettra d'éviter les éléments flottants pouvant gêner son fonctionnement.

4.2 La conduction de l'eau dans la ferme

La conduction de l'eau se fera soit dans des tuyaux, soit dans des canaux mais ces derniers sont les plus utilisés. Ils sont excavés en terre. La section transversale du canal peut être trapézoïdale ou rectangulaire; la vitesse doit donner lieu à un écoulement souscritique sans éroder la parois ainsi que le lit du canal. Pour dimensionner les canaux on emploie la formule empirique de Manning qui est la suivante:

$$Q = \frac{1}{n} AR^2 I \quad (29)$$

Où :

Q = Débit en m³/s

A = Section mouillée du canal (en m²)

R = Rayon hydraulique (en m)

$$R = \frac{A}{P}$$

P = Périmètre mouillé de la section du canal (en m)

I = Pente longitudinale du canal

n = Coefficient de rugosité de Manning (Tableau IV-1)

Pour un canal trapézoïdal

$$A = by + zy^2 \quad ; \quad P = b + 2y\sqrt{z^2 + 1}$$

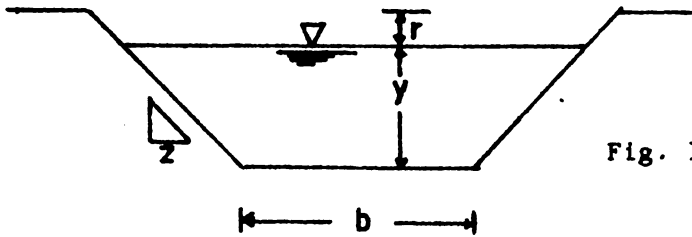


Fig. IV-1: Schéma de la section transversale d'un canal trapézoïdal.

Où :

Z = Fruit des berges

b = La longueur du lit du canal

y = Le tirant d'eau.

r = La revanche du canal et la distance du bord du canal et la surface libre de l'eau (en m).

Pour un canal rectangulaire

$$A = by; \quad P = 2(b+y)$$

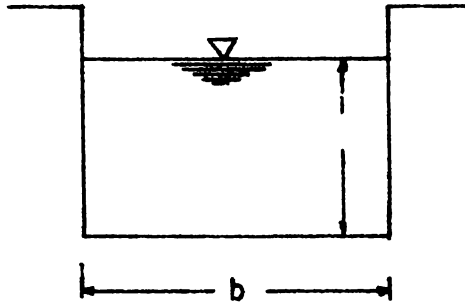


Fig. IV-2: Schéma de la section transversale d'un canal rectangulaire.

Pour les petits canaux on peut prendre $Z = 1$ et $n = 0,025$. Quand à la pente longitudinale du canal, elle doit donner un écoulement souscritique et la vitesse ne doit pas être inférieure à 0,5 m/s ni supérieure à 0,8 m/s afin d'éviter les problèmes de sédimentation et d'érosion.

Pour déterminer la relation entre b et y on utilise les formules empiriques suivantes: Le US Bureau of Reclamation emploie l'expression:

$$y = 0,5 A^{0,5} \quad (30)$$

Cette expression donne pour les valeurs de Z les relations suivantes:

Z	0	0,5	1	1,5	2
b/y	4	3,5	3	2,5	2

En France on emploie la relation :

$$b/y = 4 (1 + z^2)^{0,5} - 3 z \quad (31)$$

L'expression d'aire minimum

$$y/A^{0,5} = 1 / ((2(1+z^2)^{0,5} - z)^{0,5}) \quad (32)$$

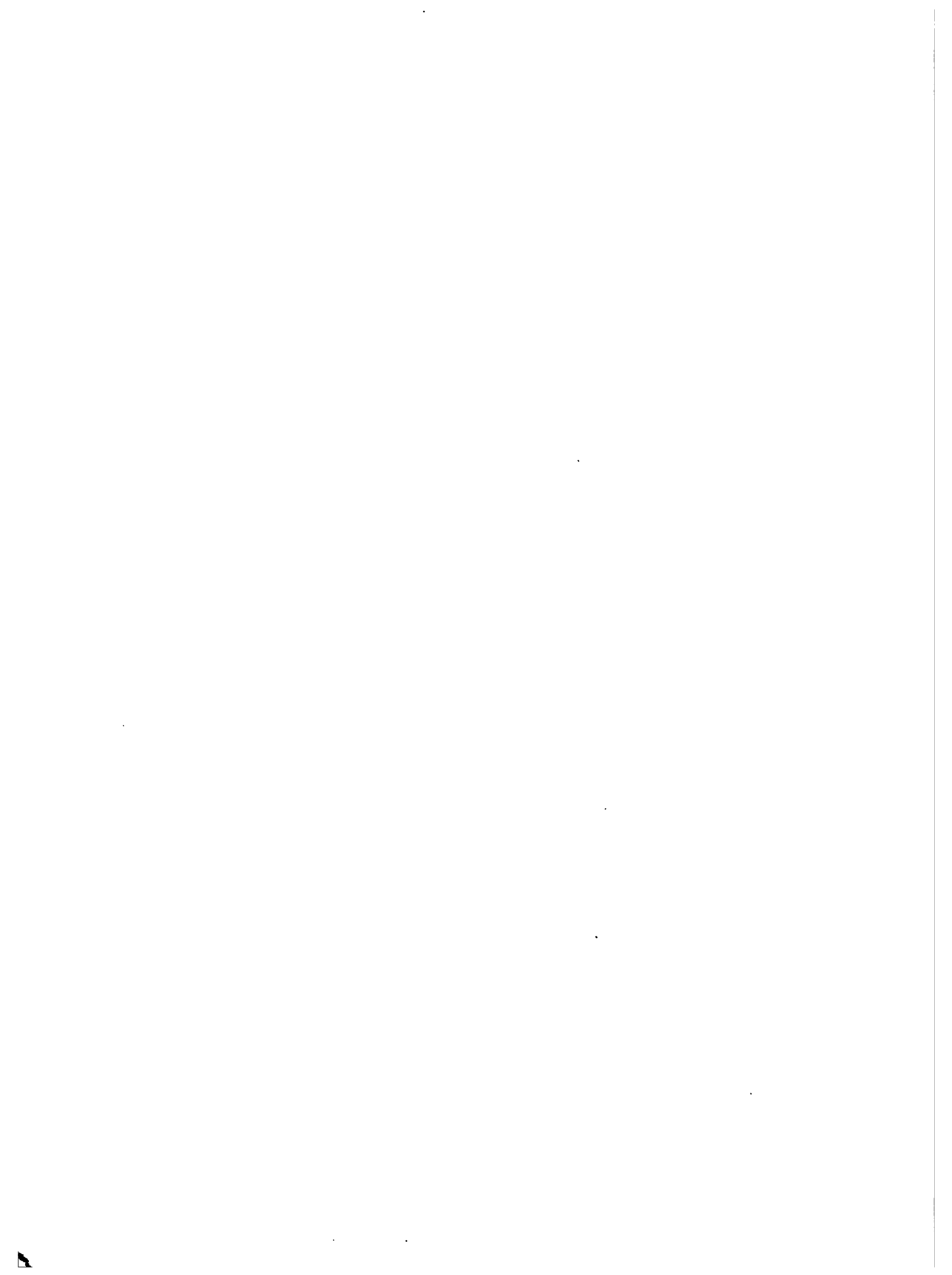
Les valeurs obtenues par l'application de cette formule sont:

z	0	1/2	1/1	3/2	2/1
b/\sqrt{A}	$\sqrt{2}$	0,9381	0,6127	0,4173	0,3003
y/\sqrt{A}	$1/\sqrt{2}$	0,7589	0,7395	0,6892	0,6360
b/y	2	1,24	0,83	0,61	0,47
y/b	1/2	0,81	1,20	1,65	2,22

Les pertes d'eau par conduction peuvent être à l'origine des problèmes de drainage, c'est la raison pour laquelle il faut éviter de les avoir au moyen du revêtement des parois et du lit des canaux. Dans l'agriculture irriguée il faut veiller à ce que la production agricole ne soit affectée par ce genre de problèmes. Dans les canaux en terre, il faut surtout éviter la présence des mauvaises herbes qui peuvent affecter sérieusement l'écoulement car elles consomment de l'eau, ce qui réduit l'écoulement et augmente les pertes par filtration et cause des problèmes d'assainissement agricole.

4.3 Les structures pour le jaugeage du débit

Dans les zones arides et semi-arides l'eau est un intrant qui limite



la mise en culture des terres disponibles. Par ailleurs le coût élevé de l'infrastructure des réseaux d'irrigation exige que l'eau soit utilisée économiquement et pour cela il faut la jauger. Le jaugeage du débit permet de contrôler l'exécution du programme d'irrigation, connaître la quantité d'eau fournie, de détecter les problèmes d'opération, de découvrir les origines des pertes et de les évaluer. En un mot il permet d'établir de manière équitable la redevance d'irrigation.

L'appareil de jaugeage doit être installé à l'entrée de la ferme de l'utilisateur. Cependant il faut tenir compte que dans plusieurs systèmes d'irrigation cette opération devient difficile vu que la charge disponible ne permet un jaugeage précis. Les besoins variables des usagers ainsi que la présence de mauvaises herbes et de sédiments dans le canal entraînent la variation du niveau de l'eau; dans ce dernier cas, les frais d'organisation sont en général très élevés. En outre, cet appareil doit être d'une simplicité extrême tout en étant fonctionnel.

4.4 Les méthodes et les structures disponibles pour le jaugeage

a) Le flotteur

Un dispositif de poids négligeable est employé pour jauger la vitesse superficielle de l'écoulement. Pour cela on choisit une longueur de 50 à 100 m dans le bief du canal qui doit être uniforme et droit. A l'aide d'un chronomètre on détermine le temps mis par le flotteur pour parcourir la distance donnée. L'application de l'expression

$$V = \frac{e}{T} \quad (32)$$

Où

V = La vitesse

e = L'espace

T = Le temps

nous donne la vitesse. On répète l'opération dans plusieurs points choisis

dans la largeur du canal. La moyenne des valeurs de la vitesse est prise comme la vitesse superficielle de l'écoulement. Elle est ainsi exprimée:

$$v_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{T_i} \right) \quad (33)$$

Où :

v_s = La vitesse superficielle

v_i = La vitesse ponctuelle

n = Nombre des mesures

A cause de la variation de la vitesse en profondeur, l'expérience donne pour vitesse moyenne (v_m).

$$v_m = 0,7 v_s. \quad (34)$$

La section mouillée du canal est déterminée, en mesurant, à l'aide d'une règle graduée, le tirant d'eau à différents points à travers la largeur en geule du canal.

La procédure est simple mais la précision dépend du nombre d'essais réalisés ainsi que de la section du canal, ce qui peut demander un temps important.

•

b) Le moulinet

C'est un appareil qui permet de jauger la vitesse de l'écoulement. Le dispositif doit être étalonné au préalable pour obtenir la relation:

$$V = f(n) \quad (35)$$

Où:

V = Vitesse de l'écoulement dans le point de jaugeage

n = Nombre de tours par seconde enregistré par l'appareil dans le point de l'écoulement.

Pour déterminer le débit on procède de la façon suivante:

- On place un ruban métrique à travers la largeur du canal;
- on divise la largeur en segments de 0,5 m;
- on mesure la profondeur de l'eau dans chaque division.

Selon la précision désirée, on procède à un, deux ou trois jaugeages de la vitesse pour chaque vertical pour l'obtention de la vitesse moyenne pour chacune d'elles.

La vitesse moyenne multipliée par son aire d'influence nous donne un débit partiel. La somme des débits partiels sera égale au débit total.

La figure IV-19 montre le schéma de la section mouillée d'un cours d'eau dont la largeur a été divisée en 5 parties (RG - 1; 1 - 2; 3 - 4; 4 - RD), il y a 4 verticales pour le jaugeage de la vitesse, on suppose que dans chaque profondeur on détermine trois vitesses, la vitesse moyenne de la verticale sera :

$$\bar{v}_j = \sum_{i=1}^{n=3} v_{ij} ; \quad j = 1, 2, 3, 4$$

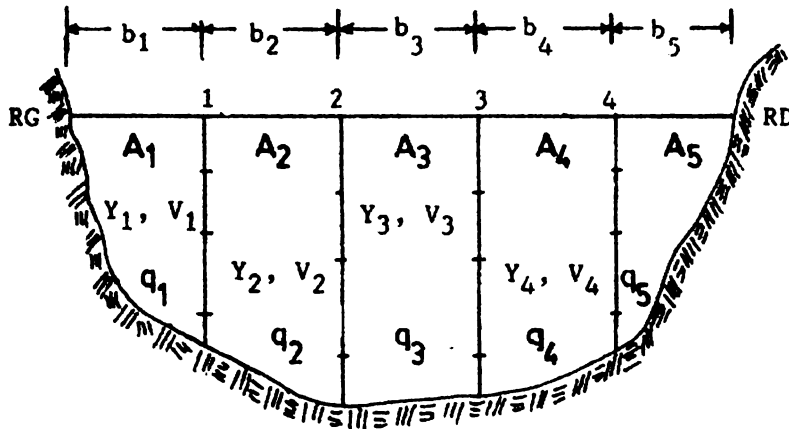


Fig. IV-3: Schéma de la section transversale d'un canal naturel.

Il y a 5 débits partiels que nous appellerons: q_1 , q_2 , q_3 , q_4 et q_5

$$q = V.A$$

$$q_1 = 0.5 (0 + V_1) A_1 = 0.5V_1 (0.5 b_1 y_1) = 0.25 V_1 b_1 y_1$$

$$q_2 = 0.5 (V_1 + V_2) A_2 = 0.50 (V_1 + V_2) \cdot 0.5 (y_1 + y_2) b_2 = 0.25 b_2 (V_1 + V_2) (y_1 + y_2)$$

$$q_3 = 0.5(V_2 + V_3)A_3 = 0.5(V_2 + V_3)0.5(y_2 + y_3)b_3 = 0.25 b_3(V_2 + V_3)(y_2 + y_3)$$

$$q_4 = 0.5(V_3 + V_4)A_4 = 0.5(V_3 + V_4)0.5(y_3 + y_4)b_4 = 0.25 b_4 (V_3 + V_4)(y_3 + y_4)$$

$$q_5 = 0.5(V_4 + 0)A_5 = 0.5 V_4 (b_5 y_4) 0.5 = 0.25 V_4 b_5 y_4$$

A_1 est l'aire comprise entre la rive gauche du canal et la première verticale. En supposant que cette surface s'apparente à un triangle, on a alors:

$$A_1 = 0.5 (b_1 \cdot y_1)$$

A_2 est prise comme étant l'aire d'un trapèze dont les bases parallèles sont y_1 et y_2 et la hauteur est b_2 ; On a:

$$A_2 = 0.5 (y_1 + y_2) b_2$$

De manière similaire on a:

$$A_3 = 0.5 (y_2 + y_3) b_3$$

$$A_4 = 0.5 (y_3 + y_4) b_4$$

Pour A_5 on fait la même analogie du triangle. On a alors:

$$A_5 = 0.5 (b_5 \cdot b_4)$$

4.4.3 Appareils pouvant jauger directement le débit

a) Appareils fondés sur le principe de l'écoulement critique

Flume dégorgé

Parshall flume

a.1 Le flume dégorgé

Cet appareil à fond plat dispose de 2 tronçons: 1 convergent et 1 divergent et dépourvu de gorge. Le débit qui le traverse produit l'écoulement critique pour lequel on a la relation suivante:

$$q = (gY)^{3/2} \quad (36)$$

Où:

q = Débit unitaire, en $m^3/s-m^2$

g = Accélération de la pesanteur ($= 9.81 m/s^2$)

y = Tirant d'eau pour l'écoulement critique, en m.

La mesure du tirant d'eau nous donne le débit spécifique (débit pour unité de largeur). Pour chaque largeur du col de l'appareil et d'après le tirant d'eau il y a un débit qui s'écoule. Pour déterminer la relation (37), il est nécessaire d'étalonner le Flume dégorgé.

$$Q = f(Y) \quad (37)$$

Où:

Q = Débit

Y = Tirant d'eau.

a.2 Le Jaugeur Parshall

Son principe de fonctionnement est fondé sur la présence de l'écoulement critique. C'est l'un des plus courant des appareils de jaugeage. Cependant son installation est compliquée, en ce sens que pour produire l'écoulement critique il y a une variation de la pente du radier du jaugeur, ainsi qu'une modification de la section. Il est composé de trois biefs: un convergent, un divergent et un court rectangulaire. Pour déterminer le débit, il est nécessaire d'établir la courbe d'étalonnage afin d'obtenir la relation suivante:

$$Q = f(Y)$$

Dans le Jaugeur Parshall ainsi que dans le jaugeur dégorgé, on appelle "degré d'immersion" la relation:

$$S = \frac{Y_b}{Y_a} \quad (38)$$

Où:

S = Degré d'immersion

Y_b = Tirant d'eau en aval de la section critique

Y_a = Tirant d'eau en amont de la section critique.

Pour chaque type de jaugeur (Parshall ou dégorgé) et pour chaque dimension de la longueur de la section d'identification de l'appareil (gorge) il existe une valeur d'immersion limite qui sépare l'écoulement libre de l'écoulement noyé. Dans le premier cas, le débit est fonction seulement du tirant d'eau en amont, tandis que dans le deuxième le débit dépend de deux tirants: celui en amont Y_a et celui en aval Y_b .

b) Le déversoir

Ce sont des dispositifs permettant le jaugeage du débit. On les classe en deux catégories: déversoir à paroi mince et déversoir à seuil épais.

b.1 Déversoir à mince paroi

On dit que les déversoirs sont à mince paroi lorsque les dimensions de la partie du seuil qui est en contact avec l'eau sont négligeables par rapport à la hauteur de la nappe déversante.

La charge hydraulique h est la différence de niveau entre la surface libre en amont (loin de la zone d'approche) et le seuil déversant.

La nappe déversante à faibles charges empêche le passage de l'air au-dessous d'elle. On dit qu'elle est adhérente. Lorsque la charge hydraulique est augmentée la nappe a tendance à se séparer de la paroi. Cependant, il peut se former une zone de dépression instable si l'air n'entre pas en quantité suffisante. Cette zone est appelée nappe déprimée.

