

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Travaux Public

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Par : Khiri Abdelkader

Mesmoudi Mohammed Houcine

Sujet

**ETUDE D'UN TROCON ROUTIER DANS LA LOCALITE MEKMEM
BEN AMAR SUR 4 km**

Soutenu publiquement, le 14/06 /2026 devant le jury composé de :

M.HAMZAOUI FETHI

Université de Tlemcen

Président

M.BENAMAR ABDERRAHMANE

Université de Tlemcen

Examineur

M.CHERIF BENMOUSSA MOHAMMED YAZID

Université de Tlemcen

Encadreur

Année universitaire : 2025/2026

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude et la conception d'un projet routier situé dans la wilaya de Naâma, précisément au niveau de la commune de Mekmen Ben Amar, le long de la RN22. Le projet concerne un tronçon d'environ 4 km destiné à améliorer les conditions de circulation, renforcer la sécurité routière et contribuer au développement socio-économique de la région.

Dans un premier temps, une analyse détaillée du contexte géographique, climatique, géologique et socio-économique a été réalisée afin de mieux comprendre les contraintes et les potentialités du site. Ensuite, une étude du trafic a permis d'évaluer les flux de circulation actuels et futurs, ainsi que de déterminer les caractéristiques nécessaires de l'infrastructure, notamment le nombre de voies et la capacité de la route.

Par la suite, l'étude géométrique a été menée conformément aux normes en vigueur (B40), en définissant le tracé en plan, le profil en long et les profils en travers, tout en respectant les critères de sécurité, de confort et de visibilité. Le dimensionnement de la chaussée a été effectué à l'aide de la méthode CBR, en tenant compte des caractéristiques du trafic et du sol support, ce qui a permis de proposer une structure adaptée et durable.

En complément, une étude d'assainissement a été réalisée afin d'assurer l'évacuation efficace des eaux pluviales et de protéger l'infrastructure contre les risques de dégradation. Enfin, une analyse des impacts environnementaux a été effectuée pour identifier les effets du projet et proposer des mesures d'atténuation.

Ce travail a permis d'aboutir à une solution technique optimisée, répondant aux exigences normatives et adaptée aux conditions locales, tout en garantissant la sécurité, la durabilité et la performance de l'ouvrage routier.

Mots Clé :

covadis Carrefour, Ouvrages hydrologiques, impact sur l'environnement, méthodologie de l'étude

Abstract

This thesis focuses on the study and design of a road project located in the Naâma region, specifically in the municipality of Mekmen Ben Amar along National Road RN22. The project concerns a road section of approximately 4 km, aimed at improving traffic conditions, enhancing road safety, and supporting the socio-economic development of the region.

First, a detailed analysis of the geographical, climatic, geological, and socio-economic context was carried out in order to better understand the site constraints and potentials. Then, a traffic study was conducted to evaluate current and future traffic flows and to determine the required infrastructure characteristics, including the number of lanes and road capacity.

Subsequently, the geometric design was developed in accordance with applicable standards (B40), defining the horizontal alignment, longitudinal profile, and cross-sections while ensuring safety, comfort, and visibility requirements. The pavement design was performed using the CBR method, taking into account traffic characteristics and subgrade properties, leading to an appropriate and durable pavement structure.

In addition, a drainage study was conducted to ensure effective runoff management and to protect the infrastructure from potential damage. Finally, an environmental impact assessment was carried out to identify the project's effects and propose mitigation measures.

This work resulted in an optimized technical solution that meets regulatory requirements and is adapted to local conditions, ensuring safety, durability, and overall performance of the road infrastructure.

Keywords :

Covadis, Intersection, Hydrological Structures, Environmental Impact, Study Methodology.

ملخص

يتناول هذا العمل دراسة وتصميم مشروع طريق يقع في ولاية النعامة، وتحديدًا على مستوى بلدية مكن بن عمار على طول الطريق الوطني رقم 22. يخص المشروع إنجاز مقطع طرقي بطول يقارب 4 كم، بهدف تحسين ظروف السير، تعزيز السلامة المرورية، والمساهمة في التنمية الاقتصادية والاجتماعية للمنطقة.

في البداية، تم إجراء تحليل مفصل للظروف الجغرافية والمناخية والجيولوجية والاجتماعية والاقتصادية، وذلك من أجل فهم أفضل لخصائص الموقع والقيود المرتبطة به. بعد ذلك، تم إنجاز دراسة مرورية لتقييم حركة المرور الحالية والمستقبلية، وتحديد الخصائص التقنية اللازمة للطريق، مثل عدد المسارات وسعة الاستيعاب.

كما تم إجراء الدراسة الهندسية للطريق وفقًا للمعايير المعمول بها (B40)، حيث تم تحديد المسار الأفقي، والملف الطولي، والمقاطع العرضية، مع مراعاة شروط السلامة والراحة والرؤية. وتم أيضًا تصميم طبقات الطريق باستعمال طريقة CBR، مع الأخذ بعين الاعتبار خصائص التربة وحجم المرور، مما سمح باختيار بنية طريق مناسبة ومستدامة.

بالإضافة إلى ذلك، تم إنجاز دراسة للتصريف من أجل ضمان تصريف فعال لمياه الأمطار وحماية الطريق من التدهور. كما تم إجراء دراسة لتقييم الأثر البيئي للمشروع واقتراح التدابير اللازمة للتقليل من آثاره.

وقد أسفر هذا العمل عن اقتراح حل تقني متكامل ومُحسن، يتماشى مع المعايير المعتمدة ويتلاءم مع الخصائص المحلية، مع ضمان السلامة والاستدامة وكفاءة المنشأة الطرقية.

الكلمات المفتاحية :

التقاطع الطرقي، المنشآت الهيدرولوجية، التأثير على البيئة، منهجية الدراسة كوفاديس

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre professeur, Monsieur CHERIF BENMOUSSA Mohamed Yazid, pour son aide précieuse dans la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour ses conseils et ses orientations.

Nous remercions également notre jury, pour avoir lu et examiné ce mémoire. Nos remerciements.

Notre gratitude va également à tous les professeurs de la Faculté de Technologie de l'Université Aboubakr Belkaid et à l'ensemble de son personnel administratif.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué à ce mémoire, tous ceux qui nous ont donné des conseils, et tous ceux qui nous ont enseigné une méthode.

DEDICACES

Tout d'abord, je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je dédie ce travail

À mes très chers parents, pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.

À ma famille, pour leur encouragement constant et leur présence à mes côtés dans les moments les plus importants.

À mon binôme Mouhcine, merci À tout ce que je connais sans exception. A tous mes enseignants sans exception. Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

DEDICACES

À mes chers parents,
Pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien inestimable tout au long de mon parcours.

À ma tante Mesmoudi Layla,
Pour son soutien, ses encouragements et sa présence précieuse.

À mon binôme Kadiro,
Pour sa collaboration, son sérieux et tous les efforts partagés durant la réalisation de ce mémoire.

Mesmoudi Mohammed Houcine

Table des matières

Introduction générale	13
Chapitre I : présentation du projet	
1.1. Introduction :	4
1.2. Présentation du projet :	4
1.2.1. Généralités :	4
1.2.2. Situation géographique et administrative du projet :	4
1.2.3. Situation démographique :	5
1.2.4. Géologie :	6
1.2.5. Climatologie :	6
1.2.6. Sismicité :	7
1.2.7. Le réseau routier :	7
1.2.8. Notre projet :	8
1.3. Objectif de l'étude :	8
1.4. Types de routes :	9
1.4.1. Selon leur fonction :	9
1.4.2. Selon leur structure :	9
1.4.3. Catégorie de la route :	10
1.5. Environnement de la route :	10
1.6. La dénivelée cumulée :	11
1.7. La sinuosité moyenne :	11
1.8. Présentation du logiciel Covadis :	12
1.9. Méthodologie de l'étude :	13
1.9.1. L'étude préliminaire et la recherche du tracé est :	13
1.9.2. Le levé topographique :	13
1.9.3. L'établissement d'un Avant-Projet Sommaire (APS) :	14
1.9.4. L'établissement d'un Avant-Projet Détaillé (APD) :	14
1.10. Le tracé en plan définitif :	14
1.10.1. Le profil en long de l'axe définitif :	14
1.10.2. Les profils en travers :	15
1.10.3. L'étude d'assainissement pour les ouvrages courants et non courants :	15
1.11. Conclusion :	16
Chapitre II : étude de trafic	
2.1. Introduction :	18

2.2.	Analyse des trafics existants :	18
2.3.	Le comptage :	19
2.3.1.	Les comptages manuels ou visuels :	19
2.3.2.	Les comptages automatiques.....	20
2.4.	Les enquêtes :	21
2.4.1.	Les enquêtes simplifiées :	21
2.4.2.	Les enquêtes complètes :	21
2.5.	Différents types de trafics :	22
2.6.	Calcul de la capacité :	23
2.7.	La détermination du nombre des voies :	23
2.8.	Application au projet :	25
2.9.	Conclusion :	27

Chapitre III : caractéristique géométrique de la route

3.1.	Introduction :	29
3.2.	Le tracé en plan :	29
3.2.1.	Définition :	29
3.2.2.	Règles à respecter dans la trace en plan :	29
3.2.3.	Vitesse de référence :	30
3.2.4.	Paramètre cinématique :	30
3.2.4.1.	Temps de perception- réactions :	31
3.2.4.2.	Distance minimale de freinage :	31
3.2.5.	Visibilité :	32
3.2.5.1.	Distance de visibilité de dépassement :	32
3.2.5.2.	Distance de visibilité de dépassement minimale :	33
3.2.5.3.	Distance de visibilité de dépassement normale :	33
3.2.5.4.	Distance de visibilité de manœuvre de dépassement :	33
3.2.5.5.	Distance de sécurité entre deux véhicules :	33
3.3.	Les éléments d'un tracé en plan :	34
3.3.1.	Alignements droits :	34
3.3.1.1.	Longueur minimale d'un alignement droit :	35
3.3.1.2.	Longueur maximale d'un alignement droit :	35
3.3.1.3.	Devers en alignement droit :	35
3.3.2.	Arcs de cercle :	35
3.3.3.	Courbes de raccordement progressives :	37
3.3.3.1.	Généralités sur les courbes de raccordement progressives	37

3.3.3.2.	Rôle des courbes de raccordement progressives :.....	37
3.3.3.3.	Principales courbes de raccordement progressif :.....	37
3.3.3.4.	Condition optique :.....	40
3.3.3.5.	Condition de gauchissement :.....	40
3.3.3.6.	Condition dynamique :.....	41
3.3.3.7.	Coefficient de frottement transversal :.....	41
3.4.	Profil en long :.....	41
3.4.1.	Définition :.....	41
3.4.2.	Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	42
3.4.3.	Les éléments de composition du profil en long.....	42
3.4.3.1.	Les alignements :.....	43
3.4.3.2.	La déclivité :.....	43
3.4.4.	Les raccordements verticaux :.....	43
3.4.4.1.	Raccordement convexe (angle saillant) :.....	44
3.4.4.2.	Raccordement concave (angle rentrant) :.....	45
3.4.4.2.1.	Condition de visibilité nocturne :	45
3.4.4.2.2.	Condition de confort (accélération verticale) :	45
3.4.4.2.3.	Rayon minimal normal (angle rentrant) :.....	45
3.4.4.3.	Remblai :.....	46
3.4.4.4.	Déblai :.....	46
3.4.5.	Application :.....	46
3.5.	Profil en travers :.....	47
3.5.1	Introduction :.....	47
3.5.2	Types de profil en travers :.....	47
3.5.2.1	Profil en travers type (profil normal) :.....	47
3.5.2.2	Profil en travers courant (profil particulier) :	47
3.5.3	Les éléments de composition du profil en travers :.....	47
3.5.3.1	Le dévers de La chaussée :	48
3.5.3.1.1	Dévers en alignement :.....	48
3.5.3.1.2	Dévers en courbe :.....	48
3.5.3.1.3	Dévers des accotements :.....	48
3.5.3.2	La largeur roulable :.....	49
3.5.3.3	La plateforme :	49
3.5.3.4	Assiette :.....	50
3.5.3.5	L'emprise :	50
3.5.4	Application du projet :.....	51

3.6.	Aménagement de carrefour :	52
3.6.1.	Introduction :	52
3.6.2.	Conception géométrique des carrefours :	53
3.6.2.1.	Définition :	53
3.6.2.2.	Principes fondamentaux :	53
3.6.3.	Conditions de visibilité :	53
3.7.	Conclusion :	54

Chapitre IV : étude de l'assainissement

4.1.	Introduction :	57
4.2.	Objectifs de l'assainissement :	57
4.3.	Définitions de quelques termes de l'hydraulique :	57
4.4.	Assainissement de la chaussée :	58
4.5.	Choix des Ouvrages d'assainissement :	58
4.6.	Entretien et exploitation des ouvrages :	59
4.7.	Définition d'un ouvrage busé :	60
4.8.	Dimensionnement des buses :	60
4.8.1.	Le débit à évacuer :	60
4.8.2.	Coefficient de ruissellement :	61
4.8.3.	Détermination de l'intensité de la pluie :	61
4.8.4.	L'intensité horaire :	61
4.8.5.	Pluie journalière maximale annuelle :	62
4.8.6.	Le débit maximal de l'ouvrage à saturation :	62
4.9.	Coefficient de rugosité :	62
4.10.	Application du projet :	62
4.10.2.	Résultat :	63
4.11.	Conclusion :	65

Chapitre V : étude d'impact sur l'environnement

5.1.	Introduction :	74
5.2.	Objectif de l'étude :	74
5.3.	Contenu de l'étude d'impact :	75
5.4.	Impact négatif :	75
5.4.1.	Pendant la phase des travaux :	75
5.4.2.	Pendant la phase d'exploitation :	76
5.5.	Impacts positives :	76
5.5.1.	Impacts positifs directs :	76

5.5.2. Impacts positifs indirects :	77
5.6. Principales mesures à prendre :	78
5.6.1. Mesures en phase travaux :	78
5.6.2. Mesures en phase exploitation :	78
5.7. Analyse des impacts avec Rapide Impact Assermenté Matrix :	79
5.8. Conclusion :	80
Attachement :	82
Les quantités de corps de chaussé :	82
Les ouvrages busés :	82
Quantité de remblais et de déblais :	83
DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	84
conclusion générale	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1 - la wilaya de Naâma [3]	5
Figure 1. 2 - Évolution de la population de la wilaya de naama depuis 1977 [2]	5
Figure 1. 3 - Répartition de la population par commune en 2018[2]	6
Figure 1. 4 - Carte de zonage sismique du territoire national (RPA2024) [2].....	7
Figure 1. 5 - Localisation de projet sur GOOGLE earth [3]	8
Figure 1. 6 - type de route [15].....	9
Figure 1. 7 - variations d'altitude [15].....	11
Figure 1. 8 - La sinuosité moyenne du projet routier [15].....	12
Figure 1. 9 - aperçu les logiciel Covadis [15]	13
Figure 1. 10 - Planimétrie sur terrain rural en cours [15].....	13
Figure 1. 11 - profil en long	14
Figure 1. 12 - profil en travers	15
Figure 1. 13 - Ouvrage hydraulique.....	15
 Figure 2. 1 - Analyse du trafic pour le projet routier [15]	19
Figure 2. 2 - Comptage de trafic manuel en cours [15]	20
Figure 2. 3 - Comptage de trafic automatisé détaillé [15]	20
Figure 2. 4 - visualisation sur les Enquêtes simplifiée [15].....	21
Figure 2. 5 - visualisation sur les Enquêtes de circulation et analyse de données [15]	22
Figure 2. 6 - Classification du trafic routier [15].....	22
Figure 2. 7 - structure de chaussée souple [15]	27
 Figure 3. 1 - Les éléments géométriques du tracé en plan [9].....	29
Figure 3. 2 - Règles de conception du tracé routier [15]	30
Figure 3. 3 - Illustration de dépassement avec changement de voie [8].....	32
Figure 3. 4 - Distance de sécurité sur autoroute [15].....	34
Figure 3. 5 - Les forces qui subit le véhicule en virage [10]	Erreur ! Signet non défini.

Figure 3. 6 - Les éléments de la clothoïde [10]	39
Figure 3. 7 - Eléments géométriques du profil en long [9].....	42
Figure 3. 8 - Les déclivités [9]	43
Figure 3. 9 - Raccordement en profil en long [1]	44
Figure 3. 10 - profil en travers types	51
Figure 3. 11 - Profil en travers déblai.....	51
Figure 3. 12 - Profil en travers mixte	52
Figure 3. 13 - Profil en travers remblai	52
Figure 3. 14 – carrefours de notre projet	53

Figure 4. 1 - Notions hydrauliques de base intervenant dans le dimensionnement des ouvrages d'assainissement routier [15].....	58
Figure 4. 2 - ouvrage buse 2	59
Figure 4. 3 - Nettoyage hydraulique d'un ouvrage d'assainissement par buse à jet haute pression.....	59
Figure 4. 4 - ouvrier dans un ouvrage en train de nettoyer au jet	60
Figure 4. 5 - L'intensité horaire [15].....	61
Figure 4. 6 - Coupe transversale.....	63
Figure 4. 7 - vu en face tête d'ouvrage	64
Figure 4. 8 - Coupe A-A.....	64
Figure 4. 9 - Figure 2. 16 - Profil en travers types ouvrage hydraulique.....	65
Figure 4. 10 - Rapproche détaillées du Profil en travers types ouvrage hydraulique.....	65

Figure 5. 1 - étude d'impact sur l'environnement [15].....	74
Figure 5. 2 - Impacts négatifs de la construction routière Pendant la phase des travaux [15].....	75
Figure 5. 3 - Impacts négatifs de la construction routière Pendant la phase d'exploitation [15]	76
Figure 5. 4 - Impacts positifs directs [15].....	77
Figure 5. 5 - Mesures Prioritaires en phase D'exploitation [15]	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1 - les environnements de la route selon B40[1]	10
Tableau 2. 1 - Coefficient d'équivalence des matériaux [7].....	26
Tableau 2. 2 - Résultat.....	26
Tableau 2. 3 - Tableau récapitulatif des valeurs précédentes pour notre projet [1].....	27
Tableau 3. 1 - Catégorie 1 environnement E1. [1]	31
Tableau 3. 2 - La distance de temps de réaction et de perception [1].....	31
Tableau 3. 3 - valeurs retenues [1]	33
Tableau 3. 4 - Tableau récapitulatif des valeurs précédentes [1]	46
Tableau 3. 5 - Tableau récapitulatif des valeurs de profil en long	46
Tableau 3. 6 - Le dévers des accotements [1].....	49
Tableau 4. 1 - les buses et ces longueurs.....	63
Tableau 5. 1 - effets les plus contraignants apparaissent pendant les travaux.....	79

Introduction générale

Le développement des infrastructures routières constitue un levier essentiel pour le progrès économique et social d'un pays. En Algérie, et particulièrement dans les régions des Hauts Plateaux comme la wilaya de Naâma, l'amélioration du réseau routier représente un enjeu majeur pour faciliter les échanges, renforcer la mobilité et réduire les disparités territoriales.

Dans ce contexte, le présent mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude et de la conception d'un tronçon routier d'environ 4 km, situé au niveau de la commune de Mekmen Ben Amar, le long de la RN22. Ce projet de contournement vise principalement à améliorer les conditions de circulation, réduire la congestion, renforcer la sécurité routière et accompagner le développement socio-économique de la région.

La réalisation d'un tel projet nécessite une approche méthodologique rigoureuse intégrant plusieurs phases, notamment l'analyse du contexte géographique et environnemental, l'étude du trafic, la conception géométrique du tracé, ainsi que le dimensionnement de la chaussée selon les normes en vigueur.

Ainsi, ce travail a pour objectif de proposer une solution technique optimisée répondant aux exigences de sécurité, de confort et de durabilité, tout en tenant compte des contraintes locales du site étudié.

Chapitre I : Présentation du projet

1.1. Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous présenterons la région de la wilaya de Naama, dans laquelle s'inscrit le tronçon routier étudié d'un linéaire de 4 km. L'objectif principal de ce chapitre est d'offrir une vision globale du contexte géographique, topographique de la zone d'étude.

Nous débuterons par une description des caractéristiques naturelles de la région, notamment le climat, le relief et la géologie, éléments essentiels influençant la conception et le dimensionnement de l'infrastructure routière.

Par la suite, une analyse des aspects socio-économiques sera menée, incluant la situation démographique, les principales activités économiques ainsi que les infrastructures existantes. Cette analyse permettra de mettre en évidence l'importance stratégique du projet routier dans le cadre du développement local et régional.

Enfin, ce chapitre abordera les notions fondamentales servant de base à l'étude technique et économique du projet. Il s'agira notamment de présenter les concepts, les méthodes de calcul et les normes de conception routière qui seront appliqués dans les chapitres suivants, ainsi que les critères d'évaluation économique retenus.

1.2. Présentation du projet :

1.2.1. Généralités :

Le présent projet porte sur l'étude d'un tronçon routier d'environ 4 km, intégré dans un projet global de réalisation d'une route de contournement au niveau de la wilaya de Naama. Cette infrastructure s'inscrit dans le cadre du développement du réseau routier national.

Les routes jouent un rôle fondamental dans le développement économique et social d'une région. Elles facilitent les échanges commerciaux, améliorent l'accessibilité et contribuent à la réduction des disparités territoriales.

Dans ce contexte, le projet étudié vise à :

- Améliorer les conditions de circulation,
- Réduire les temps de parcours,
- Renforcer la sécurité routière,
- Soutenir le développement local.

1.2.2. Situation géographique et administrative du projet :

La wilaya de Naâma est située dans le sud-ouest de l'Algérie, au niveau des Hauts Plateaux. Elle couvre une superficie importante d'environ 29 819 km² et se trouve à environ 750 km de la capitale Alger. Cette position lui confère un caractère stratégique dans les échanges entre plusieurs régions du pays, notamment dans les relations entre le nord-ouest, les Hauts Plateaux et les zones du sud-ouest.[3]

Sur le plan administratif et géographique, la wilaya de Naâma est limitée par :

- Tlemcen et Sidi Bel Abbès au nord,
- El Bayadh à l'est,
- Béchar au sud,

- Le Maroc à l'ouest.

