

*L'étude de Faisabilité Pour Le Développement des Ressources En Eau
Par Les Barrages Moyens Dans Le Milieu Rurale Au
Royaume Maroc
Rapport Final
Volume III Rapport de Soutien (1) sur
Étude de Base*

***Rapport de Soutien II: Hydrologie
et
Réduction des Inondations***

**L'ETUDE DE FAISABILITE
POUR
LE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU
PAR
LES BARRAGES MOYENS DANS LE MILIEU RURALE
AU ROYAUME MAROC**

RAPPORT FINAL

**VOLUME III
RAPPORT DE SOUTIEN (1)
SUR ÉTUDE DE BASE**

**RAPPORT DE SOUTIEN II
HYDROLOGIE ET REDUCTION DES INONDATIONS**

Table des matières

	<u>Page</u>
II1	Observatoire II-1
II1.1	II1.1 Observation météorologique II-1
	II1.2 Jaugeage d'écoulement..... II-1
	II1.3 Surveillance De Qualité De l'eau II-2
	II1.4 III.4. Observation Des Eaux souterraines II-2
II2	Climat de la région d'étude II-2
	II2.1 Bassins fluviaux dans la région d'étude..... II-2
	II2.2 Vue d'ensemble du climat II-3
	II2.2.1 Région du Rif Nord II-3
	II2.2.2 Région Nord Centrale de l'océan atlantique II-3
	II2.2.3 Région Orientale II-4
	II2.2.4 Région Sud-Ouest de l'Océan atlantique..... II-4
	II2.2.5 Région du Sahara et de l'atlantique Sud II-4
	II2.3 Dispositifs Météorologiques Mensuels II-4
II3	Ressources en eau..... II-5
	II3.1 Problématique des Ressources en eau II-5
	II3.1.1 Cycle de l'eau au Maroc II-5

II3.1.2	Problématique	II-5
II3.1.3	Besoin en petits et moyens barrages.....	II-7
II3.2	Dispositifs généraux des apports annuels.....	II-7
II3.3	Écoulements des fleuves au niveau des sites potentiels des barrages.....	II-8
II3.3.1	Disponibilité des mesures de débit.....	II-8
II3.3.2	Caractéristiques des écoulements aux sites de barrage	II-8
II3.3.3	Évaluation des apports.....	II-9
II3.3.4	Vérification des apports.....	II-10
II4	Réduction des inondations	II-11
II4.1	Problèmes d'inondation et d'envasement.....	II-11
II4.1.1	Cause des dégâts	II-11
II4.1.2	Disposition de réduction d'inondation.....	II-11
II4.1.3	Problèmes d'envasement de barrages	II-11
II4.2	Les travaux et études antérieures	II-12
II4.2.1	Travaux et Services spécialisés.....	II-12
II4.2.2	Étude D'IBRD	II-12
II4.3	Caractéristiques des débits de crues	II-13
II4.3.1	Débits annuels maximums	II-13
II4.3.2	Fréquence des événements d'inondation.....	II-13
II4.3.3	Distribution des écoulements d'inondation.....	II-13
II4.4	Rôles des barrages dans la réduction des inondations.....	II-14
II4.4.1	Fonctions Primaires.....	II-14
II4.4.2	Ampleur des effets.....	II-14
II4.4.3	Envasement des Réservoirs	II-15
II4.4.4	Principes de contrôle des inondations et de l'envasement.....	II-16

Liste des Tableaux

Tableau II1.1.1	Agence de bassins des cours d'eau de la DGH.....	IIT-1
Tableau II2.3.1	Conditions Météorologiques aux Stations Représentatives....	IIT-2
Tableau II2.3.2	Comparaison des dispositifs Météorologiques.....	IIT-3
Tableau II2.3.3	Directions et fréquences des vitesses maximales du vent(1/2).....	IIT-4

Tableau II2.3.3	Directions et fréquences des vitesses maximales du vent(2/2)	IIT-5
Tableau II3.3.1	Stations d'écoulement jaugeage sélectionnées pour étude	IIT-6
Tableau II3.3.2	Caractéristiques des écoulements de rivières aux sites de barrages	IIT-7
Tableau II3.3.3	(1/9) ~ Tableau II3.3.3 (9/9) Écoulement moyen mensuel de la rivière	IIT-8 ~ IIT-16
Tableau II3.3.4	Vérification des apports estimés.....	IIT-17
Tableau II4.3.1	Débits Maximums journaliers annuels aux sites de barrages (1/3).....	IIT-18
Tableau II4.3.1	Débits Maximums journaliers annuels aux sites de barrages (2/3).....	IIT-19
Tableau II4.3.1	Débits Maximums journaliers annuels aux sites de barrages (3/3).....	IIT-20
Tableau II4.3.2	Fréquence des événements d'inondation	IIT-21
Tableau II4.3.3	Caractéristiques des débits de crues	IIT-22
Tableau II4.4.1	Effets de contrôles des barrages sur l'inondation et l'envasement	IIT-23
Tableau II4.4.2	Volumes annuels d'envasement des barrages	IIT-24

Liste des Figures

Figure II2.3.1	Conditions Météorologiques aux Stations Représentatives ...	IIF-1
Figure II2.3.2	Vitesse maximale du vent et sa Direction	IIF-2
Figure II3.1.1	Cycle de l'eau au Maroc	IIF-3
Figure II3.3.1	Disponibilité des enregistrements d'écoulement pour l'étude	IIF-4
Figure II3.3.2	(1/25) ~ Figure II3.3.2 (25/25) Caractéristiques des écoulements aux sites de barrage	IIF-5 ~ IIF-29
Figure II3.3.3	(1/4) ~ Figure II3.3.3 (4/4) Corrélation entre les débits moyens mensuelss	IF-30 ~ IIF-33
Figure II3.3.4	Corrélations des précipitations et des apports au site de barrage de Timkit	IIF-34

RAPPORT II

HYDROLOGIE ET REDUCTION DES INONDATIONS

III Observatoire

III.1 Observations météorologiques

Les principales agences responsables de l'observation et de la compilation météorologique des données sont la direction générale de l'hydraulique (DGH) et le service national de météorologie (SMN). En plus de ces derniers, d'autres agences de l'eau associés au ministère de l'équipement; Au Ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche maritime; au Ministère de l'intérieur; et à l'Office National d'Electricité (ONE) ont leurs propres réseaux d'observations répondant à leurs besoins spécifiques.

