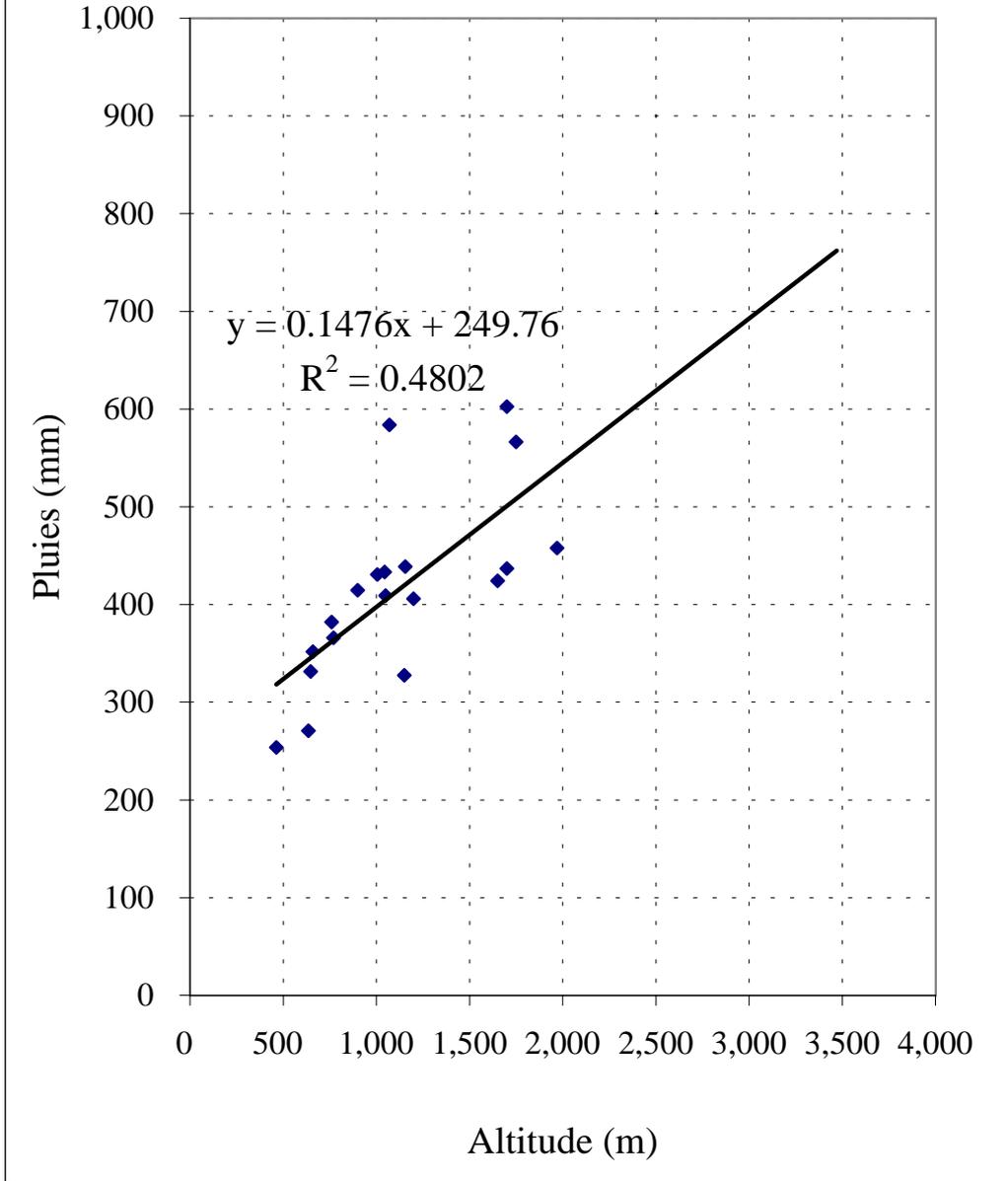


ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

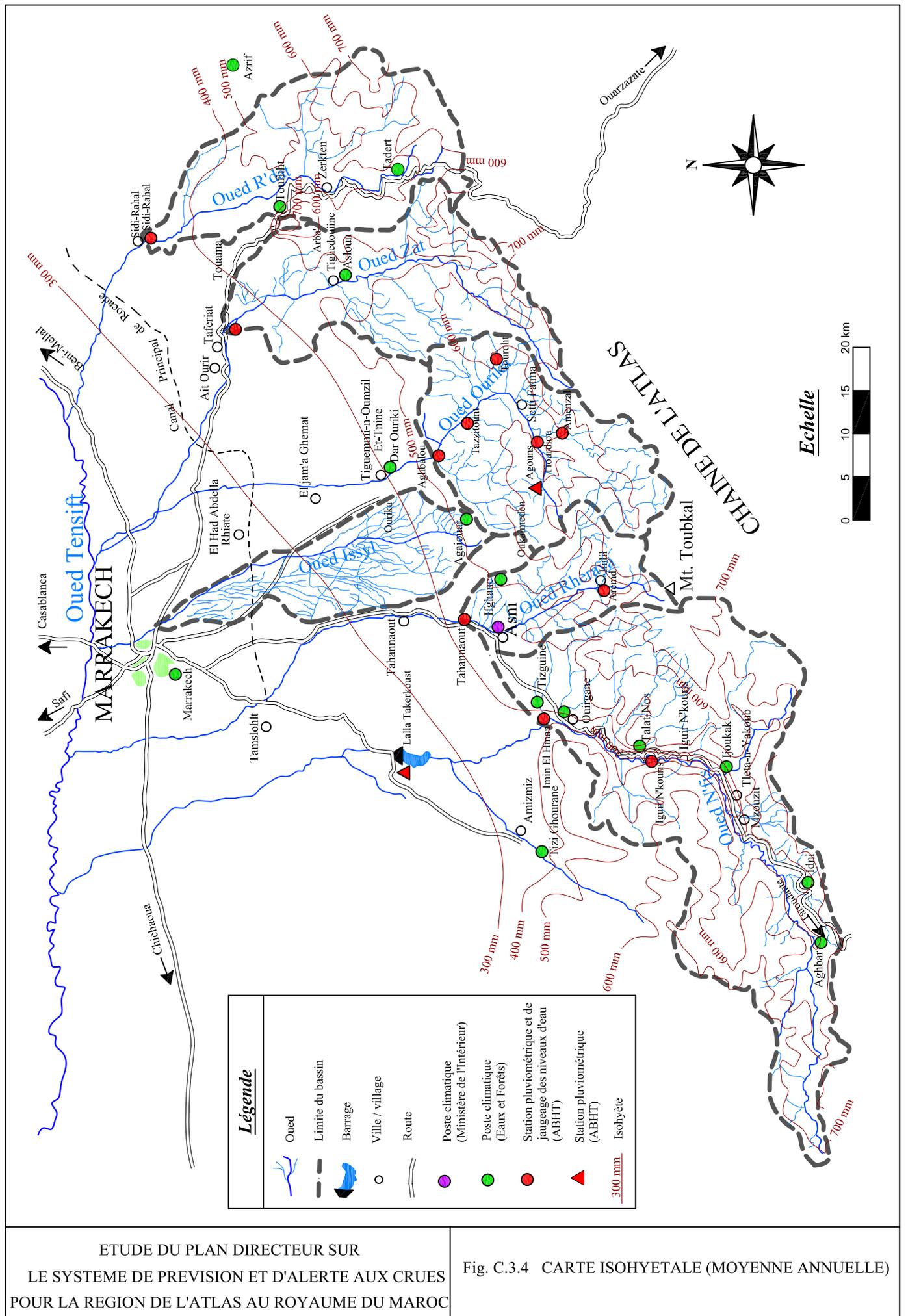
Fig. C.3.2 STATIONS HYDROLOGIQUES DE L'ENQUETE
HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Corrélation Précipitations-Altitudes dans la Zone d'Etude

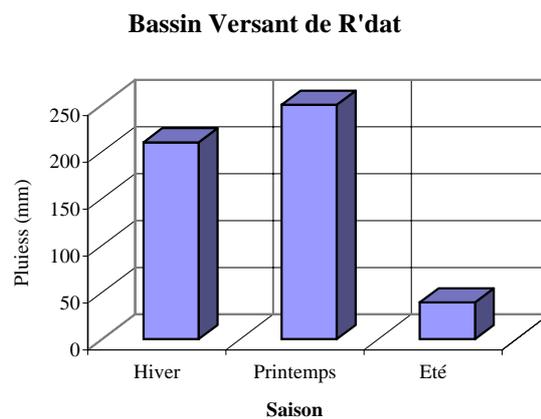
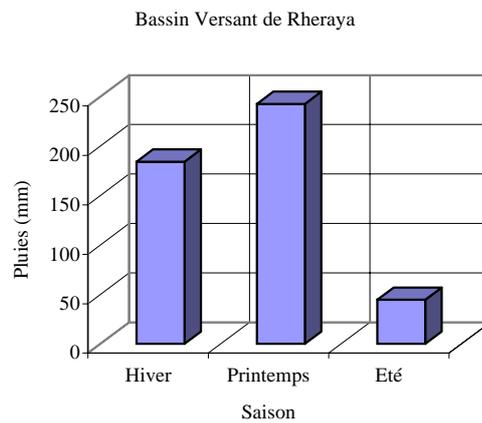
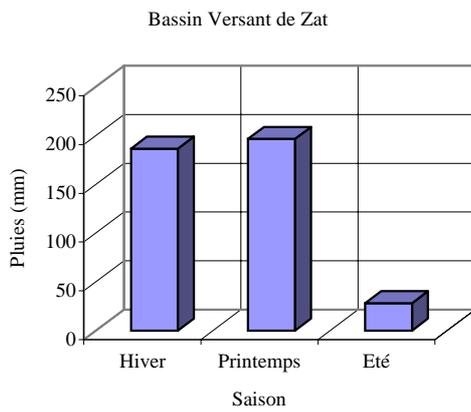
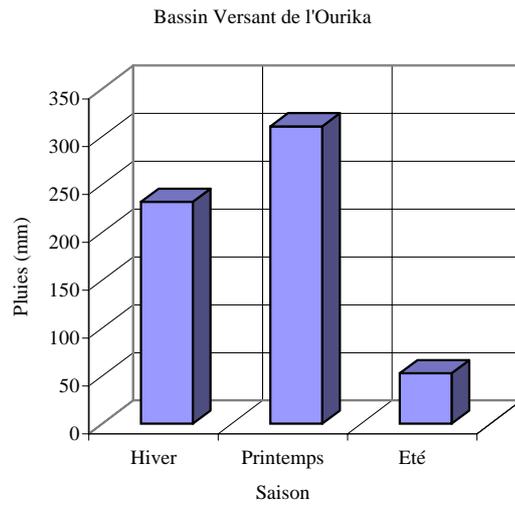
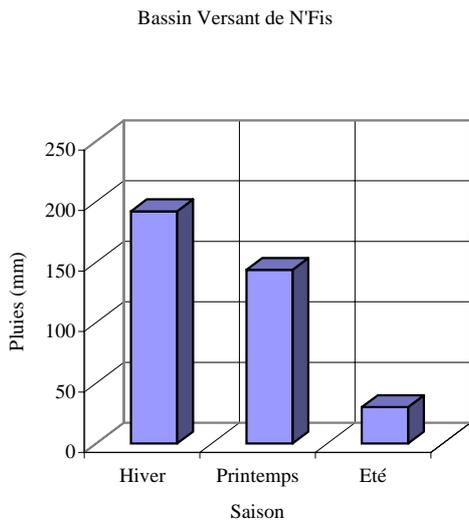


ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

Fig. C.3.3 RELATION ENTRE LES PLUIES
ET L'ALTITUDE DANS LA
ZONE D'ETUDE

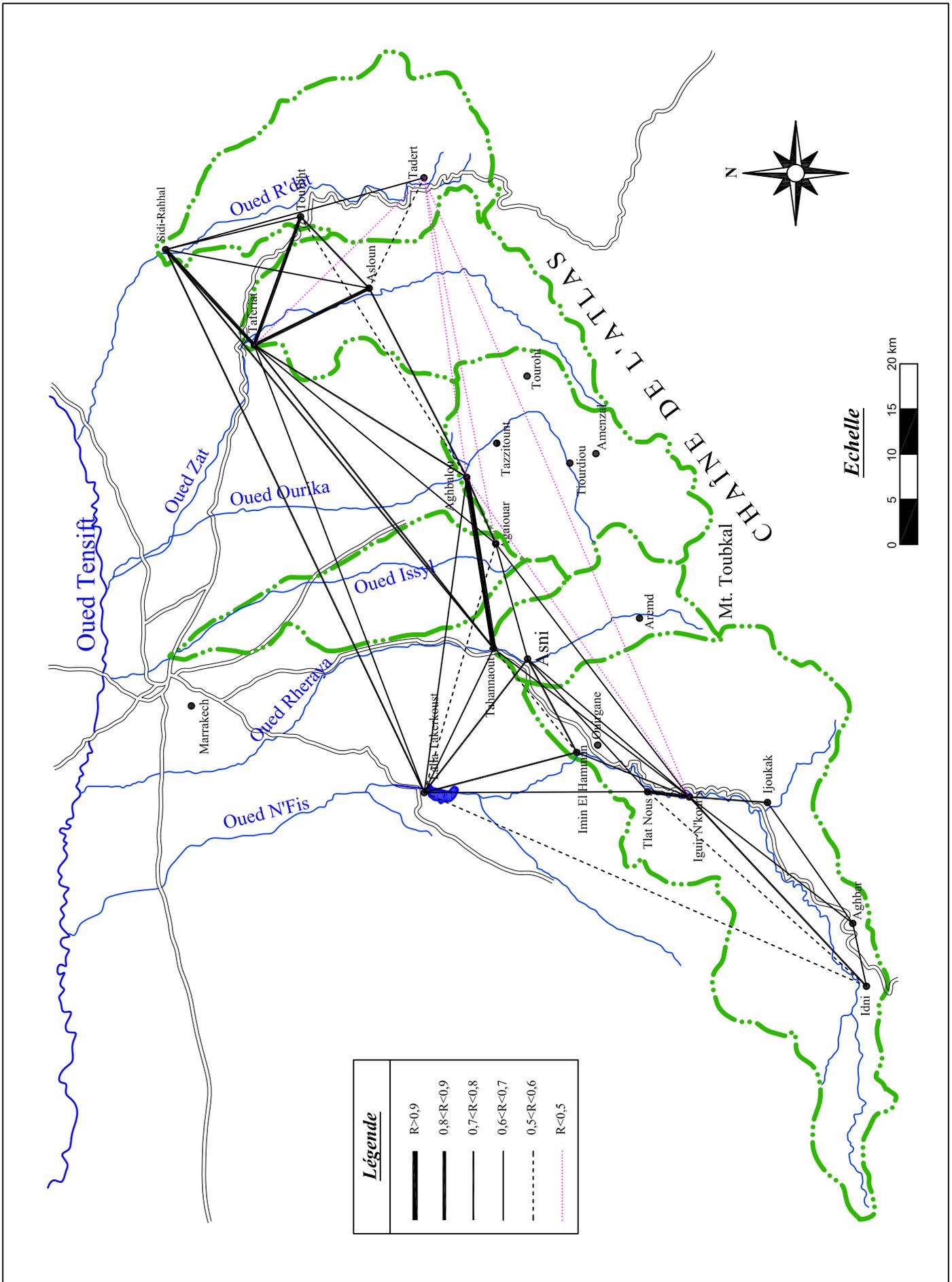


Légende	
	Oued
	Limite du bassin
	Barrage
	Ville / village
	Route
	Poste climatique (Ministère de l'Intérieur)
	Poste climatique (Eaux et Forêts)
	Station pluviométrique et de jaugeage des niveaux d'eau (ABHT)
	Station pluviométrique (ABHT)
	Isohyète 300 mm



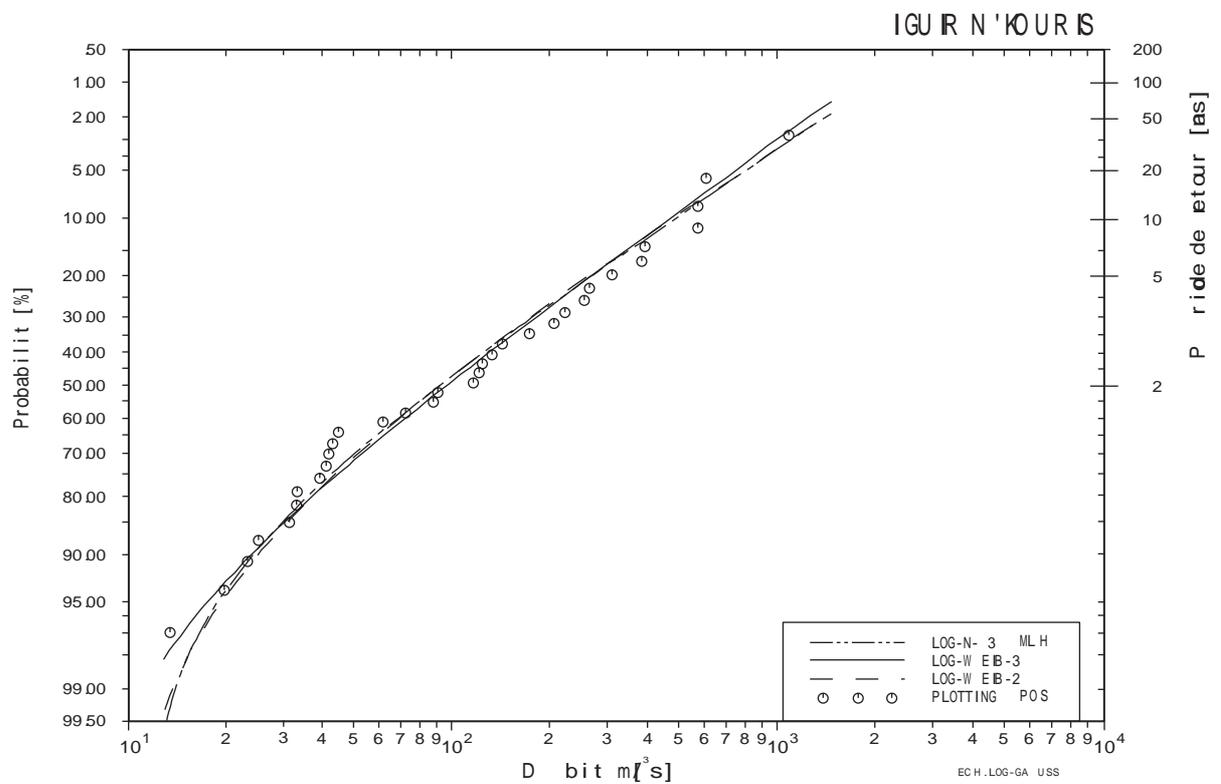
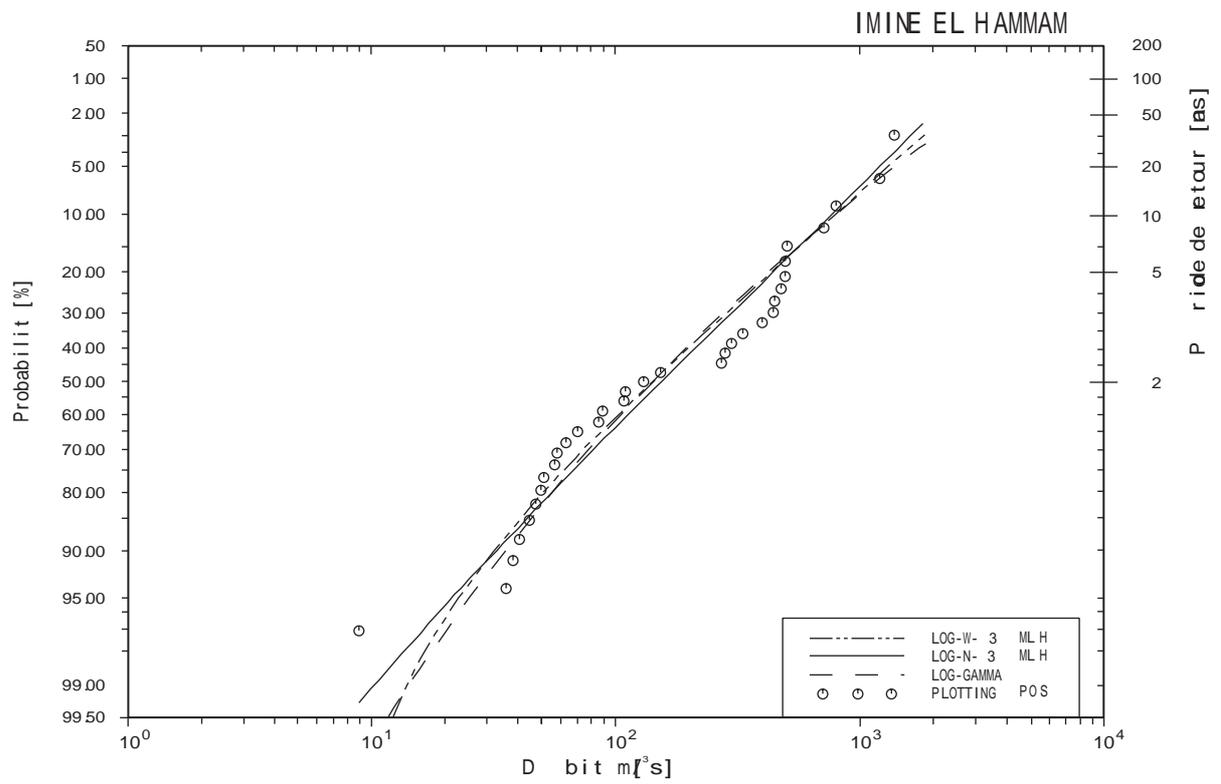
ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