Le projet est localisé précisément dans la commune de Mekmen Ben Amar, le long de la RN22.[3]

Cette position géographique confère au projet une importance stratégique, notamment pour :

- Les échanges interrégionaux,
- Le transport des marchandises,
- La desserte des zones rurales.

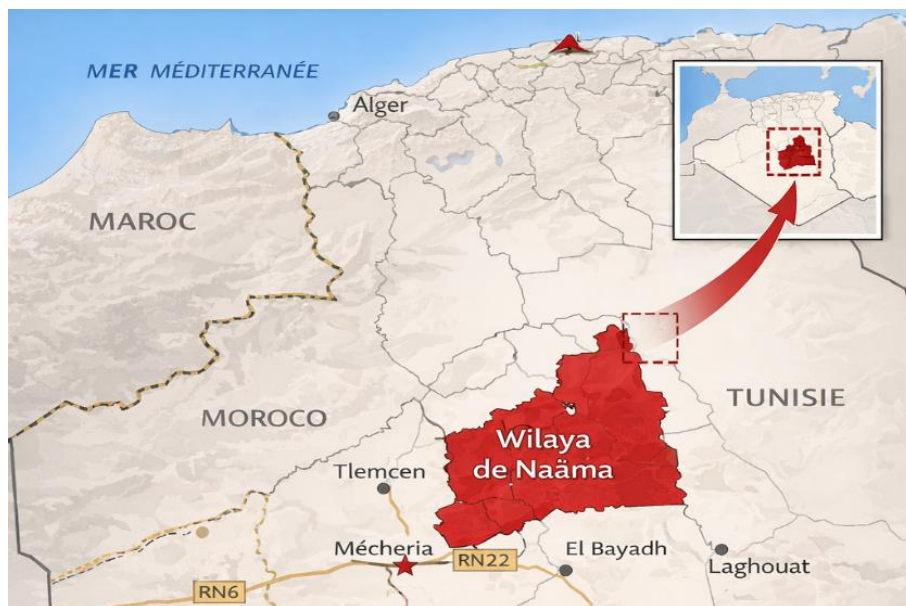


Figure 1. 1 - la wilaya de Naâma [3]

1.2.3. Situation démographique :

La population de la wilaya de Naâma est de l'ordre de 281 168 habitants en 2020 et la densité de la population est de 9,43 habitants/km². [2]

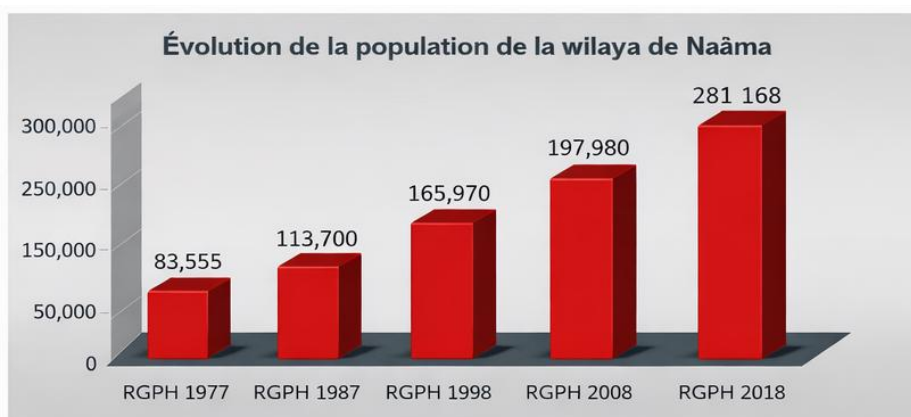


Figure 1. 2 - - Évolution de la population de la wilaya de naama depuis 1977 [2]

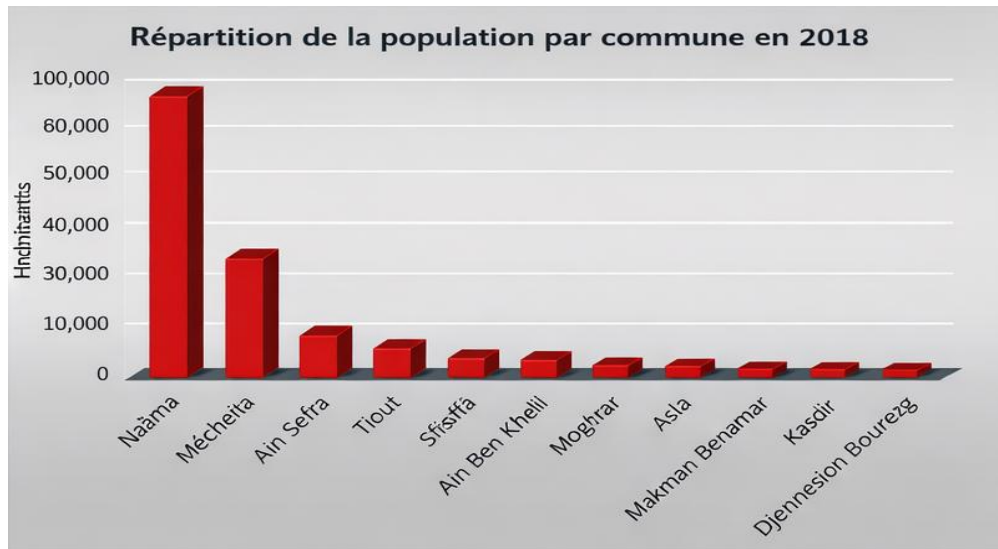


Figure 1. 3 - Répartition de la population par commune en 2018[2]

1.2.4. Géologie :

La wilaya de Naâma se situe dans les Hauts Plateaux du sud-ouest de l'Algérie, à une altitude moyenne de 1 140 mètres. Elle est traversée par la chaîne de l'Atlas saharien, dont certains sommets dépassent les 2 000 mètres, notamment le Djebel Mekfer qui culmine à 2 200 mètres.[2]

Les différentes études géologiques réalisées depuis les années 1970 ont mis en évidence la présence de nombreuses ressources minières susceptibles d'être valorisées par leur exploitation et leur transformation dans le domaine des matériaux de construction. Parmi ces ressources figurent :

- Les calcaires et les dolomies ;
- Les argiles ;
- Les grès ;
- Les sables dunaires ;
- Le gypse ;
- Le sel gemme ;
- Les gisements polymétalliques

1.2.5. Climatologie :

La wilaya de Naâma présente un climat continental aride caractérisé par deux saisons bien distinctes au cours de l'année. La première est une saison relativement froide et humide qui s'étend de novembre à avril. La seconde correspond à une saison chaude et sèche, allant de mai à octobre.[2]

En hiver, les températures peuvent descendre jusqu'à -10°C , avec la possibilité de formation de gel. En été, elles atteignent des valeurs très élevées, dépassant parfois 45°C

1.2.6. Sismicité :

La wilaya de Naâma appartient généralement à une zone de sismicité faible à modérée dans le contexte algérien (Hauts Plateaux et Atlas saharien).[2]

Zone II ou zone de sismicité moyenne-faible (pas en zone III = haute sismicité) selon le zonage national antérieur selon RPA 2024.

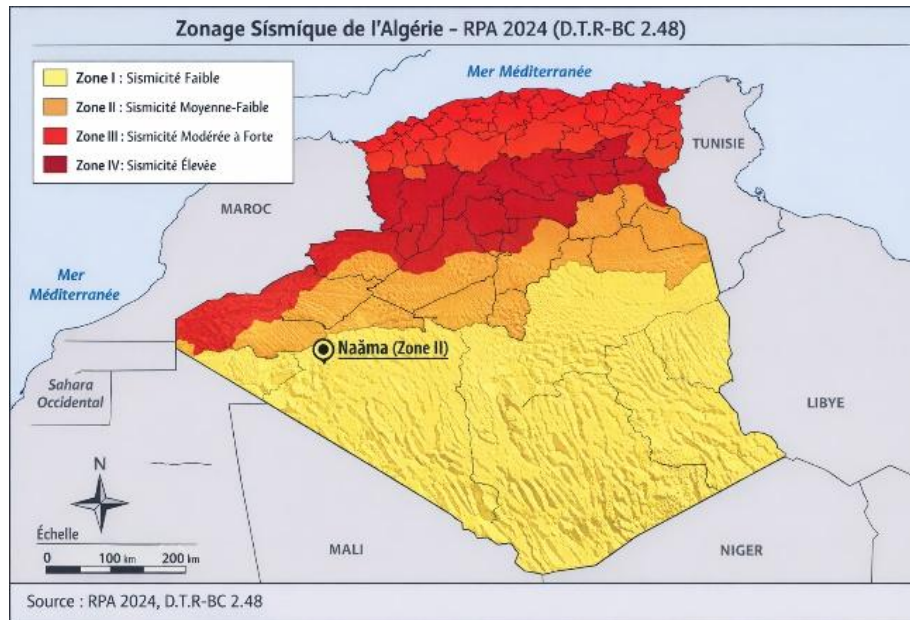


Figure 1. 4 - Carte de zonage sismique du territoire national (RPA2024) [2]

1.2.7. Le réseau routier :

Le réseau routier algérien est composé de :

- Routes nationales (RN),
- Chemins de wilaya (CW),
- Chemins communaux (CC).

La RN22 constitue un axe important reliant plusieurs wilayas du sud-ouest [2]. Cependant, elle présente des contraintes telles que :

- Saturation du trafic,
- Traversée des zones urbaines,
- Problèmes de sécurité.

Le projet de contournement permet donc de :

- Dévier le trafic de transit,
- Réduire la congestion,
- Améliorer les conditions de circulation.

1.2.8. Notre projet :

Le projet consiste en la réalisation d'un tronçon routier de 4 km dans le cadre d'un tracé global de 290 km

Ses caractéristiques principales sont :

- Route de catégorie 1,
- Environnement E1 (terrain plat),
- Vitesse de référence : 80 km/h,
- Trafic important avec une part significative de poids lourds.

Ce tronçon constitue une section représentative permettant d'effectuer :

- Une étude géométrique,
- Un dimensionnement de chaussée,
- Une analyse de trafic.

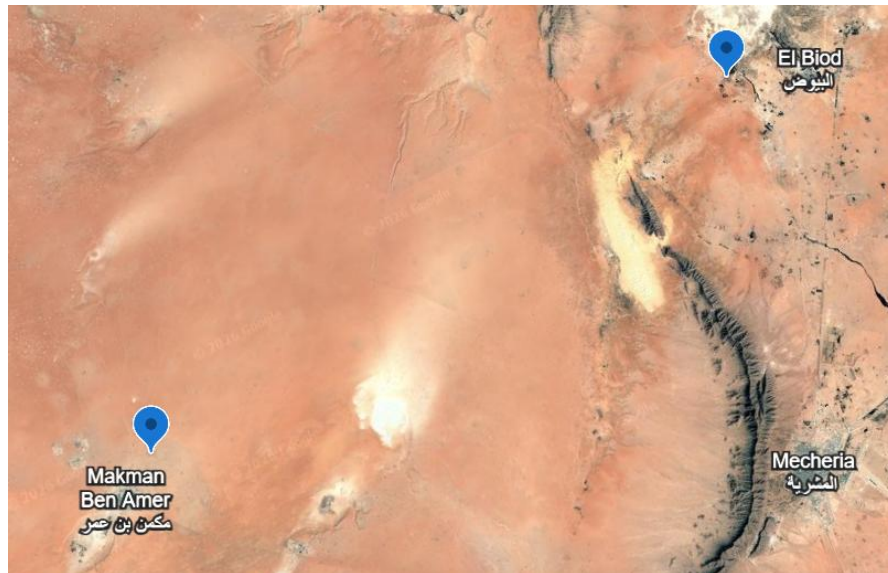


Figure 1. 5 - Localisation de projet sur GOOGLE earth [3]

1.3.Objectif de l'étude :

L'objectif principal de cette étude est de concevoir une infrastructure routière répondant aux normes techniques en vigueur, notamment la norme B40.[1]

Les objectifs spécifiques sont :[12]

- Analyser les caractéristiques du site (géologie, climat, relief),
- Étudier le trafic routier,
- Dimensionner la chaussée,
- Garantir la sécurité et le confort des usagers,
- Optimiser les coûts de réalisation.

L'étude vise également à appliquer les normes algériennes [1] et à proposer des solutions adaptées aux contraintes locales, et Elle permet de relier les notions théoriques aux exigences pratiques d'un projet réel. Le travail réalisé dans ce mémoire ne se limite donc pas à un simple exercice académique, mais reflète une démarche d'ingénierie routière complète, reposant sur l'analyse, le calcul, la vérification et la proposition de solutions adaptées.

1.4.Types de routes :

Les routes peuvent être classées selon plusieurs critères [15] :

1.4.1. Selon leur fonction :

- Autoroutes
- Routes nationales
- Routes secondaires
- Routes rurales

1.4.2. Selon leur structure :

- Chaussées souples
- Chaussées rigides
- Chaussées semi-rigides



Figure 1. 6 - type de route « crée a laide d'un outil IA »

Dans notre projet, il s'agit d'une route nationale à chaussée souple, adaptée au trafic et aux conditions locales.

1.4.3. Catégorie de la route :

Selon la norme B40,[1] les routes sont classées en plusieurs catégories.

Les routes de première catégorie correspondent aux voies à grand trafic, dont le tracé se situe sur un terrain facile et peu accidenté, avec la présence de quelques agglomérations et croisements [4]. Selon cette classification, notre projet appartient à la catégorie 1.

Les routes de catégorie 1 sont caractérisées par :

- Un trafic élevé,
- Une importance stratégique,
- Un tracé relativement facile,
- Une bonne visibilité.

Notre projet appartient à cette catégorie qui implique :

- Des exigences élevées en termes de sécurité,
- Un dimensionnement renforcé de la chaussée.

1.5. Environnement de la route :

L'environnement routier influence fortement la conception géométrique et le dimensionnement.

L'environnement routier influence fortement la conception géométrique et le dimensionnement.

Selon la norme B40, il existe trois classes :

- E1 : terrain plat
- E2 : terrain vallonné
- E3 : terrain montagneux

Tableau 1. 1 - les environnements de la route selon B40[1]

Relief	sinuosité	Faible	Moyenne	Forte
Plat		E1	E2	/
Vallonné		E2	E2	E3
Montagneux		/	E3	E3

Notre projet est classé E1 (terrain plat)

1.6. La dénivelée cumulée :

La dénivelée cumulée représente la somme des variations d'altitude sur un tronçon donné. Elle constitue un indicateur important pour apprécier la difficulté du relief et le degré de contrainte imposé au tracé routier [17]. Plus la dénivelée cumulée est élevée, plus le terrain présente des irrégularités verticales susceptibles de compliquer la conception du profil en long. [17]

Dans un environnement E1 :

- Elle est faible,
- Le tracé est peu contraignant,
- Les coûts de construction sont réduits.

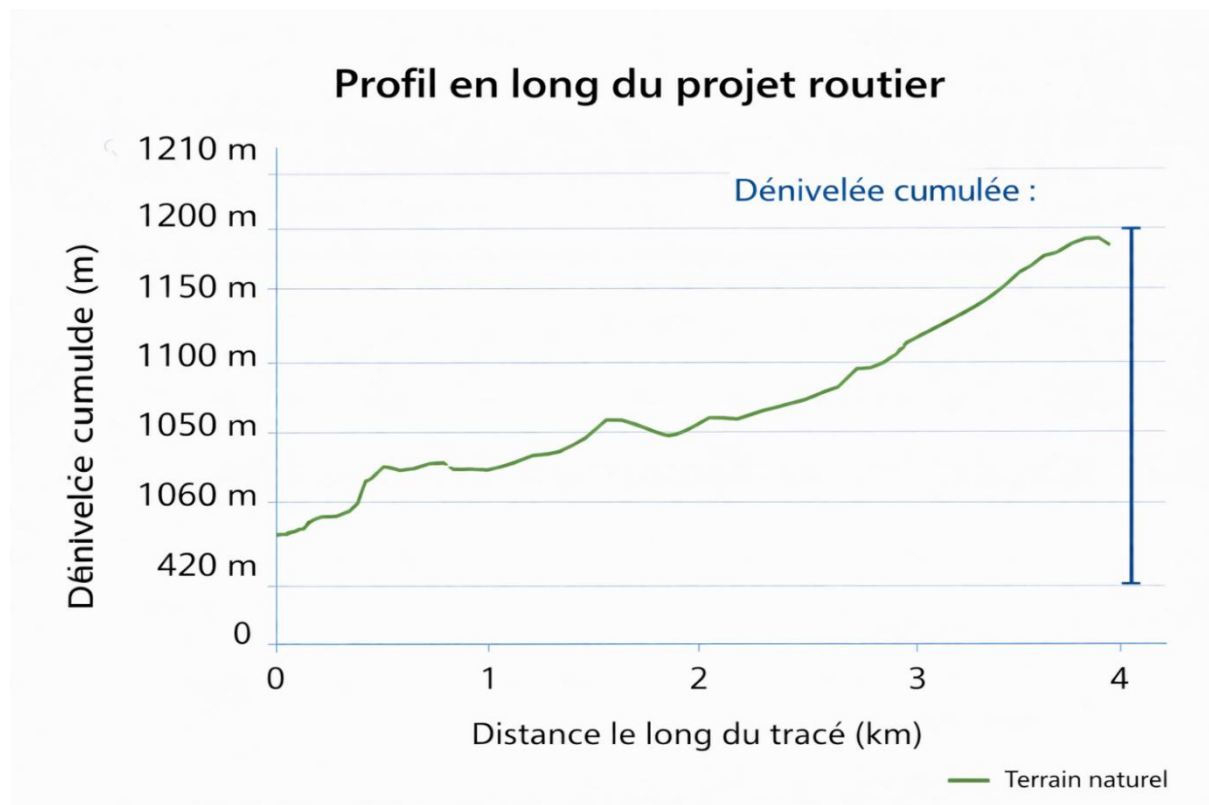


Figure 1. 7 - variations d'altitude

1.7. La sinuosité moyenne :

La sinuosité correspond au nombre et à l'intensité des courbes présentes sur un tracé. Elle permet de qualifier le caractère plus ou moins tortueux d'un itinéraire. Une route présentant une forte sinuosité impose davantage de changements de direction, ce qui peut influencer la vitesse pratiquée, le confort de conduite et la sécurité des usagers.

Dans notre cas, la sinuosité est faible, ce qui signifie que le tracé est globalement quasi rectiligne. Cette caractéristique est cohérente avec l'environnement E1 retenu pour le projet. Un tracé peu sinueux présente de nombreux avantages : il améliore la lisibilité de l'itinéraire, facilite la conduite, réduit les contraintes dynamiques sur les véhicules et augmente le niveau général de sécurité.

Malgré les avantages qu'offre un tracé à faible sinuosité, celui-ci doit être conçu avec rigueur, car des alignements excessivement longs peuvent engendrer une certaine monotonie visuelle et réduire la vigilance des conducteurs. Sur le plan technique, cette configuration facilite l'implantation du tracé en plan, limite le recours aux courbes de faible rayon et assure une meilleure compatibilité avec la vitesse de référence retenue. Ainsi, la faible sinuosité constitue un atout pour le projet, à condition d'être intégrée de manière cohérente avec l'ensemble des paramètres géométriques et sécuritaires.

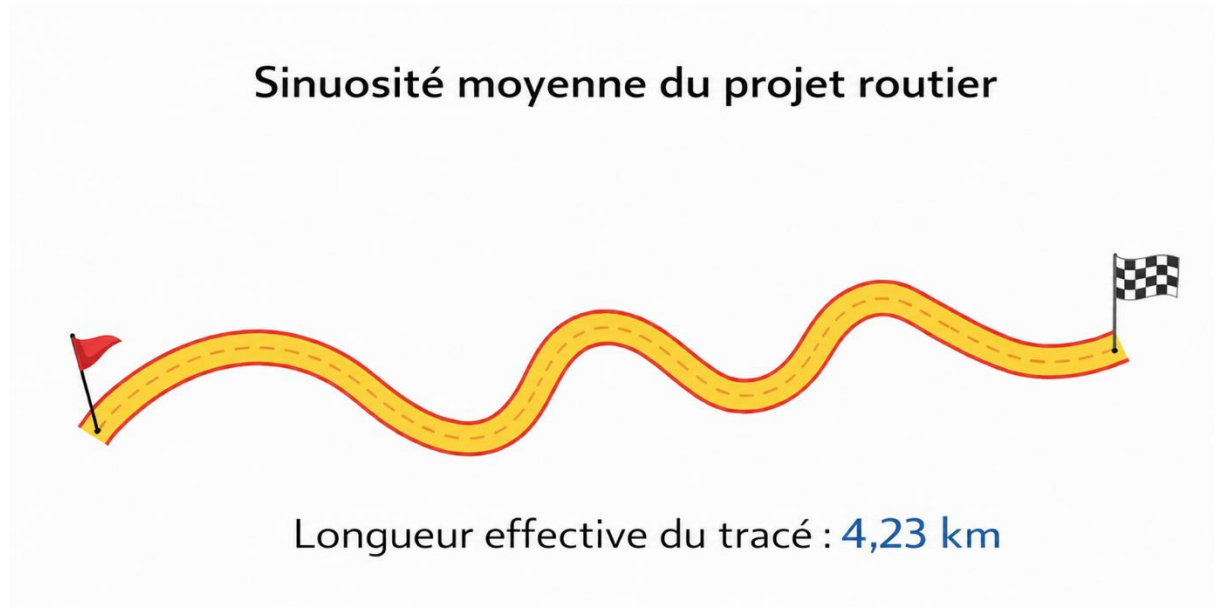


Figure 1. 8 - La sinuosité moyenne du projet routier « crée a l'aide d'un outil IA »

1.8. Présentation du logiciel Covadis :

Covadis est un logiciel de conception routière largement utilisé en génie civil. Il constitue un outil de travail très important dans les études de tracé, de modélisation du terrain et de production des pièces techniques nécessaires à la conception d'un projet routier. Dans le cadre de notre étude, il a été utilisé pour le tracé en plan, le profil en long, les profils en travers, le calcul des cubatures et l'optimisation générale du projet.

