

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DU DEVELOPPEMENT RURAL
ET DES PECHES MARITIMES
OFFICE REGIONAL DE MISE EN VALEUR AGRICOLE DU TAFILALET
ROYAUME DU MAROC

**ETUDE DE DEVELOPPEMENT
DU PROJET DE DEVELOPPEMENT DES COMMUNAUTES RURALES
A TRAVERS LA REHABILITATION DES KHETTARAS
DANS LES REGIONS SEMI-ARIDES DE L'EST SUD-ATLASIQUE
AU ROYAUME DU MAROC**

**MANUEL POUR L'EXPLOITATION DES EAUX
DE KHETTARAS**

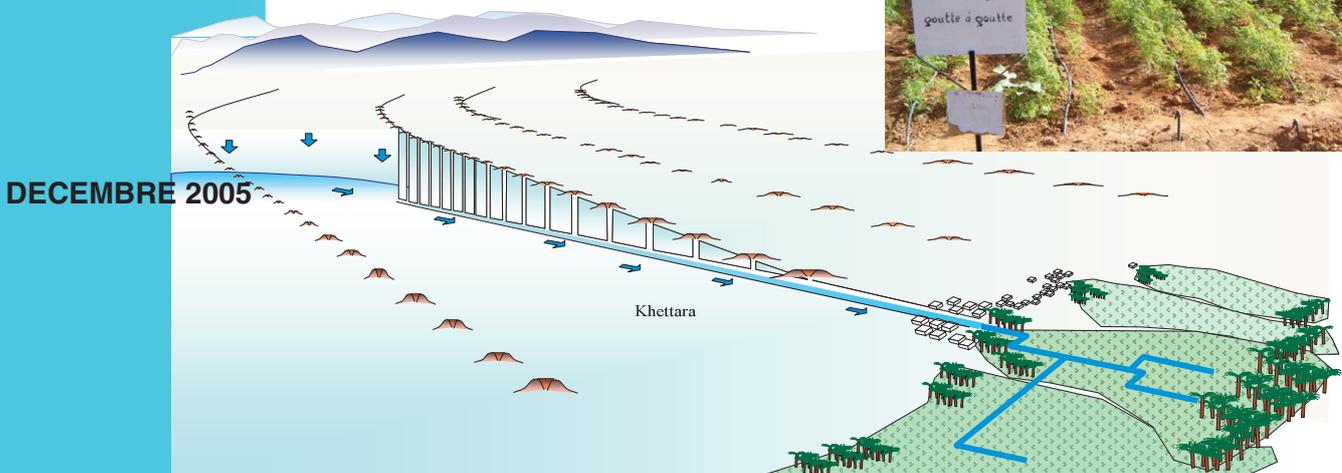


Table des Matières

1.	Description Générale	1
1.1	Objectifs du Manuel.....	1
1.2	Situation actuelle de l'exploitation des eaux des khetaras	1
2.	Economie en eau dans les zones d'irrigation des khetaras	3
2.1	Bilan d'eau du système d'irrigation des khetaras	3
2.2	Approche de l'économie en eau.....	3
2.2.1	Au niveau du canal d'irrigation	3
3.	Economie en eau au niveau du canal d'irrigation	4
3.1	Classification des canaux d'irrigation.....	4
3.2	Plan de réhabilitation des canaux.....	5
3.2.1	Procédure d'investigation et de conception	5
3.2.2	Réhabilitation des canaux	7
3.2.2	Réhabilitation des canaux	8
3.2.3	Amélioration des prises de distribution.....	14
3.3	Effets en économie en eau de la réhabilitation des canaux	15
3.4	Maintenance & Exploitation	16
4.	Economie en eau au niveau de l'exploitation agricole.....	17
4.1	Mesures économes en eau au niveau de l'exploitation agricole	17
4.1.1	Approche de l'économie en eau.....	17
4.1.2	Les mesures économes en eau proposées.....	18
4.2	Plan d'irrigation à économie en eau.....	21
4.2.1	Réserve facilement utilisable (RFU).....	21
4.2.2	Consommation en eau (WC).....	22
4.2.3	Intervalles d'irrigation en nombre de jours.....	24
4.3	Irrigation à la raie.....	25
4.4	Irrigation au goutte à goutte.....	26
4.4.1	Classification de l'irrigation au goutte à goutte	26
4.4.2	Caractéristiques de l'irrigation.....	28
4.4.4	Capacité du réservoir	36
4.4.5	Procédure de la conception	38
4.4.6	Maintenance.....	40

Tableaux

	Page
Tableau 3.2.1	Caractéristiques de types de canaux 9
Tableau 3.2.2	Bouches de sortie améliorées..... 14
Tableau 3.2.3	Effet de la réhabilitation des canaux sur l'économie d'eau 16
Tableau 4.1.1	Approches de l'économie d'eau 17
Tableau 4.2.1	RFU sur trois périmètres de démonstration 21
Tableau 4.2.2	Evapotranspiration (ET _o ; mm/jour) 23
Tableau 4.2.3	Valeur de référence du coefficient de culture des légumes..... 23
Tableau 4.2.4	Consommation d'eau (légumes des périmètres de démonstration)..... 24
Tableau 4.2.5	Intervalles d'irrigation à chaque périmètre de démonstration..... 25
Tableau 4.3.1	Longueur de sillon maximum selon le type de sol..... 25
Tableau 4.4.1	Filtre de chaque type de sol 34
Tableau 4.4.2	Capacité d réservoir par intervalle d'irrigation 38
Tableau 4.4.3	Entretien des installations de l'irrigation goutte à goutte..... 40

Figures

	Page
Figure 2.2.1	Volume des fournitures des Khetaras 2
Figure 2.2.2	Bilan d'eau des champs irrigués..... 3
Figure 3.2.1	Schéma d'un réseau de canaux d'irrigation..... 5
Figure 3.2.2	Schéma des canaux d'irrigation de la khetara Oustania..... 6
Figure 3.2.3	Diagramme d'investigation et de conception pour la réhabilitation des canaux ... 7
Figure 3.2.4	Traversée de la Khetara Lambarkia..... 12
Figure 3.2.5	Conduite de canal d'irrigation..... 13
Figure 4.1.1	Mesures d'économie d'eau..... 19
Figure 4.2.1	Réserve facilement utilisable (RFU) 21
Figure 4.3.1	Largeur de sillon maximum pour chaque type de sol..... 26
Figure 4.4.1	Plan d'irrigation en goutte à goutte 30
Figure 4.4.2	Disposition des tubes pour l'irrigation goutte à goutte 32
Figure 4.4.3	Manomètre pour l'irrigation goutte à goutte 36
Figure 4.4.4	Réservoir pour l'irrigation goutte à goutte 37
Figure 4.4.5	Diagramme de conception des canaux d'irrigation goutte à goutte 39

1. Description Générale

1.1 Objectifs du Manuel

Des sècheresses fréquentes et une multiplication effrénée des stations de pompage ont abouti à un rabattement prononcé de la nappe souterraine et la diminution du débit des khattaras dans la zone du Tafilalet.

Il ne fait pas de doute que la réhabilitation des khattaras elles mêmes est le moyen le plus efficace pour augmenter leur débit, mais il n'est pas suffisant à lui seul pour favoriser le développement durable des activités agricoles et des communautés rurales dépendantes des khattaras.

L'économie en eau est considérée, selon la thèse de ce manuel, comme la condition incontournable à l'utilisation efficace des eaux des khattaras.

Dans le contexte actuel, les contraintes de l'utilisation efficace des eaux des khattaras peuvent se manifester au niveau aussi bien des canaux d'irrigation que des pratiques agricoles. C'est-à-dire, par d'importantes pertes d'eau par infiltration dans les canaux en terre et par la généralisation de l'irrigation en bassin dont l'efficacité est très faible.

Ainsi, la finalité de ce manuel est de proposer différentes manières d'accroître l'efficacité de l'exploitation des eaux des khattaras. Il préconise que des modifications et des mises à jour soient apportées au fur et à mesure de l'acquisition ultérieure d'informations mais tout en tenant compte des informations obtenues à ce jour.

1.2 Situation actuelle de l'exploitation des eaux des khattaras

L'eau souterraine captée par la khattara est amenée gravitairement par un canal à surface libre vers les agglomérations et les zones d'irrigation. Cette eau est utilisée comme eau domestique, en eau potable, d'abreuvement du bétail ainsi que pour l'irrigation. Parallèlement, les populations du Tafilalet dépendent également de l'eau fournie par l'ONEP, par le projet PAGER, etc.

Récemment et en 2003, l'ONEP a étendu son réseau aux zones rurales dans une proportion de 82 % de la couverture totale potentielle et il projette d'atteindre les 97 % de ce potentiel à l'issue de l'an 2007.

Cependant, les populations de certains villages munis de bornes fontaines utilisent toujours l'eau des khattaras en eau domestique puisqu'elle est gratuite.

D'après l'enquête sur la demande en eau réalisée par l'ONEP, la consommation journalière en eau potable et en eau domestique est de 10 litres par personne.

En outre, la consommation journalière en eau d'abreuvement du bétail est estimée à 50 litres par jour par tête de bovin et 10 litres par jour par tête d'ovins et de caprins. D'après l'enquête socio-économique faite dans le cadre de cette étude, un foyer dispose en moyenne de trois bovins, huit ovins et dix caprins.

L'évaluation de chaque catégorie d'eau consommée a été faite, dans le cadre de cette étude, sur la base des

superficiés irriguées, de la démographie et du nombre de foyers dépendant de chaque khattara.

Les résultats de cette évaluation ont révélé que 93 % des ressources des khattaras sont utilisées en eau d'irrigation et les 7 % restants le sont pour les autres usages.

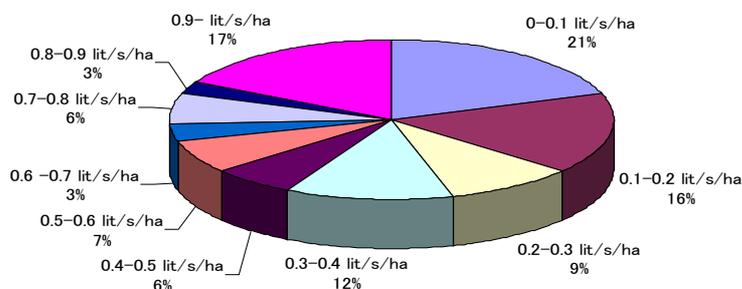
Cela signifie que l'économie en eau d'irrigation est extrêmement importante.

Afin de cerner la question du bilan d'eau, de l'offre et de la demande des zones de khattaras, les besoins en eau d'irrigation ont été évalués, dans le contexte de l'étude, par l'application des paramètres suivants :

- 1) L'évapotranspiration ET_0 de référence ; obtenue par la méthode Blaney-Criddle.
- 2) Le coefficient de cultures ; données fournies par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- 3) Le système des cultures ; données obtenues par l'étude le mode d'occupation des sols dans les zones de sept khattara type.

Les calculs font ressortir que les besoins en eau des khattaras est l'ordre de 0,31 à 0,52 lit/sec/ha au maximum.

Néanmoins, l'eau des khattaras ne peut satisfaire la totalité des besoins comme le montre la figure ci-après. L'eau fournit dans 58 % des khattaras est inférieure aux besoins qui sont de 0,4 lit/sec/ha, alors que dans les 37 % restantes elle n'est que de 0,2 lit/sec/ha. En d'autres termes, la moitié seulement des khattaras arrivent à couvrir les besoins des superficies irrigables, et uniquement le tiers des khattaras sont à même de satisfaire la moitié des besoins en eau.



Note: Cette figure est élaborée à partir des données sur les khattaras recueillies lors de l'étude de l'inventaire entreprise en 2003.

Figure 2.2.1 Volume des fournitures des Khettaras

La quantité d'eau des khattaras est un facteur déterminant de stabilité de la production agricole des oasis. Il va sans dire qu'il faudrait maintenir ou augmenter les apports en eau par la réhabilitation des khattaras afin de contrecarrer les effets de la diminution des ressources en eau.

En outre, il est indispensable d'utiliser ces ressources efficacement par l'amélioration des équipements et des modes d'irrigation traditionnels qui constituent une entrave sérieuse à l'utilisation appropriée du réseau d'irrigation à partir des khattaras.

2. Economie en eau dans les zones d'irrigation des khetaras

2.1 Bilan d'eau du système d'irrigation des khetaras

La figure ci-après illustre le concept du bilan d'eau dans les zones d'irrigation par khetaras.

Une partie non négligeable des eaux des khetaras est perdue à cause des pertes de charge et par évaporation lors de son écoulement dans les canaux.

Cependant, l'eau d'irrigation qui atteint les exploitations agricoles n'est pas entièrement destinée à irriguer les cultures, car une certaine quantité est perdue par évaporation et par percolation. La seule quantité d'eau qui reste disponible aux plantes est celle qui est en réserve dans le sol entre la $pF_{2,0}$ (la capacité au champ) et $pF_{4,2}$ (le point de flétrissement permanent).

Cependant, afin de fournir une quantité suffisante à la rhizosphère, on oeuvre pour la réduction des pertes pour tirer le plus grand avantage des ressources limitées des khetaras.

Dans ce contexte, on examinera chaque question au stade de l'adduction au niveau des canaux et aussi au niveau des exploitations agricoles.

