

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : HYDRAULIQUE

OPTION : OUVRAGES HYDRAULIQUES

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
Académique**

**Par : ELBAR Abd El Aziz
LOUKRIZ Lamine**

Intitulé

**Cartographie des zones inondables par le logiciel
HEC-RAS durant les pluies extrêmes, Cas de la ville
de Timgad Wilaya de Batna.**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr DOGHA Mostapha
Dr BERGHOUT Ali
Dr HAMIDOU Mohamed

Université de M'sila
Université de M'sila
Université de M'sila

Président
Rapporteur
Examineur

Année universitaire : 2023 /2024

Sommaire

PREMIER CHAPITRE 9

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	9
I.1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE.....	10
I.1.1. POSITION GEOGRAPHIQUE	10
I.1.2. SITUATION DES BASSINS VERSANTS.....	10
I.1.3. DONNÉES DE BASE	11
I.2. CLIMATOLOGIE :	12
I.2.1. CLIMAT :	12
A- TEMPERATURE :	12
B- LES VENTS :	13
C- LA PLUVIOMETRIE :	13
I.2.2. LE BASSIN VERSANT ET SON COMPLEXE	13
I.2.2.1. LE BASSIN VERSANT.....	13
I.2.2.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET LEURS INFLUENCES SUR L'ÉCOULEMENT DES EAUX	14
I.2.2.3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES	14
B. FORME.....	15
I.2.2.4. RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE	17
A. TEMPS DE CONCENTRATION.....	18
I.2.3. CONCLUSION	19

DEUXIÈME CHAPITRE 21

ETUDE DES CRUES.....	21
II.1. PLUVIOMÉTRIE MOYENNE ANNUELLE	22
II.2. PLUIES JOURNALIÈRES MAXIMALES	22
II.1. PLUIES DE COURTE DURÉE.....	23
ETUDE DES CRUES	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
II.2. DÉBITS MAXIMAS FRÉQUENTIELS.....	24
LES RÉSULTATS OBTENUS SONT PRÉSENTÉS DANS LE TABLEAU SUIVANT :	25
II.5. HYDROGRAMME DE CRUES	26
FIGURE II.4 INTENSITÉ DE PLUIE II.5 CONCLUSION	30

TROISIÈME CHAPITRE 33

MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT).....	33
III.1. NOTION DE BASE	34
III.1.1. DÉFINITION DU MNT.....	34
III.1.2. TYPES DE MNT.....	34
III.1.3. CONSTRUCTION	35
III.1.4. EXPLOITATION	35
III.1.5. CARACTÉRISTIQUES	35
III.2. PRESENTATION DU LOGICIEL UTILISE (COVADIS).....	36
III.2.2. VISUALISATION ET ANALYSE DU RELIEF	39
III.2.3. COURBES DE NIVEAUX.....	40

QUATRIÈME CHAPITRE 42

APPLICATION DU MODELE HEC RAS 2D DANS LA VILLE DE TIMGAD	42
IV.1. PRESENTATION DU LOGICIEL UTILISE (HEC RAS).....	43
IV.1.1 INTRODUCTION.....	43
IV.1.2 PRÉSENTATION DU LOGICIEL HEC RAS	43
IV.2. METHODOLOGIE.....	43
IV.3. CONCEPTION DU MODÈLE NUMÉRIQUE DU TERRAIN (MNT).....	45
IV.4. SIMULATION BIDIMENSIONNELLE	47
IV.5. ETAPES DE LA SIMULATION :.....	48
IV.6. RÉSULTAT ET DISCUSSION	58

CONCLUSION GENERALE 66

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	68
-----------------------------------	----

Liste des figures

FIGURE I.1 : LIMITES DE LA COMMUNE DE TIMGAD.....	10
FIGURE I.2: SITUATION DES SOUS BASSINS VERSANTS.....	11
FIGURE I.3: TEMPÉRATURES À LA STATION DE TIMGAD.	12
FIGURE I.4 : DÉLIMITATION DES BASSINS VERSANTS.	15
FIGURE II . 1 : AJUSTEMENT À LA LOI DE GUMBEL	23
FIGURE II . 2 : HYDROGRAMMES DES CRUES D'OUED SOUDHES	29
FIGURE II . 3 PLUIE DE COURTE DURÉE	30
FIGURE II .4 INTENSITÉ DE PLUIE.....	30
FIGURE III . 1 PLAN DE MASSE DE LA ZONE ÉTUDIÉE	37
MNT AVEC COVADIS.....	37
FIGURE III . 2 : CALCUL DU MNT	38
FIGURE III . 3 : VISUALISATION DU MNT DE LA VILLE DE TIMGAD	39
FIGURE III . 4 : TRACÉ DES COURBES DE NIVEAU	40
FIGURE III . 5 : VISUALISATION DES COURBES DE NIVEAUX ET DES TALWEGS TRAVERSANT LA VILLE DE TIMGAD	41
FIGURE IV.1 : SCHÉMA MÉTHODOLOGIQUE	44
FIGURE IV.2 :MODÈLE NUMÉRIQUE DU TERRAIN MNT	45
FIGURE IV.3 : DÉLIMITATION DES SOUS BASSINS VERSANTS DES TALWEGS TRAVERSANT LA VILLE ET LE BASSIN VERSANT DE L'OUED SOUDHES CONTOURNANT LA VILLE DU NORD.....	46
FIGURE IV.4 : LE PÉRIMÈTRE ET LE MAILLAGE.....	48
FIGURE IV.5 : INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES	49
FIGURE IV.6 : PLAN DE SIMULATION 2D	57
FIGURE IV.7 : HAUTEURS MAXIMALE D'EAU POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS	58
FIGURE IV.8 : VITESSES D'ÉCOULEMENT MAXIMALE POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS	58
FIGURE IV.9 : ZONES INONDABLES POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 10 ANS.....	59

FIGURE IV.10 : HAUTEURS MAXIMALE D'EAU POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 50 ANS	60
FIGURE IV.11 : VITESSES D'ÉCOULEMENT MAXIMALE POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 50 ANS	60
FIGURE IV.12 : ZONES INONDABLES POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 50 ANS.....	61
FIGURE IV.13 : HAUTEURS MAXIMALE D'EAU POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS	62
FIGURE IV.14 : VITESSES D'ÉCOULEMENT MAXIMALE POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS	62
FIGURE IV.15 : ZONES INONDABLES POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS.....	63
FIGURE IV.16 : HAUTEURS MAXIMALE D'EAU POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 1000 ANS ...	64
FIGURE IV.17 : VITESSES D'ÉCOULEMENT MAXIMALE POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 1000 ANS	64
FIGURE IV.18 : ZONES INONDABLES POUR LA CRUE DE PÉRIODE DE RETOUR 1000 ANS.....	65

Liste des tableaux

TABLEAU I.1 : CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DE TIMGAD	12
TABLEAU I.2: TEMPÉRATURE MIN, MAX	12
TABLEAU I.5: SURFACES, PÉRIMÈTRES ET COEFFICIENT GRAVELIUS DES SOUS BASSINS VERSANTS	16
TABLEAU I.6: CARACTÉRISTIQUES GÉOMORPHOLOGIQUE DES SOUS BASSINS VERSANTS	17
TABLEAU I.7: CARACTÉRISTIQUES ALTIMÉTRIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS.....	19
TABLEAU II . 1 : STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES UTILISÉES (TIMGAD)	22
TABLEAU II .2 : VALEURS CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DE BATNA.....	22
TABLEAU II .3 : VALEURS DE LA PLUIE MAXIMALE JOURNALIÈRE DE DÉFÉRENTES FRÉQUENCES....	23
TABLEAU II . 4 : PLUIES FRÉQUENTIELLES DE COURTE DURÉE	24
TABLEAU II . 5 : PLUIE DE COURTE DURÉE FREQUENTIELLES	24
TABLEAU II .6 : LES VALEURS DE COEFFICIENT (C).....	25
TABLEAU II .7 : PLUIE MAXIMALE JOURNALIERE DE FRÉQUENCE (P%).....	25
TABLEAU II . 9 : VALEURS DE F EN FONCTION DE γ	25
TABLEAU II.10 : DÉBITS FRÉQUENTIELS OBTENUS PAR LA MÉTHODE SOKOLOVSKY	26
TABLEAU II . 11 : HYDROGRAMME DE CRUE D'OUED SOUDHES	27
TABLEAU II . 12 : CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU BASSIN VERSANT.....	31

Résumé

Le but de ce travail est la délimitation des zones inondables dans la ville de Timgad (Batna – Algérie) durant les pluies extrêmes.

Nous avons d'abord estimé les débits des crues fréquentielles (pour les périodes de retour $T = 10$ ans, $T = 50$ ans, $T = 100$ ans $T = 1000$ ans) du cours d'eau principal Oued Soudhes et des cours d'eau traversant la ville, puis nous avons procédé à la simulation hydrodynamique 2D.

Pour atteindre notre objectif, nous avons eu besoin de divers outils pour réaliser ce travail, notamment le logiciel COVADIS pour le Modèle Numérique de Terrain (MNT) et le module de calcul hydrodynamique HEC RAS.

ملخص

يهدف هذا العمل الى تحديد المناطق المغمورة بالفيضانات في مدينة تيمقاد (باتنة - الجزائر) خلال الأمطار الغزيرة.

لقد قمنا أولاً بتقدير تدفقات الفيضانات الترددية (لفترات عودة : 10 سنوات، 50 سنة، 100 سنة و 1000 سنة) للمجرى المائي الرئيسي وادي سودس والمجاري المائية التي تعبر المدينة، ثم قمنا بمحاكاة هيدروديناميكية ثنائية الأبعاد.

لتحقيق هدفنا، احتجنا إلى أدوات مختلفة لتنفيذ هذا العمل، بما في ذلك برنامج COVADIS لنموذج التضاريس الرقمي (MNT) ووحدة الحساب الهيدروديناميكية HEC RAS.

Summary

The aim of this work is to delineate the flood zones in the city of Timgad (Batna, Algeria) during extreme rainfall events. First, we estimated the flow rates of frequent floods (for return periods of $T: 10$ years, $T: 50$ years, $T: 100$ years, $T: 1000$ years) for the main watercourse Oued Soudhes and the watercourses crossing the city, then we conducted a two-dimensional hydrodynamic simulation. To achieve our objective, we needed various tools to carry out this work, including the COVADIS software for the Digital Terrain

Model (DTM) and the HEC RAS hydrodynamic calculation module.

INTRODUCTION GENERALE

Les inondations, souvent causées par de fortes précipitations, sont un phénomène naturel qui se produit lorsque le volume d'eau dans un cours d'eau, comme une rivière ou un lac, augmente et dépasse ses limites naturelles. Depuis l'aube de l'histoire, l'humanité s'efforce de comprendre et de gérer les mécanismes d'action des crues dans les plaines inondables.

Les avancées récentes en modélisation numérique et informatique des inondations ont permis aux techniciens d'améliorer la conception des structures d'ingénierie. Divers modèles mathématiques de crues ont été développés ces dernières années. Il s'agit notamment de modèles monodimensionnels, qui calculent les niveaux de crue dans un chenal, et de modèles bidimensionnels, qui mesurent la profondeur de la crue dans les deux directions horizontales pour déterminer son étendue.

La ville de Timgad, située au pied des Aurès, est exposée à un risque accru d'inondations, un phénomène devenu récurrent en raison des changements climatiques. Notre projet de fin d'études s'inscrit dans ce contexte et vise à identifier les zones inondables par une simulation bidimensionnelle de la propagation des crues de différentes fréquences provenant du bassin versant de l'Oued Soudhes et des sous-bassins versants des cours d'eau traversant Timgad. Ainsi nous allons suivre les étapes suivantes afin d'atteindre notre objectif :

Le premier chapitre est consacré à la présentation générale de la zone d'étude. Suivi dans le deuxième par une étude hydrologique. Nous allons donc, dans cette partie, évaluer les débits de différentes périodes de retour des cours d'eau drainant dans la ville.

Dans le troisième chapitre on présentera le modèle numérique de terrain (MNT) que nous élaborerons à partir du levé topographique de la ville de Timgad.

Le chapitre quatre, s'intéressera de la modélisation hydrodynamique bidimensionnelle à l'aide du logiciel HEC-RAS, ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.

Le mémoire se terminera par une conclusion générale.

PREMIER CHAPITRE

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Pour décrire la zone d'étude, nous examinerons les caractéristiques suivantes :

I.1.1. POSITION GEOGRAPHIQUE

La wilaya de Batna à laquelle se rattache le présent projet se situe au paiement Nord des Aurès. Elle se situe à 450 km au Sud Est d'Alger ;

La ville de Timgad (Thimgal en Tamazight et Thamougadi en Latin) se située à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Batna à une distance de 40 km; entourée par 6 petits bassins de superficies varient entre 0,98 et 02,00 km² et bassin de Soudhes de superficie 181.21km².



Figure I.1 : Limites de la commune de Timgad.

Elle est limitée au Nord par les communes de Chemora, El-Maadher et Ouled Fadhel, A l'Est par les communes d'Ouled Fadel et Yabous (wilaya de Khenchela) ; A l'Ouest par les communes El-Maadher, Ouyoun El Assafir et Oued Tague et au Sud par les communes d'Oued Tague et Fom Toub.

I.1.2. Situation des bassins versants

Le bassin versant de Soudhes c'est l'un des sous bassin du bassin versant Chemora, ce dernier fait partie du grand du bassin " HAUTS PLATAUX CONSTANTINOIS" situé dans sa partie Sud dans le piémont Nord –Est des Aurès dans la wilaya de Batna l'Est de l'Algérie, et se situe dans une région essentiellement semi-aride comprise entre le piémont Nord des Aurès au Nord et les monts des Aurès au Sud, il se situe dans une zone limitée par les longitudes (35°30) et les latitudes (6°30).

Il couvre une superficie de 181,21 km², et délimité par un périmètre de 123,65 km, son exutoire se situe en aval de la ville de Timgad.

La ville de Timgad (Thimgal en Tamazight et Thamougadi en Latin) se situe à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Batna à une distance de 40 km

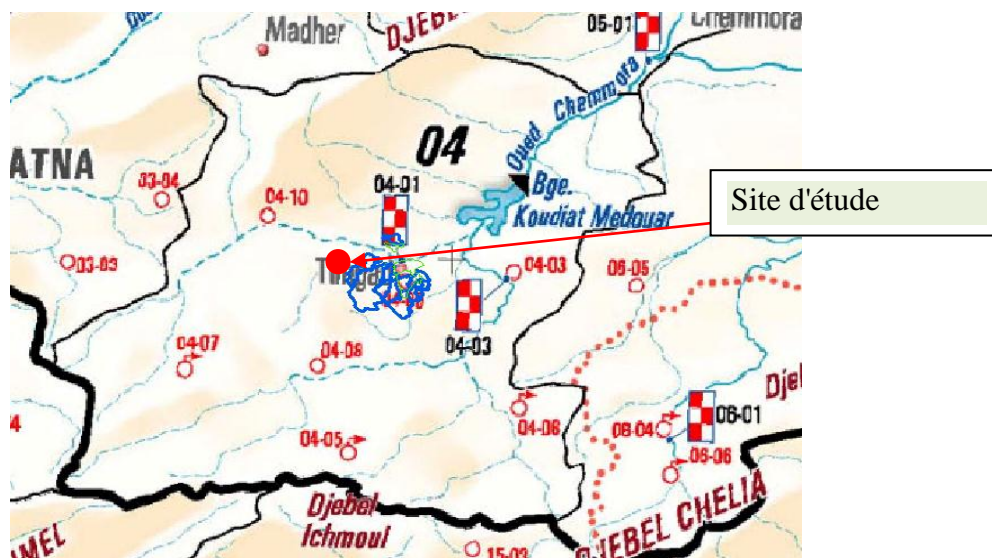


Figure I.2: Situation des sous bassins versants.

I.1.3. Données de base

Les différents paramètres morphométriques du bassin versant (forme, altitude, pente, relief etc...) interviennent souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée. Cette analyse intéresse deux domaines :

- La surface topographique,
- Le réseau hydrographique.

Pour quantifier ces paramètres, les documents cartographiques et moyens de mesures suivants ont été utilisés :

- Cartes topographiques à l'échelle 1/25.000ème, TAZOULT 3-4 et TAZOULT 7-8.
- Image satellitaire.
- Logiciel ArcGIS & Autocad.

I.2. CLIMATOLOGIE :

I.2.1. CLIMAT :

Pour fournir les caractéristiques climatiques au bassin étudié, nous avons utilisé les données météorologiques enregistrées à la station de Timgad.

La classification nationale de la région de Batna se situe dans la zone climatique des Aurès-Nememcha parmi les 09 zones que comporte la classification.

Le climat dominant est continental, sub-aride avec des écarts considérables de température.

Tableau I.1 : Caractéristiques de la station de Timgad

station	Code station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)	Appareil de mesure utilisé	Date de mise en service
		X (km)	Y (km)			
Timgad	070409	841,75	250,9	1000	Pluviomètre	1970

A- TEMPERATURE :

- Les données concernant les températures relèvent toujours de la station de TIMGAD.

