

Finalement l'échelle de projet du réservoir pour chaque barrage a été prévue comme suit (en million de m³) :

| NOM ET NUMERO DU BARRAGE | RETENUE REQUISE | RETENUE POUR PERTES | RETENUE UTILE | RETENUE SEDIMENT | RETENUE BRUTE |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Timkit (16) | 12,00 | 1,87 | 10,13 | 8,88 | 20,88 |
| Oukhit (28) | 0,75 | 0,06 | 0,69 | 1,140 | 1,40 |
| Oulhou (29) | 0,68 | 0,04 | 0,64 | 0,59 | 1,27 |

4.6.2 Crue de projet pour l'évacuateur

Les crues de projet pour l'évacuateur de crue des barrages au Maroc sont généralement fixées avec une probabilité de 1 sur 1.000 ans pour les barrages de petite dimension et de 1 sur 10.000 ans pour les barrages de moyenne et grande dimension. Par conséquent une probabilité de 1 sur 10.000 ans a été adoptée pour le barrage de Timkit tandis qu'une probabilité de 1 sur 1.000 ans a été adoptée pour les barrages d'Oukhit et d'Oulhou. Les niveaux des eaux de crue convertis en courbes de retenue sont présentés ci-après. Le niveau des eaux de crue de projet pour le barrage de Timkit a été estimé compte tenu de l'effet régulateur du réservoir.

La Figure 4.26 présente l'hydrogramme de crue pour l'évacuateur de crue.

| NOM ET NUMERO DU BARRAGE | CRUE DE PROJET POUR L'EVACUATEUR (m ³ /s) | NIVEAU DES EAUX DE CRUE DE PROJET (m) |
|-----------------------------|--|---|
| Timkit (16) | 240,0 (*) | 1.256,0 |
| Oukhit (28) | 110,0 | 953,2 |
| Oulhou (29) | 90,0 | 946,3 |

(*) Le débit de crue naturelle de pointe ayant une probabilité de 1 sur 10.000 ans est de 450 m³/s.

CHAPITRE 5

GEOLOGIE DES SITES DE BARRAGE

5.1 INTRODUCTION

Le nombre total de barrages existant actuellement dans le bassin du Rhéris est limité. Les eaux de crue constituent une ressource essentielle en eau dans ces zones pré-désertiques où les précipitations sont seulement de l'ordre de 100 mm à 150 mm en moyenne par an. Cependant les eaux de crue sont perdues en grande partie à cause de l'inexistence d'équipements adéquats de retenue et de stockage de ces eaux. La présente étude a pour objectif l'étude de barrages de petite et moyenne dimension dans le bassin du Rhéris pour contribuer à un stockage efficace des eaux de crue et pour assurer la recharge des nappes phréatiques. Il apparaît que la recharge artificielle des nappes à partir des eaux de surface constitue l'un des moyens les plus efficaces de stimulation du développement régional.

C'est dans ce sens qu'ont été sélectionnés les sites de barrages et réalisées les investigations prioritaires.

La sélection des sites à d'abord été effectuée dans la première phase de l'étude, et 32 sites éventuellement convenables ont été identifiés, parmi lesquels les sites de Timkit (N°16), d'Oukhit (N°28) et d'Oulhou (N°29) ont été sélectionnés pour être développés compte tenu des conclusions de l'évaluation socio-économique et des discussions avec l'Administration de l'Hydraulique.

Ce chapitre présente essentiellement les résultats des investigations géotechniques de ces trois sites.

5.2 GEOLOGIE REGIONALE DU BASSIN DU RHERIS ET DE SES ENVIRONS

5.2.1 Topographie de la région

L'oued Rhéris prend sa source dans la région de haute altitude du Haut Atlas pour ensuite s'écouler d'Ouest-Sud-Ouest vers la direction Est-Nord-Est. La plupart de ses affluents coulent aussi d'Ouest-Sud-Ouest vers la direction Est-Nord-Est.

L'oued Todrha, l'oued Tanguerfa et le cours moyen de l'oued Rhéris coulent du Nord vers le Sud, à travers de très profondes gorges au niveau du Haut Atlas, et avec une pente de 1/200 à 1/400 dans les plaines alluviales des zones inférieures. La confluence de ces cours d'eau se situe à Erfoud à partir d'où l'écoulement se fait en direction du Sud pour s'éteindre par la suite dans le désert du Sahara. Une partie des eaux de surface des affluents du Rhéris

s'infiltrer dans la nappe phréatique du bassin au niveau de la base du Haut Atlas.

5.2.2 Géologie de la région

La zone du bassin et ses alentours sont caractérisés par l'existence de diverses catégories de roches sédimentaires et éruptives de l'époque pré-cambrienne à cambrienne et le sous-sol sont de l'ère Mésozoïque du Crétacé. Les terrains de couverture dans ces aires sont en dépôts en terrasses du Pléistocène, dépôts en talus et sable-gravier du Holocène. Les détails sont présentés ci-après :

i) Formation du précambrien (roches éruptives et sédimentaires)

Les roches se sont largement développées dans la zone montagneuse au Sud du bassin (Montagne de l'Anti Atlas). Les roches éruptives qui sont stratigraphiquement placées plus bas, forment la partie Sud de la montagne et sont composées de rhyolite, de dacite, d'andésite et de roches fondamentales (diorite). Les roches sédimentaires se sont développées dans la partie Sud de la montagne à faible altitude dans l'aire avoisinante des roches éruptives.

ii) Formation du Paléozoïque (roches sédimentaires et éruptives)

Les roches de formation Paléozoïque affleurent dans les parties Sud et Ouest du bassin. Elles sont composées de roches sédimentaires et de roches éruptives. Les roches sédimentaires datent des époques Cambrienne, Ordovicienne, Dévonienne et Carbonifère, apparaissant dans l'ordre descendant du Sud au Nord. Elles sont intercalées avec des couches de grès et de schiste du Cambrien à l'Ordovicien, des couches de schiste, de grès et de calcaire du Dévonien, et des couches de grès et de schiste carbonifères. Les lits des roches sédimentaires se développent en général dans la direction Est-Ouest et plongent vers le Nord. Les roches éruptives de formation Paléozoïques sont composées d'andésite, de basalte etc... et affleurent d'une manière irrégulière dans la partie montagneuse de faible altitude au Sud du bassin.

iii) Formation du Jurassique (roches sédimentaires)

Les roches occupent la partie principale de la chaîne du Haut Atlas au Nord du bassin. Elles sont composées de calcaire, de grès, de schiste et d'une intercalation de grès et de schiste. La direction de la formation de ces roches coïncide avec la tendance de la chaîne du Haut Atlas, cependant le pendage varie dans plusieurs directions à cause du phénomène de plissement.

iv) Formation du Crétacé (roches sédimentaires)

Les roches se sont développées dans les aires situées au Nord du bassin dans la direction Nord-Ouest, telles que les régions d'Erfoud et d'Errachidia. Ces roches sont composées de conglomérat, de grès, de schiste et de calcaire dans l'ordre descendant. Le contact entre la formation du Crétacé et la formation du Jurassique est imparfait.

v) Le terrain de couverture non consolidé du Quaternaire

Le terrain de couverture est composé de dépôts en terrasses du Pléistocène, du sable-gravier des oueds actuels et de dépôts en talus du Holocène. Les dépôts en terrasse et le sable-gravier d'oued sont répartis le long de l'oued Ziz, de l'oued Rhéris et de leurs affluents. Les dépôts en talus se forment d'une manière restreinte sur les pentes douces et aux pieds des montagnes.

5.2.3 Structure géologique

La formation s'étendant de l'époque pré-cambrienne à l'époque du Mésozoïque est en grande partie répartie en ordre ascendant du Sud au Nord. Cette formation a, en conséquence, tendance à se développer dans la direction Est-Ouest et à plonger au Nord.

Les principales failles sont observées à la limite entre le bassin et la chaîne du Haut Atlas et au sein du Haut Atlas. Les failles s'étendent principalement dans la direction Est-Ouest, et on suppose que le bloc limité au Nord par la faille est relevé. D'autre part, les formations telles que le pré-cambrien, l'ordovicien, le dévonien et le carbonifère développées dans les aires Sud du bassin sont caractérisées par une certaine non-conformité.

5.3 SEISMICITE

Le Maroc est situé au Nord-Ouest du continent africain à proximité des zones sismiques du monde telles que la Mer Méditerranée et l'Océan Atlantique (à proximité de la côte espagnole). Cependant, l'aire de l'étude, le bassin du Rhéris est situé au Sud au-delà du Haut Atlas qui est éloigné de 500 km ou plus des zones sismiques principales. Par conséquent, on a conclu que l'aire de l'étude serait à peine affectée par des tremblements de terre. Pendant l'exécution de cette étude un enregistrement total de 1518 tremblements de terre passés a été recueilli du Centre National de Coordination et de Planification de la Recherche Scientifique et Technique. Les enregistrements couvrent la période de 1901 à 1980. Parmi eux, 397 cas ont été analysés. Ces cas ont survécu dans un rayon de 500 km, et ces cas ont été examinés qu'ils affectassent ou non les sites de barrages.

L'intensité sismique aux sites de barrage a été calculée pour les 397 événements comme suit :

$$I_j = M_k - 0,0183 (d-100) + 4,605 \log(100/d) \quad (d \geq 100 \text{ km}) \quad \dots\dots(1)$$

$$I_j = M_k + 4,605 \log (D_0/d) + 2k (D-D_0)\log 10^e \quad (d < 100 \text{ km}) \quad \dots\dots(2)$$

avec :

I_j = l'intensité au site du projet exprimée à l'échelle JM
(Agence Météorologique Japonaise)

M_k = l'intensité à l'échelle JMA à une distance de 100 km de l'épicentre (*)

d = la distance de l'épicentre aux sites de barrage

D = la distance du foyer aux sites de barrage

D_0 = la distance du foyer au point $d = 100$ km

k = la coefficient d'amortissement de l'onde (0,0192 km)

(*) La correspondance entre M_k et la magnitude exprimée en échelle de Richter (M) est représentée par la formule :

$$M = 4,85 + 0,5 M_k \quad \dots\dots\dots (3)$$

La relation entre l'intensité " I_j " et l'accélération de pointe au sol " a " du mouvement du tremblement de terre est approximée par la formule :

$$a = 0,45 \times 10^{(0,5I_j)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Les séismes ayant donné $I_j > 0$ aux sites de barrage sont au nombre de 4 sur les 397 événements sismiques et sont présentés dans la Figure 5.1.

La fréquence de survenance pour chaque " I_j " dans une période de 80 ans est obtenue à partir des données puis convertie en fréquence sur 100 ans. Les résultats ainsi calculés sont :

| Site de barrage | a (gal) |
|-----------------|---------|
| Timkit (N°16) | 2 |
| Oukhit (N°28) | 13 |
| Oulhou (N°29) | 5 |

Il est supposé une accélération de pointe au sol de 2 à 13 gal dans les sites de barrage.

L'autre méthode d'approche du séisme peut être analysée comme suit :

| N° | Intensité | Accélération (gal) | Période de récurrence | Date | magnitude |
|----|-----------|--------------------|-----------------------|--------------|-----------|
| 1 | 3,1 | 16 | 80 | Juillet 1979 | ; 4,60 |
| 2 | 0,8 | 2 | 40 | Mai 1950 | ; 5,30 |
| 3 | 0,8 | 2 | 27 | Octo. 1979 | ; 3,50 |
| 4 | 0,2 | 1 | 20 | Sept. 1979 | ; 4,60 |

Les résultats des accélérations sismiques probables au site à une certaine période de retour se présentent comme suit :

| Période de retour (année) | Accélération sismique probable "a" (gal) | |
|---------------------------|--|----------------------------|
| | Par Kawasumi (1) | Par calcul de position (2) |
| 100 | 13 ou moins | 25 ou moins |

A partir du tableau ci-dessus, $a = 25$ gal (0,03 G) est proposé dans cette analyse comme l'accélération de pointe au sol pour 100 séismes probables pour la conception des 3 sites de barrage. Cependant, compte tenu du facteur inconnu de sismicité et des données non adéquates, il est recommandé d'adopter la valeur de 0,1 G comme dans cas du barrage existant Hassan Addakhil situé dans les environs des sites étudiés.

5.4 GEOLOGIE DES SITES DE BARRAGES

5.4.1 Quantités des travaux d'investigation sur le terrain

L'exploration sismique par la méthode de réfraction et les forages carottés ont été réalisés dans les sites de barrage de Timkit (N°16), d'Oukhit (N°28) et d'Oulhou (N°29) pour obtenir les données plus détaillées sur la géologie.

L'exploration sismique et les forages carottés ont été sous-traités à des entreprises locales. Les deux travaux ont été financés par la JICA et exécutés sous la direction de l'expert de l'Equipe d'Etude de la JICA. La quantité des travaux dans chaque site de barrage est indiquée ci-dessous :

| Site | Exploration sismique | Carottage | Longueur carottée |
|---------------|----------------------|-----------|-------------------|
| Timkit (N°16) | 6 profils, 1.192m | 3 trous | 115m |
| Oukhit (N°28) | 7 profils, 1.966m | 3 trous | 71m |
| Oulhou (N°29) | 7 profils, 1.842m | 3 trous | 70m |
| TOTAL | 20 profils, 5.000m | 9 trous | 256m |

5.4.2 Géologie du site de barrage de Timkit (N°16)

i) Topographie

Le village de Timkit est situé juste avant l'entrée de l'oued Tanguerfa dans la plaine. Le site se trouve dans une gorge raide d'un kilomètre en amont du village de Timkit. L'altitude, la largeur et la pente du lit actuel de la rivière dans le site sont respectivement de 1.212 m, 25 m et 1/100 (vertical/horizontal) respectivement.

Le cours de l'oued change de direction de Nord-Est-Sud-Ouest à Nord-Ouest-Sud-Est à environ 300 m en amont du profil 5 comme l'indique la Figure 5.2 (carte géologique du site de Timkit).

ii) Géologie

Du point de vue géologique, la fondation du site de barrage est constituée par le calcaire du Crétacé. Comme le montre la Figure 2.3, la formation calcaire dans les environs du site de barrage est subdivisée, suivant l'ordre descendante, en : calcaire sablonneux - couches intercalées de calcaire sédimentaire et de calcaire argileux - calcaire brun foncé - calcaire aggloméré de couleur grise pâle - et couches intercalées de calcaire sédimentaire et de calcaire argileux.

D'après les résultats des investigations géologiques, on peut conclure qu'aucune faille n'existe à l'intérieur et autour du site.

iii) Exploration sismique

Le tracé du profil 1 au profil 6 est indiqué dans la Figure 5.2. Afin de faire correspondre à la géologie la vitesse dans les roches du sous-sol, la vitesse de la couche finale est marquée sur chaque profil dans la carte géologique. De même les profils géologiques dans la Figure 5.3 sont dessinés le long du profil 5 d'après les résultats du forage carotté pour une interprétation de coupe en travers et le profil 2 le long du cours de la rivière

pour une interprétation longitudinale. Le détail des résultats pour les autres profils est indiqué dans le Rapport Annexe (Chapitre II - GEOLOGIE).

(a) Corrélation entre la géologie et la vitesse dans les roches du sous-sol

La corrélation entre la géologie et la vitesse sur la base des résultats d'interprétation du profil 1 au profil 6 est résumée ci-dessous :

| Géologie | Vitesse sismique (km/sec) |
|--|---------------------------|
| Terrain de couverture (sable/gravier de l'oued et dépôts en talus) | 0,3 ; 1,0 ; 2,0 ; 2,5 |
| Alteration du calcaire en couche et calcaire argileux | 2,1 - 3,0 |
| Calcaire brun foncé | 2,2 - 3,0 |
| Calcaire massif gris blanc | 3,0 - 3,8 |

De plus, une zone à faible vitesse de 20 m de large est détectée en aval du profil 1. Il est à noter que cette zone est caractérisée par une altération des roches du sous-sol le long de la ligne limite entre le calcaire brun foncé et le calcaire gris blanc massif, causée par une profonde désagrégation et / ou les caractéristiques solubles du calcaire car aucun défaut particulier ni aucune zone fracturée n'a pu être trouvée dans le site. Les parties se trouvant le long de la limite plane devraient être traitées avec soin par nettoyage de la surface de la roche, par remplacement avec du béton et par injection.

En comparant la géologie et la vitesse de la couche finale, il est clair que le calcaire massif gris blanc a la plus haute valeur de vitesse de l'ordre de 3,8 km/sec. On peut en déduire que le calcaire massif gris blanc est de condition plus dure et stable comparé aux autres calcaires du site. De plus, l'épaisseur des couches totales désagrégées (couches de 0,3 - 2,5 km/sec) est plus petite au profil 5 qu'au profil 4 et au profil 6. L'axe du barrage du site est en conséquence choisi au profil 5.

(b) Conditions géologiques dans les couches désagrégées

Les couches désagrégées de 0,3 km/sec, 1,0 km/sec et 2,5 km/sec sont détectées comme on l'a vu dans les profils géologiques (Figure 5.3). Les conditions géologiques dans de telles couches désagrégées sont résumées ci-dessous :

0,3 km/sec (1ère couche) :

La roche n'existe pas à la surface des couches exposées. La couche a la condition d'une pierre roulante. Elle est instable. Au cas où un terrain de couverture couvre les roches du sous-sol, la couche est composée d'argile, de sable/gravier sans consistance.

1,0 km/sec (2ème couche) :

La couche est superficielle dans les roches le long du lit de la rivière et épaisse dans les roches sur les pentes à haute altitude. Conditions rocheuses instables avec beaucoup de fissures.

2,5 km/sec (3ème couche) :

La couche s'étend sur les roches fraîches. On a jugé que cette couche avait une capacité d'appui suffisante vu que les fondations du barrage à travers des fissures latentes sont incluses.

(c) Epaisseur du sable/gravier de l'oued

Comme indiqué dans la Figure 5.3 (profil géologique de la coupe en travers le long du profil 5), un canal en béton souterrain (hauteur 2m, largeur 1,2m, profondeur 4m) a été trouvé dans le cours de la rivière. De plus, la limite entre le sable/gravier de la rivière et les roches du sous-sol montre la gorge profonde enterrée (largeur 20-25m à la surface du sol, profondeur 14m). On suppose que les ondes sismiques les plus rapides pourraient atteindre à travers le chemin le plus court la paroi de la gorge enterrée et/ou le canal en béton. En conséquence, il est difficile de déterminer la véritable épaisseur du sable/gravier de la rivière le long du profil 2, du profil 4 et du profil 6 à cause des raisons ci-dessus.

iv) Forage carotté

Les trois trous B-1 (rive gauche), B-2 (lit de rivière) et B-3 (rive droite) ont été forés dans le site. Les logs, la désignation de la qualité des roches (RQD), la valeur de lugeon et la classification des roches sont résumés dans les profils géologiques (Figure 5.3). La description détaillée des carottes est donnée dans le Rapport Annexe (Chapitre II : GEOLOGIE).

Le trou B-1 indique que le calcaire brun foncé est à une profondeur de 0 à 1,1m. Ce calcaire est fragile et hautement perméable même dans des conditions de roches fraîches. Le calcaire massif gris blanc existe à une profondeur allant de 11,1m à 35 m. Le calcaire est de bonne condition rocheuse ayant une RQD de 60 à 80 % et une valeur de lugeon de 1 à 40 bien que du calcaire

fragile très mince brun foncé soit intercalé localement entre les fissures ouvertes.