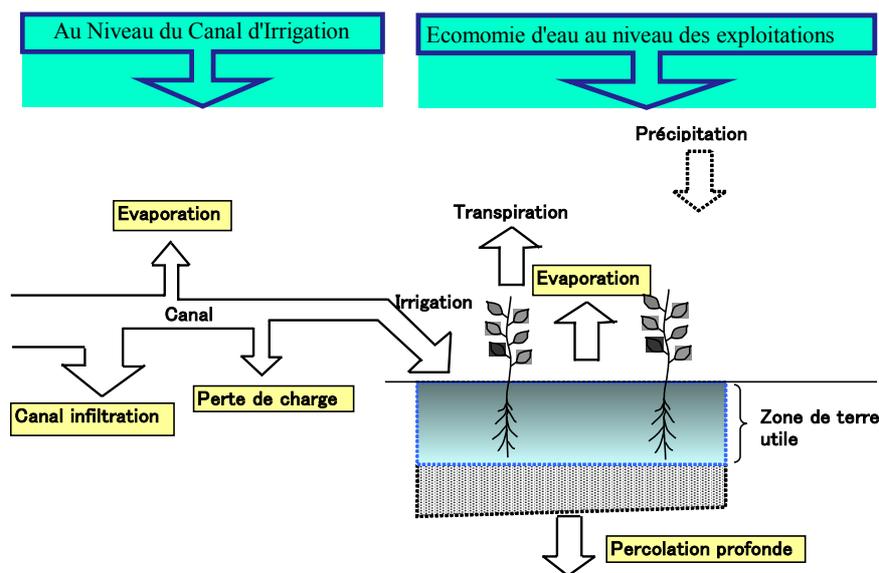


Figure 2.2.2 Bilan d'eau des champs irrigués

2.2 Approche de l'économie en eau

2.2.1 Au niveau du canal d'irrigation

Un réseau d'irrigation a été conçu pour la distribution des eaux des khetaras à toutes les fermes de chaque zone de khetara.

Du fait que les canaux d'irrigation sont en majorité des canaux en terre, c'est à dire non revêtus en béton, les pertes en infiltration sont, d'après les résultats de l'étude de vérification, de l'ordre de 18 à 22 %.

D'après les résultats de l'étude de vérification, Les canaux en terre comptent environ 73 % de la totalité

des canaux principaux et secondaires et presque 100 % des canaux à l'intérieur des exploitations agricoles.

Donc, le revêtement en béton des canaux en terre réduira incontestablement les pertes par infiltration.

D'ailleurs, aucun ouvrage de distribution n'a été aménagé tout au long des canaux.

Les usagers recourent en principe au remplissage du canal avec de la terre en guise de barrière pour faire dévier l'eau vers leurs terres. Les pertes en eau par infiltration au niveau de ces points de distribution varient de 11 à 14 % , d'après les résultats de l'étude de vérification.

La quantité d'eau infiltrée n'est pas négligeable si on tient compte du fait qu'il existe un grand nombre de ces points de distribution tout au long du canal.

Donc, l'amélioration de ces prises d'eau est nécessaire non seulement du point de vue de l'économie en eau mais aussi en termes de réduction du labeur requis par la gestion de l'eau.

2.2.2 Au niveau des exploitations agricoles

Le mode d'irrigation en bassin est le mode traditionnel d'irrigation dans les oasis qui consiste à faire inonder, à tour de rôle des agriculteurs, des lopins de terre de petite taille. Ce mode est considéré comme étant un obstacle à l'utilisation efficace des ressources en eau à cause de la quantité importante d'évaporation proportionnelle à la surface inondée, du décalage entre les irrigations et de l'inégalité de profondeur de remplissage du bassin qui conduit à des pertes par infiltration.

En conséquence, les techniques à économie en eau telle que l'irrigation à la raie ou au goutte à goutte seront avantageusement appliquées dans les oasis afin de réaliser une efficacité accrue d'utilisation de l'eau.

3. Economie en eau au niveau du canal d'irrigation

3.1 Classification des canaux d'irrigation

La figure ci-après est une illustration du réseau des canaux d'irrigation dans la zone de khattara, qui sert à l'acheminement et à la distribution des eaux à partir de l'exutoire de la khattara jusqu'aux parcelles individuelles.

Les canaux d'irrigation sont classifiés en trois catégories, le canal principal, le canal secondaire et les canaux à l'intérieur des exploitations agricoles.

Le canal principal est défini comme étant l'ouvrage d'adduction d'eau d'irrigation à partir de l'exutoire de la khattara jusqu'au canal secondaire. Ce dernier est une ramification du canal principal qui approvisionne en eau les parcelles individuelles. Les canaux creusés à même le sol des fermes individuelles sont ceux qui distribuent l'eau à chaque lopin de terre.

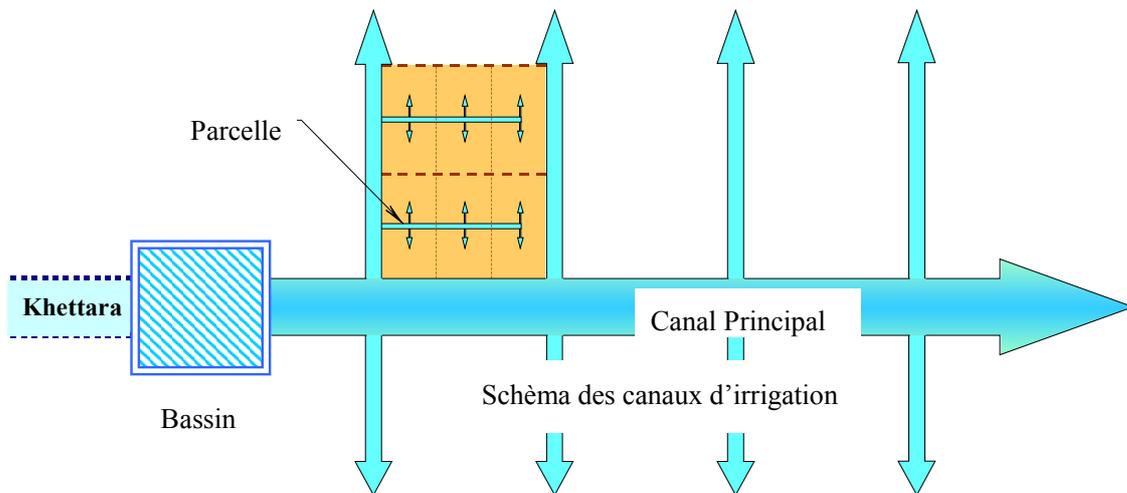


Figure 3.2.1 Schéma d'un réseau de canaux d'irrigation

3.2 Plan de réhabilitation des canaux

3.2.1 Procédure d'investigation et de conception

Des travaux de réhabilitation des canaux d'irrigation seront proposés en tenant compte de l'économie en eau, de l'exploitation et de la gestion appropriées, etc. En outre, on doit tenir compte, dans le plan de réhabilitation, de l'harmonisation avec l'environnement et des conditions socio-économiques de la zone de khettara.

Avant d'entamer les investigations et de définir la conception menant à la formulation du plan de réhabilitation, le diagramme schématisé suivant devrait être élaboré sur la base des résultats de la reconnaissance sur le terrain et ce afin de pouvoir définir le contour de la zone d'irrigation proposée.

Khettara Oustania
Schéma des canaux d'irrigation

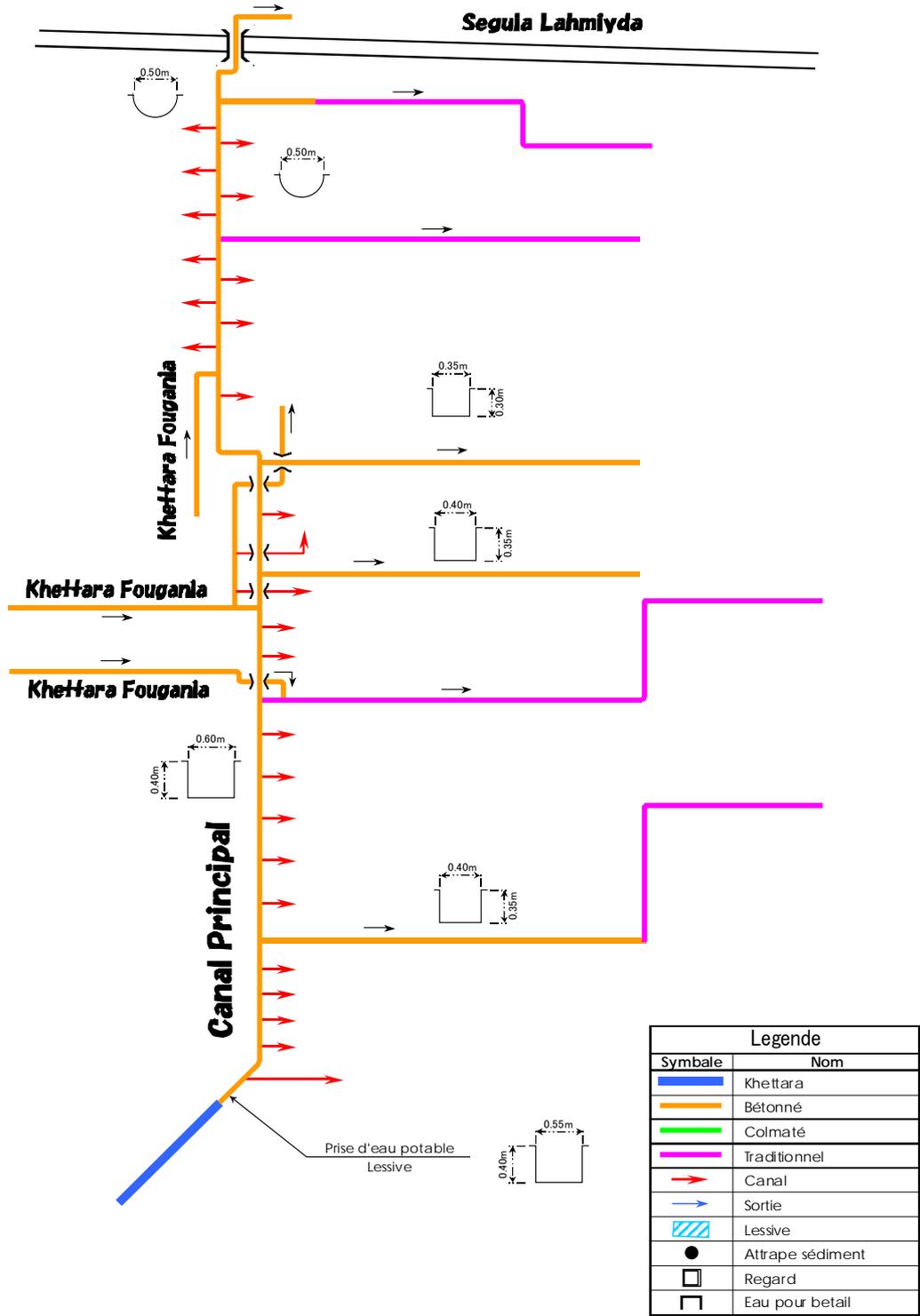


Figure 3.2.2 Schéma des canaux d'irrigation de la khettara Oustania

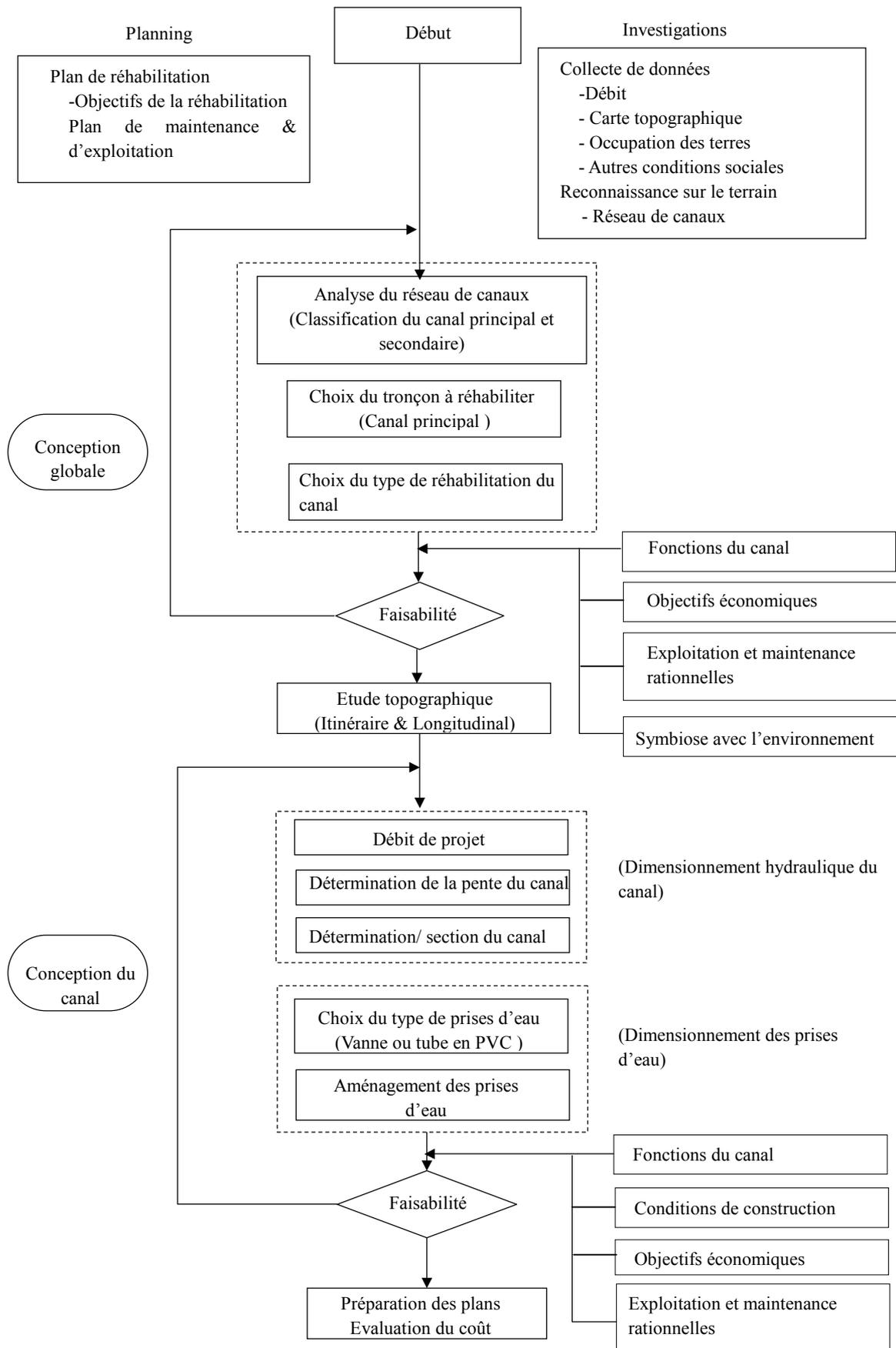


Figure 3.2.3 Diagramme d'investigation et de conception pour la réhabilitation des canaux