Tableau I.2: Température min, max

Stations	Mois	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec	Moy annuelle
Timgad	T _{max} (°C)	11	13	16	20	25	30	34	33	28	23	17	12	22
	T _{moy} (°C)	7,5	8,5	11,5	14,5	19,5	24,5	28	27,5	23	19	13	8,5	17
	T _{min} (°C)	4	4	7	9	14	19	22	22	18	15	9	5	12

Les températures sont variables d'une saison à l'autre. Comme on constate que la différence de températures entre l'été et l'hiver est très importante avec un écart de 20.5° c par contre le printemps et l'automne on des valeurs moyennes saisonnières qui se rapprochent du 20° c.

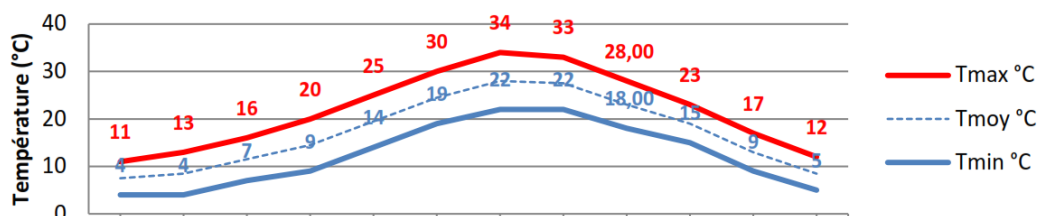


Figure I.3: Températures à la station de Timgad.

B- LES VENTS :

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du SUD la zone connaît le SIROCCO pendant les mois de JUILLET et AOUT.

C- LA PLUVIOMETRIE :

Les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en mm sont données par le tableau suivant :

Tableau I.3: Les moyennes mensuelles et totales annuel des précipitations.

Station	P (mm)	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mal	Jun	Jull	Aout
TIMGAD	277,73	31,20	22,45	22,67	25,23	26,61	18,87	27,85	29,70	36,79	11,57	8,80	15,98
		Automne			Hiver			Printemps			Eté		
		76,33			70,71			94,34			36,35		

Les précipitations sont de l'ordre de 278 mm par an. La saison la plus pluvieuse est le printemps 94 mm et la plus sec est l'été avec 36 mm mais reste l'hiver et l'automne qui eux aussi ont un taux de pluie assez important respectivement 71 et 76 mm.

I.2.2. Le bassin versant et son complexe**I.2.2.1. Le bassin versant**

Le bassin versant, unité géographique sur laquelle se fonde l'analyse hydrologique, peut être considéré comme étant un " système hydrologique clos" à l'intérieur duquel aucun écoulement extérieur n'intervient et où tous les apports pluvieux s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

Le bassin versant ainsi défini correspond à la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau principal et ses affluents à l'amont de cette section. Il est matérialisé par son exutoire à partir duquel est tracé le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. Celle-ci correspond généralement à la ligne de crête et caractérise alors le *bassin versant topographique*.

Le bassin drainant dans la zone d'étude se compose de onze sous bassins, limitant le site d'étude du Sud, et un bassin limité le site du Nord (sous bassin n°10).

Les caractéristiques de ses sous bassins sont exposées en ce qui suit :

I.2.2.2. Caractéristiques physiques et leurs influences sur l'écoulement des eaux

Les caractéristiques physiographiques du bassin versant influencent largement sa réponse hydrologique. Le temps de concentration T_c est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : la taille du bassin (sa surface), sa forme, son altitude, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates.

I.2.2.3. Caractéristiques géométriques

a. Surface et périmètre

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant a été mesurée à l'aide d'un planimètre.

Les superficies (S) drainées déterminées par planimétrie ou en utilisant l'outil informatique (après scanner de la carte topographique).

Tableau I.4: Surfaces et périmètres des sous bassins versants

Bassin versant	BV1	BV2	BV3	BV4	BV Soudhes
Superficie S ; (km ²)	1.995	1.211	0.975	1.274	181.205
périmètre P ; (km)	10 ,695	8,293	8,636	8,293	123 ,652

Le périmètre (P) délimité, stylisé et mesuré au curvimètre ou en utilisant l'outil informatique (après scanner de la carte topographique).

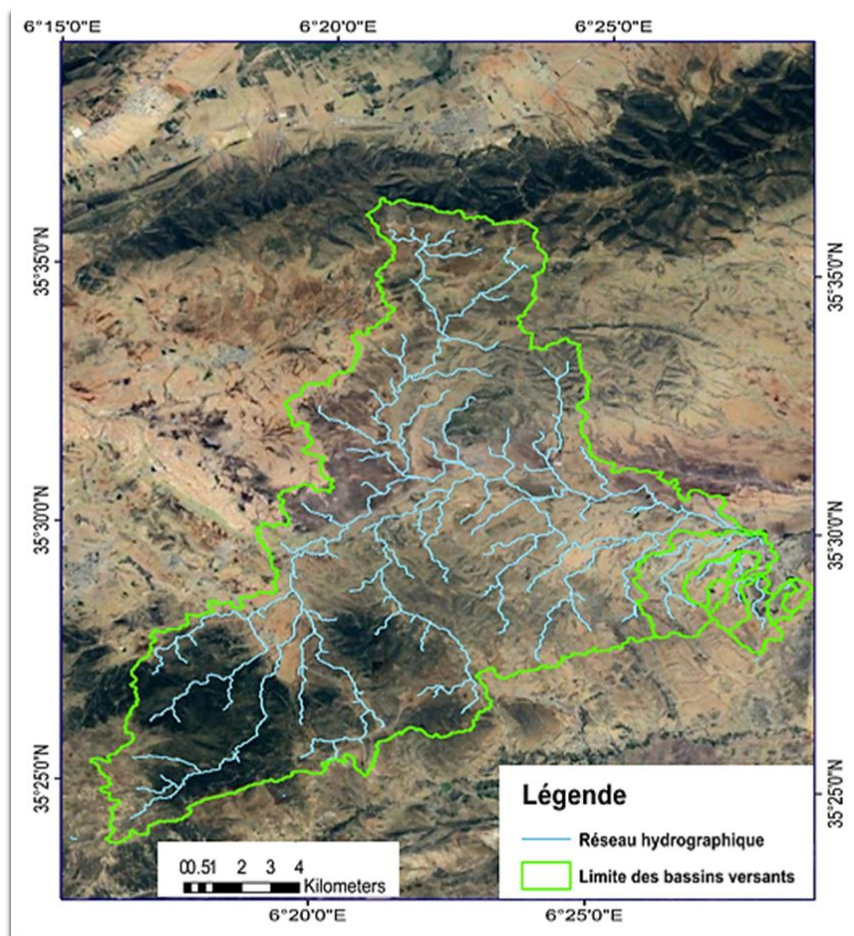


Figure 1.4 : Délimitation des bassins versants.

b. Forme

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins en forme plus ramassée, présentant un temps de concentration plus court auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, l'indice *de compacité de Gravelius (1914)* définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

K_G est l'indice de compacité de Gravelius, A : surface du bassin versant [km^2],

P étant le périmètre du bassin [km].

Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Tableau I.5: Surfaces, périmètres et Coefficient Gravelius des sous bassins versants

B V	BV1	BV2	BV3	BV4	BV Soudhes
Superficie S ; (km ²)	2.00	1.21	0.98	1.27	181.21
Périmètre P ; (km)	10.70	8.29	8.64	8.29	123.65
K _g	2.12	2.11	2.45	2.06	2.57

La notion de rectangle équivalent, introduite par Roche (1963), résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

Si L et l représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors :

Le périmètre du rectangle équivalent vaut : $P = 2.(L+l)$; ; la surface $A = L \times l$; K_G représente le coefficient de compacité. En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{112} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{112}{K_G} \right)^2} \right)$$

Après calculs, les résultats obtenus sont dans le tableau suivant :

Tableau I.6: Caractéristiques géomorphologique des sous bassins versants

B V	BV1	BV2	BV3	BV4	BV Soudhes
Superficie S ; (km²)	2.00	1.21	0.98	1.27	181.21
périmètre P ; (km)	10.70	8.29	8.64	8.29	123.65
kG	2.12	2.11	2.45	2.06	2.5720
Longueur de Talweg (km)	2.6430	1.6250	1.2600	1.9600	32.5890
Longueur du BV equiv L (km)	4.94	3.83	4.08	3.81	58.74
Largeur du BV equiv l (km)	0.40	0.32	0.24	0.33	3.08
Hmax	1166.00	1188.00	1182.00	1184.00	1937.00
Hmoy	1100.80	1116.27	1080.25	1090.44	1273.95

1.2.2.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique correspond à l'ensemble des cours d'eau, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il traduit certainement une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes conditionnées par quatre facteurs principaux :

- La géologie, par ses caractéristiques, influence en particulier la forme et l'orientation du réseau hydrographique.
- Le climat, par ses effets, conditionne l'existence et la densité du réseau hydrographique.
- La pente du terrain, par son importance, détermine l'action des cours d'eau. Souvent érosive dans les zones élevées, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine en plaine.
- La présence humaine, par son action (drainage des terres agricoles, construction de barrages, endiguement, protection des berges et correction des

cours d'eau) modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

a. Temps de concentration

La réaction hydrologique d'un bassin versant dépendra du type et de l'intensité de la précipitation qui le sollicite mais aussi de l'état du bassin versant : le *temps de concentration* des eaux sur le bassin.

Le **temps de concentration** T_c des eaux sur un bassin versant se définit comme la durée maximum nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Il est composé de trois termes différents :

- t_h : Temps d'humectation. Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne s'écoule.
- t_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement. Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).
- t_a : Temps d'acheminement. Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration T_c correspond donc à la somme de ces trois termes, soit :

$$t_c = \max\left(\sum(t_h + t_r + t_a)\right)$$

Le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques. Il existe plusieurs types de relations qui permettent d'estimer T_c (Giandotti, Kirpich, Basso, Passini, Service routier de Californie etc...). Les travaux du service hydrologique de l'A.N.R.H fondés sur la comparaison et le contrôle de six de ces relations ont permis de constater que la relation (anonyme) relevée de l'ouvrage de R.BOURRIER (2, p55) était la plus performante.

Cette relation se présente sous la forme :

- Formule de GIANDOTTI:

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

- Formule de KRIPICH $Tc = 0.95 (Lp^3 / (H_{moy} - H_{min}))^{0.385}$

Les calculs conduisent aux valeurs suivantes :

Tableau I.7: Caractéristiques altimétriques des sous bassins versants

Bassin versant	BV1	BV2	BV3	BV4	BV Soudhes
Longueur de Talweg (km)	2.6430	1.6250	1.2600	1.9600	32.5890
H max	1166.00	1188.00	1182.00	1184.00	1937.00
H moy	1100.80	1116.27	1080.25	1090.44	1273.95
Tc moy	1.03	0.65	0.64	0.78	6.97

I.2.3. Conclusion

Les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus apparaissent dans le La valeur de l'indice de compacité de Gravélius caractérise un bassin de forme relativement ramassé.

Ces caractéristiques indiquent à l'échelle du bassin un temps de concentration élevé entraînant un coefficient de torrencialité fort et déterminent un ruissellement et une évaporation plus importante par rapport à l'infiltration. Le ruissellement est d'autre part ralenti par une couverture végétale relativement développée à l'amont du bassin et une assise lithologique à caractère essentiellement imperméable.

Tableau I.8 : Caractéristiques principales du bassin versant.

Bassin versant	BV1	BV2	BV3	BV4	BV Soudhes
Superficie S ; (km²)	2.00	1.21	0.98	1.27	181.21
Périmètre (P) ; (km)	10.70	8.29	8.64	8.29	123.65
KG	2.12	2.11	2.45	2.06	2.5720
Longueur de Talweg (km)	2.643	1.625	1.260	1.960	32.5890
Longueur du BV equiv L (km)	4.94	3.83	4.08	3.81	58.74
Largeur du BV equiv l (km)	0.40	0.32	0.24	0.33	3.08
Temps de Concentration Tc (h)	1.03	0.65	0.64	0.78	6.97

DEUXIEME CHAPITRE

Etude des Crues

II.1. Pluviométrie moyenne annuelle

Les bassins étant de taille réduite. Nous avons donc utilisé les mesures des pluviomètres localisés dans le sous bassin versant mitoyen au ceux dans lesquels s'intègre les sous bassins du site d'étude. Les paramètres pluviométriques de la station sont regroupés dans le tableau II.1.

Tableau II. 1 : Stations pluviométriques utilisées (TIMGAD)

station	Code station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)	Appareil de mesure utilisé	Date de mise en service
		X (km)	Y (km)			
Timgad	070409	841,75	250,9	1000	Pluviomètre	1970

La pluviométrie moyenne annuelle pour la station de TIMGAD est 278 mm.

II.2. Pluies journalières maximales

La série des pluies maximales journalières enregistrées à la station de TIMGAD a été choisie car la plus représentative des maxims journaliers pouvant se produire dans les bassins versants du site d'étude.

Cette série a été ajustée à différentes lois de probabilité, la loi de Gumbel s'est révélée la plus adéquate (figure 01).

Les résultats apparaissent ci-dessous.

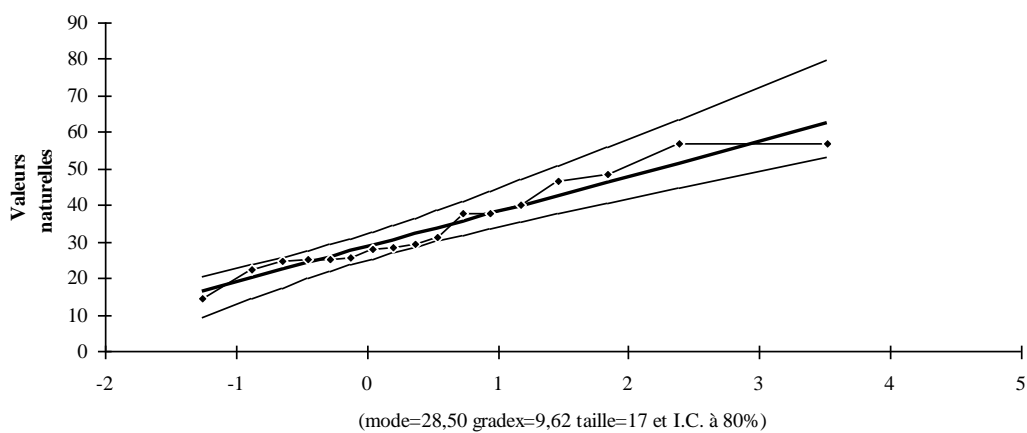
Tableau II.2 : valeurs caractéristiques de la station de BATNA

Moyenne	Cv	b
32,88	0,35	0,32

Nous reproduisons les valeurs de la pluie maximale journalière pour différentes périodes de retour.

Tableau II.3 : valeurs de la pluie maximale journalière de différentes fréquences.

Période de retour	10	50	100	1000
Fréquence	0.9	0.98	0.99	0.999
Variable de GUMBEL	2.25	3.902	4.6	6.907
Timgad	52.6226	72.10698	80.34411	107.5621

Ajustement à une loi de Gumbel**Figure II. 1 : Ajustement à la loi de Gumbel**

II.3. Pluies de courte durée

Les pluies de courte durée pour différentes fréquences ont été déterminées à l'aide de la relation préconisée par l'A.N.R.H (Body) :

$$P_{tc} = P_{j_{\max}} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Avec : P_{tc} = Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de $P_{j_{\max}}$ (mm)

$P_{j_{\max}}$ = Pluie journalière maximale de fréquence voulue (mm)

t = Temps considéré en heures.

b = Exposant climatique (pour notre région, b = 0.32).

Les résultats obtenus pour une durée égale au temps de concentration (T_c) et pour différents temps de retour sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II . 4 : Pluies fréquentielles de courte durée

Période de retour	10	50	100	1000
PJ max	52.62	72.11	80.34	107.56

Tableau II . 5 : Pluie de courte durée fréquentielles

Ptc	10	50	100	1000
BV_1	19.22	26.35	29.35	39.30
BV_2	16.62	22.77	25.37	33.97
BV_3	16.50	22.61	25.19	33.73
BV_4	17.56	24.06	26.81	35.89
BV_SOUDHES	35.43	48.56	54.10	72.43

II.4. Débits maxims fréquentiels

L'absence de données observées nous a contraint à utiliser les formules empiriques les plus adéquates.

L'une des formules les plus utilisées est celle de TURAZZA qui s'exprime de la manière suivante :

$$Q_{p\%} = C \times I_{p\%} \times S / 3.6$$

Où : $Q_{p\%}$ = Débit maximum de fréquence (P%)

C = Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence

$I_{(P\%)}$ = Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration T_c .

S = Superficie du bassin versant.

D'après son auteur, il est recommandé d'affecter les valeurs suivantes au coefficient (C).

Tableau II.6 : les valeurs de coefficient (C).