Le réseau Hydro-météorologique d'observations de la DGH se compose de 106 stations météorologiques et de 310 stations pluviométriques tout au long du pays. Ces stations sont supervisées et contrôlées par le central téléphonique de la DGH à Rabat et ses 9 directions régionales situées à Tétouan, Oujda, Fès, Benslimane, Beni Mellal, Marrakech, Agadir, ErRachidia et Laayoune. Certains fleuves et leurs agences de bassin de la DGH sont énumérés dans le Tab. III.1.1.

Les stations météorologiques, situées dans les stations hydromériques et au niveau des barrages principaux, servent généralement pour l'observation des précipitations, de l'évaporation, de l'humidité, de la température et du vent, et en partie pour la radiation solaire, ainsi que la pression atmosphérique et les températures au sol. Un gardien réside de manière permanente à chaque station pour l'observation et l'entretien régulier de la station.

III.2 Jaugeage d'écoulement

Des stations de jaugeage des débits d'écoulement contrôlées par la DGH sont classées comme stations principales ou secondaires selon les mesures et les équipements disponibles. La station principale permet d'effectuer des observations du niveau d'eau et la mesure du débit équipée de personnel-mesure, enregistrant l'indication du niveau d'eau et la plupart du temps on utilise un blondin ou un treuil pour la mesure des débits en période de crue. Un gardien permanent réside dans la station principale ainsi qu'un technicien pour compléter la mesure d'enregistrement et pour garantir la précision des indications de niveau d'eau relevées. Les stations secondaires ont en général un technicien et certains d'entre elles ne sont pas équipées d'enregistrements de niveau de l'eau, mais généralement ne disposant d'aucun matériel pour le jaugeage en période de crue et d'aucun gardien résident permanent.

La mesure des débits a été lancée dès 1912 et la mesure avec une station permanente a commencé à partir de 1918. Le nombre de stations de mesure des débits d'écoulement a augmenté notamment après le lancement du programme de construction de barrages de 35 en 1956 à 250 principales stations actuellement. En outre, il y a 710 emplacements de fleuve retenus pour des mesure de débit d'écoulement.

III.3 Surveillance de la Qualité de l'eau

La DGH a commencé à surveiller la qualité de l'eau en 1984 pour caractériser la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Les 6 premières années ont été considérées comme une étape d'accumulation des connaissances de base sur la qualité de l'eau. En 1990 le réseau de surveillance a été réexaminé pour étudier l'impact de la pollution sur les ressources en eau. Depuis cette date, le réseau avait augmenté progressivement pour faire face à la demande croissante afin d'identifier les conditions de qualité de l'eau. Actuellement, un total de 765 stations constituent le réseau de surveillance de la qualité aquatique pour le prélèvement de l'eau dans les fleuves, les eaux souterraines et les réservoirs des barrages existants. Plus de 30.000 analyses sur les éléments physiques, chimiques et bactériologiques sont réalisées chaque année avec ce réseau.

III.4 Observation des Eaux souterraines

Le réseau d'observation des eaux souterraines se compose de 1.700 sites distribués sur environ 80 bassins d'eaux souterraines (nappes). La DGH réalise un programme important d'études et de forages pour l'identification, l'évaluation et la mobilisation des ressources en eaux souterraines du pays. La DGH effectue annuellement environ 500 travaux de forage avec des profondeurs allant de 100 à plus de 1.000 m.

II2 Climat de la région d'étude

II2.1 Bassins fluviaux dans la région d'étude

Le royaume du Maroc a un territoire extérieur de 710.850 km² comprenant les 13 bassins fluviaux principaux, groupés en 5 régions comme montré ci-après:

Bassins principaux de fleuve au Maroc

Région/ Bassin du cours d'eau	Surface du Bassin (km ²)	Rapport (%)
Région du Rif-Nord	(20,600)	(2.90)
- Tangérois	2,400	0.34
- Méditerranéen côtier	12,600	1.77
- Loukkos	5,600	0.79
Région centrale de l'Atlantique Nord	(132,500)	(18.64)
- Sebou	40,000	5.63
- Bou Regreg et Atlantique côtier de Casablanca	20,000	2.81
- Atlantique côtier de Safi-Essaouira et Tensift	37,500	5.28
- Oum Er Rbia	35,000	4.92
Région Est	(57,500)	(8.09)
- Moulouya	57,500	8.09
Région de l'Atlantique Sud-Ouest	(35,400)	(4.98)
- Souss-Massa et Atlantique côtier d'Agadir	35,400	4.98
Atlantique Sud et la Région du Sahara	(464,850)	(65.39)
- Guir, Bouanane et Tamlaht	29,900	4.21
- Ziz, Rheris et Maider	39,290	5.53
- Drâa	95,000	13.36
- Bassins Sahariens	300,660	42.30
Total	710,850	100 %

Les 25 sites de barrage choisis dans la présente étude se répartissent sur les 9 bassins de cours d'eau à l'exception de ceux du Tangérois, du Loukkos, de Moulouya et du Sahara.

