



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et Architecture



N° d'ordre : M/GCA/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Travaux Publics.

Spécialité : V.O.A.

Thème

**Application de la technologie BIM dans le domaine des
infrastructures linéaire : cas d'un projet routier**

Présenté par : Mr. BOUSBA Fethi.

Mr. KHALEF Nouredine.

Soutenu le 26 / 06 / 2023 devant le jury composé de :

Président : Mr. KERAOUTI Rabah.

Examineur : Mr. SOLTANE Benallou Kaddour.

Endurant : Mr. ZAOUI Mohamed.

Année Universitaire : 2022 / 2023

Remerciement.

Je tiens à profiter de cette occasion pour exprimer ma profonde gratitude envers Allah, qui nous a accordé la force et la détermination nécessaire pour mener à bien notre projet de fin d'étude.

Je tiens également à remercier chaleureusement mon encadrant, Dr. ZAOUI Mohamed, pour son soutien inestimable tout au long de ce projet. Ses conseils éclairés, sa disponibilité et son expertise ont été d'une importance capitale pour la réussite de notre mémoire.

Je souhaite également exprimer notre reconnaissance envers Mr. KERAOUTI Rabah d'avoir accepté de présider notre projet de fin d'étude, nos remerciements iront également à Mr. SOLTANE Benallou Kaddour d'avoir accepté d'examiner notre mémoire, ainsi qu'à tous les enseignants, chercheurs et membres du corps professoral qui ont partagé leurs connaissances et leur expérience, contribuant ainsi à notre développement académique.

Un grand merci à ma famille et à mes amis pour leur amour, leur encouragement et leur soutien constant tout au long de ce parcours. Leur présence a été une source d'inspiration et de motivation inépuisable.

Nos remerciements s'étendent également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de master. Leur collaboration, leurs commentaires constructifs et leur aide ont été précieux.

Enfin, je suis reconnaissant envers cette expérience qui m'a permis de grandir intellectuellement et professionnellement. Ce mémoire de master représente une étape importante de ma vie, et nous sommes honorés d'avoir pu le réaliser grâce au soutien de tous ceux qui nous ont entouré.

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

A la mémoire de mon défunt ami NOUFA Mohammed el amine,

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me
soutenir*

Et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chères sœurs,

*Pour ses soutiens moraux et ses conseils précieux tout au long de mes
études.*

A mes chères ami(e)s

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

Dédicace

*Je dédie ce mémoire a mes
chers parents.*

*A mes frères qui m'ont toujours aidé et qui ont été
ma première source d'inspiration et de courage,*

Et à mes très chères sœurs.

*A toute ma famille oncles, tantes et
cousins.*

A tous mes amis.

*A tous ceux que j'ai côtoyés au cours de mes
études, enseignants et étudiants y compris*

Mes collègues de travail au sein du bureau d'études

URBOR

A vous tous.

Résumé :

Les techniques classiques de conception et d'étude des infrastructures routières provoquent des pertes de temps, de coût, de délais et engendrent des erreurs. Le Building Information Modeling (BIM) relate une évolution technologique dans le domaine du bâtiment où il a offert des résultats conséquents tout au long du cycle de vie d'un bâtiment. Cette certitude a conduit depuis quelques années à l'extension de ce concept au domaine du Génie Civil pour les projets d'infrastructures. L'objectif identique étant de faciliter l'échange des données et la collaboration autour de ces projets. Dans cette situation, notre travail se focalise précisément sur les projets routiers et vise à proposer un modèle BIM 3D pour ce type d'infrastructure, en vue d'assurer le travail collaboratif entre les acteurs (géomaticien, topographe, concepteur du tracé, concepteur des ouvrages d'art, hydrologue et hydraulicien). Ce mémoire de fin d'étude, expose une revue de littérature des avancées récentes en termes d'intégration du BIM dans le domaine de l'infrastructure. Ensuite, un cas pratique d'un projet routier de dédoublement d'un tronçon de la RN 11, couvrant une longueur de 4,7km, entre les communes de Sidi Lakhdar et Khadra est choisi pour l'expérimentation numérique. Dès que, tout le processus de modélisation du tracé routier en 3D est accompli, l'analyse de la détection des conflits a été produite. Enfin, des préconisations pour l'avenir ont été formulées dans l'objectif d'inciter le travail collaboratif entre les différentes parties prenantes afin de promouvoir l'adoption de cette nouvelle technologie dans le domaine des infrastructures du génie civil.

Mots clés : Infrastructure linéaire, route, BIM, Intepéropérabilité,

Abstract:

Conventional techniques for the design and study of road infrastructures result in time, cost, and schedule losses, as well as errors. Building Information Modeling (BIM) represents a technological advancement in the building industry, providing significant benefits throughout the life cycle of a building. This concept has been extended to the field of Civil Engineering for infrastructure projects, with the aim of facilitating data exchange and collaboration. Our work specifically focuses on road projects and aims to propose a 3D BIM model for this type of infrastructure, to enable collaborative work among stakeholders such as geomaticians, surveyors, route designers, structural designers, hydrologists, and hydraulic engineers. This study reviews recent advancements in integrating BIM in the infrastructure field and presents a practical case of a road project involving the expansion of a 4.7km section of RN 11 between the municipalities of Sidi Lakhdar and Khadra. Once the 3D road design modeling process is completed, conflict detection analysis is performed. Recommendations for the future are provided to encourage collaborative work among stakeholders and promote the adoption of this new technology in the civil engineering infrastructure domain.

Keywords: Linear infrastructure, road, BIM, Interoperability.

ملخص

تتسبب التقنيات التقليدية لتصميم ودراسة البنى التحتية للطرق في ضياع الوقت والتكلفة والتأخير وتوليد الأخطاء. بالتطور التكنولوجي في مجال البناء حيث قدمت نتائج متسقة طوال دورة حياة المبنى. (BIM) تتعلق نمذجة معلومات البناء وقد أدى هذا اليقين لعدة سنوات إلى توسيع هذا المفهوم إلى مجال الهندسة المدنية لمشاريع البنية التحتية. الهدف نفسه هو تسهيل تبادل البيانات والتعاون حول هذه المشاريع. في هذه الحالة، يركز عملنا تحديداً على مشاريع الطرق ويهدف إلى اقتراح لهذا النوع من البنية التحتية، من أجل ضمان العمل التعاوني بين الجهات الفاعلة (الجغرافي، BIM نموذج ثلاثي الأبعاد الطوبوغرافي، مصمم المسار، مصمم الأعمال الفنية، مهندس هيدرولوجي ومهندس هيدروليكي). تقدم أطروحة نهاية الدراسة في مجال البنية التحتية. بعد ذلك، تم اختيار حالة عملية BIM هذه مراجعة الأدبيات للتطورات الحديثة من حيث تكامل لمشروع ازدواجية مقطع من الطريق الوطني رقم 11 بطول 4.7 كم بين بلديتي سيدي لاخضر وخضرة لإجراء التجارب الرقمية. بمجرد اكتمال عملية نمذجة تخطيط الطريق بشكل ثلاثي الأبعاد بالكامل، تم إنتاج تحليل الكشف عن التعارضات. أخيراً، تمت صياغة توصيات للمستقبل بهدف تشجيع العمل التعاوني بين مختلف أصحاب المصلحة من أجل تعزيز اعتماد هذه التكنولوجيا الجديدة في مجال البنى التحتية للهندسة المدنية

الكلمات المفتاحية : البنية التحتية الخطية، الطريق، نمذجة معلومات البناء، التشغيل البيئي.

SOMMAIRE.

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : présentation générale.....	2
1.1 Introduction :	2
1.2 Cadre général du PFE :	2
1.3 Objectifs du PFE :	2
1.4 Méthodologie de l'étude :	2
1.4.1 La création d'un modèle des conditions existantes :	3
1.4.2 La conception préliminaire :	3
1.4.3 La conception détaillée :	3
1.5 Building Information Modeling :	4
1.5.1 Définition de BIM :	4
1.5.2 Le BIM et la maquette numérique :	5
1.5.3 Les niveaux de maturité du BIM :	6
1.5.4 Les dimensions du BIM :	7
1.5.5 Niveaux de détail (LOD, level of details) :	8
1.5.6 Intérêt du BIM :	9
1.5.7 La relation entre BIM et SIG :	10
1.5.8 L'interopérabilité du BIM :	11
1.5.9 Les Outils du BIM :	12
1.5.10 BIM et pratiques contractuelles :	14
1.5.11 Utilisation du BIM au Monde :	15
1.5.12 Situation actuelle de l'adoption du BIM en Algérie :	16
1.6 BIM au service des infrastructures :	16
1.6.1 Le BIM adapté aux infrastructures :	17
1.6.2 Les enjeux pour l'État :	17
1.6.3 Utilisation du BIM dans le domaine d'infrastructure :	18

1.7	Conclusion :	18
Chapitre 02 : Avant-projet sommaire.		19
2.1	Introduction :	19
2.2	La technique utilisée dans la phase avant-projet sommaire (APS) :	19
2.2.1	La technique classique :	20
2.2.2	Carte géologique :	20
2.2.3	Carte topographique :	21
2.2.4	Projection sur une carte topographique :	22
2.3	La technique moderne (à l'aide de l'infraworks) :	22
2.3.2	La technique choisie :	23
2.4	Aperçu sur le logiciel INFRAWORKS :	24
2.5	Les fonctionnalités d'Infraworks :	25
2.6	Infraworks pour les projets d'infrastructures :	26
2.7	Infraworks pour la gestion des actifs :	26
2.8	Infraworks pour la modélisation 3D :	27
2.9	Les avantages de l'intégration d'Infraworks avec d'autres outils Autodesk :..	27
2.10	Les normes de conception utilisée :	28
2.11	Présentation de projet :	29
2.11.1	Présentation de la wilaya de Mostaganem :	30
2.11.2	L'objectif de l'APS dans notre projet (Avant-projet sommaire) :	33
2.11.3	Modélisation des variantes :	34
2.11.4	Création et modélisation de la première variante (V1) :	38
2.11.5	Présentation de variante V1 et les résultats obtenus :	42
2.11.6	Présentation de variante V2 et les résultats obtenus :	45
2.12	Le choix d'une variante :	47
2.13	Conclusion :	49
Chapitre 03 : Avant-projet détaillé		50

3.1	Introduction :	50
3.2	Présentation du logiciel Civil 3D :	51
3.3	Tracé en plan :	51
3.3.1	Règles à respecter dans le tracé en plan :	51
3.3.2	Eléments du tracé en plan :	53
3.3.3	Devers associés :	56
3.3.4	Application au projet :	59
3.4	Sinuosité :	62
3.5	Environnement de la route :	63
3.5.1	Vitesse de référence :	64
3.6	PROFIL EN LONG :	72
3.6.1	Définition :	72
3.6.2	Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	72
3.6.3	Les éléments composition du profil en long :	73
3.6.4	Les types de rayons :	73
3.6.5	Coordination entre le tracé en plan et le profil en long :	73
3.6.6	La ligne rouge :	74
3.6.7	Déclivités du profil en long :	74
3.6.8	Les raccordements en profil en long :	75
3.6.9	Condition de confort :	76
3.6.10	Condition de visibilité :	77
3.6.11	Raccordements concaves (angle rentrant) :	78
3.6.12	Détermination pratique du profil en long :	78
3.6.13	Détermination de La position du point de rencontre (S) :	79
3.6.14	Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (T) :	80
3.6.15	Le calcul est effectué à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2023 :	80
3.7	Etude trafic :	82

3.7.1	Généralité :	82
3.7.2	Différents types de trafic :	82
3.7.3	Analyse des trafics existants :	82
3.7.4	Mesure des trafics :	83
3.7.5	Comptages :	83
3.7.6	Enquêtes « origine-destination » :	83
3.7.7	Calcul de la capacité :	83
3.7.8	Projection Future Du Trafic :	84
3.7.9	Calcul du trafic effectif :	84
3.7.10	Coefficient d'équivalence "p" (selon le B40) :	84
3.7.11	Débit de point horaire normal :	85
3.7.12	Débit horaire admissible :	85
3.7.13	Déterminations du nombre des voies :	86
3.7.14	APPLICATION DE PROJET :	86
3.7.15	Conclusion :	87
3.8	Dimensionnement du corps de chaussée :	88
3.8.1	Principe :	88
3.8.2	Nature du matériau :	88
3.8.3	Le trafic :	88
3.8.4	Remarque générale :	88
3.8.5	Méthode de dimensionnement du corps de chaussée :	88
3.8.6	Détermination de la classe de trafic :	90
3.8.7	Application numérique au projet :	91
3.8.8	Conclusion :	93
3.9	Profil en travers :	93
3.9.1	Définition :	93
3.9.2	Types de profil en travers :	94

3.9.3	Les éléments de profil en travers :	96
3.9.4	Application au projet :	97
3.10	Cubatures approchées	98
3.10.1	Méthodes de calcul approximatif :	98
3.11	Devis quantitatif et estimatif :	105
3.11.1	Devis estimatif :	105
3.11.2	Devis quantitatif :	105
3.11.3	Conclusion :	107
Chapitre 04 : étude hydrologique et hydraulique.		108
4.1	Introduction :	108
4.2	Bassin versant :	108
4.2.1	Bassin versant d'oued roumane :	109
4.2.2	L'objectif de l'étude hydrologique sur ce bassin :	109
4.2.3	Caractéristiques de Bassin versant d'oued roumane :	109
a)	Methodologie de l'étude :	113
b)	Délimitation du bassin versant oued Roumaine sous Infracworks :	114
4.3	Calcul des débits des bassins versants :	115
4.3.1	Méthode rationnelle :	115
4.3.2	Etude hydraulique :	120
4.4	La vérification de la capacité du dalot existant vis-à-vis du débit de crue :	121
4.4.1	Dimensionnement des ouvrages de l'assainissement routier :	122
4.4.2	Dimensionnement des ouvrages linéaires :	126
4.5	Conclusion :	129
Chapitre 05 : Modélisation du pont.		130
5.1	Introduction :	130
5.2	Pré-dimensionnement du dalot :	130
5.2.1	Les éléments de dalot :	130

5.2.2	Épaisseur du tablier-piédroit-radier (e) :	132
1.2.	Pré dimensionnement des murs en l'ail :	134
5.2.3	Charges et surcharges :	135
5.2.4	Caractéristique du pont :	136
5.2.5	Charges Permanentes :	137
5.2.6	Surcharges d'exploitations :	138
5.3	Modélisation par Robot Structural Analysis :	143
5.3.1	Présentation du Robot Structural Analysis :	143
5.3.2	Méthode de modélisation :	143
5.4	Conclusion :	152
Chapitre 06 : Mode de travail BIM.		153
6.1	Introduction :	153
6.2	L'interopérabilité des outils Autodesk dans notre projet :	153
6.3	Mode de travail sur le BIM :	155
6.3.1	Les acteurs de notre projet :	157
6.3.2	La plateforme collaboratif BIM track :	158
6.3.3	Configuration de serveur de collaboration :	159
6.3.4	La méthode de création de projet sur BIM track :	160
6.3.5	La méthode de collaboration :	164
6.4	Application :	165
6.5	Conclusion :	168

Liste des figures

Figure 1-1 les fonctionnalités du BIM.....	5
Figure 1-2 une maquette numérique.....	6
Figure 1-3 Les niveaux de maturité du BIM.....	7
Figure 1-4 Les dimensions du BIM.....	8
Figure 1-5 Niveaux de détail du BIM.....	9
Figure 1-6 Les avantages du BIM.	10
Figure 1-7 L'interopérabilité du BIM.....	11
Figure 1-8 format d'échange IFC.	12
Figure 1-9 Les outils du BIM.	14
Figure 2-1 la carte géologique de l'atlas d'Algérie.	21
Figure 2-2 la carte topographique de la zone de projet étudiée.....	22
Figure 2-3: montre l'interface de l'infraworks.....	25
Figure 2-4 les normes de conception sur infraworks.....	29
Figure 2-5 le tronçon étudié.....	30
Figure 2-6: Réseau routier de la wilaya de Mostaganem.	31
Figure 2-7 Carte des daïras et communes de la wilaya de Mostaganem.	32
Figure 2-8 Modèle Builder.	34
Figure 2-9 dessiner une zone d'intérêt.....	35
Figure 2-10 le système de coordonnées.....	36
Figure 2-11 création de modèle.....	36
Figure 2-12 téléchargement de modèle.....	37
Figure 2-13 le modèle de la zone de projet.....	38
Figure 2-14 la conversion de la route vers une route composée.....	38
Figure 2-15 Remplacement de structure de la route.....	39
Figure 2-16 Délimitation de tronçon choisi.....	39
Figure 2-17 modification de géométrie de la route.....	40
Figure 2-18 création de nouveau scénario.....	40
Figure 2-19 planification de la 1ère variante.....	41
Figure 2-20 paramétrage de la géométrie de la route.....	41
Figure 2-21 l'analyse de variante.....	42
Figure 2-22 Présentation de variante V1.....	42
Figure 2-23 le profil en long de 1ère tronçon.....	43

Figure 2-24 le profil en long de 2ème tronçon.	44
Figure 2-25 Profile en travers de variante V1 sur l'infraworks.	44
Figure 2-26 Présentation de variante V2.	45
Figure 2-27 le profil en long de 1 ère tronçon.	46
Figure 2-28 le profil en long de 2ème tronçon.	46
Figure 2-29 Profile en travers de variante V2 sur l'infraworks.	46
Figure 3-1 raccordement circulaire.....	59
Figure 3-2 levé de bande de notre projet.	71
Figure 3-3 Élément géométrique du profil en long.	73
Figure 3-4 condition de visibilité.....	77
Figure 3-5 Détermination des coordonnées A et B.	79
Figure 3-6 corps de chaussée "matériaux et épaisseurs".	93
Figure 3-7 Profil en travers d'une chaussée.	94
Figure 3-8 profil en travers type de notre tracé.	95
Figure 3-9 Profil en travers courant de notre tracé.	95
Figure 3-10 Profil en remblai.	95
Figure 3-11 Profil en déblai.	96
Figure 3-12 Profil mixte.	96
Figure 3-13 Schéma représentant la surface entre profil.	98
Figure 3-14 Calcul de surfaces cas de remblais.....	99
Figure 3-15 Calcul de surfaces cas de déblais.	100
Figure 4-1 bassin versant élémentaire.	108
Figure 4-2 La partie aval du bassin versant oued roumaine.	110
Figure 4-3 la carte d'état-major.	111
Figure 4-4 l'hypsométrie d'une partie du bassin oued Roumaine.	114
Figure 4-5 la délimitation de bassin versant sous INFRAWORKS.....	114
Figure 4-6 données hydrologiques optées par l'outil Infraworks.	116
Figure 4-7 Résultats de l'étude hydrologique sur INFRAWORKS.....	120
Figure 4-8 Délimitation du bassin en vu de dimensionner le passage busé.....	123
Figure 4-9 Vue schématique du fossé trapézoïdal.	129
Figure 5-1 Les éléments de dalot.....	131
Figure 5-2 Le pré dimensionnement de dalot.	134
Figure 5-3 Les règles de pré dimensionnement du mur en ail.	134
Figure 5-4 Le système Bc Longitudinalement.....	139

Figure 5-5 Le système Bc Transversalement.....	140
Figure 5-6 Le système Bt Longitudinalement.	140
Figure 5-7 Le système Bt Transversalement.	140
Figure 5-8 Disposition du système Br.	141
Figure 5-9 Disposition de Surcharge Militaire M_{C120}	142
Figure 5-10 Charge exceptionnelle types D240.	142
Figure 5-11 Modèle numérique de dalot sur Robot.....	144
Figure 5-12 Introduction Des Unités Et Des Normes A Utilisé.	145
Figure 5-13 Les lignes de construction selon les trois axes X, Y et Z.....	145
Figure 5-14 Définition de l'épaisseur de la dalle.....	146
Figure 5-15 La forma géométrique du dalot sur Robot.	146
Figure 5-16 Définition des charges.....	147
Figure 5-17 Chargement sous le poids du revêtement.....	147
Figure 5-18 Chargement sous le poids des trottoirs.	148
Figure 5-19 Chargement sous le poids des gardes corps.	148
Figure 5-20 Chargement sous le poids des surcharges sur trottoir.	149
Figure 5-21 Chargement sous le système A(L).	149
Figure 5-22 Définition des charges roulantes.	150
Figure 5-23 Chargement sous le système Bc.....	150
Figure 5-24 Chargement sous le système M_{C120}	151
Figure 5-25 Chargement sous le système D240.	151
Figure 6-1 Interopérabilité entre les différents outils.	154
Figure 6-2 Différence entre le processus traditionnel et l'Approche BIM.	156
Figure 6-3 Intervention des différents acteurs.	157
Figure 6-4 Fonctionnalités de BIM track.....	158
Figure 6-5: es serveurs globaux et locaux.	159
Figure 6-6:Connection sur BIM track.	160
Figure 6-7 Création de nouveau Hub.....	160
Figure 6-8 Création d'un projet.	161
Figure 6-9 Interface de projets ciblés sur BIM track.	161
Figure 6-10: Paramétrage du « hub ».	162
Figure 6-11 Personnalisation des paramètres.	162
Figure 6-12 Insertion de fichier de pont.	163
Figure 6-13 Visualisation du Dalot en 3D.....	163

Figure 6-14 erreur de modélisation au niveau du mur en aile.	165
Figure 6-15 Publication d'une question sur la plateforme BIMtrack.	166
Figure 6-16 Création d'une question.	166
Figure 6-17 Modèle sur Robot structural avant la correction.	167
Figure 6-18 Modèle après la correction.	167
Figure 6-19 Visualisation du modèle final.	168

Liste des tableaux.

Tableau 2-1 le réseau routier de la Wilaya de Mostaganem.....	31
Tableau 2-2 daïras et communes de la wilaya de Mostaganem.....	33
Tableau 2-3: les données techniques de variante v1.	43
Tableau 2-4 les données techniques de variante v2.....	45
Tableau 2-5 les donnée de critères des deux variantes.	48
Tableau 3-1: Coefficient f" en fonction de la catégorie.....	56
Tableau 3-2 rayons du tracé en plan selon les normes B40.....	56
Tableau 3-3 Valeurs des dévers selon les normes Algériennes.	57
Tableau 3-4 Coefficient du frottement transversal ft.....	57
Tableau 3-5:Coordonnées planimétriques de l'axe.	59
Tableau 3-6 Valeurs de la dénivelée.	60
Tableau 3-7 Classification du terrain en fonction de dénivelée cumulée.	62
Tableau 3-8 les rayons et les longueurs des développés.	63
Tableau 3-9 Classification du terrain en fonction de la sinuosité.....	63
Tableau 3-10 Sinuosité en fonction du relief.....	63
Tableau 3-11 Valeurs des vitesses en fonction de la catégorie et l'environnement.	64
Tableau 3-12 Rayons du tracé en plan par pour les rayons B40.	65
Tableau 3-13 dévers associés des rayons horizontal.	67
Tableau 3-14 récapitulatif.....	69
Tableau 3-15 Les éléments de raccordements circulaires.	70
Tableau 3-16 Pourcentage des alignements droit et courbe.	71
Tableau 3-17 Valeur de déclivité maximale.....	75
Tableau 3-18 Rayons en angle saillant (B40).....	76
Tableau 3-19 Rayons convexes.....	78
Tableau 3-20 Rayons concaves (angle rentrant).....	78
Tableau 3-21 Abscisse Sommets et Raccordements.	80
Tableau 3-22 coefficient d'équivalence.	84
Tableau 3-23 Valeur de "K2".	85
Tableau 3-24 Valeur de "K2".	85
Tableau 3-25 valeurs de capacité théorique du profil en travers en régime stable.....	86
Tableau 3-26 résulta du calcul du trafic.	87
Tableau 3-27 Classe de trafic Ti.....	90

Tableau 3-28 Classe de sol.	91
Tableau 3-29 Coefficients d'équivalence.	92
Tableau 3-30 épaisseurs du corps de chaussée.	93
Tableau 3-31 Cubatures approchée.	100
Tableau 4-1 coordonnées de point d'exutoire d'oued Roumane.	109
Tableau 4-2 Récapitulatif des Caractéristiques Morpho-métriques.	112
Tableau 4-3 Propriété du bassin versant oued roumaine.	115
Tableau 4-4 suivant récapitule les valeurs de ces coefficients.	116
Tableau 4-5 Coefficient de ruissèlement en fonction de la pente.	118
Tableau 4-6 Coefficient de ruissèlement en fonction de la nature du sol.	118
Tableau 4-7 Coefficient de ruissèlement en fonction de la couverture végétale.	118
Tableau 4-8 Résultats de l'étude hydrologique.	119
Tableau 4-9 résume les valeurs des coefficients de ruissèlement.	126
Tableau 5-1 Détails des goussets.	133
Tableau 5-2 Les caractéristiques géométriques da dalot.	136
Tableau 5-3 Classification de pont.	137
Tableau 5-4 Les valeurs des charges considérées.	144

Introduction générale

Le monde évolue rapidement. La demande croissante de ressources, la croissance démographique, la forte urbanisation et les besoins croissants en infrastructures ont conduit le secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC) à entreprendre une transformation numérique. La numérisation de ce secteur est étroitement liée à la production, à l'approbation et à la collaboration dans le domaine des infrastructures. C'est pourquoi nous encourageons l'utilisation de la technologie et des processus BIM.

Le BIM, qui signifie Building Information Modeling, est un processus intelligent basé sur la modélisation 3D qui fournit aux professionnels de l'industrie des outils pour planifier, concevoir et gérer de manière plus efficace les bâtiments et les infrastructures, cependant, son efficacité et son adaptabilité dans des projets linéaires tels que les routes soulèvent des interrogations. Notre problématique se concentre donc sur la question suivante : Est-ce que l'application du BIM sur un projet linéaire, plus spécifiquement une route, est véritablement bénéfique et contribue à une meilleure coordination, une réduction des erreurs et une optimisation des processus ?

Afin de profiter des avantages du BIM et de suivre le développement du marché mondial de la numérisation dans le domaine de la construction et des travaux publics, les architectes, les ingénieurs, les géomètres, les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage adoptent la modélisation numérique de la construction et mettent en œuvre ses pratiques. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études.

L'objectif de ce projet est de développer un flux de travail BIM, en mettant l'accent sur les infrastructures linéaires, et de créer un processus de travail utilisant les logiciels appropriés. Cela sera réalisé à travers un projet combinant la conception technique des routes et des ouvrages d'art. Ce projet se distingue par la création d'un modèle 3D complet qui intègre tous les éléments de conception dans leur environnement réel, ce qui rend la proposition plus pertinente et ajoutant ainsi de la valeur.

Cependant, il est important de noter que ce processus nécessite la participation de tous les collaborateurs à toutes les étapes du cycle de vie du projet, de l'étude préliminaire à la maintenance. Une recherche détaillée et une mise en œuvre rigoureuse sont nécessaires pour tirer pleinement parti des avantages essentiels que ce processus apporte au secteur.

Dans cette même optique, l'organisation de ce manuscrit se fera comme suit, le premier chapitre concerne des généralités sur la technologie BIM, le second chapitre traite l'avant-projet sommaire tandis que dans le troisième chapitre expose l'avant-projet détaillé, l'étude hydrologique et hydraulique étant abordé dans le quatrième chapitre, le cinquième chapitre évoque la modélisation d'ouvrage d'art en enfin le sixième chapitre invoque le mode de travail BIM, et nous donnant une conclusion et nous recommandant des suggestions.

Chapitre 1 : Généralité

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous aborderons la technologie BIM (Building Information Modeling). Nous commencerons par fournir une vue d'ensemble complète de cette technologie révolutionnaire, en mettant l'accent sur les notions, les définitions et la compréhension essentielle pour saisir son importance et son impact dans les différents domaines.

1.2 Cadre général du PFE :

Ce projet de fin d'études (PFE) s'inscrit dans l'application de la technologie BIM (Building Information Modeling) dans le domaine des infrastructures, avec une étude portant sur le dédoublement d'un tronçon de la route nationale RN11, couvrant un linéaire de 4.7 km, géo localisé entre Sidi Lakhdar et Khadra. Il s'agit de capitaliser cette approche et d'appliquer la numérisation dans le domaine des travaux publics.

1.3 Objectifs du PFE :

L'objectif ultime de ce projet est de développer le processus BIM dans un projet routier, parmi lesquels on cite :

- L'élaboration des analyses nécessaires pour un projet d'infrastructure routière.
- Le respect des normes et des critères de la conception.
- L'optimisation du processus durant toutes les phases de l'étude.
- Le choix d'une variante adéquate qui répond à toutes les exigences du projet et aux contraintes de son environnement.
- La génération des plans d'exécution.
- L'élaboration d'une maquette numérique du projet.

1.4 Méthodologie de l'étude :

Afin de bien accomplir cette tâche, il est nécessaire de suivre un processus complet et efficace dont le but est d'optimiser la conception et la documentation, d'éviter la perte de données et d'identifier rapidement les défis liés au projet pour trouver des solutions efficaces. Cependant, des flux de travail intelligents et connectés doivent être mis en œuvre afin d'optimiser la durabilité, la productivité et la rentabilité des projets d'infrastructure en transférant les informations du projet d'une phase à l'autre. Les méthodes utilisées dans cette étude sont les suivantes :

1.4.1 La création d'un modèle des conditions existantes :

Le démarrage d'un projet d'infrastructure commence par la création d'un modèle intelligent à partir de sources de données existantes, ce qui contribuera à accélérer le processus de conception. Le but de cette étape est de convertir la saisie des données en le contexte de l'environnement réel du projet. A cette phase, sur la base des données SIG, les données de terrain doivent être utilisées le logiciel INFRAWORKS et la modélisation des différents éléments qui composent l'environnement du projet disposent de modèle 3D riches d'informations.

1.4.2 La conception préliminaire :

Au cours de la phase de conception préliminaire, il est nécessaire de créer et évaluer les variantes de la conception. Par conséquent, nous avons dû ajouter des éléments de conception au modèle créé précédemment et proposer différentes variantes. Le but de cette étape est d'intégrer la solution technique dans le modèle 3D pour permettre la prise de décisions plus efficaces et faites des choix plus intelligents.

1.4.3 La conception détaillée :

Une fois l'avant-projet validé, le projet est importé dans le logiciel Autodesk Civil3D. Il reconnaît les objets de conception prédéfinis et permet une interaction dynamique avec le modèle d'Infraworks. Civil 3D met à jour toutes les informations lorsque des modifications de conception se produisent d'éliminer les retouches et améliorez l'efficacité et la qualité des livrables du projet. Autocad Civil 3D nous permet d'appliquer des normes de conception prédéfinies ou importées et d'ajouter des détails et des données intelligentes à notre modèle.

Il est possible d'importer aisément les ponts conceptuels Robot vers civil 3D afin de réaliser une conception détaillée, des plans de coffrage et des détails quantitatifs. Les deux logiciels communiquent en mode bidirectionnel, ce qui signifie que toute modification apportée dans l'un des logiciels est automatiquement reflétée dans l'autre. En outre, pour effectuer des analyses structurelles, il est possible d'utiliser Structural Bridge Design ou Robot Structural Analysis. Étant donné la complexité croissante des projets d'infrastructure, il est de plus en plus important d'optimiser l'efficacité opérationnelle et de contrôler les coûts. Navisworks est un outil qui permet d'examiner les modèles et les données intégrées avec les parties prenantes pour mieux comprendre le projet et en contrôler le résultat. Il peut détecter les conflits entre les modèles de différentes disciplines du projet, effectuer des simulations de planification (BIM 4D) et d'estimation de coûts (BIM 5D).

1.5 Building Information Modeling :

BIM signifie "Building Information Modeling" ou "Modélisation des Informations de la Construction". Cette méthode s'applique aux projets de bâtiments ainsi qu'aux projets d'infrastructures. Cette partie du projet traite des différentes définitions liées au BIM et permet de se familiariser avec le jargon de cette technologie et son application dans le domaine des infrastructures. [1].

1.5.1 Définition de BIM :

Le BIM est une méthode de travail collaborative qui permet le partage d'informations fiables tout au long des phases d'un projet (conception, réalisation, exploitation, démolition) à l'aide d'une maquette numérique paramétrique 3D. Cette maquette contient des données précises, accessibles et exploitables pour la prise de décisions optimales.

Le BIM repose sur un partage de données simultanées et rapide entre tous les acteurs d'un projet, ainsi que sur le contrôle et la capitalisation de ces données tout au long du cycle de vie d'un bâtiment ou d'une infrastructure. Cela nécessite une organisation de travail adaptée et des outils informatiques compatibles avec cette démarche [2].



Figure 1.1 les fonctionnalités du BIM .

1.5.2 Le BIM et la maquette numérique :

Même s'ils sont souvent confondus, il convient de distinguer la Maquette Numérique et le BIM. En effet, la maquette numérique est une représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment ou d'une infrastructure, tandis que le BIM est une méthode de travail qui se base sur la collaboration et le partage de données. La maquette numérique est au centre du processus collaboratif du BIM [3].

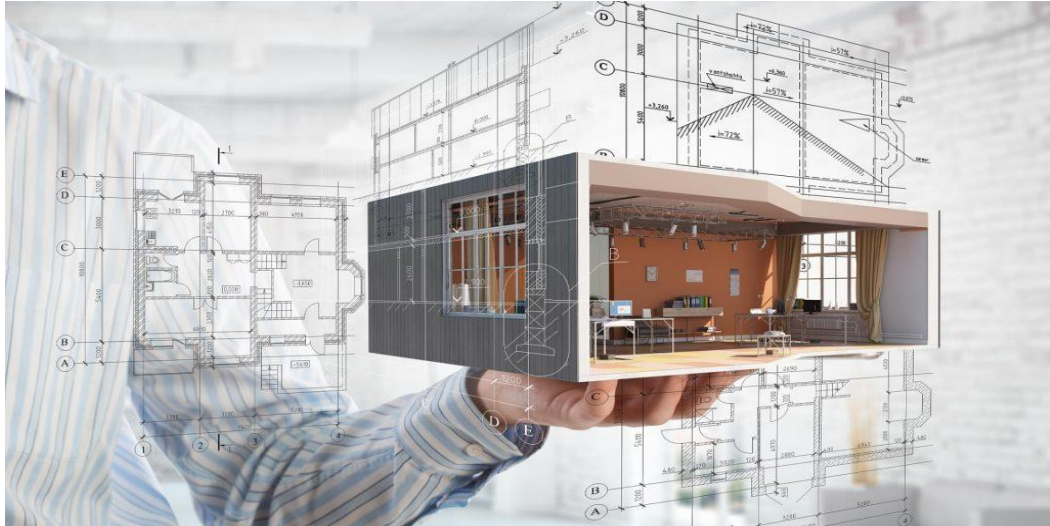


Figure 1-2 une maquette numérique ().

1.5.3 Les niveaux de maturité du BIM :

Le BIM est un processus collaboratif qui se décline en plusieurs niveaux de maturité, allant de 0 à 3 :

- Le niveau 0 correspond à une conception en 2D sans gestion collective ni structuration des données.
- Le niveau 1 correspond à un BIM en isolation, où chaque acteur travaille sur ses propres parties du projet.
- Le niveau 2 implique que chaque acteur crée sa propre maquette 3D, regroupées en une maquette générale avec une organisation du travail collaborative et une structuration des données normalisée.
- Le niveau 3 correspond à un modèle unique accessible à tous les acteurs durant toute la durée de vie du projet [4].

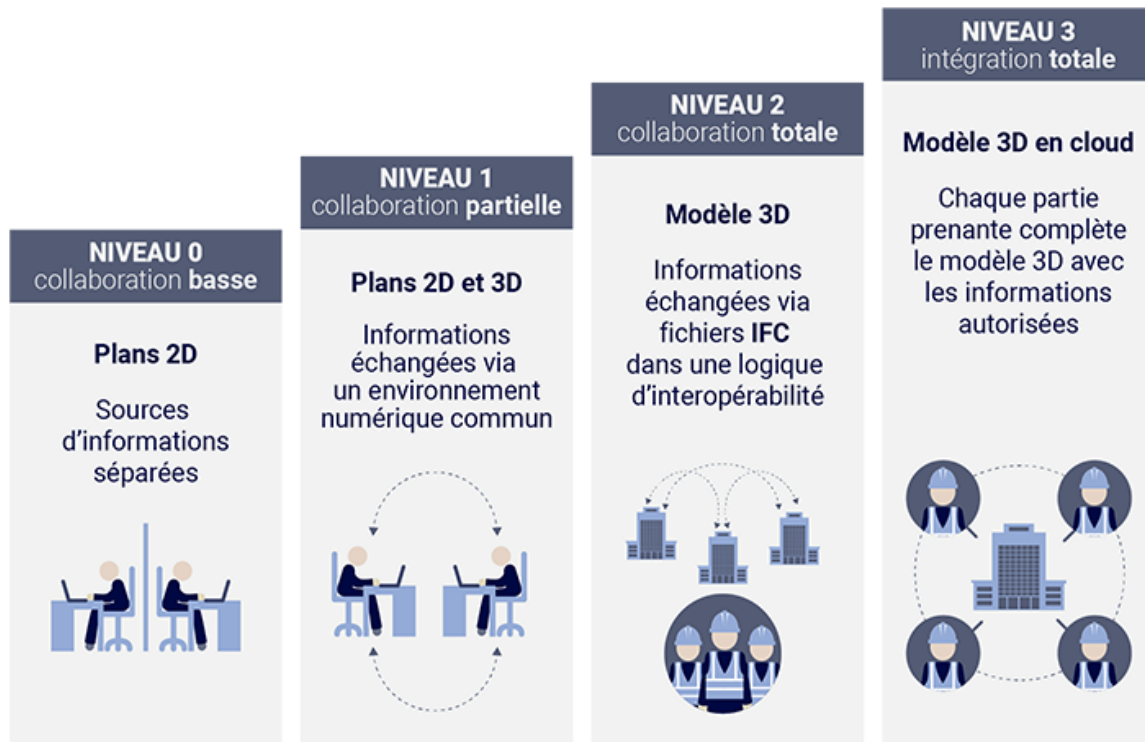


Figure 1-3 Les niveaux de maturité du BIM.

1.5.4 Les dimensions du BIM :

En plus de ces niveaux d'organisation, il existe des aspects de BIM qui varient en fonction des sujets traités :

- Le BIM 3D : est une méthode traditionnelle qui se concentre sur un modèle d'objet 3D paramétrique avec des informations intégrées.
- Le BIM 4D : ajoute la dimension du temps et de la planification (travaux, logistique, facturation, etc.).
- Le BIM 5D : ajoute la dimension des coûts (estimation actualisée en temps réel, simulations de coûts en fonction des variantes sélectionnées, etc.).
- Le BIM 6D : ajoute les dimensions du développement durable et de l'environnement (analyse des émissions de carbone, etc.).

- Le BIM 7D : consiste à inclure l'exploitation du projet, c'est-à-dire la collecte et le partage des données du projet pour faciliter la maintenance et l'exploitation de la construction.
- Le BIM n D : Après le niveau 5D, il est possible d'ajouter d'autres informations aux objets BIM, telles que des données sur l'acoustique, l'impact environnemental, la thermique, et bien d'autres encore.

Il est possible d'ajouter presque un nombre infini de dimensions au modèle de construction en fonction des besoins et du type de données insérées [5].



Figure 1-4 Les dimensions du BIM.

1.5.5 Niveaux de détail (LOD, level of details) :

Le niveau d'information requis pour les éléments de la maquette numérique varie en fonction de l'avancement du projet. Les LOD les plus couramment utilisés sont basés sur la définition du LOD dans le document AIA G202-2013 de l'Institut américain des architectes, et sont caractérisés par des nombres allant de 100 à 500.

- Le LOD 100 correspond au stade de l'esquisse et inclut des informations telles que le volume, l'orientation et le coût général.
- Le LOD 200 correspond à la phase de l'avant-projet sommaire (APS) et inclut des quantités, des tailles et des analyses préliminaires.
- Le LOD 300 est atteint lorsque les éléments du modèle sont prêts pour l'établissement des quantités, l'estimation financière et la présentation détaillée de l'ensemble des prestations. Il correspond à la phase d'avant-projet détaillé (APD).

- Le LOD 350 est un niveau de détail supplémentaire dans lequel les éléments du modèle sont représentés graphiquement de manière spécifique en tant qu'objet ou assemblage, interagissant avec les autres éléments.
- Le LOD 400 contient les détails et les désignations de tous les éléments et est considéré comme le niveau le plus proche du DOE (dossier d'ouvrage exécuté).
- Le LOD 500 est spécifiquement dédié à l'exploitation et à l'entretien de la structure [6].



Figure 1-5 Niveaux de détail du BIM.

1.5.6 Intérêt du BIM :

L'adoption de processus BIM implique des changements significatifs dans les méthodes de travail et les outils utilisés, mais apporte de nombreux avantages, notamment :

- Une meilleure capacité de contrôle et de détection des conflits, à la fois manuelle et automatique, permettant des modifications plus rapides.
- Une gestion plus efficace des coûts grâce à la détection précoce des erreurs et des conflits, et à la possibilité de calculer et d'ajuster les coûts en temps réel.
- Des délais plus précis grâce à une planification et une logistique optimisées, qui permettent de suivre l'évolution de la construction et des besoins en matériaux à chaque étape du projet.
- Des échanges plus fréquents et plus fluides entre les différents acteurs du projet à chaque étape.
- La possibilité d'effectuer des études de performance énergétique et environnementale dès les phases de conception.
- Une plus grande homogénéité et cohérence des livrables graphiques grâce à l'utilisation de la maquette 3D pour générer les plans 2D.

- La capitalisation et l'enrichissement des données à chaque étape, permettant de disposer de celles-ci à tout moment pour tous les acteurs concernés et de faciliter l'entretien et l'exploitation pour le propriétaire du bâtiment [7].



Figure 1-6 Les avantages du BIM.

1.5.7 La relation entre BIM et SIG :

La combinaison du Building Information Modeling (BIM) et du Système d'Information Géographique (SIG) a pour objectif de révolutionner le développement des infrastructures intelligentes.

Les deux technologies se complètent dans la planification, la conception, la construction et l'exploitation en fournissant une vue d'ensemble globale de l'infrastructure. Le SIG fournit des informations au BIM, qui à son tour nourrit le SIG

. En utilisant cette approche, le SIG fournit aux ingénieurs et aux concepteurs un contexte précis des installations existantes, ce qui permet une exploration et une évaluation plus poussées de la conception. Ensuite, le BIM améliore les opérations et la maintenance des **actifs** en créant des modèles précis qui peuvent être utilisés pour des projets de grande envergure [8].

1.5.8 L'interopérabilité du BIM :

En construction, l'interopérabilité se réfère à la capacité des logiciels à partager des informations entre eux. Cette fonctionnalité permet à tous les membres d'un projet de lire et d'utiliser des fichiers provenant de collaborateurs qui n'utilisent pas nécessairement les mêmes suites logicielles [9].



Figure 1-7 L'interopérabilité du BIM.

1.5.8.1 L'open BIM :

L'Open BIM est un programme de collaboration universel basé sur des normes et des processus de travail ouverts pour la conception, la construction et l'utilisation de bâtiments. Il a été initié par building SMART et plusieurs autres éditeurs de logiciels leaders du marché qui utilisent le modèle de données ouvert building SMART.

L'objectif de l'Open BIM est de garantir l'interopérabilité des logiciels dans le cadre d'une maquette numérique normalisée et libre. Grâce à l'Open BIM et aux fichiers IFC, tous les acteurs du projet peuvent travailler avec la même maquette numérique, indépendamment du logiciel qu'ils utilisent [10].

1.5.8.2 Un format d'échange pour l'open BIM :

Le format de fichier IFC, également connu sous le nom d'Industry Foundation Classes conformément à la norme ISO 16739, est largement utilisé dans l'industrie de la construction pour faciliter l'échange d'informations entre les logiciels de conception assisté par ordinateur et les logiciels d'ingénierie. Ce format permet de décrire les propriétés et les relations entre des objets tels que des murs, des fenêtres, des espaces et des poteaux. L'objectif principal de l'IFC est de garantir l'interopérabilité entre ces différents types de logiciels en assurant la compatibilité des maquettes numériques et la circulation transparente des données entre les parties prenantes du projet. Plus de 800 classes d'objets sont actuellement disponibles dans le format IFC, incluant :

- IfcWindow pour les fenêtres.
- IfcWall pour les murs.
- IfcSlab pour les dalles.
- IfcBeam pour les poutres [11].

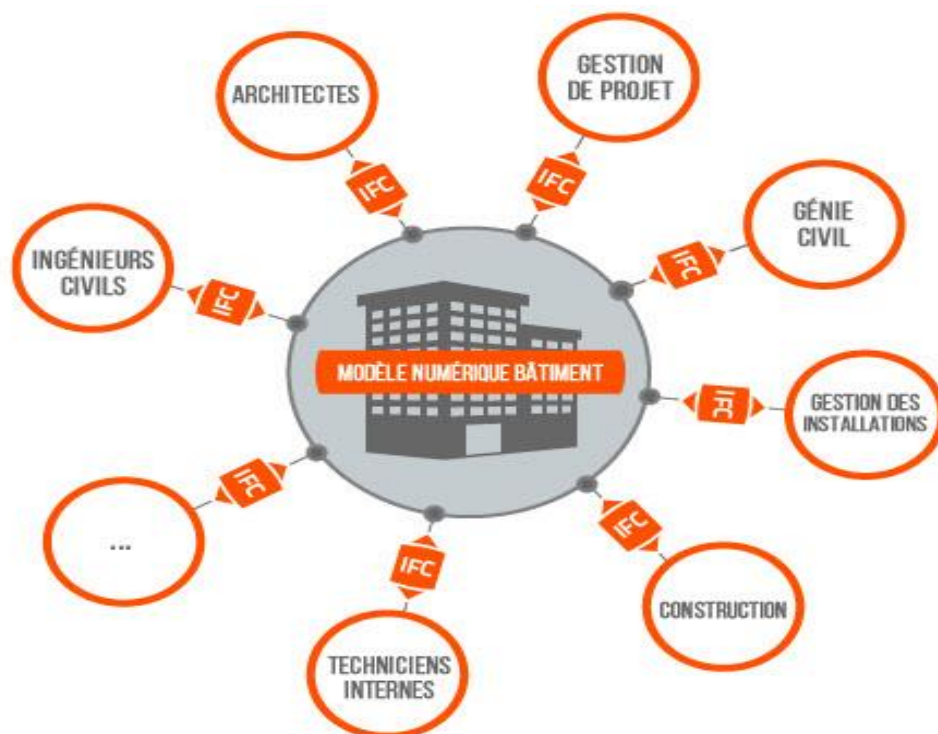


Figure 1-8 format d'échange IFC.

1.5.9 Les Outils du BIM :

Il existe trois catégories principales d'outils BIM :

1.5.9.1 Outils de modélisation :

L'équipe de maîtrise d'œuvre (composée d'architectes et de bureaux d'études) ainsi que les entreprises de construction ont principalement recours aux outils de modélisation durant les phases de conception et de construction. Il existe une variété d'éditeurs de logiciels BIM et de prestataires de services de modélisation pour l'industrie de l'architecture numérique, les plus connus étant ArchiCAD, REVIT, etc. Les outils de modélisation peuvent être divisés en trois grandes catégories :

- Les outils généralistes : Ces outils peuvent être utilisés dès les premières étapes du processus de conception, et permettent la modélisation de tous les éléments constitutifs du projet. tels qu'Autodesk Revit, Graphisoft Archicad, SketchUp).
- Les outils techniques, plus spécialisés et permettant des calculs et des analyses (tels qu'Tekla Structure, Autodesk Robot Structural Analysis).
- Les outils liés aux métiers de l'économie de la construction, tels que Devisoc [13].

1.5.9.2 Visionneuses BIM :

Les outils de visionnage BIM sont utilisés pour permettre aux parties prenantes de visualiser le projet à différentes étapes de sa conception. Des visionneuses BIM gratuites, telles que Solibri, TeklaBIMsight et BIMVision, sont actuellement disponibles. En plus de leur fonction de base, ces visionneuses peuvent avoir des fonctionnalités supplémentaires offertes par certaines visionneuses BIM incluent la possibilité de sélectionner des objets par corps de métier ou par classe d'objets, des outils de mesure de volumes, de surfaces ou de longueurs, ainsi que différents paramètres de mode de vue [14].

1.5.9.3 Les plateformes collaboratives :

La collaboration est au cœur de la méthodologie BIM, il est donc primordial d'utiliser un outil accessible à tous les intervenants qui permet le partage, le stockage et l'interaction autour des différentes données (documents écrits, plans, modèles 3D, notices techniques) ainsi que les mises à jour effectuées sur ces données. Parmi les plateformes de collaboration les plus connues, on peut citer, "Trimble Connect, Kroqi BIM+, AUTODESK BIM360", BIMTRACK [15].



