

CHAPITRE 3 SITUATION ACTUELLE DANS LA ZONE DE L'ETUDE

3.1 Conditions naturelles

3.1.1 Emplacement et topographie

La zone de l'étude est située entre 250 et 390 km au Sud de Tunis, capitale de la République de Tunisie. Elle s'étend de Gafsa à Es Sabria sur une longueur d'environ 140 km en direction Nord-Sud, et du Golfe de Gabès à la frontière algérienne sur une longueur de 260 km d'Est en Ouest. Elle couvre partiellement les gouvernorats de Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès sur des surfaces respectives de 7.360 km², 6.159 km², 22.454 km² et 7.505 km², soit un total de 43.4678 km². Elle s'étend de 22°20' à 34°40' de latitude Nord à 7°49' - 10°30' de longitude Est. Le transport entre Tunis et la zone de l'étude se fait par les routes nationales n° 1, 2 et 3, et celui à l'intérieur de la zone de l'étude par les routes nationales n° 1, 3, 15 et 16. Les principales villes, Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès sont situées sur ces routes nationales.

Le territoire tunisien, orienté Nord-Sud, se subdivise grosso modo en trois zones morphologiques: la Tunisie atlasique, la Tunisie Est et la Plateforme saharienne. La zone de l'étude comprend quatre gouvernorats qui occupent la partie Nord de la plateforme saharienne.

La zone de l'étude dans le gouvernorat de Gafsa est située dans un bassin ondulé d'une altitude entre 220 et 400 m. Le bassin est entouré de montagnes telles que J. Sidi Aich (1.029 m) et J. Es Souinia (679 m) au Nord, J. Biada (1.163 m) à l'Est et J. El Asker (608 m) et Morra (510 m) au Sud. Ce bassin est légèrement incliné vers le Sud-Ouest où se situe Chott El Gharsa. Plusieurs wadis nés dans ces montagnes s'écoulent en direction du Sud et de l'Ouest. Ils rejoignent l'Ouest El Melah et s'écoulent vers Chott El Gharza qui se trouve à 17 m au-dessous du niveau de la mer. Les principaux affluents traversant la zone de l'étude sont O. El Kebin, O. Sidi Aich et O. El Melah.

Les quatre oasis des délégations de Gafsa Sud et Ksar sont situées dans le centre et dans la partie la plus basse de la cuvette de Gafsa. La première se situe à l'Ouest de la rivière Baiech à une hauteur entre 250 et 260 m, alors que la seconde se situe à l'Est de la rivière Baiech à une hauteur entre 250 et 270 m. L'oasis de la délégation de Guetar se trouve à environ 14 km à l'Est de Gafsa. Elle est entourée d'une zone à fortes pentes et Chott El Guetar dans le Nord, mais est inclinée vers le Sud à une altitude de 220 à 270 m. Les deux oasis de la délégation de Metlaoui sont situées à environ 20 km à l'Ouest de Gafsa, au Sud d'une zone montueuses, avec des pentes relativement raides d'une hauteur de 230 à 280 m. Les oasis de la délégation de Redeyef

se situent à l'extérieur du bassin de Gafsa près de la frontière algérienne. Cette zone a une hauteur d'environ 100 m.

La zone de l'étude dans le gouvernorat de Tozeur s'étend du Nord-Est au Sud-Ouest le long de la route nationale n°3, à une altitude entre 10 et 150 m. Elle est limitée par le J. Morra au Nord, le Chott El Djerid à l'Est et au Sud, et par le Chott El Gharsa et la frontière algérienne à l'Ouest. Elle est inclinée vers l'Est et vers l'Ouest, avec des pentes relativement raides vers les deux plus grands chotts. Il est à noter que la plupart des sources pour les oasis se situent entre ces deux chotts et la frontière.

Les dix oasis de la délégation de Tozeur se situent principalement à l'Est et au Sud de la ville de Tozeur et s'étendent dans la direction du Chott El Djerid. La zone située à une hauteur de 40 à 80 m est inclinée vers l'Est et le Sud. Les cinq oasis de la délégation de Nefza sont situées au Sud de la ville de Nefza et au Nord du Chott El Djerid. La pente de ces zones est orientée vers le Sud avec une hauteur de 30 à 80 m. Les sept oasis de la délégation de Degache sont situées au Nord-Est et au Sud-Est de la ville de Degache. Les premières sont à une hauteur de 10 à 50 m avec une pente orientée vers le Chott El Gharsa, alors que les secondes ont une hauteur de 20 à 50 m avec une pente orientée vers le Chott El Djerid. Les oasis de Hazoua et les quatre autres de la délégation de Tamerza sont situées près de la frontière algérienne; le sol est très plat à une hauteur d'environ 20 m.

La zone de l'étude dans le gouvernorat de Kébili est limitée par le Chott El Fajaj au Nord, par J. Tebaga (496 m) à l'Est, les dunes du Grand Erg au Sud, et des berges complexes du Chott El Djerid à l'Ouest. Elle se caractérise par une topographie très plate avec une altitude de 40 à 80 m. La majeure partie de ce gouvernorat longe les routes nationales n° 103, 206 et 210. Un grand nombre de wadis ayant leur source dans le J. Tebaga s'écoulent vers le Nord et le Sud, changent de direction vers l'Ouest et finalement rejoignent le Chott El Djerid.

Les 14 oasis de la délégation de Souk Lahad sont situées dans une zone en saillie du Chott El Djerid, divisée en deux parties par la route nationale n° 16, en oasis au Nord et au Sud de la route. L'altitude des oasis situées dans cette délégation va de 30 à 50 m. Les 12 oasis de la délégation de Kébili Nord, à une hauteur de 30 à 50 m, sont concentrées au Nord du Chott Kébili (à l'Est du Chott El Djerid), et inclinées vers le Sud. Les 18 oasis de la délégation de Kébili Sud sont éparpillées à l'Est du Chott Kébili, la zone ayant une pente orientée vers l'Ouest et une hauteur de 30 à 50 m. Les 13 oasis de la délégation de Douz sont situées le long de route nationale n° 202, c'est une zone plate à peu de relief à une hauteur de 30 à 50 m. Les dix oasis de la délégation de Faouar sont éparpillées le long de la berge du Chott El Djerid. Le sol est plat avec des ondulations mineures, avec une hauteur de 30 à 50 m.

La zone de l'étude dans le gouvernorat de Gabès est limitée par le J. Es Stah (318 m), J. El Haid Oudi (259 m), J. Zemlet El Beida (160 m) etc. au Nord, le Golfe de Gabès à l'Est, J. Bateun Kradre (370 m), J. Saikra (302 m), etc. au Sud et le Chott El Fejaj à l'Ouest. Elle se caractérise par un relief ondulé et une élévation de 10 à 150 m. La plupart des oasis sont situées le long des routes nationales n° 1, 15, 16 et 107. Le bassin hydrographique de la région est orienté Nord-Sud par J. Zemel El Beidia - ville de Hamma - J. Saikra, et la région divisée en deux zones Est et Ouest sur le plan topographique, la première influencée par la mer, la seconde le Chott El Fejaj.

La bassin hydrographique du gouvernorat de Gabès orienté vers le Nord se compose de J. Zemlet El Beida - ville de Hamma - J. Saikra. Il y a cinq oasis dans la délégation de Gabès Est, cinq dans Gabès Ouest, cinq dans Ghannouch, trois à Metouia et 17 à Mareth, soit un total de 35 oasis, toutes orientées vers le golfe de Gabès. C'est un relief de collines à pentes douces vers le golfe, et les oasis ont une hauteur de 10 à 100 m. D'autre part, les 11 oasis de la délégation d'El Hamma et les 2 de celle de Matmata, soit 13 au total font face au Chott El Fejaj. Le relief est relativement ondulé, entre 40 m et 120 m de hauteur. La pente descend vers l'Ouest où se trouve le Chott El Fejaj.

3.1.2 Météorologie et hydrologie

Les conditions géomorphologiques et pluviométriques divisent la Tunisie en trois (3) régions hydrométéorologiques: le Nord, le Centre et le Sud. Le Nord, qui correspond à 25% du territoire, est influencé par la Mer Méditerranée, et reçoit 400 à 1.000 mm par an. Le Centre (15% du territoire) qui se situe entre les chaînes de montagnes du Nord et 34°30' de latitude Nord, a des précipitations de 200 à 400 mm. Le Sud, qui correspond à 60% du pays, est une zone semi-aride à précipitations annuelles inférieures à 200 mm.

La zone de l'étude se situe dans le Sud ou zone semi-aride. Son climat est représenté par les données météorologiques des quatre (4) stations d'observation de Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès, comme le montre le Tableau 3.1.2. Il y a des différences considérables entre les données de ces stations parce que topographiquement, Gafsa est proche du Centre de la Tunisie, Tozeur et Kébili sont situées à l'intérieur des terres et Gabès sur la côte.

La température annuelle moyenne à Tozeur et Kébili est supérieure à 20°C, ce qui est attribué aux mois de juin à août très chauds en climat continental, alors que Gafsa et Gabès ont des températures relativement basses, inférieures à 20°C à cause de leur bon emplacement: Gafsa près du Centre et Gabès sur la côte. Mais l'humidité relative à Tozeur et Kébili est inférieure à celle de Gafsa et Gabès, cela sans doute parce que les deux premières sont situées à l'intérieur

du pays où il fait très sec longtemps pendant l'été, et les deux dernières sont au Nord et au bord de la mer où le temps sec dure moins longtemps. Il y a également une grande différence dans les précipitations. Par exemple, les données des deux stations météorologiques de Tozeur et Kébili indiquent respectivement des pluies annuelles de seulement 86,9 et 73,6 mm. Par contre, pour les deux dernières, les données sont respectivement de 174,3 et 212,8 mm, soit deux fois plus. Ces différences se répercutent également sur l'évaporation moyenne annuelle, qui est de 7,2 mm et 8,4 mm par jour respectivement à Tozeur et Kébili, et de 6,6 mm et 5,5 mm par jour à Gafsa et Gabès.

La zone de l'étude peut donc se subdiviser en deux sous-zones sur le plan météorologique, bien qu'elle soit dans la région Sud du pays. Les gouvernorats de Tozeur et Kébili sont dans l'intérieur du pays chaud et sec, alors que Gafsa et Gabès sont dans une zone tempérée relativement arrosée.

Quant à l'hydrologie, la plupart des eaux de surface sont concentrées dans le Nord de la Tunisie comme les précipitations et la topographie le laissent penser, elles ne sont pas importantes. Le Centre et le Sud de la Tunisie se caractérisent par des bassins intérieurs sans débouché sur la mer. Il y a de petites salines dans le premier et de grands Chotts comme le Chott El Djerid dans le second. L'Oued El Melah est la seule rivière pérenne de la zone de l'étude.

3.1.3 Géologie

(1) Relief

La Tunisie se situe au centre de la longue ligne de côtes Nord de l'Afrique, face à la Mer Méditerranée. Le territoire orienté Nord-Sud se divise grosso modo en trois régions géographiques

1) Plateforme Saharienne

Les énormes Chotts El Jerid et Galsa constituent la frontière Nord, et les immenses plateaux qui s'étendent au Sud sont pour la plupart envahis par le désert.

2) Tunisie Atlasique

Il s'agit d'une région à relief allant des montagnes à des collines qui s'étend du Nord de la Tunisie au Nord-Ouest, finement divisée, où la zone montagneuse Sud est la plus élevée en direction Est-Ouest, la zone montagneuse Est en direction Nord-Sud et l'épine dorsale tunisienne en direction Sud-Ouest - Nord-Est.

3) Tunisie Orientale

C'est la région de plaines de l'Est de la Tunisie, représentée par les plaines de Kairouan et Sfax, qui descendent en pente très douce de limite Est de la Tunisie Atlasique à la côte Est de la Tunisie.

Les quatre gouvernorats de Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès, qui forment la zone de l'étude, se situent à la limite Nord de la Plateforme Saharienne, où se trouvent les terres les plus basses de Tunisie autour du Chott El Djerid, et vers le Golfe de Gabès.

(2) Aperçu géologique

La Tunisie a un socle précambrien principalement composé de granites et de roches métamorphiques. Elles ne sont pas exposées, mais ont pu être aperçues dans différents forages de la Plateforme Saharienne. Le socle effectif du pays est paléozoïque, et les couches affleurantes les plus anciennes sont les couches permienes, qui forment Jebel Tebaga. Il est considéré que pratiquement toute la stratification des couches couvrant le socle est distribuée en Tunisie. La Figure 3.1.3.1 donne la stratification standard de la Tunisie avec les principales formations.

1) Plateforme Saharienne

Le socle précambrien est recouvert d'une épaisse couche paléozoïque. Il n'y a pratiquement pas de plis, mais il y a un léger soulèvement pratiquement au centre. Mais, la couche paléozoïque de la bordure Nord appelée zone de transition saharienne est découpée de manière échelonnée par plusieurs failles.

2) Tunisie Atlasique

Comme le montre le relief, cette zone a une structure géologique très complexe, c'est la bordure Est du grand Mouvement Atlasique qui s'étend sur environ 2.000 km, et les roches des socles mésozoïques à cénozoïque sont très bouleversées.

3) Tunisie Orientale

Comme peut le suggérer son relief très plat, la stratification des couches est très simple. Les roches sédimentaires cénozoïques (principalement paléogènes) forment le socle effectif, qui est recouvert de roches quaternaires ou affleurant.

(3) Géologie de la zone Sud

La zone de l'étude s'étend juste à la limite nord de la Plateforme Saharienne, ou dépasse un peu la limite de la Tunisie Atlasique. La région est la zone de terres les plus basses de Tunisie comme précité, correspondant à la zone de transition saharienne. Ces caractéristiques topographiques sont le résultat des mouvements géotectoniques qui se poursuivent à ce jour.

La majeure partie de la région a un socle effectif mésozoïque directement recouvert de couches quaternaires à la fois fluviales et éoliennes. Le socle se compose de roches sédimentaires du permian inférieur au tertiaire, alternant des roches tendres comme les marnes, les microgrès, l'argile et les évaporites, et des roches dures comme les calcaires ou les dolomites, et forme localement des cuestas combinés à des failles échelonnées.

Les zones de collines basses sur les deux rives du Chott Fejaj, aux environs de la ville de Gabsa et au sud de Gabès sont des zones où le socle affleure directement comme précité. Les roches cénozoïques qui recouvrent les couches mésozoïques affleurent directement seulement au Sud et à l'Est du Chott El Djerid.

(4) Sol gypseux

Il y a des sols gypseux dans plusieurs régions désertiques du monde, et la Tunisie est connue pour en être largement recouverte. Chimiquement, le gypse est du sulfate de calcium avec deux molécules d'eau ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), et deux autres types de sulfates de calcium existent naturellement: l'anhydride (CaSO_4) et l'hémihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$).

Le sulfate de calcium se présente le plus communément sous forme de précipité de gypse suite à l'évaporation des marais salants, et comme couches d'anhydrite ou gypse dans le socle (Delano, 1983). On aperçoit le second type de socle dans les montagnes entourant les chotts, et le premier se trouve généralement au fond des immenses chotts de la zone de l'étude; une partie est vendue comme souvenir sous le nom de "rose des sables".

(5) Etude du gypse

Dans le Sud et une partie du Centre de la Tunisie, en particulier sur les terres basses du Chott El Djerid au Golfe de Gabès, le sol gypseux est plutôt ordinaire. Parmi les 153 oasis objets de l'étude, environ 90 ont du sol gypseux sous-jacent ou en sont couvertes, peu ou

beaucoup. Aussi, une étude du gypse a été conduite avec une tarière manuelle dans 11 oasis des quatre gouvernorats. (Voir le tableau ci-après.)

Etude du gypse. Tableau des volumes étudiés à la tarière manuelle

Gouvernorat	Oasis objet	Nombre	Longueur (m)
Gafsa	Sud Ouest	6	10.8
	Oued Shili	6	16.5
Tozeur	Tozeur	10	40.1
	Draa Sud	7	20.8
Kébili	Ras El Ain	8	39.3
	Guataya	7	29.6
	Mazraa Neji	7	26.8
Gabès	Régim Maatoug 2	6	14.5
	Oasis de Gabès	7	29.1
	Metouia	7	30.7
	Aouinette	7	15.8
Total	11 Oasises	78	274.0

L'Annexe B indique les résultats des sondages à la tarière manuelle dans les différentes oasis. La Figure 3.1.3.2 en montre une partie. Cette étude a mis au clair les points suivants.

- 1) Le Sud de la Tunisie, où est incluse la zone du projet, disposant du gypse abondant, on observe du gypse presque partout.
- 2) Les principales sources du gypse sont les couches d'anhydride de gypse qui forment la zone montagneuse de cette zone.
- 3) La couche d'évaporites formée au fond des chotts constitue une source du gypse mineure.
- 4) Le gypse est généralement répandu sous forme de sédiments secondaires (sable gypseux), qui forment une croûte gypseuse dure quand ils sont entièrement secs.
- 5) Ordinairement, le gypse est répandu par paire de couches. Si la couche superficielle est formée d'une croûte gypseuse, alors au-dessous, à faible profondeur, se trouve une seconde croûte gypseuse.
- 6) Localement, du gypse continue à se cristalliser dans le sol argileux saturé d'eaux souterraines riches en sulfate de calcium. (gypse cristallin)
- 7) Les dégâts dus au gypse, autrement dit les oasis à sol recouvert de croûte gypseuse dure, sont pratiquement seulement des oasis nouvellement développées.
- 8) En dehors des dégâts physiques à la croûte gypseuse dure, il n'y a pas pratiquement pas de dégâts dus au sol gypseux, comme on le dit traditionnellement. Ce qui nuit à la végétation, c'est la couche d'argile sous le sable gypseux, qui empêche l'évacuation des eaux d'irrigation ou l'infiltration des eaux pluviales, qui fait monter ou stagner le niveau des eaux souterraines.

- 9) La croûte gypseuse peut être éliminée mécaniquement, ou bien facilement lessivée par irrigation. Mais la couche d'argile sous le sable gypseux est certainement la substance des sédiments au fond des chotts, qu'il est impossible d'éliminer. Autrement dit, il est difficile d'améliorer les oasis à couche d'argile lacustre à faible profondeur.

Par ailleurs, l'état actuel de la répartition du gypse dans les différentes oasis, établi à partir de notre étude et des documents collectés est indiqué dans la rubrique I du répertoire des sources des oasis en annexe.

(6) Essais de perméabilité sur le terrain

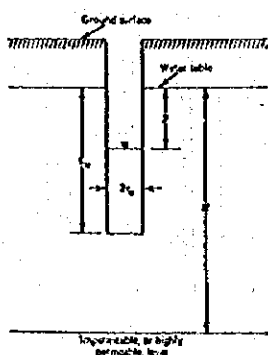
Parallèlement à l'étude du gypse, des essais de perméabilité ont également été réalisés sur le terrain selon la méthode trou de sondage dans le trou de sondage pratiqué pour l'étude du gypse.

La méthode du trou de sondage est une méthode de mesure des changements de niveau d'eau après le retrait rapide d'un volume d'eau d'un trou cylindrique sans garniture. Si le sol est meuble, on peut renforcer la paroi en insérant une crépine. Cette méthode très simple est la plus pratique quand les eaux souterraines sont très proches de la surface. La valeur K obtenue est le coefficient de perméabilité en direction horizontale à proximité immédiate du trou.

La figure suivante montre un trou de sondage et les dimensions requises pour le calcul. L'indice de perméabilité K est donné par la formule:

$$K = (C/864) \cdot (dy/dt)$$

Schéma d'un essai de sondage



où dy/dt est le taux de rétablissement mesuré en cm/sec. et le facteur 864 la conversion de K en m/jour. Quand une valeur K en cm/sec. est requise, la division par 864 est inutile. La constante C est une valeur obtenue dans le tableau à partir des différentes dimensions relatives aux trous de sondage.

Les détails des résultats de mesure sont indiqués dans l'Annexe B. Le tableau ci-après indique les résultats des essais de perméabilité aux emplacements d'origine ainsi obtenus.

Résultats des essais de perméabilité aux emplacements d'origine

$r_w = 5.2 \text{ cm}$

Gouvernorat	Oasis	Trou de sondage	Lw (cm)	H (cm)	y (cm)	C	dy/dt (cm/sec)	K (cm/sec)	Nature du sol
Gafsa	O. Shili	OS-1	150	210	122	2.73	0.180	4.9E-1	Sable
		OS-2	210	210	140	1.99	0.160	3.2E-1	Sable
Tozeur	Tozeur	TZ-1	260	350	125	1.48	0.045	6.7E-2	Sable argileux
		TZ-2	220	220	164	1.99	0.053	1.1E-1	Sable
	Draa S.	DS-1	220	800	120	2.04	0.030	6.1E-2	Sable argileux
		DS-2	250	500	209	1.12	0.005	5.6E-3	Sable argileux
		DS-5	230	230	165	1.67	0.070	1.1E-1	Sable
Kébili	Ras E.A.	REA-1	210	330	107	2.08	0.060	1.2E-1	Sable limoneux
	R.M.2	RM-1	270	800	166	1.26	0.075	9.5E-2	Argite sablonneux
Gabès	Gabès	GB-6	330	330	130	1.31	0.155	2.0E-1	Sable
	Aouinett	AO-6	250	800	200	1.12	0.130	1.4E-1	Sable

3.1.4 Hydrogéologie

(1) Régions hydrogéologiques

Sur la base de la répartition des précipitations et des conditions géomorphologiques expliquées ci-dessus, la Tunisie peut se subdiviser en trois (3) régions hydrogéologiques: Nord, Centre et Sud. Chacune de ces régions a été encore subdivisée en deux sous-régions, qui sont indiquées ci-dessous ainsi que les gouvernorats concernés.

1) Région Nord

- a) Nord-Ouest de la Tunisie
- b) Nord-Est de la Tunisie

2) Région du Centre

- a) Kairouan Sahel
- b) Tunisie centrale

3) Région Sud

- a) Sud-Ouest

Gafsa

Tozeur

Kébili

- b) Sud-Est

Gabès
Medehine
Tataouin

(2) Eaux souterraines

Actuellement, il existe officiellement un total de 109.163 puits et 2.117 forages en Tunisie (Réseau National de piézométrie de Tunisie, 1994). On rapporte également l'existence de plus de 800 forages illicites situés surtout dans le Sud.

Les eaux souterraines sont ordinairement classées en deux types: nappes peu profondes et profondes. Les nappes peu profondes sont des nappes libres à moins de 50 m de profondeur, pompées par l'intermédiaire de puits. Les nappes profondes sont des nappes situées à plus de 50 m de profondeur libres ou captives. La plupart des nappes profondes du Nord et du Centre de la Tunisie se trouvent entre 100 et 400 m de profondeur, mais elles sont à plus de 1.000 m dans le Sud.

Dans le Nord ou le Centre de la Tunisie, la plupart des nappes contiennent des eaux souterraines en circulation, à savoir rechargées par les eaux pluviales et renouvelables annuellement. Les couches aquifères prédominantes dans ces zones sont: i) la plaine alluviale, ii) les couches calcaires, et iii) le grès miocène. D'autre part, on trouve des eaux souterraines non renouvelables et difficilement rechargeables, appelées "eaux fossiles" dans le Sud de la Tunisie. Les principales couches aquifères sont: i) le Complexe Terminal (C.T.) et ii) le Continental Intercalaire (C.I.), inclus dans les catégories à eaux fossiles.

