



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Amziane Mohammed Ramzi et Ledhem Abir Youssra

DOMAINE : Sciences et technologies

FILIERE : Travaux Publics

OPTION : Voies et Ouvrages d'art

Thème

**Etude comparative de logiciels de tracé
routier « COVADIS et Autopiste »
- Application sur un tronçon de route (RN 23) -**

Jury de soutenance :

Mme Kouidri Zohra
Mr Benguit Ammar
Mr Djaballah Ahmed
Mr Bederina Madani

MAA
MAA
MAA
Pr

Présidente
Examineur
Rapporteur
Co-rapporteur

Promotion : 2019 / 2020

Remercîment

Tout d'abord, nous tenons à remercier **Dieu**, le clément et le miséricordieux de nous avoir gardés en bonne santé et nous a donné le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

Nous souhaitons exprimer, tout particulièrement nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à nos encadreurs Mr Djaballah Ahmed et Mr Bederina Madani qui nous ont accordé leur confiance et accepté de diriger ce mémoire et qui n'ont jamais ménagé aucun effort pour suivre cette étude de près pendant toute la durée du travail.

Nous tenons à remercier vivement les membres du jury Mme Kouidri Zohra et Mr Benguit Ammar d'avoir accepté d'examiner notre travail ; nous souhaitons que nous profiterons de leurs critiques et remarques.

Nous remercions également tous les enseignants du département de Génie Civil de l'université de Laghouat pour tout ce qu'ils ont fait pour notre formation durant tout le cursus licence et master, et tout le personnel administratif du département.

Nous remercions Mr Mahboubi, ingénieur à la direction des travaux publics, pour ses aides en information et en documentation, qui nous ont été très bénéfiques pour le bon déroulement de notre projet, ainsi Mr Attafi Abdelhak, ingénieur également au bureau d'étude S.E.T - SETIF qui nous a donné un grand coup de main dans la partie « logiciels ».

Nous remercions tout ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce projet de fin d'étude.

DEDICACES

RIEN N'EST AUSSI BEAU À OFFRIR QUE LE FRUIT D'UN LABEUR QU'ON DÉDIE
DU

FOND DU CŒUR À CEUX QU'ON AIME ET QU'ON REMERCIE EN EXPRIMANT LA
GRATITUDE ET LA RECONNAISSANCE DURANT TOUTE NOTRE EXISTENCE.

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL :

À MA PLUS BELLE ÉTOILE QUI PUISSE EXISTER DANS L'UNIVERS MA
CHÈRE MÈRE.

À MON MEILLEUR AMI : MON PÈRE, LE PLUS BEAU ET BON DE TOUS LES
PÈRES" TAREK".

ET MA SŒUR : AFFAF.

À L'ÂME DE MON FRÈRE : MAHIEDINNE QUE DIEU AIT PITIÉ DE LUI.

À MA NIÈCE : LOUDJAINÉ

À TOUTE MA FAMILLE SANS EXCEPTION.

À TOUS MES AMIS.

À TOUS MES COLLÈGUES.

À MON AMI ET BINÔME " AMEZIANE MOHAMMED RAMZI ".

LEDHEM ABIR YOUSRA

إهداء

"الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات و بتوفيقه تتحقق المقاصد و الغايات"

إلى صاحب السيرة العطرة، و الفكر المستنير؛

إلى من علمني الإخلاص في عملي،

إلى مدرستي الأولى (والذي الحبيب كمال) أطال الله عمره...

إلى من وضع المولى -سبحانه وتعالى- الجنة تحت قدميها، ووقرها في كتابه الكريم،

(أمي الحبيبة نورة) أطال الله عمرها...

إلى أختي الحبيبتين شراز و دعاء...

إلى أخوي الحبيين الحسن و الحسين...

إلى كل عائلتي و أقاربي...

إلى كل من ساندني ولو بكلمة...

إلى زميلتي في هذا العمل (لدهم عبير يسرى)...

أهدي مذكرة تخرجي ...

أمزيان محمد رمزي



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : Travaux Publics

Option : Voies et Ouvrages d'art

Thème : Etude comparative de logiciels de tracé routier - Application sur un tronçon de route (RN 23) -

Présenté par : Ameziane Mohammed Ramzi et Ledhem Abir Youssra

Encadré par: Djaballah Ahmed et Bederina Madani

Résumé : De nos jours, l'informatique est devenue un véritable atout pour tous les domaines, et notamment pour l'ingénierie. Dans les routes, les logiciels de conception assistée par ordinateur sont nombreux, et pour un ingénieur, le choix de l'un de ces derniers est désormais indispensable. C'est dans cet objectif que ce travail a été entrepris. Il s'agit d'une étude comparative entre deux logiciels de conception de routes, et ce, par l'application des logiciels en cause (*COVADIS* et *Autopiste*) sur un tronçon de route (de la RN23). L'objectif de ce travail n'est pas seulement de faire l'étude d'une route, ou de se familiariser avec les logiciels concernés, mais aussi de savoir qui est le plus performant à l'égard des tracés routiers. En effet, nous avons essayé de répondre à la question 'quel logiciel utiliser pour concevoir un projet routier ?'.

D'après l'expérience acquise lors de cette étude, la réponse à cette question peut être comme suit :

- Pour l'étude d'une route, *Autopiste* est beaucoup plus utile, sa spécialisation dans les routes lui permet de guider le concepteur en lui proposant des commandes plus efficaces pour la tâche en cause (*COVADIS* fait ça mais d'une manière moins détaillée), mais il dépend toujours de *COVADIS*, car la première étape de conception ne s'effectue que par ce dernier (calcul du MNT) ;

- **COVADIS** est un logiciel plus général, il fait tout type d'étude de travaux publics (géométrie, terrassement, topographie, projets linéaires, etc.), mais quand il s'agit des routes, il est limité par rapport à **Autopiste**.

Par conséquent, le choix de logiciel se base essentiellement sur le type de projet à étudier et sur ce qu'on veut exactement faire comme études.

Mots clés : COVADIS, Autopiste, logiciel, route, profil en long, tracé en plan, profils en travers, cubatures.

ملخص مذكرة الماستر

الميدان: العلوم و التكنولوجيا

الشعبة: اشغال العمومية

التخصص: طرق و منشآت فنية VIVI

عنوان المذكرة: مقارنة بين برنامجين لتصميم الطرق (COVADIS و Autopiste)، من خلال تطبيق كلا البرنامجين على قطعة من الطريق الوطني 23 (RN23).

تقديم الطالب: أمزيان محمد رمزي و لدهم عبيد يسرى

الأستاذ المؤطر : جاب الله أحمد و بدرينة مداني

ملخص المذكرة : لقد أوضحت المعلوماتية، في عصرنا الحاضر، مكسبا حقيقياً في جميع المجالات، وبخاصة في مجال الهندسة. وفي مجال هندسة الطرق، فإن برامج التصميم بمساعدة الكمبيوتر متاحة بكثرة مما يحتم ضرورة قيام المهندس باختيار دقيق لتحديد البرنامج الأمثل للدراسة التي يستغل عليها. ولهذا الغرض، تحديداً، تم القيام بهذا العمل.

تتعلق الدراسة بعمل مقارنة بين برنامجين لتصميم الطرق (COVADIS و Autopiste)، وذلك من خلال تطبيق كلا البرنامجين على قطعة من الطريق الوطني 23 (RN23).

يجدر التنبيه إلى أن الهدف من هذا العمل لا يتعلق فقط بدراسة الطريق أو التمرن على استخدام البرنامجين ولكن لمعرفة الأمثل بينهما فيما يتعلق بتخطيطات الطرق.

وفي الواقع، لقد حاولنا الإجابة على السؤال: "ما هو البرنامج الذي ينبغي استخدامه لتصميم مشروع طريق ما؟".

يمكن القول إنه، وبناءً على الخبرة المكتسبة من هذه الدراسة، قد تكون الإجابة على هذا السؤال كما يلي:

- بالنسبة لدراسة الطريق، يعد برنامج Autopiste أكثر فائدة، حيث يتيح له تخصصه في الطرق توجيه المصمم من خلال تقديم أوامر تحكم أكثر فعالية للمهمة المطلوبة (يقوم COVADIS بهذا ولكن بطريقة أقل تفصيلاً)، لكنه، وبالرغم من هذه الميزة، لا يزال يعتمد على COVADIS، لأن خطوة التصميم الأولى يتم تنفيذها فقط بواسطة هذا الأخير (حساب MNT)؛

- أما فيما يتعلق بـ COVADIS فهو برنامج أعم ويمكنه القيام بجميع أنواع دراسات الأشغال العمومية (الهندسة، أشغال التهيئة، الطبوغرافيا، المشاريع الخطية، إلخ...)، ولكن عندما يتعلق الأمر بالطرق، فهو محدود الكفاءة مقارنةً بـ Autopiste.

وعليه نخلص إلى نتيجة مفادها أن اختيار البرنامج يعتمد أساساً على طبيعة المشروع المراد دراسته وما هي الدراسة التي نرغب في عملها تحديداً.

الكلمات المفتاحية: COVADIS، Autopiste، البرمجيات، طريق، مقطع طولي، تخطيط مسار الطريق، مقطع عرضي، التكعيب (حساب الحجم).

Sommaire

Remerciement	I
Dédicace	II
Résumé	IV
Liste de figures	XII
Listes des tableaux	XV
Introduction général	1

Chapitre I Généralités

Introduction	4
I.1 Histoire de l'évolution des voies de circulation	4
I.2 Les grandes étapes à suivre pour l'étude d'une route	5
I.3 Données de base de calcul	6
I.3.1 Levé topographique	6
I.3.2 Caractéristiques des véhicules « vitesse et poids »	6
I.3.3 Caractéristique géométrique des véhicules	7
I.3.4 Vitesse de référence et de base	7
I.3.5 Débit de circulation « Trafic »	8
I.4 Caractéristiques géométrique des routes	12
I.4.1 Largeur des voies de circulation	13
I.4.2 Distance d'arrêt	15
I.4.3 Distance de visibilité et de dépassement et manœuvre de dépassement	16
I.4.4 Tracé en plan	17
I.4.4.1 D'autres critères de choix d'un tracé en plan existant	18
I.4.4.2 Eléments du tracé en plan	18
I.4.4.3 Alignement droit	18
I.4.4.4 Règles à respecter à propos des alignement droits	18
I.4.4.5 Courbe horizontale	19
I.4.5 Profil en long	31
I.4.5.1 Règles à respecter en traçant la ligne rouge	32
I.4.5.2 Coordination tracé en plan profil en long	32
I.4.5.3 Eléments constituant le profil en long	33

I.4.5.4 Déclivités	33
I.4.5.5 Raccordement en profil en long	33
I.4.6 Profil en travers	38
I.4.6.1 Eléments du profil en travers	38
I.4.6.2 Profil en travers type	40
I.4.7 Différentes forme d'une chaussée	41
I.4.7.1 En alignement droit	41
I.4.7.2 En courbe	42
I.4.8 Dimensionnement et structure des chaussée souple	42
I.4.9 Construction des chaussée souple	43
I.4.10 Cubatures et mouvement des terrassements	45
I.4.10.1 Calcul des volumes	45
I.4.10.2 Méthode utilisé	46
I.4.10.3 Méthode classique	47
Conclusion	48

Chapitre II : Présentation du projet

II.1 Présentation de la wilaya de Laghouat	49
II.2 Présentation du projet	51
II.3 La route national RN23	51
II.4 Localisation du troisième lot du PK 351 au PK 337	53
II.5 Situation climatique de la région d'étude	53
II.5.1 Paramètres climatique	54
II.5.1.1 Précipitations	54
II.5.1.2 Pluviométrie mensuelle	55
II.5.1.3 Température	56
II.5.2 Réseau hydrographie	57
II.5.2.1 Le bassin d'Oued M'zi	58
II.6 Caractéristiques fondamentales du projet	59
II.6.1 Etude du trafic	59
II.6.2 Surlargeur	60

II.6.3	Distance d'arrêt	61
II.6.4	Distance de visibilité de dépassement et de manœuvre de dépassement	61
II.6.5	Tracé en plan	61
II.6.5.1	Alignement droits	61
II.6.5.2	Courbe horizontale	62
II.6.6	Profil en long	63
II.6.7	Profil en travers type	64
II.6.7.1	Dimensionnement du corps de chaussée	64
II.7	L'intérêt de l'informatique dans la vie quotidienne et en entreprise	65
II.7.1	L'intérêt de l'informatique sur l'ingénierie	65
II.8	Dessin et conception avant et après les DAO et CAO	67
II.9	Ce que le DAO/CAO a apporté à l'ingénierie	68
II.10	Quelques logiciel utilisée en travaux publics	68
II.10.1	Logiciel Covadis	68
II.10.1.1	Topographie	69
II.10.1.2	Dessin assisté	71
II.10.1.3	Cotation par étiquette	75
II.10.1.4	Cubatures et profils	77
II.10.1.5	Bordure / caniveau	78
II.10.1.6	Réseaux d'assainissement	79
II.10.2	Logiciel Autopiste	86
II.10.2.1	Logiciel simple et dédié	86
II.10.2.2	Conception plane	89
II.10.2.3	Conception longitudinale	92
II.10.2.4	Dévers et décapages	93
II.10.2.5	Listings et intégration du projet	96
Conclusion		99

Chapitre III : Application des logiciels

III.1	Définition et utilité	101
III.2	Méthodologie	101
III.3	Tracé en plan	103

III.4 Profil en long	107
III.5 Profil en travers type	109
III.6 Cubatures	112
III.7 Affichage	113
Conclusion	115
Conclusion Générale	116
References bibliographiques	119

Figures	Titre	Page
Chapitre I		
Fig I.1	Exemple d'un sentier	4
Fig I.2	Image illustrant le profile en travers de la première route romaine.....	5
Fig I.3	Exemple d'un levé topographique sur logiciel piste	6
Fig I.4	Gardes à assures en alignement droit	14
Fig I.5	Illustration d'une courbe de raccordement progressif	17
Fig I.6	Stabilité de véhicule face à la force centrifuge	20
Fig I.7	Visibilité en plan « route unidirectionnelle ».....	23
Fig I.8	Introduction progressive du dévers	25
Fig I.9	Courbe de raccordement parabole cubique	26
Fig I.10	Courbe de la clothoïde	27
Fig I.11	Courbe en S	27
Fig I.12	Courbe à sommet	28
Fig I.13	Courbe en C.....	29
Fig I.14	Courbe en Ove	29
Fig I.15	Courbe du profil en long	37
Fig I.16	Eléments du profil en travers	40
Fig I.17	Profil en travers type	41
Fig I.18	Profil en travers en alignement droit	42
Fig I.19	Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d' une charge roulante	43
Fig I.20	Différentes couche d'une chaussée souple	45
Fig I.21	Profil adopté pour profil en long.....	46
Chapitre II		
Fig II.1	Wilaya de Laghouat et sa division administrative.....	50
Fig II.2	Carte de localisation de la RN23 et la partie appartenant à la wilaya de Laghouat	53
Fig II.3	Lot N°03 et le tronçon concerné PK338 au PK 342.....	53
Fig II.4	Carte de réseau hydro climatologique de la région du projet	54
Fig II.5	Carte de précipitation en Algérie	55
Fig II.6	Courbes de températures : station de Laghouat (1990-2011).....	57
Fig II.7	Situation géographique de la RN23 par rapport au bassin versant d'Oued M'zi	58
Fig II.8	Des urbanistes avant l'invention d'Autocad	67
Fig II.9	Exemple de Géo Base	70
Fig II.10	Exemple de calcul des points par diverses méthode	70
Fig II.11	Changement de système de projection	71
Fig II.12	Modélisation 3d du projet.....	72

Fig II.13	Symboliques thématiques	73
Fig II.14	Propriétés de l'outils	74
Fig II.15	Création d'une étiquette	76
Fig II.16	Cotation de système de polyligne	77
Fig II.17	Cotation d'un réseau d'assainissement	77
Fig II.18	Calcul de cubatures	78
Fig II.19	Calcul et dessin de profils interactifs	78
Fig II.20	Modélisation bordure et caniveau	79
Fig II.21	Détermination des bassins versants	81
Fig II.22	Dessin d'un réseau	81
Fig II.23	Dimensionnement d'un collecteurs.....	82
Fig II.24	Tranchées types	84
Fig II.25	Calcul des fossés de transit ,des caniveaux et noues	84
Fig II.26	Devis Estimatif	85
Fig II.27	Vue 2d et 3d de projet	87
Fig II.28	Barre d'outils du profil en long	88
Fig II.29	Liste des tables	88
Fig II.30	L'associativité entre les différents éléments du projet	89
Fig II.31	Création de l'axe en plan	90
Fig II.32	Modification de l'axe en plan	90
Fig II.33	Choix de la méthode d'implantation des tabulations	91
Fig II.34	Gestion des tabulations secondaire.....	91
Fig II.35	La courbe projet	92
Fig II.36	Affectation des épaisseurs de décapage	94
Fig II.37	Calcul des dévers	94
Fig II.38	Optimisation des quantités de matériaux de reprofilage	95
Fig II.39	Visualisation des dévers	95
Fig II.40	Modification des dévers	96
Fig II.41	Détection des zones planes	97
Fig II.42	Modélisation 3d du projet	98
Fig II.43	Profil en travers	99
Chapitre III		
Fig III.1	Le module 'projet linéaire par profils type'.....	101
Fig III.2	Profil en travers type	110
Fig III.3	Segment à droite d'un profil en travers	110
Fig III.4	Segment à gauche d'un profil en travers	111

Fig III.5	Exemples illustrant le type d'affichage (des quantités des matériaux utilisés) d'Autopiste (a) ,de Covadis (b) et le profil en travers des deux logiciel (c)	114
-----------	---	-----

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Chapitre I		
Tableau I.1	Trafic moyen journaliser annuel (v/j)	9
Tableau I.2	Coefficient d'équivalence P selon l'environnement (Ei) du projet routier	10
Tableau I.3	Valeurs du K1	11
Tableau I.4	Valeurs du K2	11
Tableau I.5	Valeurs de la capacité théorique Cth	11
Tableau I.6	Valeurs des distances d'arrêt et de freinage (b40)	16
Tableau I.7	Valeurs des distances de visibilité de dépassement et de manœuvre de dépassement	17
Tableau I.8	Valeurs des coefficients de frottement	22
Tableau I.9	Valeurs du dévers max et min pour les catégories I-II...	22
Tableau I.10	Récapitulatif des rayons du tracé en plan	22
Tableau I.11	Longueur minimales des raccordement entre une droite et un cercle	31
Tableau I.12	Valeurs de I max selon B40	34
Chapitre II		
Tableau II.1	Tableau climatique de Laghouat « donnée 1980-2012 »	50
Tableau II.2	Cordonnées de la station pluviométrique étudiée.....	55
Tableau II.3	Précipitation moyennes mensuelle (1990-2011) « station de Laghouat ».....	56
Tableau II.4	Pluviométrie annuelles « station de Laghouat ».....	56
Tableau II.5	Température « station de Laghouat ».....	57
Tableau II.6	Humidité de l'aire « station de Laghouat » (1990-2011)	57
Tableau II.7	Synthèse des résultats	60
Tableau II.8	Différent rayons en plan	63
Tableau II.9	Synthèse des paramètres fondamentaux	63
Tableau II.10	Valeurs des différents rayon calculées et selon B40, en profil en long	64
Tableau II.11	Eléments du profil en travers	64
Tableau II.12	Corps de chaussée	65
Chapitre III		
Tableau III.1	Tracé en plan Covadis	103
Tableau III.2	Tracé en plan Autopiste	105
Tableau III.3	Profil en long Covadis.....	107
Tableau III.4	Profil en long Autopiste	108
Tableau III.5	Volume totaux des matériaux (Covadis).....	112
Tableau III.6	Volume totaux des matériaux (Autopiste).....	113

Introduction générale

Introduction

Une route est, par essence, un élément linéaire reliant deux points, l'origine et la destination. Cette définition d'un simple ruban bitumineux, ouvrage artificiel s'insérant plus ou moins harmonieusement dans le paysage, est cependant insuffisante. En effet, une route n'est finalement rien d'autre qu'un simple élément d'une organisation dense et beaucoup plus complexe, le réseau routier. Ce dernier est une véritable toile d'araignée s'étendant sur l'ensemble du territoire et garantissant en tout temps la circulation aisée de moyens de locomotion hétérogènes. Bien que la route ait sa face sombre (les impacts sur l'environnement humain naturel qu'elle génère, comme le bruit, la pollution atmosphérique ou les atteintes aux paysages), personne ne peut nier sa face lumineuse qui, quant à elle, agit comme un formidable vecteur d'échanges et de découvertes aux services de l'Homme. Elle lui permet de faire éclater de manière extraordinaire les limites de son cadre de vie !

Grâce à l'énorme importance de la route (constatée depuis des millénaires) dans la vie humaine, les ingénieurs ont toujours essayé, à travers les ères, de perfectionner leurs méthodes de concevoir et d'étudier les routes de sorte que ces méthodes soient plus efficaces, plus précises et surtout très rapides. Au début, les routes apparaissent aléatoirement par l'intermédiaire des allers-retours que font régulièrement les gens de l'époque (environ 9000 ans avant notre ère), elles s'appelaient 'des sentiers'. Certains, plus fréquentés, se transformeront presque naturellement, au fil des passages, en chemins. Ensuite, la roue avait été inventée et on a commencé à penser aux nouveaux moyens de transport, d'où vient la route, et à ce moment-là, les premières techniques de conception et de construction sont venues. (**Fig. I-2**) ! Et depuis, la conception des routes se faisait manuellement et prenait des mois, voire des années, jusqu'à ce que l'informatique s'est imposée dans la vie de l'homme.

Dans les années 1970, les premiers programmes de conception assistée par ordinateur 'CAO' étaient inventés, et les informaticiens (en collaboration avec les ingénieurs) ont commencé à se donner à fond dans le développement de ces programmes. Aujourd'hui, de nombreux logiciels de conception des projets linéaires (y compris les routes) ont été créés et, pour un ingénieur, le choix de l'un de ces derniers est désormais indispensable ! On peut citer entre autre :

- Mensura ;
- Civil 3d ;
- COVADIS ;
- Autopiste.

Introduction générale

L'un des sujets de projets de fin d'étude qui avaient été proposés et que nous avons immédiatement choisi était 'Etude comparative de logiciels de tracé routier'. Ce choix a été basé, non seulement sur l'importance du sujet (pour nous étant étudiants), mais aussi sur l'actualité de ce dernier. En effet, ce sujet va nous permettre de faire d'une pierre deux coups, premièrement maîtriser les logiciels concernés par l'étude, ce qui nous offrira par la suite plus d'opportunités d'embauches en ajoutant un plus à nos CVs (d'après les anciens ingénieurs dans le domaine des routes) et ensuite savoir lequel d'entre eux est le meilleur pour une éventuelle utilisation. Une autre raison nous a également conduits à opter pour ce choix, c'est qu'il est un sujet d'actualité qui n'a pas été traité auparavant. Ceci nous a permis, en fait, d'éviter les sujets qui se répètent (étude d'une route, étude d'un hangar, etc.).

Les deux logiciels en cause sont les plus utilisés en Algérie et en France, il s'agit de COVADIS et d'Autopiste (on aurait aimé prendre trois logiciels mais ce n'était pas possible à cause de la crise sanitaire qui a bouleversé tout le monde en cette période).

Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est de mettre en évidence les avantages ainsi que les inconvénients de chacun des deux logiciels et de déterminer, selon les cas, 'quel logiciel utiliser ? et pourquoi ?'. Ceci ne peut s'accomplir que par une double application sur un tronçon de route (il s'agit d'un tronçon de la RN23). Ces deux applications (l'une sur COVADIS et l'autre sur Autopiste) sur le même tronçon de route faciliteront la comparaison entre ces deux derniers.

Vu que le calcul automatique de tous ces logiciels se fait pratiquement de la même façon, on a préféré que l'étude se concentre beaucoup plus sur la performance des logiciels, c'est-à-dire :

- La manipulation ;
- La facilité ou la complexité d'utilisation ;
- Le nombre de commandes proposées pour la même tâche (le logiciel le plus détaillé) ;
- La spécialisation dans le domaine des routes ;
- L'affichage des résultats finaux ou le style des listings car c'est important pour la compréhension des résultats obtenus ;
- Et la facilité d'installation et la disponibilité dans le marché.

Problématique

Les ingénieurs de projets linéaires généralement et de projets routiers spécialement se trouvent souvent face à des multiples choix quant il s'agit d'une conception assistée par ordinateur, une question leur vient toujours à l'esprit avant même de commencer la conception ; cette question est 'quel logiciel choisir pour mon cas ? ou quel est le logiciel qui me sera utile le plus pour une telle ou telle étude ?'. En Algérie, cette question concerne d'habitude les deux logiciels concernés par la présente étude, qui sont COVADIS et Autopiste car ils sont les plus utilisés à cause de leur facile accessibilité.

On essayera, par la présente, de répondre aux questions précédentes selon l'expérience que l'on va avoir au fur et à mesure de cette étude.

Pour bien mener ce travail, un simple plan de travail sera suivi. Ce dernier est organisé en trois chapitres principaux :

- Le premier contient les étapes à suivre pour l'étude d'une route, les données de base de calcul (selon le règlement B40) et tout ce qu'il faut généralement, savoir sur une route.
- Ensuite, vient le deuxième chapitre qui, lui, donne une présentation générale du projet (climatologie de la région du tronçon à étudier, situation géologique, etc.) ainsi que les caractéristiques géométriques du projet qui se basent sur le « B40 » et qui doivent être respectées dans toutes les phases des applications.
- Enfin, et dans le chapitre 03, les résultats et les conclusions à propos de la comparaison seront présentés.

L'étude sera close par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats obtenus ayant pour but de répondre aux questions posées lors de la présentation de la problématique du travail.

Introduction

L'objectif de ce chapitre est, d'une part, d'apporter aux lecteurs les notions de base pour la conception des routes, et, d'autre part, de leur montrer les différentes caractéristiques « géographique, climatiques, géologiques, etc. » de la wilaya de Laghouat généralement et du projet à étudier particulièrement.

I.1 Histoire de l'évolution des voies de circulation

« Du sentier à la chaussée moderne, le chemin de l'évolution humaine... »

Les routes, depuis toujours, n'ont cessé de se développer, ce développement est une conséquence de la sédentarisation de l'homme, soit environ 9000ans avant notre ère. En effet, la sédentarisation, qui consiste à s'établir dans un habitat occupé en continu, modifie profondément la civilisation. Les habitats étant désormais figés dans l'environnement, les premiers sentiers apparaissent (Fig. I-1). Ils permettent d'emprunter régulièrement le même itinéraire pour se rendre d'un point à un autre. Certains, plus fréquentés, se transformeront presque naturellement, au fil des passages, en chemins.



Fig. I-1 : Exemple d'un sentier.

Ensuite, la roue a été inventée, cette invention fut donc l'amorce d'une véritable évolution des transports et de la communication. Une meilleure circulation des marchandises permet ainsi, d'accroître les échanges commerciaux, clé de voûte de développement et donc d'accroissement des richesses. Le besoin de disposer d'un réseau accessible aux nouveaux moyens

de transport, a poussé les gens de cette époque à faire le premier pas vers ce qui est meilleur, les routes.

Après tout ça, les premières techniques de construction sont venues en Crète en 2000ans avant Jésus-Christ. Constituée de dalles de grès assemblées par un mortier d'argile et de gypse, recouverte ensuite par des dalles de basalte, la route « romaine » reliant Cnossos à Crète (Fig. I-2) était même équipée d'aires d'arrêts, de bordures et même de trottoir !

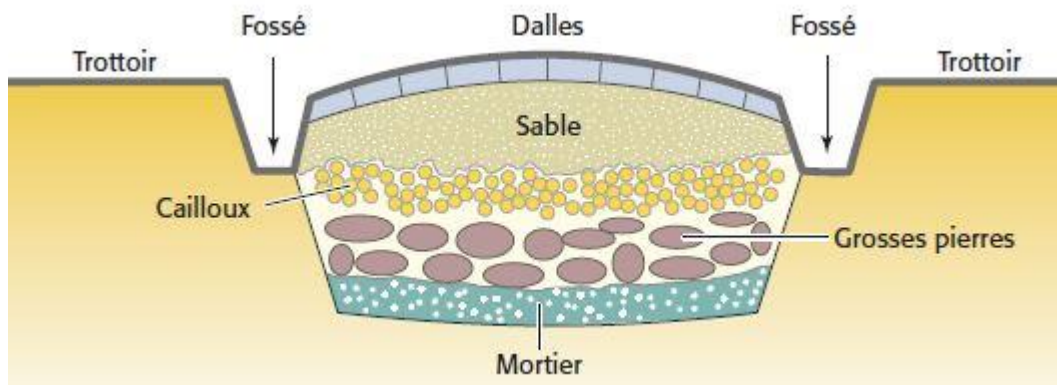


Fig. I-2 : Image illustrant le profil en travers de la première route romaine.

En effet, les routes modernes sont le fruit des grands progrès techniques, source de développement face à des besoins toujours croissants [1].

I.2 Les grandes étapes à suivre pour l'étude d'une route

Tous les projets routiers, avant d'être réalisés, passent, généralement, par les principales phases suivantes :

- La planification et la consultation publique « ça ne concerne pas les routes existantes », cette étape dure généralement de 6 à 12 mois ;
- L'étude de l'impact « sur l'environnement local » : cette étape est d'une durée d'un à 3 ans suivant les oppositions et difficultés rencontrées ;
- Dès que l'étape précédente est achevée, et que l'on a obtenu l'agrément écologique, on passe au choix du tracé « après la réalisation d'un levé détaillé », et, par la suite, à l'établissement des devis ;
- Les études, avant-projets et plans : quelle que soit la nature du projet « retraitement d'une chaussée, un asphaltage de route, une réfection ou la construction d'une nouvelle route, etc. », le bureau d'étude faisant l'étude doit obligatoirement passer par : [2]
 - L'étude d'opportunité ;
 - L'avant-projet préliminaire ;
 - L'avant-projet définitif ;

- Les plans et devis préliminaires et ;
 - Les plans et devis définitifs.
- La réalisation du projet de construction routière.

I.3 Données de base de calcul

Avant d'entamer la conception d'une route (les trois dernières phases de l'élément précédent), il est obligatoire de préparer les données suivantes :

I.3.1 Levé topographique

Il consiste à exécuter les mesures nécessaires afin de localiser (dans un système référentiel choisi) les éléments significatifs du terrain, en totalité ou en partie suivant les besoins ou la destination du levé. Ces éléments se classent en deux grandes familles : la planimétrie et l'altimétrie (Fig. I-3).

- Planimétrie : elle regroupe les voies de communication (routes, chemins, croisements, etc.), le parcellaire physique, l'hydrographie « rivières, ruisseaux, lacs, étangs, etc. » et l'occupation du sol, le bâti, les bois, les terrains de sport, les centres industriels, etc.
- Altimétrie : l'altimétrie comprend les points cotés et les courbes de niveau [3].

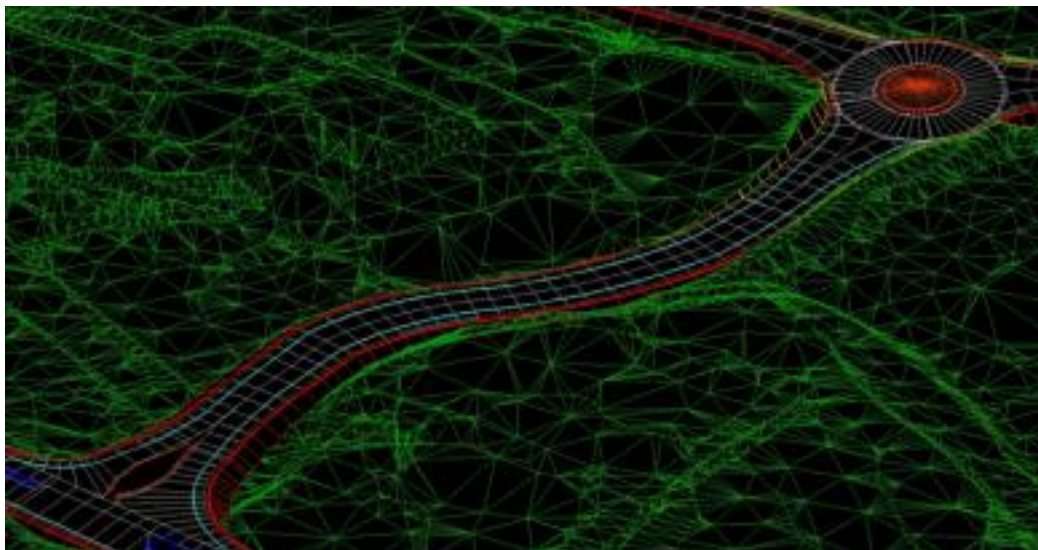


Fig. I-3 : Exemple d'un levé topographique sur Logiciel Piste.

I.3.2 Caractéristiques des véhicules « vitesse et poids »:

Les caractéristiques des véhicules admis à circuler sur les routes sont, dans chaque pays, étroitement réglementées. La Convention Internationale sur la Circulation Routière, signée à Genève le 19 septembre 1949, a posé à cet égard

des principes généraux, tout en laissant à chaque Etat le soin d'établir sa réglementation propre ; elle a prévu également que des accords spéciaux pourraient admettre sur certains itinéraires la circulation de véhicules de caractéristiques bien définies.

On distingue ainsi, les catégories suivantes [4]:

- Véhicules automobiles « automobiles à moteur thermique, véhicules à accumulateur et trolleybus » ; en France (par exemple), le poids total ne peut excéder :
 - 19 tonnes pour les véhicules à deux essieux ;
 - 26 tonnes pour les véhicules à trois essieux ;
 - 38 tonnes pour les véhicules articulés.
- Véhicules et appareils agricoles : des dérogations aux prescriptions concernant les dimensions sont accordées aux véhicules agricoles à traction mécanique ne pouvant dépasser la vitesse de 25 km/h (en France), et la charge supportée par la chaussée ne doit pas excéder 150 kg par centimètre de largeur de bandage.
- Cycles et motocycles.
- Piétons, Troupeaux.

I.3.3 Caractéristiques géométriques des véhicules :

Les paramètres géométriques déterminants sont la longueur, la largeur, la hauteur et les possibilités de braquage. Ils sont utilisés pour la définition des largeurs de voies et des gabarits, le calcul des sur-largeurs en courbe et des lacets sur les routes de montagne. Ils permettent en particulier de préciser l'épure de giration des véhicules.

D'après le règlement algérien B40, les trois catégories de véhicules types définis dans l'I.C.T.A.R. français sont [5] :

- Voiture particulière (V.P.) ;
- Camion routier (C.R.) ;
- Tracteur semi-remorque (T.S.R.)

I.3.4 Vitesse de référence et de base :

Une large partie de l'accidentologie est due à des erreurs d'appréciation, de la part du conducteur, de la difficulté à l'approche d'un virage. Cette erreur se

traduit le plus souvent par une vitesse inadaptée rendant le franchissement difficile, voire impossible.

Cette vitesse, nommée « de référence », est une vitesse prise pour établir un projet routier. Elle représente le critère principal déterminant les différents éléments géométriques d'un tracé routier (R_{min} par exemple). Le choix de cette vitesse ' V_r ' doit se faire en assurant la sécurité et le confort des usagers. Ce choix dépend alors de la topographie, du type de la route, du trafic « qui sera défini par la suite » et des conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

La vitesse de base, quant à elle, est la vitesse maximale avec laquelle un véhicule rapide circule, dans des conditions idéales, en toute sécurité du début jusqu'à la fin du projet [6].

