

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DÉPARTEMENT HYDRAULIQUE
LABORATOIRE DE RECHERCHE MATÉRIAUX DE GÉNIE CIVIL ET ENVIRONNEMENT
Mémoire de projet de fin d'études
POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR D'ÉTAT EN HYDRAULIQUE

Liaison Autoroutière Est-Ouest Batna, Études Hydrologique & Hydraulique

Présenté par :
M. BOUAMAMA Abderaouf
M. BOUCETTA Akram Abdelmoukit
Sous la direction de Pr. BERMAD Abdelmalek
Soutenu publiquement le 25/06/2023

Composition du jury :

Président	Mr. BOUSBAL M'hamed	MCB	ENP
Promoteurs	Mr. BERMAD Abdelmalek	Pr	ENP
	Mr. FAOUCI Yacine	ING	GCB Engineering
Examineurs	Mr. LEFKIR Abdelouahab	Pr	ENSTP
	Mr. OULBSIR Rafik	MCB	USTHB

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DÉPARTEMENT HYDRAULIQUE
LABORATOIRE DE RECHERCHE MATÉRIAUX DE GÉNIE CIVIL ET ENVIRONNEMENT
Mémoire de projet de fin d'études
POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR D'ÉTAT EN HYDRAULIQUE

Liaison Autoroutière Est-Ouest Batna, Études Hydrologique & Hydraulique

Présenté par :
M. BOUAMAMA Abderaouf
M. BOUCETTA Akram Abdelmoukit
Sous la direction de Pr. BERMAD Abdelmalek
Soutenu publiquement le 25/06/2023

Composition du jury :

Président	Mr. BOUSBAL M'hamed	MCB	ENP
Promoteurs	Mr. BERMAD Abdelmalek	Pr	ENP
	Mr. FAOUCI Yacine	ING	GCB Engineering
Examineurs	Mr. LEFKIR Abdelouahab	Pr	ENSTP
	Mr. OULBSIR Rafik	MCB	USTHB

Remerciement

Nous commençons par remercier dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce travail.

Nos plus vifs remerciement vont aux :

Nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences le long de notre parcours.

Notre promoteur , le professeur **BERMAD Abdelmalek**, pour son soutien précieux tout au long de notre projet.son orientation , son expertise et sa disponibilité ont été d'une grande aide pour notre réussite.

Nous lui sommes profondément reconnaissants pour son dévouement et son engagement envers notre réussite académique.

Sans oublier l'aide précieuse qui nous a effectué été apportée par **M.FAOUCI Yassine** et **M.BELKACEMI Mohamed** et toute l'équipe de la société GCB de Boudouaou où on a effectuer notre stage de projet fin d'études .

nous remercions également le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

A tous nos amis proches et à toute la promotion 2023 d'hydraulique

ملخص

نمو اقتصاد البلد يستند بشكل رئيسي على تطوير البنية التحتية للطرق الضرورية لنقل الأفراد والبضائع. الماء هو أول عدو للطريق حيث يؤثر على قابلية الطريق للاستخدام من جهة، ومشكلة عمر المشروع من جهة أخرى، ومن هنا يأتي أهمية حماية الطريق من تأثيرات المياه الضارة. يقال عن طريق التنمية يبدأ بتطوير الطرق. وفي هذا الإطار، بدأت الجزائر برنامجًا طموحًا منذ بداية التسعينيات من القرن الماضي لتطوير قطاع النقل وفي الوقت نفسه المساهمة في ربط المناطق في البلاد. ويعتبر الطريق الرابط بين ولاية باتنة و الطريق السريع شرق غرب الذي يمتد على مسافة 42 كيلومتر جزءًا من هذا البرنامج. تركز هذه الدراسة على الدراسات التقنية لهذا المشروع بهدف تصميم جميع المنشآت العابرة لتصريف المياه الطبيعية وضمان سلامة المستخدمين والمنشآت ضد جميع الأخطار التابعة. لتحقيق هذا الهدف، تمت مناقشة عدة جوانب في الدراسات، بما في ذلك تحديد حدود الأحواض المائية باستخدام أساليب يدوية مختلفة (جوجل إيرث) وأساليب رقمية (جلبل بيبير)، وتحديد تصريفات المشروع المختلفة (عشرية، خمسينية، مئوية) واختيار نوع المنشأة (قناة، بيارة، إلخ) من خلال دراسات هيدرولوجية وهيدروليكية، وأجريت أيضًا عمليات التصميم للمنشآت لضمان التوافق مع المعايير المتعلقة بتصميم المنشآت الهيدروليكية.

الكلمات الرئيسية: التصريف، الطريق السريع، التدفق، حوض التصريف، قنوات الصرف

Abstract

The economic growth of a country is mainly based on the development of essential road infrastructures for the transportation of individuals and goods. Water is the primary enemy of the road as it affects the viability of the pavement and the longevity of the structure. Hence, it is necessary to protect against the harmful effects of water.

They say, "The road to development goes through the development of roads." It is in this perspective that Algeria has initiated an ambitious program since the early 1990s to develop the transportation sector and, at the same time, contribute to the opening up of regions in the country. The East-West highway link - Batna, which spans 42 km, is part of this program.

This study focuses on the technical studies of this project with the objective of designing all the crossing structures to restore natural drainage and ensure the safety of users and proper drainage of rainwater.

To achieve this objective, several aspects of the studies were addressed, including the delineation of the watersheds using various manual methods (Google Earth) and digital methods (Global Mapper), the determination of different design discharges (10-year, 50-year, 100-year), and the selection of the type of structure (culvert, sluice, etc.) through hydrological and hydraulic studies. The sizing of the structures was also carried out to ensure compliance with the standards for the design of hydraulic structures.

Key words : Drainage, Highway, Culvert, Flow , Watershed, Global Mapper, Google Earth.

Résumé

La croissance économique d'un pays se base principalement sur le développement des infrastructures routières indispensables pour le transport des individus et des marchandises, l'eau est le premier ennemi de la route, car il influe sur la viabilité de la chaussée d'une part, et d'autre part c'est le problème de longévité de l'ouvrage d'où la nécessité une protection contre la nocivité des eaux.

La route du développement passe par le développement de la route » dit-on. C'est dans cette optique que l'Algérie a initié depuis le début des années 1990 un programme ambitieux afin de développer le secteur du transport et, parallèlement de contribuer au désenclavement des régions du pays. La liaison autoroutière Est-Ouest – Batna longue de 42 km en fait partie.

La présente étude porte sur les études techniques de ce projet et a pour objectif de concevoir l'ensemble des ouvrages de franchissement afin de rétablir les écoulements naturels et être capable d'assurer la sécurité des usagers et un bon drainage des eaux pluviales.

Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs volets des études ont été abordés à savoir la délimitation des bassins versants par différentes méthodes manuelle (Google Earth) et numérique (Global Mapper), la détermination des différents débits de projet (décennale, cinquantennale, centennale) et le choix du type d'ouvrage (Buse, Dalot, . . .) à travers des études hydrologique et hydraulique, le dimensionnement des ouvrages afin de s'assurer qu'il réponde aux normes de la conception des ouvrages hydrauliques.

Mots clés : Drainage, Autoroute, Dalot, Buse, Débit, Bassin Versant, Global Mapper, Google Earth.

Table des matières

TABLE DES FIGURES

LISTE DES TABLAUX

ABRÉVIATION

INTRODUCTION GÉNÉRALE	12
I GÉNÉRALITÉS SUR LE DRAINAGE ROUTIER	14
I.1 Introduction	15
I.2 Historique du drainage routier	15
I.2.1 Le drainage dans le monde	15
I.2.2 Drainage en Algérie	16
I.3 L'effet de l'eau sur la route	17
I.4 Le drainage	18
I.4.1 Les types de drainage	18
I.4.2 Le principe du drainage routier	19
I.4.3 Les systèmes de drainage routier	20
I.4.4 L'importance de drainage routier	22
I.4.5 Les contraintes à considérer pour la mise en place d'un système de drainage	23
II DÉLIMITATION DES BASSINS VERSANTS	26
II.1 Introduction	27
II.2 Notions de Bassin versant	27
II.2.1 Les caractéristiques d'un bassin versant	28
II.2.2 Le temps de concentration	29
II.3 Présentation de la zone d'étude	31
II.3.1 Localisation du tracé	31
II.3.2 Réseau hydrographique des bassins versants de la zone d'étude	32
II.4 Méthodes de délimitation des bassins versant	33
II.4.1 Méthode manuelle avec logiciel Google Earth	33
II.4.2 Méthode manuelle a partir d'une carte Topographique	38
II.4.3 Méthode numérique (Global Mapper)	45
II.4.4 Résultats des caractéristiques morphologiques des bassins versants délimités	51

III	ÉTUDE HYDROLOGIQUE	57
III.1	Introduction	58
III.2	Description climatique	58
III.3	La pluviométrie	61
III.3.1	Analyse pluviométrique	63
III.3.2	Pluies journalières maximales	65
III.3.3	L'ajustement des données pluviométriques	65
III.3.4	Test d'adéquation	67
III.3.5	Calcul des intensités	69
III.4	Méthodes de calcul de débit	73
III.4.1	La méthode rationnelle	73
III.4.2	La Méthode de Turazza	74
IV	ÉTUDE HYDRAULIQUE	80
IV.1	INTRODUCTION	81
IV.2	Les types des écoulements à surface libre	81
IV.2.1	Écoulement fluvial	81
IV.2.2	Écoulement torrentiel	81
IV.2.3	L'écoulement critique	82
IV.3	Les caractéristiques des écoulements à surface libre	82
IV.3.1	Hauteur de l'écoulement :	82
IV.3.2	La pente :	82
IV.3.3	Section mouillée	83
IV.3.4	Périmètre mouillé	83
IV.3.5	La vitesse de l'écoulement	83
IV.4	Formes des canalisations hydrauliques	84
IV.5	Les types d'ouvrages de franchissement	85
IV.5.1	Les buses	85
IV.5.2	Les dalots	86
IV.6	Principe de dimensionnement hydraulique des dalots	90
IV.7	Le débit capable des ouvrages de franchissements	91
IV.7.1	La méthode de DELORME	91
IV.8	Résultats des calculs de dimensionnement des ouvrages de franchissements	91
IV.9	Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages	95
IV.9.1	Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages pour un débit exceptionnel	98
IV.10	Aménagement des extrémités des ouvrages	101
V	DRAINAGE LONGITUDINALE DE LA PLATEFORME	102
V.1	Introduction	103
V.2	Réseaux de collecte longitudinaux	103
V.2.1	Réseaux de crête de talus de déblais	103
V.3	Types et formes des fossés existants	107
V.4	Les avaloirs	110
V.5	Les données essentielles pour le calcul des ouvrages d'assainissement	111
V.6	Calcul hydraulique des ouvrages	111
V.6.1	Principe de dimensionnement	111

V.6.2	Calculs des débits à évacuer	111
V.6.3	Principe de dimensionnement	112
V.6.4	Note de calcul de l'espacement d'assainissement longitudinal	113
V.6.5	Calculs hydrauliques des fossés	115
V.6.6	Calcul du débit capable de l'ouvrage(fosse en pieds de remblais) . .	116

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES	122
--	------------

BIBLIOGRAPHIE	125
----------------------	------------

Table des figures

I.1	Drainage routier par infiltration durant l'époque Romaine[3]	16
I.2	L'effet de l'eau sur la route[19]	18
I.3	Drainage le long de la route[29]	20
I.4	Photo d'un Dalot [4]	21
II.1	Situation de la Wilaya de Batna et ses frontières[15]	31
II.2	Principaux axes roturiers et autoroutes de l'Algérie horizon 2025[32]	32
II.3	Les grands bassins versants Algériens suivant le découpage de l'A.N.R.H[32]	32
II.4	Réseau hydrographique de la zone d'étude[32]	33
II.5	Identification de l'exutoire	34
II.6	Création d'un repère	34
II.7	Extraction du talweg	35
II.8	Création d'un trajet	35
II.9	Identification des points hauts	36
II.10	Extraction du bassin versant	36
II.11	Création d'un polygone	37
II.12	Projection des bassins extraits dans une image satellitaire	37
II.13	Les reliefs et leurs représentations dans une carte topographique[7]	38
II.14	Les Courbes de niveaux[7]	39
II.15	L'orientation du sens des pentes[7]	39
II.16	Exemple d'une carte topographique réelle [7]	40
II.17	Les lignes des crêtes et des talwegs	41
II.18	Carte topographique correspondant a notre cas d'étude (source : ANRH)	42
II.19	Procédure d'importation des données	46
II.20	Modèle numérique du terrain (MNT)	47
II.21	Zone du projet	48
II.22	Options de délimitation des bassins versants	48
II.23	Résultats d'extraction avec $S = 1ha$ et $l = 10m$	49
II.24	Delimitation des bassins avec pour chacun son propre réseau hydrographique	49
II.25	Résultats finaux d'extraction des bassins versants sur Global Mapper	50
II.26	Projection des bassins versants sur une carte topographique	52
II.27	Le bassin versant num 60	53
II.28	Pourcentage des surfaces des BV $< 10km^2 >$	55
II.29	Carte de distribution des élévations	56
III.1	Étages bioclimatiques du Nord Algérien (avec région d'étude)[32]	59
III.2	Histogramme représentant la moyenne mensuelle des températures de la station de Batna	60

III.3	Graphes représentatifs des valeurs moyennes annuelles de l'humidité relative de la wilaya de Batna	61
III.4	Pluie moyenne dans la région d'étude[32]	62
III.5	Pluie annuelle dans la région (site : Tutiempo).	63
III.6	Carte du réseau hydroclimatologique de la région du projet (Source : A.N.R.H)	64
III.7	Graphes d'ajustement à la loi de Gumbel	66
III.8	Courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence)	72
IV.1	Profil de types d'écoulements à surface libre[14]	82
IV.2	Section mouillée d'un canal rectangulaire[16]	83
IV.3	Profil de la vitesse d'écoulement à surface libre [16]	84
IV.4	Formes des canalisations hydrauliques [14]	85
IV.5	Buses en béton[1]	86
IV.6	Buse en béton ovales [16]	86
IV.7	Vue dessus d'un dalot [25]	87
IV.8	Dalot ordinaire avec dalle [25]	88
IV.9	Dalot Cadre [25]	88
IV.10	Dalot portique [25]	89
IV.11	Dalots triples [25]	89
IV.12	Aménagements de protection de l'ouvrage de franchissement[25]	101
V.1	Réseau du terre-plein central [5]	105
V.2	Différents réseaux d'assainissement longitudinaux [5]	106
V.3	Descente d'eau[5]	107
V.4	Fossé triangulaire [5]	108
V.5	Fossé rectangulaire[5]	108
V.6	Fossé trapézoïdal[29]	109
V.7	Cunette [5]	109
V.8	a) Avaloir sous la chaussée b) avoir sous trottoir [5]	110
V.9	Types Avaloirs[5]	110
V.10	Alternative 1 d'implantation des ouvertures dans les GBA[29]	114
V.11	Alternative 2 d'implantation des ouvertures dans les GBA[29]	115
V.12	Fossé triangulaire de projet [32]	115
V.13	Fossé en pieds de talus de remblais [32]	116
V.14	Fossé en pieds de talus de remblais [32]	116
V.15	Identification le point haut(le point de départ) [32]	117

Liste des tableaux

II.1	Caractéristiques morphologiques des bassins versants de notre cas d'étude.	53
III.1	Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude[32]	59
III.2	L'humidité relative moyenne annuelle de la wilaya de Batna (Site : Naza power data)	60
III.3	Répartition mensuelle des vitesses de vent de la station de Batna.[32]	61
III.4	Pluies annuelles d'après Tutiempo (site : Tutiempo).	62
III.5	Caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans cette étude.[32]	64
III.6	Pluies journaliers maximales de 1993 a 2022 de la station BATNA Aéroport 60468(ONM)	65
III.7	Ajustement à la Loi de Gumbel	66
III.8	Test d'adéquation khi-carré pour la Loi Gumbel	67
III.9	Test K-S à la Loi Gumbel pour notre cas d'étude	68
III.10	Résultats des calculs des Temps de concentration	70
III.11	Calcul des courbes IDF	71
III.12	Intensités pour chaque bassin versant	72
III.13	Résultats de calcul du débit centennale ($Q_{(T=100ans)}$)	75
III.14	Identification des exutoires avec des points kilométriques	77
IV.1	Debits capables pour les dalots et les buses	91
IV.2	Résultats des calculs de dimensionnement	92
IV.3	Exemple de calcul hydraulique d'un dalot 2.0*2.0 situé dans l'exutoire du PK 23+980	95
IV.4	Vérification des conditions d'écoulement	96
IV.5	Les résultats des calculs des débits exceptionnels	99
IV.6	Les ouvrages débordé a cause d'un débit extrême	100
V.1	Récapitulatif des pentes-espacement l'Alternative 1[29]	113
V.2	Récapitulatif des pentes-espacement l'Alternative 2 [29]	114
V.3	Les résultats de calculs des débits longitudinaux	118

Liste des abréviations

- ANA** : l'Agence Nationale des Autoroutes
ADA : L'Algérienne des Autoroutes
AGA : L'Algérienne de Gestion des Autoroutes
EPIC : Établissement Public National à caractère Industriel et Commercial
PK : Point kilométrique
°C : Degré Celsius
GPS : Global Positioning System
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
SIG : Système d'information géographique
KML : Keyhole Markup Language
MNT : Modèle numérique de terrain
KMZ : Keyhole Markup Zip
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
BV : Bassin Versant
ONM : Office National de la Météorologie
FND : Fréquence De Non Dépassement
IDF : Intensité-Durée-Fréquence
Ptc : Pluie de courte durée
T : Période de retour
Pjmax : Pluie journalière maximale
FRE : Fonction de Répartition Empirique
KS : Kolmogorov-Smirnov
Fr : Nombre de Froude
TPC : Terre-Plein Central
SCS : Soil Conservation Service
CN : Curve Number
USLE : Universal Soil Loss Equation
RH2M : Humidité relative à 2 mètres

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'étude hydrologique et hydraulique d'une autoroute est une étape essentielle avant la réalisation de n'importe quelle infrastructure routière pour assurer une durabilité et un bon fonctionnement des ouvrages hydrauliques afin d'éviter l'accumulation des eaux superficielles sur la route, un mauvais dimensionnement des ouvrages peut entraîner des problèmes tels que des inondations sur la route, une détérioration prématurée de l'infrastructure et une insécurité pour les usagers.

Effectivement, l'eau peut avoir un impact significatif sur la viabilité et la longévité des routes, ce qui peut entraver la croissance économique d'un pays. L'eau peut endommager la chaussée de plusieurs manières, notamment en causant l'érosion des matériaux constituant la route et en augmentant la teneur en eau du sol de support.

L'érosion provoquée par l'eau peut emporter les matériaux de la chaussée, créant des fissures et des affaissements qui rendent la route moins sûre et moins praticable. De plus, lorsque le sol de support devient saturé en eau, sa capacité portante peut diminuer, ce qui peut entraîner des variations de portance sur la chaussée. Ces variations de portance peuvent provoquer des déformations de la route, des nids-de-poule et une détérioration générale de sa qualité mécanique.

Pour prévenir ces problèmes, il est nécessaire de mettre en place des mesures de protection contre les effets néfastes de l'eau. Cela peut inclure la construction de caniveaux, de conduites de drainage, de dalots et de réseaux d'assainissement pour collecter et évacuer efficacement les eaux de ruissellement. Ces infrastructures permettent de contrôler le flux d'eau autour de la route et de réduire les risques d'érosion et d'infiltration d'eau dans la chaussée.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de proposer une démarche méthodologique et opérationnelle pour la protection du tronçon autoroutier reliant la wilaya de Batna à l'autoroute Est-Ouest, permettant premièrement d'extraire les différents bassins versants et de mesurer leurs surfaces, afin d'estimer les débits de projet, et deuxièmement de prévoir des ouvrages de franchissement le long de cet axe autoroutier afin de rétablir les écoulements naturels.

Après une introduction générale, consacrée à la thématique étudiée à savoir le drainage routier et à la problématique traitée, ce mémoire de fin d'études a été scindé en cinq chapitres : Le premier chapitre est une synthèse des généralités sur le drainage routier, contenant une recherche sur l'historique de cette technique ainsi qu'un aperçu sur les contraintes à considérer pour la mise en place d'un système de drainage. Dans le deuxième chapitre, on s'est focalisé en premier lieu sur la délimitation ou extraction des différents bassins versants, qui est une étape fondamentale pour la protection du projet à réaliser. Pour cela, on a utilisé trois méthodes :

- délimitation à partir de Google Earth
- délimitation à partir d'une carte topographique,
- Et enfin délimitation à partir d'un logiciel de cartographie «Global Mapper», en utilisant les SIG et les images satellitaires.

Le troisième chapitre a porté sur les résultats tirés à partir des outils utilisés pour délimiter les bassins versants ce qui nous a permis de déterminer avec précision les limites des bassins versants, qui est une étape cruciale pour évaluer les caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude, et ce afin d'estimer les différents débits de projets. Dans le chapitre quatre on s'est intéressé, au dimensionnement des différents ouvrages hydrauliques trans-

versaux à partir des résultats obtenus de l'étude hydrologique, ainsi qu'à la discussion de ces résultats. Le dernier chapitre, a été réservé au dimensionnement longitudinal de notre tronçon autoroutier. Enfin, une conclusion générale résume, tout le travail réalisé lors de ce mémoire, et plus particulièrement, les résultats obtenus à partir des méthodes utilisées pour élaborer ce travail.

Chapitre I

GÉNÉRALITÉS SUR LE DRAINAGE ROUTIER

I.1 Introduction

Le drainage routier est un processus essentiel pour assurer la sécurité des usagers de la route et la préservation des infrastructures routières. Il vise à évacuer efficacement l'eau de pluie, de fonte de neige et de glace des chaussées, des bords de chaussée et des fossés adjacents afin d'éviter l'accumulation d'eau qui peut causer des problèmes tels que la dégradation de la chaussée et la formation de nids-de-poule. Les systèmes de drainage routier comprennent des caniveaux, des grilles, des buses et des fossés, qui permettent d'acheminer l'eau vers des points de collecte ou de dispersion en aval. Les techniques de drainage routier doivent être conçues en tenant compte des caractéristiques locales du terrain, de la pluviométrie et des débits d'eau attendus afin de garantir une efficacité maximale.[2]

I.2 Historique du drainage routier

Le drainage routier correspond à la collecte et à l'évacuation des eaux présentes dans le sol support, et dans les chaussées. Il constitue l'un des trois volets du domaine de l'assainissement routier avec la collecte et l'évacuation des eaux de surface (assainissement superficiel) et le rétablissement des écoulements naturels. Le drainage participe de façon essentielle au bon comportement mécanique de la chaussée et contribue ainsi largement à la pérennité des ouvrages routiers.

Les eaux internes à drainer proviennent :

- Des infiltrations au travers de la chaussée, vers les interfaces couches de chaussée et chaussée/sol support .
- Des infiltrations depuis les accotements, vers les interfaces couches de chaussée et chaussée/sol support, alimentées par la plate-forme ;
- Des venues d'eau issues de l'environnement latéral, vers les interfaces chaussée/sol support et le sol support, et qui ont pour origines les bassins versants, les déblais et les émergences de nappe phréatique.

Même si les réseaux de drainage et d'assainissement rejoignent souvent des exutoires communs, il est indispensable de les différencier car ils remplissent des fonctions distinctes : en particulier, le réseau de drainage qui véhicule une eau dite « propre » (non souillée) ne doit en aucun cas être perturbé par les eaux de ruissellement, souvent polluées (boues, huiles, végétation, etc.) et de débit plus conséquent (pour éviter une mise en charge) [5]

I.2.1 Le drainage dans le monde

L'histoire de l'assainissement routier remonte à l'Antiquité, où les Romains utilisaient des systèmes de drainage pour évacuer l'eau des routes. Les caniveaux en pierre étaient utilisés pour collecter l'eau et la diriger vers des fossés ou des ruisseaux.

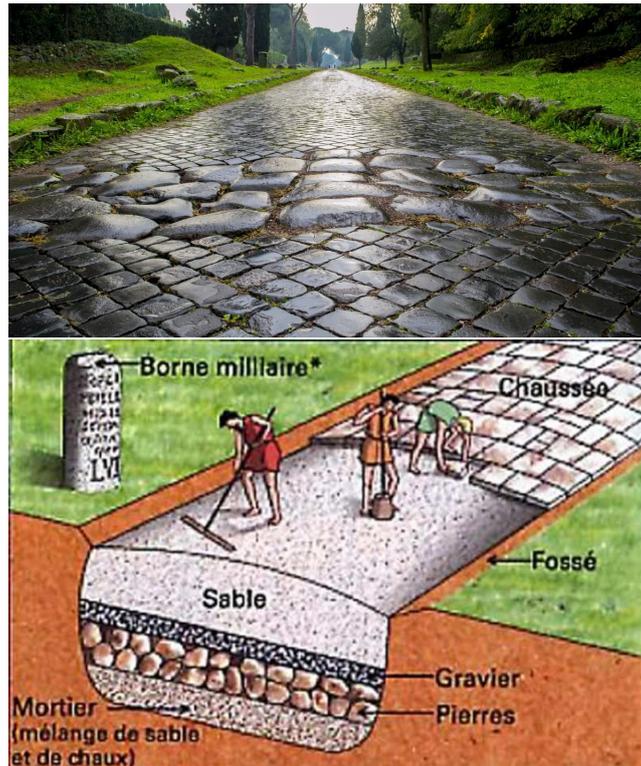


FIGURE I.1 – Drainage routier par infiltration durant l'époque Romaine[3]

Au fil des siècles, les techniques d'assainissement routier ont évolué. Au Moyen Âge, les routes étaient surélevées par rapport au niveau du sol environnant, ce qui permettait à l'eau de s'écouler naturellement. Au XVIIIe siècle, les caniveaux ont été remplacés par des buses en fonte, qui ont permis une meilleure collecte de l'eau.

Au XIXe siècle, les villes ont commencé à utiliser des égouts pour évacuer les eaux usées et pluviales, ce qui a permis de réduire les inondations et les problèmes de santé publique. Les systèmes d'assainissement routier modernes, tels que les regards et les grilles de collecte, ont commencé à être utilisés à la fin du XIXe siècle.

Aujourd'hui, l'assainissement routier est un élément clé de la planification et de la gestion des infrastructures de transport. Les normes et les réglementations régissant l'assainissement routier varient selon les pays, mais l'objectif reste le même : garantir la sécurité et la durabilité des routes et des chaussées. [2]

I.2.2 Drainage en Algérie

Le drainage routier en Algérie est un sujet important pour la sécurité des conducteurs et des passagers. Depuis l'indépendance de l'Algérie en 1962, de nombreuses mesures ont été prises pour améliorer l'assainissement des routes du pays.

En 2003, l'Algérie a lancé un programme ambitieux pour moderniser et réhabiliter son réseau autoroutier. Ce programme comprenait la construction de nouvelles autoroutes, la réhabilitation des autoroutes existantes et l'amélioration de l'assainissement des autoroutes. Cette initiative a permis de réduire le nombre d'accidents de la route en Algérie.

En 2009, le gouvernement algérien a créé l'Agence Nationale des Autoroutes (ANA) pour superviser le développement et la maintenance des autoroutes du pays. Depuis sa création, l'ANA a travaillé en étroite collaboration avec les entreprises de construction pour améliorer l'assainissement des autoroutes en Algérie. L'Agence a mis en place des procédures plus strictes pour évaluer et approuver les projets de construction d'autoroutes afin de garantir que les normes de sécurité sont respectées.

En 2012, l'Algérie a adopté une nouvelle législation sur la sécurité routière qui a renforcé les normes en matière d'assainissement des autoroutes. Cette législation a également introduit des sanctions plus sévères pour les contrevenants, ce qui a contribué à améliorer la sécurité routière en Algérie.

L'Algérienne des Autoroutes (ADA) a été créée par décret exécutif N ° 16-79 du 15 Joumada el Oula 1437 correspondant 24 février 2016 suite à la fusion de deux entités, à savoir : Agence Nationale des Autoroutes (ANA) et l'«Algérienne de gestion des autoroutes (AGA). L'ADA est un établissement Public National à caractère Industriel et Commercial EPIC placé sous la tutelle du Ministère des Travaux Publics et des Transports. Il est maintenu de la personnalité morale et de l'autonomie financière. [18]

Enfin, l'Algérie a également travaillé avec des partenaires internationaux pour améliorer l'assainissement des autoroutes. En 2017, l'Agence Française de Développement a financé un projet visant à améliorer l'assainissement des autoroutes algériennes. Ce projet a permis la mise en place de nouveaux systèmes de drainage et d'évacuation des eaux de pluie, ainsi que l'installation de nouveaux panneaux de signalisation pour améliorer la visibilité des conducteurs.

En conclusion, l'Algérie a pris de nombreuses mesures pour améliorer l'assainissement de ses autoroutes, y compris la modernisation et la réhabilitation de son réseau autoroutier, la création de l'ANA en 2012 et L'ADA en 2016 pour superviser la construction et la maintenance des autoroutes, l'adoption d'une législation plus stricte sur la sécurité routière et la collaboration avec des partenaires internationaux pour obtenir un soutien financier et technique. Ces initiatives ont permis de réduire le nombre d'accidents de la route et de garantir la sécurité des conducteurs et des passagers Algérien.[6]

I.3 L'effet de l'eau sur la route

L'eau peut avoir plusieurs effets sur les routes, en fonction de la quantité d'eau, de la durée d'exposition et de la structure de la route elle-même. L'eau peut pénétrer dans les fissures de la chaussée et causer des dommages en gelant et en se dilatant. Elle peut également entraîner une érosion des bords de la chaussée, ce qui peut rendre la route plus étroite et plus dangereuse pour les automobilistes. Augmentation de la friction lorsqu'il pleut, la surface de la chaussée peut devenir glissante, ce qui peut augmenter le risque d'accidents de la route. Cependant, dans certaines conditions, la présence d'eau peut en fait améliorer la friction et rendre la route plus sûre. Ainsi que les fortes pluies peuvent entraîner des inondations qui rendent la route impraticable. Cela peut entraîner des re-

tards importants pour les automobilistes et perturber les chaînes d'approvisionnement. L'eau peut également réduire la visibilité des conducteurs, en particulier lorsqu'il pleut fort ou lorsqu'il y a du brouillard. Cela peut augmenter le risque d'accidents de la route, en particulier si les conducteurs ne ralentissent pas ou ne font pas attention aux autres véhicules.[17]



FIGURE I.2 – L'effet de l'eau sur la route[19]

Pour prévenir les dommages causés par l'eau, les ingénieurs utilisent des techniques de drainage et de construction pour s'assurer que l'eau est évacuée rapidement et efficacement de la route. Cela peut inclure l'utilisation de caniveaux, de fossés, de tuyaux de drainage et de bassins de rétention pour collecter et éliminer l'eau.[17]

I.4 Le drainage

Le drainage est le processus de collecte et d'évacuation de l'eau ou des liquides à partir d'un endroit donné. Cela peut être réalisé à l'aide de différents systèmes, tels que des tuyaux, des canaux, des fossés, des puits de drainage ou des systèmes de pompage. Le but du drainage est de maintenir un niveau d'eau stable, d'éviter l'accumulation d'eau stagnante, de prévenir les inondations et d'améliorer la qualité du sol.

Le drainage peut être utilisé dans différents domaines, tels que l'agriculture, la construction, les infrastructures routières et les aménagements paysagers. Les techniques de drainage varient en fonction du terrain, des conditions climatiques et des objectifs spécifiques de chaque projet.[20]

I.4.1 Les types de drainage

En hydraulique, il existe différents types de drainage qui sont utilisés pour l'évacuation de l'eau et la gestion des flux hydrauliques. Voici quelques-uns des types de drainage les plus courants :

Drainage pluvial : Il s'agit du drainage des eaux de pluie qui peuvent causer des inondations et des dommages aux infrastructures. Le drainage pluvial peut être réalisé par des réseaux de canalisations, des fossés, des rigoles, des bassins de rétention et des systèmes de récupération des eaux de pluie.[20]

Drainage urbain : Le drainage urbain est un système qui permet de collecter et d'évacuer les eaux pluviales, les eaux usées et les eaux de ruissellement en milieu urbain. Ce type de drainage est essentiel pour prévenir les inondations, les dégâts matériels et les pertes en vies humaines.[20]

Drainage agricole : Il s'agit du drainage des terres agricoles pour éviter l'accumulation d'eau qui peut nuire aux cultures. Le drainage agricole peut être réalisé par des systèmes de canaux, des drains souterrains, des fossés, des rigoles et des puits de décharge.[20]

Drainage minier : Le drainage minier est utilisé pour évacuer l'eau qui s'accumule dans les mines et les carrières. Ce type de drainage peut être réalisé par des canaux, des puits de décharge, des systèmes de pompage et des bassins de rétention.[20]

Drainage routier : Le drainage routier est un système qui permet de collecter et d'évacuer les eaux de ruissellement des routes et des chaussées. Ce type de drainage est essentiel pour prévenir les inondations, les dégâts matériels et les accidents de la circulation.[20]

Dans notre étude on va se concentrer seulement sur le drainage routier.

I.4.2 Le principe du drainage routier

Le drainage routier est essentiel pour maintenir l'infrastructure routière en bon état, car une mauvaise évacuation de l'eau peut causer des dommages tels que des glissements de terrain, des affaissements de chaussée, des fissures, des nids-de-poule et des accidents. Les principes fondamentaux du drainage routier comprennent : [31] :

Collecte de l'eau : Le drainage routier commence par la collecte de l'eau il fait référence au processus de collecte des eaux de ruissellement provenant des surfaces des routes et des chaussées, ainsi que de la pluie qui tombe sur ces surfaces. Cette eau est ensuite canalisée vers des systèmes de drainage.[31]

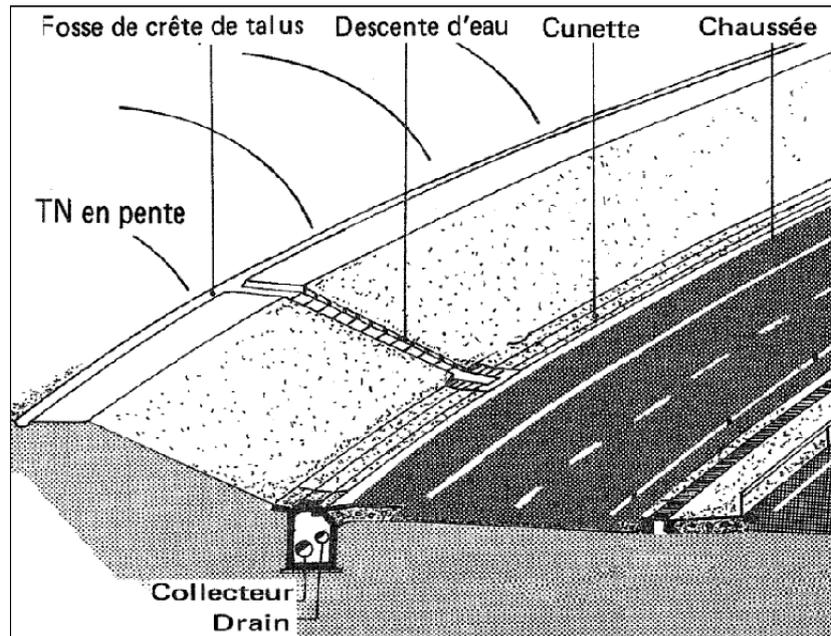


FIGURE I.3 – Drainage le long de la route[29]

Transporter l'eau : L'eau est ensuite dirigée vers des dispositifs de drainage, par l'utilisation des plusieurs techniques, notamment l'utilisation de caniveaux, de fossés, de drains en béton ou en plastique, et de systèmes de collecte et d'évacuation souterrains. Le choix de la méthode dépendra de divers facteurs tels que la quantité d'eau à évacuer, la topographie du terrain, les exigences .[31]

Évacuation de l'eau : : Une fois que l'eau a été collecté , elle peut être évacuée. L'évacuation peut se faire de différentes manières, notamment en la rejetant dans un réseau d'égouts existant,ou en la déversant dans un cours d'eau approprié[31]

I.4.3 Les systèmes de drainage routier

Il existe plusieurs types de drainage routier qui peuvent être utilisés en fonction des caractéristiques du site et des besoins spécifiques de la route. Voici quelques-uns des principaux types de drainage routier :

Drainage longitudinal : Il consiste à collecter l'eau de pluie qui s'écoule le long de la chaussée et à la diriger vers des canaux, ce système est généralement constitué d'un réseau de caniveaux et de regards disposés le long de la route pour collecter l'eau de pluie qui s'écoule sur la chaussée et la conduire vers des points de rejet.[31] Les caniveaux peuvent être de différentes formes et tailles, et sont souvent en béton, en acier galvanisé ou en plastique renforcé. Les regards sont des boîtes en béton ou en métal qui servent de points de collecte et de rejet pour l'eau de pluie.[31]

Le drainage longitudinal est une méthode couramment utilisée dans les zones urbaines et sur les autoroutes. Il est considéré comme une solution efficace pour prévenir les problèmes d'accumulation d'eau sur les routes, ce qui peut réduire les risques d'accidents et d'inondations.[31]



FIGURE I.4 – Photo d'un Dalot [4]

Drainage transversal : Ce type de drainage consiste à collecter l'eau de pluie qui s'écoule perpendiculairement à la chaussée et à la diriger vers des canaux, des fossés ou des égouts. Ce type de drainage est généralement utilisé sur les routes à faible pente.[31]

Ce drainage transversal routier est un système de collecte et d'évacuation des eaux de pluie et des autres liquides qui s'accumulent sur les routes. Le but est de maintenir la surface de la chaussée en bon état, en réduisant l'érosion et la détérioration de la route due à l'eau stagnante.[31]

Les différentes structures utilisées pour le drainage transversal routier comprennent :

Les buses : sont des conduits de drainage en forme de tube qui sont placés sous la chaussée pour permettre à l'eau de s'écouler d'un côté à l'autre de la route. Elles sont souvent utilisées dans les zones où la route doit passer sur des sols humides ou marécageux.[31]

Les dalots : sont des caniveaux en béton ou en métal qui sont placés sur les côtés de la chaussée pour collecter et évacuer l'eau de pluie. Les dalots sont souvent utilisés dans les zones où il y a un débit important d'eau, comme les pentes ou les zones où l'eau s'écoule naturellement.[31]

Les ponts : sont des structures plus importantes qui sont utilisées pour permettre à la route de traverser des cours d'eau, des ravins ou des dépressions. Les ponts sont souvent construits avec des piles et des tabliers pour permettre à l'eau de s'écouler librement en dessous de la route.[31]

La mise en place de ces structures nécessite une planification minutieuse et une conception adaptée aux conditions locales. Il est important de tenir compte des conditions hydrologiques et géologiques locales, ainsi que des besoins de circulation routière.[31]

Drainage par infiltration : Le drainage par infiltration routier est un système de

gestion des eaux pluviales qui vise à réduire les risques d'inondation sur les routes en permettant à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol plutôt que de s'accumuler sur la surface de la route. Ce système est souvent utilisé dans les zones urbaines où le ruissellement des eaux pluviales peut causer des dommages aux infrastructures et aux propriétés environnantes.[31]

