



MODELISATION HYDRAULIQUE DES CRUES DU BASSIN VERSANT D'OUED TAMRAGHT, REGION SOUSS MASSA (MAROC)

| Fatima Daide ¹ | Farah EL Hassani ² | Abderrahim Lahrach ¹ | et | Abdel-Ali Chaouni ¹ |

¹. Laboratoire Géoressources et Environnement | Université Sidi Mohamed Ben Abdellah | Fès | Maroc |

². Inspection Régionale de l'Urbanisme | de l'Architecture et de l'Aménagement du Territoire | Fès-Meknès | Maroc |

| Received | 16 November 2017 |

| Accepted | 12 December 2017 |

| Published 24 December 2017 |

RESUME

Introduction : La situation du centre d'Aourir au pied du Haut Atlas occidental, le rend vulnérable aux crues violentes et subites des nombreux talwegs qui le surplombent et les cours d'eaux qui le traversent, dont oued Tamraght. Ce dernier, sujet de la présente étude, contrôle un bassin versant de 460 km², son orientation vers l'Atlantique lui permet de drainer l'extrémité occidentale du Haut Atlas, constituant ainsi un danger potentiel à cause de la violence de ses crues (1957, 1982, 1992, 1995, 1996, 1998, 2010 et 2014). La zone montagneuse qui constitue les bassins versants et qui domine le centre, est connue par ses pluies torrentielles et donc des maximales journalières importantes. Les pentes des cours d'eau étant relativement fortes réagissent rapidement aux fortes averses. **Objectif :** C'est dans cette optique que vient ce présent travail ayant pour objectif la réalisation d'un modèle hydraulique par HEC-RAS permettant de limiter, d'une part, les zones inondables pour chaque période de retour et de proposer, d'autre part, des aménagements de lutte contre les inondations sur oued Tamraght. **Résultats :** Les résultats de simulation hydraulique nous ont permis de constater que l'oued déborde pour toutes les périodes de retour sur une bonne partie des constructions et parcelles agricoles. Cela confirme les constatations faites lors du diagnostic des tronçons de la zone d'étude. Ainsi nous avons pu définir les schémas d'aménagements projetés au niveau de l'Oued Tamraght, afin de remédier au phénomène des inondations et protéger la commune rurale d'Aourir. **Conclusion :** La simulation hydraulique nous a permis de constater que l'oued déborde pour toutes les périodes de retour (10, 50 et 100 ans).

Mots-clés : Haut Atlas Occidental, Aourir, Oued Tamraght, Bassin versant, HEC-RAS, Aménagements.

ABSTRACT

Background: The location of the center of Aourir at the bottom of the western High Atlas makes it vulnerable to violent flash floods and many troughs and overlooking the rivers that run through it, including Tamraght river. It is monitoring a watershed of 460 km²; its orientation towards the Atlantic allows it to drain the western end of the High Atlas, thus constituting a potential danger because of his violent floods (1957, 1982, 1992, 1995, 1996, 1998, 2010 and 2014). The mountainous area which constitutes the watersheds and dominates the center is known by its torrential rains and the daily maximum peaks. The river slopes are relatively high respond rapidly to heavy showers. **Objective:** The present work aimed at the realization of a hydraulic model by HEC-RAS allowing to limit, on the one hand, the flood zones for each return period and on the other hand, to propose control facilities against flooding on river Tamraght. **Results:** The results of hydraulic simulation have allowed us to note that the river overflows for all periods of return on a good part of the constructions and agricultural parcels. This confirms the findings made during the diagnosis of the sections of the study area, as well as to define the development plans planned at the Oued Tamraght, in order to remedy the phenomenon of floods and protect the rural district of Aourir. **Conclusion:** The hydraulic simulation allowed us to note that the river overflows for all return periods (10, 50 and 100 years).

Key words: Western High Atlas, Aourir, Tamraght Oued, Watershed, HEC-RAS, Landscaping.

1. INTRODUCTION

Les crues font partie du fonctionnement naturel d'un cours d'eau. Elles peuvent être différentes d'une année à l'autre et n'entraînent pas forcément des inondations, ou du moins des grandes catastrophes. En effet, l'ampleur des inondations arrive de façon périodique et dépend des conditions météorologiques. Les crues se produisent en général suite à une forte pluie de longue durée ou d'une fonte de neige. Qu'un pays au climat semi-aride comme le Maroc subit de temps à autre des inondations, ce n'est guère un paradoxe. On est presque tenté d'affirmer que l'aridité favorise l'apparition des crues violentes, car l'absence de couverture végétale et le type du sol soutient le ruissellement aux dépens de l'infiltration. Il est à souligner que la vulnérabilité augmente fortement avec le développement urbain et que des situations de risques peuvent être créées là où il n'y en avait pas auparavant, d'où la nécessité d'une maîtrise de l'occupation des sols en zones inondables.

La situation du centre d'Aourir au pied du Haut Atlas occidental, le rend vulnérable aux crues violentes et subites des nombreux talwegs qui le surplombent et les cours d'eaux qui le traversent, dont oued Tamraght.

La zone montagneuse qui constitue les bassins versants et qui domine le centre, est connue par ses pluies torrentielles et donc des maximales journalières importantes. Le lit majeur l'oued Tamraght, objet de cette étude, est occupé, à la traversée du centre, par des exploitations agricoles.

Le seul ouvrage hydraulique se trouvant sur l'oued est le pont sur la RN1. Il est situé à environ 900 m en amont de l'embouchure. En aval du pont, des habitations se trouvent en limite du lit mineur et sont exposés au risque d'inondation. Au niveau de certaines d'entre elles, des protections localisées (petits murets en maçonnerie) ont été aménagées, mais ces mesures restent insuffisantes pour leur protection.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'Oued Tamraght, objet de cette étude, se situe à 15km de la ville d'Agadir, entre les longitudes Lambert 90 et 128.5 km et les latitudes Lambert 396 et 422 km, il s'allonge dans une direction NE-SW orthogonalement à la ligne de crête littorale du Haut Atlas bordier qu'il draine (Fig. 1). Il traverse le centre d'Aourir qui se trouve dans une vallée littorale située entre le relief du versant NW du Haut Atlas occidental et l'océan Atlantique. Cette vallée matérialise pratiquement l'exutoire du bassin versant, évacuant ses crues vers cet océan. [6]