(3) Couches aquifères

1) Couche de la plaine alluviale

C'est la couche la plus commune qu'on trouve un peu partout. Ce système inclut des dépôts alluviaux, mais aussi diluviens.

2) Couche calcaire

Elle comprend principalement des roches calcaires éocènes; il y en a dans le Sud de la Tunisie.

3) Couche de grès miocène

Couche appelée Continental Terminal, une des couches aquifères prédominantes en Afrique. Dans le Sud de la Tunisie, elle est comprise dans une partie du Complexe Terminal.

4) Complexe Terminal

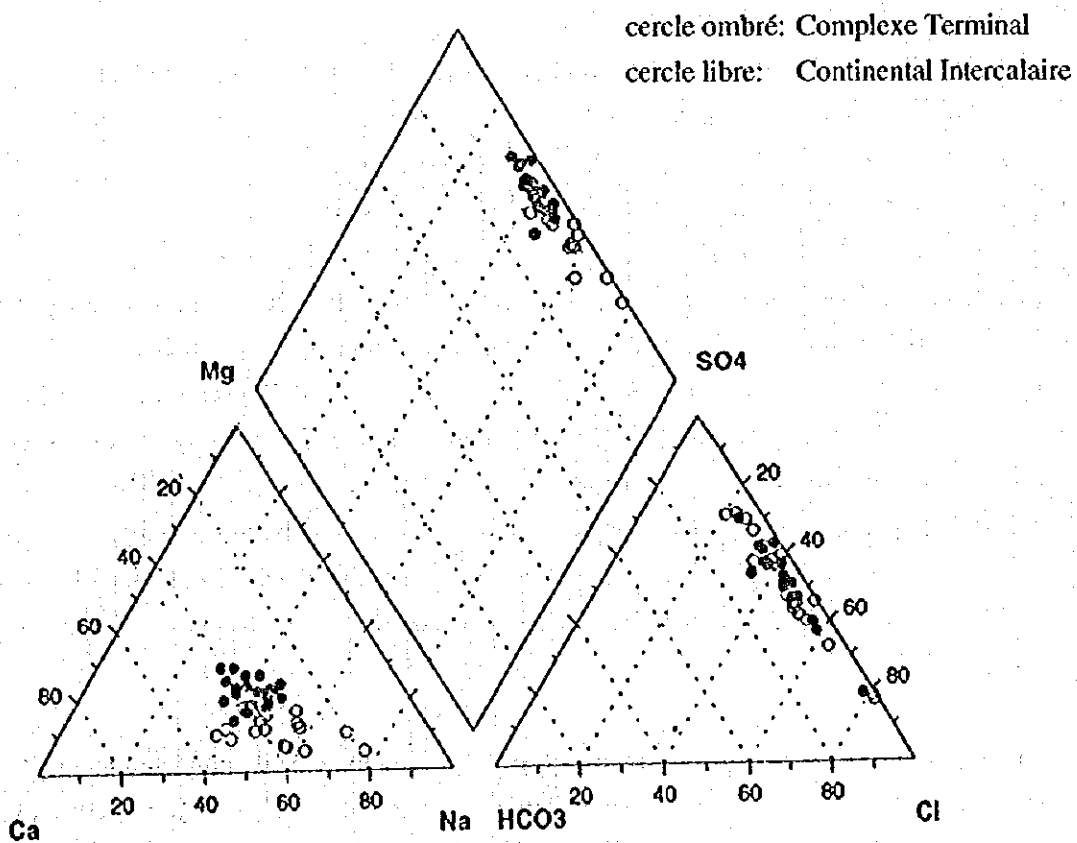
Le C.T. couvre beaucoup de couches aquifères situées à différents niveaux géologiques, mais le système s'écoule généralement dans l'une des deux formations lithostratographiques: Sénonien et Eocène carbonacé, et Mio-pliocène sableux.

5) Continental Intercalaire

Le C.I. comprend des roches carbonifères supérieur et du crétacé inférieur, et le plus grand réservoir d'eaux souterraines est considéré se trouver dans le Crétacé inférieur. Les eaux souterraines de cette couche sont généralement des eaux hydrothermales fortement pressurisées.

(4) Qualité de l'eau

Dans le Sud qui constitue la zone de l'étude, les eaux souterraines sont des nappes profondes, C.T. ou C.I. dans la plupart des cas, utilisées pour l'irrigation. Dans cette région, les eaux souterraines sont très alcalines, et la plupart sont classées dans le type III, appelé "type CaSO_4 ou CaCl_2 ", typique des eaux fossiles. Le diagramme triaxial de la Figure ci-dessous indique la qualité des eaux des C.T. et C.I. de la zone.



Parmi les 4 gouvernorats de la zone de l'étude, le C.I. n'est pas exploité à Gafsa, et on utilise les eaux souterraines non pressurisées et le C.T. Dans les trois autres gouvernorats, les C.T. et C.I. servent de source d'eau.

(5) Hydrogéologie de la zone de l'étude

Dans la zone de l'étude, les eaux souterraines utilisées comme source d'eau ont une signification et une importance particulières à cause des faibles précipitations. Dans la plupart des oasis de la région, les eaux souterraines sont l'unique source d'eau disponible pour l'irrigation. Des méthodes d'exploitation/utilisation des eaux souterraines traditionnelles telles que "Foggara"*¹ et "Jessour"*² sont employées depuis longtemps.

Récemment, dans le Sud de la Tunisie, les deux types de couche aquifère précités sont devenus très importants, parce qu'elles sont nouvellement exploitées, ont dans la plupart des cas une bonne réserve, sont artésiennes et peuvent jaillir naturellement. De plus, elles n'influent pas sur les puits existants. Mais ces couches ont des problèmes particuliers de grande profondeur, de forte salinité, et dans le cas des C.I., d'être des eaux géothermales. Le problème le plus important étant que leur exploitation constituera une consommation de ressources, tout comme dans le cas du pétrole.

*1 Technique pour source artificielle similaire au Konāt utilisé au Proche-Orient

*2 Autrement dit "barrage souterrain"

(6) Gestion et évaluation des eaux souterraines

Pour la gestion et le contrôle des eaux souterraines, et leur évaluation, il est indispensable de connaître leur situation en quatre dimensions (autrement dit, leur extension horizontale, leur répartition verticale et du point de vue série temporelle). Conscientes de ce fait, les autorités tunisiennes ont commencé la surveillance locale des eaux souterraines dès le milieu des années 1970. De plus, la mise en place d'un système de surveillance à l'échelle nationale s'est renforcée depuis le début de l'exploitation des couches aquifères profondes, complexes et internationales. Le réseau de surveillance national a été fondé dans la seconde moitié des années 1980, et la DGRE publie l'Annuaire piézométrique de Tunisie depuis 1991.

Vu l'importance des eaux souterraines, en particulier dans le Sud, plusieurs tentatives ont été faites pour évaluer les eaux souterraines, par exemple par l'ERESS (Etudes des ressources en eau du Sahara Septentrional, UNESCO, 1972) ou par B. Baccar, Poncet &

Mamou en 1987. Un travail de recherche international sur l'alimentation des eaux souterraines est en cours (Recharge Characteristics and Groundwater Quality of the Grand Erg Oriental Basin, British Geological Survey). L'évaluation du potentiel des eaux souterraines profondes dans le pays est difficile, parce que i) elles sont très profondes, ii) elles sont très épaisses, iii) elles s'étendent largement sur le plan international, iv) elles sont reliées à des sections plus hautes ou basses, v) elles sont même reliées jusqu'aux couches aquifères peu profondes, et vi) parce que le système de surveillance est encore rudimentaire.

On a revu les projets susmentionnés et les autres résultats d'étude, et en tenant compte des autres données et informations obtenues concernant l'hydrogéologie et les eaux souterraines, on a mis au clair les grandes lignes suivantes concernant les eaux souterraines de la zone du projet et leur potentiel de développement.

- 1) Les eaux souterraines sont la seule source d'eau sûre et stable dans le Sud de la Tunisie. Mais celles non pressurisées sont déjà surexploitées. Il n'y a plus de possibilités de développement, ou même, des mesures d'urgence devraient être prises.
- 2) Les eaux souterraines profondes de cette zone ont un taux de recharge très faible, et se classent dans les eaux fossiles. Mais comme les réserves sont énormes, les possibilités d'exploitation sont encore très grandes.
- 3) L'exploitation des eaux souterraines profondes a considérablement progressé, à la fois légalement et illégalement, au cours des 10 dernières années. Mais, pour ce qui est du C.T., la limite d'exploitation est déjà atteinte, ou bien il est déjà surexploité (gouvernorat de Kébili).
- 4) Les eaux du C.I. sont très profondes, et comme elles sont très artésiennes, on n'en est pas encore à un volume limite (taux d'exploitation d'environ 73%). Mais le C.I. et le C.T. forment ensemble une couche d'eaux souterraines complexe fuyante, et si elle est exploitée, cela influera sur le C.T., et si le C.T. est encore plus exploité, sa réserve exploitable diminuera rapidement. On peut donc dire que la limite d'exploitation du C.I. est atteinte.
- 5) La qualité d'eau est pour toutes les eaux de "type III" CaSO_4 ou CaCl_2 . Il est difficile de dire que c'est une eau de bonne qualité, mais elle est utilisable pour l'agriculture.
- 6) Comme le volume de pompage global atteint déjà la limite d'exploitation de la couche aquifère, la tendance à la baisse de la hauteur artésienne des eaux du C.T., en particulier les eaux souterraines profondes, s'est accélérée. Actuellement, dans les 4 gouvernorats, en moyenne 35% des forages dans le C.T. sont à eaux jaillissantes (plus de 70% à Kébili), mais comme le montre objectivement la Fig. 3.1.4.1, si le pompage

continue sans changement, dans moins de 10 ans, tous les forages dans le C.T. perdront leur hauteur artésienne, et le pompage deviendra nécessaire.

(7) Hydrogéologie des oasis

Les oasis traditionnelles peuvent se classer en sept catégories hydrogéologiques du point de vue hydrogéologique et géomorphologique:

- Cas a: Oasis de vallée entre les montagnes
- Cas b-1: Oasis de terrasse basse aux environs d'un Chott
- Cas b-2: Oasis de terrasses côtières relativement basses
- Cas b-3: Oasis sur pente douce de montagne ou colline
- Cas c: Oasis de cône de déjection ou plaine d'inondation
- Cas d: Oasis isolée aux environs d'un Chott
- Cas e: Autres

Voici un résumé de chaque cas. Cette classification figure dans la rubrique 1 du répertoire des sources des oasis.

Cas a

Le cas a, le plus typique, est naturellement irrigué par des eaux de surface ou sources. Les ressources d'eau de surface ou sources sont les pluies tombées dans les montagnes; les dépôts des vallées sont généralement adaptés à l'agriculture. Les oasis de la zone de Tamerza sont classées dans cette catégorie.

Cas b-1

Le couloir de Tozeur ou l'extension de Jebek Tabaga vers le Chott El Djerid est formé des collines en pente douce, mais plus pentues que la surface des terrasses basses autour du Chott. Quand la surface à inclinaison naturelle graduelle de la colline croise la pente, à cause de la différence d'inclinaison, l'eau souterraine jaillit de la surface du sol et irrigue les terrasses basses. Les oasis naturelles sont classées dans les cas b.

Ce cas, où l'oasis située en aval de la source se trouve sur une terrasse lacustre aux environs d'un chott, est le plus fréquent dans la zone de l'étude. En général, les terrasses sont très plates, l'inclinaison en aval très faible, l'écoulement de l'eau très bon parce que le sol se compose principalement de gravier; on peut dire que c'est le relief naturel le mieux adapté à l'agriculture. La plupart des oasis du couloir de Tozeur, y compris l'oasis de Tozeur, font partie de cette catégorie.

Cas b-2

Quand le niveau des eaux souterraines libres des montagnes obstacles ou autres hautes terrasses est supérieur celui de certaines terrasses de plaine, l'eau souterraine jaillit en source, et l'oasis est développée sur la terrasse. C'est ce qui se passe pour le cas b-2, la différence avec le cas b-1 étant qu'il s'agit ici de terrasses côtières. La plupart des oasis le long du Golfe de Gabès, représentées par l'Oasis de Gabès, font partie de cette catégorie.

Cas b-3

Le cas b-3 est similaire au cas b-2, cependant l'oasis ne se trouve pas sur une terrasse, mais sur une pente très douce ou une colline de piedmont. Bref, la différence avec les autres cas b est que l'oasis a été développée sur du sol autochtone, et non sur des sédiments secondaires comme une terrasse côtière ou la rive d'un Chott. Plusieurs des oasis du couloir de Tozeur ou Jebel Morra entrent dans cette catégorie.

Cas c

Les trois oasis constituant l'Oasis de Gafsa, par exemple, se trouvent au pied d'un large cône de déjection alluvial formé par le wadi Sidi Aich et le wadi El Kebir. Le large bassin de Sidi Aich est restreint en amont de la ville de Gafsa par les deux chaînes de montagne de Jebel Bay Younes et Jebel Orbata. L'étroit défilé entre les deux chaînes a formé un énorme cône de déjection alluvial immédiatement en aval, et créé un réservoir d'eaux souterraines dans le bassin en amont, comme un barrage souterrain naturel, fournissant de l'eau en aval par les dépôts du cône. Des oasis ont été développées au pied de ce cône de déjection. C'est le cas c, existant uniquement aux environs de la ville de Gafsa.

Cas d

Le long de la rive est du Chott El Djerid, on trouve beaucoup de petites collines dans les basses terres, la plupart couvertes (ou autrefois recouvertes) de la verdure des oasis. Les chotts de cette zone sont les principales zones de décharge du Complexe Terminal (C.T.), mais sont facilement contaminées par le sel accumulé au fond du chott. Lesdites eaux qui ont traversé seulement la formation autochtone, jaillissent naturellement à la surface, et peuvent être utilisées telles quelles pour l'irrigation et/ou l'usage domestique. Ces collines sont des restes de la couche tertiaire fracturée, autrement dit du socle d'origine. Ainsi, dans la plupart de ces collines de type île, l'agriculture s'est développée sur la base de la source d'eau CT. Beaucoup de petites oasis sur le rive Est du Chott El Djerid entrent dans cette catégorie.

Cas e

Pour terminer, le cas e inclut beaucoup d'oasis modernes (ou nouvelles) développées artificiellement, utilisant l'eau souterraine par l'intermédiaire de forages.

(8) Répertoire des sources d'eau des oasis

Toutes les oasis de la zone de l'étude ont été étudiées directement surtout au cours du Premier travail sur le terrain, ce qui a permis de mettre au clair le type, le volume, la méthode d'utilisation, la qualité d'eau moyenne de chaque source d'eau. Par ailleurs, le Répertoire des sources d'eau des oasis en Annexe établi en ajoutant à ces données la classification hydrogéologique des oasis et les conditions de distribution du gypse précitées.

3.1.5 Sol

Sur la base de l'étude du sol de 20 oasis représentatives et des résultats d'analyse en laboratoire, les sols ont été classés conformément à la méthode de l'UNESCO-FAO, et les propriétés physiques et chimiques de leur sol ont été mises au clair. La nature du sol se résume comme suit. (Voir les Tableaux 3.1.5.1 et 3.1.5.2 pour les détails.)

(1) Classification des sols

La plupart des oasis ont un sol à gros grains ou relativement gros grains rouges brunâtres altéré, et cela jusqu'à 1 à 2 m de la surface; en allant en profondeur, ce sol est remplacé par du calcaire sablonneux calcique, du limon sablonneux calcique, du limon calcique et de l'argile calcique. La profondeur où apparaît le calcaire varie considérablement selon les emplacements. Ce sol de cette zone, qui se classe dans les Xérosols, est un mélange de Xérosols calciques contenus dans le calcaire et Xérosols gypseux, et il n'y a pratiquement pas d'autres types de sol.

(2) Nature du sol

La plupart des oasis ont un sol à gros grains ou relativement gros grains, à texture en sable (S) ou sol sablonneux (SL). 3 oasis sont à texture en terre (Si). Les grains sont gros surtout à Gafsa et Tozeur, alors qu'à Kébili et Gabès, ils sont relativement petits. Par conséquent, le sol est très perméable. Mais, par endroits, la couche de gypse est relativement mince, et l'évacuation des eaux est nécessaire. La teneur en argile est très faible pour toutes les oasis, et la nature du sol est définie par sa teneur en microgrès. Le sol est généralement profond. Et partiellement, on peut voir du sol hydromorphe.

(3) Acidité

Le pH du sol des oasis va de 8,0 à 9,3, la plupart des sols sont alcalins, et l'eau d'une seule oasis (Tamerza) est extrêmement alcaline.

(4) Salinité

La conductivité du sol va de 15 à 520 mS/m, et les différences sont grandes selon les oasis. La plupart des oasis ont un EC inférieur à 400 mS/m, et la salinité ne pose pas de problème. Deux oasis ont un EC légèrement supérieur à 400 mS/m, mais ce n'est pas élevé au point de provoquer des dégâts pour les cultures. La salinité de l'eau d'irrigation n'est pas très forte dans pratiquement toutes les oasis, seules celles de 3 oasis ont un EC supérieur à 400 mS/m. Si le EC des eaux d'irrigation dépasse 400 mS/m, ou bien pour les oasis où l'évacuation d'eau se fait mal, il est nécessaire d'assurer une évacuation d'eau suffisante pour éviter l'accumulation de sel à la surface. A l'heure actuelle, tant que l'irrigation se fait normalement, il n'y a pas à s'inquiéter de la salinisation de la surface.

(5) Sodicit 

Le pourcentage de sodium échangeable du sol (ESP) est entre 2,9 et 12,2. La plupart des oasis ont un sol non-sodique ou légèrement sodique. Comme la teneur en sel des eaux d'irrigation n'est pas si forte dans la plupart des oasis, les échanges de cations sont faibles, et la teneur en calcium échangeable du sol est forte; il n'y a pas à s'inquiéter de la possibilité que le sol devienne sodique si la culture irriguée est poursuivie.

(6) Capacité d'échange de cations (CEC)

La valeur CEC, qui va de 0,1 à 2,2 mc/100 g, est très faible, et similaire pour toutes les oasis. Le sol a une très faible capacité de conservation des engrais, et l'emploi d'engrais inorganiques est à surveiller. Les engrais organiques seront plus efficaces que les engrais inorganiques.

(7) Teneur totale en azote et en matières organiques

La teneur totale en azote est très faible, elle va de rare à 0,16%, et le taux C/N maximum est seulement aux environs de 30. Aussi, même si la teneur en azote du sol est relativement élevée, peu d'apport d'azote est à espérer du sol. Mais comme le montre le Tableau D 3, Annexe D, l'eau d'irrigation a une forte teneur en nitrate d'azote, et ainsi beaucoup d'oasis

ont un apport d'azote important à partir de l'eau d'irrigation. La teneur totale en matières organiques va de 0,6 à 6,62%. Dans les oasis traditionnelles, cette teneur varie considérablement d'une oasis à l'autre. Dans les nouvelles oasis, la différence est moindre, et la teneur toujours faible. Du point de vue agronomique, il est essentiel d'améliorer la fertilité du sol des nouvelles oasis en renforçant leur teneur en matières organiques.

(8) Points à prendre en compte pour la gestion du sol

Les caractéristiques du sol de la région sont sa forte capacité d'échange de cations, son CEC faible, et le fait qu'une grande partie du sol a une faible teneur en matières organiques. L'évaporation augmentant avec la température en été, si la teneur élevée en eau du sol est maintenue pendant une période prolongée, elle fait disparaître les cations du sol, et quand l'eau s'évapore, le sel s'accumule à la surface, ce qui réduit les récoltes. L'aménagement des canaux de drainage est nécessaire aux emplacements où ils sont insuffisants. Comme le sol a faible teneur en matières organiques a une faible capacité de conservation des éléments nutritifs et de l'eau, il est souhaitable de pratiquer des méthodes de culture faisant augmenter les matières organiques dans le sol, et en particulier de cultiver des plantes fourragères légumineuses et de pratiquer les matières organiques. L'emploi d'engrais organiques est plus efficace parce que la plupart des sols sont à CEC faible.

3.2 Conditions économiques et sociales

3.2.1 Divisions administratives

La division administrative locale en Tunisie comprend 23 gouvernorats, 254 délégations et 2044 imadas en 1994. La zone de l'étude s'étend sur 4 gouvernorats, 30 délégations et 222 imadas, les 153 oasis du projet étant dispersées sur 22 délégations et 174 imadas (mars 1994). Voici les divisions administratives de la zone de l'étude.

Item	Gouvernorat de Gafsa	Gouvernorat de Tozeur	Gouvernorat de Kébili	Gouvernorat de Gabès	Total	Tout le pays
Nbre de délégations	11 (5)	5 (5)	5 (5)	9 (7)	30 (22)	254
Nbre d'imadas	74 (38)	36 (36)	40 (40)	72 (60)	222 (174)	2,044

Source: Institut National de la Statistique, Mai 1994

Remarques: () sont en relation avec les 153 oasis.

3.2.2 Population

En 1994, la population et le nombre de ménages dans les 4 gouvernorats de la zone de l'étude ont été estimés respectivement à 840.200 habitants (soit 9,6% de la population du pays) et 148.700, avec des familles d'environ 5,6 personnes en moyenne. La densité de population dans la zone du projet est faible par rapport à la moyenne nationale de 57, surtout dans le gouvernorat de Kébili où elle est de 6 habitants au km². La population dans la zone du projet et autour des 153 oasis par gouvernorat, le nombre de ménages, la taille des familles, la densité de population sont comme indiqué ci-dessous. (Voir les Tableaux 3.2.2.1 et 3.2.2.2 pour les détails.)

Item	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Zone de l'étude:					
Population, 1994(hab.)	307,513	89,055	131,914	311,713	840,195
Nbre de ménages	54,330	16,590	21,316	56,431	148,667
Taille des familles (personnes/ménage)	5.7	5.4	6.2	5.5	5.6
Surface totale (km ²)	7,360	6,159	22,454	7,505	43,478
Densité de population (hab. par km ²)	41.8	14.5	5.9	41.5	19.3
Taux de croissance démographique (%)	2.7	2.7	3.3	2.6	2.8
Zone des 153 oasis					
Population, 1994 (hab.)	194,697	89,055	131,914	282,896	698,562
Nbre de ménages	35,189	16,590	21,316	51,318	124,413
Taille des familles (personnes/ménage)	5.53	5.37	6.19	5.51	5.61

Source: Institut National de la Statistique, Mai 1994

Comme il n'existe pas de documents statistiques sur les fermes dans la zone du projet, une étude par interview a été réalisée auprès du Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA) de chaque gouvernorat. Il y a beaucoup d'agriculteurs et de petits fermiers qui pratiquent la culture pluviale en dehors des oasis et de travailleurs agricoles saisonniers; l'estimation faite sur la base du cadastre, qui a donné les résultats suivants. Environ 32% du nombre total de ménages, soit environ 39.600 fermes, bénéficient de l'irrigation dans les 153 oasis, ce qui fait un total de 223.000 personnes.