Période de retour (ans)	1000	100	50	10
C	0,90	0,70	0,65	0,6

Rappelons que :

$$I_{p\%} = \frac{P_{tc(p\%)}}{T_c}$$

Tableau II.7 : Pluie maximale journalière de fréquence (P%)

Période de retour	10	50	100	1000
PJ max	52.62	72.11	80.34	107.56

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Intensité de la pluie de fréquence

(P%)	10	50	100	1000
BV_1	18.63	25.53	28.44	38.08
BV_2	25.39	34.79	38.77	51.90
BV_3	25.77	35.32	39.35	52.68
BV_4	22.59	30.96	34.49	46.18
V_SOUDHES	5.08	6.96	7.76	10.39

La 2eme méthode celle de SOKOLOVSKY) :

$$Q_{\max} = \frac{0,28 * P_{tc} * \alpha * S}{T_c} f$$

f : coefficient de forme de la crue, f = coefficient, on prend $\gamma=2,50$ d'où $f=1.04$
hydrogramme triangulaire

Tableau II.9 : Valeurs de f en fonction de γ

γ	2,0	2,5	3,0	4,0
f	1,20	1,04	0,92	0,75

t_m : temps de montée, en heures où $t_m = f (t_a)$

t_a : étant la durée de l'averse $t_a = t_c, = t_m$ cas des petits bassins versants

C_e : Coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence,

Tableau II.10 : Débits fréquents obtenus par la méthode Sokolovsky

	T(ans) DEBIT	10 (ans)	50 (ans)	100 (ans)	1000 (ans)
		BV_1	6.37	9.46	11.35
BV_2	5.27	7.82	9.39	16.16	
BV_3	4.31	6.40	7.67	13.21	
BV_4	4.94	7.33	8.79	15.13	
BV_Soudhes	157.76	234.21	281.01	483.71	

II.5. Hydrogramme de crues

La schématisation géométrique proposée par SOKOLOVSKI pour le tracé des hydrogrammes de crues permet de pallier l'absence de stations de mesures hydrométriques. Cet auteur donne à l'hydrogramme de crue la forme d'une courbe fermée par deux paraboles jointes au sommet dont les équations sont les suivantes :

$$Q_t = Q_{\max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^m$$

Avec :

Q_t = Débit à l'instant t en heures après le début de la crue (m^3/s)

Q_{\max} = Débit maximal de la crue (m^3/s)

T_m = Temps de montée de la crue en heures. L'auteur préconise pour les petits bassins $T_m = T_c$

m = Exposant de la parabole, pour les crues pluviales $m = 2$.

Tableau II . 11 : HYDROGRAMME DE CRUE D'OUED SOUDHES

<i>T (heures)</i>	<i>10</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>1000</i>
<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>0,40</i>	<i>0,45</i>	<i>0,76</i>	<i>0,93</i>	<i>1,55</i>
<i>0,80</i>	<i>1,82</i>	<i>3,05</i>	<i>3,70</i>	<i>6,20</i>
<i>1,20</i>	<i>4,09</i>	<i>6,85</i>	<i>8,33</i>	<i>13,94</i>
<i>1,60</i>	<i>7,28</i>	<i>12,19</i>	<i>14,81</i>	<i>24,79</i>
<i>2,00</i>	<i>11,37</i>	<i>19,04</i>	<i>23,14</i>	<i>38,73</i>
<i>2,40</i>	<i>16,37</i>	<i>27,42</i>	<i>33,32</i>	<i>55,77</i>
<i>2,80</i>	<i>22,28</i>	<i>37,32</i>	<i>45,36</i>	<i>75,91</i>
<i>3,20</i>	<i>29,10</i>	<i>48,74</i>	<i>59,24</i>	<i>99,15</i>
<i>3,60</i>	<i>36,83</i>	<i>61,69</i>	<i>74,98</i>	<i>125,48</i>
<i>4,00</i>	<i>45,47</i>	<i>76,16</i>	<i>92,57</i>	<i>154,91</i>
<i>4,40</i>	<i>55,02</i>	<i>92,16</i>	<i>112,01</i>	<i>187,45</i>
<i>4,80</i>	<i>65,48</i>	<i>109,67</i>	<i>133,30</i>	<i>223,08</i>
<i>5,20</i>	<i>76,85</i>	<i>128,71</i>	<i>156,44</i>	<i>261,81</i>
<i>5,60</i>	<i>89,12</i>	<i>149,28</i>	<i>181,43</i>	<i>303,63</i>
<i>6,00</i>	<i>102,31</i>	<i>171,36</i>	<i>208,28</i>	<i>348,56</i>
<i>6,40</i>	<i>116,41</i>	<i>194,97</i>	<i>236,97</i>	<i>396,58</i>
<i>6,80</i>	<i>131,41</i>	<i>220,11</i>	<i>267,52</i>	<i>447,70</i>
<i>7,00</i>	<i>139,26</i>	<i>233,25</i>	<i>283,49</i>	<i>474,43</i>
<i>7,40</i>	<i>131,45</i>	<i>220,17</i>	<i>267,60</i>	<i>447,83</i>
<i>7,80</i>	<i>123,94</i>	<i>207,59</i>	<i>252,31</i>	<i>422,24</i>
<i>8,20</i>	<i>116,72</i>	<i>195,50</i>	<i>237,62</i>	<i>397,65</i>
<i>8,60</i>	<i>109,79</i>	<i>183,89</i>	<i>223,50</i>	<i>374,04</i>
<i>9,00</i>	<i>103,14</i>	<i>172,75</i>	<i>209,96</i>	<i>351,37</i>
<i>9,40</i>	<i>96,76</i>	<i>162,07</i>	<i>196,98</i>	<i>329,65</i>
<i>9,80</i>	<i>90,65</i>	<i>151,83</i>	<i>184,54</i>	<i>308,83</i>
<i>10,20</i>	<i>84,80</i>	<i>142,04</i>	<i>172,64</i>	<i>288,91</i>
<i>10,60</i>	<i>79,22</i>	<i>132,68</i>	<i>161,26</i>	<i>269,87</i>
<i>11,00</i>	<i>73,88</i>	<i>123,74</i>	<i>150,39</i>	<i>251,68</i>

11,40	68,78	115,21	140,02	234,33
11,80	63,93	107,08	130,14	217,80
12,20	59,31	99,34	120,74	202,06
12,60	54,92	91,99	111,80	187,10
13,00	50,75	85,00	103,31	172,90
13,40	46,80	78,38	95,27	159,43
13,80	43,06	72,11	87,65	146,68
14,20	39,52	66,19	80,45	134,63
14,60	36,18	60,60	73,65	123,26
15,00	33,04	55,33	67,25	112,55
15,40	30,08	50,38	61,23	102,48
15,80	27,30	45,73	55,59	93,02
16,20	24,71	41,38	50,30	84,17
16,60	22,28	37,31	45,35	75,90
17,00	20,01	33,52	40,74	68,18
17,40	17,91	30,00	36,46	61,01
17,80	15,96	26,73	32,48	54,36
18,20	14,15	23,70	28,81	48,22
18,60	12,49	20,92	25,43	42,55
19,00	10,96	18,36	22,32	37,35
19,40	9,56	16,02	19,47	32,58
19,80	8,29	13,89	16,88	28,25
20,20	7,14	11,95	14,53	24,31
20,60	6,09	10,21	12,40	20,76
21,00	5,16	8,64	10,50	17,57
21,40	4,32	7,24	8,80	14,73
21,80	3,58	6,00	7,30	12,21
22,20	2,93	4,91	5,97	10,00
22,60	2,37	3,97	4,82	8,07
23,00	1,88	3,15	3,83	6,40
23,40	1,46	2,45	2,98	4,99
23,80	1,11	1,87	2,27	3,80
24,20	0,83	1,38	1,68	2,81
24,60	0,59	0,99	1,20	2,01
25,00	0,41	0,68	0,83	1,38
25,40	0,26	0,44	0,54	0,90
25,80	0,16	0,27	0,33	0,55
26,20	0,09	0,15	0,18	0,30
26,60	0,04	0,07	0,08	0,14
27,00	0,02	0,03	0,03	0,05
27,40	0,00	0,01	0,01	0,01

Equation de la courbe de décrue :

$$Q_{(t')} = Q_{\max} \left(\frac{td - t'}{td} \right)^n \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Avec :

$Q_{(t')}$ = Débit à l'instant t' en heures, après la pointe de la crue (m^3/s)

td = Durée de la décrue en heures. $td = \delta \times tm$, pour les petits bassins peu perméables on prend $\delta = 2$ et donc $td = 2 \cdot tm$

n = Exposant de la parabole pour les crues pluviales, $n = 3$.

Les détails des calculs sont reportés dans le tableau suivant et les hydrogrammes de crues des sous bassins sont représentés sur la figure suivante.

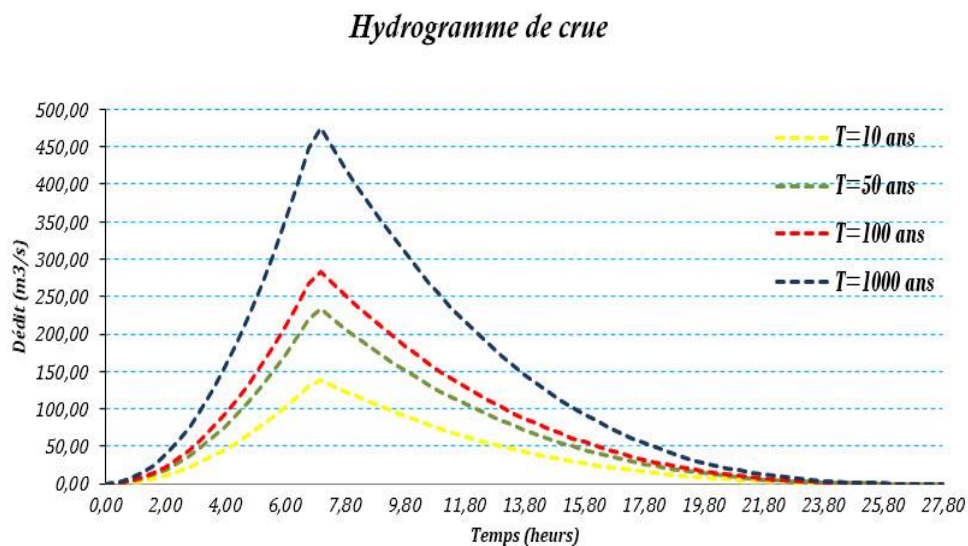


Figure II. 2 : Hydrogrammes des crues d'oued Soudhes

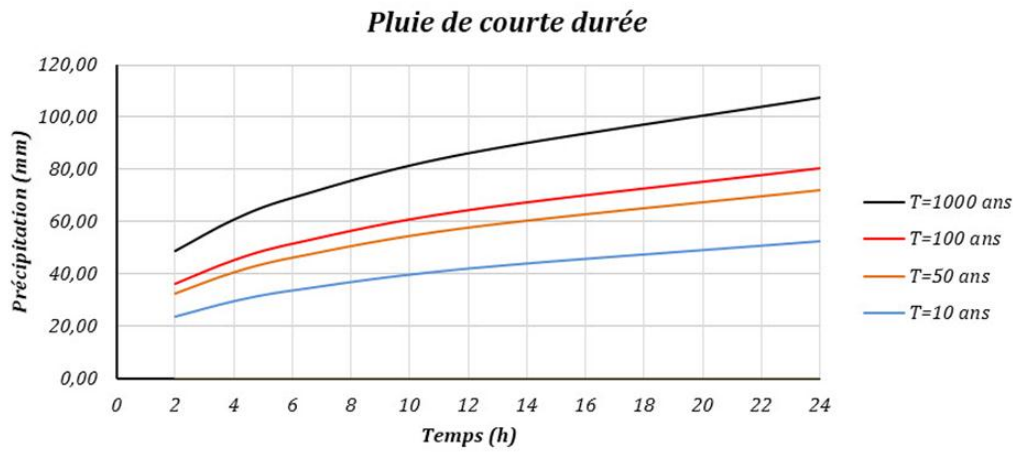


Figure II. 3 Pluie de courte durée

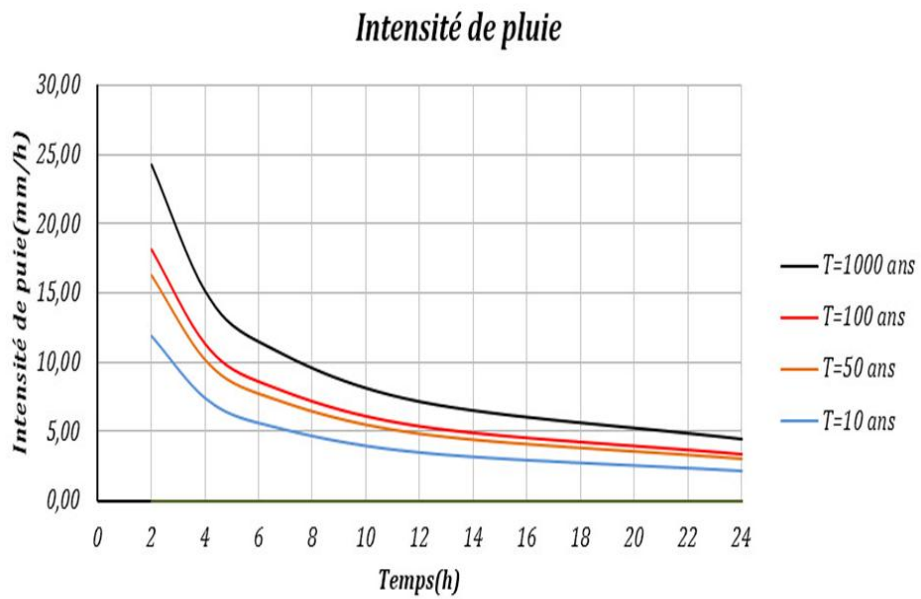


Figure II.4 Intensité de pluie

II.5 Conclusion

Les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus apparaissent dans le suivant :

Tableau II . 12 : Caractéristiques principales du bassin versant.

Bassin versant	BV1	BV2	BV3	BV4	Soudhes
Superficie (S) ; km²	2.00	1.21	0.98	1.27	181.21
périmètre (P) ; km	10.7	8.29	8.64	8.29	123.65
KG	2.12	2.11	2.45	2.06	2.57
Longueur de Talweg km	2.64	1.625	1.260	1.960	32.589
Longueur (L) km	4.94	3.83	4.08	3.81	58.74
Largeur (l) km	0.40	0.32	0.24	0.33	3.08
Temps de Concentration (tc) h	1.03	0.65	0.64	0.78	6.97
Q_{100 ans} (m³/s)	11.35	9.39	7.67	8.79	281.01

Les valeurs de l'indice de compacité de Gravélius caractérisent des bassins de forme relativement allongés.

Ces caractéristiques indiquent à l'échelle des bassins des temps de concentration moyens entraînant des coefficients de torrencialité considérables et déterminent des ruissellements importants.

Les ruissellements ralentissent par une couverture végétale relativement développée à l'amont des bassins de la partie Est et une assise lithologique à caractère essentiellement imperméable.

La série des pluies maximales journalières enregistrées à la station de Timgad a été choisie car la plus représentative des maxims journaliers pouvant se produire dans les sous bassins versants des sites en étude. Cette série a été ajustée à différentes lois de probabilité, la loi de Gumbel s'est révélé la plus adéquate.

Les débits maxima fréquentiels déterminés à l'aide de formules empiriques (TURAZA et SOKOLOVSKI) donnent des résultats assez concordants. Toutefois, nous avons retenu les valeurs maximales trouvées par la méthode de SOKOLOVSKY qui nous paraissent les plus adaptées aux études de protections.

TROISIEME CHAPITRE

MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT)

III.1. NOTION DE BASE

III.1.1. Définition du MNT

Un MNT (Modèle Numérique de Terrain) est une représentation topographique de la surface du sol adaptée à une utilisation informatisée.

En cartographie, les altitudes sont généralement indiquées par des courbes de niveau et des points cotés. Pour les petites zones, la plupart des MNT utilisent un maillage carré régulier, tandis que pour les grandes zones, ils emploient un maillage pseudo carré formé par des méridiens et des parallèles.

Un MNT permet ainsi de :

- Reconstituer des vues du terrain en images de synthèse.
- Déterminer des trajectoires de survol du terrain.
- Calculer des surfaces ou des volumes.
- Tracer des profils topographiques.

III.1.2. Types de MNT

On peut distinguer les MNT selon le type de maillage utilisé :

- Maillage carré/rectangulaire ;
- Maillage hexagonal ;
- Maillage triangulaire régulier ;
- Maillage triangulaire quelconque.

De tous ces types l'on distingue les 2 les plus utilisés qui sont :

- MNT raster (maillage carré régulier)
- MNT TIN (maillage triangulaire irrégulier)

III.1.2.1. Modèle numérique de terrain raster

Un MNT raster est une matrice d'altitudes composée de valeurs numériques régulièrement espacées. Chaque valeur représente une moyenne de l'altitude d'une portion de terrain, formant ainsi un maillage de la surface. La dimension des mailles détermine la résolution planimétrique du MNT, chaque point se trouvant au centre de sa maille. Plus la résolution est élevée, plus le MNT est riche en détails topographiques. Les MNT raster peuvent être produits par diverses méthodes et à partir de différentes sources de données :

A partir de courbes de niveau : On numérise les courbes de niveau créées à partir d'un levé topographique ou une carte pour obtenir un ensemble d'arcs. On détermine ensuite les intersections de ces arcs avec le maillage du MNT à produire, obtenant ainsi un ensemble de points cotés. Ces points servent de base pour interpoler les altitudes à chaque point du maillage et produire l'ensemble du MNT.