Le trou B-2 indique que la sable/gravier de la rivière est à une profondeur allant de 0 à 14m. Les grands galets et les gros cailloux apparaissent en dessous d'une profondeur de 6,5m. Le calcaire massif gris blanc est localisé en dessous de 15,5 jusqu'à 16,3m et 20 à 23m. Ce calcaire est de bonne condition rocheuse ayant une RQD de 100% et une valeur de lugeon de 20 à 53. Le sable et le gravier de la rivière seront remplacés par le béton du barrage pour un barrage de grande dimension.

Le trou B-3 indique que les dépôts s'étendent de 0m à 1,65m et un calcaire massif de RQD 75% ou plus existe à 1,65m; 3,60m; 4,0 à 5,6m; 11,5m; 15,60m; 24, 60 à 30m. La partie restante est composée de calcaire brun ayant une RQD de 10 à 40% et une valeur de lugeon de 80 ou plus. Les roches du forage B-3 sont hautement perméables bien que la zone basse perméable existe seulement en dessous d'une profondeur de 29,9m. Des travaux d'injection par la méthode de voile d'étanchéité seront requis pour retenir l'eau le long de l'axe du barrage.

5.4.3 Géologie du site de barrage d'Oukhit (N°28)

i) Topographie

Le site de barrage d'Oukhit est situé sur le cours moyen de l'oued Oukhit à environ 24 km à l'Ouest-Sud-Ouest de la ville de Jorf. Il est facile d'y accéder par la route de raccordement. L'altitude, la largeur et la déclivité du lit actuel de l'oued au niveau du site sont respectivement de 940m, 150m et 1 (vertical) / 100 (horizontal). La pente de la rive droite dans le site est plutôt modérée par rapport à celle de la rive gauche et est largement couverte de dépôts en talus.

ii) Géologie

Les roches du sous-sol dans le site sont composées de grès dans la formation pré-cambrienne. Le terrain de couverture est formé de dépôts en talus sur la rive droite et de sable/gravier dans le lit de l'oued. Le grès a des caractéristiques schisteuses avec des pierres argileuses intercalées en couches minces et facilement séparées par la désagragégation. Le lit est de direction Est-Ouest et de pendage 10° Nord. Le terrain de couverture est constitué de dépôts en talus sur la rive droite et l'actuel sable-gravier sur le lit d'oued.

iii) Exploration sismique

Le tracé du profil 7 au profil 13 est indiqué dans la Figure 5.4. La vitesse de la couche finale est de 4,4 km / sec ou 5,0 km/sec.

Les deux parties de la ligne du profil en travers du N° 11 ou du N° 13 et la partie en aval du profil 7 ont une vitesse de 3,0 km/sec à 3,6 km/sec comme couche finale. Cependant, la vitesse de 4,4 ou 5,0 km/sec peut être en dessous de la dite couche de 3,0 km/sec à 3,6 km/sec.

Les conditions géologiques dans les rochers de fondation sains ayant une vitesse de 4,4 km/sec à 5,0 km/sec sont composées de grès récent très stable et sans fissures.

Les conditions géologiques dans chacune des couches désagrégées sont résumées ci-dessous :

0,5 km/sec (1ère couche) :

La couche est composée de grès fortement désagrégé avec beaucoup de fissures remplies d'argile. L'épaisseur de la couche est inférieure à 0,5m

0,7 à 1,0 km/sec (2ème couche) :

La couche est composée de grès désagrégé principalement le long des fissures instables. Epaisseur maximum de 2m.

2,4 à 3,6 km/sec (3ème couche) :

La couche est composée principalement de grès récent mais quelques fissures pourraient être remarquées. Cette couche a une capacité suffisante d'appui pour les fondations du barrage.

La vitesse à travers le terrain de couverture se présente comme suit :

0,3 à 0,5 km/sec :

Sable / gravier de la rivière sans consistance et argile/débris de dépôts en talus.

0,8 à 1,0 km/sec :

Sans consistance, sable/gravier humide de la rivière. Plusieurs débris contenus dans les dépôts en talus.

L'épaisseur du terrain de couverture ci-dessus est d'environ 2m dans les dépôts en talus (0,5 à 0,8 km/sec) et 7m au maximum dans le sable/gravier de la rivière.

La profondeur à laquelle on doit creuser pour la construction du barrage dans le site est en conséquence d'environ 3m dans les parties de grès exposées (total de la première et seconde couche) 6 à 7m au lit de la rivière et d'environ 2m aux dépôts en talus existant sur la rive droite.

A juger par les résultats interprétés à travers les lignes de profil en travers du N° 11 au N° 13, aucun désavantage sur les plans topographiques et géologiques n'a été trouvé pour la sélection de l'axe du barrage.

iv) Forage carotté

Les trois trous B-4 (rive gauche), B-5 (lit de l'oued) et B-6 (rive droite) ont été forés dans le site comme le montre la Figure 5.5 (Profil géologique du site d'Oukhit).

Le trou B-4 indique que le grès fortement désagrégé existe à une profondeur allant de 0m à 0,5m et le grès détérioré (RQD = 0%) est à une profondeur allant de 0,5m à 3,3m. Le grès récent et stable ayant une RQD de 70% en moyenne s'étend à partir d'une profondeur de 3,3m. En dessous de la profondeur de 14 m jusqu'au fond du trou, le grès en assez bon état apparaît avec une RQD de 100% et une valeur de lugeon de 17 à 20.

Le trou B-5 indique que le sable/gravier de la rivière s'étend à une profondeur allant de 0m à 6m et le grès désagrégé ayant une RQD de 0% est en dessous dans une profondeur allant de 6m à 8,8m. Le grès est en bon état et apparaît à une profondeur de 8,8m avec une RQD de 90 à 100%. En dessous de la profondeur de 14,4m se trouve du grès très récent révélant une RQD de 100% et une valeur de lugeon de 7 à 12.

Le trou B-6 indique que des dépôts en talus s'étendent à une profondeur allant de 0m à 2,2m et du grès stable avec une RQD de 70 à 90% est confiné en dessous de la profondeur de 2,2m. Cependant, des fissures ouvertes partiellement développées, tout comme dans le trou B-4, indiquent une valeur de lugeon élevée de l'ordre de 32 (B-6) et 66 (B-4). L'autre valeur du test de lugeon est normalement dans un intervalle de 1 à 14.

5.4.4 Géologie du site de barrage d'Oulhou (N°29)

i) Topographie

Le site de barrage est situé au niveau moyen du cours de l'oued Lhou qui est à 10 km Est-Sud-Est à partir de la ville de Mellaab. Il existe une route autour du site, on peut y accéder par une piste le long du cours de l'oued à partir de la route principale. L'altitude, la largeur et la déclivité du lit de la rivière

actuelle au niveau du site sont respectivement de 954m, 110m et 1/125. La pente de la rive gauche au niveau du site est très faible par rapport à celle de la rive droite où les dépôts en terrasse et les dépôts en talus sont accumulés parallèlement au cours actuel de l'oued.

ii) Géologie

Les roches du sous-sol sont composées de Gabbro dans la formation du Pré-cambrien. Sur la rive droite, le gabbro exposé forme des falaises à forte pente. Le gabbro indique souvent des conditions intenses que l'on peut appeler diorite. Le terrain de couverture est composé de dépôts en talus et de dépôts en terrasses sur la rive gauche et de sable-gravier dans le lit de l'oued.

iii) Exploration sismique

Le tracé du profil 14 au profil 20 est indiqué dans la Figure 5.6 (La carte géologique du site d'Oulhou). La vitesse de la couche finale est de 5,0 km/sec dans tous les profils. Ceci signifie que le gabbro récent est très dur et stable. On ne trouve aucun défaut ou zone fracturée ici à partir de l'interprétation des résultats de l'exploration sismique.

La zone désagrégée est divisée en 3 couches comme suit :

0,3 km/sec (1ère couche) :

Des pierres roulantes sur les roches en gabbro exposé du sous-sol. Au profil 19 le long de l'axe du barrage, cette couche n'existe pas. L'épaisseur moyenne est de 0,5m.

0,8 à 1,2 km/sec (2ème couche) :

Beaucoup de fissures sont développées dans le gabbro altéré. L'épaisseur est en moyenne de 3m à 4m.

2,0 à 3,0 km/sec (3ème couche)

Gabbro récent avec de nombreuses fissures latentes. L'épaisseur est de 4 à 10m.

La vitesse du terrain de couverture peut être classée comme suit

0,3 km/sec :

Sable /gravier sans consistance dans le lit de la rivière et la terrasse . Terre et débris dans les dépôts en talus.

0,6 à 0,7 km/sec :

Sable/gravier humide sans consistance dans le lit de l'oued et la terrasse. Terre et débris dans les dépôts en talus.

0,9 à 1,2 km/sec :

Beaucoup de gravier/gros cailloux contenus dans le lit de la rivière et la terrasse. Beaucoup de débris contenus dans les dépôts en talus.

Les constatations ci-dessus indiquent que l'excavation requise pour la construction du barrage est de 0,5m à 7m sur la rive gauche et 0,5m à 3m sur la rive droite. D'autre part le sable/gravier dans le cours du lit de la rivière atteint la partie profonde jusqu'à 12,5m. Si l'on considère la construction d'un barrage bas, un barrage de type flottant sur la couche sable/gravier peut être raisonnable du point de vue économique et du point de vue de la recharge de la nappe phréatique.

iv) Forage carotté

Les trois trous B-7 (rive gauche), B-8 (lit de l'oued) et B-9 (rive droite) ont été forés au site comme le montre la Figure 5.7 (Profil géologique du site d'Oulhou).

Le trou B-7 montre que le terrain de couverture de dépôts en talus et en terrasses a une profondeur de 0 à 4,2m, tandis que le gabbro altéré a une profondeur de 4,2 m à 7,0m. Les échantillons de carottes prélevés étaient en tranches à cause de l'existence de nombreuses fissures. Le gabbro récent apparaît à partir d'une profondeur de 7,0 à 11,0m et devient excellent au-delà de 11,0m.

La valeur de lugeon est égale à 1 ou moins à l'exception de la section test du terrain de couverture et de la dernière section test (16,5 à 20,2m). Du moment que la valeur de lugeon (10 Kg/m²) de la section test de 16,5 à 20,2m est convertie à partir des valeurs relatives aux conditions de basse pression (due probablement à une anomalie dans le test), il semblerait que la perméabilité réelle de cette section soit très faible dans la mesure où les gabbros de cette section donnent tous des carottes cylindriques.

Le trou B-8 montre que le sable-gravier de l'oued se situe de 0 à 12,5 m tandis que le gabbro altéré est à une profondeur de 12,5 à 14,9m. Le gabbro récent et de bonne condition est trouvé à partir de 14,9 m tandis que celui d'excellente condition se situe à partir de 19,5m jusqu'au fond du trou. Le coefficient de perméabilité du sable-gravier de l'oued est de 1×10^{-1} cm/sec à 4×10^{-3} cm/sec. La valeur de lugeon dans le gabbro est inférieure à 1.

Le trou B-9 montre que le gabbro fortement altéré se situe de 0 à 1,0m tandis que le gabbro fortement fissuré se situe de 1,0 à 1,95m (RQD : 40%). Le gabbro très récent ne présentant aucune fissure se développe à partir de 1,95m jusqu'au fond du trou avec une valeur de lugeon inférieure à 1.

5.5 CONCLUSION

Les investigations géologiques permettent de tirer les conclusions suivantes :

- (a) Parmi les 32 sites de barrage identifiés dans la première phase de l'étude, les 3 sites de Timkit (N°16) d'Oukhit (N°28) et d'Oulhou (N°29) ont été sélectionnés comme prioritaires non seulement du point de vue des conditions topographiques et géologiques, mais aussi sur la base des conditions hydrologiques, socio-économiques, des zones bénéficiaires, de l'efficacité de recharge des nappes phréatiques. etc...
- (b) Le site de Timkit se compose de grès du Crétacé. L'axe du barrage recommandé se situera sur le profil sismique N°4 d'après l'interprétation des résultats.

Les investigations géologiques montrent qu'il existe sous le lit de l'oued une gorge très raide et profonde (largeur de 20 à 25 m à la surface du sol au niveau du lit d'oued actuel, profondeur de 14m).

Le calcaire est en général de qualité moyenne à bonne pour les fondations du barrage. Cependant l'épaisseur de la zone altérée à déblayer est de l'ordre de 7m (rive gauche) et 6m (rive droite) au niveau de la partie en crête de l'axe du barrage, tandis que cette épaisseur est de 4 à 5m au niveau des parties en assise pour les deux rives. De plus il est noté que le sable-gravier de l'oued se dépose à une profondeur de 14 mètres au niveau du forage carotté B-2. Par conséquent la profondeur de l'excavation dans le lit de l'oued atteindra 15m pour la construction d'un barrage de grande dimension.

- (c) Le site d'Oukhit se compose de grès schisteux du Pré-cambrien. Le grès contient de fines couches d'argilite intercalées et s'enfonce doucement en direction de l'amont.

La vitesse sismique du grès est de 4,4 km/sec et/ou 5,0 km/sec dans les roches récentes, ce qui démontre des conditions favorables pour un site de barrage.

La profondeur à creuser est de 3m au maximum aux deux rives et de 6 à 7m dans le sable-gravier du lit d'oued.

- (d) Le site d'Oulhou se compose de gabbro du Pré-cambrien. Le gabbro récent présente une vitesse sismique de 5,0 km/sec, ce qui est très dur et stable.

Les résultats du carottage révèlent que le gabbro récent (au-dessous d'une profondeur de 7,0m sur la rive gauche et d'une profondeur de 2,0m sur la rive droite) présente d'excellentes conditions de "désignation de qualité des roches" (RQD) de 80 à 100% (carottes cylindriques) et une valeur de lugeon de 1 ou moins.

La profondeur à creuser est de 0,5 à 7m sur la rive gauche dans la hauteur en crête, et de 0,5 à 3m sur la rive droite. Pour un barrage de type flottant de petite dimension, la profondeur à creuser au lit de l'oued serait de 3 à 5 m à cause de la présence en profondeur de sable-gravier de 12,5 m.

CHAPITRE 6
HYDRO-GEOLOGIE

6.1 INTRODUCTION

L'objectif principal du Projet de Construction de Barrages de Petite et Moyenne Dimension dans le Bassin Versant du Rhéris est de permettre une utilisation maximale des eaux de crue de ce bassin qui se trouve dans une zone pré-désertique caractérisée par la pénurie des ressources en eau.

Il ya très peu de barrages existants et, par ailleurs, ils ne sont pas destinés à retenir les eaux de crue qui sont par conséquent perdues sans être utilisées à bon escient.

Le stockage des eaux de crue dans les barrages à construire et la recharge artificielle des nappes souterraines semblent s'imposer comme moyen de stimulation du développement économique du bassin.

Par conséquent il est nécessaire d'examiner dans le cadre de la présente étude le potentiel de recharge des nappes ainsi que les potentialités réelles de développement des eaux souterraines.

L'étude hydro-géologique a été menée sur la base de ces considérations. Le présent chapitre présente les résultats relatifs à l'hydrologie, à l'utilisation actuelle des eaux souterraines, aux potentiels de développement futur, à l'étude du système de recharge et au plan d'installation des puits, etc.

6.2 CONDITIONS HYDRO-GEOLOGIQUES DE L'AIRE DE L'ETUDE

6.2.1 Hydro-géologie

L'hydro-géologie de l'aire de l'étude se caractérise par les éléments suivants :

- La base des montagnes situées au Sud du bassin est constituée de roches sédimentaires et cristallines du Précambrien. Ces rochers de base sont aquifuges, donc il ne devrait y avoir de potentiel en eaux souterraines. Cependant, des dépôts d'oued étroitement distribués dans cette zone dans une relation d'inconformité sont hautement perméables et des puits sont creusés pour tirer profit de l'eau du lit d'oued.
- La base dans les zones peu élevées de la partie centrale du bassin est surtout constituée de diverses sortes de roches sédimentaires du Mésozoïque. Parmi ces roches, le grès et le calcaire du Crétacé et du Mésozoïque sont hautement perméables, alors que l'argilite et le schiste argileux sont aquifuges. Les puits de la région sont forés en profondeur pour pouvoir atteindre les aquifères du grès et du calcaire.

Les dépôts d'oued de cette aire enveloppent en fines couches les roches de base. Les dépôts sont hautement perméables et des puits creusés superficiels sont réalisés le long des cours des oueds.

Certains blocs de cette zone (les blocs Sud-Est de faible altitude) se composent de roches de base du Dévonien et du Paléozoïque. Les eaux souterraines confinées se développent à grande profondeur dans le calcaire et le grès du Dévonien.

- Au Nord du bassin aux confins du Haut Atlas, le calcaire du Jurassique et du Mésozoïque est à découvert. Le calcaire du Jurassique est aussi perméable et des sources existent à plusieurs endroits à cause des caractéristiques solubles du calcaire, ce qui traduit l'existence d'un système de grottes.

6.2.2 Structure hydro-géologique

La coupe schématique à la Figure 6.1 illustre structure hydro-géologique limitant le système d'écoulement des eaux souterraines dans le bassin.

Trois systèmes d'eaux souterraines sont identifiés dans le bassin, à savoir l'eau souterraine non confinée dans les alluvions de l'oued Rhéris, de l'oued Todrha et leurs affluents; l'eau souterraine confinée dans les formations du Jurassique et du Crétacé avec sa couche confinée de schiste du Crétacé recouvrant le grès; et les eaux souterraines confinées des fossiles dans le calcaire du Dévonien et le grès calcaire.

Les propriétés aquifères sont énumérées comme suit :

| N° | Age de la couche | Acquifère | Epaisseur de l'aquifère (m) | Type d'eau souterraine | Coefficient de perméabilité (cm/s) |
|----|---|---|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | Quaternaire Dépôts d'alluvions (sable, gravier) | | 20 - 50 | Non confinée | $10^{-1} - 10^{-2}$ |
| 2 | Jurassique Crétacé | Grès rougeâtre calcaire grès calcaire | 500+ | confinée | $10^{-3} - 10^{-4}$ |
| 3 | Dévonien | Calcaire grès Calcaire | 0 - 300 | eau fossile confinée | Pas de données |

6.2.3 Écoulement des eaux souterraines et système de recharge

Les trois types d'eaux souterraines mentionnés ci-dessus sont caractérisés respectivement par leur écoulement et système de recharge.

En ce qui concerne l'eau souterraine des dépôts d'alluvions, elle s'écoule d'amont vers l'aval le long du cours de l'oued comme l'indique la Figure 6.2.

Cette nappe souterraine est principalement rechargée par l'eau d'infiltration des oueds Rhéris et Todrha et leurs affluents.

L'eau souterraine confinée dans les formations du Crétacé et du Jurassique s'écoule de la région du Haut Atlas à Goulmima et Tinerhir comme l'indique la Figure 6.3.

Une certaine précipitation dans la région du Haut Atlas s'infiltré à travers la zone de roches non saturées directement vers les nappes à cause du manque de végétation.

Plusieurs sources principales dans le Haut Atlas et Khetaras dans la région de Goulmima et dans ses environs, à des endroits où la surface du sol entrecoupe le corps des eaux souterraines, appartiennent à ce système d'eaux souterraines.

L'eau souterraine dans la formation du Dévonien est considérée comme prenant sa source des précipitations qui sont tombées dans la région du Haut Atlas il y a plus de 38.000 années selon le résultat de l'analyse du Carbone 14. La distribution des eaux souterraines est limitée uniquement à la frontière de l'Anti Atlas et la région de la plaine où le calcaire du Dévonien est partiellement exposé. Il est difficile de clarifier les conditions de l'eau du sol à cause de la non disponibilité des données.

