

SOMMAIRE

TENY FISAORANA

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

PARTIE 1 : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre 1 : GENERALITES SUR LES ROUTES REVETUES

Chapitre 2 : LES MATERIAUX POUR COUCHE DE FONDATION

Chapitre 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA ROUTE

Chapitre 4 : NOTION DE BASE DE DONNEES

Chapitre 5 : PRESENTATION DU SIG ET SES FONCTIONNALITES

PARTIE 2 : ETUDES TECHNIQUES

Chapitre 6 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDES

Chapitre 7 : CARACTERISATION DES MATERIAUX

Chapitre 8 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Chapitre 9 : CARACTERISTIQUES POUR COUCHE DE ROULEMENT

PARTIE 3 : ELABORATION DE LA BASE DE DONNEE

Chapitre 10 : MANIPULATION DU LOGICIEL QGIS

Chapitre 11 : EVALUATION FINANCIERE DU SIG

CONCLUSION

Références Bibliographiques

Références Webographiques

Annexes

Table des matières

RESUME

LISTE DES ABREVIATION ET NOTATIONS

- Abréviations

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

AGL : Atelier de Génie Logiciel

BD : Base de Donnée

BBSG : Béton Bitumé Semi-Grenu

CBR : California Bearing Ratio

CDF : Couche De Fondation

CHEC : China Harbour Engineering Corporation

ESPA : Ecole Supérieur Polytechnique Antananarivo

GPL : licence publique générale

GDAL : Geospatial Data Abstraction Library

GPS : Global Positioning System

LNTPB : Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment

LBI : Louis Berger International

PST : Plate-forme support de chaussée ou Partie supérieure de terrassement

PK : Point Kilométrique

R.B : Route Bitumée

R.N.P : Route Nationale Provinciale

R.N.S : Route Nationale Secondaire

R.N.T : Route Nationale Temporaire

SGBD : Système de Gestion De Bases de Données

SIG : Système d'Information Géographique

VRS : Voies du Réseau Structurant

VRNS : Voies du Réseau Non Structurant

- Notations

MDE : Micro-Deval

LA : Los Angeles

VB : Valeur au bleu de méthylène

SN : Nombre Structural

D1 : Epaisseur de couche de roulement

D2 : Epaisseur de couche de Base

D3 : Epaisseur de couche de Fondation

m1, m2 ... : Coefficient de drainage des couches

a : Coefficient structuraux représentatifs des couches

ES : Equivalent de Sable

Ip : Indice de Plasticité

Rf : Refus cumulé

Φ : Angle de frottement

σ : Contrainte

C : Cohésion

E : Module d'young

Pl : Forage Pressiométrique en fonction de la profondeur (Préssion)

K : Coefficient de Pressiométrique

OPM : Optimum

W : Teneur en Eau

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Rôles des couches d'une chaussée	5
Tableau 2 : Classification des routes [W6]	6
Tableau 3 : Types de déformations	8
Tableau 4 : Types de fissurations	9
Tableau 5 : Types d'arrachements	10
Tableau 6 : Remontées des matériaux	11
Tableau 7 : Utilisations des matériaux	12
Tableau 8 : Récapitulation des grains du Fuseau granulaire pour CDF.....	13
Tableau 9 : Nature et qualité du sable en fonction de la valeur de ES.....	43
Tableau 10 : Types d'essais Proctor.....	44
Tableau 11 : Nature des sols	46
Tableau 12 : Paramètres préssiométriques	47
Tableau 13 : Teneur en eau naturel	48
Tableau 14 : Masse Volumique.....	49
Tableau 15 : Analyses granulométriques des Matériaux sélectionnés.....	50
Tableau 16 : Pourcentage des Fines	52
Tableau 17 : Valeur des limites d'Atterberg	53
Tableau 18 : Résultat PROCTOR	54
Tableau 19 : Résultat ICBR	55
Tableau 20 : Relation entre Compacité et Epaisseur.....	56
Tableau 21 : Caractéristiques des concassés	57
Tableau 22 : Caractéristiques du bitume	57
Tableau 23 : Formules des enrobés	58
Tableau 24 : Caractéristiques des enrobés A	59
Tableau 25 : Caractéristiques des enrobés B.....	59
Tableau 26 : Caractéristiques Duriez	60
Tableau 27 : Durée d'exécution	75
Tableau 28 : Evaluation des coûts (forfaitaire)	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Structure d'une chaussée [W10]	3
Figure 2 : Fuseau granulaire pour CDF	14
Figure 3 : Sollicitations dans la chaussée.	16
Figure 4 : Principe d'un système multicouche.	17
Figure 5 : Massif multicouche et charge de référence.	18
Figure 6 : Processus de Modélisation d'une B.D.	21
Figure 7 : Système de Gestion de Base de données « SGBD ».	23
Figure 8 : Composantes d'un SIG[W2]	28
Figure 9 : Structure d'un SIG	30
Figure 10 : Superposition sous un SIG[W3]	30
Figure 11 : Exemple de sélection	31
Figure 12 : Types de données dans un SIG[6]	32
Figure 13 : Données spatiales[W4]	33
Figure 14 : Notion de couches de données[6]	34
Figure 15 : Données associées[W5]	34
Figure 16 : Courbes granulométriques des sols du PK0 au PK4 dans le fuseau granulaire	50
Figure 17 : Courbes granulométriques des sols du PK4 au PK11 dans le fuseau granulaire	51
Figure 18 : Courbe Granulométrie du BBSG 0/10	58
Figure 19 : Interface du QGIS	63
Figure 20 : Coordonnées GPS dans Excel	65
Figure 21 : Création des données SHP dans QGIS	67
Figure 22 : Carte Géoréférencée	69
Figure 23 : Traçage de la route	70
Figure 24 : Exemple d'un fichier .xls à joindre avec un fichier .shp	72
Figure 25 : Jointure effectué	73
Figure 26 : Exemple de jointure effectué avec information sur les PK0-PK1	74

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Voie rapide reliant Tsarasaotra et Ivato [16]	38
Photo 2 : Exemple de marquage au sol [9].....	39
Photo 3 : Panneau de signalisation [9]	40
Photo 4 : Eclairage [9].....	40
Photo 5 : Série de tamis [W8]	41
Photo 6 : Appareillages d'Atterberg [W8]	42

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Mesure de Déflexion PK 0+085 au PK 3+985	II
Annexe 2 : Mesure de Déflexion PK 4+010 au PK 7+110	III
Annexe 3 : Mesure de Déflexion PK 7+135 au PK 10+860	IV
Annexe 4 : Courbe de Proctor à chaque tronçon de 1km.....	V

INTRODUCTION

La route est un moyen facile et pratique pour la circulation dans un pays. En effet, le réseau routier établit la liaison entre les villes et les agglomérations et facilite les moyens de transactions et échanges commerciaux. Le réseau routier constitue alors un facteur clé à la croissance d'un pays. Lorsque les zones économiques et commerciales sont bien reliées, il y aura certainement beaucoup d'évolutions et développements dans le pays, en partant des régions, districts et provinces.

La création de nouvelles routes comme les by-pass et les voies rapides, devra faciliter la circulation par fluidification des embouteillages dans les villes et aussi devra faciliter les transferts et toutes échanges.

Des matériaux en provenance de différents sites et ayant des propriétés et caractéristiques différents sont utilisés pour la construction routière. Nous pensons que le fait d'enregistrer et de stocker les informations sur ces matériaux est nécessaire. Des plusieurs méthodes peuvent-être utilisés, nous nous proposons d'utiliser la base de donnée SIG car ce dernier constitue non seulement de stockage de données et informations mais surtout de la manipulation géographique du site étudié. C'est dans cette optique que nous avons avancé le thème de notre mémoire intitulé : « ELABORATION D'UNE BASE DE DONNEES SIG SUR LES MATERIAUX UTILISES POUR COUCHE DE FONDATION DE LA ROUTE RELIANT TSARASAOTRA ET IVATO ».

La première partie de ce mémoire montre des études bibliographiques dans lesquelles, nous avons détaillé des généralités sur les routes revêtues, caractéristiques des matériaux routiers pour couche de fondation, puis le dimensionnement de la route et les notions sur les Base de données et les fonctionnalités du SIG.

Dans la seconde partie, nous passerons aux études expérimentales qui concerne les caractéristiques des matériaux et les caractérisations des matériaux in-situ. Et ensuite les études sur les couches de roulement de la route reliant Tsarasaotra-Ivato.

La troisième partie concerne la manipulation du logiciel QGIS, et ainsi qu'une brève évaluation financière de notre travail.

PARTIE I :
ETUDES
BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : GENERALITES SUR LES ROUTES

I.1 Définitions

Une **route** est au sens littéral, une voie terrestre (au niveau du sol ou sur viaduc) aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues.

Une route revêtue ou encore chaussée revêtue est une route dont la partie superficielle ou couche de surface est construite à partir des enrobés.

On utilise souvent à tort et à travers les mots "enrobé", "goudron", "bitume", "asphalte" pour désigner le revêtement qui recouvre les routes, les trottoirs ou les zones de stationnement. Ces différentes surfaces ne possèdent pas exactement le même aspect, la même texture. [1]

I.2 Structure d'une chaussée

La chaussée est une structure linéaire de grande envergure composée de plusieurs couches de différents matériaux. Cette structure, présentée par la figure 1, est typiquement formée de trois couches [2] :

La première couche – couche de surface, peut être en béton bitumineux ou en béton de ciment.

La deuxième couche – couche d'assise, est composée de matériaux granulaires.

La couche de forme – troisième couche, est-elle aussi composée de matériaux granulaires très fins.

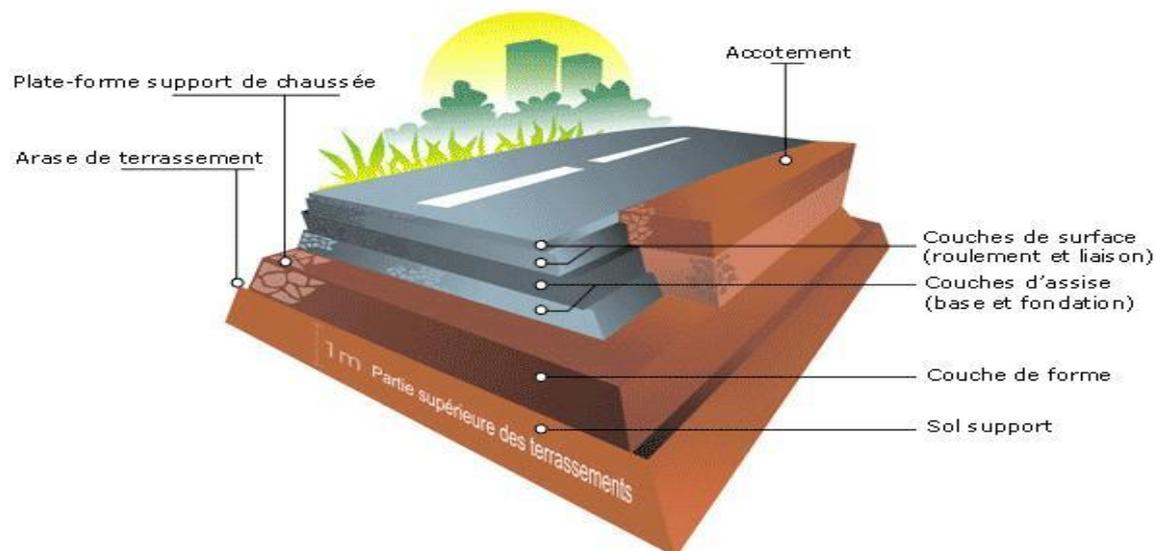


Figure 1 : Structure d'une chaussée [W10]

I.2.1 La couche de surface

La couche de surface assure les revêtements de la chaussée et elle est le siège des déplacements des véhicules. Elle est constituée par :

- **La couche de roulement**, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. Elle doit par conséquent, résister à la chaleur ; résister aux efforts tangentiels provoqués par les pneumatiques ; assurer l'étanchéité et la bonne protection des sous-couches adjacentes ; permettre aux véhicules de circuler dans les bonnes conditions de confort et de sécurité. [11]

- **La couche de liaison** (ou couche d'accrochage), placée entre la couche de base et la couche de roulement.

I.2.2 La couche d'assise

Les couches d'assise sont généralement composées de deux couches différentes telles que la couche de base et la couche de fondation. [13]

- **La couche de base**

Elle se trouve au-dessus de la couche de fondation, elle est donc soumise à des contraintes plus élevées par rapport à celui-ci. Cette couche est généralement réalisée avec un matériau grossier (gravier ou pierre concassée), sinon avec d'autres matériaux répondant aux spécifications requises. Elle encaisse une partie de la force verticale transmise par les roues des véhicules et transmet l'autre partie vers la couche de fondation. [11]

- **La couche de fondation**

Elle assure une diffusion des contraintes afin de les amener à un taux compatible avec la portance de la plateforme.

L'épaisseur minimale de cette couche est généralement de 20 cm. La couche de fondation a pour rôle de diminuer les charges transmises au sol de plate-forme et d'assurer la transition entre celle-ci et les couches supérieures de la chaussée. [11]

I.2.3 La couche de forme

Elle constitue l'infrastructure ou le support de la chaussée. Elle requiert un traitement tout particulier, puisque la plupart des méthodes de dimensionnement s'appuieront sur la résistance au poinçonnement du sol de plateforme.

I.3 Rôles [1]

Les rôles des couches constituant la chaussée sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Rôles des couches d'une chaussée

Couche	Sous-couche	Rôles
Surface	Roulement	S'opposer à la pénétration de l'eau
	Liaison	Résister aux efforts horizontaux des pneumatiques par cisaillement (accélération, freinage, rotation des roues non motrices)
Assises	De base	Résister à la pression verticale
	De fondation	Interface
PST		Sol Support de la chaussée
Forme		Uniformiser la portance du sol
Sol support		Où se repose la chaussée et l'emprise totale

I.4 Classification des routes à Madagascar

Selon la loi N° 98-026 de la charte routière et le décret N°99-776 portant sur la refonte du classement des Routes Nationales et Routes Provinciales, le réseau routier Malagasy est classé comme suit :

- Par nature administrative :
 - R.N : Route Nationale
 - R.P : Route Provinciale.
- Par nature de revêtement :
 - R.B : Route Bitumée ;
 - R.T : Route Temporaire.

En général, le linéaire du réseau routier Malagasy est estimé à 26000 km. [7]

Remarque :

Ces classes de route sont suivies d'un chiffre pour les identifier, par exemple, R.N.7 : Route Nationale n°7.

Tableau 2 : Classification des routes [W6]

FARITANY	CLASSE	RNP [Km]	RNS [Km]	RNT [Km]	RP [Km]	TOTAL [Km]	%
ANTANANARIVO	RB	454,6	559,3	134	75	1 222,9	4,84
	RT	0	298,2	20	2 958	3 276,2	12,97
TOAMASINA	RB	283,9	252,5	473,2	71	1 080,6	4,28
	RT	0	485,5	341	775	1 601,5	6,34
MAHAJANGA	RB	530,2	186	235	29	980,2	3,88
	RT	220	290,8	1 103	1 229	2 842,8	11,25
FIANARANTSOA	RB	515,6	533	131	86	1 265,6	5,01
	RT	39	448	692	2 599	3778	14,95
ANTSIRANANA	RB	242,3	226,6	132	105	705,9	2,79
	RT	108,4	261,4	0	1 168	1 537,8	6,09
TOLIARY	RB	166,4	312	89	0	567,4	2,25
	RT	0	905	1 216,7	4 286	6407,7	25,36
TOTAL	RB	2 193	2 069,4	1 194,2	366	5 822,6	23,04
	RT	367,4	2 688,9	3 372,7	13 015	19 444,0	76,96
TOTAL GENERAL		2 560,4	4 758,3	4 566,9	13 381	25 266,6	100,00

I.5 Etudes du Trafic

Pour un projet routier, le trafic joue un rôle très important au dimensionnement et au choix de la structure de la chaussée.

L'étude du trafic constitue une approche essentielle de la conception de réhabilitation des réseaux routiers. [W8]

Pour l'étude du trafic, trois points sont à considérer :

- Le trafic passé ;
- Le trafic actuel ;
- Le trafic futur.

I.5.1 Le trafic passé

C'est le nombre des véhicules qui ont déjà circulé sur la route à réhabiliter dans les années antérieures. Il permet de déterminer le taux de croissance à prendre en compte pour l'estimation du trafic futur.

I.5.2 Le trafic actuel

C'est le nombre moyen journalier de toutes catégories de véhicule de l'année de l'étude.

I.5.3 Le trafic futur

C'est le trafic le plus important pour un projet routier. Il permet dans un premier temps, de définir la nature et le dimensionnement des chaussées, et dans un second, d'évaluer les avantages économiques du projet.