I.3.5 Débit de circulation « Trafic » :

Puisque le trafic est l'élément principal déterminant le nombre de voie d'une route, tout comme il influence le nombre de couches constituant la chaussée et leurs épaisseurs, il est, donc, impératif d'évaluer et d'analyser précisément le trafic à supporter pour chaque étude d'infrastructure routière.

Qui dit 'Trafic', dit le nombre de véhicules « ou essieux » passant dans une section transversale de la route en unité de temps (souvent jour ou heure).

L'étude du trafic est très importante lors de l'étude d'un projet de transport (donc routier), car, elle nous permet de :

- Définir les caractéristiques techniques des différentes tranches de la route ;
- Estimer les coûts de fonctionnement des véhicules ;
- Estimer les coûts d'entretien du réseau routier ;
- Apprécier la valeur économique des projets routiers.

Si la route existe, nous avons à choisir entre les deux méthodes de comptage suivantes, et l'appliquer par la suite :

- Comptage manuel ;
- Comptage automatique.

Le comptage manuel se fait à l'aide d'un ou des agents compteurs.

Le comptage automatique, quant à lui, nécessite des dispositifs pouvant discriminer les poids légers des poids lourds [7].

Exemple d'étude de trafic (hors projet): « pour l'étude d'un tronçon autoroutier »

❖ **Les données de trafic :**

Selon les résultats de comptages et de prévisions effectués (2sens) nous avons :

- Le trafic journalier moyen annuel à l'année $j=1$, $TJMA_1=5524v/j$;
- Année de mise en service $j=6$ « après 5 ans » ;
- Pourcentage des poids lourd : $Z=35\%$;
- Taux d'accroissement annuel du trafic : $\tau=6\%$;
- Durée de vie 20ans.

❖ **Projection future du trafic :**

La formule qui donne le trafic journalier moyen à l'année de mise en service est :

$$TJMA_n = TJMA_0 (1+\tau)^n \dots\dots\dots (I-1)$$

Avec :

$TJMA_n$: trafic à l'année n (et $n \geq 0$) ;

$TJMA_0$: trafic à l'année de référence ($j=1$) ;

n : nombre d'années ;

τ : taux d'accroissement du trafic (%).

On a donc : $TJMA_0 = 5524v/j \rightarrow TJMA_n = TJMA_0 \times (1+\tau)^n$

$TJMA_5 = TJMA_0 \times (1+\tau)^5 = 5524 \times (1+0.06)^5 = \mathbf{7392 v/j}$

$TJMA_{20} = TJMA_5 \times (1+\tau)^{20} = 7392 \times (1+0.06)^{20} = \mathbf{23707 v/j}$

Les résultats sont représentés sur le tableau I-1 suivant :

Tableau I-1 : Trafic moyen journalier annuel (v/j).

Année	TJMA (v/j)
0	5524
5	7392
20	23707

❖ **Calcul du trafic équivalent :**

Il est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{T\acute{e}q} = [(1-Z) + Z.P] \times \mathbf{TJMA}_n \dots\dots\dots \mathbf{I-2)}$$

Avec :

Téq : trafic équivalent à l'année n en (uvp/jour) ;

Z : pourcentage du poids lourd ;

P : coefficient d'équivalence du poids lourd, il dépend de la nature de la route (Tableau I-2).

Tableau I-2 : Coefficient d'équivalence P selon l'environnement (E_i) du projet routier

Environnement	E1	E2	E3
Route à bonnes caractéristiques	2-3	4-6	8-12
Route étroite ou à visibilité réduite	3-6	6-12	16-24

Prenons le cas d'un terrain plat (E1) et d'une route de bonnes caractéristiques, notre coefficient P sera donc : **P = 3**.

Calculons le trafic équivalent :

$$\mathbf{T\acute{e}q(n=20)} = [(1-Z) + Z.P] \times \mathbf{TJMA}_{20} ;$$

$$\mathbf{T\acute{e}q(n=20)} = [(1-0.35) + 0.35 \times 3] \times 23707 = \mathbf{40302 \text{ (uvp/j)}}$$

Avec :

uvp : unité de véhicule particulier.

$$\text{Donc : } \mathbf{T\acute{e}q(n=20\text{ans}) = 40302 \text{ (uvp/j).}$$

❖ Débit de pointe horaire normal :

Le débit de pointe horaire normale est une traction du trafic effectif à l'horizon, il est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{Q = (1/n) \times T\acute{e}q}$$

Avec :

Q : débit de pointe horaire ;

n : nombre d'heures, généralement égal à 8 heures ; $1/8 = 0.12$;

Téq : trafic équivalent.

$$\mathbf{Q \text{ (prévisible à 20ans)} = 0.12 \times T\acute{e}q \text{ (n=20)}}$$

$$\mathbf{Q \text{ (prévisible à 20ans)} = 0.12 \times 40302 = 4836 \text{ (uvp/h)}}$$

→ $Q = 4836$ (uvp/h).

❖ **Débit horaire admissible :**

Il est donné par : $Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$ (I-3)

Avec :

K_1, K_2 : coefficients correcteurs (Tableaux I-3 et I-4) ;

C_{th} : capacité théorique.

Tableau I-3 : valeurs du K_1

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Pour notre cas (environnement E1) $K_1 = 0.75$.

Tableau I-4 : Valeurs du K_2

Environnement	Catégorie de la route				
	C1	C2	C3	C4	C5
E1	1	1	1	1	1
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Prenons le cas d'une route d'une catégorie C1, cela nous donne : $K_2 (C1, E1) = 1$.

Tirons la valeur de C_{th} du tableau suivant :

Tableau I-5 : Valeur de la capacité théorique C_{th} .

	Capacité théorique
Route à 2 voies chacune de 3.5 m	1500 à 2000
Route à 3 voies chacune de 3.5 m	2400 à 3200
Route à chaussé séparée	1500 à 1800

Prenons $C_{th} = 1800$ (uvp/h) correspondant à une route à (2 voie de 3.5m ou chaussée séparée)

$$Q_{adm} = K1. K2. Cth = 0.75 \times 1 \times 1800 = \mathbf{1350 \text{ (uvp/h)}}$$

$$Q_{adm} = \mathbf{1350 \text{ (uvp/h) par voie.}}$$

❖ **Détermination du nombre de voies :**

Pour un cas d'une autoroute « chaussée unidirectionnelle », le nombre de voie est donné par la formule suivante :

$$N = S \times (Q/Q_{adm}) \dots \dots \dots (I-4)$$

Avec:

S : coefficient dissymétrie « généralement $S = 2/3$ » ;

Q_{adm} : débit horaire admissible.

Puisqu'il s'agit d'une autoroutes (2 chaussées séparées)

$$Q = 4836 / 2 = 2418 \text{ uvp/h/sens}$$

$$N = (2/3) \times (2418/1350) = \mathbf{1.19} \rightarrow \mathbf{N > 1}$$

Donc : il s'agit d'une autoroute (2*2voies).

I.4 Caractéristiques géométriques des routes

La chaussée est définie géométriquement par le tracé de son axe en plan et en profil en long, et par le profil en travers. Ces caractéristiques sont déterminées, comme nous le verrons dans ce qui suit, de façon à correspondre à la meilleure solution du point de vue économique ; mais elles doivent, en tout état de cause, satisfaire certaines conditions minimales imposées par la nature et l'importance du trafic prévu.

Ces conditions correspondent, essentiellement, à deux cas bien distincts :

- Lorsque la circulation est peu intense, les véhicules circulent sans se gêner entre eux : les problèmes à résoudre sont ceux concernant des véhicules isolés : le véhicule rapide doit pouvoir circuler à grande vitesse, le véhicule long doit facilement s'inscrire dans les courbes et le véhicule lourd doit, sans aucun problème, gravir les déclivités ;
- Lorsque la circulation est intense, les mouvements des véhicules sont interdépendants : les problèmes sont relatifs au débit d'un courant

dense de véhicules : les caractéristiques de la chaussée doivent être déterminées de façon que le débit maximum prévu puisse être écoulé dans des conditions acceptables [4].

I.4.1 Largeur des voies de circulation

Le passage des véhicules longs nous oblige à faire varier cette largeur de façon que les véhicules puissent se déplacer en toute sécurité et confort, sa valeur en alignements droits n'est donc pas toujours la même en courbes.

➤ Alignement droit :

Les largeurs des véhicules sont respectivement de :

→ VP = 1.80m : véhicule particulier ;

→ CR = 2.50m : camion routier ;

→TSR = 2.50m : tracteur semi-remorque.

Sur les itinéraires principaux (de catégories 1 et 2), la largeur minimale d'une voie de circulation doit assurer (Fig. I-4):

- Une garde « g » de 0.5m vis-à-vis du poids lourd éventuel croisant le poids lourd considéré ;
- Une demi-garde « g/2 » de 0.25m par rapport aux bandes de rives ;
- Une garde de sécurité « p » supplémentaire de 0.5m par rapport à la paroi extérieure.

Pour les deux premières catégories (I et II), la largeur minimale de la voie est :

$$C = C_{pl} + \frac{g}{2} + \frac{g}{2} + p = C_{pl} + g + p \dots\dots\dots (I-5)$$

$$C = 2.50 + 0.50 + 0.50 = \mathbf{3.50m}$$

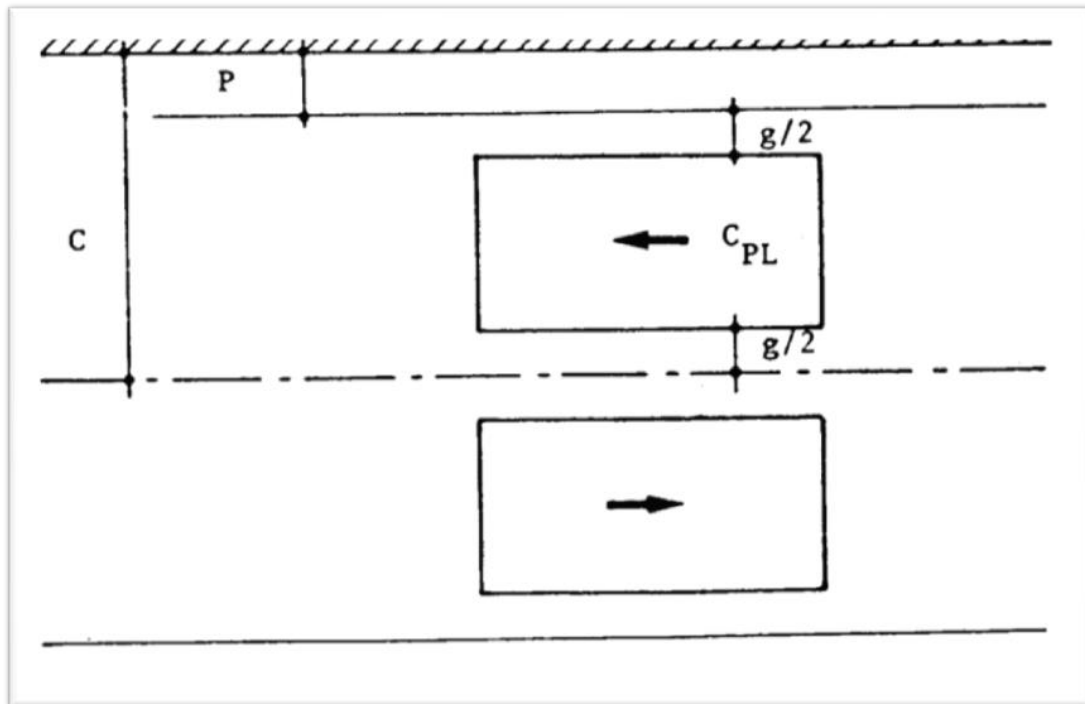


Fig. I-4 : Gardes à assurer en alignement droit.

Cette largeur pourra être réduite pour les catégories III, IV et V, selon que l'on désire assurer :

→ Le croisement d'un poids lourd et d'un véhicule léger :

$$2C = (C_{pl} + 0.25 + 0.25 + 0.50) + (C_{vl} + 0.30 + 0.30 + 0.60)$$

$$2C = (2.50 + 1.00) + (1.80 + 1.20) = 6.50\text{m}$$

Dans ce cas, on peut réduire la largeur C jusqu'à $C = 3.25\text{m}$.

→ Le croisement de 2 véhicules légers :

$$C = C_{vl} + 0.30 + 0.30 + 0.60 = 3.00\text{m}$$

Ps : - Pour la catégorie III, la largeur C dépend essentiellement de l'importance et de l'hétérogénéité du trafic : **trafic important** → $C = 3.50\text{m}$

Trafic d'une moindre importance → $C = 3.00\text{m}$

- Pour les catégories IV et V → $C = 3.00\text{m}$.

➤ En courbe :

Les largeurs C_0 balayées par les véhicules dans les courbes augmentent du fait du débordement avant de la carrosserie. La sur-largeur S (par voie de

circulation) en courbe de rayon inférieur à 200m sera simplement évaluée à partir de la formule suivante :

$$S = \frac{50}{R} \dots\dots\dots (I-6)$$

Et rajouter par la suite à C :

$$C_0 = C + n \times S \dots\dots\dots (I-7)$$

Avec : n : nombre de voies [5].

I.4.2 Distance d'arrêt

C'est la distance minimale nécessaire pour qu'un véhicule puisse s'arrêter devant un obstacle « freinage max ». Elle est donnée par les relations suivantes [5] :

Catégorie 1 et 2 « E1 et E2 » :

$$V \leq 80 \text{ km/h} \rightarrow d_1(m) = d_0(m) + \frac{2V}{3.6} \text{ km/h} = d_0(m) + 0.56V(\text{km/h}) \quad (I-8)$$

$$V > 80 \text{ km/h} \rightarrow d_1(m) = d_0(m) + \frac{1.8V}{3.6} \text{ km/h} = d_0(m) + 0.50V(\text{km/h}) \quad (I-9)$$

Catégorie 1 et 2 « E3 » :

$$d_1(m) = d_0(m) + \frac{1.8V}{3.6} \text{ km/h} = d_0(m) + 0.50V(\text{km/h}) \dots\dots\dots (I-10)$$

Catégorie 3,4 et 5 :

$$V \leq 60 \text{ km/h} \rightarrow d_1(m) = d_0(m) + \frac{2V}{3.6} \text{ km/h} = d_0(m) + 0.56V(\text{km/h}) \quad (I-11)$$

$$V > 60 \text{ km/h} \rightarrow d_1(m) = d_0(m) + \frac{1.8V}{3.6} \text{ km/h} = d_0(m) + 0.50V(\text{km/h}) \quad (I-12)$$

Avec d_0 : la distance de freinage,

et d_1 : la distance d'arrêt.

Le tableau ci-après récapitule les paramètres cinématiques et les distances d'arrêt en palier pour les différents niveaux de service :

Tableau I-6 : Valeurs des distances d'arrêt et de freinage (b40).

Catégories	V (km/h)	40	60	80	100	120
	Distances					
I-II	Coefficient F_L (v)	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33
	-de freinage d_0 (m)	14	34	65	111	175
	-d'arrêt d_1 (m)	36*	67*	109*	161	235
III-IV-V	Coefficient F_L (v)	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36
	-de freinage d_0 (m)	13	31	59	100	160
	-d'arrêt d_1 (m)	35	64	99	150	220

Réduit à 34m - 64m et 105 pour E3 avec :

F_L : coefficient de frottement longitudinal ;

I.4.3 Distance de visibilité de dépassement et manœuvre de dépassement

- La distance de visibilité de dépassement minimale 'dm' est la longueur parcourue pendant environ 15 secondes à la vitesse V et qui correspond à une manœuvre de dépassement qui dure 7 à 8 secondes. Elle sert au calcul du rayon en profil en long « que nous allons voir par la suite ».

$$\rightarrow dm(m) = 4V(km/h) \text{ pour } V \leq 90 (km/h)$$

$$\rightarrow dm(m) = 5V(km/h) \text{ pour } V = 140 (km/h)$$

-La distance de visibilité de dépassement normale 'dN' correspond à une manœuvre courante de dépassement qui dure 11 et 12 secondes. Elle est supérieure à 'dm' d'environ 50%.

$$\rightarrow dN(m) = 6V(km/h) \text{ pour } V \leq 90 (km/h)$$

$$\rightarrow dN(m) = 7V (km/h) \text{ pour } V = 140 (km/h)$$

Pour une vitesse « $90 < V < 140$ (km/h) », le multiplicateur de V sera interpolé.

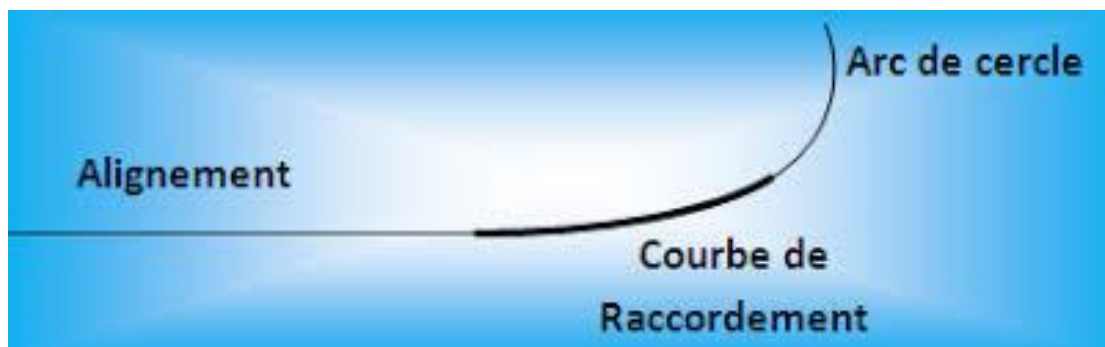
- la distance de visibilité de manœuvre de dépassement 'dMd' est la distance de visibilité permettant en sécurité au véhicule dépassant d'abandonner en freinant ou de poursuivre en accélérant une manœuvre de dépassement amorcé, dans l'hypothèse où le véhicule adverse freine. Elle sert au calcul des rayons minimaux en point haut pour les chaussées bidirectionnelles. Elle est évaluée en supposant qu'en début de manœuvre les véhicules dépassant et adverses roulent à la vitesse V, et que le véhicule dépassé roule à la vitesse V-15 (km/h) [5].

Valeurs retenues :**Tableau I-7** : Valeurs des distances de visibilité de dépassement et de manœuvre de dépassement.

	V(km/h)	40	60	80	100	120
Toutes catégories	Distance de visibilité de dépassement					
	-minimale d_m(m)	150	250	325	425	550
	-normale d_N(m)	250	350	500	625	800
	Distance de visibilité de manœuvre de dépassement d_{Md}(m)	70	120	200	300	425

I.4.4 Tracé en plan

Le tracé en plan est une projection de la route sur le plan horizontal. Il est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés, ou non, par des clothoïdes (courbe de raccordement progressif (Fig. I-5)) [8].

**Fig. I-5** : Illustration d'une courbe de raccordement progressif.

Pendant longtemps, le tracé rectiligne a été considéré comme le meilleur, parce qu'il est le plus court. Actuellement, un tracé légèrement infléchi est généralement préféré, pour deux raisons : d'une part les très longs alignements sont favorables à l'éblouissement par les phares et créent chez le conducteur une certaine torpeur ; d'autre part, la recherche d'une harmonie géométrique entre la route et le paysage, s'accommode mal d'un tracé strictement rectiligne.

On a donc tendance à remplacer les grandes lignes droites par une succession d'alignements courts et des courbes. Il s'agit naturellement de courbes de très grands rayons (plusieurs milliers de mètres), qui n'introduisent pas d'accélération centrifuge notable et qui n'allongent pas sensiblement le trajet [4].

I.4.4.1 D'autres critères de choix d'un tracé en plan existant, tels que :

- Eviter de passer sur les terrains agricoles, si possibles ;
- Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum possible la construction des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques ; si on n'a pas le choix, et l'ouvrage d'art est imposé, on essaie de les franchir perpendiculairement ;
- S'adapter au maximum avec le terrain naturel ;
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet ;
- Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau ;
- Respecter la longueur minimale des alignements droits, si c'est possible ;
- Se raccorder sur les réseaux existants ;
- Il est recommandé que les alignements représentent 60% au plus de la longueur totale du trajet ;
- En présence des lignes électriques aérienne, prévoir une hauteur minimale de 10m ;
- Eviter au max les propriétés privées [9].

I.4.4.2 Eléments du tracé en plan

Un tracé en plan est constitué d'alignements droits et de courbes horizontales que nous allons voir dans ce qui suit :

I.4.4.3. Alignement droit

Généralement, il n'y a pas de problème, sauf qu'il faut éviter les alignements droits très longs si le terrain naturel est régulier. Il faut donc prévoir entre 20 et 40% du tracé sous forme de virages de grands rayons. Les problèmes pouvant se poser si l'alignement est très long :

- La non concentration et la monotonie ;
- L'éblouissement des phares « pendant la nuit » ;
- Le soleil du matin et de l'après-midi.

La longueur minimale est celle correspondant à un chemin parcouru durant un temps d'adaptation(t). Elle dépend de :

- La vitesse de base, plus précisément de la durée du parcours rectiligne ;
- Des sinuosités précédant et suivant l'alignement ;
- Du rayon de courbure de ces sinuosités [7].

I.4.4.4 Règles à respecter à propos des alignements droits :

Une longueur minimale d'alignement L_{\min} devra séparer deux courbes circulaires de même sens (pour assurer un min de confort), cette longueur correspond à la distance parcourue pendant cinq (5) secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon des deux arcs de cercle.

$$L_{\min} = 5 \times \frac{V_b}{3.6} \quad \text{..... (I-13)}$$

V_b : vitesse de base en **km/h**.

Une longueur maximale L_{\max} est prise égale à la distance parcourue pendant soixante (60) secondes à la vitesse V_b .

$$L_{\max} = 60 \times \frac{V_b}{3.6} [10] \quad \text{..... (I-14)}$$

I.4.4.5 Courbe horizontale

Les éléments influençant sur le choix du rayon R des courbures sont :

- 1) La stabilité : sous la sollicitation centrifuge, des véhicules circulent à grande vitesse ;
- 2) La visibilité dans les tranchées en courbe ;
- 3) L'inscription de véhicules longs dans les courbures de faible rayon (la Surlargeur S dont on a parlé précédemment), pour les courbes ayant un $R < 200\text{m}$.

I.4.4.5.1. Stabilité de véhicule :

Lorsqu'une automobile circule dans un virage de rayon R, elle subira l'effet d'une force dite « force centrifuge (F_c) » tendant à la déstabiliser, il est donc nécessaire d'incliner la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage afin de s'opposer à cette force. Cette inclinaison 'i' sera le dévers de la chaussée. La force centrifuge a pour expression :

$$F_c = \frac{P}{g} \left(\frac{v^2}{R} - i \right) \quad \text{..... (I-15)}$$

La stabilité du véhicule n'est assurée que si les réactions transversales « $\vec{F}_x + \vec{F}_f$ » peuvent s'opposer à cette sollicitation (P_x est composante tangentielle du poids du véhicule et F_f est la force de frottement) (Fig. I-6).

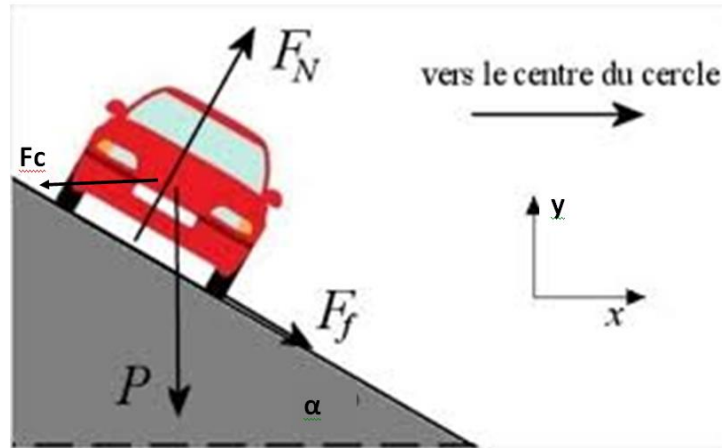


Fig. I-6 : Stabilité de véhicule face à la force centrifuge.

$$Px + Ff \geq Fc$$

D'où :

$$R \geq \frac{v^2}{g(f+i)} \text{ Avec } v \text{ en m/s}$$

Où :

$$R \geq \frac{v^2}{130(f+i)} \text{ Avec } V \text{ en km/h [4].} \dots\dots\dots(I-16)$$

Selon le règlement B40 :

$$R \geq \frac{v^2}{127(f+i)} \text{ Avec } V \text{ en km/h [5].} \dots\dots\dots (I-17)$$

Quatre rayons « chacun a un dévers associé à lui » sont déduits de cette formule. Ces rayons sont les suivants :

1) Rayon minimal absolu « $RHm = R(Vr, d \text{ max})$:

Les conditions les plus sévères sont évidemment obtenues pour le rayon minimum en plan parcouru, par définition, à la vitesse de référence Vr . Le dévers associé au rayon minimum absolu RHm est le dévers maximum possible « $dmax = 7\%$ selon le b40 ». Pour une catégorie donnée, le RHm en plan a pour expression :

$$RHm = \frac{Vr^2}{127[ft+dmax]} \dots\dots\dots(I-18)$$

ft : coefficient de frottement transversal.

Ainsi pour chaque V_r , on définit un couple (R, d) .

Au rayon minimal absolu, l'accélération centrifuge est entièrement compensée par le dévers d_{max} et la déformation maximale admissible de la suspension et des pneus du véhicule.

2) Rayon minimal normal RHN :

Il est, par définition, le rayon minimal absolu relatif à une vitesse supérieure de 20 km/h à la vitesse de référence.

$$RHN = \frac{(V_r+20)^2}{127[ft+d_{max}]} \dots\dots\dots (I-19)$$

Au rayon minimal normal, l'accélération centrifuge est partiellement compensée par le dévers et la déformation de la suspension et des pneus des véhicules.

3) Rayon au dévers minimal (d_{min}) RHd :

Le rayon au dévers minimal est le rayon au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage, et tel que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_r soit équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

$$RHd = \frac{V_r^2}{127 \times 2d_{min}} \dots\dots\dots (I-20)$$

L'accélération centrifuge résiduelle acceptée dans ces conditions est égale à d_{min} .

4) Rayon minimal non déversé ($-d_{min}$) $RHnd$:

Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toit et le dévers est négatif par l'un des sens de circulation « $-d_{min}$ » ; le rayon minimum qui permet cette disposition est bien le $RHnd$.

$$RHm = \frac{V_r^2}{127[ft-d_{min}]} \dots\dots\dots (I-21)$$

5) Valeurs retenues pour les rayons et dévers :

Dans les tableaux suivants, on trouve les différentes valeurs du coefficient de frottement transversal « ft », les valeurs des dévers (min et max) et les valeurs

des rayons « RHm, RHN, RHd et RHnd » correspondant aux deux premières catégories.

Tableau (I-8) : Valeurs des coefficients de frottement [5].

V Catégories	40	60	80	100	120
I-II	0.20	0.16	0.13	0.11	0.10
III-IV-V	0.22	0.18	0.15	0.125	0.11

Tableau (I-9) : Valeurs du dévers max et min pour les catégories I-II [5].

Environnement Catégories	Facile	Moyen	Difficile
Catégorie I-II			
-dévers minimum	2.5%	2.5%	2.5%
-dévers maximum	7%	7%	7%

Tableau (I-10) : Récapitulatif des rayons du tracé en plan [5].

Rayon	Symbole d(%)	Env.			Env.		
		E1			E2		
Catégorie I-II	Vr	120	100	80	100	80	60
-min absolu	RHm (7%)	650	450	250	450	250	125
-min normal	RHN (5%)	1000	650	450	650	450	250
-au dévers	RHd (2.5%)	2200	1600	1000	1600	1000	550
-non déversé	RHnd (-2.5)	3200	2200	1400	2200	1400	800

1.4.4.5.2. Visibilité en plan :

Lorsqu'une courbe du tracé en plan se trouve en déblai, le talus inférieur forme une saillie qui masque la visibilité. En effet, ce problème a d'autres solutions mis à part celle consistant à dégrader le talus afin d'avoir la distance nécessaire satisfaisant la condition de visibilité en plan.

Sur une route à double sens de circulation « bidirectionnelle » on admet que deux véhicules venant en sens inverse puissent se trouver tous les deux sur la voie intérieure, à 2m du bord de la chaussée : la distance de visibilité mesurée le long de l'arc doit alors être égale à $2d_1$.

$$Et = \frac{d^2}{2 \times Rt} \dots \dots \dots (I-22)$$

$$Et Rt = R - 2.5$$

Avec :

d : distance d'arrêt ;

R : rayon du virage.

Pour une route à sens unique, la formule sera :

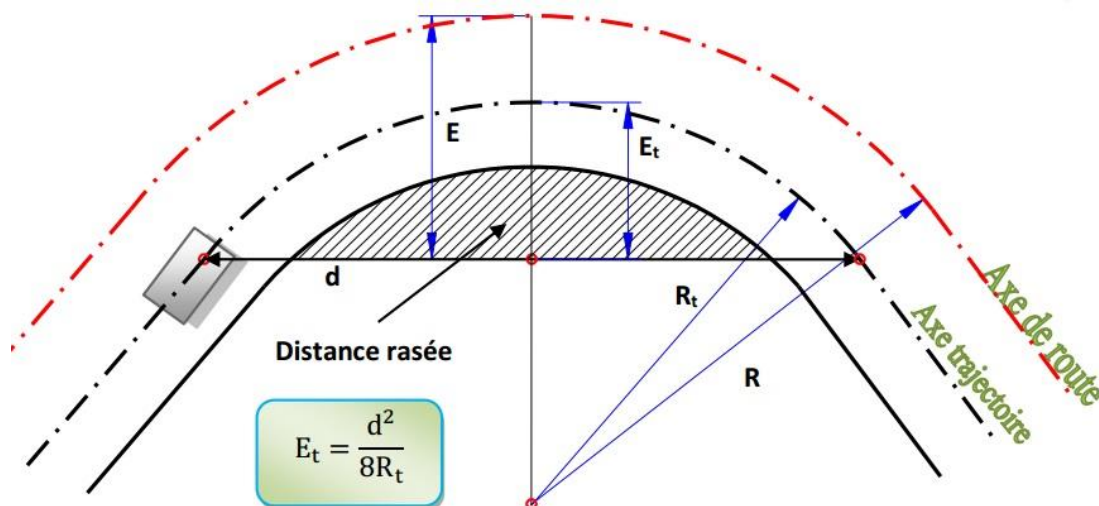


Fig. (I-7) : Visibilité en plan « route unidirectionnelle » [10].

Notons bien que le respect de cette condition en changeant le tracé ça sera mieux, sinon, un rasage du talus est toujours mieux qu'une limitation de vitesse « surtout pour les autoroutes et les routes nationales ».

En ce qui concerne l'inscription de véhicules longs dans les courbures, on a traité ce sujet précédemment « Surlargeur des voies ». Cette Surlargeur s'ajoute uniquement lorsqu'on a un rayon $R < 200\text{m}$.

I.4.4.5.3. Notion de dévers

Un dévers dans une courbe est une inclinaison des voies vers l'intérieur de la courbe aidant à compenser en partie pour la force centrifuge « en courbe » et permet aussi l'évacuation des eaux pluviales « en alignements droits et en courbes ». Cette inclinaison, dans un virage, ne se fait pas tout d'un coup, mais plutôt d'une façon graduelle en entrant dans la courbe. Il faut, une fois dans le cercle, que le dévers dit 'plein' soit atteint.

I.4.4.5.3.1 Dévers en alignements :

Le principal rôle du dévers en alignement est d'assurer l'évacuation rapide des eaux pluviales en surfaces de chaussées. Pour ce faire, on prévoit un dévers min :

$$d_{min} = 2.5\%$$

I.4.4.5.3.2 Dévers en courbes :

En courbes horizontales, le dévers joue un rôle très important sur trois plans :

- Il assure un bon écoulement des eaux superficielles « venant de pluies » ;
- Il contribue à la stabilité du véhicule en compensant une partie de la force centrifuge ;
- Avec une meilleure introduction du dévers, on améliore le guidage optique.

L'introduction du dévers se fait progressivement de telle sorte que les objectifs précédents soient assurés. Pour les routes des trois premières catégories, le dévers peut s'introduire à raison de 2% par seconde « de temps de parcours à la vitesse de base de la catégorie considérée » [12].

Par exemple : si $V_b = 120 \text{ km/h} = \frac{120 \times 1000}{3600} = 33.3 \text{ m/s}$

→ On enlève la chaussée de 2% chaque les 34 m jusqu'à atteindre le plein dévers en entrant dans le la courbe circulaire.

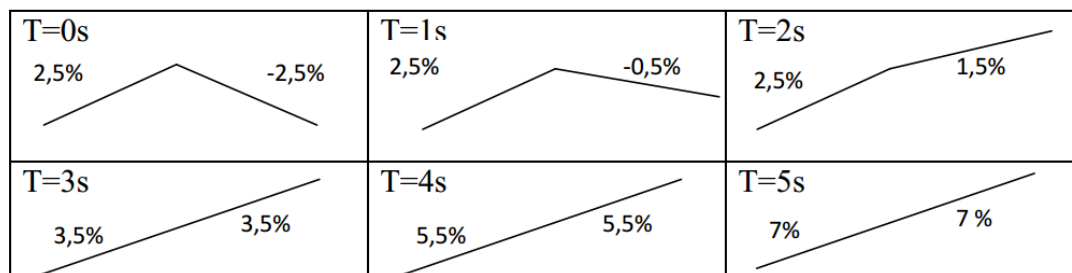


Fig. (I-8) : Introduction progressive du dévers [12].

I.4.4.5.4 Raccordement progressif :

En courbe et d'après le règlement B40, les valeurs de dévers varient de 2.5% « Rhd » à 7% « RHm ». Le raccordement des alignements droits aux courbes se fait à l'aide de la courbe plane dite 'Clothoïde'. Il existe d'autres courbes de raccordement la parabole cubique et la lemniscate » mais la clothoïde est la courbe la plus utilisée. Ce raccordement s'effectue en dehors de la courbe circulaire dont le dévers est constant. Il s'effectue donc sur les courbes à courbure progressive disposées de part et d'autre des courbes circulaires [13].

Pratiquement, la trajectoire d'un véhicule doit être à courbe progressive, pour les raisons suivantes [13] :

- Permettre l'introduction progressive du dévers afin d'éviter le dérapage du véhicule ;
- Assurer un minimum de confort des usagers : si la longueur du raccordement était calculée par la seule « condition de gauchissement », elle pourrait être relativement courte et cela peut influencer négativement sur le confort. Il est donc nécessaire dans ce cas et notamment pour les routes importantes et autoroutes de vérifier avec la condition de gauchissement celle de confort optique.
- Le tracé obtenu est élégant, souple, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

I.4.4.5.4.1 Parabole cubique :

Cette courbe est d'un emploi très limité vu le maximum de sa courbure vite atteint (elle s'utilise souvent pour les tracés des voies ferrées).

