

ETUDE DU PROJET DE CONSTRUCTION DES BARRAGES
DANS LE BASSIN VERSANT DU RHERIS

RAPPORT FINAL
VOLUME ANNEXE

MARS 1990

ROYAUME DU MAROC

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE
ET DE LA FORMATION DES CADRES
ADMINISTRATION DE L'HYDRAULIQUE
DIRECTION DES AMENAGEMENTS
HYDRAULIQUES

**ETUDE DU PROJET DE CONSTRUCTION DES BARRAGES
DANS LE BASSIN VERSANT DU RHERIS**

**RAPPORT FINAL
VOLUME ANNEXE**

MARS 1990



AGENCE JAPONAISE
DE COOPERATION
INTERNATIONALE

S S S
90-044(2/3)

41
61.7
333

ROYAUME DU MAROC
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE
ET DE LA FORMATION DES CADRES
ADMINISTRATION DE L'HYDRAULIQUE
DIRECTION DES AMENAGEMENTS
HYDRAULIQUES

**ETUDE DU PROJET DE CONSTRUCTION DES BARRAGES
DANS LE BASSIN VERSANT DU RHERIS**

**RAPPORT FINAL
VOLUME ANNEXE**

JICA LIBRARY



1083266151

21306

MARS 1990



AGENCE JAPONAISE
DE COOPERATION
INTERNATIONALE

国際協力事業団

21306

TABLE DES MATIERES

| | | Page |
|-------|---|------|
| I | ETUDE METEO-HYDROLOGIQUE | |
| 1.1 | OBJECTIFS DE L'ETUDE | 1.1 |
| 1.2 | CONTENU DE L'ETUDE | 1.1 |
| 1.2.1 | Etude météorologique | 1.1 |
| 1.2.2 | Etude hydrologique | 1.1 |
| 1.2.3 | Etude supplémentaire | 1.3 |
| 1.3 | COLLECTE DE DONNEES | 1.4 |
| 1.3.1 | Etude météorologique | 1.4 |
| 1.3.2 | Données hydrologiques | 1.5 |
| 1.4 | ETUDE HYDROLOGIQUE | 1.6 |
| 1.4.1 | Etude des hautes eaux | 1.6 |
| 1.4.2 | Etude des basses eaux | 1.11 |
| 1.4.3 | Etude supplémentaire | 1.12 |
| 1.5 | PLAN DE CONTROLE DES CRUES | 1.13 |
| 1.5.1 | Point de base | 1.13 |
| 1.5.2 | Répartition probable des crues | 1.13 |
| 1.5.3 | Echelle de projet | 1.13 |
| 1.5.4 | Plan de contrôle des crues | 1.14 |
| 1.6 | PLAN DE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU | 1.15 |
| 1.6.1 | Généralités | 1.15 |
| 1.6.2 | Débit entrant dans la retenue | 1.15 |
| 1.6.3 | Aire d'impact | 1.15 |
| 1.6.4 | Etude du bilan de l'eau | 1.16 |
| 1.6.5 | Plan d'utilisation des ressources en eau | 1.16 |
| 1.7 | ECHELLE DE PROJET DE LA RETENUE | 1.17 |
| 1.7.1 | Généralités | 1.17 |
| 1.7.2 | Retenue en cas de pertes par évaporation | 1.17 |
| 1.7.3 | Retenue pour les fuites par percolation | 1.18 |
| 1.7.4 | Retenue effective pour l'aire d'impact | 1.18 |
| 1.7.5 | Retenue de sédiments | 1.18 |
| 1.7.6 | Crue de projet pour l'évacuateur | 1.19 |
| 1.7.7 | Echelle de projet de la retenue | 1.19 |

| | | |
|-------|--|------|
| II | GEOLOGIE | |
| 2.1 | INTRODUCTION | 2.1 |
| 2.2 | GEOLOGIE REGIONAL DU BASSIN DU RHERIS ET DE SES ENVIRONS | 2.2 |
| 2.2.1 | Topographie de la région | 2.2 |
| 2.2.2 | Géologie de la région | 2.2 |
| 2.2.3 | Structure géologique | 2.3 |
| 2.3 | SEISMICITE | 2.4 |
| 2.4 | GEOLOGIE DES SITES DE BARRAGES | 2.8 |
| 2.4.1 | Quantités des investigations sur le terrain | 2.8 |
| 2.4.2 | Géologie du site de barrage de Timkit (N°16) ... | 2.10 |
| 2.4.3 | Géologie du site de barrage d'Oukhitt (N°28) ... | 2.13 |
| 2.4.4 | Géologie du site de barrage d'Oulhou (N°29) | 2.16 |
| 2.5 | CONCLUSION | 2.18 |
| III | HYDRO-GEOLOGIE | |
| 3.1 | INTRODUCTION | 3.1 |
| 3.2 | CONDITIONS TOPOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES DE L'AIRE DE L'ETUDE | 3.1 |
| 3.2.1 | Conditions topographiques | 3.1 |
| 3.2.2 | Conditions géologiques | 3.2 |
| 3.3 | INVESTIGATIONS ADDITIONNELLES | 3.2 |
| 3.3.1 | Collecte et analyse des données | 3.2 |
| 3.3.2 | Etude de la résistivité électrique | 3.4 |
| 3.3.3 | Mesure du niveau des eaux | 3.6 |
| 3.3.4 | Test de pompage | 3.8 |
| 3.3.5 | Test d'infiltration | 3.8 |
| 3.3.6 | Détermination de l'age des eaux | 3.8 |
| 3.3.7 | Investigations sur la qualité de l'eau | 3.9 |
| 3.3.8 | Observation du niveau des nappes phréatiques ... | 3.10 |
| 3.4 | ANALYSE HYDRO-GEOLOGIQUE | 3.11 |
| 3.4.1 | Structure hydro-géologique | 3.11 |
| 3.4.2 | Ecoulement des eaux souterraines et système de recharge | 3.12 |
| 3.4.3 | Détermination de la division hydrologique et de la balance en eau | 3.12 |
| 3.4.4 | Potentiel de développement de la nappe phréatique | 3.17 |

| | | |
|-------|---|------|
| 3.5 | AVANT PROJET DES METHODES ET INSTALLATIONS DE RECHARGE DE LA NAPPE | 3.19 |
| 3.5.1 | Concept de base | 3.19 |
| 3.5.2 | Installation de pompage | 3.23 |
| IV | SOCIO-ECONOMIE | |
| 4.1 | BASE DE DONNEES SOMMAIRE POUR LES TRENTE DEUX SITES DE BARRAGE POTENTIELS | 4.1 |
| 4.1.1 | Introduction | 4.1 |
| 4.1.2 | Groupe 1 : Sites de barrage dans la région d'ASSOUL | 4.3 |
| 4.1.3 | Groupe 2 : Amellagou au Nord de Goulmima Sites 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14 | 4.5 |
| 4.1.4 | Groupe 3 : Commune d'Arhbalou Sites de barrage 15 et 16 | 4.8 |
| 4.1.5 | Groupe 4 : Oued Todrha : Sites 17, 18, 19 et 20 | 4.10 |
| 4.1.6 | Groupe 5 : Zones situées au Sud de l'Oued Rhéris : Sites de barrage N° 21 à 32 | 4.12 |
| 4.2 | BASE ECONOMIQUE ET DONNEES DE BASE | 4.17 |
| 4.2.1 | La base économique | 4.17 |
| 4.2.2 | Infrastructures sociales de base | 4.18 |
| 4.3 | ASPECTS DEMOGRAPHIQUES | 4.21 |
| 4.3.1 | Introduction | 4.21 |
| 4.3.2 | Population actuelle | 4.21 |
| 4.3.3 | Les tendances de la population | 4.22 |
| 4.3.4 | Prévisions de la population | 4.22 |
| 4.4 | DESTINATION DES SOLS ET DROITS D'USAGE DE L'EAU ET DE PROPRIETE | 4.23 |
| 4.4.1 | Introduction | 4.23 |
| 4.4.2 | Aspects sociaux et droits d'usage de l'eau et de propriété | 4.25 |
| 4.5 | DONNEES DE BASE D'ALIMENTATION EN EAU | 4.26 |
| 4.5.1 | Introduction | 4.26 |
| 4.5.2 | Agriculture | 4.26 |
| 4.5.3 | Eau potable | 4.28 |
| 4.5.4 | Prévision de la demande en eau | 4.29 |
| 4.6 | EVALUATION SOCIO-ECONOMIQUE DE SITES DE BARRAGES CHOISIS : METHODOLOGIE POUR L'EVALUATION DU PROJET | 4.31 |
| 4.6.1 | Introduction | 4.31 |
| 4.6.2 | Facteurs de contrainte | 4.33 |
| 4.6.3 | Avantages | 4.35 |
| 4.6.4 | Durée de vie du projet | 4.40 |

LISTE DES TABLEAUX

- 1.1 SITES DE BARRAGES PROPOSES
- 1.2 PLUVIOMETRIE ANNUELLE
- 1.3 PLUVIOMETRIE MENSUELLE A TADIRHOUST
- 1.4 EVAPORATION MOYENNE JOURNALIERE
- 1.5 TEMPERATURE MOYENNE JOURNALIERE
- 1.6 VITESSE MOYENNE JOURNALIERE ET DIRECTION DU VENT
- 1.7 DEBIT MAXIMUM ANNUEL DE POINTE
- 1.8 ECOULEMENT MOYEN ANNUEL
- 1.9 ECOULEMENT MOYEN MENSUEL A LA STATION DE TADIRHOUST
- 1.10 DEBIT SOLIDE MENSUEL EN SUSPENSION A TADIRHOUST
- 1.11 PLUVIOMETRIE PROBABLE 1 JOUR / 3 JOURS
- 1.12 FONCTION DE RETENUE DES SOUS-BASSINS
- 1.13 FONCTION DE RETENUE DES CHENAUX
- 1.14 DONNEES GENERALES DES BARRAGES DU BASSIN D'OUARZAZATE (OUED DRAA)
- 1.15 RETENUE REQUISE
- 1.16 ZONES AGRICOLES EXISTANTES OU POTENTIELLES
- 1.17 RUISSELLEMENT ANNUEL DANS LES STATIONS DU BASSIN D'OUARZAZATE

- 2.4.1 TOPOGRAPHIE ET GEOLOGIE DES SITES DE BARRAGE (5)

- 3.3.1 PUIITS PROFONDS FORES EXISTANTS (2)
- 3.3.2 PUIITS D'OBSERVATION DU NIVEAU DE LA NAPPE PHREATIQUE (2)
- 3.3.3 RELATION ENTRE GEOLOGIE ET VALEURS DE LA RESISTIVITE ELECTRIQUE
- 3.3.4 RESULTATS DES MESURES DES NIVEAUX DES EAUX (5)
- 3.3.5 RESULTATS DES TESTS DE POMPAGE

- 3.3.6 ENREGISTREMENT DES FLUCTUATIONS DES EAUX SOUTERRAINES A GOULMIMA (2)
- 3.4.1 RESULTAT DU CALCUL DU BILAN EN EAU
- 3.4.2 PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE DANS LE BASSIN (1978-1987)
- 3.4.3 RUISSELLEMENT ET COULEMENT MOYENS ANNUELS (R)
- 3.4.4 DEBITS ENTRANT ET SORTANT DES NAPPES A TRAVERS LES DEPOTS ALLUVIAUX (RG)
- 3.4.5 DEBITS ENTRANT ET SORTANT DES NAPPES A TRAVERS LES FORMATIONS DU JURASSIQUE ET DU CRETACE (G)
- 3.4.6 CHANGEMENT DANS LE VOLUME DE LA NAPPE DANS LES DEPOTS ALLUVIAUX
- 3.4.7 UTILISATION DE L'EAU POUR L'IRRIGATION ET LA CONSOMMATION POTABLE
- 3.4.8 INFILTRATION DANS LES NAPPES A TRAVERS LES DEPOTS ALLUVIAUX
- 3.5.1 DEBIT DES EAUX LIBEREES DU BARRAGE HASSIN ADDAKHIL
- 4.2.1 INDICATEURS SOCIO-ECONOMIQUES DU MAROC
- 4.2.2 PRODUCTION MINIERE DANS LE BASSIN DU RHERIS
- 4.2.3 CONSTRUCTIONS DANS LES CENTRES URBAINS DE LA PROVINCE D'ERRACHIDIA (1983-1987)
- 4.2.4 FREQUENTATION DES HOTELS (Nombre)
- 4.2.5 ENSEIGNEMENT PRIMAIRE DANS LE BASSIN DU RHERIS
- 4.2.6 ECOLES ET ELEVES DANS LE BASSIN DU RHERIS (1989)
- 4.3.1 ESTIMATION DE LA POPULATION DANS LE BASSIN DU RHERIS
- 4.3.2 MOUVEMENTS MIGRATOIRES DANS LA PROVINCE D'ERRACHIDIA (1975 à 1982)
- 4.3.3 PROJECTIONS NATIONALE DE LA POPULATION (2007)
- 4.3.4 PROJECTIONS DE LA POPULATION DE LA PROVINCE D'ERRACHIDIA (1982 - 1990)
- 4.3.5 FACTEURS D'ACCROISSEMENT UTILISES POUR LA PROJECTION DE LA POPULATION DU BASSIN DU RHERIS (1989 - 2020)

- 4.3.6 PREVISIONS DE LA POPULATION DANS LE BASSIN DU RHERIS
- 4.5.1 APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DU BASSIN DU RHERIS
- 4.5.2 NOMBRE DE PUIITS , SOURCES ET KHETTARAS DANS LE BASSIN DU RHERIS
- 4.5.3 CARACTERISTIQUES DU RESEAU EXISTANT
- 4.5.4 CONSOMMATION D'EAU A TINEJDAD
- 4.5.5 CONSOMMATION D'EAU A MELLAAB
- 4.5.6 CONSOMMATION D'EAU A JORF
- 4.5.7 CONSOMMATION D'EAU A TADIRHOUST
- 4.5.8 CONSOMMATION D'EAU A AMELLAGOU
- 4.5.9 CONSOMMATION D'EAU A ASSOUL EN2020
- 4.5.10 ESTIMATION DE LA DEMANDE EN EAU
- 4.5.11 DEMANDE RURALE EN EAU
- 4.5.12 PRODUCTION ET CONSOMMATION MENSUELLES D'EAU
- 4.5.13 CONSOMMATION D'EAU A ERRACHIDIA
- 4.5.14 CONSOMMATION D'EAU A GOULMIMA
- 4.5.15 DEMANDE EN EAU PAR TETE (1989 - 2020)
- 4.5.16 DEMANDE EN EAU POTABLE
- 4.6.1 INTENSITE DES CULTURES PAR AN ET PAR MOIS
- 4.6.2 CHUTE DE RENDEMENT SELON LE DEFICIT D'EAU
- 4.6.3 ESTIMATION DE LA CONSOMMATION D'EAU
- 4.6.4 PRIX DU MARCHE DES PRODUITS AGRICOLES A ERRACHIDIA EN 1989
- 4.6.5 ESTIMATION DU REVENU BRUT
- 4.6.6 ESTIMATION DES EFFORTS DE CULTURE
- 4.6.7 ESTIMATION DES COUTS TOTAUX
- 4.6.8 ESTIMATION DU REVENU NET ET DE LA VALEUR AJOUTEE PAR HECTARE
- 4.6.9 BENEFICE NET ADDITIONNEL DANS L'AGRICULTURE

LISTE DES FIGURES

- 1.1 CARTE DE SITUATION DES STATIONS DE MESURES PLUVIOMETRIQUES
- 1.2 ORGANIGRAMME D'ETUDE DES HAUTES EAUX
- 1.3 ORGANIGRAMME D'ETUDE DES BASSES EAUX
- 1.4 DISPONIBILITE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES
- 1.5 DISPONIBILITE DES DONNEES DE MESURES DE NIVEAU ET D'ECOULEMENT DES EAUX
- 1.6 PLUVIOMETRIE, HORAIRE
- 1.7 COURBE DE DUREE DES PRECIPITATIONS
- 1.8 MODELE DE PLUVIOMETRIE HORAIRE DE PROJET
- 1.9 DIAGRAMME DU RESEAU D'OUEDS
- 1.10 CARTE DES SOUS-BASSINS
- 1.11 MODELE DU BASSIN ET DES COURS D'EAU
- 1.12 NIVEAU DES EAUX (CRUE DU 17/10/1979)
- 1.13 CAPACITE D'ECOULEMENT
- 1.14 COURBE S-Q DU CHENAL A L'AVAL (2)
- 1.15 COEFFICIENT PRIMAIRE DE RUISSELLEMENT
- 1.16 HYDROGRAPHES ESTIMES ET ENREGISTRES
- 1.17 DEBITS DE POINTE DE CRUE COMPARES
- 1.18 DISTRIBUTION PROBABLE DES DEBITS DE CRUE
- 1.19 DEBIT ENREGISTRE ET ESTIME (2)
- 1.20 ZONES AGRICOLES EXISTANTES ET POTENTIELLES
- 1.21 ECHELLE DU PLAN DE CONTROLE DES CRUES PAR DIGUE
- 1.22 LOCALISATION DES PLANS DE CONTROLE DES CRUES PAR DIGUE (2)
- 1.23 AIRE UTILE (2)
- 1.24 RESERVOIR OPTIMUM DU BARRAGE N°16
- 1.25 PERIODE PREVUE DE FONCTIONNEMENT DE LA RETENUE