3.2.2 Réhabilitation des canaux

(1) Débit de projet

La variation du débit est influencée par 1) Les fluctuations saisonnières des précipitations, 2) les sécheresses consécutives, 3) la fréquence des crues et l'impact du pompage excessif des eaux souterraines dans la zone de la khattara.

En considération de ces facteurs, le débit de projet permettra de dimensionner le canal et de fixer l'allure de la pente de son radier.

Dans le cadre de ce manuel, le débit de projet est défini comme étant la valeur maximale du débit annuel.

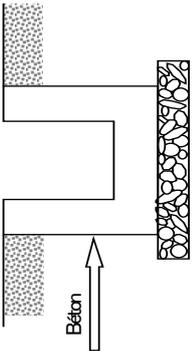
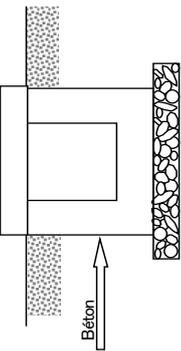
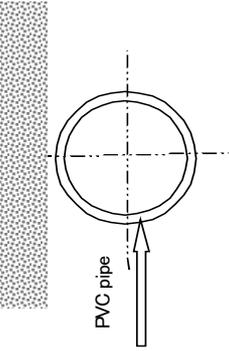
(2) Choix du type de canal

Le choix du type de canal doit être pertinemment fait puisqu'il est en rapport étroit avec le coût des constructions et les travaux d'entretien. Plusieurs facteurs doivent être pris en considération tel que le débit de projet, le coût des constructions, les conditions naturelles et sociales, l'exploitation et la maintenance.

En général, les canaux des zones de khattara peuvent être de trois types, le canal à ciel ouvert, le canal couvert et les conduites.

Les caractéristiques de chaque type d'ouvrage sont données dans le tableau ci-après y compris la section type et les photos.

Tableau 3.2.1 Caractéristiques de types de canaux

Canal type	Description	Figure	Photo
Canal à ciel ouvert	<ul style="list-style-type: none"> - Construction et réparation aisées. - Maintenance aisée. - Coût inférieur à celui d'autres type. - Contrôle de qualité difficile - Difficulté d'empêcher le flux du sable ou autres matériaux dans le canal 		
Canal couvert	<ul style="list-style-type: none"> - Le canal couvert empêche la terre et autres matériaux de pénétrer dans le canal. - Coût plus élevé que celui du canal à ciel ouvert. - Qualité difficile à contrôler. - Le couvercle doit être déplacé lors des travaux de maintenance. 		
Conduite	<ul style="list-style-type: none"> - Les conduites empêche la terre et autres matériaux de pénétrer dans le canal - Un bassin de décantation est nécessaire pour empêcher les matériaux de s'introduire dans la conduite. - Un matériel de bonne qualité peut être installé après son contrôle en usine. 		

(3) Choix de l'itinéraire du canal

Ce manuel traite des travaux de réhabilitation des canaux en terre existants, donc les critères de choix sont résumés ci-après:

- 1) Le tracé proposé est le même que celui déjà en place.
- 2) Le tracé ne doit pas déranger les palmiers plantés au bord des canaux existants étant donné leur valeur en tant que source de revenu pour l'agriculteur.
- 3) Le tracé des conduites doit être aussi droit et court que possible afin de minimiser le coût des constructions. Cependant, le consentement des agriculteurs doit être acquis avant l'achèvement des travaux.

(4) Conception hydraulique

Les dimensions des coupes transversales pour la réhabilitation des canaux sont déterminées par le débit de projet.

La capacité des canaux est calculée au moyen de l'équation suivante:

$$Q = A \times V$$

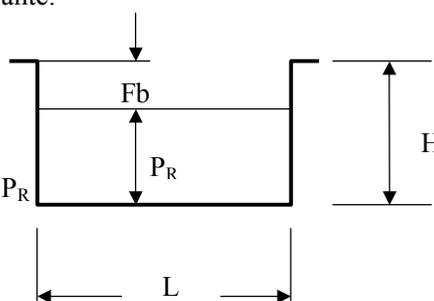
Où, Q; débit (m³/sec)

A; Aire de la coupe transversale (m²)

L; largeur du canal (m)

P_R; profondeur du canal (m)

V; vitesse moyenne (m/sec)



$$A = L \times P_R$$

On appliquera la formule de Manning au calcul de la vitesse d'écoulement dans le canal.

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Où, I; gradient hydraulique (gradient du lit du canal)

R; Rayon hydraulique (m) $R = A/P$

P; périmètre humecté (m) $P = 2 \times P_R + L$

Matériaux	Coefficient de rugosité; n		
	Minimum	Normale	Maximum
Béton (coulé sur place)	0.012	0.015	0.016
Conduites en béton	0.011	0.013	0.014
Conduites en PVC	-	0.012	-

n; coefficient de rugosité (la valeur standard est appliquée)

(5) Dimensions du canal

1) Gradient du radier du canal proposé

Le gradient du radier du canal proposé sera en principe identique à celui actuellement en usage. La différence entre les cotes de niveau du radier du canal existant et de celui du canal proposé doit être maintenue autour de 10 cm afin de garantir la dérivation continue de l'eau d'irrigation vers les parcelles.

2) La revanche

Pour déterminer la hauteur du canal, on prévoit une revanche qui doit être surajoutée au dessus de l'écoulement du débit de projet.

$$H=D+Fb$$

$$Fb=0.05 \times D+Hv+0.05$$

Où, H; hauteur du canal (m)

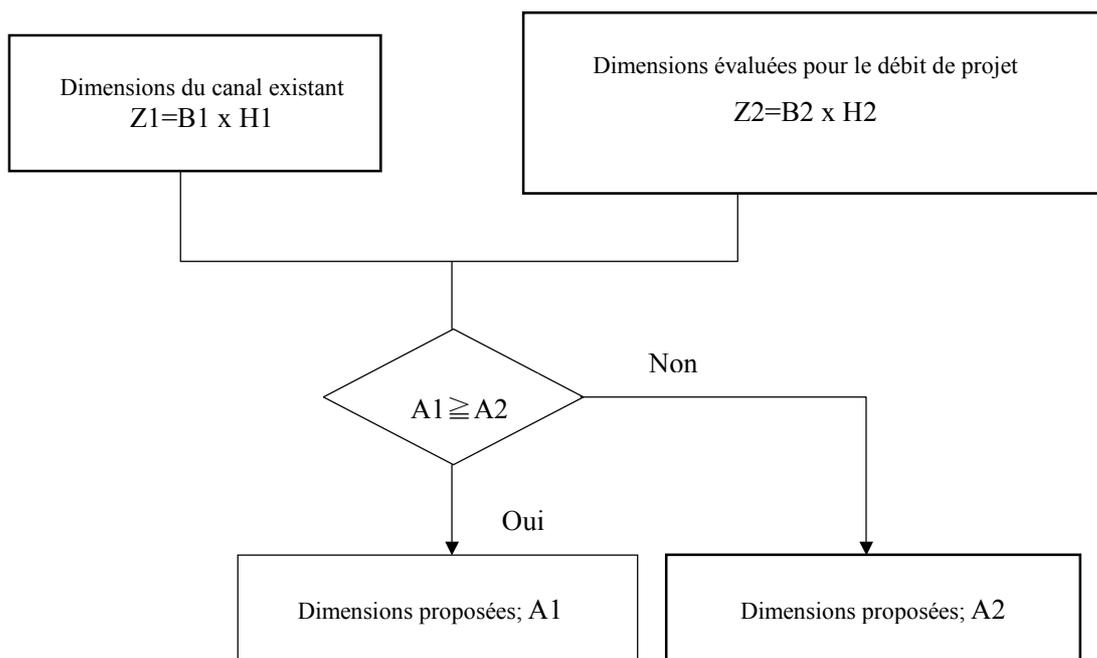
Fb; revanche (m); Valeur minimum=0.10m

D; profondeur h (m)

Hv; charge hydrodynamique= $V^2/19.6$

2) Dimensions de la section transversale

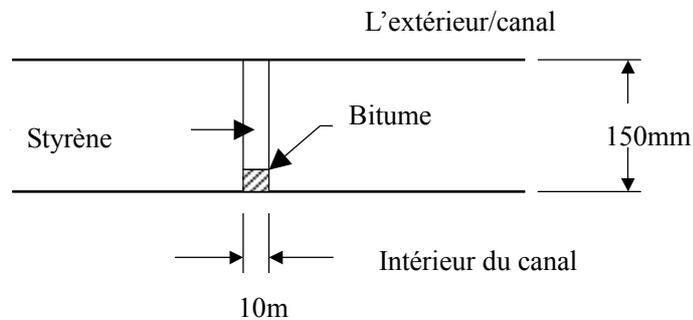
Les dimensions de la section transversale proposée du canal seront fixées conformément à la procédure décrite ci-après. Si les dimensions du canal existant sont supérieures aux dimensions évaluées pour le débit de projet, elles devront être conformes avec la section transversale proposée. Dans tous les cas de figure, la section transversale proposée sera déterminée par les dimensions du canal existant car pendant les années récentes le débit des khattaras de la région du Tafilalet s'est amoindri.



(6) Ouvrages connexes au canal

1) Joints

Les joints des sections devront être placés à six (6) m d'intervalle. De la mousse de styrène et du bitume doivent être appliqués à tous les joints comme l'indique la figure suivante:



2) Dessableur

La plupart des canaux d'irrigation sont à surface libre. Donc, il est quasiment impossible d'empêcher le sable de s'y déverser. Afin de rendre les travaux de maintenance plus facile, des dessableurs de 1,0 m de côté et de 0,2 à 0,3 de profondeur devront être installés à des intervalles réguliers de 100m.

3) Ouvrages de franchissement

Dans les zones d'irrigation par khattaras, de grands sentiers franchissent le canal par endroits. Donc, on propose que les tronçons des canaux aux points de franchissement soient construits en béton armé.

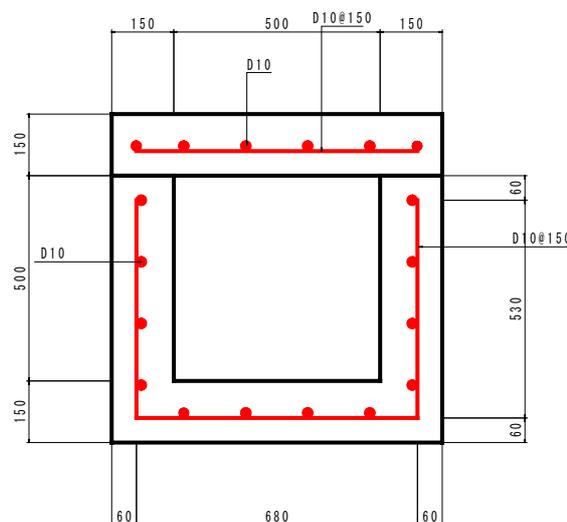


Figure 3.2.4 Traversée de la Khettara Lambarkia

(7) Conduites

1) Regards

Les regards et les dessableurs doivent être installés à des intervalles de moins de 30m pour permettre le curage du sable à l'intérieur des conduites.

2) Grillage

Une grille en fil de fer ou barres de fer doit être placée à l'entrée du premier regard afin que les débris flottants ne puissent s'introduire dans les conduites.