6.2.4 Conductivité électrique (CE)

La valeur CE des nappes non confinées dans les dépôts alluviaux augmente en principe graduellement de l'amont vers l'aval. Par exemple, la CE est de 1.500-2.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à Tadirhoust et à Goulmima, mais elle atteint 3.000-7.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à Jorf et Erfoud. Cependant dans les régions situées entre Tinerhir et Tinejda, la CE reste constante dans une limite d'environ 1.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à cause de l'écoulement d'eau fraîche arrivant de la région de l'Anti Atlas (voir Figure 6.4).

La conductivité électrique tend à augmenter au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la région du Haut Atlas, à l'exception notable des zones d'Ait Hani et de Tadirhoust Est où la CE est de plus de 2.500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (voir Figure 6.5). Ceci devrait expliquer les valeurs CE élevées observées à Goulmima et Tadirhoust.

6.2.5 Acidité de l'eau

Tandis que les nappes non confinées des dépôts alluviaux ont en général un PH de 7,0 à 8,0 (voir Figures 6.6 et 6.7) les nappes confinées des formations du Crétacé et du Jurassique montrent un PH de 7,5 à 8,5. Les nappes ayant un PH de 6,3 à 6,4 sont considérés comme des eaux fossiles du grès calcaire du Dévonien et leurs quantités sont limitées.

6.2.6 Température de l'eau

La température des eaux des nappes phréatiques des ruissellements de cours d'eau et des Khetaras varie de 8,4 à 22,3° C selon la température atmosphérique de la saison d'hiver. La température moyenne annuelle des eaux souterraines sans influence atmosphérique est de 18-20°C et celle des eaux souterraines du Devonien est de 14-16°C.

6.2.7 Propriétés aquifères

Les propriétés aquifères ont été évaluées grâce aux données fournies par 13 essais de pompage effectués par la Direction de la Région Hydraulique (Voir Tableaux 6.1 et Figure 6.8).

- i) Dix des treize essais ont été effectués dans des formations du Crétacé et du Jurassique tandis que les trois restants ont été effectués dans des dépôts alluviaux. La solution de Jacob est appliquée aux analyses de ces essais.
- ii) Les essais de pompage ont permis de conclure que le coefficient de perméabilité est de $2,7 \times 10^{-2} \approx 5,8 \times 10^{-1}$ cm/s dans le système aquifère des dépôts d'alluvions, de $8,6 \times 10^{-4} \approx 3,7 \times 10^{-2}$ cm/s dans le système aquifère de grès du Crétacé et enfin de $2,8 \times 10^{-3} \approx 2,2 \times 10^{-2}$ cm/s dans le système aquifère de calcaire du Jurassique.

6.2.8 Capacité d'infiltration

Les essais d'infiltration ont été effectués en 4 points afin de déterminer la capacité d'infiltration dans les zones où existent des possibilités de recharge des nappes souterraines, telles que les lits d'oueds et leurs environs (voir Figure 6.8).

Les couches de surface aux points d'essais sont constituées essentiellement de sable et de gravier avec aussi un petit peu de limon (légèrement humide après la pluie).

La capacité d'infiltration suivant un taux d'infiltration constant depuis le commencement des essais, s'établit à 40-70 mm/heure.

6.2.9 Détermination de l'âge des eaux

La détermination de l'âge des eaux par la méthode du Carbone 14 et des isotopes du Tritium a été effectuée à Tokyo par l'Université GAKUSUUN en vue de clarifier le système d'écoulement des eaux souterraines à partir de l'âge des nappes phréatiques (voir Figure 6.9).

Cinq échantillons d'eau pour le Tritium et deux échantillons pour le Carbone 14 ont été prélevés de sources, puits profonds forés, puits creusés et khettaras sur la base des résultats des opérations de mesure du niveau et de la qualité des eaux. A l'exception de l'échantillon N° 691, tous les échantillons prélevés correspondent à ceux utilisés pour l'analyse de la qualité des eaux.

i) Age des échantillons d'eau prélevés :

| N° Echant. | Procédé | Provenance | Aquifère | Age de l'eau |
|------------|------------|------------|-----------------------|--------------|
| 103 | Carbone 14 | Source | Calcaire (Dévonien) | > 36 690 |
| 120 | " | P. profond | Grès (Dévonien) | > 38 170 |
| 107 | Tritium | Khettara | Grès (Crétacé) | 0,9 T.U |
| 114 | " | P. creusé | Sable-gravier (Quat.) | 7,0 T.U |
| 117 | " | Khettara | " | 9,3 T.U |
| 218 | " | Source | Calcaire (Crétacé) | 8,2 T.U |
| 691 | " | P. creusé | Sable-gravier (Quat.) | 4,7 T.U |

NB : La dernière colonne indique l'âge depuis 1950 ;
1 T.U = $H^3/H = 10^{-13}$

ii) Les résultats montrent pour les échantillons 103 et 120 un âge des eaux souterraines supérieur à 36 000 années dans les formations du Dévonien.

iii) Les eaux de khettara de l'échantillon 107 qui montrent une valeur d'âge de 0,9 T.U doivent être considérées comme consistant principalement en eaux âgées de plus de 50-60 ans avec une petite quantité d'eaux âgées de moins de 5 ans.

Les eaux des échantillons 114, 117, 218 et 691 avec une valeur de T.U allant de 4,7 à 9,3 doivent être considérées comme étant des eaux mixtes de 50-60 ans et 5 ans avec un taux de mélange d'environ 1 à 1.

6.2.10 Qualité de l'eau

Ces investigations ont pour but d'évaluer le système d'écoulement et de flux des eaux souterraines grâce aux données fournies par les essais de contrôle de la qualité de l'eau et par les mesures des niveaux des eaux souterraines.

Le résumé de ces investigations est donné ci-après :

- Les diagrammes des types et les diagrammes trilineaires nécessaires à la classification de la qualité des eaux sont élaborés à partir des résultats des essais de contrôle de la qualité de l'eau (voir Figures 6.10 et 6.11). Sur la base des diagrammes ci-dessus, les eaux souterraines du bassin étudié peuvent se diviser en trois types comme suit (voir Figure 6.12.) :

Type 1 : Eaux des dépôts alluviaux des oueds Rhéris et Todrha en aval de Tinejdad et Goulmima. Ce type d'eau contient une grande quantité d'éléments tels que Ca, Mg, Na, K, Cl, So, spécialement à Erfoud et Rissani (N° 104, 106, 109, 114, 115, 117, 118, 119). La présence de So montre une possibilité de pollution par les eaux ménagères usées.

Type 2 : Eaux des régions du Haut Atlas et de l'Anti Atlas et eaux de Khettara et autour de Goulmima. Ce type d'eau présente un faible taux d'ion dissous (eau calcaire) (N°101, 102, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 121)

Type 3 : Eaux dans les formations du Dévonien. Ces eaux contiennent une quantité très grande de HCO_3 en comparaison avec les autres eaux du bassin (N° 103, 116, 120)

- Les eaux souterraines de Goulmima peuvent clairement se répartir entre les types 1 et 2. Le type 1 comporte les eaux souterraines s'écoulant à travers le grès rougeâtre du Crétacé tandis que le type 2 est celui des eaux souterraines s'écoulant à travers les dépôts alluviaux.

Ces résultats de l'analyse de la qualité des eaux montrent que les eaux souterraines du bassin peuvent être divisées en 3 types: Les eaux non confinées (1) des dépôts alluvionnaires des oueds Rhéris et Todrha, les eaux confinées (2) dans le grès et calcaire du Crétacé et/ou du Jurassique, et enfin les eaux fossilifères confinées (3) dans le calcaire ou le grès calcaire du Dévonien.

6.3 POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

A l'issue de l'étude hydro-géologique, le potentiel de développement des eaux souterraines est résumé comme suit :

- Les eaux souterraines confinées dans les formations du Jurassique/Crétacé et les eaux souterraines non confinées des dépôts alluvionnaires peuvent constituer d'excellentes ressources en eau ayant un grand potentiel de développement.
- Les eaux souterraines confinées dans les formations du Dévonien peuvent être considérées comme étant non convenables pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable
- Le potentiel de développement des eaux souterraines dans le bassin tel qu'il ressort du calcul du bilan d'eau est résumé dans le tableau ci-dessous :

Unité 10⁶m³/an

| Région | Pluviométrie | Ecoulement de surface | Eaux souterraines des dépôts alluviaux | Eaux souterraines des formations rocheuses |
|----------------|--------------|-----------------------|--|--|
| Haut Atlas | 487 | 43 | 5 | 114 |
| Anti Atlas | 293 | 8 | 11 | 0 |
| Zone de plaine | 343 | 10 | 0 | 0 |

Note : Le bassin versant total a environ 10.565 km²
Les données utilisées pour le calcul du bilan d'eau sont celles de 1978-1987.

- Le potentiel de développement des eaux souterraines des formations du Jurassique/Crétacé est plus important que celui des eaux des dépôts alluvionnaires. D'une manière générale les subdivisions N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11 et 16 sont considérées comme ayant un grand potentiel de développement des eaux souterraines. Ceci est valable plus particulièrement pour les subdivisions N° 5, 11 et 16 qui sont donc les plus prometteuses.
- Quant aux eaux souterraines non confinées des dépôts alluvionnaires, les subdivisions N° 10, 11, 12, 14, 15, 17 et 19 peuvent être considérées comme présentant un débit d'apport élevé. Les utilisations actuelles d'eau pour l'irrigation et les besoins en eau potable dépendent essentiellement de ces eaux souterraines.
- L'organisation du développement des eaux souterraines dans le bassin exige d'examiner les influences sur la nappe des autres subdivisions dans la mesure où celles-ci sont reliées les unes aux autres.
- Etant donné que l'on a déjà observé entre 1978 et 1987 un rabattement du niveau des nappes souterraines des dépôts

alluvionnaires, ce mouvement à la baisse risque de se poursuivre si les mêmes conditions de manque d'infiltration à cause de la faiblesse des précipitations persistent encore.

6.4 CONCEPTION PRELIMINAIRE DES METHODES ET INSTALLATIONS DE RECHARGE DES NAPPES PHREATIQUES

6.4.1 Zones à développer

Dans le cadre de la présente étude de plan directeur, les trois sites de barrages de Timkit (N°16), d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N°29) ont été sélectionnés comme étant les plus appropriés à un développement dans le bassin.

6.4.2 Méthode de recharge des nappes

La méthode consistant à répandre l'eau dans le lit d'oued en sable et gravier pour la recharge des nappes sera adoptée, car elle est susceptible de permettre une efficacité beaucoup plus grande que les autres méthodes telles que la recharge par puits, etc...

6.4.3 Recharge de la nappe par libération des eaux à partir de la retenue du barrage

La recharge de la nappe à travers le chenal a été estimée d'après l'équation suivante (en tenant compte des pertes par évaporation du réservoir et du chenal).

recharge de la nappe =
(volume d'eau stockée) x (taux de recharge)

$$\text{Taux de recharge} = \frac{I_{f-1}}{I_{f-1} + I_{f-2} + E_1 - 1 + E_2}$$

Volume d'eau stockée avant libération =
(Volume effectif de retenue) - $(I_{f-2} + E_1 - 2)$ x (Temps de décantation)

où :

I_{f-1} = Recharge de la nappe à travers le chenal de cours d'eau

I_{f-2} = Fuites à partir du réservoir

- E₁-1 = Evaporation à partir du réservoir (Temps de libération des eaux)
 E₁-2 = Evaporation à partir du réservoir (Temps de décantation)
 E₂ = Evaporation à partir du chenal de cours d'eau

Les résultats de l'évaluation se présentent comme suit :

| Site de barrage | Recharge de nappe (m ³) |
|-----------------|-------------------------------------|
| Timkit (N°16) | 9.402.000 |
| Oukhit (N°28) | 720.000 |
| Oulhou (N°29) | 628.000 |

6.4.4 Vitesse des eaux souterraines

La vitesse de recharge des eaux souterraines à travers le chenal de cours d'eau est estimé par l'équation suivante :

$$v = \frac{V}{a} = \frac{kI}{a}$$

où :

- v = Vitesse intersticielle moyenne
 a = Porosité effective
 V = Vitesse de Darcy
 k = Coefficient de perméabilité
 I = Pente hydraulique

Le coefficient moyen de perméabilité obtenu à partir des essais de pompage est adopté pour l'analyse de la vitesse des eaux souterraines. Les résultats se présentent comme suit :

| Site de barrage | K(m/jour) | I | a | V(m/jour) |
|-----------------|-----------|-------|-----|-----------|
| Timkit (N°16) | 207 | 1/330 | 0,1 | 6,3 |
| Oukhit (N°28) | 207 | 1/160 | 0,1 | 12,9 |
| Oulhou (N°29) | 207 | 1/140 | 0,1 | 14,8 |

6.5 CONCEPTION PRELIMINAIRE DES PUIITS ET DE LEURS EQUIPEMENTS

6.5.1 Echelle et emplacement des installations de pompage

L'échelle et l'emplacement des puits d'alimentation et de leurs équipements seront décidées par l'Administration de l'Hydraulique.

6.5.2 Evaluation du potentiel de développement des eaux souterraines

Le potentiel de développement des eaux souterraines sera défini comme la quantité nouvelle découlant de la recharge des nappes, c'est à dire la quantité devant être nouvellement exploitée.

6.5.3 Structure des puits

i) Puits de pompage

Un puits creusé peut être recommandé pour la production dans cette région, étant donné le niveau relativement peu profond de l'ordre de 15m de la nappe phréatique.

De plus la structure des puits de pompage est déterminée en gros comme le montre la Figure 6.13 conformément aux indications de la Direction de la Région Hydraulique d'Errachidia. La profondeur et le diamètre d'un puits sont respectivement de 25 m et 1,5m.

ii) Débit de pompage des puits

Le débit de pompage a été calculé à partir de l'équation d'écoulement radial permanent pour un puits indiqué à la Figure 6.14, et ceci à condition que le rabattement maximum soit de 2m en dessous du niveau initial de la nappe.

Le coefficient de perméabilité appliqué à cette équation est la valeur moyenne de 0,24 cm/sec découlant des essais de pompage.

Il est conclu que le débit maximum de pompage d'un puits est de 45 l/sec et que le débit de sécurité d'un puits est de 33 l/sec correspondant à 60% du débit maximum de pompage.

iii) Rayon d'influence d'un puits

Le rayon d'influence d'un puits de production est évalué par l'équation de Siehardt comme suit :

$$\text{Rayon d'influence} = 3000 S_w \sqrt{k} = 294\text{m}$$

où S_w = Rabattement maximum (2m)

k = Coefficient de perméabilité (0,0024 m/sec)

Il découle des calculs ci-dessus que la distance à partir de laquelle il n'y a pas d'influence sur les autres puits est d'environ 600 mètres.

iv) Capacité de pompage des puits de production

Les pompes d'un puits de production devront avoir une capacité de débit de 45 l/sec, qui est considérée comme la capacité maximale pour un tel puits.

CHAPITRE 7

ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU

7.1 INTRODUCTION

Dans tout le bassin 54 points d'eau ont été étudiés. Les échantillons d'eau ont été pris de sources, de Khettara, de puits publics, de puits privés et d'oueds. 33 échantillons, numérotés de 201 à 233 ont été analysés en utilisant l'équipement d'inspection de l'eau potable fourni par la JICA. Les 21 échantillons restants, numérotés de 101 à 121, ont été envoyés au Laboratoire LPEE à Casablanca pour une analyse plus détaillée.

Le Tableau 7.1 indique les essais réalisés pour chaque cas. La température, la valeur PH et la conductivité électrique ont été mesurés in-situ pour tous les échantillons.

Les emplacements des échantillonnages ont été choisis de sorte à satisfaire l'étude hydro-géologique de même que l'alimentation en eau pour l'irrigation, pour le bétail et pour l'usage ménager.

La Figure 7.1 indique l'emplacement approximatif de chaque point. Les emplacements exacts des essais en laboratoire et in-situ sont donnés respectivement aux Tableaux 7.2 et 7.3.

7.2 QUALITE DE L'EAU POTABLE

7.2.1 Normes

Le Tableau 7.4 donne les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé concernant la qualité de l'eau potable. Elles seront adoptées pour évaluer la convenance des échantillons analysés. L'équipement d'inspection de l'eau potable fourni par la JICA est régi par les Normes Industrielles Japonaises (JIS) indiquées au Tableau 7.5. Elles seront utilisées pour évaluer l'analyse insitu.

7.2.2 Analyses

Le Tableau 7.6 donne un résumé des analyses. Les détails sont décrits ci-dessous :

i) Turbidité

- La turbidité des échantillons 109 et 111 dépassait la limite admissible mais non la limite absolue, qui était dépassée seulement par l'échantillon N° 120.
- La turbidité des échantillons 206 et 216 dépassait les limites admissibles des JIS

ii) Couleur

- La couleur des échantillons 206, 211 et 212 dépassait la limite standard des JIS

iii) Totalité des matières dissoutes

Si l'on considère les Normes OMS, seule la concentration des matières dissoutes dans deux échantillons, 101 et 105 était inférieure à la limite admissible. Ces deux échantillons ont été pris de sources. D'autres échantillons contenaient moins de matières dissoutes totales (TDS) que le maximum toléré mais la majorité avaient une valeur dépassant ce maximum, en particulier les échantillons 109 et 119.

iv) Calcium

Tous les échantillons ont une concentration en calcium plus élevée que la limite admissible. La concentration de 8 échantillons dépassait la limite maximale absolue.

v) Sulfate

La concentration en sulfate de 9 échantillons dépassait la limite admissible. 7 de ces 9 échantillons avaient une concentration plus élevée que la limite maximum.

vi) Chlorure

Tous les échantillons analysés en laboratoire, à l'exception des échantillons 105 et 113, avaient ont une concentration en chlorure plus forte que la limite tolérée par l'OMS. La concentration de 10 échantillons excédait la valeur maximale.

Les échantillons testés in-situ avaient une concentration en chlorure dépassant la limite JIS, à l'exception des échantillons 201, 202, 204, 205, 207, 211, 213, 214, 222 et 224.

vii) Fer

Tous les échantillons avaient une concentration en fer plus faible que la limite acceptable. Seule la concentration du dernier échantillon dépassait la limite maximale absolue.

viii) Magnésium

Les échantillons 103, 104, 109 et 120 avaient une concentration en magnésium plus forte que la limite tolérée. La concentration du dernier échantillon seulement excédait la limite maximale absolue.

ix) Nitrite

Euls les échantillons 201 et 224 avaient une concentration en nitrite supérieure à la limite JIS.

x) Totalité des germes

Les échantillons 204, 206, 214, 217, 227, 229, 230, 232 et 233 contenaient plus de 100 germes /ml, et étaient donc classés comme mal adaptés. En été, le nombre peut s'accroître davantage, rendant ainsi la plupart des échantillons pollués. La présence des germes dans les échantillons pris des oueds peut être due à l'inondation qui s'était produite quelques jours avant l'échantillonnage.

xi) Colibacilles

Seuls les échantillons 201, 205, 211, 215, 216, 220 et 224 ne contenaient pas de colibacilles.

7.2.3 Conclusions et recommandations

L'analyse ci-dessus indique que seuls les échantillons pris de la gorge du Todrha, du puits d'Aït El Khettaras de Tinamirra et Aït Ba Maati conviennent à l'alimentation en eau potable. L'inaptitude est principalement due à la dureté totale, à la contamination par des chlorures et des colibacilles. En général, l'eau du Sud Atlas (201 et 105) est plus douce que celles du Haut Atlas, pourtant leur concentration en sel augmente au fur et à mesure que l'eau s'écoule vers le bas (202, 208, 102, 207, 104 et 223). L'eau du Todrha est également douce (101 et 204). Sa concentration en sel augmente légèrement en aval (203, 102, et 104) et devient même plus importante à Tinejdad.