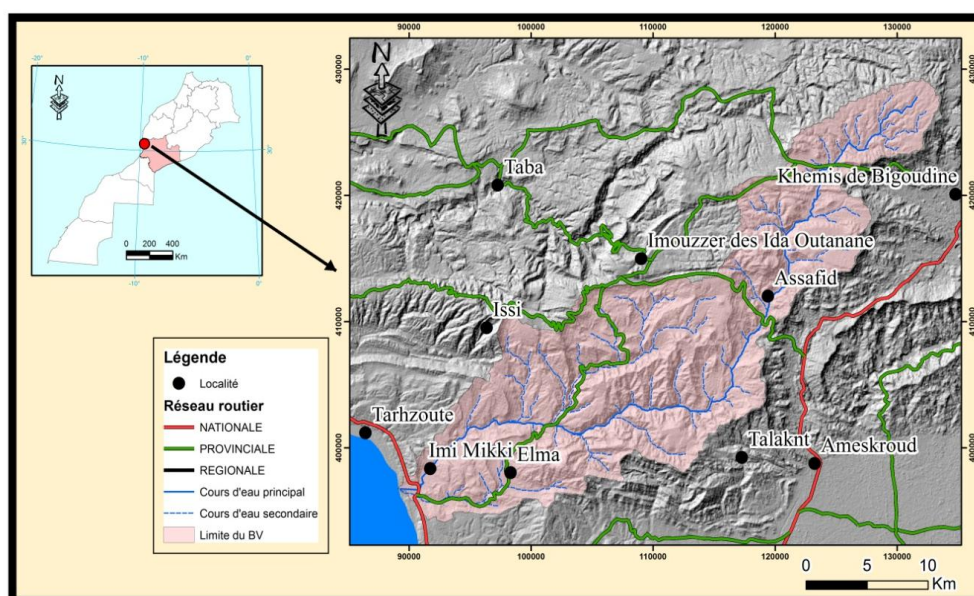


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

L'oued prend ses sources des calcaires jurassiques situés à l'amont du bassin versant du côté Est. Les cours d'eau entaillent ensuite des terrains crétacés qui forment le paysage dominant de ce bassin versant jusqu'à l'exutoire de l'oued vers l'océan Atlantique. Sa géomorphologie, est caractérisée par une prédominance des montagnes appartenant à la chaîne du haut Atlas et son couvert végétal est dominé par l'arganier.

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin versant sont résumées dans le tableau 1, selon le coefficient de Gravius le bassin de Tamraght est allongée, ce qui favorise, pour une même pluie, de faibles débits de pointe des crues à cause du retard de l'acheminement des eaux à l'exutoire.

Tableau 1 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant de Tamraght.

Surface (km ²)	Périmètre (km)	Indice de Gravius	Rectangle équivalent	
			Largeur (km)	Longueur (km)
460	132	1.72	9.7	47.40

L'hypsométrie du bassin versant décroît de l'amont vers l'aval avec une pente très élevée. La quasi-totalité du bassin est située au-dessus de 150 m d'altitude et plus de 70% de sa surface se situe au-dessus de 700 m.(Fig.2).

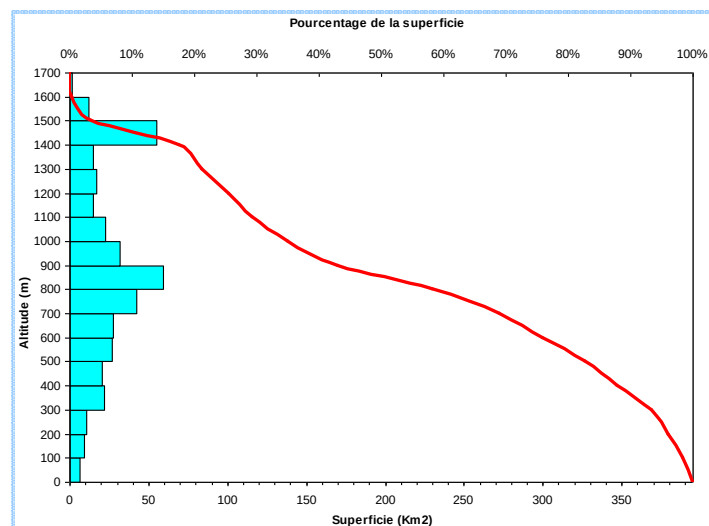


Figure 2 : Courbe hypsométrique

Les pentes du bassin de Tamraght sont en majorité fortes (>25%). (Fig. 3)

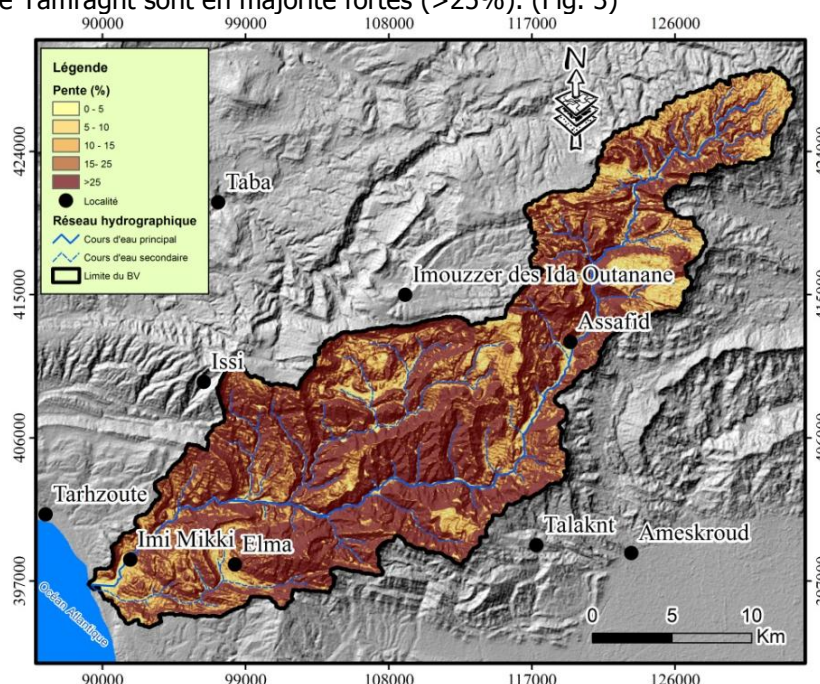


Figure 3 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Tamraght (extraite de la carte topographique 1/50.000).

L'aridité du climat, l'irrégularité habituelle des pluies et des cours d'eau expliquent l'importance de l'eau dans la région.

Le réseau hydrographique dans la zone d'étude est caractérisé par l'importance de l'oued Tamraght, ainsi que d'autres petites chaâbats (Fig. 4). Ces chaâbats présentent un régime d'écoulement torrentiel basé sur des crues relativement fréquentes. De ce fait, ils n'assurent pas un débit d'été. Ils sont également caractérisés par un transport solide important sous forme de «tout venant» et de galets de différentes tailles.

