



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques
Département de géologie



Agence du Bassin
Hydraulique du Tensift
Marrakech

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du titre :

Maîtrise es Sciences et Techniques

(MST)

Option: Hydrogéologie

Caractérisation et évaluation d'un Système de Prévision et d'Alerte aux Crues Exemple du «SPAC» du bassin de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc)

Présenté par :

EL BAHTARI Jamila

EL BAHRI Fatima Zahra

Jury:

Mr. M. E. Saidi (FST - Marrakech)

Mr. B. Igmoullan (FST - Marrakech)

Mr. Boumaggard (FST - Marrakech)

Encadrées par :

Mr. M. E. Saidi (FSTG)

Mr. B. Igmoullan (FSTG)

Mr. S. Kihal (ABHT)

Période de stage :

Du 1er Mai au 27 Juin 2009

Année universitaire : 2008/2009

Remerciements

Au terme de ce stage de fin d'études, il nous est agréable d'exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidées à le mener à terme, que ce soit au département des sciences de la terre de la Faculté de Sciences et Techniques de Marrakech ou à l'Agence de Bassin Hydraulique de Tensift.

Nous voudrions, en premier lieu, remercier nos professeurs, particulièrement nos encadrants Mr. M.E. Saidi et Mr. B. Igmoullan, pour leurs aides et assistance.

Nos remerciements vont également à notre encadrant à l'ABHT Mr. S. El kihal, sans oublier le chef de la division des ressources en eau Mr. Aresmouk et également Mr. K. Mazza.

Nos chaleureux remerciements à nos familles pour leur soutien matériel et moral, ainsi qu'à nos amis pour leurs encouragements.

Sommaire

Introduction.....	6
1^{ère} partie: Présentation de l'ABHT.....	8
2^{ème} partie: Caractérisation de la zone d'étude.....	12
I. Présentation de la zone d'étude	13
1. Situation géographique et climatique	13
2. Caractéristiques morphologiques du bassin	15
3. Réseau hydrographique du bassin	17
4. Orographie du bassin versant	18
5. Géologie du bassin versant	19
6. Pluviométrie et disponibilité en eau dans le bassin d'Ourika	21
a. Régimes mensuels des pluies	23
b. Régimes mensuels des débits.....	24
c. Relation entre les pluies et les débits moyens mensuels	24
3^{ème} partie : Caractérisation et étude des crues.....	26
I. Caractérisation des crues.....	27
1. Définition	27
2. Type des crues	29
a. Les crues avec charriage	29
b. Les crues déferlantes	29
c. Les crues avec laves torrentielles	29
3. Processus de formation de crues	31
II. Etude de quelques crues ayant affectées le bassin de l'Ourika.....	32
1. La crue du 14 juillet 1989	32
2. La crue du 17 août 1995	33
3. La crue du 28 octobre 1999.....	35
➤ Les temps de base et les temps de montée des crues	36
• Les temps de base.....	36
• Les temps de montée.....	36
* L'imperméabilité.....	36
* La forme du bassin	36
* La topographie.....	36
* La hiérarchisation du réseau hydrographique	36
* Le faible couvert végétal du bassin	36
➤ Répartition mensuelle et saisonnière des crues	37

III. Aménagement de protection	37
1. Mesures non structurales	37
a. Amélioration de l'observation et la prévision météorologique	38
b. Renforcement de la gestion des événements crues par l'introduction d'un système d'observation des crues et des paramètres	38
c. Information des habitants et la réalisation d'aménagement d'évacuation	38
d. Control de l'occupation des sols dans les oueds	39
e. Reboisement et contrôle de l'érosion	39
2. Mesures structurales.....	40
3. Conclusion.....	44
4^{ème} partie : présentation et évaluation du SPAC.....	45
I. Présentation du SPAC (Système de prévision et d'alerte aux crues)	46
A. Ministère d'équipement	46
- L'observation hydrologique et collecte des données.....	47
- Analyses des données	49
B. Ministère de l'Intérieur (Province d'Al Haouz)	51
II. Composantes du plan du SPAC de la région de l'Atlas après l'automatisation.....	52
1. Observation hydrologique et collecte des données	53
2. Analyse des données, prévision, émission des messages d'avis de crues et diffusion des informations ou des messages d'avis de crues	53
3. Emission des alertes aux crues	53
4. Diffusion des alertes aux crues	53
5. Evacuation	54
III. Plan d'exploitation	56
1. Phases de crues.....	56
a. La phase normale	56
b. La phase préparatoire	56
c. La phase d'observation de crue	56
d. La phase d'évacuation.....	57
2. Actions et procédures à suivre par les principales administrations	57
a. Fonctionnement du SPAC durant la phase normale	57
b. Fonctionnement du SPAC durant la phase préparatoire	57
c. Fonctionnement du SPAC durant la phase d'observation de la crue.....	57
d. Fonctionnement du SPAC durant la phase de l'évacuation	58
VI. Evaluation du fonctionnement du SPAC lors de quelques crues à l'Ourika.....	59
1. La crue de 29 Août 2006.....	59
2. La crue de 22 Juin 2009.....	63
IV. Problèmes et solutions pour le bon fonctionnement du SPAC	67
1. Les problèmes.....	67
a. Problèmes naturels	67
b. Problèmes anthropiques	67
2. Les solutions.....	67
Conclusion générale.....	69

Liste des illustrations.....	70
Bibliographie.....	72
Annexes.....	73

Introduction

Les crues sont, partout dans le monde, considérées comme des phénomènes exceptionnels contre lesquels il faut se protéger par la prévision et la prévention. Ceci à cause de leurs effets destructifs sur les plans naturels et socio-économiques. Elles sont pour cela au centre des préoccupations des scientifiques et des gouvernements. Les premiers interviennent par leurs études et travaux de recherches et les seconds par la prise de décision en matière d'aménagements appropriés. D'autres acteurs peuvent intervenir par la sensibilisation des populations telles que les associations et Organises Non Gouvernementaux.

Au Maroc, on s'est intéressé depuis longtemps aux phénomènes hydrologiques extrêmes. Car le pays connaît des crues et inondations répétitives dans différentes régions (Sefrou en 1950, la vallée de la Moulouya en 1963, la Vallée du Ziz en 1965, les vallées du Haut Atlas de Marrakech en août 1995, la région d'El Hajeb en 1997, celle de Settat et Mohammedia en 2002, Tan Tan, Nador, Al Hoceima et Khénifra en 2003... etc.)

Notre région d'étude n'est pas épargnée par ces cataclysmes hydrologiques. Le bassin versant de l'Ourika fait partie du Haut Atlas de Marrakech. C'est une zone montagneuse semi aride à subhumide sujette à des pulsations brutales des niveaux des eaux des oueds.

Depuis le désastre de 1995, Le Gouvernement du Royaume du Maroc a fourni beaucoup d'efforts pour atténuer les dégâts des crues au niveau de la zone d'étude en prenant plusieurs mesures structurelles et non structurelles. Comme mesures non structurelles, il a installé sept stations hydrologiques équipées de radio au sein et aux alentours du bassin versant de l'Ourika, qui a été le plus touché par le désastre de 1995. Cependant, ces efforts restent loin de satisfaire les besoins de sécurité pour la zone d'étude.

Face à une telle situation, le Gouvernement marocain a mené, avec l'aide de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), une étude du Plan Directeur sur le Système de Prévision et d'Alerte aux Crues (SPAC) pour la région du Haut Atlas de Marrakech. A cet

effet, ladite agence a délégué une équipe d'étude au mois de mars 2000 pour entreprendre l'étude en question.

Dans la même perspective, nous avons souhaité contribuer à l'examen et l'analyse de ce système de prévision et d'alerte aux crues. Pour cela l'organisation de notre travail sera articulée autour de trois grands axes :

- Analyse géomorphologique des bassins versants en y traitant la forme, les pentes, la géologie, le réseau hydrographique et le couvert végétal.
- Caractérisation et étude dynamique de quelques crues ayant marquées l'oued Ourika par l'analyse des hydrogrammes des crues et voir l'impact du milieu physique des bassins versants sur la forme de ces hydrogrammes.
- Présentation et évaluation du Système de Prévention et d'Alerte aux Crues (SPAC).

Première partie :
Présentation
de l'Agence
du Bassin Hydraulique
de Tensift

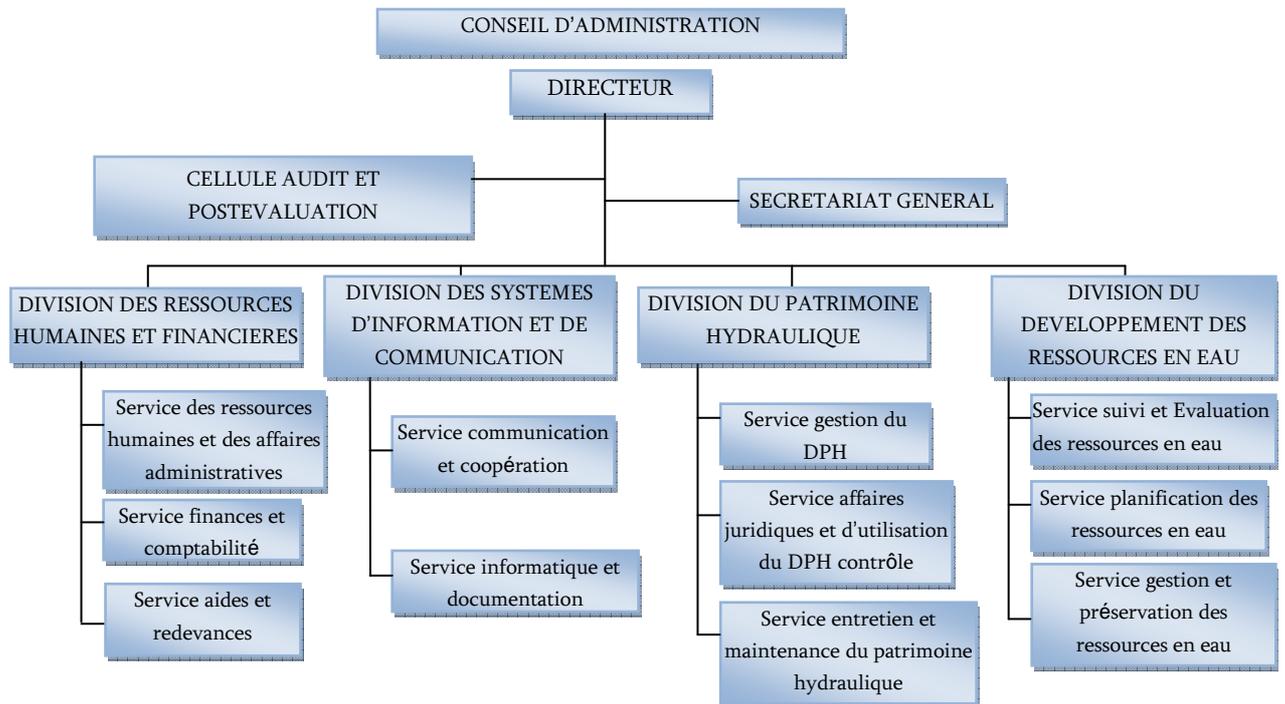
L'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT) est créée en application de la loi 10-95 sur l'eau conformément à l'article 20, et instaurée par le décret N° 2-00-479 du 14 Novembre 2000, l'Agence du bassin hydraulique du Tensift a démarré effectivement son action en Avril 2002.

Organisme public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, l'Agence du bassin hydraulique du Tensift traduit la politique de décentralisation de la gestion de l'eau induite par le nouveau concept de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin hydraulique, et constitue ainsi un organisme fédérateur des acteurs concernés par la gestion de l'eau au niveau régional.

Gérée par un Conseil d'Administration présidé par le Ministre de l'Aménagement du Territoire de l'Eau et de l'Environnement; L'Agence du bassin est chargée des missions suivantes:

- Elaborer un plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau relevant de sa zone d'action.
- Veiller à l'application du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action.
- Délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique prévues dans le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau de sa zone d'action.
- Fournir toute aide financière et toute prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit prévenir la pollution des ressources en eau, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique.
- Réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif.
- Réaliser toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions de la présente loi et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement.
- proposer et d'exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau déclarée.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordées.

* **Organigramme de l'agence du bassin hydraulique du Tensift :**



Cet organigramme, qui est toujours en cours de validation, prévoit les quatre divisions suivantes :

- Division du Développement des ressources en eau.
- Division du domaine public hydraulique.
- Division des ressources humaines et financières.
- Division des systèmes d'information et de communication.

* **Division du développement des ressources en eau :**

a. Service Suivi et Évaluation des ressources en eau :

- Développement et entretien des réseaux de mesure.
- Gestion du fichier inventaire des ressources en eau.
- Suivi et évaluation des ressources en eau.
- Gestion du réseau d'annonce de crues, dépouille, traite et élabore les données.
- Edition des annuaires, monographiques et bulletins de situation hydrologique.
- Réalisation des études hydrogéologiques.

- Programmation des activités du PAGER au niveau du bassin.

b. Service Planification des ressources en eau :

- Etablissement et actualisation des PDAIRE et suivi de leur mise en œuvre.
- Mesures d'accompagnement des PDAIRE et suivi de leur réalisation.
- Etude des besoins en eau au niveau du bassin.
- Suivi de la situation d'AEP (alimentation en eau potable) des villes et centres au niveau du bassin.
- Réalisation des études économiques des projets d'aménagement des R.E.

Deuxième partie :

Caractérisation

de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude :

Le Haut Atlas marocain est une chaîne montagneuse qui culmine à plus de 4000 m d'altitude. Dans la partie centrale, il surplombe les plaines arides à semi arides du Haouz au Nord, du Souss au Sud-Ouest et d'Ouarzazate au Sud-Est. Il est le siège de différentes activités rurales et touristiques dont la demande en eau ne cesse d'augmenter. Considérée comme un véritable château d'eau, cette chaîne montagneuse est orientée NE-SW et ses bassins versants s'y trouvent exposés d'un côté vers le Nord-Ouest et de l'autre vers le Sud-Est.



Fig.1: Situation géographique du Haut-Atlas (EL QAYEDY et al. (2006))

1. Situation géographique et climatique :

Le bassin-versant de l'Ourika à Aghbalou, localisé à une quarantaine de km au sud de Marrakech, se situe entre 31° et 31° 20' de latitude Nord et entre 7° 30' et 8° de longitude Ouest. Plusieurs indices d'aridité placent le secteur en zone semi-aride à tendance sub-humide, où interfèrent les influences océanique (perturbations venues de l'ouest), continentale et montagnarde. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,6 °C à Aghbalou, mais la différence de température entre le mois le plus chaud (juillet) et le mois le plus froid (janvier) peut atteindre une amplitude de 15 °C. La région est caractérisée par une variabilité spatiotemporelle des précipitations et une irrégularité relative des écoulements superficiels.

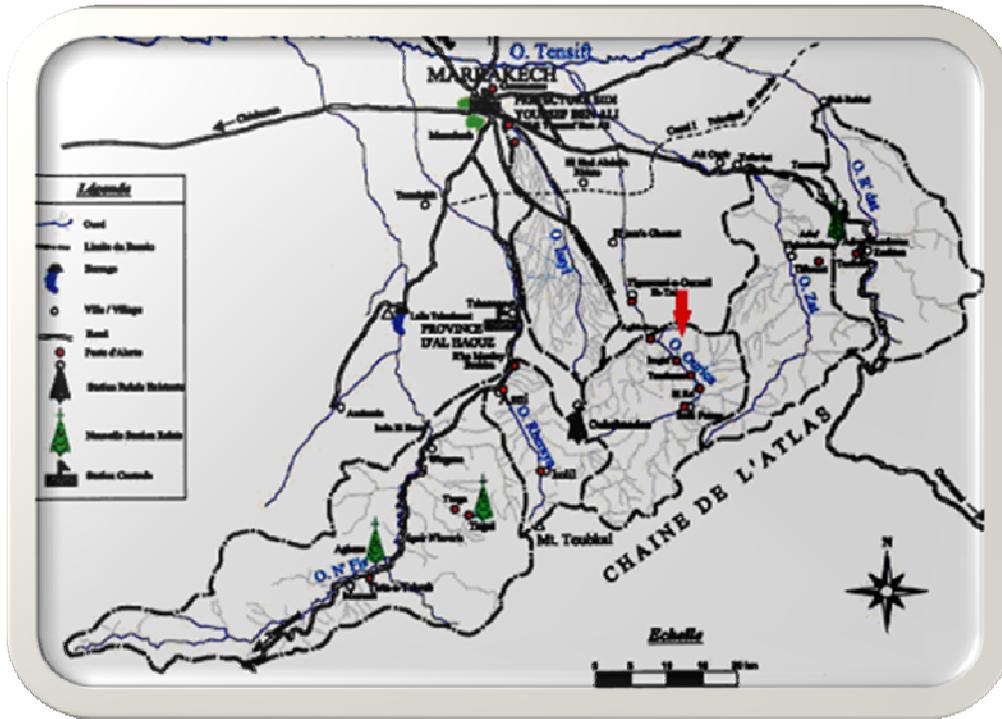


Fig.2: Situation géographique du bassin versant de l'Ourika



Fig.3: Image satellite montrant la localisation de la zone d'étude (Google Earth)

2. Caractéristiques morphologiques du bassin :

La forme du bassin-versant peut avoir des conséquences hydrologiques importantes, notamment sur la relation pluie-débit et l'évolution des écoulements en période de crue. Autrement dit, outre la nature de l'averse, ce sont les caractéristiques morphologiques du bassin qui conditionnent la forme des hydrogrammes observés à l'exutoire. Plusieurs formules et indices permettent de chiffrer ces caractéristiques.

Paramètres	Bassin d'Ourika
Surface (Km ²)	503
Périmètre (Km)	104
Indice de compacité	1,3
Longueur du cours principal (Km)	45,5
Longueur du rectangle équivalent (Km)	39,2
Largeur du rectangle équivalent (Km)	12,8
Altitude maximale (m)	4001
Altitude minimale (m)	1070
Altitude moyenne (m)	2500
Pente moyenne du cours principal	2,15%
Pente moyenne des principaux affluents	9,35%
Pente moyenne de tous les versants du bassin	35%
Temps de concentration	5 heures

Tableau.1: Caractéristiques physiques du bassin de l'Ourika à Agbalou (Saidi et al.2003)

Outre, l'exposition des versants aux flux perturbés, les effets d'ubac et d'adret jouent également un rôle important dans l'aridité des sols et leur capacité d'emmagasiner longtemps l'humidité. Selon que les versants du Haut Atlas soient orientés vers le Sud ou vers le Nord, il existe un contraste dans la durée de l'ensoleillement et dans l'intensité calorifique des radiations reçues au sol par unité de surface. Ceci est d'autant plus accusé que les pentes des versants sont importantes, comme c'est le cas sur le bassin de l'Ourika, où les vallées sont profondes et les versants exposés pour la plupart vers le Nord ou le Nord-Ouest. Ces versants ne reçoivent pas les rayons solaires sous de forts angles d'incidence, et certaines vallées sont dans l'ombre très tôt le soir et assez tard le matin. Les plus profondes perdent même tout ensoleillement pendant quelques semaines en hiver. Cette atténuation de la radiation solaire permet au sol de conserver longtemps l'humidité et diminue le pouvoir évaporant de l'air, qui pourrait être important à ces latitudes (Saidi et al.2006)

L'indice de compacité de Gravelius ($K_c = 0,28 P/\sqrt{S}$, où P est le périmètre et S la surface) permet d'avoir une idée sur la forme géométrique du bassin : il est de l'ordre de 1,3 pour le bassin de l'Ourika, ce qui témoigne d'une forme peu allongée du bassin. Le cours principal forme une vallée profonde alimentée, sur les deux rives, par une succession de ravins affluents. Cette situation permet aux ondes de crues de grossir vers l'aval à mesure de leur alimentation par les affluents.

Le calcul des pentes de l'Ourika a permis de constater que celles du cours principal ne sont pas particulièrement élevées (0 à 5 %) ; cependant, la vitesse et la violence des écoulements sont surtout régies par les pentes plus importantes des affluents et des versants (Tableau.1et fig.2). La quasi-totalité des affluents se jettent dans le cours principal avec des pentes très importantes. Le Tarzaza qui draine le massif de l'Oukaïmden suit une pente moyenne de 11%, mais les vallons les plus pentus se situent en amont du bassin avec des pentes qui atteignent, par endroit, des valeurs de 30 à 40 % (Oufra et Tifni en amont de l'Ourika).