Le volume des germes dans les échantillons recueillis des oueds et des sources peut être dû aux conditions climatiques au moment de l'échantillonnage. Une crue s'était produite une semaine avant l'échantillonnage. Les écoulements provenant de la fonte des neiges et des crues entraînent les matières organiques et tendent à accroître le volume bactérien. Bien plus, les écoulements pendant la sécheresse ont généralement un volume minéral élevé.

Les germes trouvés dans les puits et les Khettaras peuvent être dus à l'irrigation ou à l'infiltration des eaux d'égoûts.

Avec l'augmentation de la consommation d'eau par habitant par suite de la prise des dispositions nécessaires pour développer un réseau d'alimentation en eau ou une installation de pompage avec un réservoir surélevé, la contamination tend à s'aggraver, en particulier si le puits se trouve non loin des habitations.

Dans une telle situation, il serait recommandé de fournir à toute la population un réseau d'alimentation en eau avec l'un des critères suivants :

- Un réseau avec des connections de service avec presque toutes les maisons et quelques fontaines publiques dans des zones éloignées.
- Un réseau avec plusieurs fontaines publiques

La seconde alternative pourrait être préférable en particulier si les coûts de l'eau sont maintenus à un niveau peu élevé. Ceci encouragerait les gens à consommer de l'eau traitée et à l'utiliser pour la cuisine et pour toute autre activité domestique.

Les connections avec les habitations peuvent être non appropriées aux régions rurales du fait que la plupart des maisons ne sont pas construites pour s'adapter à cette solution.

La priorité devrait être accordée à la région du Tafilalet où la qualité de l'eau est pire. En fait, plusieurs fontaines publiques ont été mises en place récemment par l'ONEP dans cette région.

7.3 QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION

7.3.1 Normes

Les indications utilisées pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation sont indiquées au Tableau 7.7.

Les seuils de concentration sont des valeurs qui, si elles sont trop élevées, impliquent la nécessité d'une irrigation supplémentaire pour le lessivage.

Les valeurs limites sont celles auxquelles la production de la plupart des cultures pourrait être réduite dramatiquement.

Le nombre le plus probable (MPN) de colibacilles peut être trouvé essentiellement dans les fruits, les légumes ou autres produits qui peuvent probablement être mangés crus.

Le Coefficient d'Absorption de Sodium (SAR) est défini par la formule suivante

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

La Figure 7.2 donne le critère de qualité pour l'eau d'irrigation. Il établit un rapport entre le SAR et la conductivité électrique

et classe l'eau en plusieurs groupes. Le Tableau 7.8 résume les caractéristiques de chaque groupe d'eau.

7.3.2 Analyses

Le Tableau 7.9 donne un résumé des caractéristiques de l'eau d'irrigation. Les nalyse détaillées sont décrites ci-dessous :

i) Matières Dissoutes Totales (TDS)

L'analyse indique que les TDS et les chlorures sont les deux facteurs les plus critiques de la qualité de l'eau du bassin du Rhéris. En fait, seuls deux échantillons pris de la gorge du Todrha et des sources de Tarhouch avaient une concentration en TDS inférieure à 500 mg/l. 5 autres échantillons avaient une concentration s'alignant respectivement entre le seuil et les valeurs limites de 500 et 1.500 mg/l. Des 14 échantillons restants, 5 avaient une concentration dépassant 5.000 mg/l. Ces derniers échantillons d'eau ont été pris en particulier de la zone du Tafilalet.

ii) Chlorures

Tous les échantillons d'eau avaient une concentration en chlorures supérieure à la valeur minimum et 15 des 21 échantillons avaient une concentration au delà de la valeur limite.

iii) PH

Seuls deux échantillons pris de la source Tourbert et de la station à bestiaux à l'Est de Tourong, avaient une valeur PH légèrement plus faible que la valeur minimum mais dans la limite acceptable.

iv) Conductivité électrique (CE)

La CE de tous les échantillons, à l'exception de l'échantillon 101 pris de la gorge Todrha, avaient une valeur dépassant la limite du seuil 10 des 21 échantillons avaient une valeur dépassant la concentration limite.

v) Sulfates

11 échantillons avaient une concentration en sulfates dépassant la valeur minimum. 6 autres avaient une concentration s'alignant entre le seuil et les valeurs limites et un échantillon avait une concentration proche de la valeur limite. Les trois restants, pris du Tafilalet, avaient des valeurs élevées, en particulier celui

pris de Hannabou. Sa valeur était plus de deux fois supérieure à la concentration limite.

vi) Coefficient d'Absorption de Sodium (SAR)

Aucun des 21 échantillons n'avait un SAR dépassant la valeur limite. Cependant, 4 ont un coefficient plus élevé que la valeur seuil.

vii) Groupes d'eau

La plupart des échantillons d'eau avaient une teneur faible en sodium et pourraient être utilisés pour toutes les cultures et avec une attention spéciale pour les arbres fruitiers à noyaux. 4 échantillons avaient une teneur en sodium moyenne qui peut développer un danger appréciable. Ils devraient être utilisés sur des terres de texture grossière ou avec des rectifications chimiques.

D'autre part, la plupart des échantillons d'eau sont dans les catégories C3 et C4. La première requiert un système adéquat d'écoulement des eaux, une quantité considérable de filtrage et pourrait être utilisée sur des arbres tolérant le sel.

La seconde est en général non appropriée sauf pour un emploi occasionnel.

Quatre échantillons d'eau ont été disqualifiés à cause de leur CE extrêmement élevée.

7.3.3 Conclusions et recommandations

i) Besoins de lessivage

L'analyse montre que le lessivage est pratiquement inévitable. Les exigences du lessivage de l'eau ont été calculées de façon à maintenir la CE du sol à 4 mmhos/cm, ce qui pourrait convenir à la plupart des cultures. Au-delà de cette valeur, la majorité des productions diminuent substantiellement. Le filtrage serait nécessaire pour 30 à 60% des besoins totaux en eau d'irrigation.

Pour les palmiers qui sont fortement tolérants au sel, les besoins de filtrage pourraient être réduits de 20 à 30% du volume total de l'eau totale d'irrigation. Ceci signifierait cependant que le système de cultures sous les palmiers ne serait plus utilisable. Les rendements de la terre sont alors réduits d'un montant équivalent aux recettes des cultures prévues avec les palmiers, en plus de la valeur de l'eau économisée par la méthode de culture intensive (voir le rapport socio-économique, chap. 4).
rapport.

En général, les besoins impératifs de lessivage sont un facteur majeur pour conserver la valeur de l'eau à un taux faible et priver l'exploitation d'autres terrains agricoles potentiels.

ii) Méthodes d'irrigation

La méthode d'irrigation par planches pratiquée par les fermiers n'implique presque pas d'investissement initial et convient aux terrains de texture fine et d'infiltration faible du bassin. Elle pourrait satisfaire aux besoins de lessivage sans assistance spéciale des fermiers.

Le lessivage peut également être effectué grâce à une irrigation intensive à par aspersion. Cependant, plusieurs facteurs doivent encore être déterminés. L'infiltration de l'eau dans le sol devrait au moins être égale aux capacités de l'appareil d'arrosage, particulièrement sur des terres en pente pour éviter l'érosion. L'effet de l'aspersion de l'eau à forte concentration en sel sur les cultures devrait également être évaluée car cela peut présenter un risque pour leur croissance. Et finalement cette méthode requiert un approvisionnement constant en eau, un investissement initial élevé et un coût d'exploitation élevé qui augmenterait les valeurs des récoltes.

L'irrigation par goutte à goutte, bien que connue pour son efficacité élevée, est vraisemblablement mal adaptée à ce secteur. La teneur élevée en sel de l'eau tend à bloquer les petits orifices du réseau, réduisant ainsi considérablement son efficacité.

De plus, le sel tendrait à se concentrer au niveau des zones de sol humide. Si le lessivage n'est pas bien contrôlé et pratiqué le sel pourrait apparaître à la surface suite à une forte évaporation, détériorant ainsi le sol. Cette méthode requiert également une source constante d'eau et un coût d'exploitation initial élevé.

iii) Réseau d'irrigation

Trois systèmes de gestion de l'eau d'irrigation pourraient être proposés pour augmenter la valeur de l'eau.

- 1 Recharge des nappes phréatiques
- 2 Réseau d'irrigation extensive
- 3 Recharge des nappes phréatiques associée à un nouveau réseau d'irrigation

(a) La première variante implique la construction de barrages pour recharger les nappes. Ses principaux avantages sont :

- Les pertes d'eau par inondation sont réduites ;
- L'érosion est réduite ;

- L'évaporation comparée aux barrages de retenue est plus faible ;
- L'assiette des nappes phréatiques est surelevée réduisant ainsi l'effort précaire pour tirer l'eau de puits et la puissance de consommation des stations de pompage ;
- Le flux des Khettaras augmentera ;
- Plusieurs Khettaras taris pourraient être remis en exploitation.

Ses désavantages principaux sont :

- Besoins élevés de lessivage ;
- Valeur faible de l'eau ;
- Perte incontrôlable d'eau par infiltration profonde ;
- Efficacité de transmission faible des oueds , Khettaras et canaux ;
- Efficacité d'exploitation faible sur le terrain.

(b) La deuxième variante implique la construction de barrages sur des sols étanches retenant et emmagasinant ainsi les eaux d'écoulement et les distribuant par des canaux alignés en béton. Ses avantages principaux sont :

- Un contrôle plus important de l'usage des eaux d'irrigation ;
- Besoins faibles de lessivage ;
- Valeur plus élevée de l'eau ;
- Productions plus importantes des cultures ;
- Augmentation dans le secteur agricole ;
- Augmentation d'emplois ;
- Efficacité de transmission plus importante ;
- Réduction des pertes d'eau par infiltration profonde ;
- Efforts de l'homme déviés du tirage de l'eau des puits vers la gestion des terres et des cultures ;
- Usage plus sûr de nouvelles méthodes d'irrigation , tels que le système du tourniquet ;
- Efficacité d'application plus importante.

Ses inconvénients principaux sont :

- Perte élevée due à l'évaporation ;
- Coût élevé des travaux et des réseaux ;
- Coût administratif élevé.

(c) La troisième variante pourrait être une combinaison entre les deux variantes mentionnées ci-dessus, telle que le barrage de la variante 2 plus des barrages de dérivation et le maintien des distributions à travers les oueds et les canaux existants.

Dans cette étude, cependant, la variante 3 est détournée vers l'application de la méthode d'irrigation traditionnelle mais en améliorant son efficacité. Cela implique un barrage pour la recharge des nappes associées à un simple réseau.

Son but serait d'utiliser chaque fois que cela est possible le barrage de retenue pour permettre une plus grande productivité et un faible lessivage et de pouvoir se rabattre sur des méthodes traditionnelles lorsque toute l'eau emmagasinée aurait été utilisée. Les avantages de cette méthode sont les mêmes que celles de la variante 1 en plus d'un changement modéré de l'irrigation évitant ainsi :

- que les fermiers soient contraints à utiliser des méthodes de gestion rigoureuses.
- l'adaptation des fermiers à une méthode nouvelle d'irrigation et de gestion
- Les problèmes compliqués de droit d'eau

Le choix parmi les trois variantes ci-dessus dépend en grande partie de facteurs économiques et sociaux. Les facteurs de comparaison comportent ce qui suit :

- La variante 1 (Evaporation du barrage de la variante 1 + pertes d'eau par infiltration profonde + besoins de filtrage), contre la variante 2 + besoins de filtrage plus faibles) ;
- Coût de production et recettes de chaque variante ;
- Emplois fournis par chaque variante ;
- Terres cultivées dans chaque variante ;
- Coût d'investissement disponible.

L'attention devrait être portée cependant sur le cas de Tinejdad. La recharge des nappes ne semble pas être la solution idéale pour

ce secteur à cause de plusieurs facteurs géologiques . Les échantillons 103 et 212 prélevés à l'Ouest de Tinjedad et les échantillons 106 prélevés au Nord-Est présentent la plus mauvaise qualité de l'eau dont dépend cette région.

7.4 QUALITE DE L'EAU POUR LE BETAIL

7.4.1 Normes -----

Le Tableau 7.10 donne les indications utilisées pour évaluer la qualité de l'eau pour l'usage du bétail.

Il est à noter que la composition totale en magnésium + sulfate de sodium ne devrait pas dépasser 50% de la totalité des matières dissoutes.

Les valeurs seuil représentent des concentrations auxquelles l'élevage de volaille ou d'autres animaux sensibles en cas d'usage prolongée de cette eau, pourrait en être légèrement affecté.

Les valeurs limites sont des concentrations auxquelles des animaux allaitant ou attendant des petits pourraient avoir des réactions négatives bien déterminées.

7.4.2 Analyses -----

Le Tableau 7.11 donne un résumé des analyses de convenance. Les détails sont indiqués ci-dessous :

i) Les concentrations en nitrate et en calcium et les valeurs PH des échantillons analysés n'ont indiqué aucun inconvénient pour la consommation d'eau par le bétail.

ii) Totalité des matières dissoutes

Les échantillons 109 et 115 avaient une concentration en matières dissoutes plus importante que les échantillons de valeur seuil 118, 119 et 120 , tous étant prélevés de la région du Tafilalet et ayant une concentration plus élevée que la valeur limite.

iii) Magnésium

Les échantillons 109, 116, 118 et 119 avaient une concentration en magnésium supérieure à la valeur seuil . La concentration de l'échantillon 120 dépassait seulement la valeur limite.

L'échantillon 120 a été pris du puits artésien à mi-chemin entre Aoufous et Erfoud.

iv) Sodium

La concentration en sodium de 3 échantillons dépassait uniquement la valeur seuil mais non la valeur limite. Ces échantillons ont tous été prélevés de la région du Tafilalet.

v) Bicarbonate

La teneur en bicarbonate des échantillons 106, 114, et 117 dépassait légèrement la concentration seuil. D'autre part, les concentrations des échantillons 103, 115, 116 et 120 représentaient 2 à 5 fois la valeur limite. L'échantillon 103 a été prélevé de la source à l'Ouest de Tinejdad, le 115 de Tourag, le 117 de la station de bétail à l'Est de Tourag et le 120 du puits artésien mentionné ci-dessus.

vi) Chlorure

Six échantillons avaient une concentration en chlorure variant entre les valeurs seuil et limites. Les concentrations des échantillons 109, 114 et 115 étaient légèrement plus élevées que la valeur-seuil; alors que celles des échantillons 118, 119 et 120 étaient plus proches de la valeur limite.

vii) Sulfate

L'échantillon 115 a une concentration en sulfate supérieure à la valeur seuil. Les échantillons 109, 118, 119 et 120 avaient une concentration dépassant la valeur limite.

7.4.3 Conclusions et recommandations

Le facteur limite des 4 échantillons (103, 114, 116, 117) est la teneur élevée en bicarbonate. Les autres facteurs limite disqualifiant les 5 échantillons (109, 115, 118, 119 et 120) sont, en plus du bicarbonate, le TDS et le sulfate.

Il est recommandé que la qualité de l'eau pour la station à bestiaux à l'Est de Touroug soit contrôlée pendant toute l'année. Sa concentration en magnésium et en bicarbonate dépasse la valeur limite.

Il est également recommandé de mélanger l'eau saumâtre avec l'eau potable pour les animaux en allaitement ou en gestation.

CHAPITRE 8

ANALYSE DES DONNEES DE LANDSAT

8.1 INTRODUCTION

Dans le cadre de cette investigation, les matériaux de base concernant l'utilisation et les conditions du sol ont été établis sur la base de l'analyse d'images du satellite LANDSAT comme faisant partie de l'étude du projet de construction de barrages dans le bassin du Rhéris.

Les éléments principaux d'investigation sont (1) la rectification géométrique des données MSS LANDSAT, (2) l'extraction d'informations thématiques par l'analyse d'images, (3) la collecte de matériaux existants et la reconnaissance des sites, (4) la réalisation des cartes de base et (5) le résumé.

Dans l'analyse des données de LANDSAT, nous avons utilisé les données de 3 saisons : saison sèche, pluvieuse et des crues en nous basant sur le rapport d'observation des précipitations. Des images pseudo-couleur de ces données ont été réalisées et des informations thématiques ont été extraites par un traitement par tranches et des calculs comparatifs.

La réalisation des cartes de base, des images et des cartes a été faite sur la base de l'analyse et l'interprétation d'images et de l'investigation des sites.

Les cartes de base ainsi réalisées montrent clairement que les terres agricoles se développent en se concentrant autour des rivières principales telles que l'oued Rhéris, et la teneur en eau ainsi que la fréquence des inondations sont également très élevées dans ces régions.

Les résultats de l'enquête incluent (1) les images pseudo-couleur de LANDSAT, (2) les cartes d'utilisation du sol (saisons sèche et humide), (3) la carte de la zone de crues supposée, (4) la carte géographique de la couche de surface, (5) les cartes (saisons sèche et humide) et (6) la carte de classification des pentes.

8.2 GRANDES LIGNES DES INVESTIGATIONS

8.2.1 Objet des investigations

Après l'indépendance, le Maroc a favorisé la construction de barrages à grande échelle et l'utilisation active des eaux souterraines pour fournir l'eau potable et assurer l'eau pour

l'irrigation. Le Maroc envisage ainsi de construire plusieurs barrages de petite et moyenne dimension d'ici l'an 2000 pour satisfaire aux besoins effectifs en eau.

La présente étude a pour objet d'élaborer des cartes de base d'occupation du sol et des conditions du sol devant servir comme d'instruments de base du plan de construction des barrages à travers l'analyse d'images de LANDSAT en utilisant notamment la télédétection. Les investigations couvrent une superficie de 14 500 km² du Bassin du Rhéris situé au centre-Est du Maroc.

8.2.2 Eléments d'investigations

Les éléments d'investigations sont :

- 1) Rectification géométrique des données MSS de LANDSAT.
- 2) Extraction d'informations thématiques par analyse d'images.
- 3) Collecte des données existantes et investigation sur les sites.
- 4) Réalisation des cartes de base
 - Images fausse-couleur de LANDSAT
 - Carte d'occupation du sol
 - Carte de la région supposée inondable
 - Carte géologique de la couche de surface
 - Carte de la teneur en eau de surface des sols
 - Carte de classification des pentes

8.2.3 Méthode et contenu des investigations

Le diagramme est indiquée à la Figure 8.1.

a) Données à utiliser et collecte des éléments

i) Sélection des données de LANDSAT

Le premier satellite LANDSAT a été lancé en Juillet 1972 , les satellites N° 4 et N° 5 réalisent actuellement les observations. L'altitude de l'orbite est d'environ 700 km (Satellites N° 4 et N° 5) et le cycle de révolution est de 16 jours. Les détecteurs

installés sont de deux catégories : MSS (Scrutateur Multi-Spectral) et le TM (Cartographie Thématique), et le nombre de bandes de fréquence est respectivement de 4 et 7. La résolution sur terre est de 80m et 30m. Les données d'observation d'une zone d'environ 180 km² sont envoyées à la terre environ 2 fois par mois.

La CCT (Bande Compatible d'Ordinateur) de MSS a été utilisée pour les données de LANDSAT. En récupérant les données CCT, celles qui sont acceptables en termes de volume des nuages et de qualité de la photographie ont été choisies pour les 3 saisons sèche, humide et des crues. Les données CCT ont principalement été obtenues de la station de réception Italienne (EARTHNET).