A partir de photographies aériennes : Cela nécessite un travail minutieux de photo-interprétation utilisant des paires d'images stéréoscopiques et un stéréo-restitué.

A partir d'images numériques, satellitaires : Des méthodes automatiques de traitement d'images sont employées pour calculer les altitudes à partir de paires d'images stéréoscopiques numériques.

III.1.2.2. Modèle numérique de terrain vecteur

Ce type de MNT utilise des données vectorielles et se construit sur un maillage triangulaire irrégulier. Le MNT TIN (Triangulated Irregular Network) se compose de sommets (points de données topographiques) et de triangles vectoriels. Les MNT TIN sont généralement considérés comme les meilleurs fonds topographiques pour les modèles hydrauliques, bien que les fichiers TIN soient beaucoup plus volumineux que les fichiers raster. Ils permettent d'obtenir un maillage discontinu, particulièrement dense aux endroits présentant un intérêt topographique majeur.

III.1.3. Construction

L'acquisition peut se réaliser de différentes façons :

- Par interférométrie radar ;
- Par stéréoscopie à partir de couples d'images aériennes ou prises par satellite ;
- Par numérisation des courbes de niveau d'une carte ;
- Par saisie directe des coordonnées (x, y, z) des points du terrain, mesurées par triangulation (par des géomètres) ou la sergrammétrie (technique permettant de capturer les coordonnées d'un point en x, y, z au moyen d'un laser) ;
- Par système laser aéroporté (LIDAR).

III.1.4. Exploitation

À partir de la liste des points du maillage, on construit un modèle de surface constitué de triangles adjacents. Pour les maillages non triangulaires, il faut d'abord sélectionner les points à relier en triangles. Dans le cadre de la synthèse d'image, ces triangles sont recouverts d'une texture, restituant ainsi l'apparence générale du terrain, qu'il s'agisse d'une image satellitaire ou d'une carte.

Pour une trajectographie en rase-mottes, on détermine le chemin le plus court et le moins exposé, en s'assurant que chaque point de la trajectoire se trouve au-dessus de la surface définie par le maillage du MNT.

Les systèmes d'information géographique (SIG) intègrent de plus en plus la troisième dimension sous forme de MNT.

III.1.5. Caractéristiques

Trois caractéristiques principales permettent de rapidement évaluer un modèle numérique de terrain et de déterminer son adéquation à un besoin spécifique :

Résolution : la distance entre deux points adjacents du MNT.

Couverture géographique : les zones géographiques pour lesquelles des données sont disponibles.

Qualité des données : dépend de l'application de traitements de correction après la récupération des données. Certaines méthodes d'acquisition peuvent introduire des artefacts, comme des zones brouillées sur les lignes côtières à cause de l'écume des vagues qui perturbe les échos radar, ou des "trous" dus à la présence de nuages lors d'un relevé satellitaire

III.2.PRESENTATION DU LOGICIEL UTILISE (COVADIS)

COVADIS représente l'applicatif d'Auto CAD dédié aux géomètres, aux bureaux d'études VRD, aux entreprises de BTP et aux collectivités locales et territoriales. Il regroupe, en un seul logiciel, l'ensemble des fonctionnalités suivantes :

- Topographie
- Dessin assisté
- Projets de lotissements
- Modèle Numérique de terrain
- Conception 3D
- Terrassement multi plates-formes
- Projets linéaires (voirie, route)
- Réseaux d'assainissement
- Réseaux divers
- Giratoires et épures de giration
- Métrés et bordereaux
- Rendu 3D

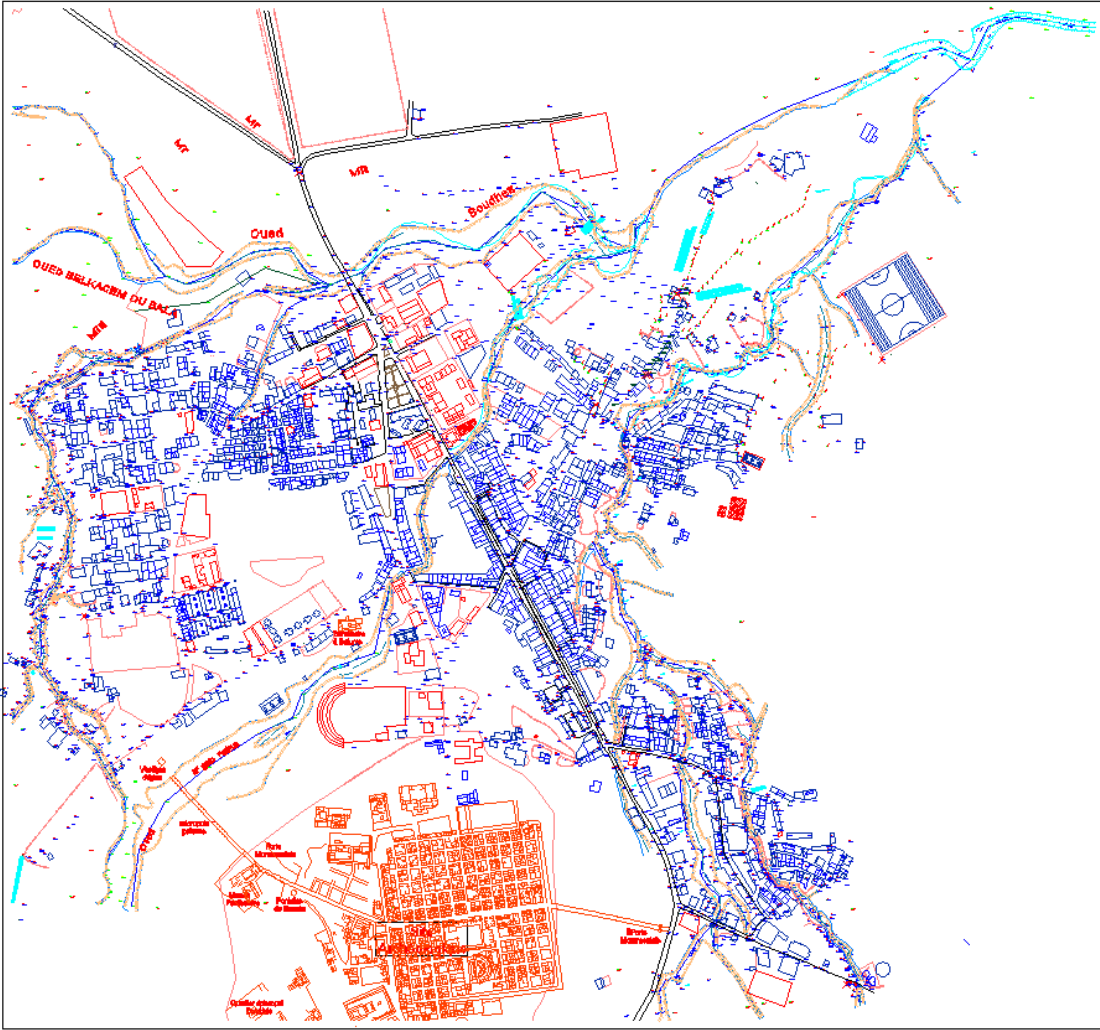


Figure III. 1 Plan de masse de la zone étudiée

MNT AVEC COVADIS

Lors de la conception d'un projet en 3D, le Modèle Numérique de Terrain (MNT) sert de base aux calculs. Il représente l'état initial du site à aménager ou un état intermédiaire résultant d'une phase de calcul précédente. Le MNT est basé sur des points levés, des points connus en XYZ, des points numérisés ou des courbes de niveau.

COVADIS permet la génération automatique d'un MNT à partir d'un semis de points, d'un contour délimitant la zone à modéliser et d'éventuelles lignes de rupture imposées. La méthode de calcul utilisée, la triangulation, construit des triangles aussi équilatéraux que possible. Le modèle numérique obtenu est parfaitement représentatif du terrain modélisé, permettant le calcul de projets 3D et l'analyse du relief.

Pour un projet de réfection de voirie, par exemple, le MNT représentera la voie existante. Il prendra en compte les points levés et les lignes de rupture imposées, caractérisant les fils d'eau, les bordures, les seuils, etc.

Disposant du levé topographique de la ville de Timgad, sous forme de fichier Autocad (.DWG), nous traçons son MNT suivant les étapes illustrées dans la figure ci-dessous :

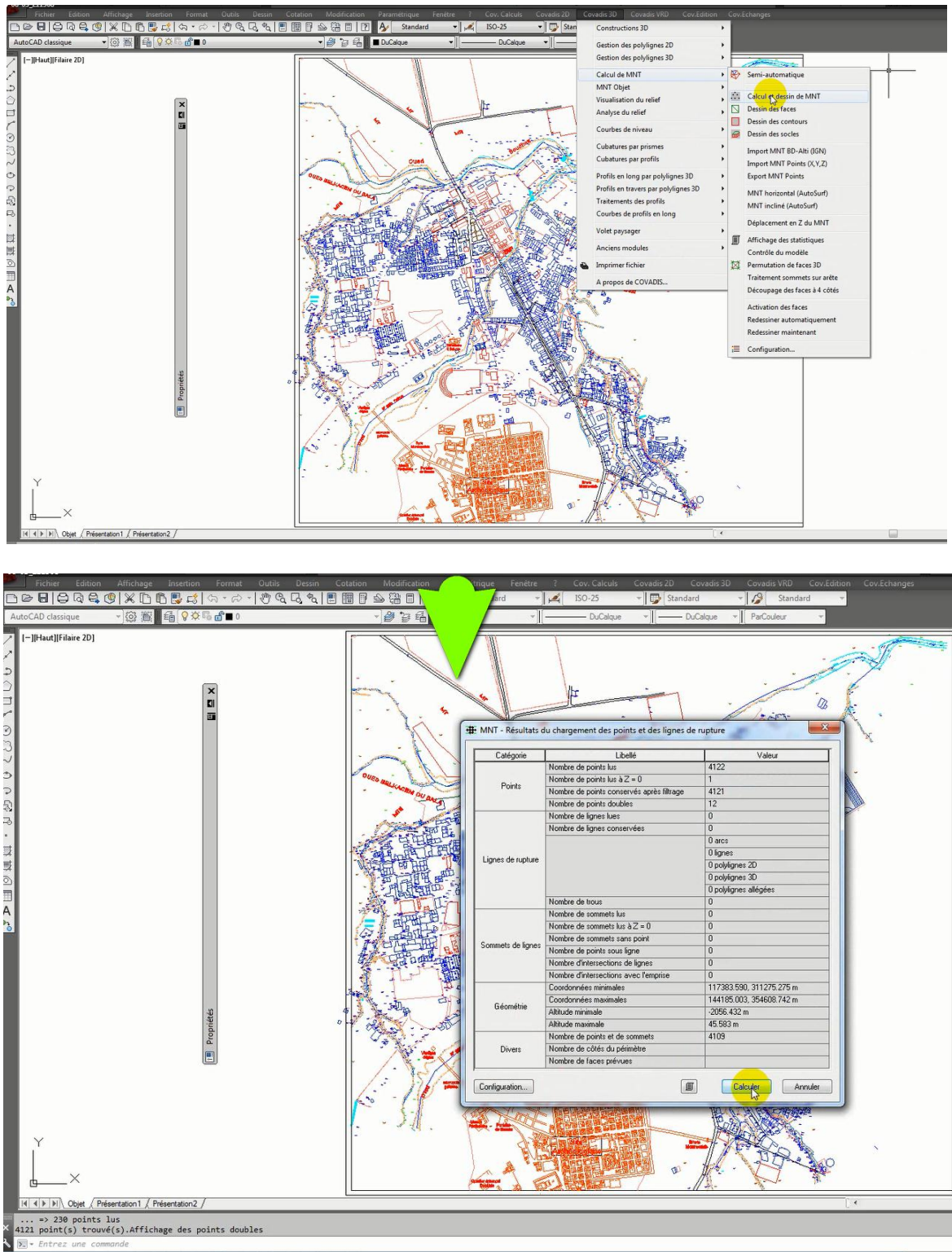


Figure III. . 2 : Calcul du MNT

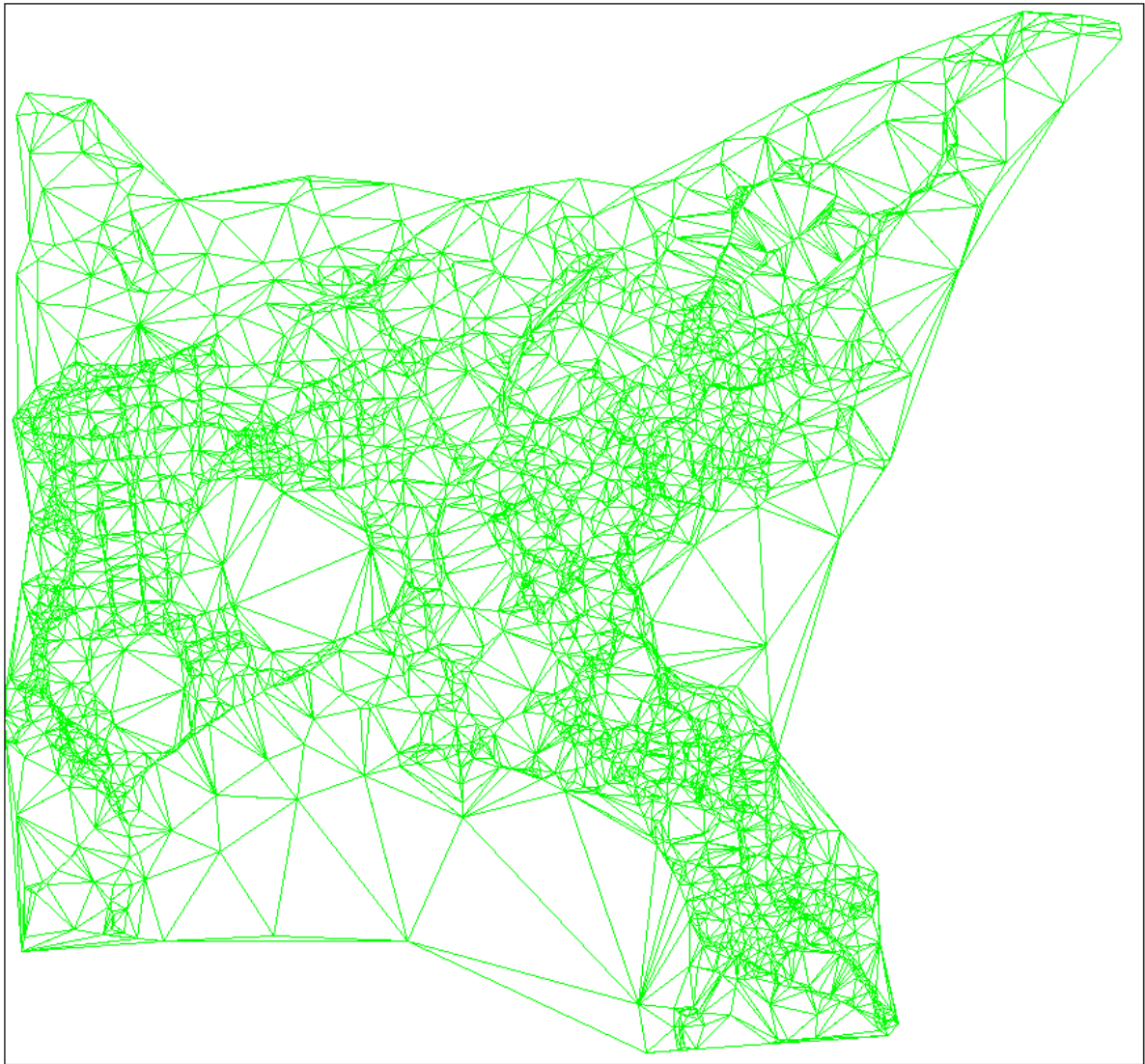


Figure III. 3 : Visualisation du MNT de la ville de Timgad

III.2.2.VISUALISATION ET ANALYSE DU RELIEF

Le MNT calculé peut être visualisé sous forme d'un maillage triangulaire, rectangulaire ou d'une suite de sections. Le relief est mis en valeur grâce à des fonctions de coloriage thématique par altitude ou par pente.

L'opérateur peut afficher les coordonnées d'un point ou la pente d'une face en déplaçant simplement le curseur sur le MNT.

III.2.3. COURBES DE NIVEAUX

COVADIS interpole, dessine et lisse automatiquement les courbes de niveaux à partir du MNT. La plage altimétrique, l'équidistance, la méthode de lissage et la représentation graphique des courbes restent entièrement paramétrables. L'opérateur peut également choisir la méthode de cotation des courbes.