Le principe de base du drainage par infiltration routier consiste à construire une couche de gravier poreux sous la surface de la route, qui permet à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol. Cette couche est généralement constituée de granulats de différentes tailles, qui créent des pores de différentes tailles dans lesquels l'eau peut s'écouler. Le système est souvent combiné avec des tranchées d'infiltration, qui permettent également à l'eau de s'infiltrer dans le sol.[31]

Le drainage par infiltration routier peut présenter plusieurs avantages, notamment la réduction des risques d'inondation, la diminution des coûts de gestion des eaux pluviales, la recharge des nappes phréatiques et la réduction de la pollution des eaux de surface.[31]

Cependant, il peut également présenter certains inconvénients, tels que la nécessité d'un entretien régulier pour éviter l'obstruction des pores, la possibilité de contamination des sols et des eaux souterraines par les polluants de la route, et la nécessité de prendre en compte les conditions géologiques et hydrologiques locales lors de la conception et de la mise en place du système.[31]

I.4.4 L'importance de drainage routier

Les systèmes de drainage sont conçus pour collecter, transporter et évacuer les eaux de surface et des terrains environnants. Ces systèmes sont d'une importance vitale pour la sécurité routière, car ils permettent d'éliminer l'eau et l'humidité des routes, réduisant ainsi le risque d'aquaplanage et d'accidents liés aux conditions météorologiques défavorables. De plus, ces systèmes protègent également la durabilité des infrastructures routières en empêchant l'accumulation d'eau qui peut causer des dommages à la chaussée, comme des fissures, des affaissements et des glissements de terrain. Les différents composants d'un système assainissement hydraulique comprennent des caniveaux, des grilles d'égout, des buses, des ponceaux et des fossés, ainsi que des systèmes de filtration et de traitement des eaux pour assurer une évacuation efficace et sûre de l'eau.[30]

Le drainage routier est une technique essentielle pour garantir la sécurité et la durabilité des infrastructures routières. Le drainage routier consiste en la gestion de l'eau de pluie qui s'accumule sur les routes et les voies de circulation adjacentes. Les systèmes de drainage routier sont conçus pour collecter, stocker et acheminer l'eau de pluie loin des routes et des zones environnantes afin de réduire les risques d'inondations, d'érosion et de dommages aux structures.[30]

Sécurité routière : Les routes qui ne sont pas correctement drainées peuvent présenter des risques pour la sécurité des usagers. Des accumulations d'eau peuvent provoquer des glissades et des accidents.[30]

Durabilité de la chaussée : L'eau peut causer des dommages à la chaussée, notamment en provoquant des fissures et des affaissements. Un bon drainage aide à préserver l'intégrité de la chaussée et à prolonger sa durée de vie.[30]

Protection de l'environnement : Les eaux de ruissellement provenant des routes

peuvent entraîner des pollutions des cours d'eau et des écosystèmes environnants. Un drainage routier efficace peut aider à prévenir cela.[30]

Confort de l'utilisateur : Les usagers de la route sont plus à l'aise sur des routes sèches qu'humides. Le drainage routier aide à minimiser les effets négatifs des précipitations sur les conditions de conduite.[30]

I.4.5 Les contraintes à considérer pour la mise en place d'un système de drainage

La mise en place d'un système de drainage routier efficace est essentielle pour garantir la sécurité et la durabilité des routes. Cependant, il existe plusieurs contraintes à considérer lors de la planification et de la mise en œuvre de tels systèmes.[12]

Climat : Dans les régions où il pleut abondamment ou où il neige beaucoup, les infrastructures de drainage doivent être conçues pour faire face à des quantités importantes d'eau. Si les routes ne sont pas équipées d'un système de drainage adéquat, l'eau peut s'accumuler sur les chaussées, provoquant des inondations et des accidents de la route. De plus, dans les régions où le temps est souvent humide ou pluvieux, la végétation peut pousser rapidement et bloquer les caniveaux, ce qui peut également entraver le drainage routier.[12]

Géographie : Les routes qui traversent des zones montagneuses ou accidentées peuvent également poser des défis en matière de drainage. Les pentes abruptes et les virages serrés peuvent empêcher l'eau de s'écouler naturellement hors de la chaussée. Dans ces cas, il est souvent nécessaire de construire des systèmes de drainage complexes, comme des canalisations souterraines ou des bassins de rétention, pour permettre à l'eau de s'écouler correctement.[12]

La topographie : La topographie est un facteur important qui influence le drainage routier. En effet, la topographie d'une zone détermine la direction et la vitesse à laquelle les eaux de pluie vont s'écouler. Si la topographie est plane, les eaux peuvent s'écouler facilement vers les caniveaux et les égouts, mais si elle est en pente, les eaux peuvent se diriger rapidement vers les bas-fonds et provoquer des inondations. Dans les zones montagneuses, la topographie peut avoir un impact significatif sur le drainage routier. Les routes doivent être conçues pour suivre les contours de la montagne afin de minimiser l'impact de l'eau sur la route. Les routes doivent également être dotées de systèmes de drainage appropriés pour éviter que l'eau ne s'accumule sur la chaussée et ne provoque des accidents.[12]

En outre, la topographie peut également avoir un impact sur la quantité d'eau qui doit être gérée. Par exemple, une route qui traverse une vallée ou un canyon peut être sujette à des inondations si la topographie ne permet pas à l'eau de s'écouler rapidement et efficacement.[12]

Le coût : Le coût de construction, d'installation et de maintenance du système de drainage doivent être pris en compte pour déterminer le type de système de drainage le plus approprié. Tout d'abord, pour concevoir un système de drainage efficace, il faut effectuer des études de terrain et des analyses hydrologiques pour

déterminer les caractéristiques du site, telles que les précipitations, les pentes et la perméabilité du sol. Ces études peuvent être coûteuses en termes de temps et de ressources financières.[12]

Ensuite, la construction de systèmes de drainage tels que des canaux de drainage, des ponceaux et des fossés nécessite des matériaux de qualité et de la main-d'œuvre qualifiée. Ces coûts peuvent varier en fonction de la quantité de matériaux nécessaires, de la complexité du système de drainage et de la disponibilité des travailleurs qualifiés.[12]

De plus, la maintenance régulière des systèmes de drainage est essentielle pour assurer leur bon fonctionnement et leur durabilité. Cela peut également avoir un coût important en termes de main-d'œuvre et de matériaux.[12]

Enfin, les coûts peuvent avoir une influence sur le choix des matériaux utilisés pour les systèmes de drainage. Par exemple, l'utilisation de matériaux plus durables tels que le béton peut être plus coûteuse que l'utilisation de matériaux moins durables tels que les tuyaux en plastique. Cependant, l'utilisation de matériaux moins durables peut entraîner une durée de vie plus courte du système de drainage et des coûts de maintenance plus élevés à long terme.[12]

La réglementation : La réglementation routière peut inclure des exigences en matière de drainage pour assurer la sécurité et la durabilité des routes. Un drainage adéquat est essentiel pour maintenir la surface de la route sèche et résister à l'érosion causée par l'eau.[12]

En termes de réglementation, il peut y avoir des lois et des normes spécifiques qui régissent la conception et la construction des systèmes de drainage routier. Par exemple, dans de nombreux pays, les spécifications de construction de routes comprennent des exigences pour les caniveaux de drainage, les fossés et les collecteurs d'eau pluviale.[12]

Ces réglementations peuvent également spécifier des exigences en matière de maintenance pour les systèmes de drainage routier. Les propriétaires et les gestionnaires de routes peuvent être tenus de nettoyer régulièrement les caniveaux, les fossés et les collecteurs d'eau pour assurer un drainage adéquat. [12]

L'impact environnemental : Les routes et les chaussées sont souvent construites avec des matériaux imperméables tels que le béton ou l'asphalte, qui empêchent l'eau de s'infiltrer dans le sol et augmentent le risque d'inondations.[12]

Lorsque la pluie tombe sur une route, elle est rapidement évacuée par des caniveaux, des égouts pluviaux et des fossés, qui la transportent vers les rivières, les lacs et les océans. Cette eau peut contenir des polluants tels que les métaux lourds, les huiles de moteur, les produits chimiques et les sels de déglacage, qui peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement et la santé humaine.[12]

Le drainage routier peut également modifier les habitats naturels des animaux et des plantes. Les caniveaux et les égouts pluviaux peuvent diviser les habitats naturels, empêchant les animaux de se déplacer librement et d'accéder à la nourriture et à l'eau dont ils ont besoin. Les routes peuvent également perturber les habitats en provoquant des vibrations et du bruit, qui peuvent effrayer les animaux et perturber leur comportement.[12]

Pour minimiser l'impact environnemental du drainage routier, il est important de concevoir des routes qui favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol. Cela peut être fait en utilisant des matériaux perméables tels que le gravier ou en installant des systèmes de drainage qui permettent à l'eau de s'infiltrer dans le sol.[12]

Les fossés et les caniveaux doivent être nettoyés régulièrement pour empêcher l'accumulation de débris et de polluants. Les sels de dé-glaçage peuvent être remplacés par des alternatives moins toxiques, et les voitures peuvent être entretenues pour réduire les fuites d'huile et d'autres fluides. Enfin, les routes peuvent être conçues pour minimiser les perturbations des habitats naturels en utilisant des ponts et des tunnels pour permettre aux animaux de traverser les routes en toute sécurité. [12]

La circulation routière : Les routes à forte circulation nécessitent un système de drainage plus robuste pour éviter les inondations et les accumulations d'eau qui peuvent causer des accidents. Une bonne circulation routière dépend d'un bon drainage routier, et inversement, un bon drainage routier est nécessaire pour maintenir des conditions de circulation sûres et efficaces. Les ingénieurs de la circulation et les spécialistes du drainage travaillent donc souvent ensemble pour concevoir et entretenir des routes qui répondent aux exigences de sécurité et de performance des usagers de la route.[30]

Chapitre II

DÉLIMITATION DES BASSINS VERSANTS

II.1 Introduction

La délimitation des bassins versants est une étape essentielle dans l'étude et la gestion des ressources en eau. Un bassin versant, également appelé bassin hydrographique ou bassin versant hydrologique, est une zone géographique délimitée par des lignes de crête, où toutes les eaux de pluie qui tombent à l'intérieur de cette zone convergent vers un point de sortie commun, généralement un cours d'eau principal ou un lac.[13]

L'objectif de la délimitation des bassins versants est de définir précisément les limites de ces zones afin de mieux comprendre la dynamique hydrologique qui s'y déroule. Cette démarche permet de caractériser les interactions entre les éléments du paysage, tels que les reliefs, les sols, la végétation et les cours d'eau, ainsi que les processus hydrologiques associés, tels que l'écoulement des eaux de surface, l'infiltration dans les sols et la recharge des nappes phréatiques.[13]

La délimitation des bassins versants repose généralement sur des données topographiques, telles que des modèles numériques de terrain (MNT) obtenus à partir d'images satellites ou de levés sur le terrain (cartes topographiques). Les contours du bassin versant sont déterminés en identifiant les lignes de partage des eaux, c'est-à-dire les crêtes topographiques où les eaux se séparent et s'écoulent dans des directions différentes.[13]

Une fois les bassins versants délimités, ils servent de base pour de nombreuses applications dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Par exemple, ils permettent de calculer les débits d'eau à différents points du réseau hydrologique, d'évaluer la vulnérabilité aux inondations, de prévoir la disponibilité en eau dans une région donnée, de concevoir des infrastructures de drainage et de planifier la gestion des bassins versants dans une perspective de durabilité.[13]

II.2 Notions de Bassin versant

Un bassin versant, également appelé bassin hydrographique ou bassin de drainage, est une zone géographique délimitée par des crêtes topographiques qui recueille toute l'eau qui tombe sous forme de précipitations et qui converge vers un point de sortie commun, tel qu'un cours d'eau, un lac ou un océan. En d'autres termes, un bassin versant est la surface terrestre drainée par un réseau hydrographique constitué de cours d'eau et de rivières qui convergent vers un point commun. Les bassins versants sont délimités par les points les plus élevés de la topographie, souvent appelés les lignes de partage des eaux, qui déterminent les limites du bassin.[13]

La notion de bassin versant est importante pour la gestion des ressources en eau, la prévention des inondations et la protection de l'environnement. Les actions humaines dans un bassin versant, telles que l'agriculture, l'urbanisation ou l'exploitation des ressources naturelles, peuvent avoir des impacts significatifs sur l'écoulement des eaux, la qualité de l'eau et l'écosystème. [27]

II.2.1 Les caractéristiques d'un bassin versant

La superficie

La superficie d'un bassin versant est l'ensemble des terres qui alimentent un cours d'eau spécifique en collectant les eaux de pluie pour les amener à ce cours d'eau. La superficie d'un bassin versant est souvent mesurée en hectares ou en kilomètres carrés. Elle peut être calculée en utilisant des données topographiques telles que des cartes, des images satellites ou des systèmes de positionnement global (GPS). Ces données permettent de délimiter la zone de collecte des eaux de surface, en identifiant les zones de drainage et les points les plus élevés du bassin versant.[13]

Le périmètre

Le périmètre d'un bassin versant est la limite extérieure d'une zone de terrain qui draine l'eau de pluie et de fonte des neiges dans un réseau hydrographique commun, généralement un cours d'eau ou un lac. Il s'agit de la ligne de crête qui marque la limite des bassins versants adjacents et qui délimite la zone où toute l'eau qui tombe au sol finit par s'écouler vers un point commun de sortie. Ainsi, le périmètre de bassin versant est une frontière physique qui sépare les zones de drainage de différents cours d'eau et qui définit l'étendue de chaque bassin versant individuel. Le calcul de cette zone est important pour de nombreuses études hydrologiques, car il permet de comprendre comment l'eau s'écoule dans le paysage et comment elle peut être gérée pour différentes utilisations.[13]

La pente

La pente d'un bassin versant fait référence à la mesure de la variation de l'altitude dans une zone donnée, généralement exprimée en pourcentage ou en degrés. Plus précisément, la pente d'un bassin versant est déterminée en mesurant la différence d'altitude entre deux points sur le bassin versant et en la divisant par la distance horizontale entre ces deux points. En d'autres termes, la pente représente l'inclinaison du terrain dans le bassin versant et détermine la vitesse à laquelle l'eau s'écoule sur le terrain en direction de l'exutoire. Une pente plus raide peut entraîner un écoulement plus rapide de l'eau et une érosion plus importante du sol, tandis qu'une pente plus douce peut favoriser une infiltration plus importante de l'eau dans le sol. La pente du bassin versant est un élément important à prendre en compte dans l'analyse hydrologique et la gestion des ressources en eau.[13]

La longueur de talweg

La longueur de talweg d'un bassin versant est la distance mesurée le long du cours d'eau principal du bassin versant depuis son point le plus haut (généralement la crête de partage des eaux) jusqu'à son point le plus bas (généralement son exutoire). Cette mesure est importante pour l'analyse hydrologique car elle permet de calculer la pente moyenne du cours d'eau principal et d'estimer le temps de concentration de l'eau dans le bassin versant. La longueur de talweg est également utilisée pour déterminer le coefficient de compacité du bassin versant, qui est une mesure de la forme du bassin versant et de sa

propension à générer des crues rapides[13]

La hauteur d'un bassin versant

- a. La hauteur moyenne d'un bassin versant :** C'est la mesure de la différence moyenne d'altitude entre les points les plus hauts et les plus bas d'un bassin versant. Elle est généralement exprimée en mètres .[13]
- b. La hauteur maximale d'un bassin versant :** La hauteur maximale d'un bassin versant est la distance verticale maximale entre le point le plus bas du bassin versant et le point le plus élevé de son relief, exprimée en mètres ou en pieds. [13]
- c. La hauteur minimale d'un bassin versant :** La hauteur minimale d'un bassin versant est la hauteur d'élévation du point le plus bas de ce bassin par rapport au niveau de la mer, exprimée en mètres ou en pieds. [13]

Indice de compacité

L'indice de compacité d'un bassin versant est une mesure qui évalue la forme générale d'un bassin versant en termes de sa compacité ou degré de "rondité". Un indice de compacité élevé indique un bassin versant plus circulaire et compact, tandis qu'un indice plus faible indique une forme plus allongée et irrégulière. [13]

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

P : Périmètre de bassin versant en *km*

A : Aire du bassin versant en *km²*

II.2.2 Le temps de concentration

Le temps de concentration est un paramètre important pour l'étude de l'hydrologie des bassins versants. Il est défini comme le temps nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombée à l'amont du bassin atteigne le point de sortie du bassin. En d'autres termes, le temps de concentration est le temps nécessaire pour qu'une goutte d'eau parcourt la distance totale du bassin versant, depuis son point d'entrée jusqu'à son point de sortie. [26]

Le temps de concentration dépend de nombreux facteurs tels que la topographie du bassin versant, la végétation, les précipitations, l'état du sol, etc. Il est souvent utilisé pour déterminer les débits de crue, le dimensionnement des structures hydrauliques, la gestion des eaux pluviales, la modélisation hydrologique, etc.[26]

Il existe plusieurs méthodes (formules empiriques) pour calculer le temps de concentration d'un bassin versant, notamment :

Formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{\Delta H}} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

T_C : Temps de concentration du BV en heures.

S : Surface du BV en Km^2 .

L : Longueur du cours d'eau principal en Km.

ΔH : Différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale du BV en m.

Formule de Ventura : Elle est applicable pour des bassins à une pente moyenne faible et une surface supérieure à 10 Km^2

$$T_c = 0.13 \left(\frac{S}{I} \right)^{0.5} \quad (\text{II.3})$$

T_C : Temps de concentration du BV en heures.

S : Surface du BV en Km^2 .

I : Pente moyenne du bassin en %

Formule de Turazza :

$$T_c = 0.0529S \left(\frac{L}{I} \right)^{1/3} \quad (\text{II.4})$$

T_C : Temps de concentration du BV en heures.

S : Surface du BV en Km^2 .

I : Pente moyenne du bassin en %.

L : Longueur du cours d'eau principal en Km.

Formule Passini : Elle est applicable pour des surfaces supérieures à 40 Km^2

$$T_C = 6.48 \frac{\sqrt[3]{SL}}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

T_C : Temps de concentration du BV en heures.

S : Surface du BV en Km^2 .

I : Pente moyenne du bassin en %.

Formule de Kirpich :

$$T_C = 0.0078L^{0.77}S^{0.385} \quad (\text{II.6})$$

Où :

T_C : Temps de concentration du BV en heures.

L : Longueur du cours d'eau principal en Km.

S : Surface du BV en Km^2 .

II.3 Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude concerne une liaison autoroutière le long d'une distance de 42 Km qui est située au niveau de la wilaya de Batna, au Nord-Est de l'Algérie, dans la région des Hauts Plateaux, Elle est bordée par les wilayas de Khenchela, Oum El Bouaghi, Tébessa, Biskra, M'Sila et Sétif. Sa superficie totale est d'environ 12 192 km² et elle compte une population d'environ 1,1 million d'habitants.[15]



FIGURE II.1 – Situation de la Wilaya de Batna et ses frontières[15]

II.3.1 Localisation du tracé

Le tracé de la liaison autoroutière Batna /autoroute Est-Ouest (Lots 02) situé au sud de la wilaya de Mila, prend naissance de PK 22+260 au PK 57+122. Il est d'orientation générale Sud-Est /Nord-Ouest, ce dernier est divisé en deux tronçons :

Le premier tronçon situé entre le PK22+350 et le PK34+900, il début à environ 7km au Nord-Ouest de la commune de Bir Echouhada et se poursuit au Nord-Est de Machtet Hassi Bergoug.

Le second tronçon, localisé entre le PK34+900 et le PK57+132, il débute à environ 1.5km au Nord-Est de Machtet Hassi Bergoug, il se poursuit au Nord jusqu'à l'échangeur d'accès de l'autoroute Est-Ouest entre la commune de Chelghoum et la commune de Tadjenanet. La totalité du tracé de la liaison autoroutière Batna / autoroute Est-Ouest traverse des terrains agricoles.[32]



FIGURE II.2 – Principaux axes roturiers et autoroutes de l’Algérie horizon 2025[32]

II.3.2 Réseau hydrographique des bassins versants de la zone d’étude

Hydrologiquement parlant et selon la codification des bassins versants établie par l’ANRH, l’ensemble du tracé de la pénétrante de Batna (lot2) concerné par cette étude s’inscrit dans deux grands bassins versants, il s’agit du bassin versant de hauts plateaux Constantinois (Code ANRH : 07) et du bassin versant Kébir Rhumel Constantinois (Code ANRH : 10) et partiellement dans le sous bassin (10.03) et le sous bassin (07.02).

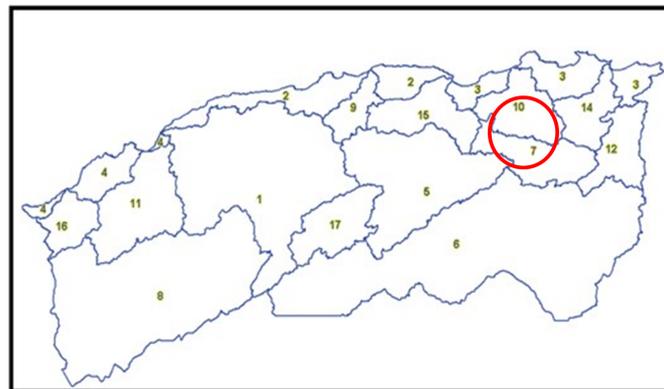


FIGURE II.3 – Les grands bassins versants Algériens suivant le découpage de l’A.N.R.H[32]

Les Oueds de la zone d’étude ont un caractère commun qui est l’irrégularité, car tous dépendent des conditions climatiques avec un débit pratiquement nul durant la majeure partie de l’année (6-10 mois), des crues violentes et abondantes sont enregistrées durant les orages. Les oueds sont puissants lors des crues, ils finissent en général par perdre leur énergie dans les parties basses soumises à une forte évaporation. Le réseau hydrographique est étroitement lié aux précipitations ainsi qu’il est surmonté par une atmosphère à très

fort pouvoir évaporant.[15]

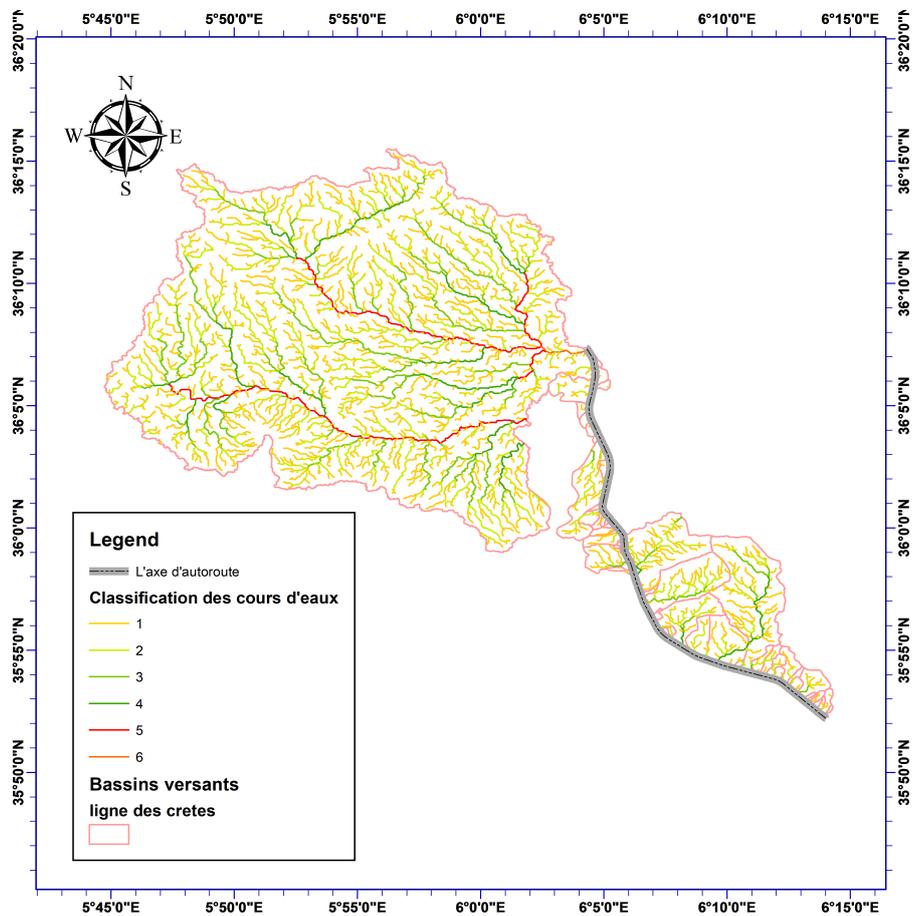


FIGURE II.4 – Réseau hydrographique de la zone d'étude[32]

II.4 Méthodes de délimitation des bassins versant

II.4.1 Méthode manuelle avec logiciel Google Earth

Pour délimiter un bassin versant manuellement il faut passer par les étapes suivantes :

1. Identification de l'exutoire
2. Reconnaissance du réseau hydrographique (principal au minimum) rattaché à l'exutoire
3. Éventuellement . Repérage du réseau hydrographique des bassins alentours (surtout en zones plates)
4. Identification des points culminants sur la zone
5. Tracer du contour du bassin à 90° des Lignes de niveau (ligne de crêtes) : On contourne l'ensemble du tronçon amont, incluant tous ses tributaires. On revient au point de départ. [7]

Parmi les outils assistés par ordinateur qu'on peut utiliser pour atteindre notre objectif, c'est le logiciel développé par Google, en l'occurrence Google Earth, qui peut s'avérer un outil utile pour la délimitation des bassins versants. Voici les étapes pour utiliser Google Earth pour cette tâche :

1. Utiliser l'outil de création pour créer un point ou un repère représente l'exutoire de bassin versant. On peut identifier cet exutoire par l'intersection entre le cours d'eau et l'axe de l'autoroute.

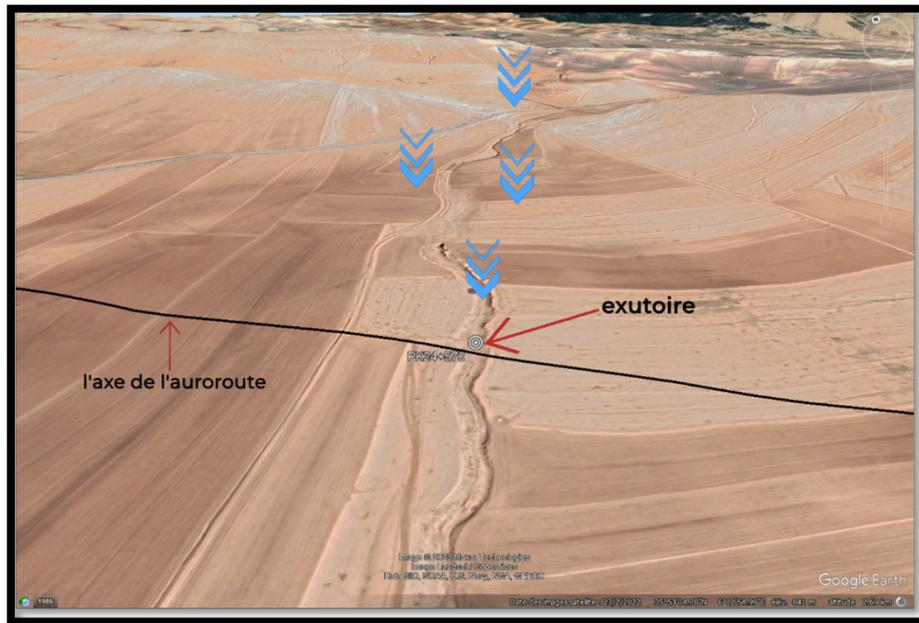


FIGURE II.5 – Identification de l'exutoire

Dans la fenêtre des lieux on peut ajouter un repère qui caractérise l'exutoire utilisant l'outil suivant :

Ajouter → Repère → Nommer (Exemple : Exu 1)

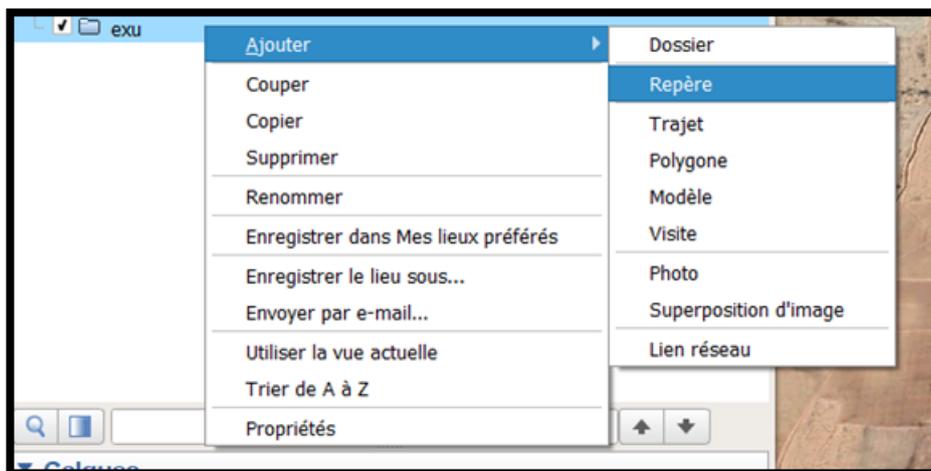


FIGURE II.6 – Création d'un repère

2. Commençons par l'exutoire du cours d'eau, on peut suivre son chemin contre le sens de l'écoulement jusqu'à arriver au point de départ du cours d'eau, ce chemin sera le cours d'eau principale ou talweg.

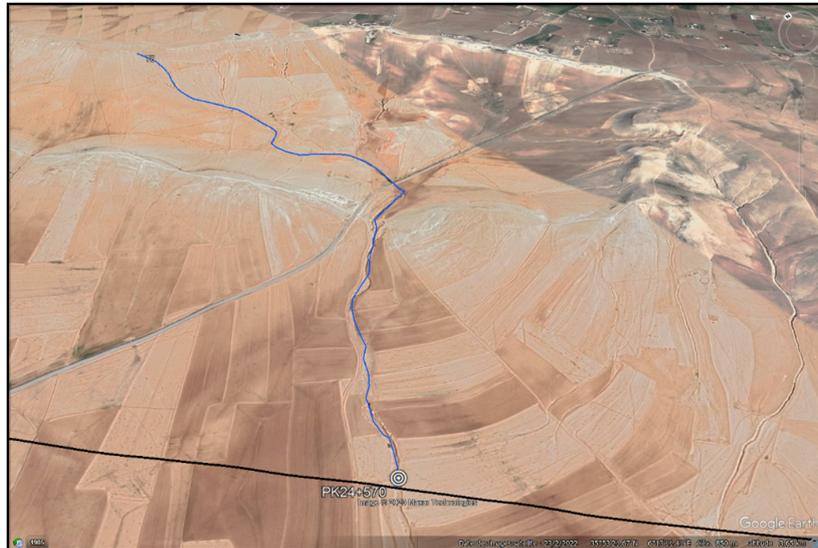


FIGURE II.7 – Extraction du talweg

Dans la fenêtre des lieux on peut ajouter un trajet qui caractérise le cours d'eau principal en utilisant l'outil suivant :

Ajouter → Trajet → Nommer (Exemple : Talweg 1)

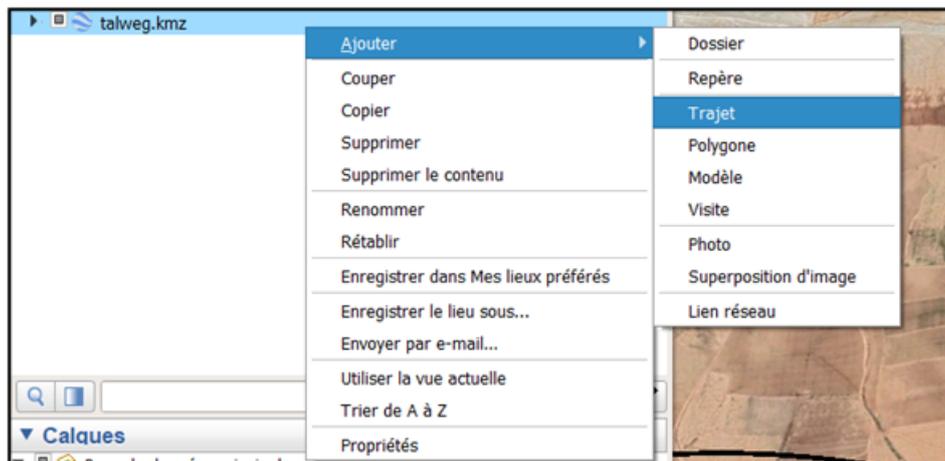


FIGURE II.8 – Création d'un trajet

On doit vérifier l'unité du système de mesure

Aller à mesure → choisir (Km) → OK

On peut modifier les paramètres de visualisation de trajet qu'on a créé.

Aller sur la barre des taches → clic droit sur route → propriétés tableau → on peut changer la couleur et la largeur → OK .

- Après on essaie de visualiser les points hauts à l'aide de la barre qui affiche la variation de l'altitude et on marque ces points afin de les relier pour déterminer la ligne de crête qui caractérise ce bassin versant.

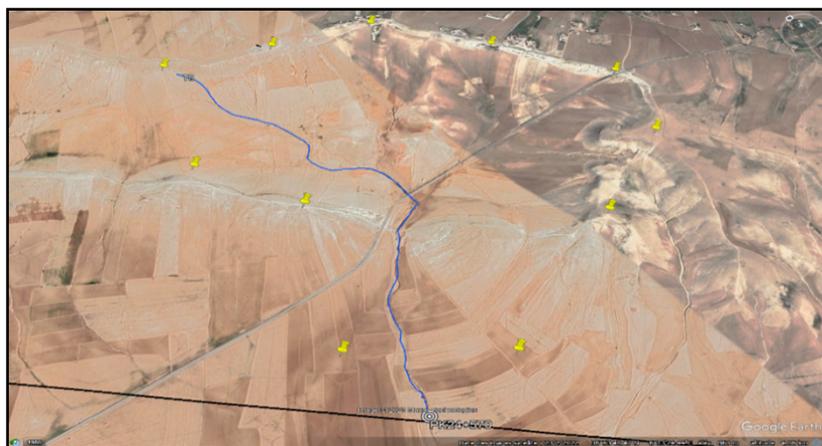


FIGURE II.9 – Identification des points hauts

- Enfin pour obtenir la forme finale du bassin versant on dessine un polygone qui passe par les points qu'on a déjà déterminé, en même temps, on suit la variation de l'altitude pour extraire le bassin versant le plus réel et éviter les erreurs qui peuvent influencer nos résultats dans les prochaines étapes.

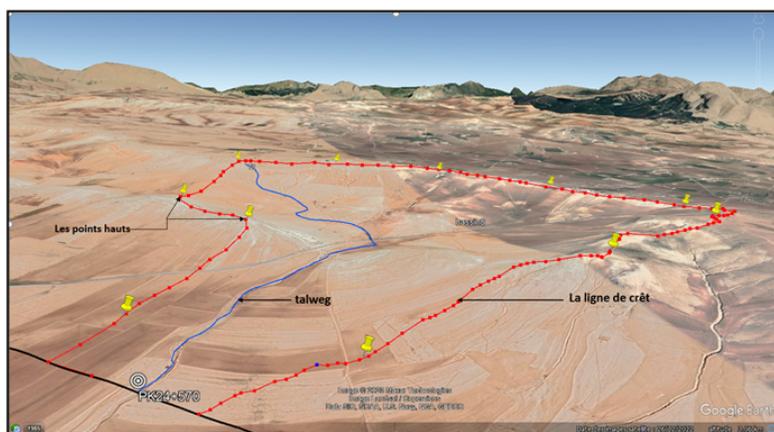


FIGURE II.10 – Extraction du bassin versant

On peut créer un polygone à l'aide de l'outil ajouter un polygone :

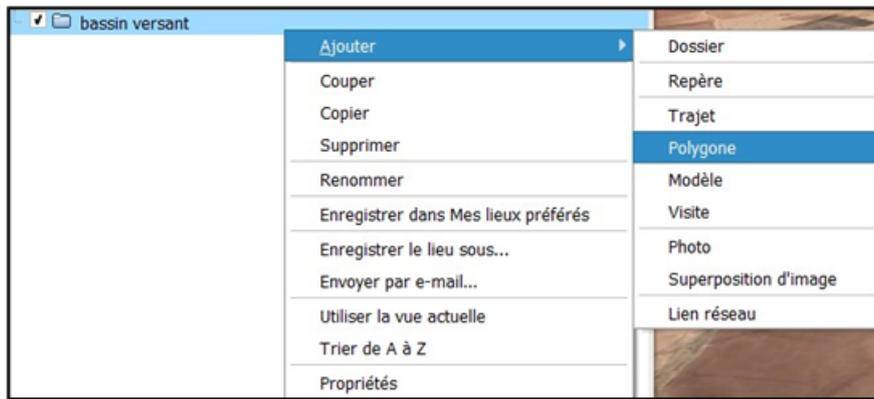


FIGURE II.11 – Création d'un polygone

Et pour les autres bassins versants, on suit les mêmes étapes. Dans notre cas d'étude, on a pu extraire 59 bassins versants qui sont représentés dans la figure II.12 ci-dessous :



FIGURE II.12 – Projection des bassins extraits dans une image satellitaire

5. Exporter les limites de la zone de drainage et les données de superficie dans un fichier pour une utilisation ultérieure.

Il est important de noter que cette méthode peut ne pas être aussi précise que d'autres méthodes plus spécialisées, telles que l'utilisation de SIG (Système d'Information Géographique). Cependant, l'utilisation de Google Earth peut fournir une estimation approximative de la limite du bassin versant et peut être utilisée comme outil préliminaire pour l'analyse hydrologique. L'extraction manuelle des bassins versants fait par Google Earth est représentée dans la figure II.12.