Figure 1-9 Les outils du BIM.

1.5.10 BIM et pratiques contractuelles :

Pour mener à bien un projet en utilisant la démarche BIM, les professionnels impliqués dans la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance doivent adapter leurs pratiques. Étant donné les particularités du processus BIM, il est important de gérer l'ensemble des intervenants en utilisant trois documents contractuels clés [16] :

1.5.10.1 *La convention BIM :*

Pour établir des règles communes et une référence pour les acteurs du projet, le BIM Management utilise une convention BIM. Cette convention doit identifier les spécificités du projet, les acteurs impliqués, les rôles et responsabilités de chacun, ainsi que les exigences pour une bonne conception, production et échange de données. Le document décrit également les processus opérationnels et techniques pour la mise en œuvre de la démarche BIM pendant les différentes phases du projet.

L'objectif est de mettre en place les processus et les pratiques BIM nécessaires pour atteindre les objectifs BIM du projet. Bien sûr, cette convention peut évoluer en fonction de l'avancement du projet, des modifications des acteurs et des objectifs BIM du projet, mais elle reste le document de référence pour la réalisation de la démarche BIM [17].

1.5.10.2 *Le cahier de charge BIM :*

Le document du maître d'ouvrage (MO) a pour objectif de préciser les objectifs et exigences des différents intervenants du projet, ainsi que les attentes liées au BIM [18].

1.5.10.3 *La charte BIM :*

La charte BIM établit les règles communes qui doivent être respectées par tous les intervenants et définit les principes généraux de modélisation et de nomenclature. Son but est de standardiser les pratiques afin de garantir la cohérence de la maquette [19].

1.5.11 Utilisation du BIM au Monde :

Le Building Information Modeling (BIM) est devenu un enjeu majeur pour l'industrie de la construction dans le monde entier. Depuis quelques années, de nombreux pays ont adopté le BIM dans leurs pratiques de construction. Voici un tour du monde du BIM :

Amérique du Nord : Les États-Unis et le Canada ont rapidement adopté le BIM. Aux États-Unis, le BIM est devenu un standard dans les appels d'offres publics. En outre, l'American Institute of Architects (AIA) a établi un contrat BIM standard qui peut être utilisé pour tous les projets de construction.

Europe : Le BIM est également très répandu en Europe. Le Royaume-Uni est l'un des pays les plus avancés dans le domaine du BIM, Depuis 2016, l'utilisation du BIM est imposée sur tous les projets publics sous un mandat gouvernemental. D'autres pays européens ont également adopté le BIM, comme la France, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suède et la Norvège.

Asie : Le Japon est un leader en matière de BIM en Asie. Le gouvernement japonais a publié une stratégie nationale pour promouvoir l'utilisation du BIM en 2010, et il est largement utilisé dans les projets de construction publics. La Chine a également connu une adoption rapide du BIM ces dernières années, en particulier dans les grands centres urbains comme Pékin et Shanghai.

Amérique latine : Le Brésil a été l'un des premiers pays d'Amérique latine à adopter le BIM, en partie en raison de la croissance rapide du secteur de la construction dans le pays.

D'autres pays d'Amérique latine comme le Mexique, la Colombie et l'Argentine commencent également à adopter le BIM.

Moyen-Orient : Les Émirats arabes unis ont été l'un des premiers pays de la région à adopter le BIM. Dubaï a mis en place une initiative visant à généraliser l'utilisation du BIM sur tous les projets de construction d'ici 2021. D'autres pays du Moyen-Orient tels que l'Arabie Saoudite et le Qatar ont également adopté le BIM ces dernières années.

En somme, le BIM est en passe de devenir une norme mondiale dans l'industrie de la construction, avec une utilisation généralisée dans de nombreux pays à l'échelle internationale [20].

1.5.12 Situation actuelle de l'adoption du BIM en Algérie :

En Algérie, l'adoption du BIM (Building Information Modeling) est en cours, mais elle est encore limitée par rapport à d'autres pays. Les grandes entreprises du secteur de la construction ont commencé à utiliser cette méthode pour la conception et la gestion de grands projets, mais il y a encore un manque de formation et de sensibilisation à cette méthode de travail, ainsi que des outils et des logiciels BIM adaptés aux spécificités du marché Algérien. Cependant, il y a des initiatives en cours pour favoriser l'adoption du BIM en Algérie. Des programmes de formation et de sensibilisation sont proposés aux professionnels de la construction pour mieux comprendre les avantages du BIM dans la conception et la gestion des bâtiments. Des projets de recherche sont également menés pour adapter les logiciels BIM aux spécificités du marché Algérien et pour développer des normes et des réglementations liées au BIM. Malgré les défis à relever, l'Algérie semble vouloir accélérer l'adoption du BIM pour améliorer la qualité des projets de construction, réduire les coûts et les délais, et faciliter la maintenance des bâtiments sur le long terme.

1.6 BIM au service des infrastructures :

Le BIM (Building Information Modeling) est un outil qui permet d'exploiter de manière plus efficace les informations et les données dans le domaine de l'infrastructure. Cette utilisation permet d'optimiser les conceptions et de faciliter le processus de validation pour construire des infrastructures plus efficaces et durables. En rationalisant la planification et la conception grâce à des flux de travail intelligents et connectés, le BIM permet d'optimiser la durabilité, la productivité et la rentabilité des ouvrages et projets d'infrastructure [21].

1.6.1 Le BIM adapté aux infrastructures :

Le BIM (Building Information Modeling) est peu utilisé dans le domaine des infrastructures, et il reste à mettre en place des méthodes de travail adaptées, différentes de celles utilisées pour les bâtiments. En effet, les éléments de conception tels qu'un axe en plan ou un profil en travers ne sont pas reconnus comme des objets échangeables au format IFC (Industry Foundation Classes), car ils sont conçus comme des surfaces et non comme des objets 3D.

1.6.2 Les enjeux pour l'État :

Le premier défi pour le gouvernement est de définir une politique claire et consensuelle pour mettre en œuvre cette directive, en plus des défis suivants :

- Limiter les écarts de coûts entre les premières et les dernières phases du projet et anticiper les coûts d'exploitation et de maintenance possibles.
- Le BIM permet une meilleure utilisation des données et des économies de temps en évitant la duplication des études, tout en facilitant les échanges de données internes et externes.
- Disposer en permanence des plans des infrastructures réalisées, qui sont utiles pour la maintenance et les travaux futurs, et qui peuvent être modifiés tout au long de leur durée de vie.
- La qualité des projets pourrait être améliorée grâce à des contrôles permanents et des corrections possibles à tout moment. L'harmonisation des rendus, y compris leur format et leur présentation, contribuerait à cet avantage.
- Le secteur privé a déjà adopté cette approche et commence à l'appliquer à certaines de ses réalisations d'infrastructures (comme en témoignent les exemples suivants), même si l'ensemble du processus n'est pas encore totalement abouti et adapté à celles-ci. Ne pas avoir la capacité de mettre en œuvre des processus BIM ou de s'intégrer en tant qu'acteur parmi d'autres à n'importe quelle phase du projet pourrait à terme nous exclure de ces activités qui sont amenées à devenir de plus en plus nombreuses.

Les enjeux décrits ci-dessus dépassent largement le simple fonctionnement en équipe projet [22].

1.6.3 Utilisation du BIM dans le domaine d'infrastructure :

Le BIM a apporté de nombreux avantages dans le domaine des infrastructures de transport, notamment dans les secteurs ferroviaires, aéroportuaire et routier. Toutefois, le taux d'adoption du BIM varie selon les secteurs. En 2017, l'organisme mondial de statistiques et d'analyses sectorielles, Dodge Data & Analytics, a mené une enquête internationale pour évaluer l'utilisation et la mise en œuvre du BIM dans le secteur des infrastructures de transport dans différents pays du monde. Selon le rapport de l'étude, la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et les États-Unis utilisent le BIM dans les secteurs :

- Ouvrages d'art (ponts et tunnels) avec un taux de 75 %
- Routes et autoroutes avec un taux de 62 %
- Infrastructures aéroportuaires avec un taux de 49 %
- Voies ferres et transport en commun avec un taux de 45 %
- Autres infrastructures avec un taux de 49 %

1.7 Conclusion :

Cette section a pour objectif de donner un aperçu au monde du BIM et de démontrer les avantages de cette technologie par rapport aux méthodes de travail classiques. Par conséquent, le présent projet de fin d'études propose une mise en œuvre détaillée du BIM dans le cas d'un projet routier, en utilisant une étude de cas concret.

Chapitre 02 : Avant-projet sommaire.

2.1 Introduction :

En phase préliminaire, le choix de la meilleure variante pour un projet routier est crucial pour assurer sa faisabilité et sa mise en œuvre. C'est pourquoi les projeteurs doivent réaliser une étude comparative multicritère pour évaluer les différentes variantes proposées en fonction de plusieurs critères tels que l'impact environnemental, la faisabilité technique, le coût du projet, la sécurité, la qualité du service, etc.

L'outil InfraWorks peut être d'une grande aide dans cette étape, car il permet de créer facilement des modèles 3D détaillés pour chaque variante et de les évaluer rapidement en utilisant les critères définis par l'équipe de projet. Les fonctionnalités d'analyse avancées d'InfraWorks peuvent également aider à évaluer les impacts environnementaux et la capacité routière pour chaque variante.

En fin de compte, l'objectif de l'APS est de sélectionner la variante qui répond le mieux aux exigences du projet tout en étant réalisable dans les limites de budget et de délai impartis. En prenant en compte les normes techniques et environnementales ainsi que les aspects de développement durable, les projeteurs peuvent s'assurer que la solution choisie sera viable à long terme et répondra aux besoins de la communauté pour les années à venir. L'utilisation d'InfraWorks dans cette phase peut aider à faciliter ce processus en fournissant une visualisation précise des différentes variantes dans un paysage réel.

2.2 La technique utilisée dans la phase avant-projet sommaire (APS) :

La phase avant-projet sommaire (APS) est une étape importante dans la planification et la conception d'un projet d'infrastructure. Dans cette phase, il est essentiel de collecter des données précises sur le site et d'élaborer des plans préliminaires pour le projet.

Traditionnellement, la technique classique était utilisée pour collecter ces données et élaborer les plans préliminaires. Elle implique l'utilisation de méthodes conventionnelles telles que la photographie aérienne, les cartes topographiques, les cartes géologiques, etc. Cette méthode est basée sur des données et des informations collectées à partir de sources existantes, qui peuvent être limitées ou obsolètes. De plus, la collecte de données peut être un processus long et coûteux, nécessitant souvent des relevés sur site.

Cependant, l'avènement des technologies numériques a donné naissance à une technique moderne pour la planification de projets d'infrastructure en APS : l'utilisation de logiciels de conception assistée par ordinateur tels qu'Infraworks. Cette méthode moderne permet d'obtenir des données précises et actualisées en utilisant des images satellitaires, des données LIDAR et d'autres sources de données numériques. Les logiciels de conception assistée par ordinateur permettent également une collaboration plus facile et plus efficace entre les différents membres de l'équipe de projet.

2.2.1 La technique classique :

Les photographies aériennes sont des images prises depuis un avion ou un drone, qui permettent d'obtenir une vue d'ensemble d'une zone géographique. Elles sont utilisées dans de nombreux domaines, tels que la cartographie, la surveillance de l'environnement, la planification urbaine, l'agriculture et l'arpentage. Les photographies aériennes peuvent être prises à différentes échelles et angles, ce qui permet une analyse détaillée de la topographie, de la végétation, des bâtiments, des routes, des rivières et d'autres caractéristiques géographiques. Elles sont souvent combinées avec des données de terrain et des logiciels de traitement d'image pour produire des cartes, des modèles 3D et d'autres produits cartographiques. Les photographies aériennes ont été utilisées pour la première fois au début du 20ème siècle et sont devenues une méthode importante de collecte de données géographiques.

2.2.2 Carte géologique :

Une carte géologique est une carte qui représente la structure géologique de la terre. Elle montre la répartition des différentes couches géologiques qui composent la croûte terrestre. Les cartes géologiques sont élaborées à partir de l'analyse des différentes formations géologiques présentes sur le terrain, ainsi que des données obtenues à partir de forages et d'autres techniques d'exploration.

Les cartes géologiques permettent de comprendre la structure et l'évolution de la terre, ainsi que les phénomènes géologiques tels que les séismes, les éruptions volcaniques et les mouvements de terrain. Elles sont utilisées par les géologues, les géophysiciens, les ingénieurs en géotechnique, les urbanistes et les planificateurs pour évaluer les risques géologiques et pour planifier des aménagements urbains, industriels ou agricoles, la figure II.1 montre une carte géologique de l'atlas d'Algérie.

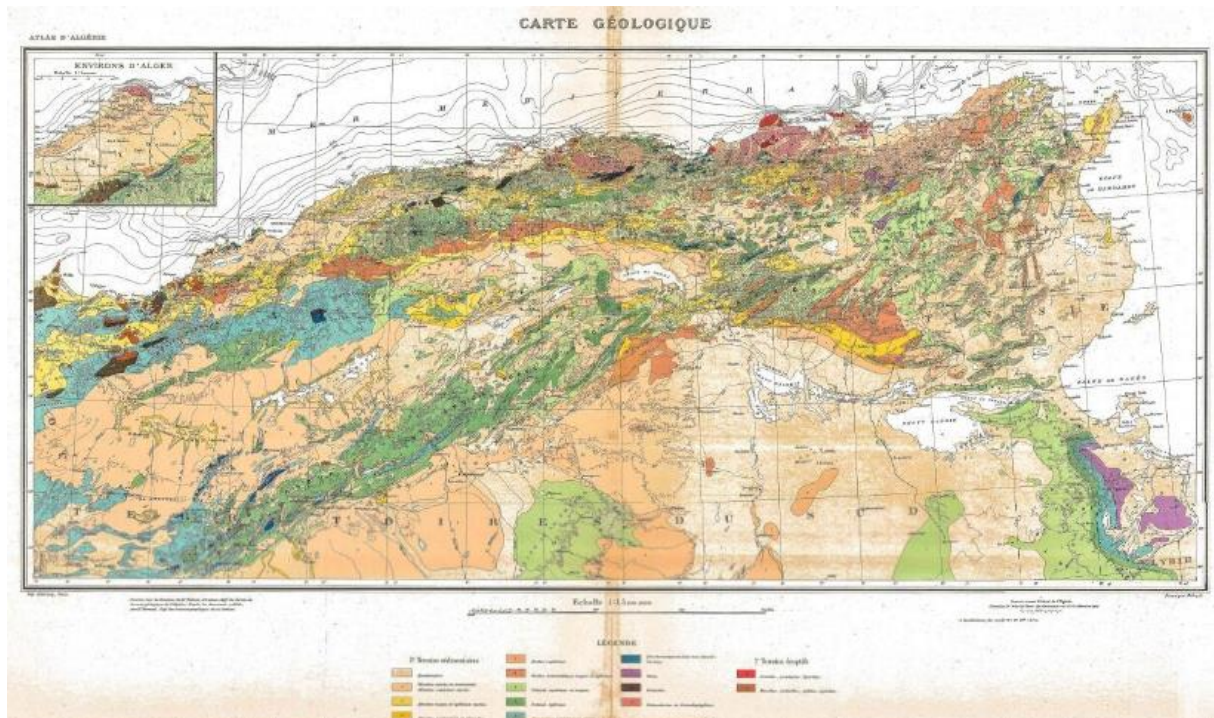


Figure 2-1 la carte géologique de l'atlas d'Algérie.

2.2.3 Carte topographique :

La topographie est une discipline qui permet de dresser des plans et des cartes pour représenter des lieux avec précision. Le terme "topographie" vient du grec "topos" qui signifie "lieu" et "graphein" qui signifie "dessin". Les cartes topographiques sont établies par des experts en cartographie à partir de photographies aériennes et représentent une représentation simplifiée de la région, qui facilite la lecture pour les utilisateurs.

Dans le domaine routier, les cartes topographiques sont largement utilisées pour leur échelle précise de 1/50 000. Elles fournissent des informations détaillées sur plusieurs caractéristiques de la région représentée, telles que le relief, l'hydrographie, la végétation, le transport, les entités artificielles, les frontières et les limites, ainsi que la toponymie. Ces informations permettent aux utilisateurs d'identifier les particularités de la région, ce qui peut être utile pour planifier des itinéraires, des projets d'aménagement, etc. La figure II.2 ci-dessous dévoile un extrait de la zone de projet étudiée.

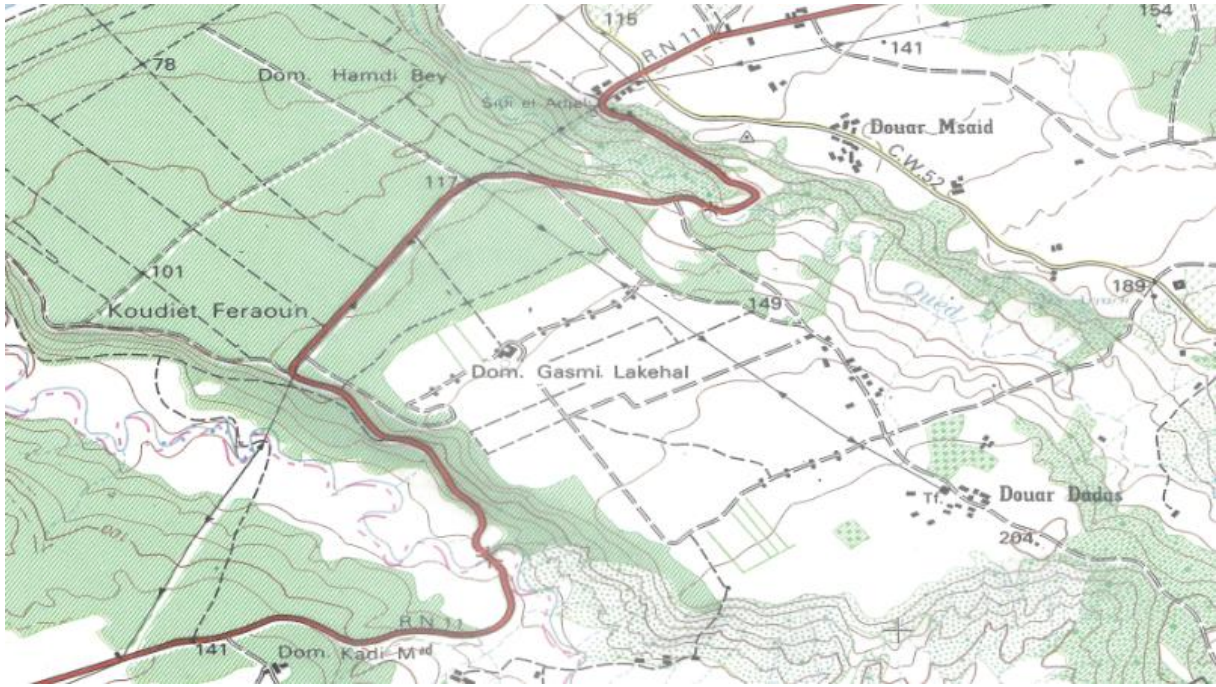


Figure 2-2 Extrait de la carte topographique de la zone de projet étudiée.

2.2.4 Projection sur une carte topographique :

Lors de la planification d'une route, il est essentiel de connaître les caractéristiques du sol de la zone. Pour ce faire, des cartes topographiques et des photographies aériennes sont utilisées pour localiser les zones favorables et non favorables à la construction de la route. Les éléments qui ne favorisent pas la construction de routes tels que les rochers, les falaises, les zones culturelles et écologiques sensibles, les sols instables, etc. sont marqués sur la carte. À l'inverse, les éléments qui favorisent la construction de la route tels que les pentes latérales raisonnables, les traversées de cours d'eau et les zones adaptées à la construction de lacets sont également marqués. Après une inspection sur le terrain de la zone, la projection de l'axe reliant le point de départ et le point d'arrivée est établie et retravaillée si nécessaire pour s'assurer que la route est située dans des zones favorables et économiquement viables.

2.3 La technique moderne (à l'aide de l'infraworks) :

La technique moderne d'aménagement routier à l'aide de l'InfraWorks est une méthode avancée qui utilise des logiciels de modélisation de données de conception (BIM) pour la planification et la conception de projets d'infrastructure. Elle permet de créer des modèles en 3D de l'environnement, de la topographie, de la circulation, des bâtiments et des infrastructures existantes. En utilisant cette méthode, les ingénieurs peuvent explorer différentes options de conception et de tracé de route en temps réel, simuler les impacts environnementaux, analyser

les coûts et les performances, et collaborer avec les parties prenantes pour prendre des décisions éclairées. Cette méthode de conception permet de réduire les erreurs de conception et de construction, d'optimiser les coûts et de réduire le temps de réalisation des projets d'infrastructure.

2.3.1.1 Les caractéristiques de cette technique :

La technique de modélisation 3D en APS avec Infracore présente plusieurs caractéristiques, notamment :

- **Modélisation 3D :** Infracore permet de créer des modèles 3D détaillés des projets d'aménagement et de visualiser les différentes options de conception, offrant ainsi une meilleure compréhension des projets.
- **Collaboration :** L'outil permet une collaboration facile entre les différents acteurs impliqués dans le projet, y compris les ingénieurs, les architectes, les urbanistes, les décideurs et les propriétaires fonciers, qui peuvent travailler ensemble sur le modèle 3D.
- **Analyse des données :** Infracore peut être utilisé pour analyser les données géospatiales existantes, y compris les données topographiques, géologiques, hydrologiques et d'autres sources, pour créer un modèle précis du site du projet.
- **Visualisation en temps réel :** La fonctionnalité de visualisation permet de présenter les modèles 3D du projet aux parties prenantes pour aider à prendre des décisions éclairées.
- **Optimisation de la conception :** Infracore peut être utilisé pour tester plusieurs scénarios de conception et pour optimiser les projets en fonction de différents critères tels que les coûts, la durée de construction et la durabilité.
- **Réalisme :** Les modèles créés avec Infracore ont une apparence très réaliste grâce aux textures, aux ombres et aux effets de lumière, ce qui permet de mieux visualiser le projet final et d'identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne surviennent.

2.3.2 La technique choisie :

La technique moderne basée sur le logiciel Infracore est la meilleure option pour concevoir et réaliser un projet routier. Elle permet une visualisation 3D précise du projet avant même que la construction ne commence, offrant une planification plus précise et une meilleure communication avec les parties prenantes. Elle permet également une analyse approfondie des

caractéristiques du terrain et des contraintes environnementales, réduisant ainsi les risques environnementaux et minimisant les impacts négatifs sur la communauté locale. Les fonctionnalités avancées de collaboration et de partage de données permettent une coordination plus efficace et une gestion de projet transparente. De plus, l'automatisation de nombreuses tâches de conception permet une conception plus rapide et plus précise, réduisant considérablement le temps nécessaire pour compléter un projet routier. En fin de compte, le choix de la technique moderne Infracworks est essentiel pour assurer le succès du projet routier.

2.4 Aperçu sur le logiciel INFRAWORKS :

Pour démarrer l'utilisation du BIM dans un projet d'infrastructure, la première étape consiste à créer un modèle intelligent à partir de différentes sources de données. Ce modèle en 3D et riche en données est la base de tout le processus BIM, car il permet une meilleure visualisation de l'environnement existant et facilite la conception préliminaire.

Le logiciel Autodesk InfraWorks 360 est un outil très utile pour créer ce modèle intelligent. Il prend en charge les processus BIM et permet d'ajouter rapidement des données spatiales provenant de sources diverses sans avoir besoin de les convertir. La conception préliminaire dans InfraWorks 360 est différente de la conception préliminaire basée sur la CAO classique, car elle permet de créer et d'évaluer plusieurs alternatives plus rapidement et de présenter différentes options de manière plus efficace dans le contexte de l'environnement existant.

Avec InfraWorks 360, les décideurs du projet peuvent visualiser les différentes options de conception plus clairement et prendre des décisions plus éclairées en fonction des besoins du projet, des contraintes budgétaires et des exigences réglementaires. En fin de compte, cela permet de gagner du temps et de l'argent tout en améliorant la qualité de la conception et la satisfaction du client, la figure I.3 ci-dessous montre l'interface de l'infracworks.

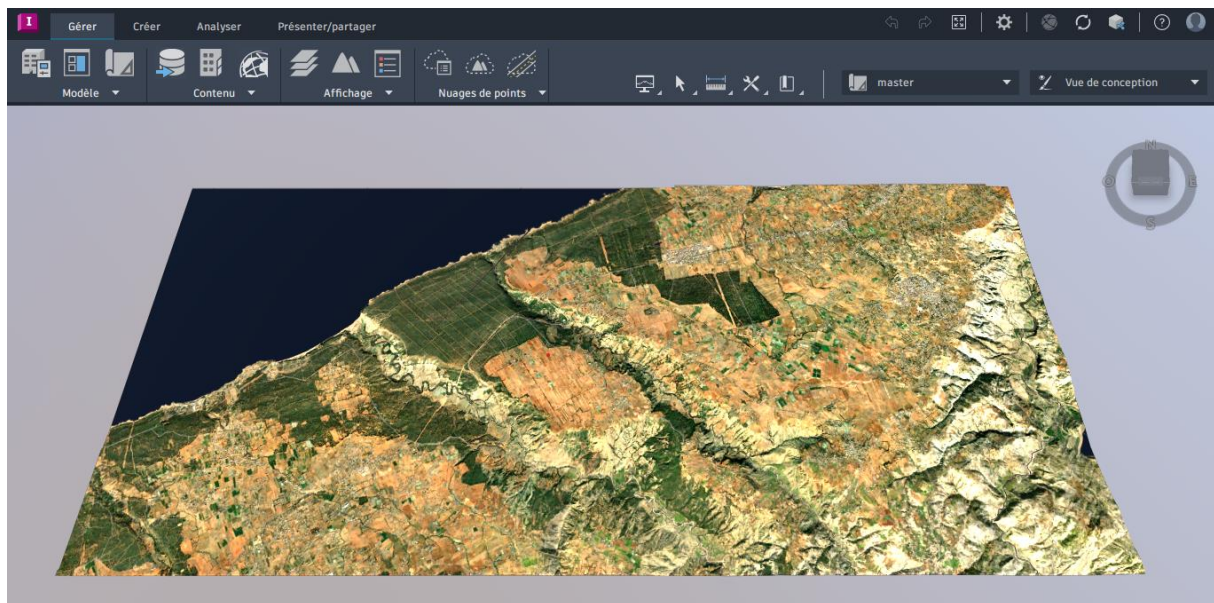


Figure 2-3:montre l'interface de l'infraworks.

2.5 Les fonctionnalités d'Infraworks :

InfraWorks offre une gamme complète de fonctionnalités qui permettent aux utilisateurs de créer des modèles de projets d'infrastructure en 3D, de les visualiser et de les analyser. Parmi les fonctionnalités principales d'InfraWorks, on peut citer :

- La modélisation de projets d'infrastructure : InfraWorks permet aux utilisateurs de créer des modèles de projets d'infrastructure en 3D, en important des données de conception à partir de sources variées telles que des fichiers CAO, des données géospatiales, des nuages de points, etc.
- La visualisation réaliste : InfraWorks offre une visualisation réaliste des modèles de projets d'infrastructure, grâce à des fonctionnalités telles que l'éclairage, les textures et les ombres. Les utilisateurs peuvent également créer des animations et des vues panoramiques pour mieux comprendre la topographie, les contraintes d'espace et les interactions entre les différents éléments du projet.
- L'analyse des projets : InfraWorks permet aux utilisateurs de réaliser des analyses de projet pour évaluer les performances, les coûts et les risques. Les fonctionnalités d'analyse comprennent la simulation de flux de circulation, la modélisation hydraulique et l'analyse de terrain.

2.6 Infracworks pour les projets d'infrastructures :

Infracworks est un outil de conception et de visualisation qui peut être utilisé pour créer des projets d'infrastructures tels que des routes, des ponts et des tunnels. L'une des fonctionnalités les plus utiles d'Infracworks est sa capacité à importer des données topographiques et géo-spatiales pour créer un modèle de terrain précis. Cela permet aux utilisateurs de concevoir des routes et des ponts qui s'adaptent parfaitement au terrain naturel, ce qui peut aider à minimiser les coûts et à améliorer la sécurité.

Infracworks dispose également de nombreuses fonctionnalités de conception, telles que la création de géométries de route, de courbes et de talus. Ces outils permettent aux utilisateurs de créer des designs détaillés pour leurs projets d'infrastructure. De plus, Infracworks permet également la création de conceptions de ponts en utilisant des modèles de sections transversales de pont standard ou personnalisés.

Une autre fonctionnalité utile d'Infracworks est sa capacité à simuler et à visualiser les projets d'infrastructures. Les utilisateurs peuvent créer des animations et des visualisations pour aider à présenter leurs projets de manière convaincante aux parties prenantes et au public. De plus, Infracworks permet également aux utilisateurs de créer des maquettes 3D interactives pour permettre une exploration en temps réel des projets.

2.7 Infracworks pour la gestion des actifs :

Grâce à Infracworks, les gestionnaires d'actifs peuvent visualiser les actifs existants dans un modèle 3D détaillé, ce qui leur permet de mieux comprendre les actifs, d'identifier les problèmes potentiels et de planifier les travaux d'entretien et de réparation. L'outil permet également d'analyser les coûts de maintenance et de planifier les budgets pour les années à venir.

Infracworks permet également de suivre les activités de maintenance et de réparation dans le temps, ce qui peut aider les gestionnaires d'actifs à prévoir les travaux futurs et à s'assurer que les actifs sont maintenus en bon état de fonctionnement.

En outre, l'utilisation d'Infraworks pour la gestion des actifs peuvent améliorer la communication et la collaboration entre les différents départements d'une organisation. Les membres de l'équipe peuvent partager des informations sur les actifs et travailler ensemble pour planifier et exécuter les travaux d'entretien.

2.8 Infraworks pour la modélisation 3D :

Infraworks est un outil puissant pour la création de modèles 3D détaillés, permettant une visualisation réaliste des projets. En utilisant les données géospatiales et les données de conception, Infraworks crée des modèles 3D qui sont précis et adaptés aux besoins des utilisateurs.

La modélisation 3D dans Infraworks peut être utilisée pour la conception de projets tels que des routes, des ponts, des tunnels, des bâtiments et des aménagements paysagers. Les utilisateurs peuvent créer des modèles de terrain détaillés, intégrer des bâtiments existants ou proposés, ajouter des routes et des ponts, et même ajouter des éléments tels que des arbres, des lampadaires et des feux de circulation.

Les modèles 3D créés dans Infraworks sont interactifs et peuvent être manipulés en temps réel pour une visualisation dynamique. Les utilisateurs peuvent également ajouter des annotations, des mesures et des étiquettes pour une communication claire et précise avec les parties prenantes.

Infraworks permet également l'exportation des modèles 3D vers d'autres logiciels Autodesk, tels que Revit et AutoCAD, pour une utilisation ultérieure dans la conception détaillée.

2.9 Les avantages de l'intégration d'Infraworks avec d'autres outils

Autodesk :

Comment Infraworks peut être utilisé en tandem avec d'autres logiciels Autodesk pour une meilleure efficacité et une plus grande précision.

Infraworks est un outil puissant qui peut être utilisé pour planifier, concevoir et visualiser des projets d'infrastructure complexes. Cependant, il peut être encore plus efficace

lorsqu'il est intégré à d'autres outils Autodesk. Voici quelques-uns des avantages de l'intégration d'Infraworks avec d'autres logiciels Autodesk :

- AutoCAD : Infraworks est capable d'importer des fichiers AutoCAD, ce qui permet aux utilisateurs de travailler avec des données provenant de sources externes et de les intégrer à leurs projets Infraworks. De plus, Infraworks peut exporter des fichiers AutoCAD pour une utilisation ultérieure dans d'autres logiciels Autodesk.
- Civil 3D : Infraworks est souvent utilisé en tandem avec Civil 3D pour la conception détaillée des projets d'infrastructure. Les données de surface créées dans Infraworks peuvent être facilement importées dans Civil 3D pour la conception de routes, de canalisations, de ponts et d'autres éléments d'infrastructure.
- Revit : Infraworks est capable d'importer des fichiers Revit, ce qui permet aux utilisateurs de travailler avec des modèles 3D de bâtiments existants ou planifiés dans leurs projets Infraworks. Cela peut aider les utilisateurs à mieux comprendre l'impact des projets d'infrastructure sur l'environnement bâti.

Navisworks : Infraworks peut être utilisé pour créer des modèles 3D de projets d'infrastructure, qui peuvent être ensuite exportés vers Navisworks pour une analyse plus approfondie de la construction et de la coordination de la planification.

2.10 Les normes de conception utilisée :

Les normes AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) sont des normes de conception et de construction pour les infrastructures de transport aux États-Unis. Infraworks prend en charge plusieurs des normes AASHTO, notamment :

- Les normes géométriques de la route, qui comprennent les spécifications pour les alignements horizontaux et verticaux, les rayons de courbure, les pentes et les largeurs de chaussée.
- Les normes de conception de ponts, qui incluent les spécifications pour les dimensions et les matériaux, les charges de conception, les coefficients de sécurité et les méthodes de calcul des contraintes.
- Les normes de conception des tunnels, qui incluent les spécifications pour les dimensions, la ventilation, l'éclairage et la sécurité.

- Les normes de signalisation et d'éclairage, qui comprennent les spécifications pour la hauteur et l'emplacement des panneaux de signalisation, les niveaux d'éclairage et les couleurs des feux de signalisation.

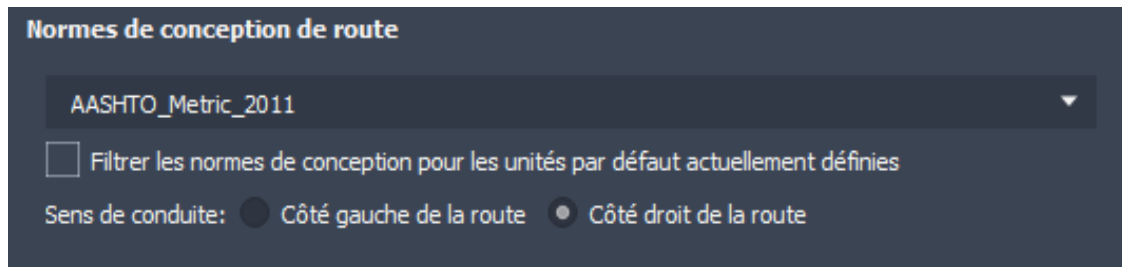


Figure 2-4 les normes de conception sur infraworks.

En utilisant ces normes, Infracore peut aider les utilisateurs à concevoir des projets conformes aux réglementations locales et nationales, ce qui peut réduire les risques juridiques et assurer la sécurité et la qualité des projets.

Dans le cas de l'Algérie, la norme de référence est la norme B40, qui définit la géométrie utilisée dans les projets d'infrastructure routière. Bien qu'il n'y ait pas de normes spécifiques d'Infracore pour l'Algérie, les concepteurs peuvent utiliser les valeurs minimum et maximum de la norme B40 pour garantir que les structures géométriques conçues répondent aux normes algériennes.

Il est important de noter que les normes et les réglementations ne doivent pas être considérées comme des obstacles à la conception et à la planification, mais plutôt comme des outils pour assurer la sécurité et la qualité des projets d'infrastructure. En utilisant les normes de référence appropriées, les concepteurs peuvent s'assurer que leurs projets sont conformes aux normes et aux réglementations applicables, garantissant ainsi la sécurité et la fiabilité des structures.

2.11 Présentation de projet :

Le projet vise à réaliser le dédoublement de tronçon de la RN 11, qui fait partie du réseau national des routes et se situe dans la wilaya de Mostaganem. Ce tronçon s'étend du PK 303+575 au 298+800, et relie la commune de Sidi Lakhder à la commune de Khadra, couvrant une distance totale d'environ 4 kilomètres et 775 mètres, La figure II. ci-après illustre le tronçon étudié.



Figure 2-5 le tronçon étudié.

2.11.1 Présentation de la wilaya de Mostaganem :

2.11.1.1 Situation géographique :

La wilaya de Mostaganem est située sur le littoral Ouest du pays, elle dispose d'une façade maritime de 124 km. Le Chef-lieu de la wilaya est situé à 365 km à l'Ouest de la capitale, Alger, La wilaya s'étend sur une superficie de 2 269 km².

La wilaya de Mostaganem est limitée :

- A l'Est par les Wilayas de Chlef et Relizane.
- Au Sud par les Wilayas de Mascara et Relizane.
- A l'Ouest par les Wilayas d'Oran et Mascara.
- Au Nord par la Mer Méditerranée.

2.11.1.2 Relief :

Le relief de la Wilaya de Mostaganem se divise en quatre unités morphologiques :

- Les vallées basses de l'Ouest englobent les communes : Hassi Mameche, Mazagran, Stidia, Aïn Nouïssy, El Hassaine et Fornaka.
- Les Monts du Dahra englobent les communes : Sidi Belattar, Oued El Kheir, Sidi Ali, Ouled Maallah, Tazgait, Nekmaria, Kheireddine, Ain Boudinar et Safsaf.

- Le plateau de Mostaganem englobe les communes : Mostaganem, Ain Tedles, Sour, Bouguirat, Sirat, Souafliya, Mesra, Aïn Sidi Cherif, Mansourah, Touahria et Sayada.
- Les vallées de l'Est englobent les communes : Achaacha, Khadra, Ouled Boughalem, Sidi Lakhdar, Hadjadj et Abdelmalek Ramdane.

2.11.1.3 Climat :

Le climat de Mostaganem se caractérise par un climat semi-aride en hiver tempéré et une pluviométrie qui varie entre 350 mm sur le plateau et 400 mm sur les piémonts du Dahra.

2.11.1.4 Réseau routier :

En infrastructure de base, le réseau routier de la Wilaya de Mostaganem (Voir Figure 2.6) est présenté dans le tableau ci-après :

Tableau 2-1 le réseau routier de la Wilaya de Mostaganem.

Désignation	Longueur (km)
Routes nationales	332.43
Chemins de wilaya	653.83
Chemins communaux	1147.98

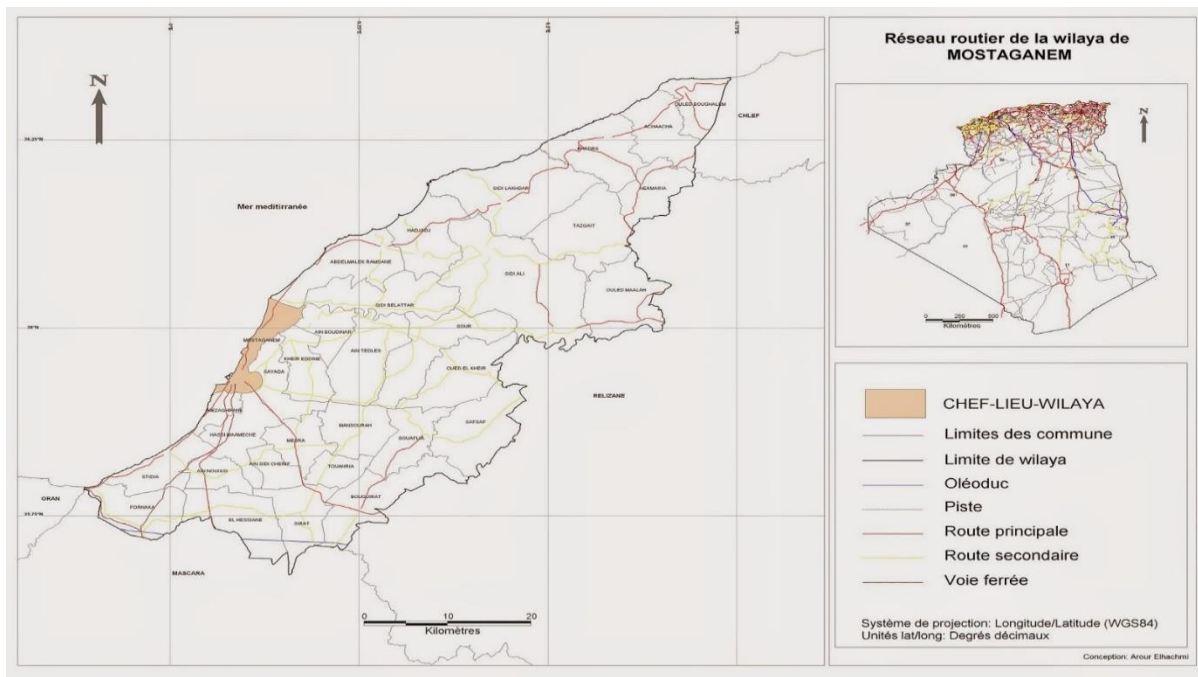


Figure 2-6: Réseau routier de la wilaya de Mostaganem.

2.11.1.5 *Dairas et Communes de la wilaya de Mostaganem :*

La figure II.7 expose la carte des dairas et communes de la wilaya de Mostaganem, la zone de notre projet en couleur blanc.

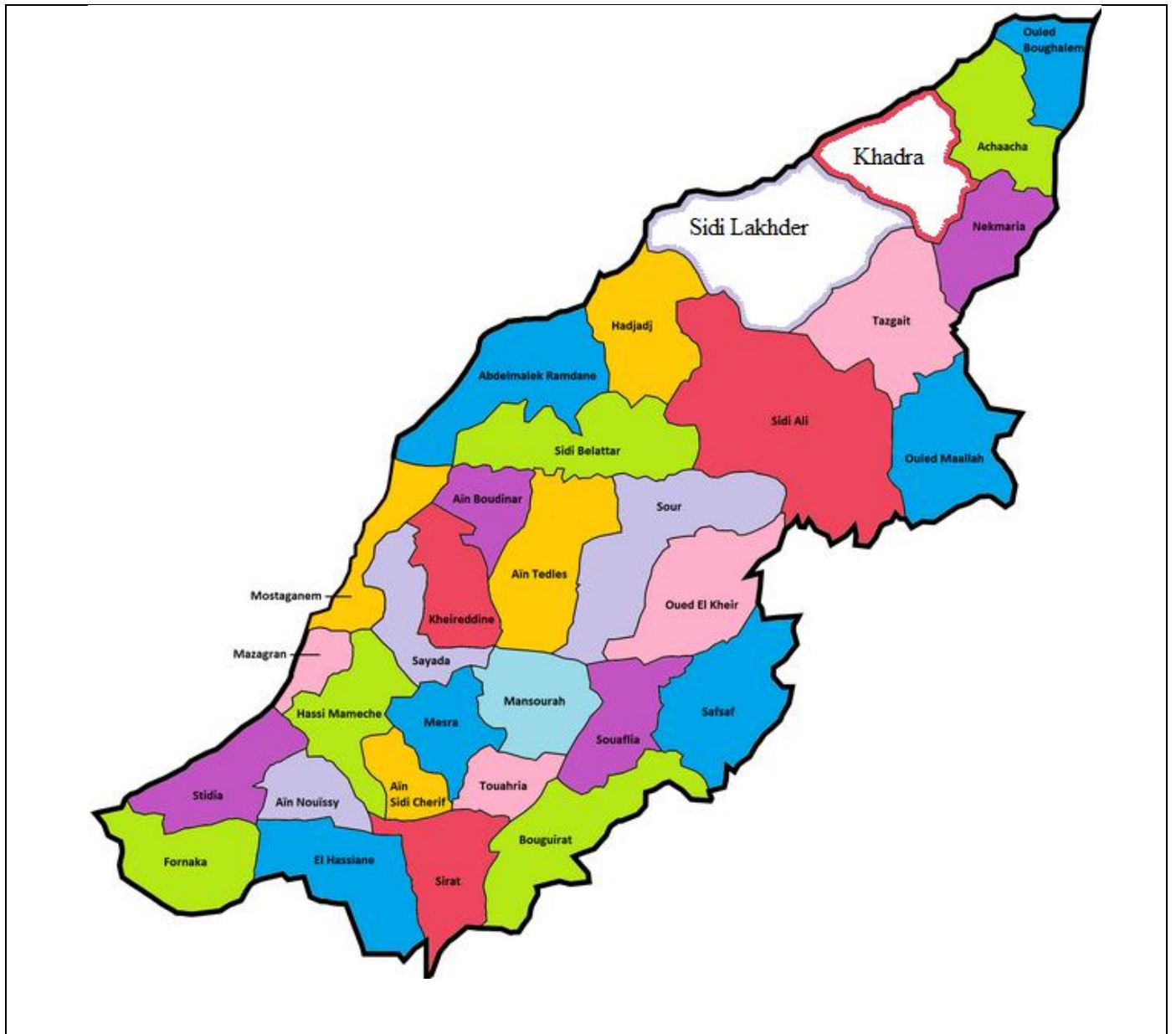


Figure 2-7 Carte des dairas et communes de la wilaya de Mostaganem.

Tableau 2-2 daïras et communes de la wilaya de Mostaganem.

Daïra	Communes
Mostaganem	Mostaganem
Hassi-Maameche	Hassi Mameche • Mazagran • Stidia
Aïn Tedles	Aïn Tedles • Sour • Sidi Belattar • Oued El Kheir
Bouguirat	Bouguirat • Safsaf • Sirat • Souafli
Sidi Ali	Sidi Ali • Ouled Maallah • Tazgait
Achaacha	Achaacha • Khadra • Nekmaria • Ouled Boughalem
Aïn Nouïssy	Aïn Nouïssy • El Hassiane • Fornaka
Mesra	Mesra • Aïn Sidi Cherif • Mansourah • Blad Touahria
Sidi Lakhdar	Sidi Lakhdar • Hadjadj • Abdelmalek Ramdane
Kheireddine	Kheireddine • Aïn Boudinar • Sayada

2.11.2 L'objectif de l'APS dans notre projet (Avant-projet sommaire) :

L'objectif principal est de créer un dédoublement de la route existante, ce qui permettra d'améliorer la capacité routière et la sécurité des usagers. Pour cela, les étapes suivantes seront réalisées :

- Création de deux variantes parallèles à la route existante à l'aide d'Infraworks.
- Analyses multicritères des deux variantes afin de déterminer lequel répond le mieux aux critères environnementaux et techniques.
- Sélection du variant optimal pour le dédoublement de la route.
- Affinage de la géométrie du nouveau tracé.
- Présentation d'une proposition fiable et adaptée aux besoins de la région.

2.11.3 Modélisation des variantes :

Dans la méthodologie de modélisation des variantes sur InfraWorks, la première étape consiste à créer un modèle numérique en 3D de la zone où se déroulera le projet d'infrastructure. Cela peut inclure des éléments tels que des routes, des ponts, des bâtiments, des terrains, des réseaux d'approvisionnement en eau et des réseaux d'égouts. Une fois le modèle de la zone créé, l'étape suivante consiste à créer des variantes de conception pour le projet. Ces variantes peuvent inclure différents tracés routiers, différentes hauteurs de ponts, différentes configurations de réseaux d'approvisionnement en eau et d'égouts, etc. Les variantes doivent être créées de manière à ce qu'elles soient suffisamment distinctes pour que les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles soient facilement identifiables et comparables. La modélisation des variantes sur InfraWorks permet de visualiser rapidement les conséquences de chaque option de conception, ce qui facilite la prise de décision.

2.11.3.1 *Création du modèle avec Model Builder :*

InfraWorks propose deux méthodes pour créer un modèle : la création manuelle et la création à l'aide du "Model Intelligent Builder". La création manuelle nécessite l'ajout manuel des données et des fonctionnalités à partir de différentes sources, tandis que le "Model Intelligent Builder" permet de créer rapidement et facilement des modèles réalistes en 3D à partir d'une zone d'intérêt spécifiée.

Voici la méthode pour créer un modèle à l'aide de Model Builder dans InfraWorks :

- 1) Tout d'abord, j'ouvre InfraWorks et je crée un nouveau modèle.
- 2) Ensuite, je vais dans l'onglet "Accueil" et je clique sur "Modèle Builder", comme exposé dans la figure 2.8.

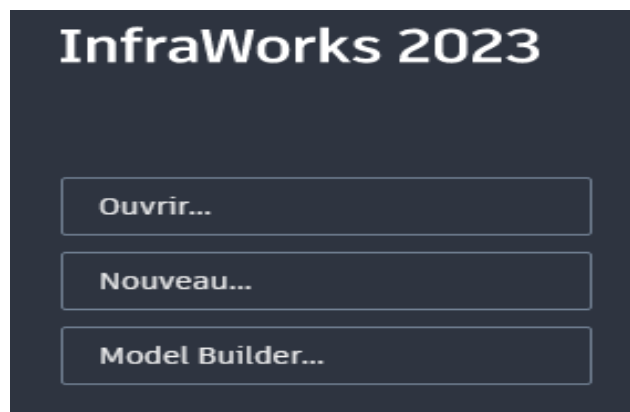



Figure 2-8 Modèle Builder.