Nous tracerons les courbes de niveau suivant les étapes montrées dans la figure suivante :

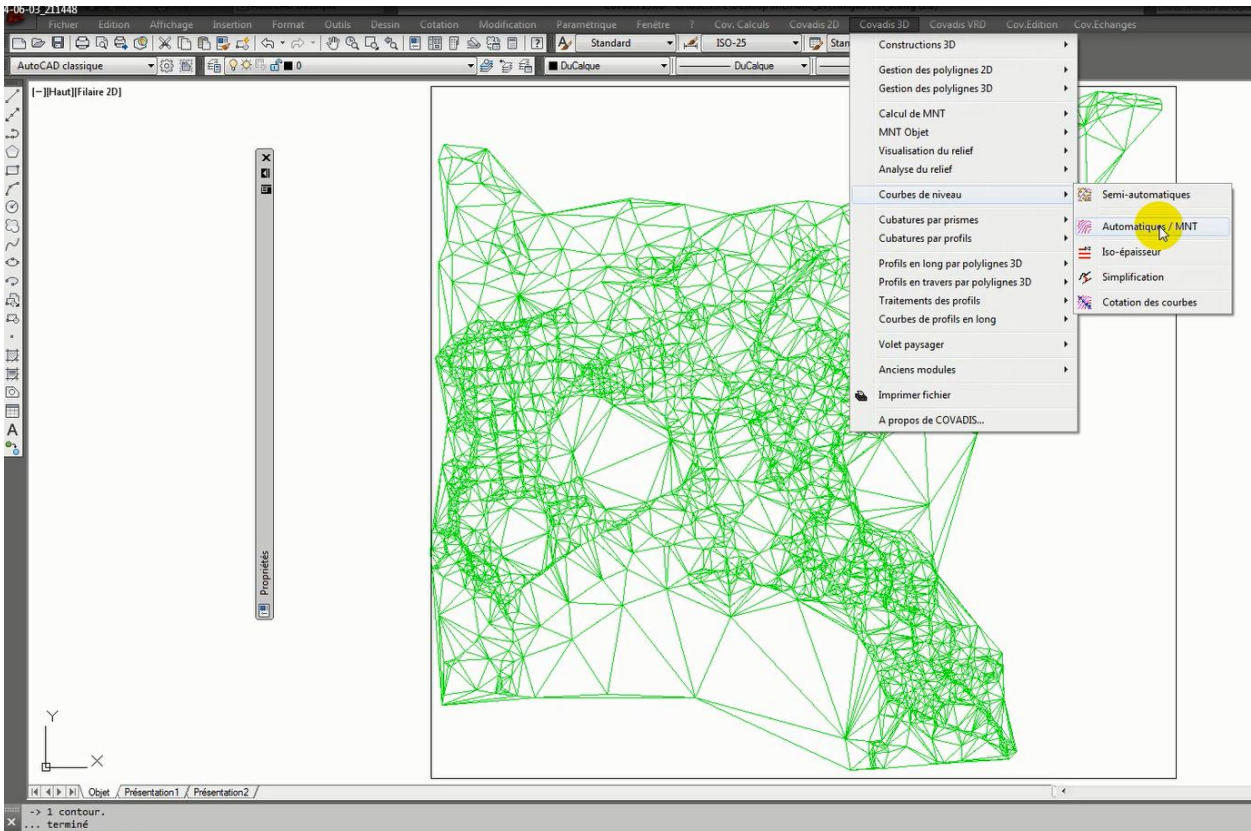


Figure III. 4 : Tracé des courbes de niveau

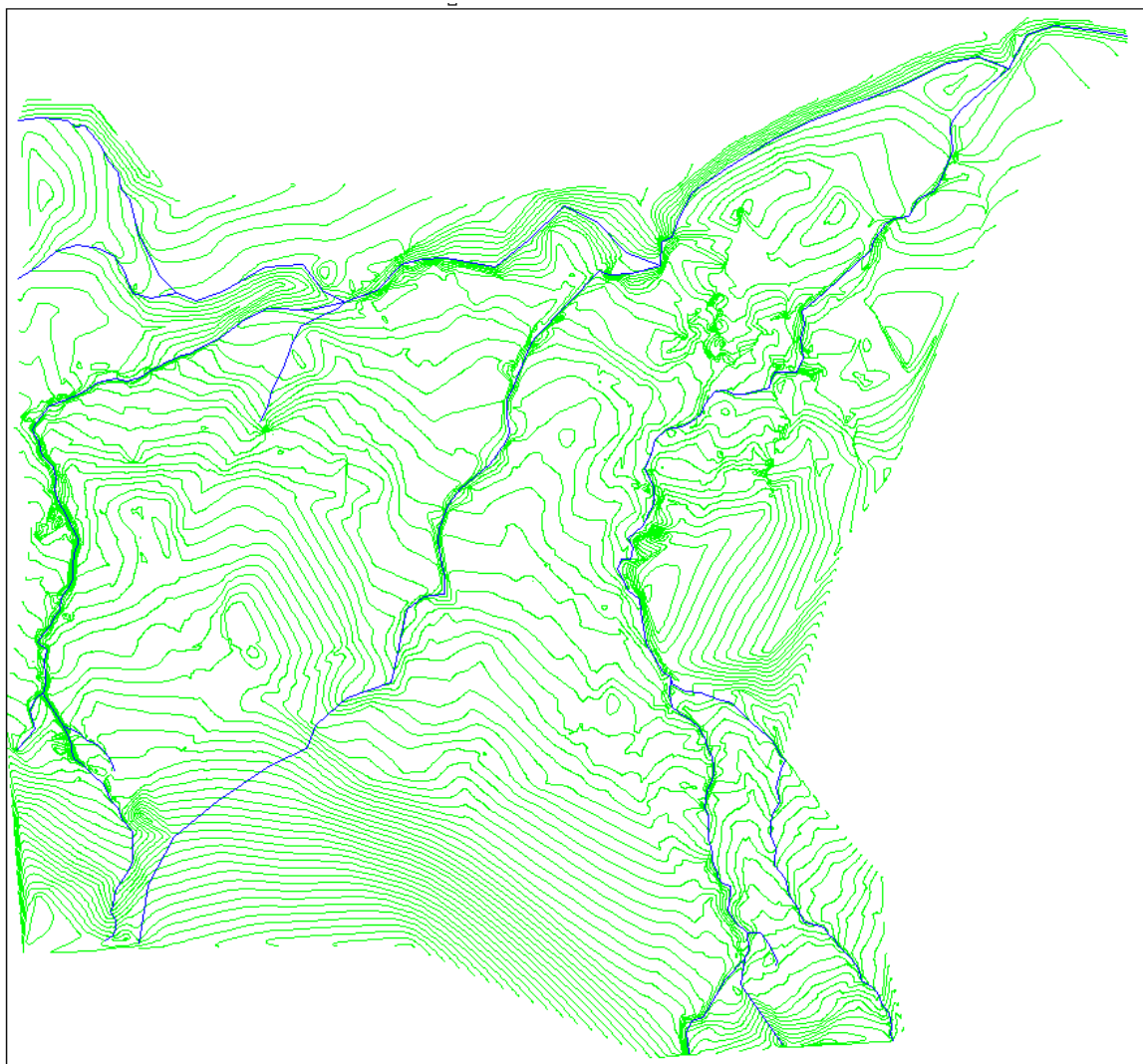


Figure III. 5 : Visualisation des courbes de niveaux et des talwegs traversant la ville de Timgad

QUATRIEME CHAPITRE

APPLICATION DU MODELE HEC RAS 2D DANS LA VILLE DE TIMGAD

IV.1. PRESENTATION DU LOGICIEL UTILISE (HEC RAS)

IV.1.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous avons utilisé l'outil HEC-RAS pour réaliser une modélisation hydraulique, visant à simuler la propagation des débits calculés dans les talwegs traversant la ville étudiée et ses zones limitrophes. L'objectif était de déterminer le niveau maximal de l'eau afin de délimiter les zones inondables.

IV.1.2 présentation du logiciel HEC RAS

HEC-RAS, ou Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique), est un logiciel de modélisation hydraulique conçu pour simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Ce modèle unidimensionnel ne permet pas de modéliser directement les variations hydrauliques dues aux changements de forme de la section transversale, aux coudes, ou autres aspects d'un écoulement en 2D ou 3D.

Développé par le corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis pour le ministère américain de la Défense, HEC-RAS sert à gérer les rivières et les ports, à analyser les débits fluviaux et à déterminer les zones inondables. Le programme offre de nombreux moyens de saisie de données, des composants d'analyse hydraulique, des options de stockage des données, ainsi que des outils d'édition de rapports sous forme de tableaux et de graphiques.

Grâce au soutien continu de l'USA Army Corps of Engineers, HEC-RAS bénéficie de constantes améliorations et est reconnu par de nombreux organismes gouvernementaux et entreprises privées. Ce logiciel libre et appartenant au domaine public est disponible en téléchargement gratuit sur le site du Hydrologic Engineering Center.

IV.2. METHODOLOGIE

La modélisation est un outil essentiel pour comprendre la répartition et l'ampleur géographique (géométrique) d'un phénomène. Notre approche de modélisation et de mesure de l'ampleur des inondations repose sur deux études principales :

L'étude hydrologique vise à estimer les débits de pointe et les hydrogrammes de crues correspondant aux différentes périodes de retour (10, 50, 100, 1000 ans) dans les talwegs traversant la zone de l'étude et dans oued Soudhes.

L'étude hydraulique consiste à simuler la propagation des crues dans les talwegs traversant la ville ainsi que dans l'oued Soudhes, qui contourne la ville par le nord. Elle commence par fournir les éléments de base nécessaires au fonctionnement du modèle hydraulique et à identifier les zones à risque d'inondation dans le bassin. Les étapes de ce processus sont les suivantes :

- Création du MNT de la ville de Timgad
- Identification des débits correspondant aux différentes périodes de retour et des conditions aux limites des débits (de différentes périodes de retour) et les conditions aux limites.
- Visualisation des résultats sous forme graphique.

Le schéma ci-dessous présente les différentes étapes à suivre.

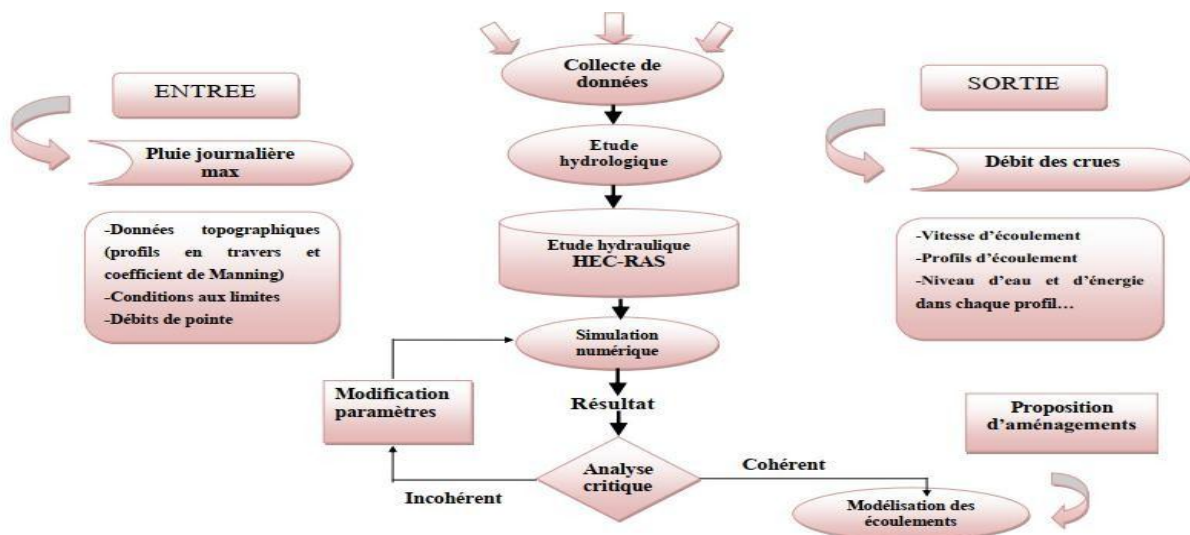


Figure IV.1 : Schéma méthodologique

IV.3. Conception du modèle numérique du terrain (MNT)

Afin de pouvoir concevoir le modèle numérique de la zone d'étude, nous avons procédé comme suit :

En utilisant le logiciel Global Mapper, nous avons transformé le modèle numérique du terrain (MNT) de notre zone d'étude créée par Covadis en fichier Raster pour Hec Ras comme montre la Figure IV .2

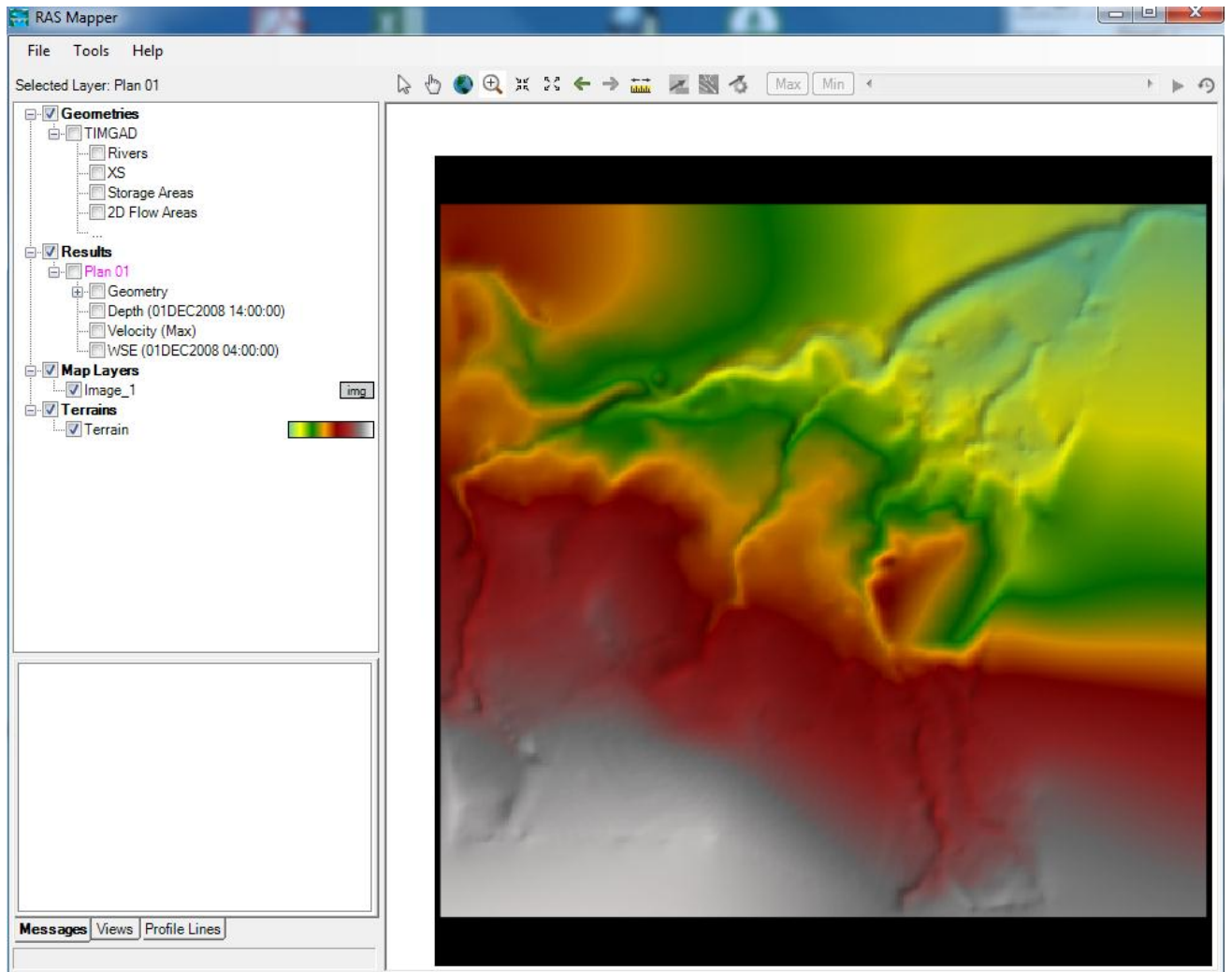


Figure IV.2 :Modèle Numérique du terrain MNT

IV3.4 Délimitation du bassin versant

Afin de pouvoir délimiter les bassins versants de l'étude, nous avons utilisé le logiciel ArcGis qui se base sur la délimitation de la surface des sous bassin qui contribuent à l'écoulement dans le cours d'eau principal qu'est Oued Soudhes contournant la ville de Timgad du Nord et dans les talwegs traversant cette ville.

La Figure IV.3 montre les sous bassins versants des talwegs traversant la ville et le bassin versant de l’oued Soudhes contournant la ville du Nord.