II.2 Vue d'ensemble du climat

Des dispositifs climatiques généraux sont décrits dans les paragraphes suivants respectivement aux régions discutées dans la section précédente.

II.2.1 Région du Rif Nord

Un climat de type semi-humide méditerranéen règne dans l'occidental, devenant semi-aride vers la ville proche Al Hoceima. Le climat de cette région se caractérise par une saison des pluies à partir de Septembre en Avril et une saison sèche dans le reste de l'année.

Cette région reçoit la grande quantité de précipitations avec une moyenne annuelle de 700 à 800 millimètres, bien que les précipitations diminuent à environ 350 à 400 millimètres à l'Est du fleuve Lao. En raison de la disponibilité des précipitations élevées, la région connaît un potentiel en eau de surfaces des plus élevés du pays. La région représente seulement 2,9% du territoire national et accueille de l'ordre de 20% du potentiel national en ressources en eaux.

II2.2.2 Région Nord-Central de l'Océan atlantique

Le climat est influencé par les types méditerranéens et océaniques. Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 500 millimètres variant de manière significative d'un endroit à un autre de 2.000 millimètres dans les montagnes de Rif à 250 millimètres dans le Haouz. La région est l'une des plus grandes réceptrices des ressources en eau produites dans les intervalles montagneux du Rif et de l'Atlas. La région représente 19% du territoire national et possède 56% du potentiel en ressources en eau du pays.

II2.2.3 Région Orientale

Cette région, représentée par un bassin simple du fleuve du Moulouya, est située à l'Est du Rif et des montagnes d'Atlas. Le climat est aride de type méditerranéen au Nord-Est, de type continental dans le Moyen Moulouya et de type montagneux dans le Haut Moulouya. Les précipitations annuelles sont d'environ 250 millimètres. Cependant, elles varient de 400 millimètres dans des régions méditerranéennes et les zones élevées d'Atlas à 200 millimètres dans le Moyen Moulouya. La distribution saisonnière des débits est sensiblement irrégulière.

II2.2.4 Région Sud-Ouest de l'Océan atlantique

Le climat est de type aride atténué par les influences de l'Océan Atlantique et du relief en altitude. Les précipitations annuelles sont d'environ 230 millimètres en moyenne avec une variation significative vers l'Est et au Sud. La région orientale située dans le haut Atlas a des précipitations plus élevées d'environ 400 millimètres.

II2.2.5 Région du Sahara et du de l'Atlantique Sud

Le climat est classé généralement de type aride avec quelques zones modérément arides dans des endroits plus élevés. Les précipitations sont les plus basses dans le pays avec une quantité annuelle de 85 millimètres en moyenne, se concentrant irrégulièrement en quelques jours de l'année. Cependant, les précipitations annuelles sont relativement élevées dans le bassin de Draa (400 millimètres) et dans le bassin de Guir (200 millimètres).

II2.3 Dispositifs Météorologiques Mensuels

Des enregistrements météorologiques mensuels ont été collectés pendant les dernières 20 années (1980-1999) aux stations représentatives du pays, à savoir Fes-Sais dans le bassin du fleuve Sebou, Marrakech dans le bassin du fleuve Tensift, Ouarzazate dans le bassin du fleuve Draa et Er Rachidia dans le bassin du fleuve Ziz. Les données compilées incluent les enregistrements mensuels de la température (moyenne, maximale et minimale), des précipitations, de l'humidité relative (observée à 6:00, à 12:00 et à 18:00), de l'évaporation, la radiation solaire, et de la vitesse du vent (vitesse maximale absolue et sa direction).

Ces données ont été traitées et sont montrées dans le Tableau II2.3.1. Elles sont également montrées comparativement dans la figure II2.3.1 et le Tableau II2.3.2. Quant au vent, la vitesse et la fréquence du vent maximales mensuelles et leurs directions ont été étudiées. Les résultats de l'étude sont montrés dans le Tableau II2.3.3 et la figure II2.3.2. Les principaux dispositifs météorologiques de ces stations sont récapitulés dans le tableau de la page suivante.

Principaux Dispositifs Météorologiques

Description		Fes-Sais	Marrakech	Ouarzazate	Rachidia
Température (°C)	Moyenne	16.8	20.0	19.2	19.4
	Intervalle	9.0~25.8	12.1~28.7	9.1~29.8	8.3~30.6
Pluie (mm)	Mensuel	0.8~57.8	1.2~46.9	2.4~21.1	2.4~17.6
	Annuel	436.1	230.4	130.5	117.3
Humidité (%)	Moyenne	61.4	55.2	35.4	41.0
	Intervalle	46.3~70.8	45.5~63.2	20.2~50.0	23.2~58.2
Evaporation (mm)	Mensuel	70.9~356.5	127.8~397.0	110.5~435.8	101.9~544.9
	Annuel	2109.0	2850.2	3036.6	3480.7
Radiation solaire (heure)	Mensuel	197.1~337.4	214.1~330.1	250.6~343.4	239.5~316.4
	Annuel	3049.5	3197.5	3476.7	3305.1
Vitesse du vent	Max (m/s)	36	37	52	50
	Direction*	28(W/WNW)	28(W/WNW)	34(NNW)	28(N)

(Remarque) *: La direction de vent dans la rose36

Ces données montrent le contraste distinct des paramètres météorologiques entre les stations situées dans le côté occidental des montagnes d'Atlas (le côté de l'Océan Atlantique: Fes-Sais et Marrakech) et celles situées dans le côté oriental (côté du Sahara: Ouarzazate et Rachidia). Il est clair que la plupart des vents forts viennent de la direction occidentale ou du Nord-Ouest, en d'autre mots, du côté de l'Océan Atlantique.