Item	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Nombre de fermes	5,620	7,060	9,020	17,900	39,600
Nombre de personnes	31,000	37,900	55,800	98,600	223,300

3.2.3 Infrastructures rurales

(1) Routes

Dans la zone de l'étude, des routes asphaltées à deux voies qui relient les capitales des gouvernorats de Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès, forment un réseau de routes en parallélogramme. Les principales villes et villages sont reliés par ces réseaux de routes pavées. Les oasis traditionnelles et les villes et agglomérations avoisinent des routes recouvertes, mais les nouvelles oasis sont reliées par des routes non recouvertes. Les fermiers utilisent des charrettes tirées par des ânes ou chevaux pour le transport des matériaux achetés pour la ferme et les produits agricoles. Qualitativement et quantitativement, l'état des routes est relativement bon dans la zone de l'étude.

(2) Electrification rurale

Selon l'Enquête Nationale de la Population et de l'Emploi (ENPE), l'électrification rurale dans les quatre gouvernorats de la zone de l'étude est comme suit:

- Gafsa 51%
- Tozeur 90%
- Kébili 95%
- Gabès 70%

Ces pourcentages sont plus élevés que la moyenne nationale de 39%. De plus, le pourcentage de Kébili, 95%, est le premier, et celui de Tozeur, 90%, le second, de tous les gouvernorats de Tunisie.

Ces deux gouvernorats sont célèbres pour leurs oasis et le tourisme saharien, et beaucoup de touristes européens les visitent et séjournent dans les régions rurales. L'infrastructure touristique a exigé l'extension des réseaux électriques. Le tourisme semble être une des premières raisons de ce pourcentage élevé.

(3) Alimentation en eau potable des zones rurales

D'après les données de l'Etude sur les professions des habitants de tout le pays, des ménages disposent de leur source d'eau à domicile et d'autres vont puiser l'eau aux sources communautaires.

Gouvernorat	Branchement particulier	Bornes fontaines	
		Proche (moins d'1 km)	Moyenne ou loin (plus d'1 km)
Gafsa	44	12	44
Tozeur	61	15	24
Kébili	41	35	24
Gabès	70	6	24

D'après ce tableau, plus de 70% des habitants du Gouvernorat de Gabès disposent d'un branchement particulier ou d'un puits particulier. Le gouvernorat de Kébili est le moins développé sur ce point, mais il dispose de beaucoup d'adductions d'eau et de bornes fontaines, et il n'y a donc pas de transport d'eau sur longue distance. Plus de 20% des foyers ruraux des gouvernorats de Tozeur et Kébili, et plus de 40% de ceux du gouvernorat de Gafsa ont encore des problèmes pour obtenir de l'eau à usage domestique.

3.3 Agriculture

3.3.1 Utilisation des sols

Le paragraphe 2.3.1 résume l'utilisation des sols dans les 4 gouvernorats, y compris la zone de l'étude. Il indique que dans les oasis, le sol est totalement utilisé comme terres agricoles. En réalité, il y a des canaux d'évacuation d'eau, des chemins, des forages et des bâtiments, l'ensemble n'est donc pas employé pour l'agriculture. Les sols réellement utilisés pour l'agriculture correspondent à 83 à 96%, soit en moyenne 89%.

3.3.2 Production agricole

(1) Surface plantée des principaux produits

La surface des 153 oasis situées dans la zone de l'étude est de 23.4000 ha, 34.700 ha sont cultivés, soit un taux de culture de 1,48. La surface plantée des produits principaux par oasis est résumée ci-dessous. (Voir le Tableau 3.3.3.1.)

Item	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Surface (ha)	3,467	5,622	7,213	7,133	23,435
- arbres fruitiers	3,432	5,622	7,213	7,133	23,400
- légumes	1,041	568	2,067	1,485	5,161
- plantes fourragères	886	311	2,850	1,620	5,667
- cultures industrielles	0	0	0	452	452
Surface cultivée (ha)	<u>5,359</u>	<u>6,501</u>	<u>12,130</u>	<u>10,690</u>	<u>34,680</u>
Densité de culture	1.55	1.16	1.68	1.50	1.48

Dans tous les gouvernorats, la surface plantée en arbres fruitiers correspond pratiquement à la surface cultivée, les autres cultures étant pratiquées entre les arbres. La densité de culture est d'environ 1,5, sauf à Tozeur, où elle n'est que de 1,16. Autrement dit, la surface plantée en légumes et plantes fourragères est moins importante à Tozeur que dans les trois autres gouvernorats. Pour les arbres fruitiers, les dattiers sont prédominants à Tozeur et Kébili, et il y a peu d'autres arbres. Dans les oasis traditionnelles de Gafsa, l'olive est le produit principal, dans les nouvelles oasis, ce sont les dattes. D'autres fruits sont le produit principal à Gabès.

Les méthodes de culture diffèrent dans les oasis traditionnelles et nouvelles. Les détails sont indiqués dans l'Annexe E 3.5. Dans les deux types, les arbres fruitiers constituent l'élément principal. Ce qui diffère, ce sont les types d'arbres, la méthode de culture et le taux de culture. Dans les nouvelles oasis, les arbres ont été plantés de manière ordonnée et à faible densité, contrairement aux oasis traditionnelles où la plantation est irrégulière et la densité élevée. En dehors de Gafsa, le pourcentage de dattiers dans les nouvelles oasis est faible par rapport aux autres arbres fruitiers. Dans les nouvelles oasis de Gafsa, peut-être à cause de la proximité de Tozeur, le pourcentage de dattiers est élevé. En dehors de Kébili, le pourcentage de dattiers est en général élevé.

Du point de vue du système de culture, il y a grosso modo 4 méthodes de culture. La première est la culture principale des dattes comme dans les nouvelles oasis de Gafsa, à Tozeur et à Kébili, la seconde, la culture principale des olives, comme à Gafsa, la troisième, la culture principale d'autres arbres fruitiers à Gabès, et la quatrième, les oasis où l'agriculture sur champs est principale, comme dans une partie du gouvernorat de Gabès. On a pu diviser les oasis en 13 types en considérant la densité de culture des arbres fruitiers, les types d'arbres, la surface cultivée de légumes, de plantes fourragères et de cultures industrielles. L'Annexe E 3.5 indique les normes de classification des oasis, et le Tableau 3.3.2.2 la méthode de culture par oasis. Le tableau ci-dessous résume cette classification.

Item	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
O - 2 :	3			2	5
D - 1 :	2 (1)	6	1		9 (1)
D - 2 :		8			8
D - 3 :			36 (3)		36 (3)
D - 4 :	1 (1)	1	19 (5)		21 (6)
F - 1 :				7	7
F - 2 :				13	13
DF - 1 :		12 (6)			12 (6)
DF - 2 :	2	3	10 (2)	5	20 (2)
FD - 1 :				5 (4)	5 (4)
FD - 2 :			1	12 (1)	13 (1)
A :				4 (1)	4 (1)
Total	8 (2)	30 (6)	67 (10)	48 (6)	153 (24)

Note: Les chiffres entre parenthèses représentent les nouvelles oasis.

Source: Calcul de la mission d'étude de la JICA

Les oasis de Gafsa sont de trois types. Trois oasis à prédominance olives (O), 3 oasis à prédominance dattes (D) et 2 oasis à prédominance arbres fruitiers - dattes (prédominantes fruits DF). La plupart des oasis de Tozeur sont à prédominance dattes avec cultures sur champs peu importantes (D1, D2). La majeure partie des oasis de Kébili sont à prédominance dattes avec cultures sur champs relativement importantes (D3, D4). Parmi les oasis de Gabès, il n'y a pas d'oasis à prédominance dattes (D), celles à prédominance autres fruits (F, FD) sont majoritaires, il y a 2 oasis à prédominance olives et une à prédominantes cultures sur champs (A). On ne trouve d'oasis à prédominance culture sur champs qu'à Gabès.

(2) Méthodes de culture

Différentes cultures sont pratiquées sur la base de l'irrigation dans la zone de l'étude. La méthode d'irrigation est de type arrosage par submersion. On pratique la culture combinée pour utiliser efficacement l'eau d'irrigation. Cette méthode combinée, notamment utilisée dans l'agro-foresterie, est également appelée culture étagée dans certains pays. Le modèle typique est le suivant: dattiers en haut, autres arbres fruitiers en moyenne et champs en bas. Avec le remplacement des dattiers, cette culture étagée typique diminuera. Cela parce que les dattiers à tronc long vont disparaître suite à une amélioration des espèces.

Comme indiqué plus haut, les arbres fruitiers, en particulier la méthode de culture des dattiers varie entre les oasis nouvelles et traditionnelles. Dans les nouvelles oasis, les dattiers sont plantés de manière ordonnée (10 x 10 m), alors que dans les oasis

traditionnelles, ils le sont de manière désordonnée et très dense (180 - 300 arbres/ha). L'introduction d'une nouvelle espèce se poursuit, les nouvelles oasis de Tozeur sont plantées à 94% de la nouvelle espèce (Delglat Ennour), et dans les oasis traditionnelles, il y a également 46% de cette nouvelle espèce. Même à Kébili, le remplacement par la nouvelle espèce progresse. Comme autres arbres fruitiers, il y a beaucoup de grenadiers, d'abricotiers et de figuiers, et également des pommiers, poiriers, pêcheurs et amandiers.

Parmi les légumes d'hiver, on cultive beaucoup d'oignons, de carottes, de navets et de fèves, il y a aussi des haricots et des choux, etc. et la période de culture va de septembre-novembre à décembre-avril. Pour les légumes d'été, on cultive des tomates et des piments dans tout le pays, et à certains endroits des melons, des oignons, des pastèques, des artichauts, des betteraves, etc. et cela de mars-avril à juillet-septembre. On cultive pratiquement toujours des espèces améliorées, des espèces hybrides F1 étant cultivées uniquement en serre. La surface de culture étant limitée, la culture des légumes se fait de manière assez intensive. Comme la période de culture est longue, il est possible de décaler, et la période de récolte d'un même légume est relativement longue. Comme plantes fourragères, on plante surtout de la luzerne, qu'on sème avant les pluies, et qu'on cultive 2 à 3 ans. La coupe se fait deux à quatre fois par an, souvent trois fois. On cultive également l'avoine et l'orge, qui sont semés en octobre-novembre et récoltés en mai.

L'intervalle d'irrigation varie selon les oasis et les cultures, de 20 à 30 jours pour les arbres fruitiers, et de 7 à 14 jours pour les champs. Le taux d'irrigation va de 20 à 70%, ce qui est très faible, et limite la production agricole.

Le Tableau B 3.6.1 de l'Annexe B montre les machines agricoles introduites. Les travaux agricoles sont tous faits à la main, et pratiquement aucun travail n'est mécanisé. Cela est dû à la culture combinée et à l'exiguïté des parcelles, mais on utilise beaucoup de main-d'oeuvre pour le labour, le désherbage et les récoltes.

Comme le sol a un CEC faible, sa capacité de conservation des engrais est faible, les engrais organiques sont plus efficaces que les engrais inorganiques. Il n'y a pas de problèmes de quantités d'engrais. On utilise très peu de désherbants à cause de la culture combinée. Et comme les maladies et parasites sont relativement peu nombreux du fait de la culture combinée et du sol sec, on pulvérise des produits chimiques seulement en cas d'apparition de maladie ou de parasites. Toutefois, quand les pluies arrivent avant la récolte des dattes, on pulvérise des microbicides pour éviter la moisissure des fruits, ou bien on recouvre les grappes de plastique.

(3) Rendement et production

Le Tableau 3.3.2.3 indique le rendement des principales cultures, qui est résumé ci-dessous.

Item	(unité: tonne/ha)				
	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Dattes	7.3	5.8	5.7	5.9	5.9
Olives	8.0	2.7	4.6	4.0	6.0
Fruits	11.0	2.7	2.8	11.8	8.7
Légumes d'hiver	23.8	12.5	12.8	28.1	19.0
Légumes d'été	18.0	9.6	10.1	15.2	13.4
Plantes fourragères	59.3	77.6	50.1	59.4	55.8
Cultures industrielles				1.5	1.5

Le rendement des différentes cultures varie selon les oasis et les gouvernorats. Il n'y a pas grandes différences pour la production de dattes, mais elle est un peu plus importante à Gafsa. La production d'olives est la plus importante à Gafsa, suivi de Gabès, et relativement faible à Tozeur et Kébili. Le rendement des autres fruits et des légumes est très faible à Tozeur et Kébili. Comme on y cultive les fruits et légumes sous les dattiers plantés de manière très dense, ils profitent donc beaucoup moins du soleil qu'à Gafsa et Gabès.

L'une des raisons du faible rendement des cultures est l'insuffisance d'eau découlant du non aménagement des canaux d'irrigation terminaux. Dans les oasis à bonne alimentation en eau (efficacité d'irrigation élevée), le rendement des cultures hivernales est également élevé, alors qu'il est faible dans les oasis à irrigation peu efficace. Comme des méthodes de culture et des équipements agricoles similaires sont employés dans les oasis, l'approvisionnement en eau (efficacité d'irrigation) constitue l'élément limitateur de la production agricole.

Pour analyser la relation quantitative entre l'efficacité d'irrigation et le rendement, les données suivantes ont été collectées: 1) méthode de culture, 2) la non-variation du sol et des conditions pluviométriques, 3) l'efficacité d'irrigation. Les données concernant Gafsa, Kébili et Gabès n'ont pas été employées car l'environnement et les méthodes de culture varient d'une oasis à l'autre, et que les oasis placées sous les mêmes conditions sont peu nombreuses. Les oasis traditionnelles de Tozeur ayant satisfait aux conditions ci-dessus, on a analysé la situation pour les dattes, culture principale, sur la base de ces données.

Ainsi, le rendement augmente avec l'efficacité d'irrigation, avec 5,9 t/ha pour une efficacité d'irrigation de 33% et 6,5 t/ha pour 51%. On s'est rendu compte que la relation entre l'efficacité d'irrigation et le rendement s'exprimait par une fonction exponentielle ($y = ax^n$),

où : y = rendement, x = coefficient d'irrigation, a , n = constantes). La formule pour Tozeur a été : $y = 2,4 x^{0,25}$. Les documents disponibles étaient insuffisants pour l'analyse détaillée pour les autres cultures. Pour celles-ci, l'analyse faite en prenant en compte les thèses sur la relation entre l'eau et le rendement, la relation entre les facteurs limitatifs et le rendement, ont permis d'obtenir la même relation constante (fonction exponentielle) $y = ax^n$, que pour les dattes, entre la teneur en eau (dans le cas où la teneur en eau est un facteur limitatif) et le rendement pour les arbres fruitiers autres que les dattiers, les légumes et les plantes fourragères. La fonction pour les différentes cultures a été comme suit.

$$y = 22,2 x^{0,25} \text{ (luzerne)}$$

$$y = 4,4 x^{0,25} \text{ (fruits)}$$

$$y = 7,6 x^{0,25} \text{ (légumes d'hiver)}$$

$$y = 2,4 x^{0,25} \text{ (dattes, olives)}$$

La production pour chaque culture est résumée ci-dessous. (Voir le Tableau 3.3.2.4)

Item	(unité: tonne/ha)				
	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Dattes	5,960	29,330	37,310	18,470	91,050
Olives	17,850	480	900	6,880	26,110
Fruits	4,590	1,010	1,290	24,410	31,300
Légumes d'hiver	11,760	3,830	16,080	24,260	55,700
Légumes d'été	9,780	2,520	8,120	9,430	29,950
Plantes fourragères	47,530	24,140	142,940	96,200	310,810
Cultures industrielles	0	0	0	660	660

La production de dattes est maximale à Kébili, puis viennent Tozeur et Gabès et enfin Gafsa. Le principal producteur d'olives est le gouvernorat de Gafsa, la production étant très faible à Tozeur et Kébili. Le gouvernorat de Gabès produit 80% des fruits. Les gouvernorats de Gafsa, Kébili et Gabès produisent pratiquement la même quantité de légumes, mais celle de Tozeur est faible. Pour les plantes fourragères, l'ordre de production est Kébili, Gabès et Gafsa, la production de Tozeur est très faible.

3.3.3 Elevage

La production animale est très faible par rapport à la production agricole, mais c'est un élément indispensable de l'agriculture dans les oasis. Dans la zone de l'étude, les moutons et les chèvres sont les plus nombreux, suivis des chameaux, des boeufs et des équidés. Le tableau ci-dessous résume le nombre de têtes de bétail par gouvernorat. (Voir le Tableau E 3.8.1 de l'Annexe E pour les détails.)

Item	(unité: tête)				
	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Boeufs	1,870	780	100	3,670	6,420
Moutons	84,000	34,170	60,600	18,030	196,800
Chèvres	14,500	25,800	50,050	32,060	122,410
Chameaux	740	500	7,600	0	8,840
Equidés	2,950	10	10	15	2,985

Dans la zone du projet, les moutons sont les plus nombreux, suivis des chèvres. Les autres espèces animales sont très limitées. En dehors des équidés, il s'agit de ruminants qui exigent de grandes quantités de fourrage. La capacité régénératrice des pâturages est faible, en particulier en été, et il faut donc de grandes quantités de fourrage.

3.3.4 Marché des produits agricoles et prix

Il y a un marché de gros à Gabès, mais pas dans les trois autres gouvernorats de la zone de l'étude. Des intermédiaires et sociétés de distribution achètent les produits aux agriculteurs, et les emportent sur les marchés d'autres gouvernorats, ce qui constitue le système de distribution des produits. Les fermiers vont directement vendre les autres produits agricoles sur le marché ordinaire de la ville voisine ou bien à des détaillants qui les revendent. Depuis quelques années, l'activité des Coopératives Régionales de Service Agricole (CRSA) s'est renforcée, et celles des Gafsa et Gabès assurent la collecte et la vente des produits agricoles, ainsi que l'achat et la vente des équipements agricoles.

La plus grande partie des produits, à savoir dattes, olives et autres fruits, récoltés dans la zone de l'étude sont vendus au marché de gros par le biais d'intermédiaires et de sociétés de distribution ou bien sont emportés sur les marchés d'autres gouvernorats. Les dattes fraîches sont vendues sur les marchés et comme souvenirs touristiques. Le Groupement Interprofessionnel des Dattes (GID) organise la production des dattes dans les différents gouvernorats. Ce groupement supervise la fixation des prix, la gestion de la qualité, l'emballage pour l'exportation, la vente et la conservation. Les olives destinées à être transformées en olives marinées ou huile d'olive sont directement achetées aux agriculteurs et regroupées par des intermédiaires ou des entreprises productrices d'huile.

En dehors des besoins des fermes, presque tous les légumes d'hiver et d'été (oignons, navets, piments, tomates, légumineuses), les plantes fourragères (luzerne) et les cultures industrielles (henné) sont vendus sur les marchés ordinaires (ouverts 2 à 3 fois par semaine). Les fermiers achètent sur ces marchés les céréales et légumineuses qui constituent leur nourriture de base, et qu'ils ne produisent pratiquement pas.

Les prix du marché pour les fruits et légumes varient considérablement selon les saisons; au début et à la fin de la récolte, les prix sont élevés, mais le prix baisse de moitié pendant la période où les quantités regroupées sont importantes. Les Tableaux 3.3.4.1 et 3.3.4.2 indiquent les prix moyens du marché et les prix au producteur des produits agricoles et équipements agricoles dans les 4 gouvernorats en 1994/95. Les prix du marché et au producteur des principaux produits sont comme suit.

Produit	(unité: dinar)									
	Gafsa		Tozeur		Kébili		Gabès		Moyenne totale	
	Marché	Producteur	Marché	Producteur	Marché	Producteur	Marché	Producteur	Marché	Producteur
Fruits										
Dattes	1.400	1.200	1.200	0.900	1.250	0.900	1.246	1.100	1.274	1.025
Olives	0.450	0.400	0.500	0.400	0.400	0.350	0.500	0.450	0.463	0.400
Grenades	0.250	0.200	0.338	0.250	0.400	0.300	0.380	0.350	0.342	0.287
Abricots	0.300	0.250	0.567	0.500	0.825	0.750	0.656	0.600	0.587	0.493
Figues	0.150	0.130	0.550	0.500	0.460	0.400	0.671	0.600	0.458	0.385
Légumes d'hiver										
Carottes	0.200	0.180	0.111	0.100	0.091	0.080	0.110	0.090	0.128	0.109
Navets	0.100	0.090	0.307	0.250	0.279	0.250	0.258	0.200	0.236	0.201
Oignons	0.100	0.090	0.315	0.250	0.222	0.200	0.235	0.200	0.218	0.186
Pèves	0.150	0.130	0.485	0.400	0.711	0.650	0.392	0.350	0.435	0.370
Légumes d'été										
Piments	1.300	1.200	0.943	0.750	0.901	0.800	0.960	0.850	1.026	0.874
Tomates	0.400	0.350	0.369	0.300	0.396	0.300	0.291	0.250	0.364	0.310
Plantes fourragères										
Luzerne	0.030	0.025	0.057	0.050	0.080	0.070	0.080	0.070	0.062	0.053
Cultures industrielles										
Henné							2.160	1.900	2.160	1.900

Source: Bureau des statistiques agricoles de chaque gouvernorat, Etude agro-économique

3.3.5 Montant net de la production des principaux produits

Si l'on soustrait les frais de production du montant total de la production des 153 oasis de la zone de l'étude, on obtient le montant net de la production suivant. (Voir les Tableaux 3.3.5.1, 3.3.5.2 et 3.3.5.3 pour les détails.)

Produit	Montant de la production			Frais de production	
	Production (tonne)	Montant total de la production (milliers de dinars)	Frais de production (dinars/ha)	Frais de production totaux (milliers de dinars)	Montant net de la production (milliers de dinars)
Fruits		113,990		22,060	91,930
Dattes	91,050	93,320	974	15,120	78,200
Olives	26,110	10,450	778	3,360	7,090
Grenades	23,150	6,640	1,031	2,310	4,330
Abricots	4,100	2,020	1,144	400	1,620
Figues	4,050	1,560	905	870	690
Légumes d'hiver		11,830		4,810	7,020
Navets/Carottes	23,760	4,780	1,594	1,820	2,960
Oignons	26,440	4,920	1,769	2,190	2,730
Fèves	5,760	2,130	1,455	800	1,330
Légumes d'été		16,880		4,170	12,710
Piments	13,540	11,830	1,971	2,880	8,950
Tomates	16,310	5,050	1,675	1,290	3,760
Plantes fourragères					
Luzeine	310,810	16,470	1,038	5,880	10,590
Cultures industrielles					
Henné	660	1,220	1,257	570	650
Total		160,390		37,490	122,900

3.3.6 Organisation des fermiers

La fourniture des équipements agricoles, le stockage et la commercialisation des produits agricoles sont réalisés par le biais de coopératives, organisées par l'intermédiaire du bureau CRDA de chaque gouvernorat. Malgré les efforts du gouvernement, les coopératives ne se sont pas bien développées, principalement à cause de faiblesses de gestion et de pénurie de fonds de fonctionnement. Afin de renforcer les activités des coopératives, la création de Coopératives des Services Agricoles (CSA) a été promue sous la supervision du Ministère de l'Agriculture en élaborant des Grandes lignes sur les coopératives.