Fig. C.3.5 QUANTITE SAISONNIERE
DES PLUIES



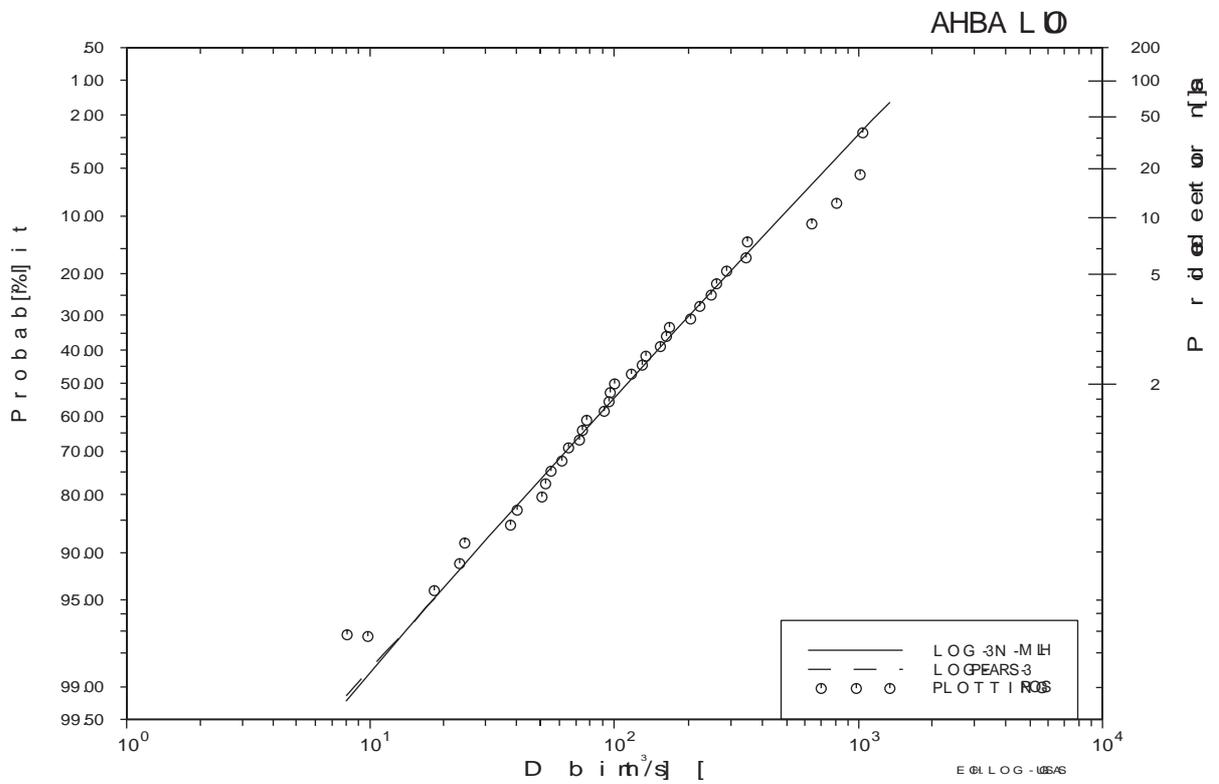
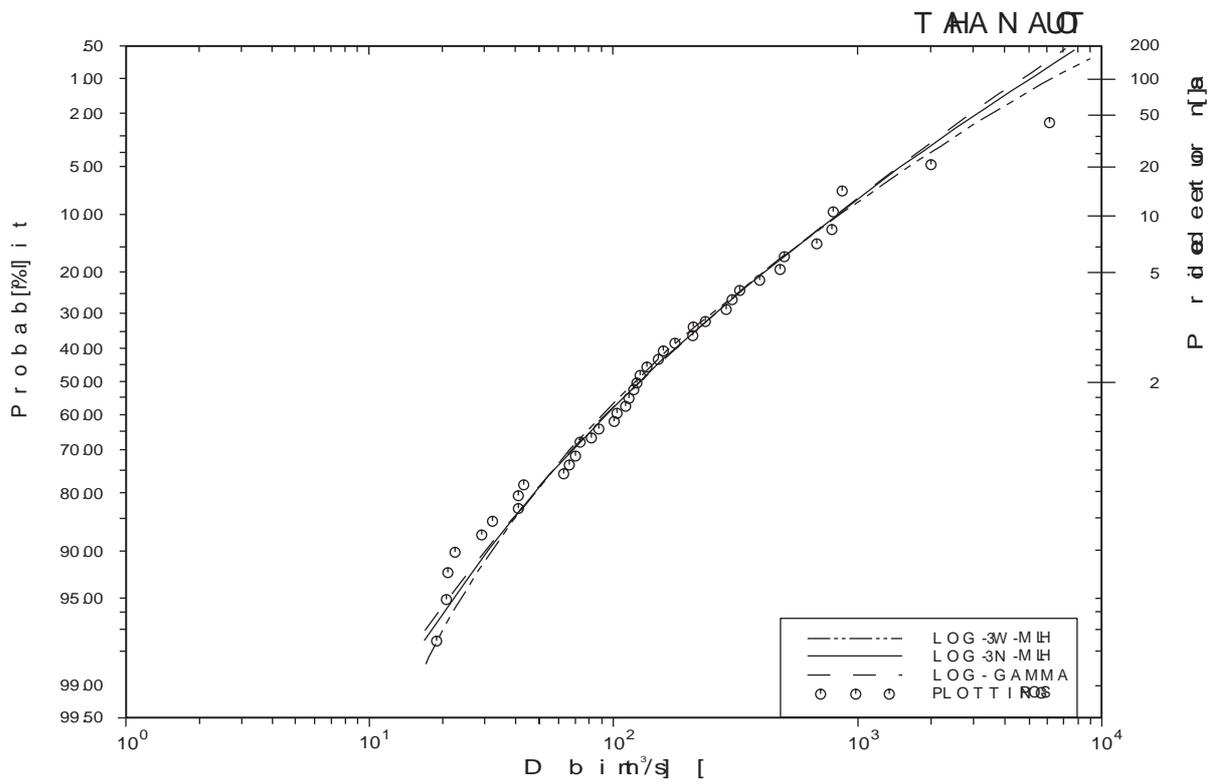
ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
 LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
 POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