Covadis est utiliser pour :

- Le tracé en plan,
- Le profil en long,
- Les profils en travers,
- Le calcul des cubatures,
- Le dimensionnement des projets.

Ces Avantages sont :

- Gain de temps,
- Précision élevée,
- Compatibilité avec AutoCAD.

Applications dans le projet :

- Modélisation du tracé,
- Simulation du profil,
- Optimisation du projet.



Figure 1. 9 - aperçu les logiciel Covadis « crée à l'aide d'un outil IA »

1.9. Méthodologie de l'étude :

1.9.1. L'étude préliminaire et la recherche du tracé :

La première étape d'un projet routier. Elle consiste à étudier la zone du projet et à chercher le meilleur chemin pour la route, en tenant compte du terrain, de l'environnement, du coût et de la sécurité. Cette étape permet de choisir un tracé adapté et réalisable.

1.9.2. Le levé topographique :

Consiste à relever avec précision les caractéristiques du terrain, comme les dimensions, les niveaux, les pentes et les formes du sol. Il permet d'obtenir les données nécessaires pour concevoir le tracé routier et dimensionner correctement les ouvrages du projet.

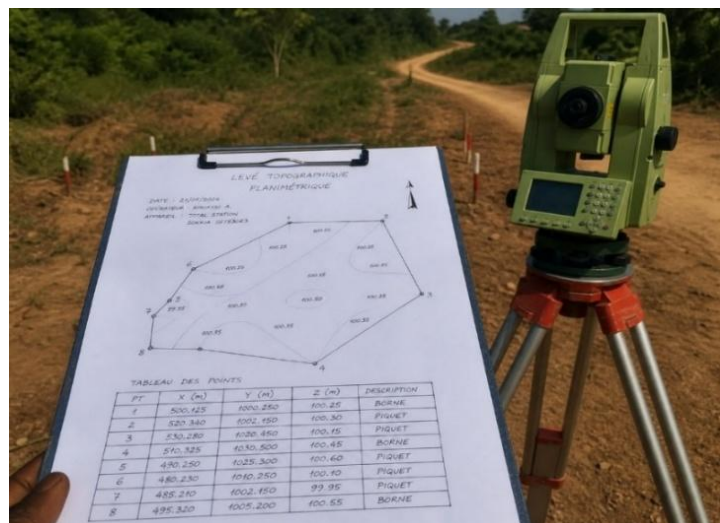


Figure 1. 10 - Planimétrie sur terrain rural en cours « crée à l'aide d'un outil IA »

1.9.3. L'établissement d'un Avant-Projet Sommaire (APS) :

Consiste à présenter une première conception du projet à partir des études réalisées. Il permet de définir les grandes lignes du tracé, les principaux ouvrages, ainsi qu'une estimation approximative du coût des travaux.

1.9.4. L'établissement d'un Avant-Projet Détaillé (APD) :

Consiste à approfondir et préciser toutes les caractéristiques techniques du projet. Il permet de fixer les dimensions exactes des ouvrages, les détails d'exécution et une estimation plus précise du coût du projet.

1.10. Le tracé en plan définitif :

Représente la route vue de dessus. Il montre la position exacte de l'axe routier, les alignements droits, les courbes et l'emprise du projet sur le terrain.

1.10.1. Le profil en long de l'axe définitif :

Représente la route vue de côté suivant son axe. Il permet de montrer les pentes, les rampes, les descentes et les altitudes du terrain ainsi que du projet.

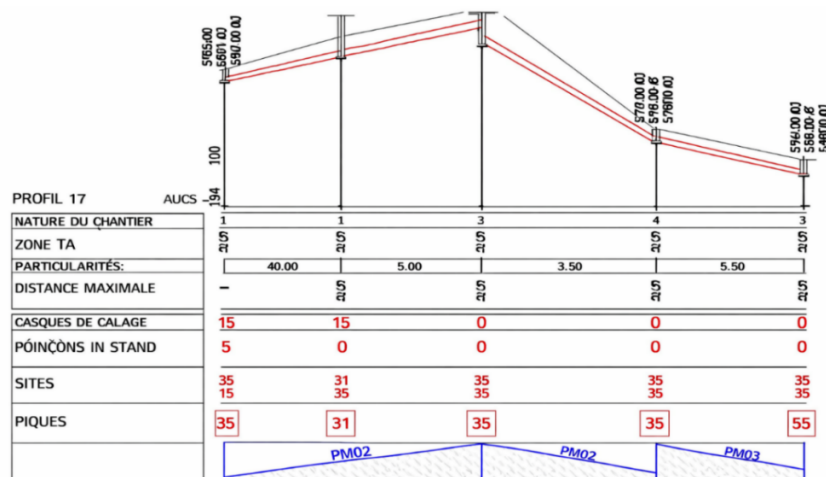


Figure 1. 11 - profil en long

1.10.2. Les profils en travers :

Sont des coupes réalisées perpendiculairement à l'axe de la route. Ils montrent la forme de la chaussée, les accotements, les talus et les différentes dimensions de la route.

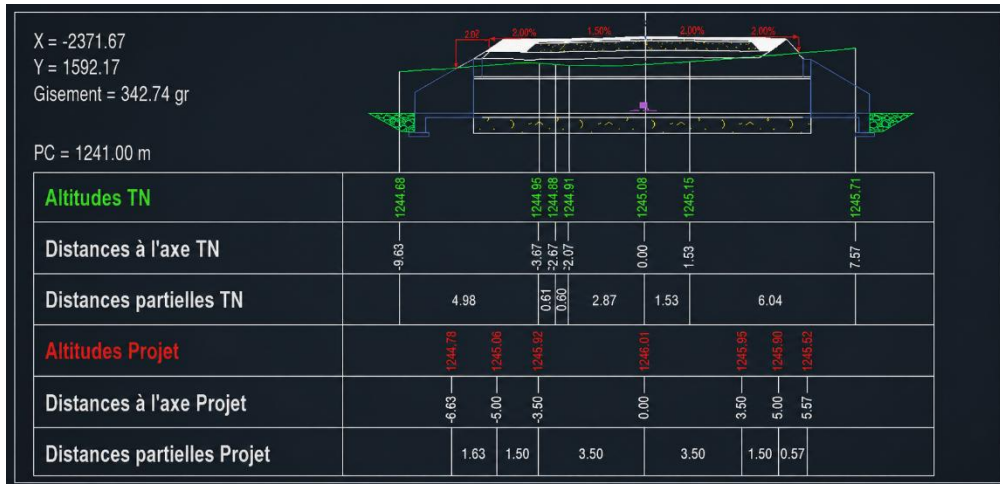


Figure 1.12 - profil en travers

1.10.3. L'étude d'assainissement pour les ouvrages courants et non courants :

Cette étude vise à examiner l'écoulement des eaux pluviales et de surface afin de préserver la route et ses ouvrages des risques d'inondation, d'érosion et de détérioration. Elle permet également de définir et de dimensionner les ouvrages d'assainissement nécessaires, tels que les caniveaux, les buses, les dalots et autres ouvrages hydrauliques, selon les exigences du projet



Figure 1.13 - Ouvrage hydraulique

1.11. Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter le cadre général du projet routier étudié à travers la situation géographique et administrative de la wilaya de Naama, l'importance du réseau routier régional, ainsi que les principales caractéristiques du tronçon concerné et les objectifs de l'étude.

Il a également introduit les notions de base nécessaires à la compréhension de la suite du mémoire, notamment la classification de la route, son environnement de type d'environnement 1.les caractéristiques du relief et du tracé, ainsi que l'utilisation du logiciel Covadis comme outil de conception.

En somme, ce chapitre montre que toute étude routière doit s'appuyer sur une bonne connaissance du contexte territorial et des données techniques du projet. Les éléments présentés constituent ainsi le fondement des chapitres suivants consacrés à l'étude géométrique, au dimensionnement de la chaussée et aux vérifications techniques.

Chapitre II :

Etude du trafic

2.1. Introduction :

L'étude du trafic constitue une phase essentielle de tout projet routier, dans la mesure où elle permet d'apprécier les conditions de circulation et d'anticiper leur évolution à l'horizon de dimensionnement. Elle intervient directement dans la définition des caractéristiques géométriques de la route, le dimensionnement de la chaussée, l'évaluation de la capacité et l'appréciation du niveau de service offert aux usagers. À ce titre, l'analyse du trafic repose sur plusieurs paramètres fondamentaux, notamment le trafic journalier moyen annuel, le trafic effectif, le débit de pointe horaire et le nombre de voies nécessaire.

Dans le cadre de la présente étude, le projet porte sur une route de contournement située dans la wilaya de Naâma, le long de la RN22, au niveau de la commune de Mekmen Ben Amar, sur un tronçon de 4 km. Classé en catégorie 1, dans un environnement E1, avec une vitesse de référence de 80 km/h, ce projet nécessite une analyse adaptée aux exigences de circulation et de sécurité. Ainsi, ce chapitre est consacré à l'étude des trafics existants, à la présentation des méthodes de comptage et d'enquête, ainsi qu'au calcul de la capacité et à la détermination du nombre de voies requises.

2.2. Analyse des trafics existants :

Conformément aux exigences du catalogue algérien de dimensionnement, l'étude de trafic représente une étape essentielle dans la conception des structures de chaussées. Elle a pour objectif principal d'estimer le trafic cumulé en poids lourds (TC) que la chaussée devra absorber durant toute sa période de service. [5]

Par ailleurs, la détermination de la classe de trafic T_i nécessaire au choix et au dimensionnement des couches de surface, repose sur l'évaluation de la moyenne journalière annuelle des poids lourds (MJA PL) enregistrée lors de la mise en exploitation de l'infrastructure. [5]

Le trafic T_n à l'année n sera :

Le trafic à l'année n est calculé selon la relation suivante :

$$T_n = T_0 \times (1 + \tau)^n \text{ [5]}$$

Où :

T_0 : trafic initial à l'année d'origine,

τ : taux annuel d'accroissement du trafic.

2. Le trafic à un horizon donné :

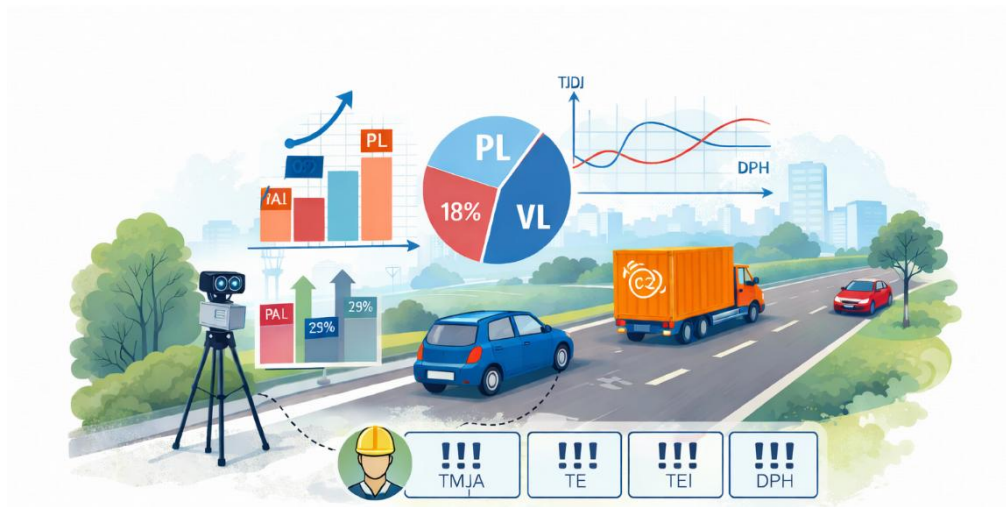
La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est : [5]

$$T_{JMA_n} = T_{JMA_0} \times (1 + \tau)^n \text{ [5]}$$

Tel que :

- T_{JMA_n} : trafic journalier moyen à l'année n .
- T_{JMA_0} : trafic journalier moyen à l'année 0

- τ : taux d'accroissement annuel.
- n : nombre d'année à partir de l'année d'origine.



Analyse du trafic pour le projet routier

Figure 2. 1 - Analyse du trafic pour le projet routier [15]

2.3. Le comptage :

Le comptage est l'opération qui consiste à relever le nombre de véhicules circulant sur une section de route pendant une période donnée. Il constitue l'outil principal de mesure du trafic et permet d'obtenir les données quantitatives nécessaires à l'étude. Selon les moyens employés, on distingue les comptages manuels ou visuels et les comptages automatiques.

2.3.1. Les comptages manuels ou visuels :

Le comptage manuel, ou comptage visuel, consiste à placer des agents sur le terrain afin d'observer directement les flux de circulation et d'enregistrer les véhicules selon leur catégorie. Cette méthode est particulièrement adaptée lorsqu'il s'agit d'obtenir une classification détaillée du trafic [16], d'analyser les mouvements directionnels ou d'étudier le comportement des usagers au niveau des carrefours, intersections ou traversées d'agglomération. Son principal avantage réside dans sa souplesse, puisqu'elle permet d'adapter les relevés aux objectifs spécifiques de l'étude et de recueillir des informations complémentaires, telles que les heures de pointe ou certaines perturbations de circulation. Toutefois, cette technique présente des limites, notamment en raison de son coût en main-d'œuvre, de la durée réduite des observations et du risque d'erreurs lorsque les débits deviennent élevés. Dans le cadre de notre étude, le comptage manuel constitue un moyen pertinent pour apprécier les tendances générales du trafic, estimer la part des poids lourds et analyser la répartition des flux sur le tronçon étudié. Il représente ainsi un outil d'observation local particulièrement utile pour compléter les données globales disponibles.[15]

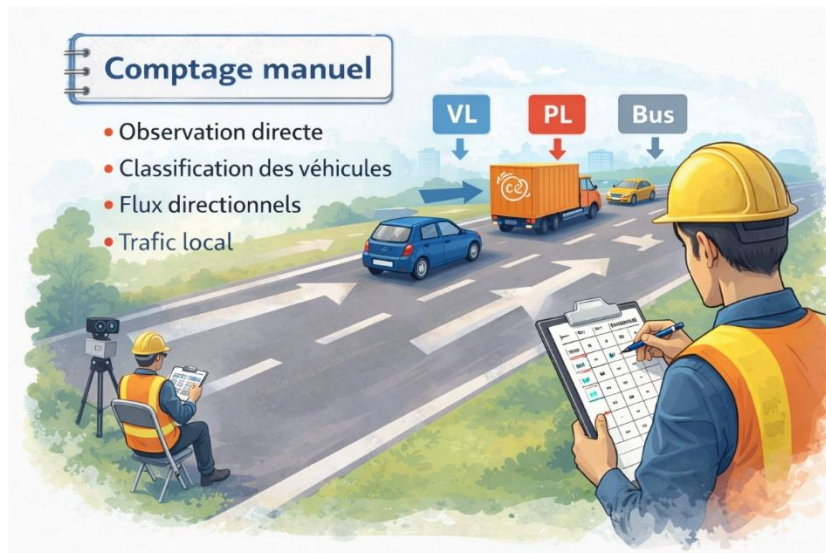


Figure 2. 2 - Comptage de trafic manuel en cours « créée à l'aide d'un outil IA »

2.3.2. Les comptages automatiques

Le comptage automatique du trafic repose sur l'utilisation de dispositifs capables d'enregistrer de manière continue les passages de véhicules.[16] Ces équipements, installés temporairement ou de façon permanente, permettent de mesurer plusieurs paramètres essentiels, tels que le débit, la vitesse et, selon les systèmes employés, la longueur ou la classification des véhicules. Cette méthode présente un intérêt particulier en raison de sa capacité à fournir un volume important de données sur de longues périodes, sans nécessiter une présence constante d'agents sur le terrain. Elle facilite ainsi l'établissement des variations journalières, hebdomadaires ou saisonnières du trafic, ainsi que l'identification des pointes horaires et l'estimation du trafic journalier moyen annuel. Malgré ses avantages, le comptage automatique exige un matériel adapté et un traitement rigoureux des résultats. En outre, certains dispositifs peuvent présenter des limites dans la classification fine des véhicules, notamment dans les situations de circulation complexes. Néanmoins, cette méthode demeure aujourd'hui l'un des principaux outils d'analyse du trafic dans les études routières.[15]

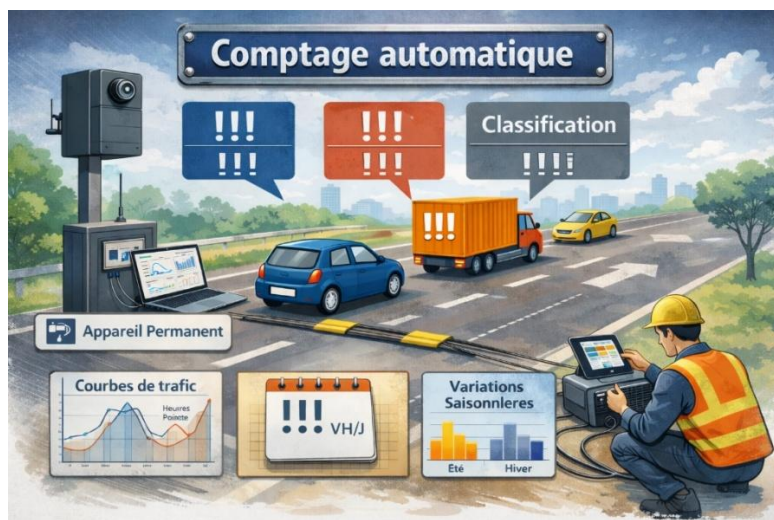


Figure 2. 3 - Comptage de trafic automatisé détaillé « créée à l'aide d'un outil IA »

2.4. Les enquêtes :

Au-delà du comptage, les enquêtes de circulation permettent de mieux comprendre la nature du trafic observé. Alors que le comptage fournit une information quantitative, l'enquête apporte une information qualitative sur l'origine, la destination, la finalité des déplacements et la structure des échanges. [15]

2.4.1. Les enquêtes simplifiées :

Les enquêtes simplifiées sont des investigations complémentaires qui permettent de mieux interpréter les comptages de trafic. [15] Elles prennent la forme d'observations ponctuelles, de questionnaires rapides ou d'interrogations ciblées sur certaines catégories de véhicules. Leur rôle est de distinguer le trafic local du trafic de transit, d'identifier les périodes de forte circulation et de préciser les principaux motifs de déplacement. Dans le cas d'un projet de contournement, elles sont particulièrement utiles pour évaluer la part des véhicules en transit et justifier la création d'un itinéraire de déviation, notamment sur un axe national comme la RN22. [15]



Figure 2. 4 - visualisation sur les Enquêtes simplifiée « créée à l'aide d'un outil IA »

2.4.2. Les enquêtes complètes :

Les enquêtes complètes constituent des investigations approfondies visant à caractériser avec précision la demande de déplacement. Elles permettent de recueillir des informations détaillées sur l'origine et la destination des trajets, les motifs de voyage, la fréquence des déplacements, la nature des véhicules et, dans certains cas, les charges transportées. [16] Ces enquêtes peuvent être réalisées sous différentes formes, notamment les enquêtes routières, les enquêtes cordon, les enquêtes ménage-déplacements ou encore les enquêtes auprès des transporteurs. Bien qu'elles nécessitent des moyens humains et matériels plus importants, elles présentent un intérêt majeur pour les projets structurants, car elles permettent d'améliorer la compréhension des flux et de mieux anticiper l'évolution future du trafic. Elles sont ainsi particulièrement utiles pour justifier des aménagements lourds, tels qu'une déviation, une mise à 2x2 voies ou une modernisation géométrique d'un axe existant.[15]



Figure 2. 5 - visualisation sur les Enquêtes de circulation et analyse de données « créée à l'aide d'un outil IA »

2.5. Différents types de trafics :

Le trafic routier peut être classé selon plusieurs critères d'analyse. On distingue d'abord le trafic total, qui regroupe l'ensemble des véhicules circulant sur la voie, et le trafic poids lourds, [7] dont l'influence est déterminante dans le dimensionnement de la chaussée. Une autre distinction oppose le trafic actuel, observé au moment de l'étude, au trafic futur, estimé à l'horizon du projet. Enfin, selon la fonction du déplacement, le trafic se répartit en trafic local, trafic d'échange et trafic de transit. Cette dernière classification est particulièrement importante dans les projets de contournement, puisque ceux-ci visent généralement à détourner une partie du trafic de transit afin de réduire la circulation dans les zones habitées et d'améliorer la sécurité.[7]



Figure 2. 6 - Classification du trafic routier « créée à l'aide d'un outil IA »

2.6. Calcul de la capacité :

La capacité d'une route correspond au débit maximal de véhicules qu'elle peut écouler dans des conditions données de circulation et d'exploitation. Elle dépend de nombreux facteurs, notamment le nombre de voies, la largeur de la chaussée, la composition du trafic, la présence de poids lourds, l'environnement de la route, le relief, les intersections et la vitesse de référence.[15]

Dans notre cas, notre projet appartient à la catégorie 1 et l'environnement E1, avec une vitesse de référence de 80 km/h. [1]

2.7. La détermination du nombre des voies :

La détermination du nombre de voies est une étape essentielle de l'étude de trafic. Elle consiste à comparer le débit généré par le trafic futur à la capacité admissible de la route, afin de choisir un profil en travers apte à écouler la circulation dans de bonnes conditions de sécurité et de fluidité.

Calcul de trafic à l'horizon :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est :[5]

$$T_{JMA n} = T_{JMA 0} \times (1 + \tau)^n \quad [5]$$

Tel que :

- $T_{JMA n}$: trafic journalier moyen à l'année n.
- $T_{JMA 0}$: trafic journalier moyen à l'année 0
- τ : taux d'accroissement annuel.
- n : nombre d'année à partir de l'année d'origine.