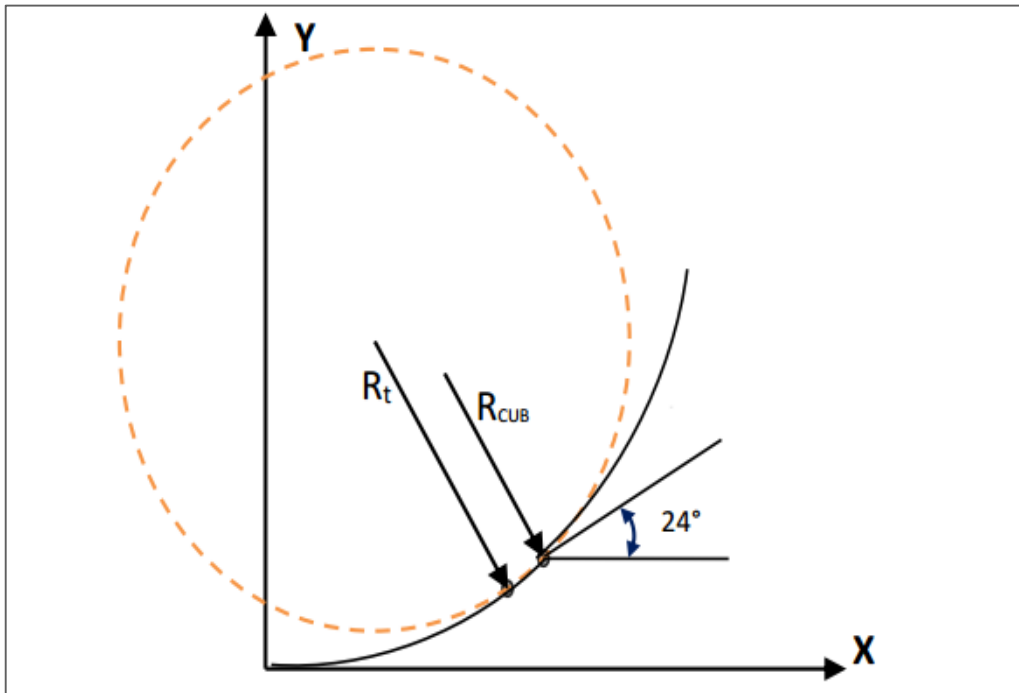


Fig. (I-9) : Courbe de raccordement parabole cubique.

I.4.4.5.4.2 Lemniscate :

Elle peut être utilisée pour certains problèmes de tracé de routes, notamment en trèfle d'autoroute. Sa courbure est proportionnelle à la longueur de rayon vecteur mesuré à partir du point d'inflexion [14].

I.4.4.5.4.3 Clothoïde :

Aussi appelée 'Spirale de Cornu', représente la trajectoire suivie par une voiture roulant à une vitesse constante V et dont le conducteur tourne le volant à une vitesse aussi constante [13].

Si A est le paramètre de la clothoïde, on a :

$$R \times L = A^2 \dots\dots\dots (I-23)$$

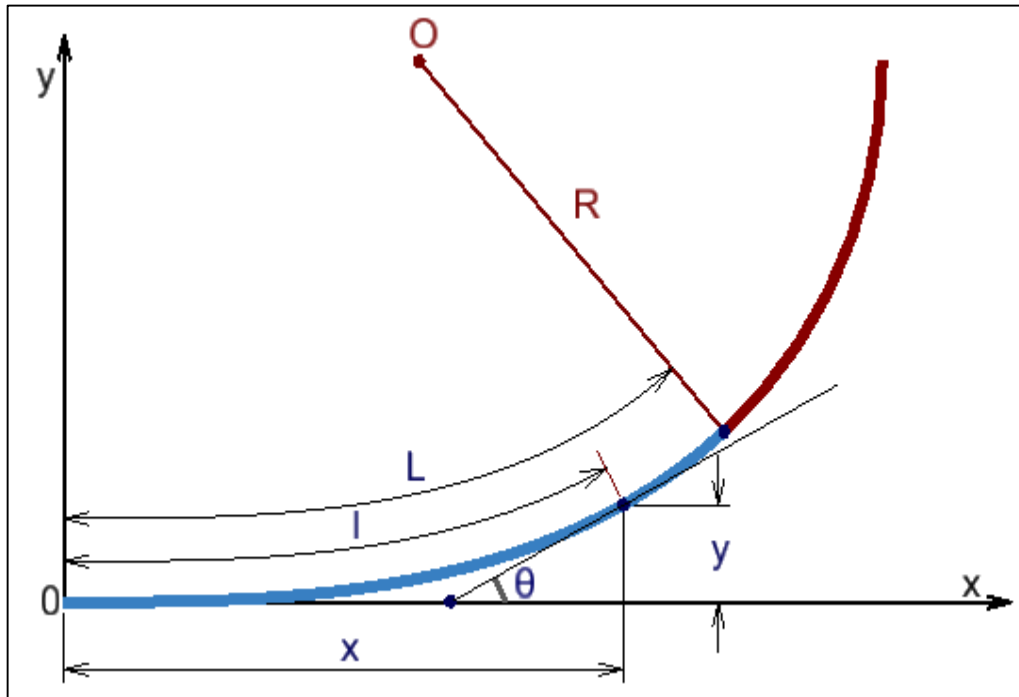


Fig. (I-10) : Courbe de la clothoïde.

On trouve aussi, différents types de courbes constituées par la combinaison d'arcs de clothoïde. On distingue :

I.4.4.5.4.3.1 Courbe en S

C'est une courbe constituée de deux arcs de clothoïdes de concavité opposée tangents en leur point de courbure nulle et raccordant deux arcs de cercle.

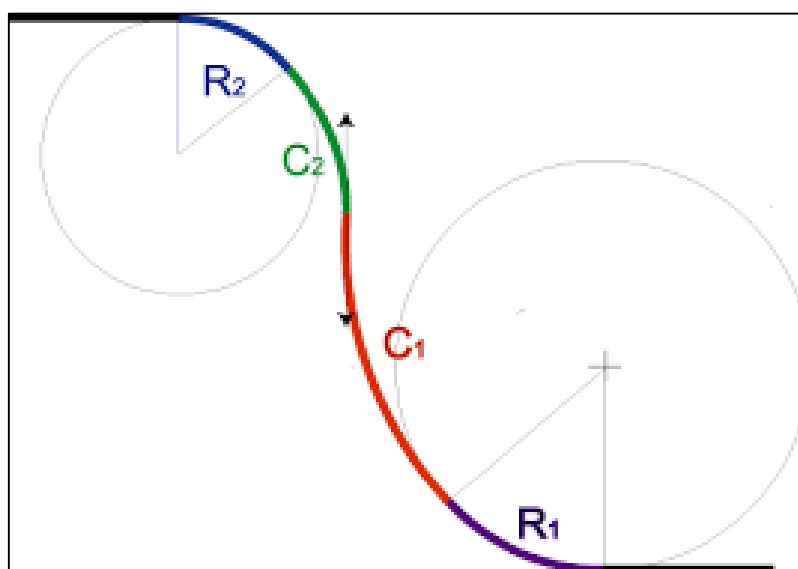


Fig. (I-11): Courbe en S.

I.4.4.5.4.3.2 Courbe à sommet :

C'est une courbe constituée de deux arcs de clothoïdes de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux alignements.

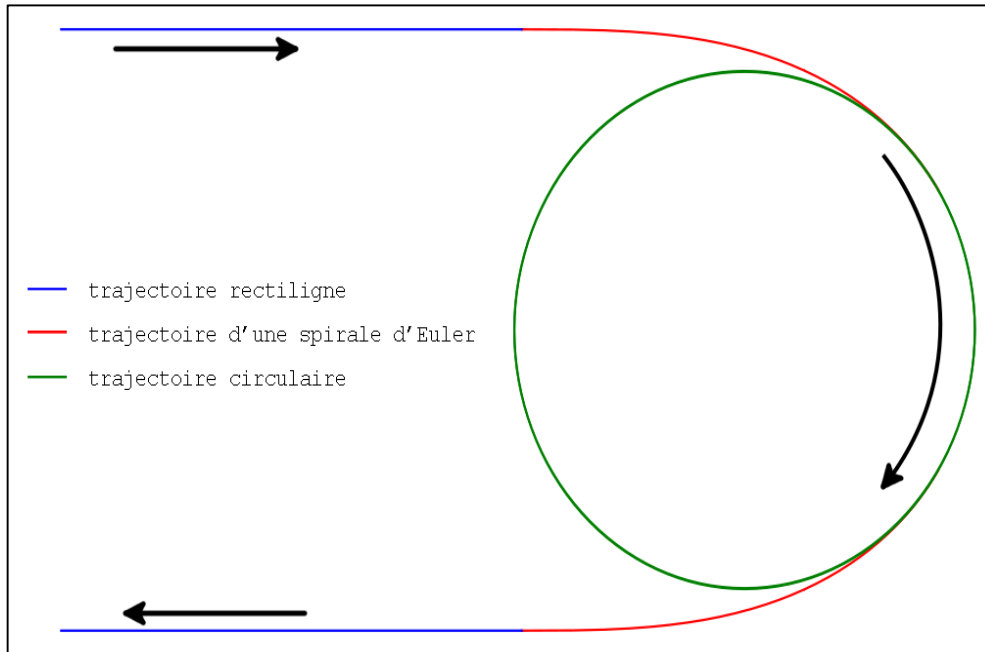


Fig. (I-12) : Courbe à sommet.

I.4.4.5.4.3.3 Courbe en C :

Elle est constituée de deux arcs de clothoïdes, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux arcs de cercle sécants ou extérieurs l'un à l'autre.

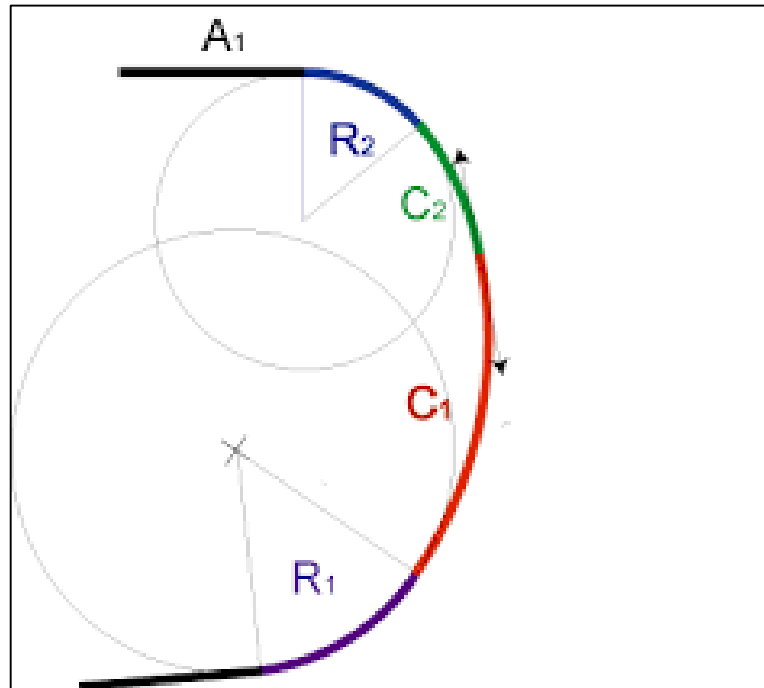


Fig. (I-13) : Courbe en C

I.4.4.5.4.3.4 Courbe en Ove :

C'est un arc de clothoïde raccordant deux arcs de cercle dont l'un est à l'intérieur de l'autre, sans lui être concentrique.

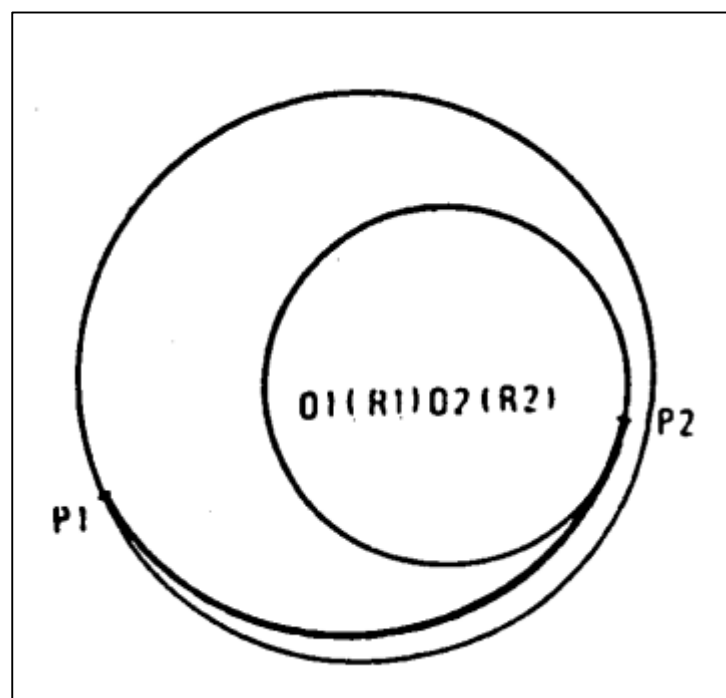


Fig. (I-14): Courbe en Ove.

I.4.4.5.4.4 Conditions de raccordement :

On détermine la longueur du raccordement de façon que les conditions suivantes soient vérifiées :

I.4.4.5.4.4.1 Condition optique :

Cette condition a pour objet d'assurer une satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels, et en particulier de rendre perceptible suffisamment à l'avance la courbure du tracé, de façon à obtenir la sécurité de conduite la plus grande que possible [5].

$$A \geq \frac{R}{3} \text{ et } L \geq \frac{R}{9} \quad \text{(I-24)}$$

Avec :

A : paramètre de clothoïde ;

L : longueur de raccordement.

Et le ripage : « ΔR »

$$\Delta R = \frac{L}{216} = \frac{R}{1.944} \quad \text{(I-25)}$$

ΔR : c'est l'écart entre le cercle et l'alignement qui ne lui est plus tangent [5].

I.4.4.5.4.4.2 Condition de gauchissement :

Cette condition a pour objet d'assurer à la route un aspect satisfaisant, en particulier dans les zones de variation de dévers. Elle se traduit par la limitation de la pente relative du profil en long du bord de la chaussée déversée par rapport à celle de son axe. Cette pente relative est limitée à :

$$\Delta P = \frac{0.5}{V_r \text{ (km/h)}} \quad \text{(I-26)}$$

Avec : $\Delta P \geq 0.5\%$ afin d'assurer un bon écoulement des eaux.

La condition de gauchissement s'exprime par la relation suivante :

$$\frac{\Delta d \times l}{100 \times L} \leq \frac{0.5}{V_r} \text{ soit : } L \geq \frac{l \times V_r \Delta d\%}{50} \quad \text{(I-27)}$$

Avec :

L : longueur de raccordement ;

l : largeur de la chaussée ;

Δd : variation du dévers.

I.4.5.4.4.3 Condition dynamique :

Cette condition a pour objet d’assurer l’introduction progressive du dévers et de la courbure de façon en particulier à respecter les conditions de stabilité et de « confort dynamique », en limitant par unité de temps la variation de la sollicitation transversale des véhicules.

Elle s’exprime par la relation suivante :

$$L < \frac{Vr^2}{18} \left[\frac{Vr^2}{127R} - \Delta d \right] \dots\dots\dots (I-28)$$

Tableau (I-11) : Longueur minimales de raccordement entre une droite et un

Vr	Rm	d%	Raccordement optique $L = \sqrt{24R \cdot \Delta R}$	Raccordement dynamique $L = \frac{Vr^2}{18} \left[\frac{Vr^2}{127R} - \Delta d \right]$	Raccordement de gauchissement d’une chaussée de 7m entre 7% et -2.5%
120 km/h	RHm=650m	+7%	125m ($\Delta R = 53m$ 1m)		$\Delta P = 0.5\%$ 133m
	RHnd=3200 m	-2.5%	340m ($\Delta R = 23m$ 1.5m)		-

cercle [5].

I.4.5 Profil en long

Le profil en long d’une route est une ligne continue obtenue par l’exécution d’une coupe longitudinale fictive, il exprime donc la variation de l’altitude de l’axe routier en fonction de l’abscisse curviligne.

Son but principal est d’assurer pour le conducteur une continuité dans l’espace de la route afin de lui permettre de prévoir à la fois l’évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers. Il est toujours composé d’éléments de lignes droites raccordés par des paraboles.

Dans un profil en long :

- La ligne noire représente le terrain naturel ;
- La ligne rouge représente le projet.

I.4.5.1 Règles à respecter en traçant la ligne rouge

Le tracé du profil en long du projet « la ligne rouge » ne se fait pas arbitrairement, mais plutôt, il se fait en prenant en considération l'assurance des conditions telles que le confort, la visibilité et l'évacuation des eaux pluviales, etc. Parmi ces conditions on peut compter :

- Adapter la ligne rouge à celle noire 'du terrain naturel' afin de minimiser les travaux de terrassement, et par conséquent leur coût ;
- Equilibrer entre les volumes de remblais-déblais ;
- Ne pas dépasser la pente maximale exigée par le règlement suivi ;
- Eviter les grandes déclivités sur des grandes distances ;
- Eviter les hauteurs excessives de remblais ;
- Prévoir le raccordement aux réseaux existant ;
- Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines en les remplaçant par un cercle unique, ou par des arcs à courbures progressives de très grand rayon ;
- Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique ;
- L'adapter au paysage ;

Et surtout la coordination 'tracé en plan-profil en long'.

I.4.5.2 Coordination tracé en plan-profil en long

L'axe de la route est une courbe gauche dont l'aspect en perspective dépend de la combinaison du tracé en plan et du profil en long. Il importe que l'utilisateur puisse toujours : [13]

- Distinguer la chaussée et les obstacles qu'il pourrait trouver sur son chemin suffisamment à l'avance « condition de visibilité » ;
- Distinguer clairement les dispositions des échangeurs, des bifurcations, des aires de service « notamment aux autoroutes » ;
- Prévoir de loin l'évolution du tracé ;
- Apprécier l'adaptation de la route au terrain sans être gêné ou abusé par des coudes ou des « trompe-l'œil » ;
- Si le profil en long est convexe, augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan ;
- Avant un point haut, amorcer la courbe en plan ;

- Lorsque le plan et le profil en long sont simultanément en courbe : faire coïncider à peu près raccordement en plan et en profil, et porter les rayons de raccordement vertical à 6 fois au moins le rayon en plan ;

Il convient encore d'éviter de faire coïncider les zones de basculement des chaussées (dévers nul) avec les sommets du profil en long (évacuation des eaux).

I.4.5.3 Eléments constituant le profil en long

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires. Pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- L'altitude du terrain naturel ;
- L'altitude de la ligne du projet ;
- La déclivité de la ligne du projet.

I.4.5.4 Déclivités

La construction du profil en long doit tenir en compte plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (puissance des véhicules en rampe). Autrement dit, la déclivité est la tangente de l'angle que fait la ligne rouge du profil en long avec l'horizontale. Elles se nomment 'pentes' pour les descentes, et rampes pour les montées.

I.4.5.4.1 Déclivité minimum :

Les tronçons de routes strictement horizontaux « paliers » sont si possible à éviter, afin de pouvoir évacuer les eaux pluviales car les pentes horizontales des chaussées « dévers » ne suffit pas et qu'il faut que les eaux accumulées latéralement soient évacuées longitudinalement en passant par des fossés ou canalisations ayant des pentes suffisantes. Il est donc conseillé de :

- Eviter les pentes inférieures à 1% si possible ;
- Les pentes inférieures à 0.5% sont strictement inacceptables.

I.4.5.4.2 Déclivité maximum :

Sur le plan technique, la déclivité maximale est directement liée à l'adhérence entre pneus et chaussées. On doit également prendre en compte la diminution de vitesses provoquée par ces déclivités, surtout pour les véhicules lourds « camion, etc. » car la plus part des véhicules légers ont des grandes

puissances. Elle dépend aussi des conditions économiques. Selon le règlement « B40 » la déclivité max est égale à 8%.

Cette déclivité est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures à 1500m, à cause de :

- ❖ La réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (cas de rampe Max) ;
- ❖ L'effort de freinage des poids lourds est très important provoquant ainsi l'usure de la pneumatique (cas de pente max.).

Tableau(I-12) : Valeur de I_{max} selon le B40.

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

I.4.5.5 Raccordement en profil en long

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long ; ce changement doit être adouci par l'introduction d'un raccordement circulaire qui doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort. On distingue deux types raccords :

I.4.5.5.1 Raccordement Convexes (Angle Saillant)

Les rayons minimums admissibles des raccords paraboliques en angles saillants sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et de visibilité d'autre part. [5]

- Condition de Confort :

Elle consiste à limiter l'accélération verticale à laquelle le véhicule sera soumis lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe.

Limitation de l'accélération verticale :

$g/40$: pour C 1 -2 et $g/30$: pour C 3- 4- 5

$$V_R^2/R_V < g/40 \quad R_{V_{\min}} = \begin{cases} 0.3 VR^2 & \text{pour } c 1 - 2 \\ 0.23 VR^2 & \text{pour } c 3 - 4 - 5 \end{cases} \dots\dots(I-29)$$

Pour $g=10 \text{ m/s}$.

Avec :

R_v : rayon vertical (m).

V_R : vitesse référence (km/h)

- Condition de Visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaires à celle de confort.

Il faut que deux véhicules circulant en sen opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.

Le rayon de raccordement est donné par l'expression :

$$RV = \frac{d_0^2}{2} (h_0 + h_1 + 2\sqrt{h_0 \times h_1}) \dots\dots\dots(I-30)$$

Avec :

d_0 : distance d'arrêt (m) ;

h_0 : hauteur de l'œil du conducteur (m) ;

h_1 : hauteur de l'obstacle (m).

I.4.5.5.2 Raccordement concave (angle rentrant)

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité du jour n'est pas déterminante, plutôt c'est pendant la nuit qu'on doit s'assurer que les phares du véhicule devront éclairer un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle ; la visibilité est assurée par un rayon satisfaisant la relation :[5]

$$R'V = \frac{d_0^2}{(1.5+0.035 \times d_0)} \dots\dots\dots(I-31)$$

Avec : d_0 : distance d'arrêt (m).

I.4.5.5.2.1 Le Confort dynamique :

En angle rentrant, le problème de visibilité ne se pose pas, mais il y a apparition d'une accélération importante (accélération centrifuge) qui peut avoir une influence sur le confort des véhicules [5].

On distingue deux types de rayon verticaux :

- RV_m : rayon minimal absolu calculé pour une vitesse V_R
- RV_n : rayon minimal normal calculé pour une vitesse V_R+20

Pour assurer le confort dynamique des véhicules, on admet qu'une telle accélération est supportable si elle ne dépasse pas :

$$\left\{ \begin{array}{l} (g: \text{la pesanteur}) \quad \text{pour les catégories 1,2} \quad \rightarrow \frac{g}{40} \\ \text{Pour les catégories 3,4 et 5} \quad \rightarrow \frac{g}{30} \end{array} \right. \dots\dots\dots (I-32)$$

$$y_c \leq \frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30} \leftrightarrow \frac{V^2}{RV} \leq \frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30}$$

Si on prend $g=10 \text{ m/s}^2$ et V_r en (km/h)

$R'V > 0.3 V^2$ Pour les catégories 1 et 2 ;

$R'V > 0.25 V^2$ Pour les catégories 3,4 et 5.

I.4.5.5.2.2 La Visibilité nocturne :

Dans un raccordement concave, les conditions de visibilité du jour ne sont pas déterminantes, lorsque la route n'est pas éclairée la visibilité de nuit doit par contre être prise en compte.

Cette condition s'exprime par la relation :

$$R'_v = \frac{d_1^2}{(1.5 + 0.035d_1)} \dots\dots\dots (I-33)$$

Avec :

R_v' : rayon minimum du cercle de raccordement.

d_1 : distance d'arrêt.

I.4.5.5.2.3 Condition esthétique :

Il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivité sur des distances courtes. Pour éviter cet effet, on impose une minimale ($b > 50$) pour dévers $d < 10\%$ (spécial échangeur).

$$RV_{\min} = 100 \times \frac{50}{\Delta d(\%)} \dots\dots\dots (I-34)$$

Avec :

Δd : changement de dévers ;

RV_{\min} : rayon vertical minimal.

I.4.5.5.3 Détermination pratique du profil en long

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle à l'équation de la parabole suivante :

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

$$X^2 - 2RY = 0 \rightarrow Y = \frac{X^2}{2R} \dots\dots\dots (I-35)$$

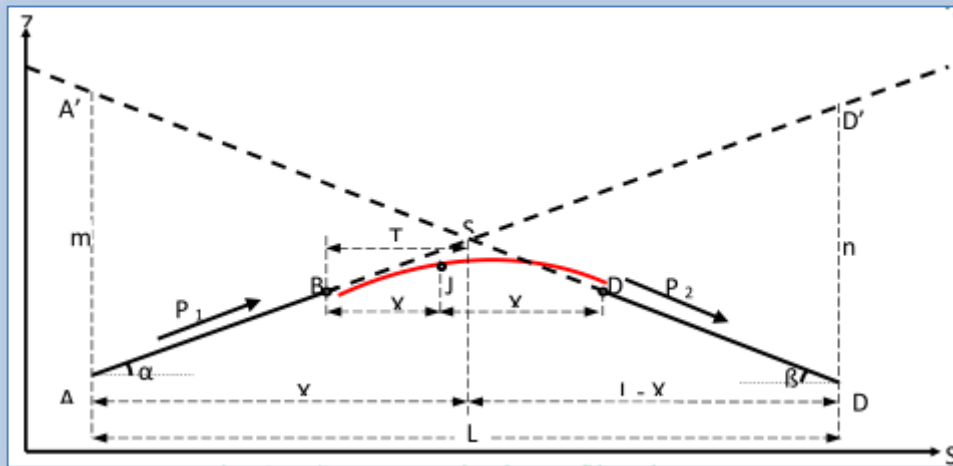


Fig. I-15 : Courbe du profil en long

I.4.5.5.3.1 Détermination de la position du point d'encontre (s) :

On a :

$$ZA' = ZD + L \cdot P_2, m = ZA' - ZA$$

$$ZD' = ZA + L \cdot P_1, n = ZD' - ZD$$

Les deux triangles (A'SA) et (SDD') sont semblables donc :

$$\frac{m}{n} = \frac{x}{(L-x)} \Rightarrow x = \frac{mL}{n+m} \dots\dots\dots (I-36)$$

I.4.5.5.3.2 Calcul des points de tangente :

$$T = \frac{R}{2} (|P_1| \pm |P_2|)$$

On prend (+) lorsque les deux pentes sont de sens contraires,

La tangente (T) permet de position les pentes de tangente B et C.

$$\begin{array}{l}
 \text{B} \left\{ \begin{array}{l} \text{SB} = \text{SS} - \text{TSC} = \text{SS} + \text{T} \\ \text{ZB} = \text{ZS} - \text{T.P1} \end{array} \right. \quad \text{C} \left\{ \begin{array}{l} \text{SC} = \text{SS} + \text{T} \\ \text{ZC} = \text{ZS} - \text{T.P2} \end{array} \right. \quad \dots\dots(\text{I-37})
 \end{array}$$

I.4.5.5.3 Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (J) :

Le point j correspond au point le plus haut de la tangente horizontale.

$$X1 = R \times P1$$

$$\text{X2} = R \times \text{P2} \left\{ \begin{array}{l} \text{SJ} = \text{SB} - \text{X1} \\ \text{ZJ} = \text{ZB} + \text{X1} \times \text{P1} - \text{X1}^2 / (2R) \end{array} \right. \quad \dots\dots(\text{I-38})$$

Dans le cas des pentes de mêmes sens le point j est en dehors de la ligne de projet et ne présente aucun intérêt, par contre, dans le cas des pentes des sens contraires, la connaissance du point (j) est intéressante, en particulier pour l'assainissement en Zone de déblai ; le partage des eaux de ruissellement se fait à partir du point (j), c'est-à-dire les pentes des fossés descendants dans les sens j(A) et j(D).

I.4.6 Profil en travers

Alors que le profil en long est une coupe verticale du terrain suivant l'axe de l'ouvrage projeté, les profils en travers sont des coupes transversales, menées selon des plans verticaux perpendiculaires à l'axe de la route projetée.

Il est habituellement d'usage de rabattre les profils en travers vers l'origine de la route. On adopte le plus souvent pour les profils en travers l'échelle du 1/100, c'est-à-dire 1 centimètre par mètre, et l'on garde la même échelle en hauteur et en longueur, pour conserver leurs vraies pentes aux talus. [14]

Les profils en travers comportent les indications suivantes :

- 1) Horizontale de référence avec son altitude ;
- 2) Altitude du terrain ;
- 3) Altitude du projet ;
- 4) Distance « projet » ;
- 5) Distance « terrain ».

I.4.6.1 Eléments du profil en travers

Le profil en travers se constitue des éléments suivants :

I.4.6.1.1 Chaussée :

Désigne la partie aménagée de la voie publique pour la circulation des véhicules en général. Sa largeur dépend essentiellement des considérations de débit. Elle est divisée en voies de circulations.

I.4.6.1.2 Largeur roulable :

Elle comprend les sur-largeurs de la chaussée, la chaussée et la bande d'arrêt.

I.4.6.1.3 Plateforme :

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais, comprenant la chaussée et les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêt.

I.4.6.1.4 Assiette :

C'est la surface de la route délimitée par les terrassements.

I.4.6.1.5 Emprise :

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ces dépendances « talus, chemin de désenclavement, exutoires, etc. »

I.4.6.1.6 Accotements :

Les accotements sont les zones latérales de la plateforme qui bordent extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés.

Ils comportent généralement les éléments suivants :

- Une bande de guidage ;
- Une bande d'arrêt ;
- Une berme extérieure.

I.4.6.1.7 Terre-plein central :

Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il comprend :

- Les sur-largeurs de chaussée (bande de guidage) ;
- Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.

I.4.6.1.8 Berme :

Elle participe aux dégagements visuels et supporte des équipements « barrières de sécurité, signalisations, etc. » Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

I.4.6.1.9 Fossé :

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route et des talus et les eaux de pluie.

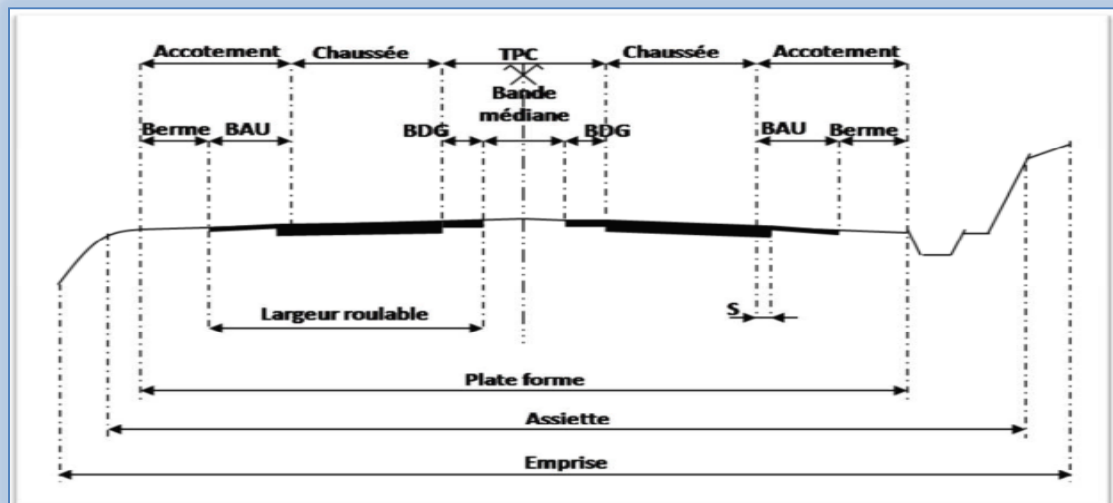


Fig. I-16 : Eléments du profil en travers.

1.4.6.2 Profil en travers type

Chaque projet de route comporte un grand nombre de dessins de profils en travers, que chacun d'eux comporte les mêmes dimensions générales, et des détails constructifs communs ; pour éviter, alors, cette répétition sur chaque dessin on établit tout d'abord un profil unique appelé profil en travers type contenant tous les détails [15].

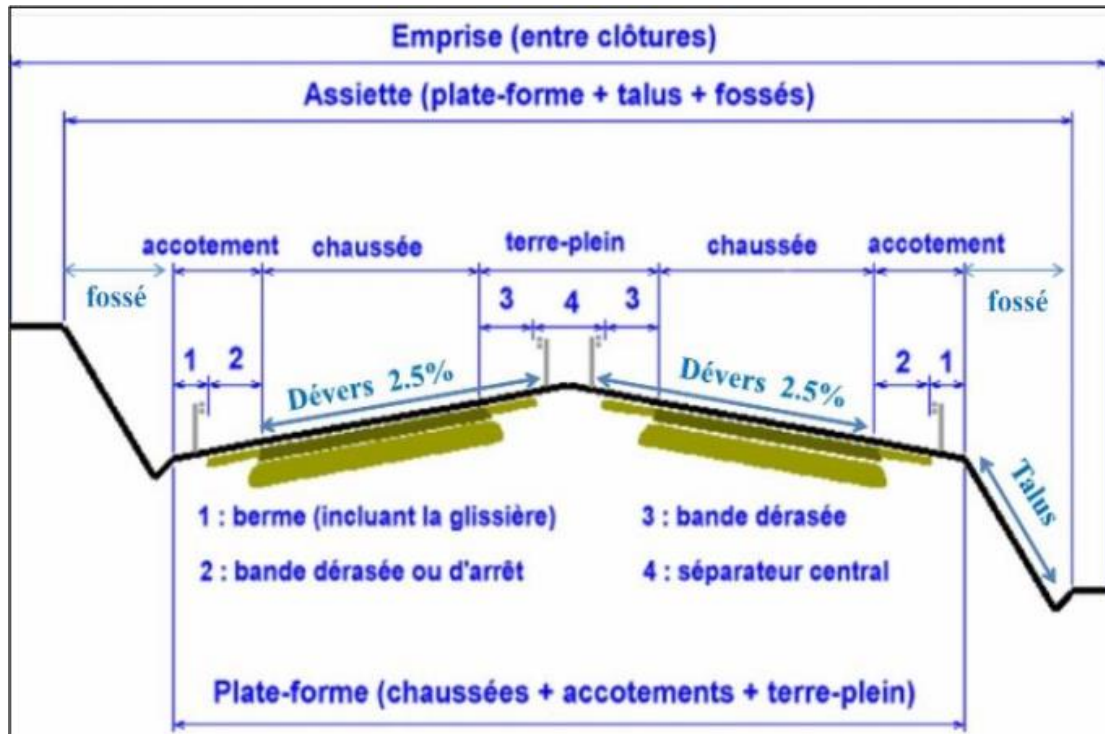


Fig. I-17 : Profil en travers type.

I.4.7 Différentes formes d'une chaussée

I.4.7.1 En alignement droit

En alignement droit le profil en travers de la chaussée a une forme généralement en toit (figure I-18) afin d'assurer l'évacuation des eaux pluviales. Il est donc constitué de deux versants plans symétriques, inclinés suivant la nature de revêtement et la catégorie. [9]

Le profil en travers tient toujours en compte le dévers, dans le cas échéant on pourra avoir les problèmes suivants :

- l'effet de miroir ;
- le phénomène de l'aquaplanage ;
- formation de verglas en hiver.

Il doit permettre l'évacuation rapide de l'eau vers les côtés. On général, on adopte les pentes transversales suivantes [16]:

- ✓ Chaussée en béton de ciment : 2%.
- ✓ Chaussée en enduit superficiel ou enrobé : 2.5 à 3%.

Chaussée non revêtue : 4%.