- 1.26 HYDROGRAPHE DE CRUE POUR L'EVACUATEUR (2)

- 2.1 CARTE D'EPICENTRE DE SEISMES INFLUENTS
- 2.2 ANALYSE DE RISQUE SISMIQUE
- 2.3 CARTE GEOLOGIQUE DU SITE DE TIMKIT
- 2.4 COUPE GEOLOGIQUE DU SITE DE TIMKIT
- 2.5 CARTE GEOLOGIQUE DU SITE D'OUKHIT
- 2.6 COUPE GEOLOGIQUE DU SITE D'OUKHIT
- 2.7 CARTE GEOLOGIQUE DU SITE D'OULHOU
- 2.8 COUPE GEOLOGIQUE DU SITE D'OULHOU
- 2.9 CARTE DE SITUATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DU SITE DE TIMKIT
- 2.10 CARTE DE SITUATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DU SITE D'OUKHIT
- 2.11 CARTE DE SITUATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DU SITE D'OULHOU
- 2.12 COUPE DE LUGEON VALUE DU SITE DE TIMKIT (N°16)

- 3.2.1 CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN
- 3.2.2 COUPE GEOLOGIQUE (3)
- 3.3.1 CARTE DE SITUATION DES PUIITS PROFONDS EXISTANTS
- 3.3.2 CARTE DE SITUATION DES PUIITS D'OBSERVATION DU NIVEAU DES NAPPES PHREATIQUES
- 3.3.3 ENREGISTREMENT DES FLUCTUATIONS DE NIVEAU DES NAPPES (4)
- 3.3.4 CARTE DE SITUATION DE L'ETUDE DE LA RESISTIVITE ELECTRIQUE
- 3.3.5 COUPE DE RESISTIVITE (4)
- 3.3.6 CARTE DE SITUATION DES POINTS DE MESURE DU NIVEAU DES EAUX
- 3.3.7 CARTE DES COURBES DE NIVEAU DES NAPPES PHREATIQUES NON CONFINÉES (DEPOTS ALLUVIAUX)
- 3.3.8 CARTE DE SURFACE PIEZOMETRIQUE DES NAPPES PHREATIQUES (CRETACE, JURASSIQUE)

- 3.3.9 ISO-CARTE DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (C.E) (CRETACE, JURASSIQUE)
- 3.3.10 ISO-CARTE DE LA VALEUR DE (C.E) (DEPOTS ALLUVIAUX)
- 3.3.11 PH (CRETACE, JURASSIQUE)
- 3.3.12 PH (DEPOTS ALLUVIAUX)
- 3.3.13 CARTE DE SITUATION DES TESTS DE POMPAGE DES TESTS D'INFILTRATION ET D'ENREGISTREMENT DU NIVEAU DES NAPPES PHREATIQUES)
- 3.3.14 LOGS DES PUIITS AUX STATIONS DE POMPAGE
- 3.3.15 RESULTATS DES TESTS D'INFILTRATION
- 3.3.16 CARTE DE SITUATION DES ECHANTILLONS POUR DETERMINATION DE L'AGE DES EAUX
- 3.3.17 DIAGRAMME DES TYPES
- 3.3.18 DIAGRAMME TRILINEAIRE
- 3.3.19 QUALITE DE L'EAU DANS LE BASSIN
- 3.3.20 COURBES DE FLUCTUATION DE LA NAPPE A GOULMIMA
- 3.4.1 COUPE SCHEMATIQUE MONTRANT LA STRUCTURE HYDROLOGIQUE
- 3.4.2 DETERMINATION DE LA SUBDIVISION HYDROGEOLOGIQUE
- 3.4.3 ORGANIGRAMME DE DETERMINATION DE L'EQUILIBRE EN EAU
- 3.4.4 QUATRE ENREGISTREMENTS REPRESENTATIFS DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE
- 3.4.5 PLUVIOMETRIE ANNUELLE PROBABLE
- 3.4.6 CARTE ISOHYETE (1978-1987)
- 3.4.7 CHANGEMENT DANS LE VOLUME DE BARRAGE DANS LES DEPOTS ALLUVIAUX
- 3.5.1 STRUCTURE DES PUIITS
- 3.5.2 DIAGRAMME ET DEBIT DE PUIITS DE POMPAGE (DEBIT CONTINU)

I. ETUDE METEO-HYDROLOGIQUE

1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs de l'étude sont de clarifier les conditions météorologiques et hydrologiques de la région de l'étude afin d'évaluer les sites de barrages identifiés en vue de l'efficacité de l'alimentation de l'eau et du contrôle des crues. La liste des sites de barrages identifiés est présentée dans le Tableau 1.1 et la localisation du bassin est indiquée dans la Figure 1.1.

1.2 CONTENU DE L'ETUDE

1.2.1 Etude météorologique

Le contenu de l'étude météorologique doit permettre :

- D'examiner les caractéristiques des précipitations sur une base horaire, journalière, mensuelle et annuelle.
- D'étudier le modèle saisonnier d'évaporation, de température ainsi que la vitesse et la direction du vent.

1.2.2 Etude hydrologique

Les études des basses et hautes eaux sont utilisées pour analyser l'hydrologie du bassin . Elles sont détaillées ci-dessous :

i) Etude des hautes eaux :

Les études des hautes eaux entreprises pour formuler le plan de contrôle des crues dans le bassin sont décrites comme suit. Elles sont divisées en 4 étapes majeures comme indiquées dans la Figure 1.2.

a) Etude des précipitations

La répartition des précipitations est déterminée en :

- Evaluant les précipitations probables de 1 jour et 3 jours par la méthode statistique.
- Examinant le modèle des précipitations horaires
- Décidant du modèle des précipitations

b) Modèle du bassin et des cours d'eau

Le modèle du bassin et des cours d'eau couvrant la région de l'étude est préparé. Les points de base tels que villes, confluents des oueds , stations de jaugeage du niveau de l'eau, sites de barrage existant et identifié, ... sont localisés dans le modèle. Le modèle des cours d'eau est développé sur la base du profil en travers des oueds et des données de profil en long . La

capacité d'écoulement de la rivière est évaluée par un calcul non-uniforme du débit.

c) Modèle des hautes eaux

Le modèle des hautes eaux est utilisé pour étudier le mécanisme des précipitations et de l'écoulement dans le bassin. Le modèle de fonction de la retenue qui est généralement utilisé pour l'étude des hautes eaux au Japon sera appliqué au bassin du Rhéris.

L'hydrographe des crues enregistrées est examiné pour vérifier l'adéquation du modèle au bassin. Les dommages des inondations qui se sont produits dans le passé sont examinés. Les niveaux de l'eau évalués par le modèle seront vérifiés sur la base des enregistrements et enquêtes effectuées dans le cadre des reconnaissances sur le terrain.

d) Répartition des débits de crue

La répartition des débits de crue est évaluée par les précipitations et le modèle des hautes eaux. Le plan de base pour le contrôle des crues dans le bassin est formulé sur la base de la répartition des débits de crue évalués.

e) Plan de contrôle des crues

Le plan de contrôle des crues est formulé sur la base de la répartition des débits de crue et la capacité actuelle d'écoulement des oueds. Le contrôle des crues par les barrages identifiés est adopté pour le plan. L'échelle du barrage est déterminée du point de vue de l'efficacité économique.

ii) Etude des basses eaux

Afin d'entreprendre l'étude des basses eaux, six points principaux sont examinés comme l'indique la Figure 1.3.

a) Etude des précipitations

Les stations de jaugeage des précipitations sont sélectionnées à partir de 28 stations localisées à l'intérieur et autour du bassin pour l'analyse des données. Les précipitations moyennes de base sont évaluées par la carte isohyète.

b) Division du bassin

Le bassin est divisé aux points d'équilibre des eaux qui sont déterminés en prenant en considération le système actuel et futur d'alimentation en eau.

c) Etude des basses eaux

Les basses eaux sont étudiées au préalable pour évaluer le volume du débit entrant dans les réservoirs identifiés sur la base des précipitations moyennes du bassin et des données enregistrées de l'écoulement. Ensuite l'étude des basses eaux par la méthode du Modèle de Réservoir est réalisée pour les sites de barrage choisis dans la première étape de sélection.

d) Plan d'alimentation en eau

Le plan d'alimentation en eau est formulé sur la base de l'eau fournie par le barrage et des besoins en eau en aval. L'équilibre de l'eau sous les conditions actuelles et futures dans le bassin de l'oued Rhéris est analysé par l'organigramme de la Figure 1.3.

e) Etudes des sédiments

Le débit entrant de sédiments dans chaque réservoir identifié est évalué sur la base des données des jauges de mesure du débit et des barrages tels que le barrage Hassan Addakhil et d'autres localisés à l'intérieur et autour du bassin.

f) Etude opérationnelle de réservoirs

La capacité optimum du réservoir dans chaque barrage identifié est étudié sur la base du débit entrant disponible dans l'étude des basses eaux et des besoins en eau évalués dans l'étude de la demande d'eau.

1.2.3 Etude supplémentaire

i) Installation de pluviomètres et observation des données

Deux pluviomètres automatiques sont nouvellement installés afin de mieux saisir la répartition des précipitations dans le bassin. La localisation de chaque pluviomètre est déterminée en tenant compte de la répartition dans la région des pluviomètres existants à l'intérieur et autour du bassin et de l'adéquation de l'opération et de l'entretien du pluviomètre. Les données des précipitations seront observées pendant la période d'étude.

ii) Mesure des crues

Le débit des crues est mesuré sur la base de la "méthode des 2 points". Cependant, la "méthode d'1 point" sera utilisée si les niveaux d'eau changent sensiblement au cours des mesures.

1.3 COLLECTE DE DONNEES

1.3.1 Etude météorologique

i) Précipitations

Il y a 28 stations de jaugeage à l'intérieur et autour de la région d'étude. La localisation de ces stations et la disponibilité de ces données sont indiquées dans les Figures 1.1 et 1.4. La carte isohyète produite sur la base des valeurs annuelles données dans la Figure 1.1 indique que les précipitations annuelles moyennes varient de 100 mm à 150 mm dans la basse plaine et de 200 mm à 300 mm dans la région montagneuse. Les précipitations annuelles dans chaque station sont indiquées dans le Tableau 1.2.

Les précipitations mensuelles moyennes indiquées dans le Tableau 1.3 varient de 0,4 mm en Juillet à 23,1 mm en Octobre à la station de jaugeage de Tadirhoust localisée dans la partie centrale du bassin Rhéris.

ii) Evaporation

La valeur annuelle de l'évaporation mesurée par bac est de 2.597 mm à Tadirhoust , 3.139 mm a Aït Bouijane, 2.582 mm à Tirga et 4.344 mm à Erfoud Radier comme l'indique le Tableau 1.4.

iii) Température

La température moyenne annuelle recueillie dans le Tableau 1.5 varie de 9,1°C en Janvier à 30,7°C en Août à la station de jaugeage de Tadirhoust.

iv) Vitesse et direction du vent

La vitesse du vent est de 1,5 m/s en décembre et de 2,5 m/s en Juillet à Tadirhoust et 1,6 m/s en décembre et 3,2 m/s en Juillet à Aït Bouijane comme l'indique le Tableau 1.6.

Les directions du vent telles que présentées dans le Tableau 1.6 sont Est et / ou Nord-Est de Janvier à Août et Est de Septembre à Décembre à Tadirhoust, Est et parfois Ouest pendant toute l'année à la station de jaugeage d'Aït Bouijane.

v) Autres données météorologiques

D'autres données météorologiques telles que les durées d'humidité relative ou d'ensoleillement ne sont pas disponibles à l'intérieur et autour du bassin.

1.3.2 Données hydrologiques

i) Hautes eaux

L'écoulement de pointe maximum annuel de crue est indiqué dans le Tableau 1.7. L'écoulement maximum de pointe enregistré était de $3.134 \text{ m}^3/\text{s}$ en novembre 1965 à la station de Tadirhoust.

ii) Basses eaux

L'écoulement moyen journalier aux jauges de Tadirhoust, Aït Bouijane, Hamida et Maroutcha a été recueilli. L'écoulement journalier moyen annuel est indiqué dans le Tableau 1.8. L'écoulement moyen mensuel à la jauge de Tadirhoust est résumé dans le Tableau 1.9. La disponibilité des données du niveau de l'eau et les enregistrements du débit sont indiqués dans la Figure 1.5.

iii) Les transports solides

Les transports solides en suspension mesurés à la jauge de Tadirhoust sont indiqués dans le Tableau 1.10.

1.4 ETUDE HYDROLOGIQUE

1.4.1 Etude des hautes eaux

i) Etude des précipitations

Les précipitations sur 1 jour et sur 3 jours aux stations de jaugeage des précipitations sont évaluées par l'analyse de fréquence comme l'indique le Tableau 1.11. Les précipitations probables sur 3 jours tous les 25 ans sont évaluées à 108 mm à Tadirhoust, 100 mm à Aït Bouijane, 75 mm à la station de jaugeage de Hamida. De ce Tableau il a été jugé que les précipitations sur 3 jours tous les 25 ans varient de 100 mm à 110 mm en amont du Bassin du Rhéris et de 70 mm à 75 mm en aval du Bassin du Rhéris.

Le modèle de précipitations horaires a été examiné . La répartition des précipitations horaires a été supposée avoir un modèle caractérisé par une concentration au centre. Ce modèle a été en général utilisé car le modèle horaire ne pouvait être obtenu à partir des données enregistrées par heure (Voir Figure 1.6). Ce modèle a été dérivé de la courbe d'intensité-durée des précipitations en utilisant les données actuelles des précipitations par heure au poste de Tadirhoust comme l'indique la Figure 1.7.

Pour obtenir ce modèle , les augmentations des précipitations par heure de la courbe d'intensité ont été réparties de telle manière que les précipitations maximum par heure étaient mises au centre de la durée totale des précipitations et les augmentations suivantes des précipitations par heure ont été réparties alternativement avant et après la station centrale d'augmentation.

Le modèle des précipitations horaires (pour des précipitations sur 3 jours) indiqué dans la Figure 1.8 a été tiré de la Figure 1.7.

ii) Le modèle du bassin et des cours d'eau

Le modèle du bassin et des cours d'eau qui représente un outil utile pour le calcul de l'écoulement des crues a été développé à l'aide d'un ordinateur électronique. Le modèle comprend tous les éléments du mécanisme de l'écoulement des crues tels que le bassin de la rivière et le canal.

Ces éléments sont réunis par des points de base qui sont les principaux points pour déterminer la répartition des crues le long de chaque rivière.

Les points de base sont localisés principalement comme suit :

- Ville
- Rivière principale au confluent de l'affluent principal
- Station de jaugeage du niveau de l'eau
- Site de barrage existant et identifié

Le diagramme du système des cours d'eau, la carte de division du bassin et le modèle du système des cours d'eau sont présentés dans

les Figure 1.9 , 1.10, et dans la Figure 1.11. La Figure 1.11 indique que le bassin est divisé en 60 sous-bassins.