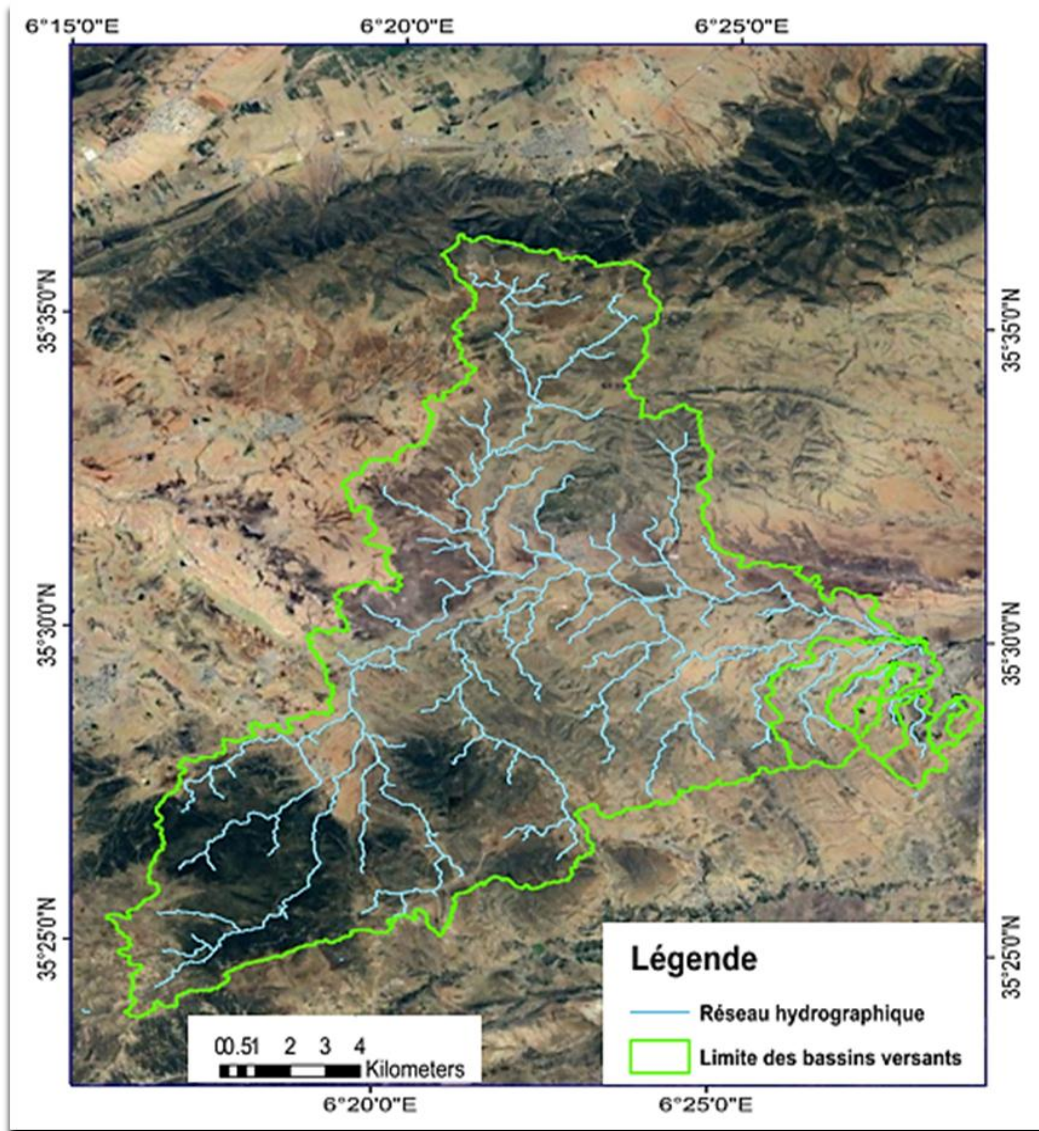


Figure IV.3 : Délimitation des sous bassins versants des talwegs traversant la ville et le bassin versant de l’oued Soudhes contournant la ville du Nord.

IV.4. Simulation bidimensionnelle

Le modèle Hec Ras représente le terrain comme une surface continue à travers un maillage ou une grille. Afin d'améliorer le temps de calcul, HEC-RAS utilise une approche de sous-grille, qui utilise une grille de calcul relativement grossière et des informations à plus petite échelle sous-jacentes à la topographie (Les équations bathymétriques du sous-réseau sont dérivées des équations complètes des eaux peu profondes et des ondes de dispersion).

En supposant que l'équation gouvernante représente un fluide incompressible, la forme différentielle instationnaire de conservation de la masse devient :

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

Où t est le temps, q est le terme source/puits, et u et v sont des composantes de vitesse dans les directions x et y , respectivement. L'élévation de la surface de l'eau H est définie comme la somme de l'élévation de la surface $z(x, y)$ et de la profondeur de l'eau $h(x, y, t)$. L'équation de conservation de la masse bathymétrique de la sous-grille HEC-RAS est alors représentée par :

$$\frac{\Omega(H^{n+1})}{\Delta t} \sum_k V_k n_k A_k(H) + Q = 0$$

Où Ω est l'espace tridimensionnel volumétrique occupé par le fluide, Q représente le terme source/puits qui traverse la surface inférieure (infiltration) et supérieure (pluie/évaporation), les termes en exposant n et $n + 1$ représentent les pas de temps d'indice entre deux pas de temps consécutifs Δt , sont la vitesse moyenne, l'aire et le vecteur normal unitaire à la face k .

Le modèle 1D de HEC-RAS a été largement utilisé dans l'analyse des crues des rivières, ainsi que leur modèle bidimensionnel. Dans ses dernières versions, HEC-RAS a ajouté la possibilité d'effectuer un routage combiné 1D et 2D à écoulement instable dans le modèle d'écoulement instable, permettant de travailler sur un système fluvial plus vaste et de mettre en œuvre une modélisation 2D uniquement dans les zones qui nécessitent un niveau de précision plus élevé d'hydrodynamique.

IV.5. Etapes de la simulation :

Dans cette étude nous avons créé un modèle de simulation bidimensionnelle par les étapes suivante :

- ✚ Tracer le modèle numérique de terrain (MNT) (Figure IV.2) ;
- ✚ Tracer le périmètre de la zone 2d et maillage de zone d'étude (Figure IV.4) ;
- ✚ Introduction des conditions aux limites (hydrogrammes des crues fréquentielles) (Figure IV.5) ;
- ✚ Simulation les débits fréquentielles (Figure IV.6) ;
- ✚ Résultats (Figure IV.7, ..., 18).

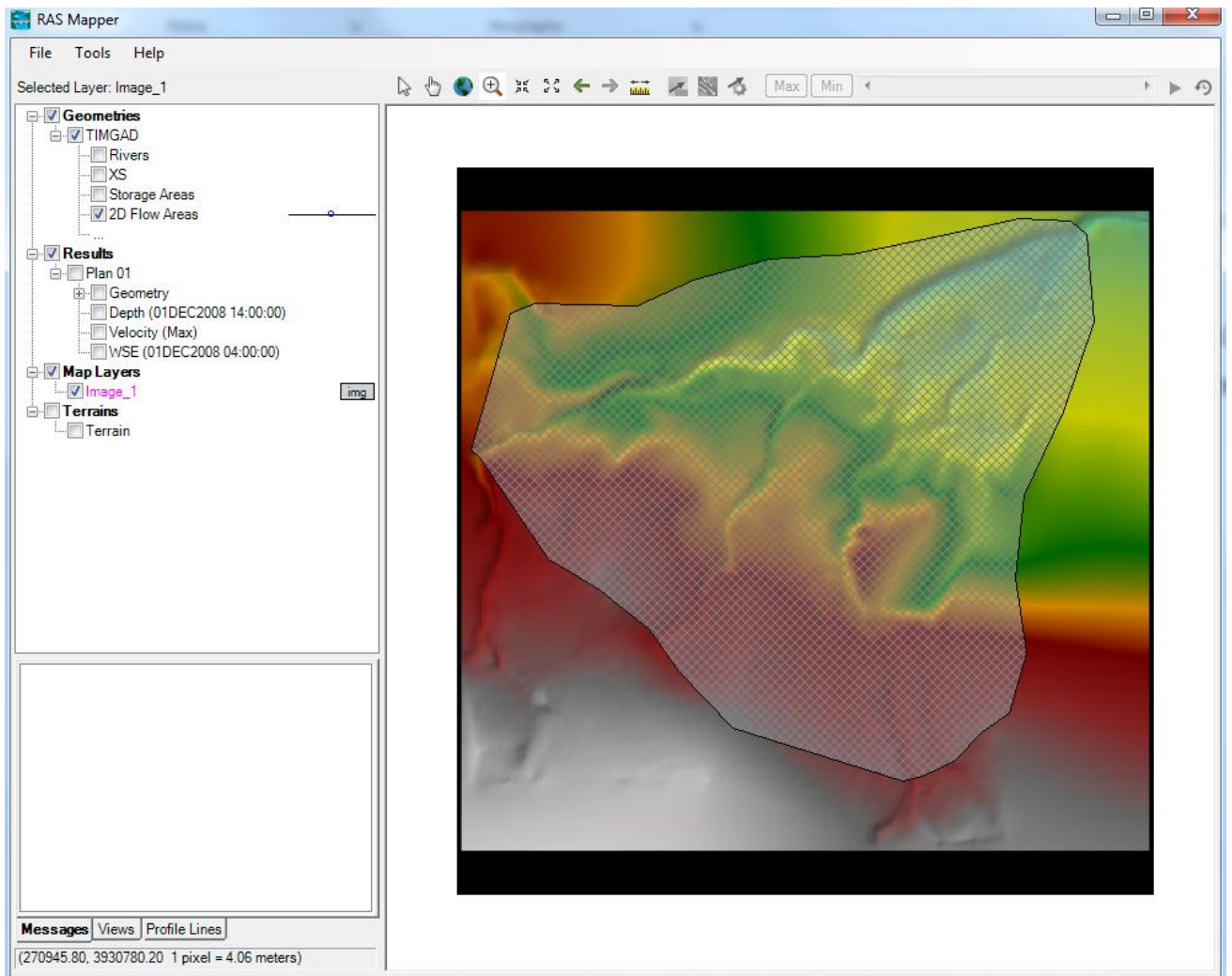


Figure IV.4 : Le périmètre et le maillage

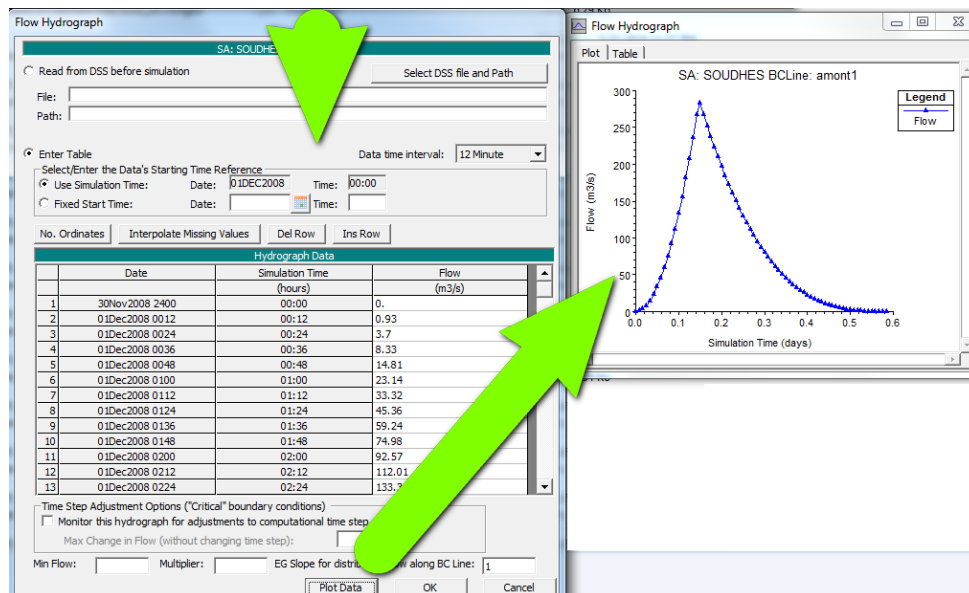
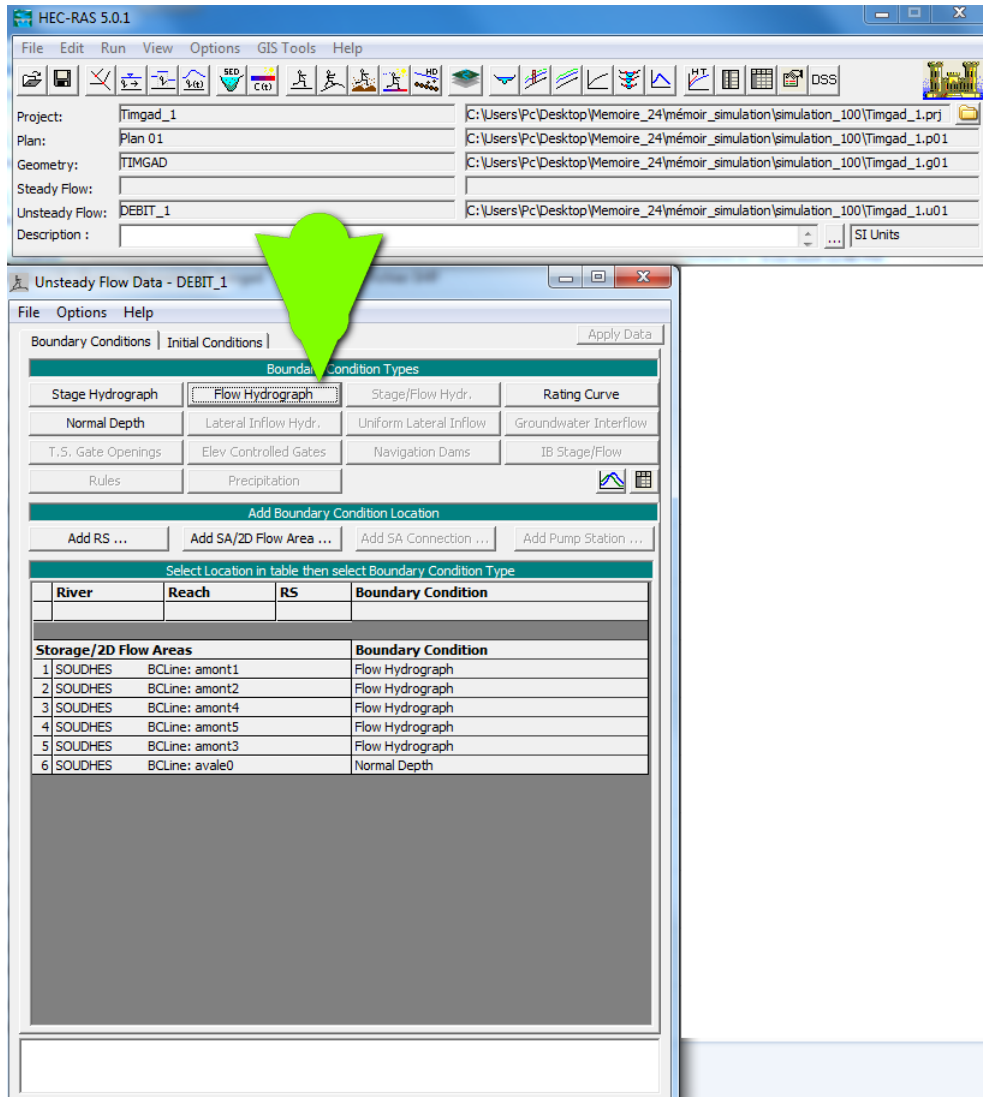


Figure IV.5 : Introduction des conditions aux limites

La figure IV. 6 suivante montre le plan de simulation :

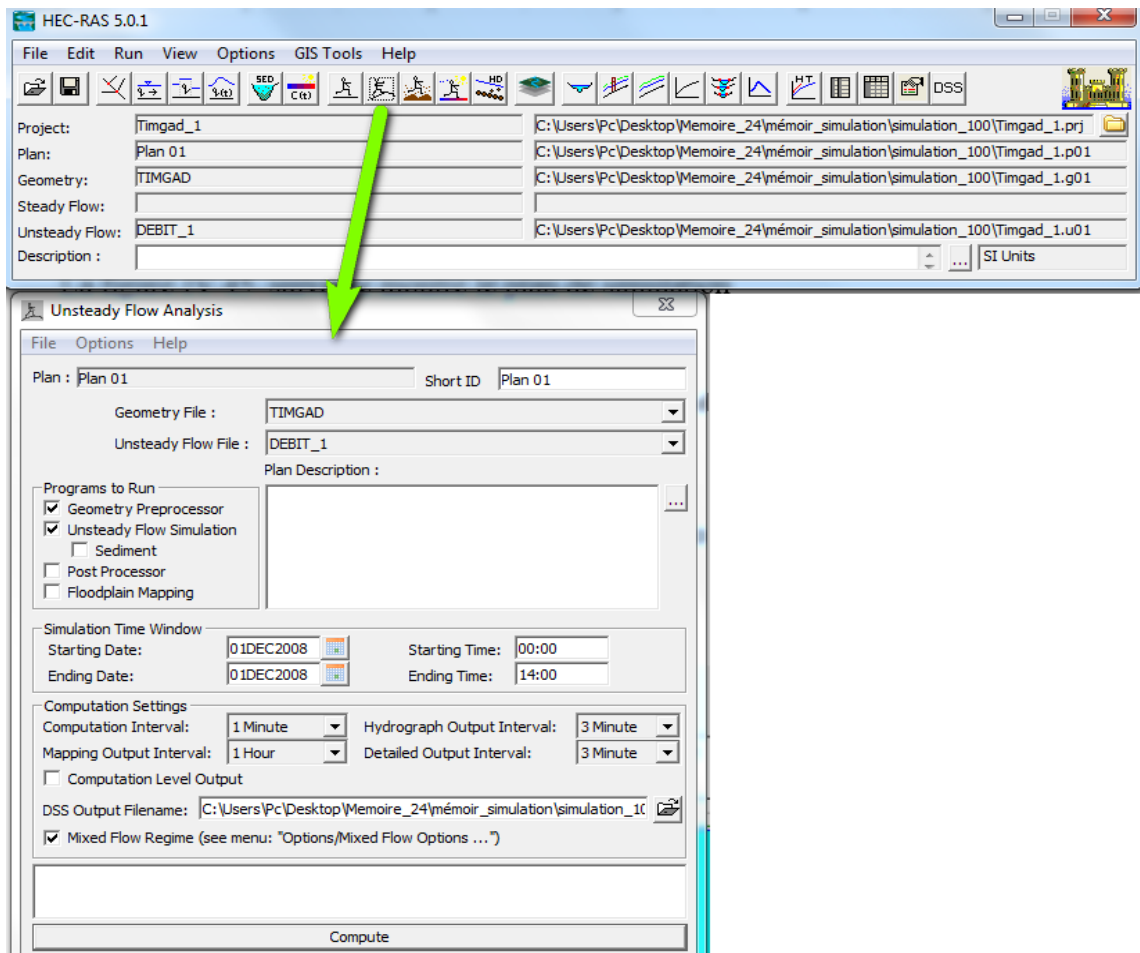


Figure IV.6 : plan de simulation 2D

IV.6. Résultat et discussion

Le plan d'eau correspond à des hauteurs de l'eau plus élevées pour le cas de crue décennale :