I.5.4 Les effets du trafic

Pour examiner ces effets, il est utile de rappeler les efforts exercés par un véhicule sur une chaussée.

- Le premier effort à considérer est un effort vertical égal au poids exercé par la roue
- Le deuxième effort à considérer est un effort horizontal, lié aux frottements entre le pneumatique et le revêtement.

Ces efforts horizontaux contribuent, avec les efforts verticaux, à l'usure et au fluage des couches de roulement ; ils peuvent également contribuer à la dégradation des qualités de l'interface couche de base, couche de roulement, en particulier si la structure de la chaussée ne correspond plus à la condition d'exploitation (intensité et charge par essieu).

- Un troisième type d'agression d'origine mécanique peut être considérée : il s'agit de l'agression perpétrée par les crampons de véhicule. L'énergie apportée par les crampons qui agissent comme de véritables marteaux contribue à fragmenter les granulats et à user la couche de roulement.

Pour assurer son rôle, c'est à dire maintenir le plus longtemps possible un bon niveau de confort et protéger contre l'eau les couches inférieures, la couche de roulement doit être capable de résister à l'action du trafic.

Par suite, si les routes ne sont pas entretenues correctement en temps opportun, elles se dégradent inexorablement, entraînant une augmentation des coûts de leur réhabilitation et d'exploitation des véhicules.

I.6 Dégradations sur une route revêtue[W1]

Des dégradations peuvent se trouver sur les routes qui présentent chacune des causes particulières. Des unes sont générées au niveau des différentes couches, des autres à la surface de la chaussée.

Plusieurs causes peuvent alors aboutir à ces différentes dégradations et des solutions correspondantes sont présentées dans les tableaux suivants.

I.6.1 Déformation [13]

Tableau 3 : Types de déformations

Types	Définition	Causes	Évolution	Remèdes
Tôles Ondulées	Suite d'ondulation de faible longueur d'onde perpendiculaire à l'axe de la chaussée	Défaut de profilage de la couche de base Manque de stabilité des enrobés Action mécanique due au trafic	Fissures ; Faiencages ; Arrachements	Enduit superficiel ou Tapis en enrobés
Affaissements	Dépressions très prononcées et assez étendues en rive ou en pleine largeur de la chaussée transversalement/ Longitudinalement	Sous-dimensionnement du corps de chaussée ; Tassements différentiels ; Construction défectueuse ; Drainage insuffisant, chaussée non buttée en rive, à des points singuliers	Formation de Bourrelets de Fissures et faiencage ; Rupture de la chaussée en saison de pluie	Tapis en enrobés ou Enduit superficiel ; Réfection localisée ; drainage de la chaussée
Flaches	Dépressions localisées de forme arrondie de la chaussée	Insuffisance en un point du corps de chaussée ou du sol support ; Stabilité insuffisante du revêtement	Formation de Bourrelets de Fissures et faiencage ; Rupture de la chaussée en saison de pluie	Délaçage ou réfection Localisée suivant la Profondeur de l'affaissement
Ornières	Affaissements localisés apparaissant sous passage des véhicules affectant la couche de roulement ou le corps de chaussée	Sous dimensionnement du corps de chaussée ; Compactage insuffisant ; Stabilité insuffisante du Revêtement ; Perte de portance des couches sous-jacentes du revêtement	Formation de Bourrelets de Fissures et faiencage ; Rupture de la chaussée en saison de pluie	Délaçage ou réfection Localisée suivant la Profondeur de l'affaissement
Bourrelets	Renflements de la surface de la chaussée suivie d'ornières	Sous dimensionnement du corps de chaussée ; Compactage insuffisant ; Stabilité insuffisante du revêtement ; Perte de portance des couches sous-jacentes du revêtement	Formation de Bourrelets De Fissures et faiencage ;	Déflachage ou réfection localisée suivant la profondeur de l'affaissement

I.6.2 Fissurations [13]

Tableau 4 : Types de fissurations

Types	Définition	Causes	Evolution	Remèdes
Fissures	Petites cassures du revêtement avec ou sans rupture du corps de chaussée longitudinalement ou transversalement à l'axe de la chaussée	Retrait ; Vieillessement ; Mauvaise mise en œuvre ; Mauvaise qualité des matériaux ; Epaisseur insuffisante de la chaussée	Façonnage et destruction localisée ou générale de la chaussée	Colmatage des fissures en surface ; Réfection localisée si le corps de chaussée est atteint ; Tapis en enrobés ou enduit superficiel
Façonnages	Mailles de fissures au niveau de la surface de roulement	Fatigue du revêtement ; Sous-dimensionnement et Mauvaise mise en œuvre	Arrachements ; destruction de la chaussée	Réfection localisée, Tapis en enrobés ou enduit superficiel
Epaufrures	Cassures des bords de la chaussée	Erosion ; Mauvais drainage de l'eau ; Compactage insuffisant sur les rives ; Largeur insuffisante	Destruction locale du revêtement	Réfection localisée ; Drainage de la chaussée

I.6.3 Arrachements [13]

Tableau 5 : Types d'arrachements

Types	Définition	Causes	Evolution	Remèdes
Décollements	Rupture d'adhésion entre le revêtement et la couche de base	Mauvaise mise en œuvre de la couche d'accrochage ; Désempolement ; Phénomène de retrait-gonflement des matériaux de la couche de base	Arrachement des couches sous-jacentes au revêtement ; Destruction locale de la chaussée	Réfection localisée ou Tapis en empolement ou enduit superficiel
Désempolement	Disparition du liant enveloppant les granulats du revêtement	Mauvaise qualité des empolements ; Mauvaise adhésivité liant-granat ; Mise en œuvre par conditions atmosphériques défavorables	Arrachement des gravillons et ruine du revêtement	Réfection localisée ou Tapis en empolement ou enduit superficiel
Plumage	Arrachement des gravillons du liant	Conditions d'exécution défectueuses ; Ouverture précoce du chantier à la circulation ; Insuffisance en liant	Arrachement et ruine du revêtement	Réfection localisée ou Tapis en empolement ou enduit superficiel
Peignage	Arrachement des gravillons du revêtement suivant des lignes parallèles à l'axe de chaussée	Conditions d'exécution défectueuses ; Ouverture précoce du chantier à la circulation ; Insuffisance en liant	Arrachement et ruine du revêtement	Réfection localisée ou Tapis en empolement ou enduit superficiel
Pelade	Décollement du revêtement par plaques plus ou moins grandes	Mauvaise mise en œuvre de la couche d'accrochage	Arrachement et ruine du revêtement	Réfection localisée ou Tapis en empolement ou enduit superficiel
Nids de poule	Cavités arrondies à bords francs apparaissant sur le revêtement par arrachement de matériaux	Défaut localisé de la couche de surface ou de base ; Défaut de portance ; Evolution finale des fissurations et déformations	Arrachement et ruine du revêtement	Réfection locale

I.6.4 Remontées des Matériaux [13]

Tableau 6 : Remontées des matériaux

Types	Définition	Causes	Evolution	Remèdes
Remontée d'eau, de fines, de boue	Apparition à la surface du revêtement de venues d'eau ou des fines ou de boue sous l'effet du trafic à travers les défauts du revêtement	Mauvais drainage ; Fondation en sol argileux	Pollution complète du corps de chaussée par l'argile ; Désenrobage et destruction de la chaussée par l'eau	Drainage de la chaussée
Ressuage	Remontée du liant à la surface de la couche de roulement	Mauvaise formation du liant ; Mauvaise mise en œuvre ; Température ambiante trop élevée pour la viscosité du liant	Déformations diverses ; arrachements	Sablage ou réfection localisée
Boursouflure	Surhaussement du revêtement avec fissures et décollement de la couche de surface	Fondation en argile gonflante ou de nappes salines qui se gonflent lorsque la teneur en eau est élevée	Déformations diverses ; arrachements	Drainage de la réfection localisée à chaussée ;

Chapitre 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ROUTIERS POUR COUCHE DE FONDATION

II.1 Les constituants de base d'une chaussée revêtue

Les matériaux routiers sont constitués essentiellement du sol, de granulats et des liants, qui sont utilisés différemment à chaque couche de chaussée.

Tableau 7 : Utilisations des matériaux

Constituants	Utilisations
Sol	Plate-forme – PST – Couche d'assise
Granulats : graves – sables	Couches d'assise – Couche de surface
Liants hydrauliques	Couches d'assise – Couche de surface
Liants hydrocarbonés	Couche de roulement

II.2 Type de couche de Fondation

Cette couche a pour rôles :

- De transmettre et de répartir sur la couche inférieure les charges appliquées au revêtement ;
- De faciliter la mise en œuvre des couches supérieures en réalisant une surface de pose unie sur laquelle l'accès reste aisé en toutes circonstances.

On peut distinguer plusieurs types de fondations suivant les traitements :

- La fondation en empierrements traités au ciment ;
- La fondation en sable-ciment ;
- La fondation en béton maigre ;
- La fondation en béton maigre poreux ;
- La fondation en béton sec compacté.

La stabilisation au ciment permet aussi la réutilisation, en fondation, de matériaux considérés autrefois comme des déchets et généralement voués à la décharge.

Des expériences prometteuses ont été effectuées avec d'anciens bétons concassés, des granulats issus du raclage ou de la démolition de revêtements hydrocarbonés, des cendres volantes, des schistes houillers brûlés. [2]

II.3 Exigences relatives aux matériaux de fondation des chaussées

Plusieurs exigences doivent être satisfaites afin qu'un granulat puisse être utilisé comme matériau granulaire pour les fondations.

En ce qui concerne les caractéristiques intrinsèques, le granulat doit respecter les valeurs suivantes :

- Micro-Deval inférieur à 35%,
- Los Angeles inférieur à 50%
- Somme de MDE+LA inférieure à 80%.
- Pourcentage de fragmentation supérieur ou égal à 50%.
- Pourcentage de matière organique doit être inférieur ou égal à 0,8%.
- VB doit être inférieure ou égale à 0,20 cm³/g.
- Du point de vue granulométrique, le matériau doit être compris à l'intérieur du fuseau granulaire suivant :

Tableau 8 : Récapitulation des grains du Fuseau granulaire pour CDF

D (mm)	Module	% Passant cumulé (min)	% Passant cumulé (max)
31.5	46	100	100
16	43	90	100
8	41	67	91
4	38	56	84
2	34	36	62
1	32	26	48
0.5	29	19	38
0.25	26	13	28
0.125	23	9	20
0.08	20	2	7

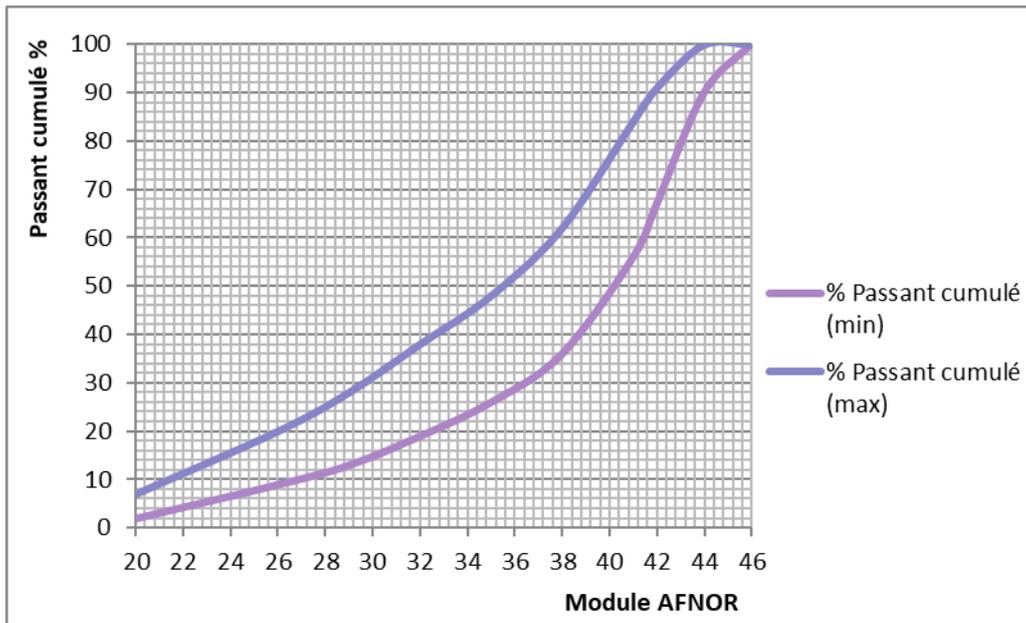


Figure 2 : Fuseau granulaire pour CDF

II.4 Caractéristiques des granulats

Lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations mécaniques diverses, autant avant, pendant et après la mise en œuvre, les granulats peuvent se fissurer et/ou se fragmenter, s'user par attrition et frottement réciproque et se polir. Toujours selon ce dernier, la résistance à l'abrasion d'un granulat (résistance à l'usure) est largement influencée par des caractéristiques minéralogiques comme la dureté, la texture, la cohésion entre les grains et la présence de plans de faiblesse. Par conséquent, les granites et les gneiss sont souvent les meilleurs granulats du point de vue de la résistance à l'abrasion, entre autres parce que ces roches contiennent du quartz et du feldspath, des minéraux durs et résistants en abrasion.

Une faible résistance à l'abrasion peut engendrer une production de fines plus importante lors du compactage et des étapes de manutention, accroître la déformabilité et augmenter la gélimité (par présence d'un excès de fines).

À titre d'exemple, un calcaire cristallin est moins résistant à la fragmentation qu'un calcaire à grains très fins. Pour une même composition minéralogique, les roches volcaniques (grains fins) sont plus résistantes que leurs équivalents plutoniques (grains grossiers) comme par exemple une rhyolite par rapport à un granite. Comme le quartz est un minéral relativement peu résistant à l'impact, les roches en contenant beaucoup sont généralement moins résistantes à la fragmentation en particulier si, comme il a été mentionné, le grain est grossier.

La granulométrie d'un granulat a un effet sur plusieurs paramètres influençant le comportement de ce dernier.

Compacité : Un matériau à granulométrie étalée se compacte mieux qu'un matériau à granulométrie serrée (surtout si la teneur en eau est à ou près de l'optimum) ;

- **Conductivité hydraulique** : Plus les grains sont gros et de taille uniforme, plus la conductivité hydraulique sera élevée ;

Géivité : Le gel est moins dommageable lorsque le matériau est perméable et lorsque le front de gel se propage rapidement (généralement le cas dans les fondations routières). Si le granulat est peu perméable, il y a risque de formation de lentilles de glace.

II.5 Mélange de granulats

Il est théoriquement possible d'obtenir une granulométrie spécifique par le mélange de matériaux de granulométries différentes. Il suffit de calculer les proportions de chaque constituant de granulométrie connue pouvant permettre d'obtenir le matériau désiré.

Par exemple, le mélange des granulats peut être utilisé pour corriger la granulométrie d'un matériau hors spécification par rapport à un fuseau granulaire. Le principe mathématique sur lequel repose le mélange de matériaux de différentes granulométries permettant l'obtention d'un matériau de granulométrie donné est une résolution d'équations du premier degré pour chacun des tamis de contrôle. [W17]

II.6 Caractéristiques mécaniques des matériaux de fondation des chaussées

Le contact entre les particules a une influence majeure sur les propriétés mécaniques d'un matériau granulaire. Des caractéristiques des granulats comme la minéralogie, la rugosité, l'imbrication des particules et la granulométrie influencent la qualité du contact entre les particules et donc, influencent les propriétés mécaniques. Toutefois, il doit être souligné qu'une grande résistance n'est pas toujours associée à un module élevé et un module élevé n'est pas toujours associé à une bonne résistance à la déformation permanente.

Dans des conditions normales d'opération, les matériaux granulaires utilisés dans les fondations de chaussées ne sont pas sollicités dans le domaine des très grandes déformations.

Chapitre 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA ROUTE

III.1 Principe de dimensionnement

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 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'enrobés. [12]

On distingue six principales familles de structures de chaussées actuellement utilisées sur le réseau routier et autoroutier. Les structures semi-rigides sont celles dont les assises sont essentiellement constituées de matériaux traités aux liants hydrauliques. Différentes méthodes sont développées dans la littérature pour le dimensionnement des structures des chaussées. [3]

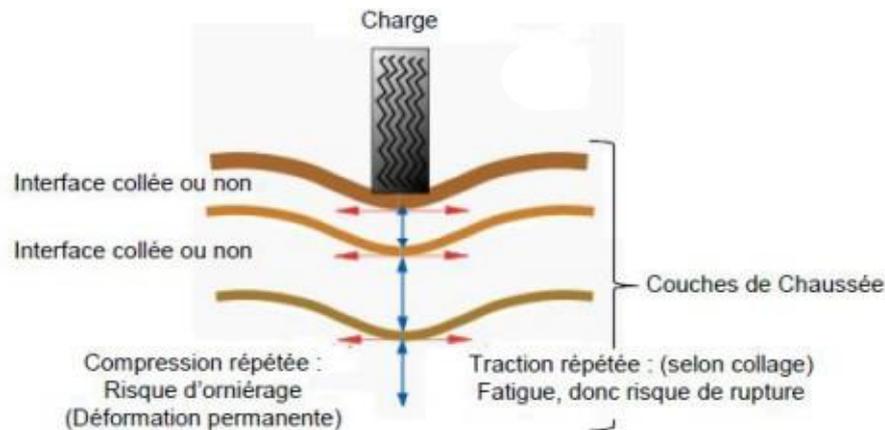


Figure 3 : Sollicitations dans la chaussée.