Calcul du trafic effectif :

C'est le trafic traduit en unités de véhicules particuliers (U.V.P). [5]

$$T_{eff} = [(1 - Z) + P Z] \cdot T_{JMA n} \quad [5]$$

T_{eff} : trafic effectif à l'horizon en (U.V.P/j)

Z : pourcentage de poids lourds (%).

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourd, il dépend de la nature de la route.

Débit de pointe horaire normal :

Le débit de point horaire normal est une traction du trafic effectif à l'horizon, il est donné par la formule : [5]

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot T_{eff} \quad [5]$$

Avec :

n : Coefficient de pointe prise égale 0.12

Q : est exprimé en UVP/h.

n : nombre d'heure, (en général n=8 heures).

Débit horaire admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par application de la formule :[5]

$$Q_{\{adm\}}\left(\frac{uvp}{h}\right) = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\{th\}} \quad [5]$$

K1 : coefficient lié à l'environnement.

K2 : coefficient de réduction de capacité.

Cth : capacité effective par voie, qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

Valeurs de K1 : E1=0.75

Valeurs de K2 : E1, C1 =1

Valeurs de Cth : route à 2 voies de 3,5 m =1500 à 2000 uvp/h [5].

Détermination du nombre de voies :

Cas d'une chaussée bidirectionnelle : Avec :

$$n = s \times \left(\frac{Q}{Q_{adm}} \right) \quad [5]$$

S : coefficient dissymétrie en général = 2/3

Qadm : débit admissible par voie.

On a trouvé 2 voies

Poids lourd :

Un poids lourd est défini comme un véhicule dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur ou égal à 3,5 tonnes, soit environ 35 kN. Ces véhicules se distinguent aisément dans le trafic routier en raison de leurs caractéristiques structurelles. Ils regroupent généralement les véhicules comportant au minimum deux essieux et dont l'essieu arrière est équipé de roues jumelées, ce qui constitue un critère visuel d'identification sur le réseau routier.[6]

Les différentes structures de chaussées :

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois différents types de structures suivants :

Pour les chaussées souples, Il s'agit d'une structure de chaussée caractérisée par la présence de couches liées traitées aux liants hydrocarbonés, assurant ainsi la cohésion et la résistance

mécanique de l'ensemble. Toutefois, la couche de fondation et/ou la couche de base peut, selon les exigences du projet et les conditions de trafic, être réalisées en grave non traitée. [7]

2.8. Application au projet :

8.1. Prédimensionnement des couches de chaussée :

En utilise la méthode CBR :

$$e = \frac{100 + \sqrt{p} \times \left(25 + 50 \cdot \log\left(\frac{N}{10}\right) \right)}{ICBR + 5} \quad [1]$$

e : Épaisseur structurelle totale de la chaussée nécessaire pour supporter le trafic de projet (en cm). [1]

P : Charge par essieu appliquée à la chaussée, exprimée en tonnes. [1]

N : Nombre cumulé d'essieux équivalents circulant sur la voie de dimensionnement pendant la durée de projet. [1]

ICBR : Indice de portance du sol support déterminé par l'essai CBR, exprimé en pourcentage (%). [1]

Les paramètres adoptés pour le dimensionnement de la chaussée sont les suivants :

Charge par essieu (P) : 13 tonnes

- Trafic Journalier Moyen Annuel (TJMA) : 30 000 véhicules/jour
- Pourcentage de poids lourds (PL) : 30 %
- Taux d'accroissement annuel du trafic (r) : 3 %
- Durée de dimensionnement : 10 ans
- Indice CBR du sol support (ICBR) : 8 %

Après application de la méthode de dimensionnement, l'épaisseur théorique obtenue est de 80 cm.

8.2. Choix des matériaux de chaussée :

Le choix des matériaux de la chaussée repose sur leurs caractéristiques mécaniques et sur leur contribution à la résistance globale de la structure routière.

Tableau 2. 1 - Coefficient d'équivalence des matériaux [7]

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave concasse ou gravier	1.50
Grave roulée – grave sableuse T.V. O	0.75
Sable	0.50
Grave bitume	1.60 à 1.70
Tuf	0.60

Après prise en compte des coefficients correctifs liés à la répartition du trafic, aux coefficients d'équivalence des matériaux et aux hypothèses de calcul adoptées, le choix des matériaux de chaussée retenus pour le dimensionnement peut être présenté comme suit :

e=68cm

Tableau 2. 2 - Résultat

Description des couches		
Couche	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	Béton bitumineux	6
Couche de base	Grave bitume	12
Couche de fondation	Grave concassée	25
Couche de forme	Tuf	25

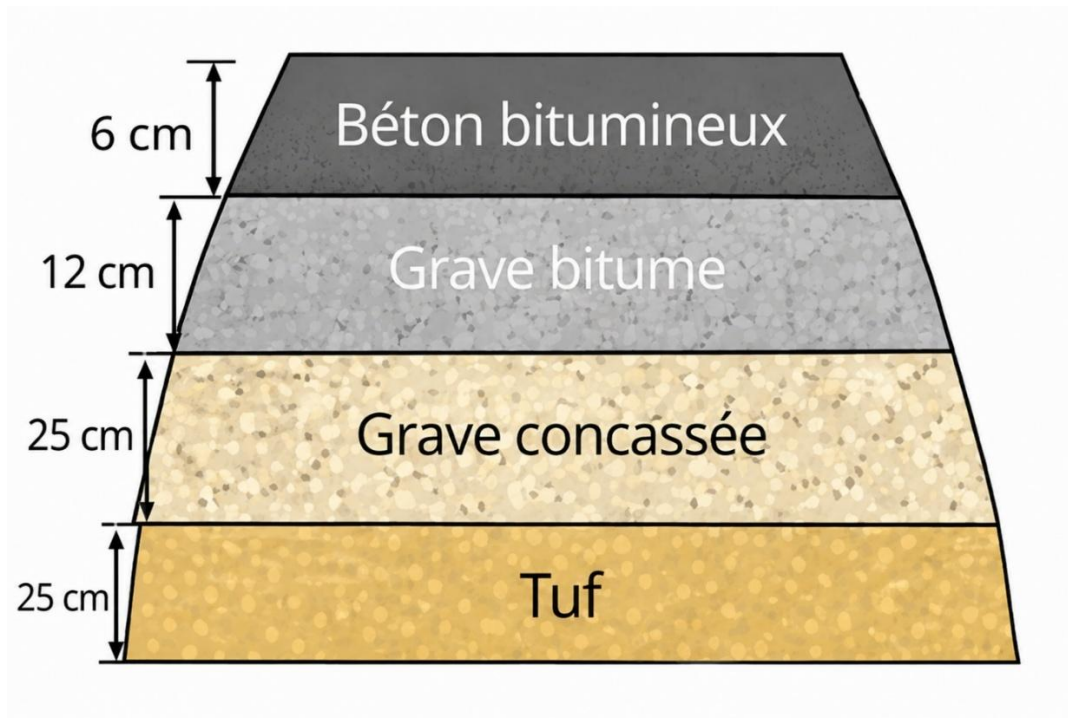


Figure 2. 7 - structure de chaussée souple « crée à l'aide d'un outil IA »

Tableau 2. 3 - Tableau récapitulatif des valeurs précédentes pour notre projet [1]

Vitesse(km/h)	80
Temps de Perception-réaction (s)	2.0 s
Coefficient de frottement longitudinal	0.39
Distance de freinage (m)	65
Distance d'arrêt (m)	109
Distance de visibilité de dépassement	
Minimale dm (m)	325
Normale dN (m)	500
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement dMd	200

2.9. Conclusion :

À la suite de l'analyse des caractéristiques géométriques et environnementales du site d'implantation de la route, ainsi que des données de base disponibles, nous avons procédé à l'application de la norme B40. Cette démarche nous a permis de déterminer les paramètres et valeurs de dimensionnement adaptés au contexte du projet, lesquels seront exploités dans l'étude technique développée au chapitre suivant.

Chapitre III : Caractéristiques géométriques de la route

3.1. Introduction :

L'étude géométrique est une étape essentielle dans la conception d'un projet routier, car elle permet de définir les caractéristiques du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers conformément aux normes et aux exigences de sécurité, de confort et de fluidité de circulation. Elle repose principalement sur la vitesse de référence, les conditions de visibilité, les paramètres cinématiques du mouvement des véhicules et les dispositions géométriques imposées par les normes en vigueur. Dans le cadre de notre projet, cette étude est menée pour une route de catégorie 1, située dans un environnement E1, avec une vitesse de référence de 80 km/h. Le présent chapitre a ainsi pour objectif de présenter les règles générales de conception géométrique, puis de les appliquer au tronçon étudié afin de justifier les choix adoptés pour le tracé routier.

3.2. Le tracé en plan :

3.2.1. Définition :

Le tracé en plan correspond à la projection de l'axe de la chaussée sur un plan horizontal. Il se compose d'une succession d'alignements droits, d'arcs de cercle et de courbes de raccordement progressives, assurant la continuité et la sécurité du déplacement des véhicules [9]



Figure 3. 1 - Les éléments géométriques du tracé en plan [9]

3.2.2. Règles à respecter dans la trace en plan :

Le tracé en plan doit être conçu de manière à assurer la sécurité, la lisibilité et la continuité géométrique de l'itinéraire. Il doit rester compatible avec la vitesse de référence retenue, notamment en ce qui concerne les rayons de courbure, les longueurs de raccordement et les distances de visibilité. La transition entre les différents éléments du tracé doit être progressive afin d'éviter toute rupture brusque susceptible de surprendre le conducteur. Par ailleurs, le tracé doit permettre une lecture claire de la direction générale de la route et s'intégrer de façon cohérente avec le profil en long et le profil en travers. Enfin, sa conception doit tenir compte

des contraintes du terrain ainsi que des considérations économiques liées aux terrassements et aux ouvrages.[9]



Figure 3. 2 - Règles de conception du tracé routier « créée à l'aide d'un outil IA »

3.2.3. Vitesse de référence :

La vitesse de référence des véhicules légers pour une section de route est la vitesse qui permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ses points particuliers. Le respect des conditions associées à cette vitesse garantit l'homogénéité des caractéristiques de la section routière, contribuant ainsi au confort et à la sécurité de la conduite. Dans notre projet, la vitesse de référence retenue est de 80 km/h.

3.2.4. Paramètre cinématique :

Les paramètres cinématiques regroupent les grandeurs nécessaires à l'analyse du mouvement des véhicules le long du tracé. Ils permettent d'évaluer les conditions de perception, de réaction et de freinage, ainsi que les exigences de visibilité.[1]

Dans une étude géométrique, ces paramètres sont indispensables, car ils relient directement les caractéristiques du conducteur et du véhicule à la configuration de la route. Ils servent à fixer les valeurs minimales de sécurité à respecter lors de la conception.[1]

3.2.4.1. Temps de perception- réactions :

Le temps de perception-réaction est le temps nécessaire pour la mise en œuvre du dispositif de freinage, lors d'une situation imprévue exigeant un ralentissement pour prendre en toute situation les mesures nécessaires à sa sécurité.

Les temps de perception-réaction interviennent pour :

- Le freinage
- Le dépassement

L'observation de la signalisation

Tableau 3. 1 - Catégorie 1 environnement E1. [1]

T = 1,8 s	Pour v > 80 km/h
T = 2 s	Pour v < 80 km/h

La distance de temps de réaction et de perception est donc : [1]

Tableau 3. 2 - La distance de temps de réaction et de perception [1]

T = 1,8 s	Pour v > 80 km/h
T = 2 s	Pour v < 80 km/h

3.2.4.2. Distance minimale de freinage :

La distance de freinage est la distance parcourue par un véhicule depuis le déclenchement de l'action de freinage jusqu'à l'arrêt complet, correspondant à l'annulation totale de la vitesse.

Lorsqu'un véhicule est soumis à une action de freinage, le ralentissement est assuré par :

- Le frottement entre les garnitures de frein et les organes de freinage (tambours ou disques) ;
- Le frottement des pneumatiques sur la surface de la chaussée. [8]

Il existe une distance minimale nécessaire pour permettre l'arrêt total d'un véhicule. La détermination de cette distance repose sur l'application du principe d'équivalence entre l'énergie cinétique du véhicule en mouvement et l'énergie dissipée par les forces de frottement lors du freinage. Dans ce cas, l'équation des forces est simplifiée en ne considérant que les termes principaux intervenant dans l'équilibre entre ces deux formes d'énergie.

$$d^0 = \frac{4V^2}{1000 \cdot f \cdot r_t} \quad [1]$$

Dans le cas général, la route a une déclivité e (pente ou rampe) e étant la déclivité (+ cas d'une rampe et - cas d'une pente).[28] La distance de freinage minimum dans le cas général cas de déclivité e est donnée par :[28]

$$d^0 = \frac{4v^2}{1000 (f r_t \pm e)} \quad [1]$$

Le coefficient de frottement longitudinal admissible variable avec la vitesse, sert à définir les valeurs minimales de la distance théorique de freinage, et par conséquence. Les paramètres des projets qui y sont liés comme la distance de visibilité le rayon minimal en point haut du profil en long. [8]

3.2.5. Visibilité :

La visibilité représente la longueur de route qu'un conducteur peut apercevoir devant lui dans des conditions normales de circulation. Elle constitue un paramètre central de la conception géométrique, car elle conditionne directement la sécurité des usagers.

3.2.5.1. Distance de visibilité de dépassement :

La distance de visibilité de dépassement est la longueur minimale de route visible nécessaire pour qu'un conducteur puisse dépasser un véhicule roulant plus lentement sans danger, en tenant compte de la présence éventuelle d'un véhicule arrivant en sens inverse.

Cette distance est généralement importante et constitue un critère exigeant pour le tracé des routes bidirectionnelles. Elle doit être assurée sur certaines sections privilégiées, afin de permettre un fonctionnement satisfaisant de la route.[1]

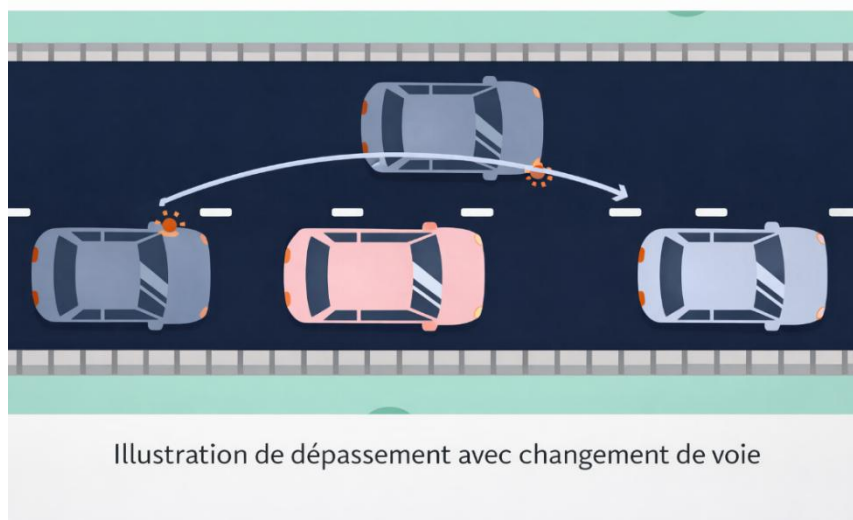


Figure 3. 3 - Illustration de dépassement avec changement de voie [8]

3.2.5.2. Distance de visibilité de dépassement minimale :

La distance de visibilité de dépassement minimale correspond à la valeur limite en dessous de laquelle le dépassement ne peut plus être considéré comme sûr dans des conditions normales. Elle représente donc un seuil minimal de sécurité.[1]

$$d_m \text{ (m)} = 4 V \text{ (km/h)} [1]$$

3.2.5.3. Distance de visibilité de dépassement normale :

La distance de visibilité de dépassement normale représente la valeur recommandée pour offrir au conducteur des conditions de dépassement confortables et sûres. Elle est généralement supérieure à la distance minimale.

$$d_n \text{ (m)} = 6 V \text{ (km/h)} [1]$$

3.2.5.4. Distance de visibilité de manœuvre de dépassement :

La distance de visibilité de manœuvre de dépassement correspond à la longueur effectivement nécessaire pour accomplir la manœuvre de dépassement elle-même, indépendamment des marges supplémentaires de sécurité. Elle intervient dans les vérifications géométriques et dans l'appréciation du confort de circulation.

Pour le projet, la valeur retenue est de 200 m

Tableau 3. 3 - valeurs retenues [1]

	V (km/h)	80
Toutes catégories	Distance de visibilité de dépassement	
	• Minimale d_m (m)	325
	• Normale d_n (m)	500
	Distance de visibilité de manœuvre de dépassement dM_d (m)	200

3.2.5.5. Distance de sécurité entre deux véhicules :

La distance de sécurité entre deux véhicules représente l'intervalle longitudinal minimal à maintenir entre un véhicule et celui qui le précède. Elle permet d'éviter les collisions en cas de ralentissement ou de freinage brusque.[1]

Cette distance varie avec la vitesse et les conditions de circulation. En pratique, elle est liée au temps de réaction du conducteur et à la nécessité de disposer d'une marge de sécurité suffisante. [1]

Dans les études routières, cette distance est utilisée comme indicateur de sécurité et comme critère complémentaire d'appréciation de la visibilité disponible. [1]



Figure 3. 4 - Distance de sécurité sur autoroute « créée à l'aide d'un outil IA »

3.3. Les éléments d'un tracé en plan :

3.3.1. Alignements droits :

Les alignements droits représentent un composant essentiel du tracé en plan dans la conception routière. Leur dimensionnement est fortement influencé par la vitesse de référence adoptée pour le projet ainsi que par les contraintes imposées par la topographie du site. Un alignement droit est principalement défini par sa longueur, paramètre déterminant pour le confort et la sécurité de conduite.

Cependant, il est recommandé de limiter la longueur excessive des sections rectilignes, car celles-ci peuvent engendrer une conduite monotone et favoriser la baisse de vigilance du conducteur. De plus, des alignements trop longs peuvent accentuer les effets d'éblouissement, notamment lors de la circulation nocturne. La longueur maximale admissible est exprimée par la relation suivante :

$$L_{\max} = 60 v$$

Avec v exprimée en m/s.

L'inverse, une longueur minimale doit être respectée afin d'éviter une succession rapide de changements de direction, ce qui pourrait augmenter la fatigue du conducteur et nuire au confort de conduite. Cette longueur minimale est donnée par :

$$L_{\min} = 5v$$

Avec v exprimée en m/s [9]

3.3.1.1. Longueur minimale d'un alignement droit :

La longueur minimale d'un alignement droit doit être suffisante pour assurer une transition lisible entre deux courbes successives et pour permettre au conducteur de stabiliser son véhicule avant d'aborder l'élément suivant. [9]

En pratique, cette longueur minimale dépend de la vitesse de référence et des caractéristiques des courbes voisines. Elle doit éviter l'impression d'un tracé haché ou trop discontinu. [9]

3.3.1.2. Longueur maximale d'un alignement droit :

La longueur maximale d'un alignement droit n'est pas seulement une question d'implantation technique ; elle relève aussi de la sécurité et du confort psychologique de l'utilisateur. Un alignement trop long peut générer une baisse de vigilance, une conduite monotone et une augmentation de la vitesse pratiquée. [9]

Dans le cadre du projet, la faible sinuosité moyenne relevée dans le chapitre 1 constitue un avantage, mais elle doit rester compatible avec la nécessité d'éviter des sections excessivement monotones. [9]

3.3.1.3. Devers en alignement droit :

En alignement droit, le dévers correspond à la pente transversale donnée à la chaussée pour assurer l'évacuation des eaux de ruissellement. Ce dévers est généralement faible et symétrique, sauf dispositions particulières. [9]

Son rôle principal est hydraulique. Il contribue à préserver l'état de la chaussée, à éviter la stagnation de l'eau et à maintenir de bonnes conditions d'adhérence. [9]

3.3.2. Arcs de cercle :

Les arcs de cercle constituent les éléments courbes du tracé en plan, assurant la liaison géométrique entre deux alignements rectilignes. Ils permettent de garantir la continuité de l'axe routier tout en assurant une trajectoire stable pour les véhicules. Lorsqu'un véhicule circule à la vitesse de référence (V_r), la courbe doit être dimensionnée de manière à ce que son franchissement s'effectue dans des conditions de sécurité satisfaisantes, sans perte d'adhérence ni risque de dérapage.

En situation de virage, le véhicule est soumis à un ensemble d'actions mécaniques, notamment son poids PPP , la force centrifuge (F_c) générée par le mouvement curviligne, ainsi que les effets liés à l'accélération de la pesanteur (g). Afin de compenser partiellement l'effet de la force centrifuge et d'améliorer la stabilité latérale, la chaussée est généralement dotée d'un dévers orienté vers l'intérieur de la courbe. Ce dévers contribue également à améliorer les conditions de visibilité et de confort, en particulier dans les zones contraintes telles que les tranchées. [9]

L'analyse de l'équilibre dynamique du véhicule, notamment au niveau des essieux, permet de déterminer la relation entre ces forces et d'établir les conditions de stabilité en courbe. Cette étude se traduit par l'expression suivante :

Selon la norme algérienne B40, le rayon minimal d'un arc de cercle est déterminé en fonction de la vitesse de référence, du dévers appliqué et du coefficient de frottement transversal. La condition de sécurité contre le dérapage s'exprime par la relation suivante :

$$R \geq \frac{(v + 20)^2}{(d_{max} + f_t)} [9]$$

- R : rayon en plan (m)
- V_r : vitesse de référence (km/h)
- d : dévers de la chaussée (%)
- f_t : coefficient de frottement transversal

- Types de rayons minimaux en plan (B40) :

La norme B40 distingue plusieurs types de rayons minimaux en fonction de la valeur du dévers appliqué

- Rayon horizontal minimal absolu (RHM) :

Le rayon horizontal minimal absolu RHM correspond au rayon minimal admissible pour une vitesse de référence V_r , lorsque le dévers atteint sa valeur maximale autorisée d_{max} . Aucun rayon inférieur à cette valeur n'est autorisé [1].