3) Je sélectionne la zone géographique de mon projet :

Dans ce projet, nous commençant par introduire "Mostaganem" comme nom de la localité, puis zoomer sur la région de Sidi Lakhdar-Khadra pour créer une zone délimitée ne dépasse pas 200 hectares. Il est important que je délimite précisément la zone d'intérêt pour obtenir des résultats précis lors de la création du modèle. Pour délimiter la zone d'intérêt de 200 hectares, je vais utiliser l'option "sélectionner les étendues de carte en cours"

dans Infracore, puis je vais cliquer sur l'icône  pour dessiner une zone d'intérêt rectangulaire sur la carte comme dévoilé sur la figure 2.9.

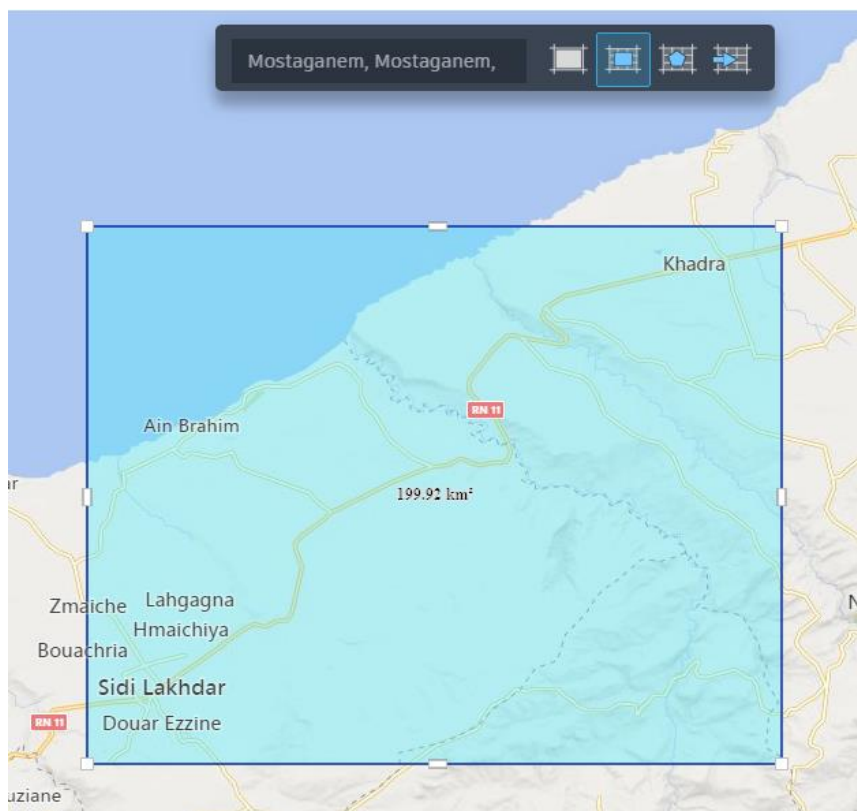


Figure 2-9 dessiner une zone d'intérêt.

Avec cette méthode, je peux facilement créer une zone délimitée précise pour notre projet dans la région de Sidi Lakhdar-Khadra de la wilaya de Mostaganem. Cela garantira que les résultats de la création du modèle seront précis et adaptés à nos besoins. Je Sélectionne le système de coordonnées approprié pour la zone d'étude :

Je vais sélectionner un système de coordonnées approprié pour la zone d'étude. Dans notre cas, nous allons utiliser le système de coordonnées Nord sahara1959.UTM-31N pour garantir la précision des résultats et faciliter l'interopérabilité avec les autres logiciels BIM. Le

choix d'un système de coordonnées approprié est incontournable pour le traitement d'Infraworks et pour garantir la qualité du modèle créé, la figure 2.10 présente ceci.

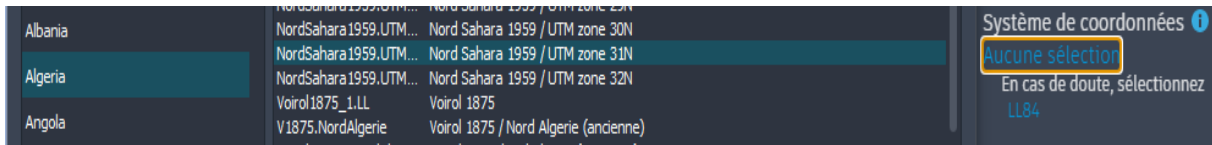


Figure 2-10 le système de coordonnées.

Pour sélectionner le système de coordonnées approprié, je vais suivre les étapes suivantes dans Infraworks :

- Cliquer sur l'icône "Système de coordonnées" dans le coin inférieur gauche de l'écran.
- Sélectionner "Nordsahara1959.UTM-31N" dans la liste déroulante des systèmes de coordonnées.
- Cliquer sur "Appliquer" pour appliquer le système de coordonnées sélectionné.

4) Je nomme mon projet et je clique sur "Créer un modèle" :

Pour nommer mon projet, je vais utiliser le nom "pfe" qui est l'abréviation de "Projet de Fin d'Etudes". Ensuite en donnant une description à mon projet, je vais préciser qu'il s'agit d'un projet routier. Cela permettra d'identifier clairement le type de projet que je réalise dans Infraworks et facilitera la collaboration avec d'autres utilisateurs du logiciel BIM.

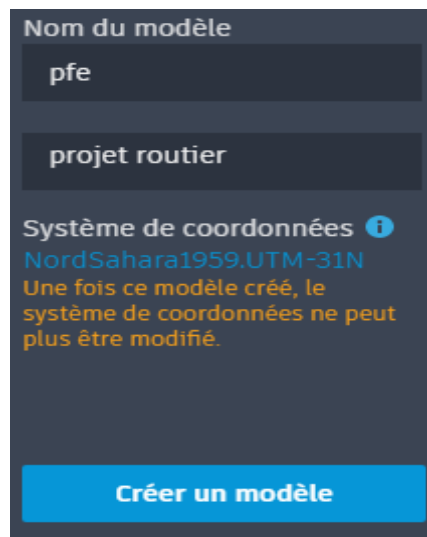



Figure 2-11 création de modèle.

Enfin je vais cliquer sur "Créer un modèle" pour lancer la création du modèle dans Infracworks.

5) Je dois télécharger la mosaïque une fois que j'ai créé le modèle :

Après avoir créé le modèle sur Infracworks, je dois attendre quelques minutes pour que le logiciel génère la mosaïque. Une notification sera envoyée par courrier électronique à l'adresse associée à mon compte Autodesk. Ensuite, sur la page d'accueil d'Infracworks, je verrai une icône  qui représente la mosaïque dans le Cloud, et je dois cliquer sur cette miniature pour la télécharger.

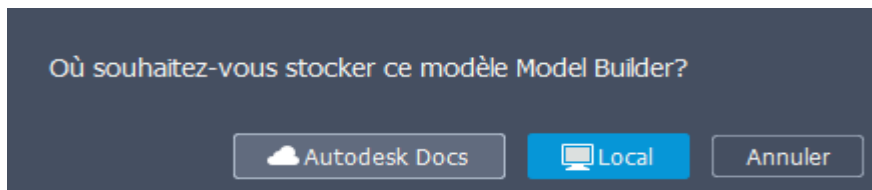


Figure 2-12 téléchargement de modèle.

Une fois la mosaïque téléchargée, il est important que je l'enregistre sur mon ordinateur ou sur un projet BIM 360 Document Management pour permettre la collaboration avec d'autres utilisateurs. Ensuite, je peux ouvrir le modèle dans Infracworks et commencer à travailler sur mon projet.

6) Enfin, j'ouvre le modèle 3D sur l'infracworks :

Maintenant que j'ai obtenu un modèle 3D riche et détaillé pour mon projet, je suis prêt à commencer la conception. Le modèle me fournit une vue globale de la zone d'intérêt, ainsi que des informations détaillées sur les caractéristiques topographiques et les infrastructures existantes, telles que les routes, les ponts, les voies ferrées et les bâtiments. Grâce à ces informations précieuses, je peux concevoir mon projet de manière plus efficace et plus précise. Je peux également créer des variantes sur le modèle pour faciliter l'analyse de mes données.

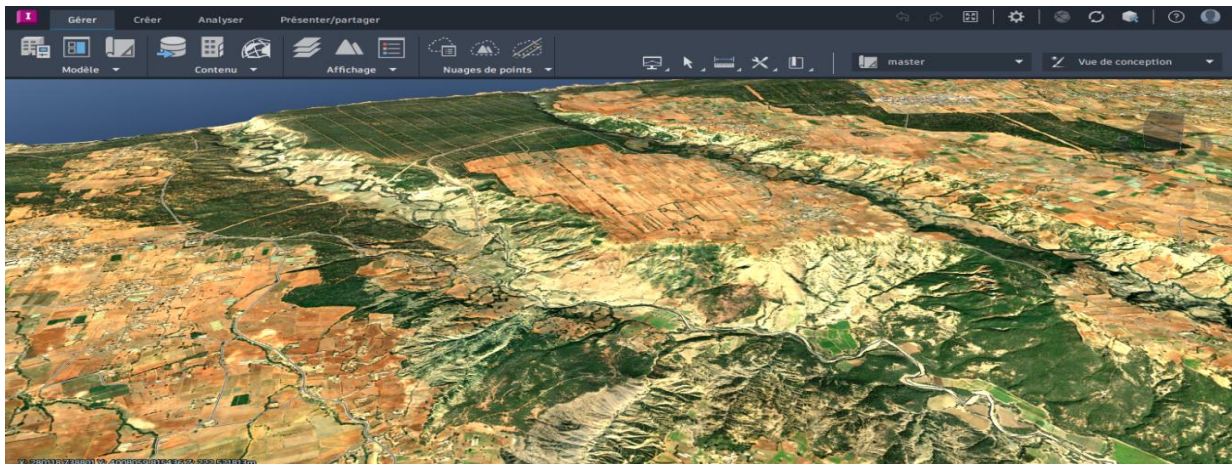


Figure 2-13 le modèle de la zone de projet.

2.11.4 Création et modélisation de la première variante (V1) :

Maintenant nous pouvons commencer à travailler sur la création de la première variante à gauche de la route existante selon les étapes suivantes :

- 1) Convertir la route existante en une route composée :

L'étape de conversion de la route existante en une route composée permet de transformer la route initiale en une route comportant plusieurs éléments tels que des intersections, des ponts, des passages souterrains, etc. Cette opération permet de modifier la géométrie de route et d'avoir une représentation plus réaliste et détaillée de la route dans le modèle 3D créé sur Infracore.

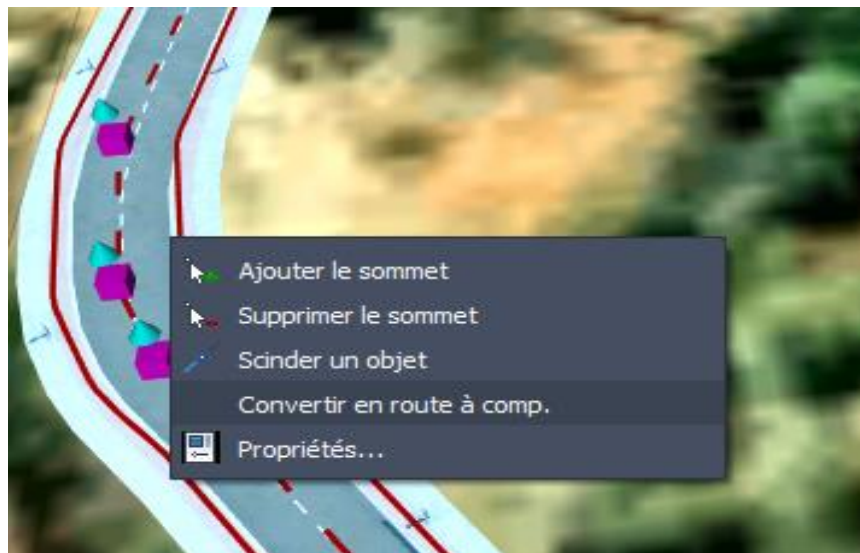


Figure 2-14 la conversion de la route vers une route composée.

2) Remplacer la structure de la route

Cet outil permet de modifier facilement la géométrie de la route en changeant le type de structure de la route, le nombre de voies, la largeur des voies et d'autres paramètres de conception. En remplaçant la structure de la route existante par une route à deux voies.



Figure 2-15 Remplacement de structure de la route.

3) Délimiter le tronçon choisi :

Il est important de préciser que le point de départ de notre tronçon routier est Douar oued roumane et le point d'arrivée est Douar Dadas. Ces deux points ont été choisis comme points de repère pour délimiter la section de la route que l'on souhaite modifier, d'une longueur de 4775 mètres."

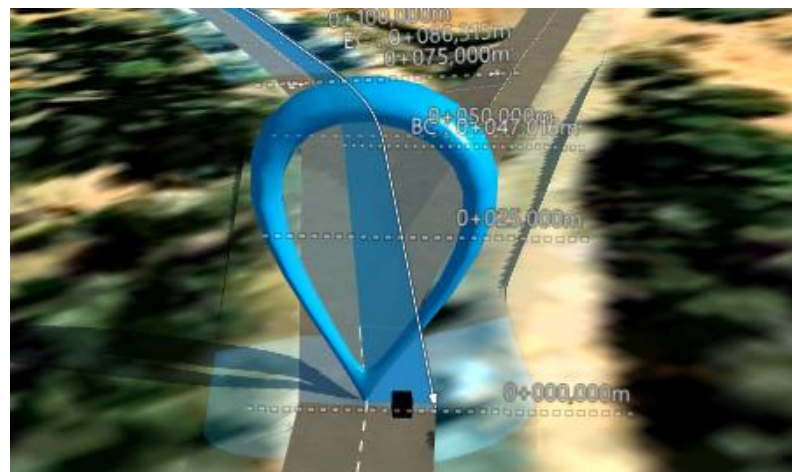


Figure 2-16 Délimitation de tronçon choisi.

4) Modifier la géométrie de la route :

La modification de la géométrie de la route est une étape importante pour créer une représentation précise et réaliste de la route existante. Dans notre cas, nous avons modifié la largeur de la voie à 3,6 m et avons donné un dévers de -2% et une profondeur de 0,2 m. Ces mesures nous permettent d'adopter la route sur Infracore avec une conception réaliste de la route existante.

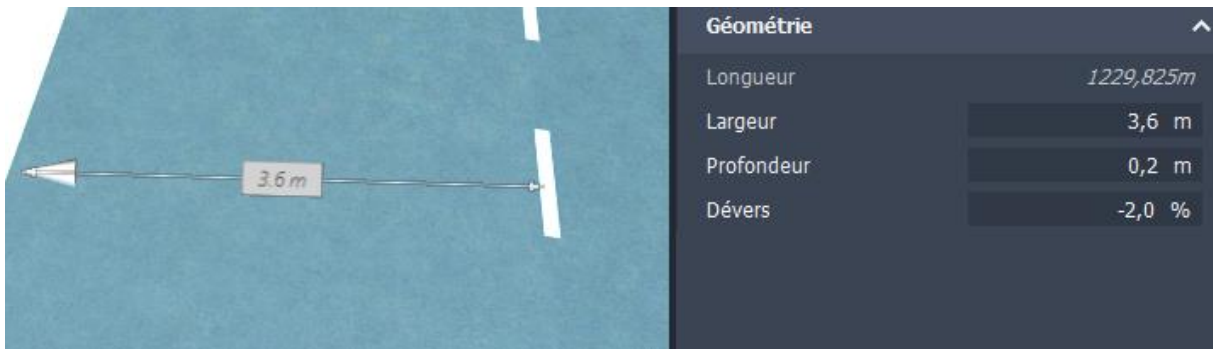


Figure 2-17 modification de géométrie de la route.

5) Créer un nouveau scénario :

Nous allons maintenant ajouter un nouveau scénario à notre modèle Infracore existant.

- Tout d'abord, nous cliquons sur l'onglet "créer une proposition" dans la barre de navigation en haut de l'écran.
- Nous cliquons sur "Ajouter" et donnons au nouveau scénario un nom approprié variante « V1 ».
- Maintenant, nous pouvons commencer à ajouter des éléments à notre nouveau scénario en utilisant les outils de conception Infracore.

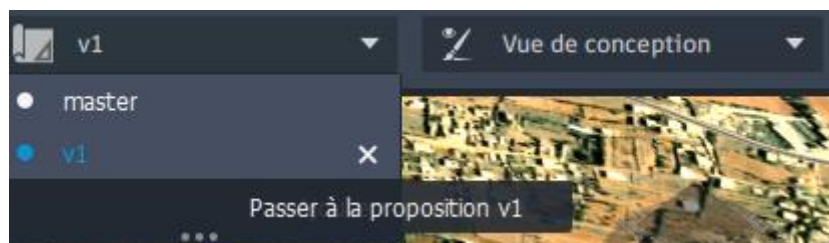


Figure 2-18 création de nouveau scénario.

6) Créer la variante « V1 » à gauche de la route existante :

- Dans notre nouveau scénario « V1 », nous cliquons sur l'outil "Créer une route" dans le menu "Route".
- Nous traçons la nouvelle route parallèlement à la route existante et à gauche de celle-ci en utilisant l'outil de planification de route.

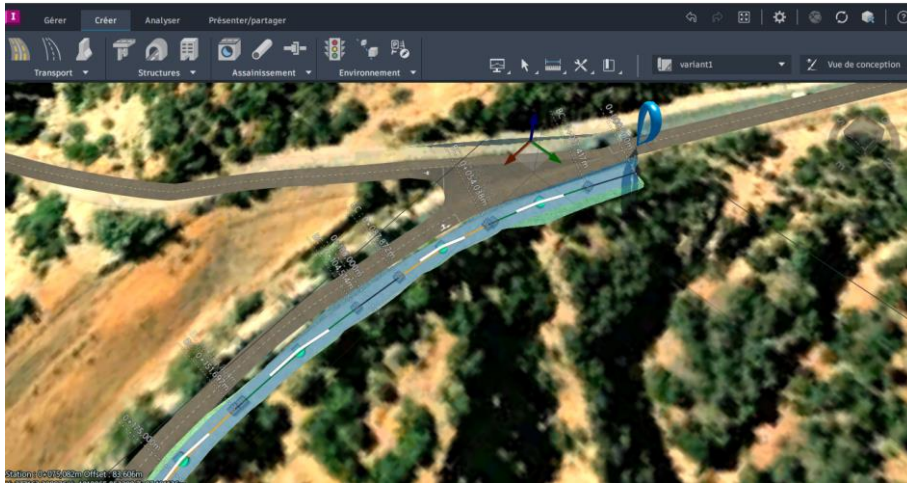


Figure 2-19 planification de la 1ère variante.

- Dans l'onglet "Propriétés de la route" de la nouvelle route, nous modifions la largeur de la voie, le devers, le matériau, le talus, la vitesse de référence, les accotements et la profondeur selon les spécifications de conception suivante :

Géométrie	
Longueur	1198,656m
Largeur	3,6 m
Profondeur	0,2 m
Dévers	-2,0 %

Figure 2-20 paramétrage de la géométrie de la route.

Une fois la conception de l'variante terminée, nous pouvons lancer le calcul des quantités de terrassement :

7) Créer la variante « V2 » à droite de la route existante :

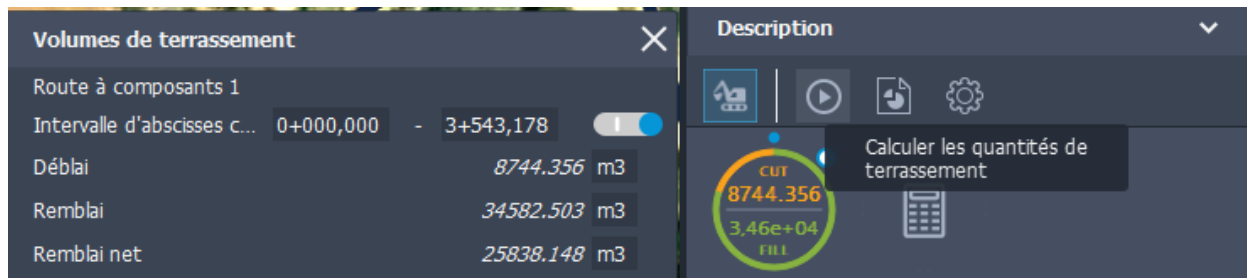


Figure 2-21 l'analyse de variante.

Nous avons créé la variante V2 à droite de la route existante, en utilisant la même méthode de création que pour la première variante V1. Nous avons conservé la même géométrie pour assurer une cohérence entre les deux variantes.

2.11.5 Présentation de variante V1 et les résultats obtenus :



Figure 2-22 Présentation de variante V1.

2.11.5.1 Fiche de données techniques de variante v1 :

Tableau 2-3: les données techniques de variante v1.

La longueur	4750 m
La largeur	7.2m
Nombre de voies	2
La largeur de voie	3.6m
La vitesse de référence	80 KM/H
Dévers	-2%
La largeur de l'accotement	1.5 m
Devers de l'accotement	-4%
Volume déblai	19224.564 m³
Volume remblai	53878.453 m³
Remblai net	34653.889 m³

2.11.5.2 Le profil en long :

Lors de la conception d'une route, le profil en long est un élément essentiel pour assurer la sécurité et la fonctionnalité de la route. Il représente la variation de l'altitude de la route le long de son axe longitudinal.

Dans le cas de notre variante, elle est divisée en deux tronçons distincts, l'un avant le pont et l'autre après le pont. Le profil en long de chaque tronçon est donc différent et représente les variations d'altitude tout au long de chaque section de la route. Cette représentation graphique est cruciale pour garantir que la route soit conçue avec une pente adéquate pour l'évacuation des eaux pluviales, pour éviter les inondations et pour assurer une conduite sûre et confortable pour les usagers de la route.



Figure 2-23 Profil en long de 1 ier tronçon.

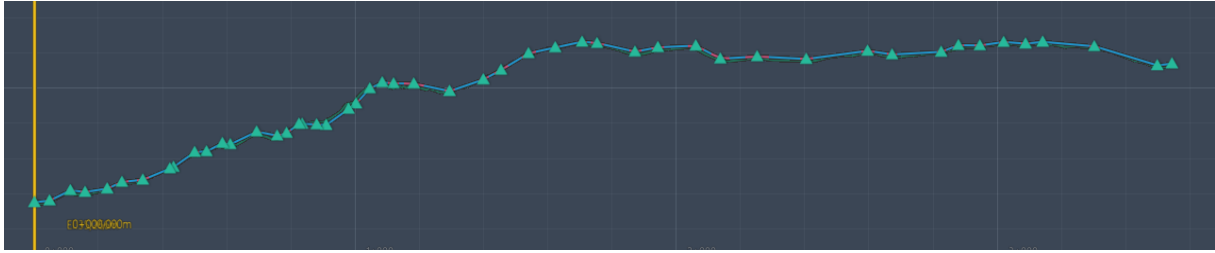


Figure 2-24 Profil en long du 2ème tronçon.

2.11.5.3 *Le profil en travers :*

Le profil en travers sera utilisé pour représenter les caractéristiques de la route dans sa section transversale. Il sera utilisé pour représenter la largeur de la chaussée, les accotements, les pentes des talus, les hauteurs de la chaussée, etc. Le profil en travers nous permettra également de vérifier la conformité de la conception de la route aux normes de sécurité et de fonctionnalité. En outre, le profil en travers sera utilisé pour générer les plans de construction détaillés pour la route, les accotements, les caniveaux, les fossés, les bordures, etc.

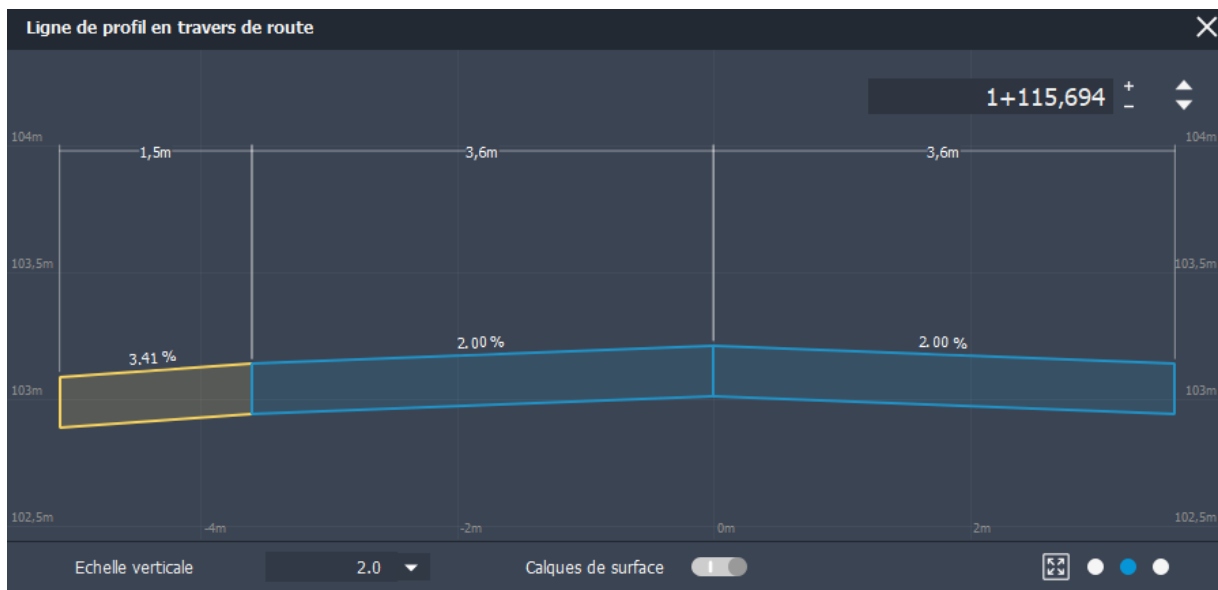


Figure 2-25 Profile en travers de variante V1 sur l'infraworks.

2.11.6 Présentation de variante V2 et les résultats obtenus :

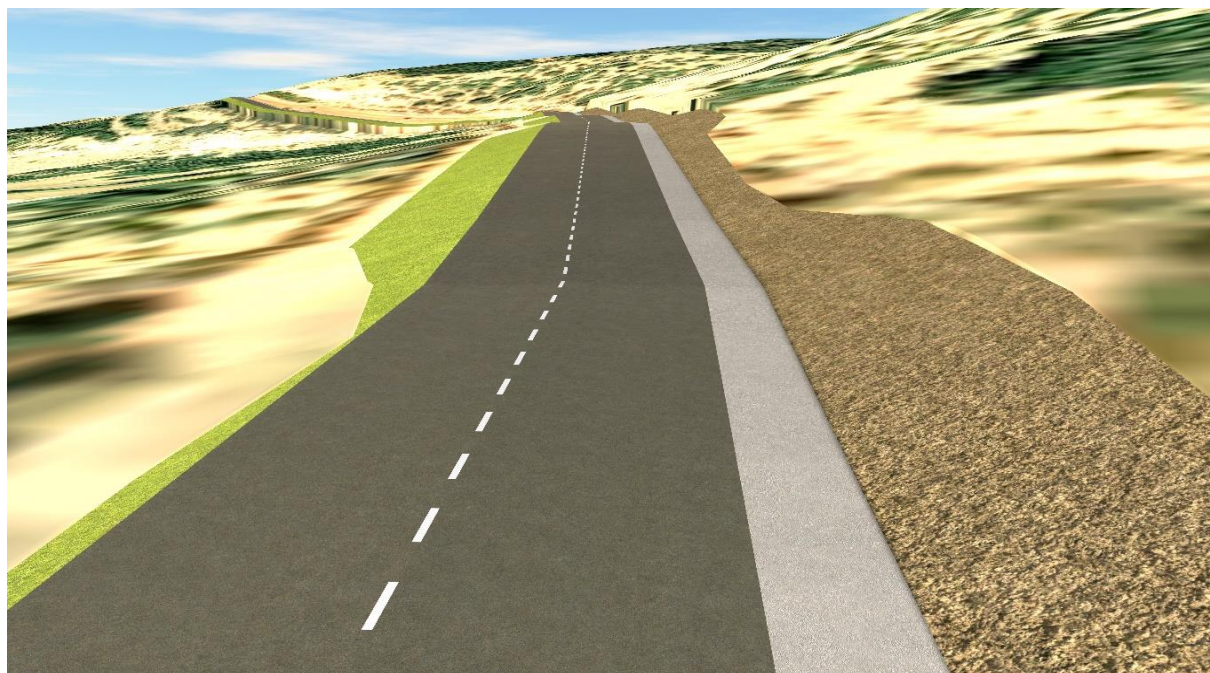


Figure 2-26 Présentation de variante V2.

2.11.6.1 *Fiche de données techniques de variante v2 :*

Tableau 2-4 les données techniques de variante v2.

La longueur	4753 m
La largeur	7.2m
Nombre de voies	2
La largeur de voie	3.6m
La vitesse de référence	80 KM/H
Dévers	-2%
La largeur de l'accotement	1.5 m
Dévers de l'accotement	-4%
Volume déblai	25242.696 m³
Volume remblai	7987.51 m³
Déblai net	17255.186 m³

2.12 Le choix d'une variante :

Il est essentiel de mener une analyse approfondie pour déterminer la meilleure variante de tracé. Les deux variantes examinées suivent : la première variante projetée la deuxième voie à la gauche de la voie existante et la deuxième variante projeté la deuxième voie à la droite de la voie existante. Lors du choix d'une variante de tracé de dédoublement dans le domaine des travaux publics, plusieurs critères doivent être pris en compte. Parmi les critères les plus couramment utilisés, on retrouve les suivants :

1. Terrassement.
2. Traversée des terres agricoles.
3. Délai de réalisation.
4. Coût de réalisation.

1. Terrassement :

- Déblais et remblais : Il est essentiel d'évaluer la quantité de terrassement nécessaire pour chaque variante de tracé.

Le déblais (excavations) : la variante en déblais est plus avantageuse que la variante en remblais du plusieurs cotes :

Le cout : d'excavation de 1m^3 de déblais moins chers que réalisation de 1 m^3 de remblais. Délai : la mise en neuves de réalisation de remblais complique et Prendre du temps (chois de matériau de remblai, réalisation par couche, arrosage, compactage, réceptionne altimétrique et contrôle géotechnique de chaque couche). Mais le déblai est une opération facile, rentable et ne prendre pas un délai important

- et les remblais (remplacements de terre) peuvent avoir un impact sur les coûts, les délais de réalisation et la faisabilité du projet en choisissent une option plus avantageuse.

2. Traversée des terres agricoles :

- Impact sur les terres cultivables : Les travaux de construction peuvent affecter les terres agricoles. Il est donc nécessaire d'évaluer les conséquences potentielles sur les cultures, les rendements et l'accès aux terres agricoles. Minimiser l'impact sur les terres cultivables est souvent un objectif important.

A cet effet le choix de meilleure variante de ce critère est basé sur le tracé qui consomme le minimum de surface agricole.

3. Délai de réalisation :

Temps de réalisation : Le délai de réalisation est un critère clé, notamment pour les projets soumis à des contraintes de temps. Certaines variantes de tracé peuvent être mises en œuvre plus rapidement que d'autres, en fonction de la complexité du projet et des contraintes environnementales. Pour sélectionner la variante basée sur ce critère, il est important de prendre en compte les deux critères précédents et de choisir la variante qui nécessite moins de déblai et qui entraîne moins de pertes de terres agricoles. En privilégiant une variante qui répond à ces conditions, il est possible de réaliser le projet dans un délai court.

4. Coût de réalisation : Les coûts de réalisation jouent un rôle crucial dans la sélection d'une variante de tracé. Il est nécessaire d'évaluer les coûts associés à chaque option, y compris les coûts de terrassement, les coûts d'expropriation de la terre agricole.

Tableau 2-5 Données de critères des deux variantes.

La variante	Terrassement	Terre agricole	Délai	Le cout
Variante v1	Remblai net 34653.889 m ³	Traverse de 1800 m ²	Délai important	Élevé
Variante v 2	Déblai net 17255.186 m ³	Traverse de 1300 m ²	Délai court	Moyen

Selon les résultats spécifiques obtenus pour les deux variantes, il a été déterminé que la deuxième variante est le meilleur choix. Les détails des résultats spécifiques en se basant sur l'évaluation comparative des critères mentionnés précédemment, la deuxième variante semble répondre de manière plus favorable aux objectifs du projet. Il est important de prendre en compte les données et les mesures spécifiques pour chaque critère, telles que le terrassement, la traversée des terres agricoles, le délai de réalisation et le coût de réalisation, pour parvenir à cette conclusion.

2.13 Conclusion :

Dans le cadre de l'étude de l'avant-projet sommaire, nous avons réalisé deux variantes distinctes en utilisant l'outil InfraWorks pour modéliser le projet en 3D. Après une analyse de chaque variante, nous avons procédé à une évaluation multicritère pour déterminer celle qui répondait le mieux à nos objectifs et contraintes. Grâce à cette démarche, nous avons sélectionné la variante optimale qui nous permet de passer à l'étude détaillée du projet. Cette décision stratégique est le résultat d'une analyse rigoureuse basée sur des critères préalablement définis, garantissant ainsi une progression sûre et maîtrisée de notre projet. La conclusion de cette étape de l'avant-projet sommaire marque une étape importante dans notre processus.

Chapitre 03 : Avant-projet détaillé

3.1 Introduction :

"Ce chapitre se concentre sur la conception de la route après avoir sélectionné la variante choisie lors de la phase d'Avant-projet Sommaire (APS). Notre objectif principal est de réaliser la conception détaillée de la route, en utilisant des outils avancés tels que le logiciel Civil 3D. Grâce à cette approche, nous serons en mesure de créer un projet 3D complet, qui comprendra la géométrie finale de la route.

La conception de la route implique plusieurs étapes essentielles que nous aborderons dans ce chapitre. Tout d'abord, nous procéderons à la création du tracé en plan, qui nous fournira les informations 2D nécessaires pour déterminer le chemin précis emprunté par la route. Cela inclut l'alignement, les courbes, les intersections et autres éléments géométriques.

Ensuite, nous passerons à la conception du profil en long, qui ajoutera la troisième dimension en fournissant des informations d'élévation à chaque point de l'alignement. Cela nous permettra de visualiser les variations de terrain et de prendre en compte les contraintes topographiques tout au long du tracé.

De plus, nous aborderons la conception du profil en travers type, qui nous permettra de définir les différentes sous-entités composant l'emprise de la route, telles que la chaussée, séparateur en béton, les accotements, les fossés et les talus de déblai et remblai. Cela garantira que chaque composant de la route est correctement dimensionné et positionné, conformément aux normes et aux exigences du projet.

L'utilisation du logiciel Civil 3D facilitera grandement ces étapes de conception en nous offrant des fonctionnalités avancées pour la modélisation et la visualisation en 3D. Nous pourrons ainsi créer un projet détaillé, précis et complet, qui servira de référence pour les étapes ultérieures de la réalisation de la route.

Voici les étapes de l'étude en APD :

- Présentation du logiciel Civil 3D.
- Tracé en plan.
- Profil en long.
- Étude de trafic.
- Dimensionnement du corps de chaussée.

- Profil en travers.
- Cubatures.
- Devis quantitatif et estimatif.

3.2 Présentation du logiciel Civil 3D :

Civil 3D est un logiciel de conception utilisé dans le domaine de l'infrastructure linéaire, du terrassement et des réseaux enterrés. Il offre des fonctionnalités clés pour la génération de plans, de métrés et de quantitatifs nécessaires à l'exécution du projet. Il permet la modification dynamique des projets, en adaptant rapidement les objets intégrés aux nouvelles contraintes. Le logiciel permet également la personnalisation des objets pour améliorer la lisibilité du projet. Il offre une collaboration facile avec d'autres outils BIM tels que Revit et Infracore, favorisant la transversalité de l'information. Civil 3D suit des standards internationaux pour la création de projets de génie civil, en utilisant des formats de fichiers standardisés et en offrant des fonctionnalités de géoréférencement des projets. En résumé, l'utilisation de Civil 3D dans notre étude en APD nous permet de bénéficier de fonctionnalités avancées pour la conception et la modification dynamique de notre projet routier, ainsi que d'une meilleure collaboration avec d'autres outils BIM.[1].

3.3 Tracé en plan :

La conception du tracé en plan est essentielle dans notre étude en APD. Il s'agit de représenter graphiquement, sur un plan horizontal, l'axe de la chaussée en utilisant des droites, des arcs de cercle et des courbes de raccordement. L'objectif principal du tracé en plan est de garantir une proportion adéquate de zones offrant une visibilité suffisante pour permettre les dépassements en toute sécurité. Parallèlement, il est important d'éviter les tronçons trop rectilignes qui pourraient causer de la monotonie et augmenter le temps d'éblouissement des phares pendant la conduite nocturne. Ainsi, la conception du tracé en plan vise à trouver le bon équilibre entre la sécurité des dépassements, la variété du tracé et la réduction des effets d'éblouissement pour assurer une expérience de conduite agréable et sécurisée.[2]

3.3.1 Règles à respecter dans le tracé en plan :

Lors de la conception du tracé en plan, il est essentiel de respecter certaines règles afin de garantir un tracé conforme aux normes et économiquement viable. Voici les principales règles à respecter :

- Adapter le tracé au terrain naturel pour minimiser les mouvements de terre importants et réduire les coûts des terrassements.
- Raccorder le tracé au réseau routier existant pour assurer une continuité et une bonne connectivité entre les différentes routes.
- Éviter de traverser des terrains agricoles et des zones forestières pour préserver les activités agricoles et la biodiversité.
- Chercher le tracé optimal qui minimise les passages à travers les propriétés privées, afin de réduire les impacts sur les propriétaires fonciers.
- Éviter autant que possible le franchissement des cours d'eau afin de limiter le nombre d'ouvrages d'art nécessaires. Lorsqu'un franchissement est inévitable, privilégier des ouvrages droits pour des raisons économiques.
- Éviter les sites sujets à des problèmes géologiques tels que la présence de failles ou de matériaux de mauvaise qualité, afin d'assurer la stabilité et la durabilité de la route.
- Appliquer les normes et standards de conception routière, notamment les normes B40, pour garantir la sécurité et la qualité du tracé. [3]

3.3.1.1 Dans le cas d'un dédoublement :

Dans le cadre de cette approche, nous allons conserver la même conception de tracé en plan que celle de la route existante. Cela signifie que nous maintiendrons l'alignement général de la chaussée et les caractéristiques géométriques déjà établies. Toutefois, nous devons prendre en compte les contraintes spécifiques liées au dédoublement, telles que l'alignement de la nouvelle chaussée par rapport à l'ancienne et le respect des normes techniques en matière de largeur minimale et de rayons de courbure.

En utilisant cette approche, nous pourrions réaliser le dédoublement de manière efficace en optimisant les ressources et en minimisant les impacts sur les usagers. Des études détaillées seront nécessaires pour s'assurer de la cohérence et de la compatibilité du nouveau tracé avec la chaussée existante, tout en respectant les normes de conception routière et en garantissant la sécurité des usagers.

3.3.2 Eléments du tracé en plan :

Dans le tracé en plan moderne, nous utilisons trois éléments clés pour définir la géométrie de la route :

- Les droites et alignements.
- Les arcs de cercle.
- Les courbes de raccordement progressives.

3.3.2.1 *Les alignements* :

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes est restreint. La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

- Éblouissement causé par les phares : Les phares des véhicules peuvent causer de l'éblouissement lorsqu'ils sont dirigés directement sur de longues sections droites de la route, ce qui peut affecter la visibilité des conducteurs.
- Monotonie de conduite : Les tronçons droits peuvent entraîner une monotonie de conduite, ce qui peut entraîner une baisse de l'attention des conducteurs et potentiellement provoquer des accidents.
- Difficulté d'estimation des distances : Il peut être difficile d'estimer les distances entre les véhicules lorsque ces derniers sont éloignés les uns des autres sur de longues sections droites.
- Mauvaise adaptation de la route au passage : Les alignements droits peuvent ne pas être adaptés aux caractéristiques du terrain ou aux besoins de circulation, ce qui peut entraîner des problèmes de sécurité et de fonctionnalité.

Cependant, il y a des cas où l'utilisation d'alignements droits est justifiée, notamment:

- En plaine où l'utilisation de courbes n'est pas nécessaire.
- Dans des vallées étroites où les contraintes géographiques limitent les possibilités de courbes.
- Le long de constructions existantes où un alignement droit est nécessaire pour s'adapter à la configuration existante.
- Pour permettre des possibilités de dépassement en créant des sections droites appropriées.

La longueur des alignements dépend de :

- La vitesse de base, plus précisément de la durée du parcours rectiligne.
- Des sinuosités précédentes et suivant l'alignement.
- Du rayon de courbure de ces sinuosités.

$$L_{min} = 5 \times \frac{V_r}{3.6} \quad 3.1$$

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_r}{3.6} \quad 3.2$$

Avec :

- V_r : la vitesse de référence.

3.3.2.2 Arcs de cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter la courbe :

- La stabilité des véhicules.
- L'inscription de véhicules longs dans les courbes de faible rayon.
- La visibilité en courbe

3.3.2.3 Stabilité en courbe :

Dans un virage de rayon R, les véhicules sont soumis à la force centrifuge qui peut causer une instabilité. Pour contrer cet effet, la chaussée est inclinée transversalement vers l'intérieur du virage, ce qui réduit la force centrifuge et évite le dérapage. Cette inclinaison de la chaussée, appelée dévers, est exprimée en tant que tangente.

3.3.2.3.1 Rayon horizontal minimal absolu (RHm) :

Il est défini comme étant le rayon au dévers maximal.

f_t : Coefficient de frottement t transversal

$$RHm = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{\max})} \quad 3.3$$

Avec :

V_r : vitesse de référence du véhicule (km/h)

d_{max} : dévers maximal.

f_t : coefficient de frottement transversale.

- Rayon minimal normal (RHN) :

Le rayon minimal normal doit permettre à des véhicules dépassant V_r de 20km/h de rouler en toute sécurité.

$$RHN = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{\max} - i)}$$

Avec :

i= 0.02 pour catégorie (1.2.3.4).

i= 0.03 pour catégorie (5).

3.3.2.3.2 Rayon minimal déversé (RHd) :

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et telle que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse VB serait équivalente à celle subit par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Dévers associé :

- dmin =2.5% en catégorie 1-2.
- dmin = 3% en catégorie 3-4-5.

$$RHd = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{\min}}$$

3.3.2.3.3 Rayon minimal non déversé (RHnd) :

C'est le rayon non déversé telle que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse VB une courbe de devers égal à dmin vers l'extérieur reste inférieur à valeur limitée.

$$RHnd = \frac{V_r^2}{127(f'' - d_{\min})}$$

f'' : Coefficient en fonction de la catégorie :

Tableau 3-1: Coefficient f' en fonction de la catégorie.

Catégorie	1	2	3	4	5
f''	0.06	0.06	0.07	0.75	0.75

Pour notre projet de dédoublement de la RN11, qui se trouve dans un environnement de classe E1 et est classé en catégorie 1 selon le règlement B40, les rayons recommandés sont les suivants :

Tableau 3-2 rayons du tracé en plan selon les normes B40.

Paramètre	Symbol	Valeur (m)
Rayon horizontal minimal absolu	RHm	250
Rayon minimal normal	RHN	450
Rayon minimal déversé	RHd	1000
Rayon minimal non déversé	RHnd	1400

3.3.3 Devers associés :

3.3.3.1 Dévers en alignement :

Le dévers en alignement est conçu pour permettre une évacuation rapide des eaux de surface de la chaussée. L'épaisseur du film d'eau dépend à la fois des paramètres indépendants de la route, tels que l'intensité et la durée de la pluie, et des paramètres liés à la route, tels que la nature et l'état du revêtement de surface.

3.3.3.2 Dévers vers l'intérieur des courbes :

En courbe, le dévers est destiné à accomplir plusieurs fonctions. Il assure un bon écoulement des eaux de surface, compense une partie de la force centrifuge pour assurer la stabilité dynamique des véhicules, et améliore le guidage optique pour les conducteurs. Le dévers maximal autorisé dans les courbes est principalement déterminé par les conditions de stabilité des véhicules à vitesse réduite ou à l'arrêt, ainsi que par les conditions météorologiques exceptionnelles.

Les valeurs préconisées pour les normes algériennes sont les suivantes :

Tableau 3-3 Valeurs des dévers selon les normes Algériennes.

	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
d_{min}	-2.5%	2.5%	-3%	-3%	-4%
d_{max}	7%	7%	8%	8%	9%

- Coefficient du frottement transversal ft :

Tableau 3-4 Coefficient du frottement transversal ft.

V_r	40	60	80	100	120	140
CAT 1-2	0.22	0.16	0.13	0.11	0.1	0.1
CAT 3-4-5	0.22	0.18	0.16	0.125	0.11	/

- Dévers associés aux rayons en plan :

1^{er} cas : Le rayon choisi : $R \geq R_{Hnd}$ Le dévers associé « d » est celui de l'alignement droit

2^{ème} cas : Le rayon choisi : $R_{Hd} \leq R \leq R_{Hnd}$ Le dévers associé est le dévers minimal de l'alignement droit.

3^{ème} cas :

Si $R_{Hn} \leq R \leq R_{Hd}$, le dévers associé « d » est calculé par interpolation entre le dévers associé à R_{Hn} et celui associé à R_{Hd} .

$$\frac{d_{(R)} - d_{(RHd)}}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd}} = \frac{d_{(RHn)} - d_{(RHd)}}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}}$$

4ème cas : Si $RH_m < R < RH_n$, la route est déversée à l'intérieur du virage et « d » est calculé par interpolation linéaire en $1/R$.

$$\frac{d_{(R)} - d_{(RH_n)}}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RH_n}} = \frac{d_{(RH_m)} - d_{(RH_n)}}{\frac{1}{RH_m} - \frac{1}{RH_n}}$$

3.3.3.3 Les courbes de raccordement :

Dans un tracé de route moderne, il est essentiel d'avoir une conception rationnelle qui comprend des alignements droits, des arcs de cercle connectés par des transitions de courbure progressive. Ces transitions permettent de passer d'une courbure de 0 (rayon infini) à l'extrémité de l'alignement à une courbure $1/R$ au début du virage circulaire. Cette approche assure une transition fluide entre les tronçons droits et les virages, offrant ainsi une expérience de conduite plus sûre et plus confortable pour les usagers de la route.

3.3.3.3.1 Rôle et nécessité des courbes de raccordement :

L'utilisation des courbes de raccordement est justifiée par quatre conditions importantes :

- **Stabilité transversale du véhicule :** Les courbes de raccordement permettent de maintenir la stabilité du véhicule en réduisant l'effet de la force centrifuge dans les virages, assurant ainsi une conduite sécurisée.
- **Confort des passagers :** Les courbes de raccordement permettent d'atténuer les secousses et les mouvements brusques lors de la transition entre les tronçons droits et les virages, offrant ainsi un trajet plus confortable pour les passagers du véhicule.
- **Transition de la forme de la chaussée :** Les courbes de raccordement permettent une transition en douceur entre les parties rectilignes et les virages de la route, évitant ainsi les changements abrupts qui pourraient causer des problèmes de sécurité ou d'inconfort.
- **Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant :** Les courbes de raccordement contribuent à un tracé harmonieux et agréable visuellement, offrant une apparence esthétique à la route et améliorant l'expérience de conduite globale.

3.3.3.4 Raccordement circulaire :

Lorsqu'on examine une carte topographique, on peut observer que les voies empruntées, qu'elles soient routières ou ferroviaires ne sont que succession d'alignements

droits et raccordements. De même, lorsqu'on réalise le tracé d'un Pipeline, on retrouvera des parties droites et des parties courbes.

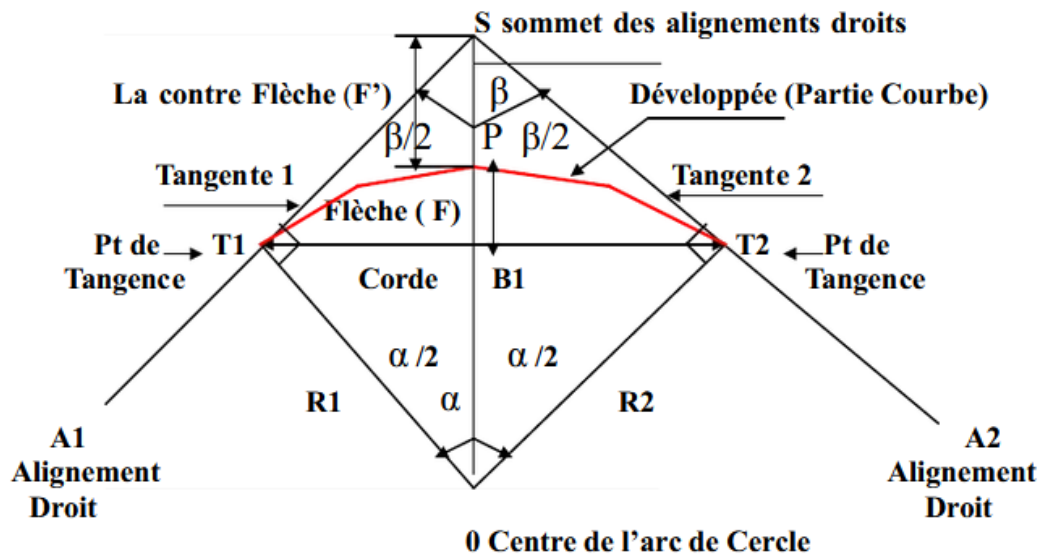


Figure 3-1 raccordement circulaire.