17 CSA ont été créées dans la zone de l'étude des 4 gouvernorats. Le nombre total des membres des CSA est estimé à environ 3.730, et se résume comme suit:

Item	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Nombre de CSA	11	0	4	12	17
Nombre de membres	257	0	1,125	2,347	3,729

Source: CRDS, Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès

3.3.7 Services de soutien à l'agriculture

Le Programme de vulgarisation agricole a été lancé en Tunisie pour promouvoir et accélérer l'extension des activités agricoles. Au niveau gouvernemental, l'Agence de Vulgarisation et Formation Agricoles (AVFA) a été créée comme bureau extra-ministériel du Ministère de l'Agriculture. Simultanément, au niveau des gouvernorats, la Division de la Vulgarisation et de la Promotion de la Production Agricole (DVPPA) a été fondée au sein du CRDA pour assurer des essais d'adaptation de nouvelles techniques agricoles recommandées par des centres de recherche et la vulgarisation pour la formation des travailleurs sur le terrain. Au niveau des délégations, les Cellules Territoriales de Vulgarisation (CTV) ont été créées comme bases pour la préparation de programmes de vulgarisation et la formation technique des vulgarisateurs, et au niveau des imadas, les vulgarisateurs des Cellules de rayonnement agricoles (CRA) diffusent les informations et la formation agricoles auprès des agriculteurs.

Des activités de vulgarisation sont actuellement assurées par 16 CTV et 60 CRA dans la zone des 153 oasis. Mais à Gabès, 3 oasis (Ain Zrig, Zrig Dakhlania et Limaoua 1 et 2) n'ont ni CRA et vulgarisateurs assignés. Le Tableau ci-dessous donne le détail des CRA et du nombre de vulgarisateurs.

Items	Gafsa CRDA	Tozeur CRDA	Kébili CRDA	Gabès CRDA	Total
Study Area:					
CTV office	7	3	5	5	20
- Chef of CTV	6	3	5	5	19
CRA office	32	17	21	34	104
- Chef of CRA	25	18	21	14	78
153 Oasis Area:					
CTV office	3	3	5	5	16
- Chef of CTV	3	3	5	5	16
CRA office	7	17	21	15	60
- Chef of CRA	7	18	21	14	60

Sources : Annuaire des Vulgarisateurs, Mars 1994

3.3.8 Economie agricole

La taille moyenne des fermes est estimée à 0,38 ha dans les 153 oasis, et va de 0,11 à 5,13 ha. La taille des fermes dans les nouvelles oasis est équitablement répartie entre 0,5 à 2,0 ha. La situation dans les 153 oasis de la zone de l'étude est indiquée ci-dessous.

Items	No. of Oasis	Total Area (ha)	below 0.5 ha	0.6 - 1.0 ha	1.0 - 3.0 ha	above 3.0 ha	Total Farmers (ha/farmer)	Average Farmland
Gafsa Gouvernorat:								
- New Oasis	2	273	141	80	110	187	518	0.53
- Traditional Oasis	6	3,194	1,673	2,510	604	311	5,098	0.63
Sub-total	8	3,467	1,814	2,590	714	498	5,616	0.62
			(32%)	(46%)	(13%)	(9%)		
Tozeur Gouvernorat:								
- New Oasis	16	1,842	64	53	1,312	16	1,445	1.27
- Traditional Oasis	14	3,780	3,534	967	924	190	5,615	0.67
Sub-total	30	5,622	3,598	1,020	2,236	206	7,060	0.80
			(51%)	(14%)	(32%)	(3%)		
Kébili Gouvernorat:								
- New Oasis	11	909	106	816	202	0	1,124	0.81
- Traditional Oasis	56	6,304	27,542	2,225	157	16	30,131	0.21
Sub-total	67	7,213	27,648	3,041	359	16	31,255	0.23
			(88%)	(10%)	(2%)			
Gabès Gouvernorat:								
- New Oasis	10	1,000	586	205	184	31	1,006	0.99
- Traditional Oasis	38	6,133	13,779	2,197	827	100	16,903	0.36
Sub-total	48	7,133	14,365	2,402	1,011	131	17,909	0.40
			(80%)	(13%)	(6%)	(1%)		
Total 153 Oasis Area:								
- New Oasis	39	4,024	897	1,154	1,808	234	4,093	0.99
- Traditional Oasis	114	19,411	46,528	7,899	2,703	617	57,747	0.24
Grand Total	153	23,435	47,425	9,053	4,511	851	61,840	0.38
			(77%)	(15%)	(7%)	(1%)		

Sources : Annuaire des Vulgarisateurs, Mars 1994

Ces terres agricoles des oasis ci-dessus sont principalement plantées de dattiers, d'oliviers et d'autres arbres fruitiers, tels que grenadiers, abricotiers, vigne, figuiers, etc. et de cultures intercalaires telles que légumes, plantes fourragères, légumineuses, etc. Les fermiers de la zone de l'étude tirent leur revenu principalement de la vente de dattes, d'olives et d'autres fruits, et complètent par la vente de légumes et plantes fourragères. L'élevage est pratiqué principalement pour la consommation familiale, le marché est limité, et le revenu de la vente d'animaux est donc pratiquement nul.

Pour saisir l'activité agro-économique dans la zone de l'étude, une étude agro-économique a été faite sur 18 fermes sélectionnées au hasard dans les 8 oasis pilotes. Cette étude a révélé que les dépenses alimentaires étaient les dépenses les plus importantes des ménages. Les dépenses annuelles des ménages ont été estimées sur la base de la famille de taille moyenne de chaque délégation.

Le budget familial d'une ferme moyenne typique des 8 oasis pilotes est indiqué dans les Tableaux 3.3.8.1 et 3.3.8.2. En voici le résumé.

Items	Kasba	Oued Shili	Tozeur	Draa Sud	Mansoura	Ailet	Oasis de Gabès	Limaoura 1 et 2
<u>Farm Land: (ha)</u>	1.06	3.11	1.38	1.98	0.25	0.75	0.29	1.25
<u>Gross Income: (D.)</u>								
- Farm Income	7,848	13,410	9,471	9,421	1,640	4,652	1,991	7,453
- Off-farm Income	0	0	0	0	2,500	1,000	2,000	0
<u>Sub-total</u>	<u>7,848</u>	<u>12,563</u>	<u>9,471</u>	<u>9,421</u>	<u>4,140</u>	<u>5,652</u>	<u>3,991</u>	<u>7,453</u>
<u>Number of Family :</u>	5.33	5.47	5.27	5.27	5.65	6.17	5.48	5.48
<u>Gross Outgoing: (D.)</u>								
- Production Cost	1,834	2,393	1,757	2,297	410	1,648	473	2,286
- Living Expenses	3,059	3,140	3,024	3,024	3,244	3,542	3,145	3,145
<u>Sub-total</u>	<u>4,893</u>	<u>5,533</u>	<u>4,781</u>	<u>5,321</u>	<u>3,654</u>	<u>5,190</u>	<u>3,618</u>	<u>5,431</u>
<u>Net Reserve: (D.)</u>	2,955	7,877	4,690	4,100	486	462	373	2,022

Source : Farm economic survey by JICA Study team, September-October, 1995

Dans les fermes de plus d'1,0 ha, même sans revenus autres que l'agriculture, il y a de l'argent en surplus. Dans les nouvelles oasis, les terrains de 1,0 ha sont distribués aux fermiers, et l'on estime que 7 à 10 ans après la plantation, si les objectifs de récolte de fruits sont atteints, on peut vivre uniquement de l'agriculture. D'autre part, beaucoup de fermes des oasis traditionnelles ont moins de 1,0 ha, et les fermiers ont des revenus autres qu'agricoles. La plupart de ces fermes se trouvent à proximité de villes ou villages, il y a des possibilités de services liés au tourisme, de travaux saisonniers, ce qui complète le revenu agricole insuffisant.

3.4 Irrigation et drainage

3.4.1 Situation actuelle de l'irrigation et du drainage

Dans la zone de l'étude, l'irrigation est pratiquée sous différents types de gestion: soit sous la forme oasis, soit STIL (Société Tunisienne des Industries Laitières), soit entreprise privée ou ferme privée.

Dans les oasis, les installations de sources, puits et forages, et les installations de transport de l'eau sont rénovées et/ou réhabilitées par les CRDA des quatre gouvernorats. Ces installations sont confiées aux AIC pour l'exploitation et la maintenance, et la gestion de l'eau.

L'irrigation par arrosage par submersion est la plus pratiquée dans les oasis pour renforcer l'efficacité de l'irrigation. Les sources d'eau des oasis sont les eaux souterraines des puits et/ou forages pompées par motopompes électriques ou diesel. Certaines des oasis sont irriguées par l'eau d'aquifères artésiens. L'eau de sources naturelles est également utilisée dans les oasis de Lalla, Tamerza et Chebika. Quelques puits sont creusés pour assurer le complément d'eau d'irrigation dans cette zone.

La STIL gère des fermes dans les gouvernorats de Tozeur, Kébili et Gabès, et assure elle-même la mise en place des installations d'irrigation. Le rôle de la STIL n'est pas seulement d'augmenter le rendement agricole, mais aussi d'effectuer des recherches sur différentes méthodes de culture. Ici également, elle réalise un taux d'irrigation élevé en pratiquant l'arrosage par submersion. L'eau souterraine de puits et forages est utilisée comme source d'eau.

Sur les irrigations de type entreprise, on cultive des légumes et fruits de prix élevé dans des serres équipées d'équipements géothermiques, par irrigation goutte à goutte. Les sources d'eau de ces serres sont des forages, et l'eau chaude est utilisée pour maintenir les serres tempérées pendant l'hiver.

Les fermes privées pratiquent principalement la culture irriguée des légumes, sous des tentes ou toiles en vinyle pour protéger les légumes contre l'évaporation. L'irrigation se fait par arrosage par submersion ou par sillons, et il arrive que l'alimentation en eau soit faite avec l'eau apportée par des camions-citernes.

Le drainage est ordinairement pratiqué pour l'élimination du sel accumulé dans les fermes des oasis et celles de la STIL, en particulier dans les gouvernorats de Tozeur, Kébili et Gabès, où la surface piézométrique est élevée. Parmi les canaux de drainage existants, la plupart sont à ciel ouvert, ou bien d'anciens canaux d'irrigation servent de canal de drainage. Des conduits de drainage ont également été installés dans quelques nouvelles oasis. Toutefois, comme l'indique le paragraphe 3.4.7 Installations de drainage, la surface piézométrique des 5 oasis aux environs de la ville de Gafsa est basse et les conditions de drainage bonnes, et tout canal de drainage est inutile. Mais à Gafsa toujours, la surface piézométrique des oasis près de la frontière avec le gouvernorat de Tozeur est élevée, et des canaux de drainage sont nécessaires.

3.4.2 Installations de transport et de réglage de l'eau

Toutes les installations de transport d'eau, y compris les bassins de régulation, ont été rénovées jusqu'en 1991. Celles de Gafsa ont été rénovées avec une aide financière du Gouvernement allemand, celles de Tozeur avec un fonds d'Abou Dhabi, celles de Kébili avec un fonds d'Arabie saoudite et celles de Gabès avec une aide financière de la Banque Mondiale.

Cependant, dans une partie de l'oasis de Tozeur, l'irrigation est pratiquée seulement avec l'ancien réservoir sur le wadi et des canaux de terre. Pour rénover une telle installation (sauf le wadi et quelques canaux pour le tourisme), la DGGR a formulé un projet de remplacement de ces canaux en terre par des canalisations avec pompe relais et hydrant, actuellement réalisé avec l'aide de la Banque Mondiale. Un plan au 1/2.000e a été dressé pour les canalisations et les

hydrants de toutes les oasis. L'étude et l'évaluation du projet pour chaque oasis ont été faites sur la base de ces plans.

3.4.3 Installations de refroidissement

Des installations de type tour sont principalement utilisées pour le refroidissement des eaux géothermales produites de la formation C.I. à Tozeur, Kébili et Gabès. D'autres types d'installation tels que cascade, spirale et treillis, moins nombreux, sont aussi moins efficaces pour le refroidissement.

(1) Type tour

Il y a un total de 18 installations de type tour, y compris celle actuellement en construction (Bechima à Gabès). Leur structure de base est pratiquement la même.

L'eau géothermale de la formation C.I. est amenée du forage de production jusqu'à la plate-forme (environ 13 m au-dessus du sol) de la tour par un tuyau. La pression très élevée dans le trou de forage (environ 2 MPa) permet le transport naturel de l'eau géothermale. L'eau arrive dans la tour de refroidissement par de petits trous pratiqués dans la plate-forme de la tour. Dans la tour, le refroidissement de l'eau par évaporation est accéléré parce qu'elle frappe sur des obstacles en bois. Un ventilateur à moteur électrique de 20 - 30 kW est installé dans le haut de la tour pour la ventilation.

L'eau refroidie s'écoule du bassin dans la tour vers les oasis par canalisation et/ou canal à ciel ouvert. Le débit moyen des eaux géothermales est d'environ 50 l/sec., mais celui de la grande tour à l'oasis de Bechima (Gabès) atteint 100 l/sec.

Pendant la période de l'étude sur place (26 septembre au 5 octobre 1995), les ventilateurs ont fonctionné dans seulement deux tours de refroidissement (Steftimi et Menchia, Kébili). A El Hamma (Tozeur), l'eau géothermale n'a pas pu être amenée jusqu'à la plate-forme par manque de pression dans le trou, et a été dirigée directement vers le bassin de la tour. Les tours de refroidissement d'Oum El Farth et Douz (Kébili) ne fonctionnaient pas. L'eau géothermale était donc refroidie par ventilation naturelle dans 11 tours de refroidissement.

La ventilation forcée par ventilateur peut renforcer l'efficacité de refroidissement des eaux géothermales. Elles ont été refroidies d'environ 70° à moins de 35°C à Steftimi et Menchia (Kébili). Sans ventilateur, les eaux refroidies avaient une température de 51 à 44°C.

Le fonctionnement discontinu du ventilateur est prévu pour économiser les frais d'électricité; ainsi, dans les tours de refroidissement de Gabès, les ventilateurs ne sont pas utilisés que pendant l'été. A Bouabdallah (Kébili), les eaux C.I. refroidies sont mélangées à des eaux souterraines froides peu profondes, et un refroidissement important n'est pas nécessaire.

Les dépôts de tartre considérables dans les tours de refroidissement et les tuyaux de transport de l'eau refroidie constituent un autre problème important.

L'élimination du tartre n'exige pas seulement du personnel, du temps et des frais, mais est également dangereux dans les tours de refroidissement en hauteur. Les résultats des essais sur les sites à l'acide chlorhydrique montrent que le tartre est principalement composé de carbonates. Les dépôts de tartre se produisent dans le processus d'échappement du gaz CO_2 dissous dans les eaux géothermales lors de la réduction de la pression d'eau (20 MPa environ à la pression atmosphérique). Ainsi, il n'y a pas de dépôts de tartre dans le tuyau sous pression entre le forage de production et la tour de refroidissement.

Bien que l'intervalle de nettoyage varie d'un site à l'autre, on remplace généralement les obstacles en bois tous les six mois et les tuyaux sont nettoyés ou remplacés tous les 1 à 3 ans. Les dépôts de tartre dans les tuyaux sont éliminés par jet d'eau sous forte pression. La machine de nettoyage au jet d'eau (prix: 30.000 DT), propriété de la CRDA de Kébili, peut être tractée par un véhicule pour faciliter le transport; elle est empruntée pour le nettoyage à Tozeur et Gabès. Bien que la vitesse d'élimination varie selon l'état du tartre (dureté et épaisseur), le taux de nettoyage journalier à Kébili est de 200 m/jour, à Tozeur de 50 m/jour et à Gabès de 500 à 600 m/jour. Dans certaines oasis (Jemna à Kébili et Ben Ghilouf à Gabès entre autres), des canaux à ciel ouvert sont utilisés pour le transport de l'eau refroidie. Cela rend l'élimination du tartre plus facile que dans les canalisations.

(2) Type cascade

Il y a quatre installations de refroidissement de type cascade dans le gouvernorat de Kébili, mais celle de Douz est incomplète. L'installation de Ras El Ain comprend quatre terrasses. Ce système en cascade refroidit les eaux géothermiques à basse pression transportées depuis le tubage abîmé du puits de 64 à 52°C. L'eau refroidie passe par un canal à ciel ouvert qui serpente autour de la zone d'irrigation, puis arrive à un bassin en aval. La température de l'eau du bassin est de 46°C.

Les installations de refroidissement de Mansoura et Saidane, très similaires, comprennent trois terrasses et un petit réservoir. Trois unités, d'une capacité de 20 l/sec. chacune, ont été combinées à Mansoura pour augmenter la capacité. En fonctionnement normal, les eaux géothermales sont refroidies de 60 à 50°C; puis amenées à la zone d'irrigation après mélange avec les eaux souterraines froides peu profondes.

Le système de refroidissement de Saidane comprend une unité qui refroidit les eaux géothermales de 52 à 44°C. L'eau s'écoule du haut de la cascade via de petits trous (ϕ 2 cm) pratiqués dans un tuyau en acier de 10 cm de diamètre extérieur.

Tout le tartre qu'on trouve autour des installations de refroidissement de type cascade se compose de carbonates. A Mansoura, les premiers travaux de nettoyage ont été effectués 8 mois après la mise en service. Les travaux ont demandé 10 jours et 5 à 6 personnes. A Saidane, le tuyau de transport d'eaux géothermales (diamètre intérieur 15 cm) a été complètement bouché après 3 ans de fonctionnement.

(3) Type spirale

Il existe un système de refroidissement de ce type à l'oasis de Chenchou (Gabès). Les eaux géothermales sont introduites dans le centre d'un canal en forme de spirale en béton via un tuyau en acier (ϕ 15 cm) et sont refroidies de 54 à 40°C (45 l/sec). Les dépôts de tartre ne sont pas très importants.

(4) Type treillis

Seulement deux installations de refroidissement de ce type très ancien fonctionnent à Khebayet (Gabès). L'installation de Glib Dokhane (Gabès) est également de ce type, mais ne fonctionne pas.

Les eaux géothermales tombent du haut de l'installation d'environ 3 m de haut sur un treillis en béton, et sont refroidies de 65 à 50°C. Beaucoup de tartre s'est accumulé sur le treillis.

(5) Corrosion

Comme les eaux géothermiques de la formation C.I. sont salées, les matériaux en acier utilisés pour les installations de refroidissement sont facilement corrodés. Aux tours de

refroidissement, on a constaté un grand nombre de matériaux corrodés, tuyaux en acier, portes, escaliers et moteurs.

Presque tous les moteurs électriques, équipements essentiels des tours de refroidissement, sont installés à l'extérieur de la cheminée d'échappement. Mais aux tours Ben Ghilouf (deux tours) et Glib Dokhane, ils le sont à l'intérieur. Compte tenu de la corrosion, l'installation extérieure est préférable.

A Oum El Farth (Kébili), le tuyau en acier situé près du trou de forage allant juste au-dessous du niveau du sol est partiellement corrodé, et il y a eu des fuites lors de l'augmentation du débit.

Ces phénomènes suggèrent le désavantage de l'installation des tuyaux en acier dans le sol salé. Ils devraient être utilisés seulement sur le sol. L'emploi de tuyaux en béton est préférable pour le transport des eaux géothermiques. Mais la peinture et l'installation des tuyaux doivent être faits avec soin pour protéger la surface des tuyaux en acier.

3.4.4 Installations de distribution d'eau

L'eau d'irrigation pompée par les forages est amenée à l'hydrant via un système de transport et de distribution. Le système se compose d'un bassin de régulation et de canaux principal, secondaire et tertiaire. Les canaux quaternaires sont prévus pour l'irrigation des parcelles.

La zone d'irrigation est subdivisée dans l'ordre en casiers, puis en secteurs, puis en quartiers, respectivement connectés par des canaux principaux, secondaires et tertiaires. L'irrigation par rotation se fait à l'intérieur des secteurs.

La Fig. 3.4.4 indique la relation entre les canaux et la zone irriguée.

Les principales installations de la zone de l'étude, composées d'installations de source d'eau et d'installations de transport et distribution d'eau, ont pour la plupart été rénovées entre 1980 et 1991 conformément au Plan directeur pour l'exploitation des ressources en eau dans le Sud.

L'eau est pompée principalement par motopompes de 438 forages de la zone de l'étude. Les eaux des forages ont une certaine teneur en sel et sont relativement chaudes. Les composants chimiques de l'eau ne sont pas toujours adaptés à la culture dans la zone de l'étude.

Les installations de transport et distribution d'eau comprennent principalement des canalisations en béton, béton d'amianté et chlorure de vinyle de 80 à 600 mm de diamètre et d'une longueur

totale de 1.355 km. Le réglage de l'eau se fait par vannes de contrôle, et la surveillance à l'aide d'un ou deux débitmètres.

Les hydrants installés aux points de raccordement des installations de distribution se composent d'un réservoir à vannes et d'un bassin de régulation de pression. Ces vannes sont opérées par un gardien de vannes conformément au programme d'irrigation. Il est à noter qu'il existe de grandes différences de temps d'irrigation unitaire par hectare et de surface irriguée de quartier selon les gouvernorats. Le premier est de 3 à 4 heures/ha à Gafsa et Tozeur, de 7 heures/ha à Gabès et de 12 heures à Kébili; la seconde est de 3 à 4 ha à Tozeur, Kébili et Gabès, et de 8,5 ha à Gafsa.

Pour évaluer la capacité du système à chaque hydrant, des relevés de débit ont été faits immédiatement en aval pendant l'étude des pertes d'eau par la méthode d'écoulement. Le tableau suivant compare la capacité du système et le débit réel mesuré.

Governorate	Oasis	System capacity (l/sec)	Measurement (l/sec)	Efficiency (%)
Gafsa	Kasba	30	26.6	89
	Ksar	30	28.2	94
Tozeur	Tozeur	30	31.6	(105)
	Ghardgaya	27	22.6	84
Kébili	Rabta	32	29.9	93
	Atilet	30	16.9	(56)
Gabès	Limaoua	35	31.1	89
	Teboulbou	35	28.9	83
Average (excluding Tozeur and Atilet oases)				89

Cela montre que l'efficacité de transport de l'eau jusqu'à l'hydrant est d'environ 90%.

3.4.5 Méthode d'irrigation

Les installations terminales se composent de canaux quaternaires et de canaux de champ pour la distribution d'eau, et de canaux de drainage collecteurs et canaux de drainage de champ. La longueur des canaux quaternaires et canaux collecteurs par hectare est respectivement de 200 à 300 m, et 50 m. Les canaux quaternaires sont généralement des canaux de terre excavés, aussi la perte par infiltration de l'eau en provenance de l'hydrant est assez importante. Des programmes d'investissements par les fermiers sur la base de fonds publics sont promus par les CRDA pour économiser l'eau, mais la situation stagne à cause de la faible capacité d'investissement des fermiers de la zone du projet. Par ailleurs, les canaux de drainage existants sont pour la plupart à ciel ouvert. Pour cette raison, les mauvaises herbes et le sable transporté par le vent ont tendance à les obstruer par endroits, mais la maintenance est en général assurée.

L'irrigation par arrosage par submersion est prédominante dans la zone de l'étude. La taille des parcelles n'est pas standard, et dépend du type d'oasis (traditionnel ou nouveau), des cultures pratiquées et de l'emplacement. Les parcelles des oasis traditionnelles sont généralement plus grandes que celles des nouvelles oasis comme indiqué ci-dessous.