Le Tarzaza qui draine le massif de l'Oukaïmden suit une pente moyenne de 11 %, mais les vallons les plus pentés se situent en amont du bassin (Oufra et Tifni) avec des pentes qui atteignent, par endroits, des valeurs de 30 à 40 %.

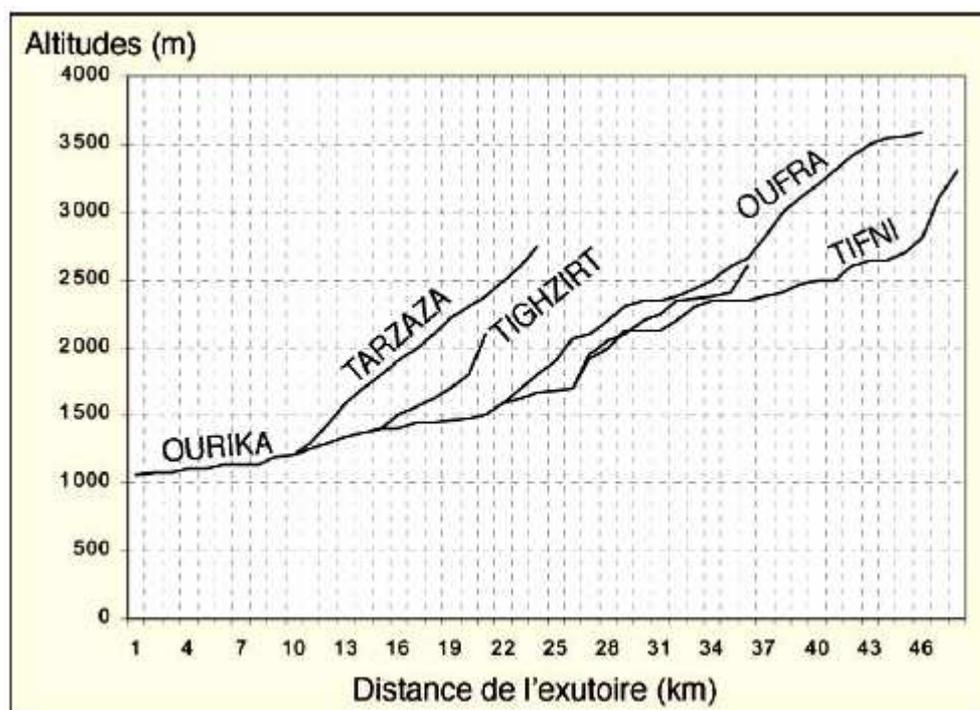


Fig.4: Profils en long de l'oued Ourika et de ses principaux affluents (Saidi et al. 2003)

Le Rectangle équivalent est une représentation géométrique du contour du bassin versant transformé en rectangle. Celui-ci est tracé à partir de la longueur et de la largeur du bassin. Les courbes de niveau y sont parallèles et sont tracées en respectant les répartitions hypsométriques.

Ce rectangle est conçu pour pouvoir comparer les bassins versants du point de vue morphologique. Le rectangle équivalent du bassin Ourika n'est pas très allongé, ce qui confirme le résultat de l'indice de compacité et aura les mêmes conséquences hydrologiques précitées, notamment des temps de concentration plus courts sur le bassin del'Ourika.

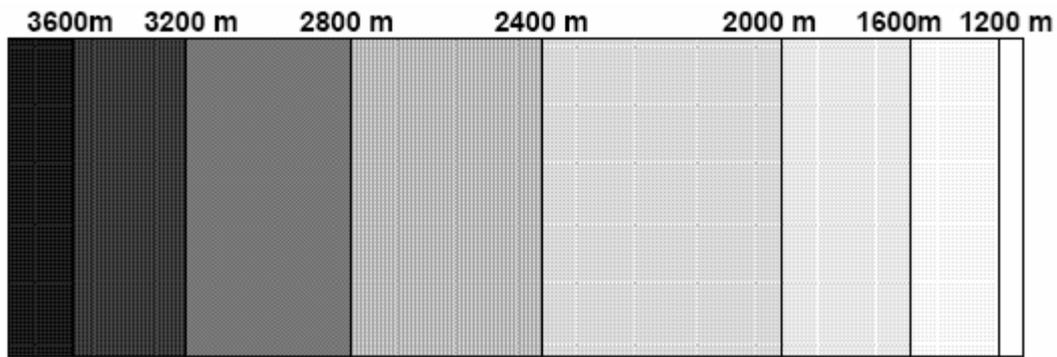


Fig.5: Rectangle équivalent du bassin versant de l'Ourika (Saidi 2006)

3. Réseau hydrographique du bassin :

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika est bien développé dans la partie amont du bassin du fait de l'imperméabilité du socle précambrien, du couvert végétal restreint et du relief très accidenté. Ce réseau est en revanche moins développé dans la partie avale en raison de la dominance de terrains non cristallophyllien, plus perméables, avec un relief relativement modéré et un couvert végétal plus abondant qu'en amont. La densité de drainage semble donc dépendre de plusieurs paramètres dont la lithologie, la géomorphologie, le couvert végétal et les conditions climatiques.



Fig.6: Réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika

4. Orographie du bassin versant :

Dans le bassin de l'oued Ourika, le cours d'eau principal prend naissance à des altitudes comprises entre 3000 et 4000 m. L'analyse de la répartition des tranches d'altitude a été effectuée à partir de la carte topographique Oukaimeden -Toubkal au 1/100.000(Saidi et al.2003). L'altitude moyenne est de 2500 m, et la répartition altimétrique montre que 75 % des terrains sont situés entre 1600 et 3200 m.

Ces altitudes importantes ont permis au bassin de bénéficier d'une pluviosité conséquente. En se référant au gradient pluviométrique des versants nord du Haut Atlas, calculé à partir des données pluviométriques et altimétriques des stations de la région (Saidi et al. 2006), on peut estimer les hauteurs probables des précipitations en amont du bassin.

Par ailleurs, et à partir de 2000 m d'altitude, le bassin reçoit en hiver un apport nival d'une importance capitale dans la régularisation des débits de l'oued. La mesure des superficies des zones qui pourraient être couvertes par la neige a permis de constater qu'elles

s'étendraient sur une superficie d'environ 300 km², et même si nous ne considérons que les zones couvertes par des neiges persistantes et à grande longévité, soit des altitudes supérieures à 2800 m, on constate qu'elles occupent une superficie de 162 km² soit 32,3 % du bassin versant (Saidi et al. 2006).

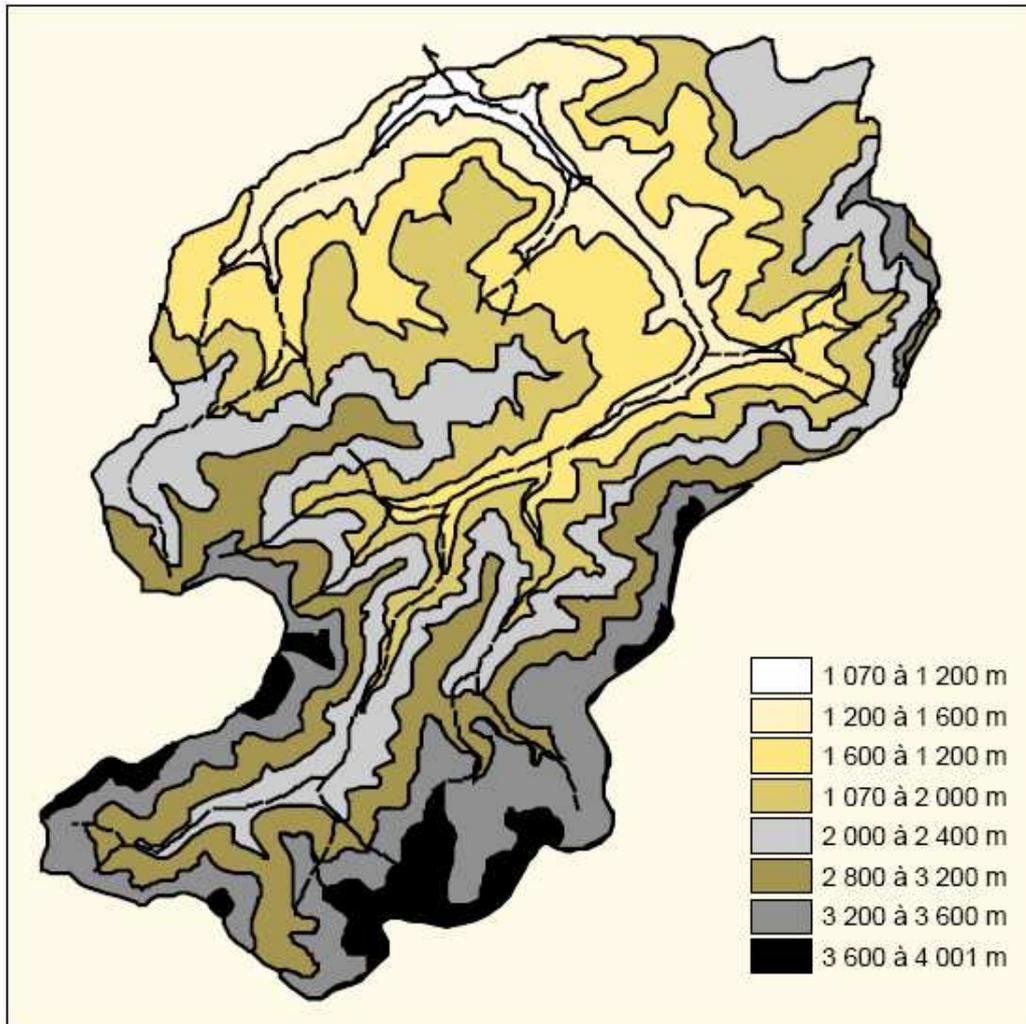


Fig.7: Hypsométrie du bassin de l'Ourika

5. Géologie du bassin versant :

Sur le plan géologique, le bassin versant offre deux grands types de faciès (Fig.6) :

- une partie amont, située à des altitudes supérieures à 2 000 m, constituée de roches magmatiques et métamorphiques, qui constituent le socle de la chaîne atlasique.

On y rencontre des roches plutoniques (notamment des granites et granodiorites), des roches volcaniques (andésites, rhyolites, etc.) et des faciès métamorphiques (gneiss et migmatites). Cette mosaïque cristalline est propice à un ruissellement immédiat des eaux de pluie.

- une partie septentrionale, située à des altitudes inférieures à 2 000 m, composée de dépôts permo-triasiques et quaternaires plus tendres. La lithologie du Permo-trias est composée d'un faciès nord, subatlasique, formé de conglomérats, grès et siltites, et d'un faciès sud des hauts plateaux, formé essentiellement de siltites argileuses et localement de grès massifs.

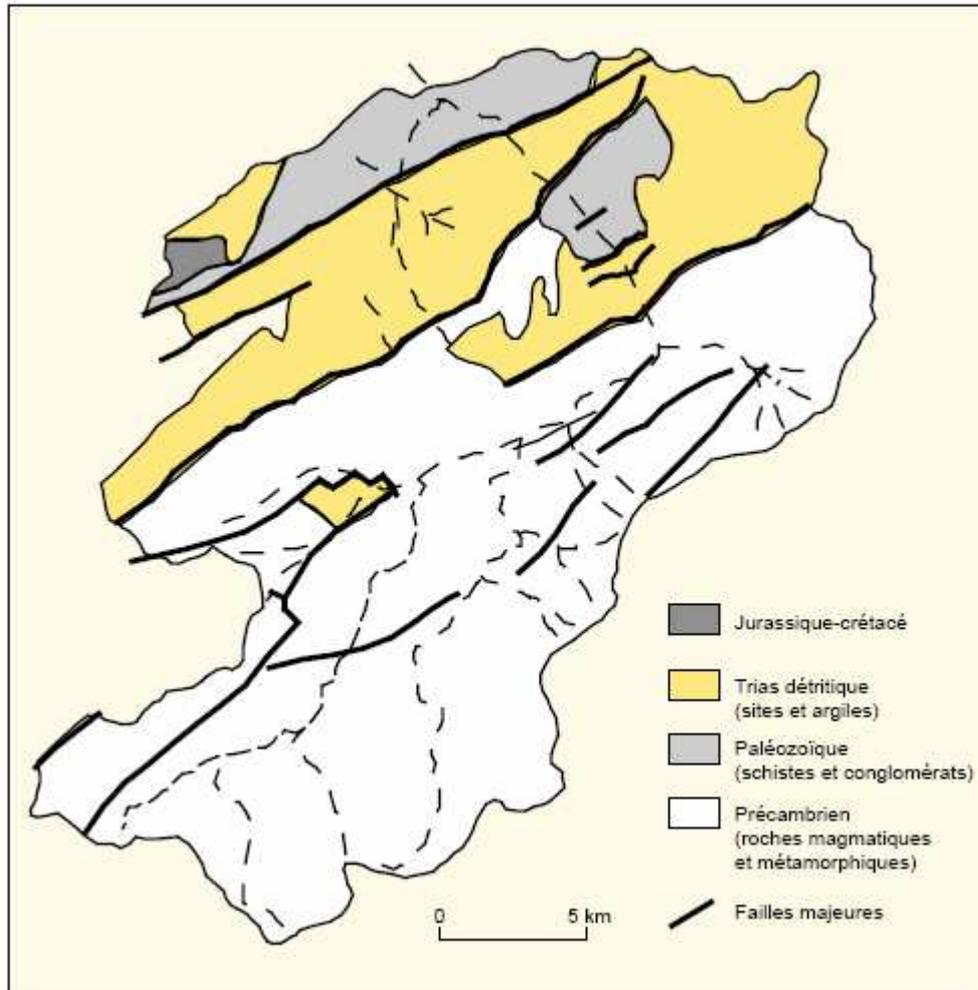


Fig.8: Esquisse géologique du bassin de l'Ourika

Les observations lithologiques déduites de la carte géologique au 1/500 000 et des prospections de terrain montrent que les roches tendres à moyennement tendres représentent une étendue inférieure à 40 %, alors que le substrat dur représente environ 65% de l'étendue du bassin.

Ainsi, la source des blocs et des galets charriés par l'Ourika proviendrait essentiellement du socle qui constitue la partie axiale de la chaîne atlasique. Quant aux matériaux latéraux plus tendres en provenance des versants, leurs entrées au niveau des drains principaux sont très variées : matériaux alluviaux (contact avec les cônes de déjection et les confluences des tributaires) et matériaux non alluviaux (cônes d'éboulis et glissements de terrain) (Saidi et al. 2003).

Toutefois, l'environnement géomorphologique est marqué par la dominance de deux groupes de formes et de dépôts : les cônes de déjection et les terrasses fluviotorrentielles. Ces deux unités sont intimement liées dans le temps et dans l'espace.

Leurs dépôts sont constitués par des matériaux ayant subi un transit dans un milieu fluvial diversifié.

6. Pluviométrie et disponibilité en eau dans le bassin d'Ourika :

Pour le bassin de l'Ourika, l'étude des précipitations sur la période 1969-1999, a permis de relever une moyenne relativement importante à la station d'Aghbalou (584 mm) située à 1070 m d'altitude. Les apports annuels y varient de 277 mm (en 1992-1993) à 1062 mm (1971-1972). Le coefficient de variation est de l'ordre de 30 %. Il témoigne d'une irrégularité pluviométrique modérée dans ce milieu semi-aride.

Ces hauteurs relativement élevées enregistrées à la station d'Aghbalou témoignent de l'importance du rôle de l'altitude, et surtout de l'exposition du bassin versant vis-à-vis des courants aériens humides. A l'aide des données de stations voisines et de la relation altitude-hauteurs des précipitations annuelles (Saidi et al. 2006), une carte des isohyètes moyennes de l'ensemble du bassin a pu être tracée (Fig.7). Celle-ci montre des zones de forte pluviosité situées sur les hauts reliefs de la partie amont où la pluviométrie dépasse 700 mm par an.

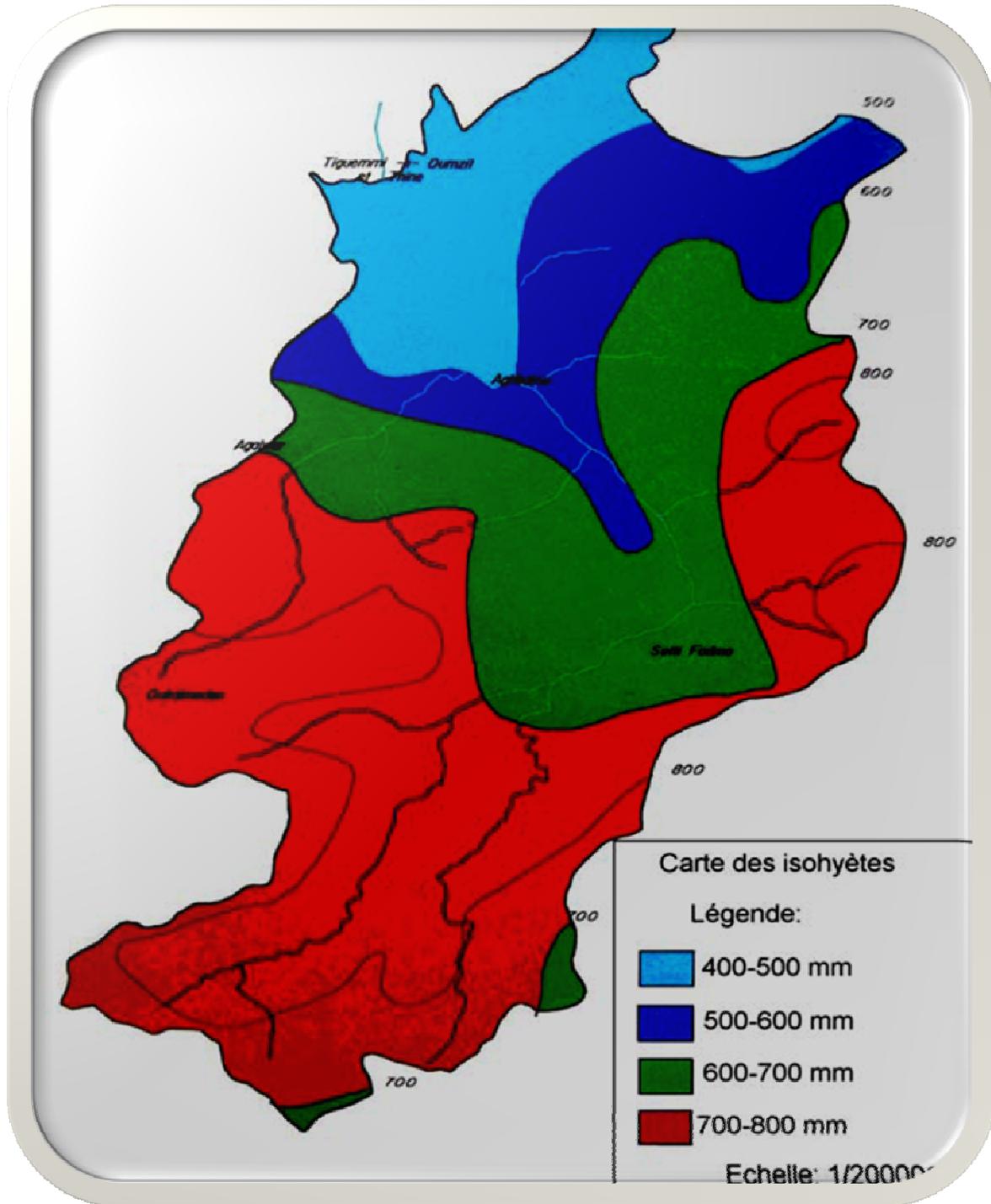


Fig.9: Carte des isohyètes du bassin versant de l'Ourika

Sur le plan hydrologique, L'oued Ourika à Aghbalou a enregistré de 1976-1977 à 1996-1997 un débit moyen journalier de l'ordre de $6,54 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un volume annuel de 206 Mm^3 et un débit spécifique de 13 l/s/Km^2 .