II.4.2 Méthode manuelle a partir d'une carte Topographique

Définition d'une carte topographique

Une carte topographique est une représentation graphique détaillée et précise du relief, des formes du terrain, et des éléments géographiques tels que les cours d'eau, les routes, les bâtiments, les forêts, etc. Elle fournit des informations sur les altitudes, les pentes, les courbes de niveau et d'autres caractéristiques topographiques de la surface terrestre. Les cartes topographiques sont généralement établies à partir de relevés sur le terrain, de levés aériens ou de données satellites. Elles sont utilisées dans de nombreux domaines, tels que l'arpentage, l'aménagement du territoire, la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, les activités de plein air (randonnée, escalade, etc.), et bien sur les travaux routier et hydraulique.[22]

Les informations présentées sur une carte topographique sont généralement représentées à l'aide de symboles, de lignes de contour, de couleurs et d'autres éléments visuels qui permettent de visualiser et d'interpréter les caractéristiques du terrain. Elles peuvent également inclure des coordonnées géographiques, des échelles de mesure et des légendes pour faciliter la compréhension et l'utilisation de la carte.[7]

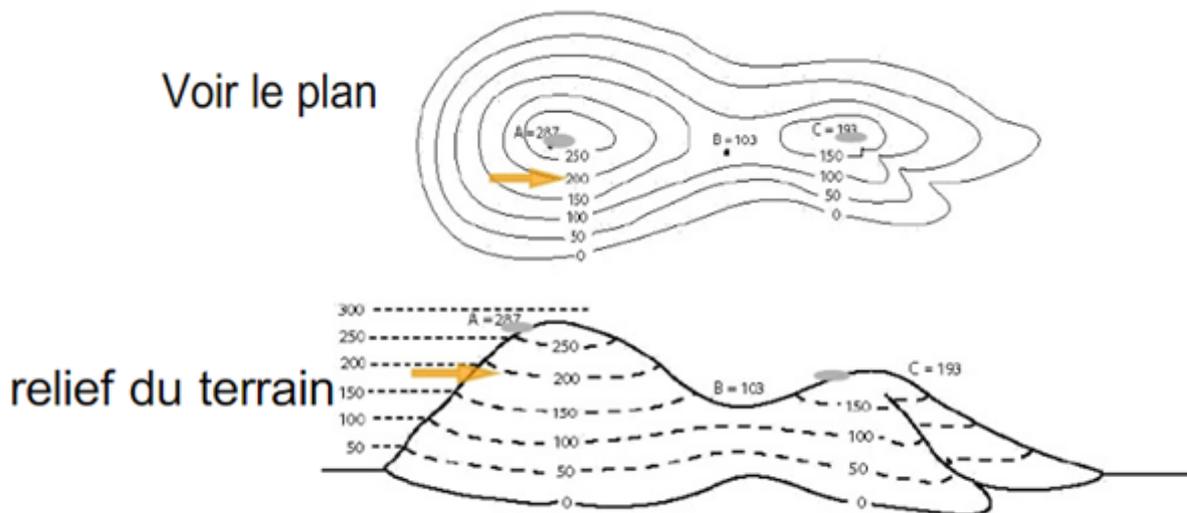


FIGURE II.13 – Les reliefs et leurs représentations dans une carte topographique[7]

Utilisation de la carte topographique pour la délimitation des bassins versants

Les courbes de niveaux se connectent toujours, mais pas toujours dans les limites de la carte. Comme il est représenté dans la figure II.14.

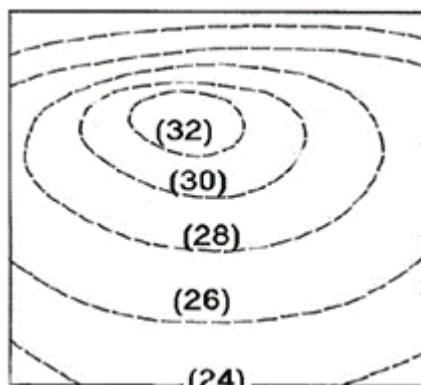


FIGURE II.14 – Les Courbes de niveaux[7]

Le sens de la pente est calculé et dirigé perpendiculairement aux courbes de niveaux (figure II.15).

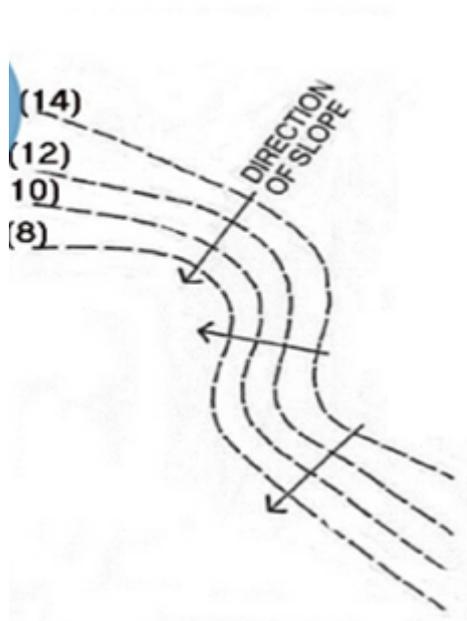


FIGURE II.15 – L'orientation du sens des pentes[7]

On peut tirer les informations suivants dans la carte qui se représente dessous (figure II.16 :



FIGURE II.16 – Exemple d’une carte topographique réelle [7]

- Les sommets sont indiqués par des courbes de niveaux fermées et plus petites.
- Chaque cinquième ligne de courbe de niveau est une courbe indice et est habituellement étiquetée.
- Les courbes de niveaux rapprochées indiquent une pente raide ou escarpement.
- Les courbes de niveaux éloignées indiquent une pente douce.
- Les courbes de niveaux ne se croisent jamais.
- Lorsque les courbes de niveaux traversent un cours d’eau, ils forment un « V » qui pointe toujours vers le haut.
- Lorsque les courbes de niveaux traversent une ligne de crête, ils forment un « V » qui pointe toujours vers le bas.
- Une selle est une zone, souvent sur une crête, entre deux zones de haute altitude.
- Les dépressions sont indiquées par des courbes de niveaux fermées avec des tiques ou une flèche pointant vers l’intérieur.

Ligne de crêtes et de talweg

- Passent par les extrêmes (crêtes : max / talwegs : min) et les cols de la surface .
- La courbure horizontale de la ligne de niveau y présente un maximum (la concavité est inversée entre lignes de crêtes et de talweg).[7]

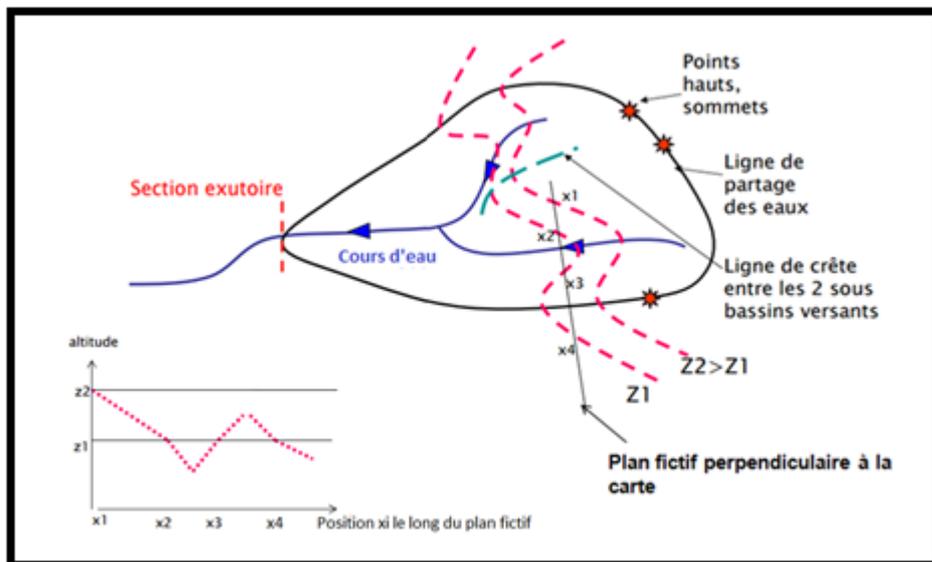


FIGURE II.17 – Les lignes des crêtes et des talwegs

La carte topographique de notre cas d'étude est géoreferenciée et est représentée dans la figure suivante :

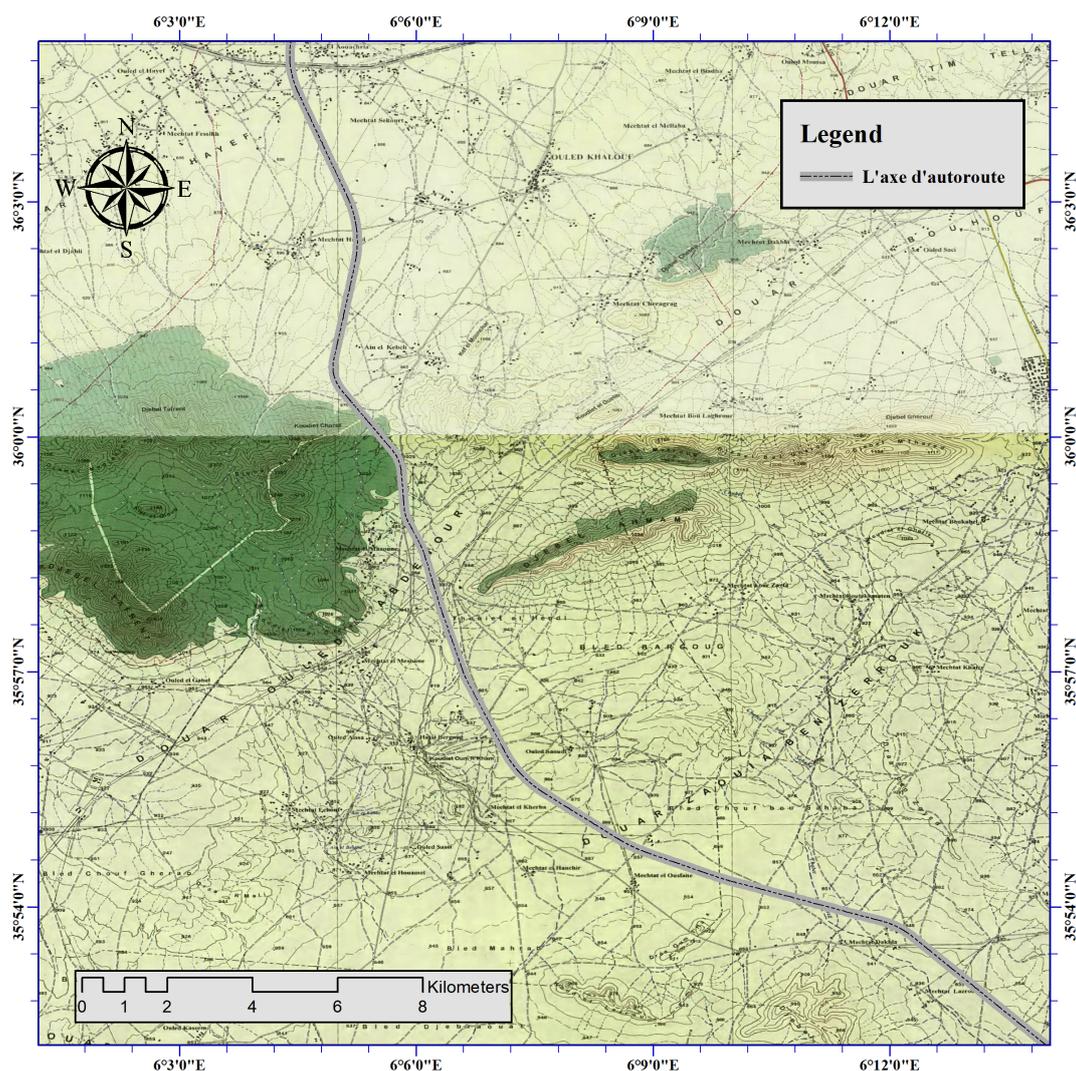
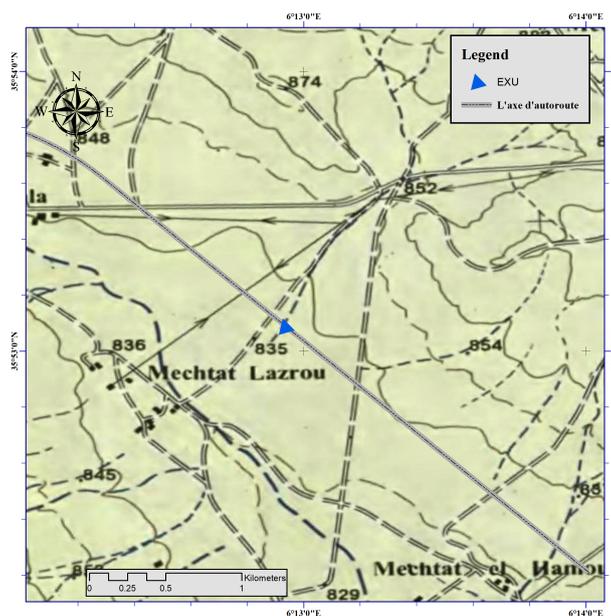


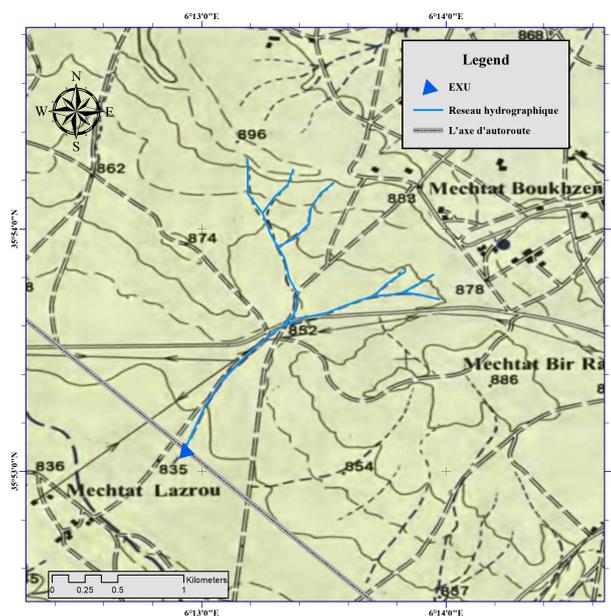
FIGURE II.18 – Carte topographique correspondant a notre cas d'étude (source : ANRH)

Pour la délimitation des bassins versants à partir d'une carte topographique, on doit passer par les mêmes étapes de délimitation manuelle citées dans la section précédente qui traite la procédure de délimitation en utilisant Google Earth :

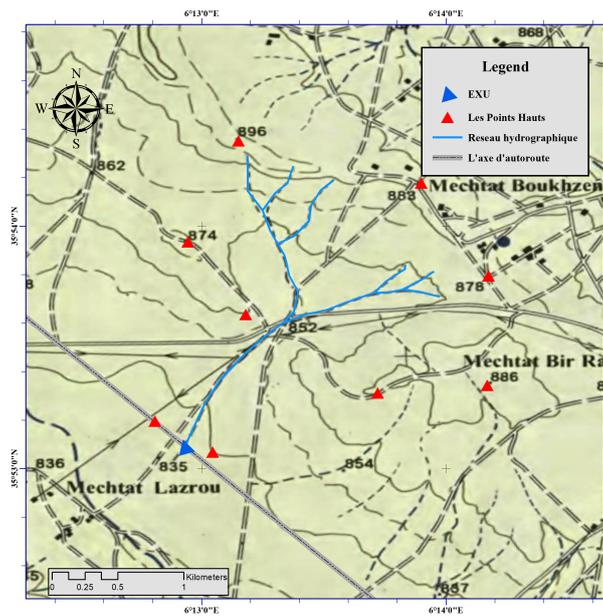
1. Identification de l'exutoire



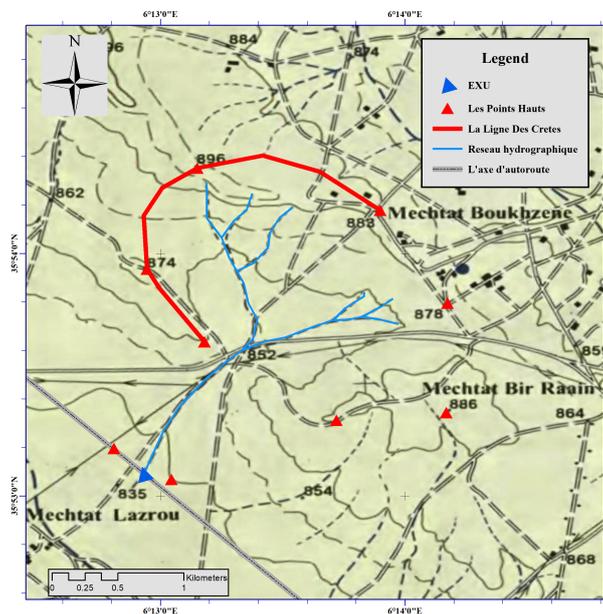
2. Reconnaissance du réseau hydrographique (principal au minimum) rattaché à l'exutoire .



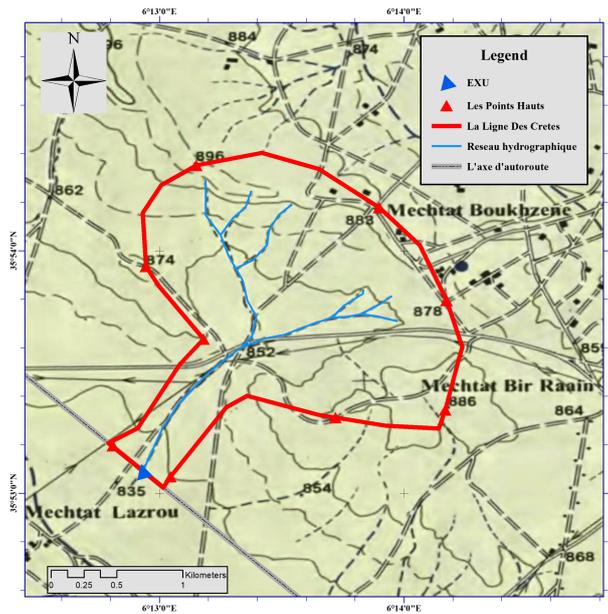
3. Identification des points culminants (les point hauts) sur la zone .



4. Tracer du contour du bassin à 90° des Lignes de niveau (ligne de crêtes) : On contourne l'ensemble du tronçon amont, incluant tous ses tributaires. On revient au point de départ. .



5. Lignes de niveau (ligne de crêtes) : On contourne l'ensemble du tronçon amont, incluant tous ses tributaires. On revient au point de départ.



Et on refait la même procédure pour les autres bassins versants.

II.4.3 Méthode numérique (Global Mapper)

Global Mapper est un logiciel de cartographie et d'analyse géospatiale développé par la société américaine Blue Marble Geographics. Il est utilisé pour la visualisation, l'analyse et la manipulation de données spatiales provenant de diverses sources telles que les fichiers SIG, les images satellites, les données LiDAR (Light Detection And Ranging), les données de terrain et les fichiers de géo data base..[21]

Global Mapper prend en charge un large éventail de formats de données géospatiales, notamment les formats SIG les plus courants, tels que Shapefile, KML, GeoTIFF, etc. Il permet également d'exporter des données dans des formats courants ou spécifiques à une application.[21]

Ce logiciel est très efficace dans le coté traitement des données, il permet de fusionner, de découper, de convertir et de rééchantillonner des données géospatiales. Il offre également des outils pour la création de modèles de terrain, l'extraction de courbes de niveau, l'extraction des bassins versants et leurs réseaux hydrographiques, la création de profils de terrain, la classification de points LiDAR et la création de MNT (Modèles Numériques de Terrain). [21]

En utilisant ce logiciel, on a pu extraire les sous bassins versants de notre zone d'étude, mais malheureusement la précision n'a pas été aussi fiable que celle de la méthode manuelle (utilisant google Earth), la figure II.24 montre un exemple bien visualisé d'un échantillon de vingt sous bassins projetées sur une image satellitaire.[21]

Les étapes a suivre pour l'extraction des sous bassins versants sont résumées comme suit :

1. Importation de l'axe de la route sous une forme KMZ, KML, Shape ou Cad, la procédure d'importation des données est représentée dans la figure II.19.

Open yours data files → importer le fichier dans le dossier où il est enregistré → Ouvrir On peut cliquer sur l'icône (Zoom) pour afficher ou faire disparaître la route.

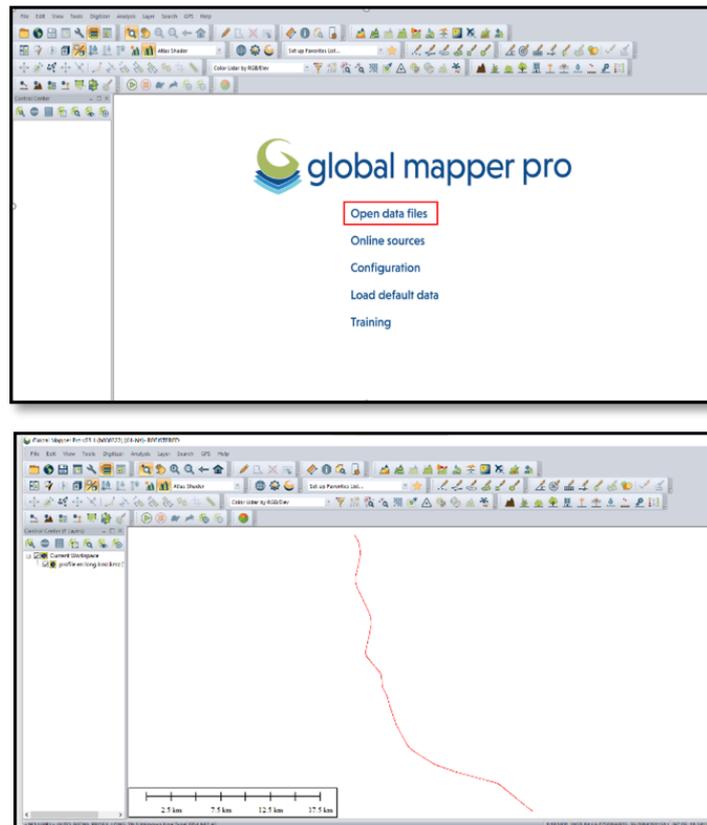


FIGURE II.19 – Procédure d'importation des données

2. Téléchargement d'une couche de données MNT (modèle numérique de terrain)

NB : Nécessite une forte connexion.

Remarque : Depuis les années 1990, la puissance des micros ordinateurs a permis un large développement des Modèles Numériques de Terrain. Sous ce vocable on confond souvent l'ensemble de programme permettant de traiter de la topographie d'une zone (le M.N.T. au sens strict) et les altitudes aux nœuds d'un maillage régulier couvrant la zone d'étude (le Modèle Numérique d'Altitude M.N.A.). A partir d'un M.N.A., le M.N.T. permet de calculer automatiquement tous les paramètres classiques tels que pente, orientation des versants... Il peut également déduire de la topographie et à partir d'un point exutoire donné, retrouver les contours d'un bassin versant, le réseau hydrographique etc. La plus grande difficulté consiste à digitaliser le relief à partir de supports cartographiques. Depuis ces dernières années ces banques de données peuvent être achetées (IGN par exemple), mais on trouve également sur le WEB une couverture totale du monde (Arc de 0.5 minute d'angle) gratuite.[21]

Dans notre cas les données des élévations des terrains naturelles sont intégrées dans le logiciel Global Mapper à partir de sources (SRTM, Aster, ...).

File → Download online imagery/Topo /Terrain maps → Cliquez sur Populaire Source clic sur SRTM Worldwide Elevation Data → Connect. (et on attend le téléchargement des images satellites).

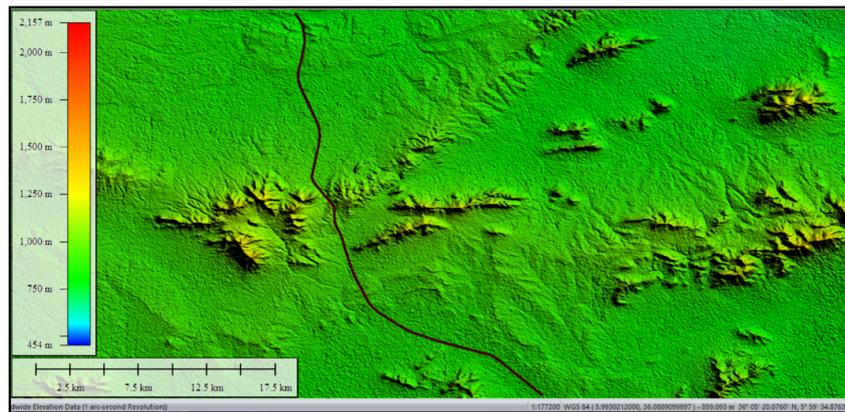


FIGURE II.20 – Modèle numérique du terrain (MNT)

Remarque : En effectuant un Zoom sur la route, on peut ne pas tomber sur l'étendue du BV, c'est-à-dire que les données téléchargées ne couvrent pas toute l'étendue de la zone d'étude.

Dans ce cas, il faut cliquer sur Zoom arrière pour réduire l'image et on peut se déplacer pour mieux cerner la zone d'étude ou les limites présumées du BV.

3. Délimitation de la zone des bassins. Cette étape permet au logiciel de ne pas faire des délimitations inutiles ; c'est-à-dire les BV à générer concerneront uniquement la zone du projet.

Pour cela, on prend l'outil de digitalisation pour dessiner la surface concernée par le projet. A la fin de la délimitation on clique bouton droit et nomme : Zone des bassins.

Ensuite clic sur échappe et le curseur devient « EDIT » au lieu de « AREA » clique à l'intérieur de la surface délimitée et cette dernière est sélectionnée.

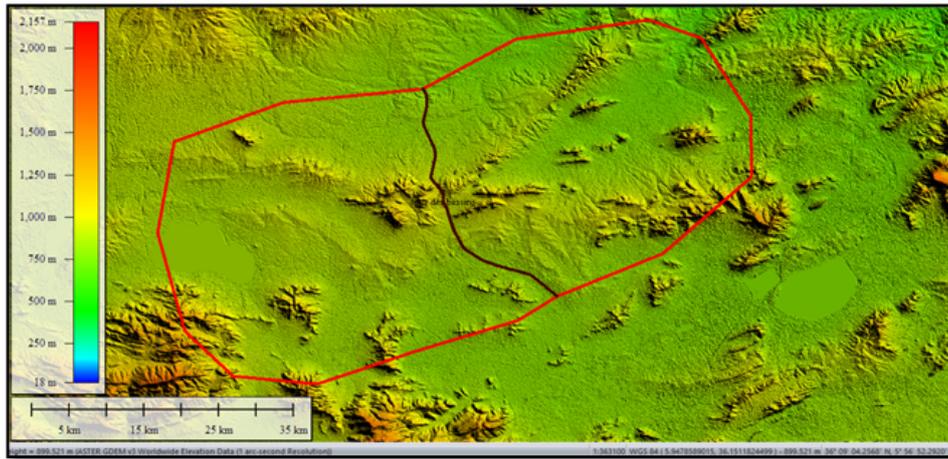


FIGURE II.21 – Zone du projet

Analysis Generates watershed → watershed bounds → clic select to crops area
 watershed option → sur description nommer le BV (BV de la région) → clic
 stream drainage area (choisir 1 km² pour les grands BV /1ha pour les petits BV)

Coche : Discard stream start (mettre : 1 unite : m).

Sur depression fill Depht : spécifier la dépression max (par 5m pour les zones
 plates et 10m pour les zones montagneuses) → ok : on attend pour la génération
 des bassins.

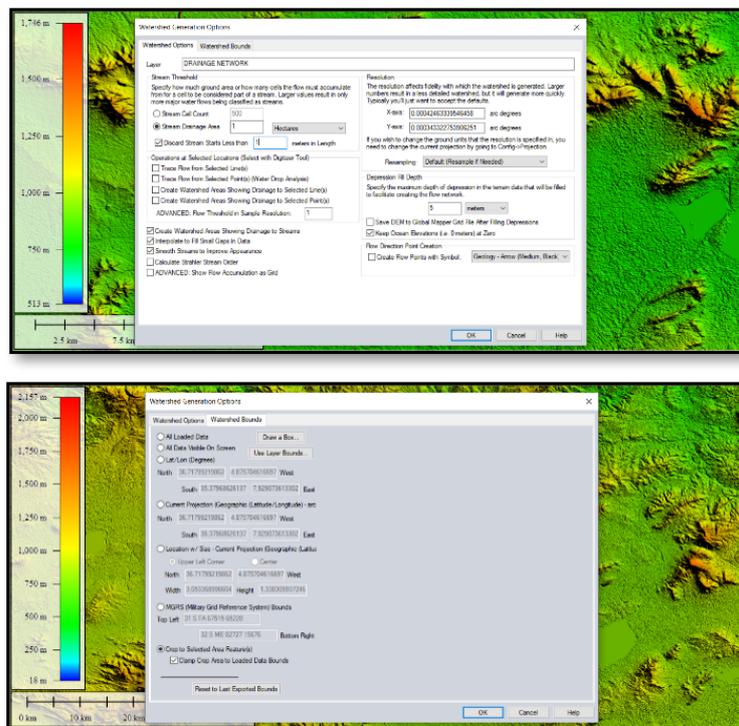


FIGURE II.22 – Options de délimitation des bassins versants

Après cette opération, clic sur échappe pour mieux voir la configuration des BV (les différentes couleurs représentent les SBV et les traits bleus représentent les écoulements).

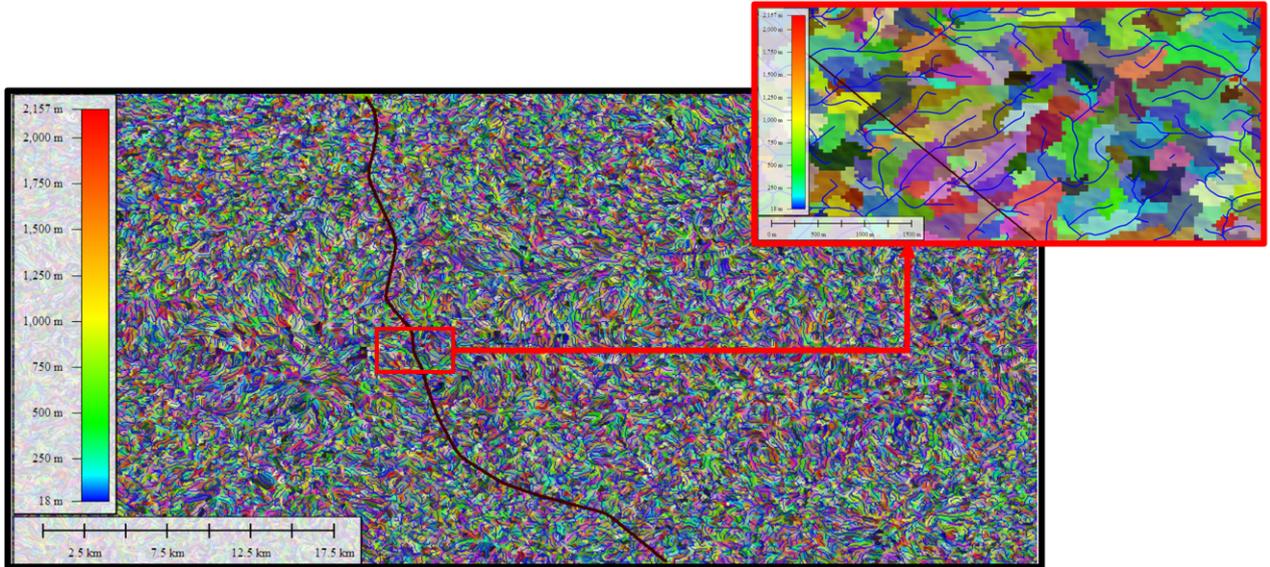


FIGURE II.23 – Résultats d'extraction avec $S = 1ha$ et $l = 10m$

4. Ensuite on doit delimitier les bassins versants, chacun correspondant a son reseau hydrographique, Clic sur l'outil de digitalisations (en haut à gauche) et suivre soigneusement les limites du BV dont on veut déterminer les caractéristiques. à la fin clic droit et nommer le BV (exple BV1).S'il y a plusieurs BV dans la zone, on répète la même procédure.

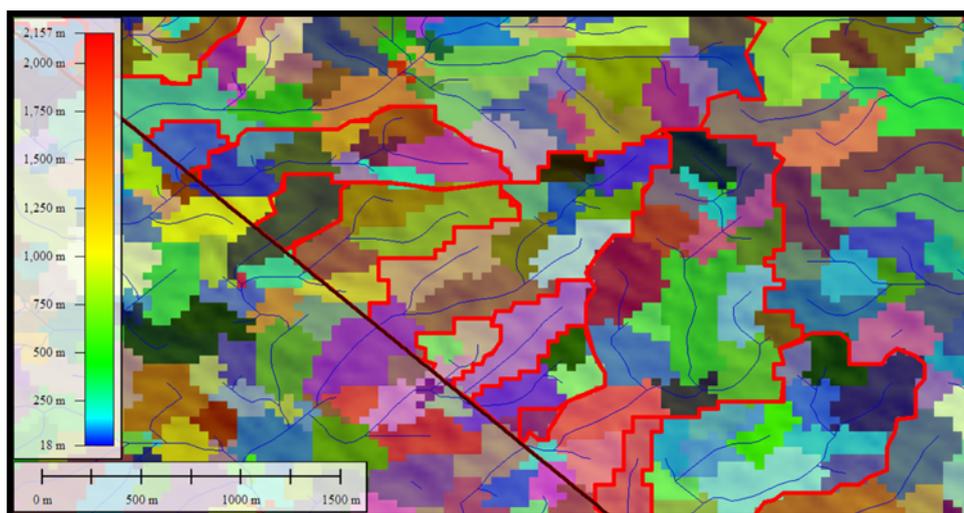


FIGURE II.24 – Delimitation des bassins avec pour chacun son propre réseau hydrographique

5. Pour la détermination des caractéristiques des bassins versants on Clic sur échappe et le curseur devient « EDIT » et on fait un clic droit pour sélectionner le BV.

Dans le cas de plusieurs Bv clic sur contrôle pour sélectionner l'ensemble des BV
 → clic droit → attributes styles fonction calculate elevation/slope stats → ok.

Pour afficher les caractéristiques du BV :

Clic droit → Analysis measurement → Measure /display features.

Ainsi apparait un tableau qui renseigne sur les caractéristiques du BV énoncées plus haut. Pour déterminer la longueur de l'écoulement le plus long :

Clic sur échappe → prendre l'outil ligne et suivre la longueur la plus importante, ensuite clic droit et on peut lire la longueur au niveau de LENGTH.

Remarque : on peut cliquer sur l'outil 3D pour voir la configuration du terrain, Mais également avoir un aperçu sur la zone inondée sur la fenêtre 3D.

Pour cela : clic sur l'outil à droite en haut → sur le tableau qui apparait augmenter la valeur de « WATER LEVEL » (si la cote naturelle de l'exutoire est 15 m on passe à 16 ...17) →Apply .

6. On peut enregistrer le fichier extension Google Earth :

File export → vector format (choisir kml/kmz) → nommer puis enregistrer

On peut l'enregistrer extension AUTOCAD.

File export → vector format (choisir DWG) → nommer puis enregistrer

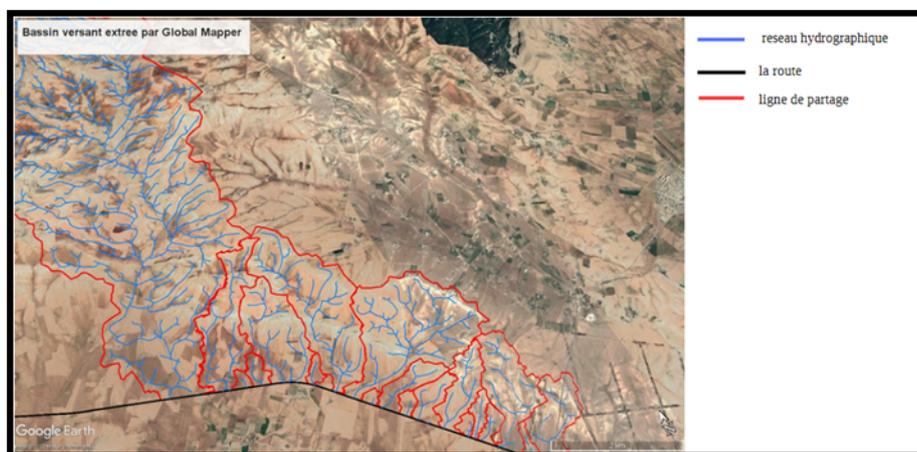


FIGURE II.25 – Résultats finaux d'extraction des bassins versants sur Global Mapper

Il très important de noter que la précision lors de la délimitation ou l'extraction numérique avec Global Mapper ou n'importe quel outil de SIG dépend de certains facteurs, parmi lesquels, la taille du bassin versant joue un rôle majeur. En effet, plus la taille du bassin versant est grande plus la délimitation est précise, ainsi que la couche des données MNT, plus cette couche est dense, plus l'extraction est précise. Dans notre cas, et vu que la plupart des bassins versants extraits ont des surfaces plus ou moins petites alors la délimitation manuelle est préférable.

II.4.4 Résultats des caractéristiques morphologiques des bassins versants délimités

L'extraction des bassins versants dans notre zone d'étude a permis la délimitation de 60 bassins versants que l'on peut classer en trois catégories suivant leur surface, petit, moyen et grand. Pour les petits bassins il est recommandé de les délimiter manuellement, pour les bassins moyens, les deux méthodes manuelle et numérique peuvent être appliquées, mais concernant les grands bassins (dans notre cas le BV60) la méthode numérique utilisant un logiciel SIG est préférable car plus précise.