Le tableau ci-dessous indique les données MSS de LANDSAT utilisées :

Les données MSS de Landsat utilisées

| Saison | N° LANDSAT | Cours - Rangée | Date | Station | Qualité | Mode de Traitement |
|-----------|------------|----------------|----------|----------|------------|--------------------|
| Sèche | L - 5 | 200-38 | 19/07/87 | EARTHNET | Bonne | Correction |
| Sèche | L - 5 | 201-38 | 24/06/87 | EOSAT | Bonne | |
| Pluvieuse | L - 4 | 200-38 | 2/09/83 | EARTHNET | Bonne | Globale (**) |
| Pluvieuse | L - 4 | 201-38 | 24/08/83 | " | Bonne | |
| Crues | L - 3 | 215-38 | 31/10/79 | " | Analyse(*) | |
| Crues | L - 3 | 216-38 | 01/11/79 | " | Analyse(*) | |

(*) Etant donné qu'il y avait du bruit dans les 2 séances de saison d'inondation au moment de la réception, il a fallu procéder à l'élimination du bruit avant d'entreprendre l'analyse.

(**) La correction globale représente le processus de correction des déformations simples en utilisant les informations sur l'orbite et la position du satellite.

ii) Collecte des données existantes

La collecte a été effectuée pour chaque catégorie de la carte de base à réaliser. Des cartes topographiques (1/250.000, 1/200.000, etc,) ont été obtenues et utilisées pour les investigations.

Les cartes topographiques utilisées sont des cartes au 1/250.000 et 1/100.000 publiées par le gouvernement marocain. La figure ci-dessous indique la division par lots de la carte topographique.

| | 6°00' Ouest | 4°30' Ouest | 3°00' Ouest |
|----------|----------------------|-----------------------|-------------|
| 33°00' N | ----- | | |
| | KHENIFRA N1-30-13 | | |
| 33°00' N | ----- | | |
| | GOULMINA NH-30-1 | ERRACHIDIA NH-30-2 | |
| 31°00' N | ----- | | |
| | ZAGORA NH-30-5 | (TAOUZ) * NH-30-6 | |
| 30°00' N | ----- | | |

(*) La carte topographique au 1/100.000 a été utilisée pour la région correspondant à "TAOUZ".

TAOUZ - OUEST NH - 30 - XIV - 4
TAOUZ - EST NH - 30 - XV - 3

Les trois catégories suivantes de cartes géologiques ont été utilisées, toutes étant publiées par le gouvernement marocain.

- Carte géologique du Maroc "RABAT" (échelle : 1/500.000 publiée en 1978)
- Carte géologique du Maroc TODRHA - MA'DER" (échelle : 1/200.000, publiée en 1988)
- carte géologique du Maroc " TAFILALET - TAOUZ " (échelle 1/200.000 ; publiée en 1986)

* Investigations sur les sites

Les données existantes ont été recueillies et analysées dans le cadre de l'investigation sur les sites et une enquête approximative a été entreprise pour déterminer l'occupation du sol et les conditions topographiques de la région de l'étude. L'investigation a été exécutée pendant un mois par une personne.

* Rectification géométrique

La rectification géométrique a été entreprise afin que les données de LANDSAT obtenues coïncident avec la carte topographique. Les cartes topographiques utilisées étaient à l'échelle de 1/250.000 sur lesquelles les points de contrôle au sol (GCP) étaient précisés pour calculer la formule de conversion des coordonnées, et le ré-échantillonnage des données était réalisé d'après cette formule. Après la rectification géométrique, des corrections ont

été effectuées aux données de LANDSAT afin que chaque élément d'illustration corresponde à une surface au sol de 100 m x 100m.

* Préparation des images fausse-couleur

Les images à fause couleur ont été obtenues en traitant photographiquement les données de LANDSAT après la rectification géométrique. L'échelle des images a été ramenée à 1/250.000 afin de coïncider avec la carte topographique de référence.

* Extraction des informations thématiques par traitement d'images

Chaque catégorie d'informations thématiques nécessaires à la réalisation des cartes de base a été extraite en appliquant le traitement d'images aux données de LANDSAT après la rectification géométrique. Le traitement de niveau par tranche et le traitement par calcul comparatif ont été effectués.

* Réalisation des cartes de base

Les cartes de base ont été réalisées en composant des images à fausse couleur. Afin de faciliter l'identification, des couleurs différentes ont été utilisées pour chaque élément thématique.

* Système utilisé

Le système digital d'analyse d'images utilisé pour cette étude est indiqué à la Figure 8.2.

8.2.4 Résultats des investigations

Les résultats obtenus par ces investigations sont indiqués ci-dessous :

- 1) Les images à fausse couleur de LANDSAT à l'échelle 1/250.000 : 3 images pour les saisons sèche, pluvieuse et des crues
- 2) Cartes d'occupation du sol à l'échelle de 1/250.000 : 3 cartes pour les saisons sèche et pluvieuse
- 3) Carte de la région présumée inondable (Echelle 1/250.000)

- 4) Cartes géologiques de la couche de surface (échelle 1/250.000) 3 cartes
- 5) Carte de la teneur en eau de surface du sol (échelle : 1/250.000) : 3 cartes pour les saisons sèche, pluvieuse et des crues.
- 6) Cartes de classification des pentes (échelle 1/250.000) : 3 cartes
- 7) Rapport : 3 copies

8.3 ANALYSES DE L'IMAGE DIGITALE DES DONNEES MSS DE LANDSAT

8.3.1 Récupération des données de LANDSAT

Puisque le but de cette étude est de déterminer l'occupation et les conditions du sol du bassin le long du site de construction de barrages, l'existence de l'eau de surface et de l'eau souterraine est spécialement un paramètre important. En conséquence dans l'analyse des données de LANDSAT, il est important de distinguer les différents teneurs en eau de surface selon les saisons.

Avant la sélection des données, nous avons étudié la transition des précipitations annuelles dans la région faisant l'objet de l'étude. La figure ci-dessous indique les précipitations mensuelles à Tadirhoust le long de l'oued Rhéris.

La région de l'étude appartient à une zone de climat sec, et il est difficile de distinguer clairement les saisons sèches et pluvieuses car le volume total des pluies est extrêmement faible. Cependant, il serait utile compte tenu du but de cette étude, de considérer comme données de saison pluvieuse celles correspondant à un volume relativement abondant des pluies et de les utiliser pour l'analyse. Vers le 17 Octobre 1979, il y a eu des pluies abondantes dans la région de l'étude et un volume de débit de 1880 m³/s a été enregistré à Hamida le long de l'oued Rhéris.

En se basant sur ces faits, les données de 6 saisons ont été utilisées pour cette investigation comme l'indique le tableau ci-dessous :

Date d'observation des données utilisées

| Saison | N° LANDSAT | Cours - Rangée | Date | Précipitations journalières juste avant |
|-----------|---------------|-------------------|------------|---|
| Sèche | L - 5 | 200 - 38 | 19/07/1987 | 5.9 mm (1987/6) |
| Sèche | L - 5 | 201 - 38 | 24/06/1987 | 5.9 mm (1987/6) |
| Pluvieuse | L - 4 | 200 - 38 | 2/09/1983 | 61.1 mm (1983/8)* |
| Pluvieuse | L - 4 | 201 - 38 | 24/08/1983 | 61.1 mm (1983/8) |
| Crues | L - 3 | 215 - 38 | 31/10/1979 | 09.5 mm (1979/10) |
| Crues | L - 3 | 216 - 38 | 01/11/1979 | 109.5 mm (1979/10) |

(*) Des précipitations journalières de 59.2 mm ont été enregistrées le 23 Août 1983.

8.3.2 Rectification géométrique

La rectification géométrique a été réalisée sur les données MSS de LANDSAT afin qu'elles coïncident avec la carte topographique. La carte topographique de 1/250.000 a été utilisée comme carte de référence, et il a été procédé respectivement à (1) la sélection des points de contrôle au sol (2) l'orientation d'images, (3) le ré-échantillonnage des données d'images.

i) Sélection des points de contrôle au sol (GCP)

Les points qui peuvent être distingués d'une manière claire sur la carte d'images et topographique ont été choisis comme des points de contrôle au sol et les coordonnées sur images (u, v) ainsi que les coordonnées sur cartes (x, y) ont été mesurées. Dans cette étude, les points de courbure et les points d'embranchement des rivières, les lignes de crête et les lignes de vallée étaient utilisées comme points de contrôle au sol. On a veillé à ce que ces points de contrôle puissent être répartis régulièrement au sein de la région d'étude et dans ses périphéries.

ii) Orientation d'images

Nous avons calculé la formule établissant la relation entre les coordonnées sur images et les coordonnées sur cartes. Etant donné que les données de LANDSAT couvrent la superficie de 180 km² à l'altitude de 700 - 900 km, la déformation causée par la courbe de

la surface de la terre n'est pas si grande. En conséquence, la formule d'Affine de conversion du plan a été utilisée. La formule d'Affine est la suivante :

En sélectionnant 4 paires de points de contrôle au sol, 6 coefficients de transformation, a_i ($i = 1 - 6$), ont été calculés par la méthode des moindres carrés. Dans cette étude, l'erreur de moindre carré est ajustée pour se trouver dans 3 éléments d'illustration sur images non ajustées.

iii) Ré-échantillonnage

La conversion totale des coordonnées d'images a été effectuée en utilisant les coefficients de transformation d'Affine obtenus et les données d'images ont été ré-échantillonnées. La méthode de "proche en proche" a été utilisée pour le ré-échantillonnage. C'est une méthode pour l'utilisation des données d'images qui sont localisées au point le plus proche de la valeur des coordonnées après transformation.

8.3.3 Préparation de l'image à fausse couleur

L'image à fausse couleur a été réalisée en utilisant les données d'images après la rectification géométrique. Pour ce faire la composition et la portée des bandes ont été manipulées comme suit :

i) Composition de bande (Composition de bande de fréquence)

Les données MSS de LANDSAT sont composées de 2 bandes visuelles et 2 bandes infra-rouges. En réalisant l'image à fausse couleur nous avons uniquement utilisé une bande infra-rouge et 2 bandes visuelles et elles étaient exprimées respectivement en correspondance avec les sources de lumière de R (Rouge), G (Vert) et B (Bleu).

Composition de bandes MSS de LANDSAT

| Bande | Portée de longueur d'onde (μm) | Portée spectrale | Couleur de l'image à fausse couleur |
|---------|---|------------------|-------------------------------------|
| Bande 4 | 0.5 ~~~~ 0.6 | Vert visuel | Bleu |
| Bande 5 | 0.6 ~~~~ 0.7 | rouge visuel | Vert |
| Bande 6 | 0.7 ~~~~ 0.8 | infra-rouge | - |
| Bande 7 | 0.8 ~~~~ 1.1 | infra-rouge | Rouge |

ii) Surface de l'image

Etant donné que la région d'étude s'étend sur 2 champs de LANDSAT, les champs ont été réunis par le traitement de l'image digitale. L'assemblage a été effectué en utilisant les données après la rectification géométrique et en réalisant l'ajustement de la luminosité. La surface de l'image est de forme rectangulaire et couvre le périmètre étudié à l'échelle de 1/250.000 par traitement photographique.

8.3.4 Traitement par tranche de niveau

La tranche de niveau a été considérée pour des informations thématiques nécessaires à la réalisation des cartes de base. Le traitement par tranche de niveau est une méthode permettant de diviser les données de bande simple par la largeur de la valeur propre de l'élément d'illustration.

Comme la division correspond à la densité exposée (luminosité) sur l'image, elle est parfois appelée " division de la densité ".

Dans cette étude, la tranche de niveau a été reportée aux données de la bande 7 (rayon infra-rouge) pour réaliser la carte de la région présumée inondable.

Vu que l'infra-rouge a la propriété d'être absorbée par l'eau, la place est exposée plus foncée si le volume d'eau y est plus élevé, et la valeur de l'élément d'illustration est également petite. Tirant profit de cette propriété, nous avons identifié les régions inondables à partir de l'image à fausse couleur. Les résultats du traitement de niveau par tranche sont indiqués ci-dessous (valeur d'élément d'illustration qui forme la ligne frontière de la division).

Résultats de la tranche de niveau de la bande 7

| Saison d'observation | Valeur de la tranche de niveau | | | | |
|-------------------------|--------------------------------|---------|----------|-----------|--------------|
| | inondé | 1 | 2 | 3 | non - inondé |
| Saison sèche | 0 ≈ 81 | 82 ≈ 91 | 92 ≈ 100 | 101 ≈ 105 | 106 ≈ 255 |
| S. pluvieuse | 0 ≈ 88 | 89 ≈ 97 | 98 ≈ 104 | 105 ≈ 112 | 113 ≈ 255 |
| S. de crues | 0 ≈ 61 | 62 ≈ 68 | 69 ≈ 76 | 77 ≈ 80 | 81 ≈ 255 |

8.3.5 Traitement par calcul comparatif

Le traitement par calcul comparatif a été entrepris pour extraire les informations thématiques nécessaires pour établir des cartes de base. Le traitement par calcul comparatif est une méthode de comparer l'illustration correspondante de 2 bandes de données afin d'obtenir les résultats sous forme d'images. Dans cette étude, le calcul comparatif de la bande 7 (infra-rouge) divisé par la bande 5 (rouge visuel) a été entrepris pour réaliser une carte de la teneur en eau de surface du sol.

L'infra-rouge a la propriété de réfléchir sur la chlorophylle et d'être absorbée par l'eau. En conséquence, le résultat du calcul comparatif indique une valeur plus élevée là où la végétation est active et une valeur plus faible là où le volume d'eau est élevé. Comme la région faisant l'objet de l'étude appartient à une zone de climat sec, le lieu où la végétation est active est également le lieu où le volume d'eau est important.

En conséquence, dans le résultat du calcul comparatif il peut être considéré que le volume d'eau est élevé aux lieux où le résultat du calcul est extrêmement élevé ou extrêmement faible.

La technique de tranche de niveau a également été appliquée au résultat du calcul comparatif, et le résultat obtenu a été utilisé pour élaborer la carte de teneur en eau des sols de surface. Les résultats comparatifs sont donnés ci-après :

Résultats du traitement par tranche de niveau
sur le calcul comparatif

| Saison d'observation | Valeur de l'élément d'illustration(*) | |
|----------------------|---------------------------------------|------------|
| | eau | végétation |
| Saison sèche | 0 ≈ 50 | 62 ≈ 255 |
| Saison pluvieuse | 0 ≈ 53 | 70 ≈ 255 |

(*) La valeur de l'élément d'illustration ici représente 50 fois le résultat du calcul comparatif, et plus explicitement on a :

$$\text{Valeur} = (\text{bande 7}) / (\text{bande 5}) \times 50$$

8.4 REALISATION DE LA CARTE DE BASE

8.4.1 Image à fausse couleur de LANDSAT

L'image à fausse couleur de LANDSAT a été créée par le traitement photographique. Cette image représente les données de base dans chaque catégorie de carte de base utilisée dans cette enquête et on s'y rapporta par interprétation en réalisant d'autres cartes de base. Des images de 3 saisons respectivement sèche, pluvieuse et saison des crues ont été créées .

i) Saison sèche

L'image a été réalisée en composant les données d'observation du 19 juillet 1989 (côté Est) et du 24 Juin 1989 (côté Ouest). Comme presque toute la région de l'oued Rhéris est couverte de sable et d'apports sableux , il est impossible d'observer clairement la surface inondée. La végétation se répartit uniquement le long de la rivière principale qui traverse le bassin , donnant une couleur rouge claire. Autour de Tadirhoust et Goulmima le long de l'oued Rhéris, il y a un modèle qui peut probablement montrer le mouvement de sable en aval avec l'existence de la végétation. Ceci indique qu'il y avait une inondation dans cette région dans le passé et que le sable a été balayé , indiquant la possibilité d'inondation et l'existence d'une certaine teneur en eau.

ii) Saison des pluies

L'image a été réalisée en composant les données d'observation du 2 septembre 1983 (coté Est) et 24 Août 1983 (côté Ouest). Bien qu'il n'y ait aucun changement apparent comme image complète, il y a une partie le long de la rivière où le changement est observé dans l'étendue de la végétation. La différence de la saison sèche est que la végétation est observée au bord des terres montagneuses au sud-ouest de Goulmima.

iii) Saison des crues

L'image a été composée par les données d'observation du 31 Octobre 1979 (côté Est) et du 1er Novembre 1979 (côté Ouest). Ce sont les données obtenues après l'inondation qui eut lieu vers le 17 Octobre 1979.

Aucun changement apparent n'est observé sur l'étendue de la végétation autour de Tadirhoust et Goulmima, mais ses régions périphériques montrent une couleur plus foncée. Par contre, au sud du bassin du Rhéris, on observe une importante végétation dans la région où la végétation est absente pendant les saisons sèches et pluvieuses.

8.4.2 Carte d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol a été réalisée en interprétant l'image à fausse couleur LANDSAT réalisée conformément au paragraphe ci-dessus et en se basant sur les résultats de l'investigation des sites. La carte a été réalisée respectivement pour la saison sèche et la saison pluvieuse, parce qu'il y avait une différence dans la distribution de terres agricoles entre les saisons sèches et pluvieuse.

Le tableau ci-dessous indique la légende de la carte

Légende de la carte d'occupation du sol

| Symbole | Désignation | Classification |
|---------|--|-----------------|
| 1 | Champ de légumes et de blé avec une plantation dense de dattiers et d'oliviers | |
| 1' | Avec plantation éparse | |
| 2" | Terre en friche, terre inculte | Arable |
| 2 | Terre sablonneuse (arable) | |
| 2' | Terre de transport (arable) | Sable |
| 3 | Terre de transport (grain fin) | Apport de Sable |
| 4 | Terre de transport (grain grossier) | |
| 5 | Terre pauvre en montagne et colline | |
| 6 | Terre pauvre en pente | |
| 7 | Roche exposée (grain fin) | Roche |
| 7' | Roche exposée (grain grossier) | |

La carte d'occupation du sol indique comment la terre est utilisée et elle fournit les informations de base non seulement pour discerner simplement la distribution des différentes catégories de terre mais aussi pour discuter la classification des terres et le plan futur d'utilisation des sols. Dans cette étude, nous avons compilé une carte séparée pour la saison sèche et la saison pluvieuse dans le but de saisir le changement saisonnier dans

l'utilisation du sol. Cependant, des changements au cours de l'année peuvent être observés uniquement pour les terres agricoles et les terres arables.

i) Terres agricoles en saison sèche

Les terres agricoles sont distribuées principalement le long de la rivière principale dans le bassin du Rhéris. De plus, la région le long de l'oued Rhéris dans la partie centrale du bassin possède de vastes terres agricoles. D'autres vastes terrains agricoles se trouvent également à l'intérieur et autour du lit de l'oued à Tadirhoust et à Goulmima. Ces régions sont clairement indiquées en rouge dans l'image à fausse couleur de LANDSAT. Quand les terrains agricoles seront classés ultérieurement en détail, ils pourront ainsi être divisés en terrains agricoles avec une plantation dense et en terrains agricoles avec une plantation éparse de dattiers et d'oliviers. Et dans la région le long des oueds, des plantations éparses entourent en général des plantations denses. Les terres agricoles ne sont pas utilisées activement en saison sèche dans la région. L'agriculture dense est uniquement observée dans le lit de l'oued autour de Tamasit.

ii) Terres agricoles en saison pluvieuse

Dans les données de saison pluvieuse une distribution apparente de terres agricoles est observée non seulement autour de Goulmima et de Tamasit, mais également au pied Sud-Est de la zone montagneuse au Sud-Ouest de Goulmima. Lors de la collecte des données, il est apparu qu'il y a eu une grande fluctuation du niveau des eaux souterraines dans cette région.