- β : Angle au sommet.
- α : Angle au centre.
- F : la flèche.

3.3.4 Application au projet :

3.3.4.1 Coordonnée planimétrique de l'axe :

Tableau 3-5: Coordonnées planimétriques de l'axe.

Pt _s	X	Y
A	275773.833	4012021.742
S1	275917.32	4011950.783
S2	276232.867	4012108.823
S3	276794.556	4012157.213
S4	276432.253	4012702.636
S5	276268.549	4013016.502
S6	276045.717	4013333.394
S7	275846.806	4013354.15
S8	275344.149	4013765.874
S9	275938.367	4014928.115
S10	276157.725	4015162.927
B	276439.01	4015106.942

3.3.4.2 Calcul de l'environnement :

➤ Dénivelée moyen cumulée :

Tableau 3-6 Valeurs de la dénivelée.

N°	Distance (m)	Altitude (m)	Dn(m)
A	0	101.895	0
1	50	98.485	-3.41
2	100	95.079	-3.406
3	150	91.79	-3.289
4	200	88.044	-3.746
5	250	83.439	-4.605
6	300	80.244	-3.195
7	350	75.623	-4.621
8	400	73.407	-2.216
9	450	71.287	-2.12
10	500	66.947	-4.34
11	550	64.177	-2.77
12	600	61.338	-2.839
13	650	58.574	-2.764
14	700	55.118	-3.456
15	750	51.161	-3.957
16	800	46.402	-4.759
17	850	42.089	-4.313
18	900	41.034	-1.055
19	950	39.703	-1.331
20	1000	38.775	-0.928
21	1050	38.013	-0.762
22	1100	37.225	-0.788
23	1150	35.419	-1.806
24	1200	33.337	-2.082
25	1250	32.426	-0.911
26	1300	32.774	0.348
27	1350	35.285	2.511
28	1400	38.345	3.06
29	1450	38.38	0.035
30	1500	42.318	3.938
31	1550	44.862	2.544
32	1600	46.555	1.693
33	1650	48.107	1.552
34	1700	53.3	5.193
35	1750	58.192	4.892
36	1800	61.094	2.902
37	1850	66.354	5.26
38	1900	66.175	-0.179

39	1950	71.388	5.213
40	2000	71.798	0.41
41	2050	75.09	3.292
42	2100	76.86	1.77
43	2150	80.23	3.37
44	2200	83.989	3.759
45	2250	87.086	3.097
46	2300	90.443	3.357
47	2350	92.502	2.059
48	2400	93.136	0.634
49	2450	93.705	0.569
50	2500	96.271	2.566
51	2550	96.746	0.475
52	2600	99.063	2.317
53	2650	101.924	2.861
54	2700	105.095	3.171
55	2750	109.902	4.807
56	2800	115.176	5.274
57	2850	116.837	1.661
58	2900	120.523	3.686
59	2950	120.03	-0.493
60	3000	121.526	1.496
61	3050	121.643	0.117
62	3100	120.743	-0.9
63	3150	119.446	-1.297
64	3200	118.197	-1.249
65	3250	117.208	-0.989
66	3300	115.435	-1.773
67	3350	114.207	-1.228
68	3400	113.395	-0.812
69	3450	113.021	-0.374
70	3500	112.899	-0.122
71	3550	113.015	0.116
72	3600	114.416	1.401
73	3650	114.008	-0.408
74	3700	113.926	-0.082
75	3750	115.002	1.076
76	3800	115.6	0.598
77	3850	116.153	0.553
78	3900	116.664	0.511
79	3950	116.94	0.276
80	4000	117.024	0.084
81	4050	117.38	0.356
82	4100	119.316	1.936
83	4150	119.477	0.161
84	4200	119.052	-0.425
85	4250	119.498	0.446

86	4300	120.165	0.667
87	4350	120.454	0.289
88	4400	120.321	-0.133
89	4450	120.504	0.183
90	4500	120.78	0.276
91	4550	119.802	-0.978
92	4600	118.773	-1.029
93	4650	117.576	-1.197
94	4700	116.13	-1.446
95	4750	114.688	-1.442
B	4775	113.742	-0.946
		Σ	11.847

$$Dmc = \frac{\sum Dn}{\sum distance} = \frac{11.847}{4775} = 0.0024 = 0.24\%$$

Le tableau suivant représente la nature du terrain en fonction de la dénivelée cumulée :

Tableau 3-7 Classification du terrain en fonction de dénivelée cumulée.

N°	Classification du terrain	Dénivelée cumulée
1	Plat	$Dc \leq 1.5\%$
2	Terrain vallonnée	$1.5\% < DC \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$Dc > 4\%$

On peut conclure toute en se référant au tableau ci-dessus que le relief de la route est de terrain plat.

3.4 Sinuosité :

$$\sigma = \frac{L_S}{L}$$

$$L_S = \sum D (R \leq 200 \text{ m}).$$

Tableau 3-8 les rayons et les longueurs des développés.

Numéro	Rayon (m)	Longueur (m)
R1	293.170	270.768
R2	444.653	168.251
R3	252.113	522.174
R4	722.089	76.236
R5	400.000	52.840
R6	252.327	215.480
R7	125.476	74.542
R8	252.310	343.388
R9	805.999	224.681
R10	297.539	302.264

$$\sigma = \frac{L_S}{L} = \frac{74.542}{4775} = 0.015.$$

Tableau 3-9 Classification du terrain en fonction de la sinuosité.

N°	Classification	Sinuosité
1	Sinuosité faible	$\sigma \leq 0.10$
2	Sinuosité moyen	$0.10 < \sigma \leq 0.3$
3	Sinuosité forte	$\sigma > 0.30$

A partir du tableau ci-dessus, nous pouvons conclure que notre route est de sinuosité faible.

3.5 Environnement de la route :

Trois types d'environnement sont caractérisés par le croisement des deux paramètres précédents à partir du tableau suivant :

Tableau 3-10 Sinuosité en fonction du relief.

Sinuosité \ Relief	Sinuosité faible	Sinuosité moyen	Sinuosité forte
Plat	E1	E2	/
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux	/	E3	E3

Dans notre cas, nous avons terrain plat et sinuosité faible \longrightarrow E1.

3.5.1 Vitesse de référence :

La vitesse de référence pour notre tronçon routier, conformément aux normes B40, est de 80 km/h. Cette vitesse est déterminée en fonction de la catégorie de la route (CAT1) et de l'environnement (E1). Elle sert de base pour la conception géométrique de la route, en prenant en compte les exigences de sécurité, les caractéristiques du tracé et les conditions de circulation.

Tableau 3-11 Valeurs des vitesses en fonction de la catégorie et l'environnement.

Environnement Catégorie	E1	E2	E3
CAT 1	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 2	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 3	120-100-80	100-80-60	80-60-40
CAT 4	100-80-60	80-60-40	60-40
CAT 5	80-60-40	60-40	40

3.5.1.1 Détermination des rayons en plan :

On a Cat 1, E1 et $V_r = 80$ Km/h.

- Rayon horizontal minimal absolu (RHm) :

D'après un tableau des normes B40, on prend : $f_t = 0,13$; $d_{max} = 7\%$.

$$RHm = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{max})} = \frac{80^2}{127(0.13 + 0.07)}$$

$RHm = 252$ m.

- Rayon minimal normal (RHn) :

$RHn(V_r) = RHm(V_r + 20)$

D'après un tableau des normes B40, on prend : $f_t = 0,11$; $d_{max} = 5\%$.

$$RHN = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{max})} = \frac{(80 + 20)^2}{127(0.11 + 0.05)}$$

$RHn = 492$ m.

- Rayon minimal déversé (RHd) :

D'après un tableau des normes B40, on prend : $d_{\min} = 2.5 \%$.

$$RHd = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{\min}} = \frac{80^2}{127 \times 2 \times 0.025}$$

$$RHd = 1008 \text{ m.}$$

- Rayon minimal non déversé (RHnd) :

D'après un tableau des normes B40, on prend : $f'' = 6 \%$ et $d_{\min} = 2.5\%$.

$$RHnd = \frac{V_r^2}{127(f'' - d_{\min})} = \frac{80^2}{127(0.06 - 0.025)}$$

$$RHnd = 1440 \text{ m.}$$

- Paramètres fondamentaux :

Voici les paramètres fondamentaux définis par le règlement des normes d'aménagements routiers B40 pour un environnement E1, une catégorie C1 et une vitesse de base V_r de 80 km/h :

Tableau 3-12 Rayons du tracé en plan par pour les rayons B40.

Paramètres	Symboles	Valeur calculées (m)	Valeur selon B-40 (m)
Rayon horizontal minimal (m)	RHm (7 %)	252	250
Rayon horizontal normal (m)	RHN (5 %)	492	450
Rayon horizontal déversé (m)	RHd (2.5 %)	1008	1000
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd (-2.5 %)	1440	1400

3.5.1.2 Détermination des dévers aux rayons en plan :

- Pour le rayon R5 : le rayon R5 est inférieur au Rayon horizontal minimal absolu (RHm) défini par les normes B-40, il est nécessaire de prendre des mesures spécifiques pour assurer la sécurité. Dans ce cas, il est recommandé de limiter la vitesse de base dans ce rayon à 60 km/h par des panneaux de signalisation vertical.

$$R5 = 125 \text{ m}, d_{\max} = 7\%, V_r = 60 \text{ km/h.}$$

- Pour R3, R6, et R8 : les rayons ont la même valeur de Rayon horizontal minimal absolu (RHm), cela signifie qu'ils sont le même dévers 7%.

$$\left\{ \begin{array}{l} R3 = R6 = R8 = 252 \text{ m,} \\ d_{(R1)} = d_{(R1)} + d_{(R1)} = 7\%. \end{array} \right.$$

- Pour les rayons R1, R2, R5 et R10 qui se situent entre le Rayon horizontal minimal absolu (RHm) et le Rayon horizontal minimal normal (RHn), on peut calculer leur dévers en utilisant la formule d'interpolation suivante :

$$d_{(R)} = \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{RHm} \right) \times \left(\frac{d_{(RHm)} - d_{(RHn)}}{\frac{1}{RHm} - \frac{1}{RHn}} \right) + d_{(RHn)}$$

A.N : pour R1= 239 m.

$$d_{(R1)} = \left(\frac{1}{239} - \frac{1}{492} \right) \times \left(\frac{0.07 - 0.05}{\frac{1}{252} - \frac{1}{492}} \right) + 0.05$$

$$d_{(R1)} = 6.4\%.$$

De même méthode :

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{(R2)} = 5.2\%. \\ d_{(R5)} = 5.4\%. \\ d_{(R10)} = 6.6\%. \end{array} \right.$$

- Pour les rayons R4 et R9 qui se situent entre RHn et RHd, on peut calculer leur dévers en utilisant la formule d'interpolation suivante :

$$d_{(R)} = \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd} \right) \times \left(\frac{d_{(RHn)} - d_{(RHd)}}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}} \right) + d_{(RHd)}$$

A.N : pour R4 = 722 m.

$$d_{(R)} = \left(\frac{1}{722} - \frac{1}{1008} \right) \times \left(\frac{0.05 - 0.025}{\frac{1}{492} - \frac{1}{1008}} \right) + 0.025$$

$d_{(R4)} = 3.4\%$.

$d_{(R9)} = 3.1\%$.

Tableau 3-13 dévers associés des rayons horizontal.

Rayons de trace en plan choisis (m)		Devers associés d(R)
R1	293	6.4%
R2	444	5.2%
R3	252	7%
R4	722	3.4%
R5	400	5.4%
R6	252	7%
R7	125	7%
R8	252	7%
R9	805	3.1%
R10	297	6.6%

3.5.1.3 Détermination des coordonnées définissant l'axe de la route :

- Calcul des gisements :

Le gisement d'une direction est l'angle dans le sens topographique (des aiguilles d'une montre) compris entre l'axe des Y et la direction.

Exemple : Calcul du Gisement de la direction AS1.

$$g_{AS1} = \arctg\left|\frac{\Delta x}{\Delta y}\right| = \arctg\left|\frac{x_{s1} - x_A}{y_{s1} - y_A}\right|$$

Cas exceptionnels pour le calcul de gisement :

- GIS = g si ($\Delta X > 0$ et $Y > 0$) (avec gis > 0).
- GIS = 200 - g si ($\Delta X > 0$ et $Y < 0$) (avec gis < 0).
- GIS = 200 + g si ($\Delta X < 0$ et $Y < 0$) (avec gis > 0).
- GIS = 400 - g si ($\Delta X < 0$ et $Y > 0$) (avec gis < 0).

A.N :

GIS AS1 :

$$g_{AS1} = \arctg\left|\frac{275917.32 - 275773.833}{4011950.783 - 4012021.742}\right| = \arctg\left|\frac{143.487}{-70.959}\right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(2.0221) = 70.7623 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X > 0$ et $Y < 0$) \implies GIS = 200 - g = 200 - 70.7623 = 129.2376 g.

GIS S1S2 :

$$g_{S1S2} = \arctg\left|\frac{276232.867 - 275917.32}{4012108.823 - 4011950.783}\right| = \arctg\left|\frac{315.547}{158.04}\right|$$

$$g_{AS1} = \arctg(1.9966) = 70.4402 \text{ g.}$$

On a ($\Delta X > 0$ et $Y > 0$) \implies GIS = g = 70.4402 g.

➤ Distance

La distance AS1 est donnée par la relation :

$$A.S1 = \sqrt{(x_{s1} - x_A)^2 + (y_{s1} - y_A)^2}$$

A.N :

$$A.S1 = \sqrt{(275917.32 - 275773.833)^2 + (4011950.783 - 4012021.742)^2}$$

A.S1= 160.074 m.

➤ L'angle au centre (β) :

D'après le cas de figure, l'angle au centre β est donné par :

$$\beta = \text{GAS1-GS1S2}$$

A.N :

$$\beta_1 = 129.2376 - 70.4402 = 58.7974 \text{ g.}$$

Tableau 3-14 récapitulatif.

Direction	ΔX	ΔY	Gisements	Angle au Centre	Distances
A-S1	143.487 m	-70.959 m	129.2376 gr		64.673m
S1-S2	315.547 m	158.04 m	70.4402gr	$\beta_1 = 58.7974\text{gr}$	352.911m
S2-S3	561.689 m	48.39 m	94.529gr	$\beta_2 = 24.0888\text{gr}$	563.769m
S3-S4	-362.303 m	545.423 m	362.6728gr	$\beta_3 = 268.1438\text{gr}$	654.79m
S3-S4	-163.704 m	313.866 m	369.394gr	$\beta_4 = 6.7212\text{gr}$	353.993m
S5-S6	-222.832 m	316.892 m	360.9843gr	$\beta_5 = 8.4097\text{gr}$	387.394m
S6-S7	-198.911m	20.756 m	306.6189gr	$\beta_6 = 54.3654 \text{ gr}$	199.991m
S7-S8	-502.657 m	411.724 m	343.6898gr	$\beta_7 = 37.0709\text{gr}$	649.754m
S8-S9	594.218 m	1162.241 m	30.0881gr	$\beta_8 = 313.6017\text{gr}$	1305.335m
S9-S10	219.358 m	234.812 m	47.8345gr	$\beta_9 = 17.7464\text{gr}$	321.333
S10-B	281.285 m	-55.985 m	112.5075gr	$\beta_{10} = 64.673\text{gr}$	286.802m

3.5.1.4 Calculs des éléments des raccordements circulaires :

- La tangente : $ST = ST' = R \times \text{tg} \left(\frac{\beta}{2} \right)$

A.N: $R=293 \text{ m.}$

$$ST_1 = 293.107 \times \text{tg} \left(\frac{58.7974}{2} \right) = 145.906 \text{ m.}$$

- Bissectrice:
$$Biss = R \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} - 1 \right)$$

A.N :

$$Biss = 293 \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{58.7974}{2}\right)} - 1 \right) = 34.301 \text{ m.}$$

- La développée :
$$D = \frac{\pi \cdot \beta^{Grad} \cdot R}{200}$$

A.N :

$$D_1 = \frac{3.14 \times 58.7974 \times 293}{200} = 270 \text{ m.}$$

- La flèche :
$$F = R \left(1 - \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \right)$$

A.N :

$$F = 293 \left(1 - \cos\left(\frac{58.7974}{2}\right) \right) = 30.708 \text{ m.}$$

Tableau 3-15 Les éléments de raccordements circulaires.

Rayon	Tangente (m)	Développé (m)	Bissectrice (m)	Flèche (m)
293	145.906	270.768	34.301	30.708
444	85.144	168.251	8.078	7.934
252	425.203	522.174	242.213	123.532
722	38.153	76.236	1.007	1.006
400	26.458	52.840	0.874	0.872
252	114.803	215.480	24.889	22.654
125	38.407	74.542	5.747	5.495
252	204.237	343.388	72.302	56.198

805	113.074	224.681	7.893	7.816
297	165.628	302.264	42.993	37.565
Σ	1357.013	3017.856	/	/

- Pourcentage des alignements droit et courbe :

Tableau 3-16 Pourcentage des alignements droit et courbe.

Longueur total	Alignement Droit (%)	Courbe (%)
4775 m	36.8%	63.20%

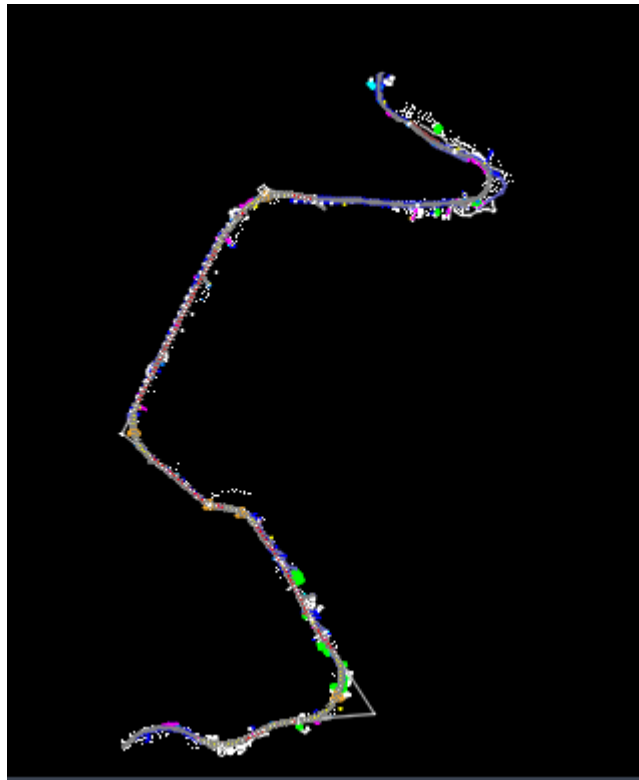


Figure 3-2 levé de bande de notre projet.

3.6 PROFIL EN LONG :

3.6.1 Définition :

Le profil en long d'une route est une représentation graphique de l'élévation verticale le long de l'axe de la route. Il montre la variation de l'altitude par rapport à la distance parcourue sur la route. Le profil en long permet de visualiser les pentes ascendantes et descendantes, les sections planes, les courbes, les sommets et les dépressions le long de

Le profil en long joue un rôle crucial dans la détermination de la pente maximale et d'autres caractéristiques techniques d'un projet de construction. Il influence à la fois le volume et le coût des travaux de terrassement. Pour chaque point du profil en long, il est nécessaire de déterminer l'altitude du terrain naturel (représentée par une ligne noire) ainsi que l'altitude du projet (représentée par une ligne rouge). Cette information permet d'évaluer les écarts d'élévation entre le terrain existant et le projet envisagé, ce qui est essentiel pour la conception et la réalisation de la construction. En connaissant les altitudes aux différents points du profil en long, les ingénieurs peuvent prendre des décisions éclairées concernant le tracé, l'aménagement des pentes, et l'optimisation des coûts liés aux travaux de terrassement.

3.6.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Pour que le tracé de la ligne rouge réponde aux exigences de confort, de visibilité, de sécurité et de gestion des eaux pluviales, plusieurs conditions doivent être respectées.

Il est nécessaire de :

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- Eviter les angles rentrant en déblais, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- Recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles.

- Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
- Il est recommandable d'éviter la déclivité maximum qui dépend de la vitesse minimum du profil en long ainsi que des conditions d'adhésions sans oublier les conditions économiques.

3.6.3 Les éléments composition du profil en long :

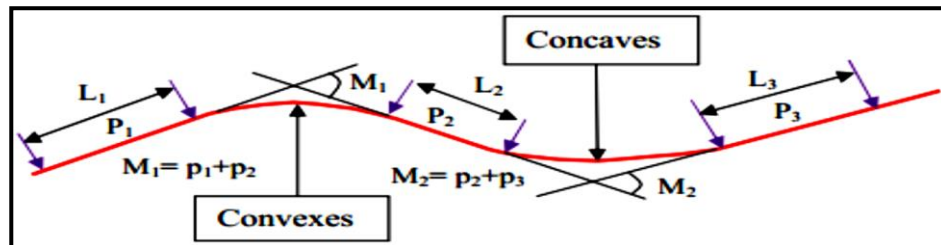
Le profil en long est composé d'une série de segments linéaires (rampes et pentes) reliés par des courbes circulaires. À chaque point du profil en long, il est nécessaire

de déterminer les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel
- L'altitude du projet
- La déclivité du projet. etc....

3.6.4 Les types de rayons :

Dans le contexte des profils en long, il existe deux types de rayons différents verticaux



qui décrivent les courbures et les transitions entre les segments linéaires.

- ❖ Les rayons en angle rentrants (concaves).
- ❖ Les rayons en angle saillant (convexes).

3.6.5 Coordination entre le tracé en plan et le profil en long :

La coordination entre le tracé en plan et le profil en long nécessite une étude globale pour assurer une intégration harmonieuse dans l'environnement, respecter les règles de visibilité et offrir un certain confort visuel. Dans cette optique, il est recommandé de :

- Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, tout en respectant la condition : R

Figure 3-3 Élément géométrique du profil en long.

vertical $> 6 \times R$ horizontal, afin d'éviter des défauts d'inflexion.

- Éliminer les changements de direction brusques, sauf si cela n'entraîne pas de coût significatif.

L'objectif est d'optimiser la continuité du tracé tant sur le plan horizontal que vertical, tout en tenant compte des considérations techniques et esthétiques. Une telle approche permet de garantir une transition fluide et agréable pour les usagers de la route, en minimisant les défauts de trajectoire, tout en respectant les contraintes économiques.

3.6.6 La ligne rouge :

La ligne du projet de profil en long est une représentation graphique de l'élévation prévue le long de l'axe d'une route. Elle permet de visualiser les changements d'élévation, les pentes et les courbes de la route. C'est un outil essentiel pour la conception et la planification des routes, permettant de déterminer les volumes de terrassement nécessaires et d'assurer la sécurité et le confort des usagers de la route

La ligne du projet doit tenir compte des critères suivants :

- Passages aux points obligés
- Équilibre entre remblais et déblais
- Respecter les normes techniques relatives aux rayons de raccordement
- Assurer un bon écoulement des eaux usées et pluviales.

3.6.7 Déclivités du profil en long :

Dans les profils en long d'une route, la déclivité correspond à la pente calculée en pourcentage, exprimant le rapport entre la variation d'altitude et la distance horizontale parcourue. Elle est déterminée en mesurant la tangente de l'angle formé par le profil en long avec l'horizontale.

3.6.7.1 Déclivité minimale :

Pour préserver la durabilité et la sécurité des chaussées, évitez les pentes inférieures à 1% et ne dépassez pas 0,5% pour éviter la stagnation des eaux. La stagnation des eaux peut endommager la surface de la route, réduire l'adhérence, causer des risques d'aquaplaning et diminuer la visibilité. Concevez les profils en long pour assurer un bon drainage, en évitant les pentes trop faibles favorisant l'accumulation d'eau. Des pentes minimales de 1% assurent un écoulement adéquat vers les dispositifs de drainage, maintenant la chaussée en bon état et prévenant les problèmes de stagnation des eaux.

3.6.7.2 Déclivité maximale :

D'un point de vue technique, la déclivité maximale d'une route est influencée par l'adhérence entre les pneus et la chaussée, ce qui concerne tous les types de véhicules. Les pentes importantes peuvent entraîner une réduction de la vitesse, en particulier pour les camions et poids lourds, qui ont une influence significative en raison de leur poids élevé. Par conséquent, il est recommandé d'éviter les pentes supérieures à 8% pour assurer des conditions de conduite sûres et maintenir des vitesses de circulation appropriées. Cette mesure vise à garantir une adhérence adéquate des pneus sur la chaussée et à prévenir les problèmes potentiels liés à des pentes trop prononcées.

Et selon (B40) elle doit être inférieure à une valeur maximale associée à la vitesse base.

Tableau 3-17 Valeur de déclivité maximale.

Vr km/h	40	60	80	100	120	140
I max %	8	7	6	5	4	4

Pour notre cas la vitesse $V_r = 80$ km/h donc la pente maximale $I_{max} = 6\%$

3.6.8 Les raccordements en profil en long :

Les transitions entre différentes déclivités sont des points particuliers dans le profil en long. Ces transitions doivent être adoucies par des raccordements circulaires qui répondent aux exigences de visibilité et de confort. On distingue deux types de raccordements.

3.6.8.1 Raccordements convexes (angle saillant) :

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angles saillants, sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain, des obstacles et des distances d'arrêt et de visibilité. Leur conception doit satisfaire à la condition :

- Condition de confort.
- Condition de visibilité.

Tableau 3-18 Rayons en angle saillant (B40).

Rayon RV	V _{v1} Symbol	120	100	80	60	40
CAT 1-2						
Unidirectionnel						
min. absolu	RV m1	12000	6000	2500	1000	300
min. normal	RV n1	18000	12000	6000	2500	1000
Bidirectionnel						
min. Absolu	RV m2	20000	10000	4500	1500	500
min. Normal	RV n2	20000	20000	10000	4500	1500
Dépassement	RV D	30000	20000	11000	6000	2500
CAT 3-4-5						
Unidirectionnel						
min. absolu	RV m1	10000	4500	2000	800	250
min. normal	RV n1	15000	10000	4500	2000	800
Bidirectionnel						
min. Absolu	RV m2	16000	8000	3500	1300	450
min. Normal	RV n2	16000	16000	8000	3500	1300
Dépassement	RV D	27000	16000	9000	5000	2300

3.6.9 Condition de confort :

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, les véhicules sont soumis à une accélération verticale insupportable, qu'elle est limitée à « g /40(cat 1-2) et g / 30 (Cat 3-4-5) », Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à :

$$\frac{Vr^2}{RV} < \frac{g}{40}$$

Avec : g = 10 (m /s²) et $V = \frac{Vr}{3.6}$

D'où :

- $R_{vmin} \geq 0,30 V^2$ (cat 1-2).

- $R_{vmin} \geq 0,23 V^2$ (cat 3-4-5).

3.6.10 Condition de visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort. Il faut deux véhicules circule en sens opposes puissent s'apercevoir a une distance double de la distance d'arrêt minimum.

Le rayon de raccordement est donne par la formule suivante :

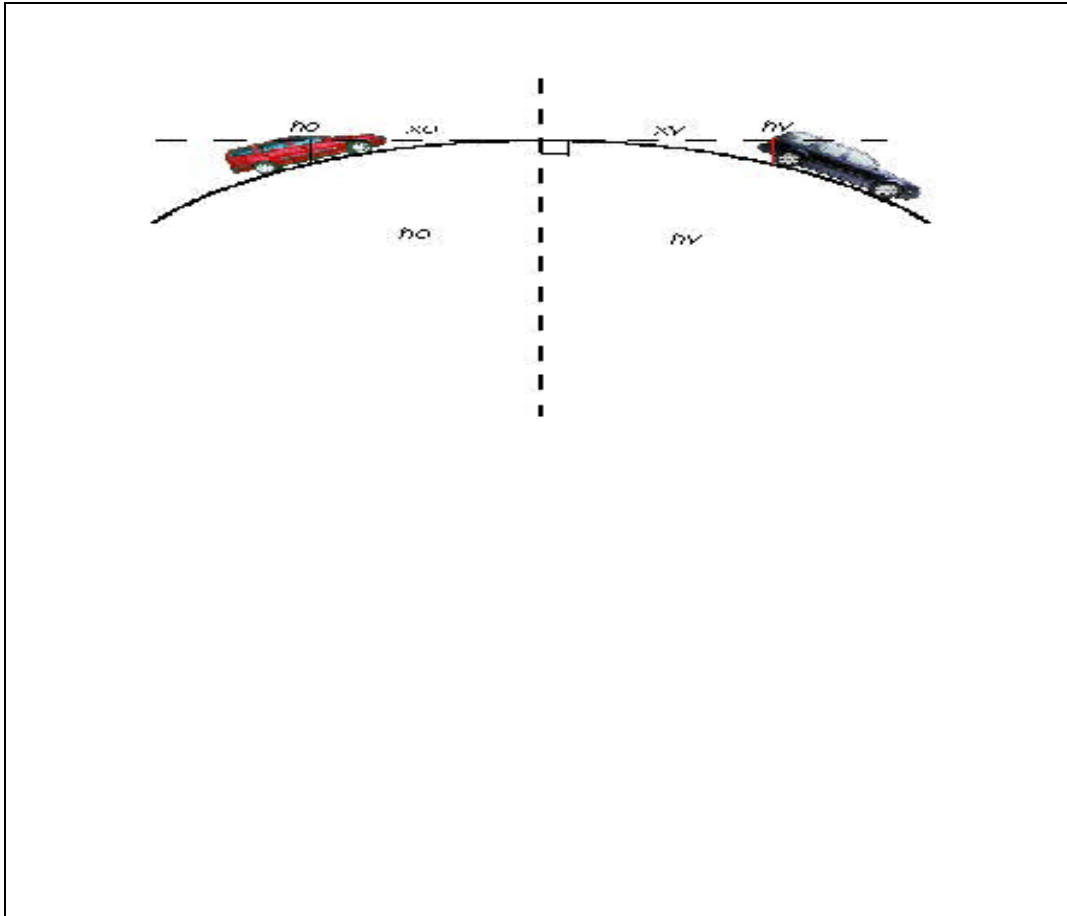


Figure 3-4 condition de visibilité.

$$RV \geq \frac{d^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times h_0 \times h_1)} \approx 0.27D^2$$

d : Distance d'arrêt (m).

h_0 : Hauteur de l'œil (m).

h_1 : Hauteur de l'obstacle (m).

Dans le cas d'une route unidirectionnelle :

$4 p_0 h_0 = 1.1$ m, $h_1 = 0.15$ m

On trouve : $RV = a d^1$

$$2 a = 0.2ur \text{ cat } 1-2$$

$$Rv = 0.24 d1$$

Les rayons de courbure qui satisfont à ces deux conditions sont définis par les normes en fonction de la vitesse de base et de la catégorie de la route. Pour une route à sens unique et une vitesse de base de 80 km/h et pour la catégorie 1-2 on a les normes fournissent les rayons de courbure appropriés.

Tableau 3-19 Rayons convexes.

Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	R_{Vm1}	6000
Min- normal	R_{Vn1}	12000
Dépassement	R_{VD}	20000

3.6.11 Raccordements concaves (angle rentrant) :

La visibilité diurne n'est pas un facteur déterminant lorsqu'il s'agit de se connecter à des points bas. Au contraire, c'est pendant la nuit qu'il est crucial de garantir que les phares du véhicule illuminent suffisamment loin pour que le conducteur puisse détecter un obstacle. La visibilité est assurée dans un rayon adéquat conformément à la relation spécifiée.

$$R'_v = \frac{d_1^2}{1.5 + 0.0352 \times d_1}$$

Dans notre cas, on à :

Tableau 3-20 Rayons concaves (angle rentrant).

Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	R_{Vm}	3000
Min- normal	R_{Vn}	4200

3.6.12 Détermination pratique du profil en long :

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle :

$$X^2 + Y^2 - 2 R Y = 0$$

À l'équation de la parabole $X^2 - 2 R Y = 0 \rightarrow Y = \frac{X^2}{2R}$

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante :

- Donnée les coordonnées (abscisse, altitude) des points A et D
- Donnée La pente P1 de la droite (AS)
- Donnée la pente P2 de la droite (DS)
- Donnée le rayon R.

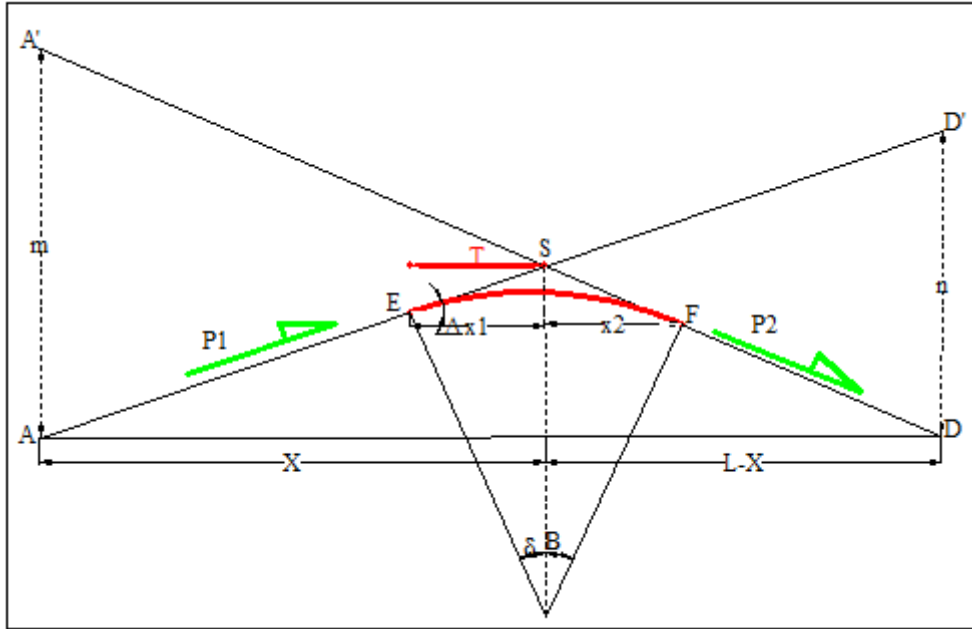


Figure 3-5 Détermination des coordonnées A et B.

3.6.13 Détermination de La position du point de rencontre (S) :

On a :

$$ZD' = ZA + L.P2 ; m = ZA' - ZA$$

$$ZA' = ZD + L.P1 ; n = ZD' - ZD$$

Les deux triangles SAA' et SDD' sont semblables donc :

$$\frac{m}{n} = \frac{X}{L-X} \Rightarrow X = \frac{m \times L}{m+n}$$

$$\begin{cases} S \ X_S = X + X_A. \\ Z_S = P1.X + Z_A. \end{cases}$$

➤ Calculs de La tangente :

$$LR=2T$$

➤ Calcul de la flèche :

$$H = \frac{T^2}{2R}$$

➤ Calcul de la flèche Et de l'altitude d'un point courant M sur la courbe :

$$\begin{cases} H_X = Mx^2 / 2R \\ Z_M = Z_B + Xp_1 - X^2 / 2R \end{cases}$$

3.6.14 Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (T) :

$$\begin{cases} X_1 = R p_1 ; X_2 = R p_2 \\ X_J = X_E + R \cdot P_1 \\ Z_J = Z_E + X_1 \cdot P_1 - \frac{X_1^2}{2R} \end{cases}$$

Si les pentes sont dans le même sens, le point J se situe en dehors de la ligne de projet et n'a aucune importance. Cependant, dans le cas de pentes en sens contraire, la connaissance du point J devient intéressante, notamment pour l'assainissement en zone de déblai. Le partage des eaux de ruissellement se fait à partir du point J, c'est-à-dire que les fossés descendent dans les sens J vers A et D.

3.6.15 Le calcul est effectué à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2023 :

Tableau 3-21 Abscisse Sommets et Raccordements.

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0	101.895
D1	PENTE= -7.20%	374.715		
			374.72	74.905
PAR1	S= 0428.36 Z=71.041			
	R= 14129.068	107.295		
			482.01	67.584
D2	PENTE= -6.44%	339.674		
			821.68	45.698
PAR2	S= 0869.44 Z=42.621			
	R= 2675.482	95.504		
			917.19	41.249
D3	PENTE= -2.87%	270.46		
			1187.65	33.476
PAR3	S= 1225.00 Z=32.403			
	R= 2598.316	74.705		

			1262.35	32.403
D4	PENTE= 0.00%	19.175		
			1281.53	32.404
PAR4	S= 1323.03 Z=32.404			
	R= 1500.000	83.011		
			1364.54	34.702
D5	PENTE= 5.54%	201.905		
			1566.44	45.878
PAR5	S= 1725.00 Z=54.655			
	R= 61739.516	317.113		
			1883.56	64.246
D6	PENTE= 6.05%	391.38		
			2274.94	87.921
PAR6	S= 2340.63 Z=91.894			
	R= 3428.857	131.382		
			2406.32	93.351
D7	PENTE= 2.22%	67.611		
			2473.93	94.85
PAR7	S= 2531.29 Z=96.122			
	R= 3309.771	114.719		
			2588.65	99.382
D8	PENTE= 5.68%	315.287		
			2903.94	117.301
PAR8	S= 3008.33 Z=123.234			
	R= 2586.140	208.792		
			3112.73	120.739
D9	PENTE= -2.39%	285.781		
			3398.51	113.909
PAR9	S= 3440.79 Z=112.899			
	R= 2659.973	84.563		
			3483.07	113.232
D10	PENTE= 0.79%	969.444		
			4452.52	120.882
PAR10	S= 4523.09 Z=121.439			
	R= 3671.563	141.138		
			4593.66	119.283
D11	PENTE= -3.06%	181.345		
			4775	113.742

3.7 Etude trafic :

3.7.1 Généralité :

Une étude de trafic est une étape très importante qui doit intervenir à l'amont de toute réflexion relative à un projet routier. Elle permet de déterminer l'intensité du trafic, caractérisé par le trafic journalier moyen annuel (TJMA), et d'autre part, l'agressivité des véhicules poids lourds définie par le nombre de poids lourds circulant sur le tronçon de route étudié.

En réponse à ces insuffisances une réhabilitation du tronçon étudié a été envisagée en vue d'améliorer l'offre de transport et assurer une meilleure sécurité et fluidité de trafic.

Le trafic à prendre en compte pour un projet constitue une des données de base pour la définition des caractéristiques géométriques de la route ainsi que pour le dimensionnement de la chaussée.

Il décrit la méthodologie de l'enquête, les comptages du trafic, l'analyse des résultats et leur projection.

3.7.2 Différents types de trafic :

3.7.2.1 Trafic normal :

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet.

3.7.2.2 Trafic dévié:

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.

3.7.2.3 Trafic total:

C'est la somme du trafic annuel et du trafic dévié.

3.7.2.4 Trafic induit:

C'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations.

3.7.3 Analyse des trafics existants :

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise au point d'un projet routier et consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route (volume, composition, conditions de circulation, saturation, origine et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

3.7.4 Mesure des trafics :

Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires :

Les comptages : permettent de quantifier le trafic.

Les enquêtes: permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs.

3.7.5 Comptages :

C'est l'élément essentiel de l'étude de trafic, on distingue deux types de comptage :

- Les comptages manuels
- Les comptages automatiques.

3.7.5.1 Comptages manuels :

Ils sont réalisés par les enquêteurs qui relèvent la composition du trafic pour compléter les indicateurs fournis par les comptages automatiques. Les comptages manuels permettent de connaître le pourcentage de poids lourds et les transports en commun, Les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (T.J.M.A).

3.7.5.2 Comptages automatiques :

Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers de la chaussée. On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires.

3.7.6 Enquêtes « origine-destination » :

Il est plus souvent opportun de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux, on peut recourir en fonction du besoin, à diverse méthodes, lorsque l'enquête est effectuée sur tous les accès à une zone prédéterminée (une agglomération entière, une ville ou seulement un quartier) on parle d'enquête cordon. Cette méthode permet en particulier de recenser les flux de trafic inter zonaux.

3.7.7 Calcul de la capacité :

La capacité d'une route est le flux horaire maximum des véhicules qui peuvent raisonnablement passer en un point ou s'écouler sur une section de route uniforme (ou deux directions) avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminer. La capacité dépend de :

- Des conditions de trafic.
- Des conditions météorologiques.
- De type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire.
- Des distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des conducteurs variables d'une route à l'autre).
- Des caractéristiques géométriques de la section considérée (nombre et largeur des voies).

3.7.8 Projection Future Du Trafic :

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

$$TJMAh = TJMA_0(1 + \tau)^n$$

Avec :

- TJMAh : le trafic à l'année horizon.
- TJMA₀ : le trafic à l'année de référence.
- n : nombre d'année.
- T : taux d'accroissement du trafic (%).

3.7.9 Calcul du trafic effectif :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (UVP), en fonction du type de route et de l'environnement. Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (UVP). Le trafic effectif est donné par la relation :

$$T_{eff} = [(1 - Z) + P.Z]. Tn$$

- **T_{eff}** : trafic effectif à l'horizon.
- **Z** : pourcentage de poids lourds (%).
- **P** : coefficient d'équivalence pour le poids lourd, il dépend de la nature de la route.

3.7.10 Coefficient d'équivalence "p" (selon le B40) :

Tableau 3-22 coefficient d'équivalence.

Environnement	E1	E2	E3
Route à bonne caractéristique	2-3	4-6	8-12

Route étroite	3-6	6-12	16-24
---------------	-----	------	-------

3.7.11 Débit de point horaire normal :

Le débit de point horaire normal est une fraction du trafic effectif al 'horizon, il est exprimé en (uvp) et donné par formule : $Q = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot T_{eff}$

Avec :

- $\left(\frac{1}{n}\right)$: Coefficient de pointe prise égale 0.12
- Q : est exprimé en UVP/h.

3.7.12 Débit horaire admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par la formule :

$$Q_{adm} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{th}$$

Avec :

- **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.

Tableau 3-23 Valeur de "K2".

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.90-0.95

Tableau 3-24 Valeur de "K2".

E / CAT	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
E1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau 3-25 valeurs de capacité théorique du profil en travers en régime stable.

	Capacité théorique
Route à 2 voies de 3,5 m	1500 à 2000 uvp/h
Route à 3 voies de 3,5 m	2400 à 3200 uvp/h
Route à chaussées séparées.	1500 à 1800 uvp/h

3.7.13 Déterminations du nombre des voies :

Le nombre de voies de circulation est variable selon le volume de circulation projeté à terme et les niveaux de services attendus.

3.7.13.1 Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

On compare Q à Q_{adm} et en prend le profil permettant d'avoir :

$$Q \leq Q_{adm}$$

3.7.13.2 Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

On nombre de voie par chaussée est le nombre entier le plus proche du rapport :

$$N = S \cdot Q / Q_{adm}$$

Avec :

- **N**: le nombre de voie.
- **Q_{adm}** : Débit admissible par voie.
- **S** : coefficient dissymétrie, en général=2/3.

3.7.14 APPLICATION DE PROJET :

3.7.14.1 Les données de trafic :

- Le trafic à l'année de compactage $TMJA_{2016} = 7858$ (uvp/j).
- Le taux d'accroissement annuel du trafic $\tau = 4\%$.
- La vitesse de base sur le tracé $V_r = 80$ km /h.
- Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 30\%$.
- Environnement (E1) - Catégorie (CAT1).
- La durée de vie estimée à 20 ans.
- $ICBR = 10$.
- Coefficient d'équivalence $P = 2,5$.

3.7.14.2 Trafic à l'année de mise en service :

$$TJMA_{2023} = TJMA_{2016} (1 + \tau)^n = 7858(1 + 0.04)^7 = 10341 \text{ (uvp/j)}.$$

3.7.14.3 Trafic à l'année horizon :

$$TJMA_h = TJMA_0(1 + \tau)^n$$

$$TJMA_{2043} = 10341 (1+0,04)^{20} = 22659 \text{ (uvp /j)}.$$

3.7.14.4 Trafic effectif :

$$T_{eff} = [(1 - Z) + P \cdot Z] \cdot T_n$$

$$T_{eff} = [(1 - 0,3) + 2.5 \times 0,3] \cdot 22659 = 32856 \text{ (uvp /j)}.$$

3.7.14.5 Débit de point horaire normal :

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

$$Q = 0,12 \times 32856 = 3944 \text{ uvp/h}.$$

3.7.14.6 Débit de point horaire adm :

$$Q_{adm} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{th}$$

$$Q_{adm} = 0,75 \times 1 \times 1800$$

$$\text{Donc « } Q_{adm} \text{ »} = 1350 \text{ uvp/h}.$$

3.7.14.7 Calcule nombre de voies :

$$N = (S) \times (Q/Q_{adm})$$

$$N = (2/3) \times (3944/1350) = 1,94 \text{ Donc : } N = 2 \text{ voies /sens}$$

Tableau 3-26 résultat du calcul du trafic.

TMJA ₂₀₁₆ (uvp /j)	TMJA ₂₀₂₃ (uvp /j)	TMJA ₂₀₄₃ (uvp /j)	T _{eff} (uvp/j)	Q (uvp/h)	N
7858	10341	22659	32856	3944	2

3.7.15 Conclusion :

Le calcul de la capacité de la route nous donne le profil en travers suivant :

- Largeur utile est 2x7m (2voies de 3.5m) x (2voies de 3.5m).

- Chassée dédoublement.

3.8 Dimensionnement du corps de chaussée :

3.8.1 Principe :

L'objectif est de déterminer une épaisseur de chaussée adéquate pour éviter que le sol naturel ne se déforme sous l'effet des charges de circulation. Cela implique de choisir une épaisseur suffisante qui permettra de prévenir l'apparition de poinçonnements ou d'affaissements du sol sous la charge exercée par les véhicules circulant sur la route. Facteurs à prendre en compte pour le dimensionnement du corps de chaussée :

Résistance du terrain naturel : Elle est exprimée par l'indice de CBR (ICBR) « lorsque ICBR est grand, e est petit et inversement.

3.8.2 Nature du matériau :

Le corps de chaussée sera caractérisé par un coefficient d'équivalence qui permet de le comparer à un matériau de référence, tel qu'un gravier propre ou bien gradué. Ce coefficient d'équivalence est utilisé pour évaluer les propriétés et les performances du matériau constituant la chaussée, en le comparant à un matériau standard reconnu.

3.8.3 Le trafic :

Considéré par le nombre moyen journalier « TMJA » des véhicules de plus de 1,5 t à vide.

Le poids de la roue la plus chargée en route ; $P = 13 / 2 = 6,5$ t.

3.8.4 Remarque générale :

On distingue 3 groupes de méthodes :

- Méthodes théoriques : sont des méthodes utilisées pour une recherche théorique.
- Méthodes empiriques : elles se bornent à une classification des sols et des types de chaussées (expérimentalement).
- Méthodes semi-empirique : elles combinent entre les résultats théoriques et les essais de laboratoires.

Ces méthodes sont les plus répondues.

3.8.5 Méthode de dimensionnement du corps de chaussée :

3.8.5.1 Méthode C.B.R :

L'épaisseur équivalente (e) peut être calculée en utilisant la méthode semi-empirique du C.B.R. Cette méthode prend en compte la résistance au poinçonnement du sol de fondation,

mesurée par l'essai CBR (California Bearing Ratio), ainsi que l'hypothèse de "Poussinesque" concernant la répartition ou la profondeur des pressions verticales dans un massif semi-infini homogène.