III.2 Méthode de dimensionnement

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement des structures de chaussées proposées dans la littérature. Celles-ci peuvent être résumées suivant deux approches différentes à savoir : l'approche empirique et l'approche mécanistique-empirique ou analytique-empirique. Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses limites par rapport aux conditions locales de chaque administration. [12]

III.2.1 Méthode américaine de l'AASHTO [3]

D'après « JEU 83 », la méthode de l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), constitue l'essai le plus important pour confronter les idées et les faits en matière de technique routière. C'est une méthode basée sur une analyse empirique des résultats des essais de l'AASHO Road qui a subi une évolution importante depuis 1961. [3]

Son rôle est d'établir une relation entre les caractéristiques structurales de la chaussée et l'évolution dans le temps du niveau de qualité des chaussées (exprimé en indice de viabilité). L'épaisseur des différentes couches constituant la structure de la chaussée est déterminée à partir de l'Equation suivante qui exprime le nombre structural.

$$SN_n = (D_1 a_1 + D_2 a_2 m_2 + D_3 a_3 m_3 + \dots + D_n a_n m_n) / 25,4$$

Avec :

- SN_n : nombre structural composé pour n couches ; déterminé à partir de l'abaque AASHTO des nombres structuraux.

- D_1, D_2, D_3, D_n : épaisseur des couches de roulement, de base, de fondation et de forme respectivement.

- m_2, m_3, m_n : coefficient de drainage des couches de base, de fondation et de forme respectivement.

- a_1, a_2, a_3, a_n : coefficients structuraux représentatifs de la couche de roulement, couche de base, couche de fondation et couche de forme respectivement.

La conception finale correspond à un assemblage de couches de matériaux et d'épaisseurs définies, comme le montre la figure suivante.

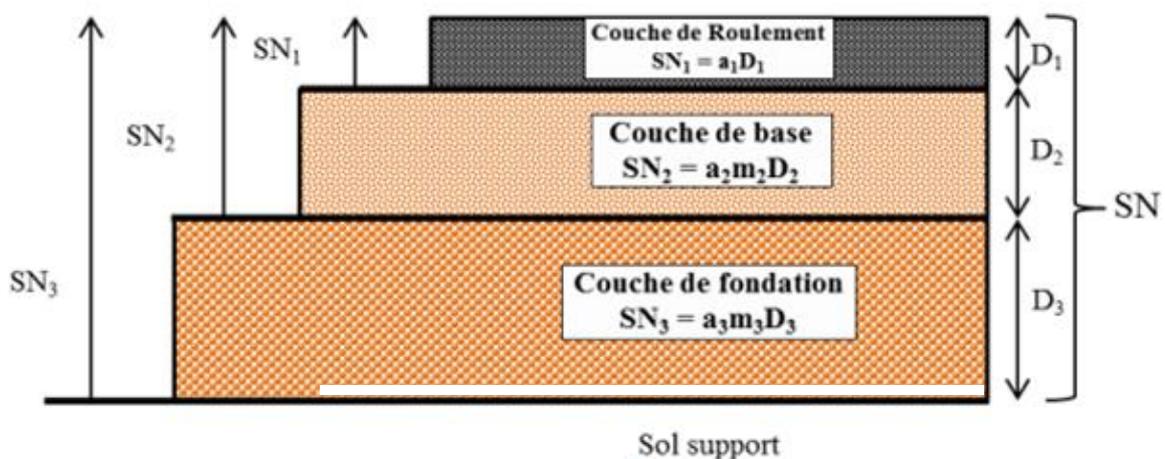


Figure 4 : Principe d'un système multicouche.

III.2.2 Méthode française de dimensionnement de la chaussée

La méthode française de dimensionnement des chaussées est basée à la fois sur les calculs théoriques et les expériences. La méthode combine en effet :

- l'analyse théorique de la mécanique de chaussée, celle-ci est effectuée par le logiciel ALIZE, qui se base sur le modèle élastique linéaire de Burmister.
- les résultats d'essai de laboratoire sur le comportement en fatigue des matériaux de chaussée.
- les données obtenues par l'observation du fonctionnement des chaussées.

Les paramètres essentiels pour les calculs théoriques de la méthode française de dimensionnement des chaussées sont :

- Le trafic : Il exprime pour une voie de circulation, le nombre de passages de véhicules dans une période déterminée. C'est aussi la combinaison de différents types de véhicules, avec des charges et des géométries d'essieux très différentes.

Cette méthode de dimensionnement utilise un essieu de référence comme un essieu simple à roues jumelées exerçant une charge totale de 130 kN. Les voies du réseau structurant (VRS) et les voies du réseau non structurant (VRNS) représentent les deux catégories de voie prises en compte lors du dimensionnement. [12]

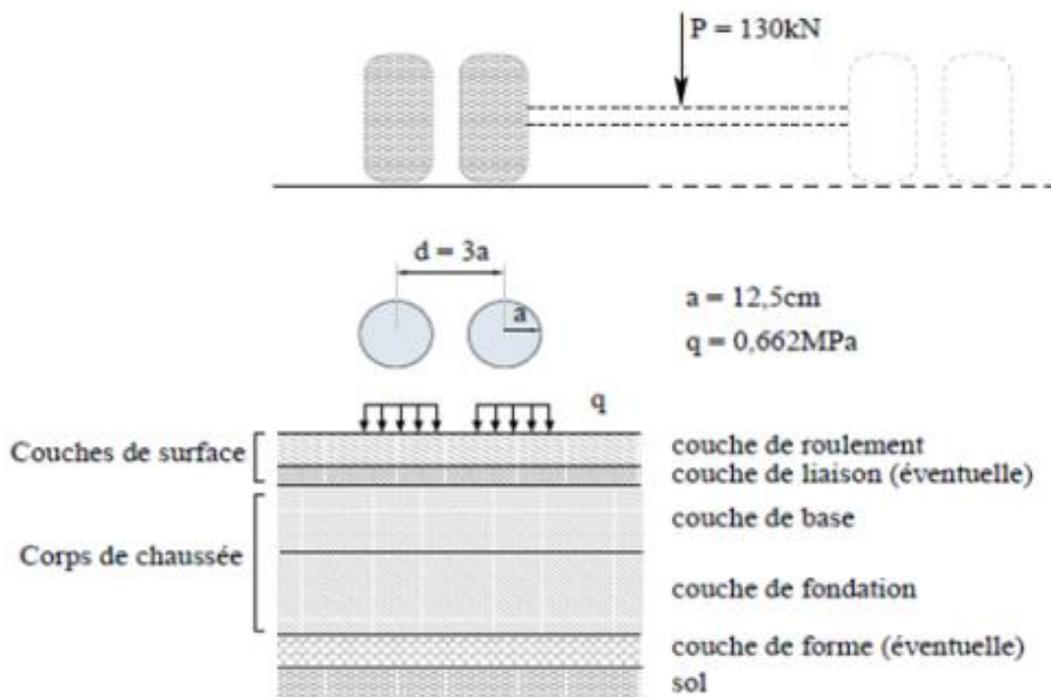


Figure 5 : Massif multicouche et charge de référence.

Chapitre 4 : NOTION DE BASE DE DONNEES

IV.1 Notions générales [4]

IV.1.1 Définition

Une base de données est un ensemble d'informations structurées permettant la mise en place d'une série d'applications informatiques destinées à une grande variété d'utilisateurs.

Exemple :

Dans une entreprise, les informations concernant son fonctionnement :

- Employés
- Produits Fabriqués
- Moyens matériels (Machines, Véhicules, Magasins, etc.)

Peuvent être rassemblées et mises à la disposition de nombreux utilisateurs (cadres de l'entreprise, gestionnaires, opérateurs, etc.).

IV.1.2 Objectifs d'une base de données [W9]

Parmi les principaux objectifs visés par une base de données, on peut citer :

IV.1.2.1 Partage de l'information

Une base de données permet le partage d'un ensemble unique d'informations par plusieurs utilisateurs. Cependant, il faut que cette mise en commun soit faite tout en préservant la vue particulière que chaque utilisateur peut avoir des informations, et en s'assurant que la simultanéité des traitements qui peuvent être effectués ne risque pas de dégrader l'intégrité de la base de données.

IV.1.2.2 Organisation des données indépendamment des programmes

Afin de construire un ensemble d'informations structurées non redondant et qui soit partageable par plusieurs utilisateurs, il est nécessaire de faire abstraction des traitements particuliers de tel ou tel utilisateur (ou programme) pour tenter d'organiser les informations en fonction de leur nature et des liens réels qui existent entre elles. C'est de cette manière qu'on arrivera à garantir le maximum d'indépendance entre données et programmes.

IV.1.3 Rôle d'une Base de données[W12]

Contrairement aux approches classiques, la création d'une base de données qui soit partagée par plusieurs utilisateurs est le reflet d'une évolution dans la gestion de l'entreprise. Son rôle est de rendre possible :

La centralisation de l'information : l'information n'est plus éparpillée dans différents fichiers à différents endroits)

L'intégration (tout ce qui se fait dans un service est visible par d'autres services)

La diffusion de l'information archivée (si l'information est disponible à un seul endroit, elle est facile à diffuser)

Ceci a pour avantages :

- D'améliorer la cohérence de l'information (une seule valeur pour une même information)
- De réduire les redondances (une même information n'est stockée si possible qu'une seule fois)
- De réduire les efforts de saisie et de mise à jour des informations (i.e. une information qui doit être stockée une seule fois ne sera saisie qu'une seule fois. De même que sa mise à jour ne se fera qu'une seule fois)

IV.1.4 La démarche de conception d'une base de données

IV.1.4.1 Principe général

Il est communément reconnu que la conception d'une base de données doit se faire en utilisant une méthode de conception qui définit la démarche à suivre. Plusieurs méthodes de conception existent à cet effet et nous citerons comme exemple la méthode MERISE. Pour certaines méthodes, on dispose même d'un outil logiciel d'aide à la conception appelé aussi un Atelier de Génie Logiciel (AGL) constitué d'un ensemble de logiciels permettant l'automatisation d'un certain nombre de tâches lors des différentes phases du processus de conception (génération automatique de la structure de la B.D, de programmes d'accès et de manipulation, etc...). [W13]

Néanmoins, quelle que soit la méthode utilisée, la conception d'une base de données passe par un processus de modélisation permettant de modéliser une certaine partie du monde réel afin de caractériser les entités qu'on manipule (étudiants, Comptes Bancaires, Ouvrages, etc.). De plus on essaye de caractériser les attributs de ces entités en fonctions des problèmes que doit résoudre l'existence de la B.D.

Le cas le plus général est celui où la B.D. est partagée par plusieurs utilisateurs. Ces utilisateurs n'ont pas tous la même vue des données de la base, et n'ont pas tous à voir la base dans sa totalité car chaque utilisateur n'est concerné que par une partie de celle-ci.

Exemple :

Dans une entreprise l'ensemble des informations sur les départements, les employés, les produits, le matériel, etc. peuvent être rassemblées sous forme d'une B.D. et il est bien rare qu'un utilisateur de cette base ait besoin de toutes ces informations à la fois.

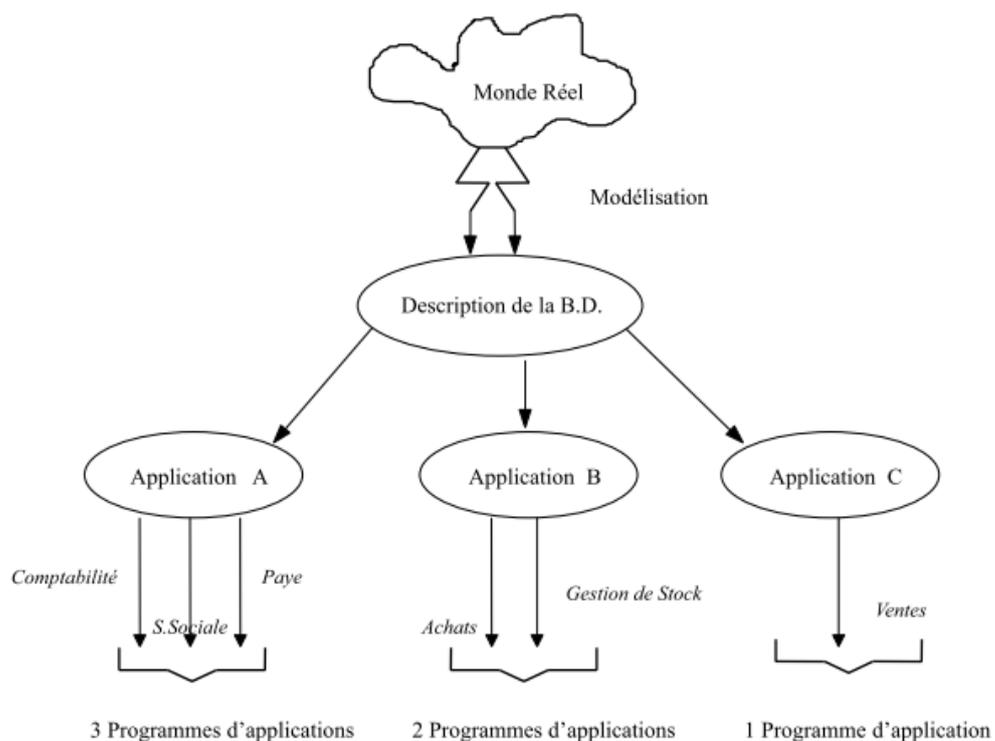


Figure 6 : Processus de Modélisation d'une B.D.

IV.1.5 Problèmes posés par la Centralisation de l'information sous forme de B.D.

Dans la pratique, la centralisation de l'information sous forme d'une B.D. unique pose un certain nombre de problèmes liés directement à l'intégrité et à la sécurité de ces informations. Parmi ces problèmes, on peut énumérer les suivants :

IV.1.5.1 Nature et type de l'information

Lors de la mise en place d'une B.D., l'utilisateur décrit les propriétés que doivent vérifier ses données. Ces propriétés peuvent se situer à différents niveaux :

- Appartenance d'une donnée à un ensemble de valeurs (Ex : l'âge d'un employé est un entier positif compris entre 0 et 150 $0 < \text{âge} < 150$)

- Déclaration de propriétés invariantes au cours du temps (Ex : Un enseignant à une heure Donnée ne peut se trouver que dans une seule salle).
- Relation d'ordre total à respecter lors du stockage des données (Ex : Les employés doivent être stockés dans la B.D. par ordre croissant de leur numéro ou par ordre alphabétique sur leur nom)

Toutes ces propriétés doivent être préservées tout au long de l'existence de la base de données.

IV.1.5.2 Sûreté physique, sûreté de fonctionnement et point de reprise

Il s'agit de protéger l'information contre un mauvais fonctionnement soit de la machine, soit du système qui gère la base de données.

Dans le premier cas, on peut délimiter les enregistrements qui ont été altérés ou perturbés alors que dans le second cas le problème est beaucoup plus complexe. Une des solutions en usage consiste à prendre à intervalles réguliers des copies de la B.D. et à enregistrer l'ensemble des transactions (opérations) effectuées sur la base. Ceci permettra en cas d'incident de régénérer une copie consistante (i.e. sans défauts) de la base.

IV.1.5.3 Partage de l'information

Lorsque deux programmes P1 et P2 veulent se partager la même donnée A, il peut y avoir perte d'intégrité.

Exemple :

P1 accède à A et la transfère dans son buffer propre

P2 accède à A et la transfère dans son buffer propre

P1 modifie A dans son buffer puis la recopie dans la B.D.

P2 modifie A dans son buffer puis la recopie dans la B.D. venant ainsi écraser

les modifications faites par P1.

La solution à ce problème serait par exemple celle de l'exclusion mutuelle qui est une technique utilisée dans les systèmes d'exploitation.

IV.1.5.4 Problème des données confidentielles

Il s'agit de protéger les données contre des utilisateurs indiscrets. On dispose en général pour cela de procédures sélectionnant les accès à la base de données. Lorsqu'un utilisateur veut faire un accès, on distingue deux phases :

- La phase d'identification : qui a pour but d'identifier l'utilisateur qui veut se connecter à la base de données. Ceci est possible grâce à un mot de passe, une carte spéciale, etc.
- La phase d'autorisation : qui après identification de l'utilisateur, permet de déterminer ce que peut faire cet utilisateur sur tel ou telle données (consulter seulement, consulter et mettre à jour, etc.)