L'objectif de cette tâche est d'étudier les caractéristiques de chaque bassin versant pour déterminer le débit à l'exutoire afin de dimensionner correctement l'ouvrage capable d'évacuer ce débit.

les bassins versant de 1 a 59 sont représentés dans la figure II.26 ,la figure II.27 contient le BV60

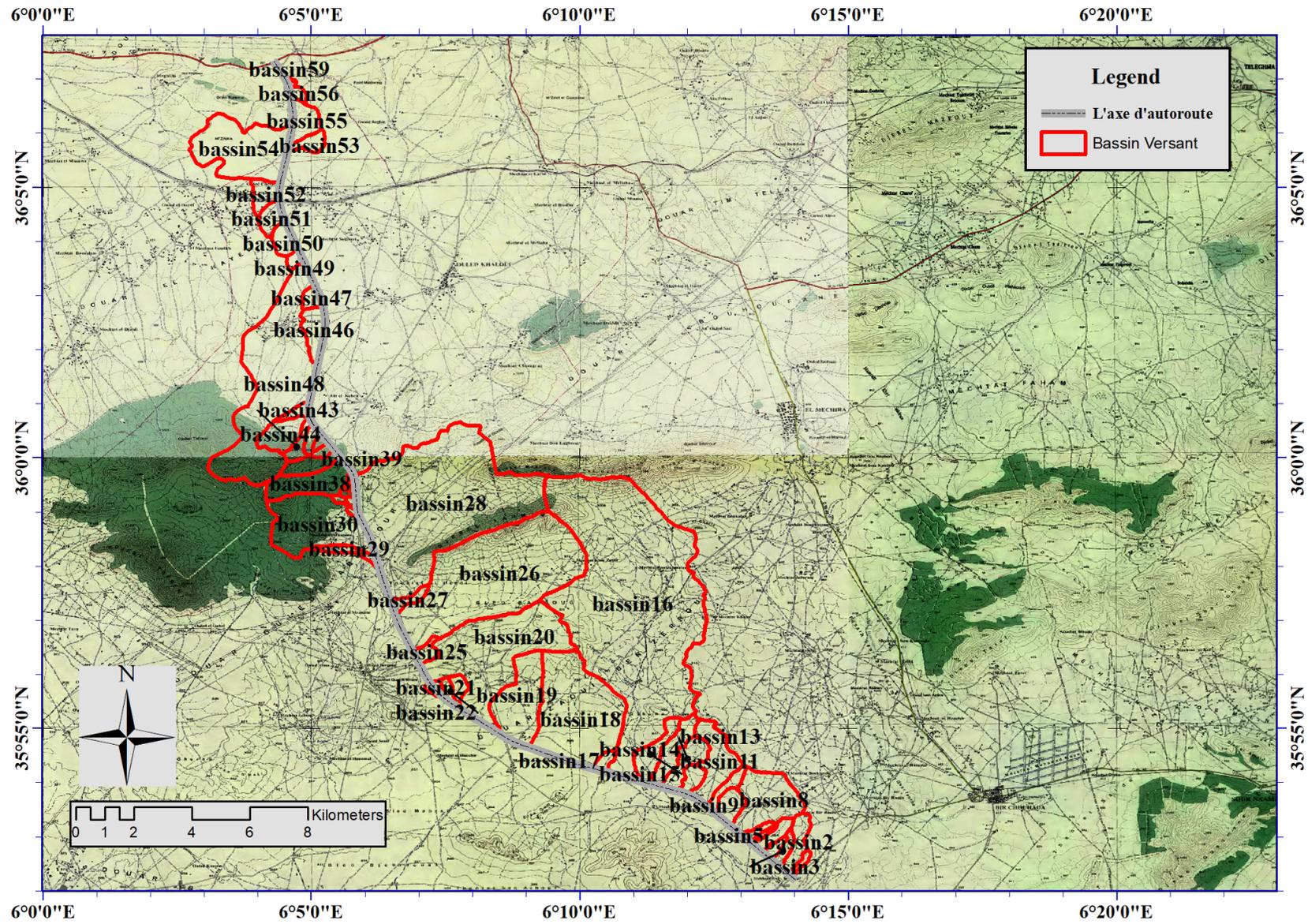


FIGURE II.26 – Projection des bassins versants sur une carte topographique

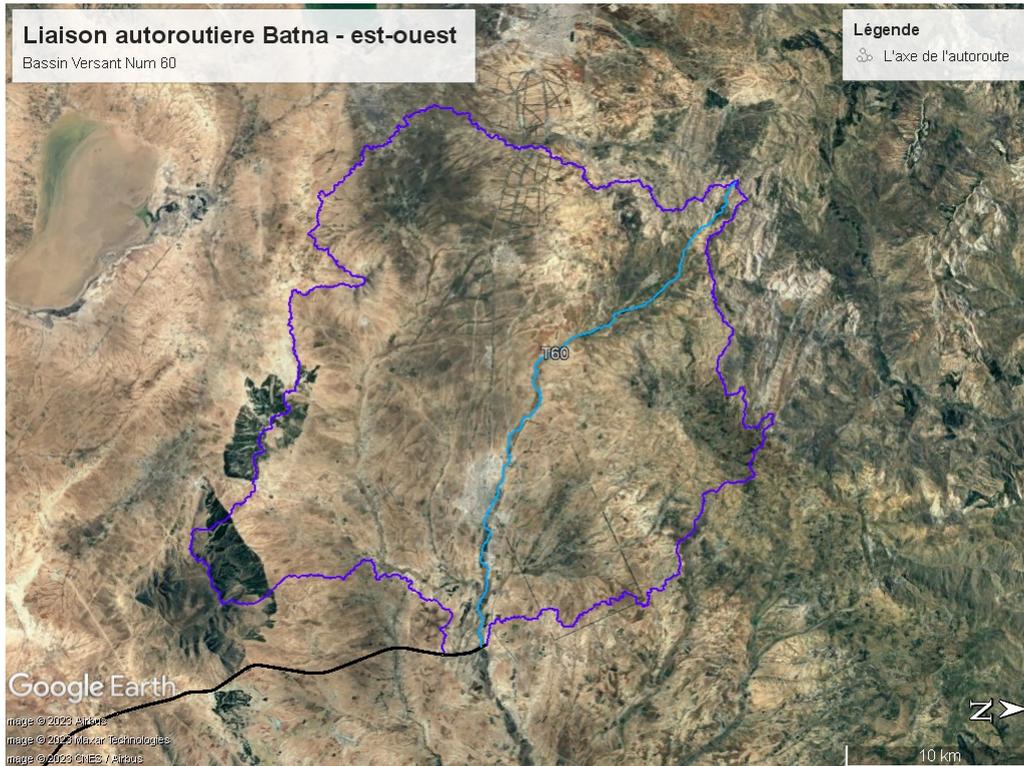


FIGURE II.27 – Le bassin versant num 60

Pour les grands BV qui se trouvent aux PK38+280 et PK56+854, il est prévu la construction de deux ponts comme ouvrages de franchissement. La conception et le dimensionnement de ces ponts ne seront pas traités dans la présente étude.

L'analyse de ces différents bassins versants a permis de dégager leurs principales caractéristiques qui sont résumées dans le tableau II.1 ci-dessous, sachant que celles-ci vont nous permettre d'estimer les différents débits de projet.

TABLE II.1 – Caractéristiques morphologiques des bassins versants de notre cas d'étude.

NUM BV	Surface (Km ²)	Périmètre (km)	Longueur du talweg (km)	H max (m)	H min (m)	H moy (m)	Pente moy en %
1	0.147	2.284	0.99	871	833	852	4.21
2	0.814	5.145	2.061	893	833	863	3.51
3	0.318	3.222	1.222	882	837	859.5	3.61
4	0.237	2.28	0.756	877	839	858	4.14
5	0.498	3.663	1.474	892	839	865.5	3.42
6	0.112	2.112	0.973	879	838	858.5	4.31
7	0.23	2.498	0.948	880	836	858	3.93
8	2.843	7.31	2.563	897	839	868	2.72
9	0.681	3.303	1.255	875	838	856.5	3.39
10	0.479	4.638	1.863	897	841	869	2.92
11	1.978	8.138	3.103	913	846	879.5	2.76
12	0.481	3.082	1.107	879	847	863	3.06
13	1.026	5.575	2.116	901	849	875	3.09
14	1.15	6.383	2.733	914	848	881	2.74

CHAPITRE II. DÉLIMITATION DES BASSINS VERSANTS

15	1.057	5.991	3.115	903	846	874.5	2.83
16	27.61	29.629	13.058	1246	849	1047.5	2.83
17	0.265	2.233	0.742	860	851	855.5	1.87
18	7.312	11.45	4.051	966	850	908	3.46
19	3.187	8.379	3.097	932	856	894	2.81
20	8.111	16.495	4.869	972	864	918	2.53
21	0.341	2.829	0.724	905	878	891.5	2.23
22	0.202	2.267	0.884	911	880	895.5	2.83
23	0.127	1.857	0.662	914	883	898.5	4.28
24	0.093	1.397	0.483	917	888	902.5	5.07
25	0.361	2.983	0.668	952	929	940.5	3.13
26	13.093	15.91	6.55	1228	918	1073	3.67
27	0.368	3.624	1.157	952	921	936.5	3.18
28	17.689	19.649	7.232	1246	926	1086	3.2
29	0.399	4.578	2.198	1002	941	971.5	3.25
30	4.492	9.695	3.914	1230	945	1087.5	6.34
31	0.067	1.024	0.279	1004	984	994	4.52
32	0.107	1.966	0.714	1035	995	1015	5.22
33	0.085	1.198	0.388	1023	994	1008.5	7.05
34	0.089	1.404	0.507	1036	997	1016.5	7.26
35	0.073	1.33	0.422	1047	1007	1027	7.73
36	0.035	0.746	0.137	1047	1011	1029	16.07
37	0.042	0.815	0.147	1047	1022	1034.5	16.47
38	1.869	6.865	3.075	1278	984	1131	6.78
39	0.768	4.364	1.739	1204	987	1095.5	8.27
40	0.193	1.81	0.435	1144	979	1061.5	20.29
41	0.124	1.431	0.471	1084	963	1023.5	18.01
42	0.28	2.562	0.59	1140	958	1049	10.35
43	0.461	4.04	1.61	1202	946	1074	15
44	1.091	4.502	2.16	1166	946	1056	8.8
45	0.277	2.883	0.875	975	935	955	4.24
46	0.903	4.739	2.144	912	878	895	2.62
47	0.332	2.329	0.725	884	866	875	2.5
48	9.954	20.587	8.212	1276	859	1067.5	4.75
49	0.215	2.011	0.422	864	853	858.5	2.57
50	0.537	2.96	0.895	861	845	853	2.5
51	0.566	3.127	0.677	851	841	846	1.64
52	0.677	3.996	1.002	861	839	850	2.86
53	0.447	3.119	0.888	861	845	853	2.55
54	4.519	10.188	2.957	869	833	851	2.46
55	0.91	4.338	1.446	860	816	838	3.21
56	0.19	1.916	0.395	846	809	827.5	4.77
57	0.039	0.808	0.238	834	809	821.5	7.24
58	0.008	0.618	0.254	827	809	818	6.03
59	0.013	0.544	0.166	824	811	817.5	5.56
60	562.39	177.577	34.739	1280	799	1039.5	2.67

L'analyse des résultats obtenus montre que la majorité (93%) des bassins versants extraits ont une surface inférieure à 10 km², ceci limite notre choix des formules empiriques à utiliser pour l'estimation des débits de projet pour chaque sous bassin versant ayant cette particularité.

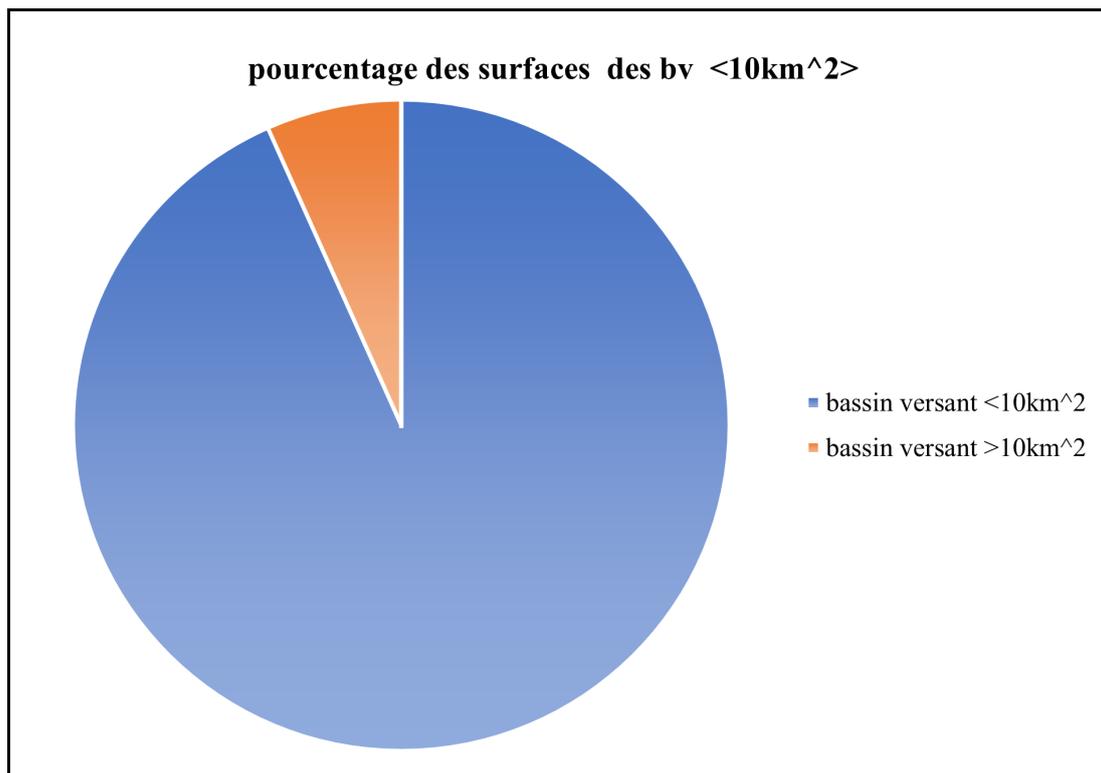


FIGURE II.28 – Pourcentage des surfaces des BV < 10km² >

Cette étude nous a aussi permis de tracer la carte d'élévation de notre zone d'étude (voir figure II.29).

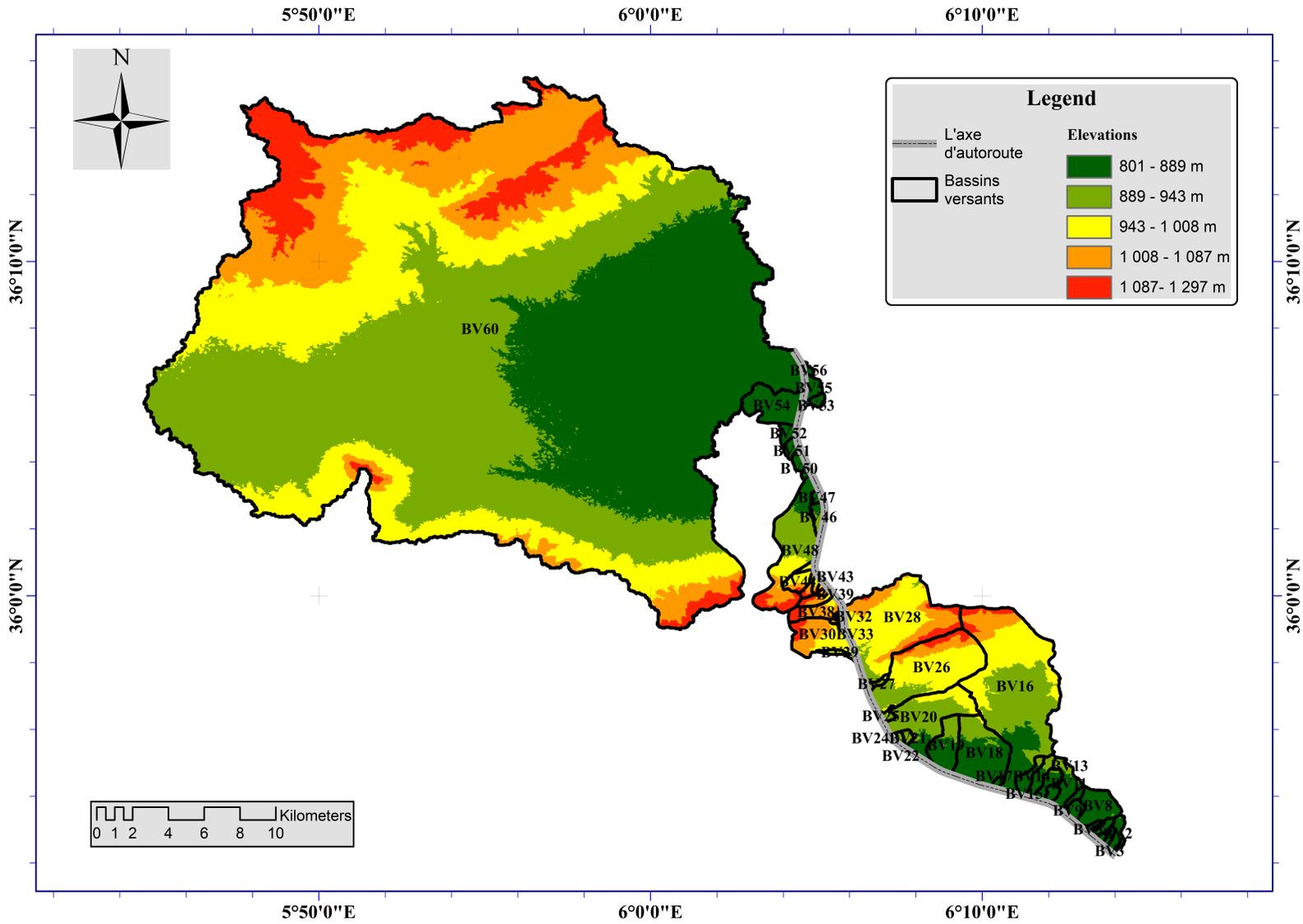


FIGURE II.29 – Carte de distribution des élévations

Chapitre III

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

III.1 Introduction

Une étude hydrologique est une analyse approfondie des caractéristiques hydrauliques d'un bassin versant, des cours d'eau et des ressources en eau. L'objectif principal d'une étude hydrologique est de fournir des informations précises sur les caractéristiques et la disponibilité de l'eau dans une zone géographique donnée. Parmi les objectifs d'une étude hydrologique on peut citer :[13]

Évaluation de la disponibilité de l'eau ou l'estimation des débits L'un des objectifs principaux d'une étude hydrologique est d'évaluer la disponibilité de l'eau ou estimer les débits dans les cours d'eau dans une zone donnée. Cette évaluation est effectuée en analysant les données pluviométrique et géomorphologique de la zone, ainsi que la capacité des sources d'eau pour répondre aux besoins de la population locale ou le dimensionnement des ouvrages hydraulique de protection.[13]

Évaluation de la qualité de l'eau Une étude hydrologique peut également être réalisée pour évaluer la qualité de l'eau disponible dans une zone géographique donnée. L'objectif est d'analyser les données sur la qualité de l'eau, y compris les niveaux de contamination et les impacts potentiels sur la santé humaine et l'environnement.[13]

Détermination des impacts des changements climatiques Une étude hydrologique peut également être utilisée pour déterminer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau d'une région donnée. Les données collectées peuvent être utilisées pour évaluer les tendances actuelles et futures en matière de précipitations, d'évaporation, de ruissellement et de débit d'eau.[13]

Développement de plans de gestion des ressources en eau Une étude hydrologique peut être utilisée pour développer des plans de gestion des ressources en eau. Les données collectées peuvent être utilisées pour identifier les défis et les opportunités liés à la gestion de l'eau dans une zone donnée, et pour élaborer des stratégies de gestion appropriées.[13]

Détermination des impacts des activités humaines Une étude hydrologique peut être réalisée pour évaluer les impacts des activités humaines sur les ressources en eau d'une région donnée. L'objectif est d'analyser les données sur les pratiques agricoles, industrielles et autres activités humaines, pour identifier les impacts sur la qualité et la quantité de l'eau disponible.[13]

III.2 Description climatique

climat

Le climat de la zone d'étude varie d'un milieu subhumide à un milieu semis-aride avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec dû au facteur de l'altitude des wilayas.[32]

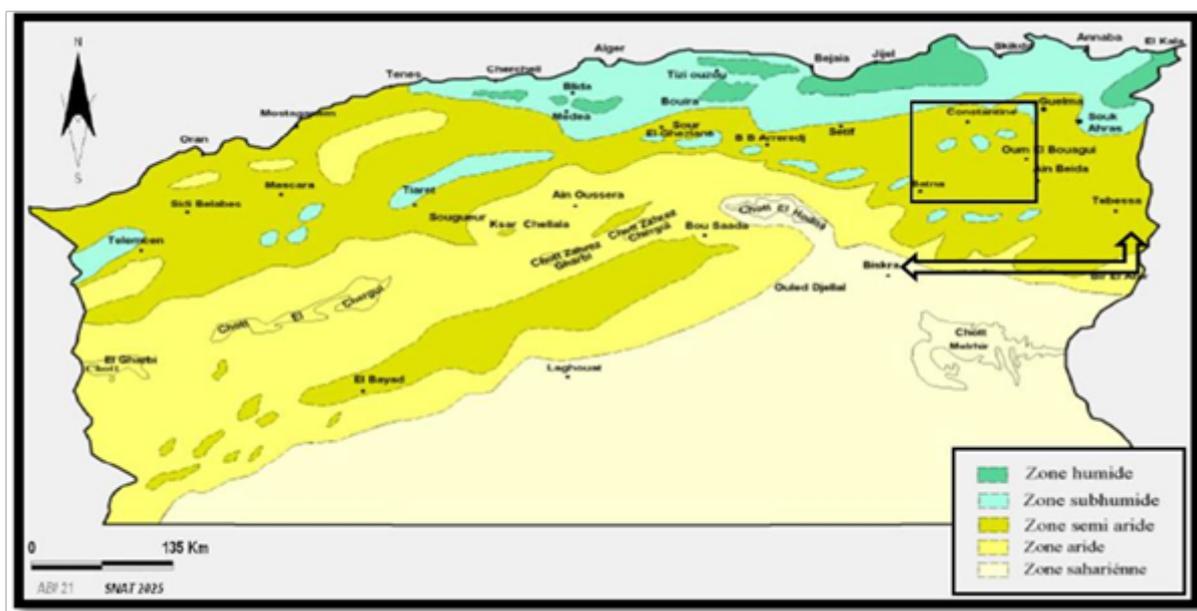


FIGURE III.1 – Étages bioclimatiques du Nord Algérien (avec région d'étude)[32]

Les Températures

Les températures moyennes mensuelles de la zone d'étude en (°C) sont présentées dans le tableau suivant :

TABLE III.1 – Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude[32]

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T en (°C)	4.6	3.1	9.8	13	18.6	26.4	28.4	28.1	21.9	18	12.2	6.3

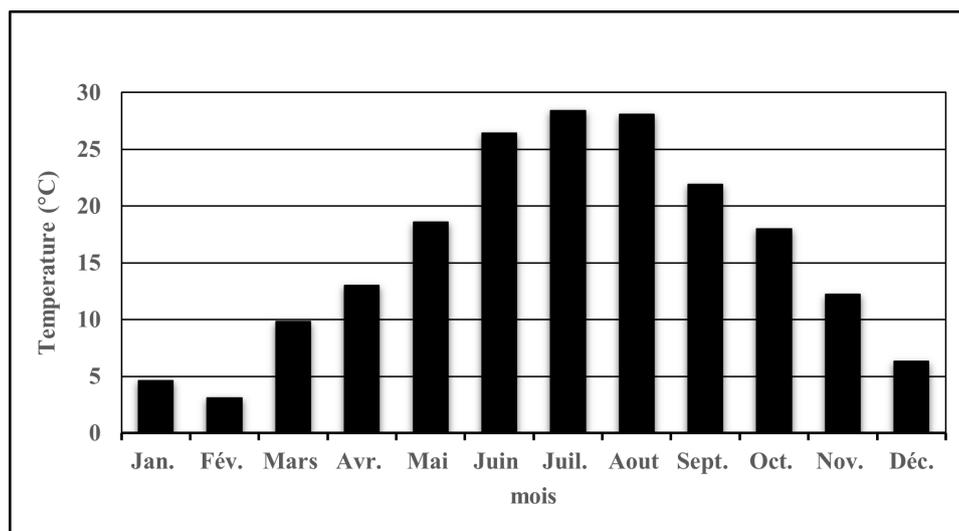


FIGURE III.2 – Histogramme représentant la moyenne mensuelle des températures de la station de Batna

D’après la figure III.2, on remarque que le mois le plus chaud c’est le mois de Juillet avec une valeur de 28.4 °C, et le mois le plus froid c’est le mois de Février avec une valeur de 3.1°C.

Humidité relative

Le tableau représente les valeurs moyennes annuelles de l’humidité relative à 2 mètres dans la wilaya de Batna, en Algérie, de 2000 à 2017. En analysant globalement le tableau, on observe une fluctuation des valeurs d’humidité relative au fil des années, sans qu’une tendance claire ne se dégage sur l’ensemble de la période. Les valeurs varient d’une année à l’autre, avec des écarts parfois importants. Les années 2003 et 2004 se démarquent comme les plus humides, tandis que les années 2016 et 2017 présentent les valeurs les plus basses. Au cours des dernières années (2011-2017), on observe une tendance générale à la baisse de l’humidité relative, bien que les variations soient relativement petites.

TABLE III.2 – L’humidité relative moyenne annuelle de la wilaya de Batna (Site : Naza power data)

YEAR	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
RH2M (%)	58.29	56.47	57.13	65.24	65.42	64.17	60.96
YEAR	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
RH2M (%)	65.27	60.72	62.05	59.96	61.10	58.95	57.78

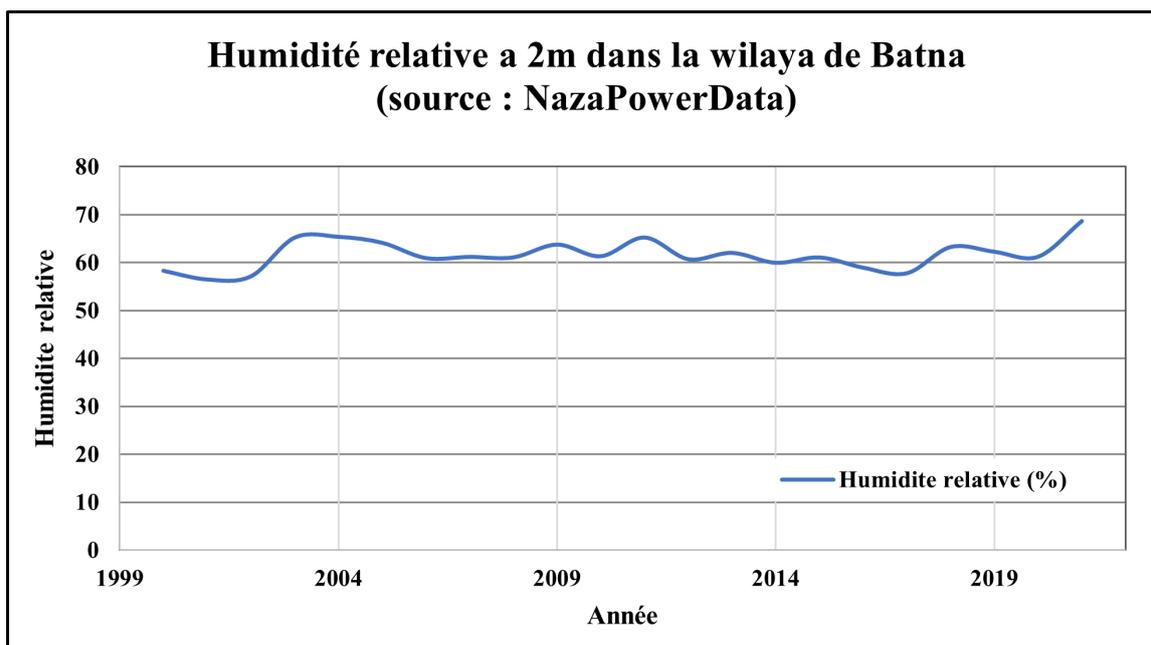


FIGURE III.3 – Graphe représentatif des valeurs moyennes annuelles de l’humidité relative de la wilaya de Batna

Les vents

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent exprimées en (m/s), sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

TABLE III.3 – Répartition mensuelle des vitesses de vent de la station de Batna.[32]

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesses m/s	2.1	2.6	2.3	0	4.1	4.5	4.2	4.4	4.5	4.2	4.1	3.8

La zone d’étude est traversée généralement par des vents calmes à modérés pendant toute l’année.[32]

La vitesse moyenne maximale est enregistrée au mois de Juillet avec une valeur de 4.8 m/s et la minimale est de 0m/s enregistrée au mois d’Avril.[32]

III.3 La pluviométrie

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 300 et 350 mm d’après la carte des pluies de l’Algérie du nord de l’ANRH. Cette dernière est établie sur des moyennes rapportées à 60 années s’étalant sur la période du 1^{er} septembre 1921 au 31 août 1989[32]

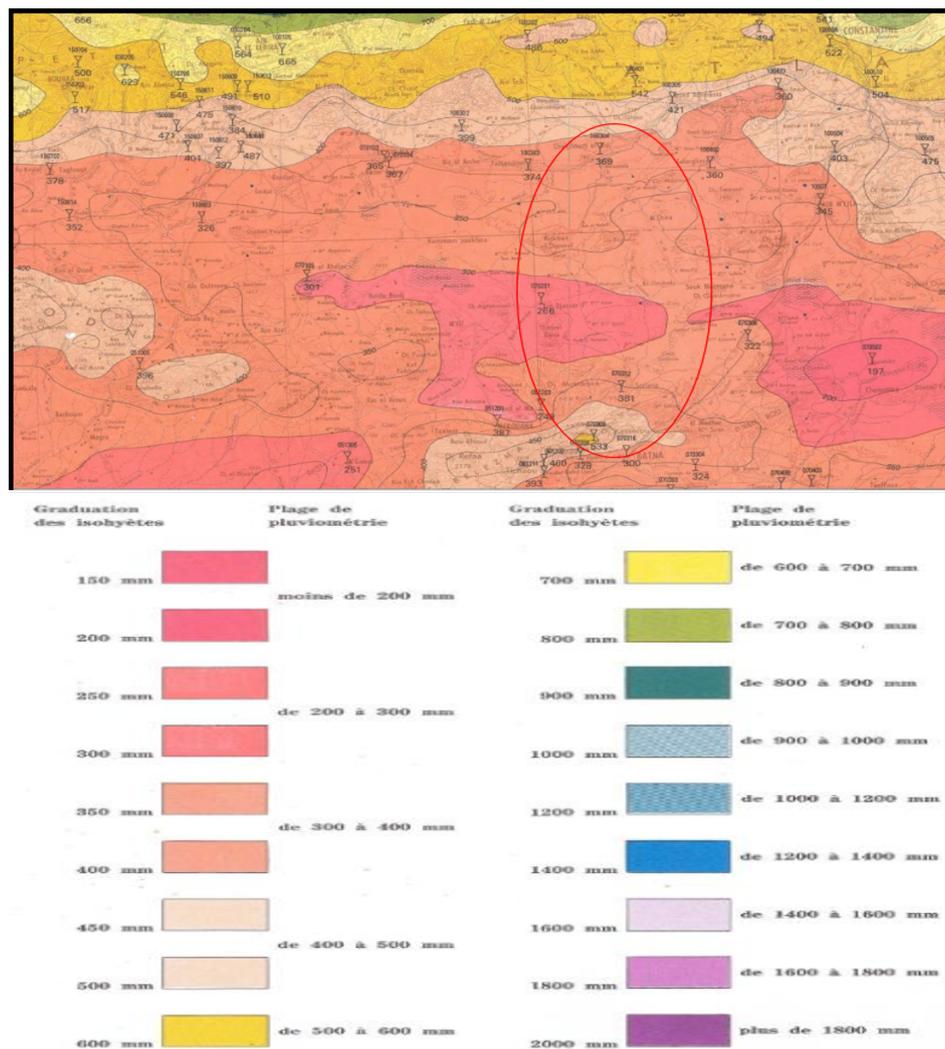


FIGURE III.4 – Pluie moyenne dans la région d'étude[32]

Le tableau ci-dessous représente les précipitations annuelles cumulées sur 16 ans mais non consécutives, certaines valeurs ne sont pas accessibles à partir la source (site : Tutiempo).

TABLE III.4 – Pluies annuelles d'après Tutiempo (site : Tutiempo).

Année	1983	1985	1986	1987	1992	2003	2004	2006
P(mm)	147.31	426.2	297.7	296.38	367.27	610.86	591.61	358.9
Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
P(mm)	263.38	322.09	337.05	271.81	362.19	176.8	361.67	258.03

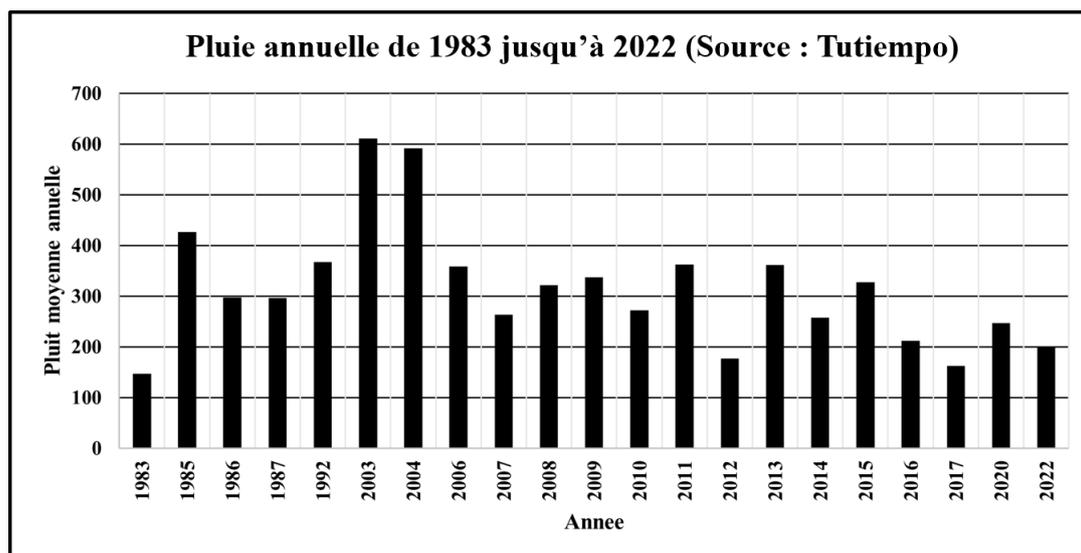


FIGURE III.5 – Pluie annuelle dans la région (site : Tutiempo).

D'après les Données fournies par la station météorologique : 604680 (DABT) sur le site web Tutiempo , la pluviométrie annuelle moyenne de la wilaya de Batna varie considérablement d'une année à l'autre. Les années les plus pluvieuses étaient 2003 et 2004, avec plus de 590 mm de pluie, tandis que les années les moins pluvieuses étaient 2017 et 1983, avec respectivement 162,82 mm et 147,31 mm de pluie. Ces variations de la pluviométrie peuvent avoir un impact important sur les conditions météorologiques locales, telles que la croissance des cultures et l'approvisionnement en eau. Il est important de noter que ces données ne représentent qu'une période limitée et non continue (les valeurs des pluies relatives aux années $t < 1983$, 1984, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994...2002 ne sont pas disponible dans cette source), et que les tendances à plus long terme pourraient être différentes. Pour une analyse plus complète de la pluviométrie dans cette région, il serait nécessaire d'examiner des données sur une période plus longue.

III.3.1 Analyse pluviométrique

Les bassins versants de la zone d'étude comprennent plusieurs stations pluviométriques (ANRH), parmi elles des stations qui sont hors service depuis longtemps et d'autres stations qui présentent de longues périodes de discontinuités ainsi que beaucoup de lacunes. Travailler sur ces stations peut avoir un effet négatif sur la qualité de l'information pluviométrique[32].

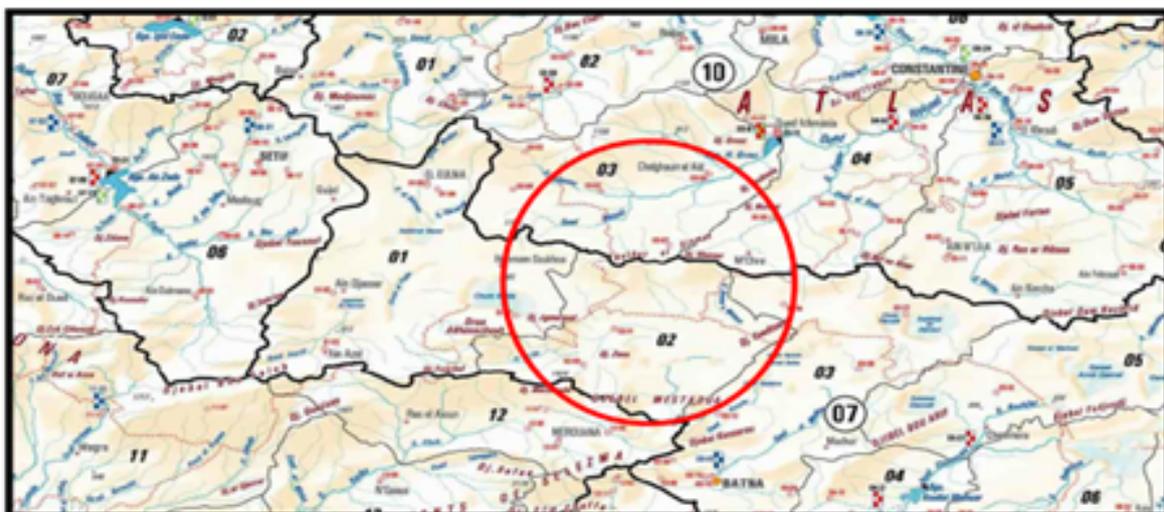


FIGURE III.6 – Carte du réseau hydroclimatologique de la région du projet (Source : A.N.R.H)

Pour notre cas, l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau des trois stations pluviométriques disponibles pour le service de l'ANRH (station de Tadjenant) et le service de l'ONM (station de Batna aéroport et station de Sétif) concernant les données des pluies maximales journalières de la zone d'étude. Il s'agit d'observations journalières actualisées et reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M). Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans cette étude.

TABLE III.5 – Caractéristiques des stations pluviométriques prises en considération dans cette étude.[32]

Nom de la station	TADJENANET	SETIF	BATNA Aéroport
Code	10 03 03 (ANRH)	60445	60468(ONM)
X	796,150 Km (Lambert)	36°10'31.39"N	35°45'33" N
Y	318,000 Km (Lambert)	5°19'40.58"E	6°19' 21" E
Nature d'observation	Précipitation	Précipitation+ climatologique	Précipitation+ climatologique

Schématiquement, les précipitations décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas Saharien. La carte pluviométrique de l'Algérie (A.N.R.H., 1993) retrace cet ordonnancement de précipitations. La carte permet de faire ressortir des zones de fortes précipitations dans la zone montagneuse. Les Hautes Plaines sont nettement cernées dans leur bordure Nord par l'isohyète 500 mm. La pluviométrie décroît vers la bordure Sud (350 mm) avec des creux assez nets (moins de 300 voir moins de 200 mm) dans la zone des lacs salés. Les sommets de l'Aurès peuvent recevoir plus de 600 mm. Deux groupes de facteurs, géographiques (éloignement par rapport à la mer, altitude, exposition des versants par rapport aux vents pluvieux) et météorologiques (déplacement des masses d'air polaire océanique, froid et humide, des masses d'air tropical chaud et humide de l'Atlantique Sud et enfin des masses d'air tropical continental ou anti cyclone saharien) influencent la répartition spatiale des précipitations mais aussi les structures des régimes pluviométriques (Chau-mont M. et Paquin C., 1971). Le caractère d'irrégularité temporelle des précipitations

est, par ailleurs, une donnée du climat algérien. La carte de l'A.N.R.H. montre que les moyennes pluviométriques sont inférieures d'environ 10% à celles de la série de Chaumont et Paquin, ces deux auteurs ayant eux-mêmes constaté une diminution des précipitations par rapport à celles cartographiées par Seltzer .

III.3.2 Pluies journalières maximales

TABLE III.6 – Pluies journaliers maximales de 1993 a 2022 de la station BATNA Aéroport 60468(ONM)

Année	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
PJ max	25.2	36.9	15.4	26.8	34	19.1	36	81.4	30.2
Année	2002	2003	2004	2005	2009	2010	2011	2012	2013
PJ max	25.6	58.5	58.3	32.4	34.2	23	51	27.3	46.8
Année	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PJ max	22.8	36.7	41.1	18	25.3	20.4	17.6	23.4	21.4

III.3.3 L'ajustement des données pluviométriques

L'ajustement à la loi de Gumbel

C'est une loi très importante, qui sert dans l'analyse fréquentielle des valeurs extrêmes, et sera notamment l'ingrédient essentiel, en hydrologie opérationnelle, de la méthode du Gradex pour le calcul des crues de projet.[7]

Pour l'étude des pluies extrêmes (ou n'importe quel autre événement d'une rare fréquence), on constitue un échantillon de N valeurs, chacune d'elles représentant la précipitation journalière la plus forte d'une des N années.

On parvient généralement à ajuster à cet échantillon la loi de Gumbel.[7]

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (\text{III.1})$$

Où :

F(x) : Fréquence au non dépassement (FND)

α et β : coefficients d'ajustement.

L'estimation des paramètres α et β par la méthode des moments donne :

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} \quad (\text{III.2})$$

$$\beta = \mu - \frac{0,5772}{\alpha} \quad (\text{III.3})$$

Le but de cette stratégie est d'améliorer la qualité de nos prévisions en prenant en compte nos erreurs de jugement et nos biais cognitifs. En ajustant nos probabilités en fonction des informations que nous recevons, nous pouvons prendre des décisions plus

éclairées et réduire notre risque de prendre des décisions basées sur des prévisions inexactes.