Oases	Governorate	Oasis Type	Crops	Size
Ibn Chabbat 3	Tozeur	New	Date	4m × 4m
Draa Sud	Tozeur	New	Date	3m × 3m
Mansoura	Kébili	Traditional	Date	6m × 6m
Atilet	Kébili	New	Date	2m × 6m
Oais de Gabès	Gabès	Traditional	Fruits	5m × 20m
Limaoua	Gabès	New	Annual crops	2,5m × 15m

Les plans d'irrigation sont déterminés par les AIC avec l'aide des CRDA. Le Tableau 3.4.5.1 indique le programme d'irrigation moyen de chaque gouvernorat. Comme le montre le tableau, il y a de grandes différences d'intervalle d'irrigation: 7 jours à Gafsa et Tozeur, et 20 et 16 respectivement à Kébili et Gabès. Il est à noter que la quantité d'eau nécessaire maximale estimée pour la zone de l'étude va de 6,3 à 7,6 mm par jour, en négligeant les pertes d'eau des canaux de champ, alors que les besoins en eaux bruts maximum définis par les AIC vont de 2,0 à 3,1 mm par jour, ce qui correspond à 29 à 37%. Ces chiffres montrent l'insuffisance chronique en eau pendant l'été où les besoins sont les plus importants.

Les problèmes des méthodes d'irrigation actuelles sont les suivants:

- a) La non-consolidation des canaux de champ des parcelles provoque de grandes pertes d'eau d'irrigation.
- b) Un intervalle d'irrigation et une quantité d'eau inadaptés empêchent d'obtenir de rendement espéré.
- c) Les frais d'eau des AIC varient selon les AIC, et la plupart tarifient l'eau par unité de surface. Par conséquent, il est difficile d'avoir une distribution d'eau uniforme dans les parcelles terminales.

3.4.6 Mesure des pertes d'eau dans les canaux de champ

Huit (8) oasis, trois nouvelles et cinq anciennes, ont été sélectionnées avec la coopération des personnes concernées des CRDA dans les gouvernorats de Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès pour une étude des pertes d'eau dans les canaux de champ. Les relevés ont été faits selon deux (2) méthodes sur chaque site: mesure d'inondation et mesure d'écoulement.

La méthode d'écoulement est généralement utilisée pour mesurer la différence des volumes mesurés à des ouvrages d'épandage installés en amont et en aval. Cette méthode semble être la plus fiable parce que les relevés sont faits dans les conditions réelles du transport de l'eau. Mais

il est à noter que les pertes d'eau se divisent en pertes initiales variant avec le temps, et pertes constantes proportionnelles au passage du temps. La méthode d'inondation a été utilisée en complément pour la mesure des premières.

Ces mesures ont révélé des pertes d'eau d'environ 30% par 100 m dans les nouvelles oasis et d'environ 25% par 100 m pour les oasis traditionnelles.

Le taux de fuite d'eau n'est pas proportionnel à la longueur du canal (en terre), mais les chiffres sont grosso modo comme indiqué dans le tableau suivant.

Longueur	12.5 m	25 m	50 m	75 m	100 m	125 m	150 m	175 m	200 m
Oasis									
Traditionnelle	3.25 %	6.5 %	13 %	19 %	25 %	30 %	35 %	39.5 %	44 %
Nouvelle	4 %	8 %	16 %	23 %	30 %	35.5 %	41 %	46 %	51 %

3.4.7 Installations de drainage

L'estimation des besoins de drainage se fait en principe par une étude comparative entre la désalinisation des eaux souterraines, les pertes d'irrigation, l'infiltration et les précipitations d'une part, et la capacité de drainage naturel d'autre part. On a pu distinguer 3 catégories sur cette base:

- (1) Zones à bon drainage naturel, où actuellement, peu ou pas de drainage est nécessaire.
- (2) Zones où le drainage naturel est généralement bon, mais où le drainage naturel est partiellement nécessaire pour suppléer à certaines insuffisances du drainage naturel.
- (3) Zones où le drainage naturel ne s'effectue pas bien, où un drainage artificiel étendu est nécessaire.

La plupart des oasis situées autour de la ville de Gafsa sont de la catégorie (1). Comme indiqué dans le Chapitre 3, la vaste cuvette de Sidi Aich se situe un peu en amont de la ville de Gafsa, entre les chaînes de Jebel Bay Younes et Jebel Orbata. L'étroit défilé entre ces deux chaînes constitue un énorme cône de déjection immédiatement en aval, qui crée un réservoir d'eaux souterraines en amont, comme un barrage souterrain naturel. Aussi, la surface piézométrique morphologique des eaux souterraines sous le cône de déjection alluvial est généralement à 20 m au-dessous de la surface, et le drainage est naturel.

Plusieurs oasis du gouvernorat de Gafsa situées près de la limite avec le gouvernorat de Tozeur entrent dans la catégorie (2), parce que la surface piézométrique des eaux souterraines fluctue à cause des pertes d'irrigation et des précipitations.

Toutes les oasis situées dans les trois gouvernorats de Tozeur, Kébili et Gabès entrent dans la catégorie (3). Le relief relativement plat, un drainage naturel insuffisant et une surface piézométrique élevée à cause de l'influence des Chott El Ghorsa, Chott El Djerid, Chott El Fajaj et du Golfe de Gabès, des couches de gypse et d'argile à 3 à 5 m de la surface, font monter les eaux souterraines en profondeur, et se suivent en série sur une zone relativement large.

Dans quelques nouvelles oasis, des canaux de drainage de champs sont réalisés avec des canaux à ciel ouvert de 2,5 m de profondeur ou des conduits fermés en PVC poreux à diamètre intérieur de 58 mm, posés à 2,0 m de la surface. Mais dans la plupart des oasis traditionnelles, le drainage des parcelles n'est pas systématisé. Les conduits ne sont pas assez profonds ni assez denses, et sont parfois remplacés par d'anciens canaux d'irrigation. L'intervalle des canaux de drainage dans les nouvelles oasis est de 100 m, alors qu'elle n'est pas définie pour les anciennes. Les canaux collecteurs, principaux et secondaires, sont tous des canaux à ciel ouvert. Certains des canaux collecteurs aménagés sont excavés jusqu'à 2,5 m, mais la profondeur des canaux principaux et secondaires n'est pas fixe. Les frais d'exploitation et de maintenance de ces canaux sont relativement élevés à cause du nettoyage des tuyaux PCV obstrués de sable, du remodelage des canaux à ciel ouvert érodés et du désherbage des canaux à ciel ouvert.

L'étude pilote détaillée a permis de savoir que les canaux terminaux étaient aménagés dans 5,9% de l'ensemble des oasis. L'état des canaux quaternaires est abordé dans le Chapitre 6, et un projet d'exécution et l'estimation du coût ont été établis sur cette base dans le Chapitre 7.

3.5 Gestion de l'eau

3.5.1 Maintenance des installations hydrauliques

(1) Organisme assurant la maintenance des installations et répartition des tâches

Les travaux de maintenance des installations du système sont en principe réalisés par l'Association d'Intérêt Collectif (AIC) avec l'assistance de la CRDA. La responsabilité de la maintenance des installations hydrauliques varie un peu selon les gouvernorats, mais les AIC sont chargées de l'exploitation et de la maintenance des installations d'irrigation, et le CRDA s'occupe généralement du reste (Voir le Tableau 3.5.1.1). Voici une explication un peu détaillée de la situation.

L'exploitation des installations d'irrigation est en principe assurée par l'AIC. Toutefois, la maintenance des grands systèmes de canalisations comme la Batterie des Forages de Regouba (BFR) dans le gouvernorat de Gafsa et le système de la Presqu'île de Kébili

(PIK), exigeant des techniques de gestion de haut niveau, leur gestion est donc assurée par le CRDA. Quant à la réparation des installations d'irrigation, le CRDA assure la maintenance des forages et pompes qui exigent un niveau technique élevé et des frais de maintenance, l'AIC celle des canaux de transport d'eau.

Pour les installations de drainage, le CRDA s'occupe de la maintenance des canaux principaux et secondaires, et l'AIC de celle des canaux tertiaires (canaux collecteurs) et quaternaires (canaux de drainage des parcelles) dans les oasis.

(2) Organisation et activités des CRDA et AIC

1) Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA)

La gestion des installations hydrauliques liées à l'irrigation est assurée par la Direction Générale du Génie Rural (DGGR) et par les Commissariats Régionaux au Développement Agricole (CRDA) sous tutelle du Ministère de l'Agriculture, la première au niveau national et les secondes au niveau régional. (Voir la Figure 3.5.1.)

Le CRDA, établie sous le Ministère de l'Agriculture en mars 1989, comprend principalement les cinq divisions suivantes:

- a) Division de la Vulgarisation et de la Promotion de la Production Agricole (AEPD)
- b) Division de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural (HRID)
- c) Division de Reboisement et de la Protection des Sols (RSCD)
- d) Division des Etudes et du Développement Agricole (ASDD)
- e) Division Administrative et Financière (AFD)

La Figure 3.5.2 indique en exemple les effectifs de CRDA de Kébili, qui compte 298 personnes, dont la Division de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural avec 89 employés s'occupe de la construction d'installations hydrauliques agricoles, de l'aménagement des installations de prise d'eau et de la maintenance des installations hydrauliques. La Section Exploitation et maintenance compte 52 personnes, dont 60% sont affectés à la Division de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural.

Les principales sections et les bureaux liés à l'économie d'eau au sein des CRDA et leur fonction sont comme suit.

- a) Section Exploitation et maintenance du périmètre irrigué (PI) sous HRID
Établit des projets de maintenance des installations hydrauliques pour les zones déjà irriguées et les réalise, apporte des améliorations aux programmes

d'irrigation, s'occupe de la vulgarisation des techniques d'irrigation et d'économie d'eau auprès des agriculteurs, organise des séminaires périodiques sur les techniques d'irrigation pour les agriculteurs.

b) CTV et CRA sous l'AEPD

S'occupe de la vulgarisation des techniques concernant l'agriculture en général, les techniques d'irrigation y compris, auprès des agriculteurs.

c) Cellule AIC

Réalise des activités de relations publiques pour faire connaître le rôle de l'AIC aux agriculteurs, et pour soutenir l'AIC, fournit les informations liées aux opérations de gestion de l'AIC, et vulgarise les techniques de traitement, supervise et évalue des activités de l'AIC en relation avec la Section ACI du DGGR.

Les PI dans l'organisation ci-dessus se subdivisent en brigade de maintenance, brigade des techniques d'économie d'eau et brigade des installations de refroidissement, dont le personnel technique est indiqué dans le tableau ci-dessous; comme précité, le personnel technique des AIC est peu nombreux. La brigade des techniques d'économie d'eau s'occupe de la promotion de l'aménagement des installations terminales, le personnel permanent étant de 0 à 1. Le manque de personnel des PI est un des obstacles au bon déroulement de la maintenance des installations hydrauliques des oasis et à la promotion de l'aménagement des installations terminales. Le CRDA a lancé un appel pour la fédération des AIC au niveau des délégations pour permettre une maintenance plus efficace par les AIC en s'appuyant sur un personnel limité.

Gouvernorat	Surface à maintenir (ha)	AIC	Chef (personnes)	Brigade de maintenance	Brigade des techniques d'économie d'eau	Brigade des installations de refroidissement	Total
Gafsa	3,467	8	1	6	1	0	8
Tozeur	5,622	44	1	7	(3)*	0	8
Kébili	7,213	69	1	5	1	1	8
Gabès	7,133	48	1	13	(3)	(1)	14
Total	23,435	169	4	31	2	1	38

Note: Les nombres entre parenthèses indiquent un poste cumulé par un agent de la brigade de maintenance.

2) Associations d'Intérêt Collectif (AIC)

Les AIC ont été fondées par décret, loi n° 87-35 du 6 juillet 1987, et leur développement organisationnel est centré sur les CRDA. L'objectif des activités des AIC est de bien gérer les installations hydrauliques qui leur ont été confiées par les CRDA. Leurs principaux travaux à cet effet sont:

- Opérer et maintenir les installations hydrauliques qui lui sont confiées par le CRDA
- Gérer administrativement les travaux de l'organisation.

Une AIC est généralement constituée par oasis, mais il y en a plusieurs dans certaines oasis. Actuellement, 146 des 153 oasis de la zone de l'étude sont dotées d'AIC, et en octobre 1995, leur nombre total était de 169, comme le montre le tableau ci-dessous. Sept oasis sont donc dépourvues d'AIC : 3 oasis traditionnelles utilisant comme source d'eau une source naturelle et 4 nouvelles oasis (toutes dans le gouvernorat de Tozeur) qui n'atteignent pas le rendement prévu. La raison à cette absence dans les trois premières est que la gestion des installations hydrauliques sur la source naturelle est simple, et que l'emploi de l'eau n'exige pas de discussions entre les utilisateurs. Mais dans les quatre autres, les fermiers prévoient la création d'une AIC dès l'aménagement des installations terminales. Ainsi, les fermiers possédant des terres dans les oasis participent presque tous aux activités des AIC, dont ils connaissent bien le rôle. On peut dire que les AIC remplissent bien leur rôle d'organisme de gestion chargé du fonctionnement et de la maintenance des installations hydrauliques, et de la gestion administrative de cesdites activités.

	Irrigation Area (ha)	No. of AIC	No. of member (person)	No. of executive (person)	No. of worker (person)
Gafsa	3,467	8	6,105	64	36
Tozeur	5,622	44	7,356	253	50
Kébili	7,213	69	30,464	369	220
Gabès	7,133	48	17,777	204	176
Total	23,435	169	61,702	890	482

Tous les membres des AIC sont des agriculteurs, qui élisent les membres du comité de gestion parmi eux. Le comité d'une AIC comprend un directeur, un comptable, 4 conseillers, et leur mandat est de deux ans. L'AIC emploie 1 à 2 opérateurs de pompe et plusieurs gestionnaires des vannes pour la gestion de la distribution de l'eau.

Une assemblée ordinaire annuelle des membres est organisée à la fin de chaque terme au bureau de l'AIC. On vérifie les comptes de l'année, et définit le budget de l'année suivante sur la base du plan de maintenance. De plus, on effectue les activités

ordinaires telles que la prise des commandes d'eau des membres, les directives pour la distribution de l'eau aux gestionnaires des canalisations, et la collecte des frais d'eau.

Dans la maintenance des installations hydrauliques, l'AIC elle-même s'occupe des petites réparations, telles que remplacement de pièces d'usure. L'inspection-réhabilitation des pompes réalisée une fois par an sous la supervision du CRDA est confiée à une entreprise privée.

3.5.2 Etat actuel de la gestion de l'eau

En principe, la gestion de l'eau d'irrigation est assurée par l'AIC, et la distribution de l'eau se fait sur la base du programme d'irrigation établi en coopération par l'AIC et la Section Exploitation et maintenance du périmètre irrigué (PI) sous HRID. La gestion de la distribution de l'eau est assurée par le gestionnaire des pompes et le gestionnaire des vannes selon les directives de l'AIC. Le temps d'irrigation journalier est de 20 heures, l'irrigation commence à 23 heures et se poursuit jusqu'à 19 heures le lendemain. L'état actuel de la gestion de l'eau dans les installations de prise d'eau, les installations de transport d'eau et les installations terminales est comme suit.

(1) Gestion de l'eau dans les installations de prise d'eau

Les oasis ont trois types de source d'eau: forages, puits ou source naturelle, mais la plupart sont alimentées par un forage. Aussi, une station de pompage est installée dans la plupart des oasis. Celle-ci est opérée par le gestionnaire des pompes de l'AIC, qui indique dans un rapport journalier le volume pompé, le temps et les conditions de fonctionnement. Toutefois, certains indicateurs d'eau ne fonctionnent pas, et une amélioration est nécessaire.

Une installation de refroidissement, gérée par le CRDA, est en place si le traitement des eaux géothermales est nécessaire. Elle est prévue pour l'obtention d'eau de moins de 45°C à la sortie.

(2) Gestion de l'eau des installations de transport d'eau

Les installations de transport d'eau depuis l'installation de prise d'eau sont en général des canalisations, pour la plupart fermées, mais il y a aussi quelques canalisations semi-fermées avec réservoir surélevé. Le bassin de régulation du volume d'eau est géré par le CRDA dans un réseau de canalisations important, mais les canalisations d'irrigation gérés par l'AIC sont dépourvues de bassin de régulation d'eau. La supervision et le contrôle de la

distribution de l'eau dans le réseau de canalisations se fait par des vannes dotées de débitmètres ou à ouverture préréglée.

(3) Gestion de l'eau des installations terminales

Le contrôle du volume d'eau distribué aux canaux terminaux se fait par ouverture/fermeture de vannes de l'hydrant, en fonction de la surface de l'hydrant. L'AIC informe à l'avance les agriculteurs des dates et durées d'irrigation. Ils se tiennent prêts dans les parcelles jusqu'à l'heure du début de l'irrigation, en attendant l'arrivée de l'eau. Mais il est rare que l'eau d'irrigation parvienne aux parcelles terminales à l'heure prévue, et dans toutes les oasis, il semble y avoir du retard dans l'irrigation. Ce retard est dû au sol sablonneux fortement perméable des oasis, et comme tous les canaux terminaux (canaux quaternaires) sont en terre, les fuites sont importantes, l'eau est insuffisante, et comme les parcelles sont trop grandes, il faut beaucoup de temps pour que l'eau stagne à la surface.

Les utilisateurs d'eau en amont des canaux terminaux situés à l'hydrant ont tendance à sur-irriguer. Cela parce que le paiement de l'eau se fait à l'unité de surface et que les utilisateurs en amont avantagés pour la prise d'eau utilisent inévitablement trop d'eau. Pour cette raison, les utilisateurs en aval doivent faire face à un manque d'eau quasi constant qui se traduit par le dérèglement des programmes d'irrigation par roulement.

Les trois méthodes suivantes pourraient être adoptées pour économiser l'eau d'irrigation dans les parcelles terminales.

- a) Aménagement des canaux quaternaires
- b) Méthode d'irrigation récemment développée (goutte à goutte par exemple)
- b) Amélioration des méthodes de gestion de l'eau

Pour l'aménagement des canaux quaternaires, le Gouvernement Tunisien promeut depuis 1992 le Programme Régional de Développement (PDR) et le Fond Spécial de Développement Agricole (FOSDA). Les méthodes d'aménagement des canaux terminaux suivantes semblent actuellement être prises dans la zone de l'étude.

- a) Canal réalisé par béton coulé sur place (à Draa, Sud de Tozeur)
- b) Canal en amiante (à Atillet, Kébili)
- c) Canaux en chlorure de vinyle (à Ibn Chabbat, Tozeur)
- d) Canalisation en tuyaux perforés dans les serres (à Aimn El Hammer, Gabès)

Cependant, la progression de l'aménagement est très lente. Cela, surtout parce que les subventions gouvernementales sont insuffisantes. Le gouvernement prévoit de demander l'aide d'organismes internationaux pour la mise à disposition du fonds nécessaire.

Dans la zone de l'étude, l'irrigation est généralement faite par arrosage par submersion; les fermiers utilisant l'irrigation goutte à goutte, une méthode d'irrigation à économie d'eau, sont très peu nombreux. Ce type d'irrigation convient à la culture des légumes et des fruits, mais les frais de maintenance des installations sont élevés.

Les activités concernant l'économie d'eau aux parcelles terminales sont assurées principalement par les CRDA par le biais de l'amélioration des techniques de gestion de l'eau. Mais, leur personnel et les moyens de transport sont insuffisants pour fournir aux fermiers les services techniques concernant les techniques d'irrigation et d'économie d'eau, ce qui gêne les activités de vulgarisation liées aux techniques d'économie d'eau.

3.5.3 Frais de maintenance et frais de gestion de l'eau

(1) Frais de maintenance et leur répartition

Les frais de maintenance annuels par unité de surface des installations hydrauliques des oasis varient selon les conditions topographiques de chaque oasis, et vont de 168 à 327 dinars par ha. La part de la prise en charge est 3:7 pour les CRDA et les AIC. Les AIC versent annuellement 125 à 232 dinars par ha pour les frais d'eau.

Parmi les frais d'eau versés par les AIC, les principales dépenses sont les frais de personnel pour les salaires des gestionnaires des installations (gestionnaire des pompes, gestionnaire des vannes, gestionnaire des installations de refroidissement), les frais d'électricité pour le pompage du forage, et les frais de remplacement des pièces d'usure des pompes et autres. Les frais de personnel représentent 20% du total, et les frais d'électricité 62%. (Voir le Tableau 3.5.2.)

(2) Frais d'eau

Les AIC collectent auprès des membres des frais d'eau correspondant au montant des frais de gestion ci-dessus, plus les frais de gestion de l'association. Cependant, le budget des AIC, qui équivaut au total des frais de gestion de l'association, ne correspond pas toujours au montant nécessaire à la maintenance. Parmi les 169 AIC, 45 ont un budget déficitaire. (Voir le Tableau 3.5.3.) Ce déficit sera comblé par l'AIC pendant le délai de six mois sur

l'exercice suivant, ou bien, si l'AIC n'est pas en mesure de payer, par le gouvernorat possédant le droit d'autoriser le budget.

Il y a quatre unités de collecte des frais d'eau: par surface annuelle, par temps annuel, par temps unitaire et par volume unitaire. Il faut recommander aux AIC que le CRDA passe à la collecte par volume unitaire pour promouvoir l'économie d'eau, en faisant comprendre aux agriculteurs que l'eau constitue un bien économique.

La méthode de collecte des frais d'eau varie selon les gouvernorats. Elle se fait avant l'obtention dans les gouvernorats de Gafsa et Kébili, et en fin d'année après l'obtention dans ceux de Tozeur et Gabès. Dans le premier cas, le taux de collecte est évidemment de 100%, et dans le second, il est supérieur à 80%. Ainsi, les membres des AIC comprennent très bien la nécessité du paiement des frais d'eau, et le taux de collecte devait encore augmenter avec l'aménagement des installations terminales.

(3) Frais de maintenance

Les principaux frais de maintenance sont les suivants:

1) Réparation des installations de prise d'eau

Depuis quelques années, le niveau des eaux souterraines baisse de 0,5 à 1,0 m par an. L'utilisation d'eaux souterraines plus profondes est devenue nécessaire. Cela provoque l'augmentation des frais de maintenance à cause de la construction ou réhabilitation des forages et du remplacement des pompes.

2) Frais d'exploitation et de maintenance des installations de refroidissement

L'eau pompée des CI (à plus de 700 m de profondeur) atteint plus de 70°C. Comme elle doit être refroidie à moins de 35°C pour l'irrigation, elle doit sortir à moins de 40°C de l'installation de refroidissement. Les frais augmentent à cause des frais d'électricité dus à l'utilisation de ventilateurs et des frais d'élimination de la rouille dans les installations de refroidissement et les tuyaux de raccordement.

3) Coût des opérations de pompage

Les frais d'électricité pour les pompes représentent 62% des frais de maintenance des AIC. La raison de ce coût est la hauteur de pompage des pompes et la baisse du niveau des eaux souterraines.