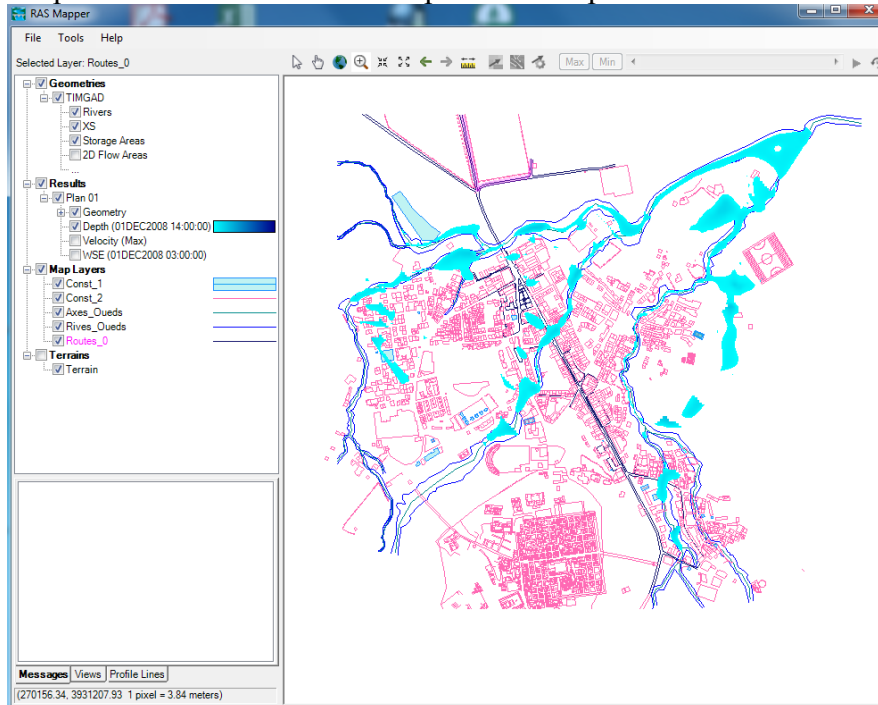


Figure IV.7 : Hauteurs maximale d'eau pour la crue de période de retour 10 ans

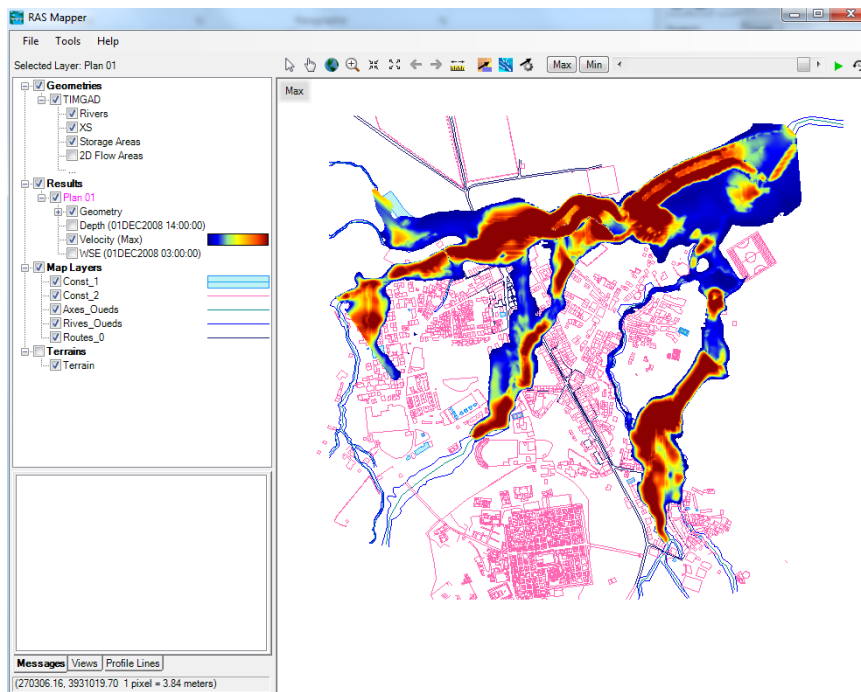


Figure IV.8 : Vitesses d'écoulement maximale pour la crue de période de retour 10 ans

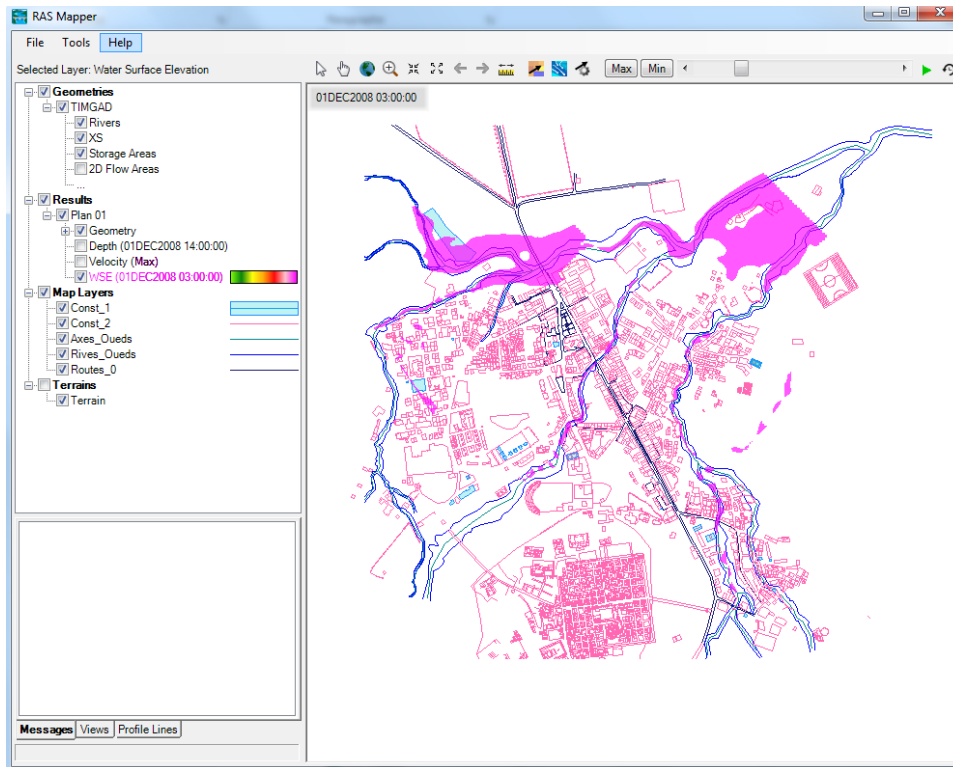


Figure IV.9 : Zones inondables pour la crue de période de retour 10 ans

Le plan d'eau correspond à des niveau de l'eau plus élevées pour le cas de crue cinquantennale :

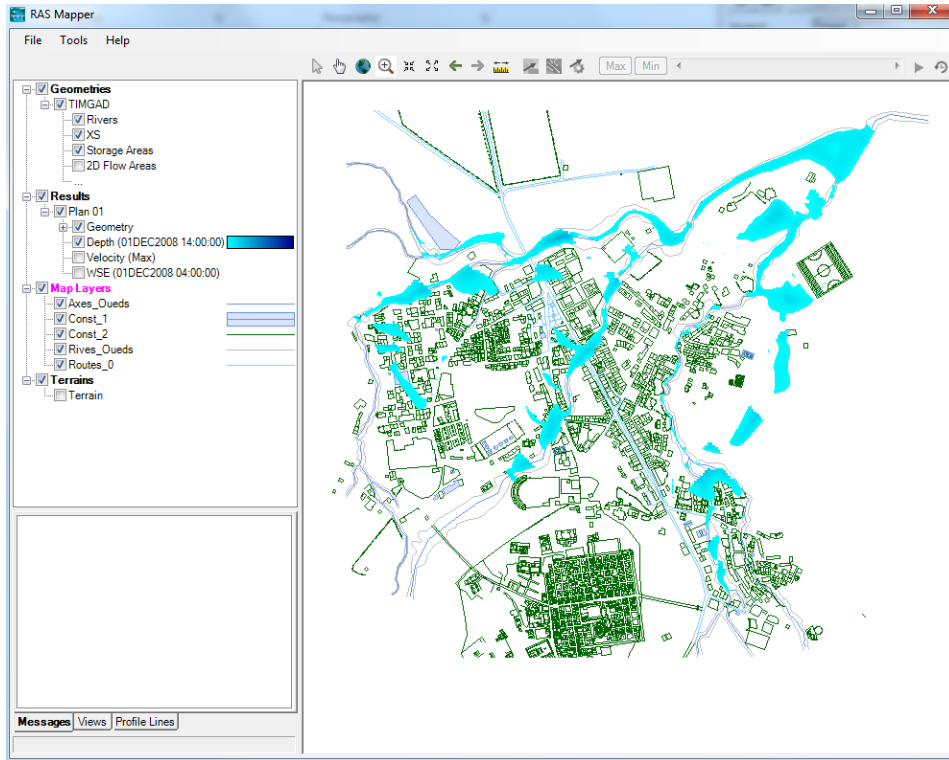


Figure IV.10 : Hauteurs maximale d'eau pour la crue de période de retour 50 ans

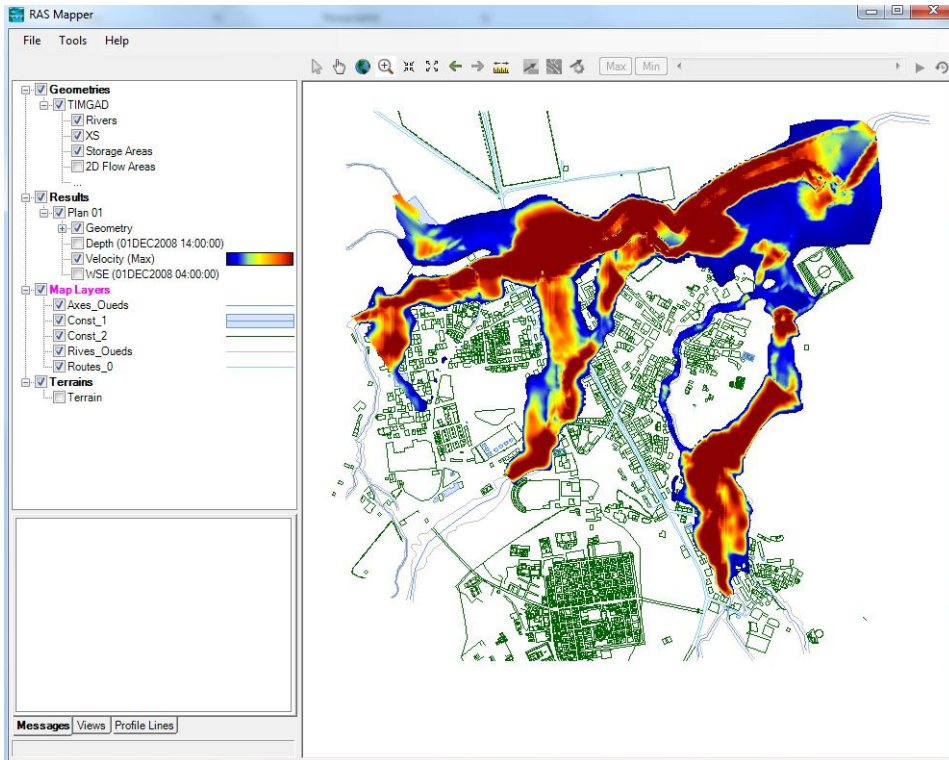


Figure IV.11 : Vitesses d'écoulement maximale pour la crue de période de retour 50 ans

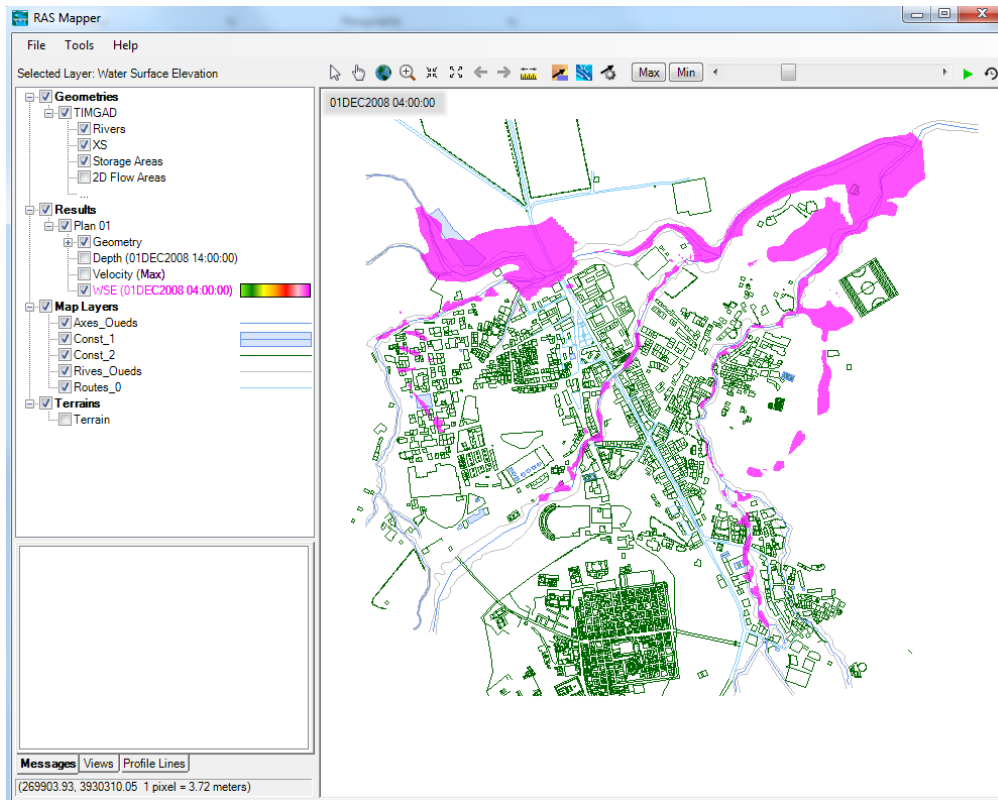


Figure IV.12 : Zones inondables pour la crue de période de retour 50 ans

Le plan d'eau correspond à des niveau de l'eau plus élevées pour le cas de crue centennale :