Selon cette méthode, la pression exercée sur le sol de fondation doit être inférieure à la résistance au poinçonnement "I" du sol, déterminée par l'essai CBR. Les paramètres utilisés dans le calcul sont les suivants :

- e : épaisseur équivalente
- I : indice CBR (sol de support)
- n : nombre quotidien de camions de plus de 1500 kg à vide
- P : charge par roue P = 6.5 t (essieu de 13 t)
- Log : logarithme décimal

L'épaisseur équivalente peut être calculée à l'aide de la relation suivante : [la relation mathématique correspondante serait nécessaire pour donner une reformulation précise]

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \times (75 + 50 \times \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

3.8.5.1.1 Epaisseur de chaque couche constituante :

La structure de la chaussée est constituée de plusieurs couches de matériaux différents, ayant des épaisseurs successives e1, e2 et e3 (représentant les épaisseurs réelles respectives). Chaque matériau est caractérisé par son coefficient d'équivalence correspondant (a1, a2 et a3). Pour déterminer l'épaisseur totale équivalente, on effectue le calcul suivant :

$$e_{eq} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

3.8.5.1.2 Coefficient d'équivalence :

L'épaisseur de chaque couche, telle que calculée, peut être modifiée en utilisant des matériaux autres que le gravier propre ou gradué. Cela peut entraîner une réduction ou une augmentation de l'épaisseur. Dans ce cas, l'épaisseur réelle de la couche est déterminée en divisant l'épaisseur calculée par le coefficient d'équivalence correspondant. Ainsi, en utilisant d'autres matériaux, on ajuste l'épaisseur effective de la couche pour répondre aux exigences spécifiques du projet.

Remarque : Dans ce projet nous allons utiliser cette méthode.

3.8.5.2 Méthode de catalogue des chaussées Neuves (CTTP) 1977 ou 1998 :

La méthode du catalogue des chaussées utilise différents paramètres pour évaluer la conception des chaussées. Les principaux paramètres pris en compte sont les suivants Pour la détermination de l'épaisseur, il faut passer par les étapes suivantes :

- Trafic
- Sol support
- Environnement
- Zone climatique

3.8.6 Détermination de la classe de trafic :

La classe de trafic est déterminée du trafic cumulée (Poids lourds moyen journalier annuel cumulé) de la voie la plus chargée.

- **Avec :** T_c : Trafic cumulé correspondant aux VPL sur la durée de vie (voir tableau suivant) :

Tableau 3-27 Classe de trafic T_i .

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumulé sur 20 ans
T₀	$T < 3.5 \times 10^5$
T₁	$3.5 \times 10^5 < T < 7.3 \times 10^5$
T₂	$7.3 \times 10^5 < T < 2 \times 10^6$
T₃	$2 \times 10^6 < T < 7.3 \times 10^6$
T₄	$7.3 \times 10^6 < T < 4 \times 10^7$
T₅	$T > 4 \times 10^7$

$$TC = \frac{(1 + \tau)^n - 1}{\tau} \times T_1 \times 365$$

Avec :

n : Durée de vie. (n = 20 ans)

- Détermination de la classe du sol ;

La classe du sol est déterminée directement du tableau des Si en fonction d'ICBR

Tableau 3-28 Classe de sol.

Classes de sol	Indices C.B. R
S1	25-40
S2	10-25
S3	05-10
S4	<05

3.8.7 Application numérique au projet :

Données : TMJA 2023 (Année de mise en service) = 10341 uvp/j. « Calculé dans le chapitre Etude de Trafic »

- ICBR = 10 (Selon la classe du sol).
- % PL = 30 %.
- Durée de vie = 20 ans.
- $\tau = 4 \%$

➤ Calcul du trafic du VPL à l'année de mise en service :

$$N1 = TMJA_{2023} \times \%PL = 10341 \times 0,3$$

$$N1 = 3102.3 \text{ VPL/J} \approx 3103 \text{ VPL/J}$$

➤ Calcul du trafic du VPL à l'année horizon :

$$N_n = N1 (1 + \tau)^n$$

$$N_{20} = 3103 (1 + 0,04)^{20}$$

$$N_{20} = 2416.8 \text{ VPL/J} \approx 2417 \text{ VPL/J}$$

➤ Calcul de l'épaisseur théorique :

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \times (75 + 50 \times \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

- e : épaisseur équivalente
- I: indice CBR (sol support)
- N : désigne le nombre journalier de camion de plus 2417kg à vide
- P : charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t)
- Log : logarithme décimal

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times (75 + 50 \times \log \frac{2417}{10})}{10 + 5} = 39.66$$

$$e = 40 \text{ cm}$$

➤ Calcul des épaisseurs des différentes couches :

Dans le dimensionnement du corps de chaussée de différents matériaux sont utilisés, et chaque matériau a un coefficient d'équivalence résultant du tableau suivant :

Tableau 3-29 Coefficients d'équivalence.

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave bitume	1.20 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60

L'épaisseur totale équivalente sera :

$$e_{\text{éq}} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

• On propose :

Couche de surface : « en biton bitumineux BB » D'après le tableau ci-dessous : $c_1 = 2,00$

$$e_1 = 6 \text{ cm} / e_1 = c_1 \times e_1 = 2,00 \times 6 = 12 \text{ cm}$$

Couche de base : « en Grave bitume » D'après le tableau ci-dessous ; $c_2 = 1,20$

$$e_2 = 12 \text{ cm} ; e_2 = c_2 \times e_2 = 1,20 \times 10 = 12 \text{ cm}$$

Couche de fondation : « en Tuf granuleux » D'après le tableau ci-dessous ; $c_3 = 0,75$

$$e = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3 = 40 \text{ cm}$$

$$e_3 = \frac{e - [c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2]}{c_3}$$

$$= \frac{40 - [12 + 12]}{0,75}$$

$$e_3 = 21,33 \text{ cm} \approx 22 \text{ cm.}$$

Après la vérification, la structure proposée est comme suite :

Tableau 3-30 épaisseurs du corps de chaussée.

Couche	Matériaux	Eaiesseur reell (Cm)	Coefficient d'équivalence (ai)	Epaisseur équivalente (cm)
C. R	BB	6	2	12
C. B	GB	10	1.2	12
C. F	Tuf	22	0.75	16.5
TOTAL		38		40.5

3.8.8 Conclusion :

Structure de la chaussée avec la méthode CBR :
6(BB) + 10 (GB) + 22 (Tuf).

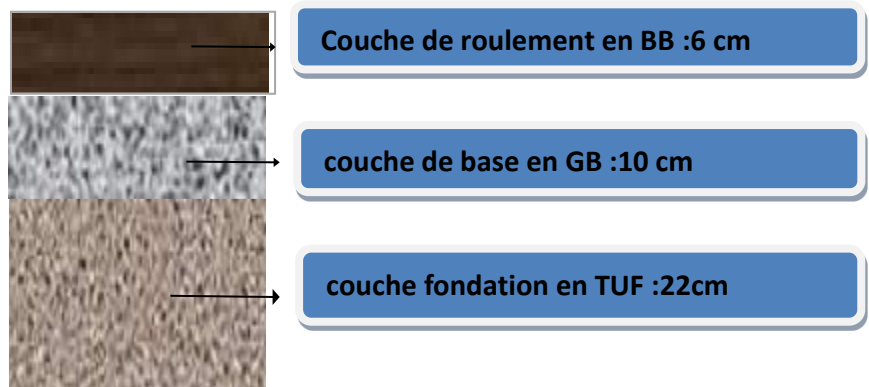


Figure 3-6 corps de chaussée "matériaux et épaisseurs".

3.9 Profil en travers :

3.9.1 Définition :

Le profil en travers d'une chaussée correspond à une coupe perpendiculaire à l'axe de la route, représentant l'ensemble des points définissant sa surface sur un plan vertical.

Dans le cadre d'un projet routier, il est nécessaire de dessiner de nombreux profils en travers. Afin d'éviter de reproduire les mêmes dimensions sur chaque profil, on établit initialement un profil unique appelé "profil en travers". Ce profil contient toutes les dimensions et les détails constructifs essentiels, tels que les largeurs des voies, des chaussées et des autres bandes, les pentes des surfaces et des talus, les dimensions des couches de la superstructure, le système d'évacuation des eaux, et bien d'autres éléments pertinents.

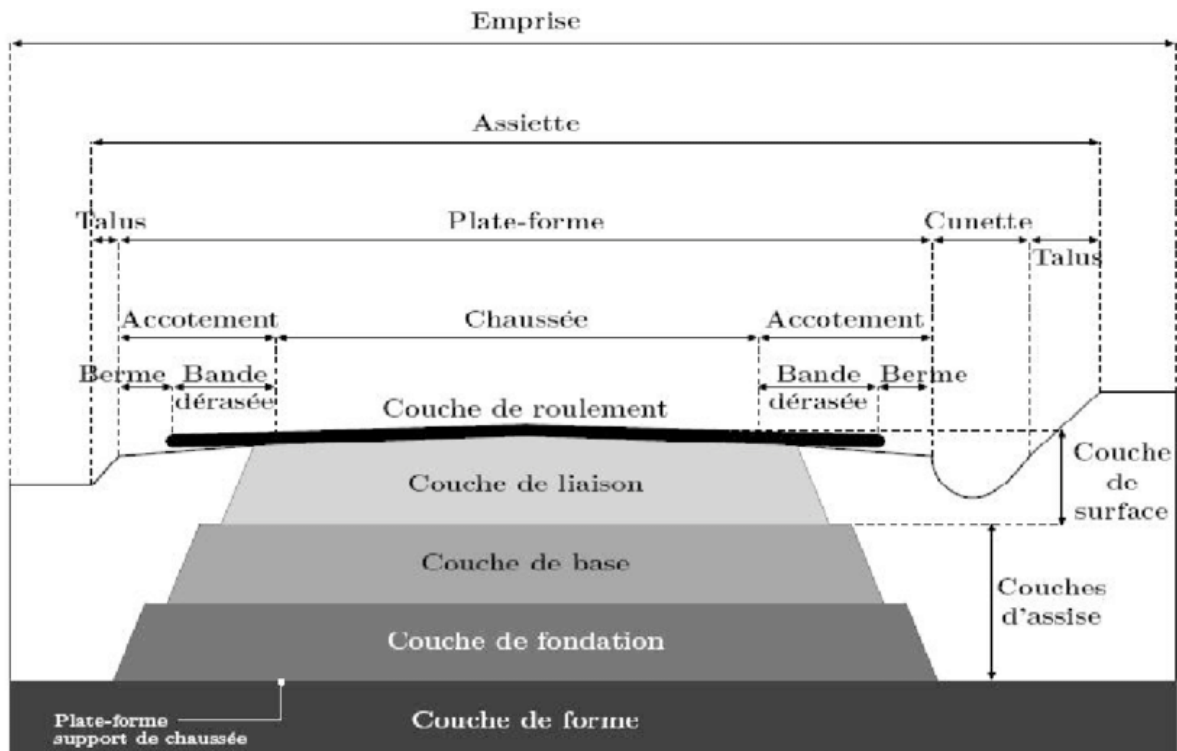


Figure 3-7 Profil en travers d'une chaussée.

3.9.2 Types de profil en travers :

On distingue deux types de profils :

3.9.2.1 Profil en travers type :

Le profil en travers type est un élément de base dessiné dans les projets de nouvelles routes ou dans l'aménagement de routes existantes. Il englobe tous les éléments constructifs de la future route, qu'il s'agisse de sections en remblais ou en déblais. En appliquant ce profil type sur la coupe transversale correspondante du terrain, en respectant les altitudes du projet,

Il est possible de calculer les volumes de terrassement nécessaires. [1].

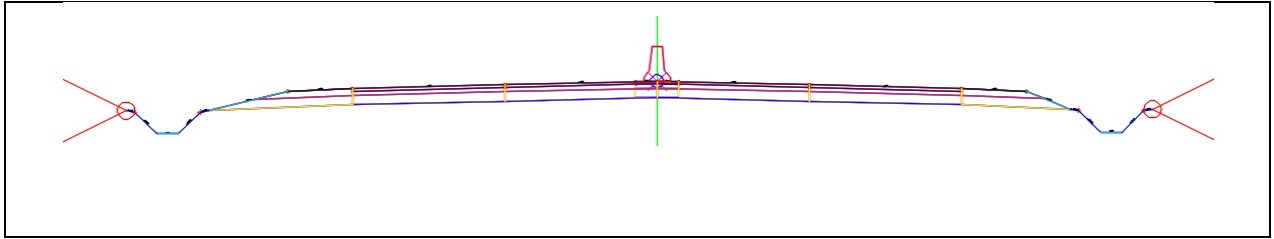


Figure 3-8 profil en travers type de notre tracé.

3.9.2.2 Profil en travers courant :

Le profil en travers courant est une représentation graphique de la coupe transversale d'une route à des intervalles réguliers, en fonction des caractéristiques du terrain naturel. Ces profils sont utilisés pour décrire les variations altimétriques du terrain le long de l'axe de la route.

Il existe trois types principaux de profils en travers courants : les profils en remblai, les profils en déblai et les profils mixtes.

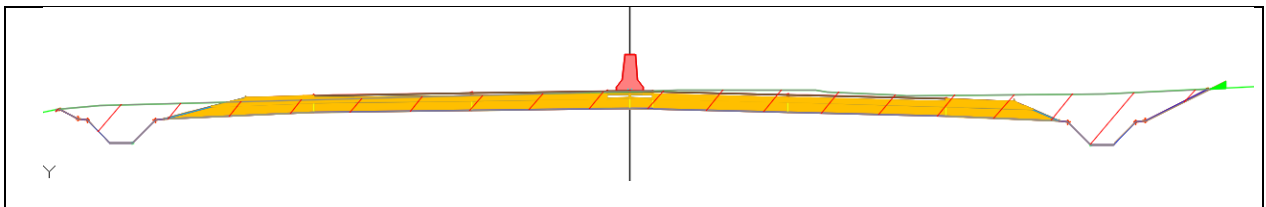


Figure 3-9 Profil en travers courant de notre tracé.

3.9.2.3 Profils en remblai :

Ces profils sont utilisés dans les sections où la chaussée est construite sur un remblai, c'est-à-dire lorsque le niveau de la route est plus élevé que le terrain naturel environnant. Le profil en travers en remblai permet de représenter la forme de la chaussée et les pentes des talus.

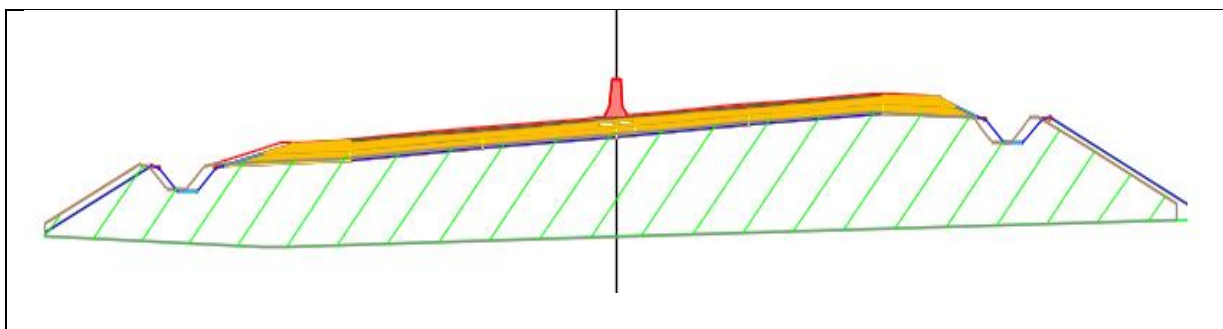


Figure 3-10 Profil en remblai.

3.9.2.4 Profils en déblai :

Ces profils sont utilisés dans les sections où la chaussée est creusée dans le sol naturel, c'est-à-dire lorsque le niveau de la route est plus bas que le terrain naturel environnant. Le profil en travers en déblai permet de représenter la forme de la chaussée et les pentes des talus.

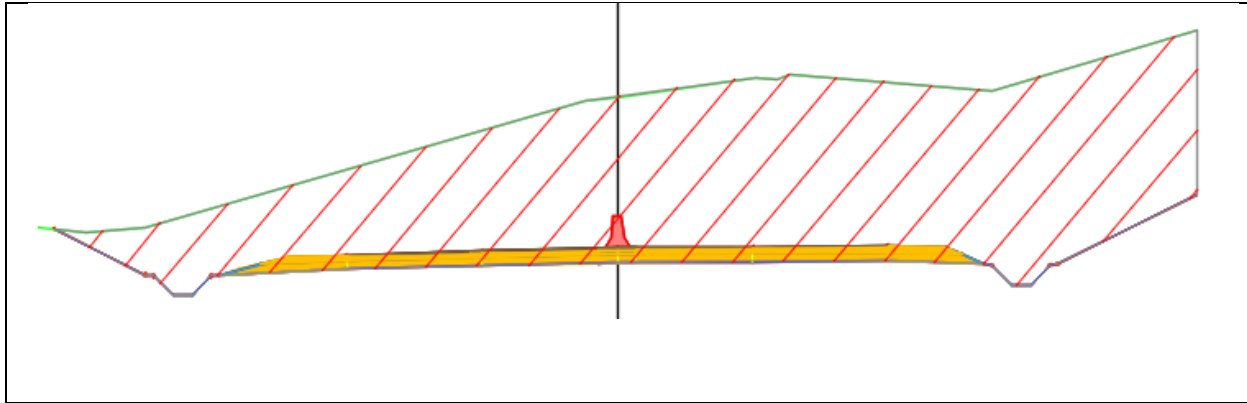


Figure 3-11 Profil en déblai.

3.9.2.5 Profils mixtes :

Les profils mixtes sont utilisés dans les sections où la route comporte à la fois des remblais et des déblais. Ces profils représentent les variations altimétriques du terrain et les différentes formes de la chaussée selon les sections en remblai ou en déblai.

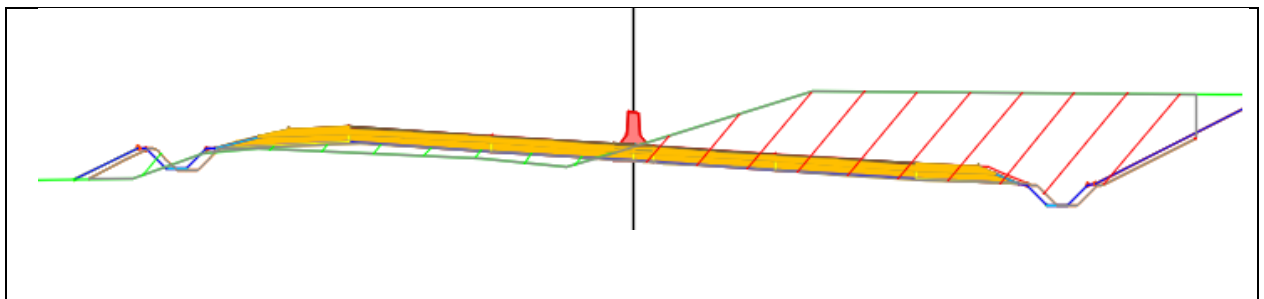


Figure 3-12 Profil mixte.

Les profils en travers courant permettent de visualiser et de comprendre les variations du terrain et les caractéristiques de la chaussée le long de la route. Ils sont essentiels pour la planification et la conception des travaux de terrassement et des éléments de construction nécessaires pour assurer une route sûre et fonctionnelle.

3.9.3 Les éléments de profil en travers :

Le profil en travers d'une route comprend plusieurs éléments de composition qui contribuent à sa structure et à sa fonctionnalité :

- La chaussée : C'est la surface aménagée de la route où circulent les véhicules. Il peut s'agir d'une chaussée unique ou d'une chaussée séparée par un terre-plein central.
- La largeur roulable : Elle englobe les surlargeurs de chaussée, la chaussée elle-même et la bande d'arrêt. Les surlargeurs structurelles de la chaussée soutiennent le marquage de rive.
- La plateforme : C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais. Elle comprend la ou les deux chaussées, les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêt.
- L'assiette : Il s'agit de la surface du terrain réellement occupée par la route, délimitée par les pieds de talus en remblai et les crêtes de talus en déblai.
- L'emprise : C'est la surface du terrain appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances. Elle correspond généralement au domaine public.
- Les accotements : Ce sont les zones latérales de la plateforme qui bordent la chaussée à l'extérieur. Les accotements peuvent être dérasés (en pente) ou surélevés. Ils peuvent comprendre une bande de guidage, une bande d'arrêt et une berme extérieure.
- Le terre-plein central : Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il peut inclure les surlargeurs de chaussée (bande de guidage) ainsi qu'une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.
- Les fossés : Ce sont des ouvrages hydrauliques conçus pour recueillir les eaux de ruissellement provenant de la route et des talus, ainsi que les eaux de pluie.

Chaque élément du profil en travers joue un rôle important dans la fonctionnalité, la sécurité et le drainage de la route. La conception et les dimensions de ces éléments dépendent des exigences spécifiques du projet routier et des contraintes environnementales.

3.9.4 Application au projet :

Dans le profil en travers type de notre route, il sera constitué de deux chaussées unidirectionnelles, ce qui signifie qu'il y aura deux voies de circulation dans chaque direction. Les chaussées seront séparées par un séparateur, qui peut prendre la forme d'un terre-plein central.

Les dimensions de chaque élément du profil en travers type pour notre route seront déterminées en fonction des normes et des exigences spécifiques du projet, en prenant en

compte les débits de circulation, la sécurité routière et les caractéristiques du terrain. Les éléments inclus dans le profil en travers type sont les suivants :

- Chaussée : $3.50 \times 4 = 14$ m
- Accotement : $1.5 \times 2 = 3$ m
- Séparateur : 1 m
- Plate-forme : 18 m
- Fossés bétonnés sur toute la longueur : $L = 1.5$ m, $h = 0.5$ m et $b = 0.5$ m.

3.10 Cubatures approchées

Les cubatures de terrassement correspondent à la quantité de terre à déplacer dans le projet afin d'obtenir une surface uniforme et alignée avec la ligne de projet. Les éléments clés qui permettent cette évolution sont les profils en long, les profils en travers et les distances entre les profils.

Pour assurer une transition harmonieuse entre les différentes sections du terrain, les profils en long et les profils en travers doivent comporter un nombre suffisant de points rapprochés. Cela permet de minimiser les écarts entre les lignes reliant ces points et la ligne du terrain qu'ils représentent.

3.10.1 Méthodes de calcul approximatif :

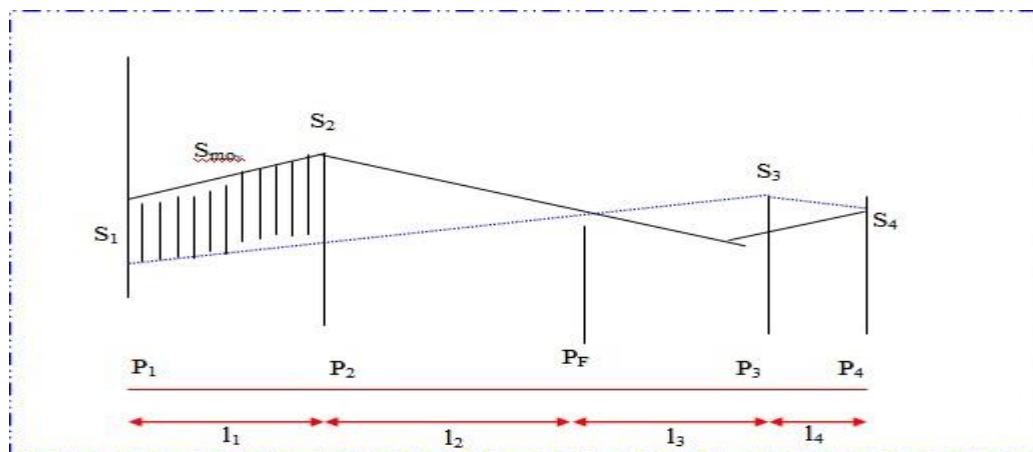


Figure 3-13 Schéma représentant la surface entre profil.

$$V_t = \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right) d_1 + \left(\frac{S_2 + S_3}{2}\right) d_2 + \dots + \left(\frac{S_n + S_{n+1}}{2}\right) d_{n+1}$$

Par conséquent :

$$V_t = \left(\frac{d_1}{2}\right) S_1 + \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right) S_2 + \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right) S_3 + \dots + \left(\frac{d_n + d_{n+1}}{2}\right) S_{n+1}$$

- Calcul des surfaces :
1) En remblai :

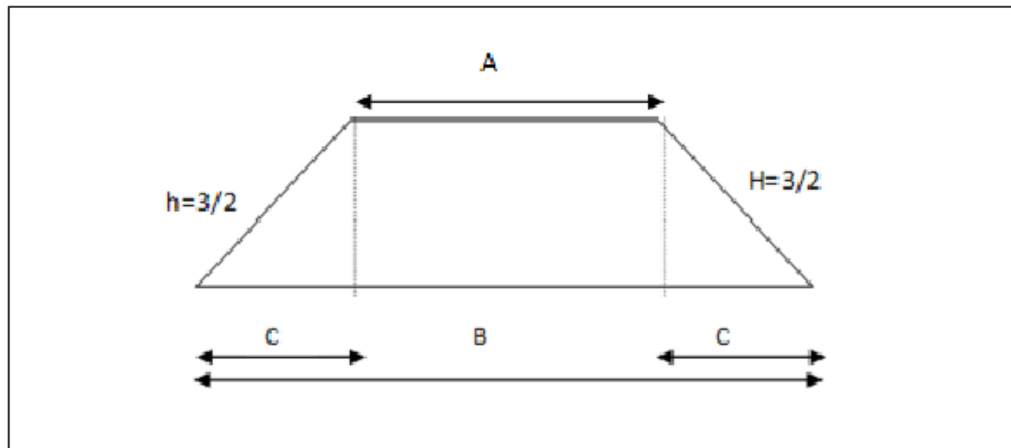


Figure 3-14 Calcul de surfaces cas de remblais.

Avec :

A : largeur de la chaussée les 2 Accotements.

- $Tg \alpha = P = 2/3 = h/c$.
- $c = 3h / 2$.
- **h** : différence de niveau entre la côte de projet et la côte terrain naturel.
- $B = A + 2c = A + 3h$.

D'où: $S = (A + B) h/2$.

- $SR = Ah + 3 h^2/2$.
- 2) En déblai :

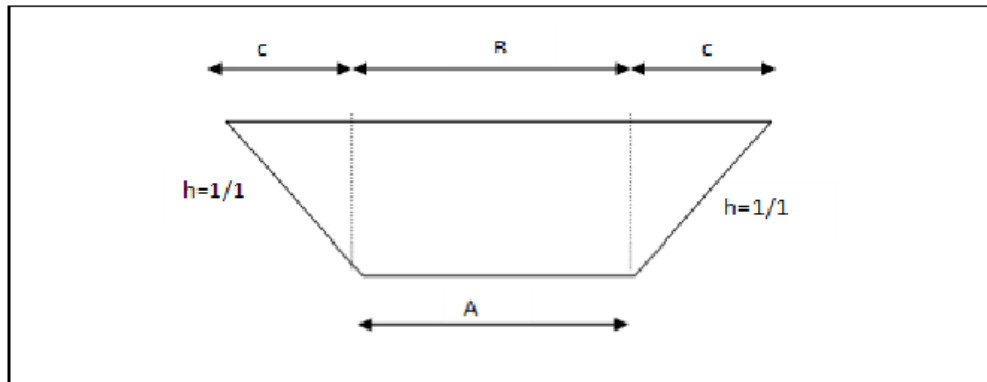


Figure 3-15 Calcul de surfaces cas de déblais.

Avec :

- **h** : différence entre C.T.N et C.P.
- **A** : largeur de la chaussée + 2 accotements.

D'où : $SD = Ah + h^2$

Les résultats des cubatures approchées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 3-31 Cubatures approchée.

Abscisse curviligne	Surface de déblai (m ²)	Volume de déblai (m ³)	Surface de remblai (m ²)	Volume de remblai (m ³)	Vol. déblai cum. (m ³)	Vol. remblai cum. (m ³)	Vol. net cum. (m ³)
0	16.49	0	0.72	0	0	0	0
20	30.1	469.64	1.12	18.21	469.64	18.21	451.43
40	39.81	716.74	0	10.79	1,186.39	29.01	1,157.38
60	24.49	655.43	0	0	1,841.81	29.01	1,812.81
80	28.26	533.81	0	0	2,375.62	29.01	2,346.61
100	31.92	608.27	0	0	2,983.89	29.01	2,954.88
120	30.92	634.67	0	0	3,618.56	29.01	3,589.56
140	38.28	700.77	0	0.01	4,319.34	29.01	4,290.32
160	23.52	623.3	0.74	7.76	4,942.64	36.78	4,905.86
180	21.71	450.2	0	7.76	5,392.83	44.53	5,348.30
200	18.01	393.55	2.2	22.84	5,786.38	67.38	5,719.00
220	11.77	292.54	4.53	69.8	6,078.91	137.18	5,941.73
240	9.62	208.34	5.98	108.3	6,287.25	245.48	6,041.78
260	9.33	185.05	2.4	85.89	6,472.30	331.36	6,140.94
280	13.12	221.06	0.27	27.37	6,693.37	358.74	6,334.63
300	7.83	209.51	10.59	108.65	6,902.88	467.39	6,435.49
330	0.16	119.86	44.89	832.19	7,022.74	1,299.58	5,723.16
360	8.16	124.81	8.85	806	7,147.54	2,105.58	5,041.96

390	15.07	348.48	0.02	133.07	7,496.03	2,238.65	5,257.38
420	9.72	372.88	0.01	0.45	7,868.91	2,239.10	5,629.81
440	40.32	498.29	0	0.06	8,367.19	2,239.17	6,128.03
460	14.2	541.99	0.25	2.5	8,909.19	2,241.67	6,667.51
480	25.67	396.03	0	2.5	9,305.22	2,244.17	7,061.04
500	32.24	574.74	0	0	9,879.96	2,244.17	7,635.78
520	24.95	569.78	0.07	0.67	10,449.74	2,244.84	8,204.90
540	32.89	578.18	0.04	1.06	11,027.92	2,245.90	8,782.02
560	43.23	758.56	0	0.39	11,786.47	2,246.29	9,540.18
600	60.52	2,070.24	0	0	13,856.72	2,246.29	11,610.43
630	51.91	1,686.50	0	0	15,543.21	2,246.29	13,296.93
640	57.55	548.23	0	0	16,091.45	2,246.29	13,845.16
660	63.98	1,218.46	0	0	17,309.91	2,246.29	15,063.62
680	55.41	1,199.00	0	0	18,508.91	2,246.29	16,262.63
700	41.62	976.24	0	0	19,485.16	2,246.29	17,238.87
720	62.21	1,039.04	0	0	20,524.20	2,246.29	18,277.91
740	31.89	940.03	0.11	1.04	21,464.23	2,247.33	19,216.90
760	14.67	469.52	0.15	2.46	21,933.75	2,249.80	19,683.96
780	3.2	181.53	2.19	22.41	22,115.29	2,272.21	19,843.08
800	0	32.95	12.8	148.75	22,148.23	2,420.96	19,727.28
820	0	0	23.62	365.03	22,148.23	2,785.99	19,362.24
840	0	0	34.53	582.95	22,148.23	3,368.95	18,779.29
860	0	0	55.08	897.79	22,148.23	4,266.74	17,881.49
880	0	0	31.98	873.46	22,148.24	5,140.20	17,008.04
900	0.32	3.06	10.58	428.49	22,151.30	5,568.69	16,582.60
920	0.48	7.67	13.92	248.48	22,158.97	5,817.17	16,341.80
940	1.54	19.39	9.07	233.73	22,178.36	6,050.90	16,127.45
960	3.76	51.05	3.71	130.38	22,229.40	6,181.28	16,048.12
980	5.59	90.57	1.36	51.9	22,319.97	6,233.19	16,086.78
1000	9.76	149.84	0.02	14.15	22,469.82	6,247.34	16,222.48
1020	22.45	316.57	0	0.23	22,786.39	6,247.56	16,538.83
1040	29.7	514.65	0	0	23,301.04	6,247.56	17,053.47
1060	34.03	632.59	0	0	23,933.63	6,247.56	17,686.07
1080	39.89	736.68	0	0	24,670.31	6,247.56	18,422.74
1100	43.28	829.91	0	0	25,500.21	6,247.56	19,252.65
1120	41.36	846.01	0	0	26,346.22	6,247.56	20,098.66
1140	37.49	788.8	0	0	27,135.02	6,247.56	20,887.45
1170	25.3	942.1	0	0	28,077.12	6,247.56	21,829.56
1200	11.44	551.03	0.31	4.69	28,628.15	6,252.26	22,375.89
1230	11.3	341.11	0.06	5.56	28,969.25	6,257.82	22,711.43
1260	7.97	289.14	11.45	172.57	29,258.39	6,430.40	22,827.99
1290	13.36	319.94	0.54	179.85	29,578.33	6,610.24	22,968.08
1320	60.98	1,115.10	0	8.14	30,693.43	6,618.39	24,075.04
1350	63.19	1,862.55	0	0	32,555.98	6,618.39	25,937.59

1380	65	1,908.11	0	0	34,464.09	6,618.39	27,845.70
1410	51.99	1,739.56	0	0	36,203.65	6,618.39	29,585.26
1440	3	824.77	34.55	518.21	37,028.42	7,136.59	29,891.83
1470	25.04	420.58	0.76	529.68	37,449.01	7,666.28	29,782.73
1500	23.27	724.63	0	11.47	38,173.64	7,677.75	30,495.89
1530	16.72	599.76	0.05	0.74	38,773.39	7,678.49	31,094.91
1560	7.51	363.46	0.83	13.25	39,136.86	7,691.74	31,445.12
1590	2.63	152.17	12.72	203.25	39,289.03	7,894.99	31,394.04
1620	1.84	67.06	18.72	471.58	39,356.09	8,366.57	30,989.52
1650	0.64	37.18	44.09	942.13	39,393.27	9,308.69	30,084.58
1680	24.29	373.89	0.05	662.04	39,767.16	9,970.73	29,796.43
1710	57.06	1,220.19	0	0.75	40,987.35	9,971.48	31,015.87
1740	96.77	2,325.80	0	0	43,313.15	9,971.48	33,341.67
1770	76.33	2,605.01	0	0	45,918.16	9,971.48	35,946.68
1800	94.14	2,556.99	0	0	48,475.15	9,971.48	38,503.67
1830	149.51	3,654.70	0	0	52,129.85	9,971.48	42,158.37
1860	117.75	4,008.88	0	0	56,138.73	9,971.48	46,167.25
1890	40.07	2,367.31	0.21	3.14	58,506.04	9,974.62	48,531.42
1920	115.68	2,336.22	0	3.14	60,842.27	9,977.77	50,864.50
1950	105.95	3,324.50	0	0	64,166.77	9,977.77	54,189.00
1980	94.73	3,010.32	0	0	67,177.09	9,977.77	57,199.33
2020	20.18	2,312.27	0.12	2.41	69,489.36	9,980.18	59,509.18
2040	43.21	644.98	0	1.22	70,134.34	9,981.40	60,152.95
2060	17.23	616.06	0	0	70,750.40	9,981.40	60,769.00
2080	5.73	234.47	1.5	15.19	70,984.87	9,996.59	60,988.28
2100	4.01	99.19	0	15.21	71,084.07	10,011.80	61,072.27
2120	8.24	123.49	0.01	0.09	71,207.56	10,011.88	61,195.68
2140	8.99	171.79	0	0.08	71,379.35	10,011.96	61,367.39
2160	19.16	279.99	0.55	5.83	71,659.34	10,017.79	61,641.55
2180	34.18	532.49	0	5.83	72,191.83	10,023.62	62,168.21
2200	54.84	895.61	0	0	73,087.43	10,023.62	63,063.81
2220	64.43	1,207.59	0	0	74,295.03	10,023.62	64,271.41
2250	80.73	2,177.33	0	0	76,472.36	10,023.62	66,448.74
2280	67.99	2,213.91	0	0	78,686.27	10,023.62	68,662.65
2300	67.09	1,309.71	0	0	79,995.97	10,023.62	69,972.35
2320	104.7	1,647.02	0	0	81,642.99	10,023.62	71,619.37
2340	90.44	1,854.87	0	0	83,497.86	10,023.62	73,474.24
2370	82.37	2,575.18	0	0	86,073.04	10,023.62	76,049.42
2400	72.67	2,325.65	0	0	88,398.70	10,023.62	78,375.08
2430	45.7	1,775.62	1.69	25.35	90,174.32	10,048.97	80,125.35
2460	20.6	994.47	2.78	67.03	91,168.78	10,116.00	81,052.78
2490	51.97	1,088.55	0	41.69	92,257.33	10,157.69	82,099.65
2520	4.81	851.72	0.44	6.57	93,109.05	10,164.26	82,944.79
2550	1.5	94.64	4.06	67.43	93,203.69	10,231.69	82,972.01

2580	8.24	146.08	4.4	126.87	93,349.78	10,358.56	82,991.22
2610	0.83	135.99	7.51	178.66	93,485.77	10,537.22	82,948.55
2640	0.92	26.2	8.64	242.23	93,511.96	10,779.45	82,732.51
2670	17.48	275.98	6.85	232.35	93,787.94	11,011.80	82,776.14
2700	25.62	646.51	1.55	125.97	94,434.45	11,137.77	83,296.68
2730	116.58	2,132.98	0	23.19	96,567.43	11,160.96	85,406.48
2760	83.79	2,981.17	0.08	1.24	99,548.60	11,162.20	88,386.41
2780	138.13	2,172.51	0	0.86	101,721.11	11,163.06	90,558.06
2800	161.16	2,950.71	0	0	104,671.83	11,163.06	93,508.77
2820	160.78	3,184.77	0	0	107,856.60	11,163.06	96,693.55
2840	136.15	2,935.24	0	0	110,791.84	11,163.06	99,628.78
2860	108.63	2,420.54	0	0	113,212.38	11,163.06	102,049.33
2880	106.74	2,133.21	0	0	115,345.59	11,163.06	104,182.54
2900	127.06	2,326.74	0	0	117,672.33	11,163.06	106,509.27
2920	79.8	2,066.73	0	0	119,739.06	11,163.06	108,576.00
2940	48.05	1,272.64	0	0	121,011.70	11,163.06	109,848.64
2960	36.77	840.38	0.01	0.1	121,852.08	11,163.16	110,688.92
2980	28.76	649.41	0	0.11	122,501.49	11,163.26	111,338.23
3000	28.47	568.27	0	0	123,069.76	11,163.27	111,906.49
3020	28.61	565.92	0.01	0.07	123,635.67	11,163.34	112,472.34
3040	22.27	503.02	0	0.07	124,138.69	11,163.40	112,975.29
3060	11.41	332.03	0	0.03	124,470.72	11,163.43	113,307.29
3080	13.17	240.76	0.1	1.08	124,711.48	11,164.51	113,546.97
3120	6.45	388.73	7.01	143.71	125,100.21	11,308.22	113,791.98
3150	5.2	174.79	4.66	175.02	125,275.00	11,483.24	113,791.76
3180	6.32	172.88	3.23	118.22	125,447.88	11,601.46	113,846.41
3210	6.73	195.71	0.88	61.57	125,643.59	11,663.03	113,980.56
3240	10.21	253.98	0	13.17	125,897.57	11,676.20	114,221.37
3270	5.1	229.6	3.83	57.39	126,127.18	11,733.59	114,393.58
3300	0.11	78.2	11.58	231.05	126,205.38	11,964.65	114,240.74
3330	1.26	20.53	6.11	265.29	126,225.91	12,229.94	113,995.97
3360	4.63	88.22	5.15	168.9	126,314.13	12,398.84	113,915.29
3390	7.49	181.67	1.85	104.99	126,495.79	12,503.83	113,991.97
3420	11.85	290	0.38	33.34	126,785.79	12,537.16	114,248.63
3450	17.43	439.11	1	20.62	127,224.90	12,557.79	114,667.12
3480	12.11	443.11	1.25	33.69	127,668.02	12,591.48	115,076.54
3510	0.59	190.59	12.6	207.65	127,858.61	12,799.13	115,059.48
3540	10.21	162.06	4.27	253.07	128,020.67	13,052.20	114,968.47
3570	22.43	489.7	1.51	86.84	128,510.37	13,139.04	115,371.33
3600	24.57	705.02	0.46	29.6	129,215.39	13,168.64	116,046.75
3630	19.89	666.83	1.47	28.99	129,882.22	13,197.63	116,684.59
3660	0.58	307.04	14.73	243.07	130,189.26	13,440.70	116,748.56
3690	0.16	11.19	13.47	423.01	130,200.44	13,863.71	116,336.73
3720	0.9	15.98	10.08	353.28	130,216.43	14,216.99	115,999.43

3750	4.74	84.57	1.68	176.47	130,301.00	14,393.46	115,907.54
3780	9.78	217.72	0.1	26.8	130,518.72	14,420.27	116,098.45
3810	33.2	644.71	0	1.57	131,163.43	14,421.84	116,741.59
3840	28.24	921.68	0	0	132,085.11	14,421.84	117,663.26
3870	16.05	664.33	0.18	2.76	132,749.44	14,424.61	118,324.83
3900	14.42	456.95	0	2.76	133,206.38	14,427.37	118,779.02
3930	11.52	389.11	0.02	0.31	133,595.50	14,427.68	119,167.82
3960	8.48	300.07	0.14	2.36	133,895.56	14,430.04	119,465.52
3990	1.37	147.74	8.05	122.87	134,043.31	14,552.91	119,490.40
4020	1.58	44.25	11.52	293.66	134,087.55	14,846.57	119,240.99
4050	3.4	74.7	0.23	176.3	134,162.25	15,022.87	119,139.38
4080	19.83	348.37	0	3.45	134,510.62	15,026.31	119,484.31
4100	50.66	703.21	0	0	135,213.83	15,026.31	120,187.52
4120	55.15	1,053.59	0	0	136,267.42	15,026.31	121,241.10
4140	44.61	992.23	0	0	137,259.64	15,026.31	122,233.33
4160	39.62	837.23	0	0	138,096.87	15,026.32	123,070.55
4180	30.58	697.61	0	0	138,794.48	15,026.32	123,768.16
4200	17.88	481.22	0.58	5.85	139,275.70	15,032.17	124,243.52
4220	14.12	317.65	0	5.85	139,593.35	15,038.03	124,555.32
4240	10.93	248.81	0.07	0.72	139,842.15	15,038.74	124,803.41
4260	24.82	356.28	0	0.72	140,198.44	15,039.46	125,158.98
4280	25.07	498.05	0.02	0.17	140,696.49	15,039.63	125,656.86
4300	21.6	465.67	0	0.17	141,162.15	15,039.80	126,122.35
4320	31.13	527.24	0	0	141,689.39	15,039.80	126,649.59
4350	21.37	787.43	0	0	142,476.82	15,039.80	127,437.02
4360	17.24	192.48	0.02	0.08	142,669.30	15,039.88	127,629.42
4380	12.34	294.48	0.02	0.34	142,963.78	15,040.22	127,923.56
4400	6.5	188	0	0.21	143,151.78	15,040.43	128,111.35
4420	4.12	106.79	0	0.02	143,258.57	15,040.45	128,218.12
4440	2.88	70.29	0.75	7.46	143,328.85	15,047.91	128,280.94
4460	4.99	77.72	0.82	15.75	143,406.57	15,063.66	128,342.91
4480	6.79	115.19	3.48	44.35	143,521.76	15,108.01	128,413.75
4500	6.06	125.38	5.19	89.93	143,647.14	15,197.94	128,449.20
4520	5.67	114.53	3.85	93.68	143,761.67	15,291.61	128,470.06
4540	25.39	302.8	2.34	63.82	144,064.48	15,355.43	128,709.05
4560	3.63	283	3.66	60.57	144,347.47	15,415.99	128,931.48
4580	1.87	53.88	3.83	75.23	144,401.35	15,491.22	128,910.12
4600	0.84	27	21.89	250.73	144,428.35	15,741.95	128,686.40
4620	2.94	38.25	6.61	275.92	144,466.59	16,017.87	128,448.72
4640	3.33	63.25	4.06	102.94	144,529.84	16,120.81	128,409.03
4680	6.02	187.77	4.43	167.98	144,717.61	16,288.79	128,428.81
4710	7.93	209.32	0.02	66.76	144,926.92	16,355.55	128,571.37
4740	9.58	262.68	0.12	2.16	145,189.60	16,357.71	128,831.90
4770	11	308.66	0.03	2.24	145,498.27	16,359.94	129,138.32

- Volume de déblai total : 145,498.27 m³
- Volume de remblai total : 16,359.94 m³
- Excès de déblai : 129,138.32 m³

3.11 Devis quantitatif et estimatif :

Le devis quantitatif et estimatif (DQE) est un document essentiel dans le domaine des travaux publics. Il permet d'estimer les quantités de matériaux, de main-d'œuvre et les coûts associés à un projet de construction

3.11.1 Devis estimatif :

Le devis estimatif est un document qui permet d'évaluer les coûts prévisionnels d'un projet de construction ou de travaux publics. Il est utilisé pour estimer le budget global du projet et peut servir de base pour l'établissement du contrat et la planification financière.

3.11.2 Devis quantitatif :

Le devis quantitatif est un document technique utilisé dans le domaine de la construction et des travaux publics. Il consiste en une liste détaillée des quantités de matériaux, de main-d'œuvre et de ressources nécessaires pour réaliser un projet de construction spécifique.

Le devis quantitatif est généralement élaboré à partir des plans, des spécifications et d'autres documents de projet.

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF					
N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	Unité	Prix. Unitaire	Quantité	montant
1	Décapage de la terre végétale	m ²	30	66850	2005500
2	Abattage et dessouchage des arbres	U	2000	100	40000

3	Déblai en toutes nature et de toute consistances y compris des évacuation des terres excédentaire et toutes sujétions	m ³	300	145500	43650000
4	Remblais mise en dépôt y compris transport arrosage. compactage réglage et toutes sujétions	m ³	500	16360	8180000
5	fourniture et mise en œuvre d'une couche de forme en tuf de carrière sélectionné sur une ép. 22cm y compris transport nettoyage de l'assiette étalage. arrosage et compactage. essaie de compacité. qualité & toutes sujétions de mise en œuvre et de bonne exécution.	m ³	900	7880	7092000
6	fourniture et Mise en œuvre d'une couche de base en grave bitume sur 10 cm d'épaisseur. y compris la couche d'imprégnation en cut - back 0/1 dosé à 1kg/m2. la fourniture. le transport et toutes sujétions de bonne exécution	T	7000	7860	55020000
7	fourniture et Mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux 0/14 sur 06 cm d'épaisseur. y compris couche d'accrochage en émulsion cationique 65% dosée à 0.3 kg /m2 . fourniture. transport et toutes sujétions de bonne exécution	T	7200	4950	35640000
8	Rechargement des accotements sur y compris compactage et arrosage et toutes sujétions comprises	m ³	700	1790	1253000
9	Panneaux de signalisation verticale	U	8000	65	520000
10	Peinture de signalisation horizontale	ml	100	14325	1432500
11	réalisation de fossé trapézoïdale 0.5x0.5x1.5 en béton arme dose a 350kg /m3 en longue de la route et compris fouille en tranche et toutes sujétions de bonne exécution	ml	2000	9000	18000000
12	Fourniture et poses des éléments de la descente d'eaux pluviale pour évite de ra vinage des talus, et compris toutes sujétions de mise en œuvre et de bonne exécution.	ml	700	1500	1050000
13	Réalisation d'un ouvrage busé diamètre .1500	ml	50 000	50	2500000

PRIX HT		176 383 000.00
TVA 19%		33 512 770
PRIX TTC		209 895 770

Arrêté le présent détail quantitatif et estimatif en toutes taxes comprises à la somme de:

Deux cent neuf millions huit cent quatre-vingt-quinze mille sept cent soixante-dix Dinars Algérien en TTC.

3.11.3 Conclusion :

Cette conception détaillée nous a permis de prendre en compte tous les aspects essentiels de la route, tels que le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Nous avons veillé à ce que chaque composant de la route soit correctement dimensionné et positionné, conformément aux normes et aux exigences du projet. L'utilisation de l'outil Civil 3D s'est avérée précieuse pour faciliter notre travail de modélisation et de visualisation en 3D. Nous avons pu créer un modèle détaillé et précis, qui nous a fourni une représentation visuelle claire de la route telle qu'elle sera une fois construite. Ce modèle 3D complet et précis sera une ressource précieuse pour les étapes ultérieures du projet, telles que la réalisation des plans d'exécution et la coordination avec les différents acteurs du projet. Il facilitera la communication, la collaboration et la prise de décision, en fournissant une représentation visuelle réaliste et détaillée de la route.

Chapitre 04 : étude hydrologique et hydraulique.

4.1 Introduction :

L'étude hydrologique est une étape importante dans la conception et la réalisation de tout ouvrage de franchissement tels que des ponts, des dalots ou des canaux. Cette étude consiste à analyser les caractéristiques hydrologiques des bassins versants traversés par le projet, comme les précipitations, l'évapotranspiration, la topographie, la géologie et les caractéristiques du sol. L'objectif est de déterminer la capacité de l'ouvrage de franchissement nécessaire pour permettre l'écoulement des eaux de crue et de réduire les risques d'inondation ou d'érosion. L'étude hydrologique fournit des informations importantes pour la conception des ouvrages de franchissement et pour le dimensionnement des équipements de protection contre les inondations. Elle contribue ainsi à assurer la sécurité et la durabilité des projets de construction et à minimiser les risques environnementaux.