Il est donné par :

$$R_{hm} \geq \frac{v^2}{127.2 \cdot d_{min}} [1]$$

Rayon horizontal minimal normal (RHN) :

Le rayon horizontal minimal normal RHN est défini comme le rayon minimal absolu correspondant à la vitesse de référence immédiatement supérieure, soit $V_r + 20$ km/h, conformément aux recommandations de la norme B40 [B40].

Il s'exprime par :

$$R_{hn} \geq \frac{(v + 20)^2}{127 \cdot (d_{max} + f_t)} [1]$$

- Rayon horizontal déversé minimal (RHD) :

Le rayon horizontal déversé minimal RHD correspond au rayon au-dessous duquel la chaussée est obligatoirement déversée vers l'intérieur du virage. Pour ce rayon, l'accélération

centrifuge résiduelle admise à la vitesse de référence V_r est compensée par le dévers minimal $d_{\min}$

Il est donné par la relation suivante :

$$R_{hd} \geq \frac{v^2}{127.2 \cdot d_{\min}} \quad [1]$$

Rayon minimal non déversé (RND) :

Le rayon minimal non déversé RND est le rayon pour lequel un véhicule peut circuler à la vitesse de référence V_r sur une chaussée présentant un dévers minimal $d_{\min}$ orienté vers l'extérieur du virage. Dans ce cas, la stabilité du véhicule est assurée uniquement par le frottement transversal admissible

Il s'exprime par :

$$R_{nd} \geq \frac{vr^2}{127 \cdot (f_t - d_{\min})} \quad [1]$$

3.3.3. Courbes de raccordement progressives :

3.3.3.1. Généralités sur les courbes de raccordement progressives

La courbe de raccordement progressive est un élément géométrique inséré entre un alignement droit et un arc de cercle. Le passage direct d'un alignement droit à une courbe circulaire ne peut pas se faire de manière brutale ; il doit être progressif afin d'assurer le confort et la sécurité des usagers. Pour cette raison, les courbes de raccordement progressives sont obligatoires pour les itinéraires de catégorie 1. [1]

Le long d'un raccordement progressif, et dans les cas usuels, le dévers varie de manière linéaire en fonction de la courbure, ce qui permet une transition progressive des efforts subis par le véhicule.

3.3.3.2. Rôle des courbes de raccordement progressives :

Les courbes de raccordement progressives permettent d'assurer une transition graduelle entre les sections rectilignes et les courbes circulaires. Elles jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la stabilité transversale des véhicules et dans l'augmentation du confort de conduite, en limitant les variations brusques de trajectoire. De plus, elles facilitent l'introduction progressive du dévers, ce qui contribue à une meilleure adaptation dynamique des véhicules. Ainsi, ces courbes participent à la réalisation d'un tracé homogène, facilement perceptible par les usagers, tout en respectant les critères de sécurité et de conception routière. [10]

3.3.3.3. Principales courbes de raccordement progressif :

Plusieurs types de courbes de raccordement progressif sont utilisés en ingénierie routière, parmi lesquels :

▪ Parabole cubique :

La courbure de la parabole cubique est proportionnelle à l'abscisse mesurée à partir du point d'inflexion situé sur la tangente. Cette courbe présente un emploi limité, car sa courbure maximale est rapidement atteinte. Elle convient uniquement aux raccords de très grands rayons et est principalement utilisée dans le tracé des voies ferrées [10]

▪ Lemniscate :

La lemniscate est une courbe dont la courbure est proportionnelle à la longueur du rayon vecteur, mesurée à partir du point d'inflexion ou du centre de symétrie. Son utilisation reste moins courante en conception routière [10]

▪ Clothoïde :

La clothoïde est la courbe de raccordement progressif la plus utilisée en tracé routier. Sa courbure est proportionnelle à l'abscisse curviligne, mesurée à partir du point de courbure nulle. Elle permet le raccordement progressif de deux éléments géométriques du tracé formant entre eux un angle quelconque [10]

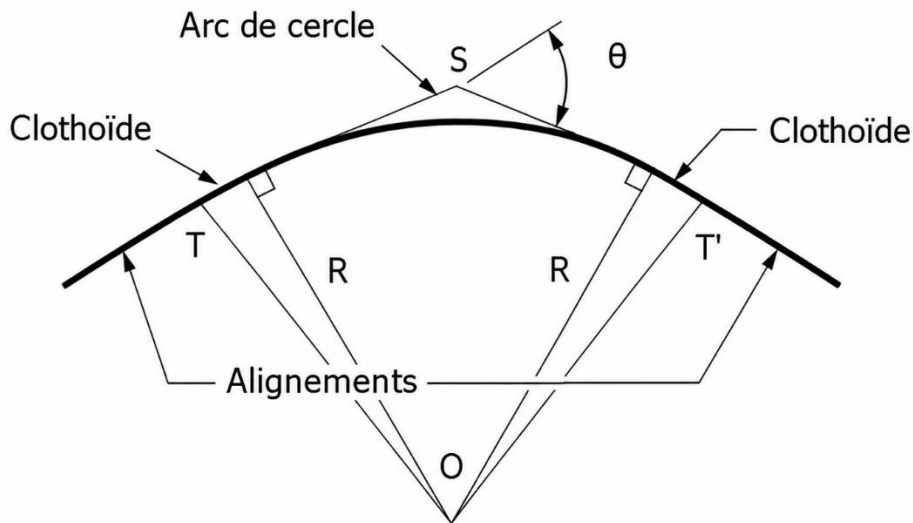
Clothoïde présente deux propriétés fondamentales qui justifient son emploi. Sa courbure $L \propto \frac{1}{R}$ est proportionnelle à l'abscisse curviligne L , ce qui s'exprime par la relation suivante :

$$R \times L = A^2 \quad [1]$$

Où :

- L : longueur de la clothoïde (m)
- R : rayon de la courbe circulaire (m)
- A : paramètre de la clothoïde

Parcourue à vitesse constante, la clothoïde correspond à la trajectoire d'un véhicule dont l'angle de braquage du volant augmente de manière régulière, assurant ainsi une conduite plus confortable.[10]



Position des clothoïdes

Figure 3. 5 - Les éléments de la clothoïde [10]

- R : Rayon du cercle (rayon de raccordement circulaire).
- L : Longueur de la branche de clothoïde.
- A : Paramètre de la clothoïde.
- KA : Origine de la clothoïde (point de début).
- KE : Extrémité de la clothoïde (point de fin).
- ΔR : Ripage (déplacement radial entre la clothoïde et le cercle).
- τ : Angle des tangentes.
- TC : Tangente courte.
- TL : Tangente longue.
- σ : Angle polaire.
- SL : Corde KE – KA.
- M : Centre du cercle, d'abscisse XM.
- XM : Abscisse du centre du cercle M par rapport à KA.
- YM : Ordonnée du centre du cercle M par rapport à KA.

Les raccordements à courbure progressive doivent satisfaire à trois catégories de conditions essentielles : la condition optique, la condition dynamique et la condition de gauchissement.

3.3.3.4. Condition optique :

La condition optique a pour objectif d'assurer aux usagers une visibilité satisfaisante de la route ainsi que des obstacles éventuels. Elle vise notamment à rendre la courbure du tracé clairement perceptible à une distance suffisante, afin de permettre une anticipation correcte du virage et de garantir un niveau élevé de sécurité de conduite. [1]

Selon la règle générale de calcul, la longueur minimale de la courbe de raccordement progressive imposée par la condition optique est donnée par la relation suivante :

$$L = \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R} \quad [1]$$

Avec :

L : longueur de la clothoïde

R : rayon de la courbure

ΔR : le ripage du cercle raccordé

Sa valeur dépend du rayon : [1]

Pour $R > 5000\text{m}$ on adopte $\Delta R = 2,5\text{ m}$

$2000 < R \leq 5000\text{ m}$ on adopte $\Delta R = 1,75 \text{ à } 2,5\text{ m}$

$1000 < R \leq 2000\text{ m}$ on adopte $\Delta R = 1 \text{ à } 1,75$

$R < 1000\text{ m}$ on adopte $\Delta R = 0,5 \text{ à } 1$

Lorsque le rayon de l'arc de cercle est inférieur à 1000 m, la norme B40 recommande d'adopter une variation de rayon comprise entre :

$$\Delta R = [0,5\text{m} ; 1\text{m}] \text{ selon le b40 } [1]$$

3.3.3.5. Condition de gauchissement :

La condition de gauchissement a pour objectif d'assurer à la route un aspect géométrique satisfaisant, notamment dans les zones où le dévers varie. Elle concerne principalement la transition du dévers le long de la courbe de raccordement progressive.

Cette condition se traduit par la limitation de la pente relative du profil en long du bord de la chaussée déversée par rapport à celle de l'axe de la chaussée. Cette pente relative est limitée par la relation suivante [1]

$$\Delta P = \frac{0,5}{V_r} \quad [1]$$

Où :

- ΔP : pente relative maximale admissible
- V_r : vitesse de référence (km/h)
- La longueur minimale de la courbe de raccordement imposée par la condition de gauchissement est donnée par la règle générale suivante :

$$\bullet \quad L = \frac{L \cdot \Delta d \% \cdot R}{50} [1]$$

Avec :

- Δd : variation du dévers (%)
- L : longueur de raccordement (m)
- R : rayon de raccordement (m)

3.3.3.6. Condition dynamique :

La condition dynamique vise à assurer une introduction progressive de la courbure et du dévers afin de respecter les exigences de stabilité des véhicules et de confort dynamique des usagers. Elle permet de limiter la variation de la sollicitation transversale subie par le véhicule par unité de temps [1]

Selon la norme B40, la longueur de la courbe de raccordement progressive doit satisfaire à la relation suivante :

$$L \leq \frac{0.2 \cdot V^2}{3.6} \left(\frac{V^2}{127R} - \Delta d \right) [1]$$

Où :

- L : longueur de la courbe de raccordement (m)
- V_r : vitesse de référence (km/h)
- R : rayon de l'arc de cercle (m)
- Δd : variation du dévers (%)

3.3.3.7. Coefficient de frottement transversal :

Le coefficient de frottement transversal admissible dépend directement de la vitesse de circulation. Il constitue un paramètre déterminant dans le dimensionnement géométrique du tracé en plan, puisqu'il permet de fixer le rayon minimal compatible avec une valeur donnée de dévers, ou inversement d'évaluer le dévers requis pour un rayon imposé.

Par ailleurs, le frottement transversal et le frottement longitudinal ne peuvent être considérés indépendamment. Leur combinaison doit respecter la condition de stabilité définie par l'ellipse d'adhérence. En effet, la résultante vectorielle de ces deux composantes doit demeurer à l'intérieur de cette enveloppe limite afin d'assurer l'adhérence pneu-chaussée et de prévenir toute perte de contrôle du véhicule. [1]

3.4. Profil en long :

3.4.1. Définition :

Le profil en long est une représentation graphique en coupe verticale réalisée suivant l'axe de la route, qui montre l'évolution des altitudes du terrain naturel et de la ligne projetée (ligne rouge) en fonction des distances (abscisses).

Il permet d'étudier et de définir les pentes, les rampes, les points hauts et bas, ainsi que les conditions de terrassement et d'écoulement des eaux.[12]

3.4.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Le profil en long doit être conçu de manière à assurer :

- Une bonne visibilité ;
- Une continuité des pentes ;
- Un confort satisfaisant ;
- Des terrassements économiquement raisonnables ;
- Une cohérence avec le tracé en plan.

Il faut éviter les changements brusques de déclivité et rechercher des enchaînements souples entre les différentes pentes.

3.4.3. Les éléments de composition du profil en long

Les éléments géométriques du profil en long sont les parties qui définissent la forme verticale de la route.[12]

Selon le règlement B40 (Conception géométrique des routes – Algérie), le profil en long comprend :

- Les pentes ou rampes ($i\%$)
- Les raccordements verticaux paraboliques (convexes ou concaves)
- Les points caractéristiques : point haut (PH), point bas (PB)
- Les points de tangence (T1, T2)
- La longueur du raccordement (L)

Ces éléments permettent d'assurer la sécurité, la visibilité et le confort des usagers.[12]

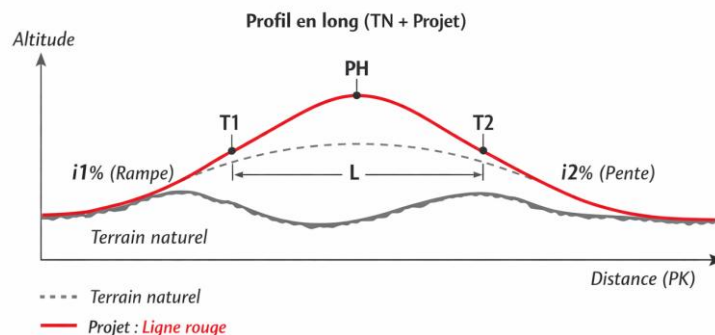


Figure 3. 6 - Eléments géométriques du profil en long [9]

3.4.3.1. Les alignements :

Les alignements en profil en long correspondent aux sections à déclivité constante. Ils peuvent être horizontaux, en pente ou en rampe. Ils constituent les éléments simples du profil vertical.[12]

3.4.3.2. La déclivité :

Les déclivités représentent l'inclinaison des alignements du profil en long.

On appelle rampe toute déclivité positive lorsque la route s'élève dans le sens du parcours, et pente toute déclivité négative lorsque la route s'abaisse.[12]

Le choix des valeurs de rampes et de pentes dépend de plusieurs paramètres techniques, notamment :

- La puissance des véhicules,
- Le type de véhicules (véhicules légers, poids lourds),
- L'intensité du trafic (risque de gêne des véhicules lents en montée),
- La capacité de freinage et les conditions de sécurité en descente.

Ainsi, la détermination des déclivités vise à assurer la sécurité, le confort et la fluidité de la circulation.

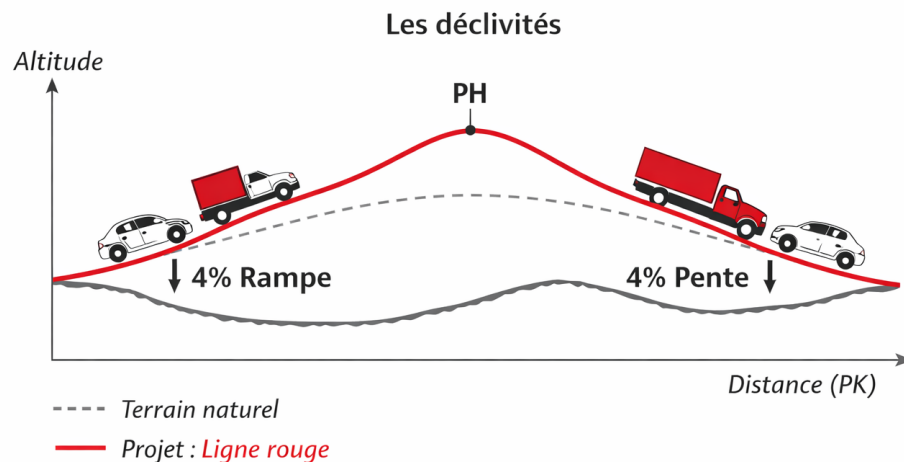


Figure 3. 7 - Les déclivités [9]

3.4.4. Les raccordements verticaux :

Lorsque deux déclivités de sens contraires (une rampe et une pente) se rencontrent, elles doivent être reliées par une courbe de raccordement en profil en long.

Ce raccordement se fait par une courbe circulaire en plan vertical, caractérisée par un rayon vertical R_v

Le choix du rayon R_v doit permettre :

D'assurer le confort des usagers (transition progressive sans choc),

De garantir une visibilité suffisante pour la sécurité de circulation.

Ainsi, le raccordement en profil en long permet une transition douce entre deux pentes opposées.

La loi de R_v :

$$R_v = \frac{L}{\Delta i} [4]$$

Avec :

R_v : rayon vertical de raccordement (m)

L : longueur de la courbe verticale (m)

$\Delta i = |i_2 - i_1|$: différence des déclivités (en valeur décimale)

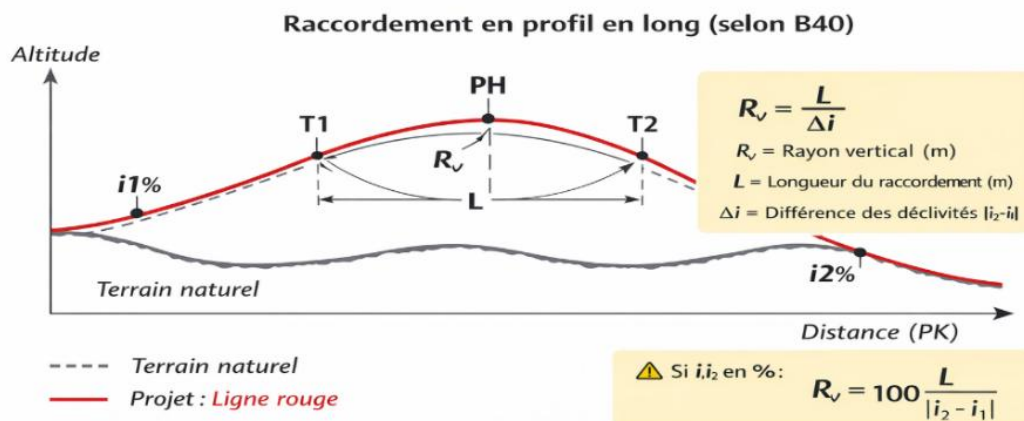


Figure 3. 8 - Raccordement en profil en long [1]

3.4.4.1. Raccordement convexe (angle saillant) :

Un angle saillant correspond à un raccordement vertical convexe, formant un point haut (PH) en profil en long. [1]

- Le dimensionnement du rayon minimal admissible R_v est déterminé en fonction :
- De la position de l'œil du conducteur
- De la hauteur de l'obstacle éventuel
- De la distance d'arrêt
- De la distance de visibilité requise
- Selon le règlement (B40), pour une chaussée unidirectionnelle [1], le rayon minimal absolu doit assurer :
- Une hauteur d'œil de 1,10 m
- La visibilité d'un obstacle de 0,15 m
- Une distance de visibilité au moins égale à la distance d'arrêt (catégorie 1).

3.4.4.2. Raccordement concave (angle rentrant) :

Les rayons minimaux absolus des raccords paraboliques en angle rentrant doivent satisfaire deux conditions (B40) :

3.4.4.2.1. Condition de visibilité nocturne :

Pour $V > V'$ avec $V' = 80$ km/h (catégorie 1), on considère :

- Faisceau des phares horizontal,
- Hauteur des phares : 0,75 m,
- Objet placé à la distance d'arrêt $d_1(V_r)$

La condition s'écrit :

$$R'_{vm} = \frac{(V_r)d^2}{1.5 + 0.035 d(V_r)} [1]$$

3.4.4.2.2. Condition de confort (accélération verticale) :

Pour $V > V'$, on limite l'accélération verticale à $g/40$ (catégorie 1)

La condition s'écrit :

$$R'_{vm} = c \cdot V^2 r [1]$$

Pour la catégorie 1 :

$$C=0.30$$

3.4.4.2.3. Rayon minimal normal (angle rentrant) :

Le rayon minimal normal est obtenu par :

$$R'_{VN}(V_r) = R'_{Vm}(V_r + 20) [1]$$

3.4.4.3. Remblai :

Une route est dite en remblai lorsque le niveau de la chaussée est supérieur à celui du terrain naturel.[12]

Le remblai consiste à apporter des matériaux (terre, grave, etc.) afin d'élever la plateforme et atteindre le niveau projeté.[12]

3.4.4.4. Déblai :

Une route est dite en déblai lorsque le niveau de la chaussée est inférieur à celui du terrain naturel. [12]

Le déblai consiste à excaver ou enlever des matériaux afin d'abaisser le terrain jusqu'au niveau de la plateforme projetée. [12]

3.4.5. Application :

Tableau 3. 4 - Tableau récapitulatif des valeurs précédentes [1]

Profil en long : Raccordements paraboliques		
Angle saillant Bidirectionnel		
. min. absolu (m)	RVml	2000
min normal (m)	RVNl	12000
Angle rentrant		
min absolu (m)	RVm	1200
min normal (m)	RVN	50500
Déclivités maximales		
Déclivité maxi %	P maxi	4,27 %

Tableau 3. 5 - Tableau récapitulatif des valeurs de profil en long

	PK (station)	Pente	Rampe	Rayon
1	0+0.00	/	0.14%	-2500
2	0+160.00	-2.89%	/	1200
3	0+295.00	/	6.28%	-2000
4	0+500.00	/	0.79%	/
5	0+740.00	/	1.25%	5500
6	0+1339.00	/	4.27%	1200

7	0+1600.00	1.31%	/	5000
8	0+1920.00	-0.54%	/	2500
9	0+2780.00	/	1.77%	8000
10	0+3460.00	/	2.45%	/

3.5. Profil en travers :

3.5.1 Introduction :

Les profils en travers représentent des sections transversales réalisées perpendiculairement à l'axe de la chaussée. Ils permettent de décrire la configuration géométrique de la route ainsi que l'ensemble des éléments constituant la plateforme routière. Ces profils sont essentiels pour l'étude géométrique de la route et pour l'évaluation des volumes de terrassement nécessaires à la réalisation du projet. [12]

3.5.2 Types de profil en travers :

3.5.2.1 Profil en travers type (profil normal) :

Le profil en travers type constitue un modèle de référence regroupant l'ensemble des caractéristiques géométriques et structurelles de la route. Il présente toutes les dimensions et les détails constructifs nécessaires à la réalisation de l'infrastructure, notamment les largeurs des voies de circulation, des accotements et des différentes bandes, ainsi que la géométrie des talus et l'épaisseur des différentes couches constituant la structure de la chaussée.