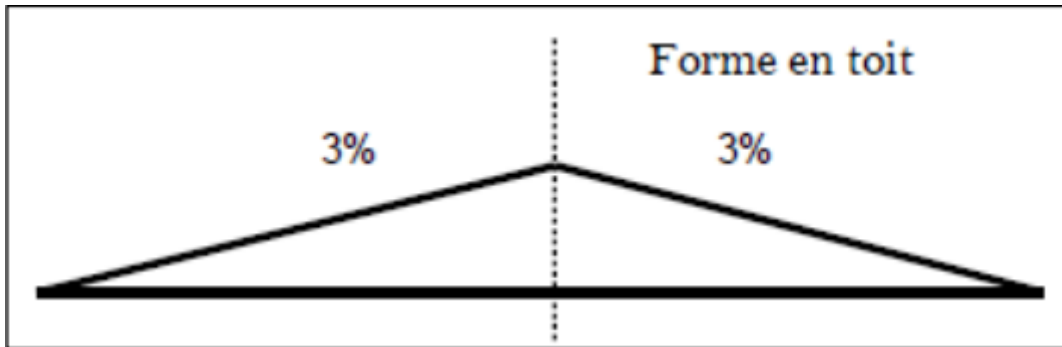


Fig. I-18 : Profil en travers en alignement droit.

En pratique et selon le cas, deux solutions peuvent être prévues pour l'écoulement des eaux sur la chaussée :

- ✚ Soit en toit « double pentes » ;
- ✚ Soit avec une pente unique rectiligne sur toute la largeur de la chaussée.

I.4.7.2 En courbe

Le passage d'une situation « alignement droit » à une autre « courbe » nécessite une zone de transition, cette zone doit être très soigneusement étudiée pour éviter l'accumulation des eaux, génératrice « d'aquaplanage ». De plus, la pente ne doit pas être très grande car cela pourrait être dangereux pour les véhicules lents.

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant (relevé de l'extérieur vers l'intérieur), ou la pente est le dévers évoqué dans le tableau (tracé en plan). Elle contribue également dans l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%).

I.4.8 Dimensionnement et structure des chaussées souples

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante (Figure I.13) induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobé [17].

Le trafic pris en compte est celui du poids lourd, c'est-à-dire des véhicules dont le poids total est supérieur à 3.5 tonnes.

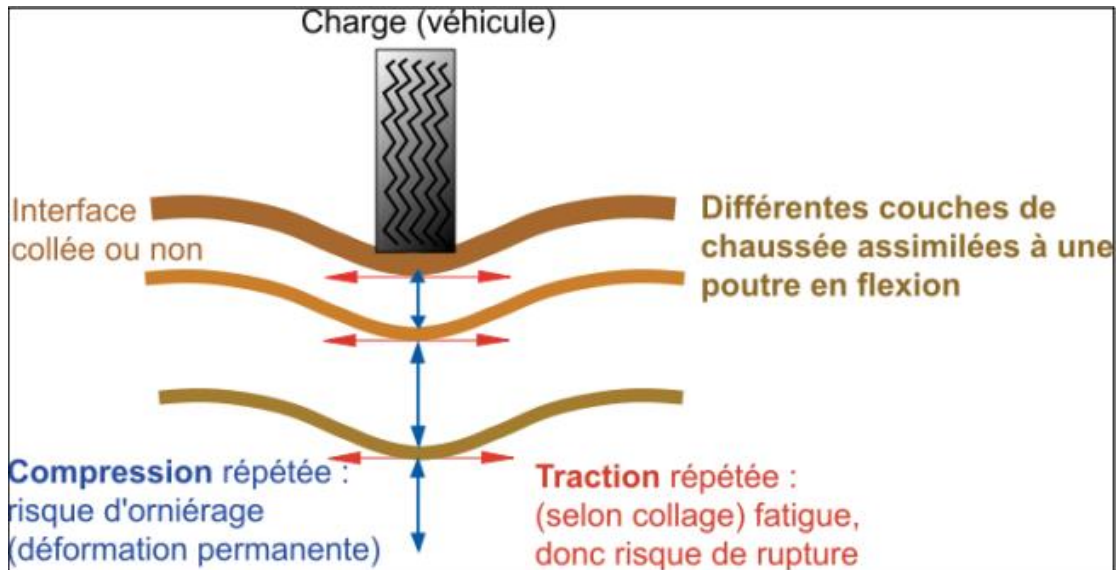


Fig. I-19 : Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante.

I.4.9 Construction des chaussées souples

Les chaussées souples constituées par des couches superposées de matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction. Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures.

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents d'épaisseurs déterminées ayant chacune un rôle bien défini (Figure I-20).

En principe, une chaussée peut avoir en ordre les quatre couches suivantes :

1) Couche de surface :

La couche de surface est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle a pour rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation. Elle est en général composée d'une :

- Couche de roulement qui a pour rôle :
 - D'imperméabiliser la surface de la chaussée ;
 - D'assurer la sécurité (par l'adhérence) et le confort des usagers (diminution du bruit).

- Couche de liaison qui a pour rôle essentiel d'assurer une transition, avec les couches inférieures les plus rigides.

2) Couche de base :

La couche de base joue un rôle essentiel et elle existe dans toutes les chaussées. Elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet du trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes. Son épaisseur varie entre 10 et 25 cm.

3) Couche de fondation :

En complément des matériaux non traités, elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic, assure une bonne portance du sol et reprend une partie des charges supérieures.

4) Couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe qui sert à adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblais ou de terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques et thermiques requises pour optimiser les couches de chaussée.

Elle n'y est utilisée que pour opérer de corrections géométriques et améliorer la portance du sol support à long terme. Son épaisseur est en général entre 20 et 70 cm.

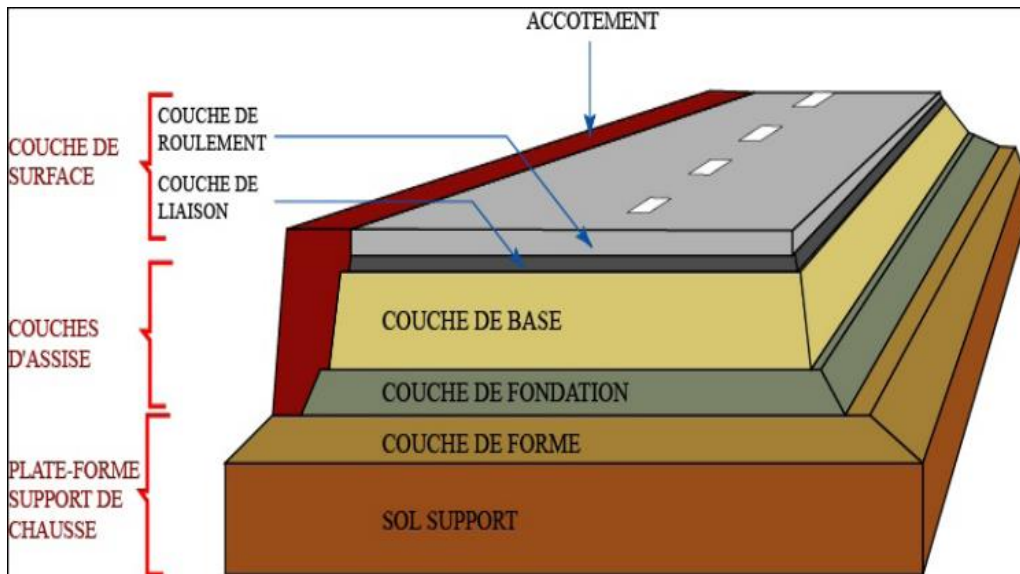


Fig. I-20 : Différentes couches d'une chaussée souple.

I.4.10 Cubature et mouvement des terrassements

On a vu comment l'on obtient sur les profils en travers la surface des sections des remblais et des déblais. Le profil en long indique les distances entre les profils en travers ; avec ces éléments qui sont en somme des surfaces de base et des hauteurs, on va pouvoir calculer des volumes. [14]

Les éléments qui permettent le calcul de ces volumes sont :

- Les profils en long ;
- Les profils en travers ;
- Les distances entre les profils en travers.

Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignant ces points se rapprochent le plus possible de la ligne du terrain qu'il représente.

I.4.10.1 Calcul des volumes

Ce calcul s'appelle la cubature des terrassements.

Si l'on voulait calculer avec une exactitude rigoureuse le volume d'un terrassement, on serait conduit à des calculs longs et compliqués. Mais le calcul exact est de peu d'intérêt, et l'on peut se contenter d'une méthode approchée conduisant à de petites erreurs qui se compensent à peu près.

S'il subsiste une erreur résiduelle, elle se traduira finalement par une petite différence en argent, car le calcul d'un terrassement est destiné à en évaluer le

coût. Tout compte fait, il sera plus avantageux d'accepter cette erreur que de consacrer un temps considérable, dont la valeur serait beaucoup plus grande, à vouloir obtenir un volume d'une exactitude mathématique.

I.4.10.2 Méthode utilisée

Pour calculer un volume, il y a plusieurs méthodes parmi lesquelles il y a celle de la moyenne des aires que nous avons utilisée et qui est une méthode très simple, mais elle présente un inconvénient : c'est de donner des résultats avec une certaine marge d'erreur qui peut être compensée en multipliant les résultats trouvés par 1.1 (majoration de 10%).

❖ **Description de la méthode**

En utilisant la formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs :

$$V = \frac{h}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_0) \dots\dots\dots(I-39)$$

Où h, S1, S2 et S0 désignant respectivement:

- Hauteur entre deux profils ;
- Surface du profil 1 ;
- Surface du profil 2 ;
- Surface limitée à mi-distances entre profils 1 et 2

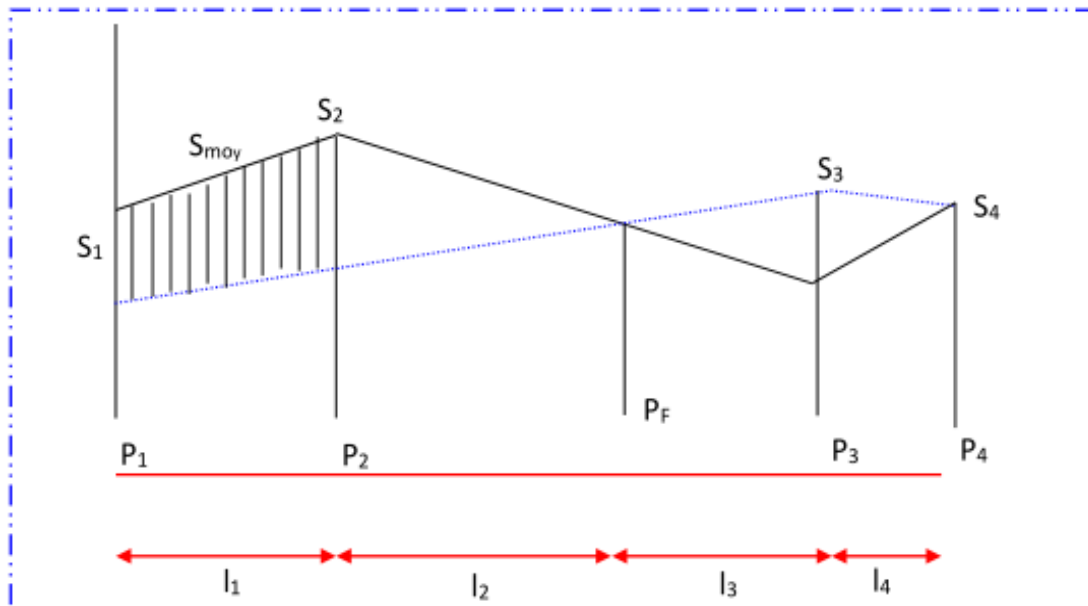


Fig. I-21 : Profil adopté pour profil en long.

Le volume compris entre les deux profils en travers P1 et P2 de section S1 et S2 sera égal à :

$$V = \frac{I_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_{\text{moy}}) \dots\dots\dots (I-40)$$

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions :

$$S_{\text{moy}} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

Ainsi on obtient :

$$V_1 = \frac{I_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

Les volumes seront donc :

$$\text{Entre } P_1 \text{ et } P_2 \quad V_1 = \frac{I_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

$$\text{Entre } P_2 \text{ et } P_F \quad V_2 = \frac{I_2}{2} \times (S_2 + 0)$$

$$\text{Entre } P_F \text{ et } P_3 \quad V_3 = V_2 = \frac{I_3}{2} \times (0 + S_3)$$

En additionnant membre à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = \frac{I_1}{2}S_1 + \frac{I_1 + I_2}{2}S_2 + \frac{I_2 + I_3}{2} \times 0 + \frac{I_3 + I_4}{2}S_3 + = \frac{I_4}{2}S_4 \dots\dots\dots (I-41)$$

On doit préciser l'utilité de prendre en compte les profils PF, puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul

I.4.10.3 Méthode classique

Dans cette méthode, on distingue deux façons de calcul différentes : la première est celle dite de « GULDEN » où les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application au droit de leur centre de gravité, prenant en compte la courbure au droit de profil.

Et dans l'autre méthode classique les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application à l'axe (indépendant de la courbure).

Pour notre calcul automatique des courbures par les logiciels COVADIS, Civil 3d et/ou Piste nous avons utilisé la méthode de GULDEN et les résultats obtenus sont en annexe mais ici (ci – dessous) nous donnons les résultats finaux du volume de remblais et déblais.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a parlé de l'historique des routes et comment les sentiers se sont transformés en routes, des grandes étapes à suivre pour la réalisation d'un projet routier ainsi que tout ce qu'il faut savoir sur les routes (les caractéristiques géométriques des routes, les éléments constituant les routes et les données de base de calcul d'un projet routier, etc.). En effet, ces informations vont faciliter à toute personne la compréhension des chapitres suivants même si cette dernière n'a pas beaucoup de connaissance à propos des routes, d'ailleurs, c'est ça l'objectif de ce chapitre. Le règlement suivi dans ce chapitre (pour définir les termes et limiter les valeurs à respecter dans chaque phase de conception) était le B40 qui est la norme technique d'aménagement des routes en Algérie.

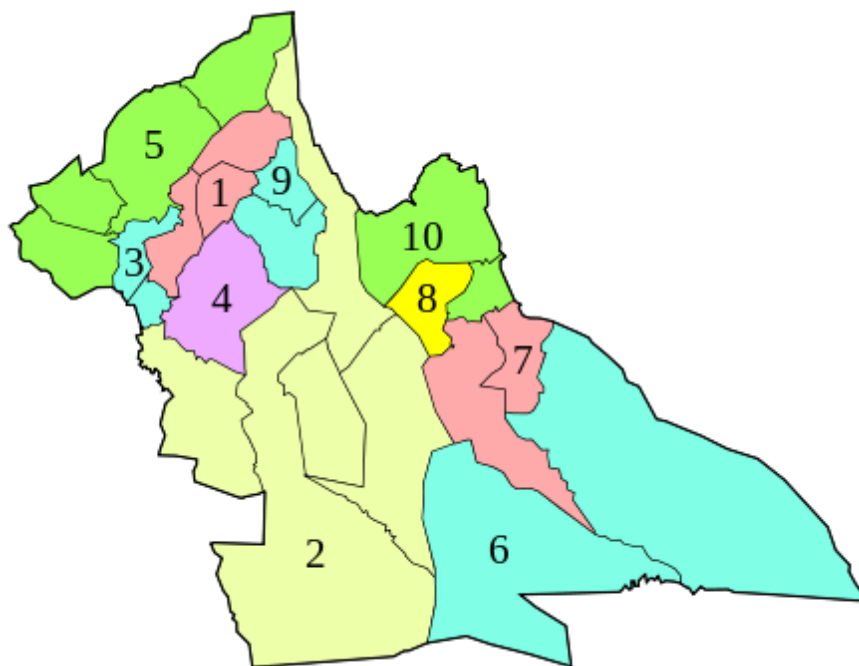
II.1 Présentation de la wilaya de Laghouat

Laghouat, aussi appelée « porte de désert », est une wilaya d'Algérie dont le chef-lieu de wilaya est du même nom. En effet, cette appellation « Laghouat », est issue de deux mots, « aywat » qui est d'origine berbère signifiant « montagne en dents de scie », ou du mot arabe « el aghwat » qui signifie « les jardins », en se référence aux nombreux vergers des oasis de la région [18].

La wilaya de Laghouat, ayant une superficie de 25000km², est située à environ 400km d'Alger. Sa population ne cesse d'accroître « 520000habitants en 2010 », soit une densité de 20habitans par km². Elle est bordée par la wilaya de Djelfa au nord-est, Tiaret au nord-ouest et par Ghardaïa et El-Bayad au sud et au sud-ouest (Fig. II-1(a)). Administrativement, Laghouat est divisée en 10 daïras et 24 communes (Fig. II-1(b)).



(a)



(b)

Fig. II-01 : Wilaya de Laghouat et sa division administrative.**a) Climatologie de la wilaya de Laghouat**

Laghouat est dotée d'un climat sec. D'après Koppen et Geiger « climate classification », ce climat est classé BWk « The deserte climate, Is a climate in which there is an excess of évaporation over précipitation, i.e., un climat où il y a un excès d'évaporation sur les précipitations. ». Sur l'année, la température moyenne à Laghouat est d'environ 17.4°C et les précipitations annuelles sont en moyenne de 176mm (Tableau II-1).

Tableau II-1 : Tableau climatique de Laghouat « données 1980-2012 ».**TABLEAU CLIMATIQUE LAGHOUAT**

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	7.8	9.4	12	15.8	20.1	25.5	28.9	27.9	23.5	17.4	11.9	8.4
Température minimale moyenne (°C)	2.7	3.4	6	8.9	13.5	18.4	21.6	20.6	17.1	11.4	5.8	3.4
Température maximale (°C)	12.9	15.5	18.1	22.8	26.8	32.6	36.3	35.3	30	23.5	18.1	13.4
Précipitations (mm)	12	12	13	15	16	12	3	26	19	20	15	13

b) Situation géologique de la wilaya de Laghouat

Le territoire de la wilaya de Laghouat est partagé en deux régions d'inégale superficie, présentant chacune un intérêt particulier.

La première, qui comprend la partie Nord-Ouest de la wilaya, est une région montagneuse, presque nue et aride, et présentant un relief accidenté. Des chaînons rocheux, isolés à pente raide, généralement peu accessibles, y formant les ceintures des grandes vallées. Les dernières pentes de ces montagnes aboutissent à Laghouat.

Cette oasis est partagée en deux parties, Nord et Sud, par une crête rocheuse dont la direction générale est Ouest-Est. Au Nord, une autre ligne de crête parallèle à la précédente offre deux coupures assez larges, l'une donnant passage à l'Oued M'Zi, et l'autre formant un col appelé le col des sables.

La deuxième région, située au Sud de la wilaya, est constituée d'immenses plaines ondulées formant la zone des dayas.

II.2 Présentation du projet :

Le tronçon sur lequel on va appliquer les logiciels fait partie de la route nationale RN23, il est donc nécessaire de débiter cette présentation en présentant la RN23.

II.3 La route nationale RN23 :

La Route Nationale (RN) numéro 23 débute de la wilaya de Mostaganem, passe par la RN4 à l'Ouest de Yellal-RN4 jusqu'à l'Est de Relizane, puis Zemmoura, Mendes, Rahouiya, Tiaret, Sougueur, Ain deheb, Aflou et enfin Laghouat (Fig. –(a) et (b)).

La partie appartenant à la wilaya de Laghouat est celle qui relie Hassiane Eddib avec Laghouat, en passant par Aflou ; elle s'étend sur une longueur de 155 km. Cette partie de projet est répartie en des lots comme suivant :

- Lot N °01 : entre Pk 398+000 et Pk 368+000 : entre le carrefour RN01-RN23 et EL Hadjeb.
- Lot N° 02 : entre PK 368+000 et PK 351+000 : entre El Hadjeb et Mesekka.
- Lot N°03 : entre Pk 351+000 au PK 337+000 : entre Mesekka et le carrefour Ain Chouhada.

- Lot N°04 : entre PK 337+000 et PK 316+000 : entre le carrefour Ain Chouhada et le carrefour Ain Osman.
- Lot N° 05 : entre PK 316+000 et PK 303+000 : entre le carrefour Ain Osman et le carrefour RN 01 A –RN23.
- Lot N°06 : entre PK 303+000 et PK 292+000 sur 20km (extension du contournement d'Aflou).
- Lot N°07 : entre PK 292+000 et PK 267+000 : entre le carrefour Sidi Ogba et Guelta Sidi Saad.
- Lot N°08 : entre PK 267+000 et PK 243+000 : entre Guelta Sidi Saad et Hassiane Eddib.

Nous tenons à préciser, enfin, que notre étude s'intéressera uniquement à l'étude d'une partie de ce projet, à savoir le lot N°03.



(a)



(b)

Fig. II-02 : Carte de localisation de la RN23 et de la partie appartenant à la wilaya de Laghouat.

II.4 Localisation du troisième lot du PK351 au PK337 :

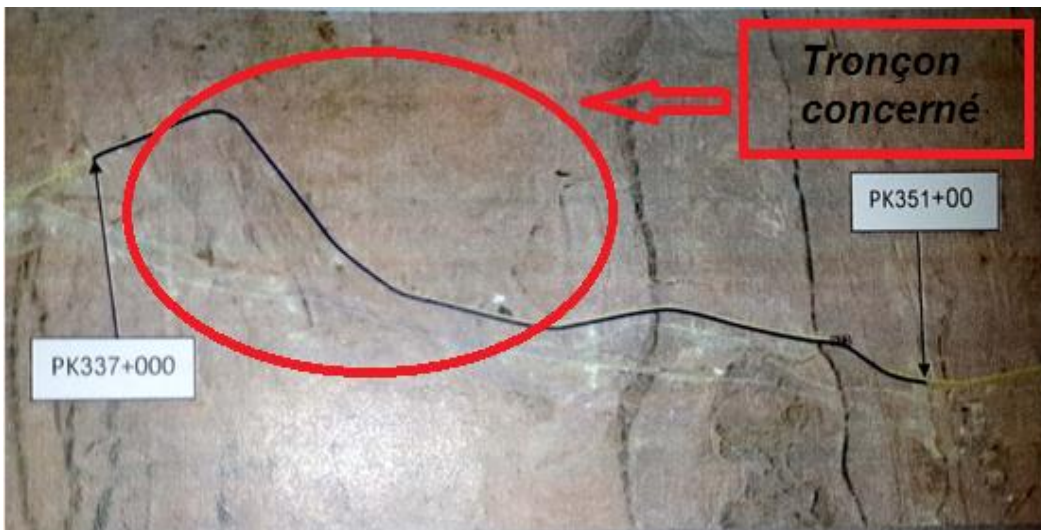


Fig. II-03 : Lot N°03 et le tronçon concerné « du pk 338 au pk 342 ».

II.5 Situation climatique de la région d'étude

Dans un pays comme l'Algérie, caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique du sud en passant

par le climat des montagnes des hauts plateaux, il est nécessaire de pouvoir préciser le type climatique du secteur qu'on a à étudier.

Sur le plan météorologique, notre région d'étude constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques qui règnent, pendant une partie de l'année, sur le Sahara Septentrional.

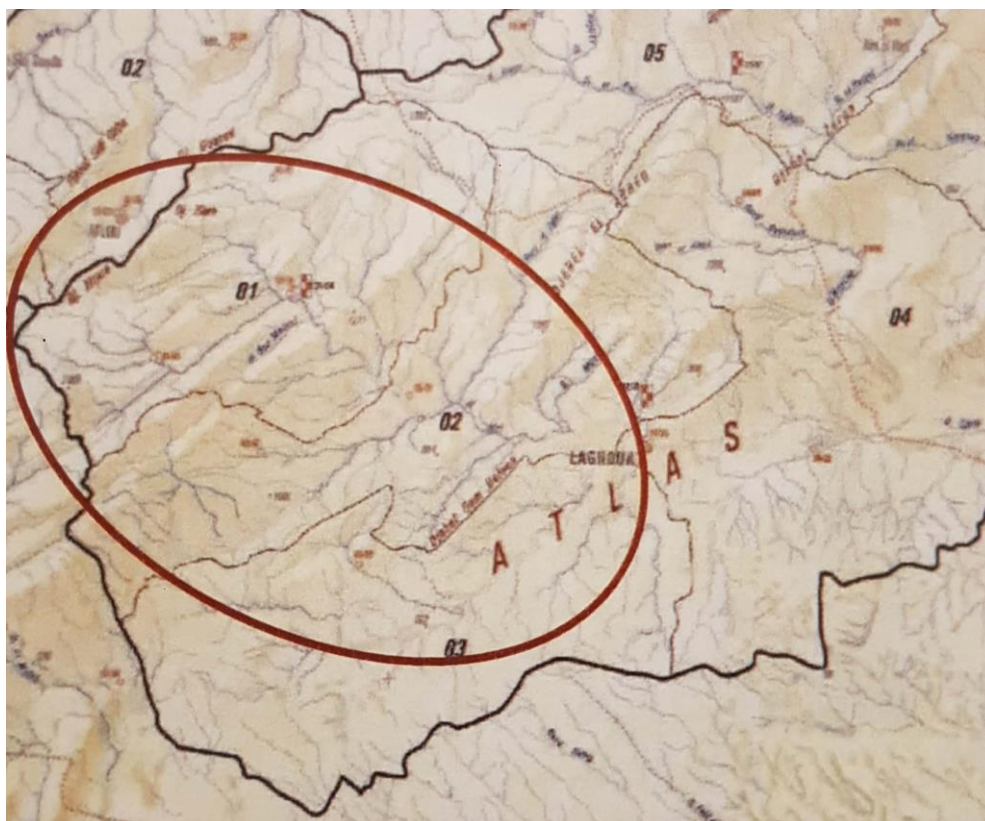


Fig. II-04 : Carte de réseau hydro climatologique de la région du projet.

II.5.1 Paramètres climatiques :

II.5.1.1 Précipitations :

Les précipitations constituent un élément très important du cycle hydrologique. Les relevés climatologiques disponibles pour la région du projet sont obtenus et analysés en vue fournir toutes les informations concernant surtout la pluviométrie pour toutes les stations considérées comme représentatives des bassins versants concernés.

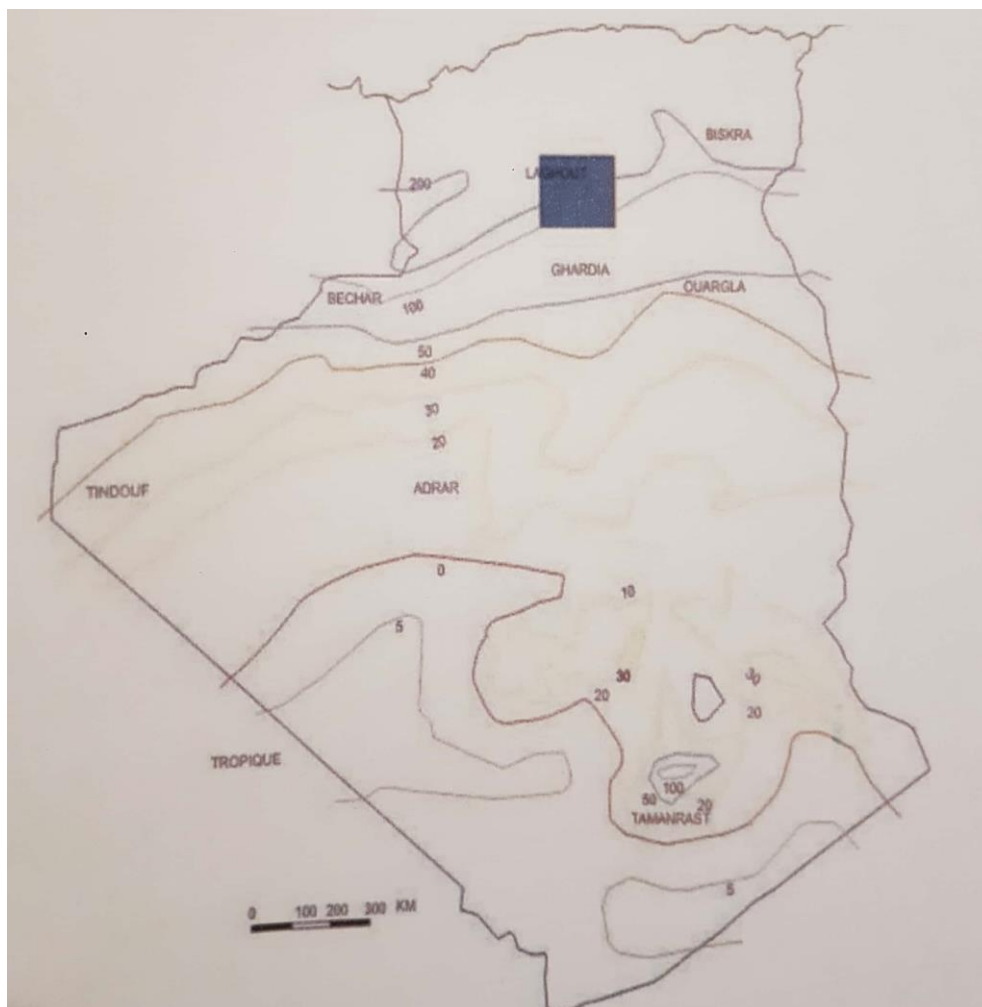


Fig. II-05 : Carte des précipitations en Algérie.

Tableau II-02 : Coordonnées de la station pluviométrique étudiée

station	Code de la station	Pluie en (mm)	Coordonnées		
			X(km)	Y(km)	Z(m)
Laghouat	60405	180	2.5241	33.4839	760

II.5.1.2 Pluviométrie mensuelle : les données concernent la période de 1990 à 2011, soit 22 ans d'observation.

Tableau II-03 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2011) – Station de Laghouat –.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A Année
Précip. (mm)	13.27	7.0	10.12	19.86	9.25	10.53	4.72	12.2	25.3	17.0	6.6	13.9
Précipitation Annuelle = 149.7mm												

Tableau II-04 : Pluviométrie annuelles sur une période d'étude s'étendant également de 1990 à 2011, soit 22 ans pour la station de Laghouat.

Années	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Laghouat	112	178	102	65	119	121	180.9	236.7
Années	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Laghouat	62.7	251.3	80.9	95.2	101.4	148.2	228.4	121.9
Années	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
Laghouat	251.2	91.4	180	159.7	137.7	148.7		

II.5.1.3 Température :

Liée aux radiations solaires, la température est un élément essentiel du climat car elle influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Donc, elle agit sur l'évapotranspiration et par conséquent sur le bilan hydrique (le ruissellement et l'infiltration) et sur le taux de salinité, en particulier les eaux de surface. On dispose des températures moyennes des stations d'Aflou et de Laghouat pour les périodes 1913-1938 et 1990-2011 (Fig. II-06).

Tableau II-05 : Température : station de Laghouat.

Mois	J	F	M	A	M	J	Ju	At	S	O	N	D
T_{min} (°C)	2.1	3.8	6.5	9.7	14.9	19.9	23.4	22.6	18.3	13.2	6.4	2.9
T_{max} (°C)	14	16.4	20.4	24.54	30.16	34.8	40.48	37.5	31.71	25.34	18.78	14.54

T_{moy} (°C)	8.03	10.1	13.7	17.12	22.53	27.35	31.94	30.0 5	25.04	19.27	12.59	8.72
--------------------------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-----------	-------	-------	-------	------

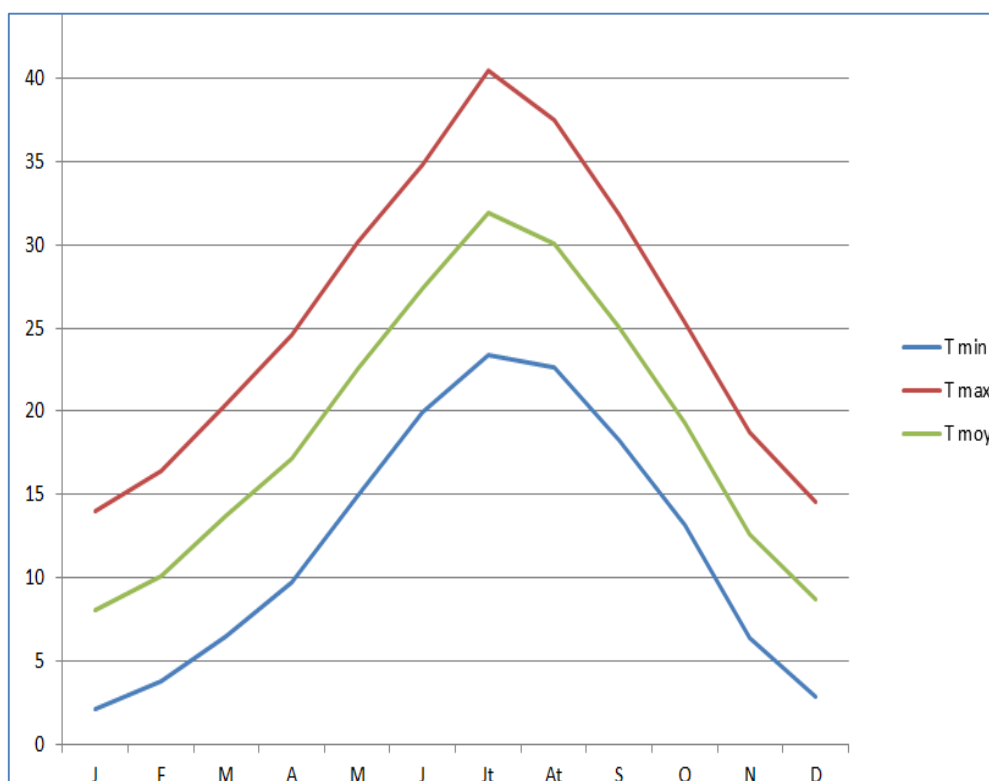


Fig. II-06 : Courbes des températures : station de Laghouat (1990-2011).

Tableau II-06 : Humidité de l'aire : station de Laghouat (1990-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité (%) (1990-2011)	42	51	56	63	62	54	46	40	37	31	30	30

II.5.2 Réseau hydrographique

Le réseau hydrologique de notre projet s'identifie au bassin versant de l'oued M'Zi dans lequel il se trouve naturellement encaissé. Cette région est caractérisée par un réseau hydrographique très dense provenant des montagnes du massif d'Aflou, constitué dans sa majeure partie d'oueds intermittents et secs durant plusieurs mois de l'année. Lors des périodes pluvieuses, ils se transforment en véritables torrents, agents d'érosion et de transport de sédiments. La majeure partie des oueds qui traversent le couloir du projet ont un régime torrentiel semi-permanent et leurs eaux de ruissèlement s'écoulent, en majorité vers oued M'zi qui draine la totalité de la wilaya de Laghouat.

II.5.2.1 Le bassin D'oued M'zi :

Oued M'zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central ; il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour. Vers le Sud-Est de Laghouat, il rejoint l'Oued Messaad d'où il prend le nom de l'Oued Djedi qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 km, formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-arides.