IV.2 Systèmes de Gestion De Bases de Données (SGBD) [5]

Ensemble des programmes et des langages de commande qui permettent de :

- Définir des "bases de données", et des relations entre les éléments de chaque base ;
- Spécifier le traitement de ces données : interrogations, mises à jour, calculs, extractions...

Le SGBD reçoit des commandes aussi bien des programmes d'application que des utilisateurs : il commande les manipulations de données, généralement par l'intermédiaire d'un SGF.

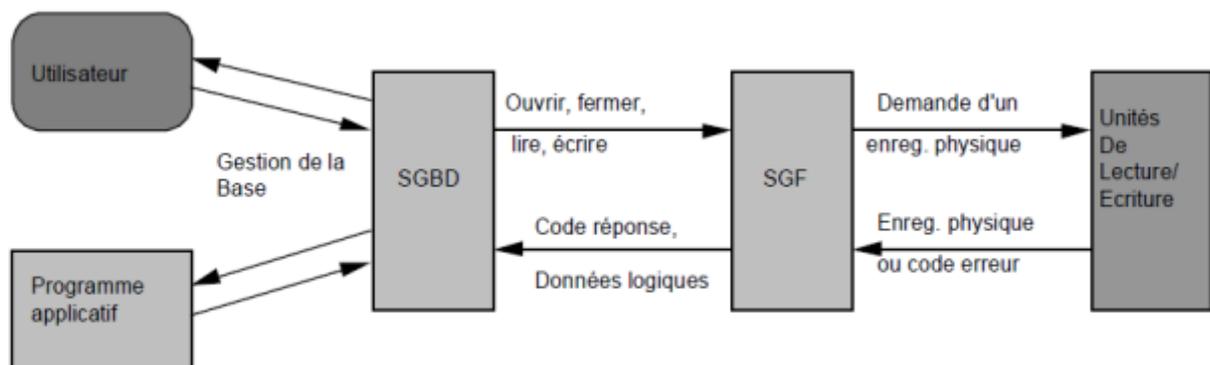


Figure 7 : Système de Gestion de Base de données « SGBD ».

Les définitions sont cependant de peu d'intérêt pour déterminer si un système est vraiment un SGBD ou s'il s'agit simplement d'un système d'information classique ou d'un système de fichiers. Il faut mieux définir le SGBD en précisant certaines des fonctions qu'il doit remplir :

- L'intégration des données afin d'éviter l'incohérence d'éventuelles données dupliquées (tout est intégré dans un seul ensemble cohérent).

- La séparation entre les moyens de stockage physique des données et la logique des applications.
- Un contrôle unique de toutes les données afin de permettre l'utilisation simultanée par plusieurs utilisateurs.
- La possibilité d'utiliser des structures de fichiers et des méthodes d'accès complexes, de façon à ce que les relations correctes entre les données puissent être exprimées et les données utilisées le plus efficacement dans un grand nombre d'applications.
- Des facilités pour le stockage, la modification, la réorganisation, l'analyse et la consultation des données, sans que le système impose des restrictions à l'utilisateur.
- Des contrôles de sécurité afin d'empêcher l'accès illégal à certaines données.
- Des contrôles d'intégrité pour prévenir une modification induite des données (exemple : contrôle d'exactitude, de validité).
- La compatibilité avec les principaux langages de programmation, les programmes-sources existants, et les données extérieures à la base.
- Posséder une capacité de stockage élevée.
- Pouvoir répondre à des requêtes avec un niveau de performances adapté.
- Fournir des facilités pour la gestion des métadonnées.

IV.2.1 Objectifs de l'approche SGBD

• Pour pallier aux inconvénients des méthodes classiques de gestion de fichiers, les SGBD visent quatre objectifs : intégration et corrélation, flexibilité (indépendance), disponibilité, sécurité.

• Ces objectifs exigent une distinction nette entre les données et les procédures de manipulation de ces données : aux données, on associera une fonction d'administration des données, aux procédures de manipulation une fonction de programmation. [W14]

IV.2.1.1 Intégration et corrélation

Dans les systèmes classiques, chaque application gère ses données dans ses propres "fichiers", d'où :

- Un risque de redondance, et un danger d'incohérence des données.
- La même donnée peut appartenir à plusieurs applications, induisant une déperdition de stockage.

- Toute modification de cette donnée est à enregistrer plusieurs fois : si cette mise à jour multiple n'est pas effectuée correctement, les données deviennent incohérentes.
- Le coût de la mise à jour augmente du fait de la multiplication des entrées-sorties physiques.
- Une difficulté pour créer de nouveaux traitements
- Les nouvelles applications entraînent des duplications supplémentaires de données.
- Leur intégration avec les applicatifs en exploitation entraîne des modifications importantes. Dans l'approche SGBD, un "réservoir" commun (intégration) est constitué, représentant une modélisation (corrélation) aussi fidèle que possible de l'organisation réelle de l'entreprise :
 - Toutes les applications puisent dans ce réservoir, les données qui les concernent, évitant ainsi les duplications.
 - Mais le partage des données entre les utilisateurs pose le problème de la synchronisation des accès concurrents.

IV.2.1.2 Flexibilité ou indépendance

Dans les systèmes classiques, tout changement intervenant dans le stockage des données (support, méthode d'accès physique) entraîne des modifications lourdes des applications correspondantes.

L'approche SGBD poursuit trois objectifs, pour assurer l'indépendance des données par rapport aux traitements :

- Indépendance physique : tout changement de support, de méthode d'accès reste transparent au niveau de l'utilisateur.
- Indépendance logique : les programmes d'application sont rendus transparents à une modification dans l'organisation logique globale, par la définition de sous-schémas couvrant les besoins spécifiques en données.
- Indépendance vis-à-vis des stratégies d'accès : l'utilisateur n'a plus à prendre en charge l'écriture des procédures d'accès aux données. Il n'a donc pas à intégrer les modifications tendant à optimiser les chemins d'accès (ex : création d'index).

IV.2.1.3 Disponibilité

Le choix d'une approche SGBD ne doit pas se traduire par des temps de traitement plus longs que ceux des systèmes antérieurs.

L'utilisateur doit ignorer l'existence d'utilisateurs concurrents.

L'aspect "performance" est donc crucial dans la mise en œuvre d'une base de données. Un tel objectif ne peut être atteint que si la conception d'une base de données est menée de façon rigoureuse avec un découpage fonctionnel adéquat. Les règles et contraintes inhérentes sont évoquées lors de l'apprentissage d'une méthodologie d'analyse (exemple MERISE).

IV.2.1.4 Sécurité

La sécurité des données recouvre deux aspects :

- L'intégrité, ou protection contre l'accès invalide (erreurs ou pannes), et contre l'incohérence des données vis-à-vis des contraintes de l'entreprise.
- La confidentialité, ou protection contre l'accès non autorisé ou la modification illégale des données.

Pour ne pas trop affecter les performances, la sécurité doit également être prise en compte dès la phase de conception.

IV.3 Types de base de données [5]

On retrouve fréquemment les bases de données suivantes :

- Référence (qui regroupe des informations bibliographiques ou factuelles).
- Texte intégral (qui regroupe des documents à caractère textuel).
- Multimédia (qui regroupe documents sonores, visuels, etc.).

Une base de données peut se trouver sur n'importe quel support : disque dur, cédérom, sur un serveur et accessible en réseau interne ou en ligne (à distance).

Chapitre 5 : PRESENTATION DU SIG ET SES FONCTIONNALITES

V.1 Concepts Fondamentaux des Systèmes d’Informations Géographiques

Dans cette partie, il nous est apparu utile d’introduire quelques notions essentielles sur les systèmes d’information géographique. Le concept de système d’information géographique (SIG) est apparu dans les années 1960-1970. Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition. Afin de bien situer le rôle et l’usage d’un SIG, nous allons également en préciser sa définition. Signalons qu’il n’existe pas encore une définition claire et communément admise par l’ensemble de la communauté scientifique. La plupart des définitions citées sont plutôt d’ordre général et couvrent un large spectre de sujets et d’activités. [10]

V.2 Définitions [6]

Un système d’information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d’analyser et de combiner, d’élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l’espace.

Un système d’information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l’extraction, l’interrogation, l’analyse et l’affichage de données localisées.

C’est un ensemble de données repérées dans l’espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

Un système d’information géographique, comme le montre la figure 8, est un ensemble d’équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l’exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d’un phénomène naturel, à la gestion et l’aide à la décision.



Figure 8 : Composantes d'un SIG[W2]

Le SIG répond à 5 fonctionnalités (les 5 A) [W7] :

- Abstraction : modélisation de l'information,
- Acquisition : récupérer l'information existante, alimenter le système en données,
- Archivage : stocker les données de façon à les retrouver et les interroger facilement,
- Analyse : réponses aux requêtes, cœur même du SIG,
- Affichage : restitution graphique.

En d'autres termes, un SIG est un environnement informatisé d'analyse d'une information spatiale numérisée.

Le SIG peut être aussi défini par les questions auxquelles il apporte des réponses :

- Où ?
- Quoi ?
- Comment ?
- Quand ?
- Et si ?

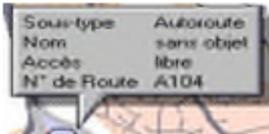
Où se trouve l'échangeur ?



Où ? Où cet objet, ce phénomène se trouve-t-il ?
Plus généralement, où se trouvent tous les objets d'un même type ?

Cette interrogation permet de mettre en évidence la répartition spatiale d'un objet.

Quel est le nom de l'autoroute ?



Quoi ? Que trouve-t-on à cet endroit ?

Il s'agit de mettre en évidence tous les objets ou phénomènes présents sur un territoire donné.

Comment est organisée la circulation ?



Comment ? Quelles relations existent ou non entre les objets et les phénomènes ?

C'est la problématique de l'analyse spatiale.

Depuis quand cette bretelle est-elle en service ?



Quand ? A quel moment des changements sont intervenus ?

Quels sont l'âge et l'évolution de tel objet ou phénomène ?

C'est la problématique de l'analyse temporelle.

Si l'autoroute s'élargit, quelles sont les populations qui risquent d'être le plus touchées (population à moins de 300 mètres de l'autoroute) ?



Et si ? Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait ?

Quelles conséquences affecteraient les objets ou phénomènes concernés du fait de leur localisation ?

V.3 Structure d'un SIG

La figure suivante met en évidence quatre groupes de fonctionnalités au-dessous d'une couche d'applications : l'acquisition des données géographiques d'origines diverses, la gestion pour le stockage et la recherche des données, l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation et enfin la présentation des résultats sous forme cartographique.

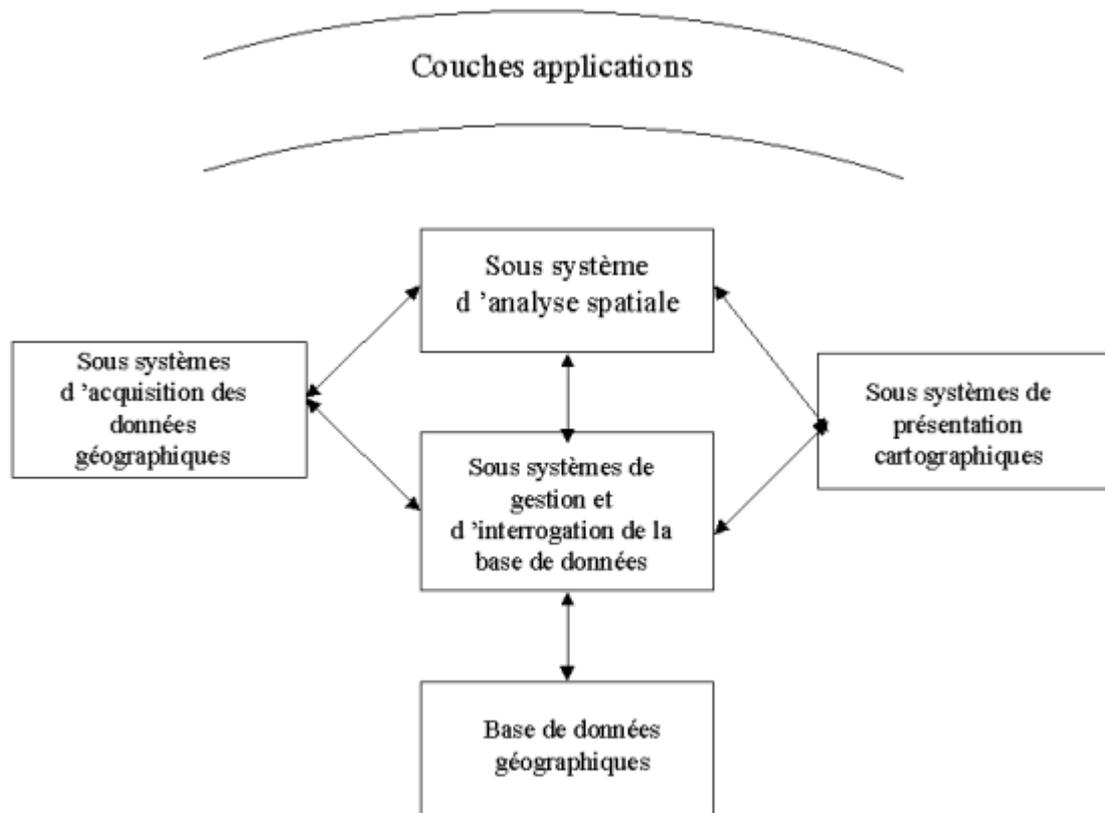


Figure 9 : Structure d'un SIG

V.4 Fonctionnalités d'un SIG [10]

Un SIG complet, permettra non seulement de dessiner puis tracer automatiquement le plan, mais en outre :

- De disposer les objets dans un système de référence géographique, de les convertir d'un système à un autre.
- De rapprocher entre elles deux cartes (deux plans) de sources différentes, de faciliter leur superposition comme c'est illustré dans la figure suivante.

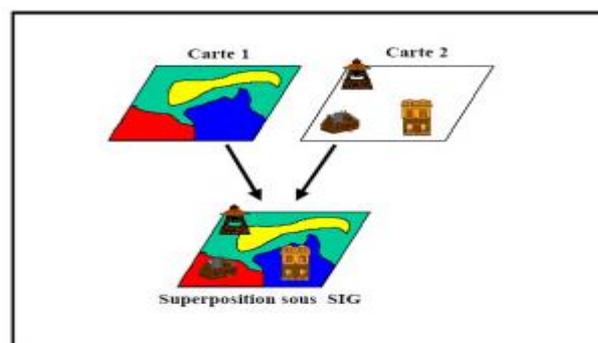


Figure 10 : Superposition sous un SIG[W3]

- De corriger certains contours de la moins fiable en reprenant les coordonnées correspondantes de la plus fiable.
- D'extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée, d'un carrefour, d'une route ou des rives d'un lac.
- D'extraire tous les objets situés dans un périmètre donné comme c'est présenté dans la figure suivante.

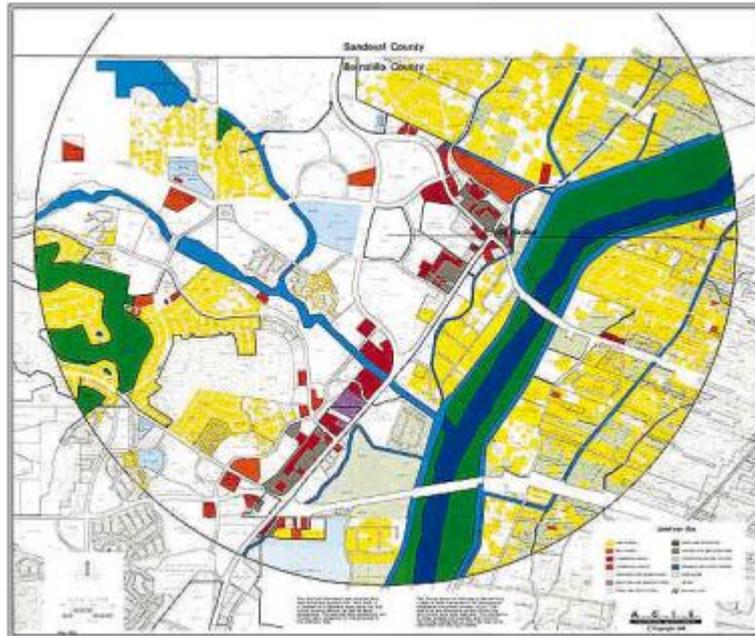


Figure 11 : Exemple de sélection

- De fusionner tous les objets ayant une caractéristique commune, par exemple les parcelles adjacentes ayant la même densité de surface bâtie.
- De déterminer, sur un réseau, l'itinéraire le plus court pour aller d'un point à un autre.