La nappe est libre lorsque l'air peut circuler facilement sous la veine liquide et que l'air entraîné par l'écoulement est continuellement remplacé.

b.1.1 Déversoir rectangulaire sans contraction latérale

C'est le type de déversoir sur lequel il existe le plus grand nombre d'observations et qui peut par conséquent, donner les valeurs les plus précises pour le jaugeage du débit.

Pour que les observations soient précises il faut que son installation remplisse les conditions suivantes

- élimination complète de la contraction latérale. Dans ce cas, le canal où va être placé le déversoir doit avoir les parois verticales et bien lissées. La longueur du seuil déversant doit être égale à celle du canal.
- La crête ne doit pas être trop basse et le seuil doit être à mince paroi.
- La longueur du canal en amont doit être égale à 20 h au moins, de plus il faut placer des grilles d'amortissement en bois ou en briques creuses pour uniformiser la surface libre de l'eau.
- La nappe doit avoir une bonne aération afin d'avoir un écoulement toujours libre, pour cela on doit placer des tuyaux de ventilation et contrôler la pression sous la nappe à l'aide d'un manomètre.
- La charge hydraulique doit être mesurée à une distance du seuil au moins égale à 5 ou 10 h.

Dans ces conditions la formule qui donne le débit s'écrit:

$$Q = 0.6667 \mu l (2g)^{0.5} h^{1.5} = 4.429 l h^{1.5}$$

Où :

Q = Débit en m^3/s

μ' = Coefficient du déversoir sans dimension

g = Accélération de la pesanteur = $9,81 m/s^2$

h = Charge hydraulique en m

l = Largeur du déversoir en m.

Si la face intérieure de la nappe n'est pas suffisamment aérée, il y aura une augmentation du débit qui sera fonction de la dépression observée.

Déversoir rectangulaire avec contraction latérale

Le débit est donné par l'expression suivante:

$$Q = \mu' (2g)^{0.5} l h^{1.5} = 4.429 l h^{1.5}$$

Déversoir triangulaire

Le débit est donné par la formule de Gourley et celle de Crimp.

$$Q = 1.32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} h^{2.47}$$

Où :

Q = Débit en cm^3/s

h = Charge hydraulique

α = Angle du déversoir.

Pour $\alpha = 90^\circ$ on emploie la formule de Thompson:

$$Q = 1.42 h^{5/2}$$

Déversoir trapézoïdal type cipolletti

L'appareil a la forme d'un trapèze isocèle avec la petite base placée en bas. Le fruit des berges $Z = 1/4$, l'horizontal 1 et le vertical est égal à 4 . Avec cette valeur de Z , l'effet de contraction du déversoir rectangulaire est compensé.

Le débit est calculé par la formule :

$$Q = 1,86 l h^{3/2}$$

Où :

Q = Débit en m^3/s

l = Largeur du seuil, en m

h = Charge hydraulique en m .

Choix d'un déversoir de mesure

Pour le choix d'un déversoir de mesure, on doit observer les principes suivants:

- L'épaisseur de la charge doit mesurer au moins $0,06 m$, pour le déversoir triangulaire et pour le rectangulaire, elle doit être de $0,02 m$ pour éviter que la nappe s'adhère au seuil.
- Eviter de fortes charges, la limite supérieure à atteindre est de $0,6 m$.
- La largeur du déversoir rectangulaire doit être, au moins, le triple de la charge ($l \geq 3h$).

- Pour les faibles débits il est préférable d'utiliser un déversoir triangulaire $\alpha = 90^\circ$. Pour les débits égaux ou inférieurs à 30 l/s il est conseillé d'utiliser un déversoir triangulaire.

Déversoir à seuil épais

Lorsque la partie du seuil en contact avec la nappe n'est plus négligeable, on dit que le déversoir est à seuil épais. Le plus utilisé est le déversoir à profil rectangulaire (déversoir de Bélanger). Si l'on a une valeur H en amont, sur le seuil du déversoir, le débit qui s'écoule est le maximum compatible avec cette charge, c'est-à-dire l'écoulement critique. La hauteur de la veine liquide h_c sur le déversoir sera :

$$h_c = 1.5 H$$

Le débit est donné par l'expression suivante :

$$Q = \mu l (2g)^{0.5} H^{1.5} = 4.429 \mu l H^{1.5}$$

$$u = 0.385 \text{ valeur approchée}$$

Pour éviter les contractions, la largeur du canal en amont doit être égale à largeur du déversoir.

Tableau IV-1: Valeur de "n" pour la formule de Manning.

Nature des parois Désignation des canaux.	Etat des parois			
	Très bon	Bon	Assez bon	Mauvais
Ciment lissé	0,010	0,011	0,012	0,013
Mortier ciment	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueduc en bois raboté	0,010	0,012	0,013	0,014
Aqueduc en bois non raboté	0,011	0,013	0,014	0,016
Canaux revêtus de béton [ment	0,012	0,014	0,016	0,018
Moellons bruts assemblés au ci-	0,017	0,020	0,025	0,030
Pierres sèches	0,025	0,030	0,033	0,035
Moellons dressés	0,013	0,014	0,015	0,017
Tôle plissée demi-circulaire	0,022	0,025	0,027	0,030
Tôle lisse demi-circulaire	0,011	0,012	0,013	0,015
Canaux et fossés en terre	0,017	0,020	0,022	0,025
Canaux et faussés avec pierres [lisses	0,025	0,030	0,033	0,035
Canaux et fossés avec pierres [rugueuses	0,035	0,040	0,045	0,050
Canaux en terre à larges méan- [dres	0,022	0,025	0,027	0,030
Canaux en terre draguée	0,025	0,027	0,030	0,033
Canaux avec lit de pierres en- [herbés	0,025	0,030	0,035	0,040
Canaux à fond en terre et rives [empierrées	0,028	0,030	0,033	0,035

La pente des talus est variable suivant la nature du terrain. On peut généralement adopter les talus suivants:

- terrain rocheux..... 1 de base pour 4 de hauteur
- terrain de roches plus ou moins désagrégé..... 1 de base pour 2 de hauteur
- conglomerats, argile dure..... 3 de base pour 4 de hauteur
- graviers non cimentés, talus de déblais .
- ordinaires..... 1 de base pour 1 de hauteur
- terrain ordinaire..... 3 de base pour 2 de hauteur
- terrain très sablonneux..... 3 de base pour 1 de hauteur

Application

Dimensionner un canal trapézoïdal qui doit conduire 1 m^3 d'eau par seconde dont la largeur du radier est de $0,8\text{ m}$; le coefficient de rugosité est de $0,025$; le fruit des berges $Z = 1$ et la pente longitudinale $I = 0,005$.

Solution:

D'après la formule de Manning on a:

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{1}{0,025} \frac{(0,8y + y^2)^{5/3}}{(0,8 + 2,8284y)^{2/3}} \quad (0,07)$$

$$\frac{0,025}{0,070} = \frac{(0,8y + y^2)^{1,6667}}{(0,8 + 2,8284y)^{0,6667}}$$

Bien qu'il existe une seule inconnue, le problème n'a pas une solution directe, il faut procéder par tâtonnement. Pour cela, on appelle au terme de gauche F^* :

$$\frac{Q \cdot n}{I^{0,5}} = F^* = 0,357$$

et F_i au terme de droite, soit:

$$F_i = \frac{(0,8y + y^2)^{1,6667}}{(0,8 + 2,8284y)^{0,6667}}$$

On donne y plusieurs valeurs et on calcule les correspondantes de F_i de la façon suivante:

$$F_1 = f(y_1 = 1)$$

$$F_1 = \frac{2.6635}{2.3595} = 1.12$$

$$F_1 > F^*$$

Cela signifie que l'on doit prendre une valeur plus petite de y , soit:

$$y_2 = 0,5$$

$$F_2 (y_2 = 0.5)$$

$$F_2 = \frac{(0,4 + 0.25)^{1.6667}}{(0.8 + 1.4142)^{0.6667}} = \frac{0.48773}{1.6988}$$

$$F_2 = 0.2871$$

$$F_2 < F^*$$

Ce résultat nous indique que y doit être plus grand que 0.5, mais plus petit que 1. Prenons $y = 0,8$

$$F_3 = f(y_3 = 0,8)$$

$$F = \frac{(0,8 (0.8) + 0.64)^{1.6667}}{(0.8 + 2.2627)^{0.6667}} = \frac{1.5089917}{2.1092} = 0.71$$

$$F_3 > F^*$$

Il faut choisir une valeur de y plus petite. Prenons $y_4 = 0.6$

$$F_4 = f(y_4 = 0.6)$$

$$F_4 = \frac{(0.48 + 0.36)^{1.6667}}{(0.8 + 1.69704)^{0.6667}} = \frac{0.7478}{1.8419} = 0.4059$$

$$F_4 < F^*$$

Il faudra choisir une valeur plus petite de y . Soit $y = 0.57$

$$F_5 = f(y = 0.57)$$

$$F_5 = \frac{0.6621}{1.7986} = 0.368$$

$$F_5 \approx F^*$$

On peut admettre que les dimensions du canal seront:

$$y = 0.57 \text{ m}$$

$$b = 0.88 \text{ m}$$

$$A = 0.78 \text{ m}^2$$

$$P = 2.41 \text{ m}$$

$$R = 0.32 \text{ m}$$

$$r = 0.12 \text{ m}$$

$$v = 1.28 \text{ m/s}$$




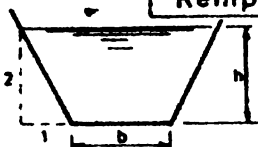
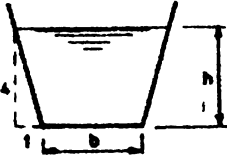
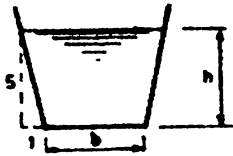
$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$I = 0.005$$

$$n = 0.025$$

Fig.IV.4 Profils divers

Remplissage $h = D$ ou $b = h = D$ D : Diamètre de la conduite circulaire V_c : Vitesse de la conduite circulaire (section pleine) Q_c : Débit

Profil	Croquis	A	p	R	V	Q
Remplissage $h = D$						
Triangulaire $m = 1/1$		$1,0 h^2$	$2,828 . h$	$0,354 . h$	$1,260 . V_c$	$1,592 . Q_c$
$m = 3/2$		$1,5 h^2$	$3,583 h$	$0,418 . h$	$1,400 . V_c$	$2,877 . Q_c$
$m = 2/1$		$2,0 h^2$	$4,472 . h$	$0,447 . h$	$1,474 . V_c$	$3,759 . Q_c$
Remplissage $b = h = D$						
Trapézoïdal $m = 1/2$		$1,5 h^2$	$3,236 . h$	$0,464 . h$	$1,509 . V_c$	$2,882 . Q_c$
$m = 1/4$		$1,25 . h^2$	$3,062 . h$	$0,408 . h$	$1,387 . V_c$	$2,207 . Q_c$
$m = 1/5$		$1,2 . h^2$	$3,040 . h$	$0,395 . h$	$1,356 . V_c$	$2,072 . Q_c$

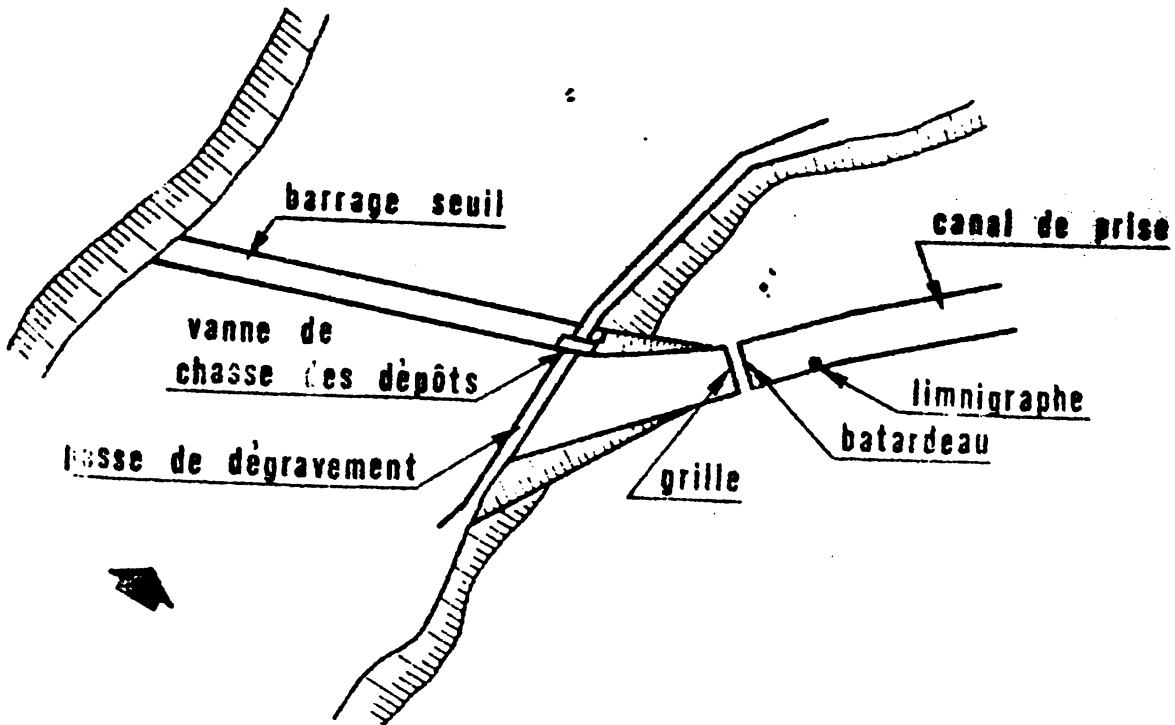
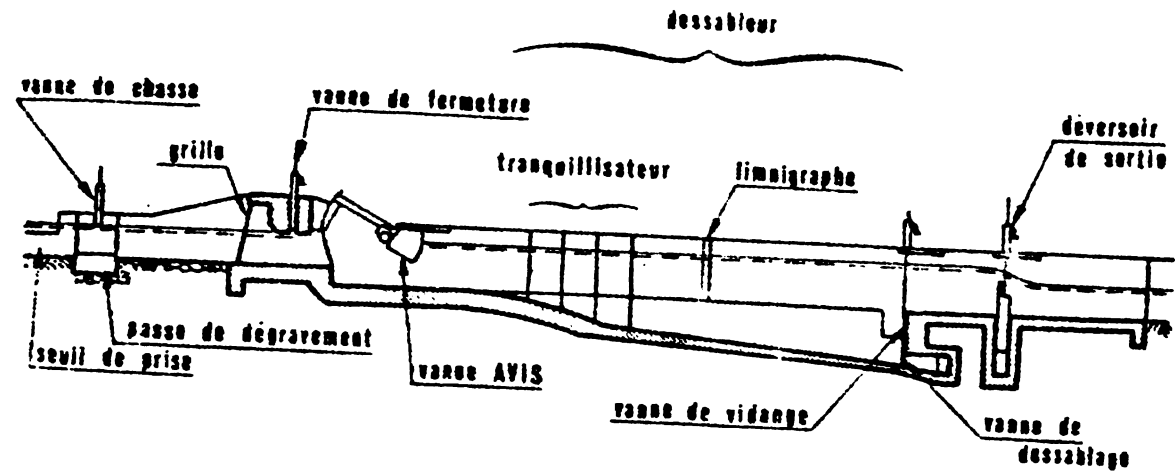


Fig. IV-5: Schéma d'une prise avec barrage de dérivation.