Dans le bassin de l'oued Ourika, l'abondance hydrologique est mise en relief par la pérennité des écoulements superficiels et leur importance. En effet, sur une période d'observation de 20 ans, les débits annuels ont varié à Aghbalou entre $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant l'année sèche 1982-1983 et $29,8 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant l'année 1979-1980, et plusieurs années humides sont marquées par des débits importants.

A l'échelle saisonnière, les écoulements et les débits de l'oued Ourika sont plus abondants au printemps, lorsque les écoulements pluviaux sont couplés à ceux issus de la fonte des neiges. Ces écoulements persistent également pendant la saison d'été grâce à des débits de base qui régularisent le régime de l'oued.

a. Régimes mensuels des pluies:

Par manque de stations pluviométriques couvrant la totalité des bassins versants sur une longue période, on s'est basé que sur la station de l'exutoire qui dispose de données satisfaisantes couvrant une assez longue période. Il s'agit d'Aghbalou pour le bassin de l'Ourika

Les données disponibles sont résumées sur le tableau suivant :

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Ourika	16,21	48,97	55,35	46,45	61,72	66,36	85,61	86,31	49,32	14,86	3,59	6,49

Tableau 2: Les pluies moyennes mensuelles interannuelles à la station d'Aghbalou (1970/71-2003/04)

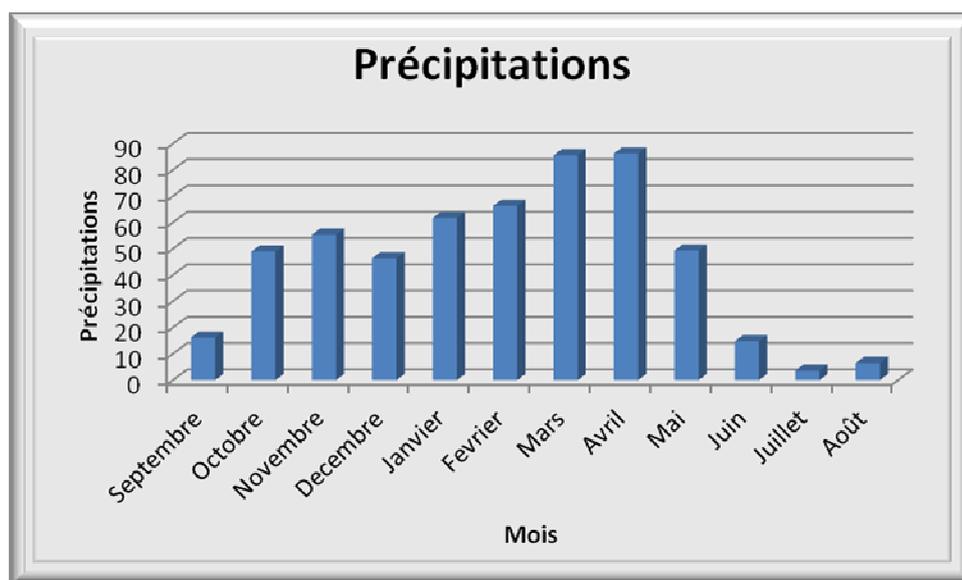


Fig.10: Histogramme des pluies moyennes mensuelles interannuelles à Aghbalou (1970/71-2003/04)

La moyenne annuelle est de l'ordre de 45,10 mm. C'est une hauteur élevée pour un milieu semi aride, mais les grands reliefs du bassin de l'Ourika et la bonne exposition de la plupart de ses versants aux perturbations en provenance de l'océan atlantique lui a permis de jouir d'une plus grande pluviosité.

b. Régimes mensuels des débits:

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Ourika	1,49	2,27	2,59	3,22	3,55	4,95	11	15	12	4,7	1,58	1

Tableau 3: Les débits moyens mensuels interannuels en m³/s à la station d'Aghbalou (1970/71-2003/04)

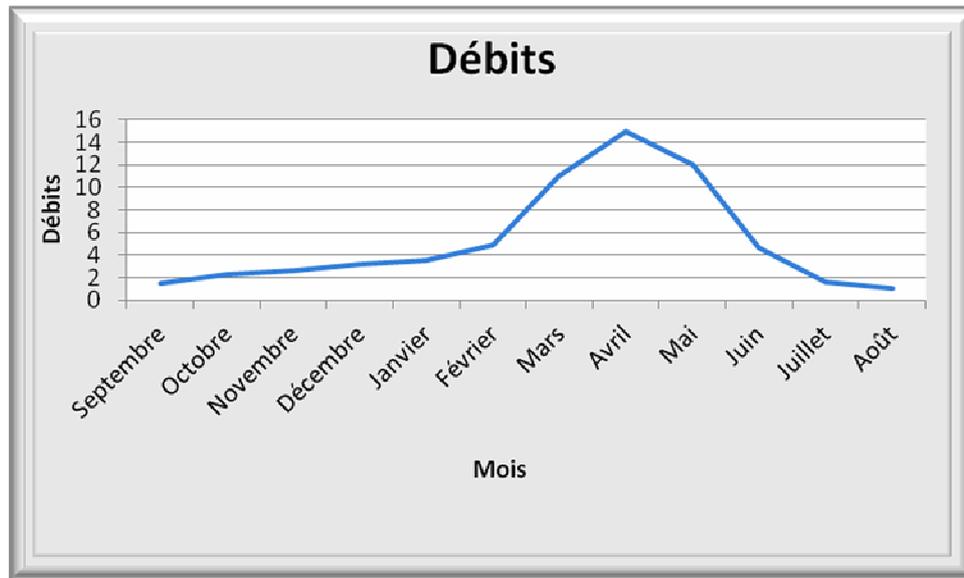


Fig.11: Les débits moyens mensuels interannuels en m³/s à la station d'Aghbalou (1970/71-2003/04)

Concernant l'Ourika, on constate que ses forts débits ont lieu uniquement au printemps. C'est un régime simple avec un seul pic. Ce maximum est également provoqué à la fois par les pluies printanières que par la fonte des neiges hivernales.

c. Relation entre les pluies et les débits moyens mensuels:

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Pluies	16,66	47,36	55,39	46,26	63,56	65,18	86,27	85,56	47,21	14,31	3,2	6,46
Q(m ³ /s)	1,466	2,303	2,638	3,213	3,69	4,947	11,39	14,41	11,761	4,589	1,558	0,99

Tableau 4: Les pluies et les débits moyens mensuels interannuels à l'Ourika (1969/70-2003/04)

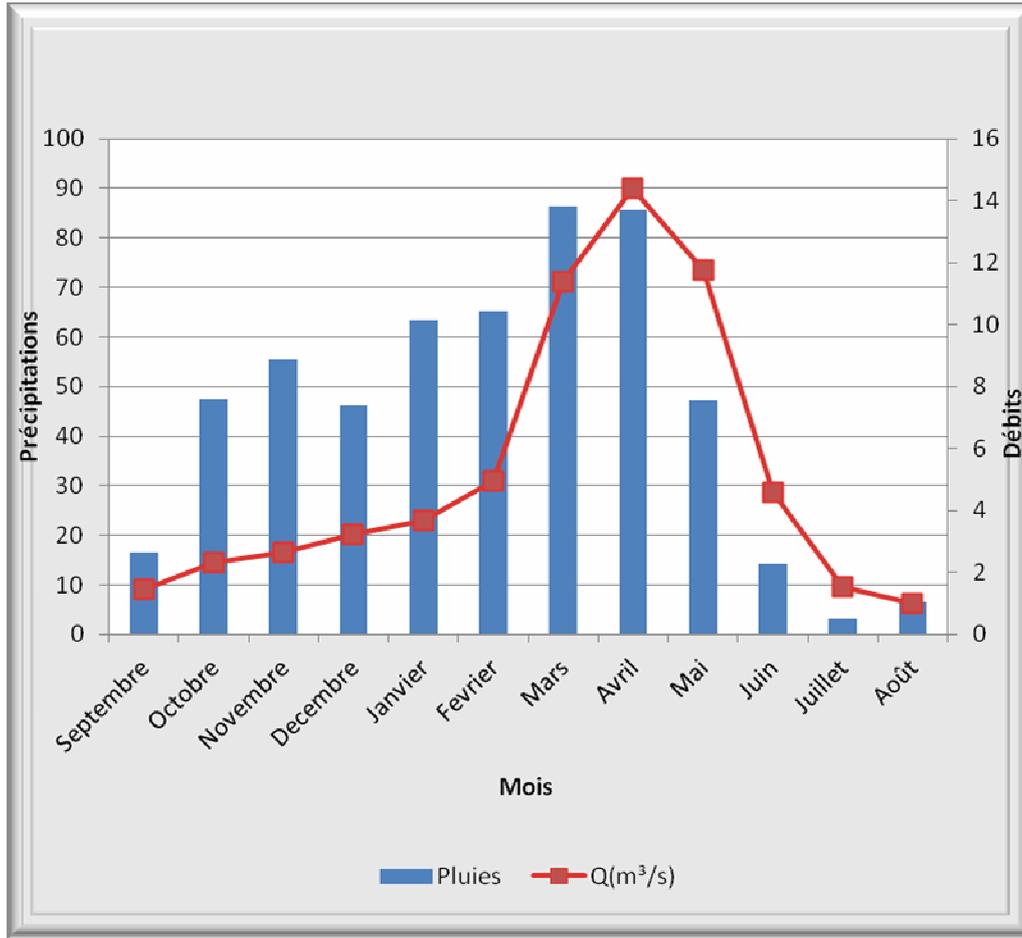


Fig.12: Histogramme montrant la relation entre les régimes de débits et de pluies à la station d'Aghbalou (1969/70-2003/04)

On remarque que la courbe des débits n'est pas complètement calquée sur celle des pluies et il y a un léger déphasage entre les deux courbes : Le maximum pluviométrique est en mars alors que le maximum hydrologique parvient un mois plus tard en avril. Ceci est du à la rétention nivale en hiver et sa grande fonte au printemps, ce qui renforce l'écoulement pendant cette saison.

Troisième partie: Caractérisation et étude des crues

I. Caractérisation des crues

1. Définition :

Une crue torrentielle peut être considérée comme une onde se propageant dans le cours d'eau. Elle est caractérisée par une vitesse de propagation, une amplitude, une longueur et un taux d'amortissement. La vitesse de propagation est très variable selon le secteur, elle varie d'une crue à l'autre en fonction de la pente, du rayon hydraulique et des sinuosités du lit.

L'hydrogramme d'une crue fait apparaître cinq grandeurs caractéristiques de l'événement :

- Le temps de montée de la crue: c'est la durée qui s'écoule entre le début de la montée du niveau d'eau et la pointe de la crue.
- La pointe de la crue ou débit de pointe: c'est le débit maximum observé au cours d'une crue. Il permet de définir la période de retour du phénomène, au regard des données historiques disponibles.
- Le temps de base: c'est la durée qui s'écoule entre le début de la montée du niveau d'eau et la fin du ruissellement pur de la crue.
- Le temps de réponse: c'est la durée qui sépare le maximum de l'épisode pluvieux et le moment du débit de pointe.
- Le temps de concentration: c'est le temps que met une particule d'eau, provenant d'un point du bassin le plus loin de l'exutoire, pour arriver à celui-ci. On l'estime à la durée entre la fin de la pluie et la fin du ruissellement de la crue.

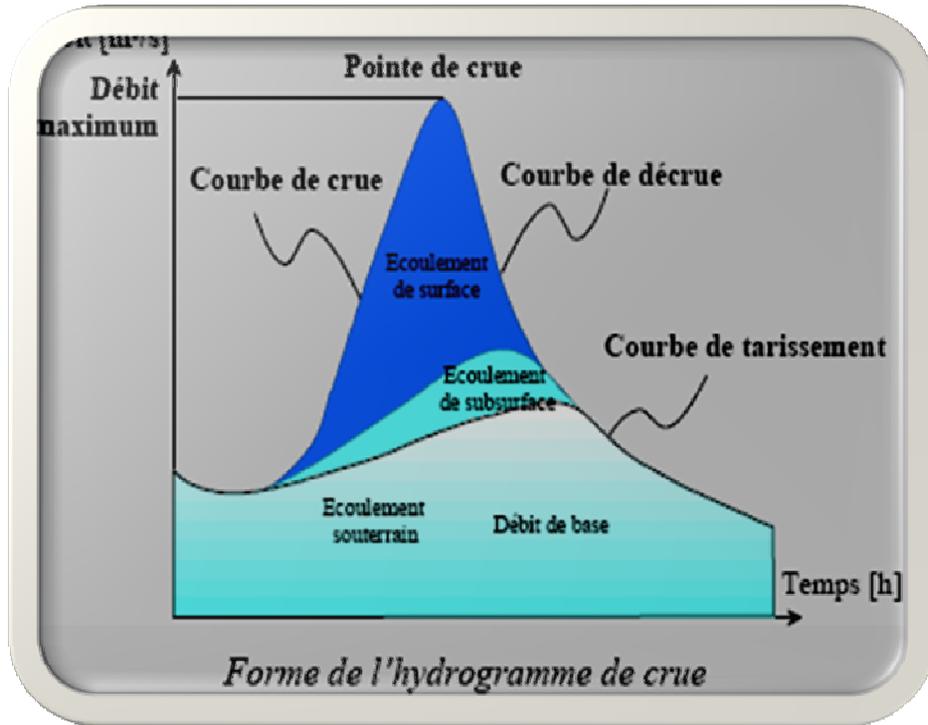


Fig.13: Forme de l'hydrogramme de crue

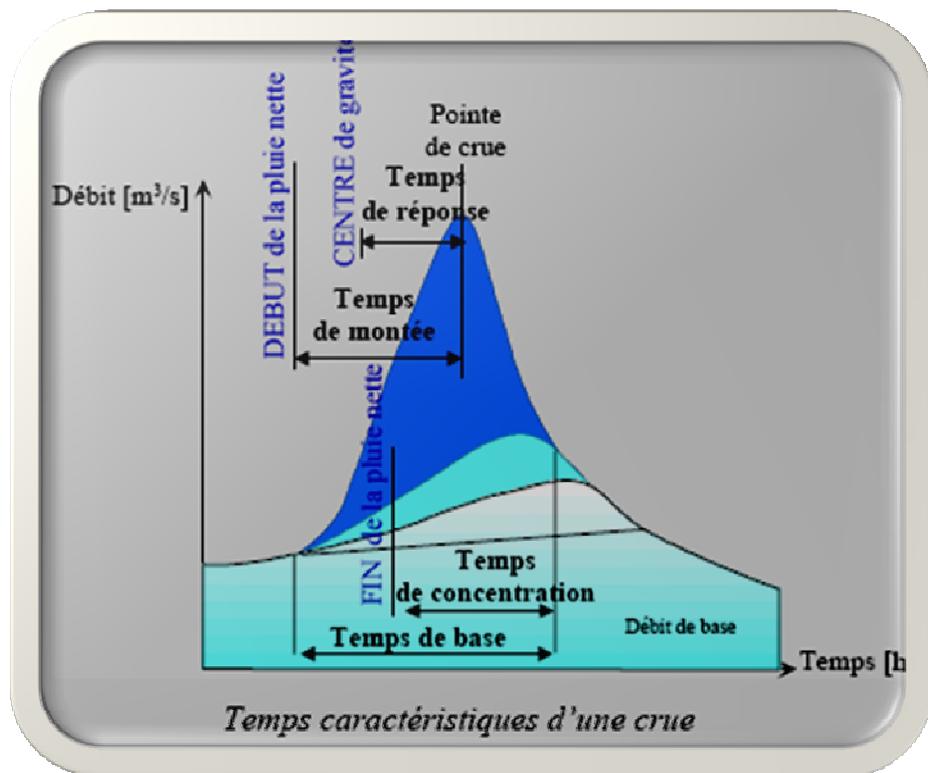


Fig.14: Temps caractéristiques d'une crue

2. Types des crues :

a. Les crues avec charriage :

Elles se produisent sur des cours d'eau montagneux dont les affluents drainent des vastes zones géographiques. Le transport du sédiment se fait par roulement, glissement et saltation le long du lit.

b. Les crues déferlantes :

Elles ont la forme d'une onde dont la vitesse de propagation est supérieure à celle du cours d'eau lui-même.

c. Les crues avec laves torrentielles :

Il s'agit de la propagation d'un volume considérable de boues denses charriant des blocs. Le transport se fait avec une concentration solide très importante (70–80 %). Leur comportement mécanique est très différent des crues liquides et sont plus proches des avalanches de débris que de crues. Elles se forment lorsque la partie sommitale du bassin versant présente de fortes pentes et se compose de formations géologiques faiblement consolidées, facilement transportables.

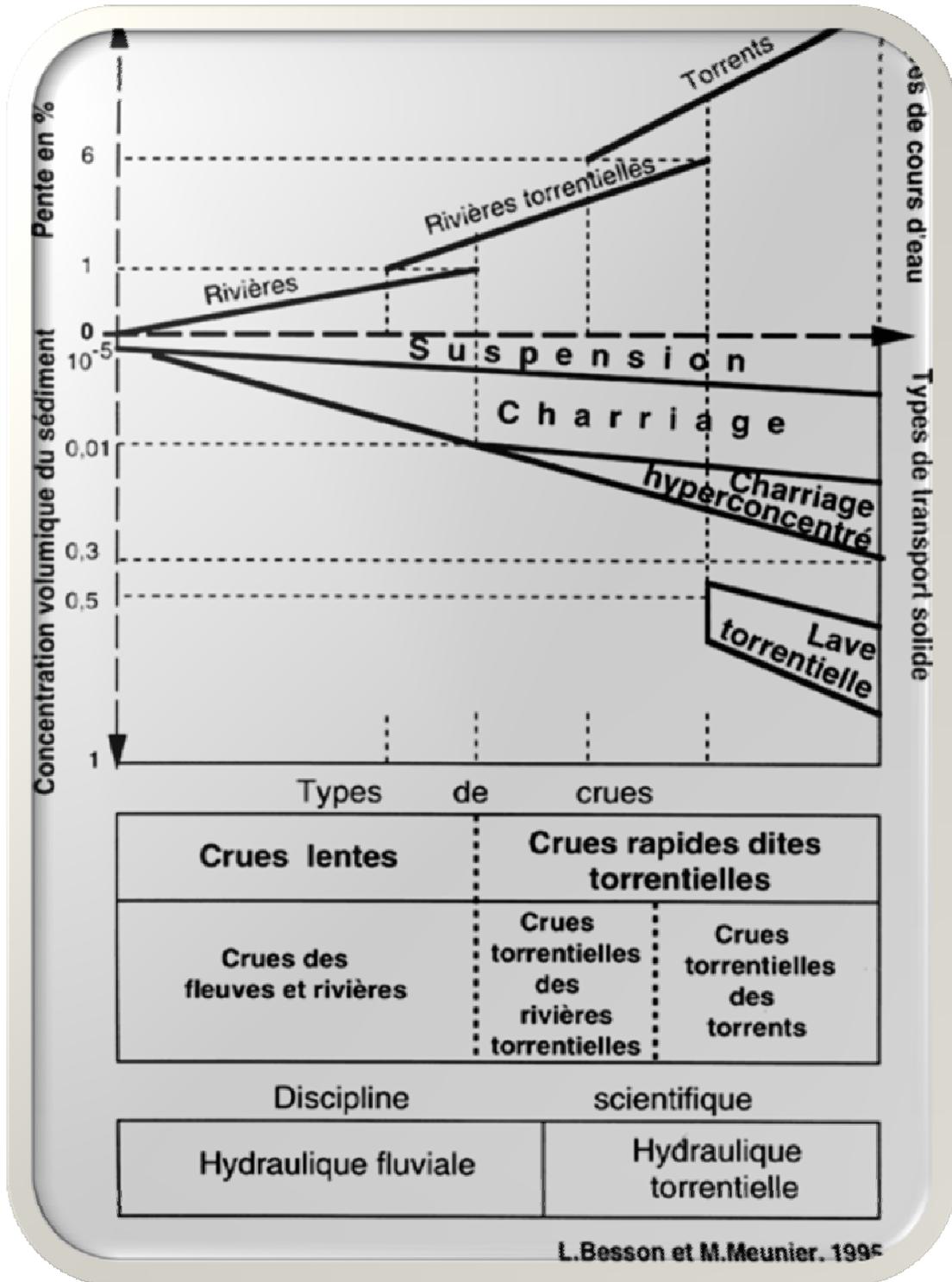


Fig.15: Diagramme illustrant les différents types de cours d'eaux en fonction de la pente ainsi que les différents types de transport

3. Processus de formation de crues :

Sur un bassin versant, la fraction de pluie qui n'a pas été évaporée ou infiltrée, ruisselle sur le terrain. Cette eau de ruissellement rejoint le réseau hydrographique par des filets d'eau qui se regroupent et parviennent à un collecteur plus important. Au cours de ce parcours, chaque mouvement d'eau dépend des conditions de l'averse et de la nature physique du bassin. Quand l'intensité de la pluie est importante, les sols sont rapidement saturés et imperméabilisés. Les temps de réponses et de montée deviennent courts, et on assiste à des crues soudaines et brèves, surtout sur des bassins montagneux.