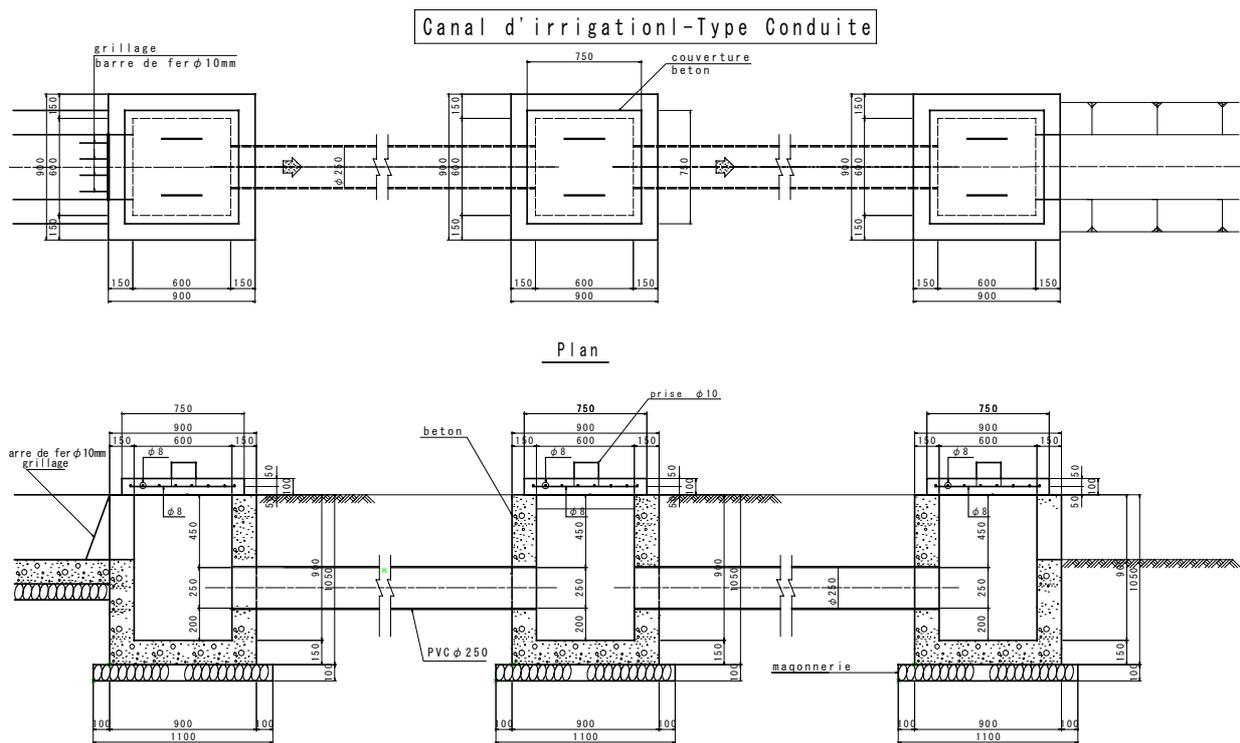


Figure 3.2.5 Conduite de canal d'irrigation

3.2.3 Amélioration des prises de distribution

Les usagers font dévier l'eau du canal vers leurs lopins de terre en élevant des monticules de terre au milieu du canal et conformément à la répartition dans le temps imposée par le système des droits d'eau en usage. Cette méthode traditionnelle engendre des pertes de charge par infiltration au niveau de toutes les prises d'eau.

On propose ci-après, selon le débit, deux types améliorés de prises d'eau :

Tableau 3.2.2 Exutoires améliorés

Items	Vannes simples	Tube en PVC
Condition	Ce genre de vanne sera appliqué dans les canaux à grand débit supérieur à 5 lit/sec.	Ce type sera appliqué à des canaux débitant une petite quantité d'eau inférieure à 5 lit/sec.
Remarques	<p>La taille de la vanne doit correspondre aux dimensions proposées du canal.</p> <p>Une vanne est installée pour chaque prise d'eau.</p> <p>Une chaîne est requise pour fixer la vanne.</p>	<p>Le diamètre des conduites en PVC devra être fixé en tenant compte du débit.</p> <p>(Des conduites en PVC de 160mm de diamètre étaient installées dans le canal principal dans la khattara Taoumart)</p> <p>Un embout fileté en PVC est appliqué sur chaque prise d'eau.</p> <p>On recommande l'aménagement d'un dessableur à proximité de chaque prise d'eau pour empêcher l'ensablement.</p>
Photo		

3.3 Effets en économie en eau de la réhabilitation des canaux

Des travaux de réhabilitation ont été réalisés, dans la cadre de l'étude de vérification, dans trois zones d'irrigation attenantes à des khattara et qui ont consisté en revêtements de canaux principaux (canaux en terre existants) et en amélioration des prises d'eau (installation de vannes en acier ou de tube en PVC avec embout). Cette étude confirme que les pertes en eau passent de 11-22% en situation de canaux non réhabilités à 5-10 % dans le cas de canaux réhabilités tel que nous le montre le tableau ci-après. Ces résultats révèlent que ces travaux de réhabilitation sont appréciés pour avoir permis une économie en eau rapide.

Le débit relevé à la sortie du canal représente 78-82 % de celui du point d'entrée, donc on constate qu'un volume d'eau de plus ou moins 20 % est perdu par infiltration dans les canaux en terre. Après revêtement en béton ou l'installation de conduites en PVC, le débit à la sortie du canal remonte à 90-95 % par rapport au point d'entrée, donc les pertes diminuent de 5-10 %. On peut dire que cette analyse fait ressortir que le revêtement du canal principal réalise un accroissement de la quantité en eau d'irrigation d'environ 12 %.

Sous les conditions d'utilisation traditionnelles, le débit à la sortie du canal est de 86-89 % de celui du point d'entrée, 11-14 % ou plus sont perdus par infiltration au niveau des prises d'eau. Au contraire, un fois les prises sont améliorées par l'installation de vannes en acier ou de tubes en PVC, le débit à la sortie du canal est de 94 % de celui du début du canal, à savoir un accroissement de 6 %. Cela signifie que l'aménagement des prises du canal principal résulte en une augmentation de 7 % en quantité d'eau d'irrigation.

Par ailleurs, les résultats obtenus des travaux de réhabilitation par l'installation de conduites en PVC en aval du canal principal "Seguia Jdida" à Ait Ben Omar, suggère que la réhabilitation du canal principal ou/et son extension ont un effet bénéfique qui se concrétise par la restauration des terres dégradées et l'extension des superficies irrigables.

En ce qui concerne l'amélioration des prises d'eau, on a pu vérifier que celles aménagées avec des tubes en PVC sont plus fiables quant à l'économie en eau du fait de leur imperméabilité, et aussi à cause de leur adaptabilité à un débit inférieur à 10 lit/sec. En outre, la facilité de leur manutention et leur faible coût permettent l'extension de leur utilisation aux canaux d'irrigation d'autres secteurs.

Tableau 3.2.3 Effet de la réhabilitation des canaux sur l'économie d'eau

Khattara	Nom du canal	Débit sans réhabilitation (lit/sec)			Débit avec réhabilitation (lit/sec)		
		Entrée du canal	Sortie du canal	Taux d'accroissement	Entrée du canal	Sortie du canal	Taux d'accroissement
Ait Ben Omar	Seguia Harch	7.8	6.4	82% (18%)	7.3	6.6	90% (10%)
	Seguia Jdida	7.8	6.7	86% (14%)	5.4	5.1	94% (6%)
Lambarkia	Seguia Gauche	16.6	12.9	78% (22%)	19.9	18.5	95% (5%)
	Seguia Droite	17.4	14.3	82% (18%)	18.5	17.4	94% (6%)
Taoumart	Principale-1	2.8	2.5	89% (11%)	1.8	1.7	94% (6%)

Remarques; les pourcentages entre parenthèses indiquent le taux de perte par adduction obtenu par l'équation suivante.

$$\text{Taux des pertes par adduction d'eau} = (Q_b - Q_e) / Q_b \times 100 (\%)$$

Q_b: Débit d'eau au point d'entrée du canal d'irrigation (lit/sec)

Q_e: Débit d'eau au point de sortie du canal d'irrigation (lit/sec)

3.4 Maintenance & Exploitation

(1) Maintenance

Ces ouvrages d'irrigation des khettaras ont été installés en tenant compte des droits d'eau des usagers. Les groupements des usagers sont chargés de la maintenance du canal principal et son amélioration, le cas échéant, par la réalisation de projets de réhabilitation.

Les activités de suivi de l'exploitation des canaux devront se poursuivre au niveau des zones d'irrigation 24 heures par jour.

Les activités de maintenance décrites ci-après sont nécessaires.

- 1) enlever les matériaux accumulés dans les bassins dessableurs installés par intervalles.
- 2) Contrôler l'imperméabilité au niveau des joints des canaux.
- 3) Vérifier la manutention et l'imperméabilité des prises d'eau.

(2) Exploitation (Gestion de l'eau)

Pour la majorité des khettaras, le programme des arrosages est rigidement établi en tenant compte du décalage dans le temps entre le moment de l'écoulement à l'exutoire de la khettara et les parcelles individuelles. Le revêtement du canal en béton permet de réduire ce décalage par l'accroissement de la vitesse de l'écoulement, et donc, nécessite le réajustement du programme des irrigations par les groupements des usagers.

4. Economie en eau au niveau de l'exploitation agricole

4.1 Mesures économes en eau au niveau de l'exploitation agricole

4.1.1 Approche de l'économie en eau

Les mesures favorisant l'économie en eau sont de trois types 1) maîtriser de l'évaporation, 2) maîtriser les infiltrations, et 3) minimiser les pertes de charge. Pour réaliser concrètement l'économie en eau sur site, les approches suivantes sont proposées.

Tableau 4.1.1 Approches de l'économie d'eau

Item	Mesures	Effets	Diminution de l'évaporation	Diminution des infiltrations	Minimisation des pertes de charge
Maîtrise de l'évaporation	Brise vent	Protection contre le vent	○		
	Pluricultures	Protection contre l'ensoleillement	○		
	Paillage	Diminution de l'évaporation au niveau du sol	○		
Mode d'irrigation	Asperseur	Répartition uniforme de l'arrosage		○	○
	A la raie	Irrigation partielle	○	○	
	Au goutte à goutte	Irrigation partielle	○	○	○
Techniques culturales	Sélection des cultures	Cultures à consommation en eau réduite	○		
Amélioration du sol	Amendements organiques	Rétention de l'humidité du sol		○	

(1) Limitation du taux d'évaporation

La consommation en eau des cultures se compose de l'évaporation à partir de la surface du sol et de la transpiration par le feuillage.

On ne peut restreindre la transpiration qui est un facteur indispensable à la croissance des plantes, mais l'évaporation peut être contrôlée par divers moyens favorisant l'économie en eau.

Le brise vent a un effet limitatif de l'évaporation du sol par l'atténuation de l'action du vent qui est un facteur déterminant de la quantité d'évaporation, et, à cet effet, des murs en pisé sont construits autour des périmètres agricoles des oasis.

Selon les résultats de l'inventaire dressé dans le cadre de cette étude, plus de la moitié des zones d'irrigation des khattaras subit les effets de la désertification. Par leur association à des actions de conservation des sols dans la zone d'irrigation par khattara, les brises vent, faits d'arbres ou construits en pisé, seront efficaces en tant que mesure favorisant l'économie en eau.

La pluriculture est largement pratiquée dans cette zone, en deux étages dans les zones de montagne (Olivier+céréales, plantes fourragères), en trois étages dans les zones intermédiaires et dans les plaines (palmiers dattiers+oliviers, plantes fourragères, légumineuses, maraîchages, etc.).

En considérant que le paillage contribue non seulement à la limitation de l'évaporation à la surface du sol mais sert également à conserver l'humidité du sol, on propose, pour mettre en œuvre cette technique, l'utilisation des matériaux naturels disponibles dans cette zone.

(2) Méthodes d'irrigation

Le mode d'irrigation par aspersion nécessite une forte pression (pression standard :20-30 bars) pour faire fonctionner les asperseurs continuellement.

L'adaptabilité de cette méthode aux zones arides et chaudes est très faible car l'eau diffusée par les asperseurs s'évapore lorsqu'elle se dépose en gouttelettes sur le folliage.

L'irrigation à la raie est considérée comme étant plus efficace en économie en eau que le mode traditionnel d'irrigation en bassin car elle se limite à une superficie restreinte alors que le mode traditionnel inonde toute la parcelle.

L'irrigation au goutte à goutte est définie comme un mode d'arrosage imperceptible par gouttes continues. Puisque l'eau est appliquée directement à la zone des racines par les goutteurs placés à même la surface du sol, elle s'avère être la méthode la plus économe en eau.

(3) Technique culturale

Les variétés de plantes devront être soigneusement sélectionnées et les techniques d'irrigation judicieusement choisies pour permettre un usage efficace de l'eau disponible. Cependant, les cultures tels que le palmier dattier et la luzerne, qui sont des plantes bien acclimatées dans la zone, sont caractérisées par une faible consommation d'eau et une bonne résistance à la sécheresse.

(4) Amélioration des caractéristiques du sol

Bien que plusieurs amendements organiques ont été appliqués pour améliorer les caractéristiques pédologiques du sol, il est cependant difficile d'étendre leur utilisation sur une large superficie en raison des difficultés qu'engendrent leur stockage et leur coût élevé.