SCHEMA D'UNE PRISE EN RIVIERE

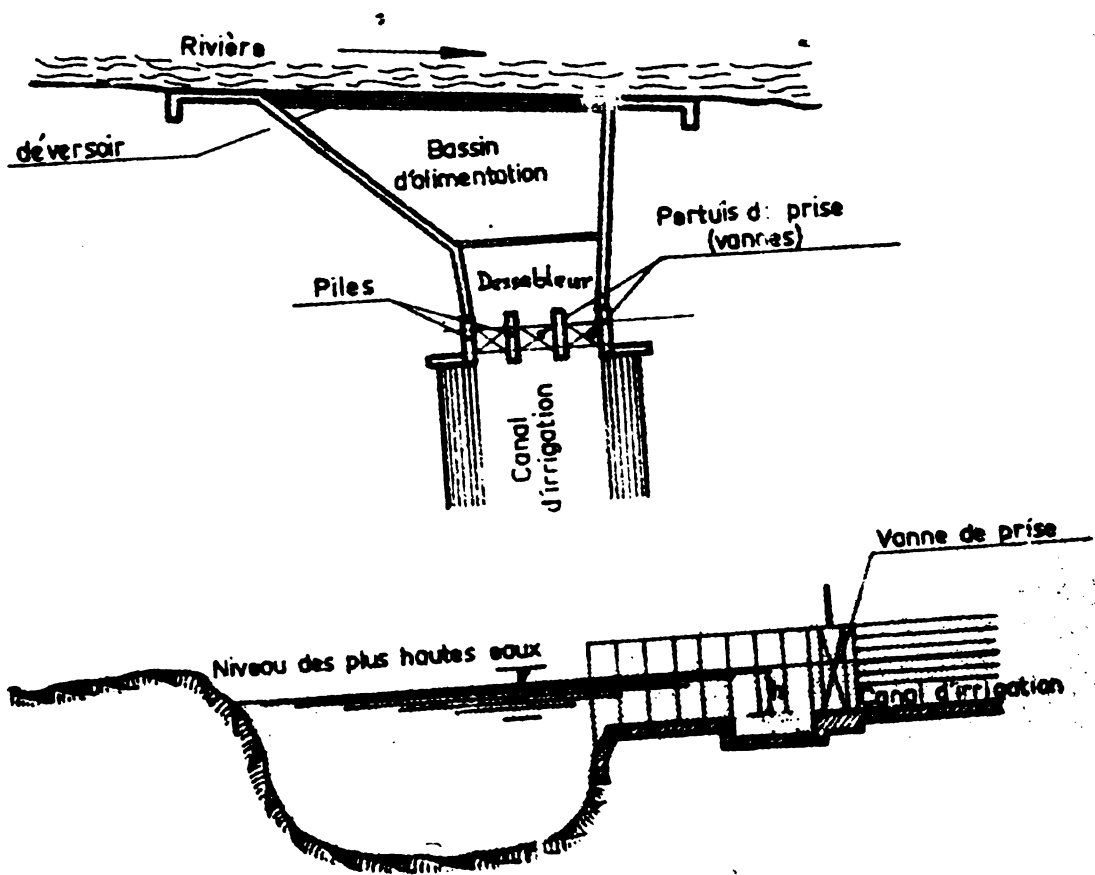


Fig. IV-6: Schéma d'une prise d'eau

PARTITEUR FIXE

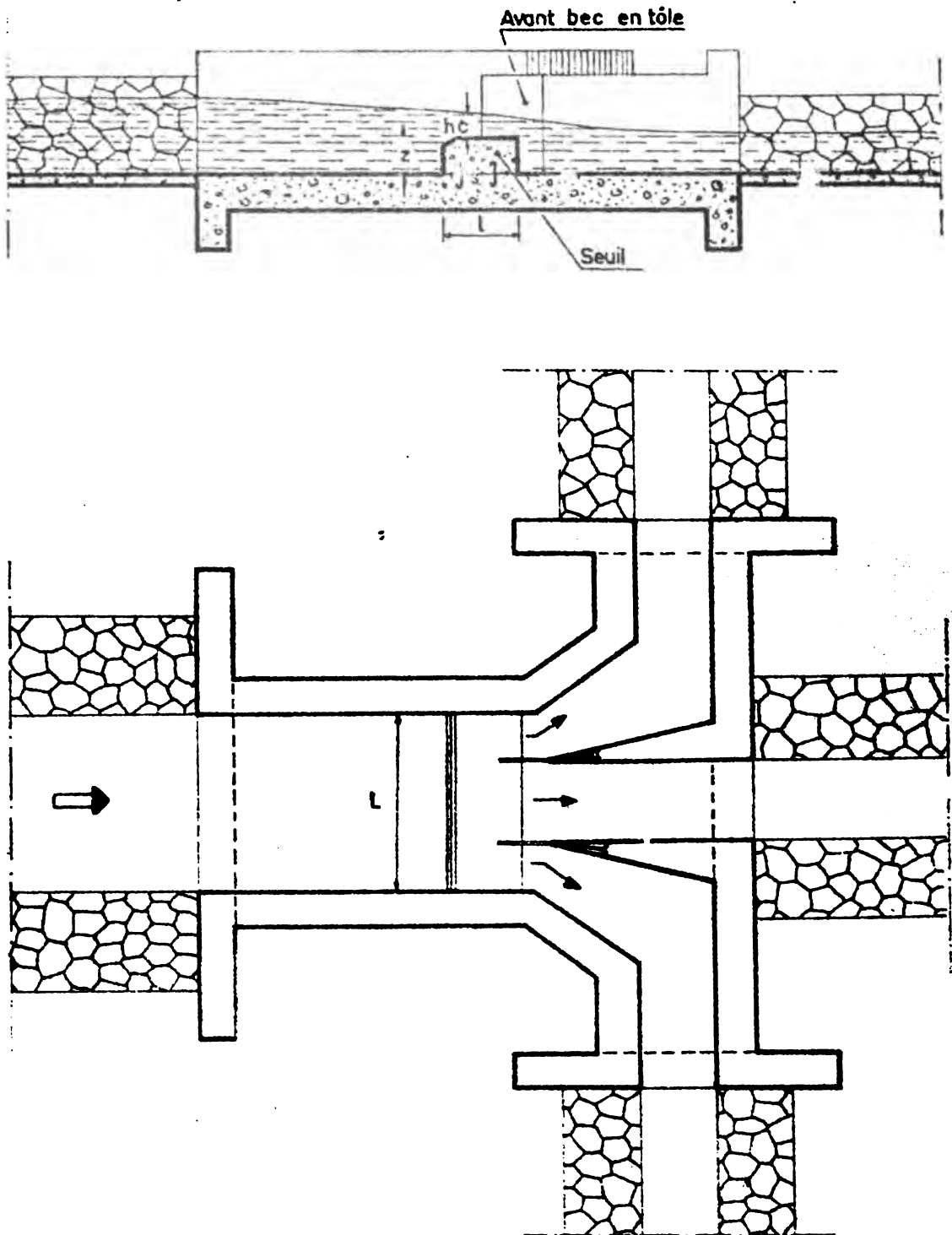


Fig. IV-7: Schéma d'un partiteur.

PRISE TOUT OU RIEN

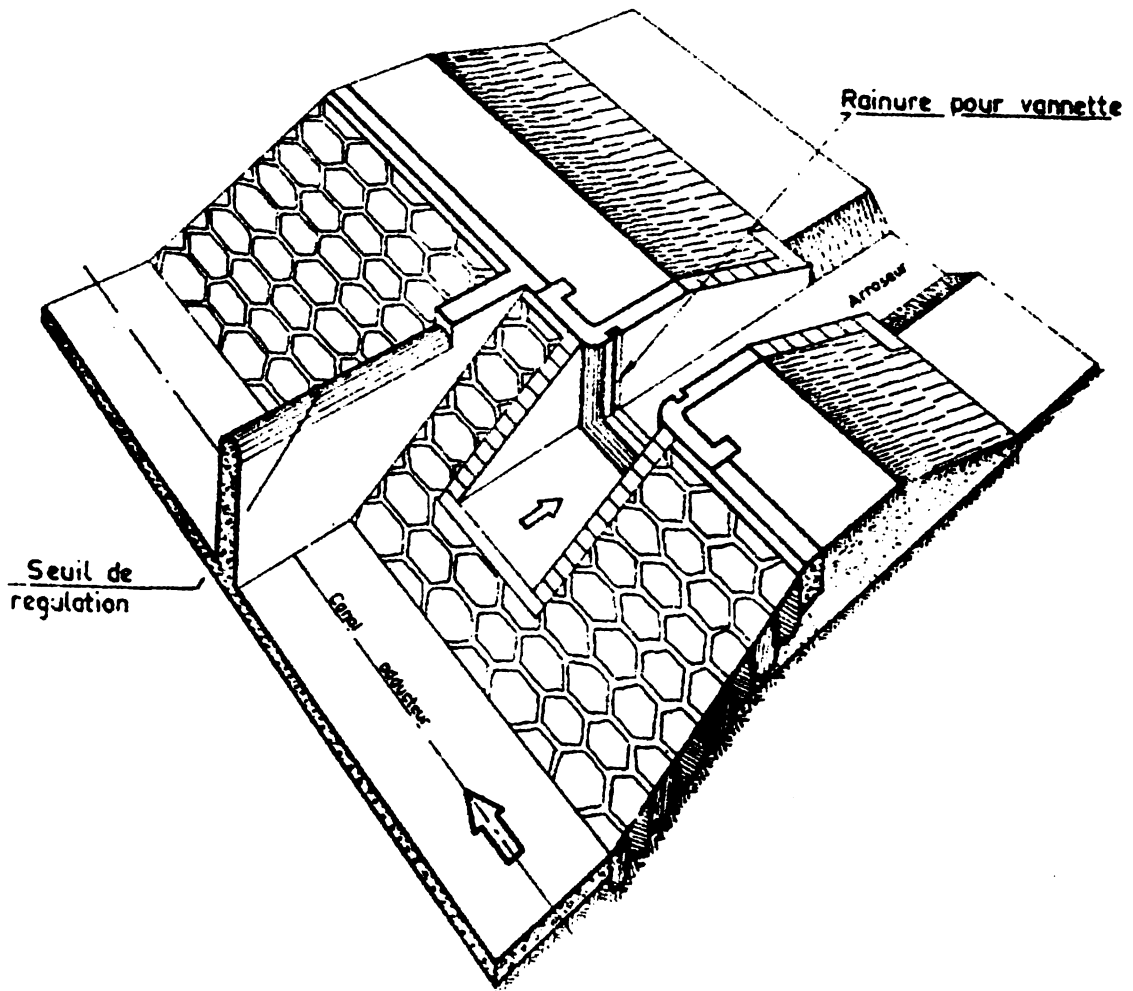


Fig. IV-7 (a): Schéma d'une prise d'eau.

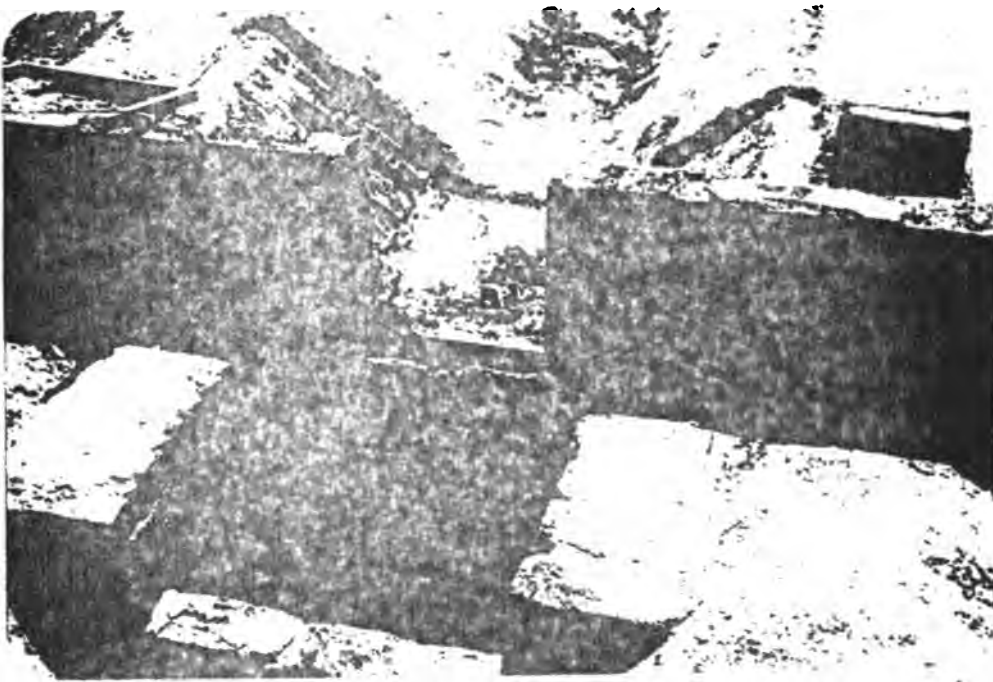


Fig. IV-7 (b): Détail de la construction des structures de contrôle dans des canaux pourvus de chutes

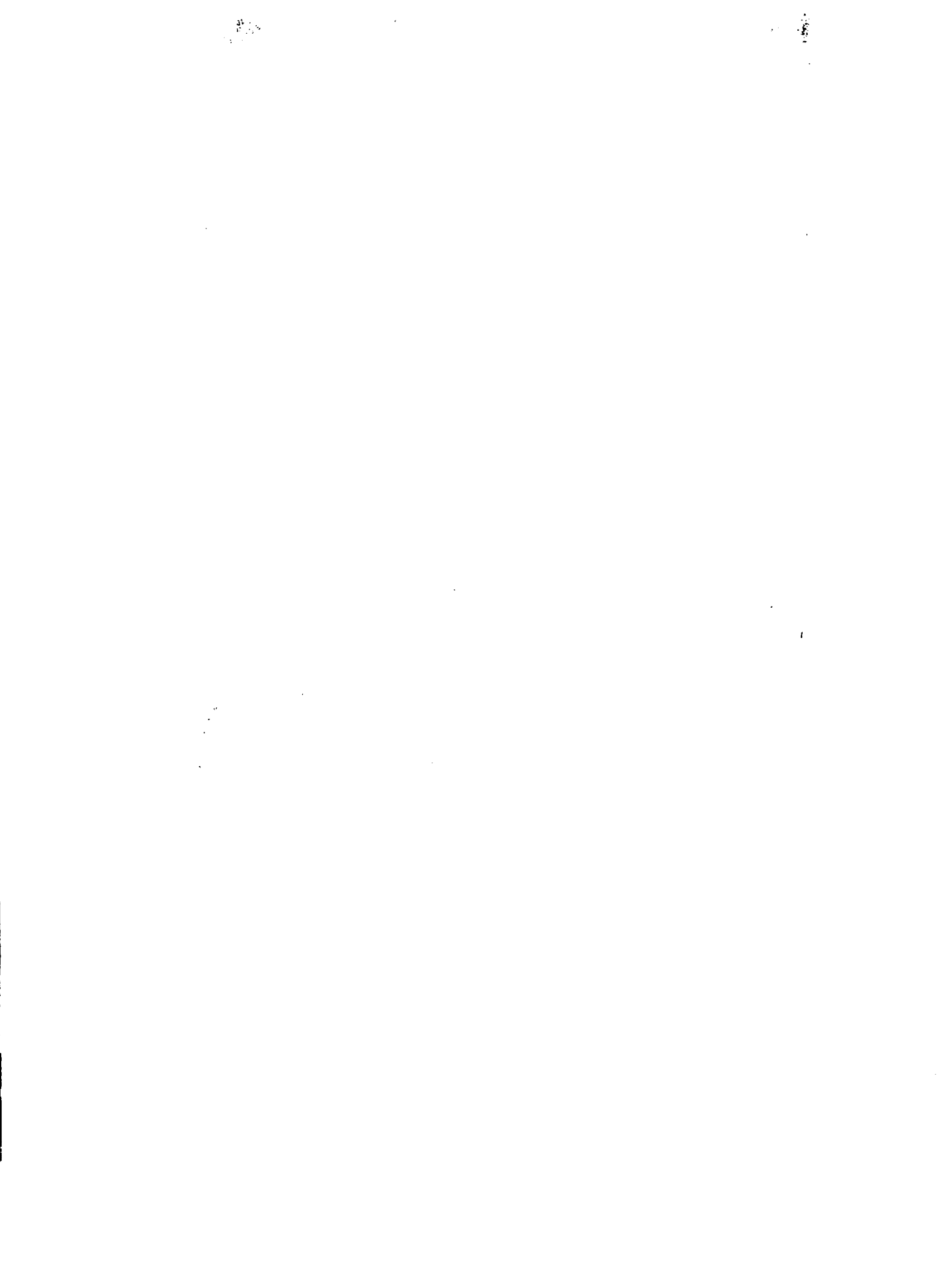




Fig. IV-8: Structures Hydrauliques de contrôle dans les canaux de conduction et dans les canaux d'arrosage. Les canaux ont été tracés suivant la plus forte pente.



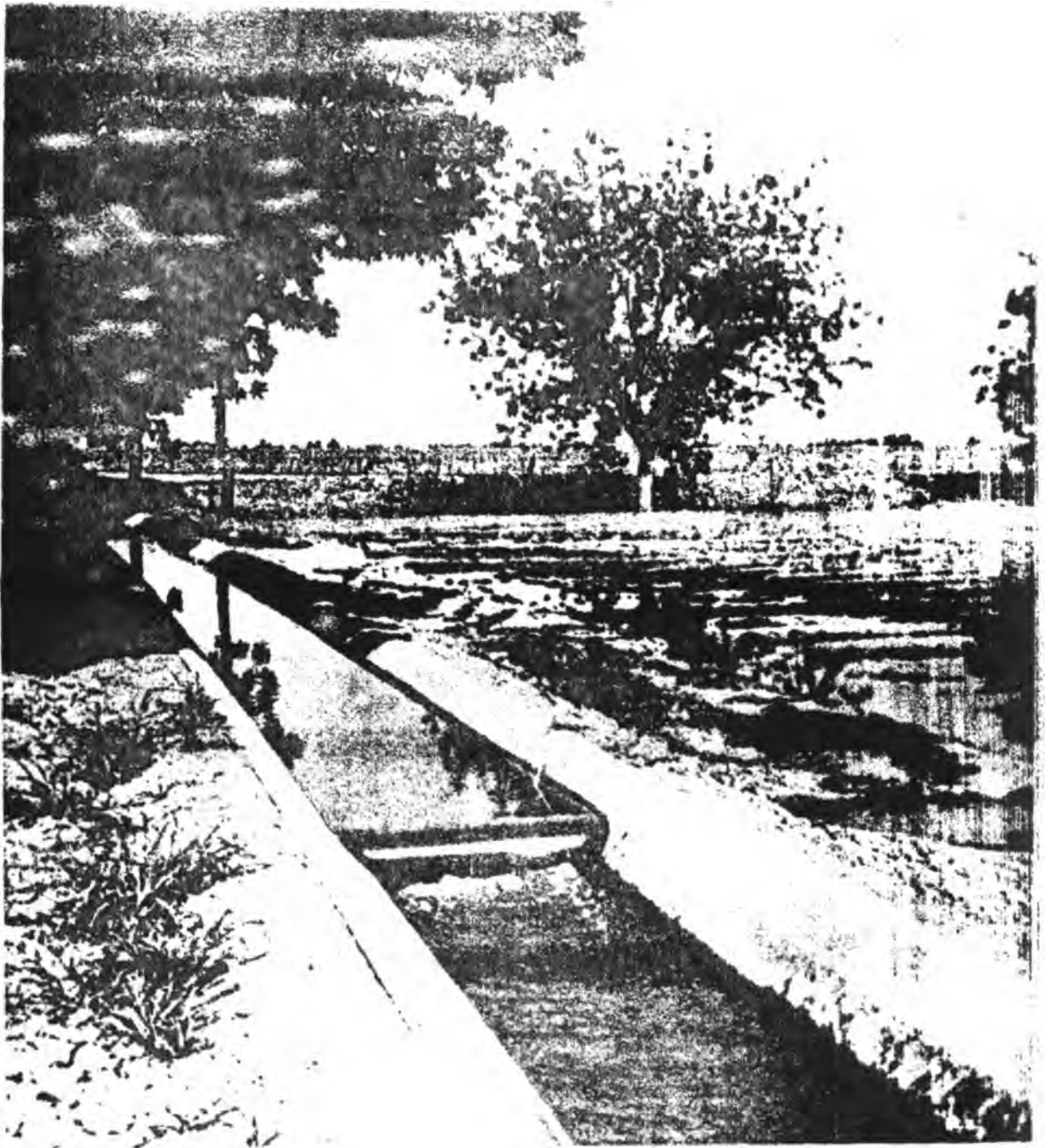


Fig. IV-9: Schéma d'un battardeau portatif pour être utilisé dans les canaux revêtus.