L'oued Tamraght, depuis sa naissance jusqu'à l'entrée de la ville, est caractérisé par un lit bien marqué avec des pentes relativement fortes. La section du lit de l'oued est variable de l'amont vers l'aval. Sur la traversée du centre d'Aourir, la largeur du lit mineur varie de 40 m à 190 m. Au niveau de l'embouchure, la largeur de l'oued dépasse 145 m.

L'étude climatique de notre zone d'étude est basée sur l'exploitation des données pluviométriques, de températures et de vents de la station Imimiki, qui est située à l'intérieur du bassin au point de coordonnées (X=92150 m, Y=398100 m, Z=40 m). Les précipitations recueillies entre 1962 à 2015, sont différentes d'une année à l'autre, avec une moyenne annuelle de 327 mm, ainsi la saison pluvieuse s'étale d'octobre à mai avec d'importantes périodes de sécheresses. L'étude de la température montre que l'été est la saison la plus chaude alors l'hiver est la plus froide avec une moyenne qui oscille entre 13 °C en janvier et 33 °C en juillet août.

Quant au vent, la moyenne mensuelle des vitesses varie de 4.30 km/h en janvier et 9.64 km/h en mai. Le sens des vents est en général nord-ouest. Toutefois, durant la période juillet-août, le vent souffle du sud-est. Il s'agit du Chergui.

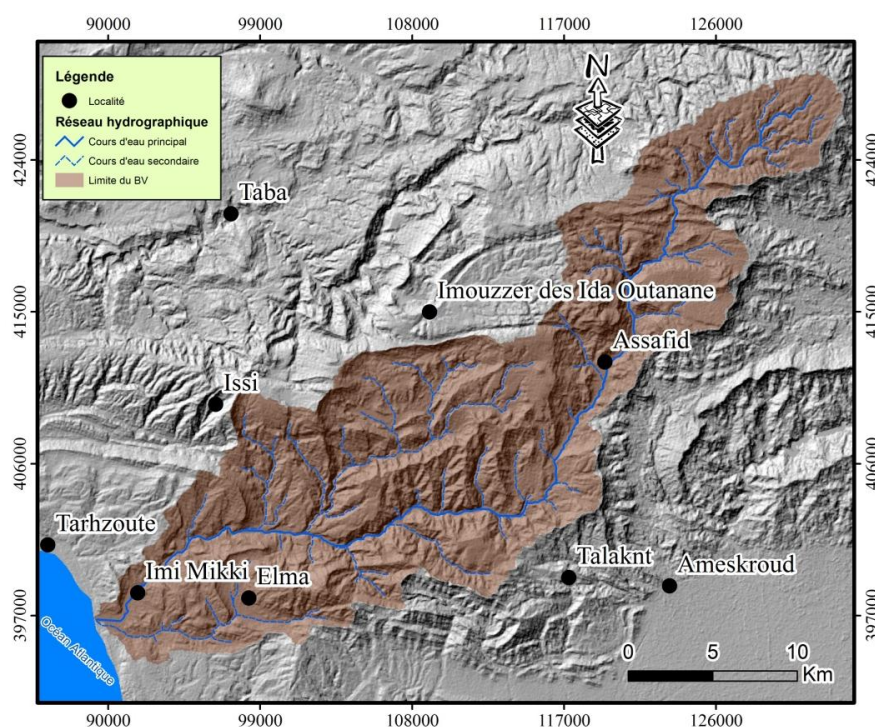


Figure 4 : Carte du réseau hydrographique (extraite de la carte topographique 1/50.000)

3. MATERIELS ET METHODES

3.1 Etude hydrologique : L'étude hydrologique a pour objectif de reconnaître les crues de projet par les aspects du débit de pointe. Les débits retenus seront d'une importance capitale pour la simulation hydraulique de l'oued Tamraght. Pour cela, il faut passer par plusieurs étapes à savoir une enquête de crues afin de trouver les laisses de crues passées et à recueillir les témoignages des habitants, ensuite une estimation des temps de concentration par différentes formules, enfin une estimation des débits de pointes par différentes formules empiriques et par la méthode du Gradex.

3.1.1 Estimation des temps de concentration par les formules empiriques

Le temps de concentration (T_c) des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point situé le plus loin possible de l'exutoire pour atteindre ce dernier.

Théoriquement on estime que T_c est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement. Pratiquement le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques.

Le tableau 2 récapitule les diverses valeurs du temps de concentration obtenues par ces formules. La valeur du temps de concentration retenue est la moyenne des valeurs proches. On a éliminé les valeurs extrêmes très grandes ou très petites pour ne laisser que les valeurs centrales.

Tableau 2 : Le tableau montre le temps de concentration retenu pour l'Oued Tamraght.

Méthodes	Ventura	Espagnole	Van Te Chow	Californienne	US Corps	Kirpich	Turrazza / Passini	Giandott	Valeur retenue (h)
	17.2	15.9	6	0.9	14.7	0.12	21.5	6.6	16

Les T_c calculés par les formules de Kirpich, Californienne, Van Te Chow et Giandotti donnent des valeurs sous estimées, cependant les T_c calculés par les formules empiriques de Ventura et Espagnole sont comparables à ceux calculés par la formule d'US Corps. Aussi, retiendrons-nous la moyenne des ces trois formules. La valeur adoptée de T_c est de 16h.

3.1.2 Estimation des débits de pointe

• Méthodes empiriques

Les méthodes de calcul recensées en utilisant différentes formules empiriques tiennent compte de deux facteurs essentiels :

- Le gradient topographique du bassin versant, par le biais de sa pente ou de sa dénivelée.
- La taille du bassin versant, par le biais de sa surface et/ou de sa longueur.

Les formules utilisées dans ce cas sont : la méthode de Fuller II, Hazan Lazarevick et Mallet Gauthier. Les débits retenus sont ceux calculés par ces formules dont les limites de validités dépendent essentiellement de la taille des bassins.

• Transposition à partir des bassins limitrophes

Afin de pouvoir mieux apprécier les débits de pointes probables sur le bassin versant obtenu par les formules empiriques, l'estimation des débits est également faite par analogie avec d'autres bassins versants similaires. Les critères de ressemblance sont essentiellement la morphologie et le régime pluviométrique.

La station hydrologique Tamri est la plus proche de la zone d'étude et dispose d'un historique suffisant pour faire l'objet d'ajustements statistiques.