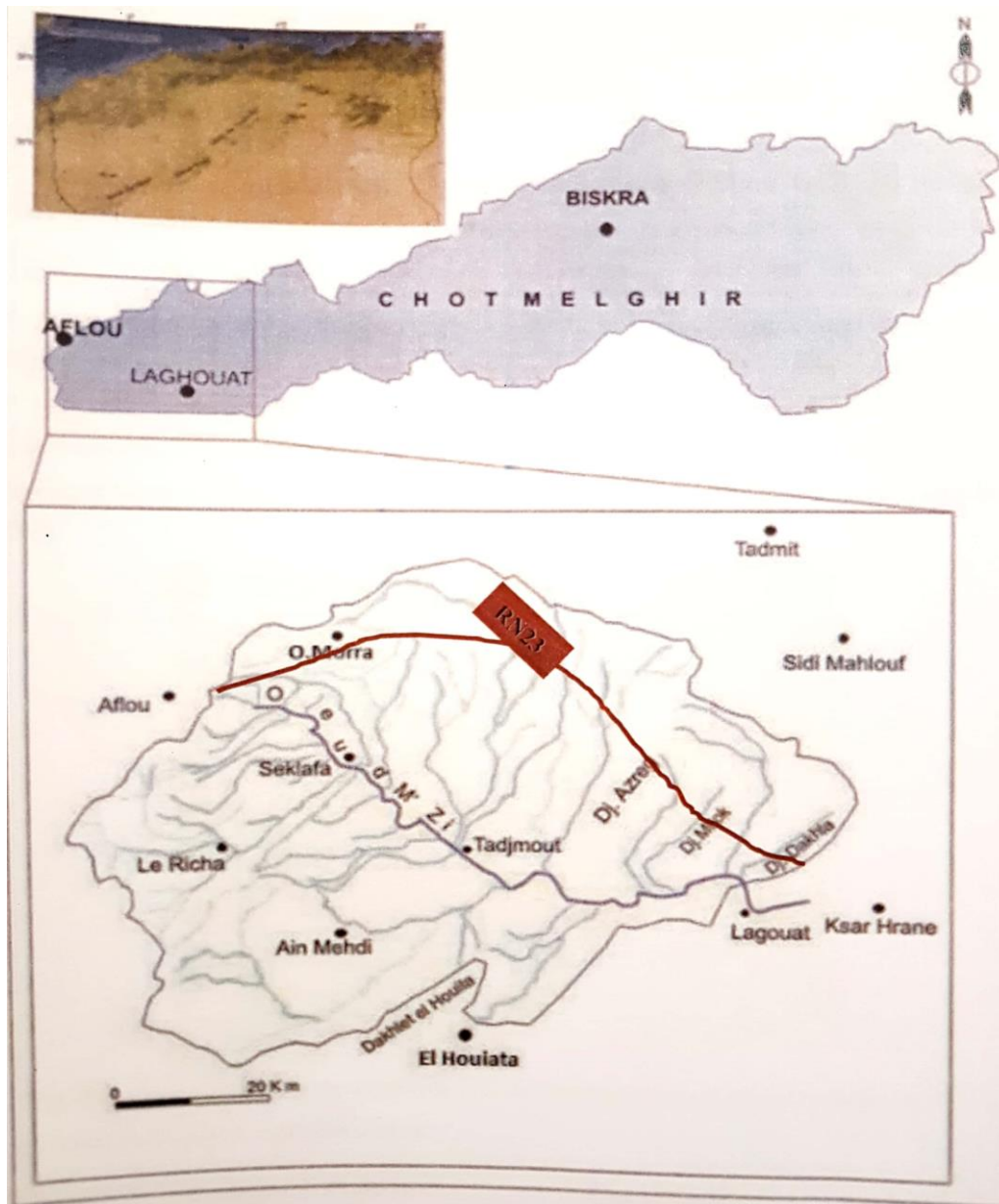


Fig. II-07 : Situation géographique de la RN 23 par rapport au bassin versant d'Oued M'zi.

II.6 Caractéristiques fondamentales du projet

II.6.1 Etude du trafic

➤ **Année de mise en service 2020 :**

- Année de base : 2015

$$-TJMA_{2015}=5418 \text{ v/j}$$

$$-PL\%=23\%$$

$$TJMA_{2020}= TJMA_{2015} \times (1+\tau)^n$$

Avec $n = 5$, $\tau = 6\%$

$$TJMA_{2020}= 5418 \times (1+0.06)^5 = 7251 \text{ v/j}$$

➤ **Trafic future :**

Pour une durée de vie de 20 ans,

$$TJMA_{2040} = 7250 \times (1+0.06)^{20} =$$

$$TJMA_{2040}= 23255 \text{ v/j}$$

➤ **Trafic équivalent :**

$$T_{\text{éq}} = [(1-Z)+(Z \times P)] \times TJMA_{2040}$$

Avec :

$T_{\text{éq}}$: trafic équivalent à l'année n en (uvp/jour) ;

Z : pourcentage du poids lourd ;

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

On a : Environnement (E_1), $P = 3$

$$T_{\text{éq}} = [(1-0.23) + (0.23 \times 3)] \times 23255$$

$$T_{\text{éq}} = 33952 \text{ v/j}$$

➤ **Débit de pointe horaire normal :**

$$Q = \frac{1}{n} \times T_{\text{éq}}$$

Avec :

Q : débit de pointe horaire ;

n : nombre d'heures, généralement égal à 8 heures ; $1/8 = 0.12$;

T_{éq} : trafic équivalent

$$Q = \frac{1}{8} \times 33952$$

$$Q = 4244 \text{ uvp/h}$$

$$Q = 4244 / 2 = 2122 \text{ uvp/h/sens}$$

➤ **Débit horaire admissible :**

$$Q_{adm} = k_1 \times k_2 \times \text{cth}$$

$$\text{Avec : } k_1 = 0.75, k_2 = 1$$

Pour une route à 2 voies de 3,5 m, cth=1500 à 2000 uvp/h

On prend : cth = 1700 uvp/h

$$Q_{adm} = 0.75 \times 1 \times 1700$$

$$Q_{adm} = 1275 \text{ uvp/j}$$

➤ **Détermination du nombre de voies :**

$$N = S \times \frac{Q}{Q_{adm}}$$

Avec :

S : coefficient dissymétrie « généralement $S = 2/3$ »

$$N = (2/3) \times (2122/1275) = 1.11$$

Soit N = 2.

Tableau II-07 : Synthèse des résultats.

	TJMA ₂₀₁₅ (v/j)	TJMA ₂₀₂₀ (v/j)	TJMA ₂₀₄₀ (v/j)	T _{éq} (uvp/j)	Q (uvp/h)	Q (uvp/h/sens)	N
Résultats	5418	7251	23255	33952	4244	2122	2

Il s'agit donc d'une route de 2(2×voies chacune 3.5m).

II.6.2 Surlargeur

Puisqu'on n'a pas de courbe dont le rayon est inférieur à 200 « $R < 200$ », la Surlargeur S est égale à 0 en courbes et en alignements droits.

II.6.3 Distance d'arrêt :

Selon le tableau (I.6) , la distance d'arrêt et de freinage qu'il faut prendre pour une route de catégorie L1 et de vitesse de référence $V_r = 120$ km/h sont comme suit :

$$F_L = 0.33$$

$$d_0 = 175 \text{ m}$$

$$d_1 = 235 \text{ m}$$

Avec :

F_L : coefficient de frottement longitudinal ;

d_0 : distance de freinage ;

d_1 : distance d'arrêt.

II.6.4 Distances de visibilité de dépassement et de manœuvre de dépassement

Pour des routes appartenant à la première catégorie (L1), et ayant une vitesse de référence $V_r = 120$ km/h, les distances de visibilité de dépassement

Sont, donc :

$$d_m = 550 \text{ m}$$

$$d_N = 800 \text{ m}$$

Avec :

d_m : la distance de visibilité de dépassement minimale ;

d_N : la distance de visibilité de dépassement normale.

La distance de manœuvre de dépassement, quant à elle, prend la valeur suivante (selon « B40 ») :

$$d_{Md} = 425 \text{ m}$$

II.6.5 Tracé en plan

II.6.5.1 Alignements droits :

- La distance minimale d'un alignement droit à respecter entre deux courbes :

$$l_{min} = 5 \times (V_R / 3.6)$$

$$l_{min} = 5 \times (120/3.6)$$

$$l_{min} = 166.67 \text{ m}$$

On prend : $l_{min} = 167 \text{ m}$

- La distance maximale d'un alignement droit :

$$l_{max} = 60 \times (V_R/3.6)$$

$$l_{max} = 60 \times (120/3.6)$$

$$l_{max} = 2000 \text{ m}$$

II.6.5.2. Courbes horizontales :

Les différentes caractéristiques géométriques de notre projet, en courbe horizontale, sont (d'après le B40) :

II.6.5.2.1 Coefficient de frottement transversal :

Le coefficient de frottement transversal F_t dépend de la catégorie et de la vitesse de référence du projet ; le nôtre (pour L1, $V_r = 120 \text{ km/h}$), il est donc :

$$F_t = 0.1$$

II.6.5.2.2 Dévers max et dévers min :

Les dévers minimum et maximum d'une route appartenant à la première catégorie L1 avec un environnement E1 prennent comme valeurs :

- Dévers minimum = 2.5% pour les RHd et RHnd
- Dévers maximum = 7% pour les RHm

Avec :

- RHd : rayon horizontal déversé ;
- RHnd : rayon horizontal non déversé ;
- RHm : rayon horizontal minimum.

II.6.5.2.3 Rayons en plan :

Ils sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II-08 : Différents rayons en plan [5].

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse (km/h)	V	120
Rayon horizontal minimal (m)	RHm (7%)	650
Rayon horizontal normal (m)	RHN (5%)	1000
Rayon horizontal déversé (m)	RHd (2.5%)	2200
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd (-2.5%)	3200

Tableau II.09: Synthèse des paramètres fondamentaux [5].

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse (km/h)	V	120
Longueur minimale (m)	L_{min}	167
Longueur maximale (m)	L_{max}	2000
Devers minimal (%)	D_{min}	2.5
Devers maximal (%)	D_{max}	7
Temps de perception réaction (s)	t1	1.8
Frottement longitudinal	fL	0.33
Frottement transversal	ft	0.10
Distance de freinage (m)	d0	175
Distance d'arrêt (m)	d1	235
Distance de visibilité de dépassement minimale (m)	d_m	550
Distance de visibilité de dépassement normale (m)	d_n	800
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement (m)	dmd	425

II.6.6. Profil en long

Dans notre cas, la route à étudier sera adaptée à une vitesse de référence de 120 km/h qui correspond à la catégorie C1 selon le règlement « B40 ». Les caractéristiques géométriques de la ligne rouge (ligne du projet) sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.10 : Valeurs des différents rayons, calculées et selon B40, en profil en long.

Catégorie	C1
Environnement	E1
Vitesse (km/h)	120 km/h
Déclivité maximale (%)	4
Rayon minimal en profil en long	
Rayon minimal en angle saillant (Courbe convexe) (m)	12500
Rayon minimal en angle rentrant (Courbe concave) (m)	4200

II.6.7 Profil en travers type

Il s'agit d'un profil en travers type composé de 2 chaussées à sens unique, comportant chacune deux voies de circulation.

Les éléments du profil en travers sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II-11 : Eléments du Profil Travers

Elément	Largeur (m)
Chaussée	2(2×3.50)
Terre-plein central	1×10
Accotement	3
Fossé	1.5

II.6.7.1 Dimensionnement du corps de chaussée :

Elle est constituée de trois différentes couches dont les épaisseurs sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau II-12 : Corps de chaussée.

Couche	Epaisseur (cm)
De fondation en GNT	25
De base en GB	12
De roulement en BB	8

II.7 L'intérêt de l'informatique dans la vie quotidienne et en entreprise :

Ayant pris une place considérable dans le quotidien, mais aussi dans la vie d'une entreprise, l'informatique a connu son véritable envol avec l'apparition des différents réseaux sociaux et internet. En effet, le fait est que l'on vit aujourd'hui dans un monde où l'on ne peut pas se passer de l'informatique. On la retrouve d'ailleurs n'importe où, que ce soit chez soi ou dans des bureaux. Comme quoi, l'informatique a su s'imposer dans la vie de l'homme.

Le domaine de l'informatique est aujourd'hui un élément vital de la vie d'une entreprise. Il représente, en quelques sortes, tous les points sur lesquels cette dernière repose, tant en matière d'administration que de sécurité. En un sens, l'informatique est la base même du système d'information d'une société. Elle est en ce sens très utile sur de nombreux points qui servent à faire fonctionner correctement la dite entreprise. L'informatique sert par exemple pour l'actualisation des bases de données ou les partages d'informations d'une société. Un autre point est que celle-ci permet de développer bien des choses au sein d'une entreprise [19].

II.7.1 L'intérêt de l'informatique sur l'ingénierie :

L'informatique est un outil utilisé à présent dans tous les domaines de l'ingénierie. Les documents d'études produits sont de plus en plus des documents informatisés, tandis que la part des documents manuels diminue constamment.

L'ingénierie a toujours eu besoin de moyens de calcul pour dimensionner les installations et a utilisé l'informatique dans ce domaine dès que les premiers ordinateurs équipés de logiciels techniques ont été disponibles.

Après une première migration du secrétariat vers la bureautique, qui a concerné plus particulièrement les documents écrits (courrier, appels d'offres, spécifications techniques et commerciales), l'informatique a envahi un grand nombre d'activités de l'ingénierie : les estimations, l'analyse de la valeur, les simulations, les calculs techniques et le

dessin. Ces changements technologiques ont été possibles grâce à la rencontre de besoins souvent anciens et d'évolutions techniques qui ont permis de les satisfaire.

On trouve toujours dans les objectifs initiaux des migrations informatiques, les points suivants :

- La rapidité dans l'élaboration et la modification des documents ;
- L'accroissement de la fiabilité et de la qualité des études ;
- La réutilisation de documents déjà établis lors d'affaires précédentes ;
- La possibilité de travailler sur des études faites par d'autres sans avoir à les refaire ;
- L'établissement d'un standard de fait dans la conception et l'établissement de la documentation ;
- La possibilité de travailler à distance et de faciliter la communication entre intervenants.

Les évolutions technologiques permettant ces migrations se caractérisent par :

- L'apparition d'ordinateurs individuels de grande puissance ;
- L'émergence de logiciels capables de satisfaire des besoins professionnels ;
- Le développement des réseaux informatiques.

Ces objectifs initiaux ayant été, pour la plupart, atteints, d'autres apparaissent qui modifient le métier même de l'ingénierie. Les systèmes informatiques doivent prendre en compte la production de la documentation mais aussi sa gestion et sa diffusion. Les méthodes font évoluer les besoins en modifiant, par exemple, les demandes des clients sur la nature des documents à livrer.

L'organisation de la société d'ingénierie elle-même est concernée dans sa gestion interne et dans celle de ses projets. Il faut fédérer l'informatique, qui est souvent trop hétérogène, apprendre à manier des concepts et des documents nouveaux et, enfin, organiser le travail autour de données communes.

L'apport de l'informatique dans l'ingénierie est étudié ici en décrivant succinctement le fonctionnement d'un projet et en analysant, pour chaque poste, l'impact de ces évolutions. Le projet industriel sera défini selon les méthodes actuelles de la gestion de projet. On verra comment

le développement de l'informatique est en train de transformer le métier même de l'ingénierie [20].

II.8 Dessin et conception avant et après les DAO et CAO :

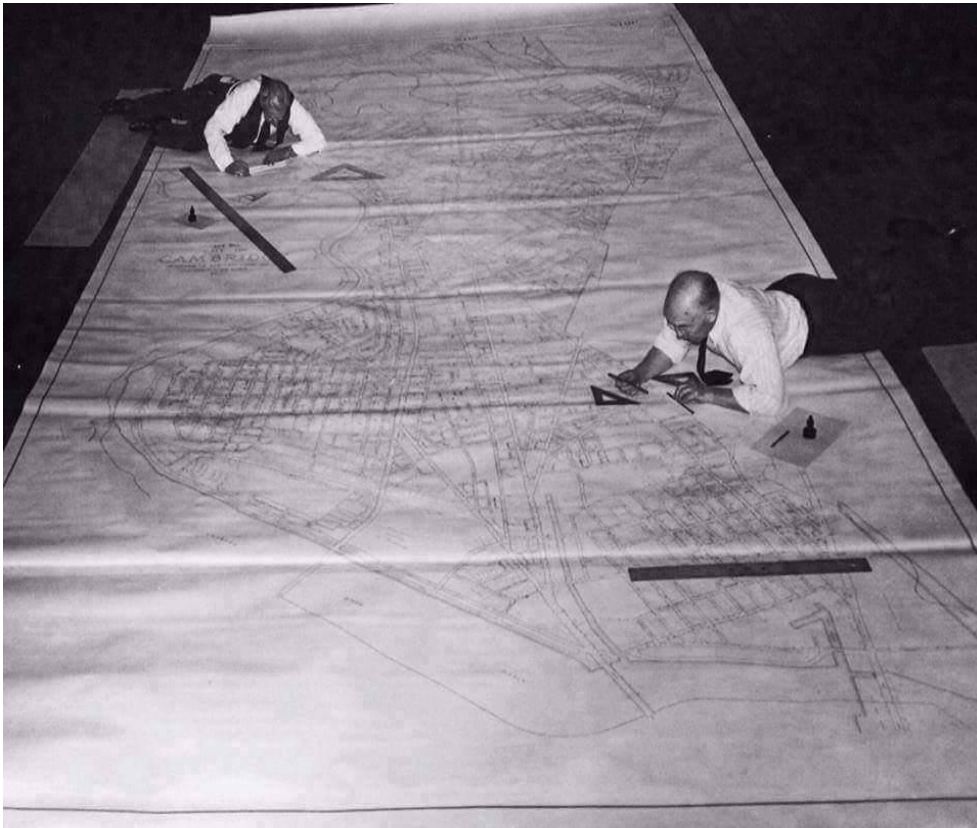


Figure II-08 : Des urbanistes avant l'invention d'Autocad

Cette image aurait été prise dans les années 80 et on peut y voir des urbanistes, ventre au sol sur un gigantesque papier à dessin, occupés à concevoir une ville.

Avant que les ordinateurs ne viennent simplifier le processus de conception, les professionnels dans les domaines de l'architecture, de l'urbanisme ou encore de l'ingénierie comptaient uniquement sur leur capacité à dessiner à la main.

Aujourd'hui, le dessin est toujours une partie importante de la conception, car la capacité d'un technicien à analyser et à penser de manière critique dépend fortement de ses capacités de dessin.

Au cours des années 1960, beaucoup d'efforts ont été consacrés à la recherche et au développement de méthodes de conception utilisant l'infographie interactive.

Si aujourd'hui on cite surtout **Autocad**, l'une des plus grandes avancées en matière de CAO a été la création de **Sketchpad** [21]

Il permettait aux utilisateurs de dessiner, déplacer et changer facilement des objets sur leurs écrans d'ordinateur.

Sketchpad est en quelque sorte l'ancêtre d'Autocad et de tous les logiciels de CAO/DAO que nous utilisons aujourd'hui.

Dans les années 1970, les premiers programmes de conception assistée par ordinateur donnaient aux techniciens en architecture et en ingénierie la capacité de produire des conceptions 2D équivalentes aux ébauches dessinées à la main.

Les ingénieurs et autres architectes dessinaient tout sur papier (parfois à échelle réelle) à l'aide d'outils de dessin et de crayons.

Cette méthode était fastidieuse et prenait beaucoup de temps. Concevoir et mettre tout sur papier était un travail difficile et c'est sans doute la raison pour laquelle le besoin de créer des logiciels de CAO est apparu.

Cependant, ce n'est que dans les années 1990 que les programmes de CAO, tels qu'AutoCAD, sont devenus un élément de base de l'industrie et ont été utilisés par des cabinets d'architectes et d'ingénieurs partout dans le monde.

A partir de là, les ordinateurs assez puissants pour faire tourner les logiciels de dessin étaient communs et de plus en plus d'écoles techniques ont commencé à offrir des programmes de CAO et d'Architecture.

II.9 Ce que le DAO/CAO a apporté à l'ingénierie :

A l'instar de l'Architecture, les techniciens en conception assistée par ordinateur qui travaillent pour des entreprises de génie civil utilisent la CAO pour des applications structurelles telles que les bâtiments, les ponts et autres ouvrages.

La CAO a également donné aux ingénieurs la liberté de faire des corrections de conception sans avoir à rédiger un tout nouveau plan pour le faire.

La principale différence entre le travail des architectes et des ingénieurs est la variété des applications pour lesquelles ils utiliseraient la CAO.

II.10 Quelques logiciels utilisés en travaux publics :

II.10.1 Logiciel Covadis :

COVADIS est spécialement dédié aux bureaux d'études en infrastructure, aux entreprises de travaux publics, aux collectivités locales et territoriales, ainsi qu'aux cabinets de géomètres. Il permet de traiter un projet d'infrastructure de sa phase initiale à sa phase finale.

Il contient, en un seul logiciel, l'ensemble des modules "métiers" exploités quotidiennement par les bureaux d'études de VRD et les entreprises de BTP. **COVADIS** fonctionne sur toutes les versions récentes d'AutoCAD.

Covadis intègre notamment les fonctionnalités suivantes : [22]

- ✓ Topographie ;
- ✓ Dessin assisté ;
- ✓ Cotation par étiquette ;
- ✓ Parcellaire de lotissement ;
- ✓ Nuage de points ;
- ✓ Modèle numérique de terrain ;
- ✓ Conception 3D ;
- ✓ Cubatures et profils ;
- ✓ Projet linéaire ;
- ✓ Terrassement plates-formes ;
- ✓ Bordure /caniveau ;
- ✓ Réseaux d'assainissement ;
- ✓ Réseaux divers ;
- ✓ Assainissement et ouvrages fourreaux ;
- ✓ Carrefours en T ou en X ;
- ✓ Carrefours giratoires ;
- ✓ Epures de giration ;
- ✓ Signalisation urbaine ;
- ✓ Métrés et bordereaux ;
- ✓ Rendu 3D paysager ;
- ✓ Terravision 3D ;
- ✓ Echanges BIM.

Remarque : Nous allons citer et détailler quelques-unes.

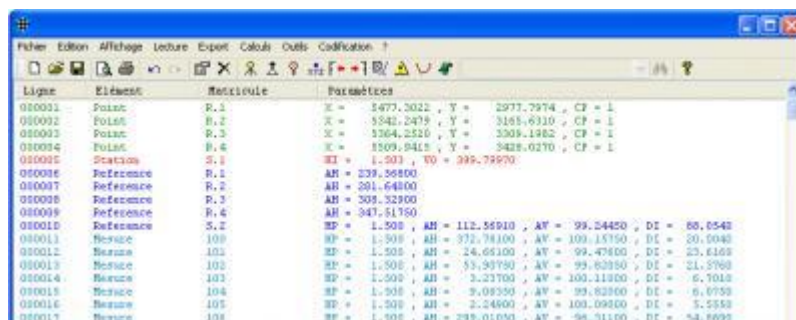
II.10.1.1 Topographie :

- COVADIS accélère et optimise le passage du levé de terrain au plan topographique.
- COVADIS simplifie les manipulations sur la constante de prisme.
- COVADIS lit les nouveaux carnets de terrain XML de Trimble et Leica.
- COVADIS est labellisé par l'IGN.
- Nouvelle commande de calcul "Nivellement double mire" (méthode de Cholesky).

- Nouveau type de code "Liaison 3D avec décalage altimétrique" pour le levé des réseaux enterrés et aériens [23].

II.10.1.1.1 Compatible avec tous les appareils :

A l'issue d'un levé, COVADIS lit le carnet de terrain provenant du théodolite et le convertit en une GéoBase. Tous les carnets issus d'une station totale, ou d'un GPS, peuvent être traités par le logiciel quelle que soit la marque de l'appareil : Leica, Trimble, Zeiss, Nikon, Topcon, Sokkia, etc.) (Figure II-9).



Ligne	Element	Metric	Paramètres
010001	Point	R, 1	X = 5477.3022, Y = 2977.7974, CP = 1
010002	Point	R, 2	X = 3542.2479, Y = 3165.6310, CP = 1
010003	Point	R, 3	X = 3264.2520, Y = 3009.1962, CP = 1
010004	Point	R, 4	X = 3209.9419, Y = 3422.0270, CP = 1
010005	Station	S, 1	SI = 1.501, VO = 399.75970
010006	Reference	R, 1	AH = 239.56800
010007	Reference	R, 2	AH = 201.64800
010008	Reference	R, 3	AH = 309.32900
010009	Reference	R, 4	AH = 347.51750
010010	Reference	S, 2	SP = 1.505, AH = 112.56910, AV = 99.24450, DI = 88.0540
010011	Nezuce	109	SP = 1.505, AH = 372.78100, AV = 109.15750, DI = 20.0040
010012	Nezuce	102	SP = 1.505, AH = 24.65100, AV = 99.47800, DI = 23.6160
010013	Nezuce	102	SP = 1.505, AH = 53.91790, AV = 99.62850, DI = 21.3760
010014	Nezuce	102	SP = 1.505, AH = 3.23700, AV = 100.11000, DI = 6.7010
010015	Nezuce	104	SP = 1.505, AH = 9.09350, AV = 99.82360, DI = 6.0750
010016	Nezuce	105	SP = 1.505, AH = 2.24600, AV = 100.09050, DI = 5.5550
010017	Nezuce	108	SP = 1.505, AH = 299.01050, AV = 98.31100, DI = 54.8690

Figure II-9 : exemple de GéoBase

II.10.1.1.2 Calculs topométriques :

L'utilisateur peut ensuite éditer la GéoBase et calculer les coordonnées par diverses méthodes : relèvement, intersection, recoupement, triangulation, cheminement polygonal (en antenne, encadré ou fermé), nivellement direct (simple ou double) ou compensation par les moindres carrés (Figure II-10).

COVADIS assiste l'opérateur en permettant la visualisation des visées et la détermination automatique des cheminements.

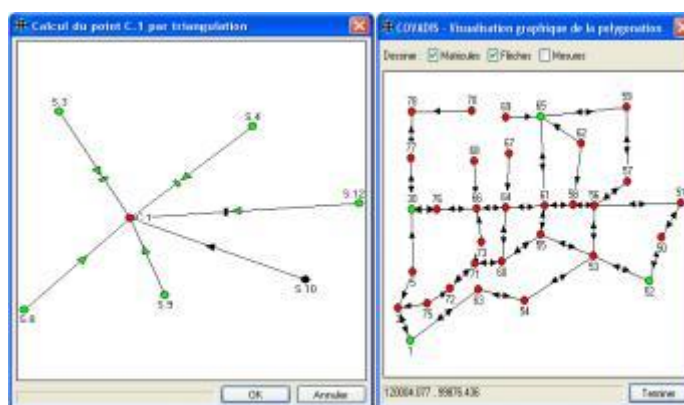


Figure II-10 : exemple de calcul des points par diverses méthodes.

II.10.1.1.3 Systèmes de projection :

Les coordonnées sont calculées dans un système local ou dans tout autre système de projection officiel (Lambert 93 avec 9 zones, projection belge BD72, projection suisse CH1903, etc.) (Figure II-11).

La transformation entre les systèmes de projection est labellisée par l'IGN (Institut Géographique National).

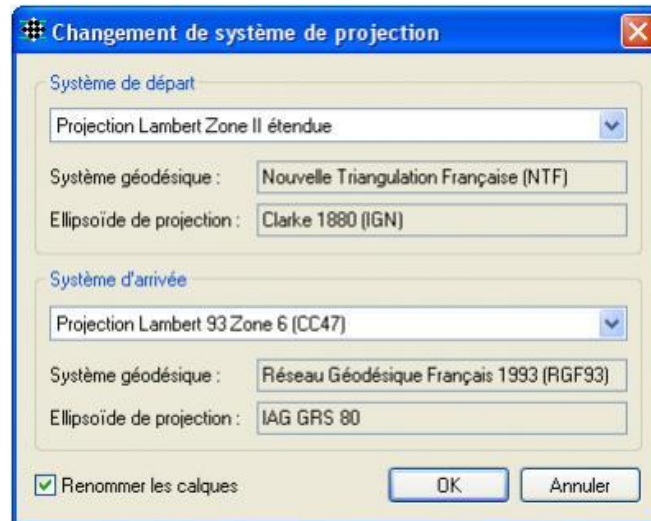


Figure II-11 : Exemple de changement de système de projection

II.10.1.1.4 Géocodification :

COVADIS permet d'automatiser la création des plans topographiques à partir de la codification des éléments levés sur le terrain. Le traitement d'un carnet codé garantit en effet la création et la structuration de la base graphique **AutoCAD** associée au levé à partir d'une table de géocodage décrivant la correspondance Code terrain - Objet graphique - Calque **AutoCAD**. Cette table est personnalisable par l'opérateur, les codes pouvant être numériques ou alphanumériques.

COVADIS permet de coder des points, des symboles et des liaisons, ainsi que certains objets spécifiques (escaliers, entrées avec piliers, etc.). L'opérateur adapte sa codification aux différents types de levés par la création de plusieurs tables de géocodage.

COVADIS permet notamment d'affecter plusieurs codes à un même point, de lever et de coder simultanément plusieurs liaisons et d'interpréter automatiquement les dimensions mesurées sur le terrain. Les liaisons seront dessinées automatiquement en 2D ou en 3D et pourront être « habillées » en fonction du paramétrage de la table

II.10.1.2. Dessin assisté :

Covadis simplifie le dessin des plans et accélère la conception de projet [24]

II.10.1.2.1 Applicatif d'Autocad :

COVADIS est un applicatif d'AutoCAD. En matière de DAO, l'opérateur dispose donc, dans l'environnement AutoCAD, des fonctionnalités de dessin orienté objet de COVADIS. Le fichier produit est un simple fichier DWG qui peut être exporté vers tous les formats reconnus par AutoCAD, Map, Civil ou par COVADIS (DXF, DWF, LAND XML, PISTE, MACAO, MOSS, etc.).

Avec COVADIS, le dessin et la conception des projets sont encore plus simples et plus rapides. Les nouvelles palettes d'outils, les nouveaux assistants et menus contextuels accélèrent le travail du projeteur en le guidant lors des différentes phases de la conception (Figure II-12).

Par ailleurs, ces nouveaux outils sécurisent vos études en produisant à chaque étape une modélisation 3D du projet et les listings de calculs.

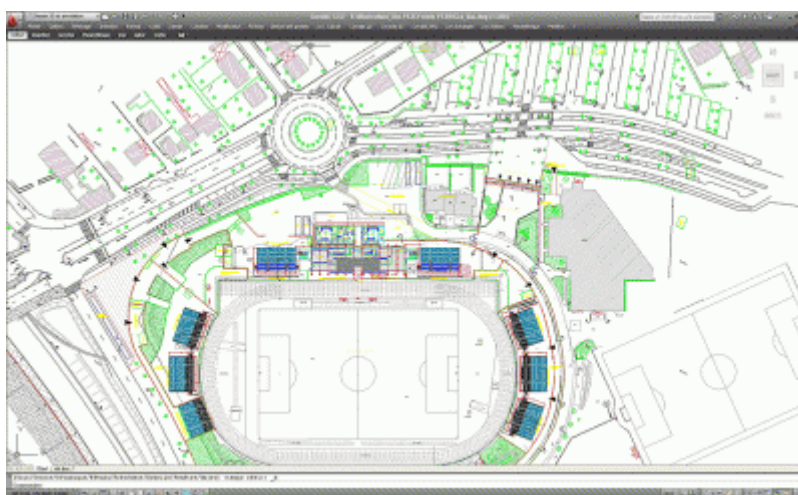


Figure II-12 : Modélisation 3d du projet

II.10.1.2.2. Création de plans topographiques :

Le dessin AutoCAD correspondant au semis de points levés est automatiquement créé à partir d'une Géo Base de points calculés ou par lecture directe d'un fichier ASCII de coordonnées. De nouveaux points peuvent être construits par alignement, rayonnement, projection, intersection, interpolation, etc.

II.10.1.2.3 Gestion des échelles :

COVADIS associe une échelle de tracé à chaque dessin AutoCAD. L'opérateur définit ensuite la taille des différents objets textes, symboles, talus, hachures et symboliques linéaires en millimètres papier au cours de l'exécution du plan.

Lors d'un futur changement d'échelle, COVADIS modifiera automatiquement la taille ou la représentation graphique des entités liées à l'échelle.

II.10.1.2.4 Symbolique thématique 2D/3D :

Le dessinateur dispose de plusieurs bibliothèques complètes de symboles 2D/3D et de symboliques linéaires simplifiant l'habillage du plan topographique (Figure II-13). Des commandes spécifiques automatisent le dessin et la modification des limites, des clôtures, des réseaux, des talus, des bâtiments, etc. A tout moment, l'opérateur peut enrichir ou personnaliser la symbolique prédéfinie. Les types de ligne conformes à la norme DGI ainsi que les symboles DDE sont fournis avec COVADIS.

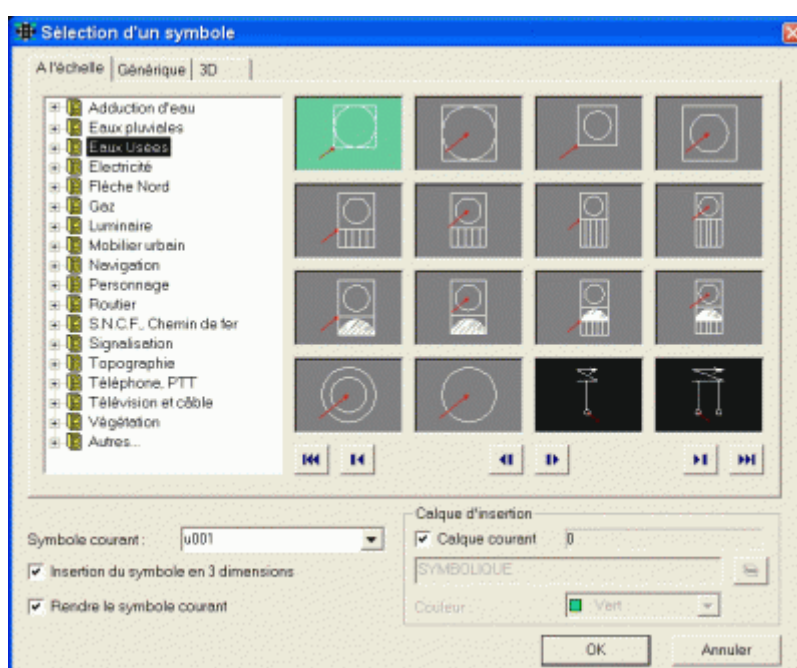


Figure II-13 : Symboliques thématiques

II.10.1.2.5 Palettes d'outils personnalisées :

COVADIS permet de créer automatiquement des palettes d'outils regroupant les symboles et les symboliques linéaires associés directement à un calque, une couleur, un type de ligne ou tout autre propriété AutoCAD. L'utilisateur peut accéder à ces objets d'un simple clic et réaliser son plan en respectant une charte graphique.

De plus, grâce à un module de contrôle de structuration, COVADIS peut vérifier la conformité d'un dessin AutoCAD avec une charte graphique : calque, couleur, type de lignes, etc.). (Figure II-14).