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

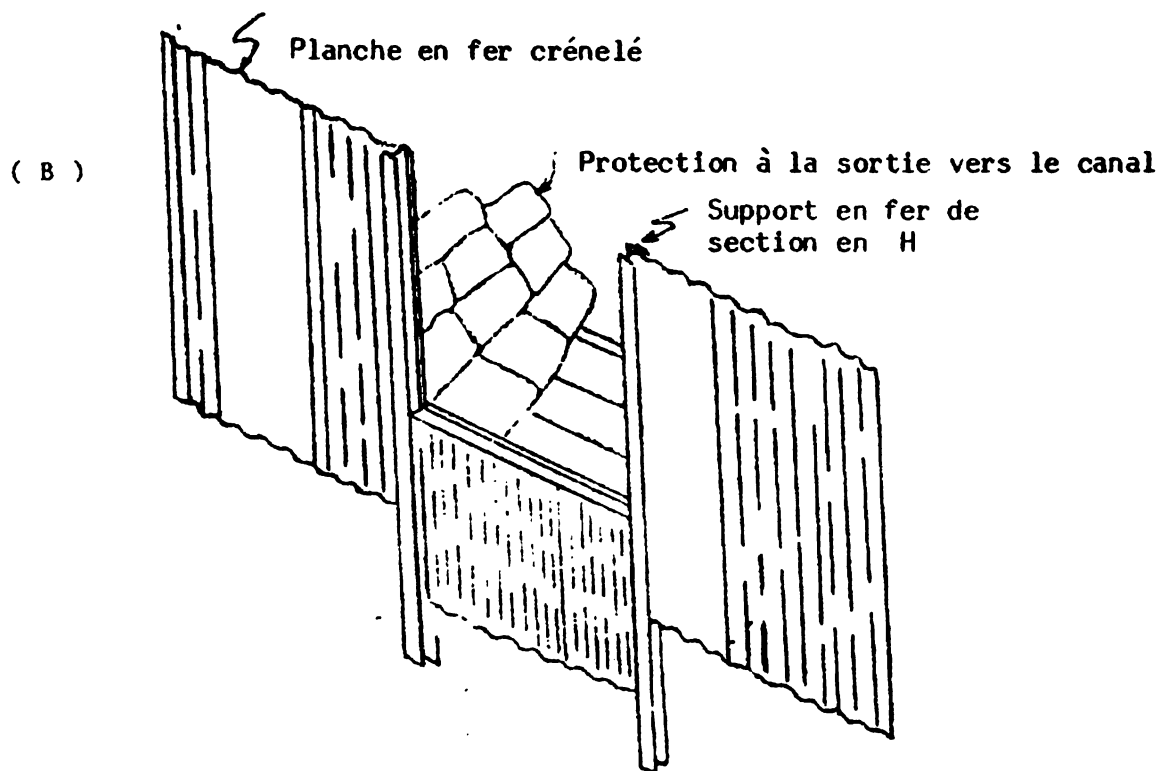
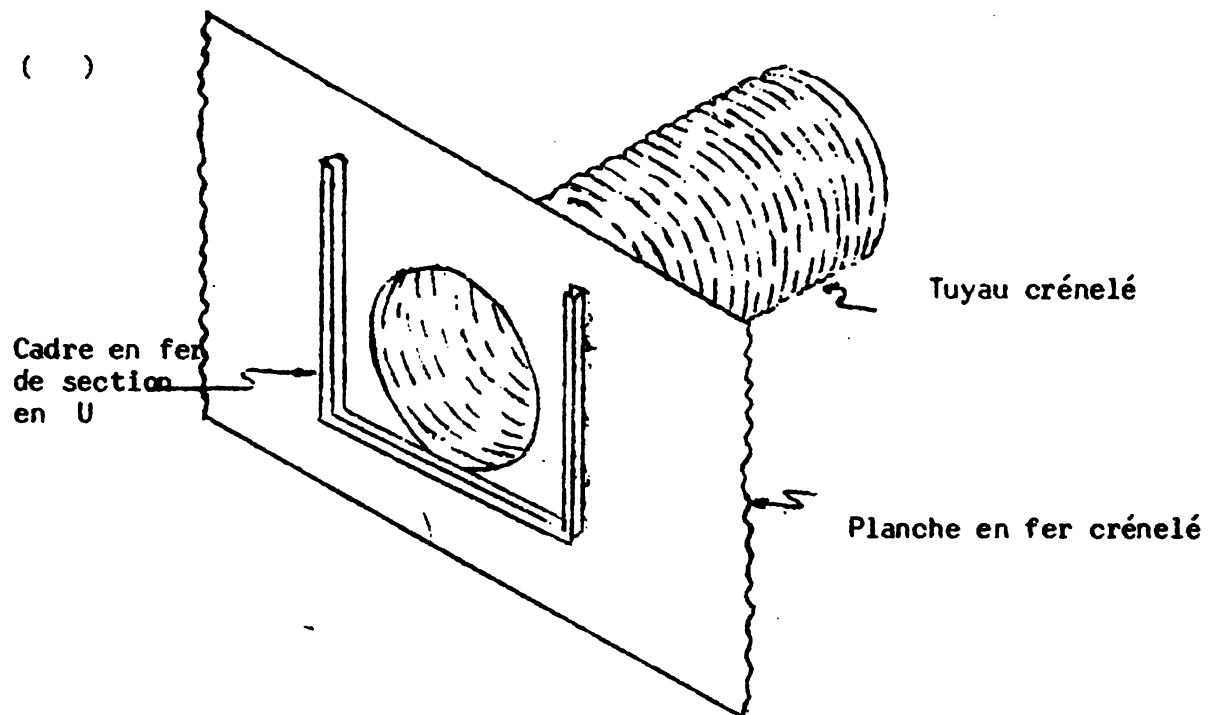


Fig. IV-10: Structures préfabriquées pour le contrôle du débit d'eau dans les canaux d'arrosage. Millar 1985 d.

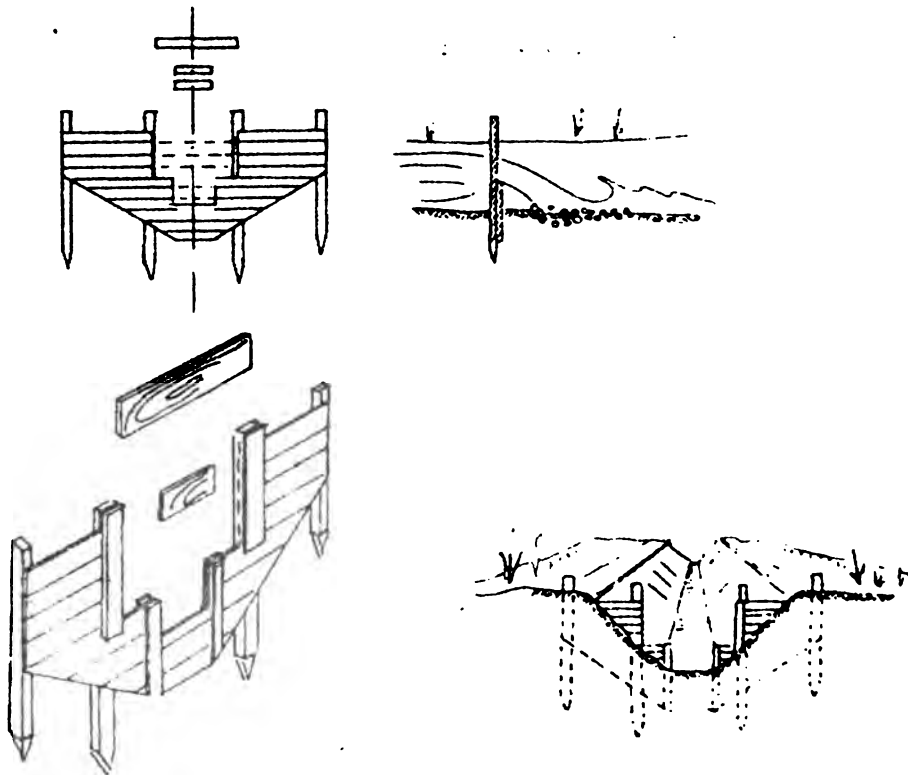
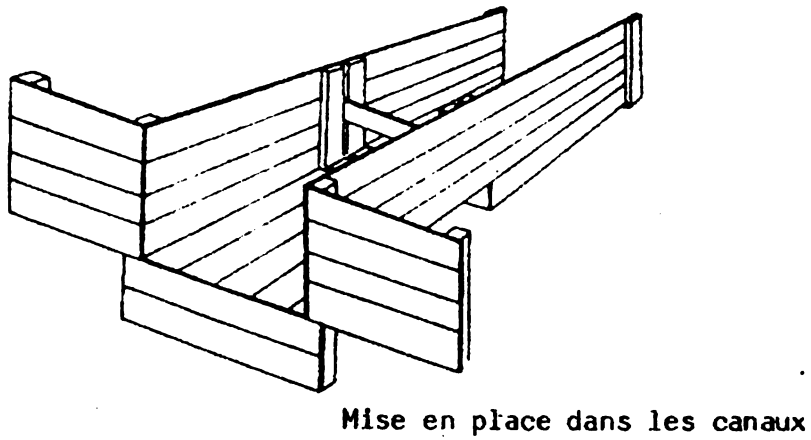
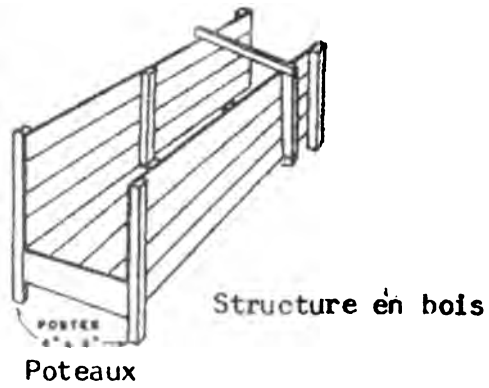
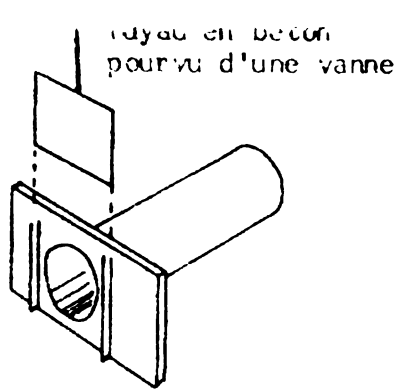


Fig. IV-11 Schéma de structures en bois et béton ainsi que leur installation pour le contrôle des débits dans les canaux d'irrigation
Millar 1985 d.

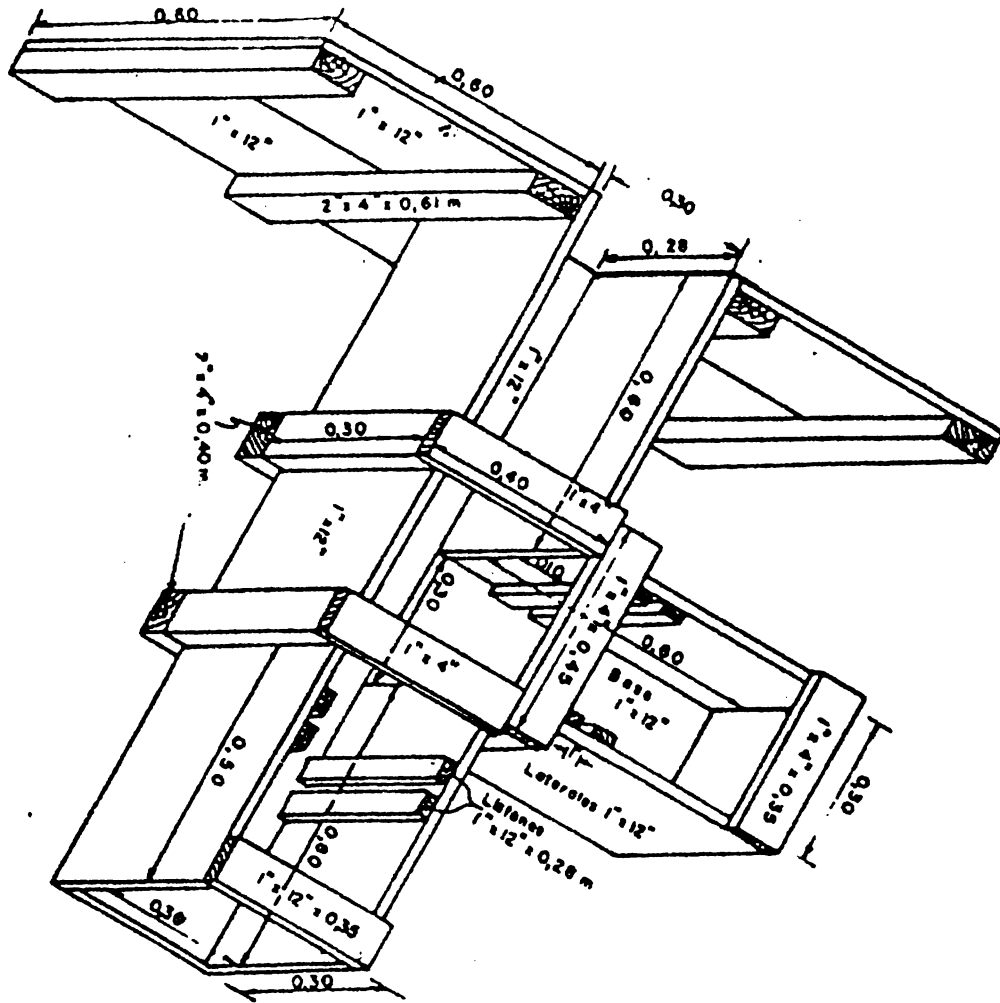
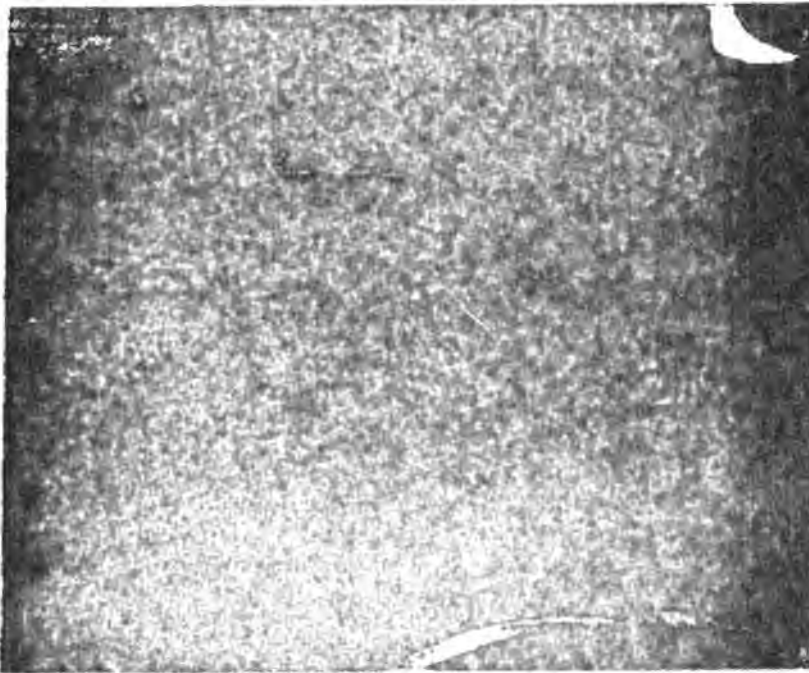


Fig. IV.12: Boîte de distribution de l'eau de deux sorties (en bois)



(Caicó, RN, Brasil)

Fig. IV-13: Application de l'eau à la parcelle: Du canal à la rigole par l'emploi de siphons.

Remarquez sur la photo inférieure l'utilisation d'une planche de plastique pour former un batardeau afin de maintenir une charge hydraulique dans le canal. Millar 1985 d.

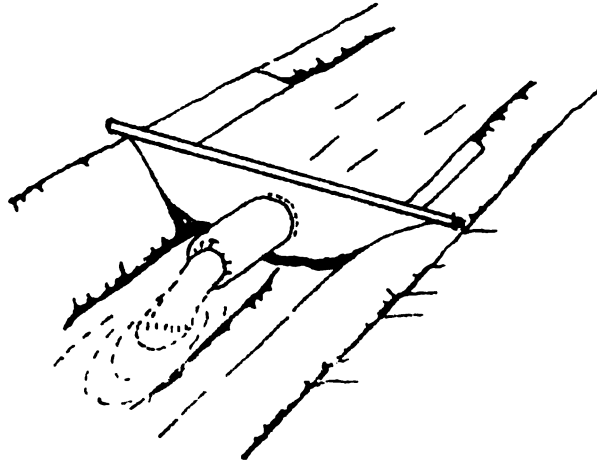


Fig. IV-14 (a) Planche en plastique fonctionnant comme batardeau pourvu d'un tuyau de sortie pour contrôler le débit dans le canal d'arrosage. Millar 1985 d.