Le niveau de l'eau des crues du 17 Octobre 1979 était évalué par le calcul non uniforme du débit afin de développer un modèle de système des cours d'eau. le calcul non uniforme du débit de la partie composée du canal a été effectué à partir des formules qui suivent :

$$H_e = \left(H_2 + \frac{D_2}{2g} \left(\frac{Q_2^2}{A_2} \right) - \left(H_1 + \frac{D_1}{2g} \left(\frac{Q_1^2}{A_1} \right) \right) \right) \\ = \frac{1}{2} \left(\frac{N_1^2 + Q_1^2}{A_1^2 + R_1^{4/3}} + \frac{N_2^2 + Q_2^2}{A_2^2 + R_2^{4/3}} \right) dx$$

avec A = Champ captant (km²)

H₁ = Profondeur de l'eau au point 1

H₂ = Profondeur de l'eau au point 2

D = Facteur de correction d'énergie

H_e = Tête de perte d'énergie (m)

N = Rugosité du canal combiné (sec,m)

R = Rayon hydraulique du canal combiné (m)

X = Distance entre les sections (m)

G = Accélération de gravité (g=9,8 m/s²)

Q = Débit de crue de projet (m³/s)

Les indices 1 et 2 représentent respectivement les valeurs aux sections basses et hautes.

$$D = a \left(A^2 \int_0^B (h^2/n^3) db \right) / \left(\int_0^B (h^{5/3}/n) db \right)^3$$

$$N = \left(\int_0^B h^{5/3} db \right) / \left(\int_0^B (h^{5/3}/h) db \right)$$

$$R = \left(\frac{1}{A} \int_0^B h^{5/3} db \right)^{3/2}$$

Avec B = Largeur de la surface (m)

b,h,n = Largeur (m), profondeur (m) et rugosité (sec,m) de chaque bande verticale, respectivement

a = Coefficient de distribution de la vitesse

Le coefficient de rugosité utilisé dans les calculs non-uniformes était supposé être de 0,03 dans cette étude.

Les niveaux à Hamida et à Goulmima ont été vérifiés par les enregistrements et les interviews comme l'indique la Figure 1.12. Sur la base de cette Figure, il a été jugé que le modèle du système des cours d'eau convient à cette étude. La capacité du débit des oueds a été évaluée sur la base du modèle comme l'indique la Figure 1.13 et les courbes (S-Q) de "retenue - débit" des canaux en aval ont été dérivées du modèle comme l'indique la Figure 1.14.

iii) Modèle des hautes eaux

Jugée à partir de la disponibilité des enregistrements d'écoulement de crue, l'analyse de l'écoulement de crue a été réalisée en appliquant les données des précipitations au mode de simulation de l'écoulement de crue. Le modèle de "fonction de la retenue" a été appliqué comme modèle de simulation qui a été communément utilisé et jugé approprié compte tenu de la disponibilité des données. Les résultats de l'estimation ont été évalués en comparant avec les données enregistrées pour déterminer les données finales de l'écoulement probable de crue.

Les facteurs du bassin ont été préparés en utilisant des cartes topographique à l'échelle 1/100.000. Ces facteurs sont : la surface du bassin versant et du sous bassin (km²), la longueur de la rivière dans le bassin / sous bassin (km), et la pente globale du cours d'eau le plus long, du point d'intérêt à la ligne de partage des eaux.

L'équation de base de la méthode de "fonction de la retenue" est décrite ci-dessous.

$$r - q_1 = ds/dt$$

$$A_1 = K - q_1^p$$

$$q_1 = q - (t + T_1)$$

$$Q = 0,2778 (f - q_1 + (1 - f) - q_{sa}) A + q_B$$

Avec :

r = précipitation horaire moyenne dans le bassin (mm/h)

q₁ = volume de l'écoulement à partir du bassin (mm/h)

S₁ = Retenue (mm)

q = Volume d'écoulement à partir d'un bassin avec un temps de retard T (mm/h)

q_{sa} = Volume d'écoulement à partir d'un bassin après saturation pluviométrique, R_{sa} (mm/h)

- Q = Débit (m³/s)
f = Coefficient de ruissellement
(r ≤ Rsa f = f₁, r > Rsa f = 1,0)
A = Champ captant (km²)
Q_B = Débit de base (m³/s)
K,P = Coefficients
t = Temps (h)

Le coefficient de la "fonction de retenue" et le temps de retard ont été estimés à partir des formules ci-après exprimées selon la longueur de l'Oued et la pente du lit de l'Oued.

$$K = a \times 118,84 \times I^{0,3}$$

$$P = b \times 0,175 \times I^{-0,235}$$

$$Tl = C \times (0,047 \times L^{-0,56}) \text{ (si } Tl < 0,0, \text{ alors } Tl = 0,0)$$

Avec:

- I = Pente du bassin
L = Longueur de l'oued (km)
Tl = Temps de retard (h)
K,P = Coefficient pour une fonction
a,b,c = Coefficient

Le premier coefficient d'écoulement (f₁) et de précipitations saturées a été évalué à 0,2 et 40,0 mm comme l'indique la Figure 1.15.

L'adéquation des fonctions a été vérifiée par la comparaison entre les hydrogrammes enregistrés et évalués à Tadirhoust comme l'indique la Figure 1.16. Ceci signifie que les coefficients de la fonction a,b et c ont été déterminés par tâtonnement. D'après la Figure 1.16 il a été jugé que le modèle de "fonction de retenue" développé convient au bassin. La "fonction de retenue" pour le bassin et le canal est résumée dans les Tableaux 1.12 et 1.13.

Les débits de pointe de crue probables estimés par le modèle aux stations de Tadirhoust Aït Bouijane et Hamida ont été comparés aux valeurs des données maximum annuelles enregistrées comme l'indique la Figure 1.17.

On a conclu que le modèle développé convient pour le bassin entier.

D'ailleurs le débit de pointe de crue estimé avec une échelle de probabilité évaluée de 1 à 10 années aux stations de Tadirhoust et Aït Bouijane a été vérifié par la comparaison des barrages existants en projet dans le bassin de l'oued Draa (Ouarzazate) Les débits spécifiques de pointe de crue aux barrages N° 5,7 et 8 est respectivement de 0,41, 0,92 et 0,22 dans le Tableau 1.14.

Il est indiqué que le débit de pointe de crue au barrage N°8 (champ captant = 1.990 km²) n'est pas si différente de celui de la station de Tadirhoust qui est de 0,27 (cc = 2.210 km²) est presque de 0,41 au barrage N° 5 (cc = 363 km²) est presque la même que celle de 0,38 à la station d'Aït Bouijane dans cette Figure. En conséquence, le modèle a été jugé approprié pour le bassin.

iv) Répartition des débits de crue

La répartition des débits de crue probables dans le bassin de l'oued Rhéris a été évaluée par le modèle développé et les précipitations probables du bassin ajustées par la formule de Horton utilisant les précipitations ponctuelles à la station. Les résultats sont présentés dans la Figure 1.18.

v) Plan de contrôle des crues (ébauche)

A partir des résultats de l'étude sur la capacité de débit de l'oued indiquée dans la Figure 1.13, les capacités de débit de l'oued dans les sections suivantes ont été jugées insuffisantes. Afin de protéger ces déversements, trois ébauches de plan du contrôle des crues à une échelle de probabilité de 1 à 25 années ont été étudiés pour 3 barrages qui sont efficaces à cause de leur localisation dans la région montagneuse.

| SECTION | CONDITION ACTUELLE | PLAN I | PLAN II INSUFFISANCE | PLAN III (m ³ /s) |
|---------------------------|-----------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Tadirhoust | | | | |
| - Amont du Rhéris | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. Confluent du Todrha | | | | |
| - Tadirhoust | - 200 | 0 | 0 | 0 |
| 3. Confluent du Tarda | | | | |
| - Confluent du Todrha | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4. Hamida | | | | |
| - Confluent du Todrha | - 630 | - 200 | - 40 | 0 |
| 5. Megtasfa | | | | |
| - Hamida | - 320 | - 70 | 0 | 0 |
| 6. Todrha | | | | |
| - Amont du Todrha | - 480 | - 480 | - 480 | - 250 |
| 7. Confluent du Rhéris | | | | |
| - Confluent de Tanguerfa | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. Confluent de Tanguerfa | | | | |
| - Amont de Tanguerfa | - 60 | - 60 | 0 | 0 |
| 9. Tarda | | | | |
| - Amont de Tarda | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dans le cas du Plan III, la capacité de débit de l'oued Todrha a été jugée insuffisante. Le plan détaillé de contrôle des crues sera formulé dans un prochain paragraphe.

1.4.2 Etude des basses eaux

i) Etude des précipitations

Des stations de jaugeage des précipitations pour l'étude de la disponibilité des données des précipitations journalières ont été faites sur 27 stations, 17 ont été choisies comme l'indique la Figure 1.4. Les précipitations moyennes pour chaque sous bassin ont été évaluées par la carte isohyète indiquée dans la Figure 1.1.

ii) Modèle du bassin

Le modèle du bassin qui est un modèle de base pour l'étude de l'équilibre de l'eau a été établi de la même façon que le modèle des hautes eaux comme l'indique la Figure 1.11 le point de base a été établi comme un point de prise d'eau.

iii) Distribution des basses eaux

Le volume d'écoulement moyen annuel dans les réservoirs identifiés a été dans un premier temps évalué par les précipitations moyennes du bassin et les données d'écoulement enregistrées aux stations comme l'indique le Tableau 1.15 . Ensuite l'étude des basses eaux par le "modèle du réservoir" a été effectuée par les sites de barrages proposés après sélection. Des données des basses eaux pendant 23 ans de 1962 à 1984, les données de 1983 qui est surtout une année de sécheresse et les données pour 1975 qui ont autour de 1 à 2 ans de probabilité de hautes eaux ont été comparées aux hautes eaux évaluées par le modèle comme l'indique la Figure 1.19. Il a été jugé que le modèle était approprié pour le bassin . Le "modèle du réservoir" construit à la station de Tadirhoust a été adopté pour les barrages d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) et celui construit à la station de Aït Bouijane pour le barrage de Timkit (N° 16) (pour évaluer le débit entrant) qui a été choisi comme projet urgent dans cette étude . La raison pour laquelle chaque modèle a été adopté pour chaque barrage est que les caractéristiques du bassin au barrage de Timkit (N° 16) sont semblables à celles du bassin de jaugeage de Aït Bouijane car la rivière alimentant le barrage de Timkit (N° 16) est un des affluents du Todrha où la jauge d'Aït Bouijane est localisée. Dans le cas des sites d'Oukhit et d'Oulhou, les constatations suivantes ont été faites :

- Le coefficient d'écoulement annuel du barrage Akerouz est de 0,09 qui est assez voisin de celui de la station de Tadirhoust.
- Le coefficient d'écoulement annuel du barrage Hassan Addakhil est de 0,08 qui est le même que pour la station de Tadirhoust.
- Le coefficient d'écoulement annuel des stations en excluant Agouim, Aït Moutade et Ifer dans le bassin d'Ouarzazate (oued

Draa) est d'environ 0,07 avec une fluctuation allant de 0,04 à 0,09 qui est pareille à celle de la station de Tadirhoust (voir Tableau 1.15).

- Selon les enregistrements des barrages dans le bassin ci-dessus dans le Tableau 1.4, l'efficacité de la retenue (VIR, retenue/précipitation) des barrages N° 2,5,7 et 8 tourne autour de 0,05, qui ont environ 120 mm de précipitations annuelles.

En conséquence, le coefficient d'écoulement annuel des barrages est considéré comme équivalent à 0,05 ou plus, ce qui ne fait pas une différence importante avec celui de la station de Tadirhoust.

Dans ces conditions, l'étude des basses eaux a été considérée comme convenable pour le bassin.

iv) Plan d'alimentation en eau

La région agricole qui représente la nécessité principale est indiquée dans la Figure 1.20. L'aire possible de chaque barrage est présentée dans le Tableau 1.16. La région agricole qui pourrait être développée par le barrage est indiquée dans le Tableau lorsque les exigences annuelles en eau de la région sont supposées être de 7.000 m³/ha.

v) Etude du dépôt solide

Le débit versant des sédiments dans le réservoir de Hassan Addakhil localisé dans l'oued Ziz a été étudié. Le taux de dépôt solide annuel moyen a été calculé à 207 m³/km²/an. Le taux annuel des données à la station de Tadirhoust dans le Tableau 1.10 est de 474,3 m³/km²/an mais 237,0 m³/km²/an dans le cas où les données maximales de 1965 sont exclues. En conséquence, 300 m³/km²/an ont été jugés comme taux raisonnable pour le modèle.

1.4.3 Etude supplémentaire

i) Installations de pluviomètres

Deux pluviomètres automatiques ont été nouvellement installés. L'un est localisé à Tarhia à environ 12 km au Sud de Tinejdad et l'autre à Imidir à environ 29 km au Sud-Ouest de Tinerhir.

ii) Mesure des crues

Les mesures du débit n'ont pas été faites car les crues ne se sont pas produites pendant la période de l'étude.

1.5 PLAN DE CONTROLE DES CRUES

1.5.1 Point de base -----

Tinerhir, Tinejdad et Goulmima constituent les principales villes du bassin de l'oued Rhéris. Parmi ces villes, Goulmima était le point de base pour le plan de contrôle des crues dans cette étude car cette ville est très importante dans ce bassin, si l'on tient compte des dégâts dûs aux crues et qui se sont produits dans le passé.

1.5.2 Répartition probable des crues -----

La répartition probable des crues dans le bassin de l'oued Rhéris a été évaluée dans le paragraphe 1.4.1 précédent. L'écoulement maximum probable des crues est présenté dans la Figure 1.18.

1.5.3 Echelle de projet -----

L'échelle de projet du plan de contrôle des crues par le barrage N° 14 localisé à Tadirhoust a été étudiée et jugée comme étant un plan très efficace avec Goulmima comme point de base.

L'échelle du projet a été décidée en se basant sur la comparaison du bénéfice actualisé de la différence entre les coûts de construction du barrage et les avantages découlant des terrains agricole sauvegardés grâce à la fonction de protection contre une inondation par le barrage, qui a été évaluée sur la base d'un taux d'intérêt de 5%.

Le plan de contrôle des crues par le barrage N° 14 a été jugé non économiquement réalisable dans le cas où seul l'avantage de la sauvegarde de terrains agricoles par le barrage de contrôle des crues était obtenu comme indiqué ci-dessous. Ce Tableau indique qu'il y a avantage lorsque le barrage a pour rôle la fourniture d'eau pour l'agriculture.

| Elément | Probabilité (cas 1) | | | Probabilité (cas 2) | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------|---------|------------------------|--------|---------|
| | 25 ans | 50 ans | 100 ans | 25 ans | 50 ans | 100 ans |
| B-C (Million DH) | 860 | 910 | 1100 | 119 | 43 | 145 |
| | (Taux d'intérêt 0%) | | | (Taux d'intérêt 5%) | | |
| Taux de Rentabilité Interne | - | - | - | 3,5 | 4,4 | 3,5 |

Note : Cas (1) Contrôle des crues uniquement
 Cas (2) Contrôle des crues + Approvisionnement en eau
 pour l'Agriculture

De plus, le plan de contrôle des crues par la digue a été examiné sur la base de la même procédure. L'échelle de projet avec la probabilité de 1 sur 50 années semble être réalisable du point de vue économique comme l'indique la Figure 1.21. En conséquence le plan de contrôle des crues par digue a été jugé comme étant plus approprié pour ce bassin et l'échelle de projet retenue est d'une probabilité de 1 sur 50 années.

1.5.4 Plan de contrôle des crues

Comme indiqué dans le paragraphe 1.5.3 précédent, le plan de contrôle des crues par digue a été programmé avec une probabilité de 1 à 50 années. Les caractéristiques générales du plan sont indiquées ci-dessous et la localisation de la digue est présentée dans la Figure 1.22 . Le plan de la digue en aval de Tinerhir est également indiqué dans les Figures et résumé ci-dessous car les dégâts seront causés par les crues avec une probabilité de l'ordre de 1 sur 50 ans.

| | Nom de la Digue | | |
|--|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | Goulmima | Ksar-Jedid | Todrha |
| Nom et N° du profil en travers de la Rivière | Rhéris N° 108 à N° 112 | Rhéris N° 91 à N° 93 | Todrha N° 103 à N° 106 |
| Distance (m) | 8.750 | 2.070 | 5.320 |
| Digue de protection | 11.500 | 3.000 | 8.000 |
| Hauteur de la Digue | 0,60 | 0,65 | 0,65 |

1.6 PLAN DE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU

1.6.1 Généralités

Les études des plans de développement des ressources en eau grâce aux barrages de Timkit (N° 16), d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) considérés comme étant un projet urgent dans le cadre de l'étude de la partie B ont été réalisées. Les études suivantes ont été effectuées pour les concepts généraux de chaque plan de barrage.

- Les échelles de développement maximum des barrages d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) en vue d'atteindre la limite hydrologique ont été jugées adéquates pour les deux plans car les ressources en eau de ces bassins sont très limitées à cause des précipitations plutôt faibles dans le bassin versant inférieur à 100 Km².
- L'échelle de développement du barrage (N° 16) de Timkit a été déterminée en se basant sur la comparaison des ratios coût-avantage des diverses échelles de barrage avec 100%, 80% et 70% du débit entrant moyen compte tenu des conditions hydrologiques dans ce bassin. Les objectifs principaux du barrage étaient supposés en général être l'approvisionnement en eau d'irrigation et en eau potable en aval.