Pour notre étude on a trouvé les résultats suivants :

TABLE III.7 – Ajustement à la Loi de Gumbel

T	FND	P _{jmax} (mm)	Intervalle de confiance ($\alpha = 0.05$)
10000	0.9999	136	91.6 - 180
2000	0.9995	117	80.0 - 153
1000	0.999	108	75.0 - 142
200	0.995	89.1	63.3 - 115
100	0.99	80.8	58.2 - 103
50	0.98	72.5	53.1 - 91.9
20	0.95	61.4	46.2 - 76.6
10	0.9	52.8	40.8 - 64.9
5	0.8	43.9	35.0 - 52.8
3	0.6667	36.8	30.1 - 43.5
2	0.5	30.4	25.1 - 35.7
1.4286	0.3000	23.1	18.3 - 27.9
1.2500	0.2000	20.4	16.6 - 24.2
1.1111	0.1000	17.6	11.1 - 24.1
1.0526	0.0500	16.0	N/D
1.0204	0.0200	14.8	N/D
1.0101	0.0100	14.2	N/D
1.0050	0.0050	13.8	N/D
1.0010	0.0010	13.3	N/D
1.0005	0.0005	13.2	N/D
1.0001	0.0001	13.1	N/D

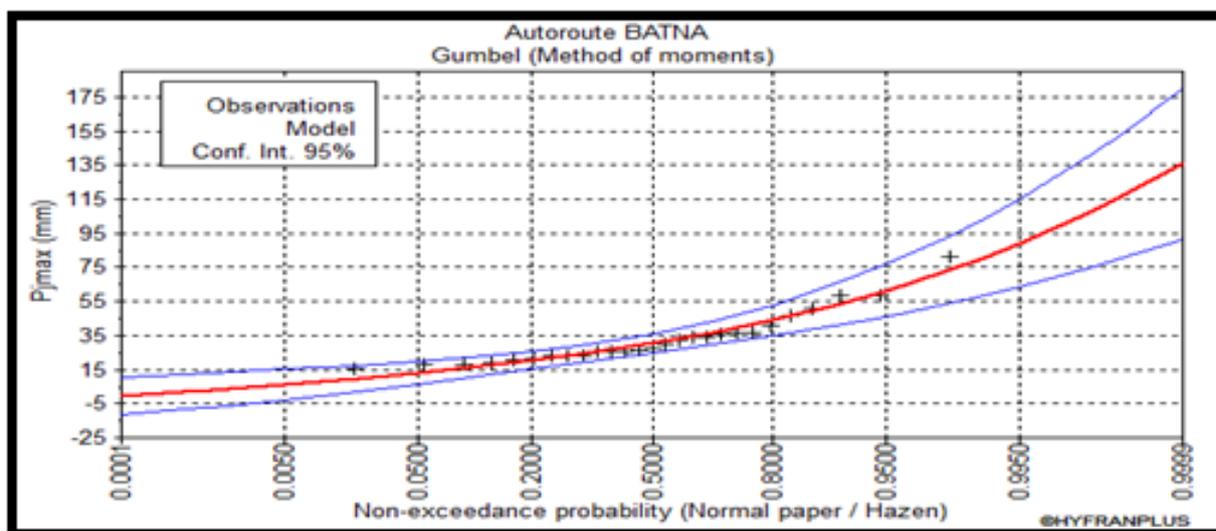


FIGURE III.7 – Graphe d’ajustement à la loi de Gumbel

On remarque que la loi de Gumbel s’ajuste bien à notre série de données

III.3.4 Test d'adéquation

En hydrologie, le test d'adéquation est une méthode statistique utilisée pour évaluer la correspondance entre les données observées et un modèle probabiliste donné. L'objectif est de déterminer si les données sont distribuées selon la même loi de probabilité que celle postulée par le modèle.[7]

En d'autres termes, le test d'adéquation permet de vérifier si le modèle probabiliste utilisé est approprié pour représenter les données observées. Si le test d'adéquation est concluant, cela signifie que le modèle peut être utilisé pour effectuer des prévisions ou des simulations hydrologiques fiables.[7]

Le test d'adéquation khi-2

Le test d'adéquation khi-2 est une méthode statistique utilisée pour évaluer si un ensemble de données suit une distribution de probabilité spécifique. En hydrologie, ce test est souvent utilisé pour évaluer si les données observées d'un phénomène, tel que les précipitations ou les débits des rivières, suivent une distribution de probabilité particulière, comme la distribution normale.[7]

Le test d'adéquation khi-2 compare les fréquences observées dans les données avec les fréquences théoriques attendues si les données suivaient la distribution de probabilité choisie. La différence entre les fréquences observées et théoriques est évaluée à l'aide d'une statistique de test appelée statistique khi-2. Si la statistique khi-2 est inférieure à une valeur critique donnée pour un certain niveau de confiance, on peut conclure que les données suivent la distribution de probabilité choisie.[7]

1. Test d'adéquation khi-carré à la loi Gumbel pour notre cas d'étude

TABLE III.8 – Test d'adéquation khi-carré pour la Loi Gumbel

N °	inf x(i-1)	sup x(i)	y(i-1)	y(i)	FND(i-1)	FND(i)	F(obs)	F(théorique)	χ^2
1	14	25	-0.812	0.112	0.105	0.409	9	8.204	0.077
2	25	36	0.112	1.036	0.409	0.701	10	7.891	0.564
3	36	47	1.036	1.960	0.701	0.869	4	4.518	0.059
4	47	58	1.960	2.884	0.869	0.946	1	2.079	0.560
5	58	69	2.884	3.808	0.946	0.978	2	0.876	1.444
6	69	80	3.808	4.732	0.978	0.991	0	0.356	0.356
7	80	91	4.732	5.656	0.991	0.997	1	0.143	5.157
somme χ^2		8.217							
seuille χ^2 (ddl = 4, α = 0.05)		9.49							
décision		on accepte							

Le test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov (K-S)

C'est un test d'ajustement qui permet de comparer une distribution de valeurs observées à une distribution théorique. Ce test joue le même rôle que celui du khi-deux. Pour accepter ou rejeter l'hypothèse H_0 que la loi choisie s'ajuste bien à notre échantillon, on considère la grandeur D qui caractérise la différence entre la répartition empirique et la répartition théorique.[10]

Cette grandeur D est elle-même une variable aléatoire dont la loi de répartition, dans certains cas, pour N suffisamment grand, ne dépend pratiquement pas de la fonction $F(x)$. Avec le test de Kolmogorov-Smirnov, on cherche la valeur maximale de la valeur absolue de la différence entre la fonction de répartition empirique $F_N(x)$ d'un échantillon de N valeurs et la fonction de répartition théorique $F(x)$ correspondante soit :

$$D_N = D_{\max} = \max |F_N(x) - F(x)| \quad (\text{III.4})$$

Kolmogorov a montré que, quel que soit la fonction de répartition $F(x)$ d'une variable continue x , lorsque le nombre d'observations augmente, la fonction de répartition de la grandeur $D_N\sqrt{N}$ tend asymptotiquement vers :

$$P(D_N\sqrt{N}) \rightarrow K(y) = \sum_{-\infty}^{+\infty} (-1)^k e^{-2k^2y^2} \quad (\text{III.5})$$

Les valeurs de cette probabilité ont été tabulées. On rejettera l'hypothèse H_0 que la loi choisie représente notre échantillon, au niveau de signification choisi, lorsque D_N est supérieur ou égal à d_n , qui est la valeur de l'écart théorique.

Le test K-S permet de tester n'importe quelle distribution. Il est normalement plus puissant que le test du Khi-deux (i.e. il permet de rejeter plus facilement H_0) et il a l'avantage de ne pas requérir de séparer arbitrairement le domaine en intervalles.[10]

1. Test K-S pour la loi Gumble

TABLE III.9 – Test K-S à la Loi Gumbel pour notre cas d'étude

Pjmax (mm)	Rang	FND theo	y observe	FND gumble	D
15.4	1	0.019	-0.694	0.135	0.117
17.6	2	0.056	-0.510	0.189	0.134
18	3	0.093	-0.476	0.200	0.107
19.1	4	0.130	-0.384	0.231	0.101
20.4	5	0.167	-0.274	0.268	0.102
21.4	6	0.204	-0.190	0.298	0.095
22.8	7	0.241	-0.073	0.341	0.100
23	8	0.278	-0.056	0.347	0.070
23.4	9	0.315	-0.022	0.360	0.045
25.2	10	0.352	0.129	0.415	0.063
25.3	11	0.389	0.137	0.418	0.029
25.6	12	0.426	0.162	0.427	0.001
26.8	13	0.463	0.263	0.464	0.001
27.3	14	0.500	0.305	0.479	0.021
30.2	15	0.537	0.549	0.561	0.024
32.4	16	0.574	0.734	0.619	0.045
34	17	0.611	0.868	0.657	0.046
34.2	18	0.648	0.885	0.662	0.014
36	19	0.685	1.036	0.701	0.016
36.7	20	0.722	1.095	0.716	0.007
36.9	21	0.759	1.112	0.720	0.040
41.1	22	0.796	1.464	0.794	0.003
46.8	23	0.833	1.943	0.867	0.033
51	24	0.870	2.296	0.904	0.034
58.3	25	0.907	2.909	0.947	0.040
58.5	26	0.944	2.926	0.948	0.003
81.4	27	0.981	4.849	0.992	0.011
D_{max} seuile D ($N = 27, \alpha = 0.05$) décision		0.296 0.26 on accepte			

III.3.5 Calcul des intensités

Le calcul des intensités en hydraulique est important pour la conception de systèmes de drainage et d'égouts, ainsi que pour l'évaluation des risques d'inondation. Les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) est un outil communément utilisé pour représenter l'intensité des précipitations en fonction de la durée et de la fréquence de retour.[24]

Courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) :

Les courbes IDF sont généralement exprimées sous la forme d'une équation mathématique qui relie l'intensité des précipitations à leur durée et à leur fréquence. La forme de cette équation dépend des caractéristiques géographiques et climatiques de la région étudiée.[24]

Les courbes IDF sont utilisées dans de nombreuses applications en hydrologie, notamment dans la conception d'infrastructures de drainage, les canaux d'irrigation. Elles sont également utilisées pour la gestion des risques d'inondation et pour la planification des activités agricoles.[24]

Les pluies de courte durée

La pluie de courte durée (P_{tc}) est un type de précipitation qui dure généralement moins de 30 min et dans certains cas dure jusqu'à 60 min. Elle peut être causée par divers phénomènes météorologiques tels que des orages, des averses ou des nuages convectifs.[24] Ce type de précipitation est souvent intense et peut causer des inondations soudaines et des dommages aux cultures et aux infrastructures. Il est important de surveiller la météo pour être préparé en cas de P_{tc} . [24]

Méthode de K-Body pour estimer la pluie de courte durée : La méthode de K body est une méthode empirique utilisée pour prédire la pluie de courte durée. Elle est basée sur l'observation de l'évolution temporelle de la pluie et se base sur la corrélation entre la durée de la pluie et l'intensité maximale de la pluie.[24]

On a :

$$P_{tc} = P_{jmax} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (\text{III.6})$$

Tel que :

P_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de P_{jmax} (mm)

b : Exposant climatique (pour notre région, $b = 0.33$)[23]

P_{jmax} : Pluie journalière maximale de fréquence voulue (mm)

t : Temps considéré en heures

$$I_{p\%} = \frac{P_{tc(p\%)}}{T_c} \quad (\text{III.7})$$

avec :

$I_{p\%}$: Intensité d'une fréquence p% en mm/h

T_c : Temps de concentration de bassin versant en heure

$P_{tc(p\%)}$: Pluie de courte durée d'une fréquence p% en mm

Le tableau ci-dessous donne les temps de concentrations obtenus à partir de différentes formules empiriques pour les différents bassins versants de la zone d'étude

TABLE III.10 – Résultats des calculs des Temps de concentration

Num BV	$T_{cGiandotti}(h)$	$T_{cVentura}(h)$	$T_{cTuraza}(h)$	$T_{cKirpich}(h)$	$T_{cPassini}(h)$	$T_{cprojet}(h)$
1	0.865	0.024	0.005	0.223	0.028	0.223
2	1.529	0.063	0.035	0.421	0.069	0.421
3	1.077	0.039	0.012	0.278	0.041	0.278
4	0.883	0.031	0.007	0.182	0.03	0.182
5	1.223	0.05	0.02	0.328	0.053	0.328
6	0.772	0.021	0.004	0.218	0.025	0.218
7	0.891	0.031	0.007	0.221	0.033	0.221
8	2.458	0.133	0.145	0.548	0.127	0.548
9	1.506	0.058	0.025	0.291	0.056	0.291
10	1.314	0.053	0.021	0.418	0.061	0.418
11	2.22	0.11	0.107	0.632	0.119	0.632
12	1.386	0.052	0.018	0.275	0.05	0.275
13	1.771	0.075	0.047	0.451	0.08	0.451
14	1.825	0.084	0.06	0.575	0.096	0.575
15	2.057	0.079	0.057	0.628	0.096	0.628
16	3.603	0.406	2.391	1.894	0.457	3.603
17	1.87	0.049	0.01	0.244	0.046	0.244
18	2.773	0.189	0.401	0.712	0.18	2.773
19	2.39	0.138	0.171	0.627	0.138	0.627
20	3.18	0.233	0.525	0.925	0.231	3.180
21	1.163	0.051	0.012	0.224	0.045	0.224
22	0.991	0.035	0.007	0.238	0.036	0.238
23	0.769	0.022	0.004	0.163	0.023	0.163
24	0.638	0.018	0.002	0.119	0.017	0.119
25	1.255	0.044	0.011	0.185	0.038	0.185
26	2.44	0.246	0.826	1.007	0.249	2.440
27	1.321	0.044	0.014	0.28	0.046	0.280
28	2.735	0.306	1.208	1.146	0.304	2.735
29	1.318	0.046	0.018	0.455	0.057	0.455
30	1.503	0.109	0.199	0.549	0.111	0.549
31	0.573	0.016	0.001	0.082	0.013	0.082
32	0.665	0.019	0.003	0.159	0.02	0.159
33	0.575	0.014	0.002	0.089	0.013	0.089
34	0.553	0.014	0.002	0.108	0.014	0.108
35	0.479	0.013	0.001	0.092	0.012	0.092
36	0.281	0.006	0	0.029	0.005	0.029
37	0.367	0.007	0	0.03	0.005	0.030
38	1.039	0.068	0.075	0.444	0.074	0.444
39	0.734	0.04	0.024	0.265	0.041	0.265
40	0.332	0.013	0.003	0.065	0.01	0.065
41	0.34	0.011	0.002	0.072	0.01	0.072
42	0.393	0.021	0.006	0.106	0.018	0.106

43	0.567	0.023	0.011	0.199	0.025	0.199
44	0.884	0.046	0.036	0.306	0.048	0.306
45	0.955	0.033	0.009	0.202	0.033	0.202
46	2.127	0.076	0.044	0.485	0.083	0.485
47	1.413	0.047	0.011	0.215	0.043	0.215
48	2.159	0.188	0.621	1.085	0.215	2.159
49	1.326	0.038	0.006	0.14	0.03	0.140
50	1.889	0.06	0.02	0.252	0.054	0.252
51	2.25	0.076	0.022	0.239	0.061	0.239
52	1.807	0.063	0.025	0.261	0.056	0.261
53	1.771	0.054	0.016	0.249	0.05	0.249
54	3.812	0.176	0.25	0.637	0.163	0.637
55	1.595	0.069	0.036	0.331	0.066	0.331
56	0.679	0.026	0.004	0.105	0.021	0.105
57	0.406	0.01	0.001	0.06	0.008	0.060
58	0.311	0.005	0	0.068	0.006	0.068
59	0.348	0.006	0	0.051	0.006	0.051
60	11.846	1.886	68.774	4.112	1.78	11.846

interprétions et décisions :

D'après les résultats représentés dans le tableau ci-dessus la méthode de Kirpich est adaptée aux bassins versants dont superficie inférieure à $5km^2$ et qui nous donne des résultats plus logiques par rapport aux autres formules comme Ventura, Turazza et Passini, et pour les bassins versants supérieurs à $5km^2$ on a estimé que la méthode de Giandotti est la plus efficace, après l'étude attentive des caractéristiques d'effluents de l'ensemble des bassins versants pour déduire le temps de concentration de projet de chaque bassin.

Alors notre choix de la méthode de Kirpich pour les bassins versants ayant une surface $\leq 5 Km^2$ est bien justifié

TABLE III.11 – Calcul des courbes IDF

		Période de retour (ans)	5	10	20	50	100
		P _j max (mm)	47	56.7	65.9	77.5	86.1
Durée (min)	5	P _{tc} (p%) (mm)	7.25	8.75	10.17	11.96	13.29
	15		10.42	12.57	14.61	17.19	19.09
	30		13.10	15.80	18.37	21.60	24.00
	60		16.47	19.87	23.09	27.15	30.17
	5	I(p%) (mm/min)	1.45	1.75	2.03	2.39	2.66
	15		0.69	0.84	0.97	1.15	1.27
	30		0.44	0.53	0.61	0.72	0.80
	60		0.27	0.33	0.38	0.45	0.50

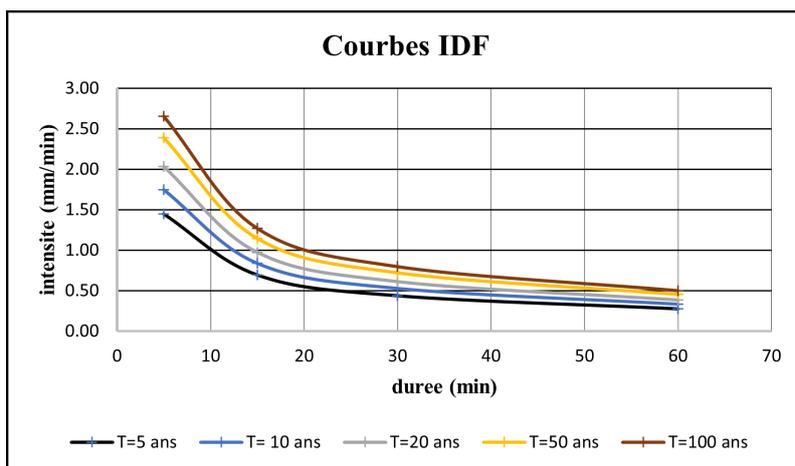


FIGURE III.8 – Courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence)

Les résultats du calcul des intensités pour chaque bassin versant sont résumés dans le tableau suivant :

TABLE III.12 – Intensités pour chaque bassin versant

Num BV	T_c projet(h)	$P_{tc}(mm)$	I(mm/h)	Num BV BV	T_c projet(h)	$P_{tc}(mm)$	I(mm/h)
1	0.22	18	82	31	0.082	13	161
2	0.42	23	54	32	0.159	16	103
3	0.28	20	71	33	0.089	14	153
4	0.18	17	94	34	0.108	14	134
5	0.33	21	64	35	0.092	14	150
6	0.22	18	84	36	0.029	9	324
7	0.22	18	83	37	0.030	10	313
8	0.55	25	45	38	0.444	23	52
9	0.29	20	69	39	0.265	19	73
10	0.42	23	54	40	0.065	12	189
11	0.63	26	41	41	0.072	13	176
12	0.27	20	72	42	0.106	14	136
13	0.45	23	51	43	0.199	18	89
14	0.57	25	44	44	0.306	20	67
15	0.63	26	41	45	0.202	18	88
16	3.60	46	13	46	0.485	24	49
17	0.24	19	78	47	0.215	18	85
18	2.77	42	15	48	2.159	39	18
19	0.63	26	41	49	0.140	16	113
20	3.18	44	14	50	0.252	19	76
21	0.22	18	82	51	0.239	19	79
22	0.24	19	79	52	0.261	19	74
23	0.16	17	102	53	0.249	19	77
24	0.12	15	125	54	0.637	26	41
25	0.18	17	94	55	0.331	21	63
26	2.44	40	17	56	0.105	14	137
27	0.28	20	71	57	0.060	12	198
28	2.73	42	15	58	0.068	12	182
29	0.46	23	51	59	0.051	11	222
30	0.55	25	45	60	11.846	68	6

III.4 Méthodes de calcul de débit

III.4.1 La méthode rationnelle

Au cours du 19^{ème} siècle, vers 1850, les premières réflexions sur une méthode pour établir la durée minimale d'une averse nécessaire pour contribuer à l'ensemble du bassin versant et le débit correspondant ont vu le jour. C'est Mulvany qui a publié le concept général de cette méthode dans la revue des ingénieurs de génie civil d'Irlande. Il a souligné l'importance du temps nécessaire à une crue pour atteindre son débit maximal, sous une pluie d'intensité constante, en fonction de l'étendue, de la forme et de la pente de la surface du bassin versant.[8]

En 1889, l'ingénieur américain Kuichling a consolidé le concept de cette méthode en l'appliquant en milieu urbain. Il a remarqué que les débits aux exutoires des réseaux d'assainissement de Rochester (NY) semblaient augmenter et diminuer en fonction de l'intensité de la pluie en différents endroits. Cependant, une certaine durée était nécessaire pour que la diminution de l'intensité de la pluie se traduise par une diminution des débits à l'exutoire. Ainsi, il a établi une relation entre les débits, les pluies, l'étendue du bassin versant drainé et le temps nécessaire aux crues pour apparaître et se maintenir. Kuichling a donc conclu que les niveaux de pluie pris en compte dans le dimensionnement des émissaires principaux devaient correspondre au temps nécessaire pour la concentration de l'ensemble des eaux de ruissellement du bassin versant.[8]

La notion sous-jacente à ces observations est celle du temps de concentration t_c : temps nécessaire à l'eau pour atteindre l'exutoire depuis le point hydrauliquement le plus éloigné de celui-ci. Si l'on considère une averse de durée supérieure à t_c , et si l'on considère un coefficient de ruissellement constant et propriété intrinsèque du bassin versant alors, le débit de pointe à l'exutoire s'écrit [8]

$$Q = CIA \quad (\text{III.8})$$

avec :

Q : Débit de crue maximale en m^3/s

C : Coefficient de ruissellement du bassin (sans unité)

i : Intensité moyenne maximale sur la durée t_c pour une période de retour donnée en mm/h .

A : Aire du bassin versant en km^2

Remarque : Le coefficient de ruissellement est un paramètre utilisé en hydrologie pour déterminer la quantité d'eau de pluie qui s'écoule sur une surface plutôt que d'être absorbée ou retenue par le sol. Il est exprimé comme le rapport entre la quantité d'eau de pluie qui s'écoule sur une surface et la quantité totale de pluie tombée sur cette même surface.[8]

Les hypothèses de la méthode rationnelle Les hypothèses de base de la méthode rationnelle sont, par conséquent, les suivantes :

— L'intensité de la pluie I est uniforme, constante dans le temps et dans l'espace, sur l'ensemble du bassin drainé .

- Le débit de pointe Q_p en m^3/s de l'hydrogramme de ruissellement est une fraction du débit précipité I.S ; l'averse d'intensité uniforme.[11]
- Toutes les pertes par infiltration, rétention et évaporation sont ramenées à un coefficient de ruissellement C constant dans le temps ; et invariable d'une averse à l'autre.
- Le temps de concentration est le temps requis pour que le ruissellement de tout le bassin à l'exutoire ou au point de captage. [11]
- La surface contributive au ruissellement augmente linéairement en fonction du temps pour atteindre la superficie totale du bassin S au temps $t =$ temps de concentration (T_c).[11]

Formule de MONTANA

La formule de Montana est une équation utilisée pour estimer l'intensité moyenne de la pluie sur le temps de concentration (T_c) pour une période de retour T. Cette formule est souvent utilisée avec la méthode Rationnelle.[11]

La formule de Montana est exprimée par l'équation suivante :

$$I = a.T_c^{-b} \quad (III.9)$$

où :

I représente l'intensité moyenne de la pluie sur le temps de concentration (en unité de pluie par unité de temps). a et b sont des coefficients spécifiques à chaque région ou site.[11]

Les valeurs des coefficients a et b dépendent des caractéristiques climatiques de la région étudiée et sont déterminées à partir des données pluviométriques disponibles pour cette région. Ces coefficients sont généralement déterminés à l'aide de techniques de régression statistique en ajustant les données observées sur les valeurs de retour connues.[11]

Il est important de noter que la formule de Montana est une approximation basée sur des données historiques et des hypothèses statistiques. Elle peut varier d'une région à l'autre et ne tient pas compte de facteurs tels que la variabilité climatique future.[11]

Pour la zone de Batna $a= 29.55$ et $b= 0.83$ (station de Batna ONM) d'où la relation devient :

$$I = 29.55t_c^{-0.83} \quad (III.10)$$

Avec :

i : Intensité moyenne maximale sur la durée t_c pour une période de retour donnée en mm/h.

t_c : temps de concentration en heures.

III.4.2 La Méthode de Turazza

Cette formule est un peu plus élaborée que les autres formules utilisant les précipitations car elle fait appel également le temps de concentration du bassin,c'est-à-dire, le

temps requis pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus en amont du bassin arrive jusqu'à l'exutoire. Elle peut s'exprimer ainsi :

$$Q = \frac{C_r A H}{3.6 T_c} \quad (\text{III.11})$$

Où :

Q : débit de crue maximum en m^3/s

C : coefficient de ruissellement du bassin

H : hauteur totale maximale de précipitation correspondant au temps de concentration du bassin, en mm

T_c : temps de concentration en heures

A : aire du bassin versant en km^2

$P_{tc\%}$: Pluie de courte durée d'une fréquence $p\%$ en mm

Cette formule convient particulièrement aux études de petits bassins ainsi qu'aux réseaux d'assainissement urbains ou ruraux. La notion de fréquence ou de période de retour des débits de crue est implicitement incluse dans la formule. En effet, cette formule suppose que la fréquence du débit calculé est égale à celle de la pluie maximale observée sur une durée équivalente au temps de concentration.[11]

les résultats de calcul des débits de projet sont dans le tableau ci-dessous

TABLE III.13 – Résultats de calcul du débit centennale ($Q_{(T=100ans)}$)

Num Bv	S	$Q_{turazza}$	Q_{rat}	Q_{projet}	Num Bv	S	$Q_{turazza}$	Q_{rat}	Q_{projet}
1	0.15	2.35	2.93	2.93	31	0.07	2.09	3.05	3.05
2	0.81	8.53	9.6	9.6	32	0.11	2.15	2.82	2.82
3	0.32	4.39	5.28	5.28	33	0.09	2.53	3.66	3.66
4	0.24	4.34	5.58	5.58	34	0.09	2.31	3.23	3.23
5	0.50	6.17	7.22	7.22	35	0.07	2.13	3.06	3.06
6	0.11	1.82	2.28	2.28	36	0.04	2.21	3.82	3.82
7	0.23	3.71	4.63	4.63	37	0.04	2.54	4.35	4.35
8	2.84	24.94	26.9	26.9	38	1.87	18.89	21.07	21.07
9	0.68	9.13	10.9	10.9	39	0.77	10.96	13.28	13.28
10	0.48	5.04	5.68	5.68	40	0.19	7.08	10.75	10.75
11	1.98	15.77	16.63	16.63	41	0.12	4.24	6.34	6.34
12	0.48	6.71	8.08	8.08	42	0.28	7.39	10.36	10.36
13	1.03	10.27	11.42	11.42	43	0.46	7.99	10.13	10.13
14	1.15	9.78	10.46	10.46	44	1.09	14.15	16.75	16.75
15	1.06	8.47	8.93	8.93	45	0.28	4.74	6	6
16	27.61	68.62	54.76	68.62	46	0.90	8.6	9.46	9.46
17	0.27	4	4.91	4.91	47	0.33	5.46	6.84	6.84
18	7.31	21.66	18.02	18.02	48	9.95	34.87	30.2	30.2
19	3.19	25.56	26.99	26.99	49	0.22	4.72	6.33	6.33
20	8.11	21.92	17.84	17.84	50	0.54	7.93	9.68	9.68
21	0.34	5.45	6.78	6.78	51	0.57	8.66	10.67	10.67
22	0.20	3.09	3.81	3.81	52	0.68	9.77	11.86	11.86

23	0.13	2.52	3.31	3.31	53	0.45	6.66	8.16	8.16
24	0.09	2.26	3.11	3.11	54	4.52	35.88	37.78	37.78
25	0.36	6.56	8.42	8.42	55	0.91	53.73	40.08	53.73
26	13.09	42.25	35.88	42.25	56	0.19	5.06	7.11	7.11
27	0.37	5.06	6.08	6.08	57	0.04	1.51	2.31	2.31
28	17.69	108.24	94.2	108.24	58	0.01	0.3	0.45	0.45
29	0.40	3.97	4.41	4.41	59	0.01	0.57	0.9	0.9
30	4.49	39.4	42.48	42.48	60	562.39	629.61	415.26	629.6

Les critères de sélection entre les deux formules de calcul du débit sont basés sur la superficie du bassin versant. Pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 10 km^2 , la formule rationnelle est utilisée. En revanche, pour les bassins versants dont la superficie est supérieure à 10 km^2 , la formule de Turazza est employée.[28]

TABLE III.14 – Identification des exutoires avec des points kilométriques

Numéro de BV	Pk (Points Kilométriques)	Surface (Km^2)	Tc projet (h)	P_{tc}	I projet	Q_{max} (projet) m^3/s
1	pk22+350	0.147	0.223	18.39	102.7	2.93
2	pk22+530	0.814	0.421	22.67	60.6	9.60
3	pk23+050	0.318	0.278	19.77	85.5	5.28
4	pk23+410	0.237	0.182	17.2	121.3	5.58
5	pk23+980	0.498	0.328	20.88	74.5	7.22
6	pk24+005	0.112	0.218	18.25	104.6	2.28
7	pk24+290	0.23	0.221	18.34	103.3	4.63
8	pk24+570	2.843	0.548	24.74	48.7	26.9
9	pk25+230	0.681	0.291	20.07	82.3	10.9
	pk25+280					
10	pk25+560	0.479	0.418	22.62	61.0	5.68
11	pk25+830	1.978	0.632	25.93	43.2	16.63
	pk26+130					
	pk26+235					
12	pk26+435	0.481	0.275	19.7	86.3	8.08
	pk26+490					
13	pk27+135	1.026	0.451	23.19	57.3	11.42
14	pk27+290	1.15	0.575	25.13	46.8	10.46
15	pk27+600	1.057	0.628	25.87	43.5	8.93
	pk27+690					
16	pk27+845	27.61	3.603	46.05	12.8	68.62
17	pk29+010	0.265	0.244	18.94	95.2	4.91
	pk29+220					
18	pk30+120	7.312	2.773	42.24	12.7	18.02
19	pk31+805	3.187	0.627	25.86	43.5	26.96
20	pk32+730	8.111	3.18	44.19	11.3	17.84
	pk32+825					
	pk32+940					

	pk33+140					
21	pk33+645	0.341	0.224	18.4	102.5	6.78
22	pk33+805	0.202	0.238	18.79	97.2	3.81
23	pk34+065	0.127	0.163	16.56	133.5	3.31
24	pk34+240	0.093	0.119	14.96	172.4	3.11
25	pk35+625	0.361	0.185	17.28	120.1	8.42
26	pk37+120	13.093	2.44	40.49	34.29	42.25
27	pk37+485	0.368	0.28	19.82	85.0	6.08
	pk37+630					
28	pk38+080	17.689	2.735	42.04	26.58	108.24
	pk38+280					
	pk38+440					
29	pk38+960	0.399	0.455	23.27	56.8	4.41
30	pk39+470	4.492	0.549	24.75	48.6	42.48
	pk40+030					
	pk40+370					
31	pk40+935	0.067	0.082	13.21	236.0	3.05
32	pk41+050	0.107	0.159	16.46	135.6	2.82
33	pk41+190	0.085	0.089	13.57	220.2	3.66
	pk41+345					
34	pk41+420	0.089	0.108	14.47	187.4	3.23
35	pk41+715	0.073	0.092	13.7	215	3.06
36	pk41+900	0.035	0.029	9.38	558.5	3.82
37	pk42+050	0.042	0.03	9.53	536.3	4.35
38	pk42+935	1.869	0.444	23.08	58	21.07
39	pk43+095	0.768	0.265	19.47	88.9	13.28
40	pk43+440	0.193	0.065	12.22	286.9	10.75
41	pk43+750	0.124	0.072	12.65	262.8	6.34
42	pk43+980	0.28	0.106	14.37	190.7	10.36
43	pk44+490	0.461	0.199	17.7	113	10.13

44	pk44+560	1.091	0.306	20.41	79.0	16.75
45	pk45+070	0.277	0.202	17.8	111.4	6.00
46	pk48+400	0.903	0.485	23.76	53.9	9.46
47	pk49+160	0.332	0.215	18.15	106	6.84
48	pk49+640	9.954	2.159	38.89	15.6	30.20
49	pk50+440	0.215	0.14	15.76	151.2	6.33
50	pk51+320	0.537	0.252	19.15	92.7	9.68
51	pk52+080	0.566	0.239	18.81	96.9	10.67
52	pk52+300	0.677	0.261	19.37	90.1	11.86
53	pk53+970	0.447	0.249	19.06	93.8	8.16
54	pk54+740	4.519	0.637	25.99	43.0	42.54
55	pk54+446	0.91	0.331	20.95	73.9	53,73
	pk55+550					
56	pk55+865	0.19	0.105	14.33	192.3	7.11
57	pk56+260	0.039	0.06	11.94	303.9	2.32
58	pk56+310	0.008	0.068	12.43	274.6	0.45
59	pk56+410	0.013	0.051	11.28	350.8	0.9
60	pk56+854	562.39	11.846	68.2	5.76	629.61

Remarque 1 : Les points kilométriques, également connus sous le nom de bornes kilométriques ou PK, sont des repères utilisés pour mesurer les distances le long des routes, des autoroutes, des voies ferrées ou d'autres voies de transport. Chaque point kilométrique représente un kilomètre de distance à partir d'un point de référence spécifique, généralement le point de départ de la voie. Dans notre cas le pont de référence c'est le point de début de chantier dans la wilaya de Batna, et chaque Pk représente un exutoire de bassin versant.

Remarque 2 : Certains BV ont plus d'un exutoire, on prendra en considération l'un des exutoires comme un exutoire principal et les autres comme des points bas, une buse de diamètre $\phi = 1200mm$ peut s'adapter pour suffisamment évacuer ce débit.

Chapitre IV

ÉTUDE HYDRAULIQUE

IV.1 INTRODUCTION

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers est une étape très importante dans la conception de routes, de ponts et d'autres infrastructures de transport. Les ouvrages hydrauliques routiers sont conçus pour permettre la circulation des eaux en dessous ou à côté des routes, tout en assurant la stabilité et la sécurité de ces dernières.

La conception et la construction d'ouvrages hydrauliques routiers nécessitent une expertise technique et une connaissance approfondie des principes de l'hydrologie et de l'hydraulique en général. Les ingénieurs et les professionnels du génie civil précisément les hydrauliciens sont responsables de la conception, de la construction et de l'entretien de ces ouvrages pour assurer leur bon fonctionnement à long terme.

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers consiste à déterminer les dimensions et les caractéristiques appropriées pour chaque élément de la structure, tels que les caniveaux, les fossés, les ponts, les dalots, les buses, les chaussées et les accotements. Il est également important de prendre en compte les conditions hydrologiques, les débits d'eau des crues, les hauteurs d'eau et les vitesses de l'eau.

Le but du dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers est de s'assurer que la structure est capable de résister aux forces hydrodynamiques et aux effets environnementaux prévus, tout en minimisant les impacts sur l'environnement et en assurant la sécurité des usagers de la route.

IV.2 Les types des écoulements à surface libre

IV.2.1 Écoulement fluvial

Il fait référence à l'écoulement régulier et relativement constant de l'eau dans un cours d'eau, comme une rivière ou un fleuve. L'écoulement fluvial est généralement caractérisé par un débit constant et une vitesse modérée de l'eau. Il suit un régime plus ou moins régulier et peut être influencé par les précipitations, la topographie, les saisons et d'autres facteurs. L'écoulement fluvial est essentiel pour l'écologie des rivières, le transport des sédiments et l'approvisionnement en eau douce, On dit qu'un écoulement est fluvial lorsque $Fr < 1$ [14]

IV.2.2 Écoulement torrentiel

Contrairement à l'écoulement fluvial régulier, l'écoulement torrentiel est un écoulement rapide et violent d'eau dans un cours d'eau ou un canal. Il se produit généralement après des précipitations intenses ou des événements météorologiques extrêmes, tels que des orages violents ou des pluies torrentielles.

L'écoulement torrentiel est caractérisé par une augmentation soudaine du débit et de la vitesse de l'eau, ainsi que par un transport important de sédiments et de matériaux. Il peut causer des inondations, des dommages aux infrastructures et représenter un danger

pour les personnes et les biens o. On dit qu'un écoulement est torrentiel lorsque le nombre de Froude $Fr > 1$. [14]

IV.2.3 L'écoulement critique

L'écoulement critique se produit lorsque la vitesse de l'écoulement atteint une valeur spécifique appelée vitesse critique. À cette vitesse, l'écoulement est à la limite entre l'écoulement subcritique (vitesse inférieure à la vitesse critique) et l'écoulement supercritique (vitesse supérieure à la vitesse critique). L'écoulement critique se produit généralement dans des situations où l'écoulement change brusquement de section transversale, comme dans les seuils. On dit qu'un écoulement est critique lorsque le nombre de Froude $Fr = 1$. [14]

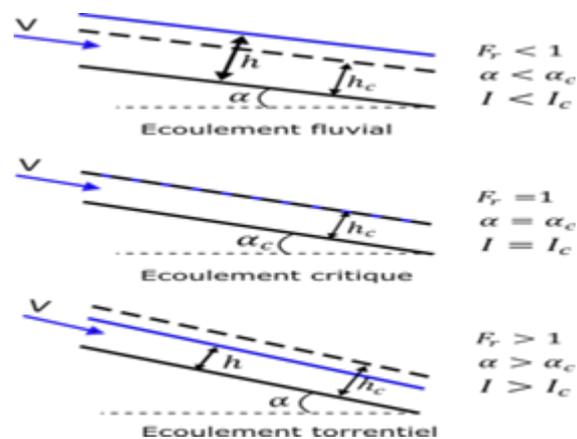


FIGURE IV.1 – Profil de types d'écoulements à surface libre [14]

IV.3 Les caractéristiques des écoulements à surface libre

IV.3.1 Hauteur de l'écoulement :

La hauteur de l'écoulement, également appelée profondeur ou le tirant d'eau, fait référence à la distance verticale entre la surface libre du fluide et une référence donnée, généralement le fond du canal ou du lit de la rivière. La hauteur de l'écoulement peut varier le long de la direction d'écoulement en raison des changements de pente, de la rugosité du lit et d'autres facteurs. [14]

IV.3.2 La pente :

La pente dans l'écoulement à surface libre est une mesure de la variation de hauteur d'eau par unité de distance horizontale le long d'un canal ou d'une rivière. Elle est souvent exprimée en pourcentage, en degrés ou en fraction, la pente est un facteur important qui

détermine la vitesse et le débit de l'eau dans un écoulement à surface libre. En général, plus la pente est grande, plus l'eau s'écoule rapidement et plus le débit est élevé. Cela est dû à la gravité qui agit sur l'eau et entraîne un mouvement descendant de l'eau vers des altitudes plus basses.[16]

IV.3.3 Section mouillée

La section mouillée est une section transversale particulière du cours d'eau ou du canal, qui peut varier en forme et en dimensions. Elle est souvent déterminée par les caractéristiques du lit du cours d'eau et les contraintes géométriques environnantes. La section mouillée peut être influencée par des facteurs tels que la topographie, la rugosité du lit, et d'autres paramètres environnementaux.[16]

IV.3.4 Périmètre mouillé

Le périmètre mouillé dans un écoulement à surface libre est la longueur totale de la ligne où la surface libre du liquide rencontre les parois solides du canal, de la rivière ou d'une autre structure similaire. Il est utilisé pour quantifier la géométrie de l'écoulement et peut avoir des implications sur les propriétés hydrauliques de l'écoulement, telles que le débit, la vitesse et la résistance au frottement.