V.5 Les données dans les SIG

Le premier aspect auquel on pense quand on évoque la notion de logiciel de cartographie informatique ou de système d'information géographique est celui de manipuler les données. Dès lors, un certain nombre de questions se posent : Comment l'information contenue dans une carte peut-elle être stockée dans un ordinateur ? Quelles sont les données traitées par les SIG ? La section suivante apporte les réponses aux différentes questions posées et met le point sur les modes d'acquisition de données dans un SIG. [W18]

V.5.1 Types de données dans un SIG

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies :

- Sa position géographique dans l'espace
- Sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie
- Son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code).

Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées. [10]

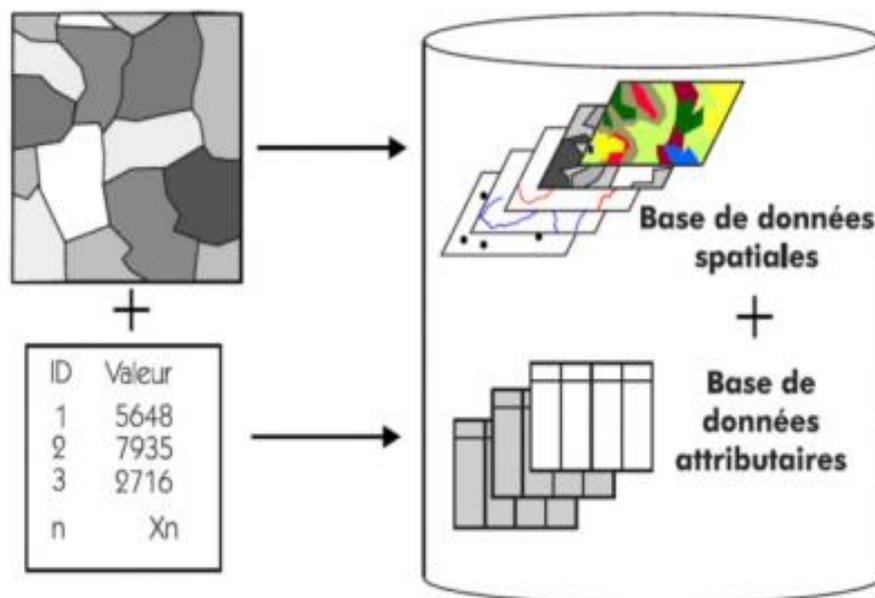


Figure 12 : Types de données dans un SIG[6]

V.5.1.1 Données spatiales

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques :

- La localisation : coordonnées par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme : point, ligne, surface.
- La taille : longueur, périmètre, surface.

Les informations font référence à des objets de trois types :

- Point : désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne : une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface) : est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.

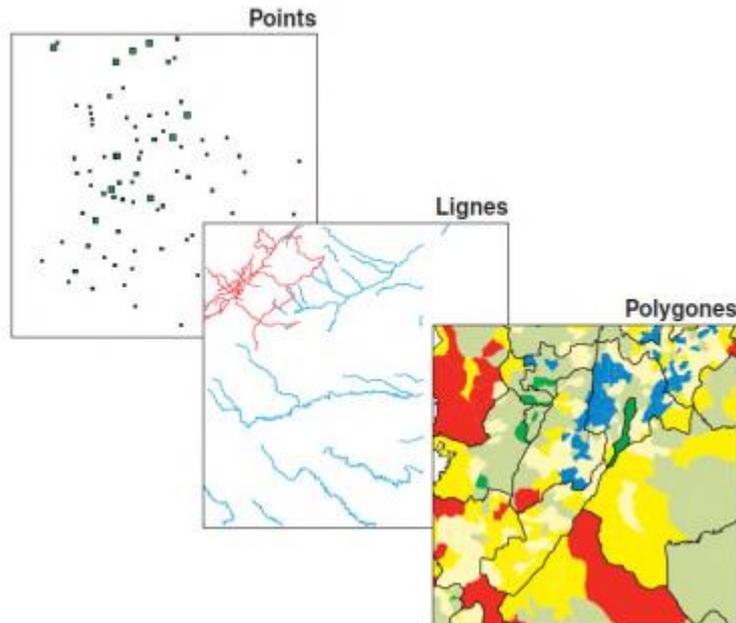


Figure 13 : Données spatiales[W4]

V.5.1.2 Données associées

Les données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone. [W16] Parmi ces données il faut distinguer :

Données de classification :

Ces données permettent de ranger le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie : limite administrative, contour de parcelle, bordure de trottoir, arbre d'alignement, conduite de réseau d'eau... Souvent ces distinctions seront prises en compte par l'organisation même du travail de saisie. Tout se passe, comme si l'on distinguait plusieurs couches d'informations, que l'on saisit successivement. [W19]

Données d'identification :

Ces données permettent d'individualiser chaque objet figurant sur le plan : nom propre de l'objet, par exemple nom de la commune ou numéro permettant de l'identifier : numéro de parcelle, numéro de vanne...

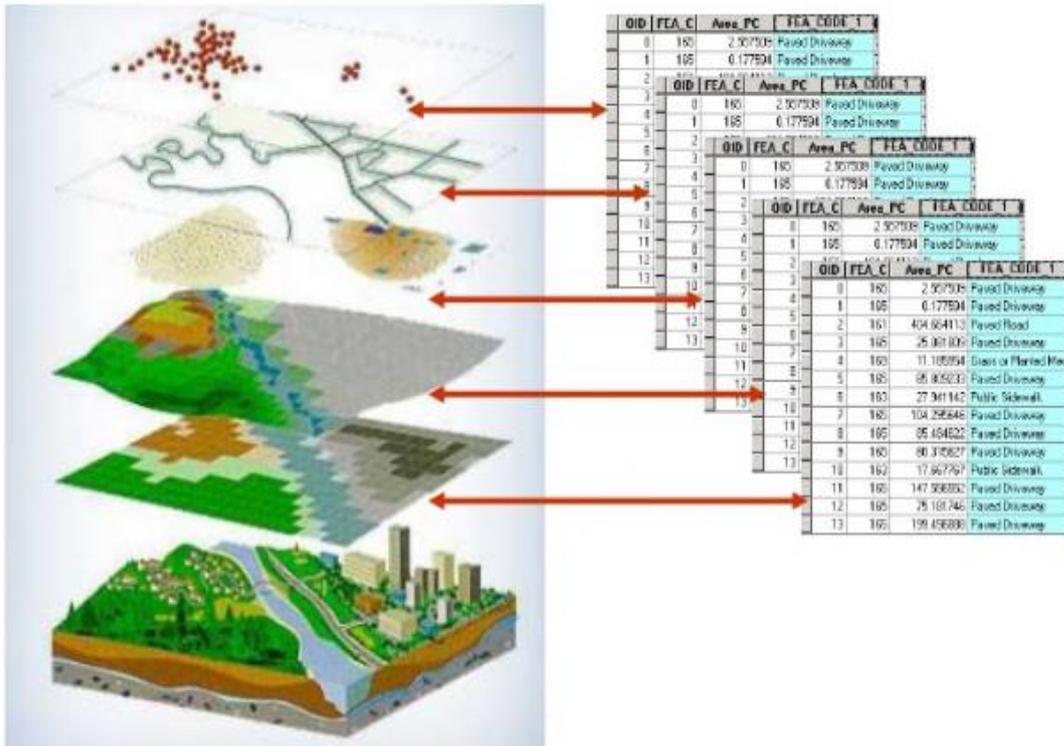


Figure 14 : Notion de couches de données[6]

Données attributaires :

Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié : le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau...

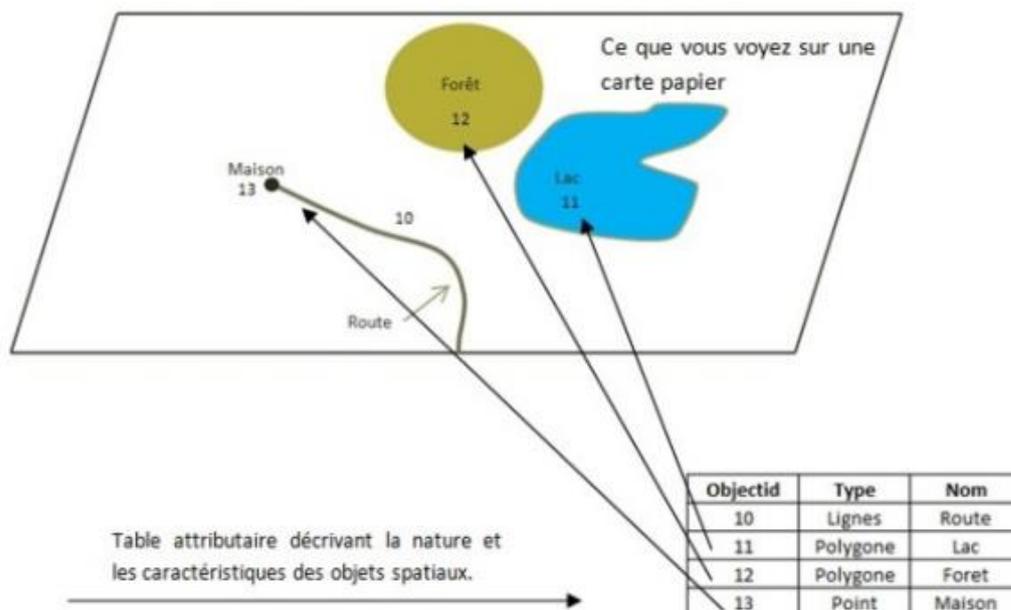


Figure 15 : Données associées[W5]

Souvent ces informations sont déjà disponibles sur des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet.

En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, les identifiants étant introduits souvent en bloc à la fin.

VI.6 Domaines d'application des SIG [6]

Les approches ont mis en évidence le fait qu'un système d'information géographique est un outil de gestion et d'aide à la décision. C'est un outil de gestion pour le technicien qui doit au quotidien assurer le fonctionnement d'une activité.

Le SIG doit aussi être un outil d'aide à la décision pour le décideur (directeur, administrateur) qui doit bénéficier de sa puissance et disposer de cartes de synthèses pour prendre les meilleures décisions. C'est cette finalité qui permet d'employer le terme de système d'information et de donner aux SIG les domaines d'applications suivants :

Pour les grandes échelles

- La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul de surfaces)
- La planification urbaine (plan d'occupation des sols et d'aménagement)
- La gestion des transports (voies de circulations, signalisation routière)
- La gestion des réseaux (assainissement, AEP, gaz, électricité, téléphone ...)
- La gestion du patrimoine (espaces verts, parcs, jardins ...)
- Les applications topographiques (travaux publics et génie civil)

Pour les échelles moyennes et petites

- Les études d'impact (implantation d'un centre commercial ou d'une école)
- Les études d'ingénierie routière (constructions de routes ou d'autoroutes)
- Les applications liées à la sécurité civile (prévention des risques naturels et technologiques).
- La gestion des ressources naturelles (protection de l'environnement, études géologiques, climatologiques ou hydrographiques).

VI.7 Mise en place d'un SIG

D'une manière générale, la mise en œuvre d'un SIG peut être faite avec différents logiciels parmi lesquels les quatre suivants constituent les plus utilisés : QGis, Geoconcept, ArcView, ArcGis [W15] et MapInfo. Tous ces logiciels ont une même vocation : apporter des réponses à la problématique spatiale grâce à des analyses cartographiques ou des thématiques. [W11] Les fonctionnalités techniques sont très proches les unes des autres. Ces logiciels s'adaptent à des usages dans les divers domaines, mais leur choix devra être éclairé par :

- Son cout dépendant évidemment du budget alloué au projet du SIG.
- L'ergonomie de son interface.
- La nécessité de former les chargés d'études pour sa prise en main.
- Ses atouts en termes d'apport de solutions d'analyses.
- Les possibilités d'échanges de données.

La compatibilité de ses supports de données avec d'autres.

PARTIE II :

ETUDES TECHNIQUES

Chapitre 6 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

VI.1 Contexte de la construction de la route [8]

Dans le cadre de la préparation de l'accueil du 16^è Sommet de la Francophonie en Novembre 2018 par Madagascar, la construction de la voie rapide partant de Tsarasaotra vers la Base Aéronavale d'Ivato a été réalisée depuis 2016.

La construction de cette route est le fruit de la collaboration avec le Gouvernement chinois et est ainsi réalisée par une Entreprise chinoise dénommée China Harbour Engineering Corporation (CHEC).

La route relie l'aéroport international d'Ivato à Antananarivo, qui passera par la commune d'Ivato, Fokontany Ivato Aéroport ; la commune d'Ambatolampy Tsimahafotsy ; la commune d'Ilafy, Fokontany Imamba ; et le 5^ème arrondissement, Commune Soavimasoandro.

Des travaux qui ont été lancés en février 2016, et ont été suspendus en octobre 2016 en raison de la saison de pluies et d'un risque d'affaissement des terrains, puis ont été repris en Juin 2018 pour être praticable en novembre 2018

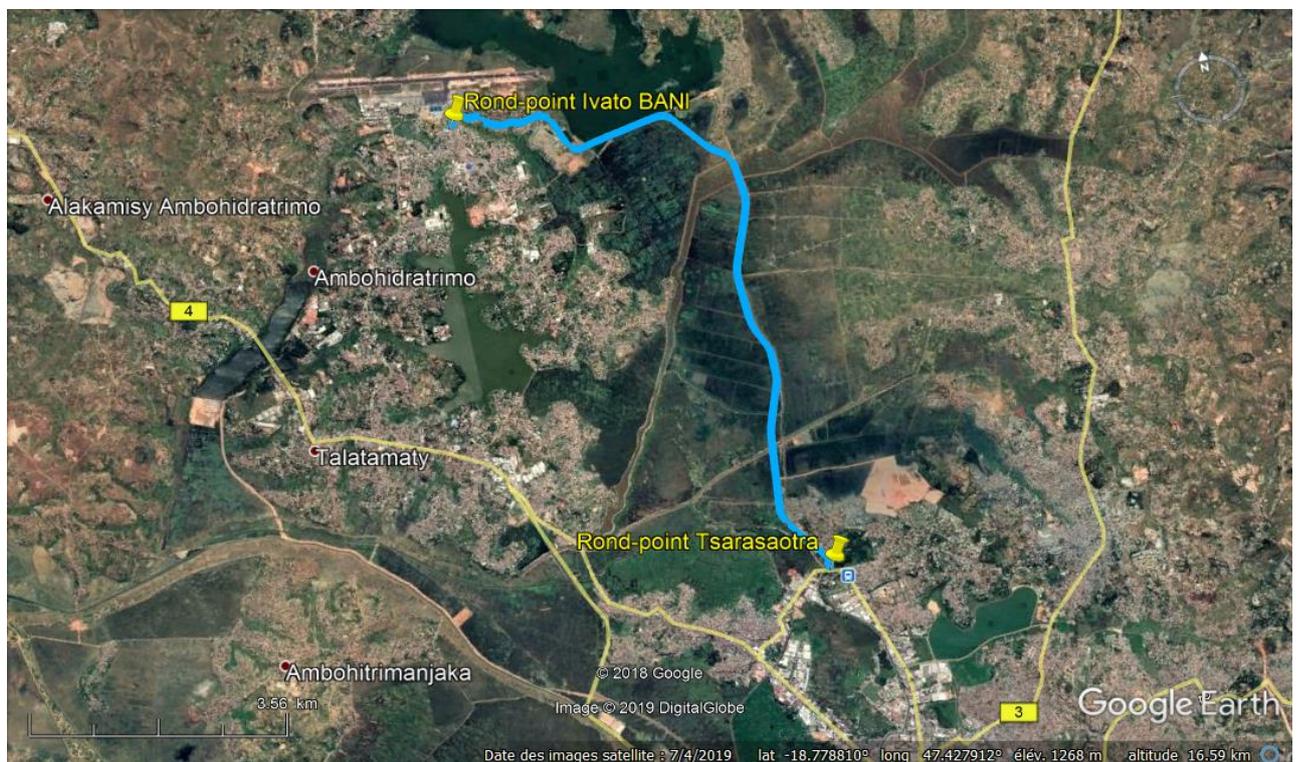


Photo 1 : Voie rapide reliant Tsarasaotra et Ivato [16]

VI.2 Autres objectifs de la voie rapide

La voie rapide d'une longueur de 11 km permettra de mettre fin à l'embouteillage qu'endurent quotidiennement les automobilistes, surtout au niveau d'Andranomena.

Le projet de création de cette voie urbaine a également pour but de fluidifier la circulation entre la Commune d'Ivato et le Centre-ville.