En conséquence, le changement dans la distribution des terres agricoles peut être considéré comme un changement séculaire dû au changement du niveau des eaux souterraines plutôt que comme un changement saisonnier. Le changement saisonnier des terres agricoles en saisons sèche et pluvieuse est observé le long de l'oued Rhéris au sud de Goulmima.

iii) Utilisation des sols non agricoles

La situation des terrains non agricoles est la même en saison sèche aussi bien qu'en saison pluvieuse. La majorité de la partie Nord est constituée de montagnes, de collines et de terres en pente, et aucune végétation n'y est observée. Cependant, il y a des parties où les terres agricoles minuscules s'éparpillent le long de la vallée.

En excluant les terres agricoles situées le long de l'oued, la surface totale du bassin du Rhéris est une terre de transport dont l'arabilité est conditionnée par l'importance du volume d'eau en saisons sèche et pluvieuse. Une grande partie de la zone Sud est

couverte par des roches. Il n'existe aucune partie qui peut être utilisée comme terre agricole.

8.4.3 Carte de la région présumée inondable

La région supposée inondable a été indiquée sur carte en se basant sur le résultat du traitement du niveau par tranche et l'image à fausse couleur de LANDSAT. Une catégorie de carte a été réalisée en utilisant toutes les données des 3 saisons. En compilant la carte, les résultats de l'inondation observés pour chaque saison étaient combinés ensemble et les régions ont été classées en 3 catégories selon la fréquence d'inondation.

Le tableau ci-dessous indique la légende de cette carte.

Carte de la région supposée inondable

| Symbole | Fréquence d'inondation | Remarques |
|---------|------------------------|---------------------------------------|
| 1 | faible | inondée uniquement pendant une saison |
| 2 | - | inondée uniquement pendant 2 saisons |
| 3 | élevée | inondée uniquement pendant 3 saisons |

Cette carte couvrant les régions inondées a été réalisée avec les données de 3 saisons pour montrer la possibilité d'inondation. Ce sont des informations essentielles avec la carte de la teneur en eau de surface du sol pour saisir la situation de l'eau et pour planifier la construction de barrages.

Les lieux plus assujettis à l'inondation sont les régions longeant l'oued Rhéris qui coïncident bien avec la carte de la teneur en eau de surface du sol. De même, la terre plus activement utilisée comme terre agricole a une plus haute fréquence d'inondation. Dans la région faisant l'objet de l'étude, et qui appartient à une zone de climat sec, il peut être affirmé que plus est élevée la teneur en eau, plus la terre est appropriée pour l'agriculture. Le long de l'oued Rhéris, la région inondée se distribue autour de Goulmima, suivie par la région en aval. Bien que la répartition de l'inondation soit observée dans la partie Sud du bassin du Rhéris, elle est à petite échelle.

8.4.4 Carte géologique de la couche de surface

Les cartes géologiques existantes ont été éditées et compilées comme carte géologique de la couche de surface à l'échelle de 1/250.000 afin d'être utilisée pour juger l'occupation et les conditions du sol. La classification de la couche de surface est indiquée ci-dessous :

Classification de la couche de surface

| Signe | Légende |
|-------|--|
| 1 | Formations modernes du Quaternaire récent |
| 2 | Dunes vives |
| 3 | Quaternaire moyen et ancien |
| 4 | Conglomérats villafranchiens |
| 5 | Mio-Pliocène continental |
| 6 | Eocène Supérieur continental |
| 7 | Sénonien continental |
| 8 | Jurassique continental |
| 9 | Jurassique continental , Bathonien, Bajocien |
| 10 | Lias supérieur, Lias moyen et inférieur |
| 11 | Permo-Trias continental |
| 12 | Stephano-Permien continental |
| 13 | Stéphanien, Namurien, Viséen, Strunien |
| 14 | Devonien supérieur et inférieur |
| 15 | Gothlandien |
| 16 | Grès et quartzites à lingules |
| 17 | Basaltes du Jurassique Crétacé |
| 18 | Dolérites et gabbros hercyniens |
| 19 | Schistes et grès terminaux |
| 20 | Précambrien II |
| 21 | Andésites et Basaltes |
| 22 | Rhyolite dacites |
| 23 | Granites |
| 24 | Trachytes |
| 25 | Microdiorites et microgabbros |

L'état géologique de la couche de surface a un rapport étroit avec les caractéristiques de la terre et la distribution des sols. Il fournit une information importante pour connaître la tendance des précipitations dans la région faisant l'objet de l'étude. En conséquence, c'est une matière indispensable pour la construction de barrages et pour le développement agricole basé sur l'utilisation des ressources en eau du barrage.

L'aire de l'étude est caractérisée par l'existence du bassin du Rhéris au centre, des montagnes de l'Atlas au Nord et de la région montagneuse dans le Sud s'étendant vers le désert du Sahara.

Cette aire peut être divisée en 3 régions dont le profil des caractéristiques géologiques de la couche de surface est décrit ci-après.

i) Région montagneuse du Nord (Montagnes de l'Atlas)

Cette région est principalement occupée par des roches sédimentaires de la période jurassique. Quant à la topographie, quelques chaînes de montagnes sont observées du Nord-Est au Sud-Ouest avec leur modification de couches de roches dures et tendres.

En conséquence, il est clair que les montagnes de l'Atlas ont été formées par le plissement et la corrosion des couches sédimentaires jurassiques. Il y a un endroit où une couche quaternaire existe entre les montagnes : c'est la couche formée par la sédimentation des rivières. Les lignes de faille sont presque parallèles aux montagnes et il n'y a pas de failles qui se croisent d'une manière compliquée. Le stade actuel est celui où se développe la corrosion par les rivières principales.

ii) Les terres du centre en contre bas (Bassin du Rhéris)

Cette région est basse, désertique, rocheuse et plane. Une grande partie de cette région est couverte par une couche sédimentaire de l'époque quaternaire, une ligne de bordure claire est observée topographiquement et en matière rocheuse entre la partie Nord et le Sud montagneux.

Ceci est clairement indiqué dans l'image de LANDSAT

D'autre part, les roches sédimentaires du Crétacé percent la partie centrale du bassin du Rhéris d'Est en Ouest donnant à la terre une forme avec plus de reliefs en comparaison avec les couches quaternaires. La couleur de la surface est également différente. D'une manière chronologique, l'époque du Crétacé est plus ancienne et le bassin du Rhéris est considéré comme ayant été formé par les couches quaternaires générées entre la couche sédimentaire du Crétacé et les montagnes allant du Nord au Sud. De plus, les couches sédimentaires de la période carbonifère sont isolées au Sud-Ouest du bassin du Rhéris, formant une zone de collines indépendante.

Il y a à peine quelques lignes de failles dans le bassin du Rhéris, et une corrosion continuelle est entretenue par les trois principaux oueds qui coulent dans la bassin.

iii) Région montagneuse du Sud

Les roches métamorphiques du Précambrien existant dans cette région indiquent ainsi une formation très ancienne. Les roches sont principalement composées de rhyolite et de quartz andésite.

Différente de la région montagneuse au Nord, la région montagneuse du Sud n'a pas de lignes structurales mais est composée de blocs de montagnes. Se concentrant autour de la surface à l'intérieur de cette région, les lignes de faille courent en même temps longitudinalement et transversalement en se croisant d'une manière compliquée.

8.4.5 Carte de la teneur en eau de surface du sol

La teneur en eau a été détectée et reproduite sur carte en se basant sur les résultats du calcul comparatif et du traitement de niveau par tranche et en se référant à l'image à fausse couleur de LANDSAT. Les cartes ont été compilées pour les saisons sèche et pluvieuse.

Le tableau ci-dessous indique la légende de ces cartes :

Légende de la carte de la teneur en eau

| Symbole | Désignation |
|---------|-----------------------------|
| 1 | Présence d'eau non détectée |
| 2 | Présence d'eau détectée |
| 3 | Présence d'eau apparente |

En utilisant la carte de teneur d'eau de surface, il est possible d'avoir une connaissance sur le changement des volumes d'eau de surface et de juger si la terre convient ou non au développement agricole. De même, puisque cette carte indique la tendance à la formation de mares, ce sont des informations indispensables pour la planification de la construction de barrages. Bien qu'il soit clair que la zone située le long des oueds ait un volume d'eau plus élevé, ce volume est substantiellement différent selon l'échelle de la rivière et le temps d'observation.

i) Saison sèche

Les régions le long de l'oued Rhéris ont un volume d'eau élevé en saison sèche. La teneur en eau élevée est largement observée dans la région de dérivation en aval de Goulmima. De même, la teneur en eau s'étend en éventail en amont de Goulmima. Dans les régions le long d'autres oueds, la teneur en eau est observée en forme d'éventail dans les régions entre la montagne et le bassin du Rhéris, mais leur échelle est petite à comparer avec celle de l'oued Rhéris.

ii) Saison pluvieuse

Il est clair que la région ayant une teneur en eau se développe avec l'augmentation des précipitations et dans chaque région, l'étendue de la teneur en eau s'étend du bord de la rivière à l'intérieur des terres. Le changement le long de l'oued Rhéris est également apparent mais un autre phénomène caractéristique est observé autour de la colline au Sud-Ouest de Goulmima.

Du côté Sud de la colline, la teneur en eau est largement observée le long de la rivière indiquant une situation tout à fait différente en comparaison avec la saison sèche. Ceci doit être dû à la fluctuation du niveau des eaux souterraines comme établi précédemment. De même, dans le bassin du côté Nord de la colline, l'expansion de la teneur en eau est observée à cause de l'écoulement des eaux des montagnes.

8.4.6 Classification des pentes

La classification des pentes est indiquée sur la carte donnant la distance entre les courbes de niveau dans la carte topographique. Le tableau ci-dessous indique la légende de cette carte.

Légende de la carte de classification des pentes

| Symbole | Angle de pente |
|---------|----------------|
| 1 | Inférieur à 3° |
| 2 | 3 - 8° |
| 3 | 8 - 15° |
| 4 | 15° ou plus |

La pente est l'information la plus importante pour déterminer les emplacements des terres agricoles, et la distribution de l'eau, ainsi que pour prédire l'effet attendu de l'achèvement du barrage.

La région faisant l'objet de l'étude est constituée du bassin du Rhéris au centre et des montagnes au Nord et dans les parties Sud. Cette particularité topographique détermine les caractéristiques de distribution et de classification des pentes.

Dans la région de montagnes au Nord, il y a plusieurs chaînes de montagnes qui vont du Nord-Est au Sud-Est, ce qui a comme conséquence une grande répartition de terres en pente raide. Bien qu'il y ait des terrains en pente douce et même plats en partie le long des vallées, leur échelle est petite et ne convient pas à l'exploitation agricole.

Une grande partie de la région montagneuse au Sud est une terre de collines mais n'est pas en aussi bon état que dans le Nord. Là se répartissent la plupart des terrains en pente douce et il y a quelques terrains en pente abrupte le long des failles.

Une grande partie du bassin du Rhéris qui est placé au centre de la région de l'étude est composée de terrains à surface plane, formant un vaste désert rocheux entre les régions du Nord et du Sud. Les oueds traversant le bassin et les régions le long de ces oueds sont essentiellement planes.

Parfois, il existe des terres en pente abrupte formant la terrasse de l'oued mais en général on trouve une terre plate ayant des conditions topographiques appropriées pour une exploitation agricole.

CHAPITRE 9

DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES

9.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre résume les principales données socio-économiques relatives à l'aire de l'étude. D'autres données et analyses plus détaillées sont fournies dans le Volume 2 (Rapport Annexe, Section 4 : Socio-Economie) et concernent notamment les points suivants :

- Base de données sommaire pour trente deux sites de barrage potentiels.
- Base économique et données de base
- Aspects démographiques
- Destination des sols et droits d'usage d'eau et de propriété
- Base de données de l'alimentation en eau potable
- Base de données et méthodologie d'évaluation du projet.

9.2 SITUATION SOCIO-ECONOMIQUE DE L'AIRE DE L'ETUDE

9.2.1 Introduction

L'aire de l'étude couvre le bassin du Rhéris sur environ 14.500 km² d'une région assez défavorisée du point de vue de ressources et de production.

Les zones agricoles sont considérablement réduites par manque d'eau et par un climat rigoureux. Les zones cultivables du bassin du Rhéris sont estimées à environ 23.000 ha, ce qui représente approximativement 50% des zones agricoles totales de la Province d'Errachidia. Cependant, l'importance des surfaces cultivées varie remarquablement d'une année à l'autre selon la pluviométrie; c'est ainsi qu'en 1983 la croissance des superficies cultivées par rapport à 1982 a été négative alors qu'en 1986 cette croissance a effectivement atteint 23%.

En dehors du tourisme, les autres secteurs d'activités économiques sont également relativement sous-développés. L'industrie se limite à une demi-douzaine d'unités et l'activité minière demeure artisanale (à l'exception de la mine d'argent d'Imider).

Avec un effectif de l'ordre de 6.000 employés, l'Administration Publique constitue la principale source de revenus salariaux. Le revenu régional est faible, reflétant ainsi l'absence d'un réseau commercial significatif.

Dans le cadre général ainsi défini, la stimulation de la croissance dans la Province passe dépend d'une utilisation optimale des maigres ressources disponibles. Le développement de cultures telles que les pommiers ou de la production de lait

pasteurisé sont des exemples de programmes pouvant être avantageusement mis en oeuvre.

L'amélioration de la base infrastructurale et l'encouragement du mouvement coopératif pourraient contribuer à stimuler la production commerciale de viande et de laine à grande échelle.

Cependant, le développement des ressources en eau reste la base centrale de tout programme et, dans ces conditions, le projet de construction de barrages de petite dimension dans la région constitue un des éléments-clés de la stratégie de développement.

9.2.2 Stratégie et priorités gouvernementales

Le projet des barrages de petite et moyenne dimension dans le bassin versant du Rhéris doit être inscrit aussi bien dans le cadre global de la stratégie du Gouvernement Marocain en matière de développement des ressources en eau que dans le cadre des objectifs spécifiques et des projets proposés pour la région.

La politique de mobilisation des ressources en eau s'articule autour de la construction de barrages de moyenne et petite dimension (l'objectif visé étant de construire un grand barrage et de 15 petits barrages par an d'ici l'an 2.000). Le but assigné à la construction de ces barrages consiste à fournir de l'eau pour les besoins agricoles et de l'eau potable aux populations, et à maîtriser les crues qui ont causé dans le passé de graves dommages. La grande sécheresse du début des années 80 a constitué un stimulant additionnel au programme envisagé.

Dans le cas particulier de la Province d'Errachidia, la nécessité d'optimiser l'utilisation des ressources en eau par l'application de meilleures méthodes de conservation est mise en évidence par l'insuffisance relative de ces ressources par rapport aux autres régions du Maroc, et également par l'impératif de préservation des ressources agricoles de base de la région, en particulier les palmeraies qui en constituent l'épine dorsale.

Le nombre de palmiers dattiers est estimé à 1,2 million avec une production annuelle de 30.000 tonnes, représentant près de 80% du revenu total des agriculteurs. La dernière vague de sécheresse dans la région qui a provoqué la destruction des principales palmeraies a mis en évidence la fragilité du secteur et a fait de leur survie la principale préoccupation des autorités provinciales.

Concernant les perspectives à long terme, il apparaît qu'au cours des cent dernières années, le nombre de palmiers dattiers a été réduit de plus de moitié dans une région où il avait atteint dans le passé environ 3 millions d'unités.

L'objectif à long terme vise à atteindre encore ce niveau et le Gouvernement a établi un programme de plantation d'un million de palmiers dans la Province d'Errachidia (720.000 dans le Tafilalet, Jorf et Tinejdad par l'intensification des palmeraies existantes, et 280.000 à Boudnib et Goulmima, où de nouvelles plantations sont

prévues). Ce programme particulièrement ambitieux doit être réalisé d'ici l'an 1995.

Le souci des autorités de protéger et de développer les palmeraies se reflète parfaitement dans le choix des sites de barrages soumis à une évaluation, et la sélection des sites a été influencée essentiellement par cet impératif plutôt que par les critères de viabilité économique (commercialisation de produits agricoles immédiatement vendables ou encouragement de projets de développement à moindre coût à partir de la construction de barrages spécifiques).

9.3 ACTIVITES ECONOMIQUES

9.3.1 Introduction

Le profil physique et climatique de la région détermine les activités économiques et la distribution de la population de la région. Le développement agricole se limite aux érimètres ayant trait aux petites poches localisées le long des oueds ou dans les palmeraies où les eaux souterraines sont facilement accessibles. Il y a peu de concentrations importantes de populations (Tinerhir, Tinejdad, Goulmima, Mellaab et Jorf/Fezna à l'Ouest de l'Oued Rhéris) et Aït Hani, Assoul, Amellagou et Archbalou N'kerdous dans le Haut Rhéris. Le caractère limité des zones cultivées (dû partiellement au manque d'eau) illustre la petite taille des villages. En réalité, 98% des villages de la Province sont établis sur des superficies inférieures à 5 ha.

9.3.2 Agriculture

Diverses cultures sont pratiquées dans le bassin du Rhéris : des céréales pour l'auto-consommation (blé, orge et maïs), des légumineuses (tomates, melons, concombres, choux, carottes, oignons, pommes de terre, ...) destinées en partie à l'auto-consommation et en partie à la vente. Le fourrage est produit essentiellement pour l'alimentation du bétail des agriculteurs eux-mêmes. Les arbres fruitiers sont constitués surtout de palmiers dattiers dans les oasis du Bas Rhéris, des oliviers et d'autres arbres fruitiers (pommiers, noyers, amandiers et pruniers) du Haut Rhéris. Les dattes constituent le plus important produit commercialisé bien qu'une partie importante soit utilisée pour la consommation domestique et l'alimentation du bétail. Les données sur les quantités produites ne sont pas directement disponibles, mais les estimations de l'ORMVATT pour le bassin du Ziz montrent qu'avec une intensité de 167%, les céréales (55%) et les palmiers (40%) représentent le plus haut pourcentage des zones plantées, et sont complétés par la luzerne (33%), les oliviers (28%) et les légumineuses (11%). L'importance des zones cultivées varie avec la pluviométrie, mais en 1980 quand la pluviométrie fut bonne, un total de 23.000 ha étaient cultivés. La production agricole est encadrée par les ORMVAT d'Errachidia et d'Ouarzazate

à travers des programmes d'extension, de réalisation d'équipements d'infrastructure (lacs collinaires, seguias, etc...) et de fournitures de semences.

9.3.3 Cheptel

Le cheptel constitue une ressource potentielle importante dans la région. Dans les zones rurales, presque chaque famille possède au moins assez de bétail et de volaille pour assurer ses propres besoins en viande, en lait et en oeufs. Les animaux sont également utilisés pour le labour et le transport.

Le secteur n'est pas organisé sur une base commerciale. Il y a très peu de coopératives et le commerce s'effectue de manière artisanale et informelle dans les souks.

Les moutons et les chèvres sont élevés traditionnellement dans des pâturages ouverts, tandis que les vaches sont enfermés dans les enclos. D'après le recensement de 1982, les différentes Communes du bassin du Rhéris possédaient environ 15.000 bestiaux et 250.000 moutons et chèvres. Ces nombres ont sans doute baissé lors de la sécheresse mais ont dû s'augmenter à la suite des années de pluies qui ont suivi.

Les localités situées dans les montagnes (Aït Hani, Amellagou et Assoul) ont une concentration de bétail (11 têtes par habitant) plus importante que celles situées dans le Bas Rhéris (moins d'un animal par habitant à Tinejdad). Les chameaux sont aussi élevés pour les besoins de transport et de viande. Leur nombre tourne autour de 4.000 dans le bassin. Il existe également un élevage de poulets, de lapins et d'autres petits animaux.