II3 Ressources en eau

II3.1 Problématique des Ressources en eau

II3.1.1 Cycle de l'eau au Maroc

La problématique des ressources en eau au Maroc abordée dans cette section est principalement basée sur "Water, the On-going Challenge, Chaouki BENAZZOU, 1994 ". A l'échelle de tout le pays , le cycle de l'eau au Maroc est montré dans la figure II3.1.1 Les précipitations annuelles moyennes sont de 150 milliards de m³. En dehors des précipitations annuelles, seulement 30 milliards de m³ sont considérés utiles si nous déduisons l'evapo-transpiration. Si la perte de l'eau due à l'infiltration et son écoulement de retour sont pris en considération, le potentiel des eaux de surface est établi à environ 22,5 milliards de m³.

Comme l'indique le cycle de l'eau, environ 11,7 milliards de m³ ont été finalement mobilisés (en date de fin 1993). Ce volume permet, en une année standard, l'irrigation de 885.000 ha, la production de 1,4 milliards de m³ pour l'eau potable et industrielle, et la production hydro-électrique de 1.100 GWh.

II3.1.2 Problématique.

Les ressources en eau se répartissent de façon inéquitable sur le pays et changent de manière significative d'une année à une autre. Les problèmes principaux des ressources en eau du pays sont:

- distribution spatiale inégale,
- irrégularité des écoulements de surface, et
- une demande croissante de l'eau.

(1) Distribution Spatiale Inégale

En raison de la différence significative de la précipitation annuelle entre les régions, la distribution du potentiel des eaux de surface change selon les régions comme suit:

- zone atlantique: 73,6 % (du total national qui est de : 22,5 milliards de m³) comprenant le Sebou, Oum Er Rbia, Loukkos, Bou Regreg, Tensift et d'autres bassins fluviaux
- zone orientale: 10,4 % comprenant le Moulouya, Kerd, Kiss, Isly et d'autres bassins fluviaux
- zone méditerranéenne: 6,8 % comprenant le Laou, Martil, Neckor, Rhis et d'autres bassins fluviaux
- zone du sud orientale d'atlas: 6,7 % comprenant le Guir, Ziz, Rheris, Draa et d'autres bassins fluviaux
- zone du sud Occidental d'atlas: 2,5 % comprenant le Souss, Massa et d'autres bassins fluviaux
- zone du Sahara: Aucun potentiel en eau

Parmi ces derniers, les bassins du fleuve Sebou (6.610 millions de m³/an) et l'Oum Er Rbia (4.500 millions de m³/anr) dans la zone atlantique, sont les zones dominantes au Maroc avec un potentiel élevé en eaux de surface et sa mobilisation. Au contraire le potentiel en eaux de surface est bas dans d'autres zones particulièrement dans la zone du Sahara.

(2) Irrégularité des écoulements de surface

En plus de l'inégalité de la distribution spatiale, l'écoulement de surface change également de manière significative de 50 milliards à 400 milliards de m³ entre les années. Cette irrégularité d'écoulement entre les années rend la stratégie de développement des ressources en eau difficile. Les écoulements de surface sont également assujettis aux changements saisonniers. Il est courant au Maroc que les cours d'eau asséchés ou à petit débit peuvent causer durant l'été des inondations désastreuses similaires à celles de l'hiver, ceci a été relativement

allégé grâce à la construction des barrages sur les fleuves principaux.

(3) Une demande croissante en eaux.

La demande en eaux pour l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie, et la production d'électricité augmente pour répondre aux exigences dues à la croissance de la population, à l'urbanisation et au développement économique du pays. Le Maroc a eu une eau en surplus d'environ 188 millions de m³ en 1990, comprenant les eaux souterraines. Trente ans après en 2020, la demande excédera les ressources disponibles provoquant un déficit de 360 millions de m³.

II3.1.3 Besoins en petits et moyens barrages

Afin de faire face aux problèmes des ressources en eau décrits ci-dessus, des mesures diverses peuvent être considérées. Les transferts inter-bassins par canalisation servira à l'allègement de l'inégalité de la distribution spatiale des eaux de surface. Ce concept cependant, ne peut être applicable que si les conditions topographiques le permettent et sont coûteux en général. Le concept des barrages ferait bien face à l'irrégularité saisonnière et annuelle des écoulements de surface régulant les écoulements naturels. Le gouvernement a mis cette politique en pratique. Selon le programme à long terme, des constructions de barrage sont programmées comme suit:

- un barrage par an: jusqu' l'année 2000
- deux par an: de 2000 à 2010
- trois barrages par an: au-delà de 2010

Ce programme avait servi au développement des ressources en eau et on prévoit qu'il permette aussi bien l'ajustement des déséquilibres entre la demande et l'approvisionnement en eau à l'avenir. Cependant, ce programme n'est pas suffisant pour répondre aux différentes demandes en eau, qui augmentent dans divers endroits du pays, souffrant actuellement des problèmes de disponibilité des ressources en eau. Les petits et moyens barrages sont donc nécessaires pour renforcer les rôles des barrages programmés. Les petits et moyens barrages permettront la satisfaction des besoins relatifs aux conditions spécifiques locaux.

II3.2 Dispositifs généraux des apports annuels

Pour la plupart de fleuves au Maroc, les précipitations sont la source des écoulements. Certains des bassins du centre-occidental tels que les fleuves Sebou et Oum Er Rbia , reçoivent l'eau suite à la fonte de neige . Le tableau suivant montre les caractéristiques générales des apports annuels par région.