4.1.2 Les mesures économes en eau proposées

En sus des mesures proposées ci-dessus, celles qu'on va examiner semblent être prometteuses en matière d'économie en eau.

(1) Vulgarisation des techniques d'irrigation économes en eau (irrigation à la raie, irrigation au goutte à goutte)

Au lieu de maintenir l'irrigation par bassin à faible coefficient d'irrigation, localement appliquée depuis toujours, on optera pour la vulgarisation des techniques économes en eau telles que l'irrigation à la raie et/ou l'irrigation au goutte à goutte afin d'en augmenter l'efficacité. L'étude de vérification a confirmé que

les deux techniques réduisent indubitablement la consommation en eau.

Les résultats des activités déployées lors de la première phase (octobre-janvier) dans les parcelles de démonstration ont révélé que la quantité d'eau consommée par l'irrigation à la raie représente 65 à 80 % de la consommation de l'irrigation en bassin, et 17 à 30 % dans le cas de l'irrigation au goutte à goutte.

En outre, les pratiques agricoles des parcelles de démonstration mettent en exergue non seulement l'effet de l'économie en eau mais bien d'autres effets que produisent l'irrigation à la raie et celle au goutte à goutte.

A ce titre, l'irrigation à la raie contribue à l'augmentation du rendement agricole par l'amélioration de la texture du sol quant à la dureté, et l'irrigation au goutte à goutte fait de même en matière d'amélioration de la qualité des cultures conséquence directe du maintien de l'humidité appropriée du sol et de la réduction du fardeau des pratiques agricoles.



Irrigation à la raie

Irrigation au goutte à goutte

Khattara	Irrigation à la raie		Irrigation au goutte à goutte
	Avec réservoir	Sans réservoir	
Ait Ben Omar	65%	66%	30%
Lambarkia	80%	68%	17%

Note; Le taux de consommation de l'eau est obtenue sur la base des résultats du 1^{er} stade de l'étude de vérification dans les exploitations agricoles.

Figure 4.1.1 Mesures d'économie d'eau

En ce concerne la vulgarisation du mode d'irrigation au goutte à goutte, le gouvernement du Maroc a institué un plan d'aide financière sous forme de subside à concurrence de 40 % de l'investissement initial. Quelques agriculteurs de cette zone ont déjà réalisé, dans le cadre de ce plan, de petits projets d'irrigation au goutte à goutte avec l'assistance technique de l'ORMVA/TF.

(2) Installation de réservoirs dans les exploitations agricoles

Un programme d'irrigation, régulé sur une base horaire et journalière et sous un système contrôlé de droits

d'eau, est établi pour tout le réseau, de l'exutoire de la khattara jusqu'aux périmètres irrigués.

Cependant, il est difficile d'assurer simultanément le contrôle du pas de temps d'arrosage et tenir compte des stades de croissance des cultures, étant donné que l'horaire et les journées des irrigations sont préalablement fixés. On constate, dans les zones d'irrigation des khattaras, que l'arrosage est soit excessif soit insuffisant. Il est indispensable d'aménager de petits réservoirs à proximité des parcelles afin de réaliser une irrigation au goutte à goutte adaptée.

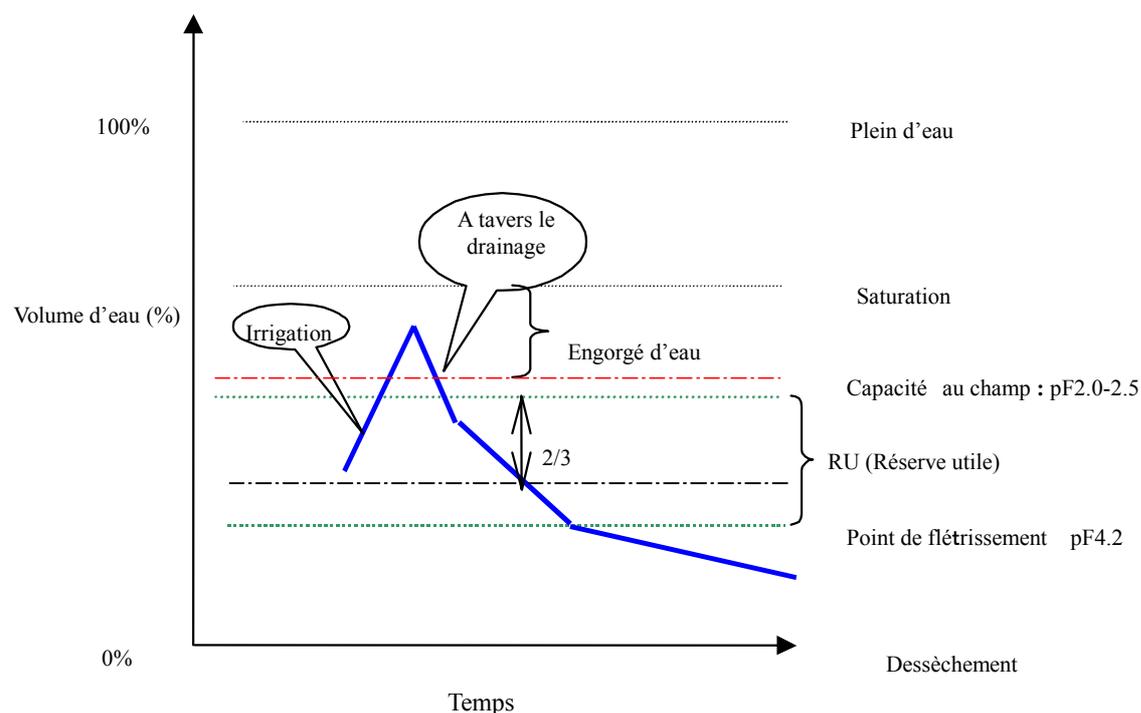
4.2 Plan d'irrigation à économie en eau

4.2.1 Réserve facilement utilisable (RFU)

La réserve facilement utilisable est définie comme la teneur en humidité de la rhizosphère facilement utilisable sous des conditions normales de croissance des plantes. C'est la limite supérieure des quantités d'eau que la plante utilise sans stress, donc, ces quantités doivent être exploitées sans dépasser la réserve facilement utilisable (RFU).

La réserve facilement utilisable (RFU) est évaluée sur la base des normes standard de l'irrigation au Maroc, qui adopte la même procédure objet de la publication de la FAO "*Applications of Climatic Data for Effective Irrigation Planning and Management*" (1991).

La capacité au champ (H_{cc}) est la teneur en humidité retenue par la matrice du sol s'opposant aux forces gravitationnelles. Elle est définie comme la teneur en humidité obtenue après un ou deux jours de pleine irrigation, équivalente à la succion approximative de $pF_{4,2}$ pour les sols sableux et $pF_{2.0}$ pour les sols argileux ou limoneux. La teneur en humidité du sol à laquelle la plante est fanée en permanence s'appelle le point de flétrissement permanent (H_{pfP}). Cela correspond à la succion de $pF_{4,2}$. Au-delà du point de flétrissement permanent, l'humidité n'est plus disponible à la plante.



Note: La succion est exprimée comme la hauteur d'une colonne d'eau (cm) qui s'élève de la nappe d'eau contre la force de gravité et sous l'influence de la force exercée par la matrice du sol et qui est donnée par le logarithme négatif (pF) de la tension de l'humidité du sol.

Figure 4.2.1 Réserve facilement utilisable (RFU)

La teneur en eau à hauteur du point de flétrissement permanent (H_{pfP}) est théoriquement disponible ; cependant, l'expérience indique que le ralentissement de la croissance des cultures commence avant que la teneur en eau n'atteigne ce point. L'irrigation devrait être programmée plus tôt afin de maintenir la

croissance optimum des cultures.

La réserve facilement utilisable est obtenue par l'équation suivante, en multipliant la réserve utile totale par le coefficient (P).

$$RFU=RU \times P$$

$$RU= SA \times Z/10=(SFC - SWP) \times Z/10$$

RFU; réserve facilement utilisable (mm)

RU; réserve utile totale (mm)

P; coefficient fraction, P=2/3 (Norme marocaine)

SA; eau disponible (vol%)

Z; profondeur racinaire (cm), Z=45cm (légumes)

Hcc ; capacité au champ (vol%)

HpfP ; point de flétrissement permanent (vol%)

La magnitude de l'eau disponible (SA) est très importante pour la planification de l'irrigation. Une faible valeur de SA indique un flétrissement précoce des cultures et la nécessité d'irriguer avec plus de fréquence pour maintenir l'humidité du sol à un niveau acceptable. Cela dépend de la texture du sol. En général, un sol à texture rugueuse (sol sableux) a une SA plus faible que celle d'un sol à texture fine (argile) alors que les limons sont intermédiaires.

La table ci-dessous montre la magnitude de la RFU évaluée sur la base des résultats de l'analyse du sol de trois parcelles de démonstration. La RFU d'une valeur de 20 mm à 29 mm indique que la capacité de rétention de l'humidité par le sol est légèrement faible et l'eau disponible aux cultures est limitée.

Tableau 4.2.1 RFU sur trois périmètres de démonstration

Parcelles de démonstration	Type de sol	Capacité au champ PF2.5 Hcc (vol%)	Point de flétrissement permanent PF4.2 HpfP (vol%)	Eau disponible SA=Hcc-HpfP (vol%)	Réserve utile RU (mm)	Réserve facilement utilisable (RFU) (mm)
Ait Ben Omar	Argile sableux limoneux	24.2	14.7	9.5	43	29
Lambarkia	Limon argileux	28.3	21.8	6.5	29	20
Taoumart	Argile sableux limoneux	21.9	13.5	8.4	38	25

4.2.2 Consommation en eau (WC)

La consommation d'eau peut être obtenue à partir de l'évapotranspiration et le coefficient cultural par l'équation suivante:

$$WC=ET_0 \times Kc$$

WC: consommation d'eau (mm/jour)

ET₀; évapotranspiration (mm/jour)

Kc; coefficient cultural

(1) Evapotranspiration (ET₀)

Diverses méthodes sont proposées pour l'évaluation de l'évapotranspiration (ET₀).

La méthode de Blaney-Criddle est généralement appliquée car l'ET₀ peut être obtenue uniquement à partir des températures, et l'équation de Penman-Monteith sera utilisée au cas où les quatre types de données à savoir la température, la vitesse du vent, l'humidité et l'ensoleillement sont disponibles.

Dans cette étude, l'ET₀ mensuelle fut évaluée par les deux méthodes sur la base des données météorologiques d'Errachidia relevées entre 1980 et 2002. Il n'existe aucune différence notable entre les deux méthodes, mais les résultats de la méthode Blaney Criddle s'avèrent légèrement plus élevés que ceux de la méthode Penman Monteith FAO.

Dans ce manuel, la méthode de Blaney Criddle est appliquée en raison de sa fiabilité.

Tableau 4.2.2 Evapotranspiration (ET₀; mm/jour)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Blaney Criddle	4.9	3.4	2.3	1.5	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.3	6.7	6.3
FAO Penman Monteith	4.1	2.5	1.4	1.0	1.1	1.7	2.9	4.1	5.1	5.6	6.1	5.1

Notes; L'évaluation de l'ET₀ ci-dessus est faite sur la base des données météorologiques d'Errachidia de 1980 à 2002.

(2) Coefficient cultural (Kc)

Le tableau suivant donne les valeurs de référence du coefficient cultural établies par Le Ministère de l'Agriculture pour un groupe de cultures.

Tableau 4.2.3 Valeur de référence du coefficient de culture des légumes

Cultures	Pourcentage de la période de croissance et de développement (%)									
Céréales	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
Betterave	0.45	0.50	0.70	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
Cotonnier	0.45	0.45	0.45	0.60	0.90	1.00	1.00	0.90	0.70	0.60
Maïs grain	0.45	0.55	0.65	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.80
Maïs fourrager	0.45	0.55	0.65	0.70	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
Tournesol	0.45	0.50	0.55	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	0.80	0.60
Haricot, Soja	0.50	0.65	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.80	0.70
Fève	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00	1.00	0.90	0.70
Maraîchages	0.45	0.50	0.60	0.70	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90	0.80
Tomate	0.45	0.45	0.50	0.65	0.85	1.00	1.00	0.95	0.85	0.75
Pomme de terre	0.45	0.45	0.60	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
Melon, Pastèque	0.45	0.50	0.60	0.70	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70

Note ; Valeurs du coefficient cultural Kc en fonction du stade de croissance; selon BLANEY-CRIDDLE, légèrement modifié par M.A.R.D)

(3) Consommation en eau (WC)

La consommation en eau des cultures des parcelles de démonstration est évaluée comme suit:

Tableau 4.2.4 Consommation d'eau (légumes des périmètres de démonstration)

1^{er} Stade

Mois	Sep		Oct		Nov		Déc		Jan		
ETo(mm/jour)	4.9		3.4		2.3		1.5		1.5		
	%	Kc	WC								
Carotte	50	0.5	2.5	0.7	2.4	1.0	2.3	1.0	1.5	0.9	1.4
Navet	50	0.5	2.5	0.7	2.4	1.0	2.3	1.0	1.5	0.9	1.4
Moyenne			2.5		2.4		2.3		1.5		1.4

2^{ème} Stade

Mois	Mar		Avr		Mai		Juin		Juil		
ETo(mm/day)	3.0		4.0		5.0		6.3		6.7		
	%	Kc	WC	Kc	WC	Kc	WC	Kc	WC	Kc	WC
Melon	25	0.5	1.5	0.7	2.8	0.8	4.0	0.8	5.0	0.7	4.7
Gombo	25	0.5	1.5	0.7	2.8	1.0	5.0	1.0	6.3	0.9	6.0
Pastèque	25	0.5	1.5	0.7	2.8	0.8	4.0	0.8	5.0	0.7	4.7
Tomate	25	0.5	1.5	0.6	2.4	0.9	4.5	1.0	6.3	0.8	5.4
Moyenne			1.5		2.7		4.4		5.7		5.2

4.2.3 Intervalles d'irrigation en nombre de jours

Les jours d'intervalle d'irrigation sont obtenus à partir de la réserve facilement utilisable (RFU) et de la consommation en eau (WC) par l'équation suivante:

$$\text{Jours d'intervalle d'irrigation} = \text{RFU} \times \text{WC (sans décimaux)}$$

RFU; réserve facilement utilisable (mm)

WC; consommation en eau (mm/jour)

D'autre part, l'intervalle d'utilisation d'eau est fixé à 13 jours à Ait Ben Omar et 9 jours à Taoumart conformément aux droits d'eau traditionnels.