9.3.4 Tourisme

Le tourisme constitue une activité importante dans le bassin du Rhéris, avec plus de 9.000 touristes ayant visité la région en 1987. Les gorges du Todrha à Tinerhir constituent la principale attraction touristique, et les touristes traversent le bassin sur leur chemin vers Erfoud et Rissani, soit en passant par Tinejdad, Jorf ou Fezna, soit par Goulmima et Errachidia.

Les hôtels de grand standing (hôtels classés) sont situés à Errachidia et Erfoud et comportent respectivement 338 et 662 lits. Il y a deux hôtels classés à Tinerhir qui a accueilli 19.000 touristes en 1987.

Le développement du potentiel touristique existe en particulier dans le Haut Rhéris où l'on peut envisager de développer des

équipements touristiques par exemple à Goulmima, à Tinejdad et dans les régions montagneuses à Amellagou et Assoul.

9.3.5 Autres activités

Il n'y a pas d'industries ou d'agro-industries dans le bassin. Les activités concernent surtout les artisans basés à Erfoud et Rissani, où l'on dénombre seulement cinq coopératives totalisant 170 membres. Dans l'ensemble de la Province on compte près de 4.000 artisans non organisés en coopératives et essentiellement basés dans les villages.

La production artisanale est étroitement liée au développement du tourisme et à l'activité des bâtiments et travaux publics (BTP). Les activités de BTP sont devenues importantes depuis quelques années. Une augmentation sensible a été observée en 1987 dans les zones urbaines et Tinejdad et Goulmima ont connu la croissance la plus rapide.

Dans l'ensemble de la Province, on compte seulement six unités industrielles caractérisées par une faible capacité (minoterie, lait, production de glace, mise en bouteille de gaz, marbrerie).

Le bassin du Rhéris recèle une certaine richesse minérale (barytine, plomb, zinc, manganèse, marbre, argent). La plupart des mines sont exploitées artisanalement et deux seulement peuvent être considérées comme étant significatives : les mines d'argent à Imider employant actuellement 470 personnes, qui a des plans d'expansion et exporte relativement avec succès, et une mine de zinc et de plomb à Boumadine employant jusqu'à 150 personnes.

9.4 INFRASTRUCTURES SOCIALES ET DE BASE

La répartition des infrastructures sociales sur toute l'aire de l'étude peut être considérée comme relativement complète. La Province dans son ensemble compte 96 écoles primaires et 22 écoles secondaires. Pour sa part, la partie de l'aire de l'étude située dans la Province d'Errachidia compte 65 écoles avec environ 12.000 élèves au total.

Les installations sanitaires comportent deux hôpitaux à Goulmima (30 lits) et à Tinerhir et des dispensaires ruraux à Ait Hani, Assoul, Amellagou, Tadirhoust, Assir (Tinejdad), Mellaab, Touroug et Jorf.

En ce qui concerne le secteur routier, les principaux centres urbains sont reliés par de bonnes routes (Tinerhir, Tinejdad, Goulmima, Errachidia, Mellaab, Touroug, Fezna et Erfoud). Des

efforts considérables restent à faire pour améliorer les pistes reliant certains villages situés à l'écart des routes principales, en particulier dans les zones montagneuses comme par exemple les gorges du Todrha et entre Amellagou et Imilchil.

Au niveau de l'alimentation en eau, il a été estimé qu'en Mars 1988 environ un tiers de la population du bassin du Rhéris était desservi par le réseau d'eau potable, 11% par des fontaines et 56% par des puits, khettaras et sources (voir détails dans le Volume Annexe - Section 4).

9.5 ASPECTS DEMOGRAPHIQUES ET PROJECTIONS

9.5.1 Introduction

D'après le recensement de 1982, la population totale des Communes situées dans le bassin du Rhéris était de 167.000 habitants (y compris une partie du Cercle de Rissani). Un résumé des principales tendances est donné ci-après tandis que les détails sont fournis dans le Volume Annexe.

9.5.2 Estimations de la population actuelle

Le taux de croissance démographique du bassin du Rhéris entre les recensements de 1971 et 1982 était en moyenne de 2,3% par an, ce qui est inférieur à la moyenne nationale (2,6%).

Les taux de croissance diffèrent d'une localité à l'autre, Errachidia et Tinerhir connaissant les taux les plus élevés. Par extrapolation de la tendance observée, la population du bassin du Rhéris peut être actuellement estimée à 195.000 habitants représentant environ 35.000 familles (sur la base d'une taille moyenne de 5,6 personnes par famille).

Le Tableau 9.1 donne les détails de la croissance démographique par Commune.

Les conclusions ci-après peuvent être tirées :

- Les plus grandes concentrations de populations sont à Tinerhir, Goulmima, Tinejdad, Jorf/Fezna et Mellaab. Ces Communes ont une population correspondant à environ 65% de la population totale du bassin. Seulement 15% de la population s'établit dans les zones montagneuses.

- Les Communes ayant le taux de croissance le plus élevé sont Tinerhir, Goulmima, Amellagou, Mellaab, Tinejdad et Arhbalou N'kerdouss. Ceci traduit une tendance croissante de l'urbanisation dans la région et un développement croissant de centres administratifs dans les zones rurales.
- La population rurale du bassin représente environ 11% de l'ensemble. En comparaison, la moyenne pour l'ensemble de la Province d'Errachidia est de 15% (contre 9% en 1971) tandis que pour le Maroc, elle est de l'ordre de 43%. Cette tendance résolument croissante s'explique par la sécheresse et l'absence de possibilités dans l'arrière-pays. Les taux de croissance urbaine dans le bassin du Rhéris sont de l'ordre de 2 à 3%. Tinerhir, dont la population a triplé entre 1971 et 1982, constitue une exception justifiée largement par le développement de son rôle de centre administratif et celui de l'activité minière entre Tinerhir et Imider.
- Les faibles taux de croissance sont observés dans les zones rurales, particulièrement dans la région du Haut Rhéris, où la pénurie en terres agricoles et le manque d'emplois ont entraîné un important exode rural.
- La croissance de la population du bassin a également été affectée non seulement par la tendance d'urbanisation, mais aussi par un mouvement migratoire vers d'autres régions du Maroc ou vers l'étranger. Entre 1971 et 1982, les flux migratoires à partir d'Errachidia ont avoisiné 19.000 personnes. Ces vagues migratoires ne peuvent être freinées que par l'encouragement d'un développement local dans lequel l'eau est appelée à jouer un rôle absolument essentiel.

9.5.3 Tendances d'évolution de la population

Un certain nombre de facteurs continueront à influencer et à amplifier les tendances actuelles d'évolution de la population, notamment :

- Les contraintes de ressources, la petite superficie des parcelles et le caractère limité des possibilités d'emploi en milieu rural continueront à favoriser l'exode rural.
- L'évolution de la population urbaine semble s'accélérer à mesure que se développent les équipements des centres urbains et l'activité touristique.
- Plus de la moitié de la population a moins de 20 ans. Cette véritable explosion démographique urbaine devrait accentuer la pression sur les ressources locales et donner lieu plus tard à un mouvement d'exode vers d'autres localités du Maroc ou vers l'étranger.

- La densité de la population dans certaines régions rurales est déjà suffisamment élevée pour que le taux de croissance future soit forcément limité dans les années à venir.

9.5.4 Prévisions démographiques

Les différentes communes peuvent être classées en différentes catégories selon leur taux de croissance comme suit :

- Taux élevé : Tinerhir, Tinejdad et Goulmima.
- Taux moyen : Localités des zones situées au centre et en aval.
- Taux faible: Zones montagneuses.

Le Tableau 9.2 indique les prévisions démographiques pour le bassin du Rhéris. Dans les années à venir on s'attend à une baisse du taux de croissance due à l'accroissement de l'alphabétisation, à l'impact des programmes de planning familial et des politiques de décentralisation.

La population totale devrait plus que doubler d'ici l'an 2020. Le taux de croissance d'ensemble est juste de l'ordre de 2%. La croissance dans les zones urbaines sera deux fois plus importante que celle des zones rurales, entraînant ainsi une redistribution des populations. La proportion de population des zones montagneuses devrait tomber de 16% à moins de 13% au cours de la période de projection (1982 - 2020). Les principaux centres urbains de la région (Tinerhir, Tinejdad et Goulmima) qui, avec leurs communes rurales respectives, regroupent actuellement 54% de la population totale devraient passer à près de 57% (soit environ 200.000 habitants) du total en 2020.

9.6 UTILISATION DU SOL

9.6.1 Introduction

L'utilisation agricole des sols dépend de la qualité des terrains disponibles aussi bien que de la disponibilité en eau. Par conséquent, les modèles d'utilisation des sols varient non seulement selon les saisons, mais également d'une année à l'autre.

La pluviométrie moyenne varie de 90 mm à Erfoud à 200 mm à Tadirhoust. La proportion des terrains cultivés peut baisser de 50% en saison sèche par rapport à la saison des pluies.

La géomorphologie du bassin est à l'origine d'autres types de contraintes. C'est ainsi que dans les régions montagneuses la

quantité d'eau disponible est supérieure à celle requise pour les besoins d'irrigation des zones cultivées, alors que dans les vallées la situation est inversée : des terrains agricoles potentiels existent mais c'est l'eau qui fait défaut ou est disponible irrégulièrement. A proprement parler les terrains cultivés dans des zones où l'eau est disponible pendant toute l'année, se dispersés et bien séparés les uns des autres le long des oueds ou sont localisés près des sources d'eau. Afin d'assurer la mise en valeur de ces terrains, une infrastructure relativement importante a été mise en place : barrages, stations de pompage, Khetaras et séguias. Cependant, la plupart de ces installations sont en mauvaise condition de fonctionnement et nécessitent une réhabilitation, causant ainsi une sérieuse limitation à l'utilisation des sols.

Une autre contrainte est le problème des droits traditionnels d'utilisation des sols et de l'eau. L'utilisation réelle dépend également du degré de dégradation des sols par l'accroissement de la salinité et l'érosion. C'est ainsi que, par exemple, la salinité est particulièrement apparente entre Tinerhir et Tinejdad. Les crues de 1965 engendrées par une très forte intensité de pluies ont aussi été à l'origine d'une grave érosion.

9.6.2 Zones cultivées

Les emplacements et les estimations des zones cultivées ont été obtenues au cours des visites sur le terrain et par les analyses de rapports, de cartes et de photographies aériennes.

Les zones cultivées peuvent être divisées en 3 catégories :

- Zones de cultures intensives
- Zones de cultures annuelles
- Zones bour

La première catégorie comprend les palmeraies et les vergers où les céréales, les légumineuses et les plantes fourragères sont cultivées sous étage. Ces zones bénéficient de l'existence de sources d'eau pérenne. Néanmoins, le niveau de la production varie par saison ou annuellement selon la disponibilité en eau.

La sécheresse des années 80 a causé une baisse de moitié des zones cultivées dans certaines régions. Les régions les plus affectées furent celles situées en aval de l'oued Rhéris, la situation la plus critique étant observée dans la zone de Tinejdad où le niveau des nappes phréatiques a baissé jusqu'à un tel point que la survie même des palmeraies était menacé.

La seconde catégorie comprend les zones irriguées par pompage. Elle est dépendante du niveau des eaux dans les puits et du taux de recharge des nappes.

Les zones bour sont généralement cultivées en amont des palmeraies et des vergers. Elles dépendent surtout des eaux de crue

collectées par les barrages de dérivation. Les zones cultivées varient d'une année à l'autre.

Le Tableau 9.3. donne une estimation des zones actuellement cultivées selon les différentes catégories.

En 1988 les zones de cultures ont été estimées à 22 300 hectares comme suit :

| | | | |
|---|-----------|------------------------------------|------------|
| - | Groupe 1 | : Zones suffisamment irriguées | : 5 300 ha |
| - | Groupe 2 | : Zones non suffisamment irriguées | : 3.000 ha |
| - | Groupe 3a | : Zones inondées par les crues | : 4.000 ha |
| - | Groupe 3b | : Zones pour arboricoles | : 3.000 ha |
| - | Groupe 4 | : Zones pour herbacées | : 7.000 ha |

L'objectif immédiat de la stratégie en matière d'eau devrait être le sauvegarde des zones cultivées existantes et le développement des cultures dans certaines zones précédemment exploitées.

9.6.3 Droits d'utilisation des terrains et de l'eau

i) Introduction

Une bonne planification de l'utilisation du sol dépend des droits de différents groupes relatifs à l'accès à l'eau et à l'utilisation des terrains, ainsi que des pratiques culturales. Une description détaillée de ces aspects est donnée dans le Volume Annexe. Les aspects traditionnels restent toujours importants même là où des systèmes "modernes" tels que le pompage ont été mis en place.

Cependant, dans les centres urbains, l'établissement par l'ONEP de réseaux a permis aux autorités un plus grand contrôle de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'eau.

ii) Droits de l'eau

L'utilisation de l'eau dans les zones rurales est liée à des droits complexes établis à travers les années à différents niveaux étatique, régional, religieux et personnel. Certains de ces droits ont été légalisés en codes, comme celui de 1924 qui a créé les Associations Syndicales Agricoles Privilégiées (ASAP), et surtout le Code des Investissements Agricoles de 1969 (Dahir du 25 Juillet). Ce dernier Code définit les droits particuliers pour la région du Tafilalet et accorde à la région une exemption de la contribution aux coûts d'investissement. La plupart des droits, surtout dans les villages, sont basés sur des traditions et des

pratiques du passé relatives à l'eau. Le problème de droit de l'eau ne se pose pas dans les zones bour.

Les zones irriguées sont régies par un système de droits privés de l'eau. Dans la mesure où ces droits ne sont pas nécessairement liés aux droits du sol ou de propriété, il en résulte un considérable gaspillage d'eau.

Dans les zones rurales, les droits de l'eau peuvent être considérées en deux catégories :

- Droits de puisage à partir des Oueds
- Droits des individus à puiser l'eau de la rivière.

Les procédures de mise en place, de fonctionnement et d'entretien sont assujetties à différents arrangements entre les autorités locales, les coopératives et les organismes tels que l'ORMVATT, le Ministère des Travaux Publics, et les divers utilisateurs.

iii) Droits de la terre

La productivité du secteur agricole est conditionnée par la question des droits, notamment le problème d'héritage et d'absence d'ayant droit ainsi que la situation de "démembrement" (où divers droits sont détenus par différentes personnes). Dans le bassin du Rhéris, les parcelles sont minuscules et se situent, par exemple, à moins de 0,5 ha en moyenne dans la région de Goulmima.

iv) Conclusions

La pénurie d'eau dans le bassin du Rhéris et le statut particulier assigné à la région de Tafilalet ont contribué à renforcer les coutumes et les traditions. Une réforme du système s'avère indispensable à long terme mais elle doit être menée avec beaucoup de tact et avec la coopération de toutes les parties concernées. De plus, les solutions doivent être non pas générales, mais spécifiques à chaque cas local.

9.7 MODES DE CULTURES

9.7.1 Introduction

Il ressort des investigations effectuées sur le terrain dans le cadre de l'étude ainsi que des différents contacts avec les agriculteurs, les villageois et les responsables de l'ORMVATT que la production agricole est essentiellement destinée à l'auto-

consommation. Le premier souci de chaque agriculteur est de prévoir la couverture des besoins alimentaires annuels de sa famille, puis ceux de son troupeau.

En réalité, le paysan détermine la taille de son troupeau à partir de sa capacité à le nourrir et c'est ce qui explique la chute brutale du nombre de troupeaux en périodes de sécheresse.

Les productions destinées à la commercialisation ne viennent qu'en troisième priorité. Les paysans ne vendent leurs productions que si celles-ci sont excédentaires ou alors quand ils ont un besoin urgent d'argent. Dans ce dernier cas c'est habituellement le bétail qui est vendu le premier. Il existe seulement un petit nombre de paysans cultivant des produits destinés à la commercialisation, tels que le henné cultivé par exemple dans la région d'Oukhit caractérisée par une faible densité d'arbres par hectare, avec une taille de troupeau limitée et un système d'irrigation par pompage.

Dans la mesure où l'aire de l'étude est soumise à des contraintes de pénurie de ressources naturelles et à des conditions économiques défavorables, il a par conséquent été jugé plus approprié d'adopter le mode de cultures actuel comme base de l'évaluation économique. En effet, l'adoption d'un autre mode de cultures plus rentable, bien qu'il permette d'accroître le taux interne de rentabilité du projet, ne serait pas conforme aux réalités et conditions actuelles ou potentielles dans la mesure où l'objectif de la production reste la sécurité alimentaire des producteurs.

On peut, toutefois, raisonnablement préconiser l'augmentation de l'intensité des cultures de légumes qui permettent un revenu net plus élevé par mètre cube d'eau d'irrigation (voir Tableau 9.4). Ce mode est également assez proche de celui adopté par l'ORMVATT.

9.7.2 Intensité des cultures

Le Tableau 9.5 indique les normes d'intensités mensuelles et annuelles adoptées pour les cultures dans l'hypothèse de disponibilité de l'eau en quantité suffisante. Les palmiers sont supposés couvrir 40% des zones cultivées et la majorité de ces palmiers sont d'une qualité moyenne. Etant donné que les dattes sont soit consommées soit données au bétail et qu'un petit pourcentage seulement est destiné au marché, l'impact sur leur rentabilité sera forcément faible.

Selon le mode de cultures, les oliviers et autres arbres fruitiers comme les amandiers couvrent 28% des terrains. La luzerne en couvre 15% et est plantée sous les arbres.

La culture de henné est couplée avec celle de luzerne avec laquelle cette plante présente certaines affinités du point de vue croissance.

Les légumineuses sont également cultivées sous étage, et leur intensité de culture a été augmentée légèrement de 3% actuellement à 12%. L'intensité de culture des céréales est de 56%. Les céréales représentent l'essentiel de l'alimentation de la population.

Le blé et l'orge sont semés en Septembre-Octobre et récoltés en Avril-Mai. Le maïs est semé en Février et récolté en Mai. Le maïs est parfois semé en Juin-Juillet et récolté en Septembre-Octobre après une période de jachère. La production de maïs est destinée à l'alimentation tandis que son fourrage est utilisé pour l'alimentation du bétail.

L'intensité de culture annuelle est estimée à 151%, ce qui est inférieure à valeur estimée à 167% par l'ORMVATT pour le bassin de Ziz. L'intensité mensuelle n'atteint cependant pas cette valeur dans la mesure où l'étalement des cultures de céréales et de légumineuses sur 5 et 4 mois respectivement a entraîné une atténuation de l'intensité. Il est supposé que 12% des terres sont semées en céréales en Octobre, et qu'un ensemencement de 11% se fait par mois de Novembre à Février inclus.

La moisson commence à la fin de Janvier et continue jusqu'en fin Mai. Les légumineuses sont plantées de Janvier à fin-Avril avec un accroissement de 3% par mois. La moisson des cultures plantées les premières se termine en fin-Avril et celle des cultures plantées les dernières se termine en fin-Juillet.

L'étalement des cultures est bénéfique et avantageux. Il permet de réduire la demande de pointe en eau et les besoins de labour. Il réduit la demande et le coût de stockage et permet enfin aux producteurs de pouvoir disposer des produits sur une plus longue période.

Le Tableau 9.6 montre l'intensité de cultures pour une combinaison type de cultures. Il est supposé que les produits maraîchers, la luzerne et la plupart des céréales sont cultivés sous étage. Les légumineuses et la luzerne étant grandes consommatrices d'eau, bénéficieraient de l'ombre des arbres pour réduire leur évapotranspiration et par conséquent leurs besoins en eau. Les cultures sous étage présentent d'autres avantages : la même terre peut être exploitée au moins deux fois par an ; de même, sont réduits les efforts de paysans en matière de labour, d'irrigation, de désherbage, de fertilisation et autres. De plus, l'efficacité de l'irrigation est augmenté alors que les pertes d'eau sont réduites.