Dispositifs généraux des apports annuels par région

Région	Superficie du bassin (km ²)	Pluie. annuelle (mm/an)	Apport annuel	
			(Mm ³ /an)	(mm/an)
Région du Rif Nord	20,600	700 - 800	4,200	204
Région de l'Atlantique central-Nord	132,500	500 - 2,000	11,500	87
Région Est	57,500	250 - 400	1,650	29
Région de l'Atlantique Sud-Ouest	35,400	200 - 400	780	22
Région de l'Atlantique Sud - Sahara	464,850	85 - 200	2,400	5.2

II3.3 Ecoulements des fleuves au niveau des sites potentiels de barrages

II3.3.1 Disponibilité des mesures de débit

Un total de 23 stations hydrométriques ont été choisies comme stations de référence pour les 25 sites de barrage potentiels comme indiqué sur le Tableau II3.3.1. Les caractéristiques des écoulements de cours d'eau au niveau des sites ont été étudiés en se basant sur ces stations. Pour simplifier la description ci-après, les régions hydrauliques seront simplement nommées : Régions I à VII comme montré sur le tableau .

Ces stations sont la plupart du temps situées aux sites les plus proches des barrages potentiels au niveau du même cours d'eau. Pour les barrages Boukarkour (No.18) et Sidi Abdellah (No.25), aucune station n'était disponible dans le même système fluvial. En outre, des stations relatives à Tazarane (No.6), N'ouants (No.22) et Tiuzaguine (No.12) sont situées loin en aval des sites des barrages.

La figure II3.3.1 montre les périodes des enregistrements disponibles de débit aux stations choisies. Parmi ces stations, Rhafsai pour le barrage d'Aoulai (No.19) a les plus longues données (45 ans) . Les stations des bassins des fleuves de Guir, Ziz et Rheris situées dans la région aride ont une période relativement plus longue d'enregistrements s'étendant de 20 à 38 ans. Au contraire, la période des données disponibles est de moins de 10 ans à Takenfoust pour le barrage Neckor (No.1), Tamchachete pour le barrage Tizimellal (No.2), et Sidi Hssain pour le barrage Amezmiz (No.7).

II3.3.2 Caractéristiques des écoulements aux sites de barrage

Des caractéristiques d'écoulement ont été étudiées en se basant sur les données des 20 dernières années, dans la mesure où les données sont disponibles. Des débits journaliers et mensuels à chaque site de barrage ont été estimées à partir des enregistrements hydrométriques à la station de référence avec le même débit spécifique. Les résultats de l'étude des caractéristiques des écoulements sont récapitulés dans le Tableau II3.3.2 et la figure II3.3.2. Les résultats principaux de l'étude sont décrits.

- (1) Apport Moyen Annuel

L'apport moyen annuel en mm/an est relativement élevé dans région-II. Les apports liquides sont particulièrement élevés dans la pente méridionale des montagnes du Rif (des stations de Tabouda, Rhafsai et Galez). L'apport annuel est faible dans les régions I (Takenfoust), III et VII.

(2) Distribution des apports mensuels

Les saisons sèches et humides sont plutôt distinctes dans les régions II et III avec des distributions de débit de simple-pointe, et dans région VI avec une double-pointe. Les débits des crues se concentrent également autour du débit maximum mensuel. D' autre part l'écoulement est resté le même tout au long d'une année dans les régions -I et VII. Dans ces régions, les crues peuvent avoir lieu en n'importe quel mois de l'année. Les écoulements dans les régions IV et V ont une nature transitoire entre les configurations des écoulements ci-dessus.

(3) Débits moyens journaliers

La distribution des débits journaliers est sensiblement variable dans l'espace. Le nombre de jours qui accumulent 50% des apports annuels (50% des apports journaliers) a été utilisé nt comme indicateur pour représenter la distribution des durée-débit. Les 50% en apports journaliers sont généralement courts (moins de 60 jours), exceptés au niveau de quatre stations : Takenfoust dans la région I, Sidi Mokhfi dans la région II, Sidi Hssain dans la région V et Ait Bouijane dans la région VII. Les 50% en apports journaliers sont extrêmement courts (moins de 10 jours) au niveau des stations situées dans les régions III et VII à l'exclusion des stations d'Ait Bouijane et de Tamdrouste. Dans de telles stations, les débits de crue qui seraient laminés par le barrage sont concentrés dans seulement 10 jours de l'année (mais non successifs) .

(4) Débits journaliers max

Le débit journalier maximal est relativement élevé à Tabouda, Rhafsai et Galez dans la région II, et Ait Segmine et Tizi N'isly dans la région IV, indiquant un débit spécifique supérieur à 0,5 m³/s/km². Les débits journaliers s'avèrent être très bas aux stations de Takenfoust et de Sidi Mokhfi probablement à cause du manque de données.

(5) Corrélation entre les Stations

En se basant sur les enregistrements des débits mensuels moyens au niveau des sites respectifs de barrage, des diagrammes de corrélation ont été préparés pour des débits spécifiques mensuels comme représenté sur la figure II3.3.3. Par conséquent, une corrélation relativement forte a été trouvée entre les stations de Rhafsai et de Tabouda, les stations de Rhafsai et de Garez, et Dar Hamra et Tissa,toutes situées dans la Région II. Dans d'autres régions, les corrélations entre les stations choisies étaient faibles, ce qui prouve la variété de configurations d'écoulement des fleuve dans la région d'étude.

II3.3.3 Évaluation des apports

Des apports mensuels moyens ont été estimés aux sites des barrages potentiels pour l'étude préliminaire de bilans d'eau. Vu la disponibilité des données de débits, les périodes des données ont été limitées aux 10 à 20 dernières années, afin de comparer les barrages potentiels sur la même base que possible.