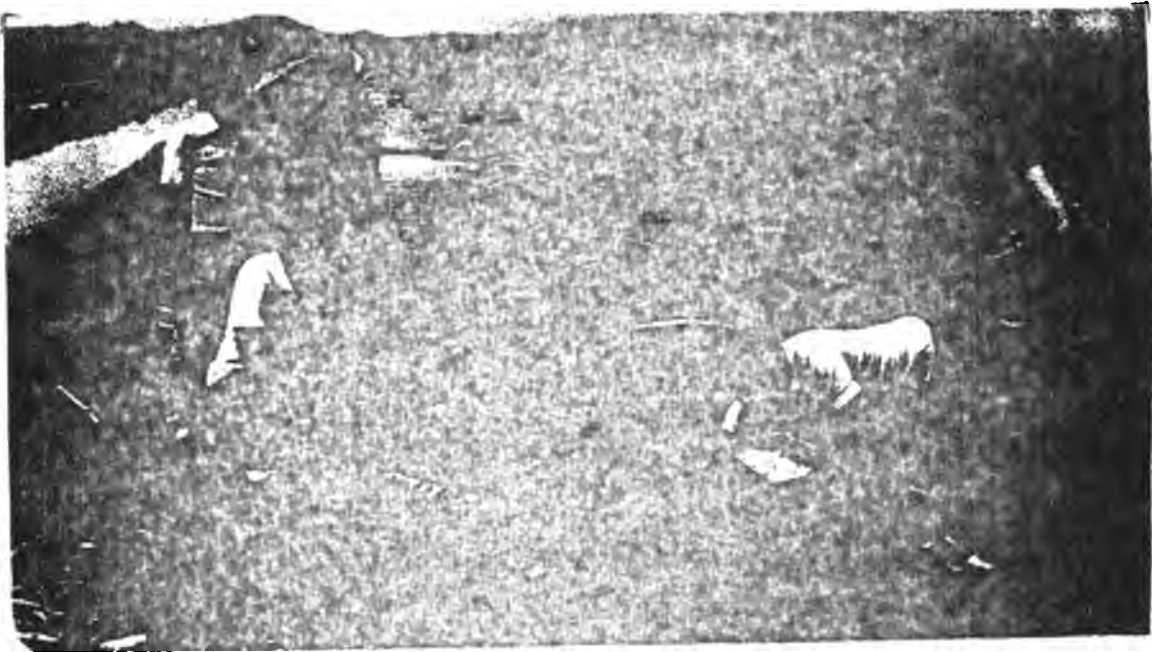
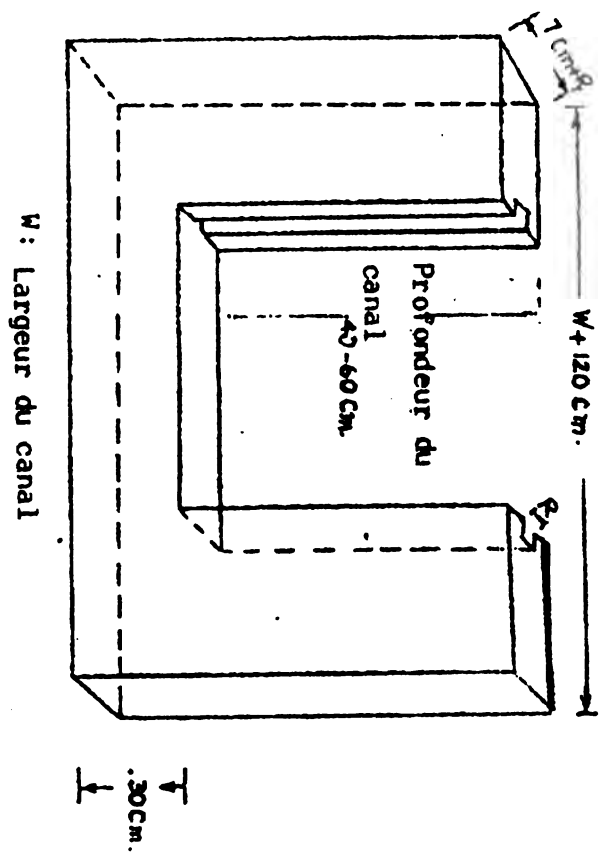
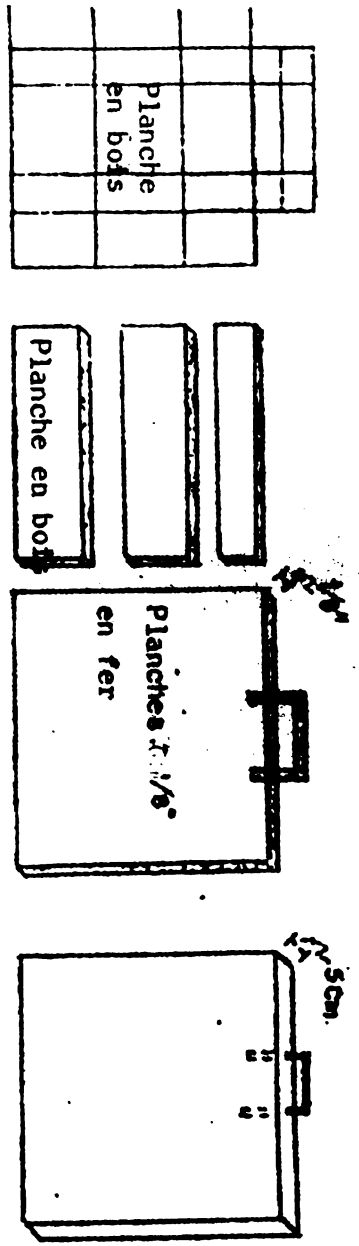


Fig. IV-14 (b) : Batardeau formé d'une barre métallique et d'une pièce en plastique. (Millar 1985 d)



• Fig. IV-15: Structure simple en bois et vanne en fer glissante, pour être employées au niveau de la parcelle pour un débit de 60 l/s. Millar 1985 d.

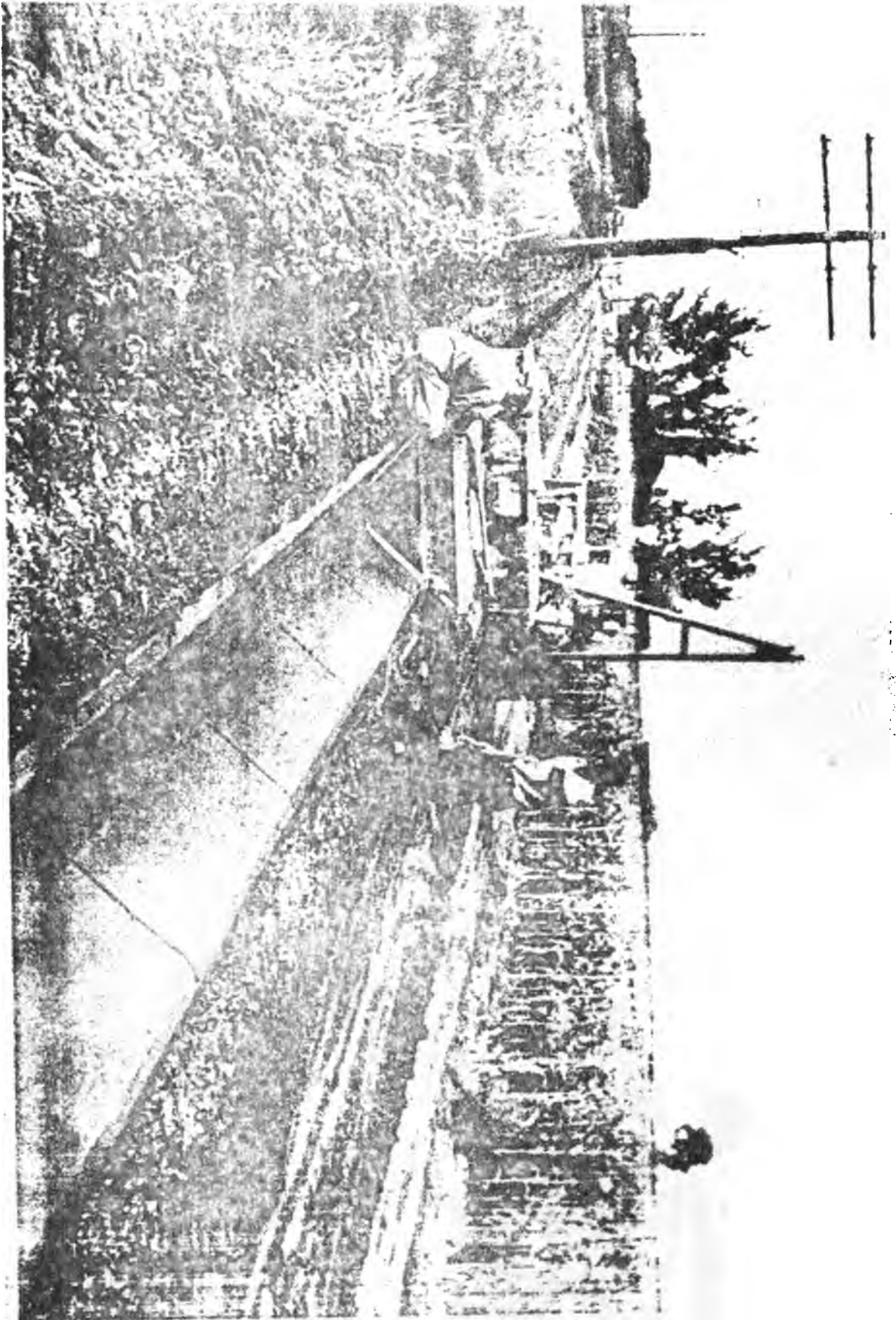


Fig. IV-16: Schéma d'un canal revêtu en béton

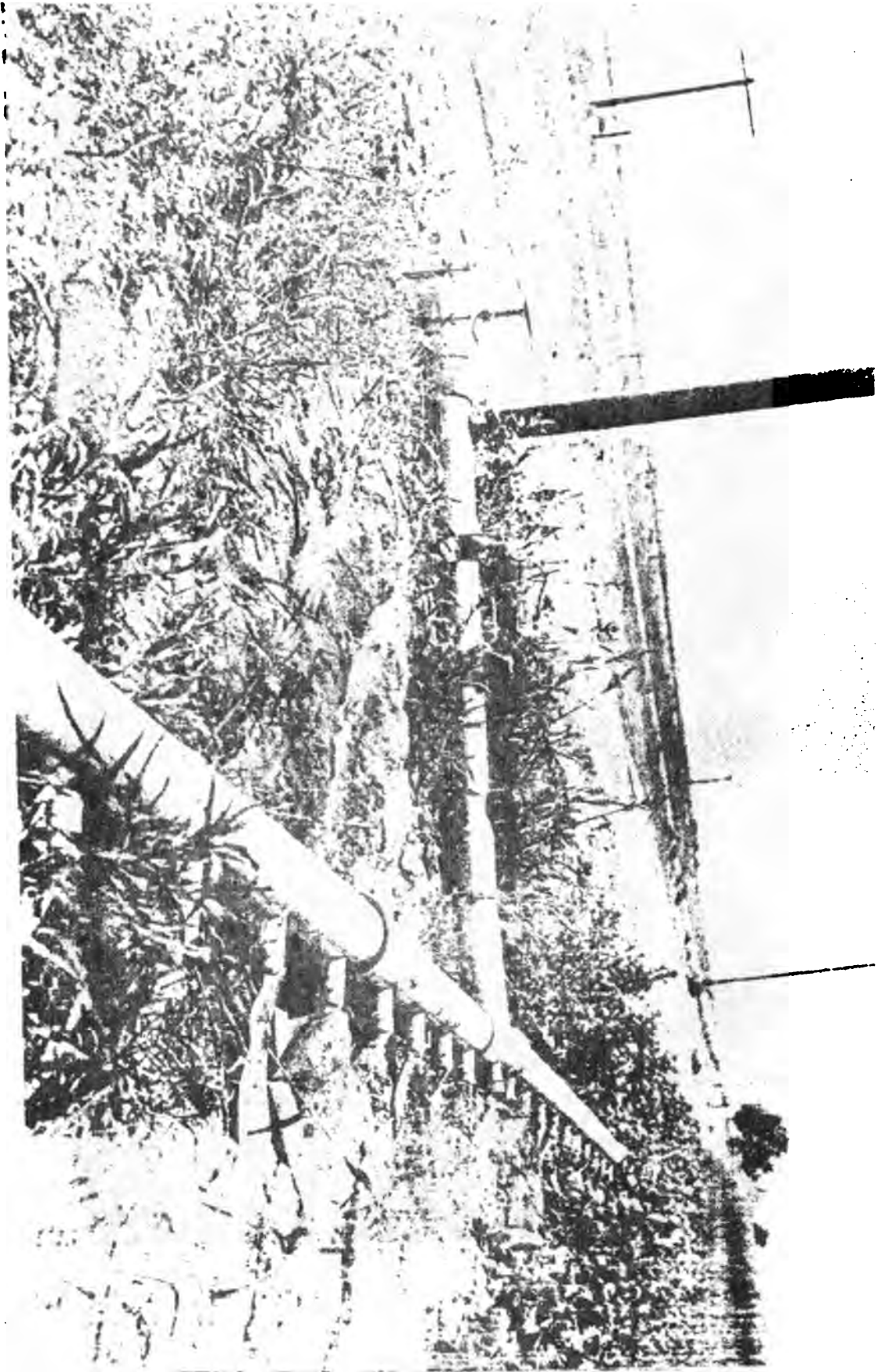


Fig. IV-17: Schéma de l'installation d'un tuyau pour la conduction de l'eau.

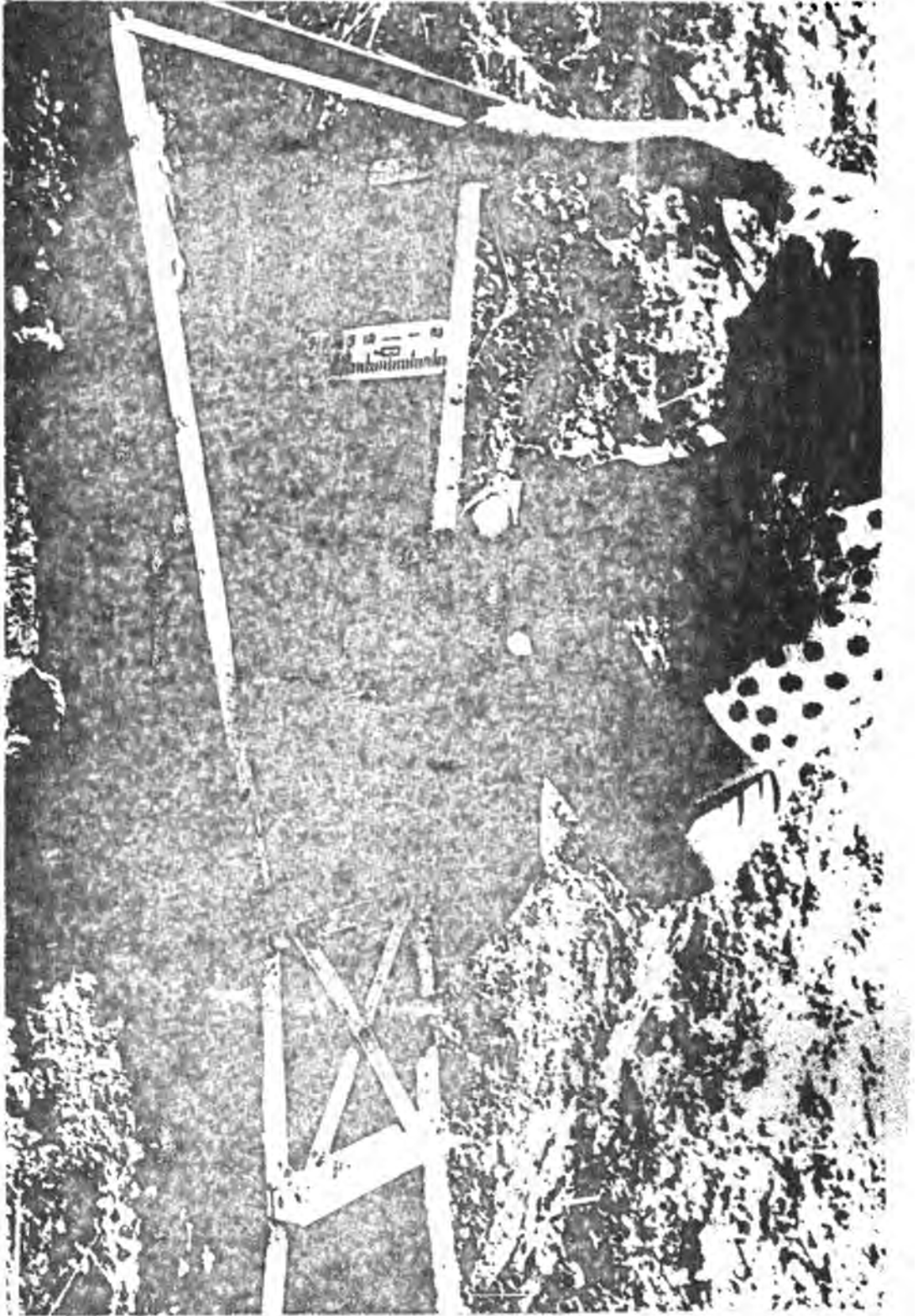
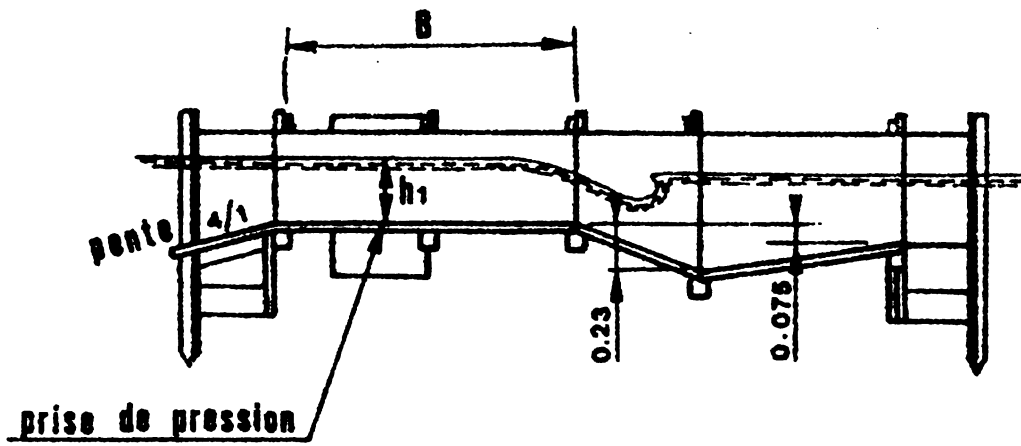