II. Etude de quelques crues ayant affectées le bassin de l'Ourika :

1. La crue du 14 juillet 1989 :

C'est une crue d'été (14 juillet). Le temps de base était de 23 heures et le débit de pointe fût de l'ordre de 823 m³/s. Il a été atteint après un temps de montée de 15 heures. Ce débit de pointe représente à peu près deux fois le débit moyen de la crue.

Cette une crue de forme aigue avec un fort débit de pointe (Fig.16)

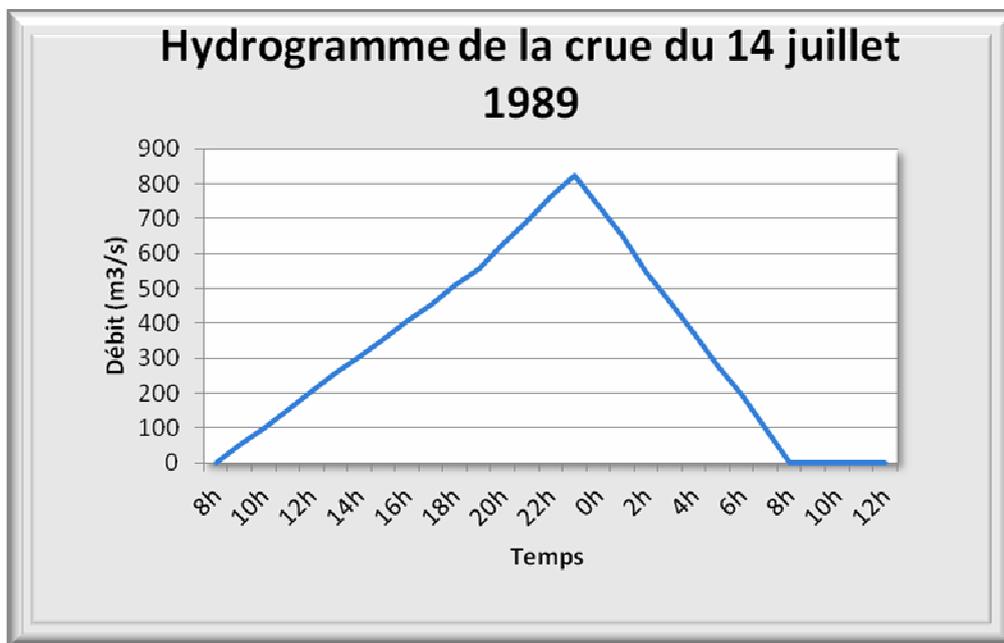


Fig.16: Hydrogramme de la crue du 14 juillet 1989 de l'Ourika à Aghbalou

Date début	14/07/1989 à 8h
Date fin	15/07/1989 à 8h
Débit de pointe	823 (m ³ /s)
Débit maximal moyen	416 (m ³ /s)
Débit base avant	1,2 (m ³ /s)
Débit base après	1,6 (m ³ /s)
Volume 10 ⁶ m ³	34,42 (m ³ /s)
Temps de base	23 (heures)
Temps de montée	15 (heures)
Coefficient de pointe	2

Tableau 5: Caractéristiques de la crue

2. La crue du 17 août 1995 :

Cette crue n'a duré que 3 heures, mais le temps de montée a été particulièrement bref (à peine un quart d'heure). Le débit de pointe a atteint à Aghbalou la valeur de 1 030 m³/s et les eaux mobilisées un volume de 3,3 millions de mètre cube. L'hydrogramme de crue met en relief les caractéristiques d'une crue simple monogénique avec une forte pointe de crue, des temps de base et de montée assez courts et un tarissement prolongé. Il s'agit donc d'une crue particulièrement grave et dangereuse, car sa soudaineté est exceptionnelle.

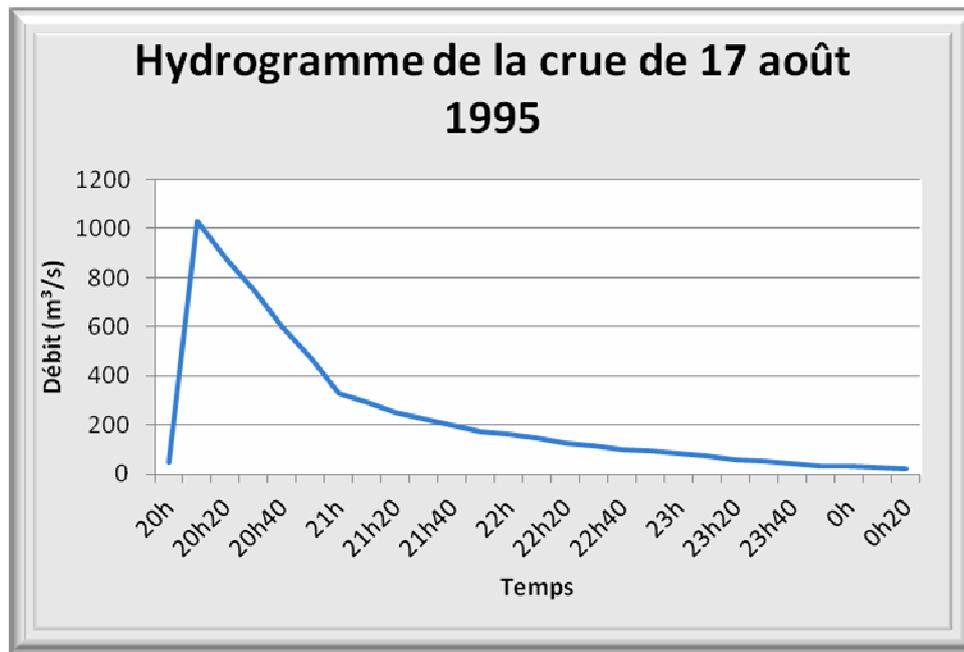


Fig.17: Hydrogramme de la crue du 17 août 1995 de l'Ourika à Aghbalou

L'hydrogramme de crue met en relief les caractéristiques d'une crue simple monogénique avec une forte pointe de crue, des temps de base et de montée assez courts et un tarissement prolongé.

Date début	17/08/1995 à 20h
Date fin	18/08/1995 à 0h
Débit de pointe	1030 (m ³ /s)
Débit maximal moyen	253,5 (m ³ /s)
Débit base avant	50(m ³ /s)
Débit base après	30(m ³ /s)
Volume 10 ⁶ m ³	3,651
Temps de base	4 (heures)
Temps de montée	0,16(heures)
Coefficient de pointe	4,1

Tableau 6: Caractéristiques de la crue

Le temps de montée d'un quart d'heure ne laisserait aucune chance aux populations et estivants de se protéger et de sauver leurs biens. D'ailleurs les dégâts enregistrés (selon ABHT) étaient assez lourds :

- Pour l'agriculture, 210 ha endommagés et un coût financier de 2,26 Millions de dirhams.
- Les victimes sont officiellement de 289 personnes.
- Les maisons détruites sont au nombre de 194 soit un coût évalué à 11,64 Millions de dh.
- 83 véhicules ont été emportés, soit un coût approximatif de 6,23 Millions de dh.
- 1147 caprins et 1725 bovins ovins perdus (12.57 Millions de dh).

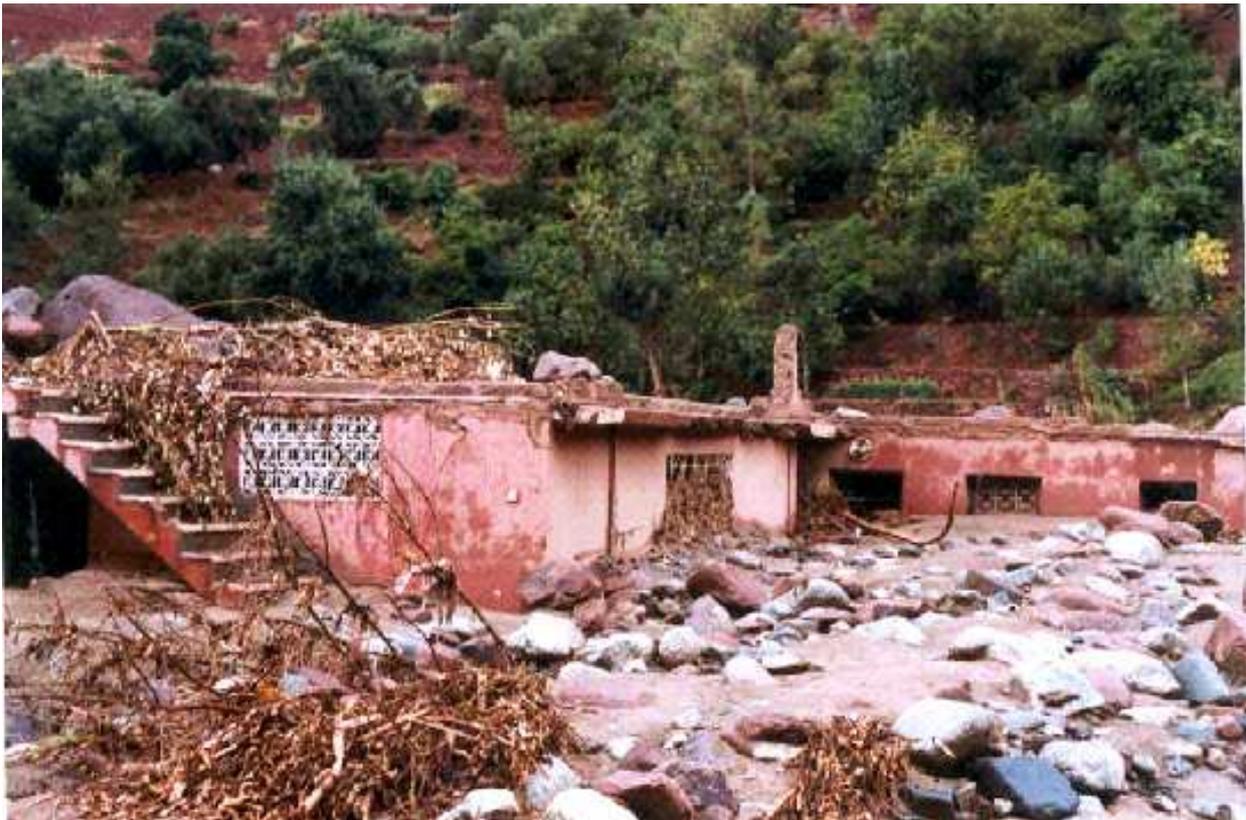


Photo 1: Exemple de dégâts de la crue du 17 août 1995

3. La crue du 28 octobre 1999 :

C'est une crue simple avec un temps de base assez court et semblable à celui de la crue du 14 Juillet 1989 (23 h). Le temps de montée est ici plus rapide (9 h 30). Le débit de pointe était aussi élevé que les crues précédentes (762 m³/s).

Pour les dégâts de cette crue, selon le ministère de l'agriculture, des dizaines d'hectares de terres agricoles ont été endommagés et un coût financier de 1.78 Millions de dh, 15 maisons détruites, 10 caprins et 12 bovins perdus.

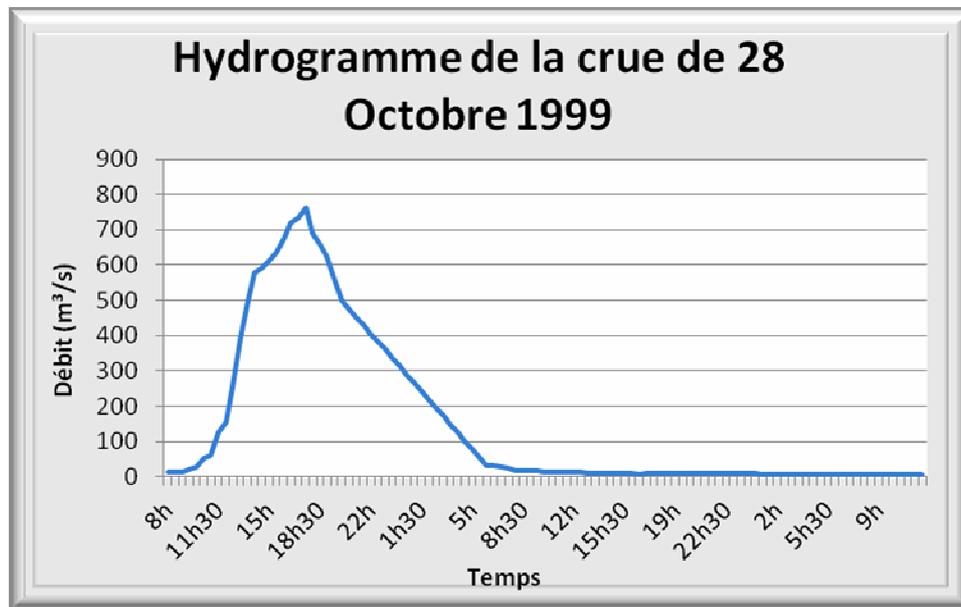


Fig.18: Hydrogramme de la crue du 17 août 1995 de l'Ourika à Aghbalou

Date début	28/10/1999 à 8h
Date fin	29/10/1999 à 8h
Débit de pointe	762 (m ³ /s)
Débit max.moyen	307,17(m ³ /s)
Débit base avant	12,72 (m ³ /s)
Débit base après	16,46 (m ³ /s)
Volume 10 ⁶ m ³	25,987 (m ³ /s)
Temps de base	23,5(heures)
Temps de montée	9,5 (heures)
Coefficient de pointe	2,5

Tableau 7: Caractéristiques de la crue

➤ **Les temps de base et les temps de montée des crues:**

• **Les temps de base :**

Selon Fniguir et Boukrim 2007, les plus fréquents étant de 4 à 30 heures. Les classes [10h-20h] et [20h-30h] sont toutefois les plus enregistrées. Ce sont des intervalles de temps assez serrés, qui témoignent de la brièveté des événements de crues. Ces pulsations brutales des niveaux d'eau durent généralement moins d'une journée, voire quelques heures seulement. C'est un caractère général des crues en milieu montagnard aride et semi aride.

• **Les temps de montée :**

Les durées les plus fréquentes sont situées entre 4 h et 10 h.

Ceci constitue un risque majeur car les montées rapides et soudaines des niveaux d'eau surprennent les estivants et les riverains.

Les temps de base et de montées constatés peuvent être expliqués par plusieurs facteurs:

* **L'imperméabilité:**

Le bassin est constitué à 55 % des terrains imperméables, formés surtout des roches cristallines, ce qui implique un temps d'écoulement faible, car cette imperméabilité empêche l'infiltration des eaux qui ruissellent.

* **La forme du bassin :**

Ce bassin qui couvre une surface de 503 km², est assez ramassé et compact ($K_c = 1,3$). Ceci facilite le rassemblement simultané des eaux des pluies vers l'exutoire.

* **La topographie :**

La pente moyenne du bassin étant de l'ordre de 6.9 %, mais certains versants et affluents du bassin présentent des pentes très élevées : 30 à 40 % pour l'Oufra et Tifni en amont du bassin par exemple. Ces pentes importantes accélèrent les vitesses d'écoulement et diminuent les temps de ruissellement.

* **La hiérarchisation du réseau hydrographique :**

Celui-ci est dense en ce milieu montagnard. Les branches de ce réseau collectent rapidement les eaux pluviales et les acheminent vers le cours principal.

* **Le faible couvert végétal du bassin :**

A eu un impact sur la facilité des écoulements. Une végétation plus dense freine généralement les ruissellements rapides et amortit les crues.

Donc, les facteurs morphologiques, lithologiques et la végétation du bassin s'associent pour influencer sur les caractéristiques des crues et donc leurs degrés de gravité: Plus le temps de montée est faible et le temps de base élevé, plus la crue est dangereuse.

Ceci appelle à plus de vigilance et à installer un système d'alerte et d'annonce de crues en amont du bassin. Justement, un réseau de station d'alerte et d'annonce de crue a été installé en amont du bassin de l'Ourika à la suite de la tristement célèbre crue du 17 août 1995. Ce réseau est constitué de cinq stations : Agouns, Tiourdiou, Amenzal, Tourcht et Tazitount.

Le bassin de l'Ourika a été choisi comme bassin pilote pour expérimenter ce système d'alerte. Il a bien fonctionné lors des crues parvenues après son installation. La population a pu être alertée et évacuée à chaque fois (en août 2006 par exemple).

L'extension de l'expérience vers les autres bassins versants voisins n'a pas encore commencé. Probablement faute de budgets alloués.

➤ Répartition mensuelle et saisonnière des crues :

Dans le bassin de l'Ourika, c'est le mois de mai qui connaît le plus de crues, suivi des mois de mars et avril. Les saisons les plus riches en épisode des crues sont donc par ordre décroissant : le printemps, l'automne, l'été et enfin l'hiver. Les pourcentages sont respectivement de 44.5%, 25%, 24% et 5.6%.

III. Aménagement de protection :

Les opérations nécessaires pouvant aider à retrouver la situation normale et la reprise des activités habituelles, dépassent les potentialités régionales (communes et services régionaux). Seul les moyens massifs de l'état sous forme de programmes urgents, pourraient aider au retour à la situation normale. Le gouvernement du Maroc a fourni des efforts pour atténuer les dégâts de la crue dans le bassin versant de l'Ourika par la réalisation de différentes mesures structurelles et non structurelles.

1. Mesures non structurelles :

La plupart des mesures non structurelles qui ont été mis en œuvre récemment depuis 1995, sont comme suit :

- Développement de l'observation météorologique et de la prévision météorologique.
- Introduction du système de l'observation et de gestion des crues.
- Information des habitants et des visiteurs et réalisation des aménagements d'évacuation.
- Control de l'occupation des sols dans les oueds.
- Reboisement et control de l'érosion.

a. Amélioration de l'observation et la prévision météorologique :

La prévision météorologique est l'un des plus importants rôles de la DMN (Direction de la Météorologie Nationale). Cette direction a fourni des efforts pour renforcer l'exactitude des prévisions météorologiques en développant le réseau d'observation météorologique et en introduisant des hautes technologies tel que les modèles physiques, les stations radar de précipitation et les images satellites.

b. Renforcement de la gestion des événements crues par l'introduction d'un système d'observation des crues et des paramètres :

- **Introduction d'un système d'observation des crues :**

Le système d'observation des crues a été introduit dans le bassin de l'Ourika après le désastre de 1995. Cinq stations hydrologiques ont été établies récemment dans ce bassin, ces stations sont équipées d'un radiotéléphone pour transmettre les informations relatives aux crues à l'ABHT.