Les recherches sur le terrain ont montré de toute évidence que les intensités données au Tableau 9.6 n'ont pu être atteintes à cause de la sécheresse et donc du manque d'eau. L'ORMVATT procède actuellement à l'étude des coefficients techniques de l'expérience agricole du bassin du Rhéris, mais malheureusement il n'a pas été possible d'avoir accès à ces données. En général, les agriculteurs estiment que le niveau des productions agricoles pendant la saison sèche représente 25% à 40% de la moyenne obtenue en saison pluvieuse.

Les intensités de cultures décrites ci-dessus ont été envisagées pour le cas "avec projet" (c'est-à-dire en supposant une disponibilité suffisante en eau). Pour le cas "sans projet", les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- Palmiers : intensité inchangée (c'est à dire 70 arbres par hectare) mais 40% seulement des arbres sont productifs.
- Oliviers et autres arbres : intensité inchangée (soit 70 arbres par hectare) avec une productivité plus faible.
- Céréales : l'intensité s'abaisse à 40% par rapport au cas optimum.
- Maraîchage : l'intensité descend à 40%.
- Luzerne : les paysans donneraient vraisemblablement une certaine préférence à cette culture. L'intensité est supposée inchangée bien que la productivité soit considérablement plus faible.

En prenant en considération tous ces facteurs, l'intensité des cultures est estimée à 111%. En d'autres termes, il y aurait une baisse de l'ordre de 25% d'intensité entre les cas "avec" et "sans" projet.

9.7.3 Rendement des cultures

La baisse d'intensité des cultures s'accompagne d'une chute de la production due principalement au manque d'eau (bien que d'autres facteurs tels que le taux d'utilisation des engrais, la détérioration des conditions du sol et l'âge des arbres puissent pouvoir intervenir).

Les variations de productivité sont extrêmes. Les investigations effectuées sur le terrain, les discussions avec l'ORMVATT et l'examen des études antérieures montrent une production annuelle variant de 1 à 200 kg par arbre pour les dattes, de 1 à 40 kg par arbre pour les olives, de 500 kg à 6.400 kg par ha pour les céréales, de 5.000 à 70.000 kg par hectare pour la luzerne.

Le Tableau 9.7 montre les rendements estimés et utilisés pour l'évaluation. Dans le cas "sans" projet, les valeurs extrêmes les plus faibles sont ignorées et des niveaux plus élevés de productivité sont supposés, représentant ainsi une solution modérée en termes de bénéfices attendus du présent projet.

Dans le cas "avec" projet, des rendements élevés sont attribués à la luzerne, au maraîchage et aux céréales étant donné que les paysans donneront la priorité à ces cultures pour l'auto-consommation et pour l'alimentation du bétail, et que d'autre part, il y aura suffisamment d'eau pour subvenir aux besoins de ces cultures.

Des rendements plus faibles sont adoptés pour les dattes et les olives dans le cas "avec" projet (30 kg par unité pour les dattes par exemple à comparer avec les 21 kg/unité réalisés actuellement à Goulmima) car les agriculteurs leur donneront une importance moindre. Cependant, la productivité pourrait être bien plus importante si le projet était accompagné par des programmes de promotion et d'assistance technique fournis par l'ORMVATT.

9.8 BESOINS EN EAU POUR L'IRRIGATION

9.8.1 Introduction

Dans la condition idéale, les besoins les plus sûrs en eau pour l'irrigation sont dérivés de l'expérience sur le terrain. Les données collectées sur le terrain découleraient de l'interaction entre les cultures concernées et leur environnement, et elles reflèteraient la situation actuelle. Les besoins en eau pour l'irrigation des cultures dépendent essentiellement de l'étape de développement atteint par les cultures et des conditions climatiques de leur environnement.

Malheureusement aucune expérience sur le terrain n'a encore été réalisée dans l'aire de l'étude. Par conséquent, il ne serait pas possible de confirmer l'approche théorique pour déterminer les besoins en eau pour l'irrigation. De même, on ne pourrait calculer le rendement en fonction de l'utilisation d'eau.

9.8.2 Besoins en eau

Les besoins nets mensuels et annuels en eau d'irrigation ont été calculés à partir de la formule de Blaney - Griddle et les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 9.8. Les besoins directs ainsi que les besoins dérivés ont été calculés à l'aide des formules suivantes :

i) Pour un mode de culture simple

$$BC = \frac{BNC}{EID}$$

$$BA = \frac{BNA \times FPA}{EID}$$

où :

BC = Besoin des cultures
BA = Besoin des arbres
BNC = Besoin net des cultures
BNA = Besoin net des arbres
FPA = Facteur de production des arbres = 72%
EID = Efficacité de l'irrigation directe = 80%.

ii) Pour un mode de culture intensif (cultures sous-étage)

Les besoins ne sont pas déterminés uniquement par l'addition des besoins pour les arbres et ceux de cultures, autrement le système perdrait un de ses avantages décrits précédemment. Les fonctions de production utilisées dans la formule ci-après dépendent des conditions climatiques, de la taille et de la densité des arbres ainsi que des superficies couvertes par les cultures pratiquées sous étage.

$$BCA = \frac{BNC \times FPSE}{EID}$$

où :

BCA = Besoins des cultures et arbres
FPSE = Facteur de production pour culture sous étage
(72% pour les palmiers et 80% pour les oliviers).

Le Tableau 9.9 montre les besoins mensuels et annuels d'irrigation directe pour les mode de cultures concernés. Ceux-ci varieront d'un site de barrage à l'autre. En ce qui concerne les 3 sites de barrages à évaluer, les besoins dérivés mensuels et annuels en eau d'irrigation sont indiqués au Tableau 5.10 pour Timkit, Oukhit, Tinejdad et Touroug et sont basés sur les coefficients de transfert ci-après :

| | | |
|----------|---|-----|
| Timkit | : | 90% |
| Oukhit | : | 90% |
| Touroug | : | 80% |
| Tinejdad | : | 70% |

Les besoins directs d'irrigation pour la région de Tinejdad devraient être augmentés d'environ 10% pour tenir compte des besoins de lessivage.

9.9 BESOINS EN EAU POUR LE BETAIL

L'élevage commercial n'existe pas dans le bassin du Rhéris. La consommation d'eau dans le secteur dépend de la disponibilité et de l'emplacement des sources d'eau. Il y a peu d'abreuvoirs construits dans la région et il n'existe aucun programme bien défini de commercialisation du bétail; elle s'effectue actuellement sur une base informelle par les paysans qui emmènent leurs bêtes aux souks.

Le manque d'eau dans la région se traduit par une faible production de lait. Les paysans estiment que les vaches de la région produisent en moyenne 2 litres de lait seulement (avec une consommation de 5 à 8 litres d'eau par jour). Les moutons et les chèvres consomment environ 2 litres d'eau par jour.

Ces moyennes se situent bien au dessous des normes internationales. Un premier objectif serait de faire produire par chaque vache 15 litres de lait par jour, représentant un besoin en eau de 60 litres. Les bêtes plus petites devraient consommer environ 8 litres d'eau par jour, qui est le niveau prévu par les normes internationales.

Il a été compris que l'ORMVATT lancerait des programmes d'amélioration de la productivité du secteur. Entretiens, certaines améliorations pourront découler du forage de nouveaux puits qui auront un impact positif sur l'agriculture grâce aux nouvelles disponibilités en eau procurée par la construction de petits barrages.

9.10 ALIMENTATION EN EAU POTABLE

9.10.1 Situation actuelle

En 1988, il a été estimé que 32% de la population du bassin du Rhéris bénéficiait d'une alimentation en eau potable tandis que 11% se ravitaillait aux fontaines et 56% aux puits, Khettaras ou sources (voir Tableau 9.11).

Le nombre de puits, sources et khattaras situés dans le bassin du Rhéris est indiqué au Tableau 9.12. Les données pourraient cependant être erronées pour les raisons suivantes :

- Au cours des dernières années, le nombre de puits a connu une augmentation parce que les gens ont commencé à creuser leur propre puits dans leur concession.
- Dans certains cas, bien qu'ils ont un propre puits, les gens utilisent l'eau des sources et khattaras pour la boisson tandis que l'eau des puits est utilisée pour les besoins ménagers, l'irrigation et l'alimentation du bétail.
- Une séguia peut desservir plus d'un village à la fois.
- La sécheresse a entraîné la baisse du nombre de khattaras qui sont graduellement remplacés par des puits.

Les réseaux d'alimentation en eau ont jusqu'ici été confinés dans les Centres Autonomes ou les principaux Centres Ruraux. Comme le montre le Tableau 9.13, la demande en eau est déterminée par l'ONEP sur la base d'un coefficient de 1 l/s pour 1.000 habitants.

Les investigations sur le terrain ont montré que les habitants s'alimentant aux sources naturelles d'eau (puits, source khattaras) consomment de 10 à 20 l/j/hab. La variation dépend de l'accessibilité de la source d'eau. Cependant, ce critère ne pourra être maintenu pour longtemps. La prochaine étape devrait logiquement être la construction de châteaux d'eau et l'installation de pompes dans les puits. En fait, plusieurs châteaux d'eau existent dans les régions de Tinejda et Tinerhir, et plusieurs puits ont été équipés de pompes qui sont cependant utilisées uniquement pour les besoins d'irrigation.

9.10.2 Demande future

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour la projection de la demande en eau potable. Compte tenu d'un certain instinct naturel et des coutumes sociales des habitants ruraux en matière d'usage de l'eau.

La demande en eau des zones rurales ne saurait connaître un accroissement aussi vertigineux que celle de populations des centres urbains qui sont équipés d'installations d'eau courante. On a retenu l'hypothèse que la demande en eau par tête devrait augmenter de 15 l/j/hab en 1990 à 40 l/j/hab en 2020 sur la base de la demande minimum en eau indiquée au Tableau 9.14. L'augmentation devrait s'accélérer avec l'introduction de pompes,

mais elle baisserait graduellement par la suite. Le Tableau 9.15 indique les demandes minimum et maximum par tête pour les zones rurales en 2020.

Bien que le capital à investir pour desservir en eau une population éparpillée soit important, son impact sur l'amélioration des conditions sanitaires sera considérable.

Les coefficients donnés au Tableau 9.16 sont utilisés pour la projection de la consommation future. Les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- Les zones rurales non équipées de réseaux seront alimentées en eau suivant la demande minimale jusqu'en 1999 puis suivant la demande maximale au-delà de cette date.
- Les zones rurales adjacentes aux centres urbains seront approvisionnées selon la demande maximale en eau.
- Les centres ruraux seront approvisionnés en eau selon les prévisions des besoins indiquées au Tableau 9.16.

Le Tableau 9.17 résume la demande en eau potable selon les zones ou localisations. La demande en eau de Tinejda et Tinerhir occupera environ 45% de la demande totale vers l'année 2020. Sur toute la période de projection, la demande totale devrait s'accroître à un taux de l'ordre de 5,4% par an.

CHAPITRE 10

FORMULATION DU PLAN DE BASE

10.1 RESSOURCES POTENTIELLES EN EAU

Le potentiel des ressources en eau de surface et en eaux souterraines a été étudié dans le bassin de l'oued Rhéris. Les régions à étudier sont le Haut Atlas et l'Anti Atlas dans la région montagneuse et la région à fortes pentes en aval. La région plate en aval a été exclue de cette étude à cause de son état sec pendant l'année. Le potentiel de la nappe phréatique a été évalué à deux niveaux en tant que nappe phréatique des dépôts d'alluvions d'une part et nappe phréatique de formation rocheuse d'autre part. Le bassin versant à évaluer couvre environ 10.565 km² et se trouve en amont de Megta Sfa car il n'y a pas de région agricole prometteuse en aval de Megta Sfa, et les limites de la nappe phréatique dans cette région sont compliquées à cause du tracé de l'oued Rhéris à proximité de l'oued Ziz.

10.1.1 Potentiel en eau de surface

Le potentiel en eau de surface pour la région montagneuse et à fortes pentes a été évalué. Les jauges d'écoulement de Tadirhoust et d'Ait Bouijane ont été adoptées pour l'évaluation avec 26 années d'enregistrements annuels disponibles de 1961 à 1986. Le potentiel en eau de surface de 1978 à 1986 a également été évalué afin de pouvoir effectuer une comparaison avec le potentiel de la nappe phréatique évalué dans le paragraphe suivant pour la période 1978-1987. Les résultats de l'étude du potentiel en eau de surface se présente comme suit :

(Unité : million de m³/an)

| Type de région | Précipitations | Potentiel en eau de surface |
|------------------------|----------------|-----------------------------|
| Région montagneuse | | |
| Haut Atlas | 732 | 77 |
| Anti Atlas | 300 | 23 |
| Région à fortes pentes | | |
| | 461 | 29 |
| TOTAL | 1.493 | 129 |

Le potentiel en eau de surface (61 millions de m³) évalué à partir des données de 1978 à 1986 représente environ la moitié de celui (129 M.m³) évalué à partir des données de 1961 à 1986 comme l'indique le Tableau ci-dessus; et ceci parce que le volume d'écoulement annuel a tendance à diminuer d'année en année depuis la fin des années 1970. La décennie 1960 a connu plusieurs années d'abondance avec notamment 1965 comme année de maximum annuel enregistré. D'autre part, ce tableau indique que les années 1980

sont des années de sécheresse avec notamment 1983 comme année de minimum annuel enregistré.

10.1.2 Potentiel de développement de la nappe phréatique

Suivant les résultats de l'étude hydro-géologique, le potentiel de développement de la nappe phréatique est résumé comme suit :

- La nappe phréatique confinée dans les formations du Jurassique/Crétacé et la nappe phréatique non confinée dans les dépôts d'alluvions peuvent être évaluées comme étant d'excellentes ressources en eaux souterraines avec un haut potentiel de développement.
- La nappe phréatique confinée dans les formations du Dévonien peut être considérée comme étant non appropriée pour l'irrigation et l'eau potable à cause de sa salinité élevée et des caractéristiques non connues de la formation.

Le potentiel de développement de la nappe phréatique dans le bassin révélé par le calcul du bilan d'eau est résumé dans le tableau suivant (nombres exprimés en millions de mètres cubes par an) :

| Région | Précip. | Débit du cours d'eau | Nappe Phréatique dans le dépôt d'alluvions | Nappe Phréatique dans des formations rocheuses |
|-------------------------|---------|----------------------|--|--|
| Haut Atlas | 487 | 43 | 5 | 114 |
| Anti Atlas | 293 | 8 | 11 | 0 |
| Régions à fortes pentes | 343 | 10 | 0 | 0 |
| Total | 1.123 | 61 | 16 | 114 |

Note : Le bassin versant total couvre environ 10.565 km²
Les données utilisées pour le calcul du bilan d'eau sont celles de 1978 - 1986

Le potentiel de développement de la nappe phréatique des formations du Jurassique/Crétacé est plus élevé que celui des dépôts

d'alluvions, en général . Les sub-divisions N° 1 , 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, et 16 sont considérées comme ayant un potentiel élevé de développement de la nappe phréatique, surtout les N° 5, 11 et 16 qui sont considérées comme des sub-divisions très prometteuses.

- Quant à la nappe phréatique non confinée dans les dépôts d'alluvions , les sub-divisions N° 10, 11, 12, 14, 15, 17 et 19 peuvent être considérées comme ayant un débit entrant élevé (Voir Figure 6.12). L'utilisation de l'eau pour l'irrigation et pour usage ménager dépend principalement de cette nappe phréatique.

Dans le cas où l'on faciliterait le développement de la nappe phréatique dans le bassin, il est nécessaire de considérer les influences sur le mouvement de la nappe phréatique d'autres sub-divisions car les sub-divisions sont interconnectées.

- Puisque le marnage de la nappe phréatique des dépôts d'alluvions s'est produit constamment le long de l'oued Rhéris et de l'oued Todrha entre 1978 et 1987, il y a la possibilité du marnage continu de la nappe phréatique si les mêmes conditions (manque d'eau d'infiltration vers la nappe phréatique) persistent.

10.2 CHOIX DES SITES EVENTUELLEMENT CONVENABLES DE BARRAGES

10.2.1 Introduction

Dans le but de trouver des emplacements éventuellement appropriés pour la construction des barrages dans le bassin de l'oued Rhéris, les actions suivantes ont été réalisées dans le cadre des Parties "A" et " B " :

- a) Etude des barrages existants.
- b) Etude de la carte topographique à l'échelle de 1/100.000.
- c) Etude des emplacements des barrages proposés dans une étude précédente par l'A.D.I. et d'autres organismes.
- d) Reconnaissance sur le terrain.
- e) Evaluation préliminaire de chaque site de barrage sur les points de vue géologique, topographique, hydrologique et selon la demande en eau, la ré-alimentation des nappes phréatiques ainsi que les aspects de l'environnement, etc...

La reconnaissance sur le terrain et l'évaluation préliminaire de chaque site ont été réalisées par l'Equipe d'Etude de la JICA en collaboration avec le personnel de la DRH d'Errachidia et de l'Administration de l'Hydraulique à Rabat.

Les travaux d'évaluation des données recueillies et des résultats de l'étude dans ses divers aspects ont été effectués par la suite à Tokyo par l'Equipe d'Etude de la JICA.

10.2.2 Découvertes des sites éventuels de barrages

A travers les actions 1, 2 et 3 mentionnées ci-dessus, 32 emplacements de barrages ont été identifiés dans l'aire de l'étude. La plupart des sites se trouvent sur la moitié Ouest du bassin de l'oued Rhéris. Dans la moitié Est du bassin, s'étend une vaste plaine plate et, du point de vue topographique, les emplacements potentiels de barrages sont moins nombreux.

Etant donné le caractère critique de la pénurie d'eau dans les zones en aval les oueds Rhéris et Todrha, notamment dans les centres de Tinejda, Mellab et Jorf, l'Equipe d'Etude de la JICA a refait, en collaboration avec le personnel de contrepartie de la Direction de la Région Hydraulique (DRH), une nouvelle reconnaissance en Juillet 1989 dans la zone aval de l'oued Tarda et sur plusieurs affluents de l'oued Todrha à l'Ouest de Tinejda. Cependant, il n'a pas été possible de trouver de sites de barrages capables de fournir de l'eau à ces zones déficitaires. La Figure 10.1 montre l'emplacement de chaque site de barrage .

10.2.3 Topographie et géologie générales

1) Topographie

L'oued Rhéris prend sa source des chaînes de montagnes du Haut Atlas et coule de l'Ouest-Sud-Ouest vers l'Est-Nord-Est.

Par conséquent, dans leur partie amont, de nombreux affluents de l'oued Rhéris coulent également de l'Ouest-Sud-Ouest vers l'Est-Nord-Est. Les parties centrales de l'oued Todrha, de l'oued Tanguerfa et de l'oued Rhéris coulent du Nord au Sud suivant des gorges profondes. Les parties aval de ces oueds partent de leurs gorges respectives et coulent sur une large plaine alluviale avec des pentes de 1/200 à 1/400.

En fin de compte, ces oueds se joignent à l'affluent principal du Rhéris près de la localité d'Erfoud. L'oued Rhéris tarit finalement dans le désert saharien à l'extrémité Sud de la ville de Rissani.

En divers endroits où les affluents du Rhéris rejoignent la plaine plate et/ou la vallée, l'écoulement en surface s'infiltré fréquemment dans les couches souterraines.