La transposition des débits des crues déterminées par ajustement à la station hydrologique voisine, vers le bassin versant de la zone de l'étude se fait grâce à la formule de Francou-Rodier communément utilisée au Maroc.

• Méthode du Gradex

La méthode du Gradex, a pour but de rechercher les débits maximaux de crues pour des fréquences d'apparition rares à très rares. Elle s'applique notamment lorsque l'on dispose d'une longue série de pluie sur le bassin, permettant ainsi de valoriser au maximum l'ensemble des données disponibles. De manière générale, on dispose souvent de plus d'informations pluviométriques [4]. Cette méthode introduite par Guillot et Duband (1967) est utilisée par plusieurs auteurs tels que Naghettini et al (1996). [3-5]

Tableau 3 : Débits obtenus et retenus de différentes méthodes

Méthodes		Périodes de retour T (ans)			
		10	20	50	100
Débits obtenus (m ³ /s)	Mallet Gautier	11.09	11.45	11.77	11.96
	Fuller II	391.99	444.44	513.77	566.21
	Hazan Lazarevick	380.18	456.48	557.34	633.63
	Transposition	337	447	600	701
	Gradex	369.7	427.8	502.9	559.3
Débits retenus (m ³ /s)		370	443	525	586

Les débits retenus sont le fruit d'une analyse et une comparaison des débits calculés par les différentes méthodes présentées précédemment. Les débits calculés par les formules empiriques de Fuller II et Hazan-Lazarevick sont plus faibles que ceux déterminés par transposition mais restent comparables à ceux calculés par la méthode du Gradex. Tandis que les débits calculés par Mallet Gauthier sont sous-estimés.

Aussi, retiendrons-nous la moyenne des débits calculés par les formules empiriques et ceux calculés par la méthode du Gradex. Le tableau 3, résume les différents débits obtenus et ceux retenus.

3.2 Etude hydraulique : L'étude hydraulique consiste à faire le diagnostic de la zone d'étude pour tout événement hydraulique. Elle consiste à évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux, tels que la géométrie, le débit, et les conditions aux limites dans le but de réaliser un modèle hydraulique pour calculer la hauteur d'eau, d'une part, et d'autre part pour déterminer les zones de débordement.

L'analyse hydraulique pour l'établissement des zones inondables, s'est basée sur la modélisation hydraulique de la propagation de l'onde de crue le long de l'oued par l'utilisation du logiciel HEC-RAS, développé par «Hydrologic Engineering Center (HEC) » comme outil de simulation, ainsi que le logiciel Auto-CAD pour représenter les zones inondables.

Le modèle HEC-RAS (4.1.0), est un logiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire et d'effectuer les calculs de

lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau. La modélisation de l'Oued se base sur les profils en travers, tient compte de tous les ouvrages existant, et permet de définir différents coefficients de rugosité pour chaque section. [8]

Données d'entrée :

- La topographie des profils en travers du cours d'eau ;
- Les distances entre les profils ;
- Le coefficient de Manning ;
- Les conditions limites (amont et aval) ;

Les résultats des calculs :

- Les niveaux d'eau et d'énergie dans chaque profil en travers ;
- Les vitesses d'écoulement dans chaque section ;
- Le profil en long dans le temps des lignes d'eau.

Le diagnostic de la situation existante a permis de comprendre la problématique posée par les crues de l'oued Tamraght et de déterminer les points noirs et zones inondables (Fig. 5) :

Zone 1 : Zone urbaine au niveau de l'ouvrage d'art OA1 (pont sur la route nationale RN1 liant la ville d'Essaouira et la ville d'Agadir). Elle enregistre un débordement de crues sur la rive gauche et se situe entre les points coordonnées (X=91168 ; Y=397817) et (X=90151 ; Y=396837).

Zone 2 : Le Douar Assirne borne la rive droite de l'oued Tamraght. Ce douar se trouve isolé pendant les périodes de crues ainsi que d'autres douars du fait que la piste qui les relie à la route communale RC08 passe par le lit de l'oued Tamraght. Par ailleurs, quelques constructions du Douar Assirne sont atteintes par les inondations du fait qu'elles sont plus ou moins proches de la rive droite de l'oued, et se situe entre les points coordonnées (X = 92232 ; Y = 399045) et (X = 92144 ; Y = 398817) sur une longueur totale d'environ 300 m.

Zone 3 : Le Douar Tamarout est limité par la rive gauche de l'oued Tamraght qui s'écoule dans le sens Est-Ouest. Lors des périodes pluvieuses, les eaux de crues acheminées par ce cours d'eau inondent les parcelles agricoles des bananiers et peuvent également atteindre les constructions du douar.

La zone inondable se situe entre les points coordonnées : (X = 94218 ; Y = 400714) et (X = 94301 ; Y = 400135) sur une longueur totale d'environ 1.3 km

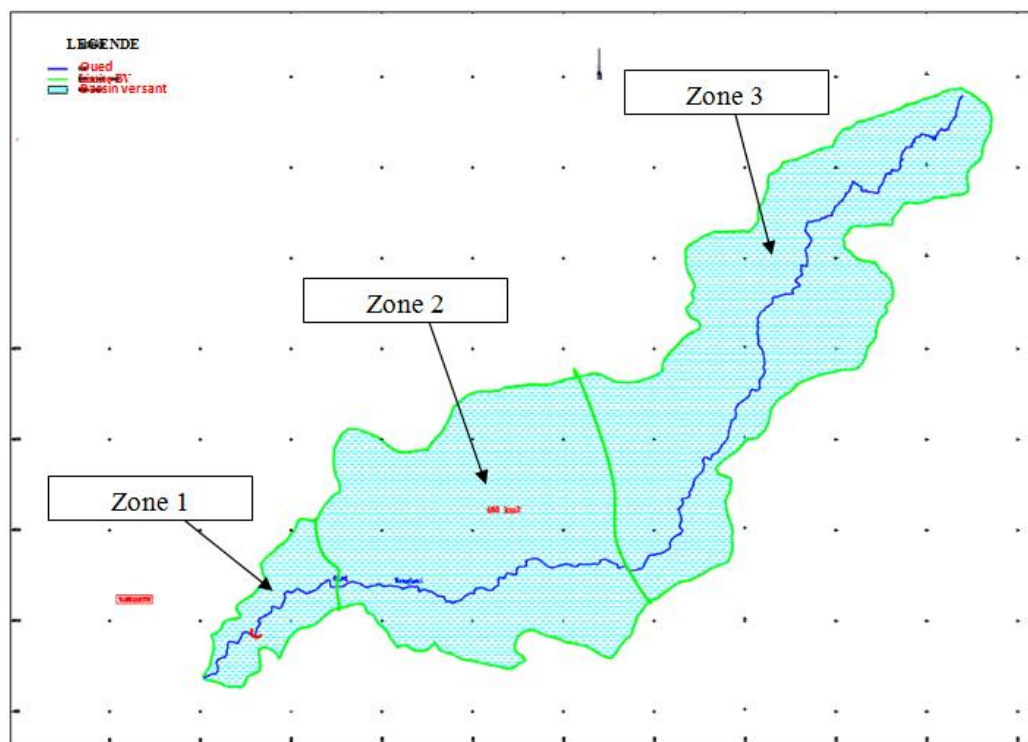


Figure 5 : Plan de diagnostic de l'état actuel (Extraite de l'Autocad)