Station	Observations
Tazzitount	Précipitations/niveau d'eau
Tourcht	Précipitations/niveau d'eau
Amenzal	Précipitations/niveau d'eau
Tiourdiou	Précipitations/niveau d'eau
Agouns	Précipitations

Tableau 8: Systèmes d'observation dans les différentes stations hydro-météorologiques de l'Ourika

- **Etablissement d'un guide pour la gestion de l'événement crue :**

En décembre 1996, dans le cadre de la coopération entre DRH (Direction de la Région Hydraulique), DRCR (Direction des Routes et des Circulation Routière) et la DMN (Direction de la Météorologie Nationale), le ministère de l'équipement a établi des seuils pour la gestion des événements de crues. Ce guide pratique détermine les activités à effectuer par les administrations concernées à chaque niveau de l'évolution de la crue en couvrant les responsabilités permanentes, la prévision météorologique, l'observation des crues, l'échange d'information, la mise en place du PC (Poste de Commande), l'intervention.

c. Information des habitants et visiteurs et la réalisation d'aménagement d'évacuation :

- **Etudes visant l'identification des zones inondables :**

Après le désastre de 1995, la DRH a mené des enquêtes topographiques et des études hydrologiques et hydrauliques concernant le bassin versant de l'Ourika pour identifier les zones inondables :

- * Les enquêtes topographiques consistaient à la prise des photos aériennes.
- * L'établissement des cartes topographiques ainsi que des enquêtes pour l'établissement des profils en travers du bassin.
- * Les études hydrologiques ont analysé les caractéristiques hydrologiques statistiquement et physiquement. Dans le cadre de l'étude hydraulique, des simulations hydrauliques ont été effectuées pour l'établissement de cartes de crue.
- **Mise en place des panneaux signalant le danger :**

En se basant sur les études ci-dessus, la DPE (Direction Provinciale de l'Équipement) d'Al Haouz a installé plusieurs panneaux au long de la route P2017 d'Aghbalou à Setti Fadma après la crue de 1995 signalant que les zones indiquées sont vulnérables aux inondations. Les zones inondables sont identifiées à travers une simulation hydraulique et une reconnaissance de terrain et aussi l'existence des moyens d'alerte (sirène, haut parleur...).

- **Préparation des brochures pour les visiteurs :**

La DPE a préparé 10000 copies de brochures qui avisent les touristes des crues potentielles. La brochure comprend une carte de crue montrant les zones exposées aux risques de crues, les espaces de stationnement, ...etc.

- **Réalisation d'aménagement d'évacuation :**

Après le désastre de 1995, la DPE a aménagé les espaces de stationnement et un ensemble d'escaliers au long de la route P2017. Les escaliers conduiraient les visiteurs à un douar sur la pente de la montagne qui est considéré plus sauf. En outre, une route de rocade de 7 Km liant P2017 et P2030 a été aussi construite en pente de montagne. La route de rocade n'est pas pavée mais elle peut servir de route d'évacuation en cas de crue comme il a effectivement été le cas dans la crue de 1999.

d. Control de l'occupation des sols dans les oueds :

Pendant le désastre de 1995, plusieurs maisons dans les zones exposées aux risques de crues ont été détruites par les eaux de crue et les écoulements des débris. Il est très bien assimilé parmi les responsables concernés que le control de l'occupation des sols est l'une des mesures les plus efficaces pour atténuer les dégâts de crues. D'autre part, la loi 10-95 nommée « la loi sur l'eau » a été mise en œuvre en août 1995. Cette loi régleme l'occupation des domaines publics d'eau et elle est supposée former le cadre juridique de l'exécution du contrôle de l'occupation des sols, dans cette loi, il est interdit de :

- Mettre dans le domaine public de l'eau des obstacles qui empêchent la navigation ou bien l'écoulement libre d'eau.
- Mettre ou enlever un dépôt, une plantation ou une culture dans le domaine publique de l'eau sans une autorisation préalable.

- Creuser, approfondir, élargir ou régulariser les cours d'eau permanents ou temporaires excepté une autorisation préalable.
- Mettre dans les travaux publics des cours d'eau et une autre partie du domaine hydraulique public, de petites prises d'eau et petites prises d'irrigation exceptée une autorisation préalable.
- Faire des excavations, principalement l'extraction des matériaux des lits des cours d'eau d'une distance de moins de 10 mètres de la rive des cours d'eau ou les bouches de canal, aqueducs et les canaux excepté une autorisation préalable. L'autorisation n'est accordée, si les excavations doivent probablement endommager les travaux publics, les talus ou la faune aquatique.

e. Reboisement et contrôle de l'érosion :

La DREF (Direction Régionale des Eaux et des Forêts) mène deux genres d'intervention qui consistent en le reboisement et la construction des seuils de stabilisation contre l'érosion et les crues.

Un plan directeur de reboisement dans la région de Marrakech y compris le bassin versant de l'Ourika a été formulé en 1996. Le calendrier de reboisement dans ce bassin est présenté dans le tableau suivant. Le reboisement est programmé à Timenkar dans ce bassin avec un taux de 299 ha annuellement de 2000 à 2006 (2093 ha en total).

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Total
Surface (ha)	~	~	~	299	299	299	299	299	299	299	2093

Tableau 9: Programme de reboisement dans le bassin d'Ourika

Des ouvrages de contrôle de l'érosion ont été également réalisés dans ce bassin. Les principaux ouvrages de contrôle de l'érosion sont des petits seuils de stabilisation et des ouvrages de bords de colline sont construits principalement en maçonnerie sèche et rarement en gabion et maçonnerie mouillée. Les ouvrages de contrôle de l'érosion ont été réalisés entre juillet 1999 et août 2000 sont concentrés au bassin versant de l'Ourika. De plus, des ouvrages de contrôle de l'érosion de 126000 m³ sont réalisés pour la période entre 2001 et 2002.

2. Mesures structurelles :

Des mesures structurelles contre les crues ont été prises pour le bassin versant de l'Ourika, comme ce bassin a toujours été d'une grande importance en termes de tourisme ainsi qu'en termes de grande crues, le Ministère de l'équipement s'est principalement concentré sur la vallée dans le but d'atténuer les effets des écoulements des eaux de crues. Les ouvrages suivants ont été réalisés dans l'Ourika comme mesure d'urgences :

- Ménage de grandes roches (10000 m³).
- Excavation au lit de l'oued sur 12 Km pour assurer la capacité de débit nécessaire à l'écoulement des eaux de crue.

- Renforcement des berges et protection par gravier de grand diamètre.
- Travaux de revêtement pour protéger les routes endommagées.

Les mesures structurelles suivantes sont prévues ou sont en cours de réalisation comme mesures drastiques de contrôle des crues dans l'oued Ourika :

- Seuils de stabilisation aux thalwegs.
- Seuils de stabilisation dans les principaux oueds.
- Excavation et mur de protection contre les crues au long de l'oued.

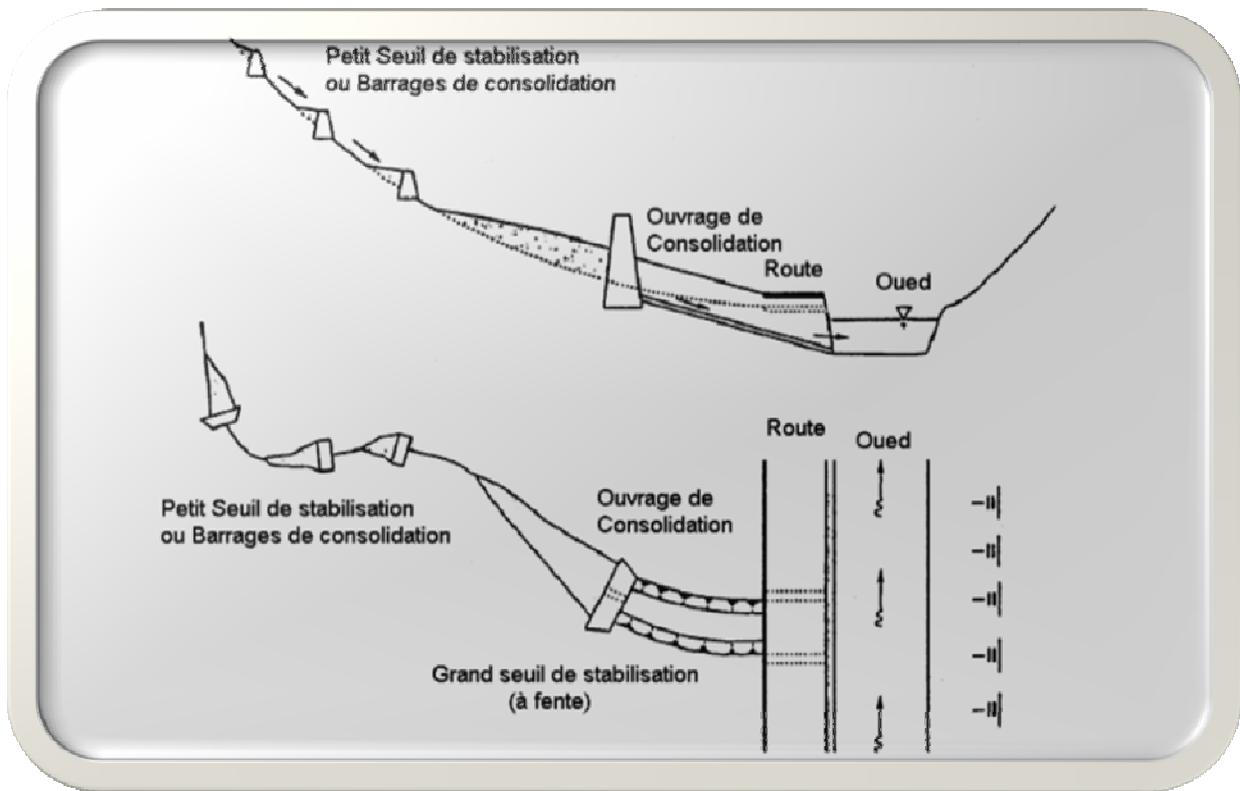


Fig.19: Schéma illustrant les diverses mesures de lutte contre les écoulements des débris



Photo 2: La plantation disposition des barrages le long du torrent.



Photo 3: Lutte contre les ravinements.

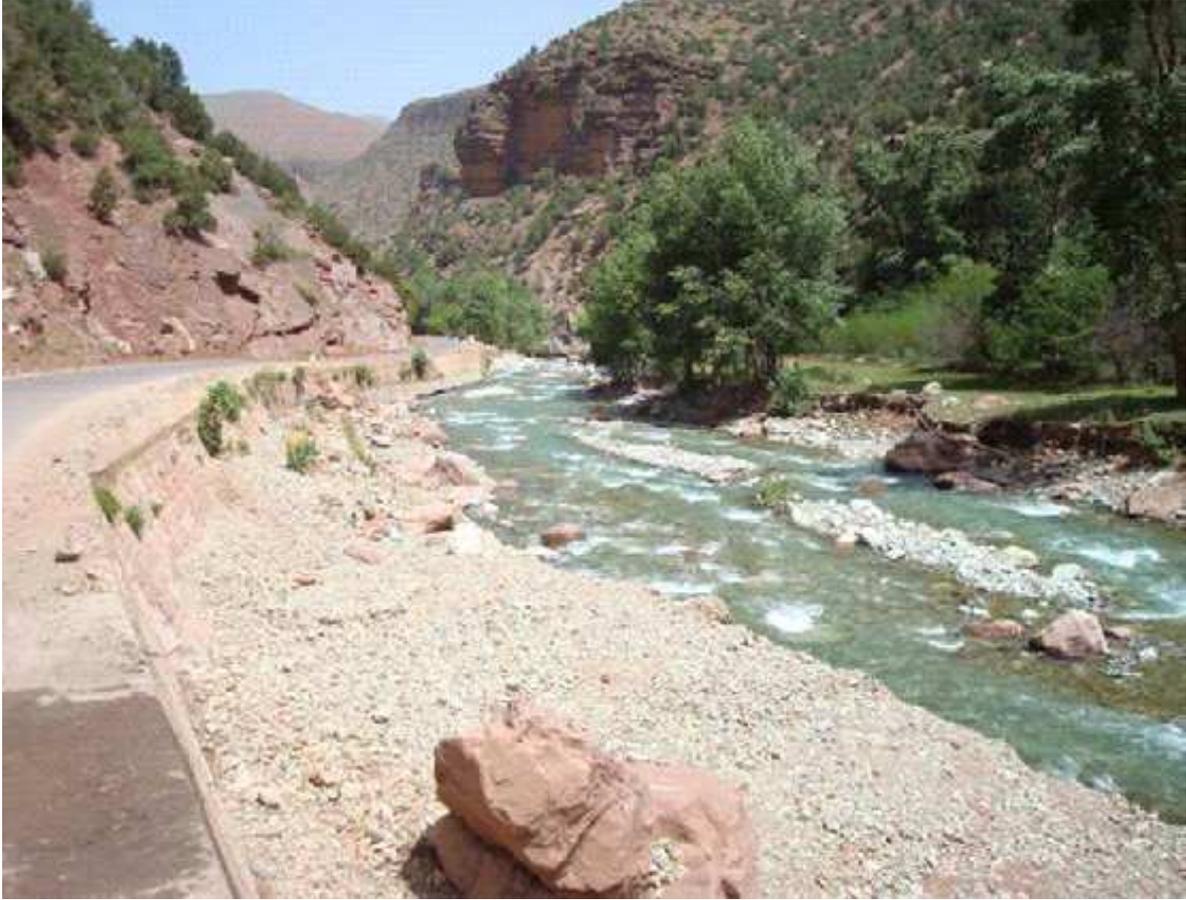


Photo 4: digues de protections

3. Conclusion :

Les actions envisagées dans le cadre de la protection de la vallée de l'Ourika ont pour objet principal d'atténuer les effets destructifs des crues, phénomène naturel à l'encontre duquel une protection totale ne peut être obtenue.

Ainsi pour rendre efficace le système proposé et éviter tout désastre lié aux crues de l'oued Ourika, il est obligatoire de lutter contre toute obstruction du lit de l'oued et toute réduction de sa section par l'action humaine.

Pour se faire, il est nécessaire de contrôler et de réglementer le plan d'occupation des sols dans les terrasses qui sont à proximité du cours d'eau et d'interdire toute activité dans les zones inondables de son lit.

Aussi, pour garantir l'efficacité à long terme des aménagements réalisés, il est obligatoire de veiller au bon fonctionnement des équipements qui ont été mis en place ainsi qu'à leur entretien permanent et régulier. La préservation de ces aménagements relève certes de la responsabilité des services techniques des administrations et des collectivités locales concernées mais aussi de la population vivant sur place.

Malheureusement, aucune campagne de prévention ne fut prévue pour informer la population locale. L'activité touristique pousse les habitants à construire sur les terrasses et les lits de l'oued des restaurants, des boutiques...etc. à chaque crue ces terrasses aménagées subissent des démolitions.



Quatrième partie:

Présentation et évaluation du Système de Prévention et d'Alerte aux Crues

I. Présentation du SPAC (Système de prévision et d'alerte aux crues) :

Le SPAC est un système qui sert à alerter les gens dans les zones exposées aux crues pour qu'ils puissent se mettre à l'abri à temps et en toute sécurité.

Il est administrativement divisé en deux parties : Le ministère de l'équipement et le ministère de l'intérieur.

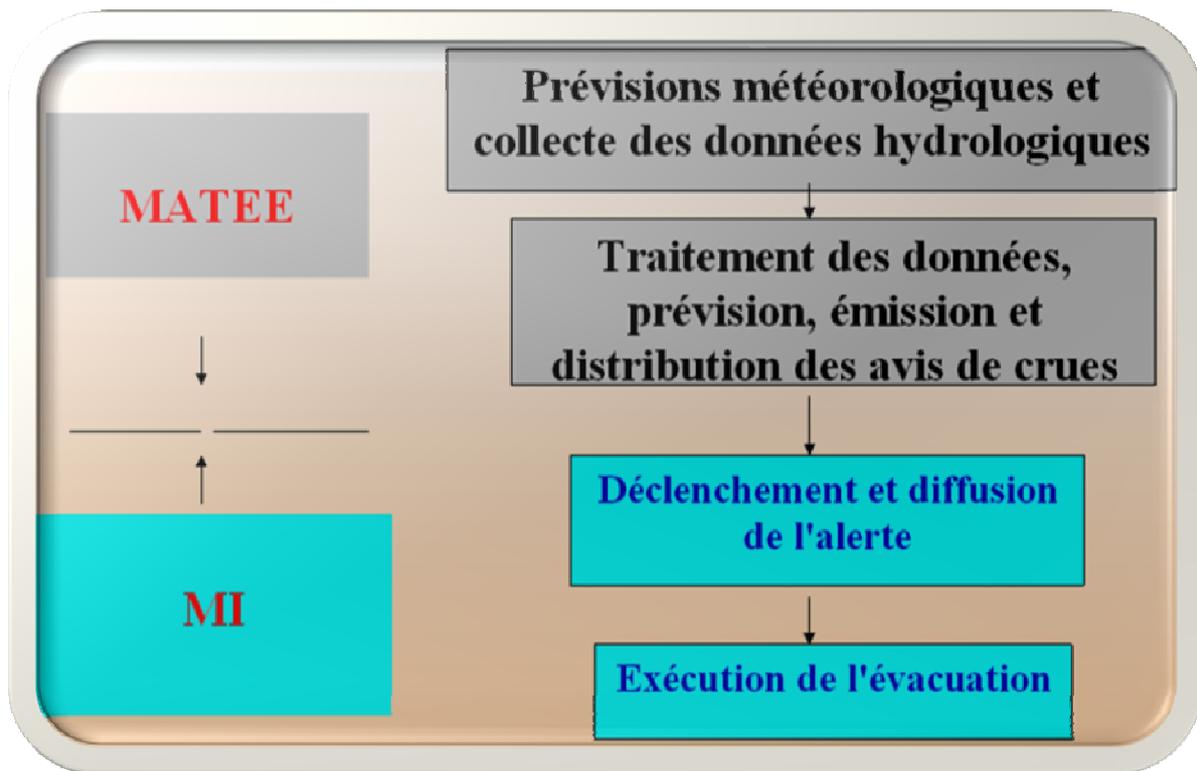


Fig.20: Sous-systèmes du SPAC

A. Ministère de l'équipement :

Composé de trois directions :

- ABHT (Agence du Bassin Hydraulique de Tensift) :
Elle est l'une des DRH (Direction de la Région Hydraulique) qui couvrent les bassins versants de l'Oued Tensift, Oued Qsob et les oueds de la côte atlantique situés entre El Jadida et Tamanar, elle collecte les informations sur les précipitations et les niveaux d'eau des stations hydrologiques et les analyse. Si la crue est jugée dangereuse, elle transmet le message aux administrations concernées.
- DMN (direction de météorologie nationale) :
Elle dispose d'une variété de réseaux d'observation météorologique, d'équipement développé et d'une haute technologie. Elle fournit les

prévisions météorologiques et elle diffuse les messages de pré-alerte et d'alerte aux orages et de fortes précipitations.

- DPE (direction provinciale de l'équipement) :
C'est une sorte de délégation du ministère de l'équipement au niveau provincial. Son principal rôle est la gestion de la circulation routière, la protection des retenues des barrages et la diffusion des informations ou messages d'avis de crue à la province ou la préfecture.

C'est le ministère responsable de :

- **L'observation hydrologique et collecte des données :**

Les informations hydrologiques sont collectées au siège de la DGH (Direction Générale de l'Hydraulique) à Rabat quatre fois par jour à travers le réseau radio HF/BLU via neuf DRH et deux DPE depuis 154 stations distribuées sur le royaume. La DGH doit interpréter les informations hydrologiques et formuler les instructions de gestion pour les retenues des barrages et les zones exposées aux risques des crues. Dans le bassin d'Ourika, 6 stations de prévision détectant et transmettant les informations à la DRHT sont équipées d'une radio HF/BLU, un téléphone et/ou un radiotéléphone VHF/FM.

1- Emplacement des stations :

Le bassin d'Ourika comprend 6 stations

a- Stations pluviométriques :

Le bassin d'Ourika contient six stations dont cinq ont été récemment mises en place comme stations de prévision de crue après celle de 1995. Toutes ces stations sont situées sur ou près de l'oued ou de ses affluents, mais à cause de la difficulté d'accès à ses deux affluents majeurs à savoir Tifni et Tarzaza, les bassins de ces derniers ne sont pas équipés de stations de contrôle.

b- Stations de jaugeage des niveaux d'eau :

La méthode la plus fiable pour la prévention est la surveillance des niveaux d'eau en amont. Il existe cinq stations de jaugeage des niveaux d'eau au total dans le bassin d'Ourika et ses deux affluents mais il est recommandé d'ajouter d'autres stations pour renforcer l'observation des crues.

2- Equipement :

a-Equipement d'observation :

- Pluviomètre :

Les précipitations sont mesurées manuellement à l'aide d'un pluviomètre totalisateur. La zone d'étude dispose de deux pluviomètres, un de l'ABHT dans la station d'Aghbalou sous forme d'un pluviomètre automatique et l'autre de la DMN

dans la station d'Oukaimeden insuffisants pour une haute surveillance.