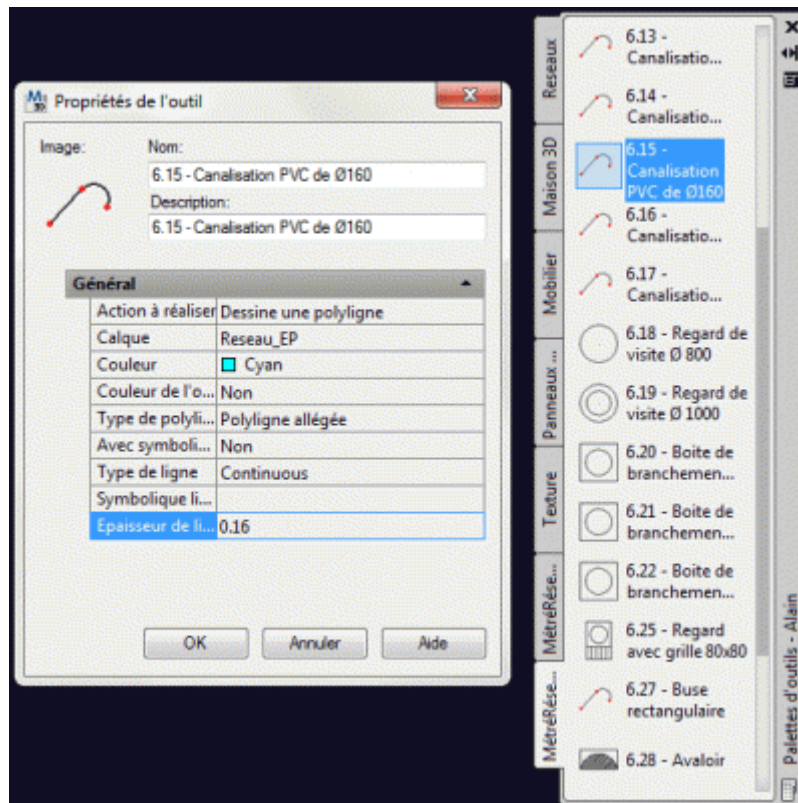


Figure II-14 : Propriétés de l'outil

II.10.1.2.6 Modification et mise en page du dessin :

De nombreuses commandes enrichissent les fonctionnalités d'AutoCAD pour la modification des plans. La gestion des points topographiques, l'édition des attributs indépendamment des symboles, le non-chevauchement des altitudes, l'occultation sélective de certains objets, l'orientation automatique des textes suivant une polyligne sont autant de fonctions optimisant quotidiennement la tâche de l'opérateur. Le dessin automatique du cadre, du carroyage, du cartouche ou des cahiers de profils achève la mise en page du plan avant le tracé.

II.10.1.2.7 Dessin orienté objet :

Lors des opérations de dessin et de conception, COVADIS simplifie la tâche du projeteur grâce à sa gestion automatique d'objets. Les points topographiques, les polygones, les polylignes 3D, les plates-formes, les axes en plan, les canalisations, etc. sont reconnus automatiquement et il est possible d'afficher en temps réel les caractéristiques de ces différents objets. Il suffit par exemple de placer le curseur sur une polyligne pour afficher le Z d'un sommet ou la pente d'un côté.

Par ailleurs, lors de la modification d'un plan, toutes les cotations linéaires et surfaciques sont automatiquement recalculées et mises à jour sur le plan. Le

dessin des talus, des hachures et de l'habillage des liaisons est également régénéré automatiquement.

II.10.1.2.8 Levé d'intérieur :

Des fonctions de calcul, de constructions géométriques, et de gestion d'attributs complètent AutoCAD pour le montage de plans d'intérieur. Le calcul de droites moyennes, l'ajustement par moindres carrés des dimensions d'une pièce, le dessin paramétrable des portes et fenêtres, la cotation automatique des pièces constituent les principales commandes de ce module .

II.10.1.2.9 Systèmes de projection et recalage d'Helmert :

COVADIS permet de projeter en un seul clic des plans d'un système de projection initial (Lambert zone par exemple) vers un système de projection final (Lambert 93 ou coniques conformes). La transformation entre systèmes est labellisée par l'IGN (Institut Géographique National).

Il est également possible de recalcr un plan dessiné dans un système local grâce à une transformation d'Helmert. COVADIS peut traiter aussi bien des informations vectorielles que des images

II.10.1.3 Cotation par étiquette :

COVADIS introduit l'objet "étiquette" permettant de coter et de caractériser des entités ponctuelles, linéaires et surfaciques, ainsi que tous les objets "métiers" d'un projet (MNT, plates-formes, canalisations, etc.).

- COVADIS simplifie et enrichit la cotation des éléments d'un projet
- COVADIS permet de coter les éléments à partir d'étiquettes personnalisables.
- Les étiquettes prennent en compte les données d'objet Map et les propriétés BIM [25].

II.10.1.3.1 Modèle d'étiquette :

Les étiquettes sont entièrement personnalisables : L'utilisateur peut très simplement définir le contenu, la hauteur des textes, la couleur, etc., à travers un gestionnaire de modèles d'étiquette. L'ensemble des modèles est sauvegardé dans une bibliothèque afin d'y accéder à partir de tout nouveau dessin.

L'utilisateur peut par exemple coter des coordonnées, des longueurs, des pentes... mais il peut aussi introduire des formules de calcul comme une différence d'altitudes entre 2 MNT (Figure II-15).

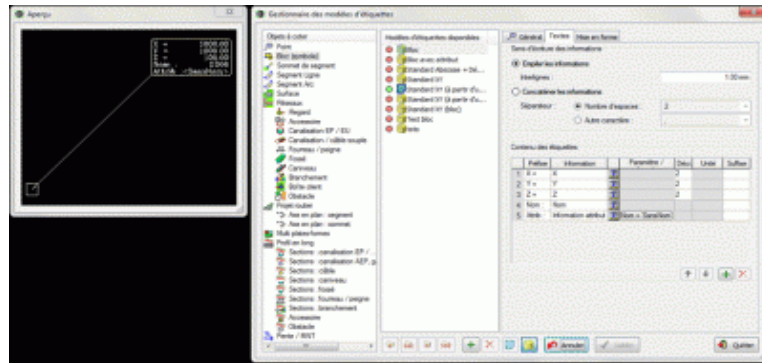


Figure II-15 : Création d'une étiquette

II.10.1.3.1 Etiquette dynamique :

L'étiquette COVADIS est un objet dynamique et associatif : toute modification de l'entité cotée entraîne une mise à jour des données affichées dans l'étiquette. Dans le cas d'un projet, il est alors possible de voir évoluer les informations en temps réel.

Un modèle d'étiquette peut être modifié à tout moment pour ajouter ou supprimer des informations. Toutes les étiquettes utilisant ce modèle sont alors mises à jour automatiquement.

II.10.1.3.1.2 Etiquette polyvalente :

Les étiquettes COVADIS permettent de coter rapidement tous les types d'objet, en proposant pour chacun d'eux des informations adaptées.

Il est possible de recenser toutes les étiquettes dans un fichier au format XLS, afin de produire un listing des objets cotés et des informations affichées.

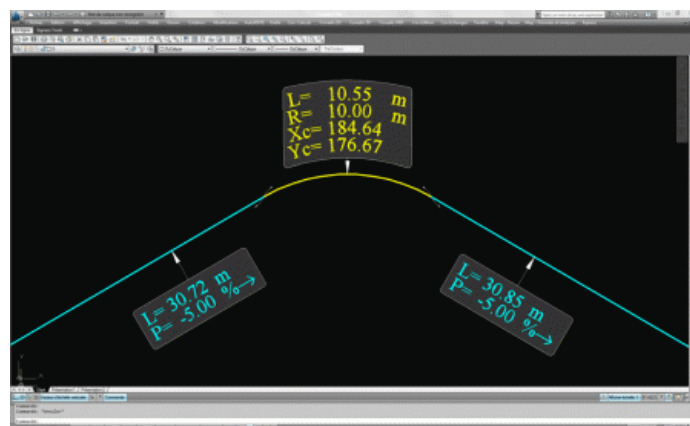


Figure II-16 : Cotation de segments de polyligne

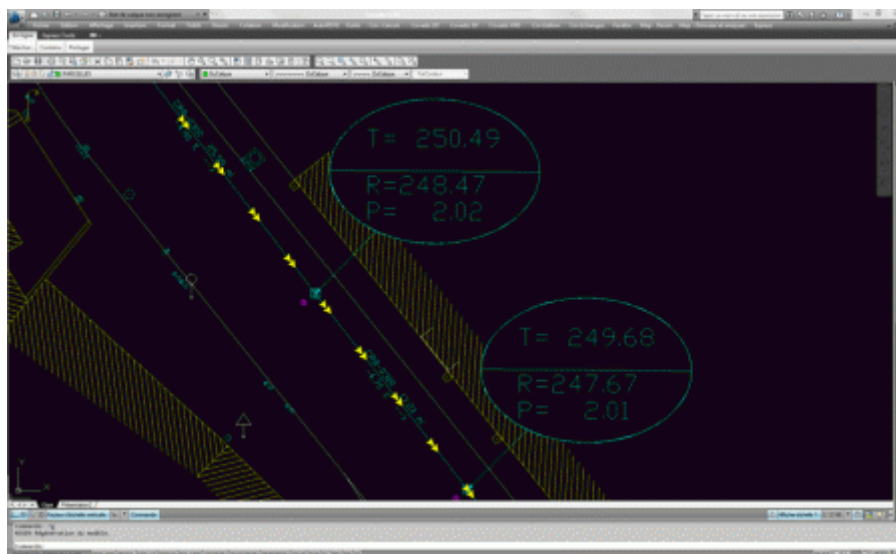


Figure II-17 : Cotation d'un réseau d'assainissement

II.10.1.4 Cubatures et profils :

II.10.1.4.1 Calcul de cubatures :

Les cubatures sont calculées par prismes ou par profils.

La méthode des prismes permet de comparer des modèles numériques entre eux lors d'un suivi de carrière par exemple, ou de comparer un modèle numérique à un plan horizontal pour le calcul d'un bassin. Les zones de déblais et de remblais sont automatiquement délimitées et coloriées (Figure II-18).

Le calcul par prisme permet de limiter la zone à traiter par un contour d'emprise et d'équilibrer les mouvements de terre. Le listing récapitulatif mentionne les volumes corrigés en tenant compte du compactage et du foisonnement, ainsi que le déplacement en altitude correspondant à l'équilibrage.

La méthode des profils permet notamment le contrôle des volumes lors de travaux de terrassement. Le cahier des profils et le tableau récapitulatif des calculs sont mis en page et édités automatiquement [26].

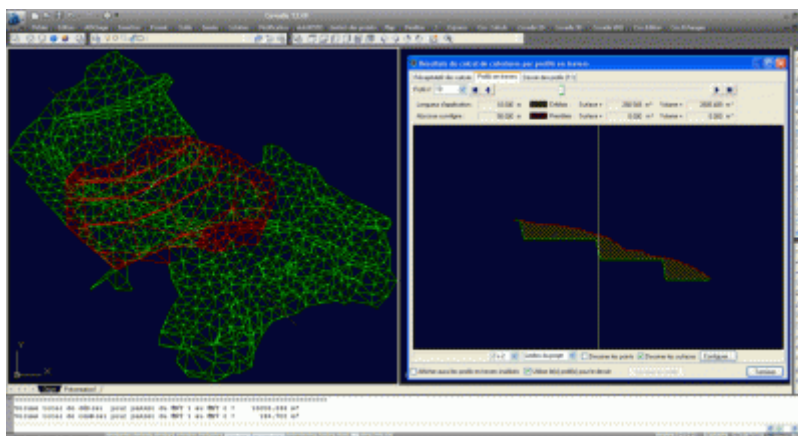


Figure II-18 : Calcul de cubatures

II.10.1.4.2 Calcul et dessin de profils interactifs :

COVADIS permet de calculer et de dessiner automatiquement un profil à partir d'une simple polygone 3D de la vue en plan.

Les profils sont interactifs : la modification de la polygone entraîne la mise à jour automatique du profil et inversement.

Le dessin, la mise en page et l'impression des profils sont entièrement paramétrables. Plusieurs polygone 3D, décrivant par exemple l'axe de la chaussée et les deux fils d'eau, peuvent être représentés sur un même profil en long (Figure II-19).

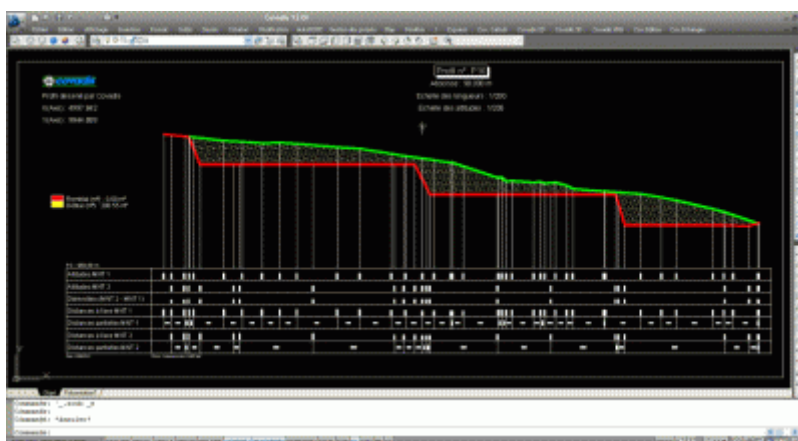


Figure II-19 : Calcul et dessin de profils interactifs

II.10.1.5 Bordure / Caniveau :

COVADIS permet de dessiner les bordures et les caniveaux en 2D, en 3D ou par conversion de polygone. Il est possible d'ajouter des chanfreins et des raccords. **COVADIS** fournit une bibliothèque d'objets métiers pré-remplie par

des modèles aux dimensions réelles issus des catalogues de fournisseurs. Un assistant permet aussi de se créer ses propres modèles (Figure II-20) [27].

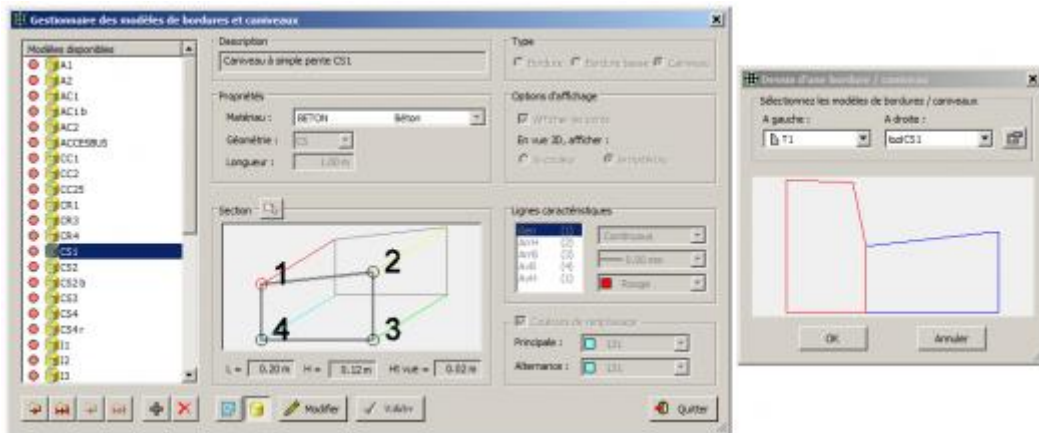


Figure II-20 : Modélisation des bordures et caniveaux

L'objet bordure/caniveau peut être modifié dynamiquement par un simple clic grâce aux poignées, aux menus jaillissants, au menu contextuel ou aux propriétés AutoCAD. Il est possible de créer automatiquement des bateaux (abaissement de trottoir) ou des zones de changement de modèle.

II.10.1.6 Réseaux d'assainissement :

COVADIS permet de concevoir, de dimensionner et de dessiner des réseaux EU et EP (réseaux busés et fossés) en respectant les normes en vigueur, et en exploitant une bibliothèque métier complète et évolutive (ouvrages, éléments du réseau, etc.).

Il permet également de réaliser l'étude hydraulique d'un site à partir du MNT (analyse des pentes, lignes d'écoulement, détection et assemblage des bassins versants, etc.).

- COVADIS permet d'importer des réseaux provenant d'un fichier externe.
- COVADIS assure la gestion des fossés de transit, des caniveaux et des noues.
- Il est possible de prendre en compte deux MNT comme référence altimétrique : le premier pour le TN initial et le deuxième pour le projet terrassé [28].

II.10.1.6.1 Méthodes de calculs :

COVADIS permet de dessiner et de dimensionner les réseaux EU et EP. Il propose différentes méthodes de calcul, notamment la méthode superficielle

(Caquot, méthode de l'instruction technique de 77) et la méthode rationnelle (norme européenne EN 752-4).

Ce module est piloté par une barre d'outils simplifiant sa prise en main et son utilisation par des projeteurs.

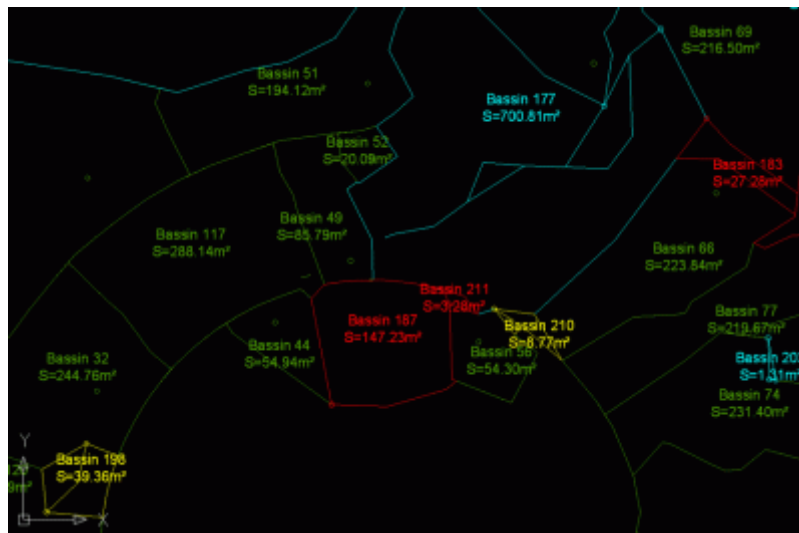
II.10.1.6.2 Bibliothèques de données personnalisables :

Tout d'abord, **COVADIS** vous permet de personnaliser les paramètres de votre étude : coefficient de pluviométrie de Montana, période de retour, collecteurs, matériaux des collecteurs, coefficient de ruissellement, contraintes de calcul, géométrie de tranchée, etc.

II.10.1.6.3 Analyse et détermination automatique des bassins versants :

En phase d'analyse, COVADIS calcule automatiquement les contours des bassins versants à partir du MNT de la zone à aménager. Il détermine dynamiquement la ligne d'écoulement d'une goutte d'eau, ainsi que le sens d'écoulement de chaque face.

Pour les calculs de débits, l'utilisateur peut sélectionner la méthode rationnelle (norme européenne EN 752-4), la méthode superficielle (Caquot) ou la méthode simplifiée (Figure II-21).



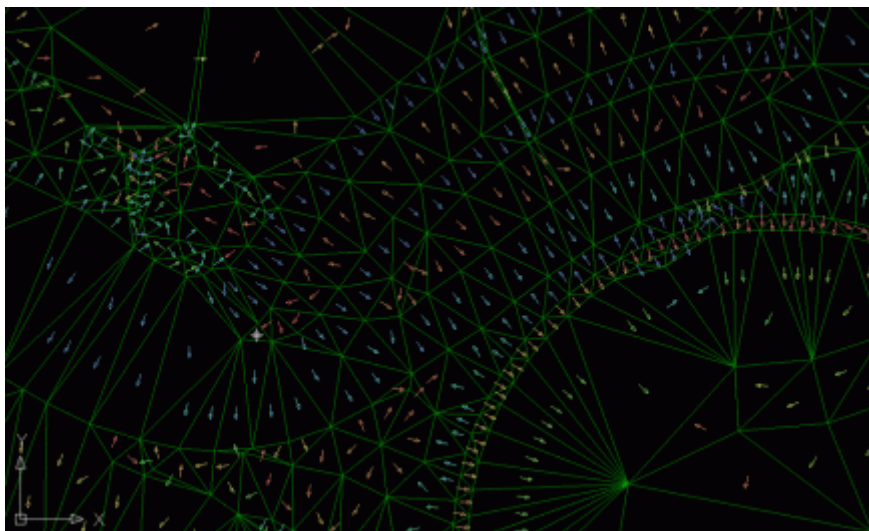


Figure II-21 : Détermination des bassins versants

II.10.1.6.4 Dessin du réseau :

La création d'un réseau se fait par la saisie des tronçons et des regards. Grâce à la commande de décalage, vous pouvez dessiner rapidement des réseaux parallèles (Figure II-22).

Si vous travaillez sur un fichier comportant déjà des polyligne matérialisant des canalisations, vous pouvez accélérer la saisie en utilisant la commande de conversion.

L'altitude TN de chaque regard est déterminée automatiquement à partir du MNT.

Lors de la création ou de la modification d'un réseau, COVADIS contrôle automatiquement les croisements et les hauteurs de recouvrement, tout en maintenant une interactivité entre la vue en plan et le profil en long.

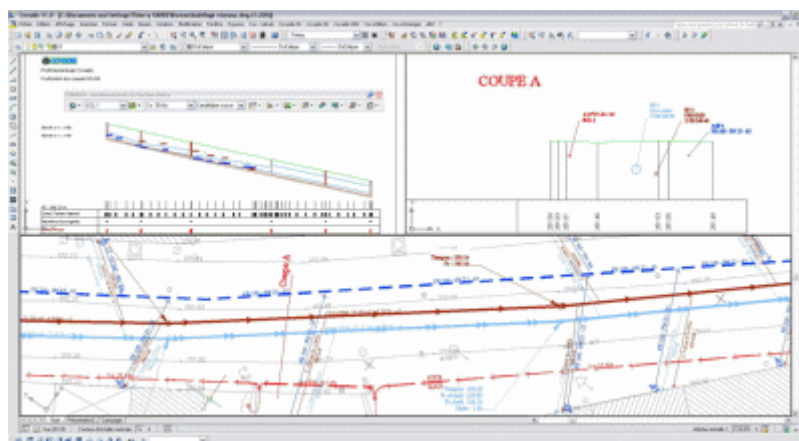


Figure II-22 : Dessin d'un réseau

II.10.1.6.5 Dimensionnement des collecteurs :

COVADIS calcule le coefficient de ruissellement pondéré d'un bassin versant superposé à plusieurs surfaces de coefficient de ruissellement différent

Le logiciel réalise automatiquement l'assemblage en série ou en parallèle des bassins versants du réseau.

Concernant le dimensionnement, les diamètres des collecteurs peuvent être déterminés automatiquement selon différentes formules (Chezy-Bazin, Manning-Strickler) correspondant aux normes en vigueur.

Vous pouvez par ailleurs renseigner un diamètre « palier » à partir duquel le logiciel changera de matériau.

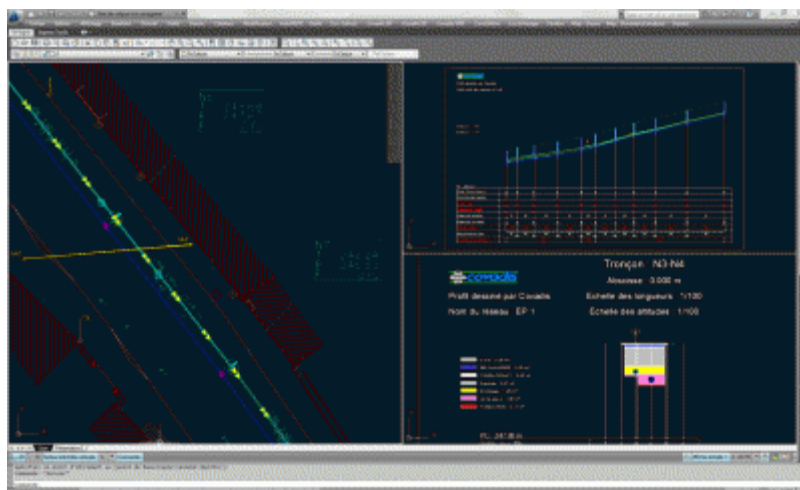


Figure II-23 : Dimensionnement des collecteurs

II.10.1.6.6 Dimensionnement des bassins de retenue :

Connaissant le débit de fuite et la surface totale, **COVADIS** calcule le volume de stockage d'un bassin de retenue selon la méthode des pluies, ou selon la méthode des volumes.

Le logiciel calcule la modélisation 3D permettant d'implanter le bassin et d'obtenir les cubatures de déblai et de remblai.

II.10.1.6.7 Calage altimétrique et expertise technique :

COVADIS permet d'optimiser les cotes fil d'eau des regards du réseau en respectant les contraintes de pose que vous avez fixées.

Toute modification de pente ou de profondeur réalisée au niveau d'un profil régénère automatiquement les cotations et les mètres. Lors de ces

opérations de modification, COVADIS maintient une interactivité permanente entre la vue en plan, le profil en long et les métrés.

Par ailleurs, la fonction d'expertise permet de détecter les problèmes de pose (hauteur de recouvrement insuffisante, etc.) et de croisements entre les différents réseaux (EP, EU, eau potable et réseaux souples). Tous ces aléas sont automatiquement représentés sur le profil en long.

II.10.1.6.8 Gestion des réseaux :

En plus de la gestion de l'assainissement routier, le logiciel permet l'intégration des différents réseaux existants et la création de nouveaux réseaux projetés à partir d'informations topographiques.

Les profils en long de ces réseaux seront en corrélation avec les surfaces du projet réalisé.

Le projeteur peut saisir tous types de réseaux (ovoïde, dalot, etc.), et notamment des réseaux à ciel ouvert de type fossé par exemple.

II.10.1.6.9 Bibliothèque de tranchées types :

Les tranchées sont des objets paramétrables pouvant intégrer plusieurs conduites. L'utilisateur peut notamment appliquer le C.C.T.G. pour les largeurs de tranchées, ou paramétrer l'épaisseur des couches de tranchées, la nature des matériaux des couches, la forme des collecteurs (circulaire, cadre, ou ovoïde), etc.) (Figure II-24).

L'utilisateur peut appliquer plusieurs profils en travers à son réseau selon un pas sur une longueur donnée.

La bibliothèque de tranchées (profils en travers) peut bien sûr être complétée par le projeteur.

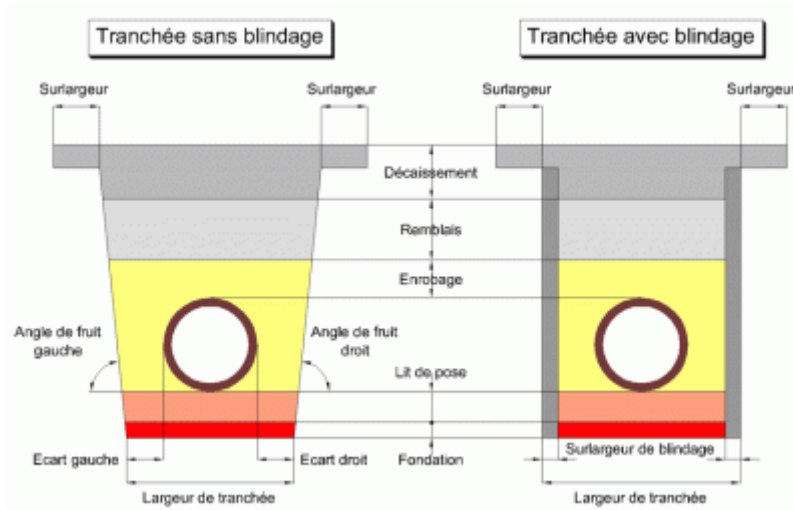


Figure II-24 : Tranchées types

II.10.1.6.10 Calcul des fossés de transit, des caniveaux et des noues :

COVADIS intègre également la gestion des fossés de transit, des caniveaux et des noues (calcul, vérification de la mise en charge, métré, ...).

Le logiciel permet la création et le dimensionnement d'un réseau d'assainissement superficiel. Il assure le contrôle de la capacité des fossés, des caniveaux et des cunettes de la plate-forme routière, en respectant les recommandations du Guide Technique de l'Assainissement Routier (GTAR) édité par le SETRA.

Par ailleurs, une calculette assiste le projeteur durant son étude hydraulique en assurant le calcul des collecteurs circulaires, le pré-dimensionnement des ouvrages ouverts, ou le débit de fuite par la méthode de Poncelet (Figure II-25).

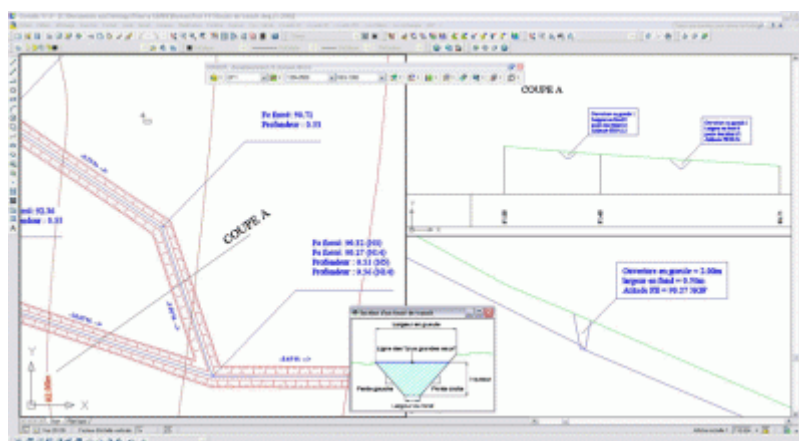


Figure II-25 : Calcul des fossés de transit, des caniveaux et des noues

II.10.1.6.11 Métrés des réseaux :

COVADIS génère automatiquement les quantitatifs, les métrés et les cubatures au format Excel. Ces documents récapitulent les calculs réalisés, les données altimétriques (cotes, hauteurs de chute) et les fournitures à commander.

Un simple clic permet de produire automatiquement les pièces écrites (devis, factures, etc.) associées au projet (Figure II-26).

COVADIS		DEVIS ESTIMATIF			
Lot : EP		13/07/2009			
Désignation	Unités	Quantité	PU HT	Montant	
EP					
Travaux préparatoires					
TP-001	Installation du chantier	1.000	1 500.00	1 500.00	
TP-002	Piquetage, implantation, sondage	1.000	1 500.00	1 500.00	
Canalisation EP					
EP-001	Longueur 3D des canalisations	ml	178.304	72.00	12 837.89
EP-065	Fourniture et pose des canalisations CR8-0300	ml	105.702	67.00	7 082.03
EP-066	Fourniture et pose des canalisations CR8-0400	ml	11.325	110.00	1 245.75
EP-067	Fourniture et pose des canalisations CR8-0500	ml	61.277	186.00	11 397.52
EP-138	Nombre de tuyaux CR8-0300		18.000	65.00	1 170.00
EP-139	Nombre de tuyaux CR8-0400		2.000	112.00	224.00
EP-140	Nombre de tuyaux CR8-0500		9.000	58.00	522.00
Travaux de génie civil					
Traitement du sol de fondation					
GC-001	Longueur 2D	ml	178.116	62.00	11 043.19
GC-002	Longueur 3D	ml	178.304	62.00	11 054.85
GC-010	Volume	m ³	30.28	128.00	3 875.84
Démolition de chaussée					
GC-003	Longueur 2D de découpage	ml	178.116	56.00	9 974.50
GC-004	Longueur 3D de découpage	ml	178.304	56.00	9 985.02
GC-006	Surface 2D de démolition	m ²	532.40	45.00	23 958.00
GC-014	Volume de démolition	m ³	145.47	121.00	17 601.87
Terrassements					
Protection contre les éboulements					
GC-005	Longueur 2D blindée	ml	178.116	58.00	10 330.73
GC-007	Surface de blindage	m ²	831.80	27.00	22 458.60
GC-015	Volume de blindage	m ³	83.18	84.00	6 987.12
Tranchées					
GC-008	Volume de fouille	m ³	1030.17	84.00	86 534.28
Enrobage et lit de pose					
GC-011	Volume de lit de pose	m ³	207.14	80.00	16 571.20
GC-012	Volume d'enrobage	m ³	225.52	78.00	17 590.56
Remblais et apports					
GC-013	Volume de remblai	m ³	526.75	75.00	39 506.25
GC-055	Volume de 0.315	m ³	53.24	90.00	4 791.60
GC-058	Volume de BB CHAUSSEE	m ³	46.12	121.00	5 580.52
Regard EP					
EP-150	Regards REG-1000		11	123.00	1 353.00
Sous-Total HT :		2 208 451.89 F	336 676.32 €		
Sous-Total TVA :		432 856.64 F	65 988.57 €		
Sous-Total TTC :		2 641 308.53 F	402 664.89 €		

Figure II-26 : Devis Estimatif

II.10.2 Logiciel Autopiste :

AutoPISTE est un applicatif complémentaire à COVADIS, spécialement dédié aux bureaux d'études en conception d'infrastructures de transport linéaires (Routes, Autoroutes, Rails, Tramway). Le package logiciel COVADIS+AutoPISTE permet de traiter une étude d'infrastructure routière de sa phase initiale (importation des données du terrain) à sa phase finale (intégration du projet en 3D, plans d'exécution, quantitatifs, métrés et bordereaux VRD) [29].

Autopiste intègre notamment les fonctionnalités suivantes :

- ✓ Un logiciel simple et dédié ;
- ✓ Création de projets multi-axes ;
- ✓ Conception plane ;
- ✓ Conception longitudinale ;
- ✓ Conception transversale ;
- ✓ Dévers et décapages ;
- ✓ Ecoulement dans les fossés ;
- ✓ Couche géologiques ;
- ✓ Reprise de chaussée existante ;
- ✓ Listings et intégration du projet ;
- ✓ Giratoires et carrefours en 3D.

Remarque : Nous allons citer et détailler quelques-unes.

II.10.2.1 Logiciel simple et dédié :

II.10.2.1.1 Un logiciel de CAO dédié aux projeteurs routiers :

AutoPISTE est un applicatif d'AutoCAD dédié aux projeteurs routiers. Il exploite dans l'environnement AutoCAD les méthodes de conception routière bien connues des projeteurs.

Lors du développement du progiciel **AutoPISTE**, l'objectif de l'éditeur GEOMEDIA était de reproduire les méthodes de travail et les approches du

métier de la CAO routière, tout en garantissant la capacité du progiciel à intégrer les formats et représentations en usage dans le privé, ainsi que l'interopérabilité de la solution.

AutoPISTE a donc été développé dans l'environnement du standard de la DAO AutoCAD en utilisant les mêmes méthodes de travail que l'application Piste [21].

II.10.2.1.2 Un seul et même dessin :

Avec **AutoPISTE**, tous les éléments d'un projet sont dessinés dans un seul et même fichier au format DWG, évitant ainsi les manipulations intempestives liées aux changements de formats.

Le projet est modélisé à la fois en 2D et en 3D grâce à l'utilisation d'un modèle numérique de terrain qui sert de base au calcul.

Les profils se dessinent dans la fenêtre du modèle, ou dans une autre fenêtre, selon le choix du projeteur.