En quelques sortes, la route désenclavera la partie Nord d'Antananarivo [14]

VI.3 Caractéristiques de la voie rapide

Il est à préciser que la nouvelle route de Tsarasaotra n'est pas une autoroute mais, il s'agit plutôt d'une voie rapide avec une vitesse autorisée de 80 km/h au minimum, caractérisée par une plateforme de 12 m laquelle est un peu plus large que l'actuel By-pass et avec un revêtement de 10 cm ; Elle est destinée à recevoir des trafics légers T₃.

La route est constituée par une couche de fondation en matériaux sélectionnées (quartzites), une couche de base en grave concassée non traitée et une couche de surface en béton bitumineux.

L'entreprise titulaire du marché procédera également à des travaux de signalisation et d'équipement : signalisation verticale, marquages sur chaussée, aménagements destinés aux usagers de la route, des piétons et riverains, bordures, glissières de sécurité. [15]



Photo 2 : Exemple de marquage au sol [9]



Photo 3 : Panneau de signalisation [9]

VI.4 Mesures de sécurité

Par souci de sécurité et pour éviter les accidents, un éclairage public a été mis en place avant la fin de cette année pour que ce tronçon de route long de 11 km soit praticable 24heures/24 heures.

Il s'agit d'un éclairage public « classique » pour éviter les éventuels vols de matériels comme cela a été le cas des éclairages publics solaires dans d'autres endroits de la Capitale. [15]



Photo 4 : Eclairage [9]

La route ne peut pas être circuler entre 21 heures à 5 heures du matin pour éviter les activités nocturnes (pointe, course...).

Chapitre 7 : CARACTERISATION DES MATERIAUX

VII.1 Essais d'identification des propriétés de nature

VII.1.1 Teneur en Eau (NORME : NF P 94-050)

C'est le rapport, exprimé en pourcentage du poids d'eau que le matériau contient, au poids de ses éléments secs, après dessiccation à 105°C (60°C dans le cas des sols contenant des éléments organiques) jusqu'à poids constant.

La teneur en eau représente la proportion d'eau par rapport à la masse sèche.

$$\omega\% = \frac{\text{Poids d'eau}}{\text{Poids du sol sec sans tare}} \times 100$$

$$\text{Poids d'eau} = P_{\text{humide}} - P_{\text{sec}}$$

$$P_{\text{sol sec sans tare}} = P_{\text{sec}} - P_{\text{godet}}$$

VII.1.2 Analyse granulométrie par Tamisage (NORME : NF EN 933-1)

L'essai consiste en la détermination de la répartition des grains ayant un diamètre supérieur à 0.080mm et exprimée en pourcentage. Cette répartition est représentée en fonction du tamisât cumulé (%) ou du refus cumulé (%)

$$\text{Refus cumulé en \% :} \quad Rf en \% = \frac{\text{Refus cumulé en g}}{M_s} \times 100$$

$$\text{Tamis en \% :} \quad T en \% = 100 - Rf en \%$$



Photo 5 : Série de tamis [W8]

VII.1.3 Analyse granulométrique par sédimentométrie (NORME : NF P 94-056)

Un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage, qui détermine la fraction des fines < 0.08mm.

VII.1.4 Limites d'Atterberg (NORME : NF P 94-051)

Ce sont des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol.

- Détermination de la plasticité d'un sol : limite de plasticité ω_P
- Détermination de la limite de liquidité : ω_L .
- Détermination de l'indice de plasticité : $I_p = \omega_L - \omega_P$

$0 < I_p < 5$	Non plastique
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique



Photo 6 : Appareillages d'Atterberg [W8]

VII.1.5 Equivalent de sable (NORME : NF EN 933-8)

L'essai consiste à :

- Déterminer le pourcentage des fines pour l'application des bétons à passant 5mm.
- Déterminer la quantité d'argile dans le sable.

Tableau 9 : Nature et qualité du sable en fonction de la valeur de ES

<i>ES</i>	<i>Nature et qualité du sable</i>
<i><60</i>	<i>Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité</i>
<i>60 ≤ ES < 70</i>	<i>Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité où ne craint pas particulièrement de retrait</i>
<i>70 ≤ ES < 80</i>	<i>Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.</i>
<i>ES > 80</i>	<i>Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.</i>

VII.2 Essai d'identification des propriétés d'état

VII.2.1 Poids spécifiques

C'est le rapport entre le poids et le volume exprimé en T/m³.

$$\gamma_s = \frac{P \text{ éch.}}{V \text{ éch.}}$$

P : Poids du matériau

V : Volume total

VII.2.2 Essais de compactage

VII.2.2.1 Essai PROCTOR (NORME : NF P 94-093)

L'essai Proctor consiste à détermination la densité maximale et la teneur en eau optimale pour un compactage maximal.

Tableau 10 : Types d'essais Proctor

Caractéristiques/ Essais	Proctor normal	Proctor modifié
Utilisation	Barrage, fondation	Route
Nombres de coups/couche	56	56
Nombres de couches	03	05
Masse dame (kg)	2,490	4,535
Diamètre de Mouton (mm)	59	51
Hauteur de chute (mm)	305	452
Epaisseur/couche (cm)	1,25	2,5

VII.2.2.2 Essais de Portance CBR (NORME : NF P 94-078)

L'essai consiste à déterminer le poinçonnement du sol, c'est à dire l'indice portant du sol en le compactant à la teneur en eau optimum du PROCTOR.

VII. 3 Les essais mécaniques

VII.3.1 Essai de compression (Norme NF EN 12390-4)

L'essai de compression mesure la résistance à la compression d'un matériau sur une machine d'essais mécaniques suivant un protocole normalisé.

Cet essai consiste à appliquer un effort de compression à un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de l'éprouvette.

On mesure simultanément les contraintes et déformations au cours de l'essai.

La norme définit entre autres :

- La contrainte de rupture
- La contrainte au seuil d'écoulement
- La déformation à la rupture
- La déformation au seuil d'écoulement

VII.3.2 Essai pressiométrique (Norme NF P 94-110)

L'essai pressiométrique est un essai géotechnique in situ, dont le principe consiste à mesurer les déformations et la rupture du sol par l'intermédiaire d'une sonde gonflée à l'azote.

Cet essai est réalisé dans un forage destructif préalable dont le diamètre est de 64 mm maximum. On voit sur les annexes les exécutions des travaux par tronçons de 3km.

VII.3.3 Essais TRIAXIAUX (Norme NF P94-074)

Les essais triaxiaux ont pour objet de décrire la mesure d'une caractéristique mécanique des sols, appelée « résistance au cisaillement ».

Sous l'effet des forces extérieures, le sol se déforme, et lorsque les forces appliquées atteignent une certaine limite, se rompt, le long de certaines surfaces, appelées surfaces de rupture.

La résistance au cisaillement d'un sol est définie comme étant la contrainte de cisaillement τ dans le plan de la rupture, au moment de la rupture.

Elle s'exprime en fonction de deux paramètres C et φ et la contrainte σ normale à la surface de rupture. Le critère habituellement utilisé pour l'interprétation de l'essai est celui de Coulomb :

$$\tau = C + \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

L'essai triaxial a pour but de déterminer les paramètres C et φ , appelés respectivement cohésion et angle de frottement.

Chapitre 8 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

VIII.1 Nappe phréatique

Les nappes phréatiques le long de cette route ont été localisées entre 0.50m et 0,80m de profondeur au moment de l’investigation :

- **Tsarasaotra** : vers 0.50m de profondeur ;
- **Antsakambahiny** : vers 0.80m de profondeur ;

VIII.2 Les sols de la PST

VIII.2.1 Texture des sols

Des sondages sur les sols de la PST ont été effectués sur 2 sites différents sur le long de la route Tsarasaotra – Ivato.

Nous présentons dans le tableau suivant la texture des sols à partir du niveau zéro jusqu’à une certaine profondeur (en mm).

Tableau 11 : Nature des sols

Profondeur (m)	Site Tsarasaotra	Site Antsakambahiny
0.00 – 1.00	Argile Limoneuse Rouge brunâtre	Tourbe Sableuse
1.00 -1.40	Argile Tourbeuse noirâtre	
1.40 – 2.60	Argile grise molle	Argile Sableuse grisâtre
2.60 – 5.00	Argile sableuse grise très plastique	Argile Sableuse gris verdâtre
5.00 – 6.40	Argile grise verdâtre compacte	Argile molle grisâtre
6.40 – 7.20	Sable Argileux gris verdâtre	
7.20– 10.00	Argile Sableuse micacée gris brunâtre	Argile Sableuse grisâtre
>10.00	Argile verdâtre très compacte	Sable fin Argileux grisâtre

VIII.2.2 Paramètres pressiométriques

Les essais pressiométriques servent à identifier les paramètres intrinsèques du comportement d’un sol, les essais pressiométriques étant réalisés dans un milieu imperméable sous la nappe et non drainé ont donné les valeurs montrés dans le tableau suivant : :

Tableau 12 : Paramètres préssiométriques

Lieu	Tsarasaotra		Antsakambahiny	
	E (MPa)	PI (MPa)	E (MPa)	PI (MPa)
1	1,79	0,19	0,99	0,06
2	1,60	0,08	0,92	0,05
3	2,42	0,14	1,81	0,06
4	6,98	0,52	5,54	0,51
5	1,74	0,18	3,87	0,43
6	15,20	1,27	3,92	0,12
7	3,67	0,37	2,90	0,46
8	4,93	0,32	4,39	0,47
9	10,09	0,65	2,63	0,42
10	11,00	0,68	3,67	0,48
11	17,11	1,66	4,89	0,68
12	17,79	1,78	4,83	0,64
13			4,40	0,54
14			3,36	0,47
15			2,26	0,53
16			2,97	0,53
17			8,08	0,85

➤ E (MPa) étant le module d'young et PI les paramètres préssiométriques

Les paramètres préssiométriques varient d'un site à l'autre et d'une profondeur à l'autre. On observe qu'à Tsarasaotra, les paramètres sont maximaux au-delà de 12m de profondeur tandis-que à Antsakambahiny, c'est à partir de 17m de profondeur seulement qu'on observe des valeurs supérieures à 0,80MPa.

VIII.3 Matériaux pour la couche de fondation

La couche de fondation est constituée par le mélange de 10% des sols locaux avec 90% des quartzites d'Avaradrano.

Lors de la mise en œuvre de la couche de fondation, les caractéristiques des matériaux ont été contrôlés à chaque tronçon de 1km.

Les teneurs en eau et les masses volumiques ont été mesurés lors de l'épandage des matériaux de fondation, avant et après compactage. Au laboratoire, les optimums Proctor ont été déterminés pour définir les forces de compactage maximales.

VIII.3.1 Teneur en eau naturelle ($\omega\%$)

C'est le poids d'eau que le matériau contient initialement. On a mesuré les résultats ci-dessous d'après la dessiccation à 105°C jusqu'à poids constant.

Tableau 13 : Teneur en eau naturel

Tronçon	W_{initiale} (%)
PK 0+000 à PK 0+200	4,8
PK 0+200 à PK 1+000	4,8
PK 1+000 à PK 2+000	4,1
PK 2+000 à PK 3+000	4,4
PK 3+000 à PK 4+000	4,3
PK 4+000 à PK 5+000	4,6
PK 5+000 à PK 6+200	4,9
PK 6+200 à PK 7+380	4,9
PK 7+380 à PK 8+000	4,9
PK 8+000 à PK 9+000	5,1
PK 9+000 à PK 10+000	4,8
PK 10+000 à PK 10+900	5

VIII.3.2 Masse volumiques

Les valeurs des masses volumiques ont été relevés par tronçon de 1km (résultat in-situ)

Tableau 14 : Masse Volumique

Tronçon	γ_d (kN/m³)
PK 0+000 à PK 0+200	20,78
PK 0+200 à PK 1+000	20,60
PK 1+000 à PK 2+000	20,86
PK 2+000 à PK 3+000	20,96
PK 3+000 à PK 4+000	20,65
PK 4+000 à PK 5+000	20,75
PK 5+000 à PK 6+200	21,31
PK 6+200 à PK 7+380	21,20
PK 7+380 à PK 8+000	21,1
PK 8+000 à PK 9+000	20,99
PK 9+000 à PK 10+000	20,91
PK 10+000 à PK 10+900	20,68

VIII.3.3 Granularité du Sol Couche de Fondation

Les analyses et essais sur les granulats utilisés le long de la voie rapide a été effectués à chaque tronçon de 1Km, entre autres : analyses granulométriques, Essai Proctor et CBR

VIII.3.3.1 Résultats des Analyses granulométriques par tamisage

Les résultats des analyses granulométriques sont montrés dans le tableau et les figures suivants.

Tableau 15 : Analyses granulométriques des Matériaux sélectionnés

d (mm)		0,080	0,125	0,25	0,50	1	2	4	8	16	31,5
Module		20	23	26	29	32	34	38	41	43	46
Passant cumulé %	Courbe sup	35	40	45	51	58	65	83	98	100	100
	Courbe inf	0	5	10	15	21	26	40	58	70	100
	PK 0+200 à PK 1+000	22	26	32	39	47	53	70	80	86	100
	PK 1+000 à PK 2+000	28	33	39	45	53	59	70	80	87	100
	PK 2+000 à PK 3+000	26	30	36	43	49	55	70	80	88	100
	PK 3+000 à PK 4+000	21	24	30	36	43	49	63	74	85	100
	PK 4+000 à PK 5+000	20	24	29	35	44	51	70	80	84	100
	PK 5+000 à PK 6+200	30	34	39	44	50	56	70	80	88	100
	PK 8+000 à PK 9+000	25	28	33	40	47	51	68	78	87	100
	PK 9+000 à PK 10+000	23	26	31	37	43	48	64	76	84	100
PK10+000àPK 10+900	27	30	36	41	46	50	68	78	84	100	

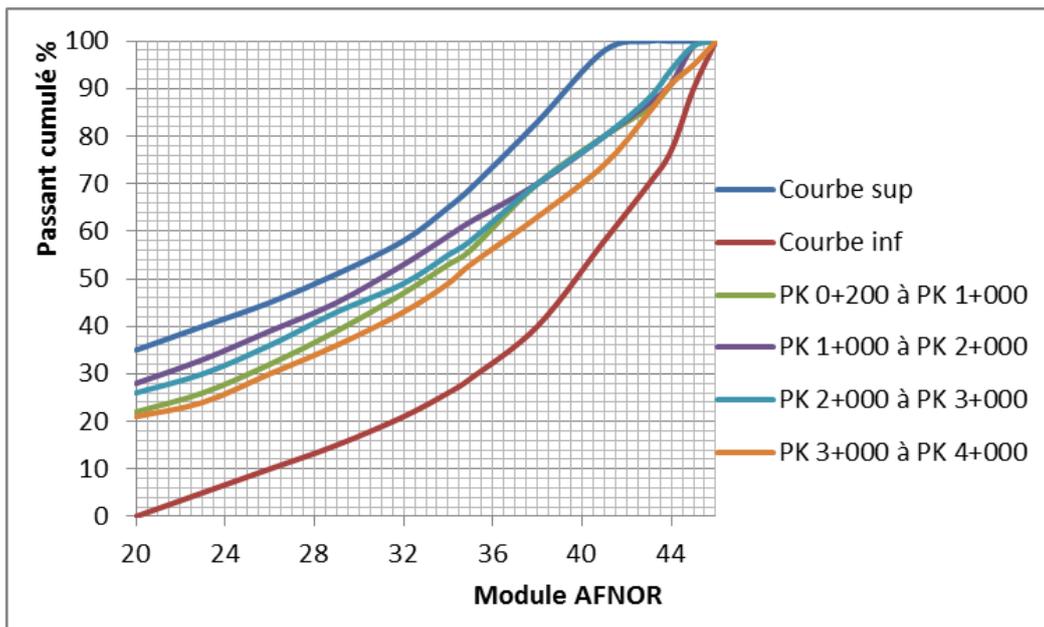


Figure 16 : Courbes granulométriques des sols du PK0 au PK4 dans le fuseau granulaire

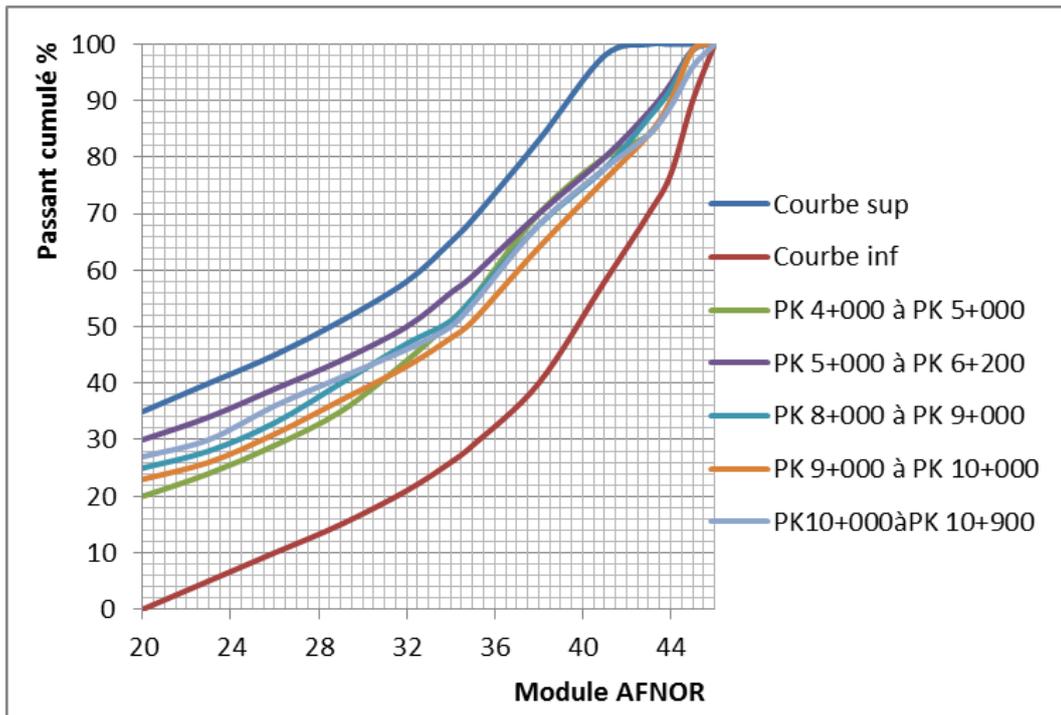


Figure 17 : Courbes granulométriques des sols du PK4 au PK11 dans le fuseau granulaire

Les courbes granulométriques des matériaux de fondation sont bien placées dans le fuseau granulaire pur couche de fondation. Ce qui montre que ces matériaux sont prêts pour couche de fondation.