Ce profil représente les différents éléments constructifs de la route dans toutes les situations possibles, telles que les sections en remblai, en déblai ou en terrain mixte. L'application du profil en travers type sur le terrain naturel, tout en respectant les côtes du projet, permet de déterminer les quantités de terrassement nécessaires à la construction de la route. [9]

3.5.2.2 Profil en travers courant (profil particulier) :

Le profil en travers courant correspond aux sections transversales établies à intervalles réguliers le long du tracé de la route, généralement espacées de 10 à 25 mètres. Ces profils constituent des éléments fondamentaux dans les études de conception routière, car ils permettent de représenter la variation du terrain naturel par rapport au profil du projet et servent principalement au calcul des cubatures de déblais et de remblais. [9]

3.5.3 Les éléments de composition du profil en travers :

L'emprise de la route :

L'emprise de la route correspond à la surface du terrain naturel réservée à la construction de la route ainsi qu'à ses dépendances. Elle délimite généralement le domaine public affecté à l'infrastructure routière. [1]

L'assiette de la route :

L'assiette représente la surface du terrain effectivement occupée par la route et ses aménagements. Elle correspond à la zone sur laquelle reposent les différents éléments de la plateforme routière. [1]

La plate-forme :

La plate-forme est la surface supérieure de la route comprenant la chaussée, les accotements et éventuellement le terre-plein central. Elle constitue la base sur laquelle repose la structure de la chaussée. [1]

3.5.3.1 Le dévers de La chaussée :

3.5.3.1.1 Dévers en alignement :

Le dévers correspond à la pente transversale appliquée à la chaussée. En section rectiligne, sa fonction essentielle est d'assurer un drainage efficace des eaux pluviales, afin de prévenir l'accumulation d'eau en surface et de réduire le risque d'aquaplanage.

L'épaisseur du film d'eau susceptible de se former sur la chaussée dépend de deux catégories principales de facteurs :

- Facteurs exogènes, indépendants des caractéristiques géométriques de la route, tels que l'intensité et la durée des précipitations ;
- Facteurs liés à l'infrastructure, notamment la nature du revêtement, sa texture superficielle ainsi que son état de conservation. [1]

3.5.3.1.2 Dévers en courbe :

En section courbe, le dévers remplit plusieurs fonctions essentielles. Il contribue tout d'abord à assurer un écoulement efficace des eaux de ruissellement, limitant ainsi la stagnation d'eau sur la chaussée. Par ailleurs, il permet de compenser partiellement l'effet de la force centrifuge exercée sur les véhicules, ce qui améliore leur stabilité dynamique et renforce la sécurité de circulation. Enfin, le dévers participe à une meilleure perception visuelle du tracé, en favorisant le guidage optique des usagers et en rendant l'alignement plus lisible. [1]

3.5.3.1.3 Dévers des accotements :

Le choix du dévers des accotements repose principalement sur des exigences liées à l'évacuation des eaux de ruissellement, à la sécurité des usagers ainsi qu'aux contraintes d'exploitation et d'entretien.

La surlargeur de chaussée destinée à supporter la bande de guidage adopte généralement la même pente transversale que la chaussée principale. En revanche, la pente transversale de la bande stabilisée est définie en fonction de la configuration géométrique du tracé, notamment selon les situations suivantes :

- En alignement droit et à l'intérieur des courbes présentant un dévers inférieur ou égal à 5 % ;
- À l'intérieur des courbes dont le dévers est supérieur à 5 % ;
- À l'extérieur des courbes lorsque le dévers est inférieur ou égal à 3 %, la pente est alors fixée à 5 % vers l'extérieur afin de garantir un bon écoulement des eaux. [1]

Tableau 3. 6 - Le dévers des accotements [1]

Situation géométrique	Élément de la chaussée	Dévers recommandé
Alignement droit	Accotement / bande stabilisée	Même dévers que la chaussée
Intérieur de courbe avec dévers $\leq 5 \%$	Accotement / bande stabilisée	Même dévers que la chaussée
Intérieur de courbe avec dévers $> 5 \%$	Accotement / bande stabilisée	Même dévers que la chaussée
Extérieur de courbe avec dévers $\leq 3 \%$	Bande stabilisée	5 % vers l'extérieur

3.5.3.2 La largeur roulable :

Un long véhicule à deux essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit. Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une surlargeur par rapport à sa largeur normale en alignement. [10]

$$S = \frac{L^2}{2R} [10]$$

Avec :

L : longueur du véhicule

R : rayon de l'axe de la route

3.5.3.3 La plateforme :

La chaussée :

La chaussée constitue la partie de la route destinée à la circulation des véhicules. Elle doit posséder une résistance mécanique suffisante afin de supporter les charges et les sollicitations dues au trafic sans subir de déformations excessives. Pour cela, elle est constituée de plusieurs couches de matériaux présentant des caractéristiques mécaniques supérieures à celles du sol naturel. [13]

Les accotements :

Les accotements sont les zones situées entre la limite géométrique de la chaussée et la limite de la plate-forme. Ils contribuent à la stabilité de la chaussée, assurent le drainage des eaux et offrent un espace de sécurité pour les usagers. D'un point de vue structurel, ils peuvent comprendre une surlargeur de chaussée supportant la bande de guidage, une bande stabilisée et une berme engazonnée jusqu'à la limite de la plateforme. [1]

Les glissières de sécurité :

Les glissières de sécurité sont des dispositifs installés sur certains accotements, généralement à proximité de la chaussée. Elles ont pour fonction de retenir ou de rediriger les véhicules susceptibles de quitter la chaussée afin de réduire les risques d'accident et d'améliorer la sécurité des usagers. [12]

3.5.3.4 Assiette :

L'assiette de la route comprend la plate-forme ainsi que les différents aménagements destinés à assurer la stabilité de l'infrastructure et l'évacuation des eaux.

Les talus :

Les talus sont des surfaces inclinées réalisées lors des opérations de terrassement, soit en déblai, soit en remblai. Leur pente dépend principalement de la nature et de la cohésion des sols afin d'assurer la stabilité des ouvrages. [12]

Les fossés :

Les fossés sont des tranchées longitudinales aménagées le long des accotements afin de collecter et d'évacuer les eaux de ruissellement provenant de la chaussée et des talus. Ils peuvent présenter différentes sections telles que triangulaire, trapézoïdale ou rectangulaire. [12]

Les banquettes :

Les banquettes sont des surélévations en terre, parfois renforcées par un parement maçonné ou bétonné, aménagées à la limite extérieure de l'accotement afin d'améliorer la sécurité des usagers. Dans certains cas, elles peuvent être remplacées par des barrières de sécurité ou des parapets. [12]

Les bermes :

Les bermes sont des zones non revêtues situées à l'extérieur des accotements, généralement au-delà de la bande d'arrêt d'urgence ou de la bande dérasée de droite. Elles participent à la stabilité de la plateforme et au drainage des eaux.

Le balisage :

Le balisage consiste en l'installation de dispositifs de signalisation destinés à guider les usagers et à les avertir de la présence d'éventuels dangers sur la route. [12]

3.5.3.5 L'emprise :

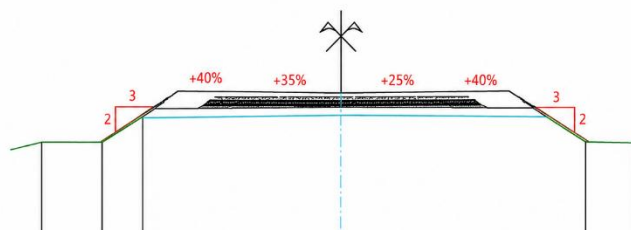
L'emprise désigne la largeur totale du terrain réservée à la réalisation et à l'exploitation du projet routier. Elle comprend non seulement la plateforme de la route, mais également l'ensemble des dépendances nécessaires à son bon fonctionnement, telles que les accotements, les fossés, les talus et les ouvrages annexes. L'emprise constitue ainsi la limite physique du domaine occupé par l'infrastructure. Sa définition est importante dans les études routières, car elle permet de prévoir les besoins fonciers du projet et d'assurer une bonne intégration de la

route dans son environnement. Elle joue également un rôle dans l'évaluation des terrassements, de l'assainissement et des contraintes liées à l'occupation du sol.[10]

3.5.4 Application du projet :

TV : 2.92 m²
SH : 1.22 m²
X = 897.50
Y = 1029.97
Gisement : 25.64 gr

PC : 1191.00 m



Altitudes TN	1206.80	1206.80	1205.60	1205.61	1205.68	1205.72
Distances à l'axe TN	-4.39	-3.31	0.00		7.23	9.70
Distances partielles TN	1.09	2.64			7.23	2.47
Altitudes Projet	1167.67	1168.37	1168.28	1169.00	1168.90	1168.48
Distances à l'axe Projet	-7.39	-5.09	-3.50	0.00	3.50	6.20
Distances partielles Projet	2.39	1.50	3.50	1.50	2.70	

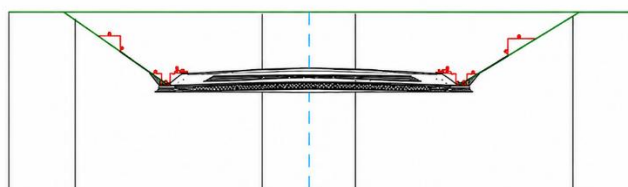
coupe A

Figure 3. 9 - profil en travers types

Bàlai : 66.58 m²
SB : 0.42 m²
TB : 0.89 m²
PC : 2.00 m²

X = 276.68
Y = 1534.64
Gisement : 55.78 gr

PC : 1206.00 m



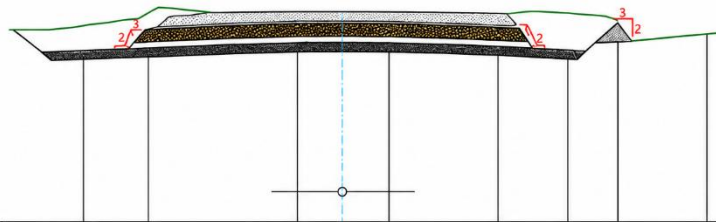
Altitudes TN (m)	1203.25	1202.28	1202.18	1202.09	1203.11	1203.17
Distances à l'axe TN (m)	-8.70	-6.10	-1.90	0.00	1.80	5.80
Distances partielles TN (m)	2.60	4.20	—	1.80	4.000	
Altitudes Projet (m)	1203.03	1201.36	1201.44	1201.36	1201.30	1203.16
Distances à l'axe Projet (m)	-8.50	-3.50	-1.75	0.00	1.75	5.50
Distances partielles Projet (m)	5.00	1.75	0.90	1.75	1.75	3.30

Figure 3. 10 - Profil en travers déblai

Remblai : 0,13 m²
 Déblai : 4,64 m²
 SB : 0,42 m²
 GB : 0,89 m²
 GC : 2,00 m²

X = -2444,44
 Y = 1500,57
 Gisement : 342,74 gr

PC : 1245,00 m



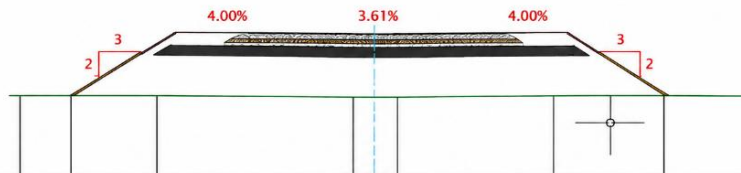
Altitudes TN (m)	1238.79	1238.73	1238.73	1238.69	1238.66	1238.60
Distances à l'axe TN (m)	-10.85	-6.35	0.00	1.60	2.23	4.35
Distances partielles TN (m)	4.50	4.32	—	0.86	1.95	
Altitudes Projet (m)	1238.73	1238.91	1239.05	1239.18	1239.14	1238.63
Distances à l'axe Projet (m)	-10.85	-6.35	0.00	1.60	2.23	4.35
Distances partielles Projet (m)	4.30	4.30	0.50	3.50	1.40	2.35

Figure 3. 11 - Profil en travers mixte

TV : 2.88 m²
 SH : 1.14 m²

X = 639.90
 Y = 1139.72
 Gisement : 26.32 gr

PC : 1202.00 m



Altitudes TN (m)	1206.80	1206.80	1205.60	1205.61	1205.68	1205.72
Distances à l'axe TN (m)	-10.28	-9.60	-0.97	0.00	4.22	10.20
Distances partielles TN (m)		0.67	8.93	0.97	4.22	5.98
Altitudes Projet (m)	1205.93	1208.11	1208.16	1208.03	1207.89	1205.70
Distances à l'axe Projet (m)	-8.28	-5.00	-3.50	0.00	3.50	5.00
Distances partielles Projet (m)		3.28	1.50	3.50	3.50	1.50

Figure 3. 12 - Profil en travers remblai

3.6. Aménagement de carrefour :

3.6.1. Introduction :

L'aménagement de carrefour constitue une étape importante dans un projet routier, car il permet d'assurer la liaison entre plusieurs voies de circulation. Un carrefour bien conçu améliore la sécurité des usagers, facilite les mouvements des véhicules et réduit les risques de conflits et d'accidents. Son étude doit tenir compte du trafic, de la vitesse, de la visibilité et des caractéristiques géométriques de la route.

3.6.2. Conception géométrique des carrefours :

3.6.2.1. Définition :

La conception géométrique des carrefours consiste à définir la forme, les dimensions et l'organisation d'un carrefour afin d'assurer une circulation fluide, sûre et adaptée aux besoins des usagers. Elle concerne notamment la disposition des voies, les rayons de giration, les angles d'intersection, les îlots et les distances de visibilité.

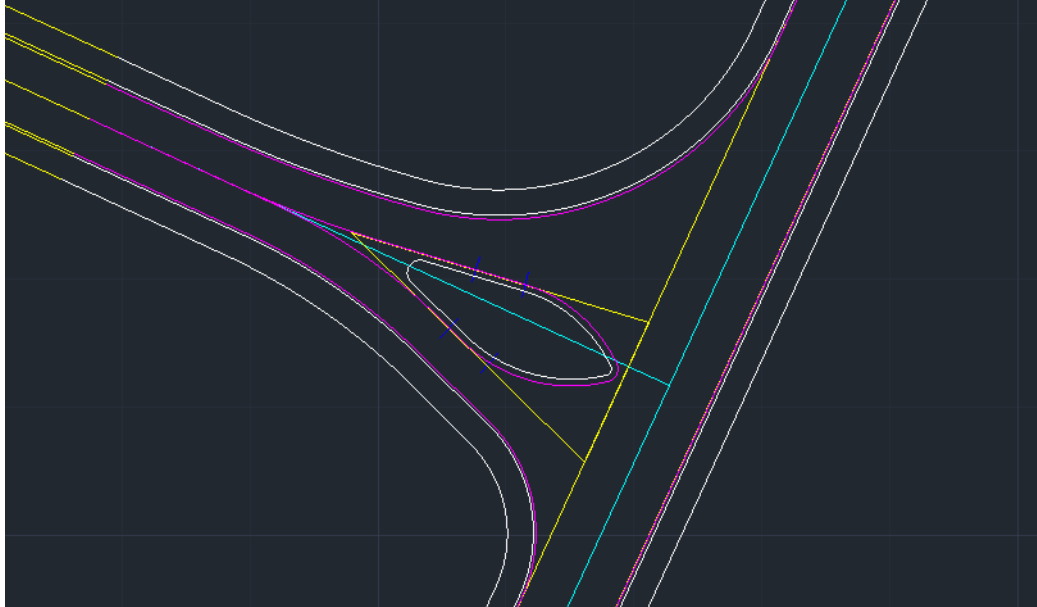


Figure 3. 13 – carrefours de notre Project

3.6.2.2. Principes fondamentaux :

La conception géométrique des carrefours repose sur plusieurs principes fondamentaux. Elle doit d'abord garantir la sécurité des usagers en réduisant les points de conflit et en assurant une bonne visibilité. Elle doit ensuite permettre une circulation fluide et confortable pour les véhicules. Elle doit aussi être adaptée à l'importance du trafic, à la vitesse de circulation, au type de véhicules empruntant le carrefour et aux contraintes du site. Enfin, elle doit prendre en compte les besoins des piétons et, si nécessaire, des cyclistes.

3.6.3. Conditions de visibilité :

Les conditions de visibilité dans un carrefour sont essentielles pour assurer la sécurité et le bon déroulement de la circulation. Elles permettent aux conducteurs de voir à temps les autres usagers, les véhicules venant des différentes directions, ainsi que les obstacles éventuels, afin de prendre les bonnes décisions.

Une bonne visibilité dépend de plusieurs éléments, notamment la géométrie du carrefour, la vitesse de circulation, la présence de courbes, de pentes, d'ouvrages, de plantations ou de tout autre obstacle pouvant limiter le champ de vision. Elle doit être suffisante pour permettre aux usagers d'anticiper, de ralentir, de céder le passage ou de s'engager en toute sécurité.

3.7. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de présenter les principes de l'étude géométrique du projet routier à travers le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers, ainsi que les principaux critères de sécurité associés. Il nous a montré que les choix géométriques retenus doivent rester cohérents avec la catégorie de la route, l'environnement E1 et la vitesse de référence choisie. Enfin, il constitue la base technique pour l'exploitation des résultats obtenus sur Covadis et pour la justification des caractéristiques géométriques du projet.

Chapitre IV

Etude de l'assainissement

4.1. Introduction :

L'eau constitue l'un des principaux facteurs de dégradation des infrastructures routières lorsqu'elle n'est pas correctement collectée et évacuée. En période de pluie, l'accumulation des eaux sur la chaussée ou aux abords de la route peut provoquer plusieurs désordres, notamment l'érosion des talus, l'infiltration dans le corps de chaussée, l'affouillement des ouvrages et la diminution de la sécurité des usagers. [9]

Ainsi, l'étude de l'assainissement occupe une place essentielle dans tout projet routier, car elle permet d'assurer la durabilité de l'infrastructure, le confort de circulation et le bon fonctionnement des ouvrages hydrauliques. [9]

4.2. Objectifs de l'assainissement :

L'assainissement routier a pour objectif principal de protéger la route contre les effets nuisibles de l'eau. Il vise à assurer la collecte, le drainage et l'évacuation des eaux de ruissellement dans de bonnes conditions.[15]

De manière générale, l'assainissement permet de :

- Prévenir la stagnation des eaux sur la chaussée ;
- Limiter les infiltrations dans la structure routière ;
- Protéger les accotements et les talus contre l'érosion ;
- Garantir la stabilité de la plateforme ;
- Prolonger la durée de vie de l'infrastructure routière.

4.3. Définitions de quelques termes de l'hydraulique :

Afin de mieux comprendre le dimensionnement des ouvrages d'assainissement, il est utile de rappeler quelques notions hydrauliques de base.[11]

Le bassin versant est la surface qui recueille les eaux de pluie et les dirige vers un même point d'écoulement.[11]

Le débit représente la quantité d'eau qui traverse une section donnée pendant un temps déterminé ; il s'exprime généralement en m^3/s . [11]

L'intensité de pluie désigne la quantité de pluie tombée pendant une durée donnée, souvent exprimée en mm/h . [11]

Le coefficient de ruissellement traduit la part de l'eau de pluie qui s'écoule réellement à la surface du sol.[11]

Enfin, la rugosité exprime la résistance que les parois d'un ouvrage opposent à l'écoulement de l'eau.[11]

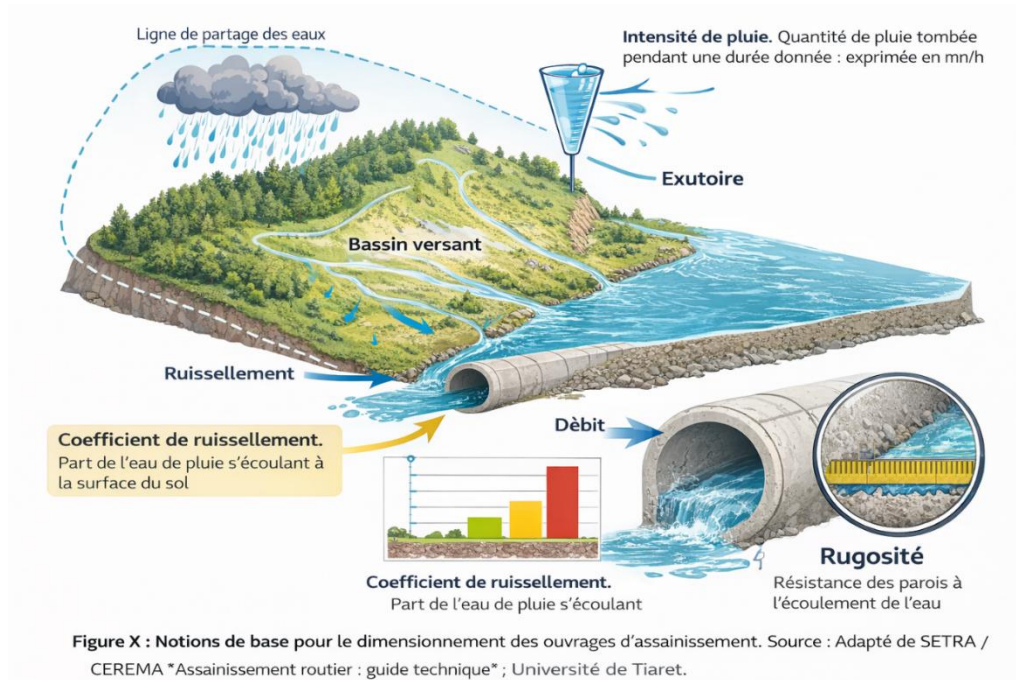


Figure 4. 1 - Notions hydrauliques de base intervenant dans le dimensionnement des ouvrages d'assainissement routier « crée à l'aide d'un outil IA »

4.4. Assainissement de la chaussée :

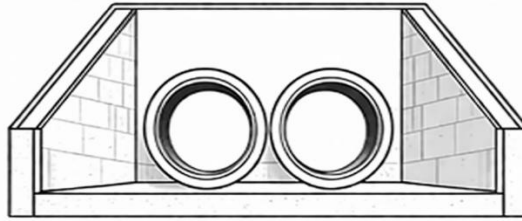
L'assainissement de la chaussée regroupe l'ensemble des dispositions qui permettent d'éloigner rapidement les eaux de pluie de la plateforme routière. Il repose principalement sur la pente transversale de la chaussée, les fossés latéraux, les caniveaux et les ouvrages de traversée.