4.2 Bassin versant :

Un bassin versant est une zone géographique où les eaux de surface, y compris celles des précipitations, sont collectées par un cours d'eau principal et ses affluents. Ce bassin est délimité à l'amont par une ligne de partage des eaux qui peut être une ligne de crête, et à l'aval par un exutoire, qui peut être une confluence avec un cours d'eau, une embouchure avec un lac, une mer ou un océan. Les bassins versants peuvent être hiérarchisés en sous-bassins correspondant à la surface d'alimentation de chacun des affluents se jetant dans le cours d'eau principal. Les bassins versants de grande taille qui se déversent dans la mer ou l'océan par une seule embouchure sont appelés bassins hydrographiques. La figure 3.1 suivante illustre un bassin versant élémentaire.

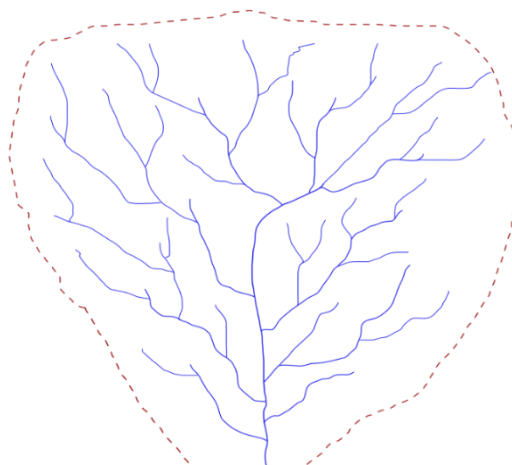


Figure 4-1 bassin versant élémentaire.

4.2.1 Bassin versant d'oued roumane :

Le bassin versant de l'Oued Roumane est situé dans la région des Côtiers algérois ouest, en Algérie. Il s'étend sur une superficie totale de plusieurs kilomètres carrés et est traversé par le cours d'eau de l'Oued Roumane. Ce dernier prend sa source dans les montagnes de l'Atlas, avant de se jeter dans la mer Méditerranée. Le bassin versant de l'Oued Roumane est situé à près de 60 km à l'Est de Mostaganem et inclut le site hydraulique de Sidi Lakhdar Est. Ce bassin versant est soumis à des précipitations annuelles moyennes importantes, ce qui peut entraîner des crues soudaines et des inondations potentiellement dangereuses. En coordonnées UTM nord Sahara, le site projeté est situé selon le fonds topographique conforme, en X , Y et Z comme suit :

Tableau 4-1 coordonnées de point d'exutoire d'oued Roumane.

X	=	277755 m
Y	=	4010787 m
Z	=	34.489 m

4.2.2 L'objectif de l'étude hydrologique sur ce bassin :

L'objectif de l'étude hydrologique dans le cadre du projet routier traversant l'Oued Roumane est de comprendre le régime hydrologique du bassin versant afin de mieux gérer et aménager les ressources en eau de la région. Cette étude permettra de calculer le débit de crue et d'évaluer les risques d'inondation pour le site du projet, en particulier pour le pont qui sera construit sur l'oued. Les résultats finaux incluront la délimitation du bassin versant et les calculs de débit, qui fourniront des informations précieuses pour la conception et la construction du pont ainsi que pour la planification des mesures d'adaptation nécessaires pour réduire les impacts négatifs sur les populations et les infrastructures.

4.2.3 Caractéristiques de Bassin versant d'oued roumane :

4.2.3.1 *Le réseau hygrométrique :*

Le réseau hygrométrique actuel ne permet pas une réponse complète sur les ressources en eau de la région de l'Oued Roumane en Algérie. Les précipitations sont toutefois mesurées avec précision grâce aux nombreuses stations pluviométriques dans la région. Les variations brusques des précipitations influencent l'écoulement pluvial, qui suit le régime hydrologique

local. Les cours d'eau côtiers sont alimentés par des sources souterraines ou des résurgences latérales. L'écoulement du bassin versant de l'Oued Roumane parcourt près de 10 km avant de se jeter dans la mer Méditerranée.

4.2.3.2 Réseau Hydrographique :

Le bassin Oued Roumane appartenant au flanc nord des côtiers, prend sa source dans les hauteurs méridionales des Monts de Dahra au djebel Nador à l'Est (593), sous le nom de l'oued Sébaane. L'artère principale coule en aval de façon moins pérenne, en effectuant des méandres très prononcés dans toutes ses parties basses sur un parcours près de 10 km. Sous différentes formes lithologiques composées de formations argilo-marneuses, et gréseuses par endroit, le thalweg principal collecte, en rive droite comme en rive gauche, des affluents secondaires pour former l'oued Roumane jusqu'à l'exutoire. Avant de se jeter dans la mer, l'oued Roumane vient grossir son tribut d'écoulement par un affluent de grande importance, l'oued Cheurfa, qui contribue largement aux différentes crues caractérisées par la violence et la rapidité du ruissellement. L'oued présente en aval une pente régulière plus active, longeant la plaine du Douar Grainia qui domine le relief accidenté de part et d'autre du cours d'eau. Par contre, la partie amont conserve son caractère montagneux jouant un rôle générateur de perturbations pluviométriques fortement orageuses dont les crues sont accentuées par les pentes abruptes du relief. En période de crues, le bassin projeté subit en aval un laminage de ruissellement à tel point que l'écoulement se déverse dans une grande dépression latérale du village de Grainia, écrétant les grands débits de pointe générés par les pluies à caractère orageux. Généralement, les cours d'eau sont moins pérennes en été par suite du tarissement des sources résurgentes latérales et coulent, de manière significative, qu'en périodes pluvieuses. L'écoulement, en été, est moins significatif en raison de la forte évaporation. La figure 4.2 illustre la partie aval du bassin versant oued roumaine.



Figure 4-2 La partie aval du bassin versant oued roumaine.

Tableau 4-2 Récapitulatif des Caractéristiques Morpho-métriques.

PARAMETRE	EVALUATION	UNITE
Superficie du bassin	93.89	Km ²
Périmètre du bassin	43.6	Km
Altitude maximale	593	m
Altitude moyenne	320	m
Altitude minimale	53	m
Longueur du Thalweg principal	21.5	Km
Longueur du rectangle équivalent	16.21	Km
Largeur du rectangle équivalent	5.61	Km
Quotient des composants C	2.89	-
Indice de compacité K _C	1.28	-
Pente moyenne	1.28	%
Facteur de forme R _f	5.08	-
Facteur de Shum R _s	0.84	-
Rapport de confluence	5.7	-
Temps de concentration T _c	3.27	H
Facteur de fréquence F ₁	10.7	Km-2
Densité de drainage D _d	4.2	Km-1
Coefficient de torrentialité C _t	44.9	Km-3
Vitesse de transfert, ruissellement V _t	5.7	Km/h

4.2.3.4 Délimitation des Bassins versants par infraworks :

La première étape pour réaliser une analyse hydrologique précise est de délimiter avec précision les bassins versants. Pour ce faire, on utilise l'outil Infraworks, qui permet d'identifier plusieurs bassins versants en se basant sur la topographie du terrain existant. Le bassin versant est une entité sélectionnable qui contient plusieurs propriétés telles que :

- La Surface

- L'emplacement des flux d'écoulement,
- La longueur du flux de l'écoulement,
- La pente du canal,
- Le débit, qui peut être calculé à l'aide de l'une des méthodes intégrées.

Le processus de délimitation du bassin versant est crucial car il permet d'obtenir des informations précises sur les caractéristiques hydrologiques du bassin, qui sont nécessaires pour la planification et la gestion des ressources en eau. En utilisant l'outil " analyser- assainissement-bassin versant" sur l'Infraworks, il est possible d'identifier les limites du bassin versant en se basant sur la topographie du terrain et les données de précipitations. Ces données sont ensuite utilisées pour calculer les flux d'écoulement et les débits, qui sont essentiels pour la compréhension du régime hydrologique du bassin.

a) Méthodologie de l'étude :

Lorsqu'il s'agit d'analyser les bassins versants, le logiciel Infraworks propose deux méthodes courantes.

- La première méthode consiste à sélectionner une route donnée pour identifier tous les bassins versants qui la traversent.
- La deuxième méthode implique la sélection d'un point de sortie d'eau à une élévation plus basse afin que les zones de haute altitude contribuent au bassin versant.

Cependant, avant de procéder à cette analyse, il est important d'identifier les intervalles d'altitude dans le terrain du projet. Pour ce faire, la palette thème de terrain par élévation peut être utilisée pour appliquer un intervalle d'altitudes au terrain.

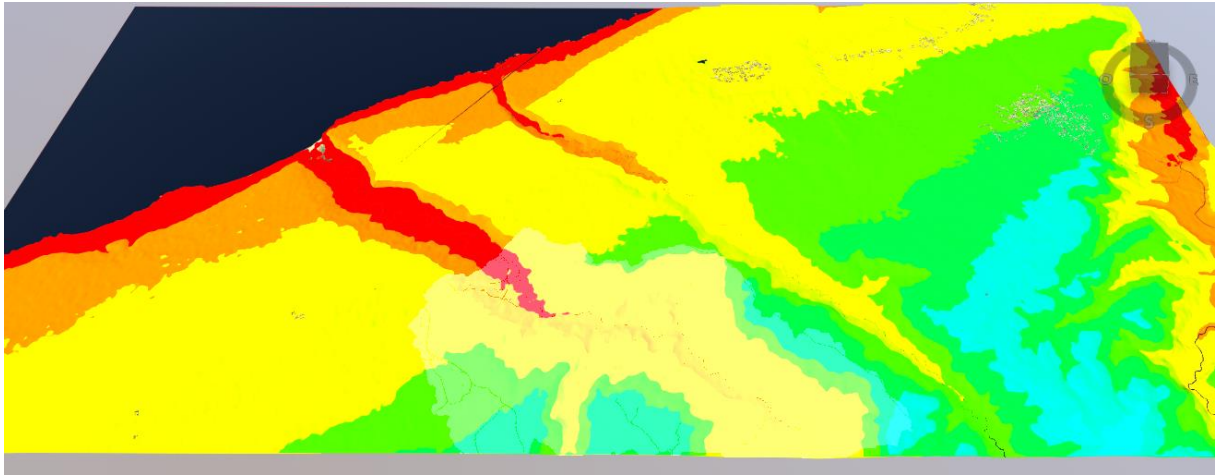


Figure 4-4 l'hypsométrie d'une partie du bassin oued Roumaine.

b) Délimitation du bassin versant oued Roumaine sous Infracworks :

Après avoir sélectionné le point de sortie d'eau à une élévation plus basse qui correspond au pont étudié, on obtient : la figure 3.4 détermine la délimitation de bassin versant sous INFRAWORKS



Figure 4-5 la délimitation de bassin versant sous INFRAWORKS.

Tableau 4-3 Propriété du bassin versant oued roumaine.

Aire (km ²)	Longueur du canal (m)	Pente du canal %
93.873	20.898	1.685

4.3 Calcul des débits des bassins versants :

Il existe plusieurs méthodes pour estimer les débits des bassins versants qui s'appuient sur des données pluviométriques à savoir :

- Formule rationnelle
- Formule de BURKLI – ZIEGLER
- Formule de Mallet – Gauthier
- Formule de Fuller II

Le choix de ces méthodes correspond aux caractéristiques physiques des bassins.

4.3.1 Méthode rationnelle :

Dans le cadre de ce projet, nous avons opté pour le choix de la méthode rationnelle pour l'estimation des débits des bassins versants, et ce pour plusieurs raisons :

- Elle est simple d'application
- Elle permet une bonne approche des débits pour les petits bassins versants car cette méthode utilise la pluviométrie maximale en 1 heure, et bien souvent le temps de concentration est de l'ordre de l'heure pour ces bassins versants
- Elle calcule le débit d'apport d'un bassin versant en tenant compte de la couverture végétale, la forme, la pente et de la nature du terrain, selon la relation :

$$Q (T) = \frac{C_T \times i(T) \times A}{360} \quad 3.1$$

Avec :

Q : Débit correspondant à la période de retour Ten (m³/s),

T : Période de retour pour laquelle le débit est calculé,

Cr : Coefficient de ruissellement,

It : Intensité de pluie correspondant à la période de retour T (en mm/h)

A : Surface du bassin versant en (hectare).

La méthode rationnelle est intégrée dans le logiciel Infracworks, pour le calcul du débit, il faut saisir le coefficient de ruissellement et l'intensité pluviométrique. La figure 3.2 divulgue les données hydrologiques optées par l'outil Infracworks.

Figure 4-6 données hydrologiques optées par l'outil Infracworks.

4.3.1.1 Calcul d'intensité

La formule de Montana est utilisée pour calculer les intensités de pluie pour le temps de retour considérée.

$$i(t) = a(t) \times t c^{-b(t)}$$

Avec :

$i(t)$ = Intensité de pluie pour un temps de concentration

t_c = Temps de concentration en (mn).

Les valeurs d'a et b ont été confirmées par les recommandations du rapport d'expertise hydrologique de l'étude préliminaire effectuée par le bureau d'études.

Tableau 4-4 suivant récapitule les valeurs de ces coefficients.

Coefficients de la Formule de Montana	5 ans	10 ans	20 ans	50ans	100 ans
A	8,98	10,47	11,86	13,62	15,25

B	0,69	0,7	0,71	0,71	0,71
---	------	-----	------	------	------

La Période de retour à prendre dans les calculs doit faire l'objet d'une étude en incluant le coût d'investissement du projet, la durée de vie de l'ouvrage, l'impact de l'ouvrage sur la biodiversité, le risque de débordement des eaux pour les usagers, etc.... ;Selon SETRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements) et les normes Algériennes B40, il est recommandé d'adopter une période de retour de 100 ans pour les ouvrages d'arts.

4.3.1.2 Calcul Le temps de concentration :

Le temps de concentration d'une particule d'eau est le temps que met cette dernière entre le point le plus reculé du bassin versant et l'exutoire. Formule de Kirpich

$$t_c = \frac{(L/\sqrt{p})^{0.77}}{52}$$

Avec :

- t_c : temps de concentration en (min)
- L : longueur du drain en (m)
- P : Pente en (m/m)

Application :

$$t_c = \frac{(20989/\sqrt{0.0168})^{0.77}}{52}$$

$$t_c = 196,442 \text{ min}$$

$$t_c = 3.27 \text{ h}$$

$$i(t) = 15,25(t) \times 3,27^{-0.71(t)}$$

$$i(t) = 6.575 \text{ (mm/h)}$$

4.3.1.3 Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement est défini comme le rapport de la hauteur d'eau ruisselée à la hauteur d'eau précipitée. Il est choisi compte tenu de la nature du bassin versant en particulier de sa couverture du type de sol, de la pente, ainsi qu'en fonction du temps de retour de l'événement. Le coefficient de ruissellement dépend des caractéristiques et conditions d'infiltration du sol, l'intensité de précipitation, de la proximité de la nappe phréatique, du degré

de compactage du sol, de sa porosité, du couvert végétal, de la typologie d'occupation, de la pente du bassin, de la récurrence, etc....

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

- C1 : dépendant de la pente du bassin versant.
- C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).
- C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

Coefficient C1 :

Tableau 4-5 Coefficient de ruissèlement en fonction de la pente.

Pente	C1		
≤ 3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11 %	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
> à 35 %	0,22	0,26	0,30

Coefficient C2 :

Tableau 4-6 Coefficient de ruissèlement en fonction de la nature du sol.

Nature du sol	C2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

Coefficient C3 :

Tableau 4-7 Coefficient de ruissèlement en fonction de la couverture végétale.

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25

Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

D'après les conditions physiques de bassin versant on a choisi les coefficients comme suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} C1= 0.10 \\ C2= 0.20 \\ C3= 0.05 \end{array} \right.$$

On obtient : $C_{eq} = C1 + C2 + C3 \Rightarrow C_{eq} = 0,35.$

4.3.1.4 Résultats de l'étude hydrologique :

Une fois les intensités de pluies et coefficients déterminés, on peut mettre leurs valeurs dans Infracworks pour avoir les débits de points de l'eau relaté dans le tableau suivant :

Tableau 4-8 Résultats de l'étude hydrologique.

tc(min)	i(t) (mm/h)	C	Qt(m ³ /s)
196 ,442	6.575	0.35	60

Géométrie	
Aire	93.873 km ²
Longueur du canal	20.898 km
Pente du canal	1.685 %
Elévations (Elevées/Faibles)	0.386km/0.034km
Données d'hydrologie	
Méthode d'hydrologie	Rational
Runoff Coefficient	0.35
Rainfall Intensity (100yr)	6.575 mm/hr
Débit maximal (PDA)	
1/10	0.0 mcs
1/50	0.0 mcs
1/100	60.005 mcs

Figure 4-7 Résultats de l'étude hydrologique sur INFRAWORKS.

4.3.2 Etude hydraulique :

L'étude hydraulique routière est une étape cruciale pour la conception des ouvrages nécessaires au rétablissement des écoulements naturels le long du projet routier. Cette étude se base sur les résultats de l'étude hydrologique afin de dimensionner les ouvrages hydrauliques de manière adéquate. L'objectif est de permettre aux crues d'écouler sans causer de remous incontrôlables en amont. Lorsque la route traverse des cours d'eau ou dans les zones où cela est nécessaire, les ouvrages hydrauliques sont implantés de manière à assurer le passage de la crue considérée. Leur dimensionnement est crucial pour garantir que les ouvrages puissent résister à ces crues et permettre un écoulement régulier de l'eau. Cette étude hydraulique vise donc à assurer la sécurité et la fonctionnalité des ouvrages, en garantissant leur capacité à gérer les écoulements pendant les périodes de crue. En prenant en compte les données issues de l'étude hydrologique, il est possible de concevoir des ouvrages adaptés pour maintenir l'intégrité de la route tout en respectant les contraintes hydrauliques imposées par les cours d'eau.

4.3.2.1 Objectif :

L'objectif principal de cette étude hydraulique est de vérifier les dimensions de l'ouvrage existant afin de s'assurer qu'il peut être franchi par la crue considérée sans provoquer de remous incontrôlables en amont. Pour cela, nous procéderons à la conception d'un nouvel ouvrage en conservant les mêmes dimensions que celles de l'ouvrage existant.

4.4 La vérification de la capacité du dalot existant vis-à-vis du débit de crue :

Après la sortie sur site, nous avons procédé à la mesure des dimensions de l'ouvrage hydraulique existant, qui est implanté dans l'oued Roumane. Les résultats obtenus sont les suivants :

- La hauteur da gabarit (H) = 3.35 m.
- La longueur de portée (l) = 15.20 m.
- La largeur = 7.65 m
- Calcul de débit :

On utilise la formule de Manning pour calcul de débit de l'ouvrage existant :

$$Q = \frac{1}{n} \left(\frac{l \times h}{2 \times h + l} \right)^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \times S_m \quad Q = \frac{1}{n} \left(\frac{(l \times h)^{\frac{4}{3}}}{(2 \times h + l)^{\frac{2}{3}}} \right) \times i^{\frac{1}{2}} \implies 3.1$$

$$Q = \frac{1}{0.033} \left(\frac{(15.20 \times 3.35)^{\frac{4}{3}}}{(2 \times 3.35 + 15.20)^{\frac{2}{3}}} \right) \times 0.0168^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 94.702 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Q : débit de crue (m³/s).

- n : coefficient de Manning.
- l : la longueur de l'ouvrage (m).
- h : la hauteur de gabarit (m).
- i : la pente
- S_m : la section mouillée (m²).

L'ouvrage existant, qui a été dimensionné pour franchir un débit de 94,70 m³, garantit actuellement un passage fluide pour un débit maximal correspondant à une période de retour centennale du bassin versant de 60 m³. Cette capacité hydraulique est essentielle pour assurer la sécurité des infrastructures et des zones avoisinantes en cas de crues importantes. Dans le cadre de notre étude, nous nous appuyerons sur ces dimensions pour concevoir notre nouvel ouvrage, en veillant à maintenir une capacité de franchissement adéquate tout en respectant les contraintes imposées par l'ouvrage initial. L'objectif est d'optimiser la conception de manière à

améliorer la performance hydraulique tout en préservant la fonctionnalité et la stabilité de la structure.

Afin de garantir la continuité et la compatibilité avec l'ouvrage existant, notre variante maintiendra les mêmes dimensionnements. Cela signifie que nous conserverons la même taille et les mêmes caractéristiques de l'ouvrage hydraulique actuel. Cette approche permet de tirer parti de l'expérience acquise avec l'ouvrage existant et de minimiser les changements structurels importants. En conservant les mêmes dimensionnements, nous assurons une transition fluide et une compatibilité hydraulique entre l'ouvrage existant et notre variante, tout en garantissant une fonctionnalité et une sécurité optimales.

4.4.1 Dimensionnement des ouvrages de l'assainissement routier :

L'assainissement routier est un aspect essentiel de la conception des infrastructures routières. Il vise à gérer efficacement les eaux de ruissellement générées par la route, en minimisant les problèmes d'inondation, d'érosion et de détérioration de la chaussée. L'objectif de l'assainissement routier est de collecter, traiter et éliminer les eaux de ruissellement de manière sûre et respectueuse de l'environnement. Dans cette phase de l'étude, nous allons prendre en compte les caractéristiques hydrologiques du bassin versant afin de dimensionner les dispositifs d'assainissement nécessaires.

Cela peut inclure la conception de caniveaux, de fossés, de buses et de réseaux de drainage pour canaliser les eaux de ruissellement loin de la chaussée. L'assainissement routier doit également prendre en considération les réglementations environnementales et les normes de gestion des eaux pluviales en vigueur. Il est essentiel de concevoir des solutions durables qui préservent la qualité de l'eau et minimisent les impacts sur les écosystèmes environnants. En intégrant une conception adéquate de l'assainissement routier, nous assurons une circulation fluide et sécurisée sur la route, tout en préservant l'environnement et en évitant les problèmes d'inondation et d'érosion. L'objectif ultime est de fournir une infrastructure routière durable, fonctionnelle et respectueuse de l'environnement.

Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi d'utiliser des fossés et des passages de buses pour l'évacuation des eaux pluviales.

4.4.1.1 Dimensionnement de passage buses :

Les étapes que nous suivons pour calculer le débit qui franchit un passage buses par la méthode rationnelle pour une période de retour décennal :

$$Q = K. C. i. A.$$

- Délimitation du bassin versant : en utilisant le logiciel InfraWorks. Cette étape nous permet d'identifier et de délimiter la zone de drainage qui contribue au franchissement en eau du passage de buses.
- Estimation du coefficient de ruissellement(C) : Nous utilisons les résultats de notre étude hydrologique pour obtenir le coefficient de ruissellement correspondant au site.
- Calcul de l'intensité des précipitations (i) : Nous appliquons la formule de Montana, qui est une méthode couramment utilisée, pour estimer l'intensité des précipitations.
- Calcul du temps de concentration (t_c): Nous déterminons le temps de concentration, qui correspond au temps nécessaire pour que l'eau s'écoule depuis les points les plus éloignés du bassin versant jusqu'au passage buses.

D'après la délimitation du bassin versant effectuée sur InfraWorks, mentionné sur la figure 3.2 ci-dessous, nous obtenons les résultats suivants :

{	A= 48.62 ha.	⇒	La surface de bassin versant.
	L= 125 m.	⇒	La longueur du chevelu principal.
	P = 2.088 %.	⇒	La pente du chevelu principal.



Figure 4-8 Délimitation du bassin en vue de dimensionner le passage busé.

1) Calcul du temps de concentration (t_c) :

$$t_c = \frac{(L/\sqrt{p})^{0.77}}{52}$$

Avec :

- t_c : temps de concentration en (min)
- L : longueur du drain en (m)
- P : Pente en (m/m)

Application :

$$t_c = \frac{(125/\sqrt{0.0208})^{0.77}}{52}$$

$$t_c = 3.52 \text{ min}$$

$$t_c = 0.0522 \text{ h}$$

2) Calcul de l'intensité des précipitations (i) :

$$i(t) = a(t) \times t_c^{-b(t)}$$

$$\text{A.N : } i(t) = 10.47 \times 0.0522^{-0.70}$$

$$i(t) = 82.7136 \text{ mm/h}$$

Avec :

$i(t)$: Intensité de pluie pour un temps de concentration en (mm/h).

t_c : Temps de concentration en (min).

T : période de retour.

$A(T)$ et $b(T)$: coefficients de Montana de période retour décennal.

3) Calcul des débits d'apport :

$$Q_a = K \times C \times i \times A$$

$$Q_a = 2.778 \times 0.35 \times 82.71 \times 48.60 = 3908 \text{ l/s}$$

$$Q_a = 3.908 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Avec :

K : coefficient de conversion.

C : coefficient de ruissèlement.

4) Détermination de diamètre de passage buses :

La formule de Manning-Strickler est utilisée pour calculer le débit d'un fluide dans un canal ou une conduite en fonction des caractéristiques géométriques du canal et des propriétés du fluide. La formule est la suivante :

$$Q_S = K_{st} \times R_H^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times S_m$$

$$R_H = \frac{S_m}{P_m} \quad 3.8$$

$$Q_S = K_{st} \times \left(\frac{S_m}{P_m}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times S_m$$

$$Q_S = K_{st} \times \left(\frac{\left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)^{\frac{5}{3}}}{(\pi \times D)^3}\right) \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_S = K_{st} \times \left(\frac{\left(\frac{\pi}{4}\right)^{\frac{5}{3}}}{(\pi)^3}\right) \times I^{\frac{1}{2}} \times D^{\frac{8}{3}}$$

$$D = \left(\frac{Q_S \times (\pi)^{\frac{2}{3}}}{K_{st} \left(\frac{\pi}{4}\right)^{\frac{5}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}}$$

A.N:

$$D = \left(\frac{3.908 \times (3.14)^{\frac{2}{3}}}{67 \left(\frac{3.14 \times}{4}\right)^{\frac{5}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}}$$

$D = 1.1 \text{ m} = 1100 \text{ mm}$. On prend $\Phi = 1500$

En augmentant le diamètre à 1500 mm, nous disposons d'une marge de sécurité supplémentaire pour permettre un passage plus souple des apports solides éventuels et pour faire face à d'autres variations possibles dans les conditions d'écoulement.

4.4.2 Dimensionnement des ouvrages linéaires :

4.4.2.1 Calcul débit d'apport Q_a :

Pour calculer le débit le plus défavorable pour le dimensionnement du fossé, nous prendrons la section de 1750m la plus contraignante du terrain entre les points métrés 1275 et 3025, où la pente est maximale. Dans ce tronçon de la route, nous identifions la section qui présente la pente maximale, ce qui entraîne un débit d'apport maximal.

$$Q_a = K \times C \times i \times A \quad 3.13$$

4.4.2.1.1.1 Calcul le coefficient de ruissèlement équivalent $C_{\text{éq}}$:

$$C_{\text{éq}} = \frac{\sum_{i=0}^n C_i \times S_i}{S_T}$$

Calcul des surfaces :

➤ La surface de chaussée :

$$S_1 = L_1 \times l \quad \Longrightarrow \quad S_1 = 7 \times 1750 = 12250 \text{ m}^2.$$

➤ La surface de l'accotement :

$$S_2 = L_2 \times l \quad \Longrightarrow \quad S_2 = 1.5 \times 1750 = 2625 \text{ m}^2.$$

➤ La surface de talus :

$$S_3 = L_3 \times l \quad \Longrightarrow \quad S_3 = 4 \times 1750 = 7000 \text{ m}^2$$

Tableau 4-9 résume les valeurs des coefficients de ruissèlement en fonction de la nature de l'occupation du sol.

Occupation de sol	Coefficient de ruissèlement
Chaussée bitumineux	0.80
Accotement en sol légèrement perméable	0.35
Talus perméable	0.25

Donc :

$$C_{\acute{e}q} = \frac{C_1 \times S_1 + C_2 \times S_2 + C_3 \times S_3}{S_T}$$

$$C_{\acute{e}q} = \frac{0.80 \times 12250 + 0.35 \times 2625 + 0.25 \times 7000}{21875}$$

$$C_{\acute{e}q} = 0.57$$

2) Calcul du temps de concentration (t_c) :

$$t_c = \frac{(L/\sqrt{p})^{0.77}}{52}$$

Avec :

- **t_c** : temps de concentration en (min)
- **L** : longueur du drain en (m)
- **P** : Pente en (m/m)

$$A. \quad t_c = \frac{(1750/\sqrt{0.06})^{0.77}}{52}$$

$$t_c = 17.85 \text{ min}$$

$$t_c = 0.2975 \text{ h}$$

3) Calcul de l'intensité des précipitations (i) :

$$i(t) = a(t) \times t_c^{-b(t)}$$

$$A.N : \quad i(t) = 10.47 \times 0.2975^{-0.70}$$

$$i(t) = 24.46 \text{ mm/h}$$

Avec :

- **$i(t)$** : Intensité de pluie pour un temps de concentration en mm/h.
- **t_c** : Temps de concentration en min.
- **t** : période de retour.
- **a et b** : les coefficients de montana de période retour décennal.

Calcul des débits d'apport :

$$Q_a = K \times C \times i \times A$$

A.N:

$$Q_a = 2.778 \times 0.57 \times 24.46 \times 2.1875 = 84.7250 \text{ l/s}$$

$$Q_a = 0.0847 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Avec :

- **k**: coefficient de conversion.
- **C_{éq}** : coefficient de ruissèlement équivalent.

4.4.2.2 Calcul débit de saturation Q_s :

Dans le dimensionnement des fossés, le calcul implique une itération où nous fixons le paramètre n et faisons varier les dimensions b (largeur) et h (profondeur). À chaque itération, nous calculons le débit de saturation qui doit être supérieur ou égal au débit d'apport. Le débit de saturation représente le débit maximal que le fossé peut transporter sans débordement, tandis que le débit d'apport est le débit qui doit être acheminé dans le fossé. Pour garantir un fonctionnement optimal du fossé, le débit de saturation doit être capable de traiter le débit d'apport.

Pour $b = 0.5$ m, $h = 0.5$ m et $n = 1$

$$Q_s > Q_a$$

$$Q_s = \frac{k_s [(n \times h + b) h]^{\frac{5}{2}}}{(b + 2h\sqrt{1+n^2})^{\frac{2}{3}}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

A.N :

$$Q_s = \frac{70 [(1 \times 0.5 + 0.5) 0.5]^{\frac{5}{2}}}{(0.5 + 2 \times 0.5 \sqrt{2^2})^{\frac{2}{3}}} \times 0.06^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_s = 3.503 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Avec :

- **h** : hauteur de fossé.(m).
- **b** : base de fossé.(m).
- **1/n** : pente du talus, si $n = 1$ donc la pente de talus de 45° , la figure 3.3 montre une vue schématique du fossé de forme trapézoïdale.

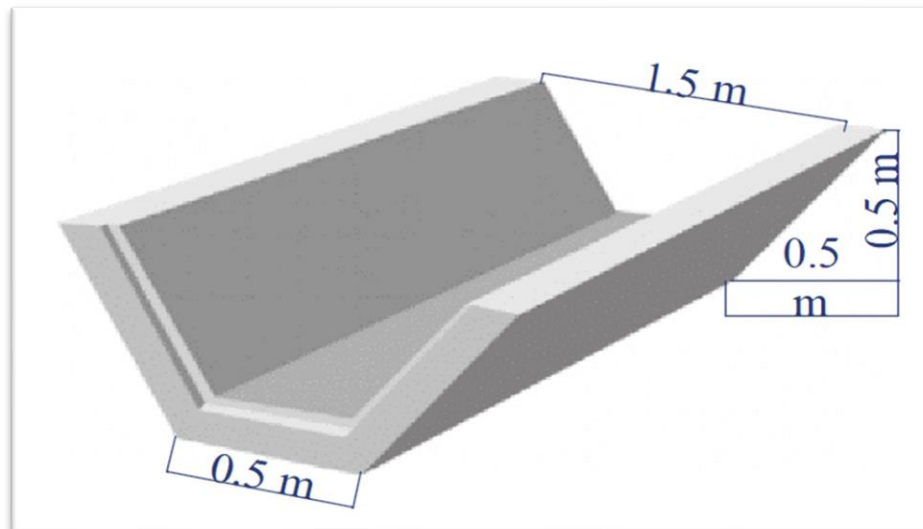


Figure 4-9 Vue schématique du fossé trapézoïdal.

Alors : $Q_s \gg \gg Q_a$

Le débit de saturation (Q_s) représente le débit maximal que le fossé peut transporter sans débordement. Si le débit d'apport (Q_a) est inférieur au débit de saturation (Q_s), cela signifie que la capacité du fossé est suffisante pour traiter le débit sans provoquer de débordement ou d'accumulation d'eau indésirable.

4.5 Conclusion :

En conclusion, les deux parties études hydrologique et hydraulique nous ont permis d'élaborer la conception et le dimensionnement d'un système d'assainissement routier. Nous avons évalué les débits de crue, vérifié la capacité des ouvrages existants, dimensionné les passages busés et les fossés pour assurer un écoulement optimal des eaux de ruissellement. Ces analyses et dimensionnement nous permettent de garantir la sécurité de l'ouvrage et d'assurer une évacuation adéquate des eaux dans la zone d'étude.

Chapitre 05 : Modélisation du pont.

5.1 Introduction :

Ce chapitre offre un aperçu de la modélisation de pont cadre (dalot), en mettant l'accent sur les aspects clés du pré-dimensionnement, des charges et de la modélisation numérique. Il fournit les bases nécessaires pour comprendre et appliquer ces concepts dans la conception et l'analyse de ponts cadres. Ce travail est divisé en trois parties :

- Pré-dimensionnement du dalot.
- Charges et surcharges.
- Modélisation par Robot Structural Analysis.

5.2 Pré-dimensionnement du dalot :

Le dalot est principalement utilisé pour le franchissement de cours d'eau pluviale sur une route ou une voie de circulation. Sa conception et ses dimensions sont adaptées en fonction des spécificités du site et des charges prévues. Il est généralement en béton armé et présente une section rectangulaire ou carrée. Les dalots offrent une solution efficace et durable pour assurer la continuité des infrastructures routières tout en garantissant la sécurité

5.2.1 Les éléments de dalot :

Le dalot est constitué par les éléments suivants :

- Un radier ou une semelle en béton armé
- Des piédroits.
- Une dalle ou des dallâtes en béton.
- Deux murs de tête.
- Quatre murs en aile, en amont et en aval.
- L'enrochement de protection amont et aval.
- Les remblais d'accès.

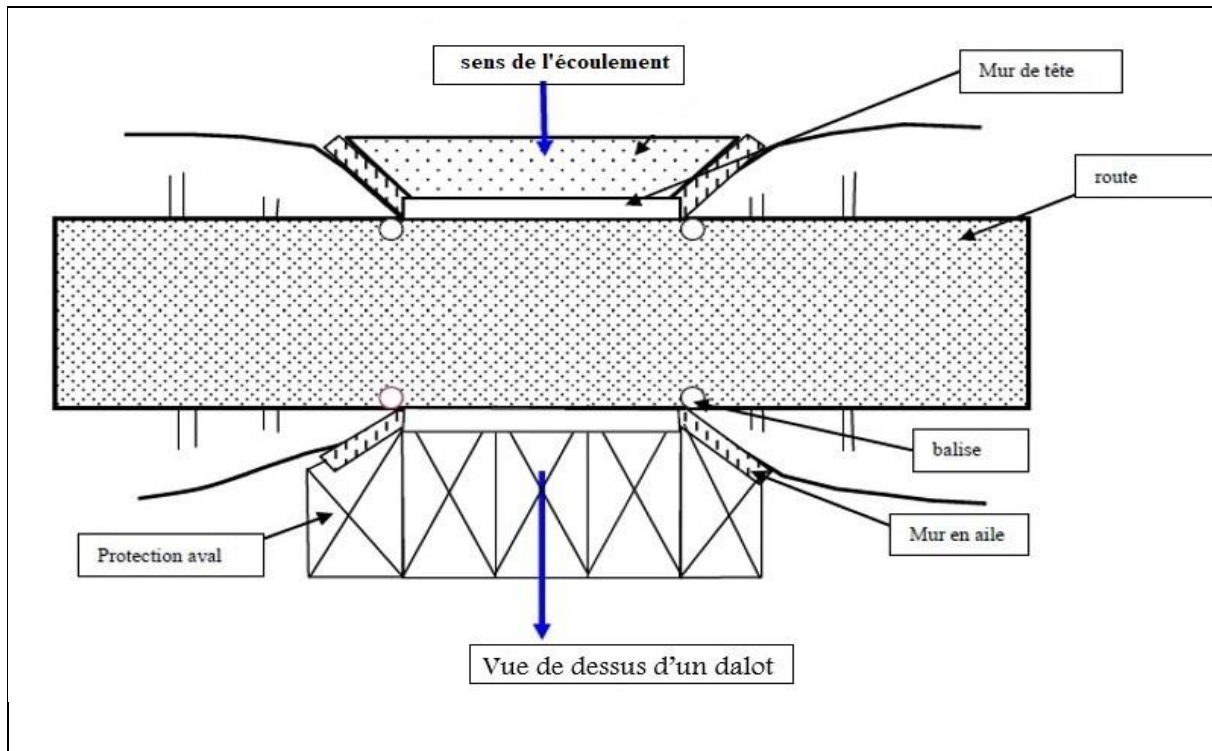


Figure 5-1 Les éléments de dalot.

➤ **On rencontre couramment trois types de dalots :**

- Les dalots ordinaires constitués de piédroits verticaux, fondés sur une semelle ou un radier général, sur lesquels repose une dalle ou les dallâtes en béton armé ;
- Les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé ;
- Les dalots portiques semblables aux dalots cadres mais sans radier (les piédroits sont fondés sur des semelles).

Remarque : On adopte les dalots pour des débits élevés (supérieurs à 10 m³/s).

➤ **Dispositions constructives :**

- Le radier ou la semelle est en béton armé dosé à 350 kg/m³ posé sur un béton de propreté de 5 cm d'épaisseur minimale dosé 150 kg/m³.
- Les piédroits sont en béton armé (dosage 350 kg/m³) ou en maçonnerie de moellons.
- La dalle ou les dallâtes sont en béton armé (dosage 350 kg/m³).

- Les deux murs de tête peuvent être en béton ou en maçonnerie de 40 cm d'épaisseur ; par rapport au remblai fini, ils doivent être visibles sur une hauteur d'au moins 40 cm.
- Les quatre murs en aile en amont et en aval sont sous forme de diffuseur en béton ou en maçonnerie pour protéger la piste et diriger l'écoulement sous le dalot.
- La protection amont et aval sert à la protection contre l'érosion et/ou les affouillements. Il peut être en pierre sec ou en gabions (solution plus durable) et il doit mesurer au minimum 2 m.
- Les balises de signalisation sont placées à l'entrée et à la sortie du dalot.
- Le remblayage du dalot et de ses accès se fait en matériaux adéquats compactés par couches successives de 0,15m.
- Le remblai s'étale de 10 m de part et d'autre de l'ouvrage en une pente douce pour permettre aux véhicules de s'y engager avec aisance et sécurité.
- Les talus de ce remblai seront protégés par du pierre maçonné si l'écoulement des eaux risque de provoquer l'érosion

5.2.2 Épaisseur du tablier-piédroit-radier (e) :

D'après le guide de conception SETRA traitant les ponts cadres et portiques, l'épaisseur est obtenue par l'expression : $e = \sup (0,30 ; (\frac{L}{32} + 0,125))$, $L = 7,6$ m :

$$\left\{ \begin{array}{l} L = \text{longueur d'une cellule.} \\ e = \text{épaisseur du tablier, piedroit et radier} \end{array} \right.$$

$$e = \sup (0,30 ; \frac{7,6}{32} + 0,125),$$

$$e = 0,362 \text{ m}$$

On prendre $e = 40\text{cm}$

➤ Corbeau :

Le document PP 73 recommande que la hauteur du corbeau soit égale à $h = 0,50$ m.

➤ Dalle de transition :

$$\left\{ \begin{array}{l} L = \text{Min} [6\text{m} ; \text{Max} (3\text{m} ; 0,6H)] \\ L = \text{Min} [6\text{m} ; \text{Max} (3\text{m} ; 0,6 * 3.35)] \\ L = 3 \text{ m.} \\ e = 0.30 \text{ m} \end{array} \right.$$

Avec :

H = hauteur du remblais

L = longueur de la dalle de transition

e = épaisseur de la dalle de transition

➤ Gousset :

Les goussets jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de l'encastrement des traverses sur les piédroits, la réduction des concentrations de contraintes et l'atténuation des effets des pics de moments. En outre, ils contribuent à l'esthétique des ouvrages en mettant en évidence leur fonctionnement, notamment pour les portées importantes. Les dimensions des goussets en fonction des ouvertures du dalot sont présentées en détail dans la Figure 7, issue du Guide SETRA de conception des ponts cadres et portiques.

Tableau 5-1 Détails des goussets.

Ouverture	Gousset supérieur	Gousset inférieur (cadres)
$\leq 2\text{m}$	0.20X 0.20 ou chanfrein	0.20X 0.20 ou chanfrein
2 à 4	0.20X 0.20 à 0.30X 0.30	0.20X 0.20 à 0.40X 0.40
≥ 4	0.30X 0.30 à 0.40X 0.40	0.40X 0.40 à 0.50X 0.50

Étant donné que le pré dimensionnement a donné un dalot d'une ouverture de 7,6 m chacune, nous retiendrons donc pour gousset supérieur et inférieur :

$a \times b = 0,40 \times 0,40$ (m²).

la figure 5.2 donnent plus de précisions sur le pré dimensionnement.

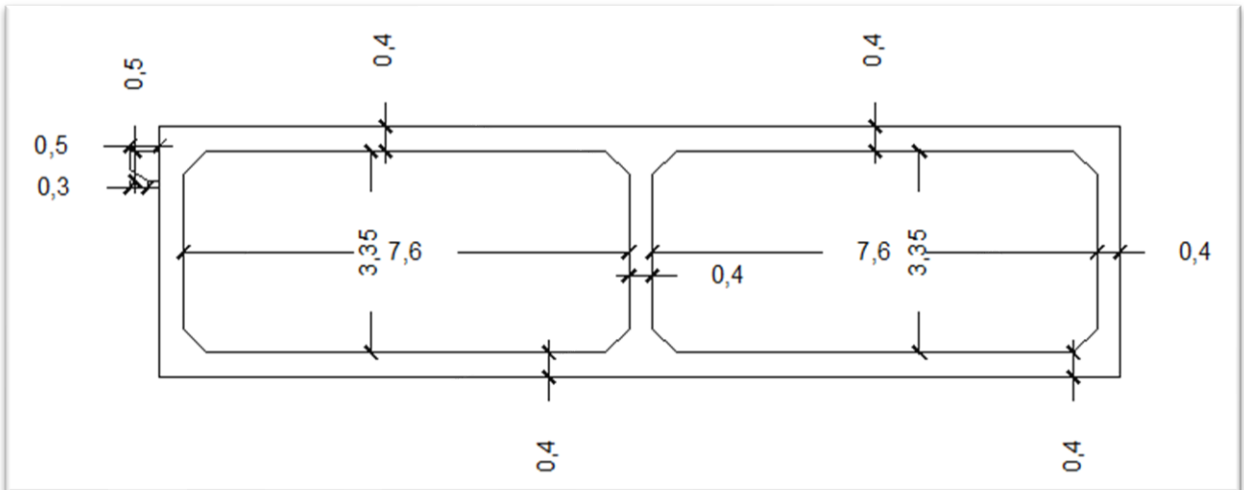


Figure 5-2 Le pré dimensionnement de dalot.

5.3 Pré dimensionnement des murs en l'ail :

Le pré dimensionnement du mur doit respecter les conditions telles que montrer sur la figure V.3:

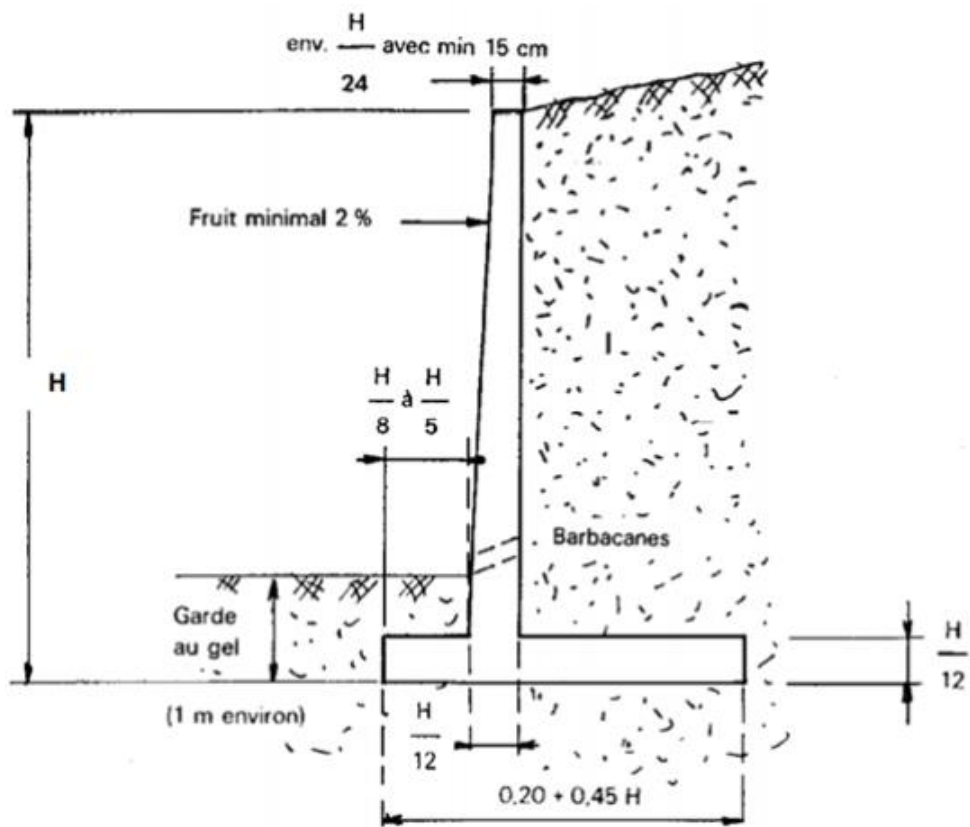


Figure 5-3 Les règles de pré dimensionnement du mur en ail.

Application :

La hauteur totale du mur (voile + semelle) $H = 4,15 \text{ m}$

$$\text{épaisseurs } e_1 = e_2 = \frac{H}{12} \rightarrow \frac{4,15}{12} = 0,35\text{m}$$

$$\text{la largeur patin } b = \frac{H}{8} \rightarrow \frac{4,15}{8} = 0,52\text{m}$$

$$8 = 0,52\text{m}$$

$$\text{la largeur semelle } B = (0,2 + 0,52 \times H) \times 1,15 = 2,71 \text{ m}$$

$$\text{la largeur talon } b' = B - b - e = 1,45 \text{ m}$$

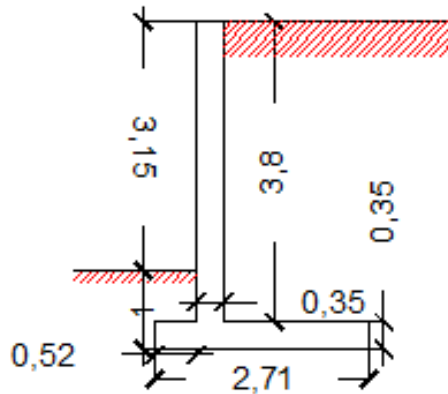


Figure 5.4: Schéma de pré dimensionnement du mur en retour (en ail)

5.3.1 Charges et surcharges :

Dans cette partie, nous allons étudier les charges et les surcharges auxquelles le pont doit faire face, car il joue un rôle porteur essentiel. On peut distinguer deux types de charges qui s'appliquent à un tablier :

- Les charges permanentes.
- Les charges variables.

5.3.2 Caractéristique du pont :

Les caractéristiques de dalot exposé dans le tableau V.1 come suivant :

Tableau 5-2 Les caractéristiques géométriques da dalot.

Désignation	Dalot
Nombre d'ouverture	2
La largeur d'ouverture	7.6 m
La hauteur de l'ouvrage (h)	3.35 m
Epaisseur de la dalle	0.40 m
Epaisseur de radier	0.40 m
Epaisseur des voiles	0.40 m
Epaisseur de la couche de roulement	0.06m
La largeur total (L)	9 m
La largeur roulable (L_r)	7 m
La longueur	15.60 m

➤ Nombre de voies de circulations : $N=Lr/3$.

➤

$$N = \frac{7}{3} = 2.33 \Rightarrow N = 2 \text{ voies.}$$

➤ Largeur d'une voie : $v =Lr/N$.

$$v = \frac{7}{2} = 3,5 \text{ m.}$$

On a deux voies de 3,5 m.