4) Maintenance des canaux d'évacuation

Pour les canaux d'évacuation, il est nécessaire de nettoyer les tuyaux en PCV obstrués par le sable, de dégager les canaux ouverts enfouis dans le sable, de reformer les canaux d'évacuation ouverts rongés et de désherber.

3.6 Environnement et femmes dans le développement (WID)

3.6.1 Environnement

(1) Cadre de vie

Le cadre de vie dans la zone de l'étude se classe en trois types.

- 1) Les oasis traditionnelles, où des dattiers et autres arbres fruitiers sont plantés sans aménagement de parcelles, à une densité élevée, existent depuis longtemps. Actuellement, elles sont devenues des sites touristiques; en particulier, à Tozeur, des hôtels de luxe ont été construits autour de l'oasis traditionnelle, où viennent de nombreux touristes tunisiens bien sûr, mais aussi étrangers. Cela stimule l'activité économique, augmente les possibilités d'emploi et active la ville.
- 2) Beaucoup de fermiers vivent à l'intérieur des nouvelles oasis à périmètres aménagés aux environs des villes.
- 3) Dans les nouvelles oasis développées par le gouvernement dans le désert, loin des villes, les périmètres sont aménagés. Mais les fermiers habitent souvent en ville loin de l'oasis.

Le moyen de transport des fermiers jusqu'aux oasis est souvent une charrette tirée par un âne. Le problème commun à toutes les oasis est la pénurie d'eau, et dans certaines fermes, les années où les précipitations sont faibles, la récolte de dattes tombe au quart de la normale. L'eau d'irrigation est fournie par l'AIC, les fermiers versent les frais d'eau, mais beaucoup d'eau s'infiltré par les canaux en terre et les pertes sont importantes.

(2) Conditions naturelles

Les mesures de désalinisation dans les oasis sont des mesures de lessivage par arrosage par submersion. L'eau pour le lessivage est insuffisante, et à certains endroits, il n'y a pas de canaux de drainage. Actuellement, les dégâts dus au sel ne sont sérieux nulle part, mais l'étude faite auprès de 38 fermiers a révélé que 6 fermes avaient des problèmes de dégâts dus au sel. La valeur EC est supérieure à 300 mS/m à l'oasis d'Oued Shili et de Sud Ouest,

Gafsa, à l'oasis d'Oum El Farth, Kébili, à l'oasis de Chenchou, Gabès, etc., en particulier, la valeur EC est supérieure à 460 mS/m à l'oasis d'Oum El Farth, Kébili, alors qu'en principe à plus de 400 mS/m, il faut faire attention aux dégâts dus au sel.

Le Sud de la Tunisie est érodé par les dégâts dus à l'eau et au vent, et des vents violents contenant de fines particules de sable sont nombreux. En particulier, le 29 avril 1995, une tempête de sable à vent de plus de 80 km/h a été enregistrée, ce qui n'était pas arrivé depuis 50 ans. Les serres ont été entièrement détruites, des problèmes de parasites et de maladies sont apparus, et les cultures ont subi de sérieux dommages. Les routes ont également été enterrées sous le sable, et le dégagement a occasionné des frais importants. Dans cet environnement naturel, l'oasis ne représente pas seulement un lieu d'activité économique, mais joue également un rôle de brise-vent, et dans le Sud de la Tunisie, elles limitent réellement la pénétration du sable. La protection des oasis est donc une question majeure sur le plan de la sauvegarde de l'environnement de la région.

Le Ministère de l'Agriculture effectue les opérations suivantes pour lutter contre le vent et le sable et pour la conservation des ressources en eau. Un budget de 32.650.000 dinars a été alloué à la zone de l'étude pour la décennie 1990-2000.

- Ouvrages des cordons
Cordons réalisés le long des pentes pour faire pénétrer dans le sol l'eau pluviale dévalant les pentes des montagnes.
- Ouvrages des brise-vent
Palissades en palmes de dattier construites autour des oasis et le long des routes pour empêcher les déplacements du sable du désert
- Plantation
Plantation d'eucalyptus, tamaris, etc. d'un côté des cordons, des brise-vent, et autour des chotts
- Ouvrages d'épandage
Ouvrages pour rassembler l'eau pluviale des pentes et les fournir aux surfaces cultivées.

3.6.2 WID

(1) Situation actuelle de la femme

Dans les villages agricoles de Tunisie, le taux d'analphabétisme des femmes était de 66,1% selon des statistiques de 1989. Mais celui des filles de 10 à 14 ans est seulement de 26%, et l'environnement social des femmes s'est considérablement amélioré. De plus, en 1993, le taux de scolarisation des filles dans les écoles primaires était de 93,8%, et le taux de fin

d'études de 93,2%. Le pourcentage de filles dans les collèges et lycées est de 42,7%, et la différence entre garçons et filles s'est considérablement réduite. Par ailleurs, beaucoup de femmes travaillent dans les établissements médicaux, et un système facilitant l'accès à ces établissements pour les femmes est en place.

(2) Activités des femmes dans la zone de l'étude

Une étude par interview a eu lieu auprès des fermiers de la zone de l'étude pour collecter des informations sur la répartition du travail entre hommes et femmes, les coutumes, etc. Dans la zone, dans les fermes où il n'y a pas d'adduction d'eau ni de puits, ce sont principalement les hommes qui s'occupent du puisage de l'eau, et aussi des courses. Dans les 4 gouvernorats concernés, les formes d'agriculture sont variables, et la répartition des tâches entre hommes et femmes varie de ce fait. L'Annexe J donne les résultats de l'analyse par sexe.

Dans les oasis du gouvernorat de Gafsa, la production fruitière est centrée sur les olives, les femmes s'occupent du désherbage et de la récolte, et les activités sont faites en commun. La Fédération nationale des agricultrices (FNA) représentée par des membres des CRDA est très active, et participe aux foires expositions des produits régionaux organisées à Tunis 2 à 3 fois par an. Par rapport aux 3 autres gouvernorats, les femmes vont aussi souvent faire les courses.

Dans les oasis de Tozeur, on pratique principalement la culture des dattes, des actionnaires gèrent les terres agricoles, beaucoup s'occupent de l'amenée d'eau aux parcelles et des travaux agricoles. Les actionnaires ont droit à 1/5 des dattes récoltées et plein droit sur les autres fruits et des légumes. La coutume selon laquelle les femmes ne sortent pas est suivie, et les femmes des fermes font du tissage, tapisserie par exemple, chez elle. Les fermes de Tozeur tirent souvent des revenus de la vente de cultures industrielles, du chiffre d'affaires du téléphone public et d'activités touristiques, telles que marchand de journaux, café, etc., mais ces travaux sont faits par les hommes.

Dans les oasis de Kébili, où l'eau est très rare à cause de la proximité du désert, les cultures autres que les dattes sont prévues uniquement pour la consommation familiale. La gestion des arbres qui se fait sur les arbres est difficile pour les femmes, aussi les femmes ne participent pratiquement pas aux travaux agricoles.

Dans les oasis de Gabès, on cultive principalement les fruits comme les grenades, les pommes, etc. et aussi du henné (colorant végétal utilisé par les femmes pour se colorer les mains et les pieds à l'occasion des mariages par exemple) et du tabac. Les produits

convertibles en argent sont plus nombreux que dans les 3 autres gouvernorats. Gabès est connu pour son henné de haute qualité et comme région spécialiste des grenades. Peu de femmes s'occupent des travaux agricoles, mais beaucoup font des chapeaux de palmes de dattier, et des articles artisanaux chez elles.

L'aménagement des canaux d'irrigation n'engendrera pas une augmentation de la main d'oeuvre, au contraire, son emploi pourrait un peu diminuer suite à cet aménagement. Par conséquent, la part des travaux agricoles des femmes ne va pas considérablement augmenter, mais l'amélioration de la qualité des produits qui jusqu'ici se développaient mal à cause du manque d'eau sera certainement positive pour la vie alimentaire.

Si comme pour le FNA du gouvernorat de Gabès, les ONG devenaient actives, on pense que les activités sociales des femmes de la région pourraient s'élargir. Les femmes sont d'ailleurs très actives dans les grandes villes de Tunisie, et l'on espère que cette vague se répandra dans les campagnes dans l'avenir.

CHAPITRE 4 CONCEPT DE BASE DE L'EXPLOITATION

4.1 Politique gouvernementale

Compte tenu de la situation actuelle de l'irrigation agricole, caractérisée par un manque d'efficacité dans l'utilisation de l'eau et l'augmentation de salinité du sol, malgré les efforts pour la mobilisation de l'eau, des mesures doivent être prises pour optimiser l'utilisation de l'eau. Le développement d'installations et de techniques d'économie d'eau et l'adoption d'un nouveau système de tarification de l'eau encourageront les fermiers à aménager les installations d'irrigation pour limiter le gaspillage.

Des encouragements financiers substantiels sont déjà accordés par le Gouvernement pour l'adoption de systèmes d'irrigation par parcelle pour augmenter les économies d'eau, mais les mesures suivantes sont également essentielles:

- (1) Recherches pour déterminer les réels besoins en eau des différentes cultures, et système de fourniture d'informations à ce sujet;
- (2) Création d'un centre de recherche pour déterminer les techniques les mieux adaptées aux conditions agro-climatiques et socio-économiques;
- (3) Dans le cadre du FOSDA, allocation de fonds suffisants pour financer les investissements dans les fermes.

Le système de collecte des frais d'eau est un outil majeur pour garantir l'utilisation optimale de ces ressources limitées. Le tarif de l'eau devra refléter sa rareté. Le Ministère de l'Agriculture poursuivra la politique adoptée il y a quelques années pour aligner les tarifs sur les coûts d'exploitation et de maintenance, et à long terme, des systèmes de tarification amortissant le montant investi.

En plus de ce qui précède, pendant la période 1992-1995, le tarif de l'eau de chaque gouvernorat devra être augmenté de 9% par an en termes réels (15% en termes nominaux). Par ailleurs, conformément aux instructions techniques définies dans le décret 2-12-91 définissant les modalités et les conditions générales pour l'approvisionnement et la tarification de l'eau d'irrigation, un système tarifaire à deux niveaux sera adopté dans certaines zones d'irrigation pour encourager les fermiers à faire plein emploi du potentiel disponible.

Simultanément, une comptabilité commerciale de la gestion de l'eau a été introduite en 1992-1993 dans tous les CRDA, en vue de mieux définir les actions et droits pour améliorer la qualité du service dans les réseaux d'irrigation.

En plus des mesures pour économiser l'eau prises par les fermiers, les départements techniques doivent optimiser la gestion de l'exploitation et assurer le support technique pour le développement des AIC.

Les AIC, formées de groupes de fermiers prenant la responsabilité de gérer les ressources en eau partagées, ont acquis un meilleur niveau de flexibilité de gestion depuis 1987.

Ces associations ont montré qu'elles étaient non seulement capables d'économiser l'eau et l'énergie, mais certaines d'entre elles ont même pris des initiatives dans d'autres activités communautaires, par exemple la place de la femme dans les zones rurales ou l'amélioration des conditions de vie, et a participé à la construction de routes rurales.

Pendant le VIII^e plan quinquennal, 700 nouvelles AIC ont été créées et des programmes de promotion ont démarré. A cet effet, le gouvernement est concerné principalement par:

- (1) la maintenance des installations hydrauliques confiées aux AIC
- (2) le renforcement des AIC via l'aide technique, la formation et le recyclage du personnel
- (3) le renforcement des responsables des AIC au sein des CRDA.

Toutes ces actions et mesures pour la rationalisation de l'usage de l'eau ont permis la prise de conscience de cette pénurie, ce qui a permis d'y répondre rapidement. Dans cette nouvelle orientation, l'eau est considérée comme un patrimoine, devant être traité comme des frais économiques, et simultanément, chaque utilisateur doit comprendre que les ressources en eau sont un héritage à transmettre aux générations à venir. Bref, l'eau est un patrimoine héréditaire national, et simultanément un patrimoine économique.

4.2 Problèmes pour le développement

Les points suivants doivent être pris en compte pour l'établissement du concept du projet.

- (1) L'insuffisance d'eau d'irrigation fait obstacle au développement agricole, et l'obtention d'eau d'irrigation est un problème à résoudre.
- (2) Toutes les sources d'eau sont des eaux souterraines, mais le développement de nouvelles sources d'eau est impossible à cause de la baisse importante du niveau des eaux souterraines depuis quelques années.
- (3) Quand les eaux géothermales constituent la source d'eau, les installations sont obstruées par le tartre, et les frais de maintenance et d'exploitation pour l'élimination du tartre sont très élevés.

- (4) Des travaux de réfection ont été effectués de 1980 à 1991 sur les installations de transport d'eau jusqu'à l'entrée des parcelles terminales conformément au Plan directeur d'exploitation des eaux souterraines dans le Sud, les pertes par fuite d'eau sont faibles.
- (5) Les canaux quaternaires et canaux de champs sont en terre, ce qui fait perdre de grandes quantités d'eau par infiltration, et rend la répartition de l'eau sur les parcelles inégale.
- (6) La surface d'une partie des oasis est inégale, et l'on estime que l'eau d'irrigation n'atteint pas les zones relativement élevées ou celles situées à une grande distance des vannes.
- (7) Dans une partie des oasis, la culture des légumes est difficile parce l'intervalle entre les irrigations est trop long.

4.3 Concept de base

Le concept de base des installations a été défini comme suit compte tenu des problèmes ci-dessus.

- (1) Toutes les oasis de la zone de l'étude sont irriguées par des eaux souterraines pompées ou jaillissant sous pression. Le transport de l'eau du forage à chaque vanne d'alimentation se fait par canalisations en béton, amiante ou acier, et les pertes dues au transport de l'eau sont très faibles. En comparaison, l'aménagement des canaux terminaux sur les parcelles a pris du retard, bien que des canaux en béton ou en tuyau PVC aient été construits partiellement, les canaux sur les parcelles provoquent principalement les pertes d'eau. Par conséquent, ce projet aura pour objectif la réfection des canaux terminaux des parcelles, et non celui du système de transport d'eau des forages aux vannes d'alimentation.
- (2) La conductivité des eaux d'irrigation des oasis de la zone de l'étude est généralement inférieure à 400 mS/m, des dégâts dus au sel ne sont pas apparus sur les parcelles à cause des pertes importantes par infiltration, mais comme l'aménagement des canaux et la réduction des pertes dans l'avenir fait craindre une augmentation de la salinité des eaux souterraines peu profondes, on prévoira la mise en place de canaux de drainage. Cela sera cependant inutile aux environs de la ville de Gafsa, où les eaux souterraines sont très profondes.
- (3) La réfection des canaux d'irrigation et l'aménagement des canaux de drainage devraient entraîner une augmentation de la récolte des différentes cultures, il serait donc souhaitable d'introduire dans une certaine mesure des apports (engrais, etc.) agricoles et d'améliorer les méthodes de culture.
- (4) Des méthodes de refroidissement des eaux géothermiques puisées du C.I. pour la réduction des frais de maintenance seront également proposées, mais non intégrées au projet.

4.4 Sélection de la zone du projet

Une évaluation générale tenant compte de 4 points: 1) taux d'irrigation actuel (autrement dit, niveau d'aménagement des canaux terminaux), 2) conditions de drainage actuelles (autrement dit, niveau de drainage naturel et niveau d'aménagement des canaux de drainage), 3) utilisation comme lieu touristique, et 4) évaluation économique, a été faite pour chaque oasis pour sélectionner la zone objet du projet. Le Tableau 4.4.3.1 en indique les résultats.

L'efficacité d'irrigation actuelle (niveau d'aménagement des canaux d'irrigation) peut se classer en 3 niveaux. Comme indiqué au paragraphe 5.2.4, la longueur d'aménagement des canaux d'irrigation jusqu'à 50 m de l'extrémité est la plus efficace du point de vue économique. Quand cette norme de base est atteinte, l'efficacité d'irrigation est de 70% dans les oasis traditionnelles et de 67% dans les nouvelles oasis, et marqué par un "O". De même, les oasis où le taux d'irrigation dépasse 55% ont été marquées d'un "o" parce qu'on ne peut pas espérer une augmentation de l'économie d'eau proportionnelle à l'augmentation des frais des travaux, car la norme de conception est pratiquement atteinte. Les oasis n'atteignant pas un taux d'irrigation de 55% ont été marquées d'un "X" parce qu'on estime l'amélioration (aménagement) des canaux terminaux nécessaire car la norme n'est pas atteinte.

Compte tenu des conditions de drainage actuelles, 3 niveaux ont été définis sur la base des normes d'aménagement. Comme indiqué au paragraphe 5.2.1, on a marqué "O" les oasis où, du point de vue hydrogéologique, le niveau des eaux souterraines est bas, et où l'amélioration n'est actuellement pas nécessaire parce qu'on peut espérer un drainage naturel (aux environs de la ville de Gafsa) et là où les normes d'aménagement des canaux de drainage de parcelle sont atteintes (profondeur de 2,0 m, intervalle de 100 m) comme indiqué au paragraphe 5.2.4. Parmi les oasis ne remplissant pas ces conditions, on a marqué "o" celles jugées satisfaisantes en gros les conditions prévues et "X" celles où l'aménagement de canaux de drainage est fondamentalement nécessaire.

L'évaluation des étapes 1 et 2 a été faite sur la base des conditions d'irrigation et de drainage actuelles précitées. Seule l'oasis d'El Ghoula (KB-46) satisfait aux normes de base à la fois pour l'irrigation et le drainage; les oasis des Ibn Chabbat 3 (TZ-10), Ibn Chabbat 1 (TZ-13), Ibn Chabbat 2 (TZ-14), El Golaa (KB-47), Grad (KB-48), Sakkouma (KB-54), Tarfaya (KB-55), Dergine (KB-63) et Madssia (GB-40), satisfont aux normes pour les installations d'irrigation, et les installations de drainage sont conformes. Au contraire, les installations de drainage satisfont aux normes, et les installations d'irrigation sont conformes pour les oasis des Draa Sud (TZ-15) et Zaafrane (KB-51). Ces oasis seront donc exclues du projet.

Le critère de jugement de l'étape 3 a été l'importance comme lieu touristique. Les oasis de la zone sont plus ou moins des lieux touristiques. On a marqué "O" les oasis qui contribuent fortement au tourisme parce qu'il s'agit d'oasis de type ancien jusqu'aux terminaux, et en particulier celles dont la source d'eau est une source naturelle. De plus, on a marqué "o" celles utilisées partiellement pour le tourisme, et "X" celles qui ne le sont pas du tout. Les 5 oasis des Tamerza (TZ-26), Chebika (TZ-27), Foun El Khanga (TZ-28), Mides (TZ-29) et Ain El Karma (TZ-30) ont été exclues du développement en considérant la perte de l'attrait touristique plutôt que l'amélioration des installations terminales.

Le critère de jugement de l'étape 4 a été fait sur la base de l'évaluation économique de chacune des oasis. Ainsi, en plus des 17 oasis précitées, les 3 oasis des Ghandri (GB-46), Laaradh 1 (GB-47) et Laaradh 3 (GB-48) ont été exclues du projet parce qu'on a jugé qu'il serait très possible que les effets économiques prévus ne soient pas atteints, compte tenu de la rentabilité économique interne inférieure à 5,2% par rapport aux frais du projet.

Pour l'évaluation du potentiel de développement, le jugement définitif a été fait sur la base de l'état d'aménagement des installations, du lieu touristique et des effets, qui a permis la subdivision en 4 classes:

- Classe A: Potentiel de développement très élevé
- Classe B: Potentiel de développement élevé
- Classe C: Potentiel de développement ordinaire
- Classe D: Potentiel de développement plutôt faible

Le classement du potentiel de développement agricole par gouvernorat a été résumé dans le tableau récapitulatif ci-dessus; (Voir les Tableaux 4.4.3.2 et 4.4.3.3 pour les détails.)

Nombre des oasis objets du projet et Superficies

Gouvernorat	Délégation	Oasis objets du projet et Superficies		Classement			
		Nombre	Superficies (ha)	A	B	C	D
1. Gafsa	Gafsa Sud	2	1,401	0	2	0	0
	Guetar	1	450	0	1	0	0
	Ksar	2	1,278	0	2	0	0
	Metalaoui	2	121	0	1	1	0
	Redeyef	1	217	1	0	0	0
	Sub-total	(8)	(3,467)	1	6	1	0
2. Tozeur	Tozeur	10	1,860	1	3	5	1
	Nefta	5	1,602	1	0	1	3
	Hazoua	4	436	2	0	2	0
	Degache	6	1,519	1	2	3	0
	Tamerza	5	205	0	0	0	5
	Sub-total	(30)	(5,622)	5	5	11	9
3. Kébili	Souk Lahad	14	1,824	4	7	3	0
	Kébili Nord	12	1,306	1	7	4	0
	Kébili Sud	18	1,987	8	2	8	0
	Douz	13	1,265	1	2	4	6
	Faoaur	10	831	0	5	4	1
	Sub-total	(67)	(7,213)	14	23	23	7
4. Gabès	Gabès est	5	750	0	2	3	0
	Gabès ouest	5	1,096	2	2	1	0
	Ghannouch	5	1,085	1	3	1	0
	Metouia	3	763	1	1	1	0
	El Hamma	11	1,555	1	5	5	0
	Mareth	17	1,794	0	5	10	2
	Matmata	2	90	0	0	0	4
	Sub-total	(48)	(7,133)	5	18	21	20
	Total	153	23,435	25	52	56	20

CHAPITRE 5 PROJET D'EXECUTION

5.1 Plan de développement agricole

(1) Sélection des cultures et système de cultures

Actuellement, l'arboriculture assure une récolte abondante ou presque dans tous les gouvernorats, et de nouvelles espèces sont introduites au moment du remplacement, ainsi la méthode de culture la mieux adaptée est assurée. Les fermiers ainsi que la direction chargée de la vulgarisation considèrent que tout changement dans la plantation des arbres est inutile. Dans les champs, des cultures adaptées aux conditions locales sont pratiquées, et actuellement, l'introduction de nouvelles cultures est jugée inutile.

Dans le projet d'exploitation agricole, les principales cultures sont les dattes, les olives, ainsi que d'autres fruits (grenades, abricots, figues, etc.) pour les arbres fruitiers, des légumes d'hiver (carottes, oignons, fèves, etc.) et des légumes d'été (tomate, piments, etc.), la luzerne, comme plante fourragère, et le henné comme culture industrielle. Le présent projet concerne uniquement l'aménagement des canaux des parcelles terminales. Comme le volume d'eau d'irrigation ne sera pas augmenté, on ne peut pas espérer d'augmentation de la surface plantée. Le système de cultures ne sera pas modifié puisqu'il n'y aura pas d'introduction de nouvelles cultures, ni de changement de la surface plantée. Le tableau ci-dessous montre la surface plantée pour les principales cultures.