1.6.2 Débit entrant dans la retenue

Le débit entrant dans les retenues pour les barrages de Timkit (N° 16), d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) a été évalué sur la base des données d'écoulement mensuel calculées par le modèle de réservoir à jauges de Tadighoust et d'Aït Bouijane au paragraphe 1.4.2.

1.6.3 Aire d'impact

Les cartes de localisation de l'aire d'impact telle que les terres agricoles et les villes à ravitailler en eau potable sont présentées dans la Figure 1.23 . L'aire agricole localisée en aval à partir de chaque barrage est résumée comme suit :

| Nom des Aires Agricoles | Aire Agricole du Projet (ha) | Aire Agricole pour Compensation (ha) |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Timkit (N° 16) | 138,0 | 22,0 |
| Tinejda (N° 16) | 1.419,0 | - |
| Oukhit (N° 28) | 50,0 | - |
| Oulhou (N° 29) | 70,0 | - |
| Touroug (N° 29) | 272,0 | - |

1.6.4 Etude du bilan de l'eau

L'étude du bilan de l'eau pour chaque barrage a été réalisée en utilisant les données du débit entrant mentionnées dans le paragraphe 1.6.2 et les exigences en eau par unité dans l'aire d'impact. L'aire développée par les barrages de Timkit, d'Oukhit et d'Oulhou a été évaluée respectivement à 550ha, 55ha et 48ha.

1.6.5 Plan d'utilisation des ressources en eau

Les plans d'utilisation des ressources en eau pour les barrages de Timkit (N° 16), d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) ont été formulés par les résultats de l'étude du bilan de l'eau dans le paragraphe 1.6.4 précédent et selon le critère suivant.

- 1) La période de recouvrement du niveau normal de l'eau après la libération de l'eau de la retenue a été évaluée à moins de 5 ans du point de vue du facteur de sécurité de l'utilisation de l'eau.
- 2) L'échelle de développement maximum du barrage en vue de la limite hydrologique a été réalisée pour le plan.
- 3) Les diverses échelles du barrage de Timkit (N° 16) ont été étudiées et ont permis de comparer chaque impact économique. L'échelle optimale a été déterminée en tenant compte des résultats économiques de l'étude.

Les plans de développement des ressources en eau, de ces barrages ont été réalisés comme indiqué ci-dessous. La retenue requise du barrage de Timkit (N° 16) a été fixée à 12 Mm³ selon les données indiquées dans la Figure 1.24 . La retenue effective directe pour l'aire d'impact en aval est évaluée dans la section suivante.

| Nom du Barrage | Retenue Requise (M.m3) | Aire Agricole (ha) |
|----------------|------------------------|--------------------|
| Timkit (N° 16) | 12,00 (10,13) | 550,0 |
| Oukhit (N° 28) | 0,75 (0,69) | 55,0 |
| Oulhou (N° 29) | 0,68 (0,64) | 48,0 |

Note : La valeur entre parenthèses est la retenue actuelle effective excluant l'évaporation et les fuites par percolation évaluées.

1.7 ECHELLE DE PROJET DE LA RETENUE

1.7.1 Généralités

L'échelle de projet des retenues (retenues effectives pour l'aire d'impact en aval) pour les barrages de Timkit (N° 16), d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) a été tirée de la retenue évaluée dans le paragraphe 1.6.5 précédent et des pertes par évaporation du réseau, ainsi que du plan d'écoulement de l'oued et des fuites par percolation à travers le corps du barrage.

1.7.2 Retenue en cas de pertes par évaporation

Les données sur l'évaporation disponibles dans et autour du bassin de l'oued Rhéris ont été recueillies et analysées dans la partie A de l'étude comme indiqué dans le Tableau 1.4. La retenue en cas de pertes par évaporation pour chaque barrage a été étudiée en ce qui concerne les deux éléments suivants :

- a) Perte par évaporation du plan d'eau de la retenue
- b) Perte par évaporation du plan d'écoulement de l'oued quand l'eau libérée du réservoir se déverse dans la zone de la nappe phréatique.

Les données d'évaporation à Aït Bouijane ont été adoptées pour le barrage de Timkit (N° 16) et les données à Tadirhoust pour les barrages d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) respectivement. La retenue en cas de pertes par évaporation du plan d'eau du réservoir a été évaluée sur la base des données de l'évaporation journalière multipliée par la période de fonctionnement prévue du réservoir. L'eau libérée du réservoir devrait être emmagasinée dans la retenue pendant une certaine période car elle a l'avantage d'être une eau propre excluant le limon qui s'est déversée dans le réservoir lors des crues et en général capable de s'écouler plus facilement dans la nappe phréatique. La période requise pour le nettoyage de l'eau des crues est évaluée dans la Figure 1.25.

La période de libération de l'eau du réservoir a été déterminée en se basant sur la capacité d'écoulement du barrage. Les pertes par évaporation du plan d'eau d'écoulement de l'oued quand l'eau de la retenue se déverse dans le zone de la nappe phréatique a été évaluée en se basant sur les données de l'évaporation journalière, et la superficie du plan d'eau de l'oued s'écoulant en aval comme indiqué ci-dessous :

| Nom du Barrage | Retenue pour les pertes par évaporation du réservoir | Retenue pour les pertes par évaporation de l'écoulement de l'oued (Mm3) | Retenue Totale pour les pertes par évaporation (Mm3) |
|----------------|--|---|--|
| Timkit (N° 16) | 0,38 | 0,06 | 0,44 |
| Oukhit (N° 28) | 0,02 | 0,04 | 0,06 |
| Oulhou (N° 29) | 0,02 | 0,02 | 0,04 |

1.7.3 Retenue pour les fuites par percolation

La retenue pour les fuites par percolation dans l'étude de la nappe phréatique se présente comme suit :

| Nom du Barrage | Retenue pour les fuites par percolation (Mm3) |
|----------------|---|
| Timkit (N° 16) | 1,43 |
| Oukhit (N° 28) | 0,00 |
| Oulhou (N° 29) | 0,00 |

1.7.4 Retenue effective pour l'aire d'impact

La retenue effective pour l'aire d'impact a été évaluée à partir de la retenue requise dans le paragraphe 1.6.5 et des fuites par évaporation et par percolation examinées dans les paragraphes 1.7.2 et 1.7.3 . Les chiffres finals de la retenue effective requise pour chaque barrage sont présentés ci-dessous :

| Nom du Barrage | Réservoir requis pour la retenue (Mm3) | Retenue pour les fuites par évaporation | Retenue pour les fuites par percolation | Retenue Effective |
|----------------|--|---|---|-------------------|
| Timkit (N° 16) | 12,00 | 0,44 | 1,43 | 10,13 |
| Oukhit (N° 28) | 0,75 | 0,06 | 0,00 | 0,69 |
| Oulhou (N° 29) | 0,68 | 0,04 | 0,00 | 0,64 |

1.7.5 Retenue de sédiments

Le taux spécifique des sédiments pour établir la retenue des sédiments pour chaque réservoir a été étudié et 300 m³/km²/an a précédemment retenu comme valeur adéquate.

La durée de projet adoptée est de 50 ans pour le barrage de Timkit (N° 16) et 25 ans pour les barrages d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29). En conséquence, la retenue de sédiments a été supposée comme étant de 8,87 Mm³ pour le barrage N° 16, 0,64 Mm³ pour le barrage N° 28 et 0,58 Mm³ pour le barrage N° 29.

1.7.6 Crue de projet pour l'évacuateur

Les crues de projet pour l'évacuateur des barrages au Maroc sont en général déterminées sur la base d'une probabilité de un sur 1.000 ans pour un barrage de petite dimension et de un sur 10.000 ans pour un barrage de grande et moyenne dimension. En conséquence une probabilité de un sur 10.000 ans a été prise pour le barrage de Timkit (N° 16) et de un sur 1.000 ans pour les barrages d'Oukhit (N° 28) et d'Oulhou (N° 29) pour l'étude. Les niveaux d'eau de crues de projet convertis par les courbes de retenue sont présentés ci-après.

Le niveau des eaux de crue de projet pour le barrage de Timkit (N° 16) a été évalué en considérant l'effet retard du réservoir parce qu'il a été jugé efficace. L'hydraulique des crues de chaque site de barrage pour le projet de l'évacuateur est présentée dans la Figure 1.26.

| Nom du Barrage | Crue de projet pour l'évacuateur (m ³ /s) | Niveau d'eau des crues du projet (Alt.en m) |
|----------------|--|---|
| Timkit (N° 16) | 240,0 (*) | 1 256,0 |
| Oukhit (N° 28) | 110,0 | 953,2 |
| Oulhou (N° 29) | 90.0 | 946.3 |

(*) Le débit naturel de crue de pointe ayant une probabilité de 1/10.000 ans est de 450 m³/sec.

1.7.7 Echelle de projet de la retenue

Finalement , l'échelle de projet du réservoir pour chaque barrage a été établi comme suit :

| | NOMS DES BARRAGES | | |
|---|-------------------|--------|--------|
| | TIMKIT | OUKHIT | OULHOU |
| N° du Barrage | 16 | 28 | 29 |
| Retenue de Réservoir requise (Mm3) | 12,00 | 0,75 | 0,68 |
| Retenue pour les fuite (Mm3) | 1,87 | 0,06 | 0,64 |
| Retenue effective du réservoir (Mm3) | 10,13 | 0,69 | 0,64 |
| Retenue de sédiments (Mm ³) | 8,88 | 0,65 | 0,59 |
| Retenue brute du réservoir (Mm3) | 20,88 | 1,40 | 1,27 |

II. GEOLOGIE

2.1 INTRODUCTION

L'étude de la géologie des sites de barrages a été effectuée en deux phases. La première phase a eu lieu de Décembre 1988 à Mars 1989 et a eu notamment pour objectifs :

- La clarification des conditions géologiques du bassin du point de vue de la construction de barrages.
- La sélection de sites faisables à partir des reconnaissances sur le terrain.
- La fourniture aux ingénieurs de barrage d'un certain nombre d'informations sur les conditions d'accès topographiques et géologiques classées par ordre de priorité.
- La préparation des documents de consultation des entreprises locales pour la réalisation des investigations géologiques requises.

A partir de la première phase 32 sites éventuellement convenables ont été identifiés dans le bassin, parmi lesquels les trois sites de Timkit (N°16), d'Oukhit (N°28) et d'Oulhou (N°29) ont été sélectionnés comme étant prioritaires du point de vue technique aussi bien qu'économique. La faisabilité de ces trois sites a par la suite été évaluée dans la seconde phase de l'étude sur la base non seulement des conditions topographiques et géologiques, mais aussi de celles socio-économiques, hydrologiques, etc....

La seconde phase entreprise de Juillet 1989 à Octobre 1989 a eu pour objectifs :

- La fourniture de données de base sur la géologie des trois sites de barrage pour les besoins de l'estimation des travaux de conception et des coûts.
- La réalisation des investigations géologiques telles que l'exploration sismique et le forage carotté aux sites de barrages.

Le présent chapitre décrit les résultats des investigations effectuées lors de la première et de la seconde phases.

2.2 GEOLOGIE REGIONALE DU BASSIN DU RHERIS ET DE SES ENVIRONS

2.2.1 Topographie de la région

L'oued Rhéris prend sa source dans la région de haute attitude du Haut Atlas pour couler ensuite 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 ses 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'infiltré dans la nappe phréatique du bassin au niveau de la base du Haut Atlas.

2.2.2 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 est de l'ère Mésozoïque du Crétacé. Les terrains de couverture dans ces aires sont des dépôts en terrasses du Pléistocène, dépôts de 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. Les roches sédimentaires sont composées de conglomérats, de grès (schiste) d'argilite et leur altération est dans un ordre descendant. Le site de barrage d'Oukhit (N°28) est situé dans une zone de grès. Le plan de stratification a en général une direction Est-Ouest avec pendage Nord à travers le plan de stratification et change de direction selon la distribution 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 Paléozoïque 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)

Ces 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 en ordre descendant. Le site du barrage de Timkit (N°16) est situé dans l'aire calcaire de cette formation. Le contact entre la formation du Crétacé et la formation du Jurassique est imparfait. La ligne imparfaite se dirige vers le pied de la chaîne de l'Anti Atlas et les pendages imparfaits vers le Nord.

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

2.2.3 Structure géologique

La formation de l'époque précambrienne à l'époque Mésozoïque est en grande partie répartie en ordre descendant 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 Précambrien, l'Ordovicien, le Dévonien et le Carbonifère développés dans les aires Sud du bassin sont caractérisés par une certaine non-conformité.

Il y existe également plusieurs failles dans la formation crétacée du bassin.

2.3 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. Dans la chaîne du Haut Atlas et dans ses environs, il y a une zone sismique à l'intérieur du Maroc bien que les tremblements de terre se produisant dans la zone soient d'une échelle extrêmement faible. Lors des investigations sur le terrain effectuées dans le cadre 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 survenus dans un rayon de 500 km ont été analysés, qu'ils affectent ou non les sites étudiés.

L'intensité sismique sur le site du projet a été calculée d'après la formule suivante (formule de Kawasumi) :

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

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

où,

I_j : l'intensité sur l'échelle JMA (Agence Météorologique Japonaise)

M_k : l'intensité sur l'échelle JMA à une distance de 100 km de l'épicentre *

d : la distance entre l'épicentre et le site du projet (km)

D : la distance du foyer au projet du site (km)

Do : la distance du foyer au point de distance d=100(km)

k : le coefficient d'amortissement de l'onde (0,0192/km)

* La relation entre Mk et la magnitude sur l'échelle de Richter (M), est représentée par la formule,

$$M = 4,85 + 0,5Mk \text{ (d'après Kawasumi) } \dots\dots\dots (3)$$

La relation entre l'intensité «Ij» et le maximum «a» d'accélération du sol dû au séisme, est très proche de la relation (selon Kawasumi, 1951) :

$$a = 0,45 \times 10^{0.5Ij} \text{ (en gal) } \dots\dots\dots (4)$$

où « a » est la plus mauvaise valeur géométrique déterminée empiriquement.

Il y a quatre cas de séismes qui ont une valeur Ij>0 au site du projet, relevés dans « SEISMES AU MAROC ». Ils sont représentés à la Figure 2.1 « CARTE DES EPICENTRES D'INFLUENCE SISMIQUE »

- Analyse de fréquence par la méthode de Kawasumi

Les fréquences de chaque intensité « Ij » sur une période de 80 ans (1901 ~ 1980) ont été calculées d'après les données, et converties en fréquence sur 100 ans comme indiqué au Tableau ci-dessous :

| Intensité (Ij) | Fréquence | | Nombre cumulé sur 100 ans (NC) |
|-------------------|------------|-------------|-----------------------------------|
| | sur 80 ans | sur 100 ans | |
| Barrages | | | |
| Timkit (N°16) | | | |
| 0(0,0 - 0,5) | 1 | 1,25 | 2,50 |
| 1(0,6 - 1,5) | 1 | 1,25 | 1,25 |
| 2(0,6 - 2,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 3(2,6 - 3,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 4(3,6 - 4,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Oukhit (N°28) | | | |
| 0(0,0 - 0,5) | 0 | 0,00 | 3,75 |
| 1(0,6 - 1,5) | 2 | 2,50 | 3,75 |
| 2(1,6 - 2,5) | 0 | 0,00 | 1,25 |
| 3(2,6 - 3,5) | 1 | 1,25 | 1,25 |
| 4(3,6 - 4,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Oulhou (N°29) | | | |
| 0(0,0 - 0,5) | 0 | 0,00 | 2,50 |
| 1(0,6 - 1,5) | 2 | 2,50 | 2,50 |
| 2(1,6 - 2,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 3(2,6 - 3,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 4(3,6 - 4,5) | 0 | 0,00 | 0,00 |

La relation entre Ij(intensité) et Nc(nombre cumulé sur 100 ans) est indiquée à la Figure 2.2(A) « RELATION FREQUENCE-ENTENSITE SELON LA METHODE DE KAWASUMI » et donnée par l'équation suivante:

$$\text{Log } Nc = A - B Ij \dots\dots\dots (5)$$

Ensuite A et B dans l'équation (5) sont déterminés par la méthode des moindres carrés considérant Ij = 1, 2 et 3, etc...