Lorsque l'évacuation des eaux est bien assurée, la chaussée conserve sa stabilité et sa portance. À l'inverse, une mauvaise évacuation favorise les infiltrations et affaiblit progressivement la structure de la route. Pour cette raison, l'assainissement constitue une partie essentielle de tout projet routier.

4.5. Choix des Ouvrages d'assainissement :

Le choix d'un ouvrage d'assainissement dépend de plusieurs paramètres, notamment la topographie du terrain, la nature du sol, la surface du bassin versant, l'importance du débit à évacuer, ainsi que les contraintes techniques et économiques du projet.

Selon les conditions du site, plusieurs types d'ouvrages peuvent être envisagés, tels que les fossés, les dalots, les caniveaux ou les buses. Dans le cas présent, l'ouvrage busé est retenu, car c'est un ouvrage simple, économique et bien adapté à l'évacuation des eaux sous la chaussée lorsque les débits restent modérés.



VUE DE FACE — BUSE 2 Ø 800

Figure 4. 2 - ouvrage buse 2

4.6. Entretien et exploitation des ouvrages :

L'entretien et l'exploitation des ouvrages d'assainissement désignent l'ensemble des actions visant à maintenir ces ouvrages en bon état de fonctionnement pendant toute leur durée de service.

Ces actions comprennent notamment le curage, le nettoyage, l'enlèvement des dépôts solides, le désherbage, ainsi que la réparation des éléments dégradés.

Un entretien régulier permet d'éviter l'obstruction des ouvrages, de préserver leur capacité d'écoulement et de limiter les risques de débordement ou d'endommagement de la chaussée.



Figure 4. 3 - Nettoyage hydraulique d'un ouvrage d'assainissement par buse à jet haute pression.



Figure 4. 4 - ouvrier dans un ouvrage en train de nettoyer au jet

4.7. Définition d'un ouvrage busé :

L'ouvrage busé est un ouvrage hydraulique placé dans la route afin de permettre l'écoulement des eaux d'un côté à l'autre de la chaussée. Il est généralement de forme circulaire et réalisé en béton, [14]

Elle est utilisée pour franchir les petits écoulements naturels ou évacuer les eaux pluviales concentrées au niveau d'un point bas. Son rôle est d'assurer la continuité de l'écoulement sans compromettre la stabilité de la route.[14]

4.8. Dimensionnement des buses :

Le dimensionnement des buses consiste à déterminer les dimensions nécessaires pour évacuer le débit de projet dans de bonnes conditions hydrauliques et de sécurité.

Cette étape est fondamentale, car une buse sous-dimensionnée peut entraîner des débordements et des dégradations de la chaussée, tandis qu'une buse surdimensionnée augmente inutilement le coût du projet.

Le dimensionnement repose sur l'évaluation du débit à évacuer, la connaissance des pluies de projet, les caractéristiques du bassin versant, ainsi que la capacité hydraulique de l'ouvrage.

4.8.1. Le débit à évacuer :

Le débit à évacuer correspond au débit de projet que l'ouvrage doit pouvoir transmettre sans provoquer de débordement ni de dommage à la chaussée. Il constitue la donnée de base pour le prédimensionnement hydraulique de la buse.[17]

La relation de continuité permet d'écrire :

$$Q = V \times S \text{ [17]}$$

Avec :

Q : débit (m^3/s) ;

V : vitesse d'écoulement (m/s) ;

S : section hydraulique (m^2).

4.8.2. Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement représente la fraction de la pluie qui s'écoule effectivement à la surface du terrain. Il dépend de la nature du sol, de la pente, de la couverture végétale et du degré de perméabilité.[17]

Plus le terrain est imperméable, plus le coefficient de ruissellement est élevé. Ce paramètre intervient directement dans le calcul du débit de ruissellement.[17]

4.8.3. Détermination de l'intensité de la pluie :

L'intensité de pluie est déterminée à partir des données par la Pluviométrie de la région étudiée. Elle dépend généralement de la durée de pluie considérée et de la fréquence ou période de retour retenue pour le projet.[17]

Sa détermination est indispensable, car elle influence directement le débit de calcul et, par conséquent, les dimensions de l'ouvrage d'assainissement.[17]

4.8.4. L'intensité horaire :

L'intensité horaire des précipitations désigne la hauteur d'eau tombée pendant une heure sur une surface donnée. Elle est généralement exprimée en millimètres par heure (mm/h).[17]

Ce paramètre permet de caractériser l'importance d'un épisode pluvieux et joue un rôle essentiel dans les études hydrologiques, notamment pour l'estimation des débits du ruissellement et le dimensionnement des ouvrages de drainage. [17]



Figure 4. 5 - L'intensité horaire « créée à l'aide d'un outil IA »

4.8.5. Pluie journalière maximale annuelle :

La pluie journalière maximale annuelle correspond à la valeur la plus élevée des précipitations enregistrées en vingt-quatre heures au cours d'une année.[18]

Elle constitue un indicateur important dans l'analyse des pluies extrêmes, car elle permet d'apprécier l'ampleur des événements exceptionnels susceptibles de générer des débits importants et de perturber le bon fonctionnement des ouvrages hydrauliques.[18]

4.8.6. Le débit maximal de l'ouvrage à saturation :

Le débit maximal de l'ouvrage à saturation représente le débit maximal que peut évacuer un ouvrage lorsqu'il fonctionne en pleine section. [18]

Il traduit la capacité limite de la buse dans des conditions hydrauliques données. L'évaluation de ce débit est nécessaire pour vérifier que l'ouvrage peut assurer l'évacuation des eaux sans mise en charge excessive ni débordement. [18]

4.9. Coefficient de rugosité :

Le coefficient de rugosité traduit l'état de la surface intérieure d'un conduit. Il permet d'évaluer la résistance opposée à l'écoulement de l'eau par les aspérités, les irrégularités et la nature du matériau.[18]

Plus la surface est rugueuse, plus les pertes de charge sont importantes et plus la vitesse d'écoulement diminue. Ce coefficient intervient donc dans les calculs hydrauliques pour estimer en termes de débit la capacité réelle d'écoulement d'un ouvrage. [18]

4.10. Application du projet :

L'application au projet consiste à utiliser les paramètres hydrologiques et hydrauliques déterminés précédemment afin de dimensionner les buses prévues sur le site étudié.

Cette étape permet de passer de l'étude théorique aux calculs pratiques en prenant en compte les caractéristiques réelles du bassin versant, les données pluviométriques, les conditions d'écoulement et les contraintes du terrain.

4.10.1. Dimensionnement des buses :

Le dimensionnement des buses dans le cadre du projet consiste à choisir le diamètre approprié permettant d'évacuer le débit calculé dans des conditions satisfaisantes et faciliter son entretien par le personnel des travaux publics. Pour une buse circulaire, la section hydraulique est donnée par la relation :

$$S = \pi D^2 / 4$$

Le diamètre est ensuite déterminé de manière à satisfaire la relation de continuité :

$$Q = V \times S$$

Dans cette étude, le diamètre de 800 mm a été retenu pour le prédimensionnement de l'ouvrage, car il offre une section hydraulique suffisante pour assurer l'évacuation du débit de projet sous une vitesse admissible.

En retenant un diamètre de 800 mm, la section obtenue est de 0,503 m². Ce diamètre a ainsi été adopté comme dimension préliminaire de l'ouvrage, sous réserve de vérifications hydrauliques complémentaires tenant compte des conditions réelles d'écoulement.

4.10.2. Résultat :

Nous avons pris les valeurs et les avons résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4. 1 - les buses

Nombre De l'ouvrage	Nombre De buses	Diamètre	Pk	Longueur De l'ouvrage
1	5	ø 800	0+160.00	5.00
2	2	ø 800	2+800.00	2.00
3	4	ø 800	2+880.00	4.00
4	2	ø 800	4+020.00	2.00
5	2	ø 800	4+080.00	2.00

Notre projet comprend plusieurs ouvrages hydrauliques. À l'aide de Covadis, nous avons conçu ces ouvrages et les résultats sont les suivants :

- Coupe transversale :

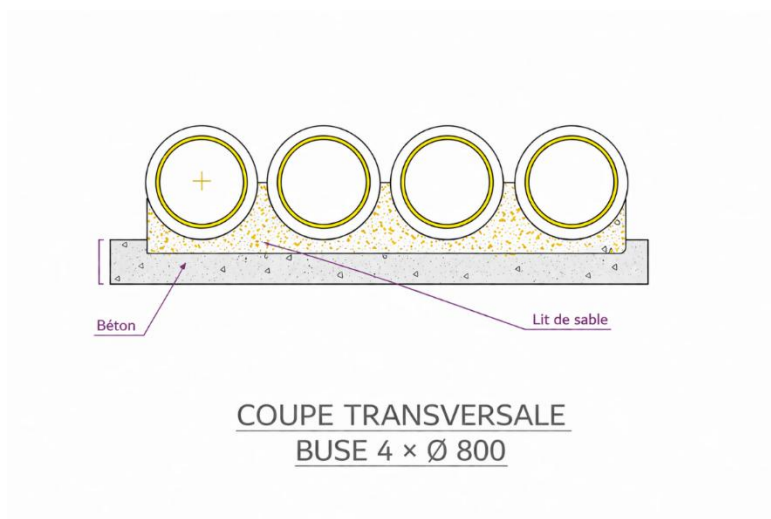
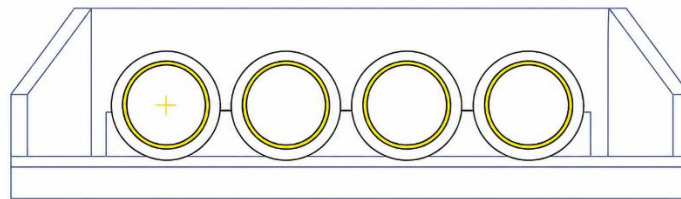


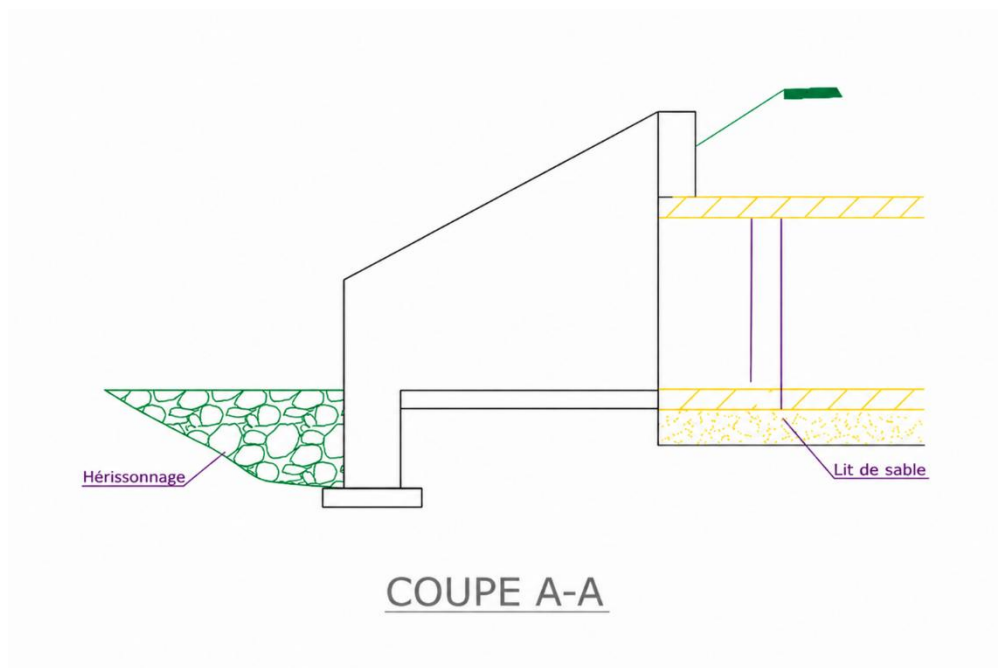
Figure 4. 6 - Coupe transversale

- Vu en face tête d'ouvrage :



VUE DE FACE
BUSES 4 × Ø 800

Figure 4. 7 - vu en face tête d'ouvrage



COUPE A-A

Figure 4. 8 - Coupe A-A

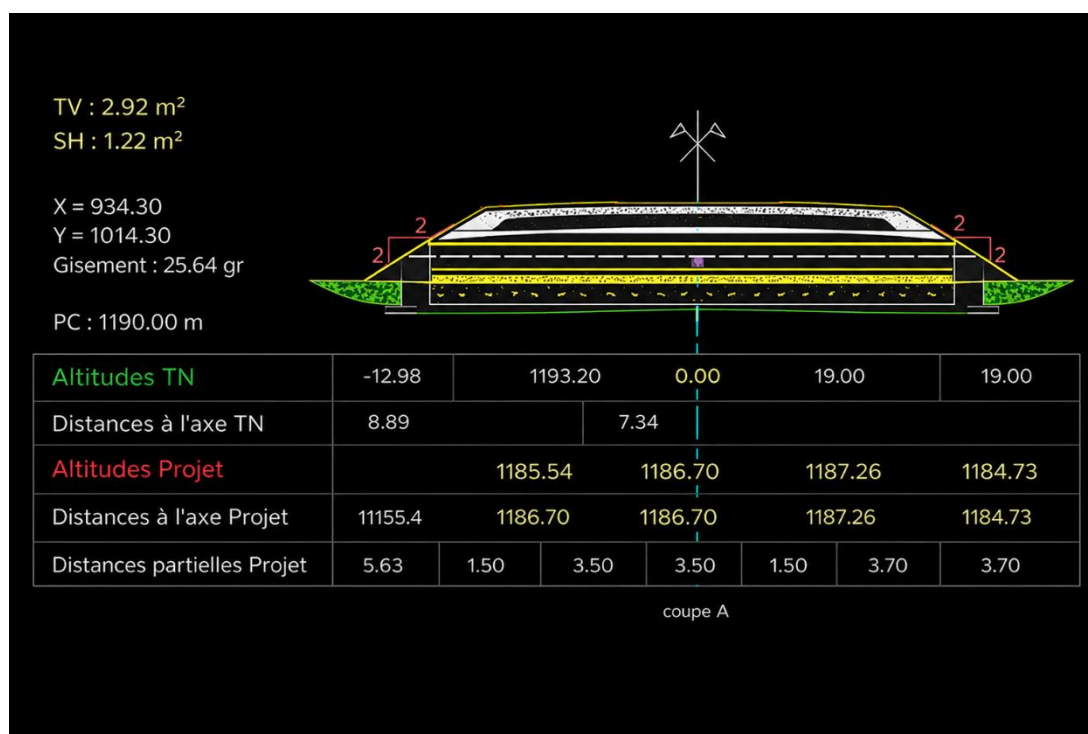


Figure 4. 9 - - Profil en travers types ouvrage hydraulique

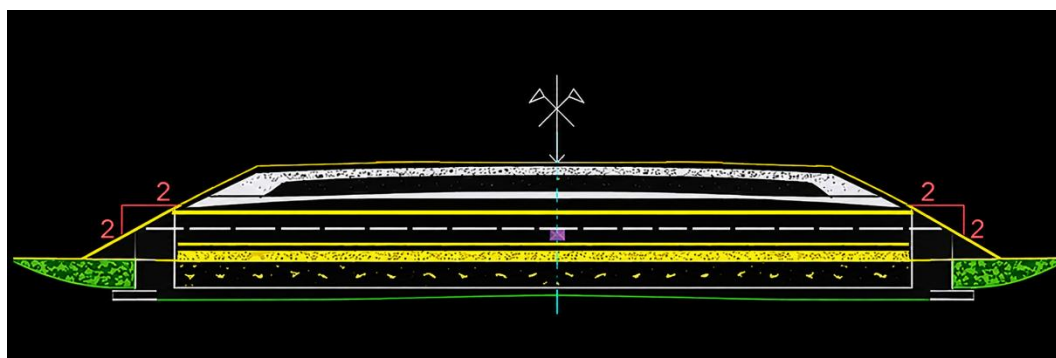


Figure 4. 10 - Rapproche détails du Profil en travers types ouvrage hydraulique

4.11. Conclusion :

L'étude d'assainissement a montré que la maîtrise des eaux de ruissellement constitue une condition essentielle pour préserver la stabilité de la chaussée et assurer le bon fonctionnement des ouvrages hydrauliques. À partir des paramètres hydrologiques et hydrauliques étudiés, le dimensionnement des buses a pu être effectué, conduisant au choix d'un diamètre de 800 mm adapté au projet. Les résultats obtenus et les dessins réalisés sur Covadis confirment ainsi la faisabilité et la cohérence des solutions retenues.

Chapitre V : L'étude d'impact sur l'environnement

5.1. Introduction :

L'étude d'impact sur l'environnement est une étape indispensable dans tout projet routier, car elle permet d'identifier et d'évaluer les effets du projet sur le milieu naturel, humain et socio-économique. Dans le cadre de ce mémoire, elle concerne un tronçon de contournement de 4 km situé à Mekmen Ben Amar, sur la RN22, conçu pour une route de catégorie 1 en environnement E1, avec une vitesse de référence de 80 km/h et des ouvrages d'assainissement adaptés. Cette étude vise à analyser aussi bien les impacts négatifs que les effets positifs du projet, afin de proposer des mesures d'atténuation et d'assurer une meilleure intégration environnementale de l'infrastructure.

5.2. Objectif de l'étude :

L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets environnementaux prévisibles du projet routier afin d'assurer son intégration dans le milieu et sa conformité aux exigences de protection de l'environnement. Elle vise à identifier les nuisances possibles, à apprécier leur importance et à proposer les mesures de prévention, de réduction ou de compensation les plus adaptées, tout en mettant en évidence les avantages attendus du projet. Dans le cadre de notre étude, cette analyse porte sur les impacts du chantier et de l'exploitation sur le milieu physique, le milieu humain et le fonctionnement futur de l'infrastructure, afin d'orienter le projet vers une solution techniquement cohérente et environnementalement acceptable.[19]



Figure 5. 1 - étude d'impact sur l'environnement « créée à l'aide d'un outil IA »

5.3. Contenu de l'étude d'impact :

Le contenu d'une étude d'impact sur l'environnement comprend la présentation du projet, l'analyse de l'état initial du site, l'identification des impacts prévisibles et la proposition de mesures d'atténuation ou de compensation. Dans le cas de notre projet, cette étude tient compte des caractéristiques de la route de contournement, de son environnement E1, du trafic important et des effets attendus sur le sol, le paysage, la circulation, le bruit, les émissions et le drainage. Elle repose ainsi sur une approche globale visant à évaluer les effets du chantier et de l'exploitation afin d'assurer une meilleure maîtrise environnementale du projet.[19]

5.4. Impact négatif :

5.4.1. Pendant la phase des travaux :

Pendant la phase des travaux, les principaux impacts négatifs concernent le milieu physique et humain. Les terrassements, la circulation des engins et le stockage des matériaux peuvent provoquer des émissions de poussières, du bruit, une dégradation temporaire des sols et une perturbation des écoulements de surface. Le chantier peut également gêner les circulations locales, limiter l'accès à certaines parcelles et créer des nuisances temporaires pour les riverains, ce qui impose une bonne organisation des travaux afin de réduire ces effets.[19]

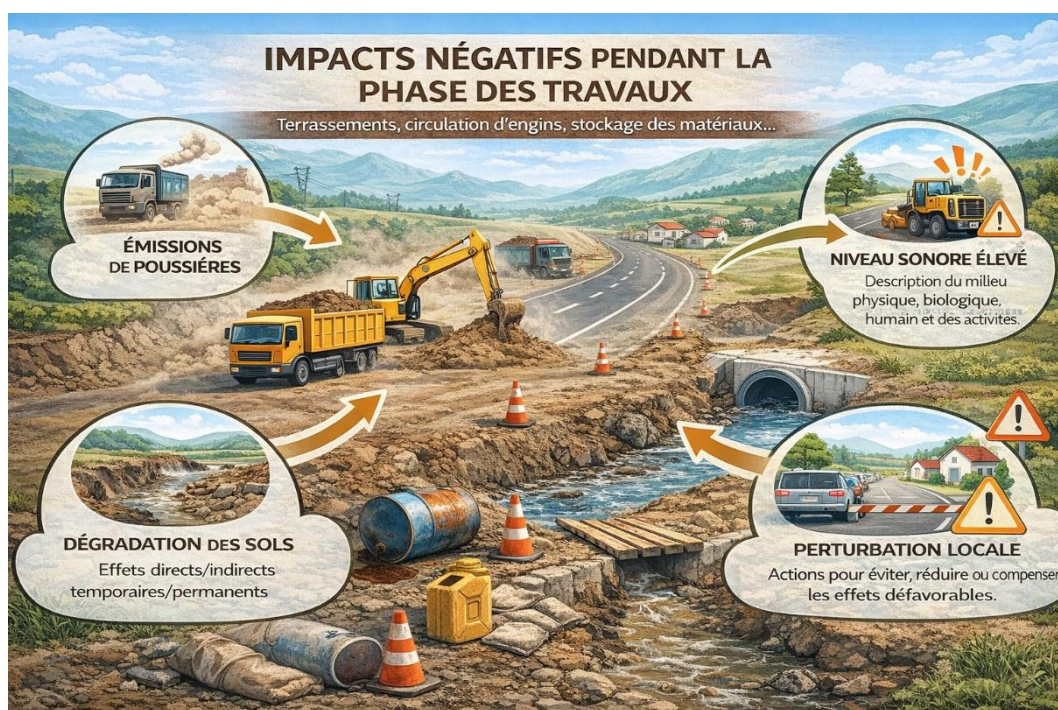


Figure 5. 2 - Impacts négatifs de la construction routière Pendant la phase des travaux « crée à l'aide d'un outil IA »