Items	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
No. of Oasis	8	30	67	48	153
Area (ha)	<u>3,467</u>	<u>5,622</u>	<u>7,213</u>	<u>7,133</u>	<u>21,435</u>
- Arboriculture	3,432	5,622	7,213	7,133	23,400
Date	812	5,032	6,567	3,114	15,525
Olive	2,221	179	192	1,728	4,320
Fruits	399	411	454	2,291	3,555
- Vegetables	1,041	568	2,084	1,489	5,182
Winter vegetables	499	306	1,273	866	2,944
Summer vegetables	542	262	811	623	2,238
- Lucern	886	311	2,888	1,622	5,707
- Henna	0	0	0	452	452
Plannted area	<u>5,359</u>	<u>6,501</u>	<u>12,185</u>	<u>10,696</u>	<u>34,741</u>
Taux de culture	1.55	1.17	1.69	1.50	1.48

(2) Méthodes de culture et introduction d'équipements agricoles

Les équipements agricoles introduits sont indiqués dans le Tableau E.5.3.1 de l'Annexe E. L'augmentation de la production a donné lieu à des besoins accrus d'engrais, dont le volume a augmenté d'environ 20% pour toutes les cultures. Les travaux sont plus importants pour la récolte et la gestion des exploitations, mais l'aménagement des canaux a réduit les besoins de main-d'oeuvre, et la main-d'oeuvre totale n'a pratiquement pas changé.

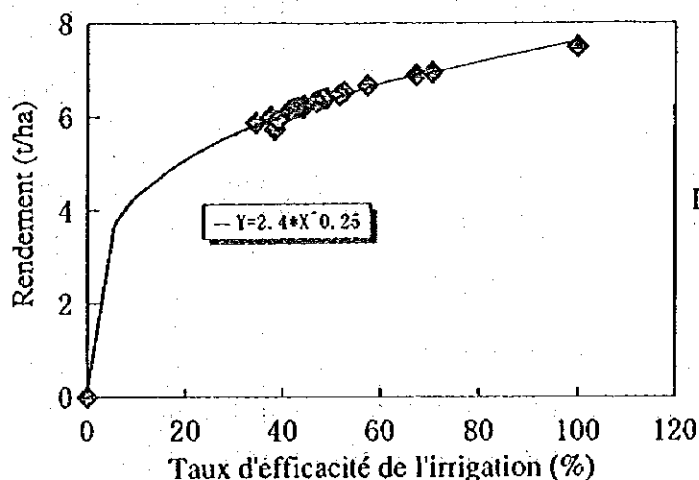
La culture des produits d'hiver commence du début septembre au début novembre et se termine du début janvier au début mars. La culture des produits d'été commence du début mars au début mai, et se termine du début juillet au début septembre. La luzerne est semée du début septembre au début novembre, et 2 à 3 années de suite. La mécanisation est très difficile à réaliser, aussi tous les travaux sont faits à la main.

(3) Rendement objectif et production

Actuellement, le rendement est faible parce que le volume d'eau irrigué fourni n'est pas proportionnel aux besoins en eau des cultures. L'aménagement des installations terminales réduira les pertes d'eau d'irrigation, et l'amélioration de l'efficacité d'irrigation accroîtra évidemment le rendement. Mais l'amélioration du rendement due à l'augmentation de l'efficacité d'irrigation (volume d'eau fourni) varie selon les cultures. L'analyse du rendement actuel des principales cultures pratiquées permet de dire que la tendance au rendement peu élevé va se poursuivre si les canaux terminaux ne sont pas aménagés.

Le présent projet prévoit l'augmentation du rendement par le biais de l'aménagement ou réaménagement des installations d'irrigation et de drainage terminales afin d'augmenter le volume d'eau d'irrigation fourni aux cultures, qui constitue un facteur limitatif du rendement, et de réduire l'accumulation de sel. L'augmentation du rendement des diverses cultures principales, en portant le taux d'irrigation au maximum, calculé avec la formule $Y = 0,24X^{0,25}$ (où Y: rendement, X: taux d'irrigation), obtenue à partir de l'analyse de la situation actuelle, a varié selon les cultures.

Relation entre le rendement et le taux d'efficacité d'irrigation
sur la base des données de rendement des dattiers dans
les oasis traditionnelles du gouvernorat de Tozeur



Données de rendement des dattiers

Pour toutes les cultures, la relation entre l'efficacité de l'irrigation et le rendement est indiquée comme précité par la formule $Y = aX^b$, où b indique le degré de contribution de l'efficacité de l'irrigation au rendement et a le niveau de rendement. b est proche de 0,25 pour toutes les cultures, mais a varie considérablement selon les cultures. Les formules de relation de l'efficacité de l'irrigation et du rendement sont indiquées ci-dessous (Figure 5.1.1).

$$Y = 22,2 X^{0,25} \quad \text{: luzerne} \quad Y = 7,6 X^{0,25} \quad \text{: légumes d'hiver}$$

$$Y = 4,4 X^{0,25} \quad \text{: fruits} \quad Y = 2,4 X^{0,25} \quad \text{: dattes, olives}$$

Ainsi, l'augmentation du rendement des différentes cultures sera comme indiqué ci-dessous si l'on passe d'un taux d'efficacité de l'irrigation de 47% (moyenne générale actuelle) à 67% (valeur prévue dans la plupart des oasis après l'achèvement du projet).

Items	(Unit: ton/ha)		
	Efficacité d'irrigation (47%)	Efficacité d'irrigation (67%)	Augmentation du rendement
Date	5.9	6.5	0.6
Fruits	10.8	12.0	1.2
Winter vegetables	19.1	21.4	2.3
Lucern	54.9	61.2	6.3

D'une part, une petite augmentation du rendement est prévue suite à l'amélioration des méthodes, mais celle-ci devrait aussi graduellement diminuer avec l'aggravation du manque d'eau découlant du non-aménagement des installations d'irrigation. Les deux devraient se compenser. Mais du sel devrait s'accumuler à la surface du sol à cause du drainage

insuffisant; et s'il n'est pas éliminé, le rendement devrait baisser. La modification du rendement au cas où le projet ne serait pas réalisé a été calculée comme suit, uniquement pour les oasis où du sel devrait se déposer à cause du drainage insuffisant. Dans les oasis où la probabilité d'accumulation de sel est forte (8 oasis), la situation actuelle permet de dire que le rendement va baisser, et cette baisse devrait atteindre 15% la 25^{ème} année; dans celles où la probabilité est plutôt forte (38 oasis), la baisse de rendement devait être de 10%, dans celles à probabilité moyenne (38 oasis) de 5%, et dans celles à probabilité faible (38 oasis) de 2,5%.

Sur cette base, les Tableaux 5.1.2.1 et 5.1.2.2 indiquent le rendement calculé pour les différentes cultures dans les 153 oasis avec ou sans le projet, ce qui est résumé ci-dessous.

(Unit: ton/ha)

Item	Gafsa		Tozeur		Kébili		Gabès		Total	
	WO/P	W/P	WO/P	W/P	WO/P	W/P	WO/P	W/P	WO/P	W/P
Date	7.2	8.3	5.9	6.7	5.5	6.2	5.8	6.6	5.8	6.6
Olive	8.0	8.9	2.7	3.2	4.5	5.1	3.8	4.4	6.1	6.8
Fruits	11.5	12.5	2.4	2.8	2.8	3.1	11.2	12.8	10.6	12.0
Winter vegetables	23.6	26.0	12.2	13.9	12.4	14.0	27.3	31.3	18.9	21.4
Summer Vegetables	18.0	20.6	9.3	10.7	9.8	11.0	14.9	16.9	13.2	14.9
Lucern	59.1	65.0	75.0	85.8	48.3	54.5	58.0	65.9	54.4	61.3
Henna							1.4	1.7	1.4	1.7

Remarks: WO/P; Without Project, W/P; With Project

La production des différentes cultures augmentera si le projet est réalisé. Comme la surface cultivée n'augmentera pas, cette augmentation sera due à l'accroissement du rendement. Les Tableaux E.5.4.3 et E.5.4.4 de l'Annexe E indiquent la production pour chaque culture dans les 153 oasis avec et sans le projet. Le Tableau 5.1.2.3 indique l'augmentation de la production de chaque culture des 153 oasis, ce qui est résumé ci-dessous.

(Unit: ton)

Item	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Date	870	3,700	4,540	2,530	11,640
Olive	1,800	70	110	1,000	2,980
Fruits	410	140	240	3,830	4,620
Winter vegetables	1,220	480	1,960	3,440	7,100
Summer Vegetables	950	310	960	1,330	3,550
Lucern	5,190	3,100	16,400	12,880	37,570
Henna	0	0	0	130	130

5.2 Irrigation et drainage

5.2.1 Sources d'eau

146 des 153 oasis objets du Projet sont alimentées en eau d'irrigation par les eaux souterraines de 359 forages. Parmi les 7 oasis restantes, 5 sont irriguées par des sources naturelles ou un écoulement de surface en provenance de sources. Les deux dernières n'ont pas de source d'eau propre et sont alimentées en eau par canalisation depuis une autre oasis. Autrement dit, l'eau souterraine est directement ou indirectement la seule source d'eau de toutes les oasis du Projet.

Sauf cinq oasis dans la région de Tamerza, toutes les oasis utilisent des eaux souterraines de forages, et presque toutes des eaux des formations C.T. ou C.I (ou les deux). La nappe souterraine alimentant la région de Tamerza est appelée "aquifère de Tamerza", c'est l'un des rares cas de maintien d'un bon équilibre entre l'apport et la décharge parmi les aquifères peu profonds du Sud de la Tunisie qui sont déjà surexploités.

Les couches aquifères profondes, en particulier les couches importantes comme les C.T. et C.I. semblent maintenir difficilement l'équilibre entre le pompage et la capacité de production. Si cet équilibre est rompu, la détérioration de la qualité de l'eau sera certainement très importante parce qu'elles sont très vulnérables à la salinisation à cause de leur emplacement à proximité de très grands Chotts. Ainsi, toutes les informations sur les eaux souterraines et les conditions liées aux eaux souterraines sont totalement négatives pour une exploitation plus poussée des eaux souterraines dans l'avenir. Autrement dit, il faut au moins maintenir le volume d'eaux souterraines actuellement fourni, ou bien même le réduire si possible dans toutes les oasis.

En conclusion, il est nécessaire de s'abstenir de toute nouvelle exploitation d'eaux souterraines dans ce projet, et d'utiliser les forages comme ils le sont actuellement. Mais on peut fortement recommander la construction de forages piézométriques. Cela parce que la surveillance en série temporelle en saisissant à tout moment la charge pressurisée de chaque couche aquifère est essentielle pour la gestion des eaux souterraines, et pour pouvoir évaluer le plus précisément possible les couches aquifères dans l'avenir. Il est également souhaitable d'installer des débitmètres de haute précision sur les forages pour connaître précisément leur débit.

5.2.2 Installations de refroidissement des eaux géothermales

(1) Dépôts de tartre

Un des plus gros problèmes des installations de refroidissement est l'apparition de dépôts de tartre dans les canalisations d'irrigation. Le tartre se compose principalement de carbonates produits au passage des eaux géothermales de la formation C.I.

Les dépôts de tartre carboné se forment à la surface des obstacles en bois et se brisent sous leur poids. Les tuyaux d'irrigation sont obstrués de tartre. Le nettoyage et le remplacement des obstacles en bois et tuyaux sont donc effectués périodiquement, mais ces opérations augmentent les frais de maintenance des installations de refroidissement.

L'eau refroidie par les installations de refroidissement est sur-saturée de calcite (CaCO_3). Aussi, sans traitement chimique, comme celui appliqué dans certaines centrales géothermiques japonaises, on ne peut pas éviter la formation de tartre carbonaté.

Le mélange direct de l'eau géothermique de C.I. avec de l'eau froide d'une couche peu profonde produit un mélange non saturé de carbonates, efficace pour empêcher les dépôts de tartre. Cette méthode est appliquée dans quelques oasis.

La simplification des opérations de nettoyage devrait permettre de réduire les frais de nettoyage. Quelques propositions sont indiquées ci-dessous.

- Eliminer les obstacles en bois installés dans les tours de refroidissement.
- Utiliser des canaux à ciel ouvert au lieu des canalisations.
- Prévoir un bassin de sédimentation du tartre.
- Installer des obstacles dans les canaux à ciel ouvert et/ou bassins de sédimentation du tartre.

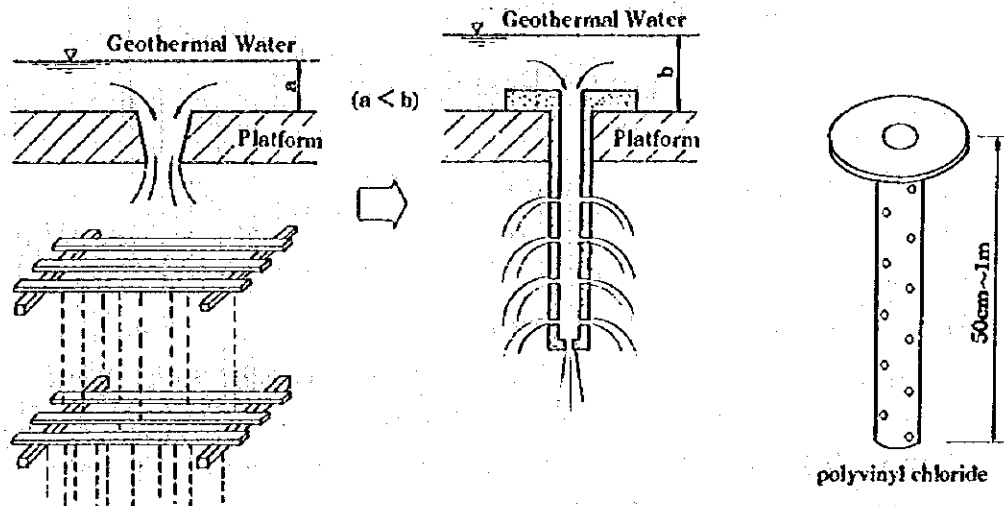
Les détails de chaque proposition sont indiqués ci-dessous.

1) Elimination des obstacles en bois des tours de refroidissement

A l'origine, les obstacles en bois ont été prévus dans les tours de refroidissement pour prolonger le temps de contact des gouttes d'eau avec l'air. Des gouttes d'eau plus fines permettraient d'obtenir un effet de refroidissement suffisant sans utiliser d'obstacles en bois.

La pression dans le trou d'un forage sur le C.I. d'environ 20 MP est élevée, il serait possible d'installer des tubes-aspergeurs au plafond de la tour de refroidissement comme entrée pour les eaux géothermales, qui sortiraient ainsi en fines gouttelettes.

Une autre méthode simple pour obtenir des gouttes fines est d'utiliser des tuyaux comportant un grand nombre de petits trous. Les gouttes d'eau deviennent plus fines en insérant ces tuyaux dans les trous de la plate-forme comme indiqué ci-dessous.



2) Utilisation de canaux à ciel ouvert au lieu de canalisations

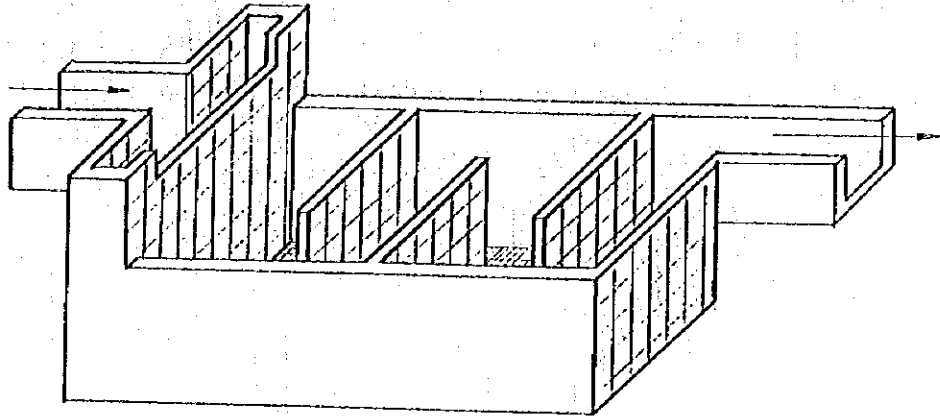
Comme l'élimination du tartre des canaux à ciel ouvert est relativement simple par rapport aux tuyaux, l'adoption de canaux à ciel ouvert est recommandée, sauf sur les parties en pente raide. Même si un tuyau est utilisé sur une section raide de la ligne de transport, le canal à ciel ouvert suivant à plat sera efficace pour accélérer la déposition du tartre, et réduire ainsi le tartre en aval.

La combinaison de canaux à ciel ouvert et de cascades applicable dans les sections raides est également efficace pour accélérer efficacement la déposition du tartre.

3) Mise en place d'un bassin de sédimentation

Comme la pression est élevée dans les trous du forage sur la formation C.I., la plupart des installations de refroidissement sont construites en hauteur. Ainsi, toute pompe est inutile pour transporter l'eau refroidie, même si un réservoir de stockage pour la déposition du tartre est ajouté entre les installations de refroidissement et les canaux de distribution pour l'irrigation.

L'eau refroidie dans la tour de refroidissement s'écoule dans le réservoir de sédimentation du tartre, où le refroidissement et la perte de CO_2 sont accélérés. Ce système combine en principe une tour de refroidissement, une cascade et un réservoir d'eau.



4) Installation d'obstacles dans le canal à ciel ouvert et le réservoir de sédimentation

L'installation d'obstacles sur le parcours de l'eau refroidie, sur-saturée de calcite, vise à accélérer la formation de tartre à leur surface. Le remplacement périodique des obstacles facilitera le travail de nettoyage. Des tamis grossiers en palmes de dattiers peuvent servir d'obstacles.

(2) Quelques améliorations aux installations présentes pour améliorer l'efficacité du refroidissement

Voici quelques commentaires sur les améliorations possibles pour assurer un refroidissement efficace.

- 1) Insertion de tuyaux courts, à trous fins multiples, dans la tour de refroidissement par les trous de la plate-forme. C'est la même méthode qu'en (1) Dépôts de tartre ci-dessus; elle vise à améliorer l'effet de refroidissement par la formation de fines gouttes d'eau.
- 2) Remplacement de la tuyère d'entrée actuelle à un trou par une tuyère à trous multiples ou fentes. De plus, la tuyère ou les fentes doivent être placées plus haut pour améliorer l'efficacité.
- 3) Fixation de pales de radiateur au tuyau de transport d'eaux géothermales en acier en amont de la citerne. Si le tuyau n'est pas assez long, l'effet ne sera pas important.

(3) Autres propositions d'amélioration

- 1) Système de prévention des dépôts de tartre calcite

Comme les eaux géothermales de la formation C.I. sont à l'origine saturées de calcite, elles deviennent sur-saturées dans les installations de refroidissement suite à la perte de CO_2 . Sans traitement chimique comme celui des centrales géothermiques, le tartre calcite se forme inévitablement dans cette eau refroidie.

A la centrale géothermique de Mori au Japon, l'injection d'une solution de polyacrylate de sodium ($[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CO.ONa})-]_n$) de 10 - 15 ppm dans les eaux géothermales empêche efficacement les dépôts de tartre calcite. Ce traitement chimique est applicable aux installations de refroidissement pour l'irrigation. Mais des essais sur le terrain sont nécessaires pour estimer le coût d'exploitation. Bien que le polyacrylate de sodium soit sans danger pour la santé des hommes et des animaux, son influence sur les plantes doit être testée. Il faut également un secteur de chimie organique avancé pour produire des composés organiques macromoléculaires comme l'acide polyacrylique. Si du polyacrylate de sodium est ajouté à l'eau géothermale à débit de 50 l/sec. pour obtenir une concentration de 5 ppm (la moitié de celle de la centrale géothermique de Mori), le coût des produits chimiques sera d'environ 60.000 DT/an. Excepté la production d'électricité géothermique, ce coût élevé va créer de nouveaux problèmes d'exploitation.

Comme le polyphosphate de sodium ($\text{Na}_{n+2} \text{P}_n \text{O}_{3n+1}$) est instable à haute température ($>200^\circ\text{C}$), il n'est pas utilisé comme inhibiteur de tartre dans les centrales géothermiques, mais des expériences en laboratoire ont montré qu'il pouvait contrôler le tartre carbonaté.

Si les effets du polyphosphate de sodium sont vérifiés par les essais sur le terrain aux installations de refroidissement, il est recommandé de l'utiliser comme inhibiteur de tartre, ce qui reviendra moins cher que le polyacrylate de sodium en Tunisie, où le secteur chimique sur les composés phosphoreux est développé.

2) Installations de refroidissement sans électricité (Tour de refroidissement à ventilation naturelle)

Les tours de refroidissement dans les oasis sont prévues pour assurer le refroidissement efficace par ventilateur. Mais vu la cherté du courant électrique, beaucoup de ventilateurs des tours de refroidissement ne fonctionnaient pas au moment de l'étude.

Une tour de refroidissement à ventilation naturelle peut refroidir les eaux géothermiques C.I. sans électricité. A la centrale géothermique de Matsukawa, Japon, une tour de refroidissement de ce type (44,6 m de hauteur et 46,7 m de diamètre de base) est utilisée pour refroidir 5.000 m³/h d'eaux thermales de 48 à 25°C. Les eaux géothermales du C.I. jaillissent sous leur propre pression. Le débit des eaux géothermales du C.I. refroidie par les tours de refroidissement actuelles va de 50 à 100 l/sec. (180 à 360 m³/h). Aussi pour les oasis, il ne faudra pas de tour de refroidissement aussi grande que celle de Matsukawa.

5.2.3 Installations de transport et de réglage

La plupart des principales installations de transport, comprenant les installations de prise, de transport et de stockage d'eau, ont été rénovées dans le cadre de programmes d'aménagement pendant la période 1980-1991 conformément au Plan directeur sur l'exploitation des ressources en eau dans le Sud.

Lors des relevés des fuites effectués par la méthode d'écoulement immédiatement en aval des hydrants concernés pour évaluer la capacité du système de l'hydrant, les mesures de débit ont révélé que la capacité réelle est d'environ 90% de la capacité du système.

Cet état de fait peut être dû à la baisse de niveau des eaux souterraines, à des fuites d'eau des canaux de transport, à l'évaporation des bassins de stockage, etc. Ces pertes étant jugées inévitables dans ce type d'installation, et une amélioration difficile dans le cadre de ce projet, ces installations ont été exclues du projet.

5.2.4 Installations terminales

(1) Projet d'irrigation

La méthode de prévision des besoins pour la culture basée sur les données météorologiques sera utilisée dans l'étude pour estimer l'eau d'irrigation requise. Les grandes lignes formulées par le Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) en 1977 ont été utilisées pour estimer ces volumes d'eau. En 1992, le FAO a publié un manuel pour obtenir des valeurs adéquates par informatisation de ces grandes lignes.

L'effet du climat sur les besoins en eau des cultures est indiqué par l'évapotranspiration potentielle. L'étude a été faite par les quatre méthodes: Balney-Cridle, Penman, Espinar et méthode de Pan-évaporation, sur la base des données climatiques moyennes de 20 années.

Il est important de noter que ces Grandes lignes recommandent l'application de la méthode de Penman modifiée, la mieux adaptée, avec une possibilité d'erreur minimale.

Voici l'explication des 4 méthodes précitées et des paramètres.