- (1) Pour les barrages No.4, 5, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 19, 22 et 25, les apports aux sites de barrage ont été estimés en se basant sur les débits spécifiques au niveau des stations hydrométriques de référence. Bien que les stations de référence aient des enregistrements de plus de 20 ans, les données des 20 années sont utilisées pour l'étude de bilan d'eau.
- (2) Pour les barrages No 6,8, 9, 15, 17, 20, 21, 23 et 24 , les apports aux sites de barrage ont été estimés en se basant sur les débits spécifiques au niveau des stations hydrométriques de référence. Puisque les stations de référence ont des enregistrements de plus de 10 ans mais moins de 20 ans, les données maximum disponibles utilisées pour l'étude de bilan.
- (3) Pour les barrages No.7 et 14 barrages: les apports aux sites de barrage ont été estimés en se basant sur les débits spécifiques au niveau des stations hydrométriques de référence. Cependant, puisque les enregistrements disponibles aux stations de référence sont moins de 10 ans, les périodes de données ont été étendues jusqu'à 10 ans comme:
 - No.7: Basé sur le débit au niveau de la station d'Illoudjane.
 - No.14: Basé sur la corrélation avec la station de Dar Hamra.
- (4) Pour les barrages No. 1, 2, et 3 : les apports ont été estimés, seulement pour référence, en se basant sur les débits spécifiques dans la mesure où les enregistrements sont disponibles. Puisqu'on a proposé ces barrages pour la contrôle de l'envasement , les études de bilan d'eau ne leurs sont pas effectuées.

Les débits mensuels moyens du cours d'eau estimés aux sites respectifs de barrage sont indiqués sur le Tableau II3.3.3.

II3.3.4 Vérification des apports

La DGH a déjà fait une évaluation des apports annuels pour les barrages faisant l'objet de la présente étude, mais les apports mensuels ne sont pas disponibles pour tous les sites. Les apports annuels aux barrages estimés par l'équipe chargée de l'étude et la DGH ont été comparés comme montré sur le Tableau II3.3.4. Selon ce tableau, les évaluations par l'équipe chargée de l'étude pour les barrages No.1 et No.20 semblent sous estimer les lames d'eau (millimètres par an), probablement à cause de la courte durée des périodes d'enregistrement (seulement 6 ans pour le barrage No.1 et 10 ans pour le barrage No.20). En revanche, les évaluations par la DGH pour le barrage No.3 semblent surestimer les apports, bien que la raison ne soit pas connue. Des études de bilan d'eau ne sont pas effectuées pour les barrages No.1 et No.3 par ce qu'on assigne à ces barrages le contrôle de l'envasement.

Quant au barrage Timkit (No.10), la valeur annuelle des apports des deux évaluations diffère beaucoup. Afin de vérifier l'apport au barrage de Timkit, les apports au site du barrage ont été comparés aux données de pluie. Des diagrammes de corrélation des pluies mensuelles et des apports mensuels sont montrés sur la figure II3.3.4. Selon les études de corrélation au niveau des stations hydrométriques (figure II3.3.3) et au niveau des stations hydrométriques et pluviométriques (figure II3.3.4), des possibilités irrationnelles des apports de Timkit n'ont pas été trouvées, bien que les corrélations ne soient pas définies.

II4 Réduction des inondations

II4.1 Problèmes d'inondation et d'envasement

Des investigations à l'échelle de tout le pays sur les dégâts des inondations et d'envasement n'ont pas encore été faites. Les données et les informations disponibles à ce sujet sont très limitées. L'équipe chargée de l'étude ont recueilli des données et des informations sur des dégâts des inondations et de d'envasement pour tous les barrages potentiels, au cours de la reconnaissance des sites. Ces données et informations contiennent la situation initiale des sites, le type et les conditions de dégâts liés aux inondations et à l'envasement dans la zone de localisation et d'influence des projets, etc... Les résultats principaux obtenus par reconnaissance sont récapitulés dans les paragraphes suivants.

II4.1.1 Causes des dégâts

Des dégâts dans la région d'étude sont principalement provoqués par les crues et l'érosion des berges.. Les dommages dus aux écoulements des dépôts vaseux (apports torrentiels) comme l'oued Ourika , n'ont été prévisibles pour aucun site de barrage potentiel. En plus de ce qui précède, les caractéristiques de l'écoulement des crues et l'utilisation inadéquate des terres sont également des facteurs importants pouvant aggraver les dégâts des crues et des apports solides. Puisque le cours d'eau coule à faible débit la majeure partie du temps, les gens sont susceptibles de vivre près du cours d'eau et même sur le lit, cultivant des terres et construisant des équipements d'irrigation de façon traditionnelle. L'inondation imprévisible qui se produit une fois après une longue durée, provoque des dommages sérieux dans des conditions similaires sans défense, aux équipements et aux champs, et peut causer des pertes en vies humaines.

II4.1.2 Dispositions pour la réduction des Inondations

L'aménagement des cours d'eau comme le calibrage en chenal, épis , digues, et la protection des berges , est peu fréquent. Puisque l'inondation est un événement rare, la mise en place d'équipements exclusivement pour le contrôle des inondations et des apports solides , ne seraient pas économiquement faisables, ce qui rend leur réalisation plus difficile. Autour de 90 grands barrages comprenant les ouvrages de taille moyenne , ont été construits pour mobiliser les ressources en eau du pays. Ces barrages contribuent également à la réduction des

inondations. En fait, ces barrages ont déjà protégé la plupart des plaines principales inondables du pays. Mais des dégâts locaux causés par les inondations en amont de ces barrages existent encore. Les barrages proposés dans la présente étude allègent ce type de dégâts liés aux inondations.