La relation Ij-Nc réétablie est reportée à la Figure 2.2 et est donnée par l'équation suivante :

| Barrages | A | B | Ij (Nc = 1) | a (gal) |
|-----------------|-------|-------|-------------|---------|
| Timkit (N°16) | 0,398 | 0,306 | 1,3 | 2 |
| d'Oukhit (N°28) | 0,681 | 0,235 | 2,9 | 13 |
| d'Oulhou (N°29) | 0,531 | 0,266 | 2,0 | 5 |

Selon la Figure 2.2(A), l'intensité probable sur une période de retour de 100 ans est prise comme $I_j = 1,3 \sim 2,9$ en prenant $N_c = 1$, $I_j = 1,3 \sim 2,9$ correspond au maximum probable d'accélération du sol de 2 ~ 13 gal (ou 0,01 g) selon la relation empirique (4).

- Analyse de périodicité par traçage des positions

Dans le présent chapitre, la probabilité d'un séisme avec une période de retour de 100 ans est déterminée par le traçage de la position pour laquelle la formule suivante est appliquée:

$$Tr = \frac{P}{m} \dots\dots\dots (6)$$

où,

Tr : l'intervalle de périodicité

P : la période dans laquelle la donnée a été obtenue

m : nombre de séries d'un séisme dans une série rangée par ordre de magnitude décroissant.

Tous les cas (4 séismes) ont été rangés dans l'ordre d'intensité I_j décroissant et correspond au maximum d'accélération du sol; l'intervalle de périodicité a été calculée finalement selon les équations (4) et (6) à la Figure 2.2.(B) « PERIODICITE SISMIQUE PAR TRACAGE DE POSITIONS »

| N° | Intensité | Accélération (gal) | Tr | Date | Magnitude |
|----|-----------|-----------------------|----|-------------------|-----------|
| 1 | 3,1 | 16 | 80 | 26 Juillet 1979 | 4,60 |
| 2 | 0,8 | 2 | 40 | 10 Mai 1950 | 5,30 |
| 3 | 0,8 | 2 | 27 | 17 Octobre 1979 | 3,50 |
| 4 | 0,2 | 1 | 20 | 13 Septembre 1979 | 4,60 |

$$\log a = -1,0 + 1,2 \log Tr \dots\dots\dots (7)$$

Séisme probable

D'après les sections précédentes, l'accélération sismique probable aux 3 sites a une certaine période de retour obtenue de la manière suivante :

| Période de retour (an) | Accélération sismique probable | |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | Par Kawasumi (1) | Par traçage de positions (2) |
| 100 | 13 ou moins | 25 ou moins |

Notes : (1) Par les équations (5) et (4)
(2) Par l'équation (7)

Selon le Tableau ci-dessus, $a = 25$ gal (0,03G) est proposé comme le pic d'accélération du sol pour un séisme probable sur une période de 100 ans aux sites des trois barrages.

Cependant, étant donné le facteur inconnu de séismicité et des données non adéquates, il est recommandé d'adopter la valeur de 0,1 G comme dans le cas du barrage Hassan Adakhil situé dans les environs.

2.4 GEOLOGIE DES SITES DE BARRAGES

2.4.1 Quantités des investigations sur le terrain

Le Tableau 2.4.1 résume les données de base des 32 sites de barrage identifiés dans la première phase. Certains de ces sites sont situés dans les régions montagneuses du Haut Atlas caractérisées par l'existence de calcaire du Jurassique et éloignées des zones bénéficiaires. Une sélection des sites à développer en priorité a été faite lors des investigations sur le terrain et au siège de Décembre 1988 à Juin 1989. Cette sélection a été effectuée sur la base des considérations techniques et économiques en collaboration avec le personnel de contrepartie du Gouvernement Marocain.

Les trois sites de Timkit, d'Oukhit et d'Oulhou ont été sélectionnés comme étant les plus urgents à réaliser. Puis les investigations sur le terrain ont été arrangées vers fin Août 1989 pour le commencement de la 2ème phase.

Pour avoir plus d'informations sur la géologie, l'exploration sismique (par la méthode de réfraction) et le forage carotté ont été réalisés dans le cadre de la deuxième phase).

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 | Ligne sismique N° | Longueur (m) | Forage carotté N° | Profondeur de forage (m) | Essais de perméabilité (Nbre) | Installation du tube perforée |
|------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| TIMKIT (N°16) | 1 | 225 | B-1 | 35 | 11 | - |
| | 2 | 445 | | | | |
| | 3 | 217 | B-2 | 35 | 12 | 15m |
| | 4 | 102 | | | | |
| | 5 | 101 | B-3 | 45 | 10 | - |
| | 6 | 102 | | | | |
| Sous Total | 6 | 1.192 | 3 trous | 115 | 33 | 15 |
| OUKHIT (N°28) | 7 | 216 | B-4 | 21 | 4 | |
| | 8 | 115 | | | | |
| | 9 | 450 | | | | |
| | 10 | 225 | B-5 | 30 | 6 | 10m |
| | 11 | 321 | | | | |
| | 12 | 317 | | | | |
| | 13 | 322 | B-6 | 20 | 4 | |
| Sous Total | 7 | 1.996 | 3 trous | 71 | 14 | 10 |
| OULHOU (N°29) | 14 | 225 | | | | |
| | 15 | 225 | B-7 | 20 | 6 | - |
| | 16 | 492 | | | | |
| | 17 | 225 | B-8 | 30 | 10 | 15m |
| | 18 | 225 | | | | |
| | 19 | 225 | B-9 | 20 | 4 | - |
| | 20 | 225 | | | | |
| Sous Total | 7 | 1.842 | 3 trous | 70 | 20 | 15 |
| TOTAL | 20 | 5.000 | 9 trous | 256 | 67 | 40m |

2.4.2 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 1.212m, 25m et 1m (vertical) : 100 (horizontal)

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 2.9.

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 2.3. Afin de faire correspondre à la géologie à 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 2.4 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 les «données de base».

(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 de 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 roches. 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 est en conséquence choisi à la ligne 5.

(b) Conditions géologiques dans les couches désagrégées

Les couches désagrégées de 0,3 km/s, 1,9 km/sec et 2,5 km/sec sont détectées comme on l'a vu dans les profils géologiques. 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 roches 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 le 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), de la valeur lugeon et de la classification des roches sont résumés dans les profils géologiques. La description détaillée des carottes est donnée dans les « données de base ».

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.

Des travaux d'injection d'étanchéité au niveau de l'axe du barrage seront requis par la méthode de l'écran d'injection. L'étude

détaillée au stade d'avant-projet détaillé futur est nécessaire en termes d'essai d'injection et de décision de la longueur de l'écran d'injection.

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 jusqu'à 16,3m et 20 à 23m. Ce calcaire est de bonne condition rocheuse ayant une RQD de 100% et une valeur lugeon de 20 à 53. Le sable et le gravier de la rivière seront remplacés par le béton du barrage pour un barrage à grande échelle.

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; et ainsi de suite.

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 de protection par la méthode d'écran d'étanchéité seront requis pour retenir l'eau le long de l'axe du barrage. Une étude détaillée d'étanchéité sera nécessaire plus tard pour définir les mesures pratiques et la profondeur de protection.

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

i) Topographie

Le site de barrage 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 de 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 du sable/gravier du lit actuel d'oued.

iii) Exploration sismique

Le tracé du profil 7 au profil 13 est indiqué dans la Figure 2.5. La vitesse de la couche finale est de 4,4 km/sec ou 5,0 km/sec. Les deux parties de ligne de 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 la 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 de 4,4 km/sec à 5,0 km/sec sont composées de grès récent très stable et sans fissures.

Les conditions géologiques des couches altérées de 0,5 km/sec, 0,7 à 1,0 km/sec et 2,4 à 3,6 km/sec sont résumées ci-après :

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. On suppose que 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 (voir Figure 2.6).

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.

2.4.4 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 1m (Vertical) : 125m (Horizontal). La pente de la rive gauche au niveau du site est très faible par rapport à celle de la rive droite où les dépôts de 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. Le terrain de couverture est composé de dépôts de talus et de dépôts de terrasses sur la rive gauche et de sable gravier dans le lit de la rivière. Le gabbro indique souvent des conditions intenses que l'on peut appeler diorite. Les joints sont bien fermés dans les plans de stratification en contact et les trois systèmes types suivants sont dominants :

- Direction Nord 10 - 25 , pendage vertical
- Direction Est - Ouest, pendage 80 - 90 Sud
- Direction Nord - Sud , pendage 10 - 20 Ouest

iii) Exploration sismique

Le tracé du profil 14 au profil 20 est indiqué dans la Figure 2.7. (La carte géologique du site de barrage d'Oulhou. La vitesse de la couche finale est de 5,0 km/sec dans l'ensemble des profils. Ceci signifie que le gabbro récent est très dur et stable. On ne trouve aucun défaut ou zone fracturée ici.

La zone désagrégée est divisée en 3 couches dans le gabbro exposé et qui sont les suivantes :

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 développées et en désagrégation. L'épaisseur est en moyenne de 3m à 4m.

2,0 à 3,0 km/sec (3ème couche) :

Etat récent. Cependant développe beaucoup de fissures. 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 de 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 (voir Figure 2.8).

Le trou B-7 indique que la terre végétale et les dépôts de terrasse s'étendent à une profondeur allant de 0m à 4,2m et le gabbro désagrégé avec beaucoup de fissures de noyau en tranche par

forage est en dessous d'une profondeur allant de 4,2m à 7,0m. Sous la profondeur de 7,0m, le gabbro récent apparaît spécialement à une profondeur de 11,0m (carotte cylindrique). La valeur de lugeon est 1, sauf pour la section d'essai du terrain de couverture et la dernière section d'essai. La dernière section d'essai de 16,5m à 20,2 m est à peine perméable. De ceci il découle que la perméabilité réelle dans cette section est très faible dans la mesure où le gabbro des tests effectués donne des carottes cylindriques.

Le trou B-8 indique que le sable gravier s'étend à une profondeur allant de 0m à 12,5m et le gabbro avec beaucoup de fissures est à une profondeur allant de 12,5m à 14,9m. Le gabbro récent est en dessous à une profondeur de 14,9m. A une profondeur de 19,5m on trouve surtout du gabbro très récent, avec des carottes cylindriques. Le coefficient de perméabilité du sable-gravier se situe dans un intervalle allant de $1 * 10^{-1}$ cm/sec à $4 * 10^{-3}$ cm/sec.

La valeur de lugeon dans le gabbro récent est inférieure à 1.

Le trou B-9 montre que le gabbro très désagrégé s'étend à une profondeur allant de 0m à 1,0m tandis que le gabbro ayant plusieurs fissures est en dessous à une profondeur allant de 1,0m à 1,95m (La RQD est de 40%). Du gabbro très récent sans fissure apparaît en dessous de 1,95m et jusqu'au fond du trou avec une valeur de lugeon inférieure à 1.

2.5 CONCLUSION

Les conclusions suivantes peuvent être tirées des investigations géologiques :

- a) A partir des 32 sites identifiés dans la première phase de l'étude (voir Tableau 2.4.1), les trois sites de Timkit, d'Oukhit et d'Oulhou ont été sélectionnés comme prioritaires à réaliser du point de vue non seulement des conditions topographiques et géologiques mais également compte tenu des conditions hydrologiques, socio-économiques, des zones bénéficiaires etc.. Il a également été tenu compte des capacités effectives de recharge des nappes.
- b) Le site de Timkit (N°16) est constitué de calcaire du Crétacé. Il est recommandé que l'axe du barrage soit prévu au niveau du profil sismique N°4.

Les résultats des investigations géologiques montrent une gorge escarpée enfoncée sous le lit de l'oued (largeur 20 à 25 m au niveau du lit d'oued actuel, profondeur 14 m).

Le grès présente en général une condition assez bonne pour des fondations de barrage; cependant l'épaisseur de la zone altérée à creuser est d'environ 7 m sur la rive gauche et 6 m sur la rive droite au niveau de la partie en crête de l'axe de barrage, tandis qu'elle se situe de 4 à 5m au niveau des

assises sur les deux rives. De plus, il est noté que le sable/gravier de l'oued se dépose en profondeur à 14m au forage B-2 . Par conséquent la profondeur à creuser dans le lit d'oued atteindra 15m pour la construction d'un barrage de grande dimension.

- c) Le site d'Oukhit (N°28) est composé de grès schisteux du Précambrien. Des fines couches d'argilite sont intercalées dans le grès qui 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 3 m maximum aux deux rives et de 6 à 7 m au niveau du lit d'oued en sable/gravier.

- d) Le site d'Oulhou (N°29) se compose de gabbro du Pré-cambrien. Le gabbro récent a une vitesse sismique de 5,0 km/sec, et est ainsi très dur et stable. Les résultats des forages sur le site montre que le gabbro récent situé à une profondeur de 7m sur la rive gauche et en dessous d'une profondeur de 2m sur la rive droite présente d'excellentes conditions avec une R.Q.D de 80 à 100% (carotte cylindrique) et une valeur de lugeon de 1 ou moins.

La profondeur à creuser est de 0,5 à 7m sur la rive de gauche au niveau de 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 dans le lit de l'oued pourrait être de 3 à 5m à travers une couche de sable/gravier de 12,5m.

III. HYDRO-GEOLOGIE

3.1 INTRODUCTION

L'étude hydrogéologique a été effectuée en deux phases correspondant respectivement au plan directeur et à l'étude de faisabilité.

L'étude du plan directeur comprenant aussi bien les investigations complémentaires que l'analyse hydrogéologique a été réalisée de Décembre 1988 à Mars 1989. Cette étude avait pour but d'identifier le processus d'écoulement, le système de recharge et le potentiel de développement des nappes phréatiques dans l'aire de l'étude.

L'étude de faisabilité a été réalisée de Juin 89 à Mars 1990 en vue d'évaluer la méthode de recharge des nappes et les installations de pompage au niveau des trois sites de barrages faisables sélectionnés.

Les investigations sur le terrain ont été effectuées avec la collaboration de la Direction de la Région Hydraulique d'Errachidia.

Le présent document décrit les principaux résultats de l'étude hydrologique.

3.2 CONDITIONS TOPOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES DE L'AIRES DE L'ETUDE

3.2.1 Conditions topographiques

Le bassin du Rhéris se caractérise par l'existence de la région du Haut Atlas au Nord, de la plaine au milieu et de la région de l'Anti Atlas au Sud.

Les oueds Rhéris et Todrha prennent leur source de la région du Haut Atlas qui est une chaîne montagneuse orientée du Sud-Est vers le Nord-Est. Ces deux oueds s'écoulent essentiellement en direction du Sud dans la Région du Haut Atlas, puis changent de direction vers le Sud-Est ou l'Ouest au niveau de la zone des plaines. Les deux oueds se rejoignent à 20 km en amont de Jorf puis tournent vers le Sud à Erfoud pour finalement rejoindre l'oued Ziz à environ 15 km au Sud de Rissani.

De plus de nombreux affluents rejoignent les oueds Rhéris et Todrha à partir de la région de l'Anti Atlas.

D'une manière générale le lit des oueds est à sec sauf en période de crue, et ce à cause d'une bonne percolation de l'eau à travers les dépôts alluvionnaires.

3.2.2 Conditions géologiques

Les roches cristallines du Précambrien et les roches sédimentaires telles que le schiste, le grès et l'argilite du Paléozoïque se distribuent dans la région de l'Anti Atlas et dans la partie Sud de la zone de plaine. Ces roches sont solides et massives en dépit de l'existence de joints et de fissures.

De plus, le calcaire, le grès et l'argilite du Jurassique et du Crétacé ou du Mésozoïque apparaissent dans la région du Haut Atlas et dans la partie septentrionale de la plaine. Les roches sont solides sauf dans la zone altérée d'argilite, mais le calcaire et le grès calcaire présentent des fissures ouvertes et des cavités.

Les dépôts alluvionnaires consistent surtout en sable et gravier avec du silt, se retrouvent le long des oueds Rhéris, Todrha et de leurs affluents. On trouve de temps en temps du silt et du sable fin transporté comme couche de surface dans les plaines. Les lits rocheux de la région du Haut Atlas et de la zone de plaine s'étendent de l'Oued-Sud vers l'Est-Nord-Est et plongent vers le Nord. Cependant, les lits rocheux de l'Anti Atlas, tout en s'étendant comme ceux du Haut Atlas, plongent vers le Nord ou le Sud sous les structures plissées.