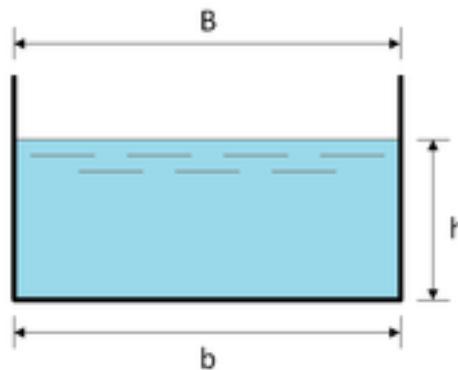


FIGURE IV.2 – Section mouillée d'un canal rectangulaire[16]

IV.3.5 La vitesse de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement à surface libre peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la pente du lit, la géométrie du canal, la rugosité de la surface, les forces de la gravité, etc. La vitesse peut être mesurée à différents points de l'écoulement et peut varier à différents endroits en fonction de ces facteurs, dans un écoulement à surface libre, le profil de vitesse décrit la variation de la vitesse du fluide le long de la section transversale

de l'écoulement. Habituellement, la vitesse est maximale à la surface libre et diminue progressivement vers le fond en raison des forces de frottement avec le lit.[16]

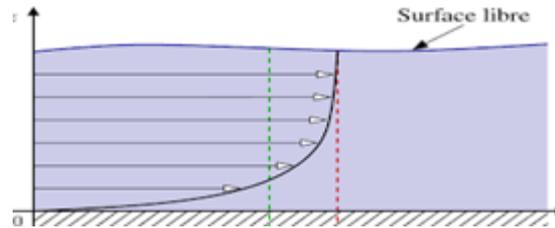


FIGURE IV.3 – Profil de la vitesse d'écoulement à surface libre [16]

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers est une étape très importante dans la conception de routes, de ponts et d'autres infrastructures de transport. Les ouvrages hydrauliques routiers sont conçus pour permettre la circulation des eaux en dessous ou à côté des routes, tout en assurant la stabilité et la sécurité de ces dernières.[16]

La conception et la construction d'ouvrages hydrauliques routiers nécessitent une expertise technique et une connaissance approfondie des principes de l'hydrologie et de l'hydraulique en générale.[16]

Les ingénieurs et les professionnels du génie civil précisément les hydrauliciens sont responsables de la conception, de la construction et de l'entretien de ces ouvrages pour assurer leur bon fonctionnement à long terme.[16]

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers consiste à déterminer les dimensions et les caractéristiques appropriées pour chaque élément de la structure, tels que les caniveaux, les fossés, les ponts, les dalots, les buses, les chaussées et les accotements. Il est également important de prendre en compte les conditions hydrologiques, les débits d'eau des crues, les hauteurs d'eau et les vitesses de l'eau.[16]

Le but du dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers est de s'assurer que la structure est capable de résister aux forces hydrodynamiques et aux effets environnementaux prévus, tout en minimisant les impacts sur l'environnement et en assurant la sécurité des usagers de la route.

IV.4 Formes des canalisations hydrauliques

Les canalisations hydrauliques peuvent être classées en deux catégories : ouvertes ou fermées ((voir figure IV.4). Les canalisations à contour ouvert se présentent principalement sous forme rectangulaire ou voûtée. Quant aux canalisations fermées, elles peuvent adopter des formes rectangulaires, circulaires, elliptiques ou arquées. Les canalisations rectangulaires sont généralement construites en béton, parfois en bois. Les formes circulaires font appel à des tuyaux en acier ondulé, en béton ou, pour les petits conduits, en polyéthylène ondulé. Les formes elliptiques, arquées et voûtées sont généralement réalisées en acier ondulé. Dans le cas des canalisations à contour ouvert, la base de la structure repose généralement sur une semelle ou un radier en béton.[16]

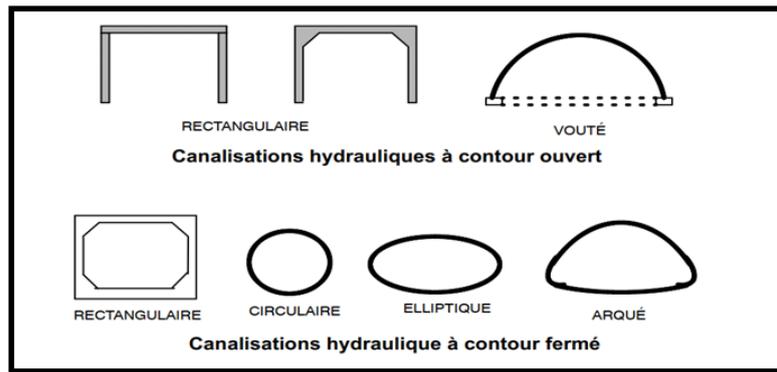


FIGURE IV.4 – Formes des canalisations hydrauliques [14]

IV.5 Les types d'ouvrages de franchissement

IV.5.1 Les buses

Les buses sont des ouvrages hydrauliques utilisés pour canaliser l'eau sous ou à travers les routes. Elles peuvent être utilisées pour évacuer l'eau de surface, pour franchir des cours d'eau ou des fossés, ou pour drainer des zones humides.[16]

Les buses peuvent être construites en différents matériaux tels que le béton, le métal ou le plastique. Les dimensions des buses sont déterminées en fonction des caractéristiques hydrologiques et hydrauliques de la zone à drainer, telle que : débit maximum attendu, la pente de la conduite, la hauteur de remplissage de la conduite, le type de matériau utilisé, la résistance à l'érosion et à la corrosion, ainsi que les conditions de fondation et les charges de trafic.[16]

En général, le dimensionnement des buses est effectué en utilisant des modèles mathématiques qui permettent de déterminer les dimensions optimales en fonction des caractéristiques de la zone à drainer. Ces modèles prennent en compte les caractéristiques du sol, la géométrie de la conduite et les paramètres hydrauliques tels que la vitesse d'écoulement. Il existe différents types de buses en fonction de leur forme et de leur matériau de construction. Les principaux types de buses utilisés en dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers sont :

- A. Les buses métalliques circulaires : elles sont utilisées pour les petits ouvrages hydrauliques et ont une durée de vie limitée. Les buses métalliques circulaires sont souvent utilisées pour les fossés de drainage, les passages sous les routes rurales, les voies ferrées, etc.
- B. Les buses en béton préfabriqué : elles sont utilisées pour les ouvrages hydrauliques plus importants et ont une durée de vie plus longue que les buses métalliques. Elles sont généralement préfabriquées en usine et assemblées sur le site de l'ouvrage.[16]



FIGURE IV.5 – Buses en béton[1]

C. Les buses ovales : Ces buses présentent plusieurs avantages par rapport aux buses de drainage traditionnelles. Leur forme ovale permet d'obtenir une plus grande surface de captage par rapport aux buses circulaires, ce qui permet une meilleure collecte de l'eau. De plus, leur profil bas réduit les risques de dommages causés par le trafic et facilite l'accès pour l'entretien et le nettoyage ainsi que sa durée de vie plus longue que les buses circulaires.[16]



FIGURE IV.6 – Buse en béton ovales [16]

IV.5.2 Les dalots

Les dalots sont considérés comme des ouvrages d'arts les plus importants ils sont construits pour organiser écoulement des cours sous les remblais routiers(les chaussées). Ils sont généralement construits en béton armé et prennent la forme de canaux rectangulaires ou de tunnels. Les dalots permettent de maintenir la continuité des flux d'eau ou de circulation tout en assurant la solidité de la structure. Dans les tronçons de routes à profils

longitudinaux concaves, il est recommandé de construire ce type d'ouvrage au lieu d'opter des petits ponts. Les calculs montrent que la construction des ponceaux dans la majorité des cas exige moins de matériaux par rapport la construction des ponts pour les mêmes ouvertures. Il est même avantageux de les construire surtout pour des grands remblais.[16]

Près de 90% des ouvrages d'assainissement routiers sont constituer de dalots ,ils ont l'avantage d'être facilement construits par apport aux ponts .Pour un même débit d'évacuation ,le coût de la réalisation d'un dalot est moins élevé par rapport à la construction d'un pont [16]

Les éléments principaux d'un dalot : :

- Une dalle inférieure appelée radier, partie reposant sur le sol.
- Des piédroits perpendiculaires au radier, ils supportent la dalle supérieure.
- Une dalle supérieure appelée tablier -Deux murs de tête.
- Quatre murs en aile en amont et en aval -L'enrochement de protection amont et aval.
- Les remblais d'accès.[25]

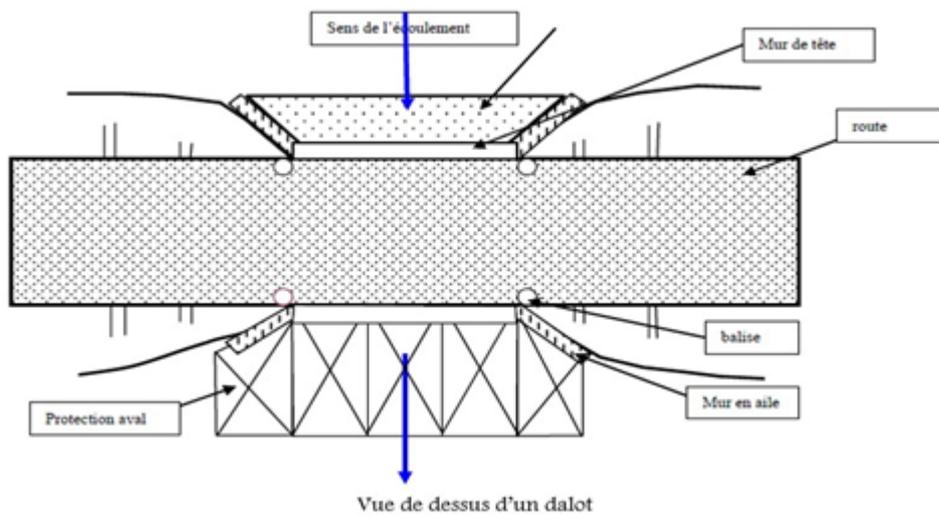


FIGURE IV.7 – Vue dessus d'un dalot [25]

Les types des dalots

Les dalots ordinaires avec dalle : constitués de piédroits verticaux, fondés sur une semelle ou un radier général, un dalot avec dalle est une variante du dalot cadre, où la partie supérieure est constituée d'une dalle en béton armé. Cette dalle offre une surface plane pour la circulation des véhicules, tandis que les parois latérales et le fond assurent le passage de l'eau. Les dalots avec dalle sont souvent utilisés dans les zones où le débit d'eau est faible à modéré et où une résistance structurelle est requise.[25]



FIGURE IV.8 – Dalot ordinaire avec dalle [25]

Dalot cadre (structure rigide) : Un dalot cadre est une structure hydraulique conçue pour permettre le passage d'un cours d'eau sous une route, une voie ferrée ou toute autre infrastructure. Il se compose généralement d'un cadre métallique rigide en acier ou en béton armé, avec des parois latérales et un fond. Ce type de dalot est conçu pour supporter des charges lourdes et résister à la pression de l'eau.[25]



FIGURE IV.9 – Dalot Cadre [25]

Dalots portiques : Ils sont souvent utilisés pour franchir des cours d'eau plus larges ou pour créer des passages souterrains dans des zones urbanisées. Les dalots portiques peuvent avoir différents designs, mais ils sont généralement constitués de plusieurs dalots en série soutenus par des piliers ou des murs porteurs.[25]



FIGURE IV.10 – Dalot portique [25]

Les dalots triples : Les dalots triples sont conçus pour permettre un écoulement efficace de l'eau, en particulier dans les zones où des débits élevés ou des volumes importants d'eau doivent être traités. Ils sont couramment utilisés dans les systèmes de drainage routier, les canaux de drainage agricole, les cours d'eau, les stations d'épuration et d'autres infrastructures similaires.[25] L'avantage des dalots triples est qu'ils offrent une plus grande capacité de drainage par rapport aux dalots simples ou doubles. Ils peuvent supporter des charges plus lourdes, ce qui en fait un choix approprié pour les zones à fort trafic ou les endroits où des véhicules lourds peuvent passer.[25]



FIGURE IV.11 – Dalots triples [25]

La mise en œuvre des dalots

La mise en œuvre des dalots implique plusieurs étapes, notamment la préparation du terrain, la pose des dalots et la finition. Voici une brève description de chaque étape :

Préparation du terrain : Avant de commencer la pose des dalots, il est important de préparer le terrain de manière appropriée. Cela peut inclure le nivellement du sol, le compactage du sol pour assurer une base solide, et l'élimination de toute végétation ou obstruction qui pourrait interférer avec l'installation des dalots.[25] **Pose des dalots :** Une

fois que le terrain est préparé, les dalots peuvent être posés. Les dalots sont généralement préfabriqués en béton ou en plastique et sont disponibles dans différentes tailles et formes pour s'adapter aux besoins spécifiques du projet. Ils sont installés de manière à former une structure solide et continue, permettant le passage de l'eau ou d'autres liquides.

Finition : Après avoir posé les dalots, il est important de procéder à la finition appropriée. Cela peut inclure le remplissage des espaces entre les dalots avec du sable ou du gravier pour assurer une meilleure stabilité, ainsi que le compactage du matériau de remplissage pour éviter les affaissements.[25]

IV.6 Principe de dimensionnement hydraulique des dalots

Le dimensionnement hydraulique des dalots consiste à calculer le débit maximal que la structure est capable de supporter, à comparer ce débit avec le débit prévu, à vérifier la vitesse d'écoulement de l'eau et à déterminer la hauteur de remplissage correspondante. Le calcul de débit capable d'un dalot sont :

Calcul du débit maximal : Le débit maximal est généralement calculé en utilisant les formules hydrauliques appropriées, telles que l'équation de Manning pour les écoulements en surface . Ces formules tiennent compte de paramètres tels que la pente, la rugosité de la surface, la géométrie du dalot, etc.

Comparaison des débits : Une fois que le débit maximal est calculé, il est comparé avec le débit prévu pour déterminer si le dalot peut le supporter. Si le débit prévu est inférieur au débit maximal, le dalot est considéré comme dimensionné correctement. Sinon, des ajustements doivent être effectués pour s'assurer que la capacité hydraulique du dalot est suffisante.

Vérification de la vitesse et le régime d'écoulement : La vitesse d'écoulement de l'eau à travers le dalot est également importante à vérifier. Des vitesses d'écoulement excessivement élevées peuvent provoquer des problèmes d'érosion et de turbulence. Des critères spécifiques peuvent être utilisés pour déterminer les limites acceptables de la vitesse d'écoulement en fonction de la nature du projet et de l'environnement local.

Détermination de la hauteur de remplissage : La hauteur de remplissage est la distance verticale entre le fond du dalot et la surface de l'eau lorsque le débit maximal est atteint. Elle est calculée en utilisant les formules appropriées en fonction de la géométrie du dalot et du débit d'écoulement.[25]

IV.7 Le débit capable des ouvrages de franchissements

IV.7.1 La méthode de DELORME

Il s'agit d'une méthode simple, et elle est la plus utilisée pour le pré-dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Les débits capables des ouvrages sont donnés par des débits qui correspondent aux débits critiques déterminés par la formule de DELORME.[9]

Pour les buses

$$Q_C = 2,464 \cdot R \cdot D^{\frac{5}{2}} \quad (\text{IV.1})$$

Pour les dalots

$$Q_C = 1,50 \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

Q_c : Débit critique évacué en m³/s

R : Rayon des buses en m

L : Ouverture droite des dalots en m

H : Hauteur des piédroits sous dalles pour les dalots en m

D : Diamètre intérieur pour les buses en m.

TABLE IV.1 – Debits capables pour les dalots et les buses

Type d'ouvrage	dimensions(LxH ;φ)	Qc(m ³ /s)
Buse	1200	1.94
Datot	1,5x1,5	4.13
Datot	2x1,5	5.51
Datot	2x2	8.49
Datot	3x2	12.73
Datot	3x3	23.38

Cette formule engendre un surdimensionnement dans le calcul notamment pour les débits importants (dépassant 2,5 m³/s) car elle néglige l'influence de l'écoulement à l'aval de l'ouvrage sur celui dans l'ouvrage.

C'est pourquoi le recours à la méthode du contrôle amont et aval est nécessaire pour le dimensionnement des ouvrages d'assainissement.

IV.8 Résultats des calculs de dimensionnement des ouvrages de franchissements

TABLE IV.2 – Résultats des calculs de dimensionnement

NUM BV	PK	Surface (Km^2)	I_{projet}	$Q_{max}(projet) m^3/s$	ϕ Buse (maning)	Nombre	Ouvrage adapté	Type	Q_c
1	pk22+350	0.15	82.44	2.93	1.12	1	1,5x1,5	dalot	4.13
2	pk22+530	0.81	53.90	9.60	1.74	2	2x1,5	dalot	11
3	pk23+050	0.32	71.12	5.28	1.39	1	2x1,5	dalot	5.51
4	pk23+410	0.24	94.35	5.58	1.42	1	2x2	dalot	8.49
5	pk23+980	0.50	63.66	7.22	1.57	1	2x2	dalot	8.49
6	pk24+005	0.11	83.72	2.28	1.02	1	1,5x1,5	dalot	4.13
7	pk24+290	0.23	82.85	4.63	1.33	1	2x1,5	dalot	5.51
8	pk24+570	2.84	45.12	26.90	2.56	4	2x2	dalot	33.9
9	pk25+230	0.68	68.99	10.90	1.83	2	2x1,5	dalot	11
	1					1200	buse	1.94	
10	pk25+560	0.48	54.13	5.68	1.43	1	2x2	dalot	8.49
11	pk25+830	1.98	41.01	16.63	2.14	2	2x2	dalot	17
	1					1200	buse	1.94	
	1					1200	buse	1.94	
12	pk26+435	0.48	71.67	8.08	1.63	1	1200	buse	1.94
	1					2x2	dalot	8.49	
13	pk27+135	1.03	51.46	11.42	1.86	1	3x2	dalot	12.7
14	pk27+290	1.15	43.72	10.46	1.80	2	2x1,5	dalot	11
15	pk27+600	1.06	41.20	8.93	1.70	1	3x2	dalot	12.7
	1					1200	buse	1.94	
16	pk27+845	27.61	12.78	68.62	3.64	6	3x2	dalot	76.4
17	pk29+010	0.27	77.59	4.91	1.36	1	1200	buse	1.94
	1					1,5x1,5	dalot	4.13	
18	pk30+120	7.31	55.66	18.02	2.21	1	3x3	dalot	23.4
19	pk31+805	3.19	41.25	26.99	2.57	4	2x2	dalot	33.9
20	pk32+730	8.11	46.48	17.84	2.20	1	1200	buse	1.94
	2					3x2	dalot	25.5	
	1					1200	buse	1.94	
	1					1200	buse	1.94	
21	pk33+645	0.34	82.31	6.78	1.53	1	2x2	dalot	8.49
22	pk33+805	0.20	78.88	3.81	1.23	2	1200	buse	3.88
23	pk34+065	0.13	101.90	3.31	1.17	2	1200	buse	3.88
24	pk34+240	0.09	125.27	3.11	1.14	2	1200	buse	3.88

25	pk35+625	0.36	93.56	8.42	1.66	1	2x2	dalot	8.49
26	pk37+120	13.09	34.29	42.25	3.04	4	3x2	dalot	50.9
27	pk37+485	0.37	70.76	6.08	1.47	1	1200	dalot	1.94
	1					2x1,5	dalot	5.51	
28	pk38+080	17.69	26.58	108.24	4.32	ouvrage d'art			
	pk38+280								
	pk38+440								
29	pk38+960	0.40	51.11	4.41	1.30	1	2x1,5	dalot	5.51
30	pk39+470	4.49	45.10	42.48	3.04	1	1200	buse	1.94
	pk40+030					4	3x2	dalot	50.9
	pk40+370					1	1200	buse	1.94
31	pk40+935	0.07	161.40	3.05	1.13	1	1,5x1,5	buse	4.13
32	pk41+050	0.11	103.22	2.82	1.10	1	1,5x1,5	buse	4.13
33	pk41+190	0.09	152.66	3.66	1.21	1	1,5x1,5	buse	4.13
	pk41+345					1	1,5x1,5	buse	4.13
34	pk41+420	0.09	134.00	3.23	1.16	1	1,5x1,5	buse	4.13
35	pk41+715	0.07	149.73	3.06	1.14	1	1,5x1,5	buse	4.13
36	pk41+900	0.04	323.53	3.82	1.23	1	1,5x1,5	buse	4.13
37	pk42+050	0.04	313.13	4.35	1.30	1	2x1,5	buse	5.51
38	pk42+935	1.87	51.97	21.07	2.34	4	2x1,5	dalot	22
39	pk43+095	0.77	73.41	13.28	1.97	2	2x2	dalot	17
40	pk43+440	0.19	189.00	10.75	1.82	2	2x1,5	dalot	11
41	pk43+750	0.12	176.05	6.34	1.49	2	1,5x1,5	dalot	8.27
42	pk43+980	0.28	135.89	10.36	1.79	2	2x1,5	dalot	11
43	pk44+490	0.46	89.05	10.13	1.78	2	2x1,5	dalot	11
44	pk44+560	1.09	66.69	16.75	2.15	2	2x2	dalot	17
45	pk45+070	0.28	88.06	6.00	1.46	2	1,5x1,5	dalot	8.27
46	pk48+400	0.90	48.97	9.46	1.73	2	2x1,5	dalot	11
47	pk49+160	0.33	84.61	6.84	1.53	1	2x2	dalot	8.49
48	pk49+640	9.95	41.50	30.20	2.68	3	3x2	dalot	38.2
49	pk50+440	0.22	112.71	6.33	1.49	1	2x2	dalot	8.49
50	pk51+320	0.54	75.90	9.68	1.75	2	2x1,5	dalot	11
51	pk52+080	0.57	78.70	10.67	1.81	2	2x1,5	dalot	11
52	pk52+300	0.68	74.19	11.86	1.89	3	1,5x1,5	dalot	12.4
53	pk53+970	0.45	76.64	8.16	1.64	2	1,5x1,5	dalot	8.27

54	pk54+740	4.52	40.83	42.54	3.05	4	3x2	dalot	50.9
55	pk54+446	0.91	63.25	53.73	3.32	1	1200	buse	1.94
	3					3x3	dalot	70.1	
56	pk55+865	0.19	136.80	7.11	1.56	2	1,5x1,5	dalot	8.27
57	pk56+260	0.04	197.94	2.31	1.02	1	1,5x1,5	dalot	4.13
58	pk56+310	0.01	182.40	0.45	0.55	1	1200	buse	1.94
59	pk56+410	0.01	222.27	0.90	0.72	1	1200	buse	1.94
60	pk56+854	562.39	5.76	629.61	8.37	ouvrage d'art			

IV.9 Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages

Dans cette partie on va vérifier les paramètres hydrauliques des ouvrages tels que la vitesse, le taux de remplissages et la pente critique...etc.

Remarque : le paramètre le plus important à vérifier c'est le taux de remplissage, il faut que cette grandeur soit inférieure à 75% pour les dalots et 80% pour les buses, par mesure de sécurité et aussi pour garantir que l'écoulement soit en à surface libre.

TABLE IV.3 – Exemple de calcul hydraulique d'un dalot 2.0*2.0 situé dans l'exutoire du PK 23+980

Désignation	Formules	Résultats	Unités
Débit de projet retenu	Q_p	6.17	m^3/s
Nombre de travées	n	1	//
Hauteur fictive	H	2	m
Largeur fictive	L	2	m
Section fictive	$A = H \cdot L$	4	m^2
Débit unitaire	Q	6.17	m^3/s
Vitesse fictive	$V = Q/A$	1.54	m/s
CALCUL AU DE FIL D'EAU AMONT			
Débit adim 1	$Q1^* = \frac{Q}{A(2gH)^{0.5}}$	0.25	//
Hauteur adimensionnelle	Abaque en Annexe	0.74	//
Hauteur normale	$H_n = H^* \cdot H$	1.48	m
CALCUL DE LA PENTE CRITIQUE			
Débit adim 2	$Q2^* = \frac{Q}{\sqrt{gL^5}}$	0.35	//
Pente adimensionnelle	Abaque en annexe	3.3	//
Coifferions de Manning (Béton)	n	0.013	//
La pente critique	$I_c = \frac{I_c^* g}{k^2 L^{1/3}}$	0.007	//
CALCUL DE LA VITESSE RÉELLE			
Debit adim 3	$Q3^* = \frac{Q}{k(I_c^{0.5} L^{2/3})}$	0.15	//
Vitesse adimensionnelle	Abaque en annexe	0.36	//
La vitesse réelle	$V = \frac{1}{n} V^* L^{2/3} \sqrt{I_c}$	3.65	m/s

Pour que le dimensionnement soit acceptable il faut :

- La vitesse réelle d'écoulement < 4 m/s
- Le taux de remplissage <75%
- Le régime d'écoulement doit rester fluvial à l'intérieur de l'ouvrage.[28]

TABLE IV.4 – Vérification des conditions d'écoulement

BV	PK	$Q_{projet} m^3/s$	n	Ouvrage	$Q_u m^3/s$	V	Q*1	H*	H	Q2*	Ic*	Ic	Q3*	V*	i ouvrage	V	Hn	Hc	τ	Régime
1	22+350	2.93	1	1,5x1,5	2.93	1.30	0.24	0.74	1.11	0.34	3.18	0.005	0.19	0.39	0.003	2.15	0.91	0.47	60%	Fluv
2	22+530	9.60	2	2x1,5	4.80	1.60	0.29	0.81	1.215	0.27	3.05	0.004	0.16	0.38	0.003	2.54	0.94	0.66	63%	Fluv
3	23+050	5.28	1	2x1,5	5.28	1.76	0.32	0.88	1.32	0.30	3.1	0.004	0.17	0.38	0.003	2.54	1.04	0.66	69%	Fluv
4	23+410	5.58	1	2x2	5.58	1.86	0.34	0.91	1.365	0.32	3.15	0.004	0.18	0.39	0.004	2.82	0.99	0.81	66%	Fluv
5	23+980	7.22	1	2x2	7.22	1.81	0.29	0.81	1.62	0.41	3.3	0.004	0.22	0.41	0.003	2.74	1.32	0.77	66%	Fluv
6	24+005	2.28	1	1,5x1,5	2.28	1.01	0.19	0.6	0.9	0.26	3.05	0.004	0.15	0.37	0.002	1.67	0.91	0.28	61%	Fluv
7	24+290	4.63	1	2x1,5	4.63	1.54	0.28	0.81	1.215	0.26	3.05	0.004	0.15	0.37	0.003	2.47	0.94	0.62	62%	Fluv
8	24+570	26.90	4	2x2	6.72	1.68	0.27	0.8	1.6	0.38	3.24	0.004	0.21	0.4	0.003	2.68	1.26	0.73	63%	Fluv
9	25+230	10.90	2	2x1,5	5.45	1.82	0.33	0.9	1.35	0.31	3.12	0.004	0.17	0.38	0.004	2.97	0.92	0.90	61%	Fluv
10	25+560	5.68	1	2x2	5.68	1.42	0.23	0.88	1.76	0.32	3.15	0.004	0.18	0.39	0.003	2.38	1.19	0.58	60%	Fluv
11	25+830	16.63	2	2x2	8.31	2.08	0.33	0.9	1.8	0.47	3.45	0.005	0.25	0.4	0.005	3.29	1.26	1.10	63%	Fluv
12	26+490	8.08	1	2x2	8.08	2.02	0.32	0.88	1.76	0.46	3.4	0.004	0.25	0.43	0.004	3.11	1.30	0.98	65%	Fluv
13	27+135	11.42	1	3x2	11.42	1.90	0.30	0.84	1.68	0.23	3	0.003	0.14	0.39	0.003	3.12	1.22	0.99	61%	Fluv
14	27+290	10.46	2	2x1,5	5.23	1.74	0.32	0.9	1.35	0.30	3.1	0.004	0.17	0.38	0.004	2.75	0.95	0.77	64%	Fluv
15	27+600	8.93	1	3x2	8.93	1.49	0.24	0.74	1.48	0.18	2.8	0.003	0.11	0.35	0.002	2.50	1.19	0.64	59%	Fluv
16	27+845	68.62	6	3x2	11.44	1.91	0.30	0.84	1.68	0.23	3	0.003	0.14	0.37	0.003	2.96	1.29	0.89	64%	Fluv
17	29+220	4.91	1	1,5x1,5	4.91	2.18	0.40	0.86	1.29	0.57	3.6	0.005	0.30	0.44	0.005	3.14	1.04	1.00	70%	Fluv
18	30+120	18.02	1	3x3	18.02	2.00	0.26	0.74	2.22	0.37	3.05	0.003	0.21	0.4	0.003	3.20	1.88	1.04	63%	Fluv
19	31+805	26.99	4	2x2	6.75	1.69	0.27	0.8	1.6	0.38	3.24	0.004	0.21	0.4	0.003	2.68	1.26	0.73	63%	Fluv
20	32+825	17.84	2	3x2	8.92	1.49	0.24	0.74	1.48	0.18	2.8	0.003	0.11	0.34	0.002	2.43	1.22	0.60	61%	Fluv
21	33+645	6.78	1	2x2	6.78	1.70	0.27	0.8	1.6	0.38	3.24	0.004	0.21	0.4	0.003	2.68	1.27	0.73	63%	Fluv
25	35+625	8.42	1	2x2	8.42	2.10	0.34	0.91	1.82	0.48	3.47	0.005	0.26	0.45	0.004	3.25	1.29	1.08	65%	Fluv
26	37+120	42.25	4	3x2	10.56	1.76	0.28	0.81	1.62	0.22	2.95	0.003	0.13	0.36	0.003	2.88	1.22	0.85	61%	Fluv
27	37+630	6.08	1	2x1,5	6.08	2.03	0.37	0.98	1.47	0.34	3.18	0.004	0.19	0.39	0.004	3.08	0.99	0.97	66%	Fluv
29	38+960	4.41	1	2x1,5	4.41	1.47	0.27	0.8	1.2	0.25	3	0.004	0.14	0.37	0.003	2.47	0.89	0.62	59%	Fluv
30	40+030	42.48	4	3x2	10.62	1.77	0.28	0.81	1.62	0.22	2.95	0.003	0.13	0.36	0.002	2.58	1.37	0.68	69%	Fluv
31	40+935	3.05	1	1,5x1,5	3.05	1.36	0.25	0.72	1.08	0.35	3.09	0.004	0.20	0.4	0.003	2.21	0.92	0.50	61%	Fluv
32	41+050	2.82	1	1,5x1,5	2.82	1.25	0.23	0.7	1.05	0.33	3.16	0.005	0.18	0.39	0.003	1.97	0.96	0.39	64%	Fluv
33	41+190	3.66	1	1,5x1,5	3.66	1.63	0.30	0.84	1.26	0.42	3.5	0.005	0.23	0.42	0.004	2.68	0.91	0.73	61%	Fluv
34	41+420	3.23	1	1,5x1,5	3.23	1.44	0.26	0.74	1.11	0.37	3.22	0.005	0.21	0.4	0.004	2.39	0.90	0.58	60%	Fluv
35	41+715	3.06	1	1,5x1,5	3.06	1.36	0.25	0.72	1.08	0.35	2.89	0.004	0.21	0.4	0.003	2.21	0.92	0.50	62%	Fluv
36	41+900	3.82	1	1,5x1,5	3.82	1.70	0.31	0.86	1.29	0.44	3.8	0.005	0.23	0.42	0.004	2.68	0.95	0.73	63%	Fluv
37	42+050	4.35	1	2x1,5	4.35	1.45	0.27	0.8	1.2	0.25	2.99	0.004	0.14	0.37	0.003	2.47	0.88	0.62	59%	Fluv
38	42+935	21.07	4	2x1,5	5.27	1.76	0.32	0.74	1.11	0.30	3.1	0.004	0.17	0.38	0.003	2.54	1.04	0.66	69%	Fluv
39	43+095	13.28	2	2x2	6.64	1.66	0.26	0.74	1.48	0.37	3.22	0.004	0.21	0.4	0.003	2.68	1.24	0.73	62%	Fluv
40	43+440	10.75	2	2x1,5	5.38	1.79	0.33	0.9	1.35	0.30	3.1	0.004	0.17	0.38	0.004	2.96	0.91	0.89	61%	Fluv
41	43+750	6.34	2	1,5x1,5	3.17	1.41	0.26	0.74	1.11	0.37	2.99	0.004	0.21	0.4	0.003	2.21	0.96	0.50	64%	Fluv
42	43+980	10.36	2	2x1,5	5.18	1.73	0.32	0.88	1.32	0.29	3.1	0.004	0.17	0.38	0.003	2.54	1.02	0.66	68%	Fluv
43	44+490	10.13	2	2x1,5	5.06	1.69	0.31	0.86	1.29	0.29	3.1	0.004	0.16	0.38	0.003	2.54	1.00	0.66	66%	Fluv
44	44+560	16.75	2	2x2	8.37	2.09	0.33	0.9	1.8	0.47	3.45	0.005	0.25	0.43	0.004	3.32	1.26	1.12	63%	Fluv
45	45+070	6.00	2	1,5x1,5	3.00	1.00	0.18	0.6	0.9	0.17	2.75	0.004	0.10	0.33	0.002	1.56	0.96	0.25	64%	Fluv
46	48+400	9.46	2	2x1,5	4.73	1.58	0.29	0.88	1.32	0.27	3.05	0.004	0.15	0.37	0.003	2.26	1.05	0.52	70%	Fluv

47	49+160	6.84	1	2x2	6.84	1.71	0.27	0.8	1.6	0.39	3.27	0.004	0.21	0.4	0.003	2.68	1.28	0.73	64%	Fluv
48	49+640	30.20	3	3x2	10.07	1.68	0.27	0.8	1.6	0.21	2.9	0.003	0.12	0.35	0.002	2.50	1.34	0.64	67%	Fluv
49	50+440	6.33	1	2x2	6.33	1.58	0.25	0.72	1.44	0.36	3.2	0.004	0.20	0.4	0.003	2.68	1.18	0.73	59%	Fluv
50	51+320	9.68	2	2x1,5	4.84	1.61	0.30	0.84	1.26	0.27	3.05	0.004	0.16	0.38	0.003	2.54	0.95	0.66	63%	Fluv
51	52+080	10.67	2	2x1,5	5.33	1.78	0.33	0.9	1.35	0.30	3.1	0.004	0.17	0.39	0.003	2.61	1.02	0.69	68%	Fluv
52	52+300	11.86	3	1,5x1,5	3.95	1.32	0.24	0.74	1.11	0.22	2.95	0.004	0.13	0.36	0.003	2.20	0.90	0.49	60%	Fluv
53	53+970	8.16	2	1,5x1,5	4.08	1.81	0.33	0.9	1.35	0.47	3.45	0.005	0.25	0.43	0.004	2.74	0.99	0.77	66%	Fluv
54	54+740	42.54	4	3x2	10.64	1.77	0.28	0.81	1.62	0.22	2.95	0.003	0.13	0.36	0.003	2.88	1.23	0.85	62%	Fluv
55	55+550	53.73	3	3x3	17.91	1.99	0.26	0.74	2.22	0.37	3.22	0.004	0.20	0.4	0.003	3.20	1.87	1.04	62%	Fluv
56	55+865	7.11	2	1,5x1,5	3.56	1.58	0.29	0.81	1.215	0.41	3.3	0.005	0.23	0.42	0.003	2.32	1.02	0.55	68%	Fluv

Avec :

BV : Le numéro du Bassin versant

PK : Le point kilométrique correspondant à l'exutoire X

Q_{projet} : Le débit de projet en m^3/s

n : Le nombre des ouvrages en parallèles

Ouvrage : Les dimension des ouvrages

Q_u : Le débit unitaire en m^3/s (le débit dans chaque cellule des dalot)

V_p : La vitesse d'écoulement considérée en pleine section en m/s

$Q1^*$: Débit adimensionnelle 1 = $\frac{Q}{A(2gH)^{0.5}}$

H* : Hauteur adimensionnelle estimé par la projection de $Q1^*$ dans l'abaque 1 : Calcul de la Hauteur d'écoulement dans un dalot

H : La hauteur d'écoulement dans l'amont des Dalots = $H^* \times H_{dalot}$

$Q2^*$: Débit adimensionnelle 2 = $\frac{Q}{\sqrt{gL^5}}$

i^*c : Pente critique adimensionnelle, estimée par la projection de $Q2^*$ dans l'abaque 2 (calcul de la pente critique en fonction de débits_dalot rectangulaire)

i_c : La pente critique = $\frac{I_c^* g}{k^2 L^{\frac{1}{3}}}$

$i_{ouvrage}$: La pente adoptée pour l'ouvrage (il est nécessaire que $i_{ouvrage} < i_c$ pour assurer un régime fluvial)

$Q3^*$: Débit adimensionnelle 3 = $\frac{Q}{k(I_c^{0.5} L^{2/3})}$

V^* : Vitesse adimensionnelle estimée par la projection de $Q3^*$ dans l'abaque 3 (calcul de la Vitesse en fonction de débits_dalot rectangulaire)

V : La vitesse réelle d'écoulement $= \frac{1}{n} V^* L^{2/3} \sqrt{i_{ouvrage}}$ en m/s

H_n : La hauteur normale $= \frac{Q}{L_f V}$

H_c : La hauteur critique d'écoulement $H_c = \sqrt[3]{\frac{nQ^2}{gL^2}}$

τ : Le taux de remplissage (Acceptable si et seulement si $\tau < 75\%$) [28]

D'après les résultats du tableau IV.4 on peut conclure que les conditions d'écoulement sont vérifiées, et que notre dimensionnement est acceptable, notons que :

- La vitesse d'écoulement dans les dalots est entre 1.56 m/s et 3.32 m/s
- Toutes les pentes des ouvrages sont $<$ aux pentes critiques donc on garantit un régime d'écoulement fluvial à l'intérieur des dalots
- Le taux de remplissage maximal qu'on a trouvé c'est de 70% qui est bien inférieur à 75% donc on peut garder ces combinaisons des ouvrages

IV.9.1 Vérification des paramètres hydrauliques des ouvrages pour un débit exceptionnel

Dans le domaine de l'assainissement routier, le débit exceptionnel fait référence au débit d'eau pluviale estimé lors d'un événement de précipitations exceptionnelles, comme une forte pluie ou une tempête. Il s'agit d'un débit de ruissellement considéré comme rare et qui dépasse le débit centennale ou prévu dans les conditions de dimensionnement.