D’après Analyse granulométrique par sédimentométrie, on a les résultats des sols fins < 0.08mm sur le tableau suivant.

Tableau 16 : Pourcentage des Fines

Tronçon	%F
PK 0+000 à PK 0+200	23
PK 0+200 à PK 1+000	23
PK 1+000 à PK 2+000	25
PK 2+000 à PK 3+000	25
PK 3+000 à PK 4+000	20
PK 4+000 à PK 5+000	22
PK 5+000 à PK 6+200	27
PK 6+200 à PK 7+380	27
PK 7+380 à PK 8+000	24
PK 8+000 à PK 9+000	24
PK 9+000 à PK 10+000	22
PK 10+000 à PK 10+900	26

VIII.3.4 Limites d'Atterberg

Les valeurs des I_p ci-dessous sont comprises entre 11 et 14. Montrent que les matériaux de fondation sur les 11km présentent un degré de plasticité moyenne ($5 < I_p < 15$), ceci s'explique par la présence des éléments fins dans les sols locaux et qui sont peuvent-être mélangés aux poudres fins de quartzite.

Les valeurs des limites d'Atterberg ont été mesurées par tronçon de 1km.

Tableau 17 : Valeur des limites d'Atterberg

Tronçon	wL	wP	IP
PK 0+000 à PK 0+200	35	23	12
PK 0+200 à PK 1+000	36	22	14
PK 1+000 à PK 2+000	37	25	12
PK 2+000 à PK 3+000	36	23	13
PK 3+000 à PK 4+000	34	21	13
PK 4+000 à PK 5+000	36	25	11
PK 5+000 à PK 6+200	37	24	13
PK 6+200 à PK 7+380	36	22	14
PK 7+380 à PK 8+000	36	23	13
PK 8+000 à PK 9+000	33	21	12
PK 9+000 à PK 10+000	34	20	14
PK 10+000 à PK 10+900	35	23	12

VIII.3.5 Compactage – Essai Proctor

C'est la détermination de la densité maximale (γ_d) et la teneur en eau W (%) optimale pour un compactage maximal. « Référence PROCTOR Modifié ». On trouve les courbes de Proctor de compactage d'un sol sur l'annexe IV.

Voici le tableau qui montre les résultats des courbes Proctor pour obtenir le compactage maximal.

Tableau 18 : Résultat PROCTOR

Tronçon	wOPM(%)	γ_{dOPM} (kN/m³)
PK 0+000 à PK 0+200	6,8	21,51
PK 0+200 à PK 1+000	6,8	21,51
PK 1+000 à PK 2+000	6,1	21,30
PK 2+000 à PK 3+000	6,3	21,60
PK 3+000 à PK 4+000	6,1	21,70
PK 4+000 à PK 5+000	6,6	21,40
PK 5+000 à PK 6+200	6,9	21,50
PK 6+000 à PK 7+380	6,5	21,40
PK 7+380 à PK 8+000	6,9	21,40
PK 8+000 à PK 9+000	7,1	21,50
PK 9+000 à PK 10+000	6,8	21,60
PK 10+000 à PK 10+900	7	21,40

Dans tous les PK, le PK3 à PK4 sont bien compactés les sols. Il y a une densité le plus élevé et de teneur en eau plus faible.

VIII.3.6 Indice portance ICBR

Les résultats de l'indice portant du sol sont le compactage à la teneur en eau optimum du PROCTOR.

Tableau 19 : Résultat ICBR

ICBR	%Gonflement relatif	APPLICATION
53	0,02	PK 0+200 à PK 1+000
50	0,04	PK 1+000 à PK 2+000
51	0,06	PK 2+000 à PK 3+000
48	0,08	PK 3+000 à PK 4+000
52	0,05	PK 4+000 à PK 5+000
50	0,07	PK 5+000 à PK 6+200
50	0,07	PK 6+200 à PK 7+380
48	0,06	PK 7+380 à PK 8+000
50	0,08	PK 8+000 à PK 9+000
51	0,04	PK 9+000 à PK 10+000
47	0,06	PK 10+000 à PK 10+900

Comme le gonflement relatif mesuré est presque nul, nous pouvons affirmer que les matériaux de fondation atteignent le compactage maximal et présentent une stabilité vis-à-vis des cisaillements et déformation qui pourront-être provoqués par les passages des essieux.

Les valeurs de ICBR supérieures à 50 montrent que les matériaux sont bien compactés.

VIII.3.7 Compacité

Le résultat de l'indice de Compacité, c'est le rapport entre Densité sèche (γ_d CBR) et la Densité optimum du Proctor ($\gamma_{d_{opt}}$ Proctor). La spécification d'après la compacité donne les épaisseurs de la couche de fondation.

Tableau 20 : Relation entre Compacité et Epaisseur

Tronçon	COMPACITE(%)	Spécification
PK 0+000 à PK 0+200	97,1	>95
PK 0+200 à PK 1+000	96,6	>95
PK 1+000 à PK 2+000	96,7	>95
PK 2+000 à PK 3+000	96,5	>95
PK 3+000 à PK 4+000	96,6	>95
PK 4+000 à PK 5+000	96,6	>95
PK 5+000 à PK 6+200	96,5	>95
PK 6+200 à PK 7+380	96,5	>95
PK 7+380 à PK 8+000	98,6	>95
PK 8+000 à PK 9+000	97,6	>95
PK 9+000 à PK 10+000	96,8	>95
PK 10+000 à PK 10+900	96,6	>95

Les valeurs de la compacité obtenues confirment que le compactage est atteint et ne laisse pas des vides entre les grains constituant les matériaux de fondation.

Chapitre 9 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX POUR COUCHE DE ROULEMENT

IX.1 Caractéristiques des constituants

IX.1.2 Identification des concassés

Trois classes de granulats ont été utilisés dans la mise en œuvre de l'enrobé, dont leurs caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau 21 : Caractéristiques des concassés

CARACTERISTIQUES	0/4	4/6	6/10
- Classe réelle	0/5	4/6	6.3/10
- Poids spécifique (T/m ³)	2.648	2.636	2.644
- Densité apparente (T/m ³)	1.451	1.407	1.381
- Equivalent de sable (ES) [%]	85	-	-
- Coefficient d'aplatissement (CA) [%]	-	9	14
- Module de finesse	2.34	-	-
- Los Angeles (LA)	-	33	33
- Micro-Deval en présence d'eau (MDE)	-	24	24

IX.1.3 Caractéristiques du Bitume

La classe réelle de bitume reçu est définie à partir des résultats d'identification obtenus cités ci-dessous :

Tableau 22 : Caractéristiques du bitume

PARAMETRES	VALEURS
- Densité à 25° C (T/m ³)	1.03
- Pénétration DOW à 25° C avant perte à la chaleur (mm/10)	55
- Perte à la chaleur à 163° C [%]	0.02
- Pénétration DOW à 25° C après perte à la chaleur (mm/10)	-
- Pourcentage de pénétration après perte à la chaleur [%]	65
- Point de ramollissement [°C]	46.6
- Indice de pénétrabilité (IP)	-1.266

IX.2 Formules des enrobés

En tenant compte des caractéristiques granulométriques des concassés reçus et du fuseau-type du l'enrobé à chaud 0/10. Les concassés 4/6 n'ont pas été utilisés car il y a chevauchement des proportions granulaires des concassés 4/6 et 6/10. Deux types de formulation ont été étudiées :

Tableau 23 : Formules des enrobés

Formules	A			B		
- Sable 0/4 (%)	33	33	33	33	33	33
- Concassé 6/10 (%)	40	40	40	42	42	42
- Concassé 4/6 (%)	21	21	21	19	19	19
- Teneur en liant (%)	4.5	4.75	5.00	4.5	4.75	5.00
- Teneur en filler (%)	4.5	4.5	4.5	4.00	4.00	4.00
- Ciment (%)	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0
- Surface spécifique (m ² /Kg)	9.59	9.59	9.59	11.15	11.15	11.15
- Module de richesse	3.02	3.36	3.70	2.78	3.38	3.60

IX.3 Recherche de la teneur en Bitume Optimum

IX.3.1 Essai Marshall

- Le pourcentage de bitume (pourcentage exprimé par rapport aux granulats) a été varié ;
- Chaque point représenté sur le courbe de la figure suivante est la moyenne des essais réalisés sur trois éprouvettes compactées à 50 coups par face ;

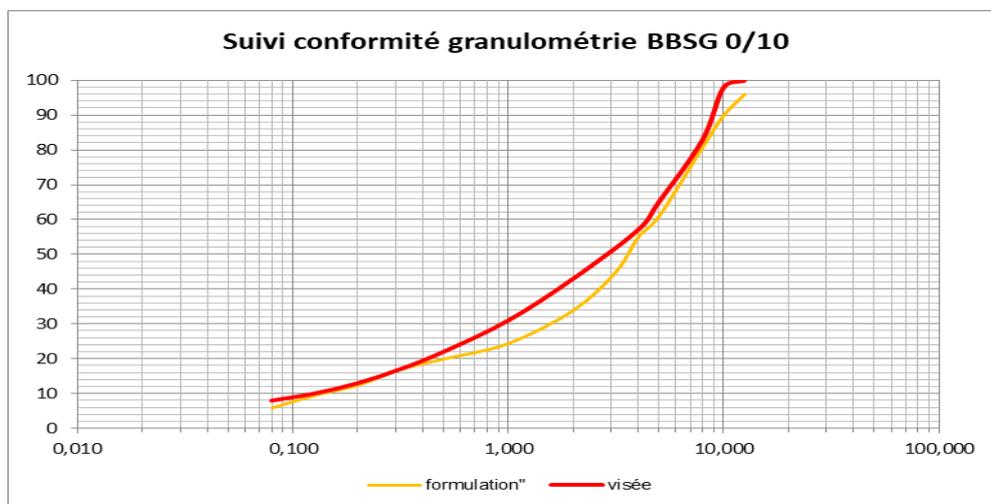


Figure 18 : Courbe Granulométrie du BBSG 0/10

Les caractéristiques des enrobés pour chaque formulation sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau 24 : Caractéristiques des enrobés A

Formule A	Avec 4.5 % de liant	Avec 4.75 % de liant	Avec 5.00 % de liant	Spécifications de l'enrobé à chaud NFP 98-136-7
- Densité en T/m ³	2.32	2.33	2.36	
- Poids spécifique en T/m ³	2.53	2.53	2.53	92%<C<96%
- Compacité en %	92	92	93	>900 daN
- Stabilité en daN	905	910	1050	<40/10mm
- Fluage en 1/10 ⁰ mm	38	38	39	

Tableau 25 : Caractéristiques des enrobés B

Formule B	Avec 4.5 % de liant	Avec 4.75 % de liant	Avec 5.00 % de liant	Spécifications de l'enrobé à chaud NFP 98-136-7
- Densité en T/m ³	2.27	2.28	2.29	
- Poids spécifique en T/m ³	2.52	2.52	2.52	
- Compacité en %	90	91	90.5	92%<C<96%
- Stabilité en daN	890	900	900	>900 daN
- Fluage en 1/10 ⁰ mm	38	39	39	<40/10mm

IX.3.2 Essai Duriez

Les caractéristiques Duriez obtenu sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 26 : Caractéristiques Duriez

Formule	A et B	Spécifications NFP 98-136-7
Teneur en liant (%)	5%	
- Densité apparente (T/m ³)	2.38	92 % <IC< 96 % > 7 MPA >0.85
- Poids spécifique (T/ m ³)	2.53	
- Compacité (%)	94	
- RC à 7 jours à l'air (MPA)	7.01	
- RC à 7 jours à l'eau (MPA)	6.0	
- Rapport $\gamma = \frac{R'c}{RC}$	0.86	

IX.4 Récapitulation

IX.4.1 Sur les agrégats

Les agrégats proviennent du concassage ayant les coefficients de dureté suivants :

LA= 33 et MDE= 24 sur classe 6.3/10 de nature Granitique.

Classe réelles : - classe 0/4 pour le concassé 0/4 ;

-classe 4/6 pour le concassé 4/6 ;

-classe 6.3/10 pour le concassé 6/10 ;

IX.4.2 Sur le bitume

Le bitume reçu pour l'étude est un bitume semi dur de classe 50/70 avec un point de ramollissement à 46°C.

IX.4.3 Sur le mélange bitumineux

En comparant les caractéristiques Marshall des deux formules étudiées, nous proposons la formule A ;

- Concassé 6/10 : 40%
- Concassé 4/6 : 21%
- Sable 0/4 : 33%
- Filler : 4.5%
- Ciment : 1.5%
- Teneur en liant : 5%

PARTIE III :
MISE EN PLACE DE LA
BASE DE DONNEES

Chapitre 10 : MANIPULATION DU LOGICIEL QGIS ET EVALUATION DES TRAVAUX SIG

X.1 Présentation du logiciel QGIS

QGIS ou Quantum GIS est un logiciel SIG multiplateforme (Linux, Windows, Mac OS), gratuit et libre (open-source) publié sous la licence publique générale (GPL). Son développement a débuté en mai 2002.

Il intègre la bibliothèque GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), une bibliothèque logicielle libre capable de lire et de traiter un très grand nombre de format d'images géographiques.