Fig. IV-18: Schéma d'un jaugeur Parshall en fonctionnement

COUPE AA



VUE EN PLAN

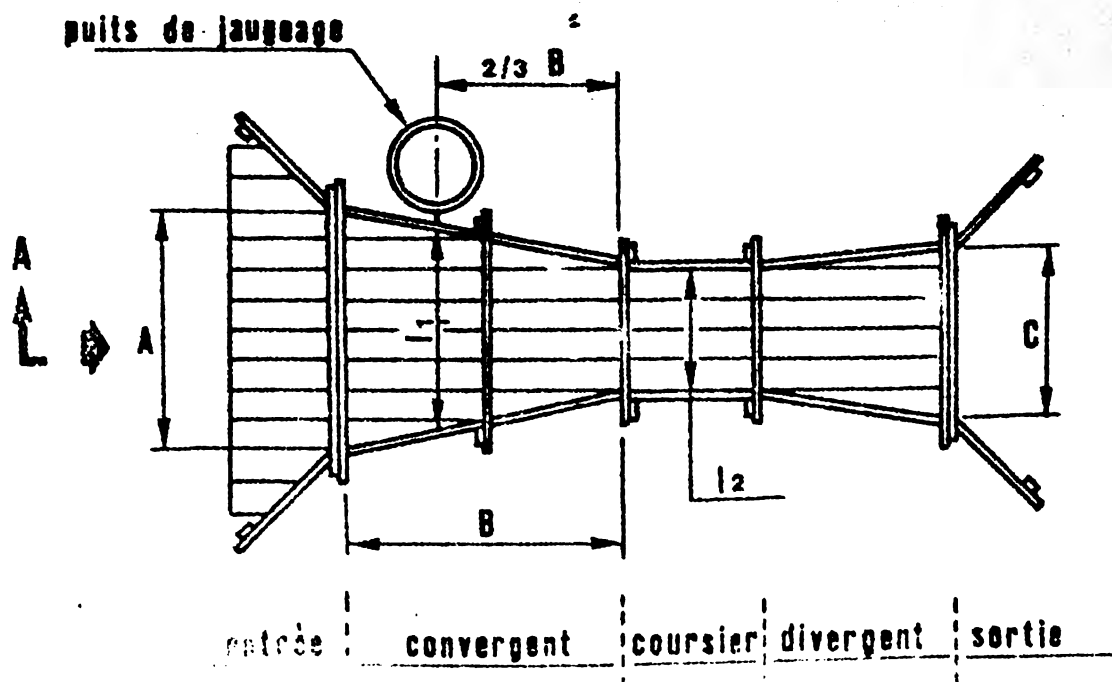


Fig. IV-19: Schéma du jaugeur pershall

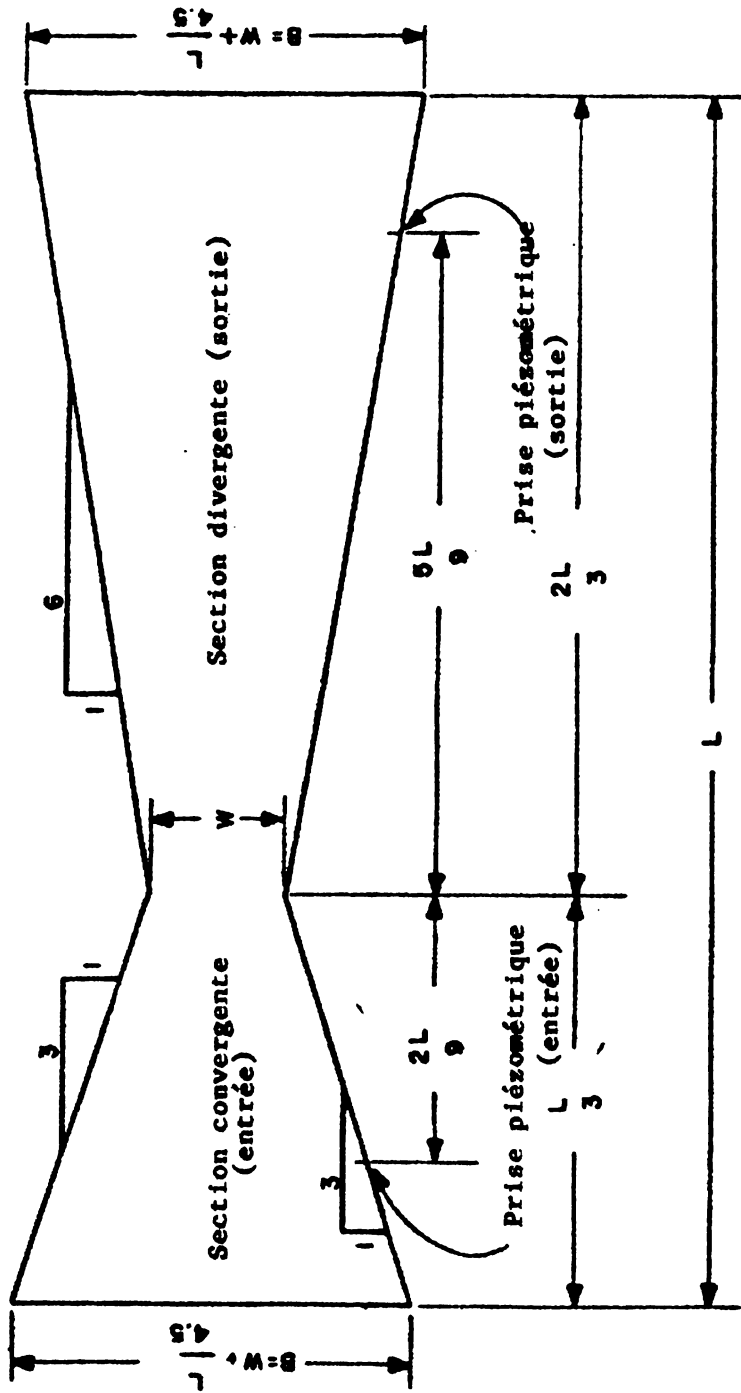


Fig. IV-20: Schéma d'un jaugeur dégorgé

CHAPITRE V

LE CHOIX DE LA METHODE D'APPLICATION DE L'EAU A LA PARCELLE

Généralités

L'analyse économique est une activité préalable à la mise en valeur d'une superficie agricole par irrigation à cause des dépenses élevées qu'elle entraîne. Dans les régions tropicales humides et subhumides, où les besoins en eau d'irrigation sont réduits à une courte période, un aussi grand investissement n'est pas justifié. Cependant lorsqu'il y a un intérêt national (recherche de devises, diminution de l'importation, création d'emplois, etc.) on peut favoriser l'installation d'un système d'irrigation.

Dans les zones arides l'irrigation constitue le seul moyen permettant d'assurer l'activité agricole. Le but de la mise en place d'un système d'irrigation est l'augmentation de la productivité pour accroître la production et la rentabilité du planteur. C'est pourquoi les avantages de l'irrigation doivent être exprimés en termes économiques.

Les éléments qui doivent être tenus en compte pour le choix d'une méthode d'application de l'eau à la parcelle (gravitaire: sillons, microsillons, bassin d'inondation; mécanique: aspersion, goutte à goutte) sont les suivants:

- 1o) L'eau (débit, disponibilité dans le temps, quantité et qualité ainsi que le coût de l'obtention. ((Pompage, construction de structures de captage et/ou d'emmagasinage, structures de conduction))).
- 2o) Le sol (Profondeur du profil, épaisseur de la couche du sol fertile, qualité du sol, matière organique, salinité, texture, capacité de transmission de l'eau et capacité de rétention de l'eau.
- 3o) La plante (habitude de croissance, tolérance à la sécheresse, tolérance à la présence continue de l'eau, caractéristique de la partie à récolter (fruit, feuilles, etc)

- 4o) La topographie (le relief et la pente).
- 5o) Le climat (évaporation, température, pluie, radiation, vent, humidité relative).
- 6o) La main-d'oeuvre disponible.
- 7o) Disponibilité des machines agricoles.
- 8o) Les traditions, les habitudes et la formation des planteurs.

5.1 Avantages et inconvénients des méthodes d'application de l'eau à la parcelle

5.1.1 Méthodes gravitaires

Avantages

Il n'est pas nécessaire pour l'utilisateur d'avoir une longue formation. L'équipement qu'il aura à utiliser est simple et de manipulation facile. De plus, grâce à l'effet de la pesanteur l'eau pourra descendre sans avoir recours à une énergie extérieure. Elle est moins coûteuse que les méthodes mécaniques.

L'eau est appliquée directement sur la surface du sol en évitant les feuilles, ce qui diminue le risque de maladies.

On peut réduire les pertes par percolation et par ruissellement en procédant à une bonne irrigation. Le vent ne constitue pas une contrainte, ce qui permet d'irriguer à toutes les heures de la journée. Il convient de signaler que l'irrigation effectuée pendant la nuit est moins efficace.

Inconvénients

La topographie de la surface à irriguer joue un rôle très important. Si la pente est raide l'investissement dans l'aménagement parcellaire pour la réduire est très élevé.

En général l'efficacité de l'utilisation de l'eau est faible (40 à 50 %) par rapport aux méthodes mécanisées qui demandent une supervision très assidue.

Le débit d'application doit être assez fort pour un meilleur emploi de l'eau disponible. Le volume d'application d'eau doit tenir compte des besoins des cultures et de la qualité de l'eau pour le lessivage.

5.1.2 les méthodes mécanisées.

5.1.2.1 Irrigation par aspersion

Avantages

Possibilité d'adapter le taux d'application de l'eau à la vitesse d'infiltration du sol et suivant le besoin des plantes.

La topographie ne constitue pas une contrainte, cependant il faut la considérer pour le dimensionnement du système.

L'infrastructure d'irrigation est réduite (réservoir ou puits).

Possibilité d'appliquer conjointement avec l'eau d'irrigation les fertilisants et les pesticides.

Il n'est pas nécessaire de superviser l'opération du système, c'est la raison pour laquelle on peut laisser le système en fonctionnement toute la nuit.

Inconvénients

Le coût d'investissement initial est très élevé (moteur, pompe, tuyaux, asperseurs, contrôleur de pression, vannes, etc.)

Le coût d'opération est élevé à cause des besoins en énergie pour le pompage et pour le fonctionnement des asperseurs à la pression convenable.

Besoin d'une main-d'oeuvre pour le déplacement des tuyaux (il y a des systèmes autopropulseurs).

L'application de l'eau peut être fortement affecté par le vent.

Les plantes élevées telles que la canne à sucre nécessitent un équipement approprié.

Les feuilles mouillées peuvent être l'origine de beaucoup de maladies.

Très souvent l'eau peut avoir des sédiments en suspension, c'est pour cela qu'il faut la filtrer afin d'éviter l'obstruction des asperseurs.

L'eau d'irrigation doit être de bonne qualité pour éviter des problèmes de salinité.

Le système goutte à goutte

Avantages

Cette méthode permet:

- d'adapter la vitesse d'application de l'eau à la vitesse d'infiltration du sol;

- de réduire les pertes par évaporation et de contrôler la pénétration de l'eau dans le sol, ce qui rend le système très efficient;
- de réduire le risque de maladies car pendant l'opération les feuilles ne sont pas mouillées;
- de travailler à toutes les heures du jour et de la nuit car son fonctionnement ne peut être affecté par le vent;
- de consommer moins d'énergie par rapport au système d'aspersion.

La topographie de la zone à irriguer ne constitue pas une contrainte pour le fonctionnement du système:

- elle facilite l'application des fertilisants et des pesticides dans l'eau d'irrigation;
- elle peut être adaptée à toutes les cultures et à toutes les étapes du cycle phénologique;
- A l'heure actuelle, elle constitue la meilleure méthode pour combattre les mauvaises herbes;

Inconvénients

Les principaux inconvénients de cette méthode sont les suivants:

- L'investissement initial est très élevé;
- une bonne formation des usagers est indispensable pour l'opération, l'entretien et pour la supervision du système;
- les émetteurs sont sujets à l'obstruction, pour éviter cela, il convient de les munir de filtres qui sont de grands consommateurs d'énergie et dont le prix est élevé;

- la localisation des latéraux et des émetteurs peut limiter les activités agricoles;
- bien que le système peut fonctionner avec de l'eau saline, l'emploi de celle-ci peut entraîner des problèmes de salinité dans le sol

5.2 Les méthodes gravitaires d'application de l'eau à la parcelle

Pour procéder au dimensionnement, avec cette méthode, on doit tenir compte des conditions du terrain et de l'efficience d'application choisie au préalable. Dans ces méthodes (rigoles, microsillons, bassin d'inondation, calants) l'eau est appliquée dans la partie la plus élevée pour pouvoir couler vers les points les plus bas. L'infiltration de l'eau dans le profil du sol se fera pendant la descente.

Pour obtenir une bonne uniformité dans l'application de l'eau, les parcelles à irriguer doivent être de dimensions et de formes appropriées. Le débit appliqué doit être choisi en tenant compte de la pente superficielle du terrain et du type de sol. Dans les sols sablonneux où la vitesse d'infiltration est très élevée, pour que l'irrigation soit efficace il faut que la parcelle soit petite et un débit très fort, ce qui peut rendre l'irrigation une opération très coûteuse. Lorsque les conditions sont favorables, ces types de sol permettent de pratiquer une irrigation mécanisée (aspersion, goutte à goutte).

Pour dimensionner un système d'irrigation gravitaire on doit tenir compte:

- des paramètres variables du sol, tels que la vitesse d'infiltration, la profondeurs des racines des différentes cultures à irriguer;
- des paramètres d'identification du sol tels que la texture, la structure et sa capacité de rétention d'eau;
- des paramètres climatologiques.

De plus, le nivellement du terrain et du réseau des canaux peuvent aider le planificateur à déterminer la dimension de la parcelle à irriguer, le débit à appliquer et la durée d'application de celui-ci.

5.3 La source d'approvisionnement en eau

L'eau destinée à l'irrigation peut provenir: d'un canal, directement de la rivière, d'un réservoir, d'un puit ou d'une source. Le débit d'eau disponible au cours de l'année agricole détermine les types de plantes à cultiver ainsi que la superficie à irriguer. Plus le coût de l'eau d'irrigation est élevé, plus l'effort pour obtenir une irrigation efficace doit être grand.

5.4 La répartition de l'eau aux usagers

En Haïti, dans la plupart des systèmes d'irrigation l'eau disponible est distribuée aux usagers d'après les dispositifs préalablement établis. Souvent l'on constate que la répartition de l'eau à l'étiage ne se fait pas en fonction des besoins des cultures mais en fonction de la facilité de distribution. C'est ainsi qu'à l'ODVA où, à l'heure actuelle, la disponibilité en eau est supérieure aux besoins des usagers qui l'utilisent en permanence, alors que dans le système de la rivière Blanche, ils ne reçoivent l'eau que tous les 22 jours. A Petit Goave l'eau est délivrée aux planteurs tous les 7 jours. Pour que l'irrigation joue son rôle dans l'augmentation de la productivité, elle doit être appliquée au sol dans la quantité et avec la fréquence requise.

Les systèmes d'irrigation en Haïti sont alimentés à partir:

- des rivières par gravité, c'est le cas des systèmes de l'ODVA (rivière de l'Artibonite), Saint Raphaël (rivière Bouyaha);
- des rivières par pompage, comme celui de la Tanderie à Trois Rivières;

- des rivières par gravité pendant la saison humide et par pompage de l'eau souterraine pendant la saison sèche (système de la Rivière Blanche);
- d'une résurgence de l'eau souterraine (source). On a comme exemple le système d'irrigation de Despuzeau.

Pour obtenir le maximum de rendement dans l'agriculture irriguée, on doit préparer dans chaque système d'irrigation un plan de cultures irriguées, lequel fera intervenir tous les intrants de la production agricole en rassurant le planteur de sa récolte.

5.5 Justification du choix de la méthode d'application de l'eau à la parcelle

Le choix de la méthode d'application de l'eau à la parcelle constitue la condition indispensable pour obtenir le maximum de bénéfice en agriculture irriguée. L'irrigation doit entraîner une augmentation de la productivité dont les bénéfices permettront d'amortir l'investissement initial et de faire face aux dépenses que requièrent les services d'opération, l'entretien et l'administration, sans compter le bénéfice net que doit réaliser le planteur qui sera le fruit de ses efforts.

Lorsque l'irrigation est mal réalisée, on constate: des pertes d'eau par ruissellement superficiel, l'érosion de la couche arable du sol et l'accumulation de l'eau en aval, ce qui peut créer des problèmes de drainage. Economiquement, le résultat est une faible rentabilité de l'investissement dans l'installation du système d'irrigation.

Pour chaque type de sol et selon la conjoncture de l'activité agricole il existe une méthode appropriée de l'application de l'eau à la parcelle. La prise en compte de la topographie, le type du sol et de son profil, la disponibilité et la localisation de la source d'eau aident à choisir la méthode qui convient le mieux.

1. L'emploi de petits calants rectangulaires est la plus simple. On peut les utiliser pour l'irrigation du coton, du maïs, du millet et de la luzerne. Avec cette méthode le coût de l'aménagement des terres est très élevé.
2. L'irrigation par digues convient mieux aux cultures denses telles que le riz, la luzerne et les fourrages. Pour pouvoir réaliser une bonne distribution de l'eau, la superficie entre les digues doit avoir une pente nulle.
3. L'irrigation par rigoles convient aux cultures dont les tiges ou les racines sont affectées lorsqu'elles sont en contact prolongé avec l'eau. De cette façon, on peut irriguer la pomme de terre, les légumes en général, le maïs, la canne à sucre, etc.
L'irrigation par corrugations ou microsillons est une variante de l'application de l'eau par rigoles, elle est utilisée surtout dans des cultures dont l'écartement entre chaque plante est très réduit (luzerne et fourrages).
4. L'irrigation par immersion est utilisée pour les fourrages permanents dont le rôle est de protéger le sol contre l'érosion hydrique.
5. L'irrigation par aspersion s'emploie dans les sols à profondeur réduite, les sols sablonneux et dans les terrains à pente raide. Cette méthode est applicable à toutes les cultures.
6. L'irrigation goutte à goutte est utilisée dans tous les terrains et pour tous les types de sols. Cette méthode est surtout recommandée lorsque l'eau est rare.

Les cultures irriguées par aspersion ou par goutte à goutte doivent être très rentables vu le coût d'investissement élevé que ce système entraîne.

5.6 Critères à considérer dans le choix de la méthode d'application de l'eau à la parcelle

Pour que la méthode d'application de l'eau à la parcelle soit efficiente

et efficace il faut que l'utilisateur et le planificateur de l'irrigation considèrent les critères suivants:

- l'irrigation doit donner à l'utilisateur une augmentation des bénéfices nets (après avoir considéré les coûts de l'acquisition, de l'installation de l'opération et de l'entretien du système).
- L'opération de la méthode choisie doit tenir compte de l'économie de l'eau, du contrôle de l'érosion et éviter le lessivage des fertilisants.
- la méthode doit permettre une disponibilité d'eau de qualité en quantité ainsi qu'une distribution temporelle.
- Les types de cultures, leur rotation et la disponibilité en main d'oeuvre.