II4.1.3 Problèmes d'envasement de barrage

Plusieurs barrages existants au Maroc souffrent des problèmes de sédimentation. Dans la région d'étude, les barrages suivants sont assujettis aux problèmes graves d'envasement:

- (1) Barrage EL Kattabi construit en 1981: Un tiers du volume du réservoir a déjà été envasé . On propose le barrage Neckor (No.1) pour un soulagement du problème d'envasement.
- (2) Barrage Al Wahda construit en 1996: Le barrage est situé à l'extrémité inférieure du bassin du fleuve Ouergha. Le bassin est connu pour son rendement élevé au niveau de l'érosion hydrique, dû à la montagne du Rif et à une pluviométrie élevée. Une étude réalisée, propose la construction de 15 barrages sur les affluents pour réduire les apports solides transitant vers la retenue du barrage.
- (3) Barrage EL Kansera construit en 1935: Environ les deux-tiers de la capacité du réservoir ont déjà été envasés.
- (4) Barrage Sidi Driss construit en 1984 : Le réservoir du barrage et le canal Rocade, pour fournir l'eau potable et l'irrigation à la ville de Marrakech et les alentours , souffrent également de sédimentation grave.

II4.2 Les travaux et études antérieurs

II4.2.1 Travaux et services spécialisés

La direction générale de l'hydraulique (DGH), est une autorité principale responsable du contrôle des inondations et la prévention des dégâts de l'envasement au niveau national . la DGH conduit les investigations , la planification, la conception et la construction pour le contrôle des inondations et l'envasement. Les préoccupations de la DGH couvrent divers types de travaux tels que le calibrage des cours d'eau , les coupures de boucles, les canaux de dérivation, la consolidation et le profilage du lit, les revêtements, les épis , les digues en terre, et les barrages de contrôle des inondations. La majorité de ces travaux sont mises en œuvre en collaboration avec les communes locales et le ministère d'Equipement, basés la plupart du temps sur demande des communes locales. Par conséquent les travaux ont un caractère local, de petite échelle.

II4.2.2 Étude de l'IBRD

La DGH a un programme pour conduire les études d'un plan national de protection contre les inondations avec l'aide financière de l' " IBRD" (Banque Mondiale). La mise en place de ce programme était fondamentalement agréée par

l " IBRD", et les procédures pour amorcer l'étude sont maintenant à l'étape finale. Cependant, le calendrier pour la mise en place de l'étude n'est pas encore connu . L'étude est jugée plutôt institutionnelle si l'on considère les objectifs et la portée de l'étude cités ci-après.

(1) Objectifs

L'étude du plan national de protection contre des inondations vise à définir les types d'inondation, préparant les éléments synthétisés des zones à risque d'inondation, analysant la situation actuelle du cadre institutionnel, et les propositions pour son amélioration, aussi bien que la formulation d'un plan d'action contre les inondations.

(2) Portée de l'étude.

L'étude est composée de 3 missions comme suit:

- Mission 1: Qualification des problèmes provoqués par l'inondation et les mesures de contrôle d'utilisation de la terre dans les zones concernées
- Mission 2: Diagnostic du cadre institutionnel et proposition des améliorations et de modification à introduire, aussi bien que, la régulation liée aux risques d'inondation
- Mission 3: Élaboration d'un plan d'action pour les zones à risque plus élevé et modéré.

II4.3 Caractéristiques des débits de crue

II4.3.1 Débit annuel maximal

Les débits maximums annuels aux sites de barrage ont été extraits à partir des enregistrements des débit journaliers et indiqués sur le Tableau II4.3.1. Les intervalles de variation des débits maximums annuels sont très grands pour tous les sites. Certaines des valeurs maximales annuelles sont extrêmement petites. Aucune inondation principale n'a eu lieu probablement durant ces années.

II4.3.2 Fréquence des événements d'inondation

Le jour d'inondation a été défini dans la présente étude comme celui , dont le débit journalier dépasse la moyenne maximale journalière annuelle enregistrée au niveau de chaque station. Le nombre de jours d'inondation a été compté pour chaque site et indiqué sur le Tableau II4.3.2. Selon ce tableau, les événements d'inondation ont eu lieu sur tout le pays en 1978, 1986, 1989 et 1995. La fréquence des inondations est relativement élevée dans les régions I et II, alors qu'elle est relativement basse dans les régions III, V et VII.

II4.3.3 Distribution des écoulements d'Inondation

Des jours consécutifs d'inondation et leur fréquence ont été étudiés en se basant sur les données des débits journaliers. Le Tableau II4.3.3 montre les résultats de l'étude. La plupart des inondations se terminent en une journée (62%) suivi des inondations de deux jours (21%) et des inondations de trois jours (11%). La cadence de l'inondation d'une journée est élevée dans les régions I, VI et VII, alors que la cadence est basse dans la région II.

II4.4 Rôles des barrages dans la réduction des inondations

II4.4.1 Fonctions Primaires

Un barrage réservoir fonctionne généralement pour contrôler les inondations par 1) le laminage des hydrogrammes de crue, 2) la stabilisation du bief du cours d'eau, et 3) par le piégeage des sédiments. Ces fonctions sont naturellement équipées dans tous les barrages malgré les objectifs qui lui sont assignés, bien que l'ampleur des effets puissent dépendre de ces conditions.

(1) Laminage de crue

Le Laminage des crues est la fonction primaire du réservoir. L'hydrogramme de crue est généralement pointu au site du barrage, lorsqu'il n'y a aucun réservoir en amont et la topographie est raide. Dans un tel site, la crête d'inondation se réduirait nettement par le réservoir du barrage.