Fig. C.3.6 CORRELATION DES
 PLUIES ANNUELLES



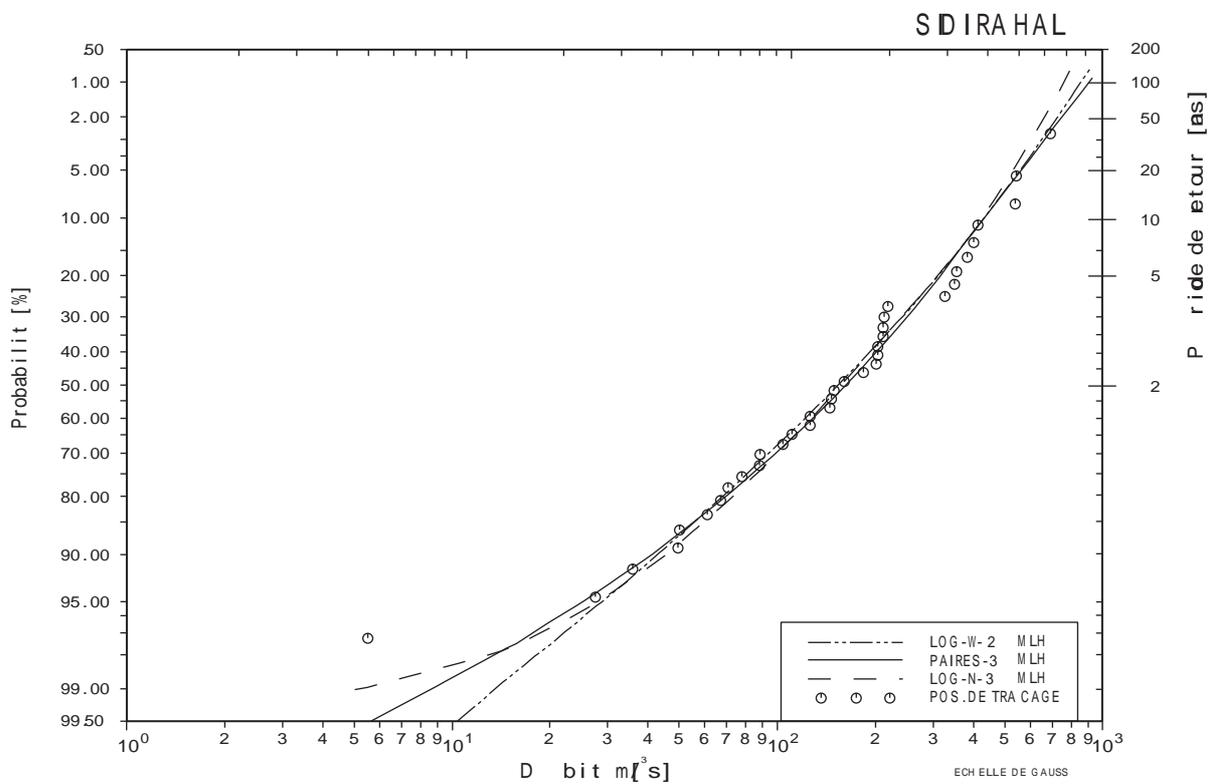
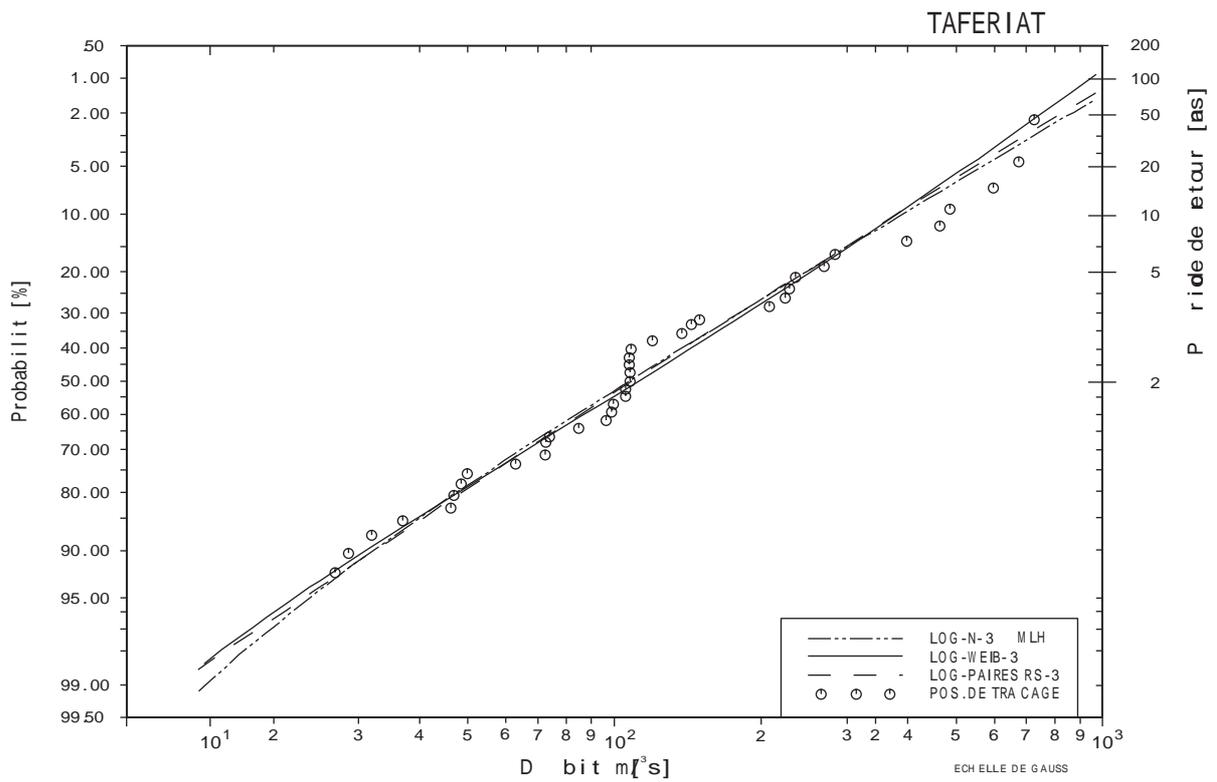
ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

Fig. C.3.8 (1) PROBABILITE DES DEBITS
MAXIMAUX



ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

Fig. C.3.8 (2) PROBABILITE DES DEBITS
MAXIMAUX



ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC

Fig. C.3.8 (3) PROBABILITE DES DEBITS
MAXIMAUX

ANNEXE D

SIMULATION HYDRAULIQUE

**ETUDE DU PLAN DIRECTEUR SUR
LE SYSTEME DE PREVISION ET D'ALERTE AUX CRUES
POUR LA REGION DE L'ATLAS AU ROYAUME DU MAROC**

ANNEXE D SIMULATION HYDRAULIQUE

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE1.	INTRODUCTION	
1.1	Objectif de la simulation des crues.....	D-1
1.2	Zone cible de la modélisation.....	D-1
1.3	Sélection du logiciel	D-1
CHAPITRE2.	MODELISATION	
2.1	Introduction	D-3
2.2	Elaboration du modèle de simulation des inondations pour l'Ourika	D-3
	2.2.1 Structure du modèle.....	D-3
	2.2.2 Calage du modèle	D-5
2.3	Elaboration du modèle de simulation des inondations pour l'Issyl.....	D-8
	2.3.1 Structure du modèle.....	D-8
	2.3.2 Résultat de la simulation.....	D-9
2.4	Elaboration du modèle de simulation des inondations des autres oueds.....	D-9
CHAPITRE3	ANALYSE DES INONDATIONS DES CRUES	
3.1	Etablissement des cartes de crues.....	D-10
	3.1.1 Etablissement d'un MNA	D-10
	3.1.2 Condition préalablement requise	D-10
3.2	Cartes de crues.....	D-11
CHAPITRE4	ETUDES HYDRAULIQUES BASEES SUR LE MODELE CALE	
4.1	Examen de la méthode Muskingum	D-14
4.2	Estimation de la vitesse de propagation des crues	D-14
	4.2.1 Temps de parcours par simulation hydraulique...	D-14
	4.2.2 Enquête sur le temps de la pointe de crue	D-14
4.3	Estimation de la capacité d'écoulement	D-15
	4.3.1 Oued Ourika	D-15
	4.3.2 Autres oueds	D-15

LISTE DES TABLEAUX

Table D.2.1	Numéro de courbe standard.....	D-T1
Table D.2.2	Pluies observées lors de la crues de 1999	D-T4
Table D.3.1	Distribution des débits.....	D-T5

LISTE DES FIGURES

Fig. D.1.1	Zone concernées par l'établissement des cartes de crues	D-F1
Fig. D.1.2	Emplacement concernées par l'enquête des profils en travers	D-F2
Fig. D.2.1	Carte topographique, lithologique et de végétation	D-F10
Fig. D.2.2	Division des sous-bassins pour la simulation des écoulements	D-F11
Fig. D.2.3	Diagramme schématique du modèle hydrodynamique de simulation ..	D-F12
Fig. D.2.4	Différence des écoulement par numéro de courbe.....	D-F13
Fig. D.2.5	Carte isohyétale du 27-28 octobre 1999	D-F14
Fig. D.2.6	Pluies observées lors de la crues de 1999 dans le bassin versant de l'Ourika	D-F15
Fig. D.2.7	Distribution des pluies pour le calage de la crue de 1999	D-F16
Fig. D.2.8	Résultat du calage	D-F17
Fig. D.2.9	Diagramme schématique du modèle de simulation de l'oued Issyl.....	D-F18
Fig. D.2.10	Résultat de simulation de l'oued Issyl (Débit de pointe = $90\text{m}^3/\text{s}$)	D-F19
Fig. D.3.1	Estimation des débits probables un utilisant les courbes de Creager ...	D-F20
Fig. D.3.2	Hydrographe conceptuel pour l'oued Issyl	D-F21
Fig. D.3.3	Ponts sur l'oued Issyl	D-F22
Fig. D.3.4	Carte de crue de l'oued N'fis	D-F23
Fig. D.3.5	Carte de crue de l'oued Rheraya	D-F25
Fig. D.3.6	Carte de crue de l'oued Ourika	D-F27
Fig. D.3.7	Carte de crue de l'oued Ourika	D-F28
Fig. D.3.8	Carte de crue de l'oued Zat	D-F33
Fig. D.3.9	Carte de crue de l'oued R'dat	D-F34
Fig. D.3.10	Carte de crue de l'Issyl	D-F36
Fig. D.4.1	Comparaison des résultats de simulation.....	D-F40
Fig. D.4.2	Temps de propagation des crues	D-F41
Fig. D.4.3	Capacité d'écoulement.....	D-F42

ANNEXE D. SIMULATION HYDRAULIQUE

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

1.1 Objectif de la simulation des crues

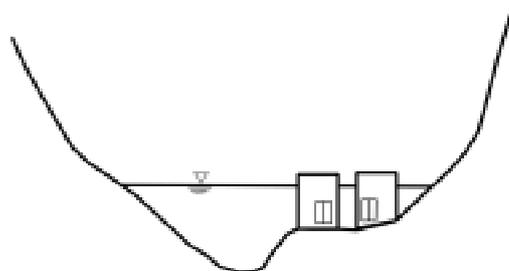
L'objectif de la simulation est d'identifier la zone probable inondée au long des bassins versants de N'fis, Rheraya, Ourika, R'dat, Zat et Issyl, et de déterminer les paramètres hydrologiques de base pour la modélisation de la prévision des crues pour le modèle de simulation des crues à établir pour les six oueds cible.

1.2 Zone cible de la modélisation

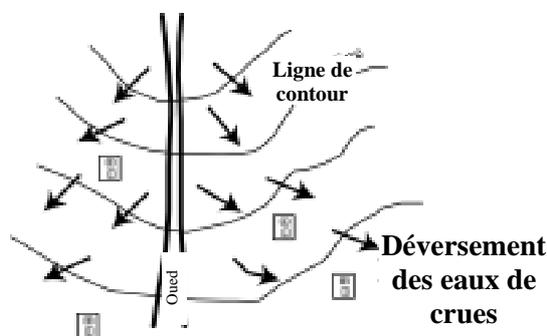
La zone cible qui a été sélectionnée en tenant compte des superficies inondées et endommagées par les crues antérieures ainsi que de l'emplacement des infrastructures (principalement les routes qui longent les oueds) et des maisons. La zone cible a été la même que celle pour laquelle l'enquête topographique a été réalisée comme illustré par la Fig. D.1.1. et Fig. D.1.2, qui présente les emplacements des concernés par l'enquête des profils en travers.