- Classe de pont :

Tableau 5-3 Classification de pont.

La classe	La largeur roulable (Lr)
1	$Lr \geq 7m$
2	$5,5m < Lr < 7m$
3	$Lr \leq 5,5m$

Pont de 1^{ère} classe.

- Largeur des trottoirs : $L_t = 1$ m.
- La pente : 0%.

5.3.3 Charges Permanentes :

Les charges permanentes sont celles qui restent constantes tout au long de la vie de l'ouvrage. Elles comprennent :

- Les éléments porteurs : le poids propre du tablier.
- Les éléments non porteurs : la superstructure, qui comprend les trottoirs, les garde-corps et le revêtement de la chaussée.

5.3.3.1 Poids propre des éléments porteurs :

- La dalle en béton armé :

Le poids de dalle par m^2 .

$$P_d = \gamma_{BA} \times e_d = 2.5 \times 0.40 = 1t/m^2$$

Le poids total de dalle :

$$P_d = \gamma_{BA} \times e_d \times S = 2.5 \times 0.4 \times 15.60 \times 9 = 140.40 t.$$

5.3.3.2 Poids propre des éléments non porteurs :

- Revêtement (la chaussée) :

$$P_r = \gamma_{BB} \times e_r = 2.2 \times 0.06 = 0.132 \text{ t/m}^2$$

Avec :

γ_{BB} : Poids volumique du revêtement

e_r : l'épaisseur du revêtement.

- Trottoir :

$$P_t = \gamma_{BA} \times e_t \times L_T = 2.5 \times 0.20 = 0.5 \text{ t/ml}$$

- Garde-corps (type S7)

$$P_{gc} = 0.034 \text{ t/ml.}$$

5.3.4 Surcharges d'exploitations :

5.3.4.1 Système de charge AL :

Dans le cadre de notre projet, le système A représenté une charge uniformément répartie qui varie avec la longueur chargée. Pour les portées inférieures ou égales à 200 m, la chaussée du pont supporte une charge uniforme d'intensité A(L).

$$A = a_1 \times a_2 \times A(L)$$

Et :

$$A(L) = 2,3 + \left(\frac{36}{L + 12} \right) (KN/m^2)$$

$$\text{Pour 2 voies chargées} \Rightarrow a_1 = 1 \text{ et } a_2 = \frac{v}{v_0} = \frac{3.5}{3.5} = 1.$$

Avec :

V : La largeur d'une voie = 3,5 m

V0 : dépend de la classe 1ère classe V0 = 3,5 m

A.N :

$$A(L) = 2,3 + \left(\frac{36000}{15.60 + 12} \right) = 1306.64 (Kg/m^2)$$

$$A = 1 \times 1 \times 1306.64 = 1306.64(\text{Kg/m}^2) = 1.3 (\text{t/m}^2)$$

5.3.4.2 Système de charge B :

Il comprend trois sous-systèmes distincts indépendants l'un de l'autre :

- Le système Bc qui se compose de camions types.
- Le système Br qui représente une roue isolée.
- Le système Bt qui est constitué de tandems.

Les sous-systèmes Bc et Br s'appliquent à tous les ponts quelle que soit leur classe, le système Bt n'est utilisé que dans les ponts de 1ère et 2e classe.

5.3.4.2.1 Système Bc :

Le système comprend des camions de type Bc. Un camion de type Bc est équipé de trois essieux avec des pneus simples et répond aux caractéristiques suivantes :

- Charge totale :300KN.
- Charge portée par chacun des essieux arrière :120KN.
- Charge portée par l'essieu avant :60KN.
- Longueur d'encombrement : 10,50 m.
- Largeur d'encombrement :2,5m.
- Distance des essieux arrière :1,5 m.
- Distance de l'essieu avant au premier essieu arrière : 4,5m.
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu :2m.
- Surface d'impact d'une roue arrière : carré de 0,25m de côté.
- Surface d'impact d'une roue avant : carré de 0,20m de côté.

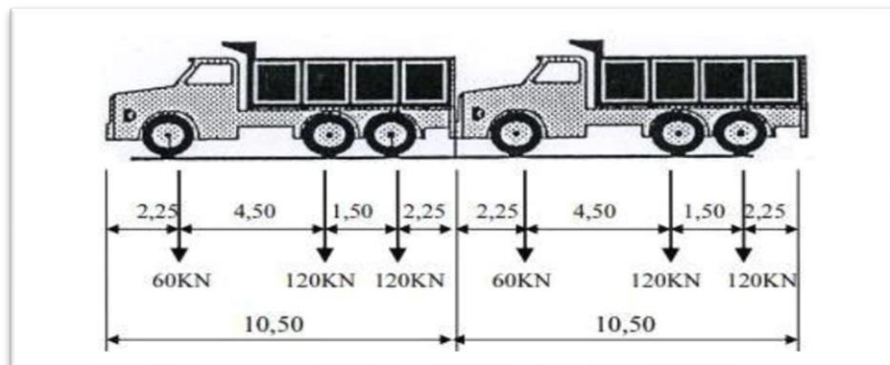


Figure 5-4 Le système Bc Longitudinalement.

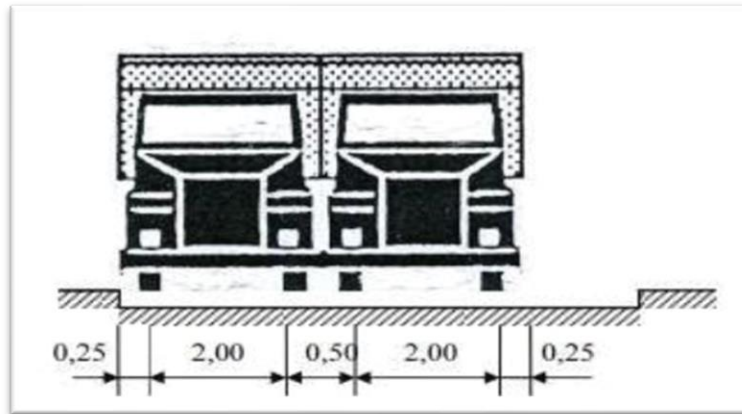


Figure 5-5 Le système Bc Transversalement.

5.3.4.2.2 Systeme Bt :

Le tandem type pèse 320 KN, il est composé de 2 essieux identiques dont chacun pèse 160 KN. L'essieu est constitué de 2 roues simples munies de pneumatiques, la surface d'impact d'une roue est un rectangle dont le côté transversal mesure 0.6 m et le côté longitudinal 0.25 m.

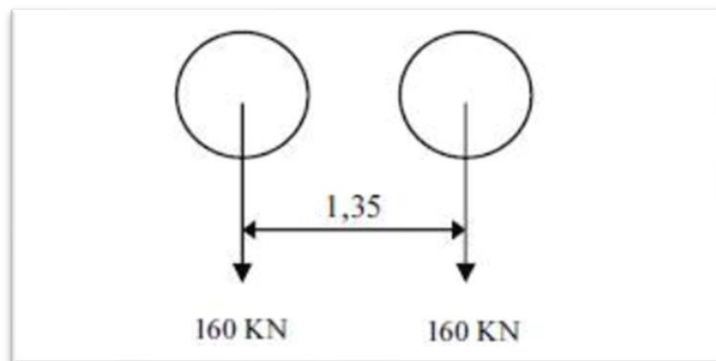


Figure 5-6 Le système Bt Longitudinalement.

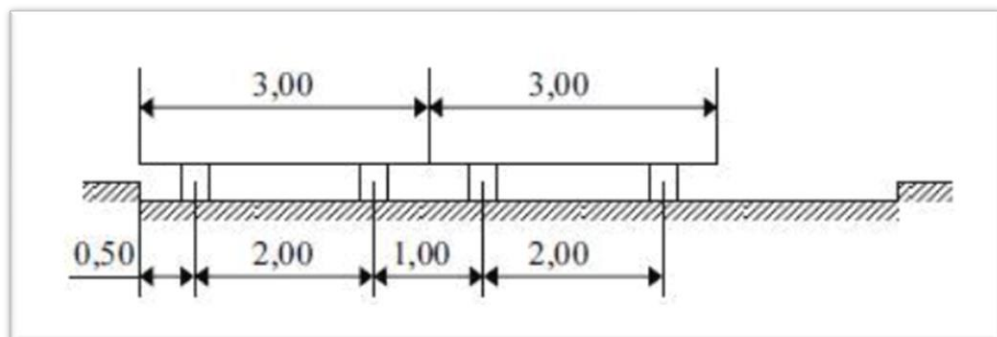


Figure 5-7 Le système Bt Transversalement.

5.3.4.2.3 *Système Br :*

Le système Br se compose d'une roue isolée d'un poids de 100 kN. Sa surface d'impact est un rectangle avec un grand côté de 0,6 m dans la direction transversale et un petit côté de 0,3 m dans la direction longitudinale du pont.

La roue Br peut être positionnée n'importe où sur la largeur de la chaussée, tant que son déplacement suit l'axe longitudinal du tablier. Ce système est souvent utilisé pour étudier les effets locaux sur le tablier, tels que le poinçonnement de la dalle. Dans le cas de ponts inclinés, le rectangle d'impact devient un parallélogramme aligné avec l'inclinaison géométrique de l'ouvrage.

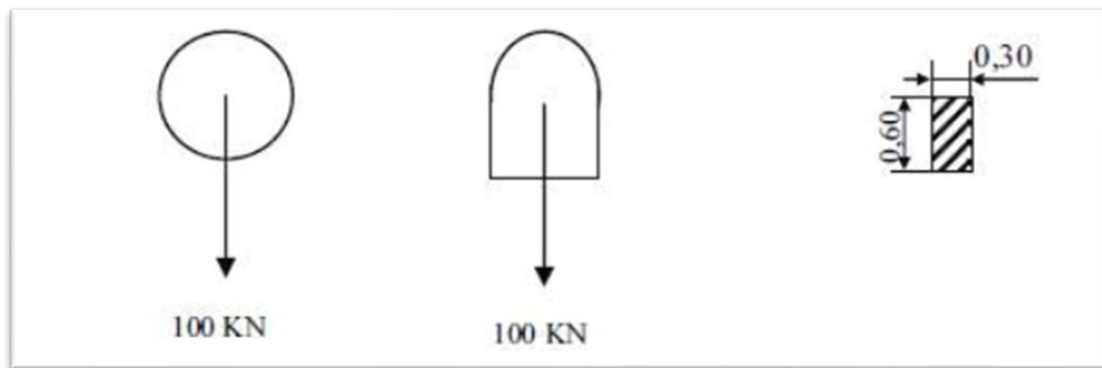


Figure 5-8 Disposition du système Br.

5.3.4.3 *Surcharge Militaire M_{C120} :*

Un véhicule type du système M_{C120} comporte deux chenilles et répond aux caractéristiques suivantes :

- Charge totale : 1100 KN= 110 t
- Longueur d'une chenille : 6,10 m
- Largeur d'une chenille : 1,0 m
- Distance d'axe en axe des deux chenilles : 3,30 m
- Le rectangle d'impact de chaque chenille est supposé uniformément chargé.
- A distance libre entre leurs points de contact avec la chaussée devant être au moins égale à 30,50m.

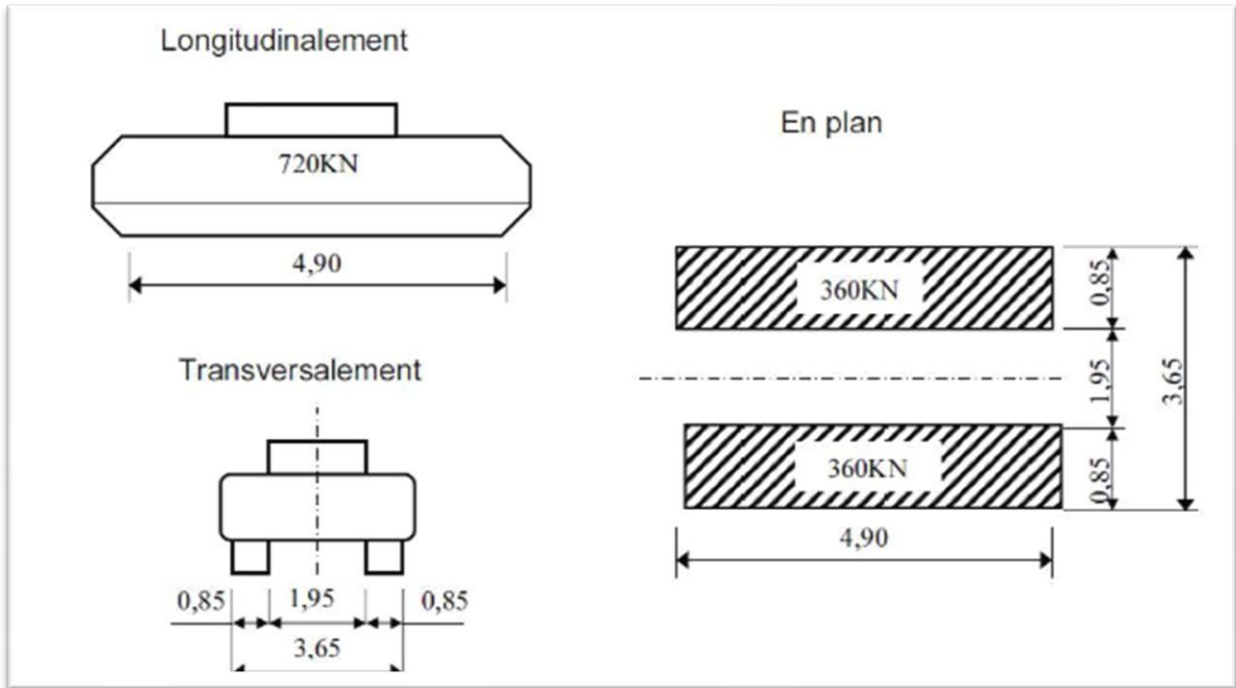


Figure 5-9 Disposition de Surcharge Militaire M_{C120} .

5.3.4.4 Surcharge exceptionnelle types D240 :

Le convoi D240 est supposé circuler seul quelque soit la largeur et la longueur pont, dans le sens longitudinal il est disposé pour obtenir l'effet le plus favorable, elle comporte une remorque de trois éléments de quatre lignes à deux essieux de 2400 kN de poids total. Ce poids est supposé réparti au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément chargé de 3,20m de large et de 18,60m de long.

$$Q_{D240} = \frac{240}{18.6 \times 3.2} = 4.032 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

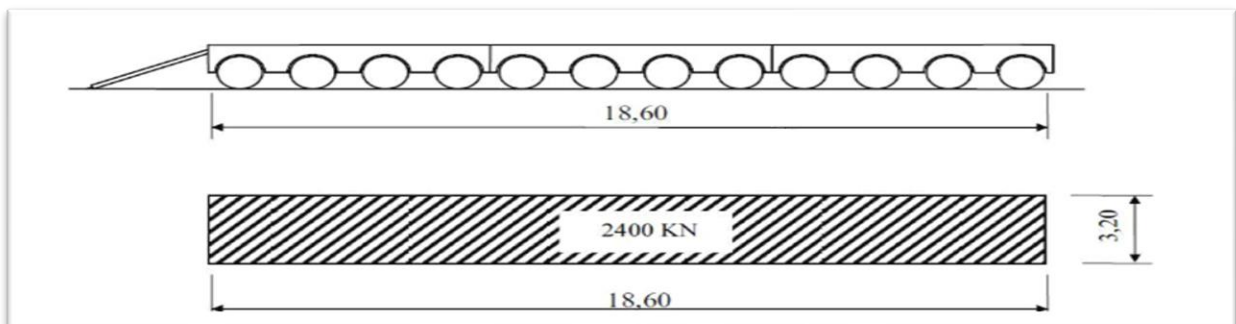


Figure 5-10 Charge exceptionnelle types D240.

5.3.4.5 Surcharges sur les trottoirs :

Elles s'appellent aussi charge générale, nous appliquons sur les trottoirs une charge uniforme de $0.45 \text{ (t/m}^2\text{)}$.

- Deux trottoirs chargés : $Q_t = 0,45 \times 2 = 0.9 \text{ (t/m}^2\text{)}$.

5.4 Modélisation par Robot Structural Analysis :

Pour la modélisation de pont, nous avons choisi d'utiliser le logiciel de calcul numérique Autodesk Robot Structural Analysis 2023, basé sur la méthode des éléments finis. Ce programme nous permet d'effectuer une analyse détaillée du comportement structurelle du pont cadre en prenant en compte les charges, les matériaux et les conditions aux limites spécifiques au projet.

5.4.1 Présentation du Robot Structural Analysis :

Le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional est un outil puissant et polyvalent conçu pour faciliter l'ingénierie structurelle dans le contexte du BIM. Il permet de réaliser des calculs complexes grâce à la méthode des éléments finis, des algorithmes non linéaires et une large gamme de normes de conception. Le logiciel offre des résultats quasi instantanés et favorise la collaboration grâce à son interopérabilité avec d'autres produits Autodesk. Les utilisateurs peuvent effectuer des analyses avancées, vérifier la résistance et la stabilité des structures, optimiser les conceptions et générer des rapports détaillés pour prendre des décisions éclairées.

5.4.2 Méthode de modélisation :

Afin de déterminer les efforts (M, N, T) dans la structure, un modèle numérique a été créé en utilisant une méthode d'éléments finis. Des éléments finis bidimensionnels, tels que des éléments de plaque, ont été utilisés pour représenter la dalle. Chaque élément fini est caractérisé par des nœuds et des propriétés mécaniques spécifiques, calculées en fonction des matériaux et des sections appropriées intégrés dans le modèle de calcul. Ce processus permet d'obtenir une représentation précise du comportement de l'ouvrage et d'analyser les efforts internes induits par les charges et les contraintes externes.

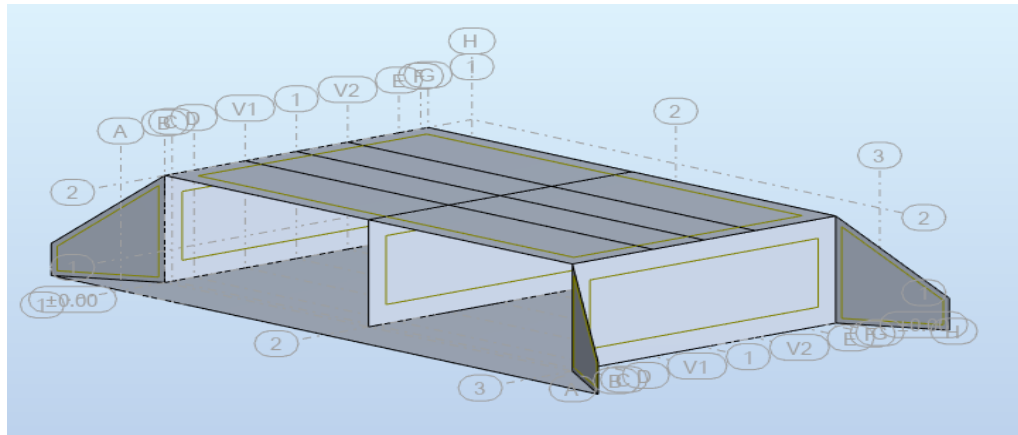


Figure 5-11 Modèle numérique de dalot sur Robot.

Tableau 5-4 Les valeurs des charges considérées.

Désignation		Valeur
Charges permanentes	Poids propre de dalle (P_d)	P_d : pris automatiquement.
	Revêtement (P_r)	$P_r = 0.132 \text{ t/m}^2$
	Poids du trottoir (P_t)	$P_t = 0.5 \text{ t/ml}$
	Poids du garde-corps (P_{gc})	$P_{gc} = 0.034 \text{ t/ml}$
Charges d'exploitation	Surcharge sur trottoir (Q_t)	Charge uniforme : $Q_t = 0.45 \text{ t/ml}$
	Surcharge A(L)	Charge uniforme : $A(L) = 1.3 \text{ t/m}^2$
	Système Bc	Charge concentrée : L'ensemble da charge par camion est de 30 t.
	Système Bt	Charge concentrée : L'ensemble de 2 essieux : 32 t.
	Système Br	Charge concentrée : 10 t.
Charges d'exploitation	M_{C120}	Charge uniforme : L'ensemble de 2 chenilles : 110t
	D_{240}	Charge uniforme de 4.032 t/m^2

5.4.2.1 Première étape :

Le logiciel nécessite la définition des caractéristiques « préférences de l'affaire » :

- Définition des caractéristiques des matériaux.
- Définition des unités.
- Définition des normes et des règlements.

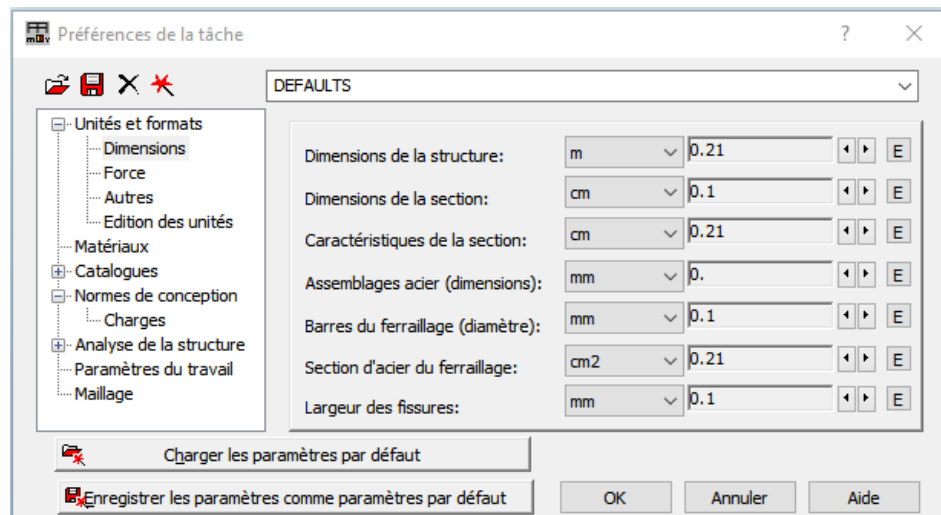


Figure 5-12 Introduction Des Unités Et Des Normes A Utilisé.

5.4.2.2 Deuxième étape :

La définition de la structure (les lignes de constructions, éléments verticaux et éléments horizontaux).

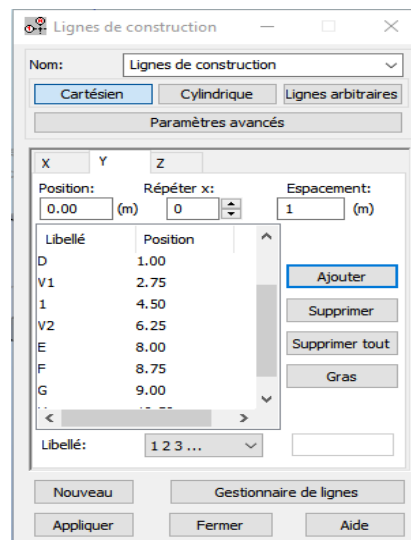


Figure 5-13 Les lignes de construction selon les trois axes X, Y et Z.

5.4.2.3 Troisième étape :

Modélisation de la forme géométrique de dalot :

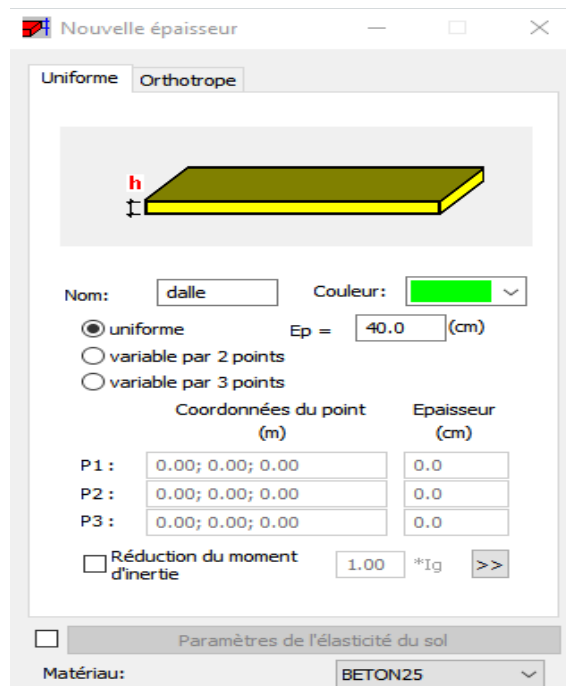


Figure 5-14 Définition de l'épaisseur de la dalle.

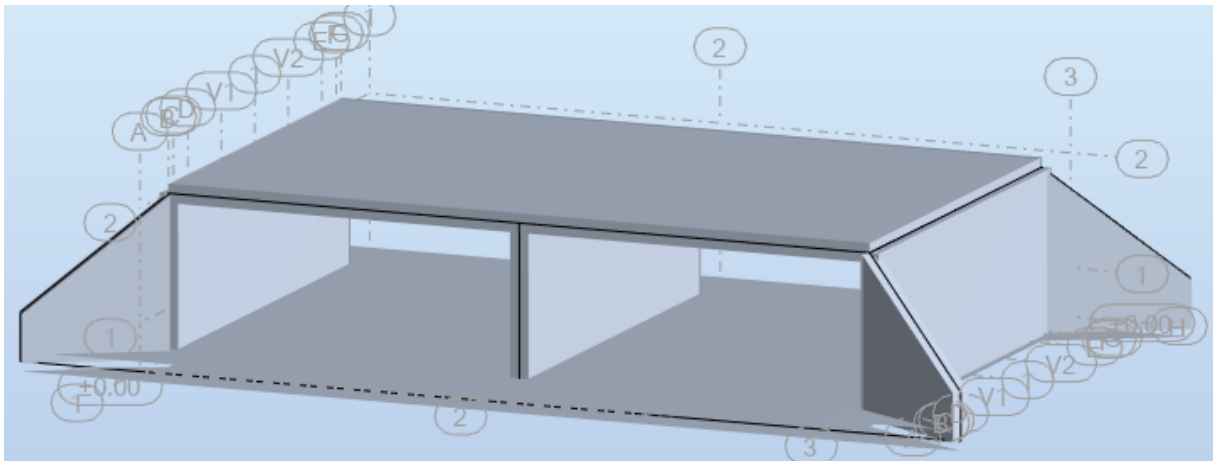


Figure 5-15 La forma géométrique du dalot sur Robot.

5.4.2.4 Quatrième étape :

Une fois le tablier modélisé, il faut définir et appliquer les différents chargements de la structure Poids propre du tablier G, Cette charge est générée automatiquement par le logiciel.

5.4.2.4.1 Charges permanentes :

Elles sont définies comme suit :

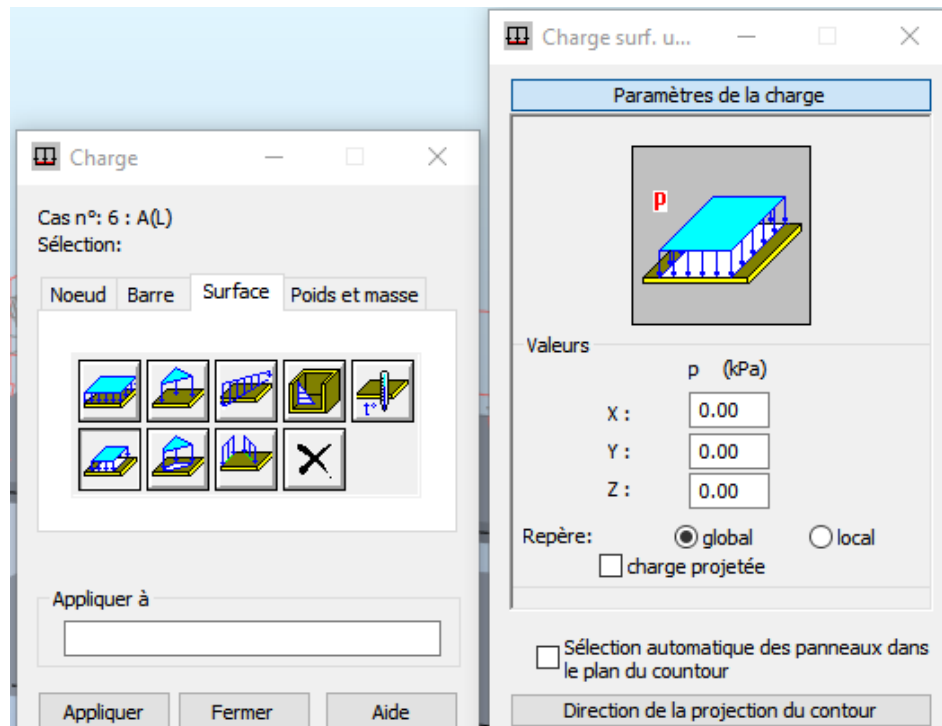


Figure 5-16 Définition des charges.

➤ Chaussée :

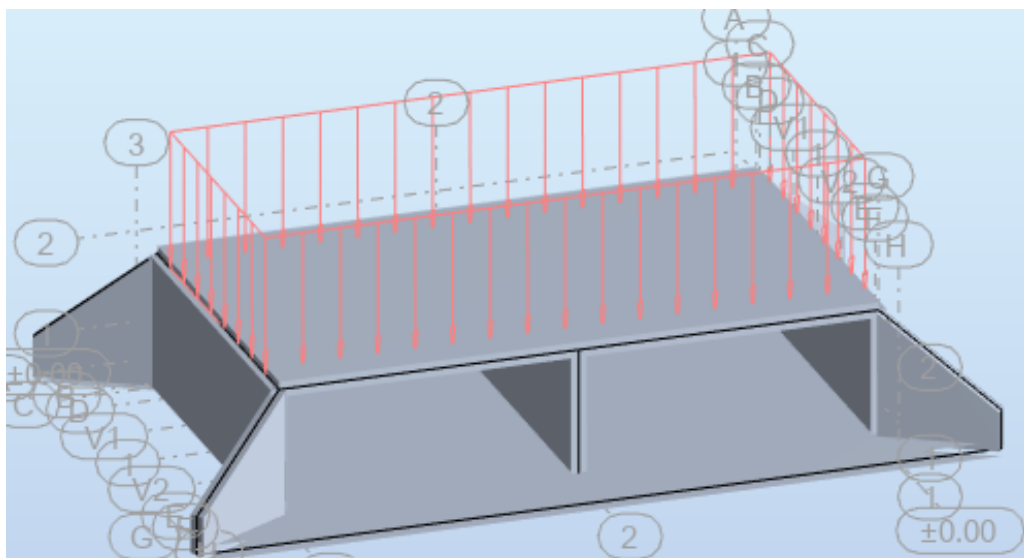


Figure 5-17 Chargement sous le poids du revêtement.

➤ Trottoirs :

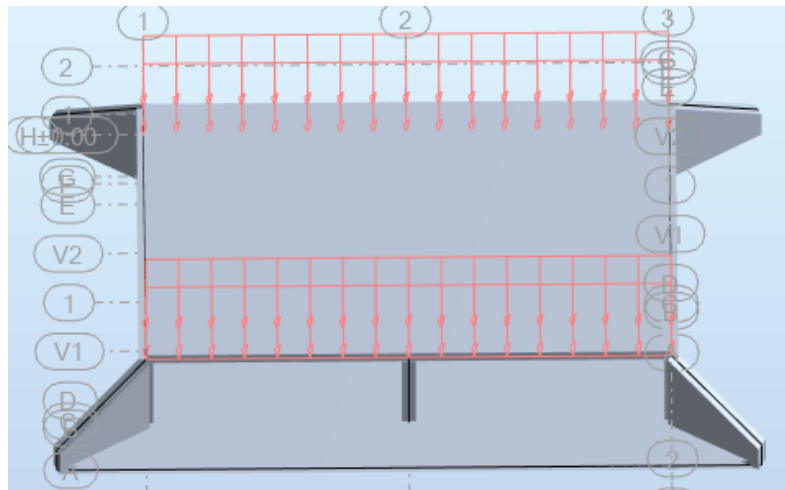


Figure 5-18 Chargement sous le poids des trottoirs.

➤ Garde-corps :

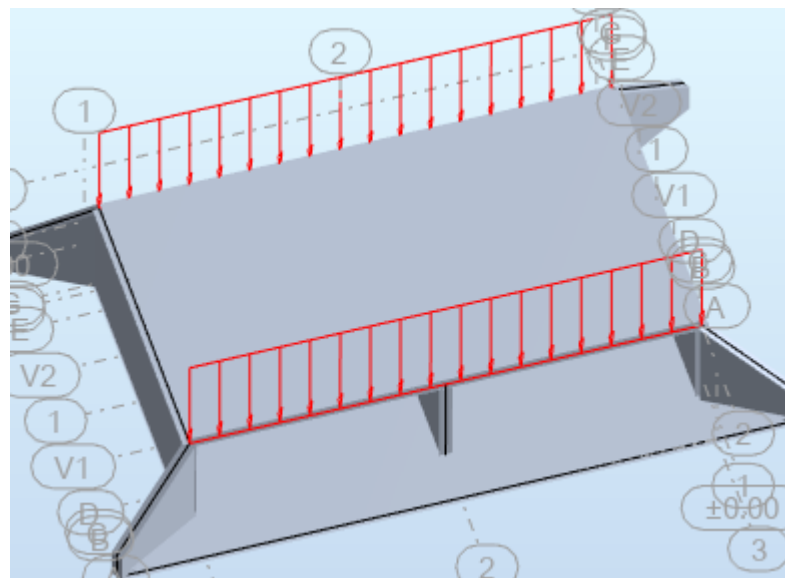


Figure 5-19 Chargement sous le poids des gardes corps.

5.4.2.4.2 Charges d'exploitations :

- Surcharge sur trottoir :

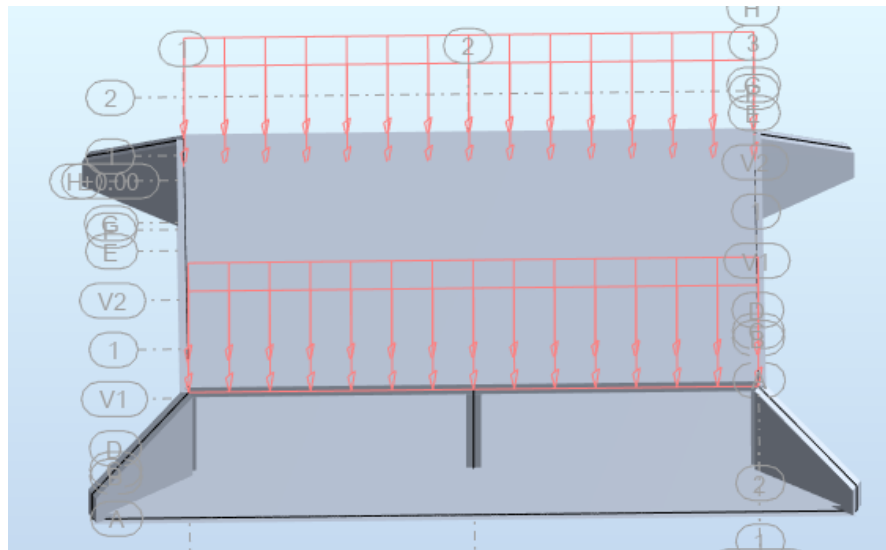


Figure 5-20 Chargement sous le poids des surcharges sur trottoir.

- Système de charges A(L) :

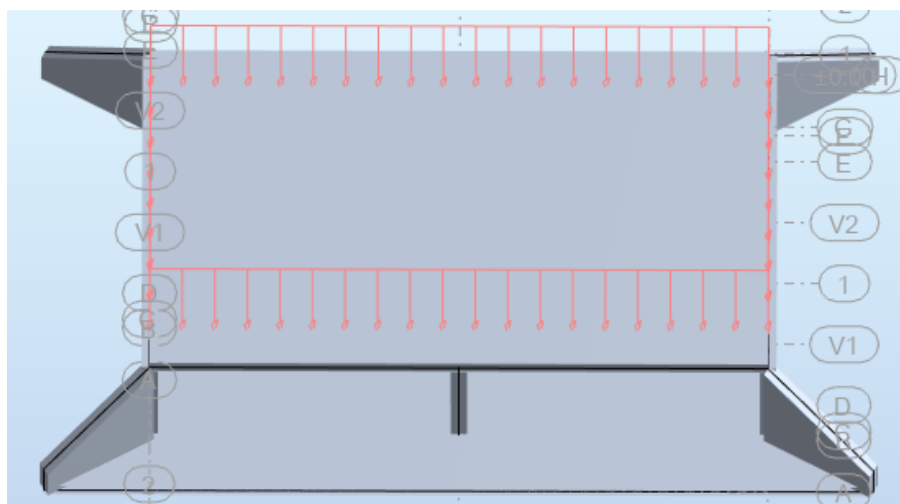


Figure 5-21 Chargement sous le système A(L).

- Charges roulantes : Elles sont définies comme suit :

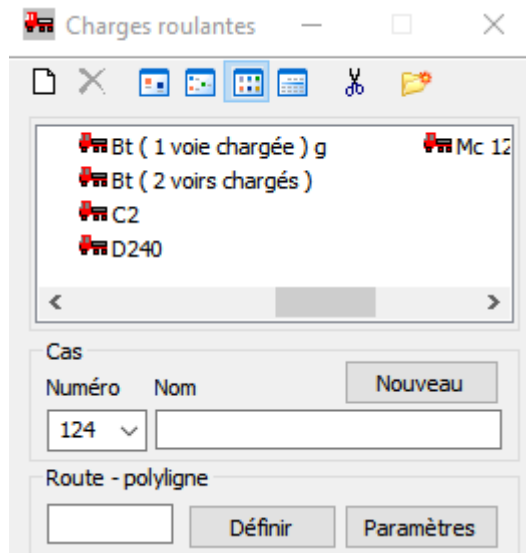


Figure 5-22 Définition des charges roulantes.

- Système de charge Bc :

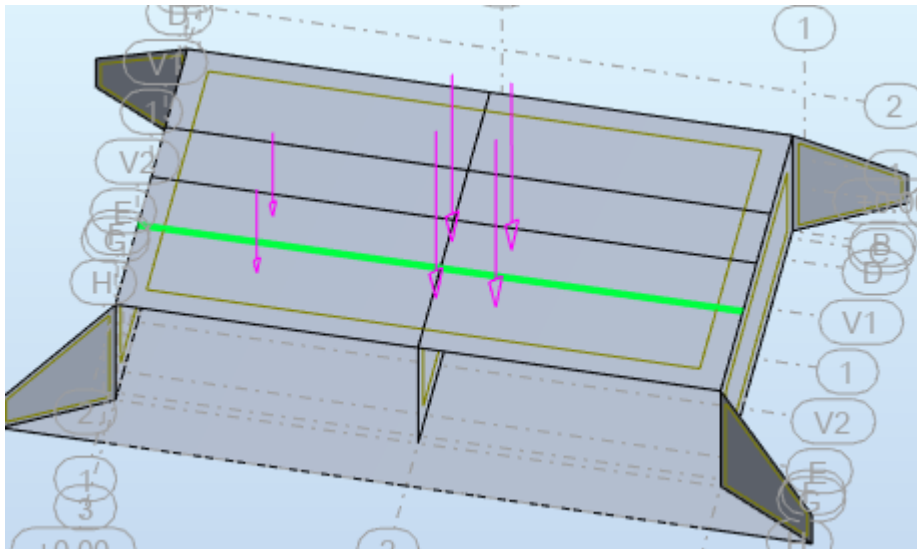


Figure 5-23 Chargement sous le système Bc.

- Système de charge M_{C120} :

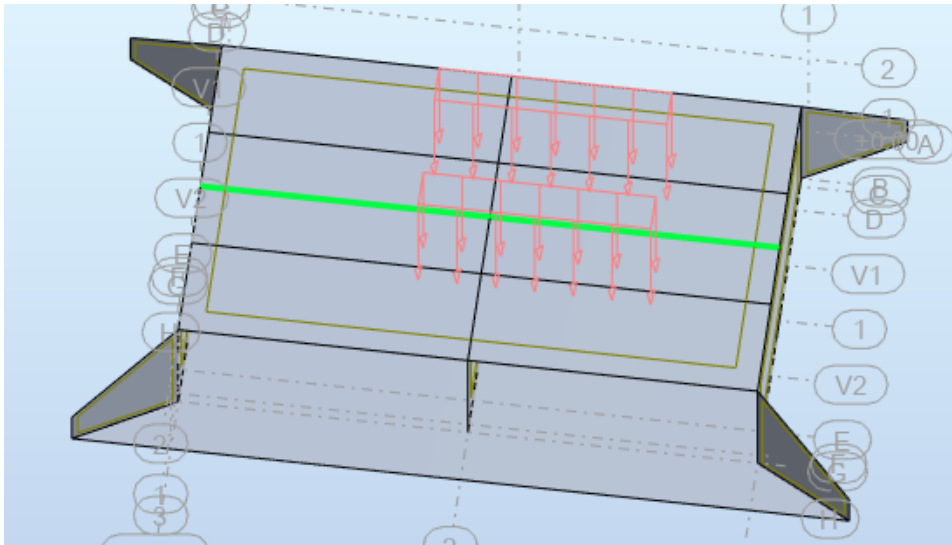


Figure 5-24 Chargement sous le système M_{C120} .

- Système de charge $D240$:

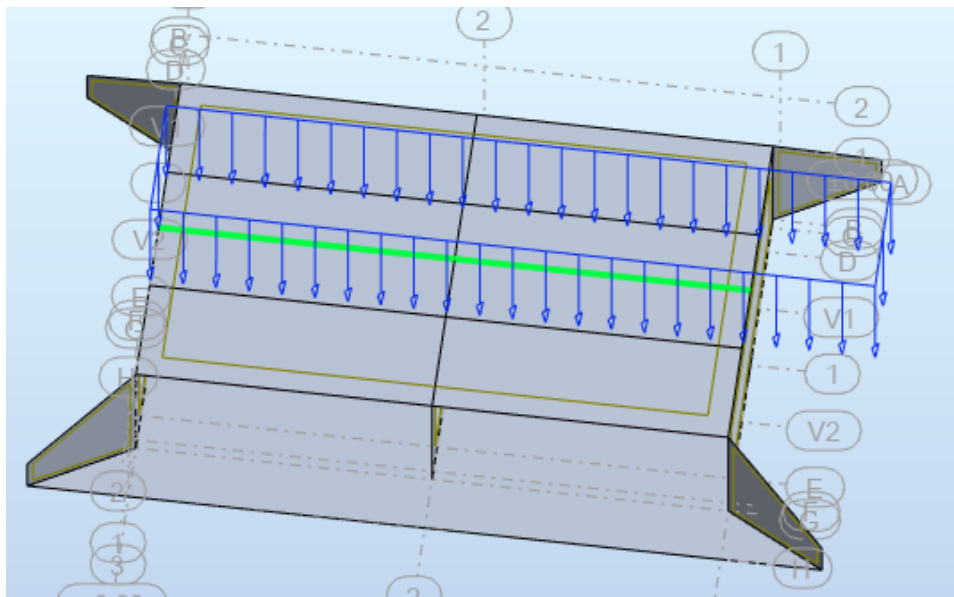


Figure 5-25 Chargement sous le système $D240$.

5.5 Conclusion :

Nous avons effectué une étape importante pour la mise en place du processus BIM et la collaboration au sein du projet. Grâce à l'utilisation de cet outil avancé, nous avons pu créer un modèle 3D précis du dalot, intégrant ses caractéristiques géométriques et structurelles.

Ce modèle 3D du dalot nous permet d'appliquer les principes du BIM, en facilitant la collaboration entre les différents acteurs du projet.

Grâce à cette modélisation, nous pouvons partager le modèle avec l'équipe et permettre à chacun de contribuer à sa vérification et à son analyse. Cela favorise une meilleure compréhension du dalot et permet d'identifier d'éventuels problèmes ou erreurs dès les premières phases du projet.

Chapitre 06 : Mode de travail BIM.

6.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous explorons l'interopérabilité des outils Autodesk utilisés dans notre projet routier, tels que InfraWorks, Civil 3D, Robot Structural Analysis et Navisworks manage. Nous examinons comment ces outils peuvent communiquer entre eux et échanger des données de manière transparente, garantissant ainsi un flux de travail fluide et une intégrité des données. Nous abordons également l'intégration de la plateforme collaborative BIMtrack, qui nous permet de gérer, visualiser et communiquer efficacement avec les membres de notre équipe et les parties prenantes du projet. Grâce à BIMtrack, nous pouvons centraliser les informations, suivre les problèmes, les modifications et collaborer de manière transparente sur les tâches liées à notre projet routier.

6.2 L'interopérabilité des outils Autodesk dans notre projet :

Dans ce qui suit nous exposons les différentes étapes que nous avons utilisées dans notre projet :

- Étude en avant-projet sommaire (APS) sous l'outil Infracworks :
 - Analyse des différentes variantes de conception,
 - Analyse de bassin versant.
- Étude en avant-projet détaillée (APD) sous l'outil Civil 3D :
 - Utilisation des données de l'étude en APS pour le développement du projet,
 - Calcul détaillé, production de plans d'exécution à l'aide de l'outil Civil 3D (Tracé en plan, Profil en long, profil en travers) et pièces écrites.
- Etude Hydrologique et hydraulique
- Modélisation de l'ouvrage sur Robot Structural Analysis :
 - Utilisation de Robot Structural Analysis pour modéliser et analyser la structure du dalot.
 - Évaluation des efforts, des déformations, de la résistance et de la stabilité de l'ouvrage.
- Insertion de l'ouvrage dans Civil 3D :
 - Insertion du modèle de l'ouvrage dalot en format 3D dans Civil 3D.

- Exportation du modèle d'ouvrage et du tracé routier au format IFC pour faciliter l'interopérabilité avec d'autres logiciels et plateformes BIM.

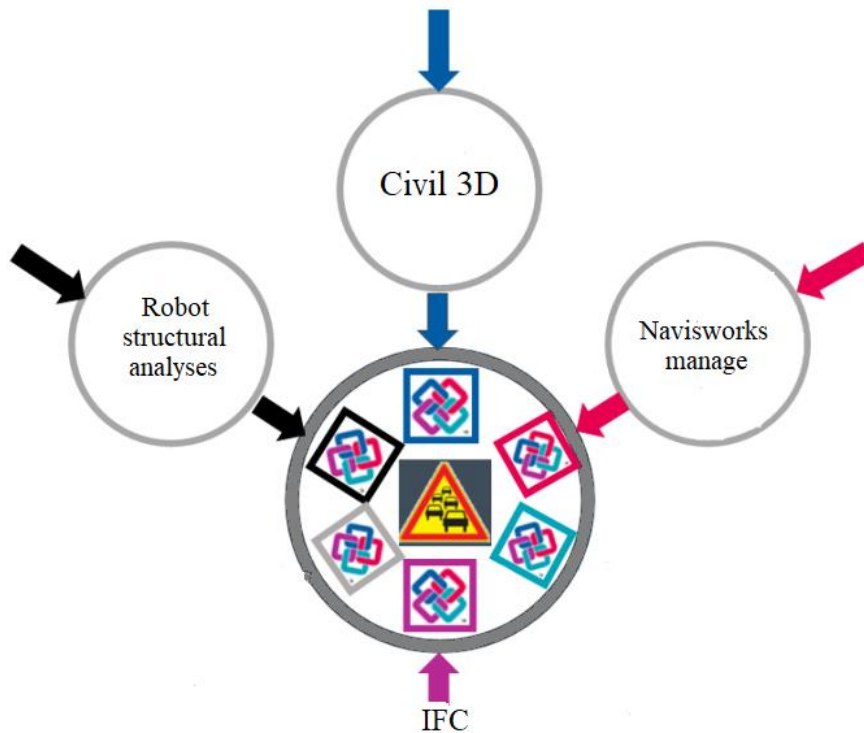


Figure 6-1 Interopérabilité entre les différents outils.

Nous avons utilisé l'interopérabilité entre les différents outils pour faciliter le flux de travail et l'échange de données. En particulier, nous avons mis en œuvre cette fonctionnalité entre Robot Structural Analysis, Civil 3D et Navisworks Manage.

- Tout d'abord, nous avons réalisé la modélisation de l'ouvrage sur Robot Structural Analysis et exporté le modèle au format DWG. Ensuite, nous avons inséré ce modèle dans Civil 3D, ce qui nous a permis de poursuivre nos travaux dans cet environnement. De plus, nous avons exporté le modèle dans le format IFC, un format de données standard pour la collaboration et l'échange entre différents logiciels BIM.
- Par la suite, nous avons intégré l'ouvrage dans Navisworks Manage afin de bénéficier d'une visualisation 3D avancée. Cette approche nous a permis d'examiner l'ouvrage sous différents angles et d'évaluer son intégration avec d'autres éléments du projet. Nous avons également ajouté le tracé routier dans Navisworks, ce qui a abouti à la création d'un modèle 3D complet de notre tracé routier.