- Jaugeage des niveaux d'eau :

Les niveaux d'eau sont également mesurés manuellement, des batteries d'échelles sont fixées sur des coins du lit de l'oued. Chaque station dispose de deux ou trois batteries. La station d'Aghbalou est classée parmi les stations principales où des mesures de débit sont effectuées une ou 2 fois par mois.

b-Equipement de télécommunication :

Il est un moyen important d'échange d'information en cas d'urgence comme lors d'une crue.

Les appareils utilisés sont : le radiotéléphone VHF/FM, HF/BLU et le téléphone normal.

Après le désastre de 1995, des VHF/FM ont été introduits dans le bassin d'Ourika, et pour les renforcer, les stations Aghbalou, Tiourdiou et Amenzale ont été équipées par des HF/BLU. Pour résoudre les problèmes de transmission causés par les altitudes hétérogènes, une station de relais a été installée en haute montagne d'Oukaimeden à 3200m jouant le rôle d'un poste central VHF/FM.

3- Observateurs :

Engagés parmi les habitants des zones où se trouvent les stations après avoir passé une formation durant un an.

4- Observations et communication pendant la crue :

Les pluies et les niveaux d'eau sont observés par les stations et transmis à la DRH 4 fois par jour : 7h, 11h, 15h, 17h, puis les informations sont transmises par la DRHT à la DGH à Rabat. Dès qu'un symptôme de crue est détecté, l'observation et la transmission doivent être effectuées à une cadence plus élevée

même la nuit, chaque heure, 30 min ou 15 min selon l'importance de la crue.

a-Détection des crues :

C'est l'un des éléments les plus importants du SPAC. Pour se faire, on se base sur les rapports des stations de prévision des crues par les quels les observateurs informent l'ABHT de tout phénomène exceptionnel.

Les messages de la DMN et la DPE sont aussi très utiles, car, après chaque message de pré-alerte ou d'alerte, la DRHT informe les observateurs pour qu'ils effectuent une autre observation à 20h.

5- Collecte des informations :

a-Prévision météorologique par la DMN :

Plus les prévisions météorologiques, des Bulletins Météorologiques Spéciaux sont diffusés aux administrations comme les messages de pré-alerte et d'alerte importants pour le SPAC.

b-Informations collectées de la DPE :

La DPE dispose de trois brigades et de deux voitures menues d'un radiotéléphone type VHF pouvant servir de postes de prévision de crues.

- **Analyses des données :**

1- Conversion des niveaux d'eau en débit

C'est le rôle primordial de l'ABHT, pour se faire, on utilise des tableaux.

2- Prévision des crues :

La prévision est complètement basée sur les informations fournies par les observateurs.

Pour le bassin d'Ourika, deux modèles simples ont été élaborés dans « Aménagements hydrauliques pour la protection de la Vallée de l'Ourika contre les crues, Mission I, mars 1996, INEGMA ».

Modèle	Modèle statistique	Modèle déterministe
Données à entrer	Pluies journaliers moyennes du bassin	Pluies journalières moyennes par sous-bassin
	Paramètres de l'état du bassin CN (60, 70 ou 80)	Paramètres de l'état du bassin CN (60 ou 80)
	Type d'averse (A, B ou C)	Type d'averse (3h ou 6h)
Sortie	Débit maximal (m ³ /s) à l'extrémité de l'aval	Débit maximal (m ³ /s) pour chaque sous-bassin et aux 4 points de contrôle

Tableau 10: Modèles de prévision des crues pour le bassin versant d'Ourika

3- Messages d'avis de crues :

Les informations sont interprétées en se basant seulement sur l'expérience.

Pour Ourika, 500 m³/s est un débit critique à partir duquel des parties de la route au long de l'oued sont submergées.

L'ABHT doit donner aux administrations concernées non seulement des données des précipitations et de débit, mais aussi des données relatives à la sévérité des crues suivant les seuils d'alerte pouvant être comme éléments de base même pour les techniciens. En plus, un plan d'action tenant en compte l'évolution des crues sera établi pour que les organisations concernées puissent agir conformément aux critères communs basés sur les informations relatives à la crue.

4- Diffusion des informations relatives aux crues :

Pour les administrations concernées, la DRHT transmet des informations relatives aux crues telles que les conditions des précipitations, les niveaux d'eau et la tendance des crues.

Destinataire	Objectif
DPE	Gestion de la circulation routière
	Protection des retenues de barrages
	Meilleure compréhension de la situation pour transmission à la Province, la Protection Civil et la Gendarmerie Royale.
ONE	Protection des retenues de barrages
ONEP	Protection de la qualité de l'eau contre la sédimentation
ORMVAH	Protection des canaux d'irrigation

Tableau 11: Diffusion par la DRHT des informations relatives aux crues

B. Ministère de l'Intérieur (Province d'Al Haouz) :

Joue un rôle primordial dans l'évacuation des habitants et des touristes vers des lieux sûrs. Il doit assurer:

- Les observations et collecte des données :

Les autorités respectent la hiérarchie administrative dans les communications.



Fig.21: Hiérarchie des autorités locales

- Emission d'alerte :

Même si la Province diffuse les informations à la crue qu'elle reçoit de la DMN aux autorités de niveau inférieur, le déclenchement des alertes, y compris la décision de l'évacuation, est pratiquement effectué par chaque autorité de niveau inférieur avant la réception de l'information pour les raisons suivantes :

- Les crues et les écoulements des débris sont très rapides.
- Le manque des moyens de communication.
- Les habitants se sont tellement familiarisés avec les caractéristiques des crues et des écoulements des débris dans la vallée d'Ourika au point qu'ils peuvent juger eux-mêmes.

- Diffusion des alertes :

La hiérarchie des autorités locales reste la même. Même si le réseau téléphonique et le réseau radio sont les plus utilisés comme moyens de communication, mais la communication verbale entre les habitants reste la plus fiable.

Même si une alerte à la crue est déclenchée, elle ne peut attendre que les caïdats ou les communes par radio ou par téléphone. De la, les démarches doivent être exécutées par véhicules ou à pied, pour cela, il faut améliorer les moyens de communications.

- Evacuation :

Pour que la mise en place du SPAC soit une gloire, il faut que l'évacuation des habitants et de touristes soit faite d'une manière appropriée.

Dans cette phase, on observe que les différentes étapes de mesures et d'accumulation des données utilisées dans le SPAC sont pratiquées manuellement, c'est la première phase du Plan Directeur qui précède la phase du Projet Pilote où toutes les mesures sont devenues automatiques

II. Composantes du plan du SPAC de la région de l'Atlas après l'automatisation :

Le plan du SPAC de la région de l'Atlas est un système global composé de cinq sous-systèmes qui s'étendent de l'observation hydrologique et la collecte des données à l'évacuation :

1. Observation hydrologique et collecte des données :

Le plan du SPAC englobe 20 stations d'observation de crues. 12 sont munies de pluviomètres et de jauges des niveaux d'eau, et les 8 restants ne sont que des stations pluviométriques.

Toutes les stations sont équipées de systèmes de télémétrie automatiques qui permettent le jaugeage automatique des pluies et des niveaux d'eau et la transmission, en temps réel, des données à l'ABHT. Cette transmission est garantie par deux relais installés dans la station d'Aoulous et de Tazaïna. Chacun de ces relais comporte deux émetteurs et deux récepteurs, l'un parmi les deux assure la transmission des données et l'autre est réservé en cas de défaillance du premier.

Généralement, la transmission des données est effectuée chaque heure. Aussitôt qu'on détecte des précipitations de plus d'une minute dans une station, l'intervalle de prise de mesures et de transmission est porté à 10 minutes pour ne manquer aucune augmentation soudaine des pluies.

Un observateur, recruté d'un douar avoisinant, est affecté à chacune des 18 stations, à l'exception de celles d'Oukaimden et d'Azib-n-Tinzal qui sont situées loin des zones peuplées. Il est sensé mesurer manuellement les précipitations et les niveaux d'eau et les transmettre à l'ABHT lors d'un dysfonctionnement quelconque.

2. Analyse des données, prévision, émission des messages d'avis de crues et diffusion des informations ou des messages d'avis de crues :

Les informations hydrologiques collectées sont analysées à l'ABHT qui joue le rôle d'un centre informatique principal. La prévision des crues et des écoulements des débris fait également partie des tâches de l'ABHT. Sur la base des analyses et de la prévision, l'ABHT doit émettre des messages d'avis de crues aux administrations concernées par Internet, téléphone public, fax et radiotéléphone VHF.

3. Emission des alertes aux crues :

Le Gouverneur de la Province/Préfecture doit émettre des alertes aux crues qui appellent directement à la vigilance et à l'évacuation des habitants et des touristes se trouvant dans les zones à haut risque.

4. Diffusion des alertes aux crues :

Le plan de SPAC de la région de l'Atlas englobe 17 postes d'alarme dont 11 à l'exception de la vallée de l'Ourika sont équipés d'un radiotéléphone pour la communication avec la Province/Préfecture. Les postes, qui sont maintenues les habitants et leur organisation d'évacuation sont non habités en temps normal, mais une personne en charge est affecté quand c'est nécessaire.

Concernant le bassin de l'Ourika, le poste d'Iraghf où un gardien est présent en permanence, joue le rôle d'un centre de contrôle pour les cinq autres postes, il reçoit les instructions nécessaires de la Province à travers le radiotéléphone.

5. Evacuation :

L'évacuation devra s'effectuer promptement et correctement suivant un plan d'évacuation préparé pour chaque zone à haut risque par l'initiative de Caïdat, du Cercle et du douar.

Le plan d'évacuation devra comprendre les éléments suivants :

- Organisation d'évacuation :

Elle est composée de cinq cellules coiffées par un chef qui supervise son activité :

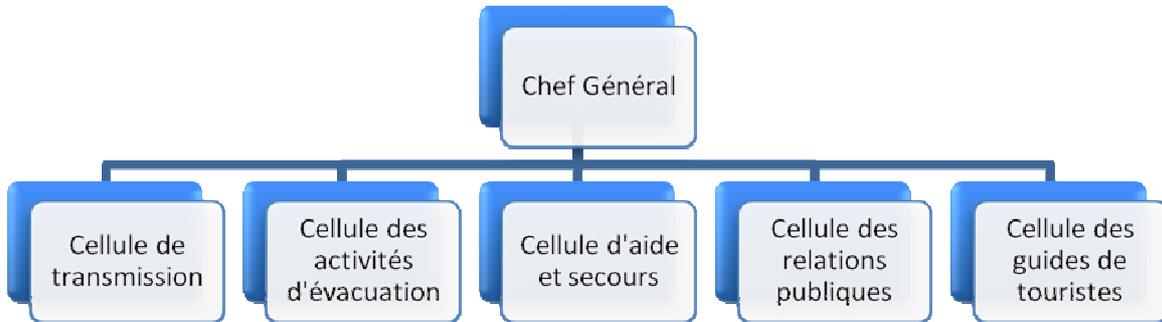


Fig.22: Structure de l'organisation d'évacuation

- Guide des activités d'évacuation :
 - * Exploitation du poste d'alarme.
 - * Sites et routes d'évacuation.
 - * Stock en matériels et équipement.
 - * Diffusion des messages d'alertes.
 - * assistance guide des évacués.
 - * Assistance guide des touristes.
 - * Exercices d'évacuation.
 - * Relations publiques.
 - * Evaluation des activités d'évacuation et mise à jour du plan d'évacuation.

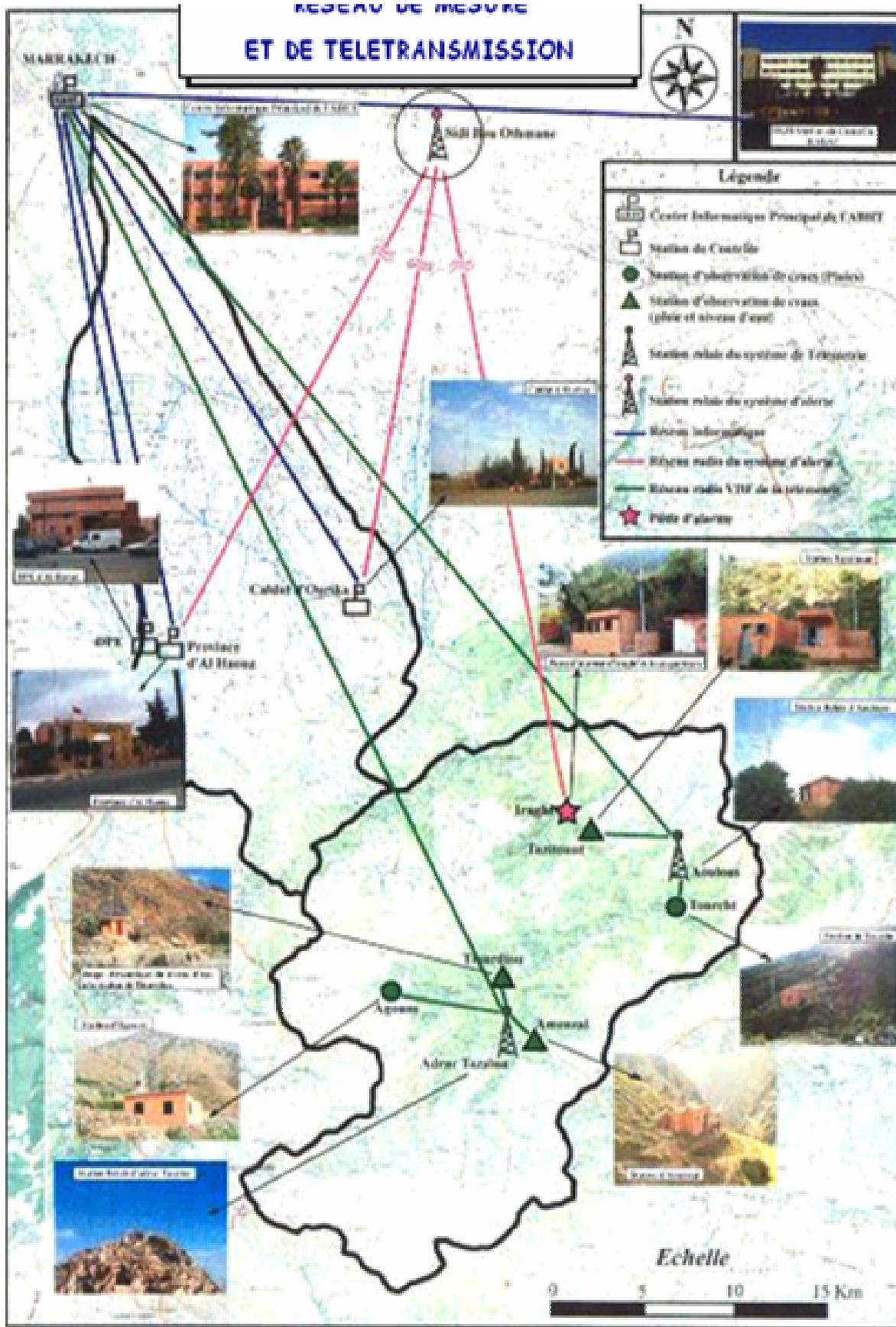


Fig.23: Système de Prévision et d'Alerte aux Crues du bassin de l'Ourika (Projet Pilote)

III. Plan d'exploitation :

Un plan d'exploitation et de maintenance pour les administrations principales est proposé comme suit :

1. Phases de crues :

Afin de définir clairement les actions et la procédure à suivre en réaction aux différentes étapes d'une crue, l'événement crue est divisé en quatre phases, à savoir la phase normale, la phase préparatoire, la phase d'observation de crue et la phase d'évacuation suivant l'ampleur de la situation de la crue.

a. La phase normale :

C'est une période de pré-crue ou de poste crue quand le danger de crue de l'oued ou d'écoulement de débris n'est pas du tout prévu.

Aussitôt qu'un message de pré-alerte u d'alerte est diffusé par la DMN durant cette phase pour la province d'Al Haouz ou la Préfecture de Sidi Youssef Ben Ali, la phase préparatoire commence.

b. La phase préparatoire :

Elle est toujours la période pendant laquelle il est sur le point de pleuvoir ou il a déjà commencé à pleuvoir légèrement.

Aussitôt qu'un message de préavis de crue de l'oued ou découlement de débris est émis par l'ABHT pour une zone de poste d'alarme, la phase préparatoire se termine et celle d'observation de crue commence.

Si la situation ne se détériore pas, la phase préparatoire se termine par la cessation des messages de la DMN et la phase normale recommence.

c. La phase d'observation de crue :

Elle est la période pendant laquelle la situation s'est détériorée si gravement que les symptômes d'une crue ou un écoulement de débris, tels que les fortes précipitations et l'augmentation des eaux de l'oued, se sont effectivement annoncés.

Quand un message de préavis de crue ou d'écoulement de débris est émis par l'ABHT pour une zone de poste d'alarme, la phase préparatoire se termine et celle d'observation de crue commence.

Si la situation de la crue se stabilise, la phase préparatoire se termine par la cessation des messages de la DMN et on retourne à la phase normale.

d. La phase d'évacuation :

C'est la période pendant laquelle la situation de la crue s'est détériorée au point de rendre nécessaire une évacuation.

Dès que la situation s'améliore, l'ABHT peut annuler tous les messages d'avis de crue et d'écoulement des débris, la phase d'évacuation se termine et celle de l'observation de la crue reprend.

2. Actions et procédures à suivre par les principales administrations :

Les actions et les procédures concrètes qui doivent être prises et suivies lors de chacune des phases de la crue par les principales administrations, y compris leurs stations sur terrain et leurs postes, sont résumées comme suit :

a. Fonctionnement du SPAC durant la phase normale :

Généralement, aucune action immédiate n'est nécessaire durant cette phase. Cependant, afin d'agir immédiatement à chaque symptôme d'averse soudaine qui s'annonce ou à chaque message de la DMN à tout moment, les principales administrations doivent observer une permanence de 24h/24h pendant la phase normale. De surcroît, les équipements du SPAC seront maintenus en bonnes conditions.

b. Fonctionnement du SPAC durant la phase préparatoire :

La chose la plus importante durant cette phase est de se préparer à faire face à toute averse orageuse qui dégénère. Une équipe d'exploitation du SPAC se composant d'un ingénieur (ou d'un officier) et quelques techniciens devra s'organiser au commencement de la phase préparatoire, pour agir en cas de développement brusque de l'averse.

Les observateurs des stations d'observation des crues, les techniciens des postes de brigades de la DPE et les chargés des postes d'alarme doivent également rester sur leurs gardes sous les instructions de l'ABHT, la DPE et la Province/Préfecture respectivement.

c. Fonctionnement du SPAC durant la phase d'observation de la crue :

La phase de l'observation de la crue est une période pendant laquelle la situation de la crue s'est accentuée à tel point de quelques symptômes de crue ou d'écoulement de débris se sont effectivement révélés, tels que de fortes précipitations ou de l'augmentation des niveaux d'eau de l'oued. La vigilance est la tâche la plus importante de toutes les administrations concernées durant cette phase.

Fréquemment, la situation de la crue passe directement à la phase de l'observation depuis la phase normale si un message de la DMN n'est pas émis durant la phase initiale. Dans ce cas, l'équipe d'exploitation du SPAC doit s'établir immédiatement.

d. Fonctionnement du SPAC durant la phase de l'évacuation :

C'est une période d'urgence dont la prompte émission et diffusion des instructions d'évacuation sont les plus importantes durant cette phase.