(2) Stabilisation du chenal du cours d'eau

Les apports des crues sont un facteur principal dans la morphologie du chenal du cours d'eau. Dans les conditions en absence de barrage, l'écoulement des crues qui se produit rarement erode sévèrement les berges et enlève la végétation. Une fois qu'un barrage est construit, la force tractive de l'écoulement du fleuve est sensiblement affaiblie et le chenal du fleuve sera exempt des forces hydrodynamiques destructives. De telles conditions favorisent la poussée de la végétation sur les berges, qui stabilise plus loin le chenal du cours d'eau et son thalweg.

(3) Piégeage des sédiments

N'importe quel réservoir de barrage devrait avoir une capacité de sédimentation (tranche morte), et le piégeage des sédiments par le réservoir allégera la sédimentation du réservoir en aval et prolongera sa durée de vie.

II4.4.2 Ampleur des effets

En général l'impact du contrôle des inondations et des apports solides est significatif juste en aval du barrage et, diminue graduellement plus loin en aval. L'effet diminue généralement au niveau de la confluence du grand affluent, puisque son écoulement influence les zones en aval de la confluence et la capacité de transport en sédiments et la crête de la crue dépendent des conditions hydrodynamiques de l'affluent.

Par conséquent, des barrages avec des dispositifs de contrôle d'inondation et d'envasement devraient être situés aussi proches que possible des zones à protéger. En prenant l'exemple d'un barrage de contrôle de l'envasement : Barrage Al Wahda . L'effet de réduction de l'envasement n'est pas prévu des petits barrages de rétention situés loin du réservoir de Al Wahda . Nonobstant le volume des dépôts piégés en amont du barrage , les écoulements du cours d'eau transporteront une quantité de sédiments correspondant à leurs capacités de transport solide vers le réservoir Al Wahda .

En se basant sur les cartes topographiques (1/50.000 et 1/100.000), les effets du contrôle des inondations et des apports solides, et les biefs droits influencés ont été étudiés, considérant le système fluvial, la topographie, l'utilisation de la terre, les règlements et d'autres propriétés. Les résultats de l'étude sont indiqués sur le Tableau II4.4.1. Les effets prévus des barrages respectifs sont récapitulés ci-dessous.

Effets du contrôle des inondations et de l'envasement des barrages

No	Barrage	FR	CS	SR	No	Barrage	FR	CS	SR
1	Neckor	×	×	×	13	Keng Grou	○	×	×
2	Tizimellal	×	×	×	14	Adarouch	○	○	×
3	Ait Baddu	○	×	○	15	Sidi Omar	○	○	×
4	Ain Kwachiya	○	○	×	16	Tiouine	○	○	○
5L	N'fifikh Bas	×	×	×	17	Azghar	○	○	×
5U	N'fifikh Haut	○	○	×	18	Boukarkour	○	○	○
6	Tazarane	×	×	×	19	Aoulai	×	×	○
7	Amezmiz	○	○	○	20	Sidi Abbou	○	○	×
8	Boulaouane	○	○	×	21	Sidi El Mokhfi	○	○	○
9	Taskourt	○	○	×	22	N'ouantz	×	×	×
10	Timkit	○	×	×	23	Igui N'ouaqa	○	○	×
11	Tadighoust	○	×	×	24	Amont Abdel	○	○	○
12	Tiouzaguine	○	×	×	25	Sidi Abdellah	○	○	×

(Note) FR: réduction de la crête de crue, CS: stabilisation du chenal, SR: réduction des apports solides

○: Effets prévus, ×: Effets are non prévus ou non clairs.

Du point de vue du contrôle des inondation et de l'envasement, peu d'effets sont prévus au niveau de Neckor (No.1), de Tizimellal (No.2), de barrages de N'fifikh

bas (No.5L), de Tazarane (No.6) et de N'Ouantz (No.22). On s'attend à ce que d'autres barrages permettent la réduction des inondations.

II4.4.3 Envasement des réservoirs

Les volumes annuels d'envasement des réservoir de barrages en cours d'étude sont indiqués sur le Tableau II4.4.2. Ces valeurs ont été estimées par la DGH en se basant sur les résultats de l'étude des données compilées d'envasement des réservoirs existants au Maroc. En considérant les dégradations spécifiques (Ds), les points suivants ont été révélés:

- le taux d'envasement est élevé dans les montagnes du Rif avec une cadence supérieure à 2.500 m³/km²/an.
- les taux d'envasement sont également élevés au niveau des sites des barrages de Sidi Omar (No.15), d'Ait Baddou (No.3), de Tiuzaguine (No.12) et de Tinouine (No.16) variant entre 550 à 1.200 m³/km²/an.
- les taux d'envasement à d'autres sites de barrage sont relativement bas variant de 250 à 450 m³/km²/an.

II4.4.4 Principes de contrôle des inondations et de l'envasement .

Tenant compte de ce qui précède , l'étude du contrôle des inondations et de l'envasement devraient être effectuées en conformité avec ce qui suit:

- (1) les dispositifs de réduction des inondations devraient au niveau de la planification, être incorporés dans des barrages, pour rendre le projet universel et économique. Puisque les inondations ne se produisent pas tellement souvent dans la zone d'étude, les équipements exclusifs pour la réduction des inondations ne seraient pas en général économiquement viables
- (2) Afin d'accomplir la réduction des inondations, les mesures de réduction des inondations autres que le barrage devraient également être envisagés tels que les travaux de protection des berges et les plans de gestion des inondations.
- (3) Quant à la réduction de la sédimentation des réservoirs, des mesures possibles autres que les barrages devraient être d'abord discutées. Au cas où on proposerait exclusivement un barrage pour le but de contrôle d'envasement, les effets devraient être examinés soigneusement tenant compte du système du cours d'eau en question, de la distance de la zone à protéger, etc...