Pour la réalisation des simulations hydrauliques et la délimitation de l'étendu des zones susceptibles d'être inondées au passage des crues des différentes périodes de retours, on a monté un modèle hydraulique pour chaque tronçon du cours d'eau principal.

Le principe de la reconstitution de la géométrie de l'oued est basé sur l'établissement des profils en travers qui doivent être perpendiculaires au sens de l'écoulement. La modélisation a porté sur le tronçon s'étendant entre le point des coordonnées (X=93919m ; Y=400744 ; Z=64.22) et l'embouchure. Sur ce tronçon, 33 profils en travers ont été relevés.

Sur la base des données retenues, le modèle du cours d'eau a été monté en se basant principalement sur les profils de la restitution.

L'étape suivante de la modélisation hydraulique est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulements et les conditions aux limites. Les débits utilisés ont été obtenus à partir de l'étude hydrologique précédemment réalisée (Tab.4).

Tableau 4 : Le tableau montre les débits des périodes de retour nécessaires à la modélisation.

	Périodes de retour T (ans)		
	10	50	100
Débits Q (m ³ /s)	370	525	586

Le modèle est encadré par deux conditions aux limites amont et aval. Ces conditions consistent à introduire une pente de l'oued qui conditionne la nature de l'écoulement. Dans notre cas, l'écoulement est considéré comme fluvial le long de l'Oued. Au niveau de l'embouchure, l'oued évacue ses eaux vers l'océan atlantique, le niveau d'eau en aval sera donc égale à 0 m NGM.

Les valeurs des coefficients de rugosité ont été déterminées sur la base des observations de terrain, et également en se basant sur l'expérience de l'ingénieur conseil dans ce domaine et sur sa bonne connaissance des conditions géologiques et géotechniques pour avoir réalisé plusieurs études de modélisations de cours d'eau.

- Le coefficient ainsi choisi dans le cas de la présente étude est de 0.030 dans le lit de l'oued avec une granulométrie assez fine sablo limoneuse et 0.035 sur les rives couvertes et les terrasses agricoles.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

a) Résultats du diagnostic hydraulique

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et les débits de pointe de différentes période de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS ont permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme :

- La vue en profil du tronçon simulée, elle représente une vue en profil du tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'oued et le niveau d'eau de chaque période de retour. Dans le cas de cette étude, la différence entre les niveaux des périodes de retour est bien visible. Le comportement des crues est sensible aux irrégularités de la topographie.

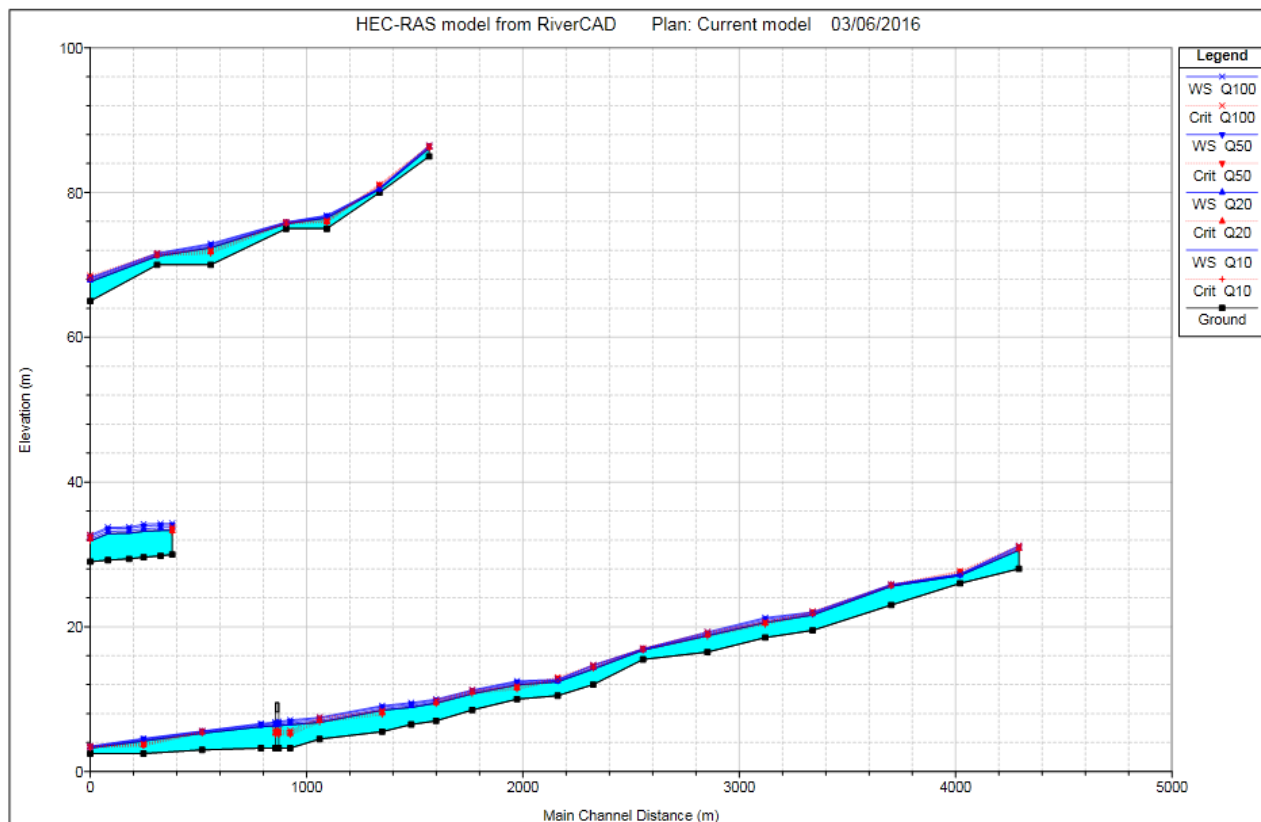


Figure 6 : Ligne d'eau des tronçons modélisés de l'Oued Tamraght

• une vue (X, Y, Z) du niveau d'eau dans le tronçon d'étude qui facilite le suivi du comportement des eaux de crue de période de retour. La figure 7 montre que l'oued Tamraght déborde pour toutes les périodes de retour (10, 20, 50, 100ans). Ce débordement touche le centre d'Aourir.