- Navisworks Manage s'est révélé être un outil précieux pour la révision de projets, améliorant ainsi la coordination BIM. Grâce à sa capacité à combiner les données de conception et de construction dans un modèle 3D global, nous avons pu identifier et résoudre les problèmes de conflits et d'interférences avant même la phase de construction.
- Enfin, pour mettre en œuvre le processus BIM et assurer une gestion collaborative efficace du projet, nous avons utilisé l'outil BIMtrack. BIMtrack est une plateforme en ligne qui nous a permis de gérer, visualiser et suivre les problèmes et les modifications tout au long du cycle de vie du projet. Cette plateforme a grandement facilité la communication et la collaboration entre les différents acteurs du projet, favorisant ainsi une coordination optimale et une prise de décision éclairée.

En résumé, en utilisant l'interopérabilité entre les outils Autodesk tels que Robot Structural Analysis, Civil 3D et Navisworks Manage, ainsi que l'application de l'outil BIMtrack, nous avons pu optimiser le flux de travail, faciliter la coordination et améliorer la gestion globale de notre projet.

6.3 Mode de travail sur le BIM :

Dans le contexte du Building Information Modeling (BIM), le mode de travail sur BIM est basé sur la collaboration et la coordination entre les différentes parties prenantes d'un projet.

Il s'agit d'une approche intégrée qui vise à optimiser les processus de conception, de construction et de gestion des bâtiments et des infrastructures.

La principale caractéristique du mode de travail sur BIM est la centralisation des données et des informations liées au projet dans un modèle 3D partagé. Ce modèle, qui contient toutes les informations géométriques, techniques et temporelles, sert de référence commune pour toutes les disciplines et les phases du projet. La figure I.2 montre la distinction entre le processus traditionnel et l'Approche BIM.

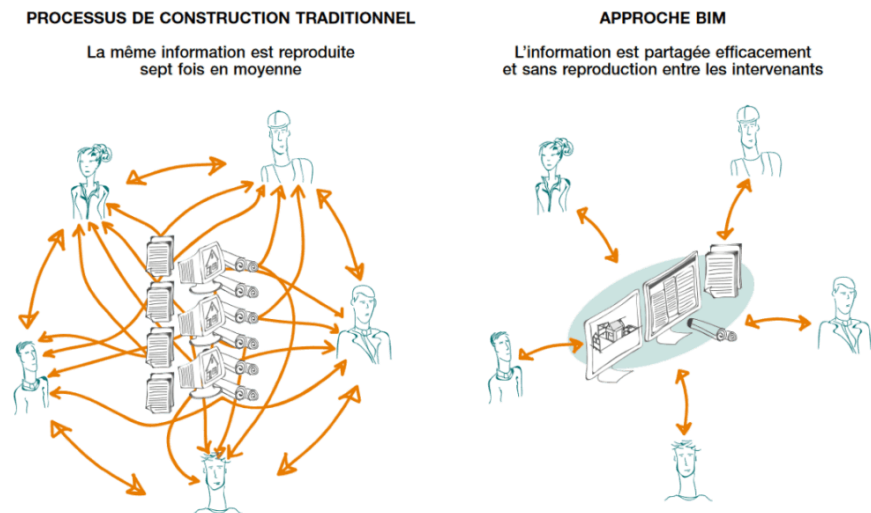


Figure 6-2 Différence entre le processus traditionnel et l'Approche BIM.

Grâce à cette centralisation des données, les équipes de projet peuvent travailler de manière collaborative en partageant et en échangeant des informations en temps réel. Cela favorise la communication et la coordination entre les différents acteurs du projet, tels que les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs et les gestionnaires.

Le mode de travail sur BIM permet également une meilleure visualisation et une compréhension plus approfondie du projet. Les modèles 3D permettent aux équipes de naviguer dans l'environnement virtuel, d'effectuer des analyses spatiales et de détecter les éventuels conflits ou problèmes de conception. Cela permet de prendre des décisions plus éclairées et d'anticiper les problèmes avant leur apparition sur le chantier.

En outre, le mode de travail sur BIM favorise l'intégration des différentes étapes du projet, de la conception à la construction et à la gestion. Les données et les informations générées à chaque étape du projet sont conservées et peuvent être réutilisées ultérieurement pour des opérations de maintenance et de gestion des patrimoines.

6.3.1 Les acteurs de notre projet :

Dans notre projet, plusieurs acteurs ont été impliqués pour assurer une conception et une réalisation réussies de la route et de l'ouvrage d'art (dalot). Les principaux acteurs inclus sont les suivants :

- Le topographe : Le topographe joue un rôle crucial dans la collecte de données sur le terrain, en effectuant des relevés précis des caractéristiques topographiques et en fournissant des informations essentielles pour l'étude de faisabilité et la conception de la route. Sa compétence lui permet d'acquérir des données géo-spatiales précises pour une modélisation et une simulation précise du projet.
- L'hydraulicien : L'hydraulicien est responsable de l'étude et de la conception du système hydraulique du projet, notamment la gestion des eaux pluviales, les réseaux de drainage et les ouvrages de gestion des eaux.
- Le concepteur du projet routier : joue un rôle clé dans la conception de la route elle-même. Il est chargé de déterminer les caractéristiques géométriques de la route.
- Le concepteur en ouvrage d'art : est responsable du pré-dimensionnement et de la modélisation de l'ouvrage d'art, en l'occurrence le dalot dans notre projet. Son expertise permet de garantir la résistance structurelle de l'ouvrage. La figure I.3 suivante expose l'intervention des différents acteurs.



Figure 6-3 Intervention des différents acteurs.

La collaboration entre ces différents acteurs est essentielle pour assurer l'intégration harmonieuse de leurs travaux dans le projet global. Grâce à l'approche BIM et à l'utilisation

d'outils tels que BIM Track, ces acteurs peuvent échanger des informations et collaborer efficacement, ce qui facilite la coordination et la prise de décision pour un projet routier réussi.

6.3.2 La plateforme collaboratif BIM track :

Dans notre projet, nous avons opté pour l'utilisation de l'extension et de la plateforme BIM Track pour faciliter le mode de travail BIM. Cette solution logicielle en ligne nous a permis de centraliser et partager efficacement les informations du projet. Grâce à l'intégration de BIM Track aux outils Autodesk, tels que Civil 3D et Navisworks, nous avons pu suivre et gérer les problèmes et les modifications liés au modèle 3D partagé.

L'interface conviviale de BIM Track, accessible via un navigateur web et une application mobile, nous a facilité la communication et la collaboration au sein de l'équipe de travail. BIM Track offre des fonctionnalités avancées qui améliorent la gestion du projet. Nous avons pu gérer les droits d'accès, suivre l'historique des modifications et générer des rapports, ce qui nous a permis de surveiller l'évolution du projet et de garantir la qualité des données partagées. La figure I.4 ci-après relate



Figure 6-4 Fonctionnalités de BIM track.

Grâce à BIM Track, la communication et la coordination entre les acteurs du projet ont été grandement améliorées. Nous avons pu collaborer de manière efficace grâce à une interface conviviale où nous pouvons visualiser et suivre les problèmes, les commentaires et les modifications.

La plateforme nous a également permis d'attribuer des tâches, de définir des échéances et de suivre l'avancement global du projet.

6.3.3 Configuration de serveur de collaboration :

Lors de la coordination et du partage des données dans un projet BIM, il est important de choisir entre un serveur global ou un serveur local. Un serveur global basé sur le cloud permet un stockage et un partage centralisé des données, offrant une flexibilité et une accessibilité en temps réel. En revanche, un serveur local offre un contrôle et une confidentialité accrue, mais l'accès peut être limité aux utilisateurs du réseau local. Le choix dépend des besoins spécifiques du projet et des contraintes de sécurité. La figure I.5 ci-dessous dévoile les serveurs globaux et locaux.

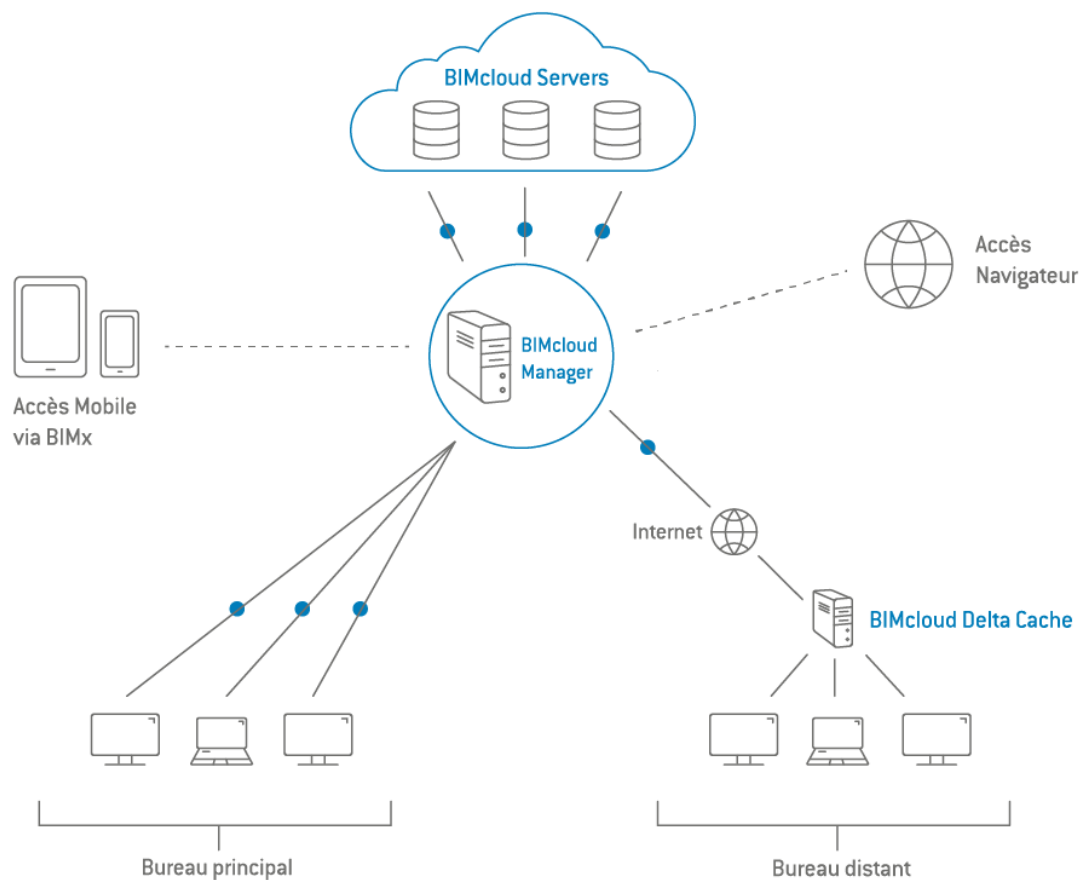


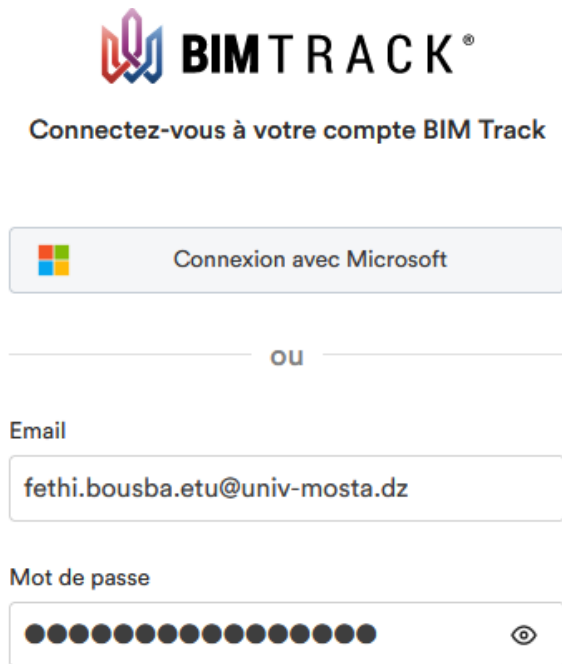
Figure 6-5: es serveurs globaux et locaux.

Dans notre projet, nous avons opté pour un serveur local dans notre laboratoire de faculté. Cette solution nous a permis de faciliter la coordination et le partage des données du projet entre les utilisateurs. Nous avons établi une connexion directe entre les machines via le serveur local, ce qui nous a permis de travailler de manière collaborative et d'accéder efficacement aux fichiers du projet.

6.3.4 La méthode de création de projet sur BIM track :

Nous exposons dans ce qui suit les étapes générales pour créer un projet dans l'espace de BIM track :

- 1) La première étape consiste à connecter sur BIM Track en utilisant notre identifiant Autodesk, comme montré sur la figure I.6 suivante :



BIM TRACK[®]

Connectez-vous à votre compte BIM Track

Connexion avec Microsoft

ou

Email

fethi.bousba.etu@univ-mosta.dz

Mot de passe

Figure 6-6: Connexion sur BIM track.

- 2) Après avoir ouvert une session sur la plateforme, nous procédons à la création d'un environnement de travail appelé "hub". Cet environnement nous permet d'organiser et de gérer nos projets, tout en favorisant une collaboration plus efficace entre les membres de l'équipe, la figure I.7 évoque la manière de créer un hub.



Figure 6-7 Création de nouveau Hub.

- 3) Dans cette étape, nous créons notre projet sur BIM track en ajoutant les informations clés telles que le nom, le numéro, le gabarit et les dates de début et de fin, La façon de créer un projet est dévoilée dans la figure I.8.

The screenshot shows a web form titled "Créer un projet" with a close button (X) in the top right corner. On the left, there is a placeholder image of a road with a dashed white line, and below it, the text "Taille max du fichier : 2MB". There are two buttons: "Remplacer l'image" and "Enlever l'image". The main form fields are:

- Nom du projet***: A text input field containing "projet de fin d'etude".
- Numéro de projet**: A text input field containing "03".
- Gabarit**: A dropdown menu with "Gabarit BIM Track" selected.
- Date de début**: A date picker showing "01/01/2023".
- Date de fin**: A date picker showing "23/09/2023".

At the bottom right, there are two buttons: "Annuler" (grey) and "Créer" (blue).

Figure 6-8 Création d'un projet.

- 4) Nous ajoutons le projet ciblé ou plusieurs projets dans le "hub" de la plateforme, comme montrée dans la figure I.9 ci-dessous. Cela nous permet de regrouper et de gérer tous les projets de manière centralisée.

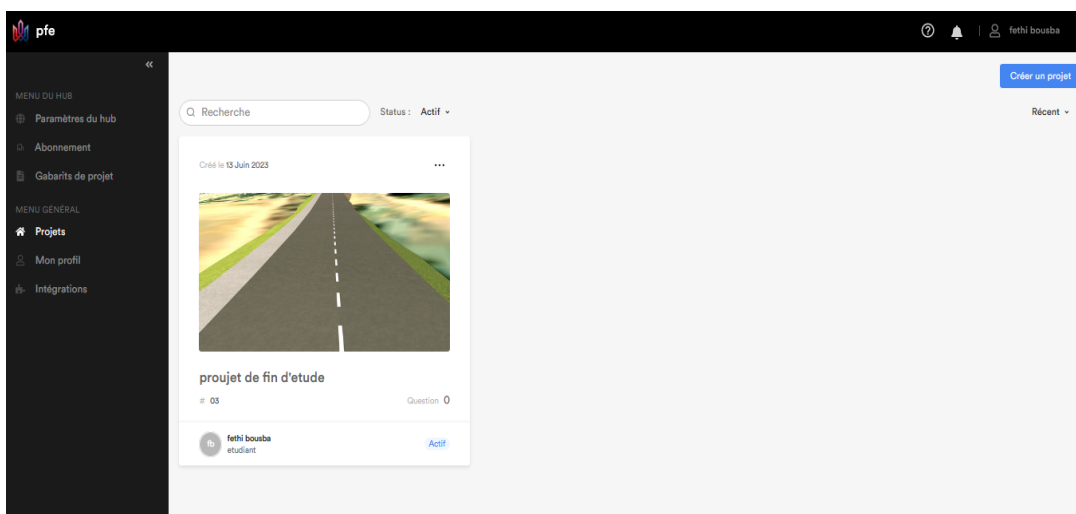
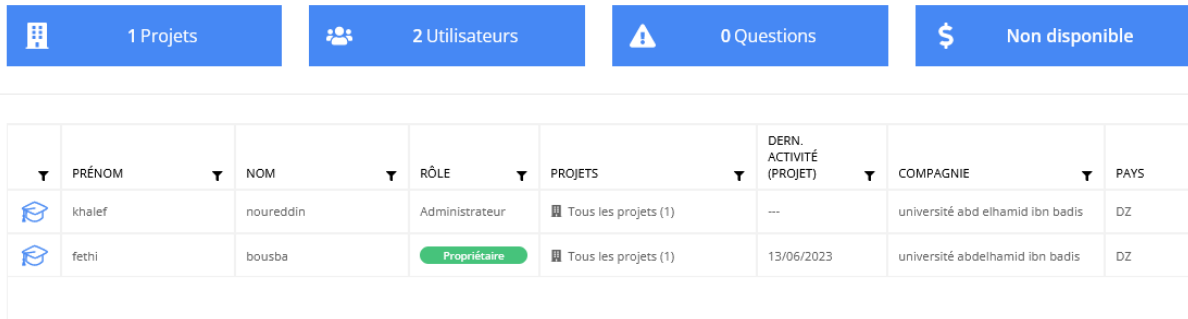


Figure 6-9 Interface de projets ciblés sur BIM track.

- 5) Dans le menu de paramétrage du hub, exposé dans la figure I.10. Nous attribuons des membres de l'équipe en utilisant leurs adresses e-mail et définissons les rôles de chaque utilisateur.



The screenshot shows a configuration menu with four blue buttons: '1 Projets', '2 Utilisateurs', '0 Questions', and 'Non disponible'. Below is a table with the following data:

	PRÉNOM	NOM	RÔLE	PROJETS	DERN. ACTIVITÉ (PROJET)	COMPAGNIE	PAYS
	khalef	noureddin	Administrateur	Tous les projets (1)	---	université abd elhamid ibn badis	DZ
	fethi	bousba	Propriétaire	Tous les projets (1)	13/06/2023	université abdelhamid ibn badis	DZ

Figure 6-10: Paramétrage du « hub ».

- 6) Nous procédons à la personnalisation des paramètres du projet étalée dans la figure I.11. Cela inclut la gestion de l'équipe, où nous pouvons assigner des membres à des zones spécifiques, définir des priorités, créer des catégories de tâches et définir des dates d'échéance. Cette personnalisation permet une meilleure organisation et un suivi précis des activités du projet.

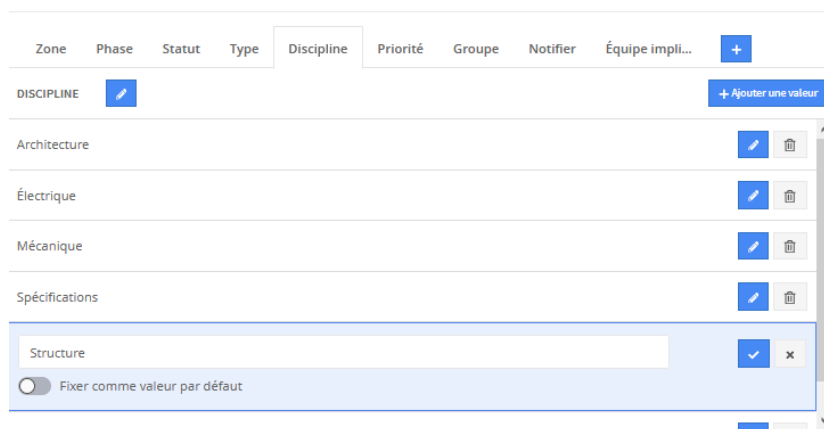


Figure 6-11 Personnalisation des paramètres.

- 7) Nous procédons à l'insertion des fichiers de projet au format IFC sur la plateforme, montrée dans la figure I.12. Nous importons notamment le modèle 3D du pont-cadre (dalot) que nous avons déjà modélisé sous l'outil Robot Structural Analysis. Cette étape permet d'intégrer le modèle 3D dans l'environnement de travail de BIM Track, facilitant ainsi la coordination et la visualisation du projet.



Aucun fichier IFC n'a été trouvé dans ce projet

+ Ajouter un fichier IFC

Figure 6-12 Insertion de fichier de pont.

- 8) Dans la huitième étape, nous utilisons la visionneuse Web de BIM Track pour visualiser le modèle 3D du dalot. Cette visionneuse nous permet de voir la maquette dans son contexte, d'afficher et de naviguer à travers le modèle, ainsi que de consulter les feuilles provenant de différents logiciels de conception BIM/CAD. Cela nous offre une meilleure compréhension visuelle du projet et facilite l'identification des problèmes et des questions liés à la modélisation du dalot. La présentation du dalot en 3D est présentée dans la figure I.13.

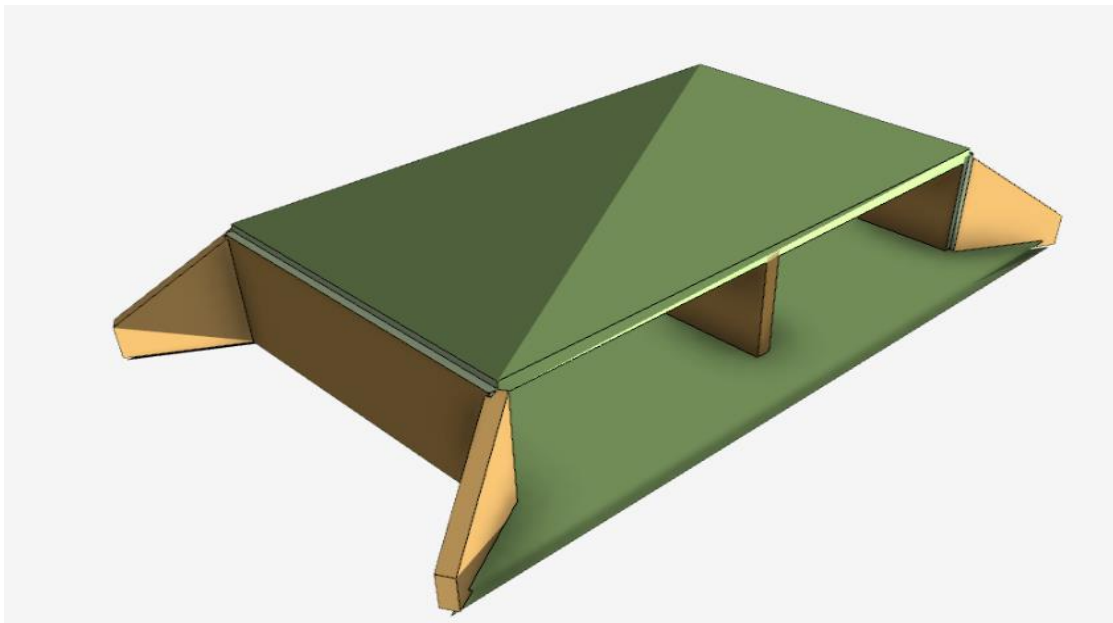


Figure 6-13 Visualisation du Dalot en 3D.

Après avoir suivi toutes ces étapes, nous avons créé un environnement de travail sur le BIM, permettant la collaboration entre les différents acteurs du projet. Dans la partie suivante, nous abordons la méthode de collaboration utilisée dans cet environnement qui facilite la communication, le partage d'informations et la coordination entre les membres de l'équipe.

6.3.5 La méthode de collaboration :

Dans ce qui suit nous divulguons les points clés de la méthode de collaboration dans l'environnement de travail sur le BIM :

- 1) Identification des sujets : Les sujets, tels que les commentaires, les questions, les problèmes et les collisions, peuvent être facilement identifiés dans toutes les solutions OpenBIM telles que Civil 3D, Revit...etc. De plus, il est possible de convertir les conflits et leurs résolutions à partir de logiciels tels que Solibri ou Navisworks.
- 2) Détail du sujet : Après avoir identifié le sujet, BIM Track permet de désigner un responsable pour sa résolution, de fixer une date limite, une priorité, un statut, et de notifier une équipe spécifique. Les sujets sont instantanément partagés avec les membres sélectionnés de l'équipe. Ces attributs de sujets améliorent la compréhension et la fiabilité du projet, responsabilisent les acteurs concernés et favorisent la production de données mesurables et pertinentes.
- 3) Partage du sujet : Si le contributeur chargé d'un sujet ne parvient pas à le résoudre seul, il peut ajouter des commentaires et le partager avec d'autres contributeurs jusqu'à sa résolution. Cette approche facilite la communication et garantit une traçabilité du traitement du sujet.
- 4) Traitement du sujet : Vous avez la possibilité de visualiser le sujet dans son contexte, directement depuis votre outil BIM à l'aide des outils Autodesk. Vous pouvez effectuer les modifications géométriques ou sémantiques nécessaires et mettre à jour son statut une fois résolu, rendant ainsi le sujet accessible à tous les contributeurs concernés.
- 5) Suivi de projet : Tous les contributeurs, qu'il s'agisse des maîtres d'œuvre, des entreprises ou du maître d'ouvrage, ainsi que toute personne souhaitant vérifier les performances du projet, ont accès aux sujets et participent à la coordination du projet. La visionneuse web de BIM Track permet à tous les acteurs du projet d'accéder aux informations pertinentes. Les indicateurs et les rapports fournis par BIM Track permettent de surveiller le bon déroulement du projet. Pour une traçabilité complète,

tant au niveau de l'historique des décisions que des actions sur chaque sujet et pour l'ensemble du projet, des outils de filtrage et de recherche multicritères performants sont à votre disposition.

- 6) Transformation : Avec BIM Track et ses filtres personnalisables, vous pouvez définir et suivre l'ordre du jour de vos réunions de coordination, rédiger facilement vos rapports de réunion et gagner en efficacité. De plus, vous pouvez prendre des notes sur des sujets spécifiques directement dans vos modèles, ce qui permet à chaque contributeur de savoir exactement ce qu'il doit réaliser et de le retrouver dans son outil BIM.
- 7) Depuis le bureau ou le chantier : Grâce à l'application mobile BIM Track, vous pouvez partager des informations importantes, gérer des tâches, attribuer et suivre des actions et des sujets, que vous soyez au bureau ou sur le chantier. L'application est compatible avec les téléphones mobiles iOS et Android, et fonctionne même lorsque vous n'avez pas accès à Internet.

6.4 Application :

- 1) La première étape consiste à visualiser le modèle sur la plateforme BIM Track afin de détecter les erreurs géométriques et constructives. A titre d'exemple nous évoquons une erreur

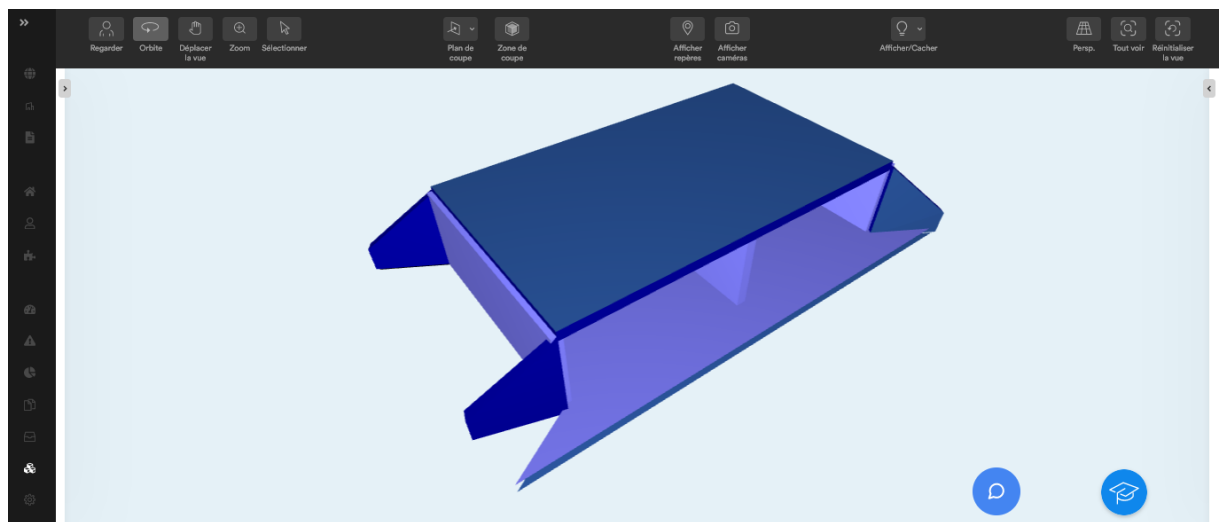


Figure 6-14 erreur de modélisation au niveau du mur en aile.

de modélisation le mur en aile mentionné sur la figure I.14.

2) Dans la deuxième étape, nous ouvrons le panneau des questions sur la plateforme BIM Track. Nous créons une question en sélectionnant l'option appropriée dans la liste déroulante, en incluant les détails de l'erreur de modélisation. Ensuite, nous saisissons le titre de la question et remplissons les autres champs pertinents tels que le statut, la description, la priorité, l'échéance et l'équipe impliquée. La figure I.15 illustre la façon de créer une question.

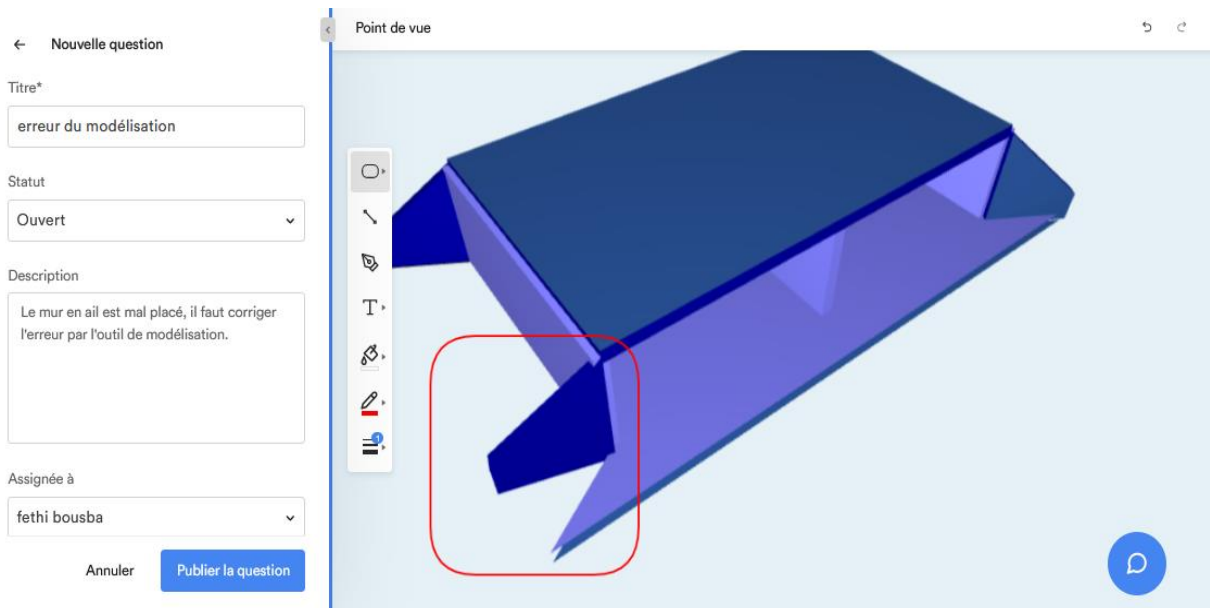


Figure 6-15 Création d'une question.

3) Dans la troisième étape, nous publions la question sur la plateforme en choisissant de la rendre accessible à toute l'équipe de travail ou en limitant l'accès à un groupe spécifique. Les personnes ayant accès à la question peuvent alors visualiser la maquette, ajouter des commentaires et des pièces jointes, contribuant ainsi à la résolution de la question. La figure I.16 ci-dessous évoque la manière de publier une question sur la plateforme BIMtrack

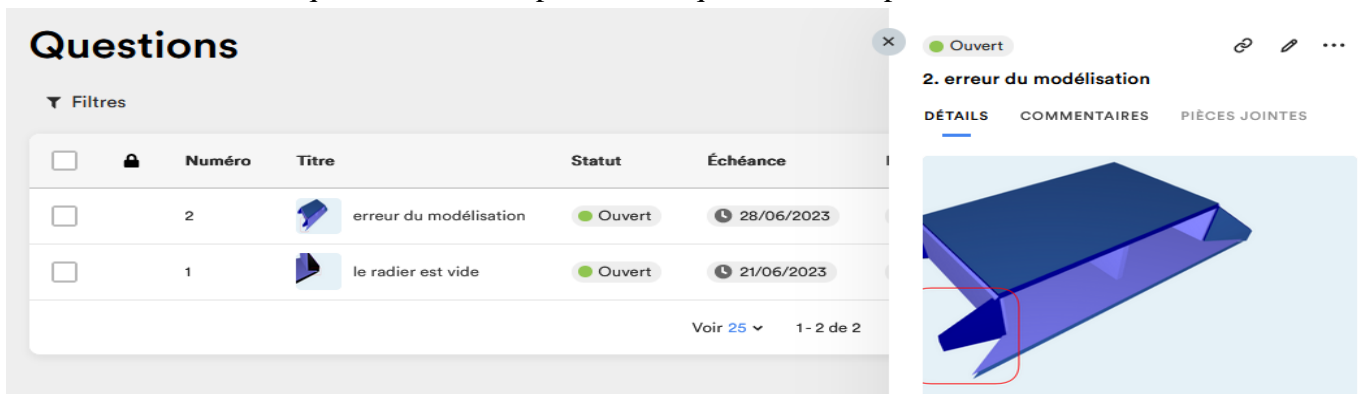


Figure 6-16 Publication d'une question sur la plateforme BIMtrack.

- 4) Dans la quatrième étape, nous téléchargeons le modèle contenant l'erreur identifiée, puis nous l'insérons dans l'outil Robot Structural Analysis. Nous procédons ensuite à la correction géométrique du mur en aile, en apportant les modifications nécessaires pour rectifier l'erreur. La façon de la résolution de l'erreur est mentionnée au niveau de la figure I.17.

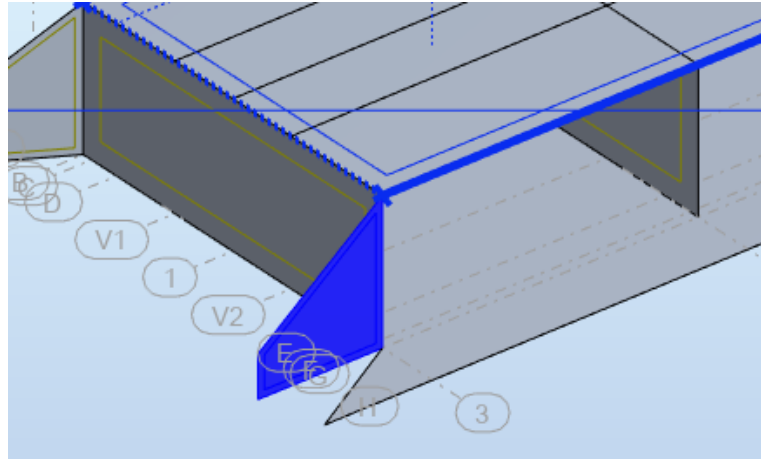


Figure 6-18 Modèle sur Robot structural avant la correction.

Nous corrigeons l'angle de rotation du mur en aile conformément aux normes de conception, ce qui résout le problème identifié. La figure I.18 divulgue le modèle après correction.

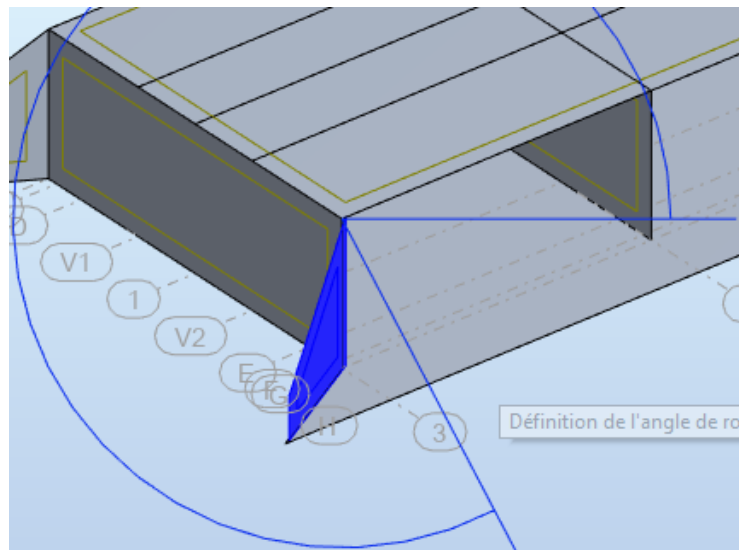


Figure 6-19 Modèle après la correction.

- 5) Dans la dernière étape, après traitement des questions et résolutions des erreurs, nous importons la maquette mise à jour (dalot) sur BIM Track. Le problème étant résolu, nous pouvons maintenant archiver la question qui signalait le problème initial. Ainsi, nous avons illustré un exemple simple de travail sur le BIM et de collaboration entre les parties prenantes dans un environnement virtuel, exposé dans la figure I.19 ci-après.

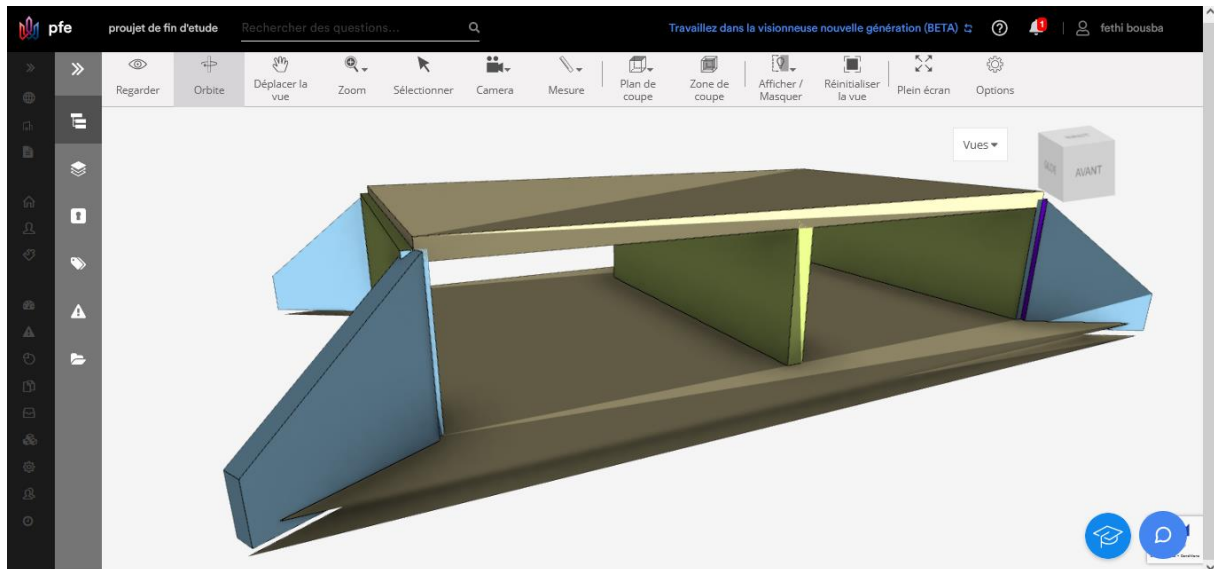


Figure 6-20 Visualisation du modèle final.

6.5 Conclusion :

Le travail sur le BIM et la collaboration au sein d'une équipe permet de faciliter la coordination, la communication et la résolution des problèmes dans un projet. Les outils tels que BIM Track offrent une plateforme centralisée pour visualiser, signaler et résoudre les erreurs, favorisant ainsi l'efficacité et la qualité des projets. La méthodologie de collaboration sur le BIM permet de rassembler les acteurs du projet, d'optimiser les échanges d'informations et d'améliorer la prise de décision, contribuant ainsi à la réussite globale du projet. En utilisant les fonctionnalités de suivi, de partage et d'archivage, il est possible de garantir une traçabilité et une continuité tout au long du cycle de vie du projet.

6.6 Conclusion générale.

Notre mémoire a été consacré à l'application de la technologie BIM dans un projet d'infrastructure. Nous avons parcouru un chemin passionnant pour créer un environnement de travail basé sur le BIM, en identifiant les acteurs clés du projet et en mettant en œuvre des étapes telles que l'étude préliminaire, la conception détaillée de la route et la modélisation du pont.

Grâce à la méthode collaborative offerte par les outils BIM, nous avons établi une communication fluide et efficace entre les différents acteurs du projet. Cela a permis d'améliorer considérablement la coordination entre les équipes de conception, favorisant une meilleure collaboration et une meilleure prise de décisions.

L'un des avantages les plus marquants du BIM est la réduction des erreurs et des conflits grâce à la détection précoce des collisions. En utilisant les fonctionnalités de vérification et de simulation, nous avons pu identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne se manifestent sur le terrain, ce qui a permis d'économiser du temps et des ressources précieuses.

La visualisation avancée des projets a également été un atout majeur. Grâce aux modèles 3D détaillés, nous avons pu mieux comprendre et analyser chaque aspect du projet, ce qui a facilité la prise de décisions éclairées et la communication avec les parties prenantes.

Enfin, l'intégration des données et des informations liées au projet a été une étape cruciale. En consolidant les informations dans un modèle centralisé, nous avons pu accéder rapidement aux données pertinentes et garantir leur cohérence tout au long du processus. Cela a contribué à une meilleure gestion du projet dans son ensemble.

En somme, notre mémoire met en évidence les nombreux avantages offerts par la technologie BIM dans le domaine de l'infrastructure. Nous sommes convaincus que l'amélioration de la coordination, la réduction des erreurs, la visualisation avancée et l'intégration des données sont autant de facteurs qui contribuent à une meilleure réalisation des projets.

Nous sommes convaincus que notre travail sera une source d'inspiration pour les étudiants, les encourageant à adopter la technologie BIM et à en tirer parti dans leurs projets futurs.

Bibliographie

- [1]:BIM MANAGER. (2008). Récupéré sur www.BIM-MANAGER.FR: <https://bim-manager.fr/pourquoi-le-bim-definition-du-bim/>
- [2]:(2017). Le BIM pour les infrastructures. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/10/C16IS0403_DTECITM_NoteBIM_Rapport_v1.pdf.
- [3]: Objectifs d'une maquette numérique BIM. .newis.ch. <https://www.newis.ch/maquette-numerique-bim/>.
- [4]:LE BIM (building information modeling)se decline en plusieurs niveaux. (2007). conception-ergonomique. <https://conception-ergonomique.com/niveaux-bim-building-information-modeling.html>.
- [5]:Niveaux BIM – de 0 à 6D. (2007). <https://revizto.com/>. <https://revizto.com/fr/bim-definition-signification-quest-ce-que-le-bim/>.
- [6]:datBIM. (2018, octobr 05). Récupéré sur <https://www.datbim.com/>: <https://www.datbim.com/2018/10/05/le-lod-definit-des-niveaux-de-detail-de-plus-en-plus-precis/>
- [7]:Le BIM pour les infrastructures. (2017). cerema.fr (p. 4). https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/10/C16IS0403_DTECITM_NoteBIM_Rapport_v1.pdf.
- [8]:BIM MANAGER. (2022, janvier 30). Récupéré sur <https://bim-manager.fr/>: <https://bim-manager.fr/bim-et-sig-pour-les-infrastructures-intelligentes/>
- [9]:optesys conseil. (2016). Récupéré sur www.optesys.fr: <https://www.optesys.fr/lactu-en-detail/bim.html>
- [10]:guide MIB. (s.d.). Récupéré sur [bim-bouygues-immobilier](http://bim-bouygues-immobilier.com): https://bim-bouygues-immobilier.gitbooks.io/guide-bim/content/03_FAQ/Ifc.html
- [11]:OUIZA, M. (2020/2021). CONTRIBUTION À L'IMPLANTATION DU BIM DANS LE CONTEXTE ALGERIEN .: TIZI OUZOU, UNIVERSITE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU, algerie:

- [12]:MIKLASZ, M. (2018, juillet). Étude et mise en œuvre d'une démarche BIM à Brest métropole. Étude et mise en oeuvre d'une démarche BIM à Brest . ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02093662/document>.
- [13]:ManifesteCinov. (2019). Récupéré sur <https://leblog.cinov.fr/>: <https://leblog.cinov.fr/wp-content/uploads/2020/02/ManifesteCinov-2019.pdf>
- [14]:cercle promodule. (2016, juin). Récupéré sur <https://www.deltadore.fr/>: <https://www.deltadore.fr/fichier/607>
- [15]:Convention BIM et Usages BIM pour un projet BTP. (2023, janvier 02). Récupéré sur <https://chef-de-projet.fr/>: <https://chef-de-projet.fr/convention-bim-et-usages-bim-pour-un-projet-btp/>
- [17,16]:bimbtp. (2017, décembre 25). Récupéré sur <https://bimbtp.com/>: <https://bimbtp.com/decouvrir-le-bim/le-bim-dans-le-monde/>
- [18]:linkbim. (2023, mars 06). Récupéré sur <https://linkbim.ch/>: <https://linkbim.ch/blog/le-bim-en-detail-definition-et-avantages-de-la-methode-de-conception-numerique/>
- [19]:cerema. (2017, septembre). Récupéré sur <https://www.cerema.fr/>: https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/10/C16IS0403_DTECITM_NoteBIM_Rapport_v1.pdf
- [20] :cerema. (2017, septembre). Récupéré sur <https://www.cerema.fr/>: https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/10/C16IS0403_DTECITM_NoteBIM_Rapport_v1.pdf
- [21]We use cookies on DJI websites. (2018, OCTOBR). Récupéré sur enterprise-insights.dji.com: <https://enterprise-insights.dji.com/fr/blog/photographie-aerienne-vs-photogrammetrie>
- [22] GCCD, C. d. (2021, juin 29). HAL OPEN SCIENCE.
- [23] tool-online. (2013). Récupéré sur tool-online.com: <https://tool-online.com/cours/topographie/chapitre0.php>
- [24] eduterre. (2005, MARS 24). Récupéré sur eduterre.ens-lyon.fr: <https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/scenarii/TP/tp2.htm>

- [25] eni-whitepaper-implementing-bim-for-infrastructure-a4-FR.pdf. (2015). Récupéré sur damassets.autodesk.net:
<https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/test-drive-bim-lp-q4/fr/eni-whitepaper-implementing-bim-for-infrastructure-a4-FR.p>
- [26] cegeplimoilou. (s.d.). Récupéré sur www.cegeplimoilou.ca:
<https://www.cegeplimoilou.ca/formations/perfectionnements/introduction-a-infraworks/?section=15555>
- [27] maintenancequebec. (s.d.). Récupéré sur www.maintenancequebec.com:
[://www.maintenancequebec.com/indicateurs-de-performance-de-maintenance-sen-servir/](http://www.maintenancequebec.com/indicateurs-de-performance-de-maintenance-sen-servir/)
- [28] lerefletdulac. (s.d.). Récupéré sur www.lerefletdulac.com:
[//www.lerefletdulac.com/publireportages/en-quoi-consiste-la-maintenance-industrielle-au-quebec/](http://www.lerefletdulac.com/publireportages/en-quoi-consiste-la-maintenance-industrielle-au-quebec/)
- [29] arkance. (s.d.). Récupéré sur www.arkance-systems.fr: <https://www.arkance-systems.fr/produit/civil-3d/>
- [30] (20223). geometrie-de-la-route.
- [31] (2023). geometrie-de-la-route.
- [32] blogspot. (2013, MARS). Récupéré sur genie-civile.blogspot.com: <https://genie-civile.blogspot.com/2013/03/le-profil-en-travers-dune-chaussee.html>
- [33] wikipedia. (s.d.). Récupéré sur fr.wikipedia.org:
https://fr.wikipedia.org/wiki/Bassin_versant
- [34] MOSTAGANEM, P. D. (2001). PROJET D'EXECUTION DU PETIT BARRAGE DE OUED ROUMANE WILAYA DE MOSTAGANEM. MOSTAGANEM: BET H P O.
- [35] PROJET D'EXECUTION DU PETIT BARRAGE DE OUED ROUMANE WILAYA DE MOSTAGANEM. (2001). PROJET D'EXECUTION DU PETIT BARRAGE DE OUED ROUMANE WILAYA DE MOSTAGANEM. MOSTAGANEM: BET H P O.
- [36] extia-ingenierie. (2023, mai). Récupéré sur www.extia-ingenierie.com: <https://www.extia-ingenierie.com/blog/comet-ingenierie-le-bim-dans-le-genie-civil-numerique>