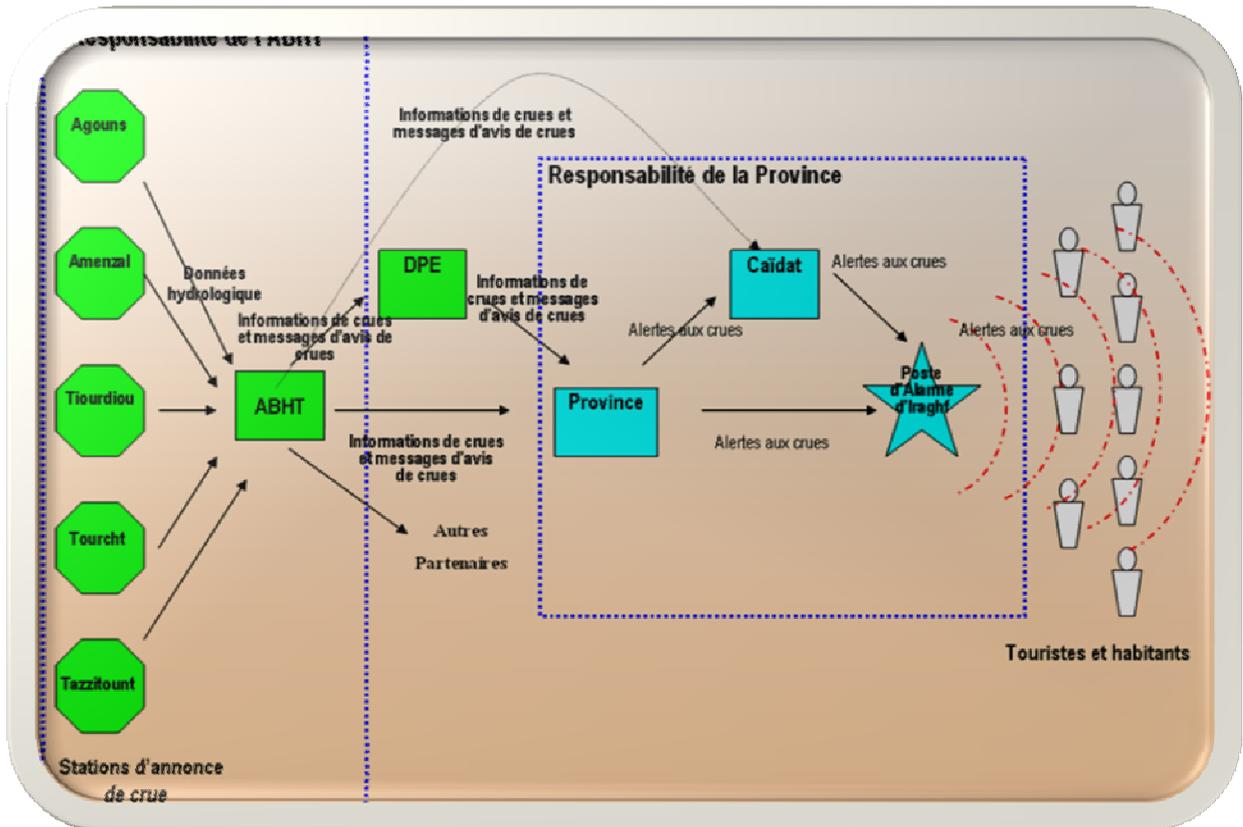


Fig.24: Procédure générale du SPAC du bassin versant de l'Ourika

IV. Evaluation du fonctionnement du SPAC lors de quelques crues à l'Ourika :

1. La crue de 29 Août 2006 :

La crue a commencé à 18h20.

Le débit atteint à Tazzitount a été de l'ordre de 34,02 m³/s, après, il va atteindre 253,69 m³/s à 18h30 et un seuil de 286 m³/s à 18h40.

La pluie qui a tombé dans cette période a été de l'ordre de 48 mm à Tazzitount et 15 mm à Tourcht.

Le problème que l'ABHT a rencontré a été la diffusion de l'alerte au poste d'alarme d'Iraghf à cause de la panne du relais, l'absence de réseau et la coupure d'électricité.

Donc, comme solution, on a effectué la diffusion dans la vallée sur initiative de l'opérateur.

A cause du problème de charriage, la crue 2006 a provoqué beaucoup des dégâts matériels, les précipitations torrentielles et les éboulements ont balayé sur leur passage des infrastructures routières, des terres agricoles et des bâtiments.



Fig.25: Carte illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 29 Août 2006

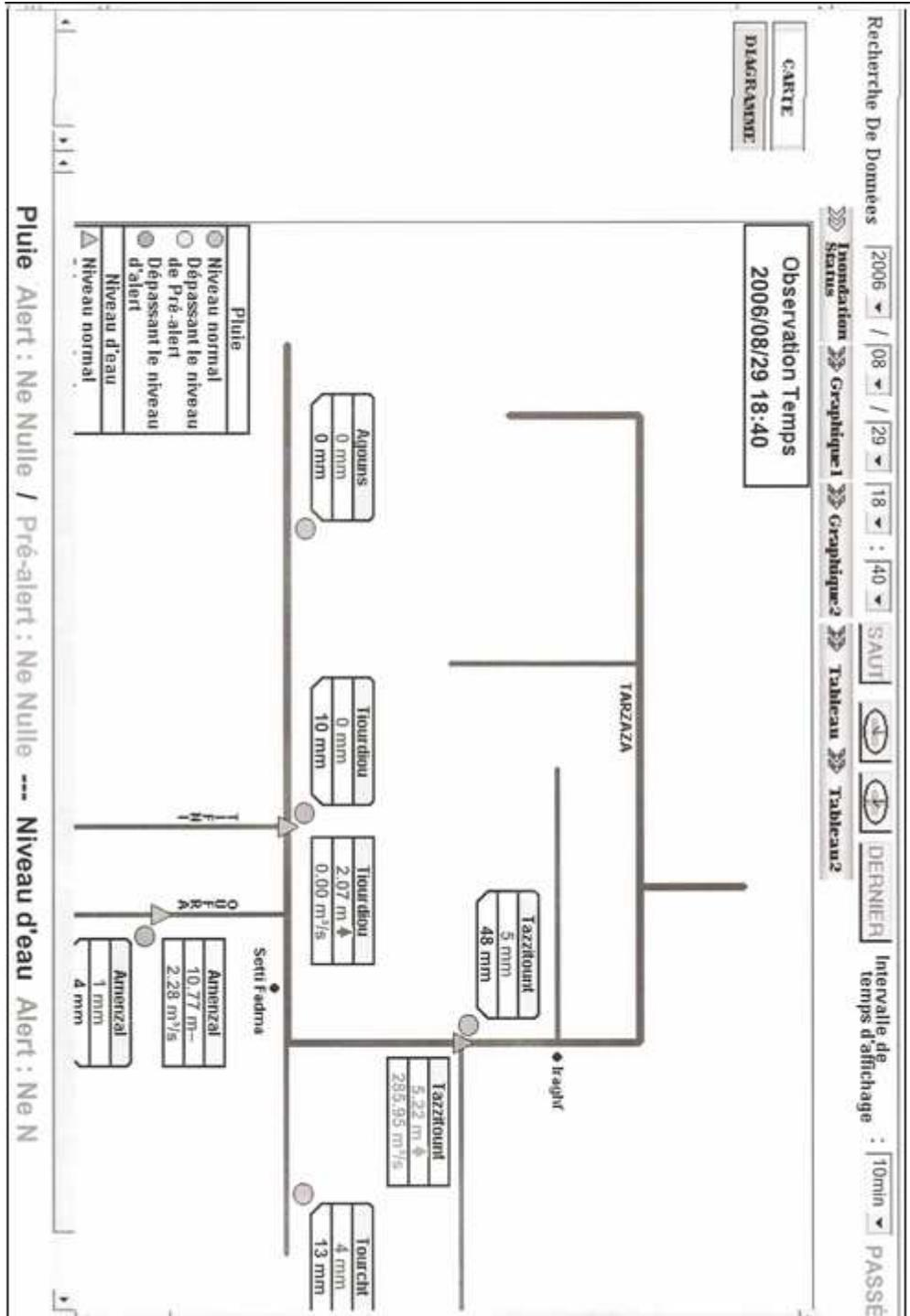


Fig.26: Diagramme illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 29 Août 2006

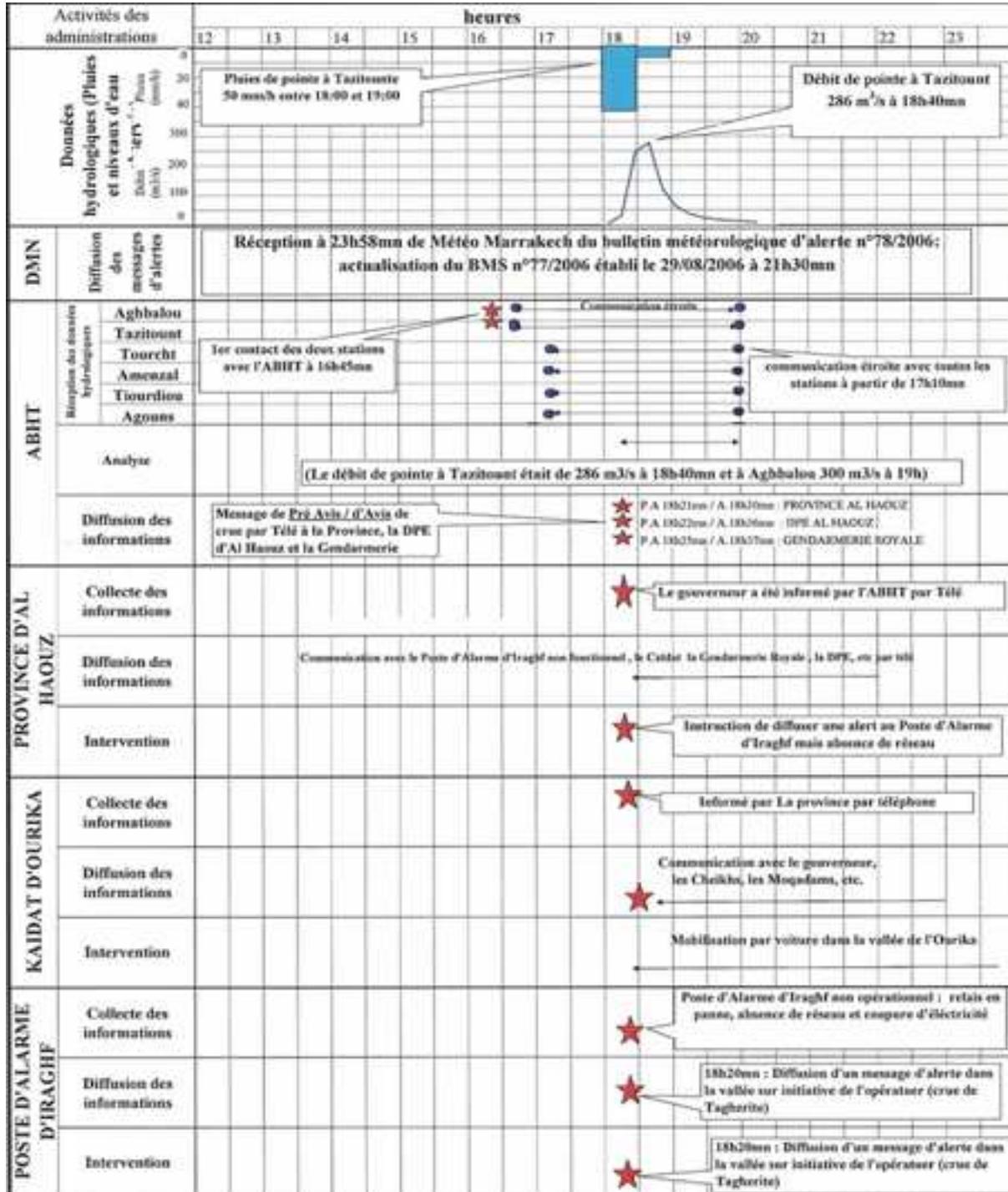


Fig.27: Scénario général de l'exercice de simulation global lors de la crue 29 Août 2006

2. La crue de 22 Juin 2009 :

La crue a commencé à 15h30.

Le débit atteint à Tazzitount a été de l'ordre de 34,02 m³/s, après, il va atteindre 95,30 m³/s à 18h.

La pluie qui a tombé dans cette période a été de l'ordre de 6 mm à Tazzitount et 19 mm à Tiourdiou.

Les précipitations ont été homogènes, ce qui a aidé au bon fonctionnement du SPAC.

Heureusement, l'évacuation a été effectuée par succès, les gens ont quitté les bords de l'oued avant la crue d'une demi heure.

La seule remarque qu'on a on pu faire c'est que la hiérarchie au sein de l'ABHT cause encore un peu de retard dans la diffusion des messages de pré-alerte et d'alerte.

La solution c'est que la personne responsable de la diffusion des messages doit avoir un moyen de communication directe avec le directeur.

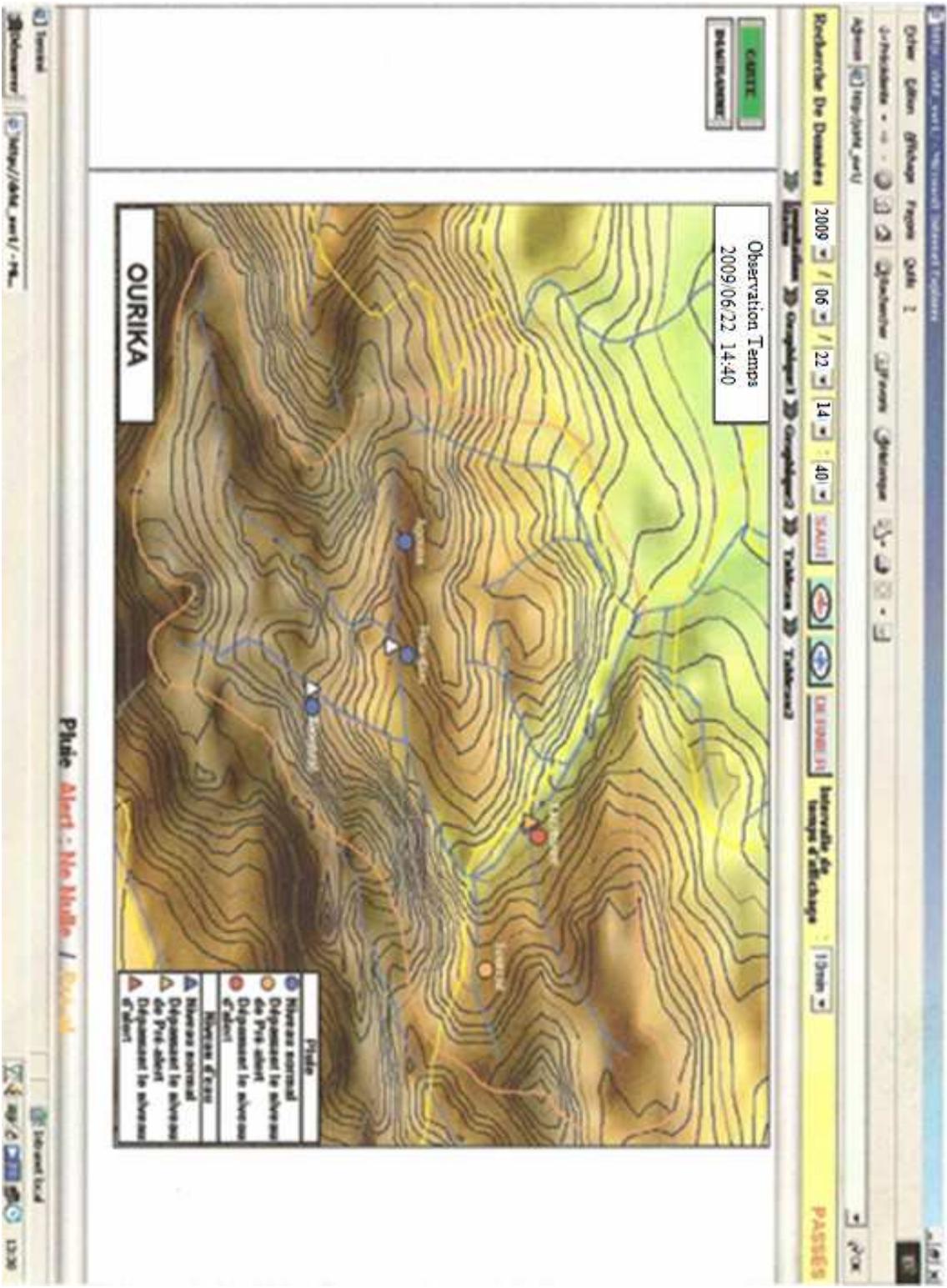


Fig.28: Carte illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 22 Juin 2009

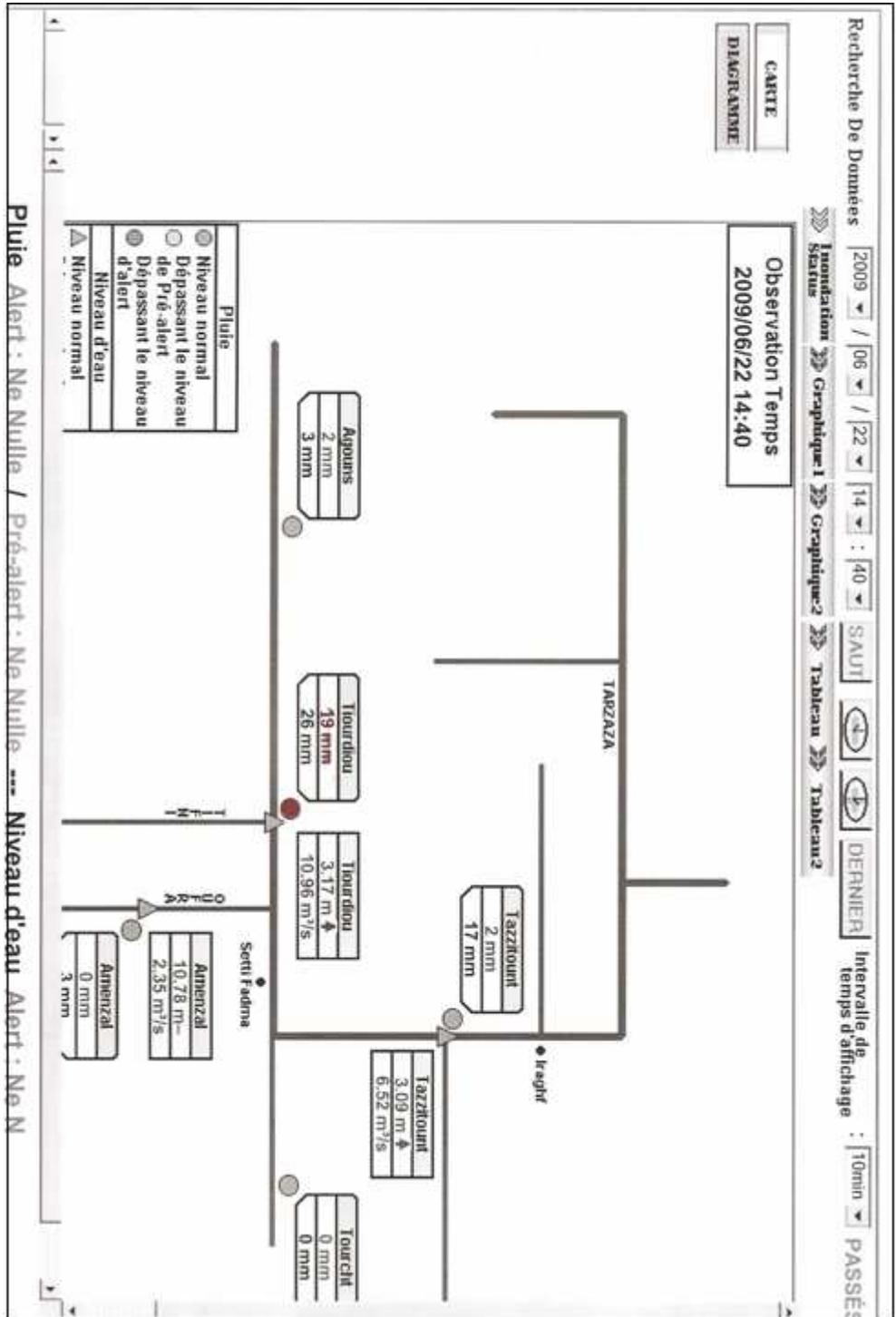


Fig.29: Diagramme illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 29 Août 2006