L'utilisateur d'AutoPISTE travaillant directement dans l'environnement AutoCAD, il accède facilement à toutes les vues 2D et 3D de son projet, tout en visualisant simultanément les profils (Figure II-27)

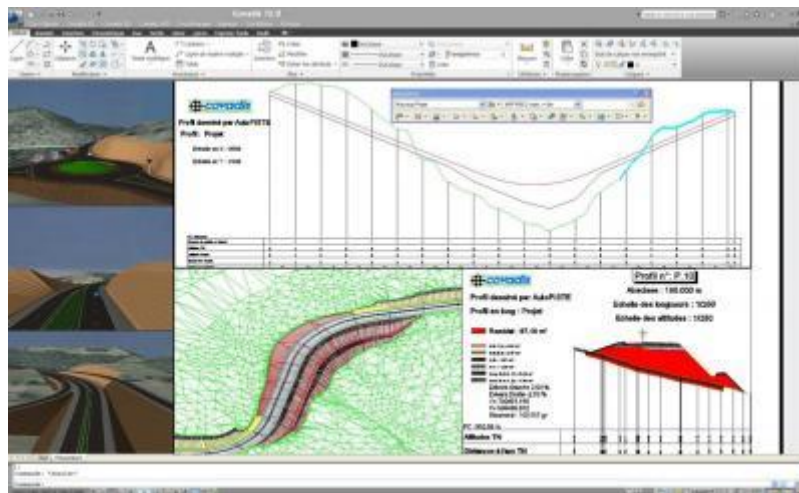


Figure II-27 : Vue 2d et 3d de projet

II.10.2.1.3 Une barre d'outils spécialisée :

AutoPISTE est piloté grâce à une barre d'outils dédiée très simple d'utilisation. Le projeteur est guidé par des listes jaillissantes et des boutons permettant de dérouler des menus activés à l'avancement du projet (Figure II-28).

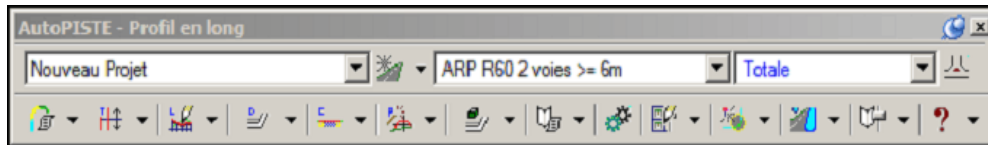


Figure II-28 : Barre d'outils du profil en long

II.10.2.1.4 Aide à la conception selon le type de route :

AutoPISTE intègre les différentes normes relatives à l'Aménagement des Routes Principales (ARP), à l'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL) et à l'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (ICTAVRU).

Le logiciel garantit donc le respect des normes en vigueur en termes de dévers de chaussées, de dévers d'accotements et de calcul de visibilité. Ces normes assurent également une aide pour la conception géométrique des axes en plan et profils en long (création de clothoïdes, d'arcs, de paraboles, etc.).

AutoPISTE dispose également d'une fonction de contrôle automatique des règles de conception à posteriori. L'opérateur conserve la possibilité de personnaliser les normes afin de les adapter à d'autres contextes (Figure II-29).

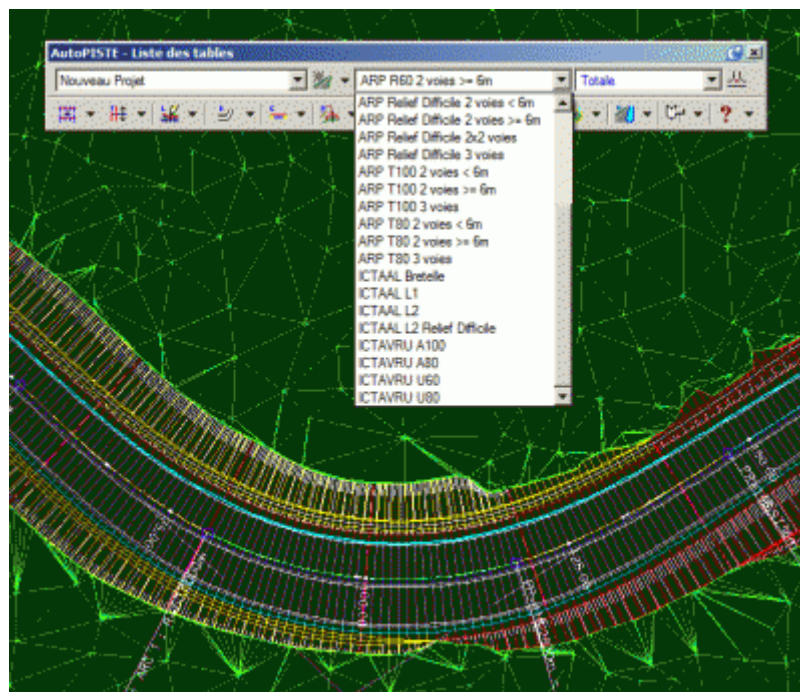


Figure II-29 : Listes des tables .

II.10.2.1.5 L'interactivité entre les éléments :

L'associativité entre les différents éléments du projet garantit leur mise à jour automatique dès que l'un d'eux est modifié. L'utilisateur définit, à l'aide des réacteurs, quels éléments doivent être mis à jour (Figure II-30).

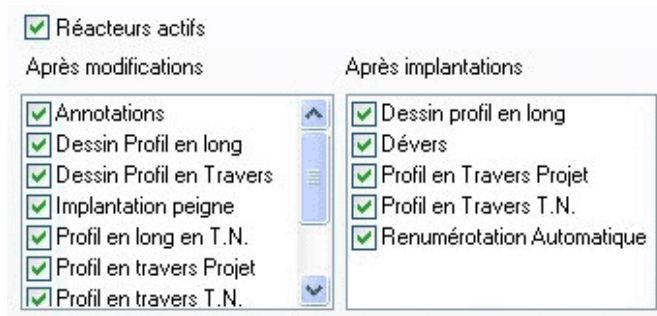


Figure II-30 : L'associativité entre les différents éléments du projet

II.10.2.2 Conception plane :

AutoPISTE permet de définir un projet à partir de la conception interactive d'un axe en plan.

- AutoPISTE intègre un nouvel objet axe en plan dynamique.
- Le projet est automatiquement recalculé suite à une modification de la géométrie.
- Nouvel assistant pour créer un axe en plan à partir des points de passage [31].

II.10.2.2.1 Nouvel OBJET axe en plan :

Une nouvelle barre de menus dédiée permet la création de l'axe en plan (commun avec COVADIS).

Le projeteur dispose d'une gamme complète de commandes de constructions géométriques de droites, de clothoïdes, d'arcs, de cubiques et de raccordements (clothoïdes, courbes en S, courbes en C, courbes à sommets, courbes en OVE).

Plusieurs axes peuvent être créés et gérés dans un même fichier (Figure II-31).

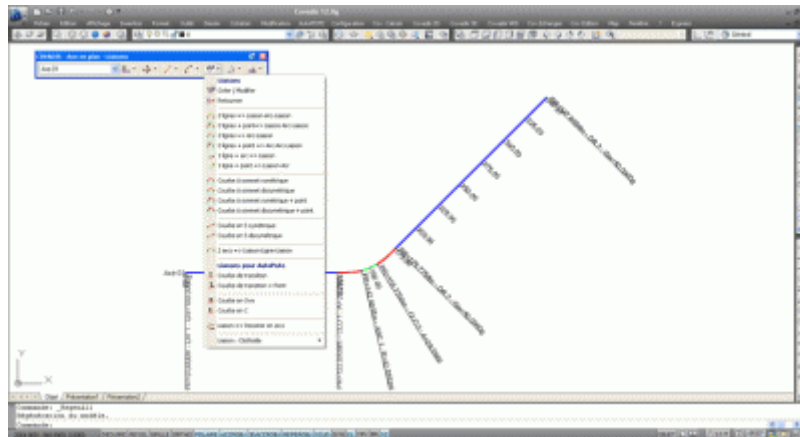


Figure II-31 : Création de l'axe en plan

II.10.2.2.2 Modification simple et interactive de l'axe en plan :

L'axe en plan est modifiable dynamiquement à partir des poignées.

Le projet se recalcule immédiatement après modification de l'axe en plan, et les cubatures sont mises à jour automatiquement.

A tout moment, le logiciel contrôle l'axe en plan et prévient le projeteur d'éventuelles anomalies par l'intermédiaire de messages d'alerte et de marques sur l'axe (Figure II-32).

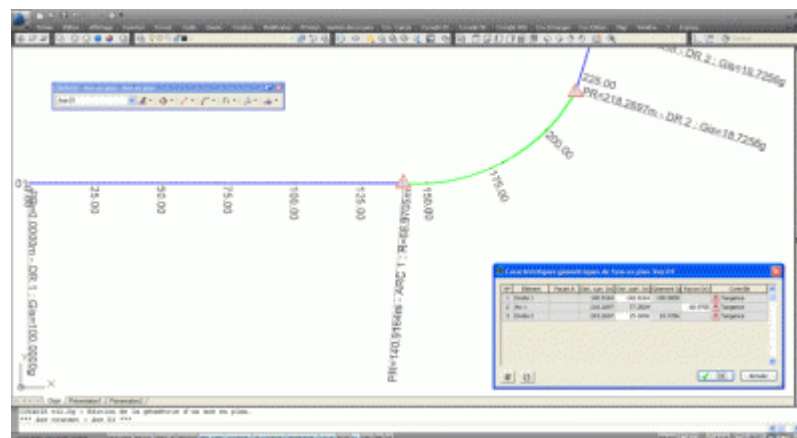


Figure II-32 : Modification de l'axe en plan

II.10.2.2.3 Aide à la conception selon les normes :

Pour un type de route défini, **AutoPISTE** propose une aide à la conception des éléments de liaison de l'axe en plan selon des normes.

Le logiciel propose des éléments et des valeurs minimales dans le respect des normes de l'ARP, de l'ICTAAL et de l'ICTAVRU. Il alerte le projeteur lorsque ces normes ne sont pas respectées

II.10.2.2.4 Choix de la méthode d'implantation des tabulations :

L'utilisateur implante les tabulations simplement, soit de manière régulière (sur un élément ou sur l'axe entier), soit à l'emplacement des éléments caractéristiques de l'axe, soit aux points hauts et bas des raccordements.

La tabulation de l'axe n'est pas figée. Il est toujours possible d'ajouter un profil à un endroit stratégique afin d'augmenter la précision par exemple. Une tabulation peut être implantée à une abscisse quelconque le long de l'axe (Figure II-33).

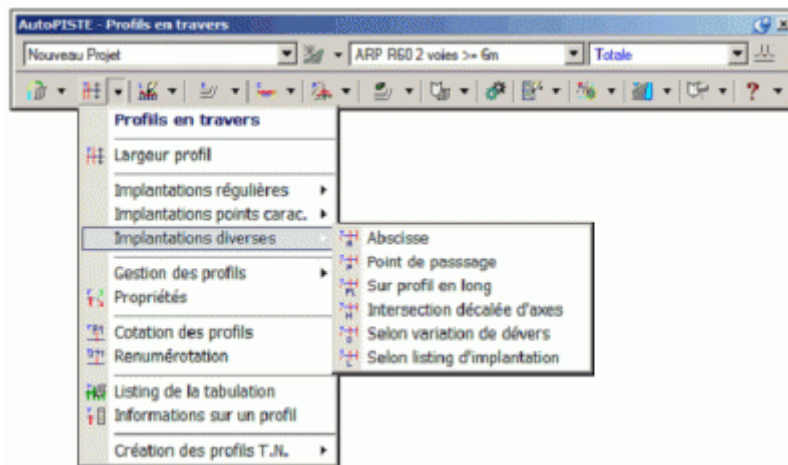


Figure II-33 : Choix de la méthode d'implantation des tabulations

II.10.2.2.5 Gestion des tabulations secondaires :

Les profils ajoutés dans un but d'optimisation de la précision du projet sont définis comme tabulations secondaires. Leur numérotation est automatiquement différenciée de celle des tabulations principales par un indice. Ces tabulations servent essentiellement à l'amélioration du calcul et à la modélisation du projet. Par un simple clic, vous pouvez choisir de ne pas les représenter sur le profil en long et de ne pas les dessiner dans les profils en travers (Figure II-34).

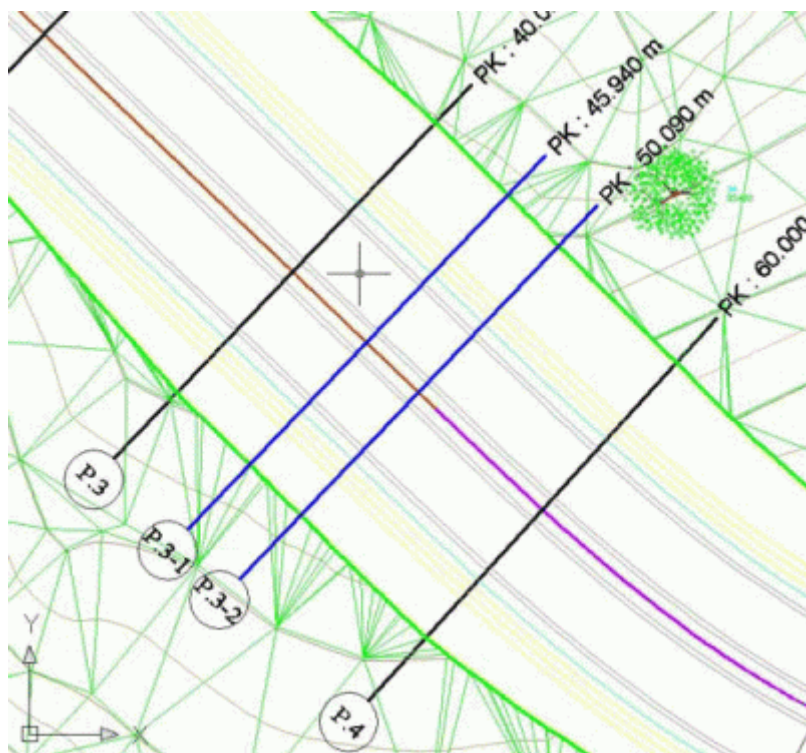


Figure II-34: Gestion des tabulations secondaires

II.10.2.3 Conception longitudinale :

- AutoPISTE permet la conception interactive de la courbe projet sur le profil en long TN.
- AutoPISTE intègre un nouvel objet courbe projet dynamique.
- Le projet est automatiquement recalculé suite à une modification de la géométrie.
- Lors de la modification de la courbe projet, AutoPISTE réalise en temps réel un calcul des volumes de déblais/remblais.

Nouvel assistant pour créer un profil en long à partir de points de passage [32].

II.10.2.3.1 Nouvel OBJET courbe projet :

Une nouvelle barre de menus dédiée permet la création d'un objet "courbe projet".

Lors du dessin du profil en long, la courbe du terrain naturel, qui est la projection de l'axe en plan sur le modèle numérique de terrain, est automatiquement représentée.

Le projecteur peut alors créer la courbe projet à partir d'une suite d'éléments de type pentes et rampes, paraboles, arcs, cubiques (courbe définie selon des points de passage) et de raccordements (Figure II-35).

Certaines constructions sont réalisées avec un aperçu dynamique permettant de visualiser l'élément en temps réel et de connaître, à l'aide d'une info-bulle, ses valeurs caractéristiques.

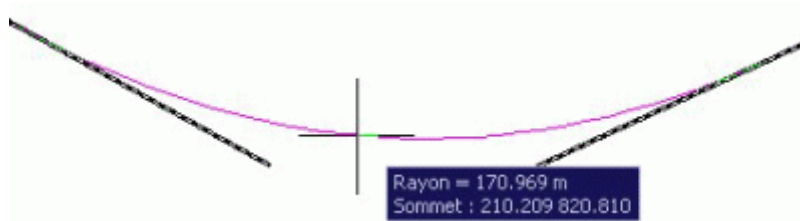


Figure II-35 : La Courbe projet

II.11.2.3.2 Aide à la conception selon les normes :

Pour un type de route défini, AutoPISTE propose une aide à la conception des éléments du profil en long projet (pente des alignements droits, rayon des arcs et paraboles, rayon de courbure des cubiques) selon des normes. Le logiciel propose des valeurs minimales pour le respect des règles de l'ARP, l'ICTAAL et de l'ICTAVRU. Il alerte le projecteur lorsque les normes ne sont pas respectées.

II.10.2.3.4 Modification simple et interactive du projet :

La courbe projet est modifiable dynamiquement à partir des poignées.

Le projet se recalcule immédiatement après modification de la courbe projet, et les cubatures sont mises à jour automatiquement.

Par ailleurs, AutoPISTE propose un tableau d'édition du profil en long projet, ainsi que des commandes d'inversion et de déplacement vertical.

En éditant la courbe projet, vous conservez la continuité des tangences, les éléments restant raccordés. La modification d'un élément ou d'un raccordement entraîne la mise à jour automatique des éléments jointifs et de l'ensemble du projet.

Lors de la modification de la courbe projet, AutoPISTE propose en temps réel un calcul des volumes de déblais/remblais. Il est ainsi possible de simuler un équilibrage des cubatures.

II.10.2.3.5 Représentation des fossés, des canalisations et des regards sur le profil :

Les courbes TN et Projet sont généralement représentées sur le profil en long. AutoPISTE dessine également les couches géologiques, la chaussée existante et les zones plates du projet.

Avec AutoPISTE, vous pouvez également représenter et coter sur le profil en long des éléments externes au projet routier. Il est facile de visualiser, par exemple, la trace d'une canalisation ou l'emplacement d'un regard.

II.10.2.4 Dévers et décapages :

- AutoPISTE permet de préparer le terrain naturel en le décapant dans l'emprise du projet. Les dévers peuvent être calculés automatiquement en fonction des normes.
- AutoPISTE intègre une nouvelle commande de lissage des dévers sur les giratoires [33].

II.10.2.4.1 Affectation de différentes épaisseurs de décapage :

Décapage est géré par deux méthodes complémentaires : le décapage constant et le décapage par zone géographique. Le premier est défini par deux épaisseurs constantes (l'une à gauche de l'axe et l'autre à droite de l'axe) sur toute la largeur des profils de la zone indiquée. Le second est défini par une épaisseur constante dans une zone géographique dont le contour est créé par l'utilisateur. En combinant ces deux méthodes, un même profil en travers peut présenter différentes épaisseurs de décapage (Figure II-36).

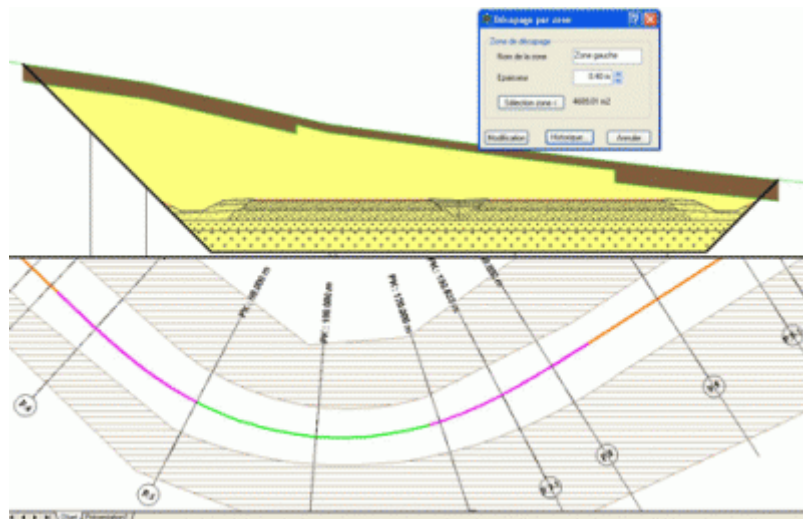


Figure II-36 : Affectation des épaisseurs de décapage

II.10.2.4.2 Calcul automatique des dévers selon les Normes AutoPISTE :

AutoPiste calcule automatiquement les dévers le long d'un axe. Les valeurs respectent les normes de l'ARP et de l'ICTAAL. Elles respectent la géométrie

de l'axe, c'est-à-dire que les valeurs de dévers calculées dépendront du rayon des virages notamment (Figure II-37).

Dévers	2,50 %	3,50 %	3,98 %	3,50 %	4,00 %	4,50 %	5,00 %	5,50 %	6,00 %	6,50 %	7,00 %
Rayon	600	450	345	279	235	203	178	159	143	131	120
Clothoïde	67	67	62	57	53	50	48	46	44	42	41
Variation	67	67	62	57	53	50	48	46	44	42	41

Figure II-37 : Calcul des dévers

II.10.2.4.3 Récupération des dévers d'une chaussée existante :

Lors de la réfection d'une voirie, AutoPISTE peut récupérer les dévers de l'ancienne chaussée pour le projet. Les dévers sont lus sur le modèle numérique de terrain (MNT) et automatiquement affectés au projet. Cette méthode permet un gain de temps substantiel lors de la création du projet. Elle permet également d'optimiser les quantités de matériaux de reprofilage (Figure II-38).

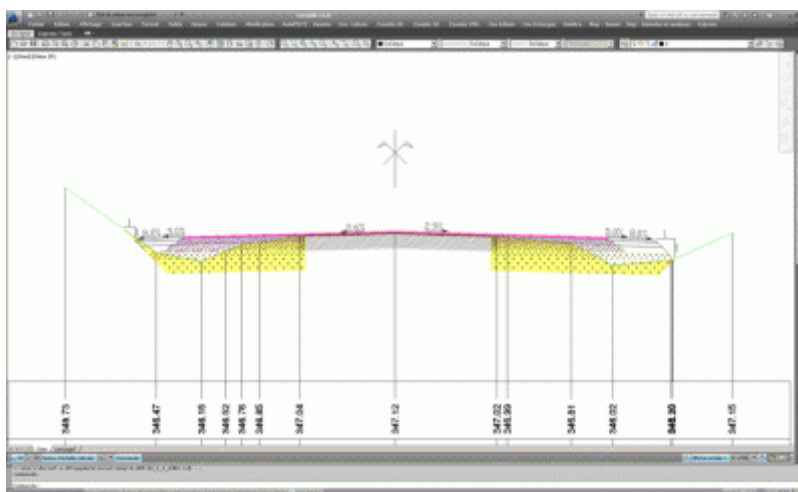


Figure II-38 : Optimisation des quantités de matériaux de reprofilage

II.10.2.4.4 Dévers variables avec aperçu dynamique :

L'affectation variable est une autre méthode d'affectation des dévers. Elle permet d'agir sur des zones délimitées du projet. Un aperçu dynamique permet de visualiser le résultat avant même d'avoir validé le calcul, évitant ainsi toute erreur de manipulation (Figure II-39).

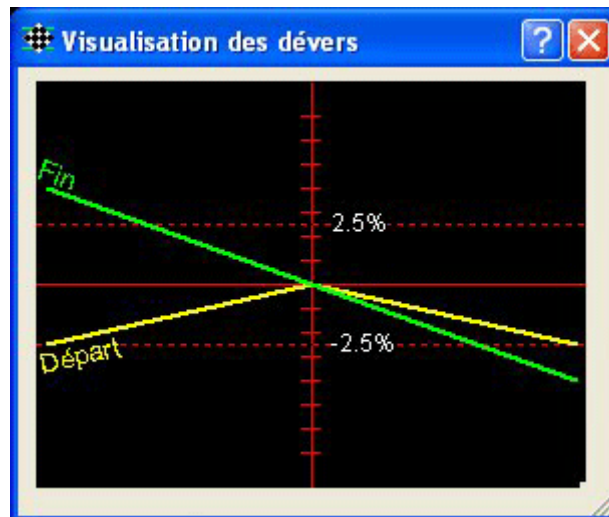


Figure II-39 : Visualisation des dévers.

II.10.2.4.5 Modification par abscisses :

AutoPISTE permet d'ajouter ou de modifier les valeurs de dévers en fonction des abscisses. Les autres valeurs sont recalculées par interpolation linéaire en fonction des dévers précédents et suivants (Figure II-40).

Num	Abscisse	Elément	Dévers gauche	Dévers droit
1	0.000 m	Début Droite 1	2.50 %	-2.50 %
2	39.888 m	Sur Droite 1	2.50 %	-2.50 %
3	89.888 m	Fin Clothoïde 1	-4.00 %	-4.00 %
4	106.706 m	Fin Arc 1	7.00 %	7.00 %
5	135.397 m	Sur Clothoïde 2	2.50 %	-2.50 %
6	198.178 m	Sur Clothoïde 3	2.50 %	-2.50 %
7	226.869 m	Fin Clothoïde 3	-7.00 %	-7.00 %
8	239.700 m	Fin Arc 2	-7.00 %	-7.00 %
9	268.391 m	Sur Clothoïde 4	2.50 %	-2.50 %
10	261.814 m	Fin Droite 2	2.50 %	2.50 %

Figure II-40 : Modification des dévers

II.10.2.5 Listings et intégration du projet :

A l'issue du calcul :

- AutoPISTE édite les différents listings et intègre le projet en 3D dans le site.
- AutoPISTE intègre une nouvelle commande de visualisation du projet selon le calcul de visibilité. [34]

II.10.2.5.1 Détection et représentation des zones planes :

Une fonctionnalité particulièrement intéressante d'AutoPISTE est la détection des zones planes du projet. Le logiciel indique dans un listing, ainsi que sur le profil en long, toutes les zones considérées comme « plates » dans le projet fini. L'utilisateur peut ainsi rectifier son projet afin d'éviter ces zones qui nuiraient à l'écoulement des eaux (Figure II-41).

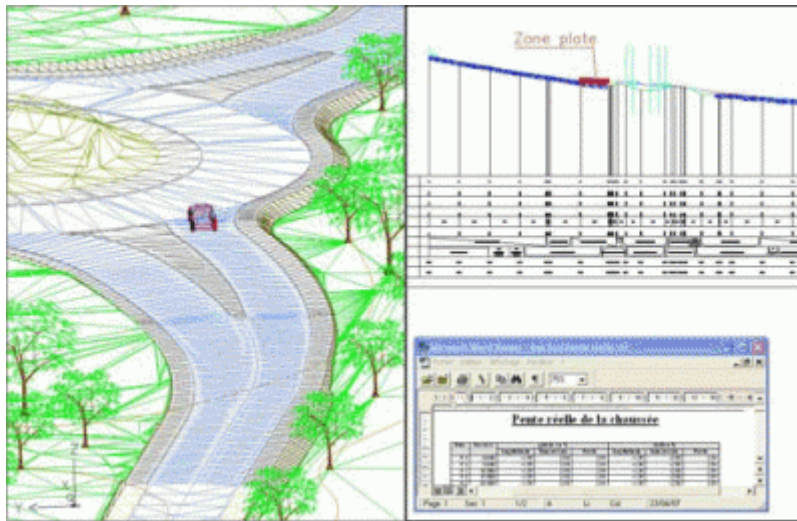


Figure II-41 : Détection des zones planes

II.10.2.5.2 Visibilité et pertes de tracé :

En fonction de la géométrie du projet et de la vitesse du véhicule sur la voie, le logiciel calcule les distances de visibilité et les pertes de visibilité le long du projet. Il édite un listing récapitulatif du calcul de la V85 en fonction du rayon de courbure en axe en plan, et de la déclivité en profil en long.

AutoPISTE calcule la distance de visibilité réglementaire. Cette distance est déduite du calcul de la V85. Elle tient compte de la distance de freinage et de la distance parcourue pendant le temps de réaction. La distance est vérifiée sur la modélisation du projet intégrée dans la triangulation du terrain naturel.

Les pertes de tracé sont également analysées.

Tout élément présent dans les profils types est pris en compte dans le calcul de visibilité (GBA, parapet). Il est également possible d'ajouter des masques latéraux à l'aide d'outils de modélisation.

II.10.2.5.3 Surfaces en plan – Géotextile :

AutoPISTE permet d'obtenir la surface en plan d'un géotextile à poser. De même, le logiciel calcule les surfaces 2D et 3D de végétalisation ou de différents éléments du projet

I.10.2.5.4 Optimisation des cubatures :

En plus de la traditionnelle méthode linéaire de calcul des cubatures, AutoPISTE propose une seconde méthode qui optimise les calculs en courbe. Cette seconde méthode est appelée méthode de Gulden. Elle est très intéressante pour les calculs de giratoires par exemple.

AutoPISTE édite de nombreux listings paramétrables. Vous pouvez notamment calculer les cubatures de chaque matériau du projet ainsi que le détail des matériaux par profil

II.10.2.5.5 Modélisation 3D du projet et intégration dans le site :

A l'issue du calcul, le projet est modélisé en 3D et intégré dans le site. Il est représenté par un MNT à faces triangulaires, ou à facettes à quatre côtés.

Différentes couleurs distinguent les zones du projet (TPC, chaussée, accotement, talus de déblai et de remblai).

AutoPISTE permet la simulation 3D d'un véhicule se déplaçant sur la route créée (Figure II-42).



Figure II-42: Modélisation 3d du projet

II.10.2.5.6 Impression automatisée des profils :

AutoPISTE dessine de manière complètement automatisée les différents profils en travers et profils en long. Vous conservez la possibilité de personnaliser tous les éléments de mise en page (Figure II-43).

AutoPISTE propose également une fonction d'impression automatisée du cahier des profils en travers.

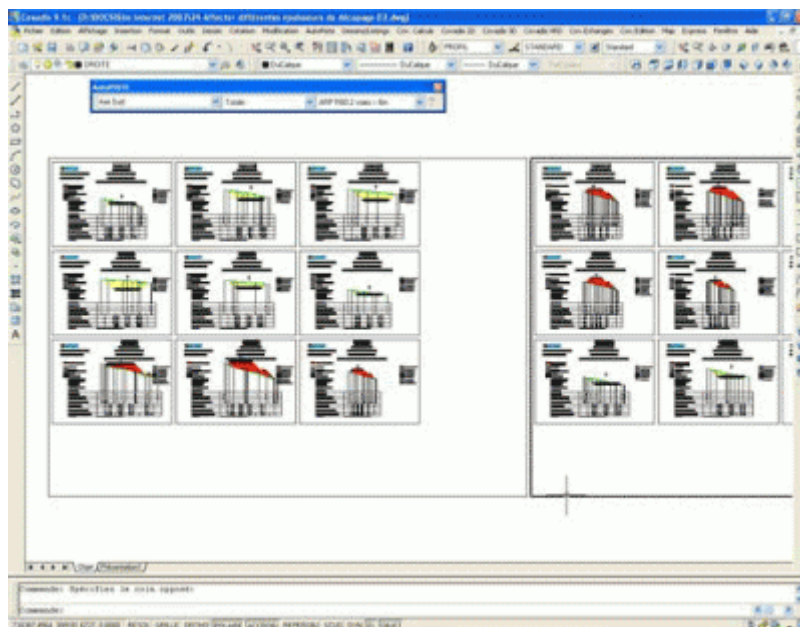


Figure II-43 : Profils en travers

II.10.2.5.7 Implantation et guidage d'engins :

AutoPISTE édite un listing complet des points d'implantation des différents éléments du projet. Ces listings sont générés au format Word ou Excel, en coordonnées X, Y,Z, ou abscisse curviligne, déport à l'axe.

AutoPISTE propose d'exporter ces données vers différents formats : PISTE®, Leica Multipiste®, Leica DPS Route®, CIVIL 3D®, LandXML, Excel®.

Par ailleurs, il récupère les données des fichiers PISTE®.

Grâce à ces fonctionnalités, vous pouvez exporter vos données vers des systèmes de guidage d'engins, vers des stations totales ou vers des systèmes GPS.

Conclusion

Ce chapitre est une présentation du projet, la région dans laquelle il se situe et de la RN23. En effet, on a parlé de la wilaya de Laghouat généralement et de la région du projet précisément (de sa climatologie, son réseau hydraulique, etc.).

Les caractéristiques fondamentales du projet ont été citées, elles avaient été déterminées selon les exigences du règlement B40. D'après les résultats du trafic, la route en cause est une autoroute 2*2 voies ayant chacune 3.5m de largeur. Ensuite, dans la deuxième partie du chapitre, on a parlé de l'informatique et son imposition dans tous les domaines, on a ainsi mis en évidence l'importance de l'informatique et comment les choses marchent mieux dès que cet outil est présent. Dans cette même partie, les deux logiciels en cause « COVADIS et Autopiste » sont présentés d'une manière un peu détaillée pour, enfin, commencer la comparaison dans le troisième chapitre.

Introduction

L'objectif de notre mémoire consiste en l'application des logiciels *COVADIS* et Autopiste sur un tronçon de route afin d'en faire la comparaison et d'en tirer, s'il y en a, les avantages et les inconvénients de chacun. Pour ce faire, nous allons commencer par définir et préciser brièvement l'utilité de chacun des deux logiciels

III.1 Définition et utilité

Comme mentionné dans le chapitre précédent, *COVADIS* est spécialement dédié aux bureaux d'études en infrastructure, aux bureaux d'études de topographie et aux entreprises des travaux publics, ainsi qu'aux cabinets de géomètres, alors que l'Autopiste est un logiciel de conception routière spécialement dédié aux bureaux d'études en infrastructures de transport linéaires. D'après ces informations tirées du site officiel de la société GEOMEDIA, le COVADIS est plus général « il offre la possibilité d'étudier tout type de projet de travaux publics » tandis que l'Autopiste est spécialisée dans les projets routiers.

Il convient de noter que les deux logiciels appartiennent à la même société 'GEOMEDIA', par conséquent, la méthodologie qui doit être suivie pour aboutir à de bons résultats est presque la même ; nous présentons cette méthodologie dans l'élément suivant.

Note : puisqu'il s'agit d'une route « qui est un projet linéaire », nous ne sommes concernés que par le module « projet linéaire par profils types » du menu « Covadis VRD » qui nous permettra le calcul de notre projet routier (Fig. III-1).

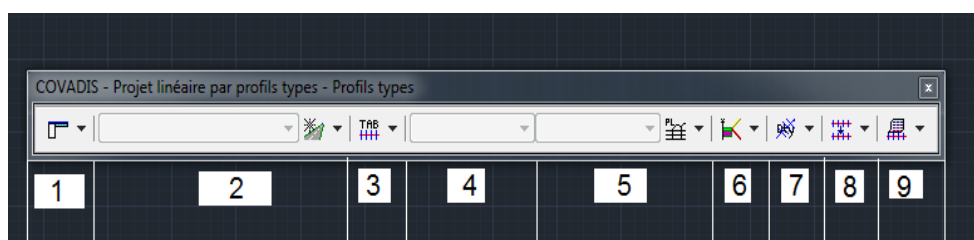


Fig. III-1 : Le module 'projet linéaire par profils types'.

III.2 Méthodologie

La méthodologie que l'on suit pour l'étude de tout projet routier sur *COVADIS* ou Autopiste est la suivante :

- 1- Calcul du MNT « modèle numérique du terrain naturel » et dessin des courbes de niveau ;
- 2- Conception de l'axe en plan ;
- 3- Gérer et éditer l'axe conçu ;
- 4- Tabulation de l'axe en plan ;
- 5- Dessin du profil en long du terrain naturel ;
- 6- Conception de la ligne de projet, dite « la ligne rouge » ;
- 7- Profil en travers type : concevoir des profils types contenant (pour notre cas) :
 - Couche de roulement d'épaisseur $e = 8\text{cm}$ en BB (Béton Bitumineux)
 - Couche de base d'épaisseur $e = 12\text{cm}$ en GB (Grave Bitumé)
 - Couche de fondation d'épaisseur $e = 25\text{cm}$ en GNT (Grave Non Traité)
 - Accotement
- 8- Affectation des profils types ;
- 9- Calcul du projet ;
- 10-Devis quantitatif et estimatif du projet (que nous n'avons pas fait à cause d'absence des prix des matériaux utilisés) ;
- 11-Listing du projet.

Les résultats finaux des tracés en plan, profils en long, profils en travers ainsi que les cubatures sont fournis par les logiciels sous forme de tableaux (format Pdf ou Excel).

On va citer les résultats obtenus après le calcul par **COVADIS** et Autopiste, et ensuite, on déduira les conclusions en discutant les avantages et les inconvénients des logiciels (en termes de facilité de manipulation et de fiabilité, etc.).

Note : Les résultats obtenus sont différents (y compris les cubatures) parce qu'on n'a pas pris les mêmes tracés en plan ni profils en long, ces résultats n'étaient donc pas pris en considération durant notre étude comparative. En effet, nous nous sommes concentrés beaucoup plus sûr la simplicité de manipulation, la fiabilité et la performance des logiciels.