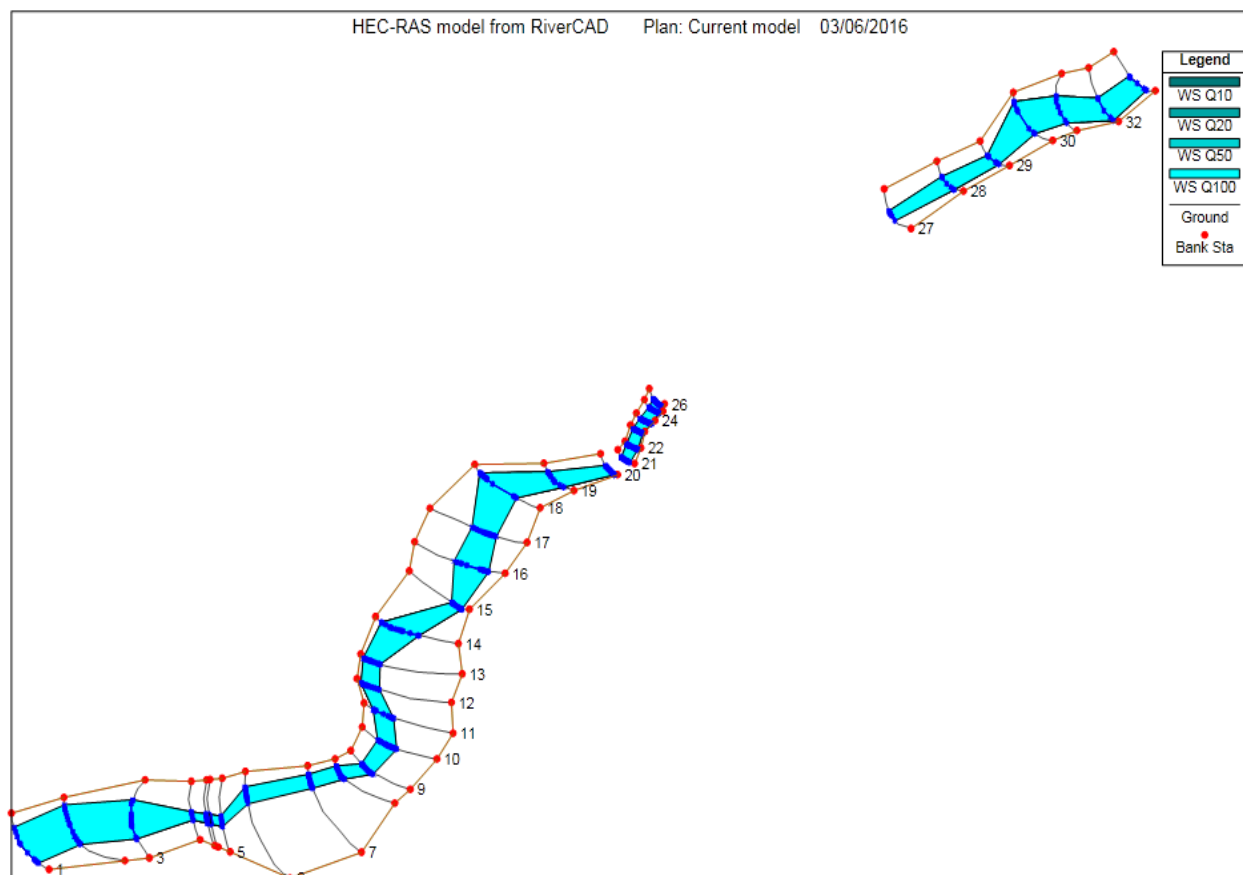


Figure 7 : Vue (X, Y, Z) du tronçon modélisé ;

- la courbe de tarage qui permet de définir la variation de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit m/s.
- La vitesse de l'écoulement. La figure 8 représente la variation de vitesse d'écoulement des eaux pour chaque période de retour.

On observe presque la même allure pour tous les niveaux d'eau. La vitesse augmente avec le niveau d'eau. La variation de vitesse est fonction de la topographie de terrain.

Les vitesses moyennes à niveau d'eau maximal restent normalement inférieures à 4 m/s. Au moment de la montée de la crue et dans certains profils qui présentent des étranglements et rétrécissements, les vitesses sont relativement élevées et varient généralement entre 4 et 7 m/s provoquant de la sorte des affouillements en raison des fortes vitesses.

La vitesse d'écoulement influence directement sur l'importance de l'érosion et la quantité de volume transporté par les eaux de crue ainsi que la force de pénétration des eaux dans les domaines urbains et leur destruction.