Si l'irrigation est pratiquée pendant des mois dans des intervalles identiques aux jours d'intervalles d'utilisation de l'eau qui sont plus long que les jours d'intervalles d'irrigation obtenus par l'équation ci-dessus, l'humidité du sol tombe à un niveau inférieur au point de flétrissement permanent.

Afin de garder l'humidité du sol dans des limites acceptables, l'installation de réservoirs dans les

exploitations est sûrement requise en vue de réduire l'intervalle d'arrosage. Cet arrosage devrait être fait en deçà du maximum de jours d'intervalle d'irrigation, par l'exploitation des quantités d'eau d'irrigation stockées dans le réservoir pendant les jours d'irrigation.

Tableau 4.2.5 Intervalles d'irrigation à chaque périmètre de démonstration

Stade de cultures			1 ^{er} stade					2 ^{ème} stade				
			Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil
Consommation d'eau WC (mm/jour)			2.5	2.4	2.3	1.5	1.4	1.5	2.7	4.4	5.7	5.2
Ait Ben Omar	Intervalle d'utilisation de l'eau 13 jours	RFU 29m m	11	12	12	19	20	19	10	6	5	5
Lambarkia	Intervalle d'utilisation de l'eau 15 jours	RFU 20m m	8	8	8	13	14	13	7	4	3	3
Taoumart	Intervalle d'utilisation de l'eau 9 jours	RFU 25m m	10	10	10	16	17	16	9	5	4	4

4.3 Irrigation à la raie

On a pu démontrer lors de l'étude de vérification que l'irrigation à la raie est plus avantageuse que l'irrigation par bassin, car ce mode d'irrigation ne requiert aucun investissement mais uniquement la mise en place de billons dans le champ, donc, l'étude de vérification a fait ressortir que ce mode d'irrigation est plus prometteur que l'irrigation par bassin en termes d'économie en eau. Les caractéristiques de l'irrigation à la raie sont déterminées sur la base des normes techniques spécifiées ci-après.

(1) Longueur des sillons

Il est recommandable de creuser des sillons aussi long que possible afin de minimiser le labour de distribution de l'eau, mais il est indispensable d'adopter une longueur optimum pour un coefficient d'application d'irrigation en se référant au tableau suivant qui spécifie la longueur maximum des sillons selon le type de sol.

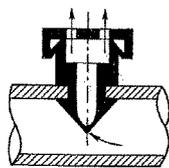
Tableau 4.3.1 Longueur de sillon maximum selon le type de sol

Type de sol	Profondeur de la zone racinaire (cm)	Volume d'eau d'une irrigation (mm)	Longueur maximum d'un sillon (m)	Remarques
Sable	40	16	4	Gradient du sillon: 10%
Sol à cendres volcaniques	40	44	29	
Limon sableux	40	34	36	
Limon	40	38	99	
Argile	40	44	121	

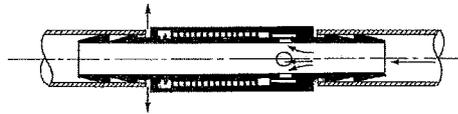
Note; Engineering Manual for Irrigation & Drainage, Upland irrigation, 1990, The Japanese Institute of Irrigation and Drainage

(2) Largeur du sillon

La diffusion de l'eau d'irrigation infiltrée dans le sol est un élément important qui mérite qu'on l'examine minutieusement. Dans ce sens, la largeur optimum du sillon doit être fixée pour que la partie mouillée couvre efficacement la zone racinaire. La figure ci-après indique la largeur de sillon maximum pour



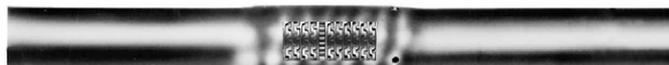
Type à orifice



Type en spirale

2) Rampe

L'eau d'irrigation suinte par des trous après l'avoir pressuré dans des tubes à double chambre tel que le montre la photo ci-après. Puisque les cercles d'arrosage tracés autour des goutteurs chevauchent les uns sur les autres, les tubes goutteurs peuvent être appliqués à l'irrigation des maraîchages plantés en rang ou bien disposés densément.



3) Tube perforé

Le tube perforé est un tuyau rigide en PVC, en polyéthylène ou en aluminium ayant plusieurs trous sur la face supérieure, qui laissent jaillir l'eau d'irrigation des deux côtés du tube. Il est démontable, léger et portable ; donc, les sections qui le composent sont connectés par des raccords qui permettent d'en ajouter au fur et à mesure des besoins de l'extension.

4) Tube flexible perforé

C'est un tube fabriqué avec des matériaux à grande structure moléculaire et qui présente beaucoup d'avantages dont la facilité de manutention, d'extension et le faible coût. L'eau d'irrigation est diffusée des deux côtés par de petits trous pratiqués sur les deux côtés.

En tenant compte des conditions propres à la zone d'exploitation, les rampes sont utilisées dans les champs de maraîchages et les goutteurs sont recommandés pour l'irrigation même des palmiers dattiers.

- 1) Etant donné que les températures diurnes sont extrêmement élevées en saison d'été, des matériaux résistants à la chaleur devraient être utilisés.
- 2) Le nombre élevé d'heures d'ensoleillement annuelles requiert l'emploi de matériaux résistants au rayonnement intense du soleil.
- 3) Le colmatage des rampes par l'effet de la salinité nécessite une maintenance permanente de ces équipements.

4.4.2 Caractéristiques de l'irrigation

Les caractéristiques de l'irrigation devront être déterminées sur la base des données météorologiques et pédologiques collectées dans chaque site. La procédure à suivre est concrétisée lors de l'exploitation des données recueillies dans les parcelles de démonstration.

1) Cultures: maraîchages

2) Consommation en eau

Stade	1 ^{er} stade (Hiver)					2 ^{ème} stade (Eté)				
	Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Mar	Avr	Mai	Juin
Evapotranspiration (ETo) (mm/jour)	4.9	3.4	2.3	1.5	1.5	3.0	4.0	5.0	6.3	6.7
Coefficient cultural (Kc)	0.5	0.7	1.0	1.0	0.9	0.5	0.6-0.7	0.8-1.0	0.8-1.0	0.7-0.9
Consommation en eau (WC) (mm/jour)	2.5	2.4	2.3	1.5	1.4	1.5	2.7	4.4	5.7	5.2

3) Réserve facilement utilisable (RFU)

La réserve facilement utilisable est supposée être de 25 mm en moyenne obtenue par l'analyse des échantillons prélevés dans les parcelles de démonstration.

4) Jours d'intervalle d'irrigation

$$\text{Jours d'intervalle d'irrigation} = \frac{\text{Réserve facilement utilisable (RFU)}}{\text{Consommation d'eau}} = \frac{25}{5.7} = 4.4 \text{ jours} \rightarrow 5 \text{ jours}$$

5) Quantité d'irrigation brute

$$\text{Quantité d'irrigation brute} = \frac{\text{Consommation en eau} \times \text{Jours d'intervalle}}{\text{Efficacité de l'arrosage}} = \frac{5.7 \text{ mm/jour} \times 5 \text{ jours}}{0.95} = 30 \text{ mm}$$

6) Taux intensif d'irrigation (P)

Débit $Q=2-4 \text{ lit/hr/goutteur}$, Intervalle des goutteurs = 0.4m

→ Moyenne $q = 7.5 \text{ lit/hr/m}$ (0.125 lit/min/m)

Diamètre du tube 13 x 16mm

Pression de l'eau 1.0 bar (10m)

Largeur de l'aire mouillée 0.65m

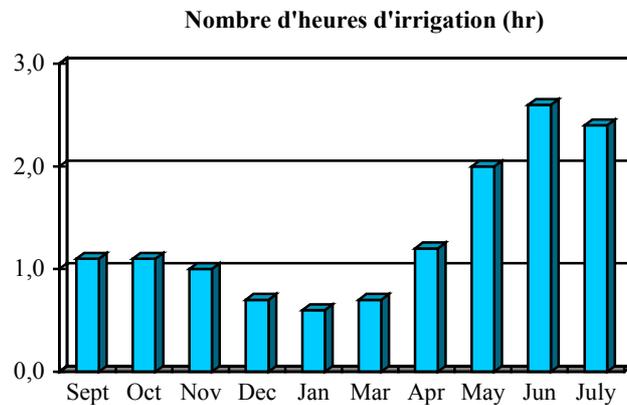
$$P = \frac{0.125 \text{ l/min/m} \times 60 \text{ min/hr}}{0.65 \text{ m}} = 11.5 \text{ m/hr}$$

7) Nombre d'heures d'irrigation

Nombre d'heures d'irrigation (Maximum)

$$= \frac{\text{Quantité Brute Pour Chaque Irrigation}}{\text{Apports Intenses d'Irrigation}} = \frac{30\text{mm}}{11.5\text{mm/hr}} = 2.6\text{hr}$$

Stade	1 ^{er} stade (Hivers)					2 ^{ème} stade (Eté)				
	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil
Consommation d'eau (WC) (mm/jours)	2.5	2.4	2.3	1.5	1.4	1.5	2.7	4.4	5.7	5.2
Nombre d'heures d'irrigation (hr)	1.1	1.1	1.0	0.7	0.6	0.7	1.2	2.0	2.6	2.4



8) Nombre d'irrigations par jour

$$\text{Nombre d'irrigations par jour} = \frac{\text{Nombre d'Heures d'Irrigation Par Jour}}{\text{Nombre d'Heures Par Irrigation}} = \frac{12\text{hr}}{2.6\text{hr}} = 4.6 \rightarrow 4\text{ fois}$$

9) Secteur d'irrigation

Un (1) secteur standard d'irrigation (1)=0.15ha (50m x 30m)

Un (1) secteur d'irrigation = Un (1) secteur x Nombre d'irrigations par jour x Jours d'intervalle d'irrigation = 0.15ha x 4 fois x 5 days = 3.0ha