1.3 Sélection du logiciel

Puisque les cinq oueds autres que l'Issyl coulent tous dans des zones de vallées, les eaux de crues se trouvent confinées dans l'oued et entre les berges. L'Issyl coule dans une zone de plaine alluviale dans laquelle les eaux se dispersent.



**Inondations de crues dans une vallée
(5 oueds autres que l'Issil)**



**Inondation des crues dans la plaine alluviale
(Oued Issil)**

La sélection du logiciel pour l'établissement d'un modèle de simulation pour ces oueds a été effectuée en prenant en considération les caractéristiques que dessus. Les deux logiciels suivants ont été sélectionnés pour les six oueds cibles.

Logiciel sélectionné pour l'analyse des inondations

River	Type d'inondation	Logiciel proposé
5 oueds autres que l'Issyl	Confinée dans la vallée	ISIS* (modèle d'écoulement unidimensionnel)
Oued Issyl	Dispersée dans la plaine	Modèle d'écoulement dynamique bidimensionnel

(1) ISIS

ISIS est un progiciel de HR. Wallingfort. Le logiciel ISIS est propice à une large gamme d'applications environnementales et d'ingénierie hydraulique, depuis le calcul

des profils de retour simples au modèle de la totalité d'un versant. ISIS est un logiciel modulaire pour la simulation des écoulements, de l'hydrologie, de la qualité de l'eau et de transport des sédiments par canaux, des plaines inondables, des estuaires et des versants. L'essentiel du logiciel est résumé ci-dessous.

Progiciel ISIS

Module disponible	Contenu du module	Usage dans l'Etude
ISIS Flow	Modelage hydrodynamique du système de canalisation ouverte et convertie.	Oui
ISIS Steady	Calcul de retour, y compris les écoulements trans-critiques	Oui
ISIS Routing	Déroutement des crues	Oui
ISIS Hydrology	Modelage des écoulements des eaux de pluies	Oui
ISIS Quality	Modelage de traitement de la qualité de l'eau	Non
ISIS Sediment	Modelage des transports de sédiment	Non
ISIS WMS	Module de cartographie (zone inondable)	Oui

(2) Modèle d'écoulement dynamique bidimensionnel

Pour l'Oued Issyl, un modèle d'écoulement dynamique bidimensionnel est adopté. Ce modèle divise la plaine inondable en plusieurs cellules carrées, à chacune desquelles on donne des attribues hydrauliques comme l'élévation et la rugosité. L'équation dynamique des écoulements est résolue à deux dimensions. Le modèle hydrologique ISIS peut être utilisé pour l'évaluation des conditions limites.

CHAPITRE 2. MODELISATION

2.1 Introduction

La présente section traite de l'établissement d'un modèle de simulation des crues pour chaque bassin, tenant compte de ses caractéristiques, des données stockées, etc. La modélisation de l'Oued Ourika est présentée dans la section 2.2, celle de l'oued Issyl l'est dans la section 2.3 et la section 2.4 pour les autres bassins.

2.2 Elaboration du modèle de simulation des inondations pour l'Ourika

Premièrement, un modèle de simulation des crues a été élaboré pour l'Ourika, l'accumulation des données hydrologiques duquel n'est pas suffisante, mais meilleure que celles des autres bassins versants. En ce qui suit une description de l'élaboration du modèle de simulation pour l'Ourika.

2.2.1 Structure du modèle

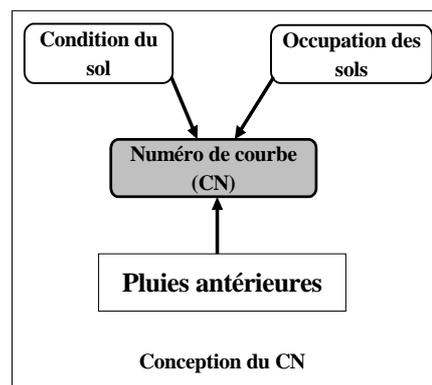
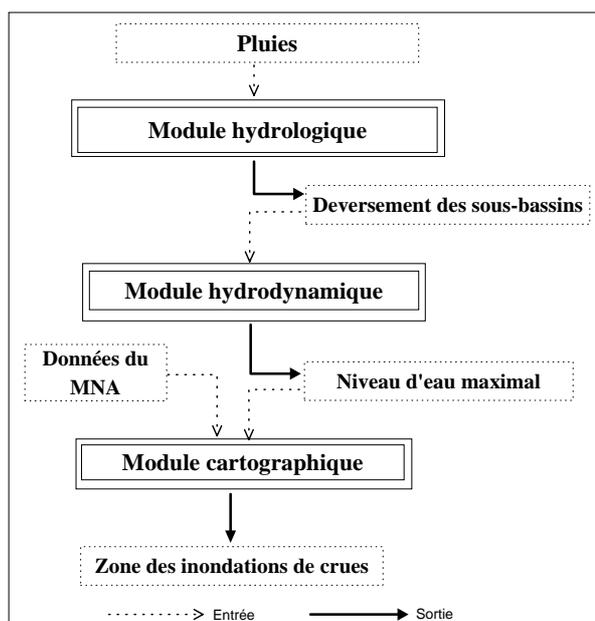
Le module hydrologique (le modèle d'écoulement - précipitations), basé sur la méthode USSCS, calcule les déversements générés aux sous-bassins. Les déversements calculés aux sous-bassins sont données au module des écoulements dynamiques comme limite amont du modèle ou déversement latéral des affluents.

Pour le déroutement des crues dans les cours des oueds, le module hydrodynamique est utilisé. Le module hydrodynamique est un module dynamique des écoulements uni-dimensionnel auquel est appliquée l'Equation de Saint Venant. Les paramètres hydrauliques comme les niveaux d'eau, les vitesses et les précipitations peuvent être estimés à n'importe quel point des canaux.

Les niveaux d'eau calculés sont transférés au module WMS pour la préparation d'une carte de crue. Le module WMS est un module de dessin de cartes qui sert à définir les zones inondables et les profondeurs en comparant les niveaux d'eau des oueds au niveau terre.

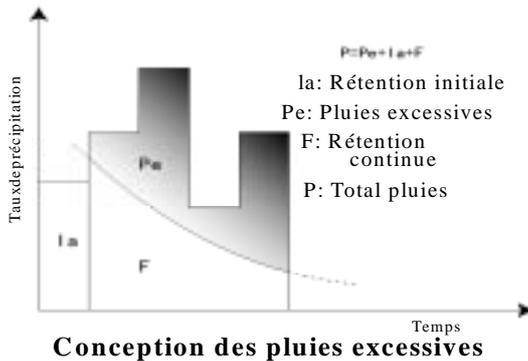
(1) Ecoulements provenant des sous-bassins

La méthode USSCS qui constitue l'un des modèles d'analyse des précipitations inclus dans



le module hydrologique ISIS a été adoptée pour l'analyse des écoulements provenant des sous-bassins. Ce modèle USSCS est une sorte de méthode d'hydrographe unitaire qui a été développée par le Service de Conservation du Sol des Etats Unis.

Le bassin versant de l'Ourika est divisé en six sous-bassins suivant les emplacements des principaux affluents et des conditions topographiques. La Fig. D.2.1 présente la topologie, la végétation et la lithologie du bassin versant de l'Ourika. Les limites des sous-bassins et le diagramme schématisé du modèle de simulation du bassin versant de l'Ourika sont présentés dans la Fig. D.2.2 et D.2.3.



Pour déterminer un hydrographe unitaire pour chacun des sous-bassins, la méthode USSCS est associée au coefficient du sol de bassin indexant la valeur CN, le temps de concentration, le décalage temporel et la superficie du versant. Les

La valeur du CN (Curve Number) exprime les caractéristiques de l'écoulement (la différence de l'écoulement par CN est présentée dans

la Fig. D.2.4) et décidée à partir du type de sol, de l'occupation des sols et les pluies antérieures sur la base du tableau standard du CN (Tableau D.2.1).

La valeur des pluies est celles obtenue après la déduction des pertes de la condition initiales (rétention initiale) et les infiltration souterraines (rétention continue).

(2) Déroutement des crues

Le déroutement des crues est effectué sur 25km de Setti Fatma jusqu'au pont de Tnine (environ 8km en amont de la Station d'Aghbalou). Les cinquante profils en travers à un intervalle de 500m qui ont été récemment effectués sont utilisés dans la présente Etude pour les fins de la simulation hydraulique.

Les équations gouvernant la simulation hydraulique (l'équation complète de Saint-Venant) sont celle de la continuité (a) et l'équation capitale (b):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \dots \dots \dots (a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gAS_f}{+q} - \frac{Q}{A} \cos a = 0 \dots \dots \dots (b)$$

Où :

- Q: Débit (m³/s)
- A: Superficie de l'eau (m²)
- q: Déversement latéral (m³/s)
- H: Profondeur de l'eau (m)
- g: Accélération de la gravité (m/s²)
- S_f: Pente de friction

Les équations de Saint-Venant expriment la conservation capitale et la conservation de la masse. La conservation de la masse mène à l'équation de continuité qui établie une balance entre le taux de montée du niveau d'eau et la rétention de la cale et le canal de prisme (la cale veut dire que la forme de la section ressemble à une cale et le prisme veut dire que la forme de la section ne varie pas au long du canal et que la pente du lit est constante). La conservation capitale mène à l'équation 'dynamique' qui établie une balance entre l'inertie, la diffusion, la gravité et la force de friction. D'autres forces, telles que l'effet du vent ou des méandres, peuvent également être incluses mais restent souvent de valeur minime.