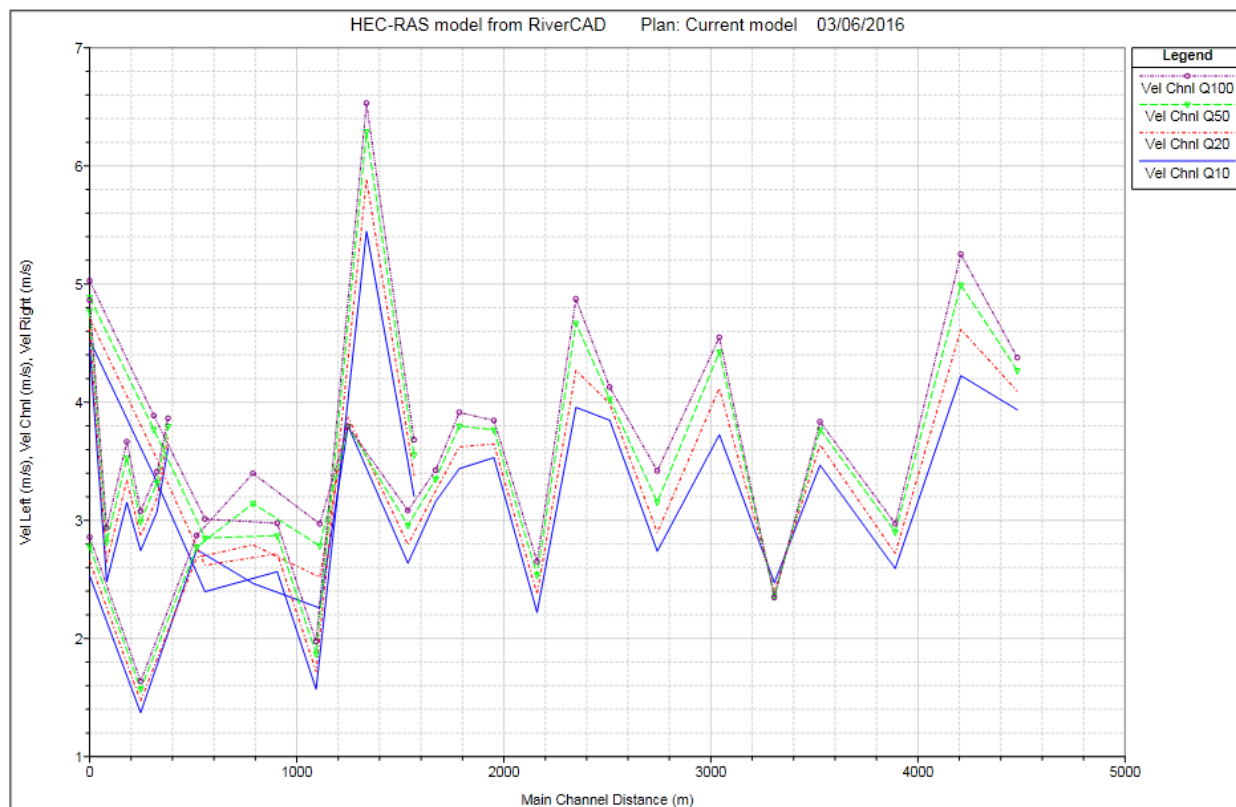


Figure 8 : Variation de la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à partir de l'exutoire

Les résultats des différents calculs et simulations hydrauliques effectués sont donnés pour chaque cours d'eau sous trois formes :

- Tableaux récapitulatifs des résultats de l'oued;
- Graphiques montrant les niveaux d'eau atteints au droit des profils en travers de l'oued;
- Vue en plan du modèle hydraulique sur lequel sont reportées les limites atteintes des crues simulées de l'oued.

Pour chaque débit de crue simulé, la valorisation des nombreux résultats produits par l'étude passe par une mise en forme adaptée aux différents indicateurs calculés et aux objectifs visés. Cette mise en forme comprend des tableaux et des graphiques permettant de comparer visuellement les résultats.

Les tableaux des résultats récapitulent quelques facteurs caractérisant les régimes d'écoulement. Ainsi, pour chaque section de calcul sont donnés les paramètres suivants :

- Le débit maximum transitant par la section.
- La côte minimale de la section qui renseigne sur la pente naturelle du lit de l'oued.
- La côte maximale atteinte par l'eau au passage de la crue. Ces côtes permettent de cartographier les zones inondées et d'identifier les ouvrages qui présentent des débordements.
- La côte critique de la ligne d'eau à l'amont des ouvrages de franchissement.

- La pente moyenne de la ligne d'eau.
- La Vitesse maximum de l'écoulement.
- Les sections mouillées et la largeur au miroir.
- Le nombre de Froude.

Les tableaux permettent de tracer les lignes d'eau sur les profils en long et les profils en travers qui ont servi dans les simulations ainsi que la présentation graphique sur plans des zones inondées.

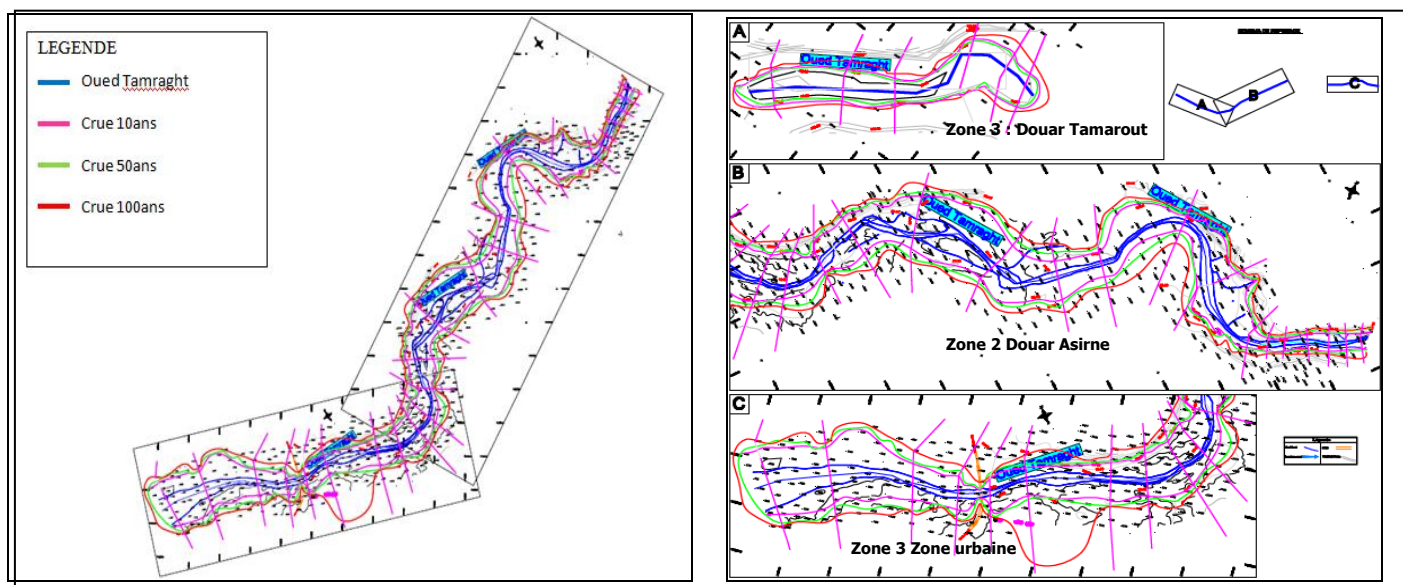


Figure 9 : La figure montre le plan des zones inondables

Les calculs, vérifications et simulations hydrauliques ont confirmé les principales constatations faites lors du diagnostic des tronçons étudiés. Les principales constatations qui ressortent des résultats précités (Fig. 9) sont présentées ci-après :