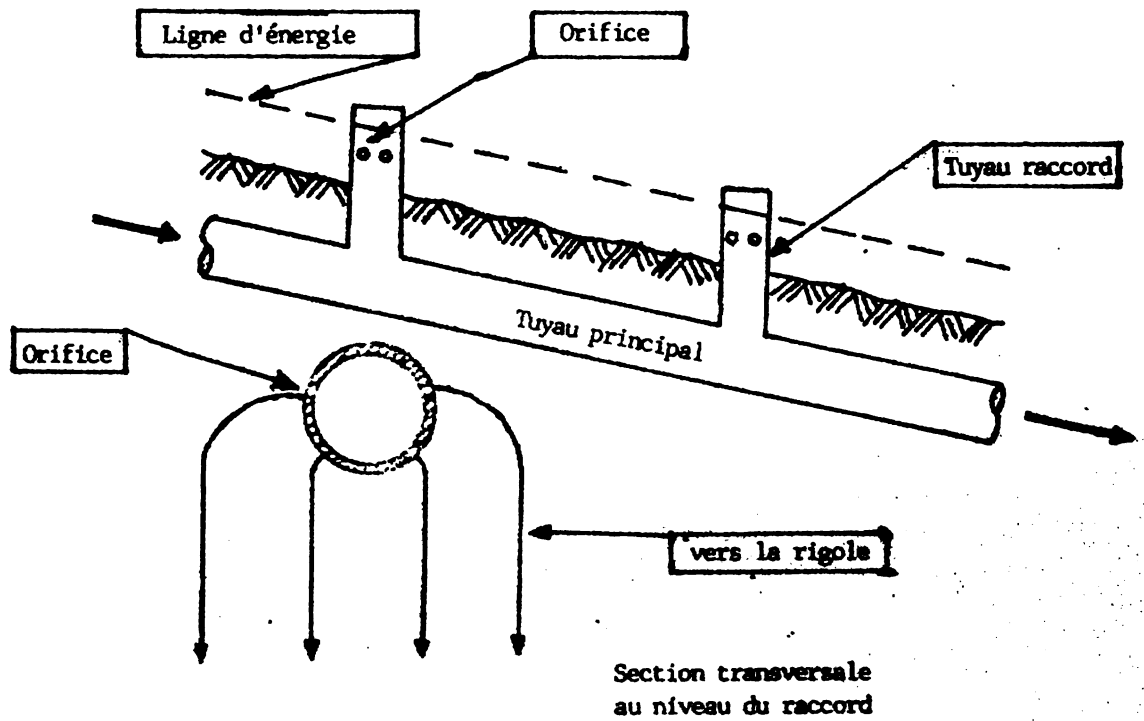


Fig. V-1: Schéma de l'irrigation par rigoles alimentées par un tuyau principal pourvu de tuyaux à raccords ouverts.

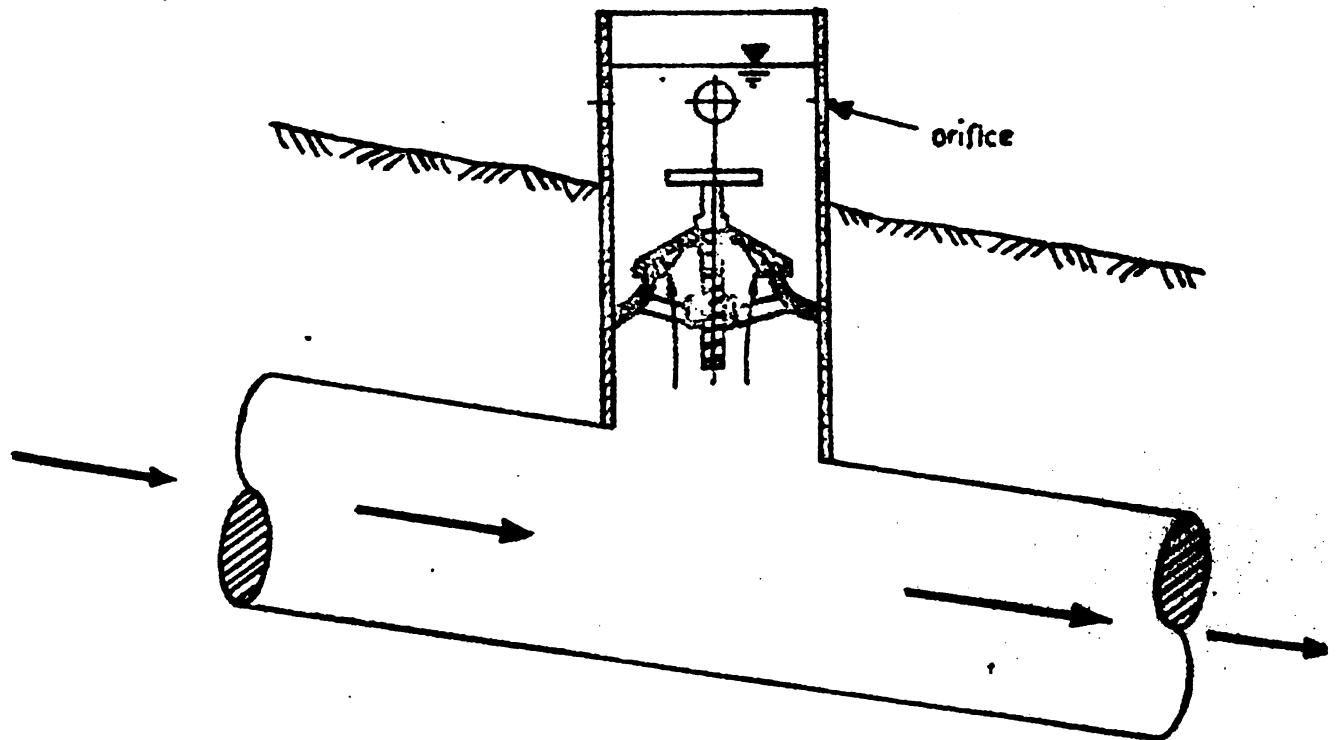


Fig. V-2: Schéma d'un tuyau d'alimentation pourvu d'une vanne robinet.

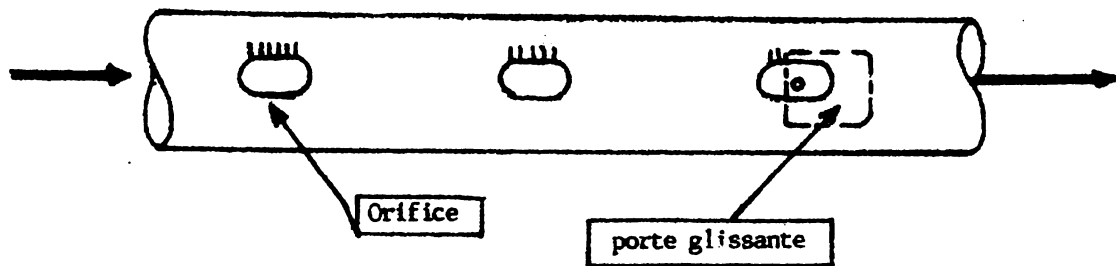


Fig. V-3: Schéma d'un tuyau perforé pour l'irrigation par rigoles.

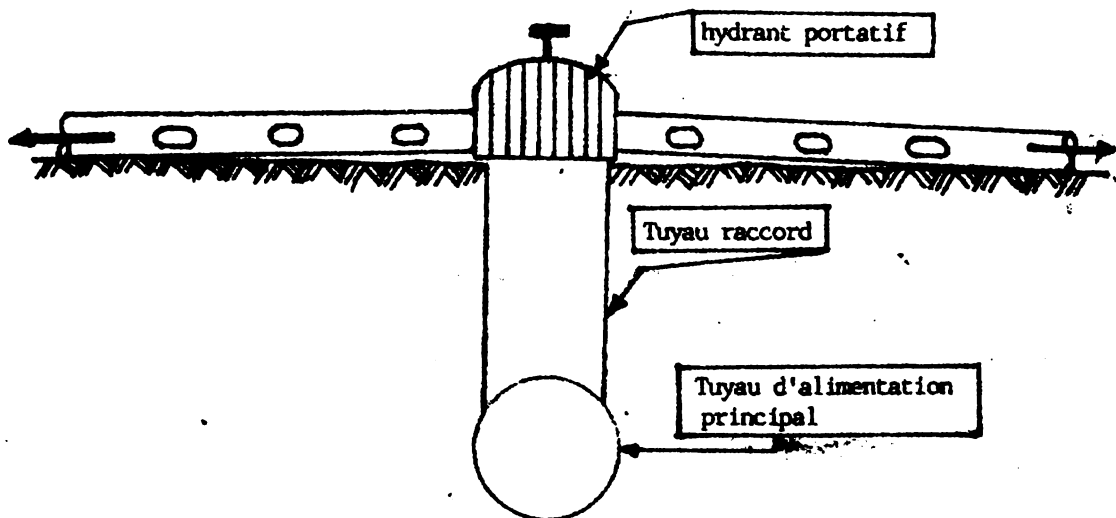


Fig. V-4: Tuyau perforé pourvu d'un double hydrants portatifs.

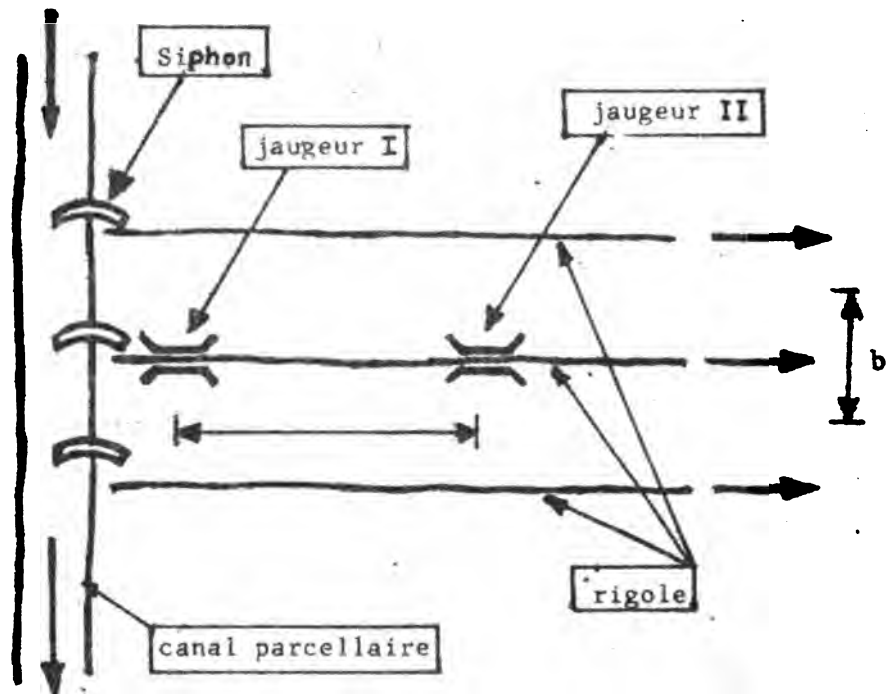


Fig. V-5: Schéma d'une installation pour la réalisation d'un test d'infiltration dans les rigoles.

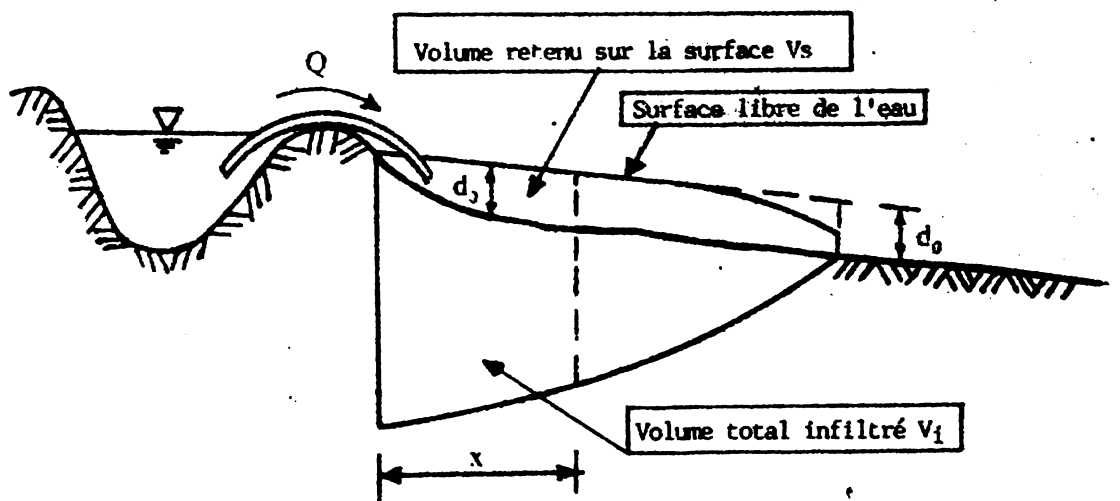


Fig. V-6: Schéma pour déterminer l'infiltration dans les rigoles.

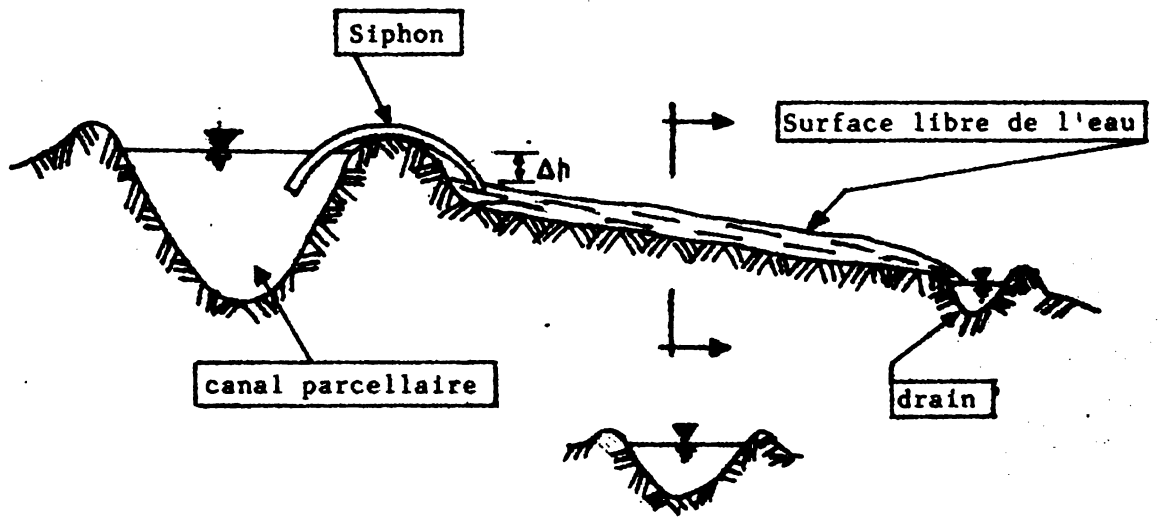


Fig. V-7: Schéma de l'irrigation par rigoles en pente.

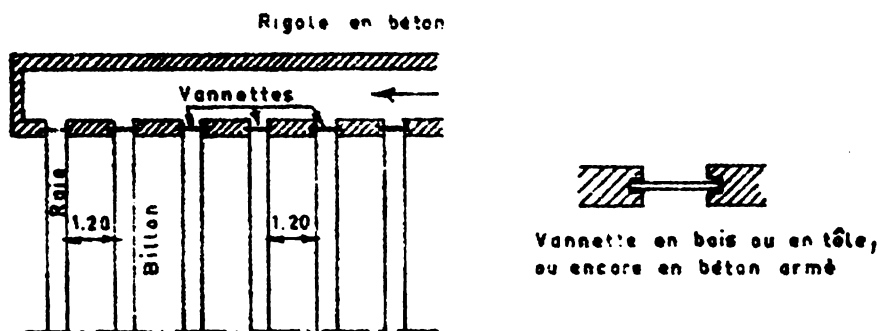


Fig. V-8: Schéma d'un dispositif pour l'irrigation par rigoles.

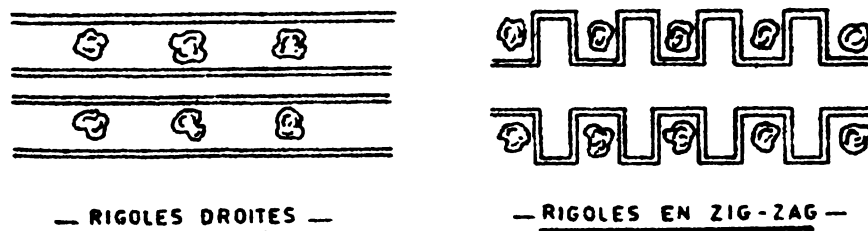


Fig. V-9: Schéma des rigoles.

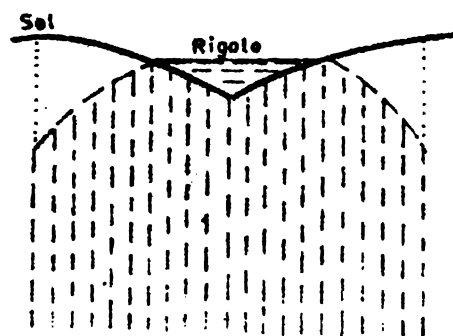


Fig. V-10: Schéma de l'infiltration de l'eau dans l'irrigation par rigoles.

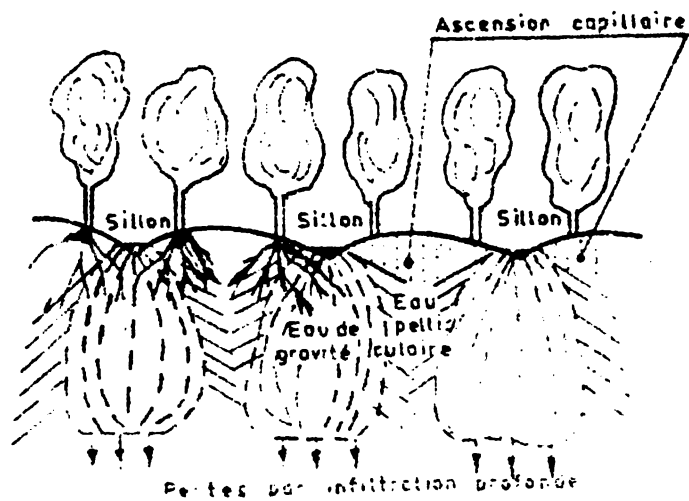
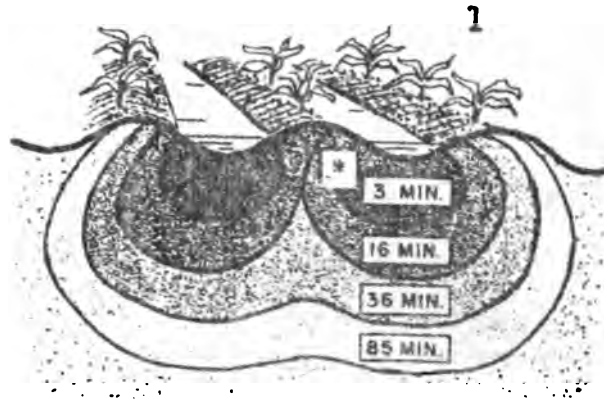
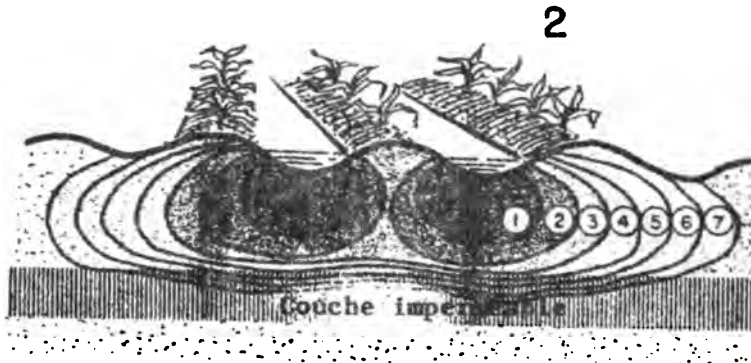


Fig. V-11: Schéma de la distribution de l'humidité dans le sol lorsqu'on irrigue par rigoles.