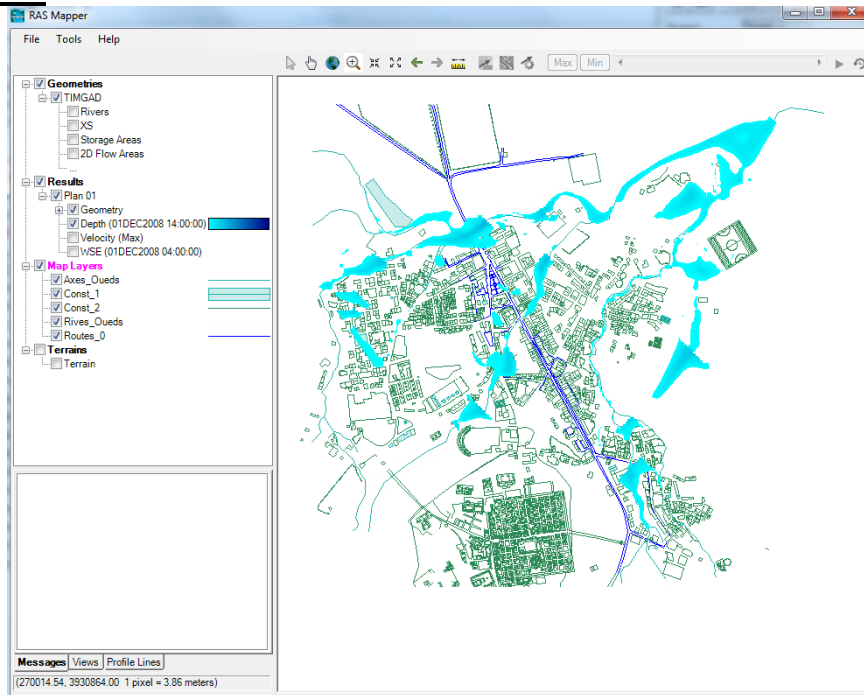


Figure IV.13 : Hauteurs maximale d'eau pour la crue de période de retour 100 ans

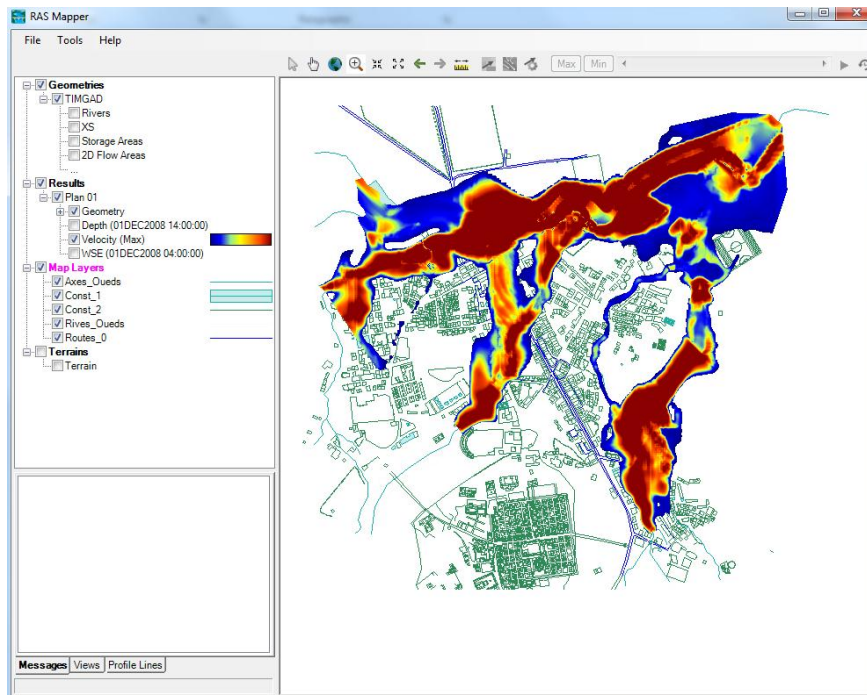


Figure IV.14 : Vitesses d'écoulement maximale pour la crue de période de retour 100 ans

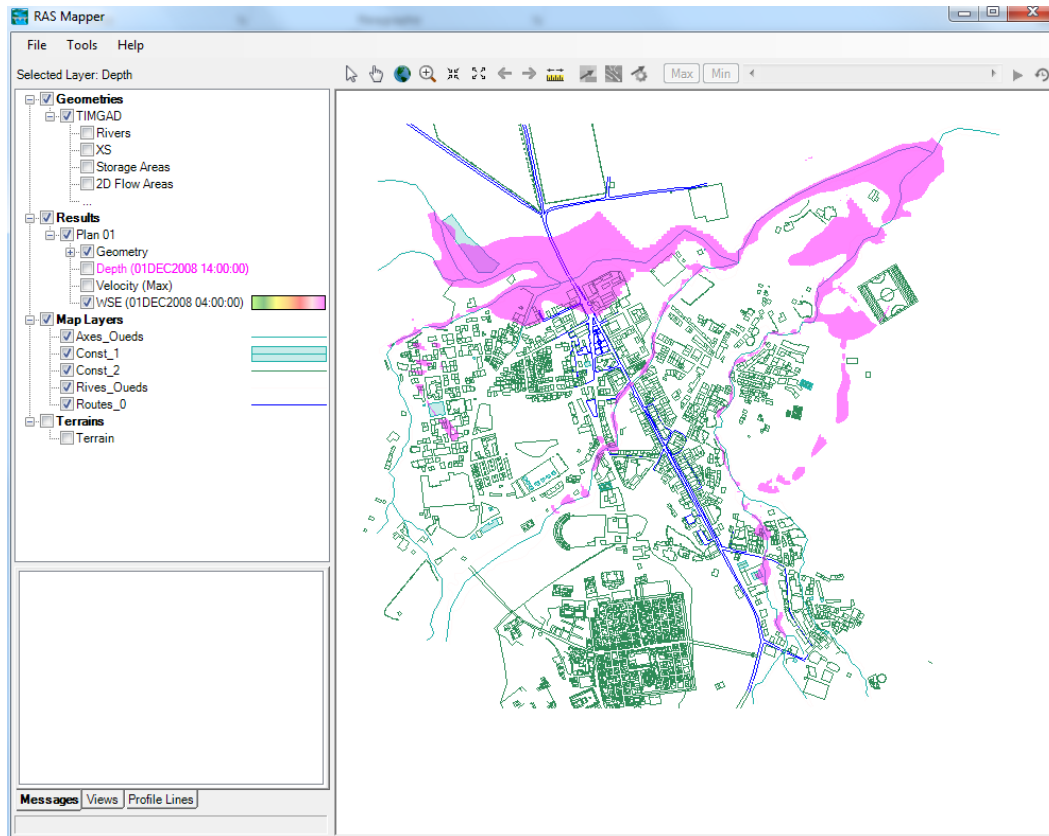


Figure IV.15 : Zones inondables pour la crue de période de retour 100 ans

Le plan d'eau correspond à des hauteurs de l'eau plus élevées pour le cas de crue millénaire :

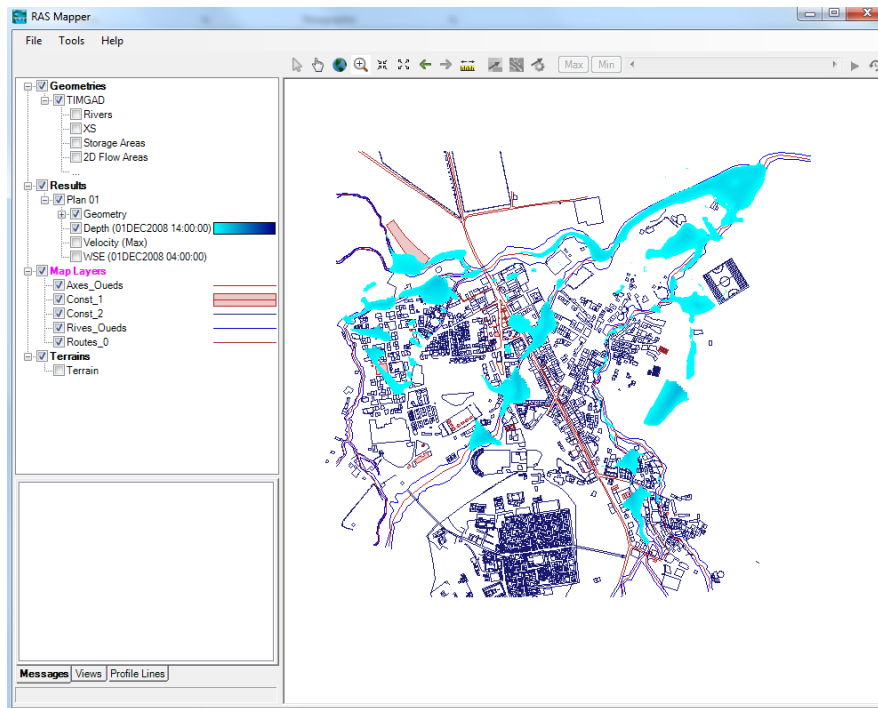


Figure IV.16 : Hauteurs maximale d'eau pour la crue de période de retour 1000 ans

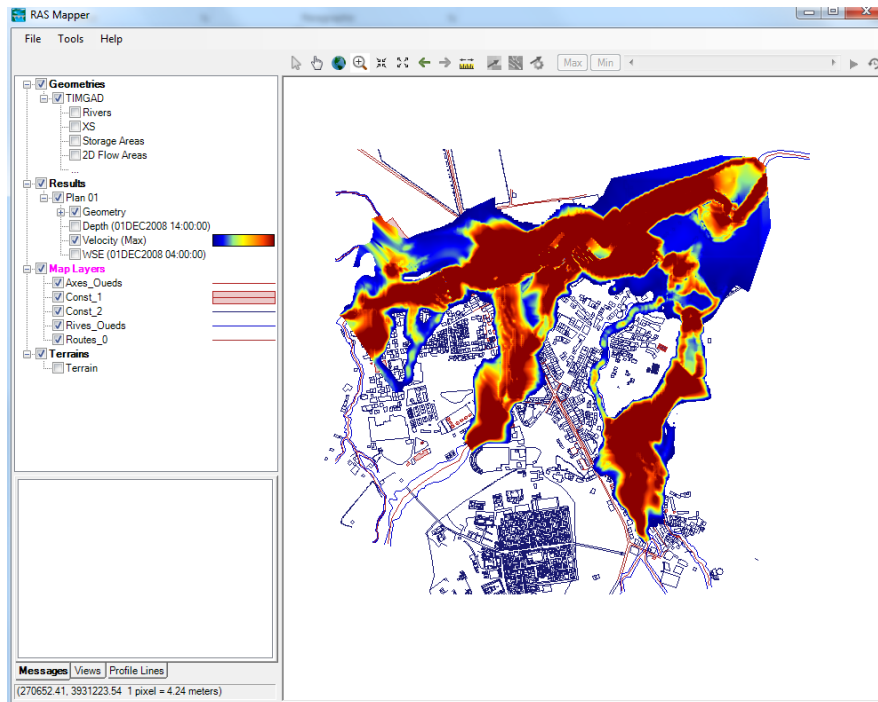


Figure IV.17 : Vitesses d'écoulement maximale pour la crue de période de retour 1000 ans

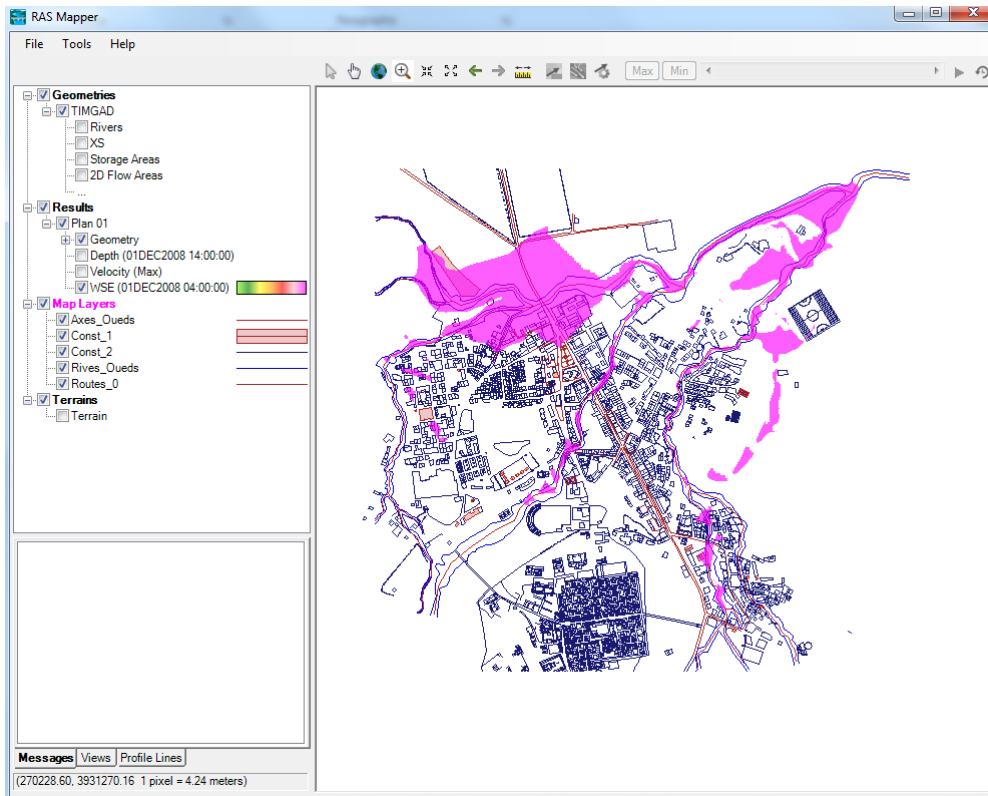


Figure IV.18 : Zones inondables pour la crue de période de retour 1000 ans

Nous signalons que la simulation bidimensionnelle a donné des résultats appropriés et satisfaisants dont aucune instabilité du modèle n'a été constatée le long de tous les talwegs traversant la ville et le long d'oued Soudhes.

Les vitesses sont importantes dans les tronçons des cours d'eau caractérisés par des pentes élevées et des surfaces inondables faibles.

Ces tronçons se situent surtout dans la partie Sud et centrale de la ville.

Tandis que les tronçons des cours situés au Nord (Partie amont d'oued Soudhes) et au Nord Est de la ville (Partie aval d'oued) sont caractérisés par des pentes et vitesses faibles et des surfaces d'inondations importantes.

Dans cette partie, nous avons procédé, en utilisant le logiciel HEC RAS, à l'évaluation du risque d'inondation par la simulation bidimensionnelle de la propagation des crues fréquentielles provenant du bassin versant d'Oued Soudhes et des sous bassins versants des talwegs traversant la ville. La simulation a montré que la section et la forme actuelle d'oued Soudhes limitant la ville du Nord dans sa partie Amont à l'entrée de la ville et celles du oued Ait Freh limitant la ville de l'Est dans sa partie aval à la sortie de la ville en aval du stade de la ville, ne pourront pas véhiculer

les crues fréquentielles (de la période de retour 10 ans jusqu'à 1000 ans avec des échelles différentes), dont nous recommandons l'aménagement des deux oueds dans ces endroits.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous avons étudié, à l'aide de simulations bidimensionnelles, le comportement hydraulique des cours d'eau traversant la ville de Timgad face aux crues fréquentes de différentes périodes de retour.

Nous avons débuté notre étude par la présentation de la zone d'étude.

Ensuite, nous avons réalisé une étude hydrologique pour calculer les débits des crues fréquentes, servant de base pour la simulation hydraulique du comportement des cours d'eau.

Dans la troisième partie, conformément aux exigences de l'étude, nous avons créé le modèle numérique de terrain (MNT) à partir du levé topographique de la ville de Timgad.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous avons utilisé le logiciel HEC RAS pour déterminer les zones inondables par la simulation bidimensionnelle de la propagation des crues fréquentes provenant du bassin versant de l'Oued Soudhes et des sous-bassins versants des cours d'eau traversant la ville.

La simulation a montré que la section et la forme actuelle d'oued Soudhes limitant la ville du Nord dans sa partie Amont à l'entrée de la ville et celles du oued Ait Freh limitant la ville de l'Est dans sa partie avale à la sortie de la ville en aval du stade de la ville, ne pourront pas véhiculer les crues fréquentielles (de la période de retour 10 ans jusqu'à 1000 ans avec des échelles différentes), dont nous recommandons l'aménagement des deux oueds dans ces endroits.

Il convient de noter que nous avons effectué plusieurs tentatives de simulation en modifiant à la fois la taille du maillage et le pas de temps afin d'obtenir une simulation bidimensionnelle stable de la propagation des crues fréquentes.

Références bibliographiques

- [1] ANNE-MARIE LAROCHE et All. (2017), Cartographie des zones inondables des terres intérieures de bassins versants non jaugés PHASE II – Modélisation hydraulique laboratoire des sciences hydriques et climatiques Université de MONCTON CANADA.
- [2] Mr ASSEB MOHAMED. Mr TOUHAMI AHMED . Contribution à l'évaluation du risque d'inondation par la simulation bidimensionnelle de la propagation des crues. Cas de Oued Sidi El Kebir dans la ville de Blida Mémoire de Master 2021.
- [3] BOUMESSENEGH,A (2007). "Les inondations dans la ville de BISKRA causes et impacts". Mémoire de Magistère de l'université HADJ LAKHDAR BATNA, 23, 24, 25, 26,29 pages.
- [4] MALIKA EL-HAMDOUNY et All, (2018) Délimitation des zones inondables basée sur le calcul hydrologique et la modélisation hydraulique : Cas du centre de MALAL dans la province de TAZA (MAROC).
- [5] Mohammed Ali, Abdelkebir, B (2017). Protection contre les inondations par l'utilisation d'ARC GIS, HEC GEO RAS et HEC RAS. Cas de la ville d'El-Kseur W. Bejaia (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [6] RAHAI, A. (2007). "Délimitation des zones inondables -application a l'oued Allalah- bassin versant de Ténès". Mémoire de Magistère de l'école nationale polytechnique d'Alger, 104 pages.
- [7] River Analysis System HEC-RAS : Version 6.0: Hydraulic Reference Manual, et application GUIDE. US Army Corps of Engineers. Mars 2008.
- [8] River Analysis System HEC-RAS :Version 6.0: User's Manuel Hydrologic Engineering Center (HEC). US Army Corps of Engineers.
- [9] SEDDIKI Housseem-Eddine (2017) Détermination des zones inondables via HEC-RAS en vue de la protection de la ville de Biskra Thèse de Magister ENP Alger.