2.2.2 Calage du modèle

(1) Crue cible

La crue du 28 octobre 1999, pour laquelle le plus grand nombre de relevés hydrologiques est disponible par rapport aux principales crues antérieures, a été utilisée comme crue cible pour le calage du modèle. Dans un strict sens, les données hydrologiques, et plus particulièrement les données relatives à l'intensité des précipitations, sont encore insuffisantes pour le calibrage du modèle. Toutefois, à travers un examen minutieux des paramètres du modèle et de la distribution des précipitations dans l'espace et dans le temps, la reproduction de la crue de 1999 a été effectuée comme discuté en ce qui suit :

(2) Distribution des pluies d'octobre 1999

Le relevé des données observées est présenté au Tableau D.2.2. La distribution des pluies pour le calage du modèle est essentiellement effectuée en utilisant les principales stations présentées dans le tableau suivant. La carte isohyétale de cette crue est présentée dans la Fig. D.2.5.

Les stations principales pour le calage du modèle de l'oued Ourika

Station principale	No. du sous-bassin	Superficie du versant (km ²)	Pluies antérieures (28/10)	Pluies journalières (26/10-27/10)	Altitude (m)
Tiourdiou	1	154,1	57,6	6,6	1850
Amenzal	2	69,2	112,0	38,1	2230
Tourcht	3	42,9	109,3	37,9	1650
Tazzitount	4	98,4	0,0	17,7	1270
Aghbalou	5	25,6	40,8	12,5	1070
Agouns	6	104,8	26,6	0,0	2200

(a) Distribution spatiale

En principe, quand on assume la distribution spatiale pour un certain sous-bassin, les relevés pluviométriques effectués dans les stations localisées dans le sous-bassin concerné sont utilisés. Cependant, la distribution spatiale des stations tend à se positionner dans les zones de basse altitude, notamment les stations pluviométriques qui se situent toutes à des altitudes de moins de 2500m, alors que le bassin versant de l'Ourika a des altitudes la dépassant à raison de 50 %. Ainsi, pour utiliser les relevés pluviométriques des principales stations et assumer la distribution spatiale des pluies qui ont cause la crue, les points suivants devront être pris en compte.

- Sous-bassin No. 1

La distribution spatiale des pluies lors de la crue dans le bassin n°1 est déterminée en référence à relevés pluviométriques de la station d'observation d'Amenzal qui n'est pas située dans ce bassin mais se trouve dans sa moyenne d'altitude. Les relevés pluviométriques de la station d'observation hydrologique de Tiourdiou qui se situe dans ce bassin ne sont utilisés que pour assumer la distribution temporelle en raison de la basse altitude de cette station, alors qu'il conviendrait d'assumer que les précipitations étaient plus fortes en amont et en plein amont qu'elles l'étaient en basse altitude. Les pluies accumulées du sous-bassin 1 sont calculées sur la base de la corrélation entre les pluies journalières d'Amenzal et de Tiourdiou.

- Sous-bassin No. 2 et 3

La distribution spatiale des pluies lors de la crue dans les sous-bassin n° 2 et 3 est déterminée en référence aux relevés pluviométriques des stations d'Amenzal et de Tourcht qui se situent dans ce bassin.

- Sous-bassin No. 4 et 5

La distribution spatiale des pluies lors de la crue dans le sous-bassin n° 5 est déterminée en référence aux relevés pluviométriques de la station hydrologique d'Aghbalou qui se situe dans ce bassin. Concernant le sous-bassin n° 4, elle est déterminée sur la base de la corrélation entre les pluies journalières d'Aghbalou et de Tazzitount.

- Sous-bassin No. 6

Il n'existe pas de stations pluviométriques dans ce bassin qui enregistre les données pluviométriques à une cadence horaire. Ainsi, de multiples essais ont été effectués sur la base de distributions spatiales assumées jusqu'à l'obtention d'un résultat de calage qui correspond aux relevés des débits réels.

(b) Distribution temporelle

L'observation des pluies se fait normalement lors des crues à une cadence régulière de une heure aux stations hydrologiques représentatives et de manière manuelle. Cependant, lors de la crue de 1999, l'intervalle d'observation des pluies a subi des changements tel que montré dans la Fig. D.2.6, notamment l'absence de relevés pluviométriques à certains intervalles. Il est ainsi naturel d'avoir une grande différence entre les débits observés et les débits résultant de la simulation aux stations d'observation hydrologiques représentatives quand les séries des données pluviométriques observées sont utilisées pour le calage du modèle.

Dans ce sens, référence a été faite aux séries de temps du hydrographe du débit pour compléter les données manquantes sans changé le total des pluies déterminé dans la section précédente, de telle manière à ce que les séries des données pluviométriques (distribution) lors de la crue de 1999 soient adoptées pour le

calage du modèle.

En fin, et en tenant compte de quelques résultats d'essais de calage, la distribution temporelle des pluies a été restructurée à travers le processus de calage du modèle. Les séries restructurées des données pluviométriques lors de la crue de 1999 sont présentées en Fig. D.2.7.

(3) Limite de temps – débit en amont de l'Oued Ourika

La limite de débit en amont est calculée sur la base des données pluviométriques entrées dans le module hydrologiques, le paramètre CN, etc.

(4) Niveau d'eau – Limite de temps

La limite de temps du niveau d'eau, qui se situe en aval, est établie sur la base des débits effectifs enregistrés à la station d'Aghbalou et la corrélation entre le débit et le niveau d'eau au pont situé près du village Tiguemmi, telle qu'elle a été estimée par le bureau d'étude local INGEMA (se référer à la section 4.2.2 du texte du rapport).

(5) Résultat du calage

Quelques essais ont été effectués pour obtenir un niveau de précision acceptable par l'ajustement des paramètres et la distribution des pluies. Le tableau suivant présente le résultat USSCS final qu'on a obtenu à partir desdits paramètres et à travers le calage du modèle.

Paramètres de la méthode USSCS

No. du sous-bassin	Superficie du bassin (km ²)	CN ^{*1}			Temps de concentration ^{*2} (heure)
		CN I	CN II	CN III	
1	154,1	46	66	83	2,16
2	69,2	46	66	83	1,05
3	42,9	40	60	78	0,33
4	98,4	40	60	78	0,85
5	25,6	35	58	77	1,06
6	104,8	46	66	83	1,90

*La valeur CN est estimée suivant le numéro de courbe standard (voir Tableau D.2.1)

*Le temps de concentration est estimé en utilisant la méthode de Kirpich.

Le coefficient de rugosité de Manning pour le tronçon de l'oued a été également établi entre 0,045 et 0,055 afin que les niveaux d'eau calculés coïncident avec les niveaux d'eau maximaux observés aux stations d'Aghbalou et de Tazzitount.

Les hydrographes du débit de simulation aux stations d'Aghbalou et de Tiourdiou sont présentés dans la Fig. D.2.8. Le résultat de reproduction est généralement assez bon, même si quelques différences entre les valeurs estimées et les valeurs observées sont relevées en phase de récession à Aghbalou et au cours de la montée à Tiourdiou. En conclusion, le modèle de simulation est acceptable et applicable à l'oued Ourika.

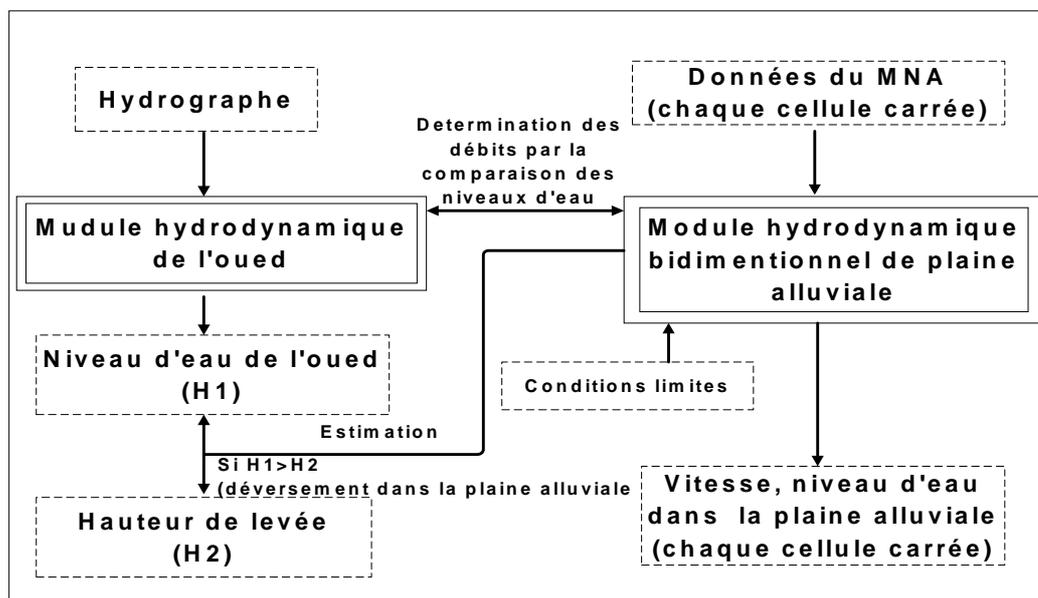
2.3 Elaboration du modèle de simulation des inondations de l'Issyl

En comparaison avec autres bassins, les données hydrologiques accumulées pour le bassin versant de l'oued Issyl sont insuffisantes, vu l'absence d'une station d'observation des débits

dans cet oued. Ainsi, les conditions limites sont établies sur la base d'estimations, tenant compte des études antérieures effectuées pour ce bassin. En ce qui suit la description du modèle de simulation du bassin versant de l'Issyl.

2.3.1 Structure du modèle

Le modèle se divise en deux parties principales. La première est un module hydrodynamique de l'oued qui consiste en un modèle dynamique d'écoulement unidimensionnel pour le calcul du niveau d'eau de l'oued. La deuxième est un module hydrodynamique de plaine alluviale qui consiste en un modèle bidimensionnel d'écoulement. Le module de la plaine alluviale commence à calculer les paramètres hydrauliques tels que les niveaux d'eau, la vitesse et les débits entrant et sortant dans chaque cellule carrée après que les niveaux d'eau dépassent la hauteur de la levée. Ces deux modules sont reliés par l'acheminement des débits entrants et sortants entre l'oued et la plaine alluviale par la comparaison des niveaux d'eau.