- Méthode de Blaney-Criddle

$$E_{to} = C \cdot P (0,46T + 8,0)$$

- C: Coefficient de Blaney-Criddle
- P: Rapport des heures d'ensoleillement réelles sur les heures d'ensoleillement théoriques (%)
- T: Température journalière moyenne (°C)

- Méthode de Penman modifiée

$$E_{to} = C \cdot [W \cdot R_n + (1-W) \cdot F(u) - (e_a - e_d)]$$

- W: Coefficient de température
- R_n: Radiation nette indiquée par l'évapotranspiration (mm/jour)
- F(u): Coefficient de vitesse du vent
- (e_a - e_d): Différence entre la pression atmosphérique saturée d'humidité et la pression d'humidité moyenne de l'air (bars)
- C: Coefficient d'ajustement de l'influence du temps du jour et de la nuit

- Méthode d'Espinar

$$E_{to} = (T_{min} + T_{max} + 36) / 3218 \cdot DJ \cdot (DJ-5) \cdot \sqrt[3]{EP}$$

- T_{min}: Température moyenne mensuelle minimale (°C)
- T_{max}: Température moyenne mensuelle maximale (°C)
- DJ: Heures d'ensoleillement moyennes mensuelles théoriquement possibles (mm/mois)
- EP: Evapotranspiration selon la méthode de Pitch (mm/mois)

- Méthode Pan-évaporation

$$E_{to} = K_p \cdot E_{pan}$$

- E_{pan}: Evapotranspiration de Pan (mm/jour)
- K_p: Coefficient de Pan

Les résultats du calcul de l'évapotranspiration potentielle avec ces quatre méthodes dans les quatre gouvernorats de Gafsa, Tozeur, Kébili et Gabès montrent que la méthode Pan-évaporation indique l'évapotranspiration potentielle annuelle maximale et la méthode Espinar la valeur minimale de tous les gouvernorats. On peut noter la grande différence

d'estimation de ces deux méthodes, alors que les valeurs calculées par les méthodes Balney-Criddle et Penman sont relativement proches. D'après les Grandes lignes, la méthode Balney-Criddle est applicable seulement pour des périodes d'un mois environ dans des zones de latitude moyenne à hiver humide et venteux. Il est donc souhaitable d'adopter la méthode Penman pour la zone du projet.

Les systèmes de culture actuels sont classés en 13 catégories comme suit:

- (1) O-1: olives comme culture principale
- (2) O-2: olives comme culture principale, suivie des fruits et cultures annuelles
- (3) D-1: dattes comme culture principale
- (4) D-2: dattes comme culture principale, suivie des fruits
- (5) D-3: dattes comme culture principale, suivie des cultures annuelles
- (6) D-4: dattes comme culture principale, suivie des fruits et cultures annuelles
- (7) DF-1: dattes et fruits mélangés
- (8) DF-2: dattes, fruits et cultures annuelles mélangés
- (9) F-1: fruits et olives mélangés
- (10) F-2: fruits, olives et cultures annuelles mélangés
- (11) FD-1: fruits et dattes mélangés
- (12) FD-2: fruits, dattes et cultures annuelles mélangés
- (13) A: cultures annuelles comme cultures principales avec arbres éparpillés

Les quatre méthodes décrites ci-dessus permettent de calculer l'évapotranspiration des cultures concernées en fonction des données climatiques. Pour ce projet, les coefficients de culture des différentes cultures des grandes lignes du FAO ont en principe été appliqués. Pour certaines cultures, les coefficients de culture obtenus par expérimentation et communément utilisés dans cette région ont été adoptés parce qu'il n'y a pas de différences remarquables de valeurs entre les deux.

Dans la zone de l'étude, le coefficient de culture de l'olive a été dérivé de l'Analyse diagnostic du périmètre pilote Sud-Ouest (*¹), celui des arbres fruitiers est représenté par

*¹ ANALYSE DIAGNOSTIC DU PERIMETRE PILOTE SUD-EST

République Tunisienne
Ministère de l'Agriculture
C.R.D.A. de GAFSA
ANNEE 1994

celui du grenadier, défini dans le Rapport pour le développement de Gabès (*²), celui des dattes par les relevés réels effectués à la station expérimentale de Zafaraniah en Iraq (*³), et celui des cultures annuelles par celui de la luzerne (*²).

L'évapotranspiration, les différents coefficients de culture, le système de culture actuel et le taux de culture, la moyenne excédentaire du coefficient de culture pour chaque système de culture, l'évapotranspiration des cultures par type de système de culture sont respectivement indiqués dans les Tableaux F.1.2.1, F.1.3.1, F.1.3.2, F.1.3.3 et F.1.3.4 de l'Annexe F.

La profondeur d'irrigation est la profondeur d'eau stockée dans la zone des racines, la profondeur intermédiaire la capacité du champ et la teneur en eau consommable du sol dans des conditions de culture, de sol et de climat données. La profondeur de l'eau disponible par la culture est exprimée par $p.S_a$, où S_a est le total d'eau disponible dans la terre et p la partie du total d'eau qui sera absorbée par la culture, sans relation avec son évapotranspiration et sa croissance, qui varie surtout en fonction du type de culture et du volume évaporé. Dans la zone de l'étude, S_a a été estimé de 80 à 120 mm/m; d'après des études effectuées par le CRDA et l'analyse du sol de la Phase 1. La valeur p va de 0,45 à 0,65, selon les Grandes lignes du FAO.

D'après les résultats des calculs des intervalles d'irrigation pendant la période la plus sèche (juillet et août), cet intervalle est de 11 à 18 jours pour les olives, de 8 à 14 jours pour les dattes et de 4 à 7 jours pour les cultures annuelles, selon la texture du sol. (Tableau F.1.4.1 de l'Annexe F)

*² ETUDE DE CREATION D'UN PERIMETRE IRRIGUE A PARTIR DES EAUX USEES
TRAITEES DE LA STATION D'EPURATION DE GABES PHASE 1:
IDENTIFICATION
EDITION DEFINITIVE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
C.D.R.A DE GABES
Date Avril 1994

*³ PROJET D'ECONOMIE DE L'EAU DU PERIMETRE IRRIGUE DE DOUZ
(GOUVERNORAT DE KEBILI)
PAR BEN HASSINE Mohamed
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION GENERALE DU GENIE RURAL
Octobre 1993

Les précipitations efficaces peuvent être estimées avec la méthode du rapport d'évapotranspiration / précipitations développée par le Department of Agriculture's Soil Conservation Service américain. La relation entre les pluies efficaces moyennes mensuelles et les pluies mensuelles moyennes a été calculée par cette méthode sur la base des ETcrop mensuels. D'après ce tableau, les pluies faibles arrêtées par les feuilles qui couvrent entièrement le sol à ETcrop élevé sont efficaces à 100%. Comme le ETcrop mensuel est beaucoup plus élevé que les pluies mensuelles dans la zone de l'étude, les pluies sont estimées efficaces à 100%. (Voir le Tableau F.1.5.1. de l'Annexe F.) Les besoins en eau nets sont comme défini dans le Tableau F.1.5.2. Ce tableau montre que les besoins d'irrigation des dattes sont les plus élevés, ensuite viennent les olives et les cultures annuelles. Les besoins des autres arbres fruitiers sont moins importants. Quant aux gouvernorats, les besoins nets d'irrigation sont plus importants à Tozeur et Kébili qu'à Gafsa et Gabès à cause de l'évapotranspiration plus élevée et des pluies moins importantes.

Les relevés de perte d'eau des canaux en terre ont été effectués dans 8 oasis pilotes. La perte d'eau des oasis traditionnelles a ainsi été estimée à 25% par 100 mètres, et celles des nouvelles oasis à 30% par 100 mètres. (Voir l'Annexe G.)

Un facteur d'efficacité doit être inclus dans le calcul des besoins bruts d'irrigation pour rendre compte des pertes d'eau pendant le transport et l'irrigation. L'efficacité se subdivise ordinairement en trois niveaux, dont chacun comprend un lot de conditions.

L'efficacité de transport (E_c) est définie comme l'efficacité de transport-distribution (du forage à l'hydrant), l'efficacité du canal terminal (E_b) en tant que rapport du volume d'eau de l'hydrant sur celui à l'entrée des périmètres de culture (parcelles en cas d'arrosage par submersion), l'efficacité d'application (E_a) en tant que rapport du volume d'eau directement utilisé par les cultures sur celui reçu à l'entrée de la parcelle, et l'efficacité du projet (E_p) en tant que rapport du volume d'eau directement utilisé par les cultures sur celui pompé au forage, ou $E_p = E_a.E_b.E_c$.

Comme indiqué au paragraphe 3.4.4, l'efficacité de transport (E_c) est estimée à 0,9. L'efficacité du canal terminal (E_b) est calculée à partir de la longueur moyenne de canal non aménagé (canal en terre) sur la base des résultats de l'étude pilote des canaux en terre et canaux aménagés de chaque oasis. Par exemple, si la longueur moyenne du canal non amélioré est de 100 m dans les oasis traditionnelles, le taux de perte est de 25% comme indiqué plus haut, ou E_b est de 0,75. Mais si 50 des 100 mètres ont été aménagés par canal en béton et/ou canalisation, le taux de perte devient 13%, ou E_b 0,87. On peut penser que l'efficacité d'irrigation est plus élevée dans les nouvelles oasis à parcelles plus petites que

dans les oasis traditionnelles. Les oasis traditionnelles exigent une amélioration des parcelles irriguées. Par conséquent, l'efficacité d'application (Ea) a été estimée à 0,80 dans les oasis traditionnelles et à 0,85 dans les nouvelles. L'efficacité d'irrigation de toutes les oasis avant et après le projet est respectivement de 0,46 et 0,68.

L'efficacité des canaux (Eb) dans les huit oasis indiquait 3 cas: (1) état actuel (2) aménagement des canaux en laissant 50 m (longueur moyenne de canal de terre non amélioré de 25 m), (3) aménagement des canaux en laissant 25 m (longueur moyenne de canal de terre non amélioré de 12,5 m) (Tableau F.1.8.1 de l'Annexe F). Dans le cas (1), l'efficacité du canal (Eb) est calculée à partir du plan au 1/2.000e établi suite à l'étude pilote. Dans le cas (2), Eb a été estimé à 0,935 (1,0 à 0,065) pour les oasis traditionnelles et à 0,92 (1,0 à 0,08) pour les nouvelles oasis, parce que la longueur moyenne de canal de terre non amélioré est de 25 m. De même, dans le cas (3), Eb a été estimé à 0,968 (1,0 à 0,032) et 0,96 (1,0 à 0,04) respectivement dans les oasis traditionnelles et nouvelles.

On a effectué une comparaison du volume d'eau réellement fourni et des besoins d'irrigation bruts calculés logiquement (Tableau F.1.8.2 de l'Annexe F). Le taux d'achèvement de l'irrigation (sans projet) en 1994 va de 34 à 57%. Les Tableaux F.1.8.3 et F.1.8.4 comparent également le volume d'eau d'irrigation réel et les besoins d'eau d'irrigation calculés dans le cas "avec le projet". Le taux d'achèvement de l'irrigation atteint 57 à 76% dans le cas (2) et 59 à 79% dans le cas (3). Le Tableau F.1.8.5 résume les augmentations du taux d'irrigation dans les cas (2) et (3).

A titre de 1ère étape de l'étude du niveau d'aménagement adapté des canaux, la conception des canaux/canalisation d'une parcelle standard de 2,25 ha (150 x 150 m) a été faite pour estimer le coût des travaux dans les quatre cas suivants: (1) canal jusqu'au 100 derniers mètres (2) canal jusqu'aux 75 derniers mètres, (3) canal jusqu'au 50 derniers mètres et (4) canal jusqu'au 25 derniers mètres. Le Tableau F.1.8.6 de l'Annexe F compare le volume d'eau économisé et le coût de l'aménagement. Le rapport volume d'eau économisée/coût de l'aménagement est à peu près le même pour les cas (1), (2), (3), mais chute brutalement pour le cas (4). Autrement dit, le montant des bénéfices produits dans les cas (1), (2) et (3) est proportionnel au coût des travaux dans ces mêmes cas. Mais l'augmentation du bénéfice par rapport à l'augmentation du coût diminue dans le cas (4), ce qui signifie que l'efficacité d'investissement est inférieure à celle des 3 autres cas. L'aménagement de canal le plus efficace est donc jusqu'aux 50 derniers mètres, en laissant un canal non amélioré de 50 m de longueur. La sélection des zones du projet est comme indiqué au Chapitre 4.

(2) Projet de drainage

La salinité du sol est principalement influencée par la qualité de l'eau, la méthode et les pratiques d'irrigation, l'état du sol et les précipitations, et elle augmente généralement avec le temps. Le lessivage peut être fait pendant, avant et après la saison de plantation selon l'eau disponible, mais à condition que l'accumulation de sel sur le sol n'excède pas le niveau de tolérance des cultures. Quand la qualité de l'eau est mauvaise, des irrigations fréquentes et beaucoup d'eau de lessivage peuvent être requises pour obtenir une récolte acceptable. Dans les Grandes lignes, les valeurs de qualité des eaux d'irrigation sont également données en relation avec les niveaux de rendement ordinaires expérimentés, sous forme de conductivité électrique.

Le volume d'eau de lessivage pour les principales cultures, y compris les dattes, les olives, les arbres fruitiers, la luzerne et les tomates, a été calculé pour les 8 oasis pilotes basées sur les résultats des essais de qualité d'eau dans ces oasis (Tableau F.2.1.1 de l'Annexe F). Le tableau montre que la capacité de lessivage va de 11 à 39%. En général, les Grandes lignes recommandent d'ajouter ce volume d'eau de lessivage au volume d'eau d'irrigation pour obtenir le volume d'eau d'irrigation brut.

Dans les paragraphes précédents, toute l'eau d'irrigation, infiltration dans les canaux qui n'est pas directement absorbée par les cultures et précipitations incluses, a été considérée comme pertes. Cela peut ne pas être correct parce que les pertes par infiltration sont considérées efficaces pour le lessivage. Le problème de la répartition inégale des pertes par infiltration sur la parcelle peut être résolu annuellement en employant une technique d'irrigation adaptée, en décalant les unités irriguées, en modifiant la taille des parcelles, etc.

Afin d'examiner ce point ci-dessus, on a calculé le rapport des pertes d'eau sur les besoins nets. Le taux de perte d'eau varie de 23 à 34% dans le cas d'un canal aménagé jusqu'aux 50 derniers mètres. Dans 7 des 8 oasis, les pertes d'eau dépassent le volume d'eau de lessivage. Aussi, les pertes d'infiltration ordinaires de la parcelle suffisent au lessivage, à condition que le drainage soit fait correctement.

Il semble que la surface piézométrique soit le facteur le plus important pour le développement des cultures limité parfois par le manque d'oxygène au niveau des racines, et l'évapotranspiration et l'accumulation de sel à la surface par mouvement capillaire. Aussi, la surface piézométrique doit être maintenue sur une certaine plage, en fonction des cultures et du sol, du point de vue de l'aération et du développement des racines.

Les pertes d'irrigation constituent en général la source principale de drainage. Les pertes dans le sous-sol incluent l'infiltration des canaux, et les pertes par infiltration dans la parcelle, ainsi que les eaux pluviales. Les résultats de l'étude dans la zone du projet montrent qu'une infiltration importante a lieu pendant l'été en juillet et août quand la fréquence d'irrigation est la plus forte, et qu'elle baisse pendant l'hiver, de janvier à mars, quand la fréquence est réduite. Le volume de drainage unitaire se calcule à partir du bilan de l'eau de la couche supérieure dans les conditions d'irrigation de juillet et août. Le volume de drainage nécessaire, indiqué par la différence entre l'apport en eau et le drainage naturel, peut s'exprimer par la différence entre la somme du volume des eaux pluviales et du volume d'eau d'irrigation net et l'évapotranspiration (volume d'eau nécessaire net).

La surface piézométrique la plus élevée doit être déterminée en termes de nécessité d'aération du sol et de limite d'accumulation de sel. Pour les arbres sur sol de limon sablonneux à sable limoneux, une profondeur moyenne de 80 à 120 cm est requise. Vu la très forte évapotranspiration en été, l'effet des pertes par inondation est faible. La profondeur de conception des eaux souterraines du projet peut donc être fixée à 100 cm.

Compte tenu de l'importance de la perméabilité du sol pour la conception et la disposition des canaux de drainage souterrain, une étude de perméabilité a été effectuée dans les zones où le drainage souterrain sera peut-être nécessaire. Les emplacements et la procédure sont détaillés dans l'Annexe B. Les valeurs obtenues vont de 354 à 8.640 cm/jour. (Voir l'Annexe B.)

On a utilisé la formule monographique de Hooghoudts, largement utilisée en Tunisie, pour la conception des canaux de drainage des parcelles, autrement dit le calcul de leur profondeur et de leur intervalle. L'intervalle des canalisations de drainage requis a été calculé en supposant qu'elles seraient installées à 2,0 m au-dessous du sol, compte tenu du fait que les racines des dattiers se situent environ à cette profondeur. On a ainsi obtenu des intervalles de 107 à 590 m. Comme les parcelles sont en principe de 100 x 100 m, l'intervalle des canalisations de drainage a été fixé à 100 m.

5.3 Projet de gestion et d'exploitation de l'eau

5.3.1 Projet de gestion de l'eau

La gestion de l'eau en aval de l'hydrant sera en principe faite par des vannes de l'hydrant, en fonction de la surface dépendant de l'hydrant. Mais la distribution de l'eau n'est pas assurée conformément au programme d'irrigation parce que les installations terminales ne sont pas

aménagées. Le projet de gestion de l'eau tiendra compte des points suivants suite à l'aménagement des installations terminales.

(1) Amélioration de l'intervalle d'irrigation

Les pertes initiales dues aux canaux en terre étant éliminées, l'irrigation sera faite à l'intervalle adapté aux cultures comme suit.

Olives: 11 à 17 jours

Dattes: 8 à 14 jours

Autres fruits: 8 à 12 jours

Cultures annuelles: 4 à 17 jours

(2) Uniformisation de la distribution de l'eau d'irrigation

Le programme d'irrigation sera respecté et l'eau sera distribuée uniformément entre les fermes dépendant de l'hydrant.

(3) Temps de fonctionnement des pompes

L'efficacité de l'irrigation ne sera pas toujours assurée, mais le temps de fonctionnement des pompes sera laissé tel quel, compte tenu de la tendance à la baisse des réserves d'eaux souterraines.

(4) Adaptation des hydrants

Pour assurer la distribution de l'eau jusqu'aux parcelles terminales, on installera des compteurs d'eau de type totaliseur à chaque hydrant pour relever le volume d'eau utilisé par chaque fermier. Cela permettra de percevoir les frais d'eau, actuellement prélevés en référence à la surface, sur la base du volume d'eau utilisé, ce qui laisse espérer des économies d'eau.

(5) Adaptation de la taille des parcelles

Il faudra réduire la taille et uniformiser les parcelles pour améliorer l'efficacité d'irrigation aux terminaux.

5.3.2 Projet de maintenance

La maintenance des installations et la gestion de l'eau des installations hydrauliques des oasis de la zone du projet sont réalisées par la collaboration des AIC et CRDA. Cela permet de juger que la maintenance des installations du projet sera assurée par le renforcement des AIC et CRDA, et par conséquent, on ne disposera pas de l'organisme spécial pour la maintenance. On propose des projets de maintenance pour le renforcement de la collaboration des AIC et CRDA.

(1) Renforcement de la collaboration des AIC et CRDA au projet d'irrigation

Un plan d'irrigation annuel, s'appuyant sur la capacité de pompage des installations de source d'eau et du plan de culture, doit être établi pour chaque exercice, et pour cela, la collaboration des CRDA qui entretiennent les installations de source d'eau et les AIC qui élaborent le plan de culture et gèrent le système de canaux est nécessaire. Pour obtenir une récolte adaptée, il faut établir un programme d'irrigation intégrant des jours d'interruption, selon les cultures, et pour cela, la collaboration des AIC et CRDA est nécessaire.

(2) Renforcement des techniques d'irrigation et des techniques de maintenance des fermiers

Le CRDA organisera des séminaires périodiques pour vulgariser les techniques de maintenance des installations hydrauliques et les techniques d'irrigation auprès des membres des AIC et des fermiers. La teneur des séminaires sera comme suit.

- Points de l'inspection journalière des forages et pompes, méthodes d'inspections et méthode de relevé des conditions de fonctionnement
- Items de l'inspection des conduites et vannes, méthode d'inspection
- Méthode d'irrigation par rotation
- Méthode de gestion de l'eau aux stations de pompage d'eau, canaux de transport d'eau et parcelles terminales
- Dimension convenable des parcelles terminales

L'adaptation des dimensions des parcelles et leur uniformisation seront assurées par les fermiers eux-mêmes.

(3) Application d'un contrôle du volume d'eau

Actuellement, l'unité et la période de collecte des frais d'eau varient selon les AIC. Mais pour l'utilisation efficace des ressources en eau, il est nécessaire de passer au contrôle du volume d'eau, ce qui permettra techniquement, de distribuer des volumes d'eau adaptés aux

parcelles terminales. Par conséquent, la collecte des frais d'eau se fera selon le volume d'eau utilisé, et cela avant la fourniture. L'amélioration du taux de collecte des frais d'eau permettra de renforcer les ressources financières des AIC, et donc la maintenance.

(4) Accélération de la fédération des AIC

La Section Exploitation et maintenance du périmètre irrigué du CRDA promouvra la fédération des AIC par délégation pour renforcer l'efficacité de la maintenance des installations. Cette fédération assurera l'uniformisation de l'orientation et la compréhension entre les AIC. Les objectifs visés par la fédération des AIC sont les suivants.

- Extraire et discuter les problèmes au niveau de la maintenance dans une perspective large. Proposer un projet de gestion révisé sur cette base.
- Renforcer l'efficacité des discussions entre les AIC et CRDA.

(5) Renforcement de l'organisation et des moyens de transport de la Section Exploitation et maintenance du périmètre irrigué

Le personnel et le nombre de véhicules de la brigade technique d'économie d'eau de la Section Exploitation et maintenance du périmètre irrigué (PI) seront augmentés pour promouvoir le renforcement du système de maintenance des installations hydrauliques, le projet de formation des fermiers, et la fédération des AIC. L'augmentation du personnel se fera en fonction de la surface irriguée de chaque gouvernorat, du nombre de bureaux de développement agricole de région et de délégation. La maintenance des installations réalisées dans le cadre du projet sera assurée par les AIC, mais les PI s'occuperont de la gestion des frais de maintenance.

5.3.3 Projet d'équipements

On nécessitera des véhicules (4x4, motocyclettes) par la suite du renforcement de l'organisation de la Section Exploitation et maintenance du périmètre irrigué et de l'augmentation du personnel affecté. Actuellement, la brigade technique d'économie d'eau ne dispose pas de véhicules, et par conséquent, on augmentera le nombre de véhicules pour cette Section.

Le tableau ci-dessous indique le personnel et le nombre de véhicules complémentaires nécessaires, soit respectivement 32 personnes et 15 véhicules.

	Unité	Gafsa	Tozeur	Kébili	Gabès	Total
Surface d'irrigation	ha	3,467	5,622	7,213	7,133	23,435
Délégation		5	5	5	7	22
Bureau		5	2	3	4	14
1. Personnel						
Technicien	per.	1 (1)	1	1	1	4
Mécanicien	per.	1 (1)	3	4 (1)	5	13 (2)
Chauffeur	per.	2	3	5	5	15
Total		4 (1)	7	10 (1)	11	32 (2)
2. Véhicule	unité	2	3	5	5	15

Note: Les chiffres entre parenthèses indiquent le personnel actuel.