Sol uniforme

Pénétration de l'eau dans un sol uniforme



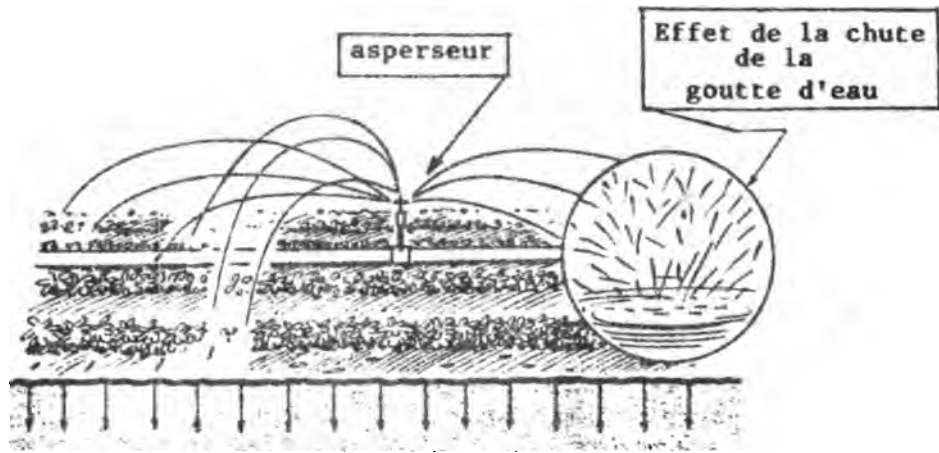
* ① 13 MIN. ② 22 MIN. ③ 40 MIN. ④ 64 MIN. ⑤ 74 MIN. ⑥ 125 MIN. ⑦ 196 MIN.
Effet d'une couche imperméable dans la pénétration de l'eau



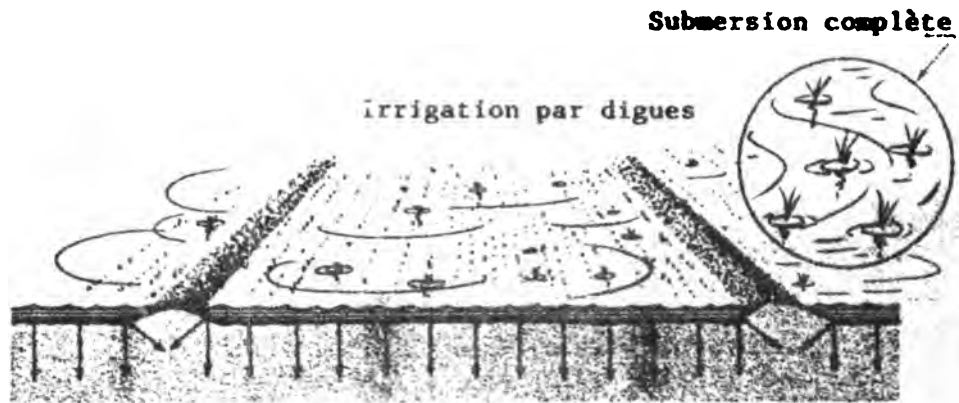
Effet d'une couche de sable dans la pénétration de l'eau

Le temps en minute montré dans les schémas est mesuré à partir de l'application de l'eau.

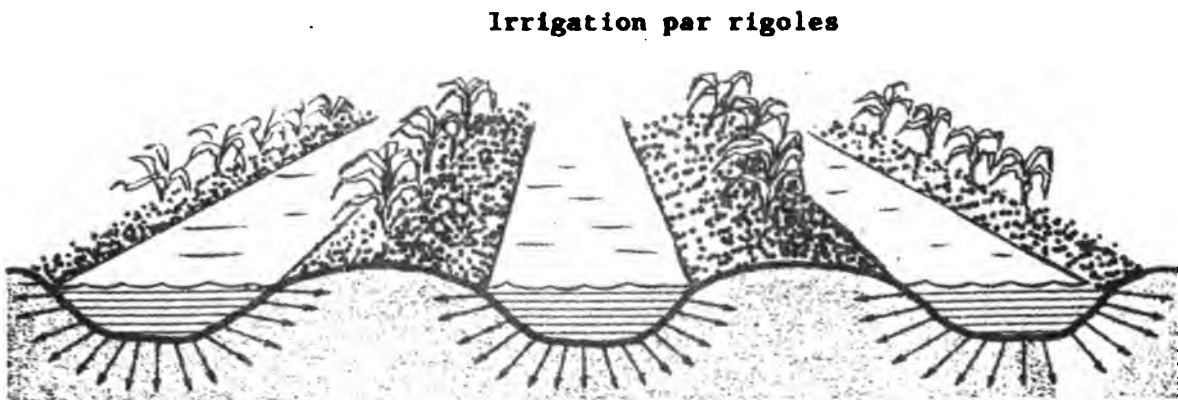
Fig. V-12: Schémas de la pénétration de l'eau dans l'irrigation par rigoles.



Descente verticale de l'eau

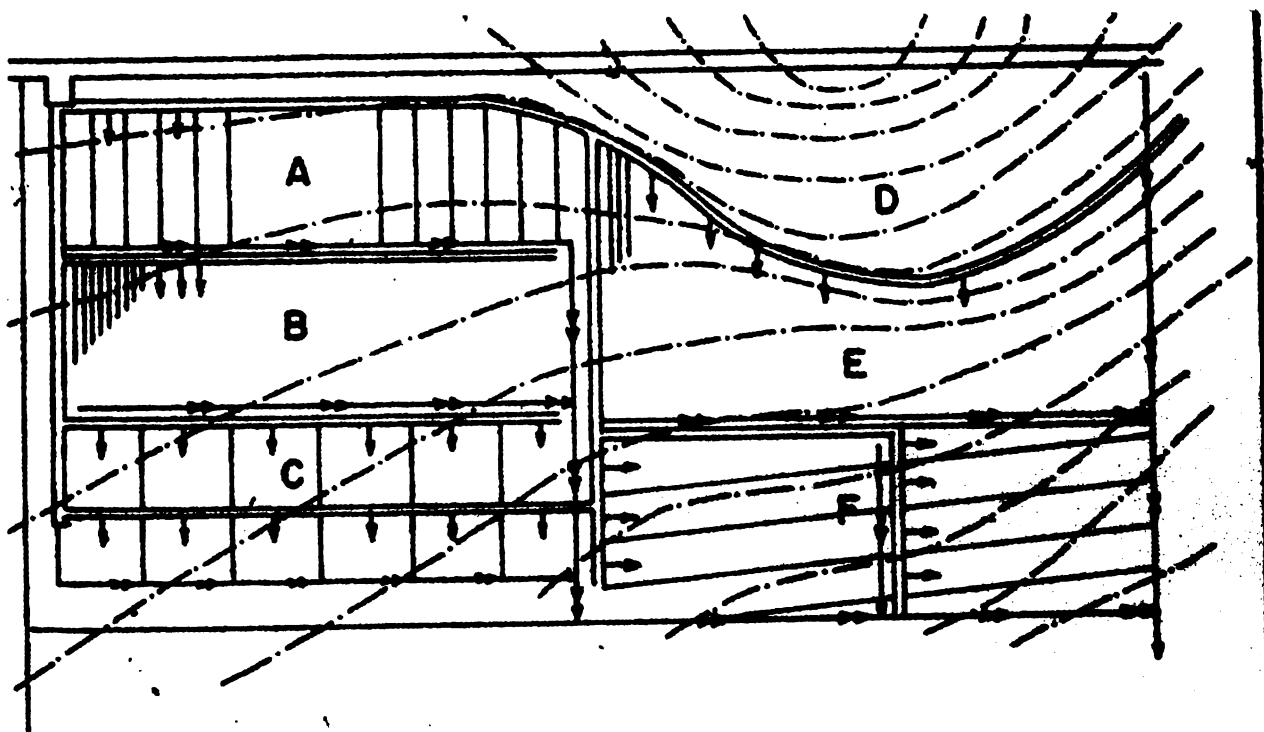


Descente verticale de l'eau



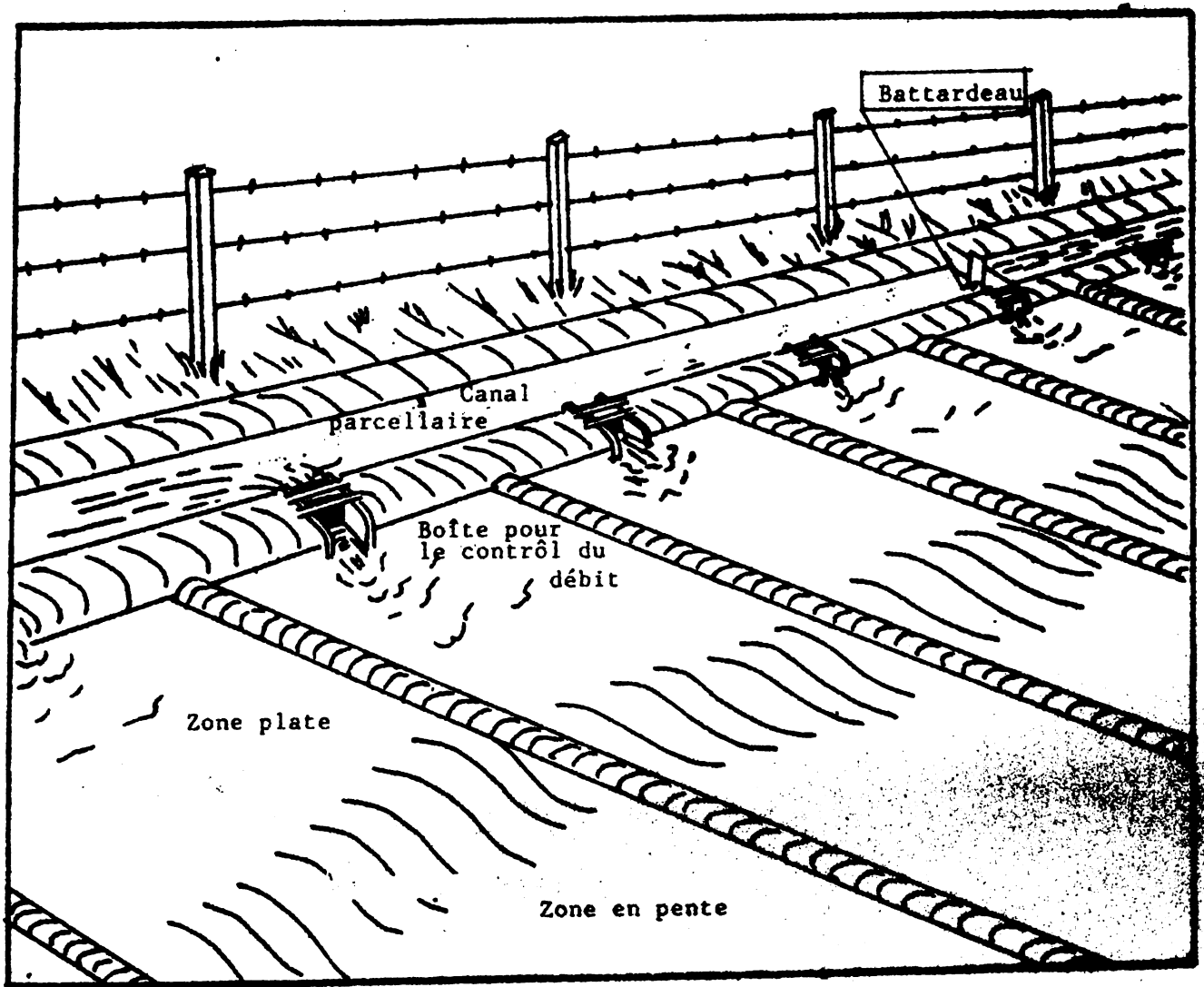
Descente verticale de l'eau ainsi que le mouvement latéral à partir de la rigole.

Fig. V-13: Schéma de l'infiltration d'après la technique d'application de l'eau à la parcelle.



- A. Irrigation par planches dans un terrain nivelé
- B. Irrigation par rigoles droits dans un terrain nivelé
- C. Irrigation par bassin rectangulaire dans un terrain nivelé
- D. Terrain élevé non-irrigué
- E. Irrigation par rigoles suivant les courbes de niveau et micro-sillons
- F. Irrigation par bassin suivant les courbes de niveau.

Fig. V-14: Schéma d'un terrain agricole de topographie irrégulière irrigué par différentes techniques.



Section transversale au niveau de la boîte de contrôle.

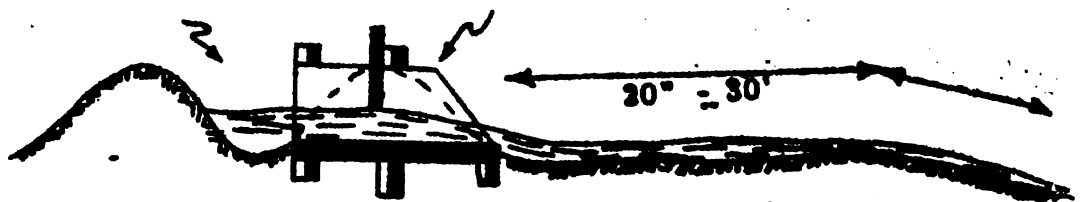
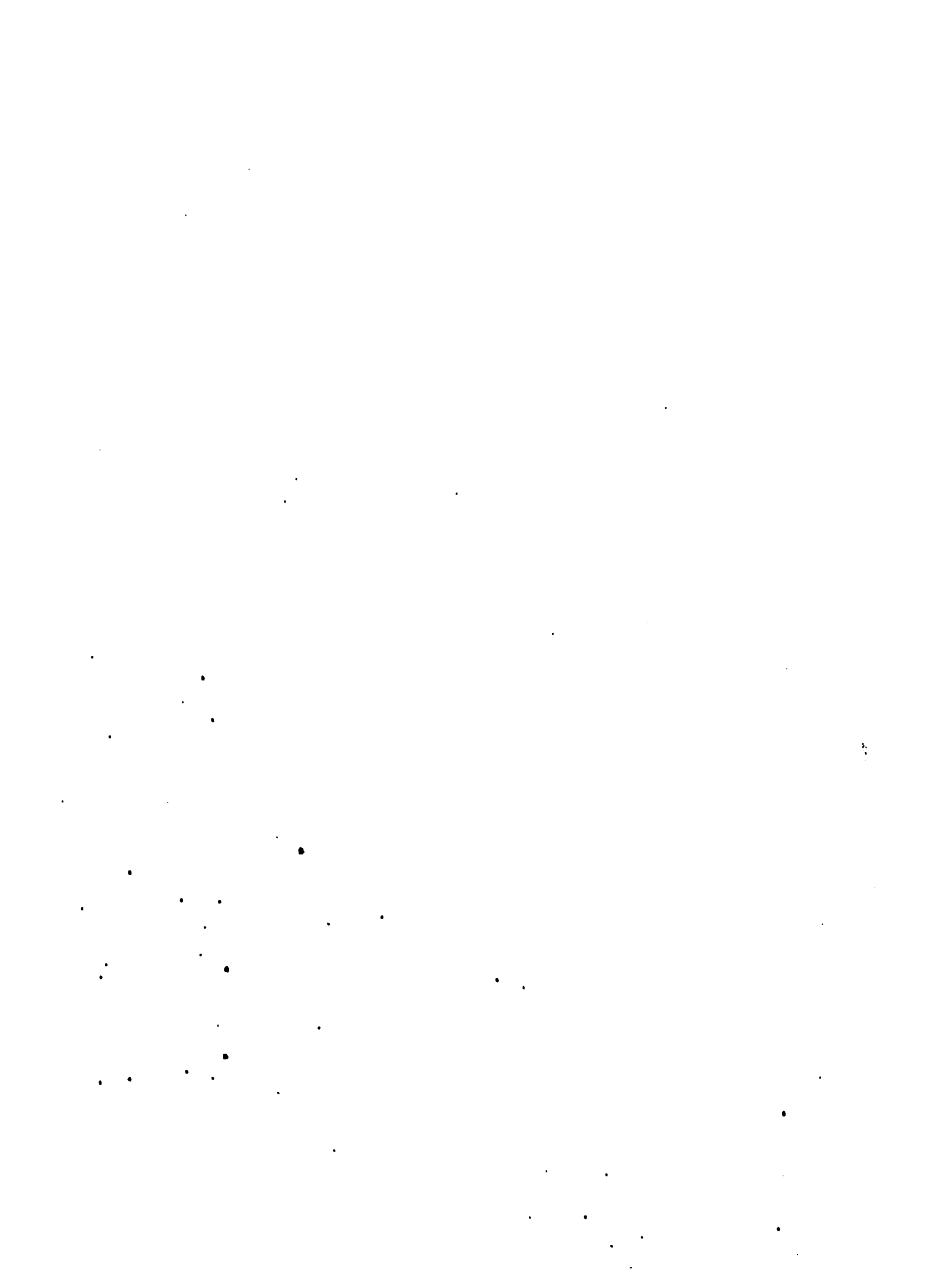


Fig. V-15: Schéma de l'irrigation par calants



FECHA DE DEVOLUCION			

IICA
 A2/HT
 86-033
 Autor v.1

Título: Methodes d'irrigation des parcelles cultivees

Fecha Devolución	Nombre del solicitante