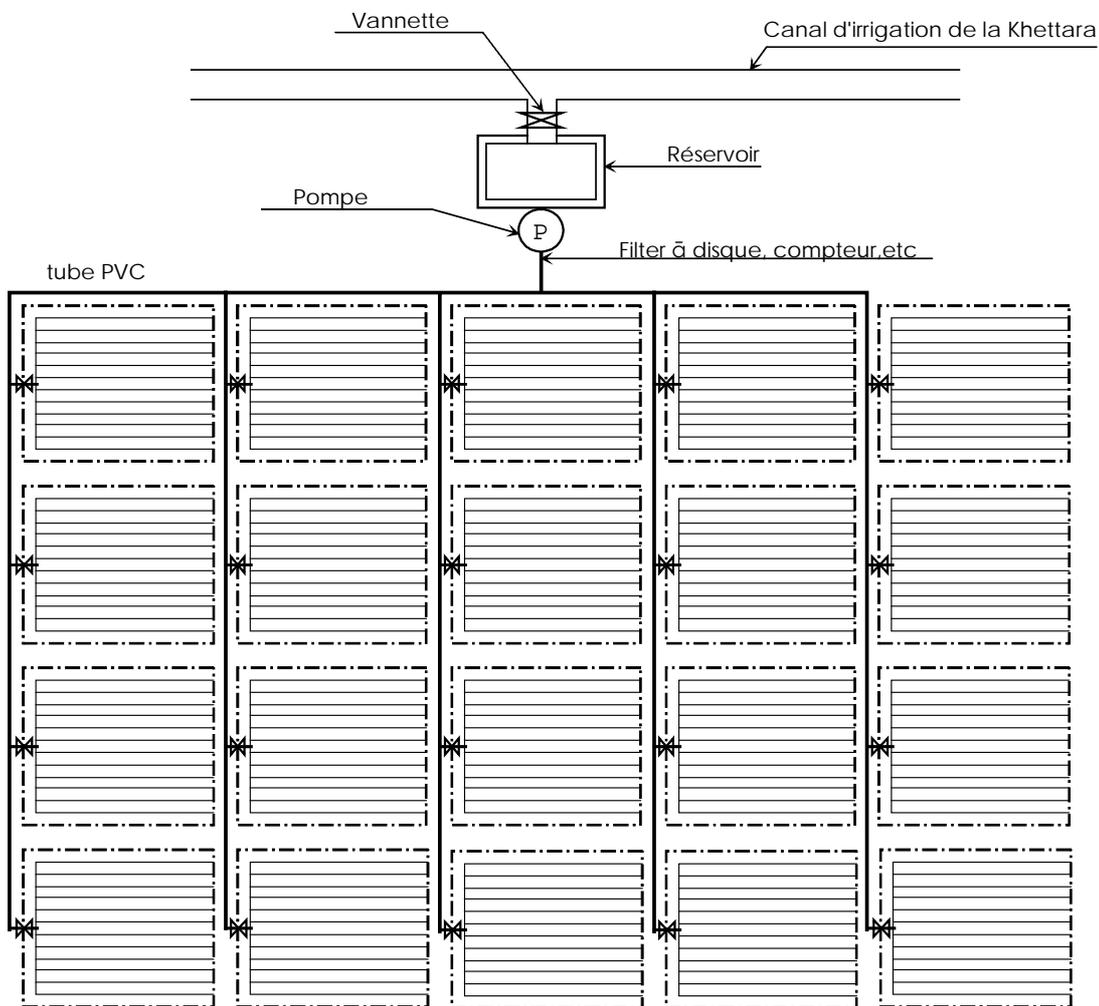
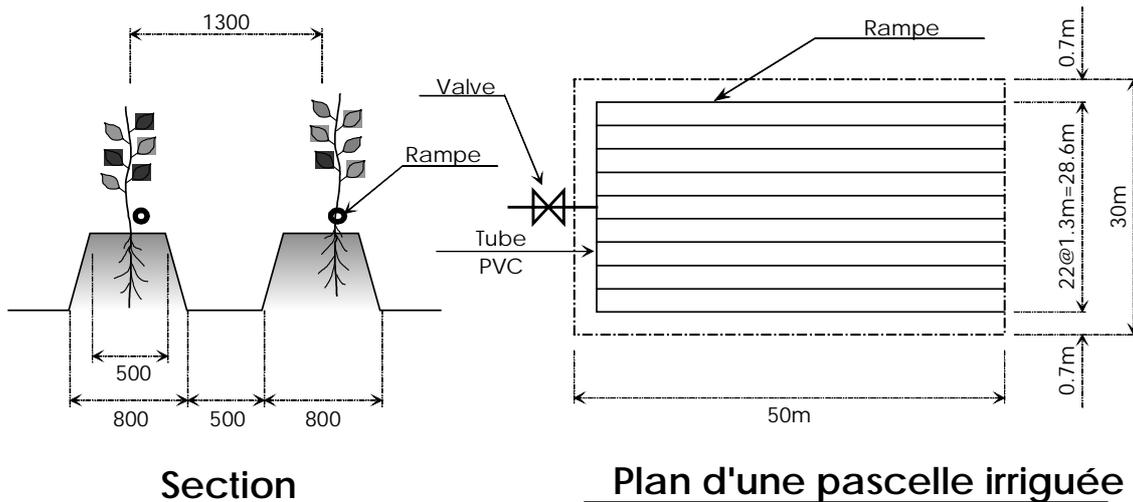


Figure 4.4.1 Plan d'irrigation en goutte à goutte

Référence; Irrigation au goutte à goutte des palmiers dattiers

Site; Parcelle d'expérimentation dans le SEMVA

Nombre de palmiers; 204 palmiers/ha ($7m \times 7m \rightarrow 10,000m^2 \div 49m^2 = 204$ palmiers/ha)

Quantité d'eau d'irrigation par palmier = débit du goutteur x nombres de fois x heures d'irrigation

= $24lit/hr \times 4goutteurs \times 6hrs/nombre\ de\ fois = 576lit/Nombre\ de\ fois/palmier$

Nombre d'irrigations 48fois/an

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Nombre d'irrigations	3	3	4	4	4	5	6	5	4	4	3	3

Quantité d'eau d'irrigation par ha par an;

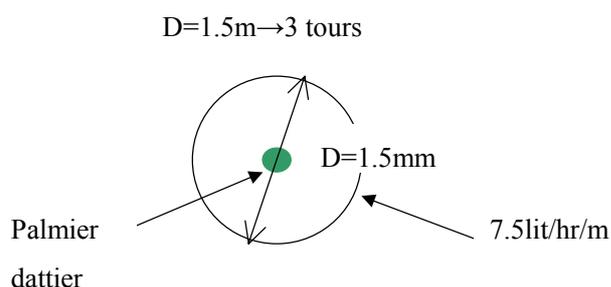
$576\ lit/nombre\ de\ fois/palmier \times 204\ palmier/ha \times 48\ Nombre\ de\ fois = 5,640\ m^3/ha/an$
 $(564mm/356jours = 1.54mm/jour)$

Remarques;

Au cas où les palmiers dattiers sont plantés dans le même espace que les maraîchages, des rampes sont utilisées pour irriguer les deux catégories de cultures.

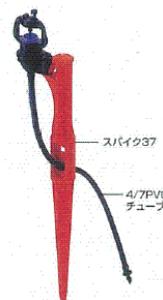
D'après les résultats de l'expérimentation, un palmier dattier nécessite 96lit ($24lit/hr \times 4$ goutteurs) par irrigation.

Au cas où le débit des rampes est de 7.5 lit/hr/m, il faudrait prévoir un tube long de 12.8m est de rigueur par palmier dattier.



Caractéristiques du micro asperseur

Pression d'eau	1 – 3 bar
Débit	18 – 95 lit/hr
Diamètre du cercle d'arrosage	3.0 – 6.5 m



(2) Dispositif de contrôle

Le dispositif de contrôle est composé de divers mécanismes de contrôle de pression et de débit, et sert à éliminer les dépôts de sable et/ou des déchets transportés par l'eau.

1) Pompe

La pression de l'eau doit atteindre un niveau qui permet à l'eau de couler dans le système des conduites et sécuriser le suintement constant de l'eau au niveau des rampes. Donc, on doit équiper le réservoir de l'exploitation d'un motopompe ou d'une pompe électrique, et ce afin de régulariser l'alimentation en eau de khattara selon la demande.

La capacité de la pompe est déterminée par les calculs hydrauliques détaillés ci-après.

Pour ce faire, les calculs prennent en considération comme échantillon un lopin de terre irrigué au goutte à goutte de 50m x 30m.

Débit de la pompe; Q_p

$$Q_p = 0.125 \lambda / \text{min} / m \times 50 m \times 23 \text{lines} = 142.8 \lambda / \text{min} = 2.4 \lambda / \text{sec} (0.144 m^3 / \text{min}, 8.64 m^3 / \text{hr})$$

Charge de la pompe; H_p

Pression requise pour les rampes

$$h_o = 10 \text{m} (1.0 \text{ bar})$$

Perte de charge dans les vannes et les filtres

$$h_1 = 5 \text{m}$$

Perte de charge dans les conduites

Longueur de la conduite de distribution est supposée être de 300m.

$$h_2 = F_1 \times \left\{ 6.287 \times 10^6 \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} \times \frac{L}{D^{4.87}} \right\} = 3.97 \times 10^{-1} \times \left\{ 6.287 \times 10^6 \times \left(\frac{71.4}{140} \right)^{1.85} \times \frac{15}{50^{4.87}} \right\} = 0.06 \text{ m}$$

$$h_3 = 6.287 \times 10^6 \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} \times \frac{L}{D^{4.87}} = 6.287 \times 10^6 \times \left(\frac{142.8}{140} \right)^{1.85} \times \frac{5}{75^{4.87}} = 0.02 \text{ m}$$

$$h_4 = 6.287 \times 10^6 \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} \times \frac{L}{D^{4.87}} = 6.287 \times 10^6 \times \left(\frac{142.8}{140} \right)^{1.85} \times \frac{300}{75^{4.87}} = 1.45 \text{ m}$$

(Note; Guide pour le planification de la micro irrigation, 1994, Ministère de l'Agriculture, des Eaux et Forêts et des Pêches du Japon)

$$\text{Perte de charge total} = h_o + h_1 + (h_2 + h_3 + h_4) \times 1.1 = 10.0 + 5.0 + (0.06 + 0.02 + 1.45) \times 1.1 = 16.7 \text{m}$$

Charge de la pompe $H_p = \text{Perte de charge} + \text{Charge de succion} = 16.7 \text{m} + 3.0 = 20 \text{m}$ Chevaux;

$$P = 0.222 \times \frac{Q \times H}{\eta} \times (1 + R) = 0.222 \times \frac{0.144 \times 20}{0.5} \times (1 + 0.2) \geq 1.5 \text{ ps}$$



Pompe portable

2) Hydro cyclone

Le mécanisme de purge des déchets fonctionne par le principe de la force centrifuge ou en tourbillon, qui sépare de l'eau les substances en suspension, les regroupe et les expulse avec de petites quantités d'eau.

3) Filtre

Le filtre est le dispositif de filtrage qui piège le sable par une grille faite de fibres en plastique ou en fil de fer. Les dimensions requises en sont déterminées par le diamètre des goutteurs.

Tableau 4.4.1 Filtre de chaque type de sol

Nom	Taille du grain		Nombre de mailles
	(mm)	(μ)	
Conglomérats	2.00-1.00	2,000-1,000	10-18
Sable grossier	1.00-0.50	1,000-500	18-35
Sable à grains moyens	0.50-0.25	500-250	35-60
Sable fin	0.25-0.10	250-100	60-160
Sable très fin	0.10-0.05	100-50	160-270
Limon	0.05-0.002	50-2	270-400
Argile	0.002 ou moins	2 ou moins	



4) Clapet de non-retour

Au cas où le réseau d'irrigation est à usage divers, un clapet de non-retour sera installé afin d'empêcher que les flux rétrogrades mélangés aux fertilisants et/ou aux produits phytosanitaires ne soient refoulés vers la source d'eau.

5) Ventouse

Une ventouse sera installée pour chasser l'air piégé et permettre le flux normal de l'eau dans la conduite.

6) Compteur

Le débit et la quantité totale peuvent être mesurés par un compteur.

7) Manomètre

Deux manomètres seront installés en amont du purgeur des déchets et en aval du filtre.

Une pression qui soudain décroît est le signe d'une possibilité de fuite dans la conduite, et une différence importante entre les pressions de deux manomètres indique qu'un filtre est bouché.



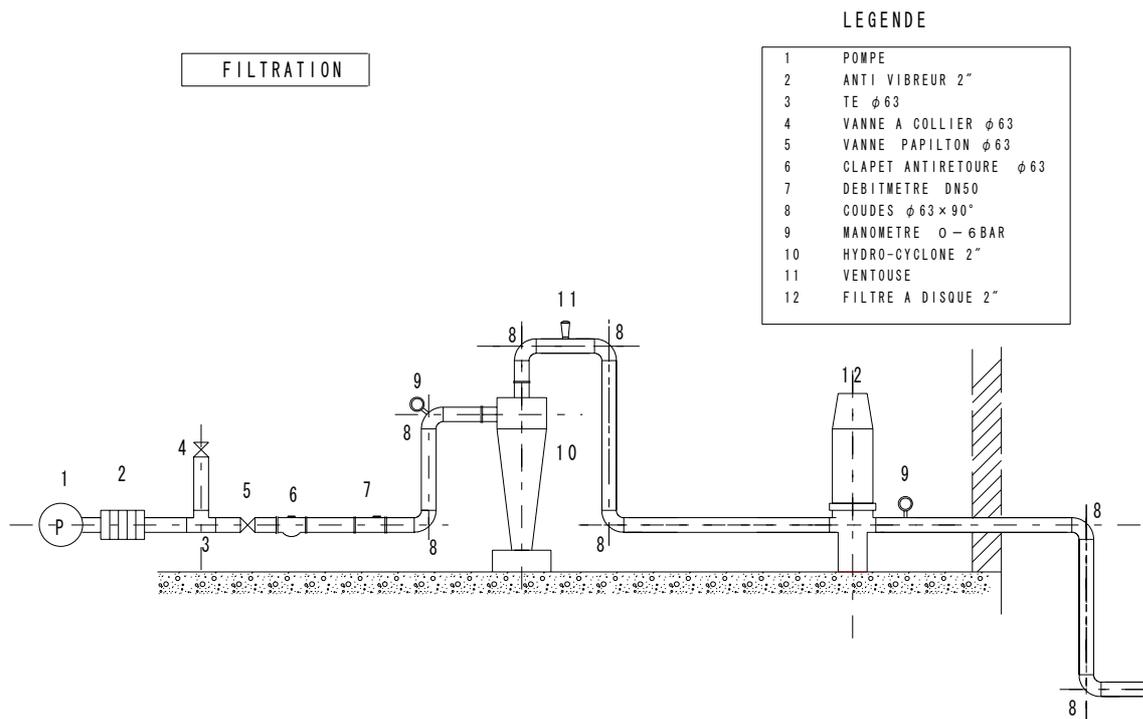


Figure 4.4.3 Manomètre pour l'irrigation goutte à goutte

4.4.4 Capacité du réservoir

Le bilan d'eau au niveau de l'exploitation est formulé à partir de la fourniture de l'eau de la khattara et la demande en eau de l'exploitation. La fourniture d'eau est sujette aux droits d'eau traditionnels et la demande en eau dépend de la quantité d'eau d'irrigation.