(2) Déroutement des crues dans le cours de l'oued

Le déroutement des crues de l'oued Issyl a été effectué sur un tronçon de 40km du Canal de Rode en aval du pont historique. Quarante (40) profil en travers avec un intervalle de 500m tels qu'ils étaient relevés dans le cadre de la réalisation de la présente étude pour les fins de la réalisation de la simulation de Issyl.

Les hydrographes découlant de l'hydrographe modulaire (se référer à " l'ETUDE DE GESTION DES RETENUES ET DE PROTECTION DES BERGES, MISSION I") sont présentés dans la limite supérieure du modèle de l'oued.

(3) Ecoulement dynamique bidimensionnel pour les plaines alluviales

Le diagramme schématisé du modèle de simulation du bassin versant de l'Issyl est présenté dans la Fig. D.2.9. Dans ce modèle, la plaine alluviale est découpée en 3 621 cellules carrées avec des cotes de 250m. le coefficient de la rugosité, la hauteur du sol, la taille du canal, et les berges dont données dans les cellules.

(4) Afflux aux ponts

Il existe des ponts qui obstruent considérablement le flux de l'Oued Issyl. Dans la présente analyse, l'afflux aux ponts a été calculé en utilisant la méthode développée par Wallingford, société de recherche en hydraulique. Cette méthode spécifique aux ponts en arc a été développée à partir de tests menés au laboratoire et vérifiée avec des données de ponts prototypes du Royaume Uni.

2.3.2 Résultat de la simulation

Dans le sens le plus strict, le cumul des données hydrologiques n'est aucunement suffisant pour le calage du modèle. Dans ce bassin, les débits et les pluies n'ont jamais été observés. Le débit de pointe de $90\text{m}^3/\text{s}$ qui a été calculé par la méthode simple à Marrakech pour la crue de 1997 est le seul disponible. Ainsi, la simulation est effectuée sur la base de l'hydrographe du modèle essayant un débit de pointe de $90\text{m}^3/\text{s}$. Le résultat de la simulation est présenté dans la Fig. 3.2.10. Dans cette simulation, le coefficient de rugosité de chaque cellule est déterminé pour chaque type d'occupation des sols, à savoir, les zones agricoles (0,060), les routes (0,047), et autres (0,050). Le coefficient de rugosité de Manning du canal de l'Oued est de 0,040.

2.4 Elaboration du modèle de simulation des inondations des autres oueds

Il est difficile de construire un modèle hydrodynamique sans en sortir avec de nombreuses divergences entre les données calculées et les données réelles, à cause du fait que les pluies n'ont jamais été observées dans les bassins versant de N'fis, Ouirgane, Rheraya, Zat et R'dat. Pour ces cinq derniers oueds, le modèle a été réalisé en utilisant le module ISIS Flow. Ce module a effectué des calculs de l'écoulement non uniforme avec la distribution des débits (sans séries de données relatives au temps) et a calculé les niveaux d'eau dans les points nœud. Le coefficient de rugosité de Manning avait la même valeur (0,045-0,055) que celui de l'Oued Ourika.

CHAPITRE 3. ANALYSES DES INONDATIONS DES CRUES

3.1 Etablissement des cartes de crues

Une carte de crue a été établie pour chaque probabilité de débit dans le cadre de la présente Etude. Concernant les cartes de crues des six bassins versants (à l'exclusion de l'Issyl), le résultat de l'écoulement non-uniforme a été utilisé parce que les données stockées sont insuffisantes pour l'usage de la méthode hydrodynamique nécessitant les séries de temps par probabilité de débit. L'usage de l'écoulement non-uniforme est préférable à celui de la méthode hydrodynamique même avec les multiples différences qui surgissent quand plusieurs des conditions préalablement requises ne sont que supposées. Pour le bassin versant de l'Issyl, la méthode dynamique bidimensionnelle peut être utilisée après décision par la DRHT des informations relatives aux conditions limites, telles que les caractéristiques de l'hydrographe.

3.1.1 Etablissement d'un MNA

Le MNA (Modèle Numérique d'Altitude) est essentiel pour la simulation des crues. Dans la présente Etude, le MNA de la zone cible a été préparé sous forme de point d'altitude sur tous les 5m². Ces points d'altitude ont été numérisés lors de la préparation des cartes ortho-photos avec les contours. La zone d'inondation de la crue peut être analysée par la comparaison des niveaux d'eau avec l'altitude de l'emplacement.

3.1.2 Condition préalablement requise

- (1) N'fis, Rheraya, Ourika, R'dat et Zat

- (a) Canal de l'oued

Les profils en travers réalisés à un intervalle d'environ 500m lors de l'enquête topographique de la présente Etude ont été utilisés. Ils ont été réalisés en prenant en considération les sections-goulots.

- (b) Distribution des débits et coefficient de rugosité de Manning

Généralement, le débit de l'oued augmente vers le bas dans les zones montagneuses par la collecte de débits supplémentaires des affluents. La distribution du débit de l'oued pour chaque probabilité, comme résumée au Tableau D.3.1, a été déterminée sur la base des données de débits observés dans les principales stations et des débits spécifiques estimés à partir de la Courbe de Creager (Voir Fig.D.3.1).

- (c) Profondeur de l'eau au point de commencement du calcul

La section de l'oued dans laquelle commence le calcul est supposée présenter la profondeur critique de l'eau du point de vue hydraulique, prenant en considération les pentes aiguës du lit de l'oued dans cette section. Les niveaux d'eau correspondant à plusieurs débits dans ce point ont été déterminés par formule hydraulique.

(2) Oued Issyl

(a) Hydrographes des contours

Des hydrographes ont été fournis pour chaque probabilité en tenant compte des hydrographes déterminés par le rapport de la DRHT intitulé "ETUDE DE GESTION DES RETENUES ET DE PROTECTION DES BERGES, MISSION I". L'hydrographe est présenté dans la Fig. D.3.2.

(b) Ponts

Il existe trois ponts en arc en aval de Sidi Youssef Ben Ali qui obstruent l'écoulement de l'Oued Issyl. De plus, le pont d'intersection de la RN9 et l'Oued Issyl réduit considérablement la capacité d'écoulement de l'Oued. Ces ponts sont présentés dans la Fig. D.3.3.

3.2 Cartes de crues

(1) Oued N'fis

La Fig. D.3.4 (1) présente la zone inondable par les crues d'une période de retour de 100 ans. La hauteur relative de la route 203 et des maisons est telle qu'elles sont à peine touchées par les crues de l'Oued N'fis. Selon la Fig. D.3.4 (2), les zones exposées aux inondations dans le bassin aval du N'fis par les crues d'une période de retour de 100 ans sont celles des villages d'Ijoukak et Talat-n-Yaquob. Ces villages sont inondés en partie lors des crues centennales, mais pas par celles d'une période de retour de moins de 50 ans en ce qui concerne Talat-n-Yaquob.

Dans l'Oued Ourigane, affluent du N'fis, l'intersection de la route 203 et l'Oued au pont en arc est inondée par les crues de 50 et 100 ans. Il est possible que des maisons soient inondées par les crues centennales.

(2) Oued Rheraya

La zone inondable par les crues centennales dans le bassin du Rheraya est présentée dans la Fig. D.3.5 (1). Plus particulièrement, la route 203 entre Moulay Brahim et le village d'Asni, et la route 2015 près de l'aval du village d'Imlil sont remarquablement exposés aux inondations. La différence en hauteur entre la route 203 et le lit de l'Oued varie par endroits entre 1 et 1,5 m dans cette zone. Des parties de la route 2015 sont trop près du lit de l'Oued

La Fig. D.3.5 (2) présente la carte de crues des environs des villages de Moulay Brahim, Asni et Imlil. Elle montre ce qui suit: La route 203 en aval du village d'Asni et près de Moulay Brahim est inondée par les crues ayant une période de retour de 10 ans, mais le village d'Asni n'est inondé qu'en partie par les crues centennales même s'il est situé près du lit de l'oued. Le village d'Imlil risque d'être inondé par les crues ayant une période de retour de 10 ans. La route 2017, qui est située trop près du lit de l'oued près de l'aval du village d'Imlil, est inondée par les crues d'une période de retour de 5 ans et un tronçon de 700m est inondé par les crues centennales.

(3) Oued Ourika

La route 2017 au long de l'Ourika est submergée sur environ 6km lors des crues centennales (Voir Fig. D.3.6). La Fig. D.3.7 (1/5-6/5) présente la carte de crues près du pont de Tnine, en aval du village d'Aghbalou, près d'Iraghf (en amont et en aval), et près du village de Tazzitount respectivement.

La Fig. D.3.7 (1/5) présente la carte de crues près du village de Tiguemmi-n-Oumzil. Cette figure montre que le village, qui se situe à proximité de la rive droite du pont de Tnine, est inondé en partie par les crues d'une période de retour de 5 à 10 ans et risque d'être inondé en totalité par les crues d'une période de retour dépassant les 20 ans. Par contre, le village situé sur la rive gauche n'est que partiellement inondé par les crues centennales.

La Fig. D.3.7 (2/5) présente la carte de crues en amont du village d'Aghbalou. Dans cette zone, environ 1 km de la route 2017 est submergé par les crues centennales; elle est également exposée aux inondations des crues ayant une période de retour de 5 ans.

La Fig. D.3.7 (3/5) présente la carte de crues en aval du village d'Iraghf. Cette figure montre que la route 2017 adjacente est inondée par les crues d'une période de retour de 10 et de 20 ans. La Fig. D.3.7 (4/5), qui présente la carte de crues près de l'amont du village d'Iraghf, montre que les crues de 5 ans submergent une partie de la route 2017, et la zone dans laquelle les estivants se rassemblent pour camper, se baigner et prendre des repas, est inondée par les crues ayant une période de retour de 2 ans

La Fig. D.3.7 (5/5) est la carte de crues de la zone à proximité du village de Setti Fatma. Dans cette zone, la route 2017 et les maisons sont submergées en partie par les crues d'une période de retour de 2 ans.