Le débit exceptionnel est exprimé par :

$$Q_{exp} = 1.5 \times Q_{projet} [28] \quad (IV.3)$$

TABLE IV.5 – Les résultats des calculs des débits exceptionnels

BV	PK	$Q_{projet} m^3/s$	n	Dalot	$Qu m^3/s$	V	Q^*1	H^*	H	Q^*2	I_c^*	ic	Q^*3	V^*	V	i ouvrage	Hn	Hc	τ	regime
1	22+350	4.39	1	1,5x1,5	4.39	1.95	0.36	1.0	1.5	0.51	3.5	0.0050	0.27	0.4	2.37	0.0030	1.2	0.6	0.82	Fluv
2	22+530	14.40	2	2x1,5	7.20	2.40	0.44	1.2	1.7	0.41	3.3	0.0043	0.22	0.4	2.74	0.0030	1.3	0.8	0.88	Fluv
3	23+050	7.92	1	2x1,5	7.92	2.64	0.49	1.3	1.9	0.45	3.4	0.0044	0.24	0.4	2.81	0.0030	1.4	0.8	0.94	Fluv
4	23+410	8.37	1	2x2	8.37	2.79	0.51	1.3	2.0	0.47	3.4	0.0045	0.26	0.4	3.11	0.0035	1.3	1.0	0.90	Fluv
5	23+980	10.83	1	2x2	10.83	2.71	0.43	1.1	2.3	0.61	3.7	0.0048	0.32	0.5	3.01	0.0030	1.8	0.9	0.90	Fluv
6	24+005	3.42	1	1,5x1,5	3.42	1.52	0.28	0.8	1.2	0.40	3.3	0.0047	0.22	0.4	1.85	0.0020	1.2	0.3	0.82	Fluv
7	24+290	6.94	1	2x1,5	6.94	2.31	0.43	1.1	1.7	0.39	3.3	0.0043	0.22	0.4	2.74	0.0030	1.3	0.8	0.84	Fluv
8	24+570	40.34	4	2x2	10.09	2.52	0.40	1.1	2.1	0.57	3.6	0.0047	0.30	0.4	2.68	0.0030	1.9	0.7	0.94	Fluv
9	25+230	16.35	2	2x1,5	8.18	2.73	0.50	1.3	2.0	0.46	3.4	0.0045	0.25	0.4	3.28	0.0041	1.2	1.1	0.83	Fluv
10	25+560	8.52	1	2x2	8.52	2.13	0.34	0.9	1.9	0.48	3.4	0.0045	0.26	0.4	2.63	0.0025	1.6	0.7	0.81	Fluv
11	25+830	24.94	2	2x2	12.47	3.12	0.50	1.3	2.6	0.70	3.8	0.0050	0.36	0.5	3.78	0.0045	1.6	1.5	0.82	Fluv
12	26+490	12.12	1	2x2	12.12	3.03	0.48	1.3	2.5	0.68	3.8	0.0050	0.35	0.5	3.32	0.0035	1.8	1.1	0.91	Fluv
13	27+135	17.13	1	3x2	17.13	2.86	0.46	1.2	2.4	0.35	3.2	0.0036	0.20	0.4	3.12	0.0025	1.8	1.0	0.92	Fluv
14	27+290	15.69	2	2x1,5	7.85	2.62	0.48	1.3	1.9	0.44	3.4	0.0044	0.24	0.4	2.75	0.0035	1.4	0.8	0.95	Fluv
15	27+600	13.40	1	3x2	13.40	2.23	0.36	1.0	1.9	0.27	3.0	0.0035	0.16	0.4	2.72	0.0020	1.6	0.8	0.82	Fluv
16	27+845	102.93	6	3x2	17.16	2.86	0.46	1.2	2.4	0.35	3.2	0.0036	0.20	0.4	3.20	0.0025	1.8	1.0	0.89	Fluv
17	29+220	7.37	1	1,5x1,5	7.37	3.28	0.60	1.6	2.4	0.85	4.1	0.0059	0.42	0.5	3.35	0.0050	1.5	1.1	0.98	Fluv
18	30+120	27.03	1	3x3	27.03	3.00	0.39	1.0	3.1	0.55	3.6	0.0041	0.29	0.4	3.52	0.0025	2.6	1.3	0.85	Fluv
19	31+805	40.48	4	2x2	10.12	2.53	0.40	1.1	2.1	0.57	3.6	0.0047	0.30	0.4	2.94	0.0030	1.7	0.9	0.86	Fluv
20	32+825	26.76	2	3x2	13.38	2.23	0.36	1.0	1.9	0.27	3.0	0.0035	0.16	0.4	2.72	0.0020	1.6	0.8	0.82	Fluv
21	33+645	10.18	1	2x2	10.18	2.54	0.41	1.1	2.1	0.57	3.6	0.0047	0.30	0.4	2.94	0.0030	1.7	0.9	0.86	Fluv
25	35+625	12.63	1	2x2	12.63	3.16	0.50	1.3	2.6	0.71	3.8	0.0040	0.41	0.5	3.40	0.0035	1.9	1.2	0.93	Fluv
26	37+120	63.38	4	3x2	15.84	2.64	0.42	1.1	2.2	0.32	3.1	0.0036	0.18	0.4	2.88	0.0025	1.8	0.8	0.92	Fluv
27	37+630	9.11	1	2x1,5	9.11	3.04	0.56	1.5	2.2	0.51	3.5	0.0046	0.28	0.4	3.47	0.0042	1.3	1.2	0.87	Fluv
29	38+960	6.61	1	2x1,5	6.61	2.20	0.41	1.1	1.6	0.37	3.2	0.0042	0.21	0.4	2.68	0.0030	1.2	0.7	0.82	Fluv
30	40+030	63.72	4	3x2	15.93	2.65	0.42	1.1	2.2	0.33	3.1	0.0036	0.18	0.4	2.79	0.0020	1.9	0.8	0.95	Fluv
31	40+935	4.58	1	1,5x1,5	4.58	2.03	0.37	1.0	1.5	0.53	3.5	0.0051	0.28	0.4	2.43	0.0030	1.3	0.6	0.84	Fluv
32	41+050	4.23	1	1,5x1,5	4.23	1.88	0.35	0.9	1.4	0.49	3.4	0.0050	0.26	0.4	2.17	0.0025	1.3	0.5	0.87	Fluv
33	41+190	5.49	1	1,5x1,5	5.49	2.44	0.45	1.2	1.8	0.64	3.7	0.0054	0.33	0.5	2.87	0.0040	1.3	0.8	0.85	Fluv
34	41+420	4.85	1	1,5x1,5	4.85	2.15	0.40	1.1	1.6	0.56	3.6	0.0052	0.30	0.4	2.39	0.0035	1.4	0.6	0.90	Fluv
35	41+715	4.59	1	1,5x1,5	4.59	2.04	0.38	1.0	1.5	0.53	3.5	0.0051	0.28	0.4	2.43	0.0030	1.3	0.6	0.84	Fluv
36	41+900	5.73	1	1,5x1,5	5.73	2.55	0.47	1.2	1.8	0.66	3.8	0.0054	0.34	0.5	2.87	0.0040	1.3	0.8	0.89	Fluv
37	42+050	6.52	1	2x1,5	6.52	2.17	0.40	1.1	1.6	0.37	3.2	0.0042	0.21	0.4	2.68	0.0030	1.2	0.7	0.81	Fluv
38	42+935	31.60	4	2x1,5	7.90	2.63	0.49	1.3	1.9	0.45	3.4	0.0044	0.24	0.4	2.81	0.0030	1.4	0.8	0.94	Fluv
39	43+095	19.92	2	2x2	9.96	2.49	0.40	1.1	2.1	0.56	3.6	0.0047	0.30	0.4	2.94	0.0030	1.7	0.9	0.85	Fluv
40	43+440	16.13	2	2x1,5	8.06	2.69	0.50	1.3	1.9	0.46	3.4	0.0044	0.25	0.4	3.27	0.0041	1.2	1.1	0.82	Fluv
41	43+750	9.50	2	1,5x1,5	4.75	2.11	0.39	1.0	1.6	0.55	3.6	0.0051	0.29	0.4	2.43	0.0030	1.3	0.6	0.87	Fluv
42	43+980	15.54	2	2x1,5	7.77	2.59	0.48	1.2	1.9	0.44	3.3	0.0044	0.24	0.4	2.81	0.0030	1.4	0.8	0.92	Fluv
43	44+490	15.19	2	2x1,5	7.60	2.53	0.47	1.2	1.8	0.43	3.3	0.0044	0.24	0.4	2.81	0.0030	1.4	0.8	0.90	Fluv
44	44+560	25.12	2	2x2	12.56	3.14	0.50	1.3	2.6	0.71	3.8	0.0051	0.36	0.5	3.55	0.0040	1.8	1.3	0.88	Fluv
45	45+070	9.00	2	1,5x1,5	4.50	1.50	0.28	0.8	1.2	0.25	3.0	0.0039	0.15	0.4	1.75	0.0015	1.3	0.3	0.86	Fluv
46	48+400	14.18	2	2x1,5	7.09	2.36	0.44	1.1	1.7	0.40	3.3	0.0043	0.22	0.4	2.50	0.0025	1.4	0.6	0.94	Fluv

47	49+160	10.25	1	2x2	10.25	2.56	0.41	1.1	2.2	0.58	3.6	0.0047	0.30	0.4	2.94	0.0030	1.7	0.9	0.87	Fluv
48	49+640	45.29	3	3x2	15.10	2.52	0.40	1.1	2.1	0.31	3.1	0.0035	0.18	0.4	2.79	0.0020	1.8	0.8	0.90	Fluv
49	50+440	9.49	1	2x2	9.49	2.37	0.38	1.0	2.0	0.54	3.5	0.0046	0.29	0.4	2.94	0.0030	1.6	0.9	0.81	Fluv
50	51+320	14.52	2	2x1,5	7.26	2.42	0.45	1.2	1.8	0.41	3.3	0.0043	0.23	0.4	2.81	0.0030	1.3	0.8	0.86	Fluv
51	52+080	16.00	2	2x1,5	8.00	2.67	0.49	1.3	1.9	0.45	3.4	0.0044	0.25	0.4	2.81	0.0030	1.4	0.8	0.95	Fluv
52	52+300	17.79	3	1,5x1,5	5.93	1.98	0.36	1.0	1.5	0.33	3.1	0.0041	0.19	0.4	2.38	0.0025	1.2	0.6	0.83	Fluv
53	53+970	12.23	2	1,5x1,5	6.12	2.72	0.50	1.3	2.0	0.71	3.8	0.0056	0.36	0.5	2.93	0.0040	1.4	0.9	0.93	Fluv
54	54+740	63.81	4	3x2	15.95	2.66	0.42	1.1	2.2	0.33	3.1	0.0036	0.18	0.4	3.12	0.0025	1.7	1.0	0.85	Fluv
55	55+550	80.60	3	3x3	26.87	2.99	0.39	1.0	3.1	0.55	3.6	0.0041	0.29	0.4	3.52	0.0025	2.5	1.3	0.85	Fluv
56	55+865	10.67	2	1,5x1,5	5.34	2.37	0.44	1.1	1.7	0.62	3.7	0.0053	0.32	0.5	2.48	0.0030	1.4	0.6	0.95	Fluv

TABLE IV.6 – Les ouvrages débordé a cause d'un débit extrême

BV	PK	$Q_{extreme} m^3/s$	n	Ouvrage	$Q_u m^3/s$	V m/s	$i_{ouvrage}$	$i_{ouvrage}$ rectifiée	Hn m	Hc m	$\tau_{i\text{initiale}}$	$\tau_{r\text{ectifiée}}$
3	23+050	7.92	1	2x1,5	7.92	2.29	0.002	0.003	1.73	0.54	115%	94%
14	27+290	15.69	2	2x1,5	7.85	2.54	0.003	0.004	1.54	0.66	103%	95%
38	42+935	31.60	4	2x1,5	7.90	2.29	0.002	0.003	1.72	0.54	115%	94%
46	48+400	14.18	2	2x1,5	7.09	2.24	0.002	0.003	1.58	0.51	106%	94%
51	52+080	16.00	2	2x1,5	8.00	2.56	0.0025	0.003	1.56	0.67	104%	95%
56	55+865	10.67	2	1,5x1,5	5.34	2.27	0.0025	0.003	1.57	0.52	105%	95%

Le tableau IV.6 représente les ouvrages débordants lors d'un débit exceptionnelle, pour rectifier ce problème de débordement on doit joue sur la pente d'ouvrage dans les limite acceptable

IV.10 Aménagement des extrémités des ouvrages

Les extrémités de ces ouvrages de tête comportent un mur para-fouille qui a un rôle crucial dans la protection de la structure. De plus, lorsque la pente naturelle est abrupte et que la route est située à niveau ou en déblai, l'ouvrage de tête amont est remplacé par un puisard d'admission. Ce type d'infrastructure est spécifiquement utilisé pour les conduites d'eau. Il possède un fond incliné par rapport à la hauteur amont de l'ouvrage hydraulique et ce, pour piéger les atterrissements (surtout si la zone du projet est réputée par l'importance de l'érosion). En outre, quand la sortie de l'ouvrage se trouve au-dessus du lit naturel, une descente d'eau en cascades est prévue à l'aval immédiat de l'ouvrage afin de dissiper l'énergie d'écoulement avant restitution de l'eau dans le lit du cours d'eau. A L'entrée comme à la sortie des ouvrages hydrauliques, le lit du cours d'eau doit être protégé contre les affouillements par des enrochements. Un filtre peut être nécessaire pour prévenir la perte des particules fines. Ces aménagements sont nécessaires afin d'accomplir les fonctions suivantes :

- Empêcher le remblai d'empiéter sur l'ouverture de l'ouvrage hydraulique ;
- Améliorer le rendement hydraulique ;
- Résister aux forces de soulèvement ;
- Empêcher l'affouillement aux extrémités ;
- Prévenir l'érosion du remblai et du lit du cours d'eau ;
- Prévenir l'infiltration à travers la fondation et le remblai ;
- Améliorer l'apparence (angles β_1 et β_2).

Tous ces aménagements ont pour but de donner à l'ouvrage de franchissement le maximum d'efficacité tant du point de vue hydraulique que structural.[25]



FIGURE IV.12 – Aménagements de protection de l'ouvrage de franchissement[25]

Pour la protection des ouvrages, pour les dalots, il est prévu une protection adéquate pour prévenir les dégradations dues à l'eau :

- Mise en place d'une couche d'enrochements latéritiques ou granitiques rangés à la main à l'amont ;
- Mise en place d'une couche gabions à l'aval ;
- Mise en place des gargouilles pour éviter que l'eau de ruissellement stagne sur l'ouvrage ;

Chapitre V

DRAINAGE LONGITUDINALE DE LA PLATEFORME

V.1 Introduction

L'effet de l'eau de ruissellement sur la route est multiple, on rappelle :

- Ceux qui mettent en jeu la sécurité de l'utilisateur en évacuant l'eau des chaussées et des talus.
- Ceux qui influent sur la stabilité et la pérennité des chaussées en dominant la portance des sols de fondation, en collectant les eaux et en les évacuant de la route.

Pour se prémunir contre les effets néfastes de l'eau de ruissellement et assurer la stabilité et la longévité de la route, il est nécessaire de l'aménager par un système de drainage bien adapté convenablement conçu et soigneusement dimensionné.

Pour ce faire, le drainage longitudinal de la plateforme consiste :

- A faire évacuer les eaux de ruissellement en provenance de l'emprise de la route (chaussée, accotements, ...) vers les ouvrages de drainage longitudinal (fossés) situés selon le cas soit à gauche soit à droite, soit de deux côtés à la fois.
- A faire évacuer les eaux de ruissellement en provenance des bassins versants extérieurs vers les exutoires naturels et par l'intermédiaire des ouvrages linéaires (fossés), des ouvrages hydrauliques (O H) et des ouvrages de décharge (O D).

Les problèmes liés à l'hydraulique routière sont les suivants

La route s'étend linéairement sur un terrain dont elle modifie les écoulements naturels grâce aux travaux de terrassement ; Toute submersion de la route par les eaux entraîne des conséquences préjudiciables. Elle perturbe la circulation des véhicules et endommage la couche de finition en bitume, provoquant des fissures.

Lors de la construction d'infrastructures routières, l'un des problèmes techniques les plus importants est la collecte et l'évacuation des eaux de surface vers des ouvrages de franchissement tels que des canalisations, des dalots, etc. Cependant, il est recommandé de surveiller et d'entretenir régulièrement ces ouvrages de drainage afin de les maintenir en bon état. Les ouvrages conçus pour collecter les eaux de ruissellement peuvent être situés le long des bordures de la route ou au centre de l'emprise, en fonction du type de route ou de ses caractéristiques. Il s'agit principalement de caniveaux, de fossés, de bordures et de bourrelets. Ils comprennent également des dispositifs de concentration des eaux, tels que des avaloirs, des regards, des raccordements et des conduits d'eau.[5]

V.2 Réseaux de collecte longitudinaux

V.2.1 Réseaux de crête de talus de déblais

Le rôle du réseau de crête de talus de déblai est d'éviter l'érosion du talus et d'alimenter en écoulement le réseau de pied de talus.

Généralement cet ouvrage est revêtu pour éviter son érosion et les infiltrations susceptibles de compromettre la stabilité du talus. Il intercepte les eaux de ruissellement du bassin versant naturel modifié par le tracé routier. Il sera implanté en retrait (1 à 2 m) par rapport à la crête du talus. Cet ouvrage devra être dimensionné en capacité suffisante

par tronçon homogène.[28]

Réseau de pied de talus de déblais

Un réseau de pied de talus de déblais est un système de drainage utilisé pour prévenir l'accumulation d'eau à la base d'un talus ou d'une pente créée lors d'une opération de déblaiement ou de terrassement. Lorsque des terres sont excavées pour la construction de routes, de bâtiments ou d'autres projets d'infrastructure, des talus ou des pentes sont souvent créés pour soutenir les bords de l'excavation.

Un réseau de pied de talus de déblais est généralement composé de drains, de tranchées et de matériaux filtrants. Le but principal de ce système est d'évacuer l'eau qui s'infiltré dans le sol et de prévenir l'accumulation d'eau à la base du talus, ce qui pourrait entraîner un affaissement ou une instabilité du talus.

Un réseau de terre-plein central fait référence à un aménagement de voie de circulation qui comprend un espace physique séparant les voies de circulation en sens opposé. Ce type de réseau est généralement utilisé sur les routes à plusieurs voies pour améliorer la sécurité routière et la fluidité du trafic.[28]

Réseau du terre-plein central

Le terre-plein central est un espace généralement constitué d'une bande de gazon, de fleurs, d'arbres ou simplement de marquages au sol. Il sert à séparer les voies de circulation en sens opposé, créant ainsi une barrière physique entre les véhicules qui se déplacent dans des directions différentes.

Les avantages d'un réseau de terre-plein central sont nombreux. Tout d'abord, il réduit le risque de collisions frontales en empêchant les véhicules de traverser sur la voie opposée. De plus, il offre un espace tampon supplémentaire en cas de perte de contrôle d'un véhicule, ce qui peut aider à atténuer l'impact des accidents. Le terre-plein central peut également servir de zone pour l'installation d'équipements de signalisation, de panneaux de direction ou d'autres éléments de sécurité routière.[28]

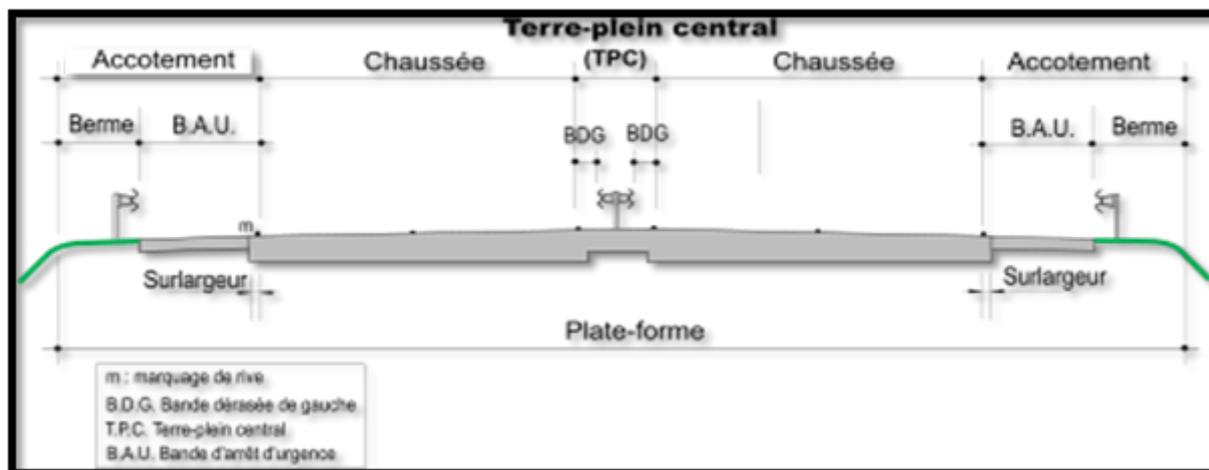


FIGURE V.1 – Réseau du terre-plein central [5]

Réseau de crête de talus de remblais

Un réseau de crête de talus de remblais est une structure conçue pour canaliser l'eau provenant du ruissellement de la chaussée et éviter qu'elle ne déborde sur les pentes du talus du remblai. Son rôle principal est de protéger le talus routier contre diverses altérations, telles que le ravinement, l'érosion et, dans les cas extrêmes, la rupture.[28]

Lorsqu'il pleut ou lorsque de l'eau est présente sur la chaussée, celle-ci peut s'écouler le long des pentes du talus, ce qui peut entraîner des problèmes si l'eau atteint une quantité excessive ou si elle n'est pas correctement canalisée. Le réseau de crête de talus vise donc à recueillir cette eau et à la diriger vers des dispositifs de drainage appropriés, tels que des caniveaux, des canalisations ou des fossés.[28]

Le réseau de pied de talus de remblais

Le réseau de pied de talus de remblais est un système de collecte des eaux de surface situé au niveau du terrain naturel. Son rôle principal est de recueillir toutes les eaux provenant de la surface de la route, de manière gravitaire, afin de les diriger vers un point de sortie sans causer de dommages aux terrains situés en contrebas. Dans certains cas, ce réseau est également conçu pour intercepter les eaux de ruissellement provenant d'un bassin versant naturel et les acheminer vers des ouvrages de traversée.

En plus de son rôle de collecte des eaux, cette branche du réseau joue un rôle important dans la protection du pied du talus du remblai contre l'érosion. Pour ce faire, un ouvrage spécifique est généralement construit. Il peut s'agir d'un fossé trapézoïdal enherbé, qui présente une forte capacité hydraulique et permet de ralentir l'écoulement des eaux. Ce type de fossé est souvent aménagé de manière à favoriser la végétation et à renforcer la stabilité du talus.[29]

Dans les cas où des risques d'érosion sont plus élevés, un revêtement peut être utilisé pour renforcer le fossé. Ce revêtement peut être composé de matériaux tels que des blocs

en béton, des gabions .[28]

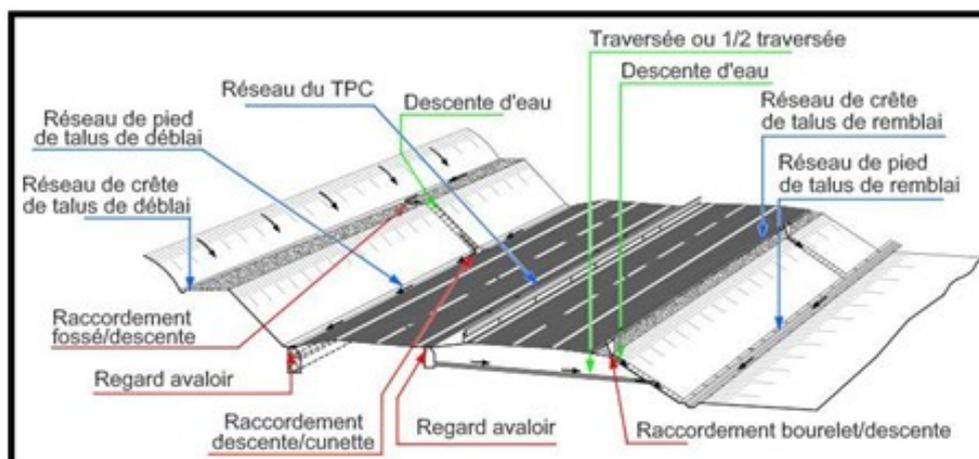


FIGURE V.2 – Différents réseaux d'assainissement longitudinaux [5]

La descente d'eau

Une descente d'eau est une structure préfabriquée ou enterrée utilisée pour canaliser les flux d'eau. Les descentes d'eau de surface se composent de tuiles ou de tôles ondulées galvanisées emboîtées ou en forme d'arc de cercle. En plus de la partie descendante, elles comprennent un entonnement en amont et une connexion avec la structure inférieure, généralement un fossé. Ces descentes d'eau servent également de butoirs et de calages.[28]

Les descentes d'eau enterrées sont constituées d'une canalisation avec un avaloir en surface et une connexion avec la structure inférieure. Un regard intermédiaire permet de relier la canalisation et la structure de raccordement. Les descentes d'eau sont utilisées pour diriger les eaux provenant d'un niveau plus élevé vers une structure située en aval. Lorsqu'elles sont installées le long des crêtes de talus (remblais ou déblais), elles permettent de collecter et de diriger les eaux vers le bas du talus. Les caniveaux préfabriqués sont utilisés pour les faibles débits, tandis que des structures coulées sur place sont utilisées pour les débits plus importants. On distingue les descentes d'eau suivantes :

Descentes d'eau de talus de remblais : Les plus courantes, elles permettent à l'eau collectée en bordure de chaussée de s'écouler vers un fossé ou une autre structure située en contrebas du remblai.

Descentes d'eau de talus de déblais : Elles permettent aux eaux collectées en haut des talus de déblais de s'écouler vers les ouvrages d'assainissement le long de la route.

Les descentes d'eau de surface présentent l'avantage d'être plus faciles à entretenir, mais elles peuvent parfois entraver l'entretien des talus et sont plus vulnérables à la dégradation. En revanche, les descentes d'eau enterrées n'affectent pas l'entretien du talus, mais elles peuvent être sujettes à des problèmes d'obstruction.[5]

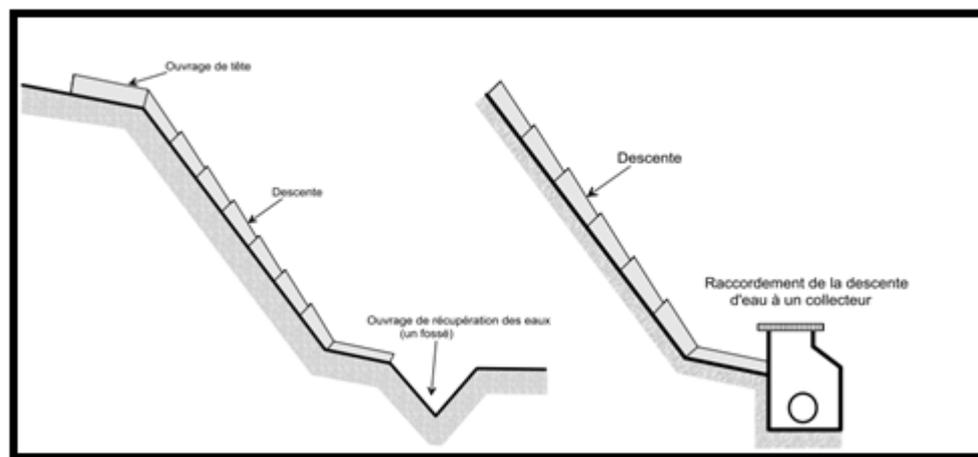


FIGURE V.3 – Descente d'eau[5]

V.3 Types et formes des fossés existants

On procède à la création d'un fossé parallèle à la route afin de faciliter l'écoulement des eaux de surface. Les fossés ont pour principale fonction de recueillir les eaux de ruissellement provenant de la chaussée et de les évacuer afin d'éviter tout dommage à la route, aux usagers de la route et aux autres structures environnantes telles que les remblais et les talus de déblais. Il est essentiel que le fossé conserve ses dimensions et ne présente pas de points bas susceptibles de causer des accumulations d'eau.[28]

Les fossés jouent souvent un rôle important dans la capture des eaux provenant de l'environnement extérieur à la route. Ils ont également une fonction secondaire consistant à assainir la chaussée elle-même, voire une partie du sol de soutien (en collectant les eaux provenant de drains naturels ou artificiels et en interrompant l'arrivée d'eau souterraine). Souvent, le fossé sert également à protéger les accotements des propriétés riveraines, en établissant une limite claire des emprises. Cependant, un fossé profond peut parfois représenter un danger pour les usagers de la route, car il peut servir de guide pour les véhicules vers les extrémités des buses et des dalots. Un fossé est caractérisé par son emplacement, sa forme, sa pente, sa profondeur et la présence ou non d'un revêtement. Généralement, on distingue deux types de fossés en fonction de leur emplacement :

Les fossés extérieurs : qui sont principalement destinés à collecter les eaux provenant du bassin versant extérieur. Les fossés latéraux : situés le long des deux côtés de la route ou d'un seul côté, qui sont principalement destinés à collecter les eaux provenant de la plate-forme routière et des zones du talus, de la bande d'arrêt, etc.

Il est recommandé de prévoir systématiquement des fossés extérieurs lorsqu'il y a un apport significatif de débits provenant d'une zone d'écoulement vers le pied de la route. Cela permet de décharger les fossés latéraux de ces apports, de réduire l'accumulation de dépôts solides et de limiter les risques d'obstruction des systèmes de drainage en raison du transport de matériaux solides tels que des branches ou des débris divers. Les fossés peuvent avoir différentes formes, notamment :[5]

fossés triangulaires

La forme triangulaire favorise l'écoulement de l'eau en créant un canal étroit et en réduisant les zones de stagnation, permettant ainsi une évacuation plus rapide de l'eau. De plus, la pente du fossé triangulaire permet à l'eau de s'écouler naturellement vers un point de collecte, comme un réseau de drainage ou un bassin de rétention, évitant ainsi les problèmes d'accumulation d'eau sur la chaussée. sont réalisés par exemple à l'aide d'une niveleuse, ce qui est le plus couramment rencontré. Les pentes des talus sont généralement de 1/2 et 2/1 ou bien de 2/3 et 3/2.[5]

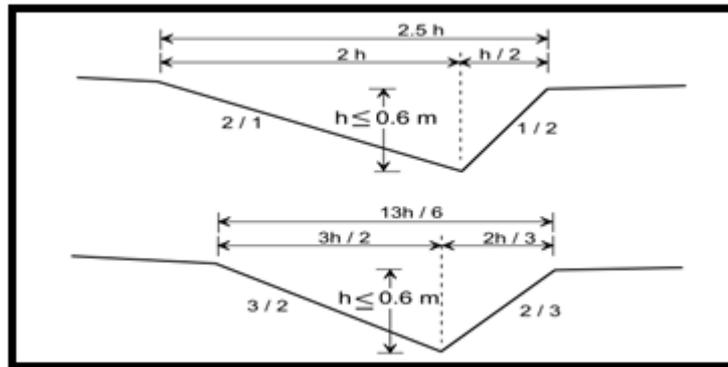


FIGURE V.4 – Fossé triangulaire [5]

Fossés rectangulaires

Les fossés rectangulaires sont des structures spécialement conçues pour la collecte de l'eau routière. Ils sont généralement situés le long des routes et des voies de circulation pour capturer l'eau de pluie qui s'écoule de la chaussée. Ces fossés sont aménagés avec une forme rectangulaire afin de maximiser leur capacité de stockage. Ils sont dotés d'une série de grilles ou de tampons pour empêcher les débris et les déchets de pénétrer dans le système de collecte. Lorsqu'il pleut, l'eau s'écoule dans les caniveaux et est dirigée vers ces fossés rectangulaires. À l'intérieur de ces fossés, un système de filtration peut être installé pour éliminer les contaminants et les particules indésirables. Une fois l'eau collectée et traitée, elle peut être réutilisée à des fins diverses, comme l'irrigation des espaces verts ou le remplissage des réservoirs d'eau. Les fossés rectangulaires de collecte de l'eau routière jouent un rôle essentiel dans la gestion durable des ressources en eau et dans la réduction des risques d'inondation sur les routes.[5]

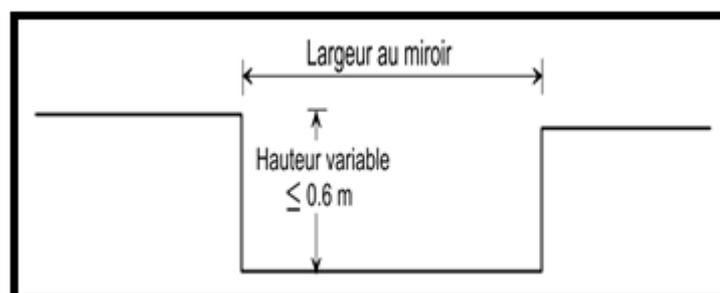


FIGURE V.5 – Fossé rectangulaire[5]

Les fossés trapézoïdaux

Les fossés trapézoïdaux sont des structures spécialement conçues pour collecter l'eau routière de manière efficace. Ils sont généralement situés le long des routes et des auto-roues, et leur forme trapézoïdale permet une meilleure circulation de l'eau. Ces fossés sont placés stratégiquement à des points bas du terrain pour capter l'eau de pluie et les eaux de ruissellement provenant des surfaces pavées. Ils sont souvent équipés de grilles et de tampons pour empêcher les débris et les déchets de pénétrer dans le système de drainage. Confectionnés par exemple par la niveleuse ou par la pelle mécanique en terrain rocheux. Les pentes de talus peuvent être 1/2, 1/1, 2/1 ou 3/2 suivant la stabilité des talus, voire plus raide en terrain rocheux.[5]

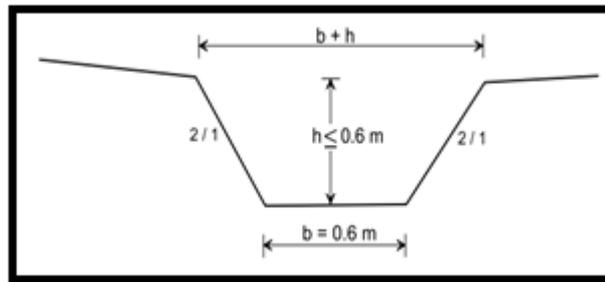


FIGURE V.6 – Fossé trapézoïdal[29]

Circulaires (ou cunettes)

Les fossés circulaires sont conçus avec une forme en pente douce pour favoriser l'écoulement de l'eau, et sont généralement dotés d'un fond en béton ou en gravier pour faciliter l'infiltration et empêcher l'érosion. Ils jouent un rôle important dans la prévention de l'accumulation d'eau sur les routes et nécessitent un entretien régulier pour assurer leur bon fonctionnement, notamment en éliminant les débris et en vérifiant leur capacité de collecte.[5]

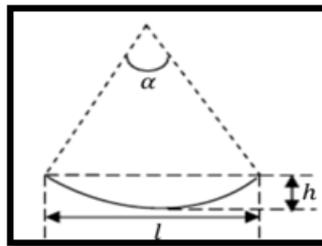


FIGURE V.7 – Cunette [5]

En général, on utilise couramment du béton, du béton armé ou des éléments préfabriqués pour revêtir les fossés, particulièrement dans les terrains instables, afin de prévenir l'érosion. Toutefois, en raison du coût associé à ces canaux, on utilise parfois des profils trapézoïdaux économiques, qui permettent d'obtenir un débit maximal avec une longueur de revêtement minimale. Dans certains cas, lorsque les fossés sont peu profonds et que les terrains sont stables, il est possible de ne pas les revêtir.[5]

Remarque : Les dimensions des fossés varient considérablement, notamment pour les

fossés extérieurs qui peuvent devoir gérer des débits importants. En général, les profondeurs se situent entre 0,5 m et 1,0 m. Pour les fossés latéraux (intérieurs), on ne dépasse généralement pas une profondeur de 0,6 m[5]

Il est essentiel d'installer un nombre suffisant d'ouvrages de décharge le long des fossés extérieurs ou latéraux afin de prévenir tout débordement. Ces ouvrages de décharge peuvent prendre la forme de structures enterrées ou de structures divergentes, selon la configuration topographique de la zone traversée.[5]

V.4 Les avaloirs

Les avaloirs, également connus sous le nom de regards ou de grilles d'égout, sont des éléments essentiels du système de collecte des eaux de ruissellement sur les routes. Ils sont conçus pour collecter l'eau de pluie, les liquides de nettoyage des routes. Les avaloirs sont généralement situés le long des trottoirs ou au centre de la chaussée, et ils sont dotés d'une grille ou d'une trappe qui permet à l'eau de s'écouler tout en retenant les débris solides. L'eau collectée est ensuite acheminée vers les réseaux d'égouts ou les systèmes de drainage appropriés.[5]

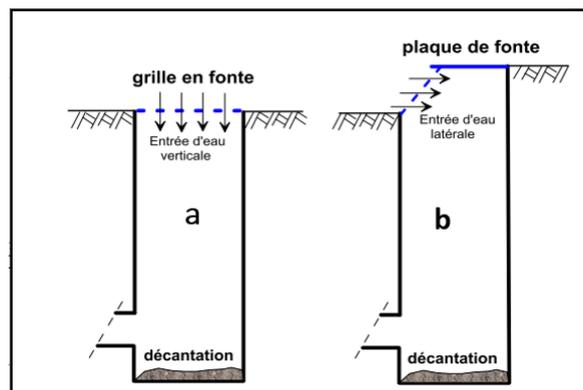


FIGURE V.8 – a) Avaloir sous la chaussée b) avoir sous trottoir [5]



FIGURE V.9 – Types Avaloirs[5]

V.5 Les données essentielles pour le calcul des ouvrages d'assainissement

La pluviométrie de la zone de projet et l'une des données les plus importantes pour le dimensionnement des ouvrages et différents réseaux de drainage, en plus de ces données la topographie est essentielle et devrait permettre d'identifier les exutoires. Le tracé combiné et le profil en long de la route est la pièce fondamentale sur laquelle est basé le dimensionnement des réseaux d'assainissement de la route.

V.6 Calcul hydraulique des ouvrages

V.6.1 Principe de dimensionnement

Le principe de dimensionnement que nous présentons ici est un moyen simple de vérifier l'ordre de grandeur du débit à évacuer.

Pour une averse qui est supposée d'une intensité constante tombe sur une plateforme, une partie s'infiltré, une autre s'évapore (supposée négligeable) et le reste ruisselle.

Lorsque le débit à l'exutoire et en tout point du réseau devient constant on dira qu'on a atteint le point d'équilibre, le temps nécessaire à l'établissement de ce débit est dit temps d'équilibre ce dernier joue le même rôle que le temps de concentration.