- Oued Tamraght déborde pour toutes les périodes de retour (10, 50, et 100 ans).
- Les vitesses moyennes à niveau d'eau maximal restent normalement inférieures à 4 m/s. Toutefois, au moment de la montée de la crue et dans certains profils qui présentent des étranglements et rétrécissements, les vitesses sont relativement élevées et varient généralement entre 4.00 et 8 m/s provoquant de la sorte des affouillements en raison des fortes vitesses.
- L'écoulement est très instable ; mis en évidence par le nombre de Froude qui fluctue autour de l'unité. Cette fluctuation est importante dans certains profils où il peut frôler une valeur de 2,8.
- Le douar Tamaroute se trouve exposé au danger des inondations puisque toutes les périodes de retour débordent sur une bonne partie des constructions et parcelles agricoles de cette localité.
- Le douar Assirne connaît des débordements à grandes vitesses sur ce tronçon causant de la sorte une forte érosion détruisant les voies.
- Quelques constructions ou blocs d'habitations de la zone urbaine côtoyant la rive gauche de l'oued Tamraght dont l'écoulement mène vers l'ouvrage d'art (OA1) se trouvent sur le lit ou à proximité de l'oued et sont touchées par la propagation des crues simulées.

b) Définitions des schémas d'aménagements

Les schémas d'aménagement proposés, afin de remédier au phénomène des inondations et protéger la commune rurale d'Aourir, se présentent comme suit :

- La réalisation d'une protection en gabions avec revêtements en béton au niveau de son amont permettrait de protéger le douar de Tamarout;
- La route communale 08 (RC08) au niveau du douar Assirne sera protégée par la réalisation de la Variante V1: D'une protection en gabionnage avec revêtements en béton, ou par la Variante V2 : d'un mur en maçonnerie.
- La zone urbaine du centre Aourir ainsi que les parcelles agricoles côtoyant la rive gauche de l'oued Tamraght seront protégées par la réalisation soit par la Variante V1 : digue de protection, soit par la Variante V2 : D'un mur en maçonnerie.

- Réalisation d'un ouvrage hydraulique de franchissement sur l'oued Tamraght, au niveau du douar Assirne afin d'éviter l'enclavement de la population locale lors de la période hivernale et assurer la continuité de la piste passant par le lit de l'oued et qui relie les douars à la route communale RC08.
- Par ailleurs, il convient de réaliser un reprofilage et recalibrage de l'oued Tamraght afin de débarrasser les débris de charriage.
- Pour atténuer le phénomène de charriage au niveau des bassins versants d'oued Tamraght, il est recommandé d'installer des seuils de sédimentation à installer en amont de la zone d'étude. Néanmoins, l'efficacité de cet aménagement reste tributaire des opérations de curage qu'il faut entamer avant chaque saison hivernale.

5. CONCLUSION

L'étude hydrologique menée par application de plusieurs méthodes de calcul des débits, a permis leur estimation pour des périodes de retour allant de 10 à 100ans. Les débits retenus sont le fruit d'une analyse comparative des débits calculés par les différentes méthodes présentées précédemment. Aussi, retiendrons-nous la moyenne des débits calculés par les formules empiriques et ceux calculés par la méthode du Gradex. Ces résultats constituent un document utile à la modélisation hydraulique qui permet le calcul de la propagation des crues dans les cours d'eau. En effet, l'étude hydrologique constitue le socle sur lequel se construisent toutes les modélisations.

Le diagnostic de la situation existante a permis de comprendre les problèmes posés par les crues de l'oued Tamraght et déterminer les trois principales zones inondables. La modélisation des tronçons de l'oued par HEC-RAS, nous a permis de reconstruire la géométrie du cours d'eau en se basant sur des profils en travers. Ainsi nous en avons extraire différents résultats, à savoir la vue en profil du tronçon simulée, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude et les vitesses d'écoulement. En d'autre part, les résultats de simulation hydraulique nous ont permis de constater que l'oued déborde pour toutes les périodes de retour sur une bonne partie des constructions et parcelles agricoles, ce qui confirme les constatations faites lors du diagnostic des tronçons de la zone d'étude, ainsi de définir les schémas d'aménagements projetés au niveau de l'Oued Tamraght, afin de remédier au phénomène des inondations et protéger la commune rurale d'Aourir.

6. REFERENCES

- [1] Ambroise B., 1991. Hydrologie des petits bassins versants ruraux en milieu tempéré - Processus et modèles -. Séminaire du Conseil Scientifique du Département "Science du sol" de l'INRA, Dijon, 26- 27/03/1991. pp 34. DOI:10.1109/PNPM.1989.68558
- [2] Duband, D. 1982, - Hydrologie statistique approfondie. Ecole national supérieure d'hydraulique de Grenoble. pp. II-11.
- [3] Guillot, P. and Duband, D. La méthode du gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies, in Flood and Their Computation. Proceedings of the Leningrad Symposium. IASH. 1967; Publ. 84: 560-569. Available on : <https://iahs.info/uploads/dms/084063.pdf>
- [4] Meylan, P. and Musy, A. - Hydrologie fréquentielle. Office fédéral de l'éducation et de la science/suisse (n 96.01). pp 181, 251, 275, 305, 371 ; 1999. available on: <https://hydrologie.org/BIB/manuels/Meylan.pdf>.
- [5] Naghettini, M. Potter, K.W. and Illangasekare, T, Estimating the upper tail of flood-peak frequency distributions using hydrometeorological information. *Water Resources Research*. 1996; 32: 1729-1740. available on: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96WR00200/abstract>
- [6] Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eaux, Souss Massa, Agence du bassin hydraulique de Sebou, Mission I, Etude des eaux de surface.79 ; 2011.
- [7] Saidi M. Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (Maroc) Climatologie, Hydrogéologie, crues et bilans hydrologiques en milieu sub-aride, Environnement Global, Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayad Marrakech.1995.
- [8] U.S. Army Corps of Engineers, 2008. HEC-RAS (Version 4.1) [Hydraulic Reference Manuel]. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers. Available on: http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/hecras_4.1_reference_manual.pdf
- [9] Zemzami, M. Benaabidate, L. Layan, B. and Dridri, A. Design flood estimation in ungauged catchments and statistical characterization using principal components analysis: application of Gradex method in Upper Moulouya. *Hydrological Processes*; 2012. DOI: 10.1002/hyp.9212. Available on: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.9212/abstract>.

Citer cet article : DAIDE Fatima, EL Hassani Farah, Lahrach Abderrahim, et Chaouni Abdel-Ali. MODELISATION HYDRAULIQUE DES CRUES DU BASSIN VERSANT D'OUED TAMRAGHT, REGION SOUSS MASSA (MAROC). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2017; 5(6): 434-444.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>