(4) Oued Zat

Dans le bassin versant du Zat, la hauteur relative de la route et du village par rapport au lit de l'oued est assez élevée au point qu'il est difficile de les voir submergés par une crue centennale. Ainsi, même les crues centennales ne submergent qu'un tronçon de 100 m de la route secondaire qui longe l'Oued (Voir Fig D.3.7). Cependant, il y a une très vaste zone agricole au long de l'oued qui souffre des inondations des crues ayant une période de retour de 2 ans.

(5) Oued R'dat

La Fig. D.3.9 (1) présente le tronçon de la route N9 submergé par les crues centennales. Quelque deux (2) km de la route sont submergés. La carte de crues montre que des maisons sont également inondées par les crues centennales; cependant, seulement quelques maisons sont inondées à l'exception de la jonction de l'affluent Tazlida du fait qu'elles sont en majorité situées à plus de 4m du lit de l'oued (la profondeur de cet oued lors des crues centennales et d'une moyenne de 3,0 m). Les maisons du village situées près de la jonction de l'affluent Tazilida sont inondées par les crues d'une période de retour dépassant les 20 ans (Voir Fig. D.3.9 (2)).

(6) Oued Issyl

La carte des crues de périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans du bassin versant de l'Issyl est présentée dans la Fig. D.3.10. La carte présente les différentes caractéristiques des crues inondant les berges gauche et droite de l'oued Issyl en raison de leur condition topographiques. Dans la rive droite, les crues se diffusent largement sur de petites profondeurs en raison du nivellement de la plaine alluviale, alors qu'en rive gauche les crues s'écoulent à travers le thalweg au long de l'oued. Il en résulte que les inondations des crues sont plus profondes sur la rive gauche que sur la rive droite. La profondeur maximale des crues est d'environ 2,0m près de l'intersection entre le pont et la route N9 et l'oued Issyl à Sidi Youssef Ben Ali.

CHAPITRE 4. ETUDES HYDRAULIQUES BASEES SUR LE MODEL CALE

Un nombre d'études a également été effectué pour les oueds de la Zone d'Etude sur la base du modèle de simulation élaboré.

4.1 Examen de la méthode Muskingum

La Méthode Muskingum est une méthode de déroutement des crues célèbre à l'échelle mondiale qui peut facilement être appliquée. La méthode est aussi très connue au Maroc du fait qu'elle a été appliquée pour élaborer le modèle déterministe simple de prévision des crues par le bureau d'étude local INGEMA (Voir section 4.2.2 du texte du rapport). A cet égard, un examen a été effectué pour confirmer si la méthode Muskingum est applicable ou non comme modèle de déroutement des crues au lieu d'un modèle hydrodynamique.

La Fig. D.4.1 compare deux hydrographes de débits de la crue de 1999 qui ont été obtenus du modèle hydrodynamique et de la Méthode Muskingum. Une très bonne concordance est remarquée entre eux. Par conséquent, on peut dire que la Méthode Muskingum est assez bonne pour application à l'Ourika. Ce résultat peut permettre l'application de la Méthode Muskingum au modèle de prévision des crues comme il a été développé dans le cadre de la présente étude. Les paramètres calibrés se présentent comme suit :

Paramètres de la méthode de Muskingam

Section	K (heure)	X
Setti Fatma – Amlouggui	0,29	0,25
Amlouggui – Tighazrit	0,65	0,25
Tighazrit – Aghbalou	0,65	0,25

4.2 Estimation de la vitesse de propagation des crues

La vitesse de propagation des crues est l'un des facteurs les plus importants pour la planification d'un réseau de station d'observation des crues. Dans ce sens, le temps de parcours des écoulements des eaux de crues a été étudié pour l'Ourika à travers une simulation hydraulique et une enquête relative à la crue de 1995. Par conséquent, la vitesse de propagation des crues est estimée à 4 m/s selon les résultats des deux méthodes comme discuter ci-dessous.

4.2.1 Temps de parcours par simulation hydraulique

Le temps de parcours de l'écoulement de Setti Fadma à la station d'Aghbalou (la distance est de 16km environ) est estimé à environ 1,2 heure en utilisant le modèle d'écoulement dynamique calibré avec les données observées pendant la crue de 1999 comme présenté dans la Fig. D.4.2 Le temps de parcours correspond à une vitesse de 3,8m/s..

4.2.2 Enquête sur le temps de la pointe de crue

D'autre part, le résultat de l'enquête menée auprès des habitants locaux à propos du temps de pointe de la crue dans de différents emplacements révèle que la crue a duré 1,7 heure environ pour se propager sur 24km de Anfli vers Aghbalou. Le temps de parcours correspond à une vitesse de 4,0 m/s.

4.3 Estimation de la capacité d'écoulement

La capacité d'écoulement des principaux oueds de la Zone d'Etude (Ourika, N'fis, Rheraya, R'dat, Zat et Issyl) a été estimée dans cette section. L'altitude de la route a été adoptée comme niveau maximal des niveaux d'eau pour calculer la capacité de l'oued. Ce scénario paraît raisonnable car plusieurs restaurants et boutiques se situent au long de la route et les gens évacuent probablement vers la route lors d'une crue.

Malheureusement, les estimations se sont limitées aux seules zones dont on dispose de profils en travers. Pour savoir les conditions dans lesquelles les inondations affectent toute la zone qui longe l'Oued, la carte de crues mentionnée en 3.2.4 devra servir de référence.

4.3.1 Oued Ourika

La capacité d'écoulement de l'Ourika a été calculée à partir de la corrélation entre les niveaux d'eau et les débits obtenus lors de la simulation de la crue de 1999. L'altitude de la route P2017 qui longe la rive gauche de l'Oued a été utilisée comme niveau d'eau maximal pour le calcul de la capacité de l'Oued.

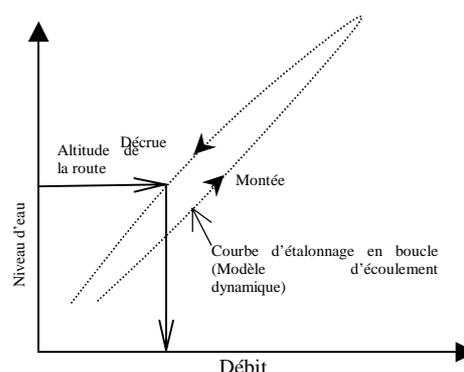
Les capacités d'écoulement de toutes les sections des 25km entre Setti Fatma et le pont de Tnine sont estimées comme présenté dans la Fig. D.4.3 (1). Dans la Figure, les capacités estimées sont comparées aux précipitations probables avec des périodes de retours de 10 et 20 ans qui ont été approximativement estimées en se basant sur les relevés des débits à la Station d'Aghbalou.

La capacité d'écoulement au pont de Tnine est de $650\text{m}^3/\text{s}$, se situant entre les débits de 10 et 15 ans. Cette section est un point critique qui est réduit par l'expansion du village de Tiguemmi-n-Oumzil sur les deux rives. Entre le pont de Tnine et la Station d'Aghbalou, l'altitude de la route est très élevée et les capacités des écoulements dépassent les débits de 100 ans. Cependant, de vastes zones agricoles qui se répandent sur le lit de l'Oued sont exposées aux crues d'un débit de 20 ans ou plus. En effet, cette zone a été endommagée lors de la crue de 1999 qui avait un débit de pointe de $760\text{m}^3/\text{s}$ à la Station d'Aghbalou (correspondant au débit de 20 ans).

En amont de la Station d'Aghbalou, la capacité d'écoulement est inférieure au débit de 20 ans dans certaines sections. Parmi elles, la capacité d'écoulement à Iraghf n'est que de $160\text{m}^3/\text{s}$, correspondant à un débit de 3 ans. En extrémité amont, la route se situe dans l'oued, et la capacité est presque nulle.

4.3.2 Autres oueds

La capacité des autres oueds a été calculée à partir de la corrélation entre les niveaux d'eau et plusieurs débits obtenus de la simulation d'écoulement non-uniforme. Elle se présente comme suit:



Estimation de la capacité d'écoulement

(1) Oued Rheraya

L'altitude de la route P2017 au long de la rive gauche de l'Oued Rheraya a été utilisée comme niveau d'eau maximal pour le calcul de la capacité d'écoulement. La capacité d'écoulement de toutes les sections de l'Oued est présentée en Fig. D.4.3 (2). Cette figure montre la zone des environs de l'aval d'Imlil, les environs de l'aval du village d'Asni et l'amont de la station de Tahannaout. La capacité d'écoulement minimale aux environs de l'aval d'Imlil, où la route est située trop près du lit de l'oued, est de $28,5\text{m}^3/\text{s}$, ce qui veut dire un débit de crues ayant une période de retour de 2 à 5 ans. A proximité de l'aval d'Asni, le débit minimal est de $300\text{m}^3/\text{s}$, c'est à dire un débit de crues de période de retour entre 20 et 50 ans. La section de la station de Tahannaout n'a qu'une capacité de $240\text{m}^3/\text{s}$ qui correspond à un débit de crues de 20 ans.

(2) N'fis, R'dat et Zat

La route qui longe ces oueds est relativement haute et ne souffre de presque aucune inondation à l'exception de quelques points lors des crues centennales. Les conditions des crues dans des zones pareilles doivent être vérifiées sur la carte de crues.

(3) Oued Issyl

La rive de l'Oued Issyl a été adoptée comme niveau d'eau maximale pour le calcul de la capacité. La capacité d'écoulement dans chaque section de l'Oued est présentée en Fig. D.4.2 (2). Il existe deux goulots dans l'Oued Issyl. Le premier est dans les environs de la jonction avec l'affluent Tassoltante qui a un profil très serré (la capacité d'écoulement est de $45,8\text{m}^3/\text{s}$) comparé aux sections aval et amont (la capacité d'écoulement dépasse les $200\text{m}^3/\text{s}$). L'autre point est le pont d'intersection avec la route N9 dont la capacité d'écoulement est de $75,4\text{m}^3/\text{s}$ (inférieure au débit de crues de 10 ans). En plus de ces deux points, il y a aussi le pont en arc dont la capacité d'écoulement réduite est inférieure au débit de crues de 10 ans à Marrakech.