Les failles parallèles à la direction de l'extension de la strate sont identifiées grâce à l'interprétation des photographies aériennes, des images de télédétection et des investigations géologiques sur le terrain. Les failles les plus importantes se retrouvent au pied du Haut Atlas. Le bloc Nord par rapport à la ligne de faille a été soulevé vers le haut tandis que le bloc Sud s'est affaissé.

3.3 INVESTIGATIONS ADDITIONNELLES

3.3.1 Collecte et analyse des données

Les données disponibles relatives à l'hydrogéologie ont été collectées à partir de la Direction de la Région Hydraulique d'Errachidia et ont été analysées sur place. Les résultats des analyses sont résumés ci-dessous.

i) Inventaire des puits

Les puits inventoriés dans le bassin versant se répartissent en puits enregistrés Khettaras et sources selon le Tableau ci-après.

Cependant l'exactitude du nombre de puits inventoriés est difficile à cause de l'existence de nombreux puits non enregistrés. Qu'ils soient enregistrés ou non, les puits utilisés aussi bien pour l'irrigation que pour l'eau potable ont une profondeur de l'ordre de 10 à 30m et sont principalement localisés le long des Oueds Rhéris et Todrha.

| Cercle | Puits creusé | Puits foré | Khettara | Source |
|------------|--------------|------------|----------|--------|
| Assoul | 17 | 28 | 9 | 32 |
| Tinerhir | 118 | 15 | 27 | 3 |
| Erfoud | 100 | 21 | 11 | 13 |
| Goulmima | 90 | 53 | 13 | 7 |
| Errachidia | 2 | 10 | 0 | 3 |
| Total | 327 | 127 | 60 | 58 |

ii) Puits profonds existants

Des puits profonds et des forages pour les besoins de l'étude des conditions hydrogéologiques ont été exécutés dans le bassin par la Direction de la Région Hydraulique (voir Tableau 3.3.1 et Figure 3.3.1)

En général la profondeur des puits profonds varie de 100m à 200m et les couches aquifères imbibées d'eau souterraines se composent de calcaire et de grès rougeâtre du crétacé ainsi que de calcaire et de grès calcaire du Jurassique.

Les puits existants sont classés en 3 groupes selon leur destination.

| Irrigation | Eau Potable | Reconnaissance |
|------------|-------------|----------------|
| 9 | 68 | 4 |

iii) Observations du niveau des eaux souterraines

La Direction de la région Hydraulique procède une fois par mois à l'observation des fluctuations du niveau des eaux de 99 puits dont 4 puits profonds (voir Tableau 3.3.2. et Figure 3.3.2).

Ces puits d'observation sont localisés concentriquement à Tadirhoust, Goulmima, Tinejdad, Jorf, Erfoud et Rissani. Par conséquent aucun puits d'observation n'existe dans les régions de Tinerhir, du Haut Atlas et de l'Anti Atlas.

Le résultat des observations (voir Figure 3.3.3) montre que la baisse continue du niveau des eaux souterraines est de 2m à Goulmima, 2 à 8 m à Tinejdad, 3m à Jorf et Erfoud entre 1978 et 1987.

Certains puits d'observation à (et autour de) Goulmima présentent une fluctuation constante du niveau des eaux souterraines car ces puits sont aménagés dans du grès rougeâtre du Crétacé.

Les enregistrements des fluctuations du niveau des eaux souterraines de tous les puits d'observation sont donnés dans les données hydrogéologiques ci-jointes.

3.3.2 Etude de la résistivité électrique

Une étude de la résistivité électrique a été effectuée grâce aux équipements fournis par la JICA afin de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques du bassin (voir Figure 3.3.4).

Soixante trois points d'étude ont été sélectionnés par l'équipe de la JICA en accord avec les responsables de la Direction de la Région Hydraulique d'Errachidia. Cinquante neuf de ces points sont localisés sur des profils de coupe géologique et quatre dans la région de l'Anti Atlas considérée comme significative du point de vue de la recharge de la nappe souterraine.

Le procédé de Wenner a été adopté pour cette étude avec une distance maximum des électrodes de 200m. Les équipements utilisés sont essentiellement de 4 types :

- 1 jeu de Mc OHM modèle 211 à système de gerbeuse digital : Intensité maximum = 800 mA ;
Lecture minimum = 0,1 mV
- 1 jeu de survolteur Mc OHM Modèle 2917 = Intensité maximum = 80 mA
- 4 rouleaux de fil électrique de 400m chacun avec tambour
- 5 jeux de Walkie - Talkies et 4 perches électriques

Les coupes de résistivité apparente sont indiquées dans la Figure 3.3.5.

Les résultats de l'étude peuvent être résumés comme suit :

- La relation entre les strates distribuées et les valeurs de résistivité apparente obtenues à travers l'étude est analysée comme indiqué au Tableau 3.3.3
- Les roches éruptives du précambrien telles que rhyolite, dacite .. montrent dans la région de l'Anti Atlas une très grande valeur de résistivité de l'ordre de 737 OHM-m en moyenne.
- En ce qui concerne les roches sédimentaires, schistes boueux et schiste argileux, caractérisée par une teneur élevée en argile la valeur de résistivité va de 38 à 91 OHM-m tandis que pour le schiste sableux et le grès elle va de 27 à 214 OHM-m.
- La résistivité électrique des dépôts d'alluvions se divise en deux groupes aux abords des nappes phréatiques. pour les zones non saturées au-dessus des nappes elle varie de 200 à 1000 OHM-M tandis que pour les zones saturées sous les nappes elle se situe à moins de 200 OHM-m.
- Du point de vue de la résistivité électrique, le grès et le calcaire du Crétacé et les dépôts d'alluvions du Quaternaire sont considérés comme d'excellents aquifères. En ce qui concerne les formations calcaires et de grès calcaires du Jurassique, leurs conditions aquifères sont impossibles à déterminer à cause de la non disponibilité de données sur leur résistivité électrique.

3.3.3 Mesure du niveau des eaux

La mesure du niveau des eaux comprend la mesure de la profondeur de la nappe phréatique, de la conductivité électrique (CE), du potentiel hydrogène (PH) et de la température de l'eau. Ceci a été effectué au niveau de 140 points sélectionnés par les ingénieurs de la JICA en collaboration avec les responsables de la Région Hydraulique d'Errachidia en Février 1989 et en Août-Septembre 1989 (voir Tableau 3.3.4 et Figure 3.3.6).

Les points de mesure largement répartis à travers le bassin sont classés en 5 groupes selon les sources d'eau comme indiqué ci-après :

| Puits creusés | Puits profonds forés | Cours d'eau (Ruissellement) | Khettara | Source | Total |
|---------------|----------------------|-----------------------------|----------|--------|-------|
| 93 | 9 | 9 | 10 | 19 | 140 |

- i) Carte des courbes de niveau et carte de surface piézométrique des nappes phréatiques

Les nappes phréatiques dans le bassin étudié se répartissent d'une part en nappes confinées allant à travers les formations du Jurassique et du Crétacé de la Région du Haut Atlas vers les zones de plaine centrale et d'autre part les nappes non confinées des dépôts alluviaux du Quaternaire.

La carte des courbes de niveau des nappes non confinées (voir Figure 3.3.7) et la carte de surface piézométrique des nappes confinées (voir Figure 3.3.8) sont établies à partir des données sur le niveau des eaux recueillies au niveau des puits d'observation des cours d'eau et des sources.

- ii) Conductivité électrique (C E)

La conductivité électrique des eaux souterraines confinées 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 de Ait Hani et de Tadirhoust Est où il y a une conductivité électrique de plus de 2500 $\mu\text{s/cm}$ (voir Figure 3.3.9). Ceci devrait expliquer pourquoi les valeurs de CE élevées observées à Goulmima et Tadirhoust.

D'autre part la valeur de CE des nappes non confinées dans les dépôts alluviaux augmente essentiellement au fur et à mesure qu'on va de l'amont vers l'aval. Par exemple, la CE est de 1.500-2.000 $\mu\text{s/cm}$ à Tadirhoust et à Goulmima, mais elle atteint 3.000-7.000 $\mu\text{s/cm}$ à Jorf et Erfoud. Cependant dans les régions situées entre Tinerhir et Tinejda il y a une CE constante de l'ordre de 1.000 $\mu\text{s/cm}$ à cause de l'écoulement d'eau fraîche arrivant de la région de l'Anti Atlas (voir Figure 3.3.10).

iii) Concentration du potentiel hydrogène (PH)

Les nappes non confinées des dépôts alluviaux ont en général un PH de 7,0 à 8,0 (voir Figure 3.3.11 et 3.3.12) 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.

iv) 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 Dévonien est de 14-16°C.

v) Fluctuation de la nappe

Selon les résultats indiqués à la Figure 3.3.3, les niveaux de la plupart des nappes phréatiques du bassin du Rhéris sont de l'ordre de 0,2 à 3m par rapport à la situation initiale prévalant au début de Février 1989. Ceci est dû essentiellement aux crues survenues pendant la période de réalisation de l'étude.

Les fluctuations des nappes dans les principales zones du bassin telles que Tinejda, Goulmima, Jorf et Erfoud sont résumées ci-après :

| Zone | Fluctuation de la nappe (m) |
|------------------|-----------------------------|
| Tinerhir | 1,0 à 3,0 |
| Tinejda | 0,3 à 1,5 |
| Goulmima | 1,0 à 3,0 |
| Jorf | 0,2 à 1,0 |
| Erfoud / Rissani | 0,6 à 4,3 |

3.3.4 Tests de pompage

Les propriétés aquifères ont été évaluées grâce aux données fournies par 13 tests de pompage effectués par la Direction de la Région Hydraulique (Voir Tableaux 3.3.5 et Figure 3.3.13). Les logs des puits aux sites de pompage sont illustrés par la Figure 3.3.14.

Les résultats des tests de pompage peuvent se résumer comme suit

- 1) Dix des treize tests 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 tests.
- 2) Il découle des tests que les coefficients de perméabilité s'établissent respectivement comme suit :
Pour le grès du Crétacé : $8,6 \times 10^{-4}$ - $3,7 \times 10^{-2}$ cm/s
Pour le calcaire du Jurassique : $2,8 \times 10^{-3}$ - $2,2 \times 10^{-2}$ cm/s
Pour les dépôts alluviaux : $2,7 \times 10^{-2}$ - $5,8 \times 10^{-1}$ cm/s

3.3.5 Test d'infiltration

Le test d'infiltration a été effectué 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 3.3.13).

Les couches de surface aux points de test sont constituées essentiellement de sable et de gravier avec aussi un petit peu de silt (modérément humides après la pluie).

La capacité d'infiltration suivant un taux d'infiltration constant depuis le commencement du test, s'établit à 40-70 mm/heure (voir Figure 3.3.15).

3.3.6 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 3.3.16).

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 à l'exception du 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° | Procédé | Provenance | Aquifère | Age de l'eau |
|-----|------------|------------|----------------------|--------------|
| 103 | Carbone 14 | Source | Calcaire (Devonien) | > 36 690 |
| 120 | " | P. profond | Grès (Devonien) | > 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 ;
 $1 \text{ T.U} = H^3/H = 10^{-13}$

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 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 des eaux mixtes de 50-60 ans et 5 ans avec un taux de mélange d'environ 1 à 1.

3.3.7 Investigations sur la 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 tests de contrôle de la qualité de l'eau et par les mesures des niveaux des eaux souterraines.

Les éléments détaillés (localisation types résultats) des tests de qualité des eaux sont indiqués en détail dans le chapitre 7 du Volume Principal.

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 test de contrôle de la qualité de l'eau (voir Figures 3.3.17 et 3.3.18) Sur la base des diagrammes ci-dessus, les eaux souterraines du bassin étudié peuvent se diviser en trois types comme suit (voir Figure 3.3.19) :

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 l'existence d'une possibilité de pollution par les eaux usées domestiques.

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

Type 3 : Eaux dans les formations du Dévonien. Ces eaux contiennent une quantité de HCO_3 très grande 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 concerne les eaux souterraines s'écoulant à travers le grès rougeâtre du Crétacé tandis que le type 2 concerne les eaux souterraines à travers les dépôts alluviaux.

3.3.8 Observation du niveau des nappes phréatiques

L'observation du niveau des nappes phréatiques des puits creusés et des puits profonds forés à Goulmima a été effectuée grâce à des enregistreurs automatiques de niveau fournis par la JICA . Cette observation a été faite avec l'assistance de la Direction de la Région Hydraulique depuis la mi-Mars 1989 jusqu'à fin Septembre 1989.

L'observation a essentiellement pour but d'identifier les conditions des nappes phréatiques des dépôts alluvionnaires et des

formations du Crétacé pendant les saisons d'été et de printemps dans la région et aux environs de Goulmima (voir Figure 3.3.13).

Les résultats des observations indiqués dans le Tableau 3.3.6 et dans la Figure 3.3.20 montrent que le niveau de la nappe des dépôts alluvionnaires varie dans un intervalle de 19 à 20 m sous la surface de la nappe selon la pluviométrie. Par contre, on n'a pas remarqué de fluctuation du niveau des nappes phréatiques dans la formation du Crétacé.

3.4 ANALYSE HYDRO-GEOLOGIQUE

3.4.1 Structure hydro-géologique

La structure hydro-géologique, limitant le mouvement des eaux souterraines dans le bassin est illustrée comme la coupe schématique (voir Figure 3.4.1).

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

Les propriétés aquifères sont énumérées comme suit :

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

3.4.2 Ecoulement 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.

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 3.3.8.

Une certaine précipitation dans la région du Haut Atlas s'infiltrant à travers la zone de roches non saturées directement vers les nappes à cause du manque de végétation, est considéré comme étant la source des eaux souterraines.

Plusieurs sources principales dans le Haut Atlas et Khettaras dans la région de Goulmima et ses environs à des endroits où la surface du sol entrecoupe le corps des eaux souterraines.

L'eau souterraine dans la formation du Devonien est considérée comme prenant sa source des précipitations qui sont tombées dans la région du Haut Atlas il y a plus de 38000 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 Devonien est partiellement exposé. Il est difficile de clarifier les conditions de l'eau du sol à cause de la non disponibilité des données.

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

3.4.3 Détermination de la division hydrologique et de la

balance en eau

i) Détermination de la division hydrologique

Sur la base des résultats des investigations hydrologiques, des sites de barrage proposés et des zones d'irrigation potentielles, le bassin du Rhéris peut être divisé en 21 subdivisions en vue du calcul du bilan en eau (voir Figure 3.4.2). Les subdivisions sont associées aux divisions adjacentes (voir Figure 3.4.5).

Le calcul du bilan en eau , c'est à dire l'évaluation quantitative de la quantité d'eau gagnée ou perdue par le bassin durant une période donnée, est effectuée à partir des données hydrologiques et hydrogéologiques de 1978 à 1987.

Le Tableau 3.4.1 montre le calcul du bilan en eau dans le bassin.

ii) Concept de base sur le calcul du bilan en eau

Le calcul du bilan d'eau dans chaque sub-division est fondamentalement effectué par l'équation suivante :

$$P = E + R + RG + G + I + LW + \Delta S$$

où

- P = Précipitations moyennes annuelles
- E = Evapo-transpiration moyenne annuelle
- R = Différence entre le débit entrant et sortant d'un cours d'eau
- RG = Différence entre le débit entrant et sortant des nappes phréatiques à travers les dépôts alluviaux.
- G = Différence entre le débit entrant et sortant des nappes phréatiques à travers les formations du Jurassique et du Crétacé.
- I = Utilisation de l'eau pour l'irrigation
- LW = Utilisation de l'eau pour la consommation potable
- ΔS = Changement dans le volume des eaux souterraines dans les dépôts alluviaux.

Chaque équation du bilan d'eau (voir Figure 3.4.3) sur les sub-division est établie en prenant en considération les conditions hydrologiques et hydrogéologiques

iii) Evaluation des conditions hydrologiques et hydrogéologiques

1) Précipitations (P)

Quatre enregistrements annuels de précipitations à Tadirhoust, Aït Bouijane, Hamida et Tirga sont indiqués dans la Figure 3.4.4. Ces enregistrements indiquent qu'à cause des fluctuations irrégulières, aucun modèle de précipitation ne peut être trouvé.

Les précipitations moyennes annuelles durant la période 1978-1987 est de 116,0 mm à Tadirhoust et 109,9 mm à Aït Bouijane, correspondant à la moitié des précipitations probables (voir Figure 3.4.5.).

Les précipitations moyennes annuelles de chaque sub-division sont calculées selon la procédure suivante :

- a) Etablissement de la carte isohyète du bassin en utilisant les données des précipitations moyennes annuelles de 1978 à 1987 (voir Figure 3.4.6).
- b) Calcul de chaque précipitation annuelle de la sub-division sur la base de la carte isohyète.