L'averse critique est celle dont le temps est égal à celui du temps d'équilibre de l'ensemble ouvrage et réseau. Ce temps d'équilibre dépend des caractéristiques de la plateforme (géométrie, rugosité), des caractéristiques des ouvrages de réception et de l'intensité de pluie. Pour déterminer le temps d'équilibre et l'intensité de pluie plusieurs formules sont disponibles on prend la plus utilisée et recommandée :

La formule de KIRPICH [28] :

$$T_c = \frac{L^{1,15}}{52H^{0,38}} \quad (\text{V.1})$$

avec :

- T_c étant le temps de concentration en minute.
- L : la distance en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin considéré.
- H : le dénivelé entre les deux points ci-dessus en mètre.

V.6.2 Calculs des débits à évacuer

Coefficient de ruissellement

La valeur du coefficient de ruissellement dépend de nombreux facteurs, tels que la nature du sol, la pente de la surface, la végétation, la couverture du sol et les conditions météorologiques. Il peut être déterminé à partir de données de terrain ou de modèles mathématiques, notamment la méthode du CN (Curve Number), la méthode de l'USLE (Universal Soil Loss Equation) et la méthode de SCS (Soil Conservation Service). Les

valeurs typiques du coefficient de ruissellement varient de 0,1 à 1 selon les conditions environnementales.[8]

Dans notre cas d'étude en prend les valeurs suivants de coefficient de ruissellement de chaque partie.

- C = 1 pour les chaussées et parties revêtues(imperméable) ;
- C = 0,8 pour accotement en grave stabilisé traitée ;
- C = 0,5 pour accotement en grave stabilisé non traitée ;
- C = 0,7 pour la terre végétale engazonnée recevant l'eau de la chaussée ;
- C = 0,3 pour la terre végétale ne recevant pas l'eau de la chaussée et pour les talus hors région méditerranéenne.
- C = 0,5 pour la terre végétale ne recevant pas l'eau de la chaussée et les talus en région méditerranéenne fréquence de I.

Pour notre projet on prend C = 1 pour les chaussées revêtues et C= 0.5 pour les talus (remblais et déblais) en appliquant la relation suivante[28] :

$$C = \frac{\sum CiAi}{\sum Ai} \tag{V.2}$$

Avec :

Ai :les aires respectivement, des aires des éléments correspondantes aux coefficients Ci.

Pour notre projet : - La surface de la chaussée revêtues A = 875000 m².

- La surface totale des talus A= 560000 m².

Alors on trouve :

$$C = \frac{875000 \cdot 1 + 560000 \cdot 0.5}{875000 + 560000} = 0.8$$

V.6.3 Principe de dimensionnement

En fonction de la nature de l'ouvrage, la vitesse d'écoulement croit avec la hauteur d'eau dans le fossé, au-delà d'une certaine hauteur la vitesse d'eau dépasse la limite supportable par un sol sans érosion, dans ces conditions l'ouvrage commence par se dégrader il y'a donc lieu d'imposer une vitesse limite à ne pas dépasser ; on prend pour les fossés en béton v= 3.5 m/s.

Si la vitesse maximale ne dépasse pas le seuil de 3.5 m/s donc y'aura pas de solution spéciale pour protéger nos ouvrages contre les dégradations.

Le débit maximal admissible doit être évalué en premier temps avant toute autre démarche, sa valeur est donnée par : $Q_{cmax} = V_{max} \times S$ S étant la section mouillée de l'ouvrage à dimensionner, cette première indication guide le choix de l'ouvrage.

Dès lors que cette condition est respectée et que l'ouvrage est choisi, il s'agit de le dimensionner, c'est-à-dire trouver la longueur sur laquelle s'étendra.

Le débit ruisselé calculé par la formule rationnelle dépend de la longueur L et de l'intensité I et de la surface de la plateforme A cette dernière est la somme de la surface de la partie revêtue de la chaussée ainsi que celle des talus que ce soit en déblais ou en remblais.

Le dimensionnement consiste à calculer ce qui va être appelé la longueur de saturation de l'ouvrage, c'est-à-dire la longueur de la plateforme pour laquelle le débit ruisselé va équivaloir au débit capable.

Lorsque l'intensité de pluie est déterminée pour le temps d'équilibre Te ou Tc calculé par

la formule de KIRPICH alors : Si $Q(L) < Q_c$: l'ouvrage choisi convient bien au débit ruisselé.

Si $Q(L) > Q_c$: la longueur d'équilibre est inférieure à la longueur L du réseau il est alors saturé on lui associe alors un ouvrage plus performant en modifiant les dimensions de l'ouvrage courant ou tout simplement on recommence le calcul avec un autre type d'ouvrage.

V.6.4 Note de calcul de l'espacement d'assainissement longitudinal

Critères de dimensionnement et hypothèses de calcul

Le document de référence à suivre pour les critères de dimensionnement est le document du SETRA (1982) (RAR82) et du SETRA (2006). L'arrangement proposé (dénomé Alternative 1) consiste en trois ouvertures espacées de 3 m dans le GBA suivi par un caniveau rectangulaire court de même dimension qui débouche vers une descente d'eau. Néanmoins, si la pente longitudinale dépasse %3.5 pour les sections en remblai, l'Alternative 2 est utilisée.[29]

TABLE V.1 – Récapitulatif des pentes-espacement l'Alternative 1[29]

Pentes longitudinales	Espacement adopté (m)
0.3	15
0.5	20
0.75	20
1	25
1.5	30
2	35
3	35
≥ 3.5	30

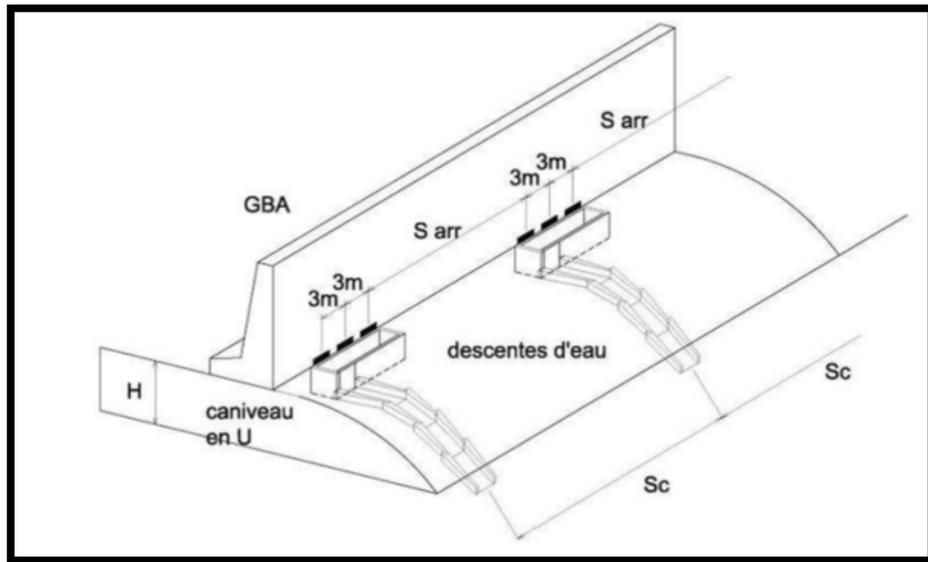


FIGURE V.10 – Alternative 1 d’implantation des ouvertures dans les GBA[29]

TABLE V.2 – Récapitulatif des pentes-espacement l’Alternative 2 [29]

Pentes longitudinales	Espacement adopté (m)
0.3	10
0.5	10
0.75	10
1	10
1.5	10
2	15
3	15
≥ 3.5	15

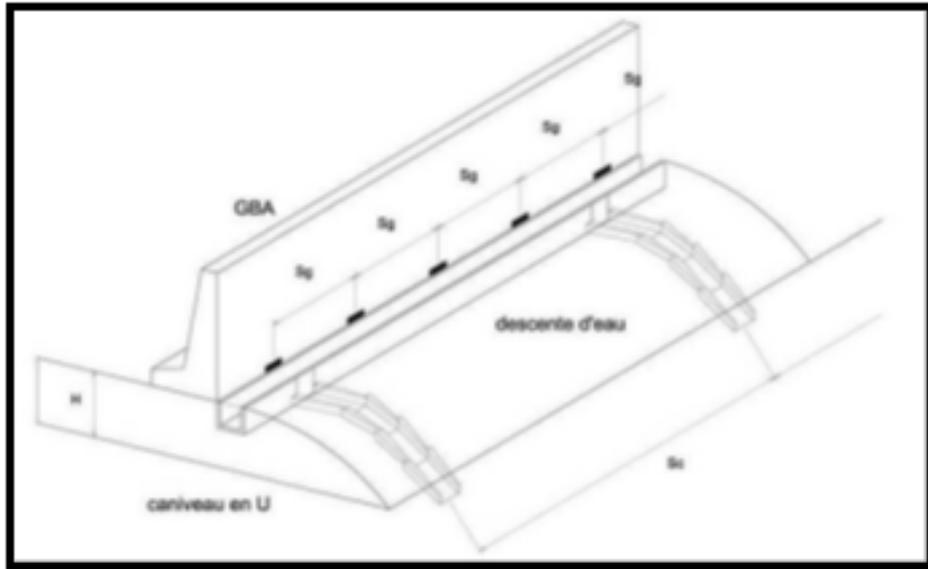


FIGURE V.11 – Alternative 2 d'implantation des ouvertures dans les GBA[29]

V.6.5 Calculs hydrauliques des fossés

Les fossés en pied de talus en déblais

Les fossés plats ou encore fossés peu profonds sont les fossés les plus utilisés en pieds de talus de déblais, pour notre projet on choisit deux types de fossés les cunettes et les fossés triangulaires présenté en figure ci dessous :

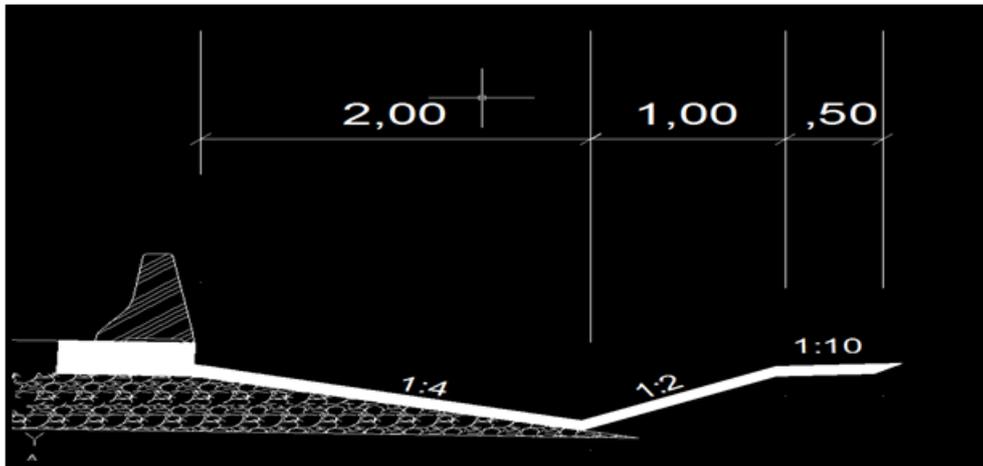


FIGURE V.12 – Fossé triangulaire de projet [32]

La profondeur du fossé pieds de talus en déblais est de 0.5 m.

Cunette : On propose un demi-tuyau en béton Ø 300 aux niveaux des banquettes entre les talus en déblais et en remblais.

les fossés trapézoïdaux en pieds de talus de remblais

Pour notre étude on propose un fossé trapézoïdal dont les Dimensions sont présentées dans la figure ci dessous

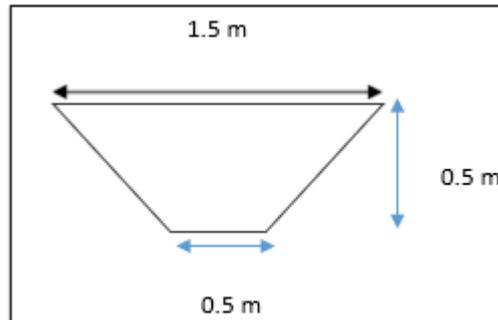


FIGURE V.13 – Fossé en pieds de talus de remblais [32]

V.6.6 Calcul du débit capable de l'ouvrage(fosse en pieds de remblais)

Pour trouver le débit capable on utilise la formule Manning-Strikler :

$$Q = KSR_h^{\frac{3}{2}}P^{\frac{1}{2}} \quad (V.3)$$

Q :débit du drain en m³ /s

K : coefficient de rugosité pour le béton K=75

R_h : est le rayon hydraulique (m)

i : est la pente hydraulique (m/m) on prend une valeur de 0.0425

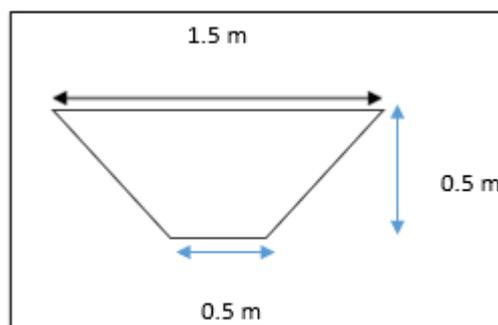


FIGURE V.14 – Fossé en pieds de talus de remblais [32]

AN :

$$Q_c = 75 \times 0.5 \times 0.15^{\frac{3}{2}} \times 0.0425^{\frac{1}{2}} = 0.747 \frac{m^3}{s}$$

Implantations des fossés des pieds de talus du PK 22+260 au PK 57+122

L'implantation des fossés à gauche ou à droite du tracé de la route se fait suivant la topographie du terrain en aval, si cette dernière est plate il est nécessaire d'implanter un fossé aux pieds de talus pour éviter la stagnation des eaux et si le terrain en aval présente une pente dans ce cas l'implantation d'un fossé est inutile.

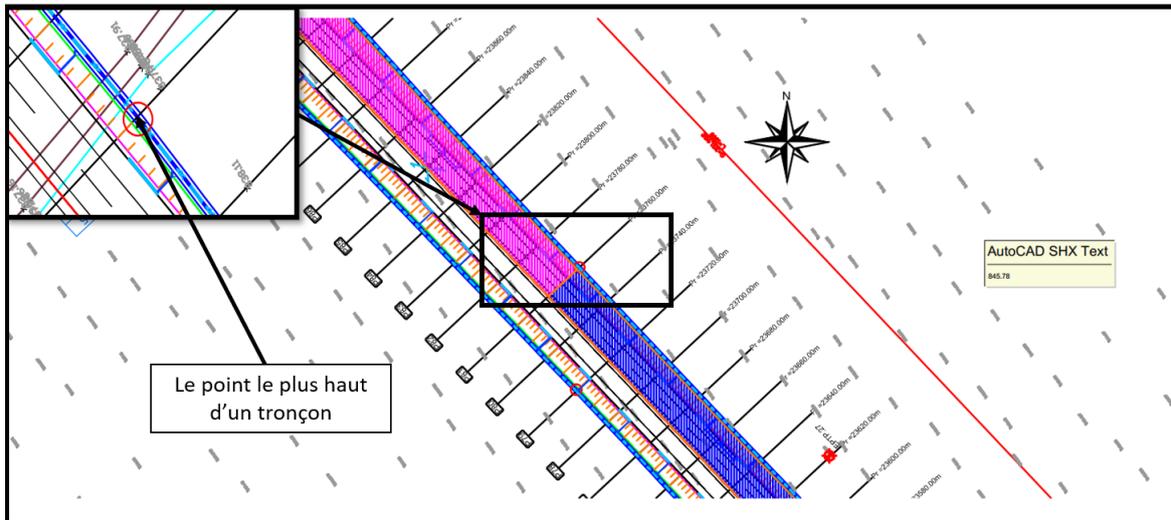


FIGURE V.15 – Identification le point haut(le point de départ) [32]

TABLE V.3 – Les résultats de calculs des débits longitudinaux

pk départ	pk arrivée	coté du fossé	dénivelé (m)	L du fossé (m)	S (ha)	i (mm/h)	débit	V	Tc (min)	type de fossé
23+200	23+060	droite	1,1	140	0,219	216,41	131,76	0,26	5,45	fossé de pieds de talus remblais
23+200	23+320	droite	0,43	120	0,2535	186,43	131,39	0,26	6,52	fossé de pieds de talus remblais
23+380	23+320	droite	0,48	60	0,115	374,05	119,58	0,24	2,82	fossé de pieds de talus remblais
23+380	23+414	droite	0,13	34	0,0565	426,04	66,92	0,13	2,41	fossé de pieds de talus remblais
23+760	23+414	droite	3,22	346	0,6496	128,04	231,22	0,46	10,26	fossé de pieds de talus remblais
23+760	23+980	droite	2,26	180	0,4315	213,67	256,31	0,51	5,53	fossé de pieds de talus remblais
23+980	24+220	droite	1,33	240	0,5757	137,36	219,84	0,44	9,42	fossé de pieds de talus remblais
24+560	24+220	droite	2,2	340	0,6625	115,45	212,64	0,43	11,62	fossé de pieds de talus remblais
24+560	24+567,9	droite	0,83	7	0,007	3455,71	67,25	0,13	0,19	fossé de pieds de talus remblais
24+640	24+567,9	droite	0,1	70	0,111	196,86	60,75	0,12	6,11	fossé de pieds de talus remblais
24+640	25+120	droite	1,26	480	0,7812	69,68	151,33	0,30	21,34	fossé de pieds de talus remblais
25+280	25+120	droite	1,35	160	0,272	203,23	153,67	0,31	5,88	fossé de pieds de talus remblais
25+280	25+302	droite	0,25	22	0,037	793,37	81,61	0,16	1,14	fossé de pieds de talus remblais
25840	25302	droite	5,69	532	0,8875	101,62	250,73	0,50	13,55	fossé de pieds de talus remblais
26+233,47	25+840	droite	2,07	294	0,7099	130,11	256,78	0,51	10,06	fossé de pieds de talus remblais
26+233,47	26+420	droite	0,61	190	0,4226	134,25	157,73	0,32	9,69	fossé de pieds de talus remblais
26+740	26+420	droite	1,5	320	0,8345	108,41	251,51	0,50	12,53	fossé de pieds de talus remblais
26+740	26+820	droite	0,37	80	0,209	261,83	152,13	0,30	4,33	fossé de pieds de talus remblais
27+129	26+820	droite	0,42	300	0,7688	77,17	164,94	0,33	18,87	fossé de pieds de talus remblais
27+280	27+129	droite	0,32	150	0,3852	137,26	146,99	0,29	9,43	fossé de pieds de talus remblais
27+280	27+374,75	droite	0,64	95	0,2145	264,14	157,51	0,32	4,29	fossé de pieds de talus remblais
27+600	27+374,75	droite	0,53	226	0,4478	108,83	135,48	0,27	12,47	fossé de pieds de talus remblais
27+945,9	27+600	droite	0,95	346	0,648	87,12	156,95	0,31	16,31	fossé de pieds de talus remblais
28+880	27+945,9	droite	3,63	935	1,8745	51,48	268,28	0,54	30,74	fossé de pieds de talus remblais
29+005	28+880	droite	0,42	125	0,305	177,98	150,91	0,30	6,90	fossé de pieds de talus remblais
29+005	29+560	droite	1,22	555	1,3848	60,05	231,18	0,46	25,53	fossé de pieds de talus remblais
29+940	29+560	droite	0,2	280	0,816	65,23	147,97	0,30	23,11	fossé de pieds de talus remblais
30+180	29+940	droite	0,3	140	0,445	143,65	177,71	0,36	8,93	fossé de pieds de talus remblais
30+400	30+180	droite	0,4	120	0,445	182,23	225,44	0,45	6,70	fossé de pieds de talus remblais
30+640	30+400	droite	0,68	240	0,451	111,16	139,38	0,28	12,16	fossé de pieds de talus remblais
31+000	30+640	droite	0,92	360	0,669	83,04	154,44	0,31	17,28	fossé de pieds de talus remblais
31+380	31+000	droite	1,44	380	0,8175	90,83	206,43	0,41	15,51	fossé de pieds de talus remblais
31+806	31+380	droite	2,7	426	1,073	99,31	296,23	0,59	13,93	fossé de pieds de talus remblais

31+820	31+380	droite	0,07	440	1,076	30,43	91,02	0,18	57,92	fossé de pieds de talus remblais
32+220	31+820	droite	3,3	400	1,0265	112,35	320,61	0,64	12,00	fossé de pieds de talus remblais
32+540	32+220	droite	3,7	320	0,6335	144,13	253,83	0,51	8,89	fossé de pieds de talus remblais
32+828	32+540	droite	1,49	288	0,5435	119,63	180,75	0,36	11,13	fossé de pieds de talus remblais
33+160	32+828	droite	2,6	272	0,6815	150,59	285,30	0,57	8,43	fossé de pieds de talus remblais
33+404	33+160	droite	2,94	346	0,419	124,42	144,92	0,29	10,62	fossé de pieds de talus remblais
33+640	33+404	droite	3,75	236	0,4255	193,56	228,96	0,46	6,23	fossé de pieds de talus remblais
33+820	33+640	droite	1,71	180	0,289	195,67	157,21	0,31	6,15	fossé de pieds de talus remblais
34+061,72	33+820	droite	3,56	240	0,386	187,38	201,07	0,40	6,48	fossé de pieds de talus remblais
34+300	34+061,72	droite	8,82	238	0,3755	251,46	262,49	0,52	4,55	fossé de pieds de talus remblais
34+900	34+292	droite	16,48	608	1,563	125,11	543,63	1,09	10,54	fossé de pieds de talus remblais
34+292	34+061,72	droite	6,1	838	2,057	67,32	384,98	0,77	22,25	fossé de pieds de talus remblais
34+900	34+960	gauche	1,26	60	0,0865	507,13	121,95	0,24	1,95	fossé de pieds de talus remblais
36+290	34+960	gauche	23,97	1330	2,672	66,70	495,47	0,99	22,50	fossé de pieds de talus remblais
36+020	35+630	droite	8,44	760	1,55	81,87	352,79	0,71	17,58	fossé de pieds de talus remblais
36+020	36+740	droite	14,54	720	1,2875	102,34	366,31	0,73	13,43	fossé de pieds de talus remblais
37+340	37+120	droite	6,1	220	0,351	241,30	235,46	0,47	4,78	fossé de pieds de talus remblais
37+340	37+420	droite	1,44	80	0,111	401,93	124,03	0,25	2,58	fossé de pieds de talus remblais
37+560	37+420	droite	1,6	140	0,224	243,56	151,67	0,30	4,73	fossé de pieds de talus remblais
38+000	37+520	gauche	6,19	280	0,85	192,57	455,05	0,91	6,27	fossé de pieds de talus remblais
37+980	37+700	droite	3,55	280	0,5275	161,60	236,98	0,47	7,75	fossé de pieds de talus remblais
38+580	38+063	droite	5,91	480	0,96	113,45	302,79	0,61	11,86	fossé de pieds de talus remblais
37+980	38+063	droite	5,54	80	0,1405	614,77	240,12	0,48	1,55	fossé de pieds de talus remblais
39+200	38+580	droite	9,05	420	1,316	147,41	539,31	1,08	8,65	fossé de pieds de talus remblais
39+300	39+200	droite	1,62	100	0,233	337,12	218,37	0,44	3,19	fossé de pieds de talus remblais
39+846	39+440	gauche	6,7	400	0,8575	140,47	334,86	0,67	9,17	fossé de pieds de talus remblais
39+846	40+026	gauche	1,65	180	0,096	193,48	51,64	0,10	6,24	fossé de pieds de talus remblais
40+366	40+026	gauche	13,15	340	0,6555	202,92	369,77	0,74	5,89	fossé de pieds de talus remblais
40+915	40+366	gauche	18	641	0,977	122,31	332,21	0,66	10,84	fossé de pieds de talus remblais
40+670	40+410	droite	12,63	260	0,572	258,82	411,56	0,82	4,39	fossé de pieds de talus remblais
41+051	40+915	gauche	4,58	136	0,202	348,88	195,92	0,39	3,07	fossé de pieds de talus remblais
41+191	41+051	gauche	3,64	140	0,206	315,64	180,76	0,36	3,46	fossé de pieds de talus remblais
41+191	41+420	gauche	24,19	230	0,353	357,14	350,47	0,70	2,98	fossé de pieds de talus remblais
41+420	41+191	gauche	7,2	330	0,479	172,66	229,91	0,46	7,15	fossé de pieds de talus remblais
42+140	41+750	gauche	13,24	400	0,887	174,13	429,39	0,86	7,08	fossé de pieds de talus déblais

42+140	41+880	droite	8,11	160	0,4485	357,75	446,05	0,89	2,97	fossé de pieds de talus déblais
42+140	42+660	gauche	22,22	500	1	165,69	460,62	0,92	7,52	fossé de pieds de talus déblais
42+140	42+660	droite	22,22	500	1	165,69	460,62	0,92	7,52	fossé de pieds de talus déblais
43+140	43+440	droite	16,59	300	0,486	246,06	332,44	0,66	4,67	fossé de pieds de talus déblais
43+140	43+440	gauche	16,59	300	0,486	246,06	332,44	0,66	4,67	fossé de pieds de talus déblais
43+440	43+762	gauche	22	222	0,6435	358,52	641,37	1,28	2,97	fossé de pieds de talus remblais
43+440	43+762	droite	22	222	0,6435	358,52	641,37	1,28	2,97	fossé de pieds de talus remblais
43+761,61	43+800	gauche	0,27	40	0,065	459,40	83,01	0,17	2,20	fossé de pieds de talus remblais
43+761,61	43+800	droite	0,27	40	0,065	459,40	83,01	0,17	2,20	fossé de pieds de talus remblais
43+800	43+967	gauche	1,36	167	0,267	195,54	145,14	0,29	6,16	fossé de pieds de talus remblais
43+967	44+040	gauche	0,46	80	0,105	280,44	81,86	0,16	3,99	fossé de pieds de talus remblais
44+040	44+480	gauche	15,65	440	0,819	167,60	381,60	0,76	7,41	fossé de pieds de talus remblais
44+360	44+480	droite	4,71	120	0,351	396,64	387,03	0,77	2,63	fossé de pieds de talus déblais
44+480	44+560	droite	0,37	80	0,192	261,83	139,75	0,28	4,33	fossé de pieds de talus déblais
44+480	44+560	droite	0,37	80	0,192	261,83	139,75	0,28	4,33	fossé de pieds de talus déblais
44+560	45+095	gauche	9,01	535	0,796	116,85	258,57	0,52	11,45	fossé de pieds de talus remblais
46+096,07	46+920	gauche	10,92	824	1,263	82,21	288,64	0,58	17,49	fossé de pieds de talus remblais
46+096,07	46+600	droite	3,41	504	0,777	91,05	196,67	0,39	15,46	fossé de pieds de talus remblais
45+095	45+411,79	gauche	7,36	307	0,451	186,27	233,54	0,47	6,53	fossé de pieds de talus remblais
45+411,79	45+735,2	gauche	3,38	325	0,51	138,02	195,68	0,39	9,37	fossé de pieds de talus remblais
45+735,2	46+096	gauche	7,21	260	0,5865	216,87	353,61	0,71	5,44	fossé de pieds de talus remblais
46+920	47+600	gauche	10,11	680	1,113	96,38	298,20	0,60	14,44	fossé de pieds de talus remblais
48+740	48+660	gauche	1,46	80	0,1207	403,69	135,46	0,27	2,57	fossé de pieds de talus remblais
48+740	48+660	droite	1,46	80	0,1207	403,69	135,46	0,27	2,57	fossé de pieds de talus remblais
48+740	49+162,62	gauche	8,69	422,62	0,625	144,68	251,38	0,50	8,85	fossé de pieds de talus remblais
48+740	49+162,62	droite	8,69	422,62	0,7185	144,68	288,98	0,58	8,85	fossé de pieds de talus remblais
49+180	50+040	droite	8,29	860	1,41	72,35	283,60	0,57	20,40	fossé de pieds de talus remblais
49+180	50+040	gauche	8,29	860	1,41	72,35	283,60	0,57	20,40	fossé de pieds de talus remblais
50+040	50+520	droite	3,49	480	0,7975	96,09	213,03	0,43	14,49	fossé de pieds de talus remblais
50+040	50+520	gauche	3,49	480	0,7815	96,09	208,76	0,42	14,49	fossé de pieds de talus remblais
50+520	51+600	droite	8,3	1080	0,03	58,23	4,86	0,01	26,50	fossé de pieds de talus remblais
50+520	51+600	gauche	8,3	1080	0,017	58,23	2,75	0,01	26,50	fossé de pieds de talus remblais
51+620	52+240	droite	3,62	620	1,333	76,14	282,14	0,56	19,18	fossé de pieds de talus remblais
51+620	52+240	gauche	3,62	620	1,367	76,14	289,33	0,58	19,18	fossé de pieds de talus remblais
53+060	52+240	droite	11,17	820	1,975	83,18	456,71	0,91	17,24	fossé de pieds de talus remblais

53+060	52+240	gauche	11,17	820	1,994	83,18	461,10	0,92	17,24	fossé de pieds de talus remblais
53+060	53+590	droite	4,03	530	0,878	91,47	223,27	0,45	15,38	fossé de pieds de talus remblais
53+060	53+590	droite	4,03	530	0,915	91,47	232,68	0,47	15,38	fossé de pieds de talus remblais
53+570	53+840	droite	4,89	270	0,389	185,09	200,16	0,40	6,58	fossé de pieds de talus remblais
53+960	53+840	droite	4,89	120	0,1845	401,36	205,86	0,41	2,59	fossé de pieds de talus remblais
54+010	53+960	droite	1,8	50	0,069	675,39	129,55	0,26	1,38	fossé de pieds de talus remblais
54+010	54+320	droite	7,88	310	0,522	188,57	273,64	0,55	6,43	fossé de pieds de talus remblais
54+470	54+320	droite	7,88	150	0,25	377,04	262,04	0,52	2,79	fossé de pieds de talus remblais
54+726	54+470	droite	6,28	256	0,43	210,73	251,90	0,50	5,63	fossé de pieds de talus remblais
55+160	54+726	droite	6,94	434	0,671	131,40	245,11	0,49	9,94	fossé de pieds de talus remblais
55+160	55+543,62	droite	9,82	383,62	0,619	164,92	283,80	0,57	7,56	fossé de pieds de talus remblais
55+543,62	56+010	droite	1,86	466,38	0,8232	80,98	185,33	0,37	17,81	fossé de pieds de talus remblais
56+010	56+260	droite	2,03	250	0,4385	150,96	184,02	0,37	8,41	fossé de pieds de talus remblais
56+260	56+460	droite	2,94	200	0,3255	209,94	189,97	0,38	5,65	fossé de pieds de talus remblais
56+410	56+660	droite	6,15	250	0,46	214,13	273,83	0,55	5,52	fossé de pieds de talus remblais
56+410	56+660	gauche	6,15	250	0,46	214,13	273,83	0,55	5,52	fossé de pieds de talus remblais

Avec :

PK départ : Le point kilométrique de départ qui représente par un point haut

PK arrivée : Le point kilométrique d'arrivée qui représenté par un point bas

Coté de fossé : C'est la situation du fossé par rapport au début de chantier dans la wilaya de Batna

dénivelé : La différence de côte en valeur absolue entre le point de départ et le point d'arrivée en m

L du fossé : La longueur du fossé en m

S : La surface à drainée (Chaussé + Talus) en ha

i : L'intensité de pluie estimée par la formule de Montana en mm/h

débit : Le débit de projet de chaque surface en l/s

V : La vitesse d'écoulement en m/s

Tc : Le temps de concentration de la surface drainée en min

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Les infrastructures routières constituent l'une des plus grandes richesses d'un pays. Elles représentent un facteur très important pour son développement car elles contribuent à l'essor économique, politique et culturel.

Cependant, leur réalisation requière un grand nombre de ressources, aussi bien sur le plan financier, technique que humain.

Des normes de réalisations doivent être respectées en fonction de la zone d'étude, afin de garantir une sécurité aux usagers, la pérennité des ouvrages et tout cela à des coûts d'investissement raisonnables.

C'est pour cette raison que les études menant à la réalisation de ces infrastructures sont souvent longues et nécessitent une très grande attention.

Le but principal d'un système de drainage routier est d'éliminer l'eau de la route et de ses environs.

Le système de drainage routier se compose de deux parties : L'assèchement et le drainage. « Assèchement » désigne l'élimination des eaux de pluie de la surface de la route. Le « drainage », quant à lui, couvre tous les différents éléments d'infrastructure pour maintenir la structure de la route au sec.

Pour maintenir la stabilité et la durabilité de la route, la surface de la route et sa fondation doivent être maintenues aussi sèches que possible.

Cette pratique n'est possible qu'avec un système de drainage routier approprié et fonctionnel.

De plus, un bon drainage des routes permet de maintenir le transport routier à moindre coût.

Pour le présent projet qui consiste à désenclaver une région d'Algérie en l'occurrence la wilaya de Batna à travers la construction d'un tronçon autoroutier long de 42 Km reliant cette wilaya à l'autoroute Est-Ouest.

Pour cela plusieurs études ont été menées suivant la chronologie suivante :

- Une reconnaissance de terrain afin de déterminer la zone d'étude ;
- Une étude climatologique qui a permis de déterminer le climat de la zone d'étude ;
- Une étude hydrologique qui nous a permis d'extraire 60 bassins versants de la zone d'étude et qui a fait ressortir les différents débits de projet ou crue de projet à évacuer

par chaque ouvrage ;

- Une étude hydraulique qui avait pour objectif de dimensionner les sections des différents ouvrages hydrauliques afin de pouvoir évacuer les débits en périodes de crues exceptionnelles, et qui nous a permis de dimensionner des dalots de franchissement, tout en installant des buses de 1200 mm de diamètre pour les points identifiés comme étant des points bas.

Par ailleurs, nous avons vérifié les conditions d'écoulement à l'intérieur de l'ouvrage, confirmant ainsi que notre dimensionnement est acceptable.

De plus, une étude de plantés de fossés le long de la route a été réalisée dans le but de collecter les eaux pluviales provenant de la chaussée et des talus adjacents.

Ces mesures visent à assurer une gestion efficace des eaux de ruissellement et à prévenir les problèmes d'inondation et d'érosion.

Toutes ces études détaillées nous ont permis de définir des solutions adaptées pour le dimensionnement des ouvrages de drainage et la collecte des eaux pluviales le long de la liaison autoroutière, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité de l'infrastructure.

En perspective, il nous reste à mener deux études pour que ce projet soit complet :

- Une étude structurale qui permettra de garantir la sécurité des usagers et la pérennité de l'ouvrage
- Une étude financière qui donnera un aperçu du coût de réalisation de l'ouvrage.

En outre, et pour fiabiliser encore davantage nos résultats de dimensionnement des ouvrages hydrauliques, on propose de mener une campagne de mesures de levées topographiques transversales au niveau de chaque exutoire des bassins versants délimités afin d'affiner encore mieux et d'une manière plus précise les différentes dimensions des ouvrages proposés.

Bibliographie

- [1] Buse en béton ; <https://www.bemaco.fr/page-tuyau-beton-joint-integre> ,visité (mai 2023).
- [2] History of road drainage, <https://www.inter-drain.com/history-of-road-drainage/>visité (avril 2023), 2015.
- [3] L'histoire des travaux publics ; <http://roadmines.minesdedouai.fr/histoire.html> ,visité (juin 2023), 2018.
- [4] Ecoduc de castillon-de-saint-martory (31) - <https://www.btps-atlantique.com/ecoduc-castillon-saint-martory/>visité(mai2023), Aug2019.
- [5] Mr BOUDERBALA Abdelkader. Polycope cours hydraulique université khemis miliana. 2017.
- [6] RABAH AICHA. Historique de la route en algerie, 2018.
- [7] Abdelmalek Bermad. *Les bassin versant(polycopie de cours)*, 2022.
- [8] Guy Bernadotte. *La méthode rationnelle généralisée : analyse de sensibilité et performance du modèle*. PhD thesis, École de technologie supérieure, 2006.
- [9] Gérard Bodé. Histoire de l'enseignement technique, 2016.
- [10] A Brmad. *Hydrologie Statistique(polycopies de cours)*, 2022.
- [11] Kenneth N Brooks, Peter F Ffolliott, and Joseph A Magner. *Hydrology and the Management of Watersheds*. John Wiley & Sons, 2012.
- [12] SA Brown, SM Stein, and JC Warner. Urban drainage design manual. Technical report, 2001.
- [13] Rita D. Winkler R.D. (Dan) Moore Todd E. Redding David L. Spittlehouse Darryl E. Carlyle-Moses and Brian D. Smerdon. Hydrologic processes and watershed response. 2021.
- [14] Subhasish Dey and Sk Zeeshan Ali. Mechanics of sediment transport : Particle scale of entrainment to continuum scale of bedload flux. *Journal of Engineering Mechanics*, 143(11) :04017127, 2017.
- [15] direction du tourisme et l'artisanat Batna. <https://batna.mta.gov.dz/fr/notre-wilaya/>visité (avril 2023), 2018.
- [16] BOUTOUTA DJAMEL. assainissement routiers, 2019.
- [17] J Gaber. L'eau et la route. 1993.
- [18] User : <https://www.ada.dz/index.php/fr/qui-sommes-nous>. Presentation ada,,visité (mai 2023).
- [19] Jules Humbert. L'état des routes françaises se dégrade,visité (mai 2023). *LEFIGARO*, 10 2018.

-
- [20] Jingyu Jiang, Yuanping Cheng, Peng Zhang, Kan Jin, Jie Cui, and He Du. Cbm drainage engineering challenges and the technology of mining protective coal seam in the dalong mine, tiefa basin, china,visited (mai 2023). *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 24 :412–424, 5 2015.
- [21] J.P. LABORDE. *ELEMENTS D’HYDROLOGIE DE SURFACE*, chapter Les Bassins Versant, page 9. 1999.
- [22] Jacques Lévy, Ogier Maitre, and Thibault Romany. Rebattre les cartes : topographie et topologie dans la cartographie contemporaine. *Réseaux*, (1) :15–52, 2016.
- [23] K MIDOUNE. Etude pour la protection de la zone d’activité d’el madher (wilaya de batna) contre les inondations., 2019.
- [24] Oucif Amin Mohamed seghir ishak. Calculs hydrologique et hydraulique pour les ouvrages d’assainissement routier- cas d’un ouvrage sur oued maafa, (w) de batna., 2022.
- [25] V Nguyen. hydraulique routier, 1981.
- [26] M Ourahou. *Étude hydrologique des Bassin versant*, chapter estimation de la crue du projet au seuil de barrage, pages 32–33. Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Tafilalt (ORMVA), Rapport, Maroc, 2009.
- [27] Sylvain Payraudeau. *Modélisation distribuée des flux sur des petits bassins versants méditerranéens*. PhD thesis, ENGREF (AgroParisTech), 2002.
- [28] service d’études techniques des routes et autoroutes. *Guide technique Assainissement routier*. Sétra, 2006.
- [29] Setra. Figure iii.19. solutions d’assainissement d’un déblai routier ,visited (mai 2023). 1982.
- [30] David Gaillard (Setra). *Assainissement routier*. Setra, Octobre 2006.
- [31] C Sheldon et al. Highway drainage design for sustainability. 2017.
- [32] Faouci Yacine. Rapport technique gcb, 2022.

Annexes