Nous tenons à préciser que la première étape qui est « le calcul du MNT ainsi que les courbes de niveaux » ne s'effectue que par la commande Covadis 3d, ce modèle est donc le même pour les deux logiciels.

III.3 Tracé en plan

Pour la conception de l'axe en plan, nous avons choisi de prendre deux axes dont les tracés ont le même nombre de virages (4 virages) et presque les mêmes caractéristiques géométriques tout en respectant les limites présentées dans le deuxième chapitre (d'après le B40). Il s'agit des tracés constitués de cinq alignements droits et de quatre virages dont deux à droite et deux à gauche ayant respectivement les rayons suivants :

- R1 = 1000m à droite et dont le dévers est de 5%
- R2 = 1000m à droite et dont le dévers est de 5%
- R3 = 650m à gauche et dont le dévers est de 7%
- R4 = 2200m à gauche et dont le dévers est de 2.5%

Résultats obtenus par COVADIS :

Toutes les informations sur le tracé conçu sont présentées sur le tableau III-1 suivant :

Tableau III-1 : Tracé en plan COVADIS. Date du listing: 08/08/2020 à 08:10.

Éléments caractéristiques			Points de Contacts			
Axe En Plan 'Covadis axe '						
Nom	Paramètres		Longueur (m)	Abscisse (m)	X (m)	Y (m)
Droite 1	Gisement	391.6805	150.593	0.000	456556.119	3779136.151
Clothoïde 1	Paramètre	-334.6640	112.000	150.593	456536.495	3779285.459
				262.593	456523.977	3779396.742
Arc 1	Rayon	-1000.0000	192.320			
	Centre X	457521.190				
	Centre Y	3779471.354		454.912	456528.101	3779588.721
Clothoïde 2	Paramètre	334.6640	112.000	566.912	456545.386	3779699.363
				1815.544	456755.111	3780930.256
Droite 2	Gisement	10.7439	1248.632	1927.544	456775.978	3781040.279

Clothoïde 3	Paramètre	-334.6640	112.000			
Arc 2	Rayon	-1000.0000	10.841			
	Centre X	457750.825				
	Centre Y	3780817.402				
Clothoïde 4	Paramètre	334.6640	112.000			
Droite 3	Gisement	18.5642	497.678	1938.385	456778.452	3781050.834
Clothoïde 5	Paramètre	217.8302	73.000	2050.385	456808.638	3781158.673
				2548.063	456951.716	3781635.341
				2621.063	456971.388	3781705.630
Arc 3	Rayon	650.0000	796.172			
	Centre X	456339.322				
	Centre Y	3781857.263				
Clothoïde 6	Paramètre	-217.8302	73.000			
Droite 4	Gisement	333.4361	366.452	3417.235	456696.280	3782400.476
Clothoïde 7	Paramètre	734.1662	245.000	3490.235	456633.824	3782438.249
				3856.687	456316.764	3782621.987
				4101.687	456102.572	3782740.857
Arc 4	Rayon	2200.0000	93.793			
	Centre X	455107.141				
	Centre Y	3780778.941				
Clothoïde 8	Paramètre	-734.1662	245.000			
Droite 5	Gisement	323.6324	517.720	4195.481	456018.050	3782781.500
				4440.481	455791.457	3782874.583
				4958.200	455309.001	3783062.385
Longueur totale de l'axe 4958.200 mètres						

Points d'intersection (P.I.)		
N°	X	Y
1	456774.851	3781046.110
2	457109.906	3782162.357
3	456063.854	3782768.549
Points de discontinuité des tangences		

N°	X	Y
1	456545.386	3779699.363

Résultats obtenus par Autopiste :

Vous trouvez toutes les informations concernant le tracé en plan fait par Autopiste dans le tableau III-2 suivant :

Tableau III-2 : Tracé en plan Autopiste. Date de listing : 04/08/2020.

Axe En Plan

Els Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur (m)	Abscisse (m)	X (m)	Y (m)
Droite 1	Gisement	393.6697 g	165.618	0.000	456540.205	3779130.407
Clothoïde 1	Paramètre	-334.664	112.000	165.618	456523.763	3779295.207
Arc 1	Rayon	-1000.000 m	156.742	277.618	456514.728	3779406.826
	Centre X	457513.785 m				
	Centre Y	3779450.248 m				
Clothoïde 2	Paramètre	334.664	112.000	434.359	456520.197	3779563.312
Droite 2	Gisement	10.7784 g	1254.885	546.359	456537.003	3779674.028
Clothoïde 3	Paramètre	-334.664	112.000	1801.244	456748.449	3780910.971
Arc 2	Rayon	-1000.000 m	8.236	1913.244	456769.375	3781020.983
	Centre X	457744.101 m				
	Centre Y	3780797.578 m				
Clothoïde 4	Paramètre	334.664	112.000	1921.480	456771.248	3781029.002
Droite 3	Gisement	18.4328 g	513.077	2033.480	456801.212	3781136.903
Clothoïde 5	Paramètre	217.830	73.000	2546.557	456947.702	3781628.624
Arc 3	Rayon	650.000 m	796.274	2619.557	456967.229	3781698.953
	Centre X	456334.852 m				
	Centre Y	3781849.282 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-217.830	73.000	3415.831	456690.604	3782393.286
Droite 4	Gisement	333.2948 g	232.108	3488.831	456628.064	3782430.920
Clothoïde 7	Paramètre	734.166	245.000	3720.939	456426.983	3782546.852
Arc 4	Rayon	2200.000 m	12.847	3965.939	456212.527	3782665.247
	Centre X	455221.454 m				
	Centre Y	3780701.125 m				
Clothoïde 8	Paramètre	-734.166	245.000	3978.786	456201.041	3782671.001
Droite 5	Gisement	325.8334 g	732.344	4223.786	455977.801	3782771.861
				4956.130	455304.930	3783060.950
Longueur totale de l'axe 4956.130 mètre(s)						

Conclusion : la conception de l'axe en plan par *COVADIS* consiste à créer des lignes « alignements droits » par la commande 'ligne', et ensuite éditer cet axe en choisissant une liaison clothoïde (liaison-arc-liaison) et en introduisant le rayon de l'arc « qui est le rayon du virage » et la longueur du raccordement progressif 'L', le paramètre de la clothoïde 'A' est automatiquement calculé. Afin de pouvoir appliquer des opérations sur l'axe conçu « déplacer un élément de l'axe en plan ou créer ou modifier une liaison, etc. », il suffit d'ouvrir la barre d'outils 'Axe en plan'.

Pour Autopiste, l'opération est la même et la barre d'outils proposée par Autopiste est identique à celle de *COVADIS*, il n'y a donc pas de différence entre les deux logiciels dans cette phase. Les résultats présentés dans les tableaux III-1 et III-2 sont obtenus en cliquant sur 'Listing Axe en plan'.

Tabulations et profils en travers : il s'agit de l'implantation de tabulations perpendiculaires à l'axe en plan, nous pouvons définir les points dans lesquels nous voulons avoir des profils en travers « du terrain naturel et par la suite du projet ». On peut définir ces points par abscisses et/ou par intervalles mais aussi par d'autres positions proposées par les logiciels « Extrémités de l'axe, Sommets de l'axe et les Points de passages ».

Nous avons choisi d'implanter des tabulations chaque 16 mètres « pour faciliter l'affectation des profils en travers types par la suite », les listings des tabulations seront joints en annexes.

Dans cette phase nous avons constaté que le logiciel *Autopiste* est beaucoup plus utile pour un projet de route, car il nous offre plus d'options et plus de détails pour bien tabuler son axe routier, nous pouvons donc dire que la spécialisation d'Autopiste dans les routes commence à se manifester dans la phase de tabulations. Par contre *COVADIS* reste un peu vaste dans ses propositions. Cependant, les résultats qui seront obtenus par les deux logiciels sont fiables et si on passe par les mêmes points lors de la conception des axes en plan, on trouvera des résultats presque identiques.

Parmi les plus que propose le logiciel Autopiste vis-à-vis de tabulations on trouve :

- Implantations par points caractéristiques:
 - De l'axe en plan « ça existe aussi dans *COVADIS* » ;
 - De l'axe en long ;
 - Intersection T.N/Projet ;
 - Points hauts/bas.

- Implantations diverses :
 - Selon variation de dévers

- Saisie des emprises selon sur-largeur.

III-4. Profil en long

Selon le règlement « B40 » et pour une route de catégorie C1 et dont la vitesse de référence est égale à 120 km/h, les caractéristiques géométriques de la ligne de projet « ligne rouge » sont :

- Déclivité maximale = 4% ;
- Rayon minimal (courbe convexe), R = 12500m ;
- Rayon minimal (courbe concave), R = 4200m.

La ligne de projet conçue sur **COVADIS** se constitue de quatre droites dont les déclivités ne dépassent pas les 4% (déclivité max) et de trois courbes dont deux de type convexe ayant chacune un rayon R = 13000m et d'une courbe concave avec un rayon R = 6000m.

La ligne rouge conçue sur **Autopiste** contient sept (7) courbes dont trois sont de type convexe et ayant chacune un rayon R = 13000m, les quatre courbes restants sont des courbes concaves avec des rayons différents.

Résultats obtenus par COVADIS :

Tableau III-3 : Profil en long COVADIS. Date du listing le 08/08/2020.

COVADIS - LISTING DU PROFIL EN LONG DU PROJET tracé en plan fait par covadis							
Caractéristiques	Long. 2D (m)	Long. 3D (m)	S = Abscisse	Z projet (m)	X (m)	Y (m)	Z TN (m)
			0.000	1220.056	456556.119	3779136.151	1220.056
Rampe = 1.629 %	1854.806	1855.052					
			1854.806	1250.273	456761.795	3780968.944	1251.836
Arc de cercle	226.403	226.413					
Rayon = 13000.0000							
S bas = 2066.560 Z bas = 1251.997			2081.209	1251.989	456817.500	3781188.196	1251.794
Pente = -0.113 %	1036.167	1036.167					
			3117.376	1250.821	456900.767	3782184.797	1251.011

Arc de cercle	135.603	135.613					
Rayon = 6000.0000							
S haut = 3124.137							
Z haut = 1250.818			3252.979	1252.201	456820.758	3782293.977	1252.433
Rampe = 2.148 %	728.698	728.866					
			3981.678	1267.853	456208.319	3782684.133	1266.144
Arc de cercle	290.089	290.110					
Rayon = 13000.0000							
S bas = 4260.836							
Z bas = 1270.850			4271.766	1270.846	455948.130	3782812.002	1265.093
Pente = -0.084 %	681.408	681.408					
			4953.174	1270.273	455313.685	3783060.562	1270.273
Longueur totale	4953.174						

Résultats obtenus par Autopiste :

Tableau III-4 : Profil en long Autopiste. Date du listing le 04/08/2020.

Profil En Long Projet

Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude	
Pente 1	Pente 2.82 %	226.798	0.000	1220.347	
Cercle 1	Rayon -13000.000 m	522.649	226.798	1226.740	
	Sommet Absc. 593.054 m				
	Sommet Alt. 1231.900 m				
Pente 2	Pente -1.20 %	25.375	749.448	1230.959	
Cercle 2	Rayon 5000.000 m	150.347	774.823	1230.654	
	Sommet Absc. 834.974 m				
	Sommet Alt. 1230.292 m				
Pente 3	Pente 1.80 %	335.886	925.170	1231.106	
Cercle 3	Rayon 5000.000 m	26.474	1261.056	1237.166	
	Sommet Absc. 1170.860 m				
	Sommet Alt. 1236.352 m				
Pente 4	Pente 2.33 %	451.144	1287.530	1237.713	
Cercle 4	Rayon -13000.000 m	322.696	1738.674	1248.243	
	Sommet Absc. 2042.015 m				
	Sommet Alt. 1251.783 m				
Pente 5	Pente -0.15 %	928.846	2061.370	1251.768	
Cercle 5	Rayon 6000.000 m	119.559	2990.216	1250.385	
	Sommet Absc. 2999.149 m				
	Sommet Alt. 1250.379 m				
Pente 6	Pente 1.84 %	684.641	3109.774	1251.399	
Cercle 6	Rayon -13000.000 m	578.833	3794.415	1264.024	
	Sommet Absc. 4034.104 m				

	Sommet Alt.	1266.234 m			
Pente 7	Pente	-2.61 %	17.629	4373.248	1261.809
Cercle 7	Rayon	4200.000 m	218.247	4390.877	1261.349
	Sommet Absc.	4500.447 m			
	Sommet Alt.	1259.920 m			
Pente 8	Pente	2.59 %	338.872	4609.124	1261.326
				4947.996	1270.097
Longueur totale de l'axe 4947.996 mètre(s)					

Conclusion : A la fin de cette phase, nous avons constaté que le logiciel *Autopiste* est beaucoup plus simple à manipuler. Il offre beaucoup de propositions qui ont une relation directe avec les routes (comme s'il comprend ce que demande le concepteur dans la phase de la conception du profil en long) ; parmi ces propositions, on trouve la possibilité de concevoir et éditer une courbe de fossé, et cette courbe peut ne pas suivre la ligne du projet (selon les conditions de l'écoulement des eaux). Un autre point à citer, c'est que l'Autopiste nous pré-informe sur la pente de la droite à dessiner et ça permettra au concepteur de respecter la déclivité max imposée par le règlement suivi lors de la conception.

III.5 Profil en travers type

Le profil en travers type, du projet étudié, contient quatre éléments principaux qui sont :

- Un terre-plein central de 10m ;
- Une chaussée à deux voies ayant chacune une largeur de 2x3.5m, soit 7m ;
- Un accotement de 3.2m dont 2.5m réservé aux arrêts d'urgence ;
- Un fossé dans le côté 'déblai'.

Notons bien que le dévers max (pour un virage de rayon $R = 650\text{m}$) est égal à $d = 7\%$.

Détails de la structure de la chaussée :

- Couche de roulement en béton bitumineux (BB) de $ep = 8\text{cm}$;
- Couche de base en grave bitume (GB) de $ep = 12\text{cm}$;
- Couche de fondation en grave non traitée (GNT) de $ep = 25\text{cm}$.

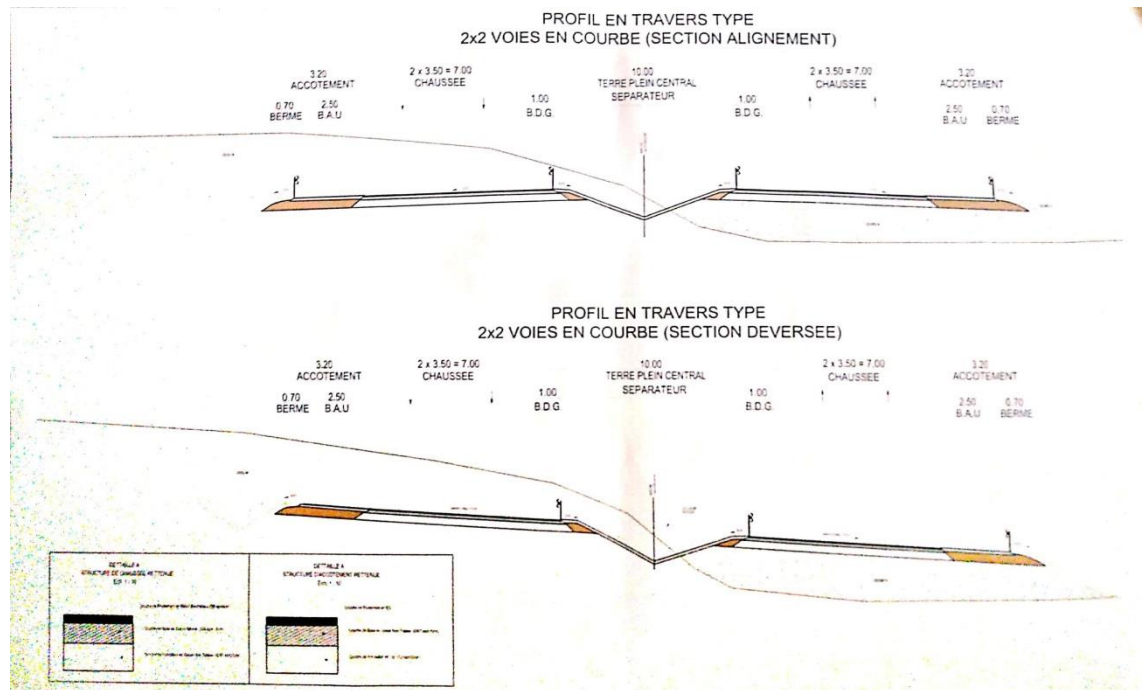


Fig. III-2 : Profil en travers type.

Nous avons dû concevoir plusieurs profils en travers (de différents dévers) et ensuite faire l'affectation de ces derniers selon le cas concerné (ça dépend du dévers et de quel côté l'affectation va se faire). En effet, cette conception se fait par segment (à droite ou à gauche) et par symétrie, c-à-dire, on conçoit un seul côté et les logiciels vont faire la symétrie et nous donner l'autre côté par symétrie.

Exemples de profils conçus :

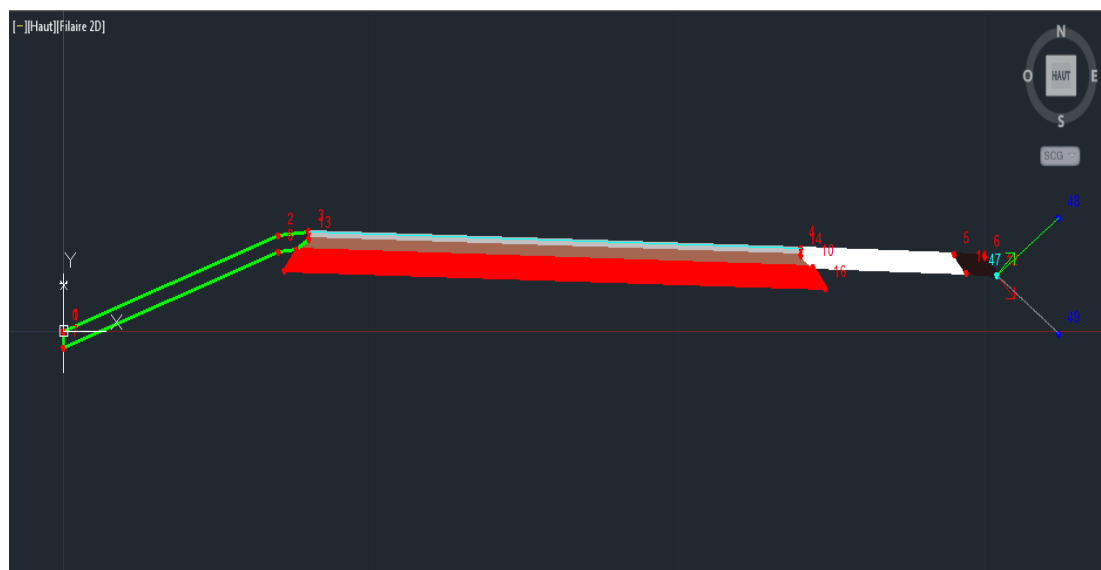


Fig. III-3 : Segment à droite d'un profil en travers.

Comme on peut le constater, cet exemple de profil en travers (**Fig. III-3**) présente les éléments constituant notre profil en travers type, à savoir :

- Couche verte (terre-plein central) ;
- Couche rouge (couche de fondation) ;
- Couche grise (couche de base) ;
- Couche en gris clair (couche de roulement) ;
- Couche blanche et couche marron (accotement).

La raison pour laquelle nous n'avons pas mis un fossé (**Fig. III-2**) est bien parce qu'il s'agit d'un remblai (le côté droit du profil), et ce dernier permet l'écoulement des eaux naturellement vers un bassin versant, dans ce cas le fossé n'est pas nécessaire.

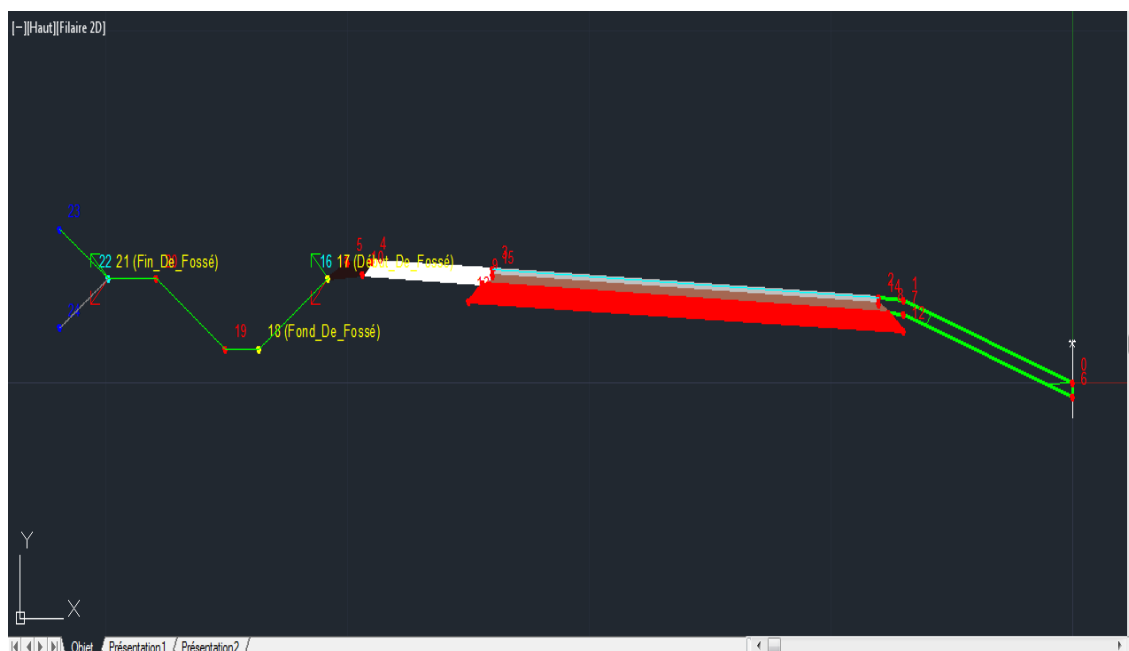


Fig. III-4 : Segment à gauche d'un profil en travers.

Conclusion : la richesse du logiciel *Autopiste* se manifeste de nouveau dans cette phase par offrir plusieurs manières de conception, contrairement à *COVADIS* qui, lui, n'offre qu'une seule méthode pour la conception d'un profil en travers. La méthode commune (que l'on trouve dans les deux logiciels) est de créer des points en respectant les distances prédéfinies dans le profil en travers type, ensuite, définir les différentes couches du profil (définition par points).

En plus de cette méthode, *Autopiste* nous offre la possibilité de créer le profil en travers directement par couches, et c'est très utile car ça nous permet de gagner du temps.

Note : les deux logiciels proposent un modèle de fossé, il suffit donc de changer les dimensions selon son cas et ajouter le fossé à son profil en travers.

Affectation des profils en travers :

Après la conception des profils en travers vient l'étape de l'affectation de ces derniers au tracé selon les tabulations faites précédemment, cette étape est simple et identique pour les deux logiciels.

Les listings des affectations sont joints en annexes ainsi que quelques profils en travers (pas tous les profils, car ils sont nombreux).

III.6 Cubature

Cette phase est simple, il suffit de cliquer sur la commande 'Calcul du projet' et on va obtenir ses résultats (sous forme de tableaux à enregistrer) dans quelques instants. En effet, il n'y a aucune différence entre *COVADIS* et Autopiste s'agissant de cette étape.

Il faut bien savoir que les résultats des cubatures calculées par les deux logiciels ne sont pas à comparer, parce que l'on n'a pas pris les mêmes tracés en plan ni profils en long, par conséquent, les résultats que nous avons obtenus sont différents.

Les résultats finaux (volumes cumulés de remblai et de déblai ainsi que les volumes de chacun des matériaux utilisés) déterminés avec les deux logiciels utilisés et les listings totaux seront joints en annexe :

COVADIS :

Volumes cumulés de remblais = 121114 mètres cubes

Volumes cumulés de déblais = 15571 mètres cubes

Tableau III-5 : Volumes totaux des matériaux (*COVADIS*).

Matériaux	Volumes cumulés (m ³)
BB (couche de roulement)	6328.32
GB (couche de base)	11554.7
GNT (couche de fondation)	21345.87
Concasse (accotement)	5579.48
Asphalte (accotement)	1173.77
Ciment (terre-plein)	7796.67

Autopiste :

Volumes cumulés de remblais = 283171 mètres cubes

Volumes cumulés de déblai = 37290 mètres cubes

Tableau III-6 : Volumes totaux des matériaux (Autopiste).

Matériaux	Volumes cumulés (m ³)
BB (couche de roulement)	6336.08
GB (couche de base)	11589.30
GNT (couche de fondation)	21368.34
Concasse (accotement)	5591.28
Asphalte (accotement)	1171.94
Ciment (terre-plein)	7806.46

III-7 Affichage

Comme il a été précisé dans l'introduction générale, l'affichage fait partie de la comparaison car il est très important d'avoir des résultats bien présentés, ça va faciliter la compréhension de ces derniers et par conséquent leur exécution. On a constaté qu'*Autopiste* présente ses résultats d'une façon plus commode (contrairement à *COVADIS*) et plus compréhensive sous forme de tableaux simple, pas trop long et bien organisés. Les résultats dont on a parlé sont ceux des tracés en plan et des profils en long, les profils en travers sont présentés de la même façon pour les deux logiciels. Voir la (**Fig. III-4**).

Dossier Tracé en plan tabulé (autopiste), + quelques détails à tirer.dwg
Tracé en plan Autopiste

GEOMEDIA S.A.S.
à 01:45

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux (Gulden)

Matériau	Volume Cumulé
ASPHALTE	1171.94
BB	6336.08
CIMENT	7806.46
CONCASSE	5591.28
FONDATION	21368.34
GB2	11589.30

(a)

Conclusion

D'après ce qu'on a remarqué durant cette étude, *Autopiste* est un logiciel spécialisé dans les routes alors que *COVADIS*, lui, est un logiciel plus général qui se spécialise dans toute étude d'un projet linéaire ou de travaux publics. En effet, ces deux logiciels ont des opérations en commun (dont les commandes sont identiques), comme le calcul du MNT ou la conception du tracé en plan. Or, beaucoup de différences sont à citer quant aux autres phases de conception, notamment quand il s'agit des éléments qui ne concernent que les routes, dans ce cas la spécialisation d'*Autopiste* dans les routes se manifeste clairement. Un autre point à dévoiler c'est qu'*Autopiste* ne peut marcher sans *COVADIS* car la première opération (le calcul du MNT et des courbes de niveaux) ne se fait qu'à partir de *COVADIS*, on peut donc dire qu'*Autopiste* dépend plus ou moins de *COVADIS*.

Conclusion

La conception d'un projet d'infrastructure routière est une activité complexe. Les difficultés éprouvées par le concepteur, qui est généralement un ingénieur des travaux publics, dans l'exercice de ses activités sont multiples. Elles peuvent consister en une durée limitée de temps ou en une augmentation des coûts de réalisation de la route. En effet, ces difficultés ne dépendent pas seulement du tracé choisi et de sa nature, mais aussi des logiciels (de conception) utilisés et de leur performance.

Dans ce mémoire, on a essayé de répondre à la question qui est souvent posée par les ingénieurs des routes ' quel logiciel utiliser ? et pourquoi ?', et pour répondre à cette question, deux applications (d'un tronçon de route) ont été faites en utilisant les deux logiciels en cause, *COVADIS* et *Autopiste*. L'objectif principal de ces applications est de faire la comparaison entre les deux logiciels en tirant les avantages et les inconvénients de chacun. Les résultats principaux qu'on a pu obtenir au fur et à mesure de l'étude sont :

- Autopiste est un logiciel spécialisé dans les projets routiers alors que COVADIS est plus général, il offre l'étude de tout projet linéaire ou des travaux publics, d'ailleurs, tout le travail que fait Autopiste n'est qu'un seul module sur COVADIS 'projet linéaire par profil type'.
- Le calcul du modèle de terrain numérique 'MNT' est le même pour les deux logiciels ainsi que les courbes de niveaux, ils sont calculés par le module 'Covadis 3d'.
- La conception de l'axe en plan se fait pratiquement de la même façon et la barre d'outils proposée pour cette phase est identique dans les deux logiciels.
- Pour tabuler son axe routier, Autopiste offre plus de détails et il est plus utile et sa spécialisation dans les routes se manifeste clairement dans cette phase 'voir chapitre 03'.
- Il a été constaté, durant la conception du profil en long, qu'Autopiste est de simple manipulation par rapport à COVADIS. Il offre beaucoup de propositions comme s'il comprend les besoins du concepteur dans cette phase, il le pré-informe également sur la pente des déclivités avant même de tracer la ligne, et ça lui permet de respecter les limites exigées par le règlement suivi « le B40 » dans ce cas.
- la richesse du logiciel Autopiste se manifeste de nouveau dans cette phase par offrir plusieurs manières de conception, contrairement à COVADIS qui, lui, n'offre qu'une seule méthode pour la conception

Conclusion générale

d'un profil en travers. La méthode commune (que l'on trouve dans les deux logiciels) est de créer des points en respectant les distances prédéfinies dans le profil en travers type, ensuite, définir les différentes couches du profil (définition par points). En plus de cette méthode, Autopiste offre la possibilité de créer le profil en travers directement par couches, et c'est très utile car ça nous permet de gagner du temps.

- Après la conception des profils en travers, vient l'étape de l'affectation de ces derniers au tracé selon les tabulations faites précédemment, cette étape est simple et identique pour les deux logiciels.
- Ensuite, vient l'étape de calcul (des cubatures), cette phase est simple, il suffit de cliquer sur la commande 'Calcul du projet' et on va obtenir ses résultats (sous forme de tableaux à enregistrer) dans quelques instants. En effet, il n'y a aucune différence entre COVADIS et Autopiste s'agissant de cette étape.
- Une autre remarque importante à rajouter, c'est que l'affichage des résultats (le listing) est beaucoup plus commode et facile à lire en ce qui concerne Autopiste, contrairement à COVADIS qui, lui, donne les résultats sur format Excel, et parce qu'il s'agit de grands tableaux, ça devient difficile et fatigant pour l'ingénieur d'exécution.

Pour conclure, on peut dire que COVADIS est un logiciel plus général dédié aux tous types de projet des travaux publics (infrastructures routières, terrassement, VRD, assainissement, topographie et géométrie) et c'est un avantage pour lui, mais quand il s'agit des routes, Autopiste est le meilleur à utiliser, car sa performance sur tous les plans dans la conception des routes le rend essentiel. En effet, on peut faire la combinaison et travailler sur les deux logiciels à la fois, ça va donner des résultats plus pertinents, d'ailleurs, on fait ça sans même se rendre compte (le calcul du MNT ainsi que les courbes de niveaux ne se font qu'à partir de COVADIS et sans ces derniers Autopiste ne marchera pas !).

Perspectives

On a bien aimé étendre l'étude à la comparaison d'autres logiciels d'infrastructures routières spécialement ou de projets linéaires généralement, mais le temps et les circonstances actuelles liées au Covid-19, ne le permettaient pas. Par conséquent, on souhaite donc voir ce type d'étude traité, dans d'autres PFE, par les étudiants des promos future. Une étude comparative

Conclusion générale

entre « Civil 3d » et « COVADIS + Autopiste travaillant ensemble » sera génial comme sujet de PFE.

Références bibliographiques

- [1] Jean Barillot, Hevré Cabanes et Philippe Carillo. « La route Et Ses Chaussées- (Manuel des travaux publics ». Edition Eyrolles, 2018, p.250
- [2] Karine Côte. « LE RESEAU », Bulletin aux partenaires de la Direction les Laurentides-Lanau Dière, (Bulletin de liaison, Direction de l'Outaouais, ANNEE 5, N°6, JUILLET 2004)
- [3] Techniques de l'ingénieur (article en line), techniques-ingénieur.fr (consulté en mars 2020), Date de publication : 01 mars 2005. <https://www.techniques-ingénieur.fr/search.html?query=Lev%C3%A9+de+topographie>
- [4] COQUAND Roger. « Routes : circulation, tracé-construction ». Edition Eyrolles, 1985 (neuvième édition), Paris, p.291
- [5] Normes techniques d'aménagement des routes B40. OCTOBRE 1977.
- [6] Glaser Sébastien, Mammari Saïd, Daklalah Jamil « Méthode de calcul de la vitesse de référence ». Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 24 novembre 2008.
- [7] Goumettre Ahmed. Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat des travaux publics (ENSTP 2014)
- [8] Philippe Carillo. Guide technique, conception d'un projet routier. EDITIONS EYROLLES. Paris
- [9] Ziregue Safouane, Hadj Hacene Mohammed Fathi, PFE (master) 2019. « étude du contournement de la localité d'EL FASFSA (sp6) sur la RN23 entre pk376 et pk382».
- [10] Mouadene Mohammed, Oulad Sidi Omar Abdellatif, PFE (master) « étude d'un tronçon routier », 2016
- [11] ETUDE THECHNIQUE DES ROUTES, CHAPITRE I : IMENSIONNEMENT HORIZONTAL DES ROUTES, coursehero.com (consulté en mars 2020)
- [12] : ELYASSARI Soufiane, Cours De Routes, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Al Hoceima
- [13] : Boudina Yasser, Dib Bahi, Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat des travaux publics (ENSTP 2014)
- [14] R. Aillard et G. Kienert. « Les Travaux Publics ». Edition Eyrolles, 1986, p.456
- [15] LCPC ; SETRA. Guide technique ; conception et dimensionnement des structures de chaussées. Paris : Bagnaux, décembre 1994. P.250
- [16] BERTHIER Jean. Techniques de l'ingénieur : « projet et construction des routes », 1992, p.39
- [17] TP Concept. « Dimensionnement des structures de chaussées » (en line) <http://www.am41.org/> (consulté en mars 2020)
- [18] Rapports techniques de la RN23 du lot 03, Direction Des Travaux Publics.

- [19] : http://studio-exosma.fr/linteret-de-linformatique-dans-la-vie-quotidienne-et-en-entreprise/?fbclid=IwAR2rElxV_UYf3fazCWdgZulMRxF9Q-Nfsch_bzWdKdRpOIG3QZ_OZcJGbPc
- [20] : https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-conception-et-production-tiagc/archive-1/apport-de-l-informatique-en-ingenierie-ag3800/?fbclid=IwAR3ylreE3ToCic050Eloy8KirM-R9vtnTtR7BVU_h1HHGGXALfLiuQafSI
- [21] : <https://archigrind.fr/la-vie-avant-autocad-histoire-dao-cao/?fbclid=IwAR0NL6iV364ZOlxrsqwW2Pdn04o0qGSYGBSKVohRHfmvA-JnX7SnQSCE8iE>
- [22] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis>
- [23] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis/topographie>
- [24] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis/dessin-assiste>
- [25] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis/cotation-par-etiquette>
- [26] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis/cubatures-et-profils>
- [27] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis/bordure-caniveau>
- [28] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-covadis/reseaux-dassainissement>
- [29] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-autopiste>
- [30] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-autopiste/un-logiciel-simple-et-dedie>
- [31] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-autopiste/conception-plane>
- [32] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-autopiste/conception-longitudinale>
- [33] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-autopiste/devers-et-decapages>
- [34] : <https://www.geo-media.com/solutions/logiciel-autopiste/listings-et-integration-du-projet>