Le résultat du calcul est indiqué dans le Tableau 3.4.2.

2) Evapo-transpiration moyenne annuelle (E)

L'évaporation de la surface de l'eau a été observée aux localités de Tadirhoust, Aït Bouijane, Tirga et Erfoud Radier dans le bassin. L'évapo-transpiration précise du bassin, significative pour l'évaluation du bilan d'eau, peut être difficile à évaluer pour la date d'observation mentionnée ci-dessus car elle dépend principalement de la quantité et des conditions de précipitations et d'humidité de surface, donc l'évapo-transpiration moyenne annuelle serait estimée après la détermination d'autres facteurs hydrologiques.

3) Ruissellement des cours d'eau (R)

En général le ruissellement des cours d'eau consiste en l'écoulement de surface dans la région et dans la région adjacente, et la déperdition par infiltration à partir des eaux souterraines. Dans ce cas, le ruissellement des cours d'eau de chaque sub-division est calculé en utilisant les données observées du ruissellement moyen annuel dans les oueds et bassin versant dans les régions de Tadirhoust et Aït Bouijane.

La procédure de calcul se présente comme suit :

- a) Détermination du coefficient de ruissellement dans Tadirhoust et dans la région d'Aït Bouijane. Le résultat est donné dans le Tableau suivant :

| | Tadirhoust | Aït Bouijane |
|--|--|--|
| Ecoulement moyen annuel (1978 - 1985) | 12,5 x 10 ⁶ m ³ | 18,8 x 10 ⁶ m ³ |
| Précipitations moyennes annuelles dans la région (1978 - 1985) | 309,2 x 10 ⁶ m ³ | 108,5 x 10 ⁶ m ³ |
| Coefficient de ruissellement Rr (%) | 4 | 17 |

- b) Calcul de l'écoulement annuel (RA) dans chaque sub-division par l'équation suivante à condition qu'aucun écoulement n'ait lieu dans la région de la plaine.

$$Ra = Am \times P \times Rr$$

Avec :

Ra = Ecoulement moyen annuel

Am = Région de zone montagneuse dans les sub-divisions

Rr = Coefficient de ruissellement

- c) Les coefficients de ruissellement de Tadirhoust et Aït Bouijane sont adaptables à ceux des sub-divisions adjacentes. Du point de vue hydrologique, le coefficient de ruissellement de la région de l'Anti Atlas, à défaut, de données disponibles à ce jour, est adapté à celui de Tadirhoust.

Le résultat du calcul est indiqué dans le Tableau 3.4.3.

- 4) Les débits entrants et sortants des nappes phréatiques à travers les dépôts d'alluvions sous le lit actuel de l'oued Todrha et de l'oued Rhéris sont calculés en utilisant l'équation de la loi de Darcey comme suit :

$$RG = K \times A \times I$$

Avec :

K = Coefficient de perméabilité

A = Surface normale pour la direction du flux

I = Gradient hydraulique

Le calcul de K, A et I a été effectué en utilisant les données obtenues des tests de pompage, les coupes de résistivité apparente, les enregistrements des mesures du niveau des nappes phréatiques et la carte de contour des nappes non confinées dans les dépôts alluviaux respectivement.

Le résultat du calcul de RG est indiqué dans le Tableau 3.4.4.

- 5) Les débits entrants et sortants des nappes phréatiques à travers les formations du Jurassique et du Crétacé.

Les eaux souterraines dans les formations du Jurassique et du Crétacé s'écoulent sur du calcaire perméable et sur du grès calcaire du Haut Atlas vers la région de la plaine du Todrha et de Goulmima.

D'autre part, on ne peut considérer aucun débit entrant ou sortant des nappes à travers les roches de fond dans la région de l'Anti Atlas car ces roches, le granite, le grès, le schiste sont tout à fait imperméables.

Le calcul des débits entrants et sortants des nappes phréatiques est effectué par l'intermédiaire de l'équation de la loi de Darcey comme indiqué ci-dessous :

$$G = K \times L \times D \times I$$

Avec :

K = Coefficient de perméabilité de l'aquifère des roches

L = Longueur de l'aquifère

D = Epaisseur de l'aquifère

I = Gradient hydraulique

K a été obtenu du test de pompage , L et D du profil en travers géologique et I de la carte de contour des nappes phréatiques confinées des formations du Jurassique et du Crétacé.

Le résultat du calcul est indiqué dans le Tableau 3.4.5.

6) Changement de volume des nappes phréatiques dans les dépôts alluviaux (ΔS)

Selon les enregistrements du niveau des nappes phréatiques qui ont été observés par la Direction de la Région Hydraulique , les creux des nappes non confinées dans les oueds Todrha et Rhéris sont identifiés en 1978-1987 comme l'indique la Figure 3.4.7.

Cependant, aucun changement dans les nappes phréatiques confinées dans les formations rocheuses ne peut être considéré à cause des eaux souterraines.

L'équation suivante évalue le changement de volume des nappes phréatiques dans les dépôts alluviaux.

$$\Delta S = AW \times A \times \alpha$$

d'où :

AS = Changement dans les nappes des dépôts alluviaux

AW = Déstockage annuel moyen des sub-divisions en 1978-87

A = Surface du dépôt alluvial

α = Porosité effective (0,1)

AW a été estimé par la Figure 3.4.9. quant à la porosité effective une valeur standard de 0,1 est adoptée à cause de la non disponibilité de données.

Le résultat du calcul est indiqué dans le Tableau 3.4.6.

7) Utilisation de l'eau pour l'irrigation et de l'eau potable

L'utilisation de l'eau pour l'irrigation dans le bassin est calculée par l'analyse d'images satellites de LANDSAT de 1987 et les recherches sur les lieux concernant les conditions actuelles d'utilisation de l'eau dans la région de Goulmima obtenues par la Direction de la Région Hydraulique en 1985.

Les sources de l'eau pour l'irrigation de 6.500 m³/ha/an en moyenne sont les nappes phréatiques, le Khettaras et les flux des cours d'eau mais aucune donnée de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation n'est disponible pour la région de Goulmima.

L'eau potable y compris l'eau de nettoyage est évaluée en multipliant l'accroissement de la population dans les sub-divisions par une utilisation d'eau moyenne de 50 l/personne.

L'eau pour le cheptel (moutons, vaches et chèvres) n'est pas prise en considération à cause de sa faible quantité comparée à d'autres utilisations de l'eau.

Le résultat du calcul est indiqué dans le Tableau 3.4.7.

8) Infiltration dans les nappes souterraines à travers les dépôts alluviaux (F)

L'infiltration dans les eaux souterraines est évaluée en utilisant l'équation suivante :

$$F = RG + I_G + LW + \Delta S$$

RG , LW et ΔS ont été définis précédemment

I_G : Eau d'irrigation obtenue des eaux souterraines

Dans l'ensemble, le volume d'infiltration est estimé inférieur à RG comme l'indique le Tableau 3.4.8 à cause d'inondations à grande échelle fournissant une recharge suffisante des nappes phréatiques.

Au contraire, la déperdition par infiltration des nappes vers les cours d'eau est constatée à Hamida comme l'indique le Tableau 3.4.8. Le schiste du Dévonien , imperméable est exposé à l'intérieur et autour de la région et le dépôt d'alluvions est mince.

3.4.4 Potentiel de développement de la nappe phréatique

Comme résultat de l'étude hydrogéologique, 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 d'excellentes ressources de la nappe phréatique avec un haut potentiel de développement.
- La nappe phréatique confinée dans les formations du Dévonien peut être considérée comme 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 en eau est résumé dans le Tableau suivant :

Unité : 10⁶ m³/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 |
| Région de la Plaine | 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 en eau sont de 1978 - 1986

Le potentiel de développement de la nappe phréatique des formations du Jurassique / Crétacés est plus élevé que celui du dépôt d'alluvions, en général . Les sub-divisions N° 1 , 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, et 16 sont jugées avoir un potentiel élevé de développement de la nappe phréatique surtout 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.

L'utilisation de l'eau pour l'irrigation et l'eau potable 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 liées l'une à l'autre.

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.

3.5 AVANT PROJET DES METHODES ET INSTALLATIONS DE RECHARGE DE LA NAPPE

3.5.1 Concept de base

i) Méthode de recharge de la nappe

La méthode de déversement à travers les lits de sable et gravier des cours d'eau sera adoptée parce qu'elle présente une efficacité de recharge supérieure à d'autres méthodes telle que la recharge par puits.

ii) Recharge de la nappe à partir de la retenue du barrage

La recharge de la nappe à travers le chenal est estimée grâce à l'équation suivante (tenant compte des pertes par évaporation du réservoir et du chenal) :

Recharge de la nappe = (volume d'eau stocké) 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 stocké = (Volume effectif de retenue)
- $(I_{f-2} + E_{1-2}) \times$ Temps de décantation

Avec :

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

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

E_{1-1} = Evaporation à partir du réservoir (Temps de libération des eaux)

E_{1-2} = Evaporation à partir du réservoir (Temps de décantation)

E_2 = Evaporation à partir du chenal du cours d'eau

a) I_{f-1}

La recharge de la nappe est estimée par l'équation suivante basée sur les enregistrements concernant le barrage Hassan Addakhil indiqués dans le Tableau 3.5.1 (Taux d'infiltration : 0,60m/jour).

$$I_{f-1} = 0,60 \times L \times D$$

avec :

L = Distance du site du barrage à la zone bénéficiaire

D = Largeur moyenne du chenal du cours d'eau

D est déterminé sur la base des résultats des investigations topographiques effectués par les ingénieurs de la JICA dans les lits de cours d'eau et qui sont

| Site | Zone | L(km) | D(m) | I_f (m/j) | I_{f-1} (m3/j) |
|------|----------|-------|------|-------------|------------------|
| 16 | Timkit | 3 | 20 | 0,60 | 36.000 |
| | Tinejdad | 31 | 20 | 0,60 | 372.000 |
| 28 | Oukhit | 2 | 15 | 0,60 | 18.000 |
| | Jorf | 20 | 15 | 0,60 | 180.000 |
| 29 | Touroug | 8 | 15 | 0,60 | 72.000 |

b) I_{f-2}

A cause de l'existence du grès dans cette zone, les fuites à partir du réservoir du barrage de Timkit sont évaluées par l'équation suivante découlant de la Loi de Darcey :

$$I_{f-2} = 2\pi r * d * (\Delta h/R) * K = 2\pi r * \sqrt{A/\pi} * 100 * (\Delta h/500) * K \\ = 46.000 \text{ m}^3/\text{j}.$$

avec :

A = Superficie du plan d'eau du réservoir au niveau moyen des eaux (1,28 km²)

K = Coefficient de perméabilité de la couche rocheuse de base sous le réservoir (2,6 m/j).

h = Hauteur moyenne de l'eau du réservoir (22 m)

R = Rayon d'influence (500 m)

d = Epaisseur de l'aquifère (100 m)

r = Rayon équivalent de la surface du plan d'eau du réservoir (638 m)

c) E_{1-1}

L'évaporation à partir du réservoir pour le temps de libération des eaux et de décantation est évaluée comme suit :

- Evaporation pour le temps de libération

Elle est estimée par l'équation suivante :

Evaporation = (superficie moyenne du plan d'eau) x (évaporation moyenne journalière par an)

Les résultats se présentent comme suit :

| Site | Superf. Moy Plan d'eau | Evap. Moy Journ/an | E_{1-1} (m ³ /j) |
|---------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Timkit (N°16) | 1,28 km ² | 8,6 mm | 11.000 |
| Oukhit (N°28) | 0,21 | 11,9 | 2.500 |
| Oulhou (N°29) | 0,21 | 11,9 | 2.500 |

- Evaporation pour le temps de décantation

Elle estimée par l'équation suivante :

$$\text{Evaporation} = (\text{Superficie du plan d'eau}) \times (\text{Evaporation moyenne journalière par an}) \times (\text{Temps de décantation})$$

Les résultats se présentent comme suit :

| Site | Superficie Plan d'eau | Evap.Moy Journ/an | Temps Décantation | E ₁₋₂ (m ³) |
|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| Timkit (N°16) | 2,53 km ² | 8,9 mm | 17 jours | 370.000 |
| Oukhit (N°28) | 0,26 | 11,9 | 5 | 15.500 |
| Oulhou (N°29) | 0,26 | 11,9 | 6 | 18.600 |

d) Evaporation à partir du chenal du cours d'eau

Elle est estimée à partir des données d'évaporation obtenues de la station météorologique du bassin du Rhéris, selon l'équation suivante :

$$E_2 = E_p \times L \times D$$

avec :

E_p = Evaporation moyenne journalière par an

L = Distance du site du barrage à la zone bénéficiaire

D = Largeur moyenne du chenal du cours d'eau

| Site | L (km) | D (m) | E _p (mm) | E ₂ (m ³) |
|---------------|--------|-------|---------------------|----------------------------------|
| Timkit (N°16) | 31 | 20 | 8,6 | 5.300 |
| Oukhit (N°28) | 20 | 15 | 11,9 | 3.600 |
| Oulhou (N°29) | 8 | 15 | 11,9 | 1.400 |

e) Recharge de la nappe par libération de l'eau du réservoir

Les résultats de calcul de cette recharge sont résumés dans le Tableau ci-après :

| Site | Capacité Retenue (1000m ³) | Zone bénéficiaire | Capacité de départ (1000m ³) | Recharge de nappe (1000m ³) |
|---------------|--|-------------------|--|---|
| Timkit (N°16) | 12.000 | Tinejdad | 10.070 | 8.660 |
| Oukhit (N°28) | 750 | Jorf | 734,5 | 720 |
| Oulhou (N°29) | 680 | Touroug | 661,4 | 628 |

iii) Evaluation de la vitesse des eaux souterraines

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

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

Avec :

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

Le coefficient de perméabilité obtenu à partir des tests de pompage est adopté pour l'analyse de la vitesse des eaux souterraines. Le gradient hydraulique est supposé similaire au gradient de la surface du sol. Les résultats se présentent comme suit :

| Site | 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 |

3.5.2 Installation de pompage

i) Echelle et localisation des installations de pompage

L'échelle et la localisation des installations de pompage seront fixées par l'AH.

ii) Evaluation du potentiel de développement des nappes phréatiques

Le potentiel de développement des nappes phréatiques sera défini comme la quantité nouvellement obtenue par recharge et à exploiter.

iii) Structure des puits

a) Puits de pompage

Un puits creusé peut être recommandé comme puits de pompage dans cette région à cause du niveau relativement peu profond des nappes de l'ordre de 15m.

De plus, la structure d'un puits de pompage est à approximativement déterminée comme le montre la Figure 3.5.1 selon les précisions fournies par les responsables de la Direction de la Région Hydraulique d'Errachidia. Chaque puits a un diamètre de 1,5m et une profondeur de l'ordre de 25m.

b) Débit de pompage de puits

Le débit de pompage a été calculé sur la base de l'équation pour un écoulement radial permanent pour le puits indiqué à la Figure 3.5.2, et ceci à condition que son marnage maximum soit de 2m au-dessous du niveau original de la nappe.

Le coefficient de perméabilité appliqué à l'équation a une valeur moyenne de 0,24cm/s découlant des tests de pompage.

On a conclu que le débit maximum de pompage d'un puits est de 45 l/s et que le débit de sécurité d'un puits est de 33 l/s, ce qui correspond à 60% du débit maximum de pompage.

c) Rayon d'influence du puits

Le rayon d'influence du puits est estimé comme suit par la formule de Siehardt :

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

avec :

S_w = Marnage maximum (2m)

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

Il résulte de l'équation ci-dessus que la distance minimum requise pour qu'il n'y ait pas d'influence sur d'autres puits serait de l'ordre de 600m.

IV. SOCIO-ECONOMIE

4.1 BASE DE DONNEES SOMMAIRE POUR LES TRENTE DEUX SITES DE BARRAGE POTENTIELS

4.1.1 Introduction

Les données socio-économiques utilisées pour la clarification des 32 sites de barrage préliminaires pour l'investigation sont résumées dans cette section.

La sélection initiale a été réalisée sur la base d'un certain nombre de critères techniques en prenant en considération particulièrement les préoccupations du Gouvernement. La sécheresse du début des années 80 a eu un sérieux impact sur les aires en aval et l'un des principaux critères dans la sélection des barrages a été de sauvegarder les aires cultivées et les palmeraies en aval du Rhéris. D'autres critères techniques utilisés dans la sélection des sites ont inclus des données géologiques, topographiques, hydro-géologiques et pluviométriques.