5.4.2. Pendant la phase d'exploitation :

En phase d'exploitation, les principaux impacts négatifs concernent les émissions du trafic, le bruit routier, les eaux de ruissellement et l'effet paysager permanent de l'infrastructure. Les eaux de chaussée peuvent transporter divers polluants, ce qui justifie la mise en place d'ouvrages d'assainissement, notamment des buses de 800 mm, pour protéger la route et assurer un bon écoulement. Le bruit reste aussi une nuisance à considérer, même si, dans le cas d'une route de contournement, une partie des nuisances peut être réduite dans les zones actuellement soumises au trafic de transit.[19]

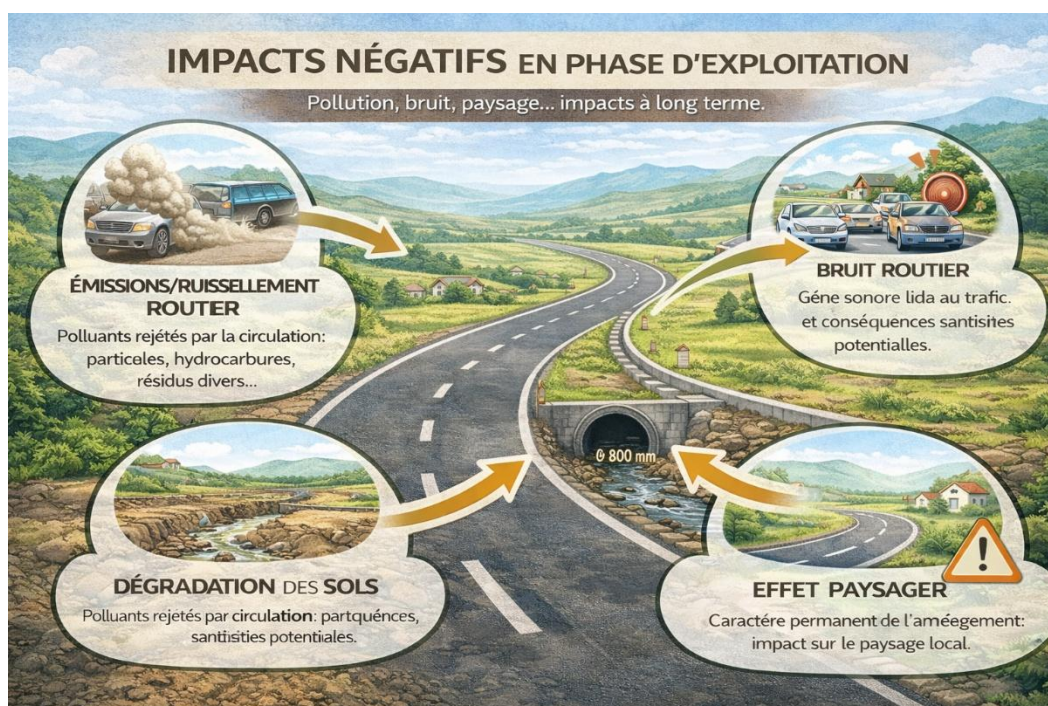


Figure 5. 3 - Impacts négatifs de la construction routière Pendant la phase d'exploitation « créée à l'aide d'un outil IA »

5.5. Impacts positives :

5.5.1. Impacts positifs directs :

Les impacts positifs directs du projet se manifestent principalement par l'amélioration du fonctionnement routier. La mise en service du tronçon de contournement permettra de fluidifier la circulation et de mieux séparer le trafic de transit de la circulation locale. Cette nouvelle organisation contribuera à réduire les conflits d'usage et à améliorer la lisibilité générale de l'itinéraire. Le projet présente également un bénéfice important en matière de sécurité routière, grâce à des caractéristiques géométriques adaptées à une route de catégorie 1.

En environnement E1, avec une vitesse de référence de 80 km/h. Par ailleurs, l'infrastructure améliorera la qualité de service offerte aux usagers, en réduisant les ralentissements, les temps de parcours et les interruptions de circulation. Cette meilleure continuité du trafic renforcera l'efficacité de l'itinéraire et facilitera les déplacements. Le projet favorisera ainsi une exploitation plus performante de la route.

En outre, les ouvrages d'assainissement jouent eux aussi un rôle positif direct. En assurant une bonne collecte et évacuation des eaux de ruissellement, ils protègent la chaussée contre les infiltrations et les dégradations hydrauliques. Le choix de buses de 800 mm contribue ainsi à renforcer la durabilité, la sécurité et la pérennité de l'infrastructure routière. [19]

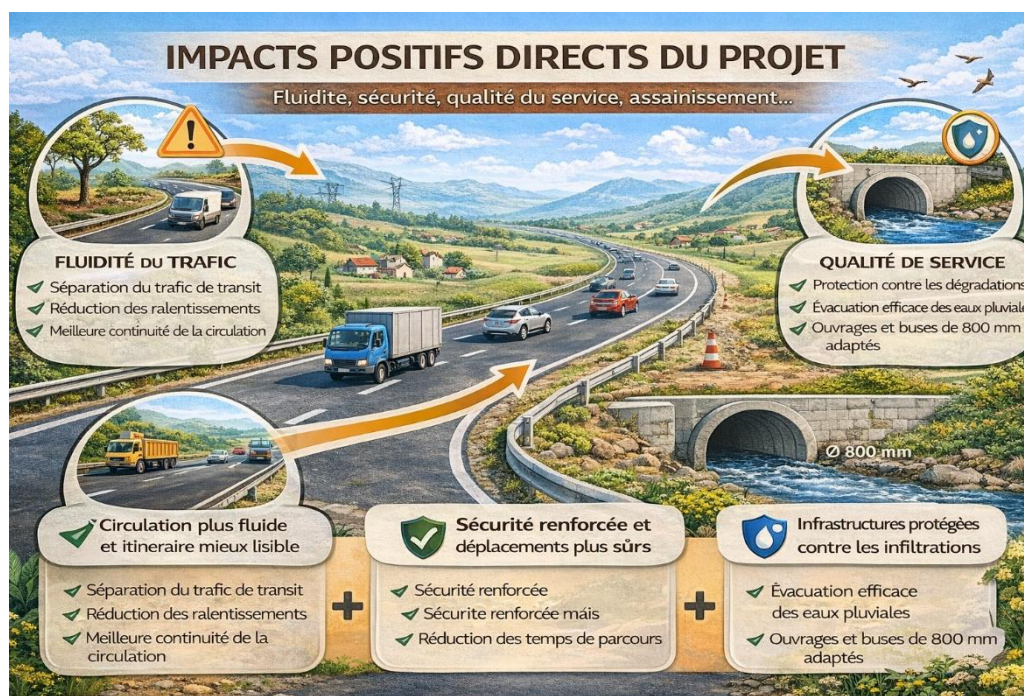


Figure 5. 4 - Impacts positifs directs « crée à l'aide d'un outil IA »

5.5.2. Impacts positifs indirects :

Les impacts positifs indirects apparaissent à moyen et long terme. Une meilleure route favorise les échanges, facilite les déplacements, améliore l'accessibilité aux espaces desservis et contribue au développement local. Dans le cas présent, la route de contournement peut soutenir la mobilité régionale, la desserte des zones d'activité et le transport des marchandises, tout en améliorant les liaisons internes à l'échelle du territoire.[19]

Sur le plan social, l'amélioration des conditions de circulation peut réduire le stress lié aux congestions, diminuer certaines nuisances dans les zones actuellement traversées par le trafic et favoriser un meilleur partage de l'espace dans les secteurs habités. Sur le plan économique, la réduction des temps de parcours et des coûts d'exploitation des véhicules constitue un bénéfice indirect important. Les études de référence sur les infrastructures routières soulignent régulièrement ces gains indirects en matière de productivité, de desserte et de développement territorial. [19]

Le projet peut aussi avoir un effet structurant sur l'organisation future du territoire. Sans créer à lui seul le développement, il améliore les conditions d'accessibilité qui en constituent souvent un préalable. Dans cette perspective, les impacts positifs indirects du projet sont durables, à condition qu'ils soient accompagnés d'une bonne gestion de l'exploitation et d'un entretien régulier de la route et de ses ouvrages annexes. [19]

5.6. Principales mesures à prendre :

5.6.1. Mesures en phase travaux :

En phase de travaux, les mesures prioritaires doivent avant tout réduire les nuisances et protéger le milieu physique. Il est nécessaire de limiter l'emprise du chantier au strict nécessaire afin de diminuer la perte de sol et la perturbation des abords. Les déblais, remblais et matériaux de décapage doivent être gérés de manière organisée, sans dépôts anarchiques. Les zones sensibles doivent être protégées contre l'érosion grâce à un drainage provisoire adapté.

Les surfaces dénudées doivent être remises en état rapidement.

La réduction des poussières repose sur l'arrosage régulier des pistes et des zones de terrassement, surtout en période sèche, ainsi que sur le bon entretien des engins et des camions. Les matériaux fins doivent être correctement stockés et les circulations internes bien organisées afin de limiter les émissions inutiles.[19]

Il faut également protéger les eaux de surface et les ouvrages de drainage en interdisant tout rejet de carburant, d'huile ou de substances polluantes à proximité des zones sensibles. Les installations temporaires doivent être équipées de dispositifs de collecte et de confinement, tandis que les aires de maintenance doivent éviter toute infiltration polluante. Enfin, sur le plan humain, les mesures doivent porter sur le balisage du chantier, la limitation des vitesses, l'information des usagers, la sécurisation des traversées et l'adaptation des horaires des travaux bruyants. Lorsque des accès locaux sont perturbés, des solutions provisoires doivent être mises en place pour limiter les effets de coupure.[19]

5.6.2. Mesures en phase exploitation :

En phase d'exploitation, les mesures les plus importantes concernent l'entretien et la surveillance. Les fossés, caniveaux, buses et autres ouvrages hydrauliques doivent être entretenus régulièrement afin de préserver leur capacité d'écoulement. Le nettoyage des dépôts, le curage des sections encombrées et la réparation rapide des éléments dégradés sont essentiels pour éviter l'obstruction, la stagnation des eaux et les dégradations de chaussée. Cette exigence est cohérente avec les conclusions déjà tirées dans l'étude d'assainissement du projet.[19]

La sécurité routière doit également rester une priorité. Une signalisation lisible, des accotements entretenus, des dispositifs de protection correctement maintenus et une surveillance des zones sensibles contribuent à réduire les risques en exploitation. Si des nuisances particulières apparaissent localement, elles doivent faire l'objet d'un suivi, notamment en matière de bruit, de ruissellement ou d'érosion ponctuelle.[19]

Sur le plan paysager et écologique, les talus et abords peuvent être stabilisés et accompagnés par des plantations adaptées au contexte local, sans créer de nouvelles contraintes pour la visibilité ni attirer de façon excessive certaines espèces sensibles. Les références spécialisées sur les infrastructures et la biodiversité rappellent d'ailleurs que les clôtures, passages et mesures de réduction des nuisances doivent être combinés de manière cohérente afin de réduire les collisions et les effets de fragmentation. [19]

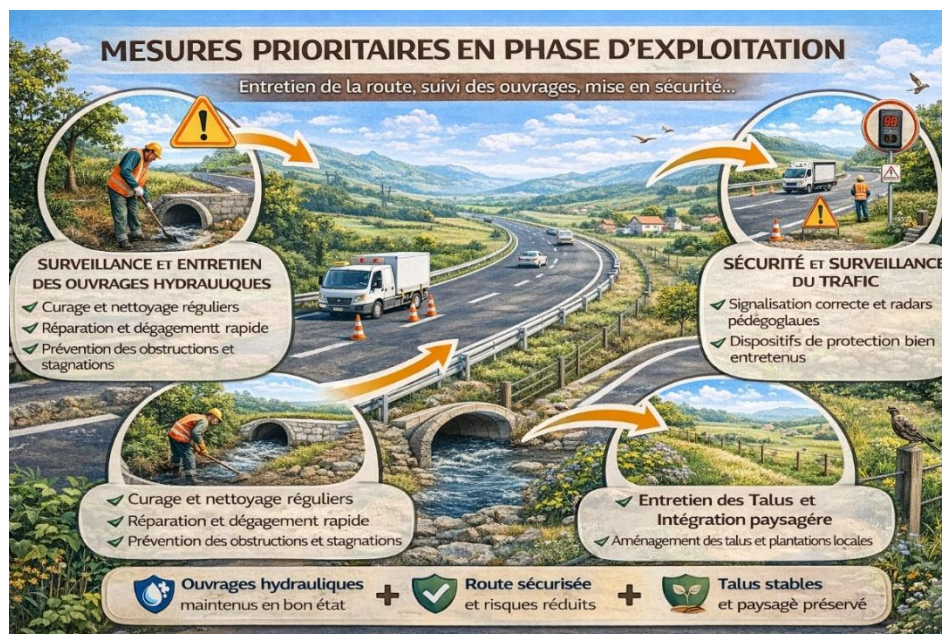


Figure 5. 5 - Mesures Prioritaires en phase D'exploitation « créée à l'aide d'un outil IA »

5.7. Analyse des impacts avec Rapide Impact Assermente Matrix :

La méthode Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) est une approche d'évaluation environnementale permettant de classer les impacts d'un projet selon leur importance relative, à partir d'une grille structurée et transparente. La publication fondatrice décrit la RIAM comme un outil conçu pour rendre l'évaluation des impacts plus comparable, plus claire et moins dépendante de jugements dispersés. Elle repose sur une notation structurée des effets du projet, généralement regroupés en quatre grandes composantes : physico-chimique, biologique-écologique, sociale-culturelle et économique-opérationnelle. [19]

Dans le cadre du présent projet, une analyse simplifiée de type RIAM peut être proposée à partir des éléments déjà étudiés dans les chapitres précédents et dans la présente évaluation. Elle ne remplace pas une matrice réglementaire exhaustive, mais elle permet de hiérarchiser les effets attendus du projet de manière synthétique.[19]

Tableau 5. 1 - effets les plus contraignants apparaissent pendant les travaux

Composante	Phase travaux	Phase exploitation	Appréciation globale
Milieu physico-chimique	Négatif modéré à assez fort	Négatif faible à modéré	Impact global maîtrisable
Milieu biologique	Négatif faible à modéré	Négatif modéré	Impact localisé, réductible
Milieu humain et social	Négatif modéré temporaire	Positif modéré à fort	Bilan global favorable
Milieu économique et fonctionnel	Positif faible en travaux	Positif fort en exploitation	Bénéfice durable

5.8. Conclusion :

Le présent mémoire a porté sur l'étude d'un tronçon de route de contournement situé sur la RN22, dans la commune de Mekmen Ben Amar, au sein de la wilaya de Naâma. L'analyse réalisée a permis d'examiner le cadre général du projet, l'étude du trafic, l'étude géométrique, l'assainissement routier ainsi que l'étude d'impact sur l'environnement. L'ensemble de ces investigations a montré que le projet correspond à une route de catégorie 1, en environnement E1, avec une vitesse de référence de 80 km/h.

Les résultats obtenus ont permis de justifier les principales caractéristiques géométriques du tracé et de vérifier les critères de visibilité, de sécurité et de stabilité. L'étude d'assainissement a mis en évidence l'importance de la maîtrise des eaux de ruissellement pour protéger l'infrastructure, ce qui a conduit au choix de buses de 800 mm assurant une capacité hydraulique satisfaisante.

L'étude environnementale a révélé l'existence d'impacts négatifs, surtout temporaires pendant les travaux, notamment sur les sols, le bruit, les poussières et les écoulements de surface. En phase d'exploitation, certains effets résiduels subsistent, mais ils restent globalement modérés et peuvent être réduits par des mesures adaptées de prévention, de gestion et d'entretien.

En contrepartie, le projet présente des effets positifs durables, tels que l'amélioration de la fluidité du trafic, le renforcement de la sécurité routière, la réduction des temps de parcours et une meilleure desserte régionale. Ainsi, le bilan global du projet peut être considéré comme favorable, ce qui permet de conclure qu'il est techniquement cohérent, hydrauliquement faisable et environnementalement acceptable.

Devis quantitatif et estimatif

Attachement :

Les quantités de corps de chaussé :

Couche de forme :

$$0.25 \times 10 \times 4140 = 10350 \text{ m}^3$$

Couche de fondation :

$$0.25 \times 10 \times 4140 = 10350 \text{ m}^3$$

Couche de base :

$$0.25 \times 10 \times 4140 = 10350 \text{ m}^3$$

Couche d'imprégnation :

$$10 \times 4140 = 41400 \text{ m}^2$$

Couche de grave bitume :

$$0.12 \times 10 \times 4140 = 4968 \text{ m}^3$$

$$4968 \text{ m}^3 \times 2.4 = 11923.20 \text{ tonne}$$

Couche de béton bitumineux :

$$7 \times 0.06 \times 4140 = 1738.8 \text{ m}^3$$

$$1738.8 \text{ m}^3 \times 2.4 = 4173.12 \text{ tonne}$$

Les ouvrages busés :

Quantité des buses : 15 buses

$$15 \times 12 = 180 \text{ ml}$$

Quantité de remblais et de déblais :

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le logiciel 3Dsurvey, pour le traitement des données topographiques et le calcul des cubatures. Les résultats obtenus ont permis de déterminer avec précision les volumes de déblais et de remblais du projet



3Dsurvey

Logiciel de traitement d'images aériennes

Version 4.1.0

VOLUME

Nom:	CUBATURES	Surface 2D:	331413.11 m ²
Remblai:	54784.78 m ³	Surface 3D:	332459.90 m ²
Déblai:	50504.91 m ³	Le point le plus bas:	1193.26 m
Net:	4293.87 m ³	Le point le plus haut:	1248.20 m

Quantité de Remblai : 54784.78 m³

Quantité de Déblai : 50504.91 m³

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	Désignation	U	Quantité	Prix Unitaire	Montant
1	Couche de forme	m^3	10350	900	9315000,00
2	Couche de fondation	m^3	10350	1100	11385000,00
3	Couche de base	m^3	10350	1850	19147500,00
4	Couche d'imprégnation	m^2	41400	200	8280000,00
5	Couche de grave bitume	Tonne	11923.20	7500	89424000,00
6	Couche de béton bitumineux	Tonne	4173.12	8500	35471520,00
7	Les ouvrages busés	Ml	180	40000	7200000,00
8	Remblai	m^3	54784.78	900	49306302,00
9	Déblai	m^3	50504.91	600	30302946,00
Total					259832268,00

Conclusion générale

En conclusion Au terme de ce travail, il apparaît que la conception d'un projet routier ne se limite pas à un simple tracé, mais repose sur une démarche globale intégrant des analyses techniques, économiques et environnementales.

L'étude réalisée a permis de mettre en évidence l'importance du projet de contournement au niveau de la wilaya de Naâma, notamment en raison de son rôle stratégique dans l'amélioration de la fluidité du trafic, la réduction des temps de parcours et le renforcement de la sécurité routière.

Les différentes étapes abordées, allant de l'analyse du site à l'étude du trafic, en passant par la conception géométrique et le dimensionnement de la chaussée, ont permis de définir des solutions adaptées aux caractéristiques du terrain et aux exigences des normes techniques. L'utilisation d'outils spécialisés tels que Covadis a également contribué à améliorer la précision et l'efficacité de l'étude.

En conclusion, ce mémoire a permis de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises en génie civil, tout en développant une approche d'ingénierie rigoureuse. Il constitue ainsi une contribution à la réflexion sur le développement des infrastructures routières et ouvre des perspectives d'amélioration futures, notamment en intégrant des aspects environnementaux plus poussés et des solutions innovantes en matière de gestion du trafic.

Bibliographie :

[1] : B40

[2] : <https://dcw-naama.dz/index.php/wilaya-de-naama-2/presentation>

[3] : <https://www.google.fr/intl/fr/earth/index.html>

[4] : S. HIMOURI. CONDITIONS TECHNIQUES D'AMENAGEMENT DES ROUTES. DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR, UNIVERSITE DE MOSTAGANEM, 2006.

[5] : CTPP Algérie. Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves fascicule 1. Ministre des travaux publics Direction des routes, Novembre 2001.

[6] : H. HEUDE. COURS DE ROUTES VOIES FERRÉES SUR CHAUSSEES. L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, 1912.

[7] : H. Cabane J. Barillot. LA ROUTE ET SES CHAUSSEES. 2018.

[8] : R. HEBIB. Tracés linéaires et matériaux. Université de Ferhat Abbès, Sétif 1, 2020.

[9] : A. BANNOUR. Cours de construction routière TOME 1. Faculté des sciences semlaliaUniversité cadiAyyad Marrakech Maroc, 2014.

[10] : A. Nehaoua. Cours de Route I Caractéristiques géométriques des routes. Département de Génie civil - Faculté : TECHNOLOGIE-U.F.A. S, 2013.

[11] : <https://www.univ-oeb.dz/fssa/wp-content/uploads/2023/03/32-Hydro-Hydraulique-Urbaine.pdf>.

[12] : Y. SAWADOGO. COURS DE ROUTE I. Ecole supérieur des travaux publics, OUAGADOUGOU, 2022.

[13] : A. SAILA. ROUTE 1. ACADEMIE MILITAIRE FONDOUK JEDID, 2007.

[14] : I. AOUICHE. Cours hydraulique fluviale. Ecole-mohammadia-dingenieurs.

[15] : Cerema. *Dimensionnement des chaussées neuves à faible trafic*.

[16] : Université Kasdi Merbah Ouargla, *Mémoire de génie civil*, dépôt institutionnel de l'université, consulté en ligne

[17] : FHWA. *Hydraulic Design of Highway Culverts (HDS-5)*. Federal Highway Administration

[18]: USGS. *How Streamflow is Measured*. United States Geological Survey

[19]: République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Environnement & des Energies Renouvelables Guide des Etudes d'Impact sur l'Environnement EIE