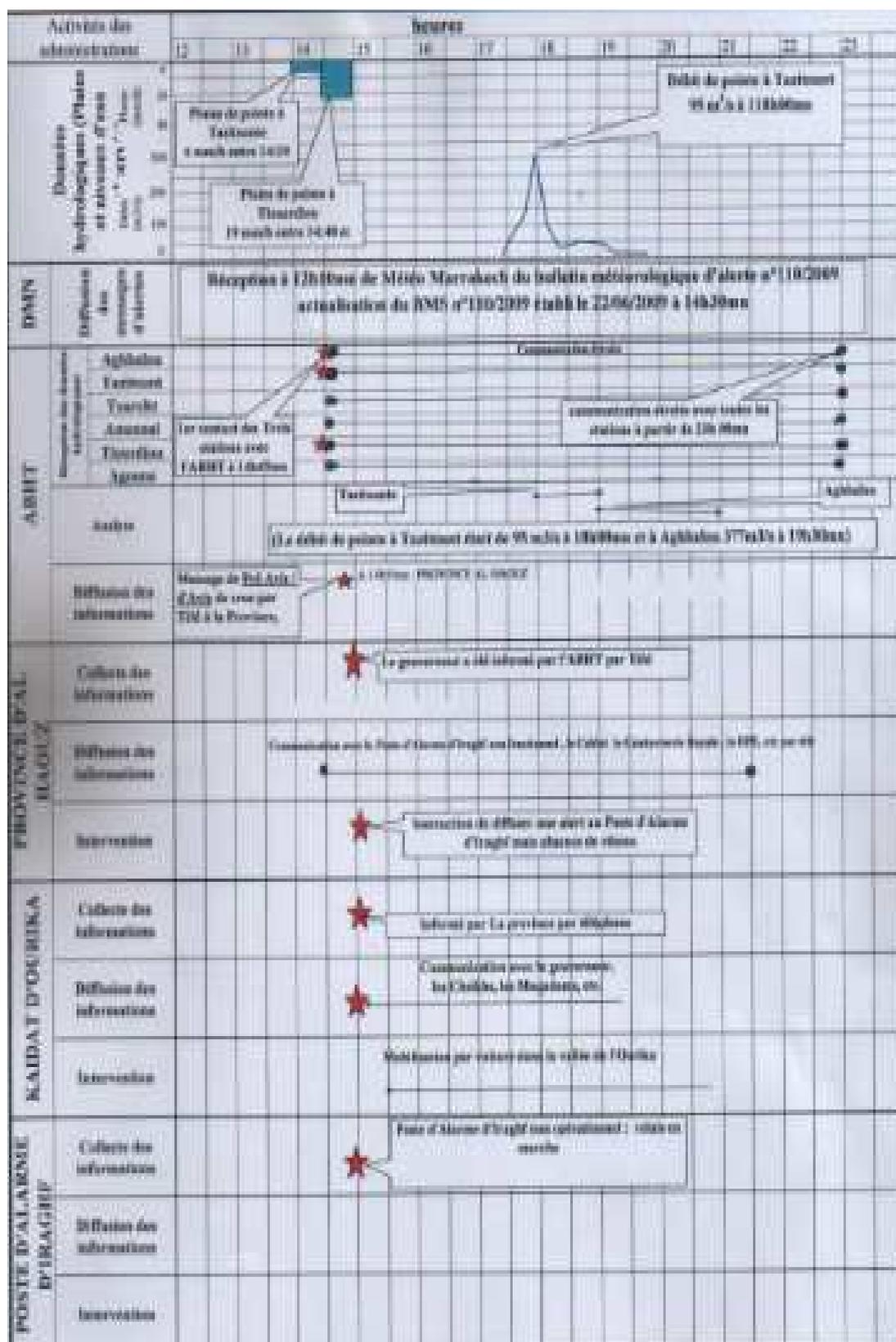


Fig.30: Scénario général de l'exercice de simulation globale lors de la crue de 22 Juin 2009

V. Problèmes et solutions pour le bon fonctionnement du SPAC :

1. Les problèmes :

a. Problèmes naturels :

Parmi les facteurs qui peuvent influencer le fonctionnement correct du SPAC :

- L'hétérogénéité de pluie :
 - * Si les pluies sont localisées dans une seule station, le temps de réponse à l'alerte sera limité.
 - * Si la station à pluviosité importante se situe en amont, les eaux peuvent se disperser avant d'arriver en aval, et comme cela, le message d'alerte sera injustifiable.
- La présence des éclaires qui provoque la rupture de transmission des informations à savoir les mesures des niveaux d'eau et des pluies ainsi que le réseau qui assure la communication entre les directions.

b. Problèmes anthropiques :

L'inconscience des citoyens peut aggraver l'intensité des inondations :

- Le phénomène de charriage à cause de l'absence du couvert végétal provoqué par l'exploitation intensive des forêts.
- Certaines pratiques agricoles intensives peuvent accélérer le ruissellement de l'eau et en limiter l'infiltration.
- L'empiétement sur le DPH (Domaine Public Hydraulique).
- L'absence du contrôle organisé des ouvrages d'art.
- Retard d'application de la loi de l'eau qui a été créée en 1995 et n'a été appliquée qu'en 2002.

L'Homme peut influencer indirectement sur l'accentuation des inondations, les causes humaines indirectes sont liées aux modifications climatiques globales (émissions de gaz à effet de serre qui entraîne la fonte des glaciers et qui provoque une montée du niveau des océans, des cours d'eau).

2. Les solutions :

Parmi les solutions suggérées :

- L'acquisition d'un appareil capable de transmettre les données même en présence des éclaires.
- Le reboisement des bassins versants.
- La lutte contre l'empiétement sur le DPH.
- L'entretien périodique des ouvrages d'art par les communes rurales.

- La sensibilisation du citoyen pour respecter les cours d'eau naturels.
- La création des lois strictes qui réglementent l'utilisation du DPH (Domaine Public Hydraulique), par exemple, toute construction doit être autorisée par un accord de principe de l'ABHT.
- L'imposition des sanctions et même des amendes sur toute violation d'une loi pouvant sauvegarder le DPH.
- La protection des propriétés de l'ABHT pouvant atténuer les dégâts des inondations comme les panneaux d'alerte.

Et comme cela, les infrastructures, les routes et le développement économique seront protégés.

Conclusion générale

De cette analyse et évaluation du Système de Prévision et d'Alerte aux Crues de l'oued Ourika, nous avons retenu l'importance et l'utilité d'une telle mesure pour lutter contre des inondations répétitives dans la vallée. En effet, après la tristement célèbre crue du 17 Août 1995 et ses dizaines, voire centaines, de victimes, et ses dégâts infrastructurels, l'attention a enfin été attirée vers ce risque naturel et vers ce bassin versant vulnérable.

Le système de prévision et d'alerte installé a montré son efficacité lors des crues survenues après sa mise en place. Lors de la crue de 29 Août 2006 par exemple, une pluie intense s'est abattue sur la station de Tazzitount, sa hauteur était de 48 mm et le débit y a augmenté de 34 m³/s à 18h20, à 253,69 m³/s à 18h30 et même à 286 m³/s à 18h40. La courte période de montée (10 min) constituait un grand risque qui surprenait les habitants et les estivants. Mais, lors de cette crue, le SPAC a bien fonctionné et l'alerte a pu être donnée à temps. Des sirènes ont retenti dans divers points noirs de la vallée et la population a évacué les zones à risque au bon moment.

Malgré tous ces efforts, les résultats ciblés ne seront obtenus que si le citoyen deviendra plus conscient de la gravité de la situation et s'il sera convaincu que la meilleure intervention pour alléger l'intensité de ces catastrophes naturelles est le respect du Domaine Publique Hydraulique.

Par ailleurs, lors de l'annonce d'un cas d'alerte de la direction de la météorologie nationale, il doit y avoir par exemple un programme qui diffuse des SMS qui avisent toutes les personnes concernées de la réception d'un FAX annonçant des perturbations météorologiques.

Aussi, le chemin hiérarchique au sein des administrations pourrait être réduit pour gagner du temps et pour que la diffusion des messages de pré-alerte et d'alerte s'effectue en temps approprié.

Liste des illustrations

Les figures :

- Figure.1:** Situation géographique du Haut-Atlas (EL QAYEDY et al. (2006))
- Figure.2:** Situation géographique du bassin versant de l'Ourika
- Figure.3:** Image satellite montrant la localisation de la zone d'étude (Google Earth)
- Figure.4:** Profils en long de l'oued Ourika et de ses principaux affluents (Saidi et al. 2003)
- Figure.5:** Rectangle équivalent du bassin versant de l'Ourika (Saidi 2003)
- Figure.6:** Réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika (Saidi et al. 2003)
- Figure.7:** Hypsométrie du bassin de l'Ourika
- Figure.8:** Esquisse géologique du bassin de l'Ourika
- Figure.9:** Carte des isohyètes du bassin versant de l'Ourika
- Figure.10:** Histogramme des pluies moyennes mensuelles interannuelles à Aghbalou (1970/71-2003/04)
- Figure.11:** Les débits moyens mensuels interannuels en m³/s à la station d'Aghbalou (1970/71-2003/04)
- Figure.12:** Histogramme montrant la relation entre les régimes de débits et de pluies à la station d'Aghbalou (1969/70-2003/04)
- Figure.13:** Forme de l'hydrogramme de crue
- Figure.14:** Temps caractéristiques d'une crue
- Figure.15:** Diagramme illustrant les différents types de cours d'eaux en fonction de la pente ainsi que les différents types de transport
- Figure.16:** Hydrogramme de la crue du 14 juillet 1989 de l'Ourika à Aghbalou
- Figure.17:** Hydrogramme de la crue du 17 août 1995 de l'Ourika à Aghbalou
- Figure.18:** Hydrogramme de la crue du 17 août 1995 de l'Ourika à Aghbalou
- Figure.19:** Schéma illustrant les diverses mesures de lutte contre les écoulements des débris
- Figure.20:** Sous-systèmes du SPAC
- Figure.21:** Hiérarchie des autorités locales
- Figure.22:** Structure de l'organisation d'évacuation
- Figure.23:** Système de Prévision et d'Alerte aux Crues du bassin de l'Ourika (Projet Pilote)
- Figure.24:** Procédure générale du SPAC
- Figure.25:** Carte illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 29 Août 2006

Figure.26: Diagramme illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 29 Août 2006

Figure.27: Scénario général de l'exercice de simulation global lors de la crue 29 Août 2006

Figure.28: Carte illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 22 Juin 2009

Figure.29: Diagramme illustrant l'état des différentes stations d'Ourika lors de la crue de 22 Juin 2009

Figure.30: Scénario général de l'exercice de simulation global lors de la crue de 22 Juin 2009

Les photos :

Photo 1: Exemple de dégâts de la crue du 17 août 1995.

Photo 2: La plantation disposition des barrages le long du torrent.

Photo 3: Lutte contre les ravinements.

Photo 4: digues de protections.

Les tableaux :

Tableau.1: Caractéristiques physiques du bassin de l'Ourika à Agbalou (Saidi et al.2003)

Tableau 2: Les pluies moyennes mensuelles interannuelles à la station d'Aghbalou (1970/71-2003/04)

Tableau 3: Les débits moyens mensuels interannuels en m³/s à la station d'Aghbalou (1970/71-2003/04)

Tableau 4: Les pluies et les débits moyens mensuels interannuels à l'Ourika (1969/70-2003/04)

Tableau 5: Caractéristiques de la crue

Tableau 6: Caractéristiques de la crue

Tableau 7: Caractéristiques de la crue

Tableau 8: Systèmes d'observation dans les différentes stations hydro-météorologiques de l'Ourika

Tableau 9: Programme de reboisement dans le bassin d'Ourika

Tableau 10: Modèles de prévision des crues pour le bassin versant d'Ourika

Tableau 11: Diffusion par la DRHT des informations relatives aux crues

Bibliographie

Agence de Bassin Hydraulique de Tensift, (2003), Etude du plan directeur sur le système de prévision et d'alerte aux crues pour la région de l'Atlas au Royaume du Maroc. Rapport de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA).

Boukrim S., Fniguire F., (2007), Etude dynamique et statistique des crues du Haut Atlas de Marrakech (Maroc), Cas des bassins versants du N'Fis, de la Ghiraya et de l'Ourika. Mémoire de fin d'études pour l'obtention de Maîtrise. pp.56.

Saidi M. E., Daoudi L., Aresmouk M. L., Blali A., (2003), Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard : exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika. Sécheresse n° 2, vol. 14, mars 2003, pp.107-114.

Saidi M. E., Agoussine M., Daoudi L., (2006), Effet de la morphologie et de l'exposition sur les ressources en eau superficielle de part et d'autre du Haut Atlas (Maroc); exemple des bassins versants de l'Ourika et du Marghène. Bulletin de l'Institut Sc. Section Sc. de la terre. N°28, Rabat, pp.41-49.

Annexes

Les mesures des débits

- La crue de 14 Octobre 1989 :

Temps	Débit (m ³ /s)
8h	1,2
9h	50
10h	100
11h	150
12h	205
13h	255
14h	305
15h	355
16h	405
17h	455
18h	510
19h	555
20h	625
21h	690
22h	760
23h	823
0h	740
1h	650
2h	550
3h	460
4h	370
5h	280
6h	195
7h	100
8h	1,6
9h	1,6
10h	1,6
11h	1,6
12h	1,6

• **La crue de 17 Octobre 1995 :**

Temps	Débit (m ³ /s)
20h	50
20h10	1030
20h20	880
20h30	750
20h40	600
20h50	475
21h	330
21h10	290
21h20	250
21h30	225
21h40	200
21h50	175
22h	160
22h10	145
22h20	125
22h30	115
22h40	100
22h50	95
23h	85
23h10	75
23h20	60
23h30	55
23h40	45
23h50	35
0h	30
0h10	25
0h20	20

• **La crue de 28 Octobre 1999 :**

Temps	Débit (m ³ /s)
8h	12,72
8h30	13,57
9h	14,42
9h30	20,13
10h	27,05
10h30	52,4
11h	62,3
11h30	127,6
12h	154
12h30	254,4
13h	390,4
13h30	500
14h	578,8
14h30	591,6
15h	610,8
15h30	637
16h	677
16h30	719
17h	733
17h30	762
18h	691
18h30	657
19h	623,8
19h30	560
20h	500
20h30	476,58
21h	453,16
21h30	429,74
22h	406,32
22h30	382,91
23h	359,49
23h30	336,07
0h	312,65
0h30	289,23
1h	265,81
1h30	242,39
2h	218,97
2h30	195,55

3h	172,13
3h30	148,72
4h	125,30
4h30	101,88
5h	78,46
5h30	55,04
6h	31,62
6h30	30,66
7h	29,7
7h30	23,08
8h	16,46
8h30	16,46
9h	16,46
9h30	15,93
10h	15,4
10h30	14,91
11h	14,42
11h30	13,57
12h	12,72
12h30	12
13h	11,28
13h30	10,56
14h	9,84
14h30	9,72
15h	9,59
15h30	9,47
16h	9,34
16h30	5,59
17h	9,84
17h30	9,97
18h	10,1
18h30	10,1
19h	10,1
19h30	9,95
20h	9,80
20h30	9,64
21h	9,49
21h30	9,34
22h	9,19
22h30	9,04
23h	8,88
23h30	8,73
0h	8,58
0h30	8,43
1h	8,28

1h30	8,13
2h	7,97
2h30	7,82
3h	7,67
3h30	7,52
4h	7,37
4h30	7,21
5h	7,06
5h30	6,91
6h	6,76
6h30	6,61
7h	6,45
7h30	6,30
8h	6,15
8h30	6,13
9h	6,10
9h30	6,08
10h	6,05
10h30	6,03
11h	6,00
11h30	5,98
12h	5,95

La crue de 29 Août 2006

- Mesures des niveaux d'eau et des débits :

Observation Temps	Amenzal		Tazzitount		Tiourdiou	
	Niveau d'eau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau (m)	Débit (m ³ /s)
17:50	10,77	2,28	3,16	3,66	2,05	0
18:00	10,78	2,35	3,16	3,66	2,07	0
18:10	10,78	2,35	***	***	2,05	0
18:20	10,77	2,28	3,57	34,02	2,08	0
18:30	10,77	2,28	5,04	253,69	2,04	0
18:40	10,77	2,28	5,22	285,95	2,07	0
18:50	10,77	2,28	4,28	125,74	2,07	0
19:00	10,77	2,28	3,84	63,65	2,07	0
19:10	10,78	2,35	3,61	37,95	2,09	0
19:20	10,78	2,35	3,48	25,24	2,07	0
19:30	10,77	2,28	3,41	18,03	2,08	0
19:40	10,77	2,28	3,36	14,16	2,05	0

- Mesures de pluie :

Observation Temps	Pluie (mm)				
	Agouns	Amenzal	Tazzitount	Tiourdio	Tourcht
17:50	0	3	0	5	0
18:00	0	0	0	3	0
18:10	0	0	***	0	0
18:20	0	0	***	0	4
18:30	0	0	17	1	5
18:40	0	1	5	0	4
18:50	0	0	1	0	1
19:00	0	0	1	0	1
19:10	0	0	0	0	0
19:20	0	0	0	0	0
19:30	0	0	0	0	0
19:40	0	0	0	0	0

La crue de 20 Juin 2009

- Mesures des niveaux d'eau et des débits :

Observation Temps	Amenzal		Tazzitount		Tiourdiou	
	Niveau d'eau	Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau	Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau	Débit (m ³ /s)
13:10	10,8	2,5	3,09	6,52	2,61	2,95
13:20	10,79	2,42	3,08	6,06	2,58	2,54
13:30	10,8	2,5	3,07	5,59	2,58	2,54
13:40	10,8	2,5	3,08	6,06	2,64	2,62
13:50	10,79	2,42	3,07	5,59	2,61	2,95
14:00	10,81	2,56	3,07	5,59	2,62	3,17
14:10	10,79	2,42	3,08	6,06	2,6	2,73
14:20	10,79	2,42	3,08	6,06	2,63	3,39
14:30	10,78	2,35	3,08	6,06	***	***
14:40	10,78	2,35	3,09	6,52	3,17	10,96
14:50	10,78	2,35	***	***	2,94	8,12
15:00	10,79	2,42	3,23	14,4	3,19	14,06
15:10	10,79	2,42	3,16	10,56	3,16	9,41
15:20	10,79	2,42	3,15	9,97	3	9,28
15:30	10,79	2,42	3,1	6,99	3	9,28
15:40	10,8	2,5	3,7	95	2,86	6,63
15:50	10,79	2,42	3,5	28,63	2,68	4,51
16:00	10,8	2,5	3,38	21,9	2,69	4,73
16:10	10,79	2,42	3,28	16,82	***	***
16:20	10,8	2,5	3,22	13,91	2,71	5,02
16:30	***	***	3,18	11,75	***	***
16:40	10,8	2,5	3,14	9,37	2,91	7,54
16:50	10,8	2,5	3,1	6,99	3,05	4,7
17:00	10,8	2,5	3,09	6,52	2,79	5,5

• **Mesures de pluie :**

Observation Temps	Pluie (mm)				
	Agouns	Amenzal	Tazzitount	Tiourdio	Tourcht
13:10	0	1	0	0	0
13:20	0	0	0	1	0
13:30	0	1	0	1	0
13:40	0	1	1	0	0
13:50	0	0	1	0	0
14:00	0	0	2	1	0
14:10	0	0	2	0	0
14:20	0	0	6	3	0
14:30	1	0	2	***	0
14:40	2	0	2	***	0
14:50	0	0	***	7	0
15:00	2	0	***	7	1
15:10	1	0	2	4	2
15:20	0	0	0	1	0
15:30	0	0	1	1	1
15:40	5	0	0	0	0
15:50	2	0	0	1	0
16:00	1	1	0	4	0
16:10	1	1	1	***	1
16:20	4	0	0	***	0
16:30	***	***	0	***	0
16:40	***	***	0	***	0
16:50	1	2	1	1	0
17:00	0	0	0	1	0

Seuils de pré-alerte et d'alerte des pluies et des niveaux d'eau au niveau des stations de vallée de l'Ourika

- **Pré-alerte** (est de 25% de l'alerte) :

Stations	Débit (m ³ /s)	Pluies	
		Pluie 10 min	Pluie d'une heure
Agouns	*	3	5
Amenzal	13	3	5
Tiourdiou	25	3	5
Tourcht	*	3	5
Tazzitount	40	3	5

- **Alerte** :

Stations	Débit (m ³ /s)	Pluies	
		Pluie 10 min	Pluie d'une heure
Agouns	*	6	20
Amenzal	50	6	20
Tiourdiou	100	6	20
Tourcht	*	6	20
Tazzitount	160	6	20