La base des données socio-économiques inclut une analyse des facteurs suivants :

i) Données démographiques

Les données sur la population locale dans le voisinage de chaque site de barrage et sur la population dans les communes dans lesquelles les barrages sont localisés sont présentées.

Cette dernière donne une indication de l'importance relative de chaque barrage. Les projections de la population sont données jusqu'à l'an 2020. Celles-ci sont basées sur le taux d'accroissement différent mentionné dans le chapitre 9 du Rapport Principal.

ii) Approvisionnement en eau potable

Les données sur les réseaux existants sont indiquées. Les statistiques doivent cependant être traitées avec prudence. La plupart des réseaux sont vieux et fonctionnent d'une manière inefficace. Les chiffres de la production et de la consommation ont énormément variés comme conséquence de la sécheresse et ne reflètent pas le modèle de la demande de base.

iii) Données agricoles

L'utilisation de l'eau dans ce secteur est mentionnée dans la section 4.5. Les données donnent un aperçu des estimations des aires qui sont actuellement cultivées. Ces données devraient être traitées comme étant approximatives. Les estimations données dans divers documents diffèrent considérablement vu que l'aire cultivée varie énormément d'une année à l'autre selon le niveau des précipitations. Ainsi l'interprétation photographique dépend de l'année et de la saison dans lesquelles elles ont été prises. De même, les estimations d'aires potentielles sont basées sur la planimétrie des cartes et devraient être traitées simplement comme des indications du potentiel futur. Sans des études détaillées de faisabilité il est impossible d'évaluer l'impact actuel des barrages sur les aires potentielles étant donné que ceci dépend aussi bien de la quantité d'eau disponible que de la qualité des terres dans chaque site.

iv) Cheptel

Les données sur ce secteur sont uniquement disponibles au niveau des communes et pour l'année 1982. Le secteur est virtuellement artisanal et il n'existe pas de fermes commerciales dans toute la province d'Errachidia. Il est difficile d'attribuer des avantages dans ce secteur à tout barrage particulier, étant donné que les troupeaux suivront les pâturages où ils sont disponibles.

Les données sont également fournies sur l'impact que les barrages auront en termes d'inondation des logements et de terrains agricoles.

Des données applicables sont également fournies sur les développements économiques existants dans le voisinage des barrages.

En termes de leur impact, les barrages peuvent d'une manière appropriée être groupés comme suit :

- Région d'Assoul : Sites 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
- Amellagou au Nord de Goulmima: Sites 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
- Commune d'Arhbalou : Sites 15, 16
- L'Oued Todrha : Sites 17, 18, 19, 20
- Région au Sud de l'Oued Rhéris :
 - * Aval de Tinejdad : Sites 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
 - * Amont de Tinejdad : Sites 30, 31 et 32.

4.1.2 Groupe 1 : Sites de barrage dans la région d'ASSOUL

Ces sites de barrage incluent :

- 1 : Amont de Moh ou Yousseff
- 2 : Aval de Moh ou Yousseff
- 3 : Ouzirham
- 4 : Akdim
- 5 : N'Ouamane
- 6 : Bou Oudad
- 7 : Anitaram

i) Données de base

Ces sites auront tous un impact immédiat sur l'aire située autour d'Assoul bien que les sites de barrage 1 et 2 soient en aval d'Assoul et auront un impact sur les zones cultivées et de bours plutôt que sur le village lui-même. Tous les autres sites sont situés en amont. Ils auront également un impact sur les zones plus en aval à Imider et Amellagou.

ii) Données démographiques

Les barrages 1 et 2 n'affecteront pas directement la population d'Assoul mais des villages en aval (Tirga, Taourirt, Tachougacht et Amouguer). Tous les autres sites de barrage affecteront Assoul. Les populations actuelles et futures de ces zones sont les suivantes :

| ANNEE | 1989 | 1995 | 2000 | 2010 | 2020 |
|---|------|------|------|-------|-------|
| Villages affectés par les sites 1 et 2 | 1400 | 1530 | 1650 | 1850 | 2050 |
| Site 7 | 2870 | 3300 | 3500 | 3900 | 4400 |
| Assoul | 1820 | 2000 | 2150 | 2400 | 2700 |
| Commune d'Assoul | 8450 | 9250 | 9900 | 11000 | 12200 |

iii) Approvisionnement en eau potable

Seul Assoul est actuellement desservi par un réseau. En 1987 il y avait 93 connexions, 1 borne fontaine. La production de 1987 a été évaluée à 16.325 m³ ; la distribution à 13.060 m³ et la consommation à 6.492 m³. Seules 7 % de la population sont desservies par le réseau, 15 % par des fontaines publiques et 78 % par des puits, des sources et des séguias. Il y a actuellement 15 puits, 6 sources ou séguias et 5 khattaras. La capacité de retenue est évaluée à 43 m³.

iv) Agriculture

Les zones cultivées à Assoul sont évaluées à 977 ha dont 400 ha sont de la qualité du groupe 1. Il y a une grande zone de bour potentielle (évaluée à 1.500 ha dans la région). Selon l'ORMVAT il y avait 1.048 fermiers ; la majorité de l'aire (894 ha) était sous culture de céréales, et 82 ha de luzerne. Le programme principal de l'ORMVAT est pour la culture de pommiers avec un objectif de 2000 arbres sur 400 ha. L'aire a en conséquence un potentiel significatif. Un réseau de séguia récent a été établi et relié à une nouvelle pompe avec une capacité de 30 l/s, organisé par une coopérative.

En termes de localisation, l'impact du barrage 3 sera probablement le plus important sur le développement de la nouvelle aire de bour, qu'il pourrait desservir aussi bien au moyen de séguias que de pompage.

v) Cheptel

La région d'Assoul est importante pour le cheptel.

Selon le recensement de 1982, il y avait 12.500 moutons et chèvres dans la commune et plus de 1.150 vaches. Néanmoins, étant donné le caractère nomade du secteur, les avantages ne peuvent être assignés à des barrages individuels plutôt qu'au développement de l'eau dans l'aire en général.

vi) Autres commentaires

Les sites de barrage 4 et 6 sont situés dans l'oued principal et entraîneront l'inondation des aires agricoles existantes. Ils nécessiteront la relocalisation de la route. Il existe une aire évaluée à environ 100 ha en amont du site du barrage qui pourrait être inondée.

L'accès aux sites de barrage 1 et 2 est difficile et les coûts de construction seront en conséquence probablement plus élevés.

Les sites 1, 2 et 3 nécessiteront de hauts barrages, les autres seront des barrages petits ou moyens.

4.1.3 Groupe 2 : Amellagou au Nord de Goulmima :
Sites 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14

i) Données de base

Ces sites sont situés en amont du Rhéris et influenceront les aires le long de l'oued jusqu'à Tadirhoust de même que les aires situées au Nord de Goulmima. Ils incluent :

Le site de barrage 8 : Imider, Rhéris
Le site de barrage 9 : Tahamdount en Amont
Le site de barrage 10 : Tahamdount en Aval
Le site de barrage 11 : Aït Brahim
Le site de barrage 12 : Timizguiyt en Amont
Le site de barrage 13 : Timizguiyt en Aval
Le site de barrage 14 : Tadighoust

ii) Données démographiques

L'aire principale de l'impact local des barrages varie ; plus en aval leur impact est plus grand sur les aires agricoles de Goulmima, mais il peut être supposé qu'un certain impact du barrage 9 sera ressenti à Goulmima.

Les aires immédiates affectées sont les suivantes :

Site 8 :

villages d'Imider, Irherem Amedrane, Aït Slimane, Aït Boussem, Amellagou, Tamalout et El Haroun.

Population Totale : 2.900

Les sites 9 et 10 :

villages de Tahamdount, Tirerhemt, Aït Brahim, Toukter, Timizguiyt, Asfla et Tadirhoust.

Population totale : 5.000

Les sites 11, 12 et 13 :

villages d'Aït Brahim, Tirerhemt, Toukter, Timizguiyt, Asfla et Tadirhoust ;

Population totale : 4.800

Site 14 : Tadirhoust et Nord de Goulmima

Population totale : 12.000

La population actuelle et future des aires affectées sont prévues comme suit :

| ANNEE | 1989 | 1995 | 2000 | 2010 | 2020 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Amellagou (Site 8) | 5900 | 6500 | 6950 | 7750 | 8600 |
| Nord de Goulmima | 10400 | 12000 | 13500 | 16300 | 19400 |
| Commune | 38150 | 44700 | 50400 | 62000 | 74800 |

iii) Approvisionnement en eau potable

Dans la plupart des villages, l'eau potable est fournie par des séguias ou des puits. Seul Amellagou et Tadirhoust sont desservis par un réseau.

Le réseau d'Amellagou est petit, desservant uniquement 170 personnes. 22 % de la population sont desservis par des bornes fontaines et 74 % ne sont pas du tout desservis. L'eau de surface dépend de 6 séguias tirant leur origine de sources à Imider et Taouadit, qui s'écoulent pendant toute l'année. Il y a 9 khetaras. En 1987, le réseau a fourni 11.250 m³ ; la distribution était de 9.000 m³ et la consommation s'élevait à 6.750 m³. La capacité de retenue est de 200 m³.

Tadirhoust a un réseau de 400 connexions et 11 bornes fontaines. La production de 1987 s'élevait à 43.100 m³, la distribution à 41.000 m³ et la consommation à 21.540 m³. La capacité de la retenue est de 400 m³.

A Goulmima la production était évaluée à 297.441 m³ et la consommation à 266.882 m³.

iv) Agriculture

Il existe une zone de bour considérable qui pourrait être développée, l'eau était disponible en quantité suffisante à Amellagou. Une zone de 986 ha est sous culture dont 906 ha comportent des céréales et le reste de la luzerne. Il y a un nombre considérable de pommiers et d'amandiers sous culture et l'ORMVAT a un programme majeur pour les développer. Les aires de Bour à Amellagou sont évaluées à 500 ha.

La plupart des aires en aval de l'oued Rhéris sont déjà sous culture et il existe une faible portée pour le développement du bour jusqu'après Tadirhoust. Néanmoins, pendant la sécheresse une grande partie de la terre existante devait être laissée inculte à Amellagou. On a estimé que seulement 25 % de la terre étaient cultivés à un certain moment.

Les sites de barrage 9 et 10 fourniront de l'eau pour Tahamdout et les aires en bas de Tadirhoust - un total de 215 ha. Les aires locales sous culture incluent Tahamdout (32 ha), Aït Brahim (22 ha), Takhtet (17 ha), Timizguiyt (60 ha), Asfla (65 ha), Sirghris (60 ha).

Les sites de barrage 11, 12 et 13 fourniront l'eau aux aires d'environ 200 ha.

Le barrage 14 à proximité de Tadirhoust approvisionnera une aire de 380 ha, plus une aire de bour potentielle de plusieurs milliers d'ha. L'eau peut également être fournie aussi loin que Goulmima qui a une zone actuellement cultivée de 1.154 ha, avec une zone non cultivée de 1.366 ha. Au Nord de Goulmima, il y a 22.000 oliviers (40.000 arbres en tout à Goulmima), 315.000 palmiers (43.000 en tout à Goulmima) et 3.000 amandiers.

v) Cheptel

En 1982 la commune avait 17.000 moutons et chèvres et uniquement une estimation de 1.600 vaches.

vi) Autres commentaires

Le développement de la région à des fins touristiques pourrait entraîner une augmentation significative des demandes en eau. Ceci est surtout vrai pour Amellagou où un projet d'hôtel a été en discussion pendant un certain nombre d'années ; le projet requiert un important investissement pour l'amélioration de la route et l'extension du réseau électrique.

Certains des barrages entraîneront également l'inondation des terres agricoles et des logements. Par exemple, le barrage 8 inonderait environ 50 ha de terre agricole et nécessiterait la relocalisation de la route.

L'Administration de l'Hydraulique a réalisé des tests de forage au site 10 où un débit d'eau de plus de 100 l/s a été identifié à une profondeur de 160 mètres et la possibilité de construire une conduite pour approvisionner Goulmima est sérieusement considérée. En même temps l'ORMVAT étudie le projet d'un lac collinaire à Tahamdout qui desservirait une aire locale de 28 ha et relierait à travers les seguias les zones agricoles de Temezquit (47 ha) et Asfla (51 ha). Ces projets amoindriraient la justification d'un barrage dans l'un ou l'autre de ces sites.

Les sites 11, 12 et 13 auraient des impacts sérieux en termes d'inondation qui compenseraient leurs avantages jusqu'à un certain point. Le site 11 inonderait quelque 50 ha de terre agricole et nécessiterait la relocalisation du village local entier. En fournissant l'eau pour environ 200 ha, les barrages 12 et 13 inonderaient des aires significatives plus petites. Les barrages 8, 9 et 10 seront de grands barrages alors que 11, 12, 13 et 14 seront de petits barrages.

4.1.4 Groupe 3 : Commune d'Arhbalou :
sites de barrage 15 et 16

i) Données de base

Ces sites (Barrage 15 : Taerquiot ; Barrage 16 : Timkit) sont situés en dessous d'Arhbalou N'Kerdous, et en desservant les aires agricoles le long de l'oued leurs barrages auront principalement pour but de suppléer le débit d'eau à Timkit et de réapprovisionner les nappes souterraines à Tinejdad considéré comme une zone prioritaire critique dans le bassin de l'oued Rhéris. Il est à noter cependant que la zone agricole de Timkit est à présent desservie par une séguia qui est alimentée pour s'assurer que le barrage n'arrête pas le débit de cette eau. Les puits forés à Timkit ont été infructueux et il existe en conséquence une autre source d'approvisionnement.

ii) Données démographiques

Le barrage du site N° 15 aura un impact majeur sur les villages situés dans le bassin de l'oued jusqu'à Timkit, de même qu'un impact secondaire sur la zone située autour de Tinejdad. Le barrage N° 16 aura pour but principalement d'améliorer la source d'approvisionnement en eau de Tinejdad par le réapprovisionnement des nappes souterraines. Igoudmane et Timkit sont les concentrations majeures avec respectivement 260 et 270 ménages. Les estimations de la population pour ces aires sont :

| ANNEE | 1989 | 1995 | 2000 | 2010 | 2020 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Igoudmane | 1200 | 1400 | 1500 | 1620 | 1800 |
| Timkit etc | 1200 | 1400 | 1500 | 1620 | 1800 |
| Tinejdad (Nord)* | 16500 | 20300 | 23750 | 30350 | 39600 |
| Commune d'Arhbalou | 5762 | 6310 | 6750 | 7550 | 8350 |

* Comprend les douars suivants (avec la population de 1989):

| | |
|------------------|------|
| * Khorbat | 4630 |
| * Gardmit | 2840 |
| * Tirfart-Tilalt | 3220 |
| * Aït Assem | 2400 |
| * Asrir | 3400 |

iii) Approvisionnement en eau potable

Les villages situés à proximité des sites de barrage n'ont pas de réseaux. Tinejdad a un réseau majeur d'environ 3 km avec 1.600 connexions et 15 bornes fontaines. En 1987 la production était de 54.026 m³, et la consommation était estimée à 45.922 m³.

iv) Agriculture

Les aires existantes à Igoudmane et Timkit sont alimentées par l'eau de la source permanente et les barrages devront assurer que cette quantité d'eau continue à être rendue disponible, Igoudmane a une aire existante de 215 ha ; les douars en dessous du barrage ont 138 ha répartis comme suit :

| | |
|---------------------|-------|
| * Irbibene - Tarhia | 34 ha |
| * Timkit | 45 ha |
| * Izakarene | 59 ha |

La zone majeure d'impact est cependant Tinejdad. La zone cultivée au Nord de Tinejdad est constituée comme suit :

| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| * Khorbat | 237 ha (plus 320 ha d'aire de bour) |
| * Gardmit | 323 ha |
| * Tirfart - Tilalt | 290 ha |
| * Aït Assem | 210 ha |
| * Asrir | 359 ha |

TOTAL 1.419 ha (plus 320 ha de bour)

Il y a 320 pompes dans ces aires, 5 Khettaras qui sont opérationnelles et 9 Khettaras qui se sont tarées dans les années récentes.

On estime que le barrage 16 affectera 642 ha. Il existe une aire de bour considérable entre Timkit et Tinejdad qui pourrait être développée avec de l'eau additionnelle.

Il y avait 1.000 vaches et plus de 6.000 moutons et chèvres dans la commune d'Arhbalou selon le recensement de 1982. Les estimations pour l'aire de Tinejdad sont difficiles à réaliser étant donné que les ménages gardent de petites quantités