Dans le cas de l'irrigation par bassin, les agriculteurs submergent leurs parcelles au moment de leur tour d'eau, donc il n'est pas nécessaire d'établir un équilibre entre l'offre et la demande au niveau de l'exploitation.

Bien que le programme du tour d'eau est établi sur la base des droits d'eau traditionnels, les agriculteurs s'arrangent entre eux pour satisfaire les besoins en eau des cultures en échangeant et/ou en dissociant les heures d'irrigation.

Cependant, il est impossible de réduire les jours d'intervalle d'irrigation afin de ne pas dépasser la limite inférieure d'humidité du sol (point de flétrissement permanent) et d'adopter l'irrigation au goutte au goutte dont l'intervalle d'arrosage est d'un ou de deux jours permettant de maintenir constante l'humidité du sol.

A cet égard, l'aménagement d'un réservoir dans l'exploitation agricole est nécessaire pour la pratique de l'irrigation au goutte à goutte.

La capacité du réservoir peut être obtenue par l'équation suivante:

$$V = WD \times \text{JOURS}$$

V; Capacité du réservoir de l'exploitation (m³)

WD; Demande en eau (m³/jour)

Jour; Jours d'intervalle de fourniture (jours)

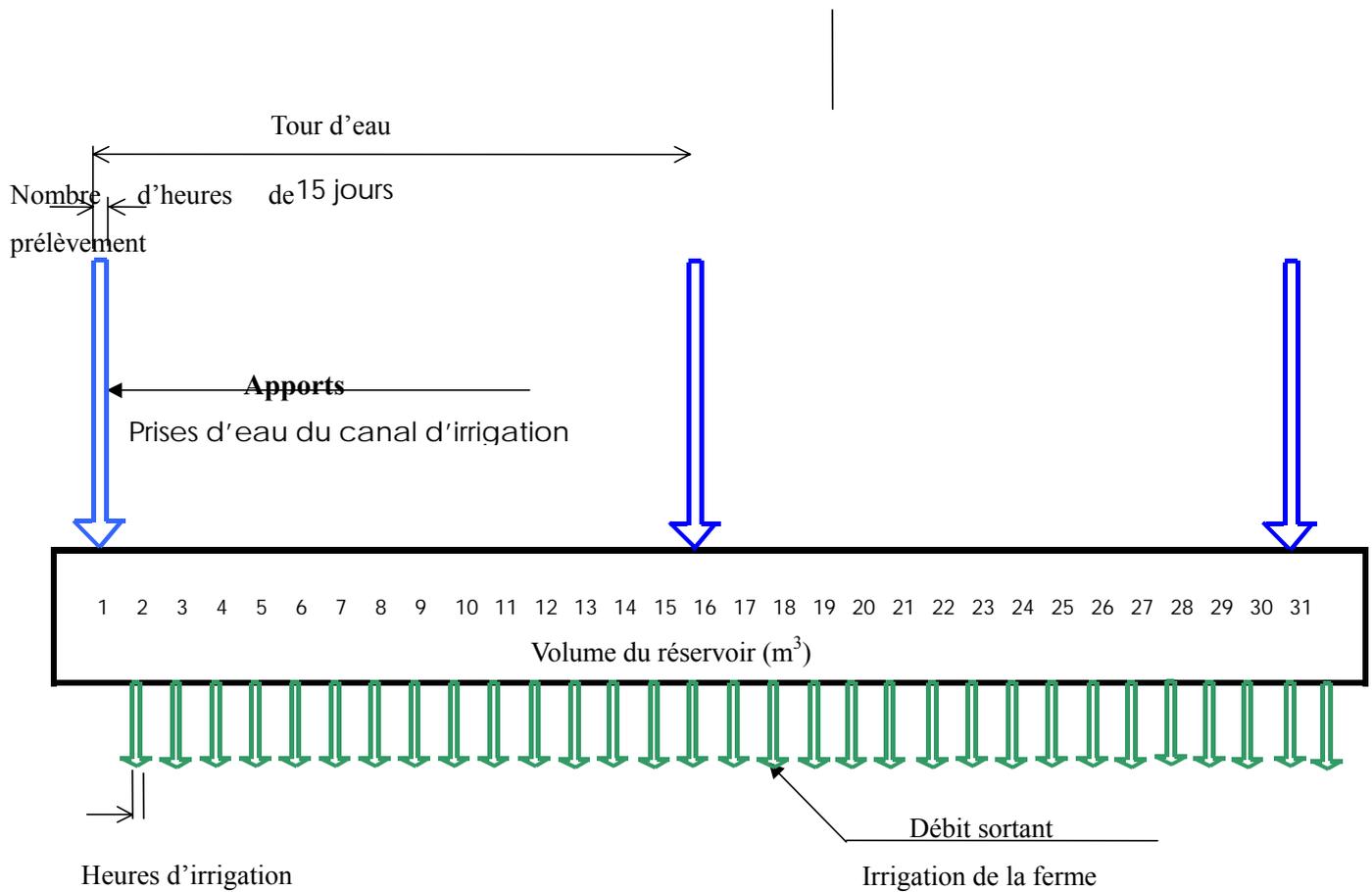


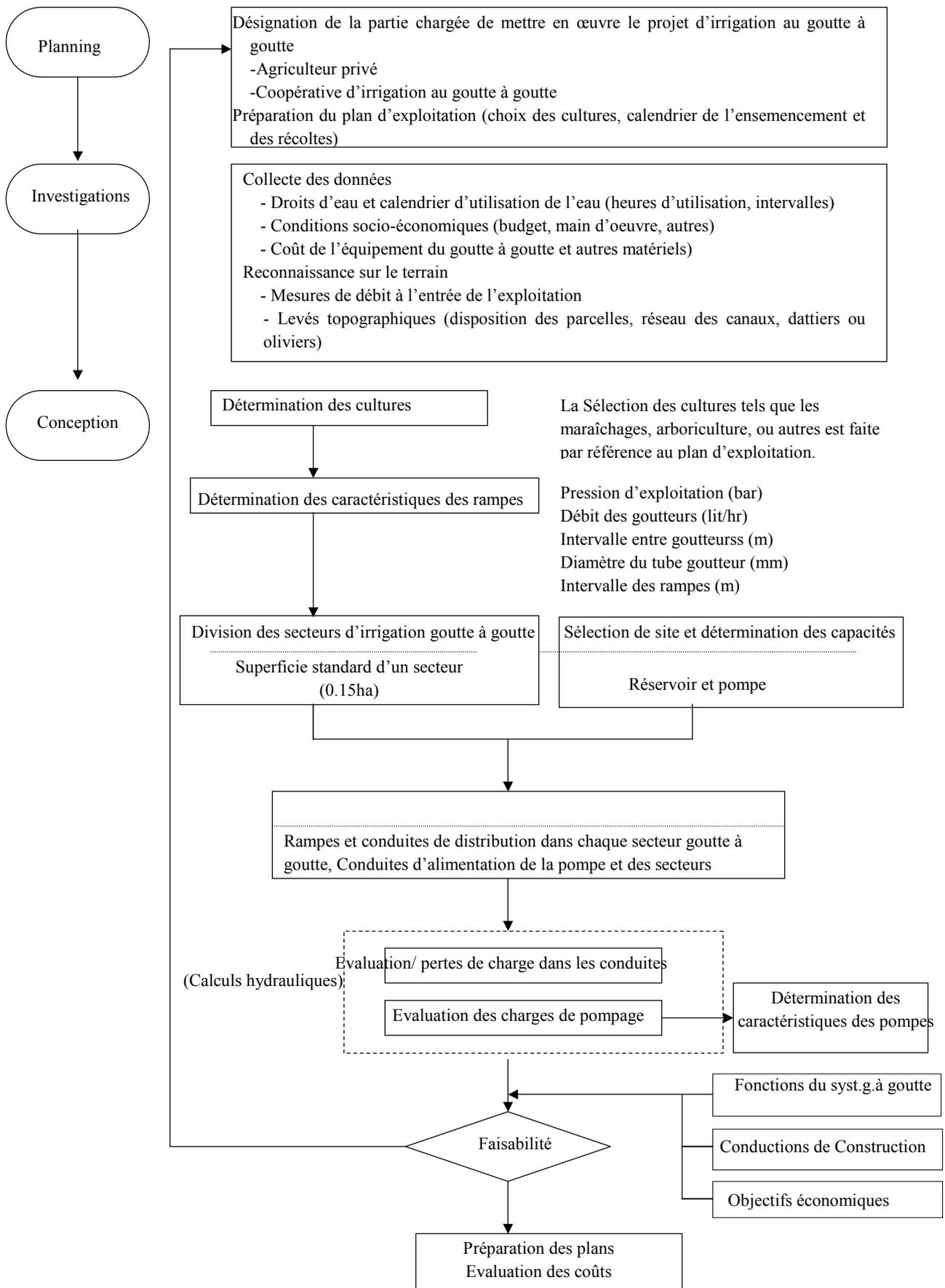
Figure 4.4.4 Réservoir pour l'irrigation goutte à goutte

Tableau 4.4.2 Capacité d réservoir par intervalle d’irrigation

Mode d’irrigation	Irrigation par Bassin	Irrigation à la raie	Irrig. au goutte à goutte	Remarques
Superficie irriguée(ha)	A=0.15	$2/3 \cdot A=0.10$	$1/2 \cdot A=0.075$	Superficie A=0.15ha
Efficienc e d’arrosage	0.70	0.85	0.95	
Consommation d’eau WC (mm/jour)	5.7	5.7	5.7	Maximum (en juin)
Demande en eau WD (m ³ /jour)	12.2	6.7	4.5	WD=WC x A x 10/E c
Intervalle de fourniture	12.2	6.7	4.5	
Capacité du Réservoir	2 jours	24.4	13.4	V=WD x JOURS
	3 jours	36.6	20.1	
	4 jours	48.8	26.8	
	5 jours	61.0	33.5	
	6 jours	73.2	40.2	
V (m ³)	7 jours	85.4	46.7	31.5

4.4.5 Procédure de la conception

La procédure de conception du canal est explicitée par la figure ci-après:



4.4.6 Maintenance

Le système d'irrigation au goutte à goutte comprend plusieurs installations et équipements tel que l'illustre le tableau suivant.

On recommande d'engager les activités de maintenance des installations et des équipements décrites ci-après avec une certaine fréquence afin de préserver les fonctions du système d'irrigation du goutte à goutte.

Tableau 4.4.3 Entretien des installations de l'irrigation goutte à goutte

Classification	Ouvrages et équipements	Maintenance	
		Activités	Fréquence
Source d'eau	Réservoir	<p>La terre qui s'accumule au fond devrait être évacuée pour préserver la capacité du réservoir et éviter sa succion par le pompage.</p> <p>La hauteur de l'eau doit être soigneusement vérifiée pour constater toute fuite du réservoir.</p>	<p>A la fin de la période d'irrigation</p> <p>En cas de fortes fuites, une réparation immédiate est requise.</p>
Contrôle des installations	Pompes	<p>L'exploitation des pompes doit faire l'objet d'un suivi minutieux au moyen du manomètre et du compteur installés après la pompe.</p> <p>Chaque fois qu'on constate une anomalie, la pompe doit être arrêtée immédiatement et ses composants examinés pour en localiser la cause.</p>	Quotidiennement
	Purgeur des déchets et filtre	<p>Les substances suspendues dans l'eau d'irrigation sont interceptés et évacuées par le dispositif de filtrage.</p> <p>Un nettoyage périodique est de rigueur pour préserver le bon fonctionnement de l'équipement.</p> <p>Puisque le colmatage de l'hydrocylone et du filtre entraîne une différence de pression entre le manomètre en amont et celui en aval, la durée de nettoyage peut être réglée sur la différence de pression indiquée par les manomètres.</p>	<p>Au moins une fois par période d'irrigation</p> <p>Au moment où la différence de pression des deux manomètres atteint une certaine valeur.</p>
	Vannes	Les robinets (tels les robinets de purge, les clapets anti-retour, ou les robinets de coupure) sont soigneusement vérifiés. Ils devront être remplacés en cas de fuite notable.	Chaque jour
	Compteur et Manomètre	Au cas où l'indicateur ne fonctionne pas normalement, ces appareils doivent être réparés ou remplacés.	Chaque jour

Conduites	Rampes	<p>Pendant la période d'irrigation, l'uniformité de chaque aire mouillée devrait faire l'objet de suivi pour découvrir les rampes qui sont bouchées.</p> <p>Les travaux d'exploitation devront être exécutés minutieusement pour éviter d'endommager les rampes.</p> <p>(On doit toujours avoir en stock les pièces de rechange)</p> <p>A la fin de la période d'irrigation, les rampes devront être nettoyées avec des jets d'eau, retirées avec précaution et stockées dans le magasin en les enroulant sans torsion.</p>	<p>Chaque jour</p> <p>A la fin de la période d'irrigation</p>
	Porte rampes et Conduite d'amenée	<p>Avant le commencement de l'irrigation, l'air piégé dans les portes rampes et la conduite d'alimentation doit être purgé par le bout supérieur du tube vertical connecté à la conduite enterrée.</p>	<p>Au début de la période d'irrigation</p>