X.1.1 Interface QGIS

Au premier démarrage du logiciel, l'interface QGIS montre 2 fenêtres et des barres :

-1er fenêtre pour afficher et traiter le nouveau projet ;

-2eme fenêtre pour les différents commandes ;

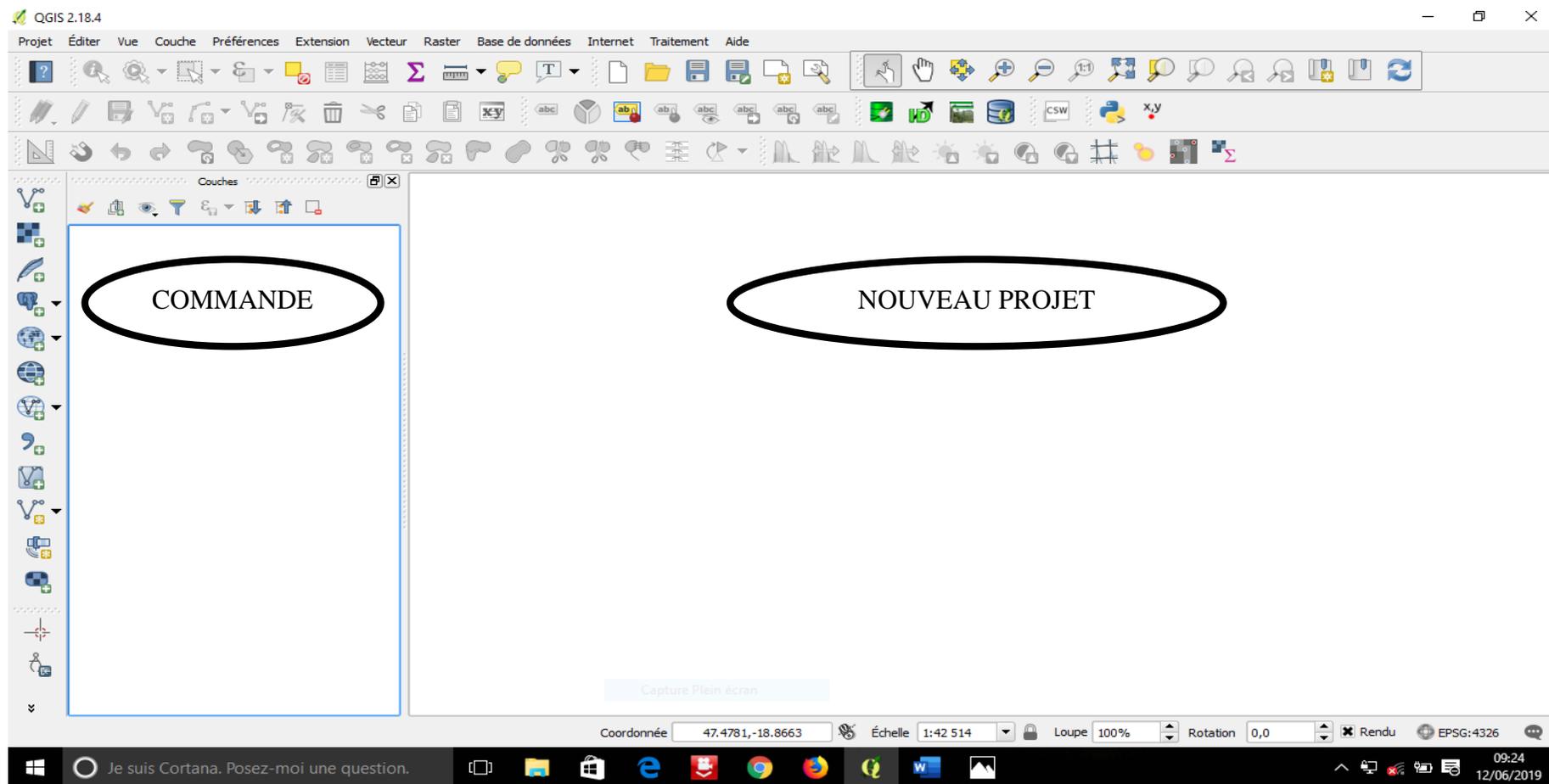


Figure 19 : Interface du QGIS

X.2 Traitement des données GPS

X.2.1 Présentation du GPS

Le GPS, Global Positioning System, est un système basé sur des satellites qui permet à toute personne possédant un récepteur GPS d'obtenir sa position exacte n'importe où dans le monde. Le récepteur GPS utilise les signaux des satellites pour obtenir la latitude, la longitude et (parfois) l'élévation.

La plupart des récepteurs ont également la possibilité de stocker la position (nommé waypoints), des séquences de positions qui constituent un itinéraire prévu et un tracklog ou track des déplacements du récepteur en fonction du temps. Waypoints, itinéraires et tracks sont les trois types d'objet basiques dans les données GPS. QGIS affiche les waypoints dans des couches points tandis que les itinéraires et les tracks sont affichés dans des couches linéaires.

X.2.2 Exportation des données GPS dans QGIS

Les données recueillies sur GPS sont copiés dans l'application Excel avec l'extension .xls puis seront exportés dans QGIS avec l'extension .csv pour être manipuler dans QGIS, le système de coordonnées doit-être modifié en WGS84/ EPSG 4326

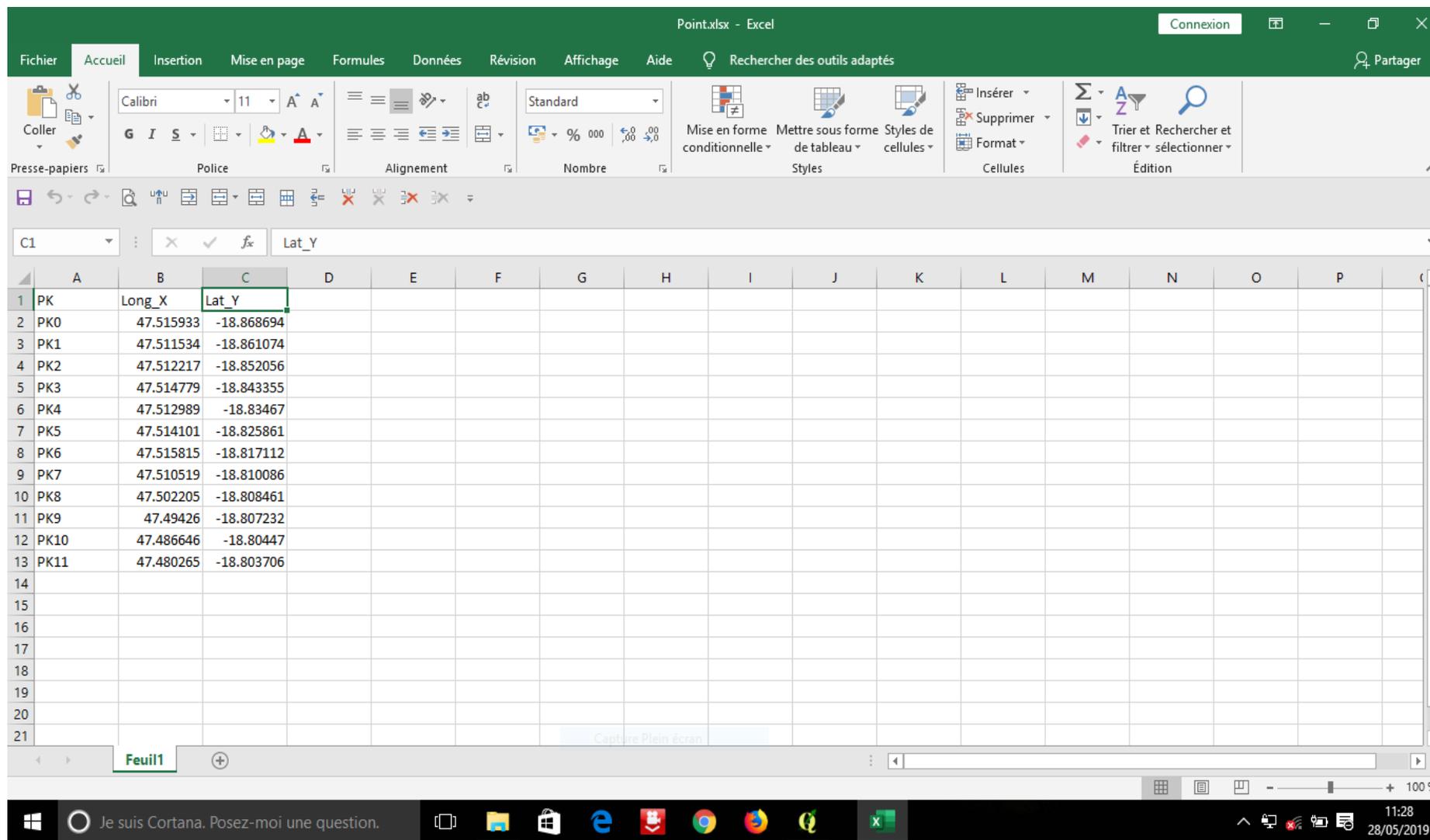


Figure 20 : Coordonnées GPS dans Excel

X.3 Donnée Shapefile (.shp)

Le format de fichier vecteur standard utilisé par QGIS est le Shapefile ESRI. Il est géré à travers la bibliothèque OGR Simple Feature Library.

Un shapefile est en réalité composé de plusieurs fichiers. Les trois suivants sont requis :

1. .shp fichier contenant la géométrie des entités.
2. .dbf fichier contenant les attributs au format dBase.
3. .shx fichier d'index.

Un shapefile inclut également un fichier ayant l'extension .prj qui contient les informations sur le système de coordonnées. Bien que ces informations soient très utiles elles ne sont pas obligatoires. Il peut y avoir encore d'autres fichiers associés aux données shapefile.

Mode de création

Comme les données GPS ont été recueillies par tronçon de 1 km, nous avons au total 11 données GPS enregistrés sous .csv.

Ces données à extension .csv seront appelées dans QGIS et seront traitées et enregistrées avec l'extension .shp pour être visualisées sur la fenêtre « nouveau projet ».

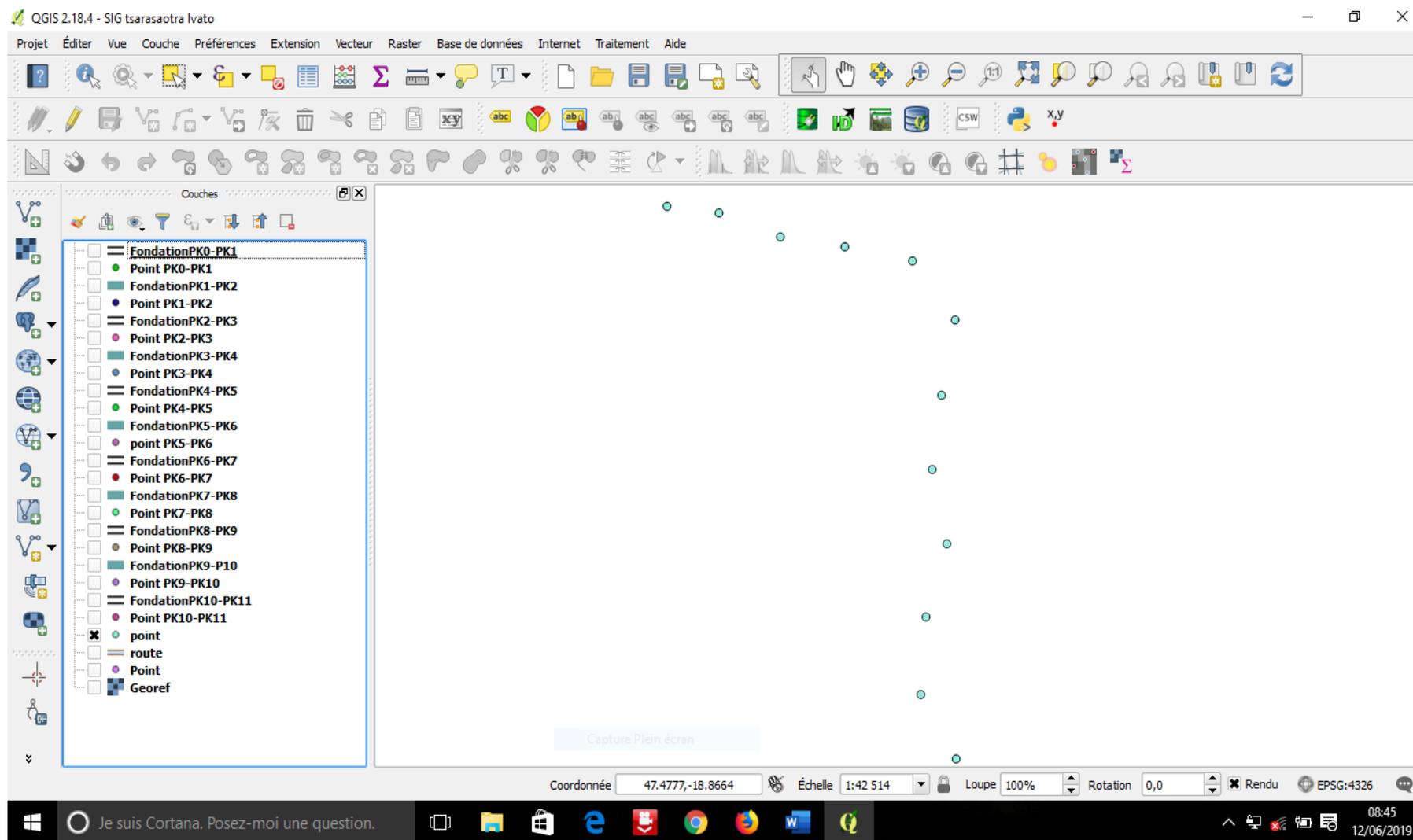


Figure 21 : Création des données SHP dans QGIS

X.4 Georéférencement

Le géoréférencement permet de positionner correctement dans l'espace un fichier, de type raster, non ou mal géoréférencé, par exemple une carte papier numérisé ou une image aérienne, et de lui attribuer un système de coordonnées.

Mode opératoire

Notons que cette opération intègre souvent la séquence d'opérations suivante :

- Obtention d'une carte papier sur une zone d'étude
- Digitalisation de la carte papier via scannage et obtention de la carte en format numérique, JPG par exemple
- Importation du fichier numérique JPG dans QGIS
- Géoréférencement de la carte JPG et enregistrement dans un format (« .tif » par exemple) comprenant un positionnement dans l'espace et un système de coordonnées géographiques
- Vectorialisation de la carte par création d'un (ou plusieurs) shapefile reprenant les entités spatiales de la cartes (routes, sources, etc)
- Edition des attributs du shapefile (type de route, débit des sources, etc)
- Obtention d'une carte digitale vectorielle géoréférencée



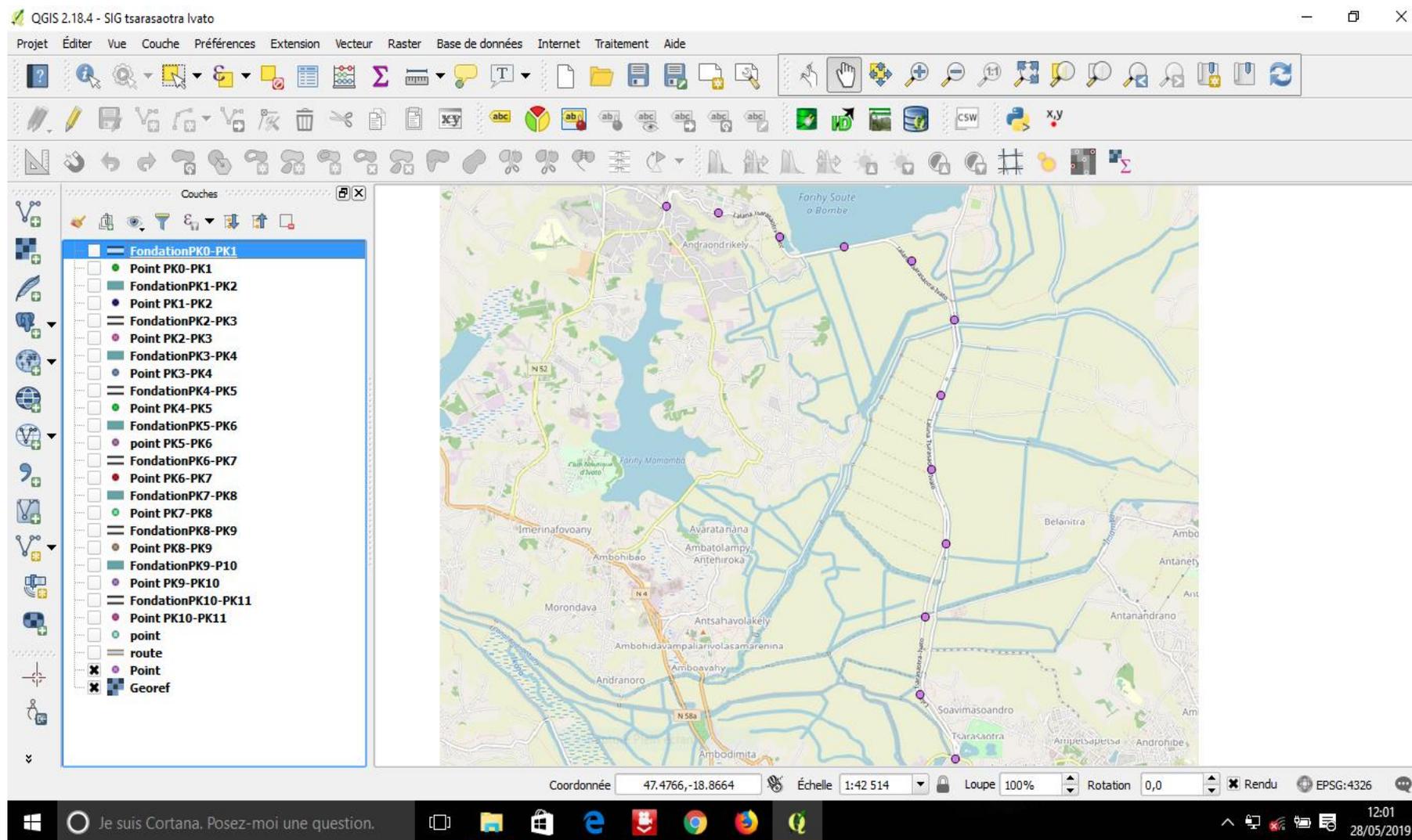


Figure 22 : Carte Géoréférencée

X.5 Traçage de la route

On manipule le projet vectoriel pour tracer la route : On relie les points de PK0 jusqu’au PK11. La figure ci-dessous nous montre l’exécution.

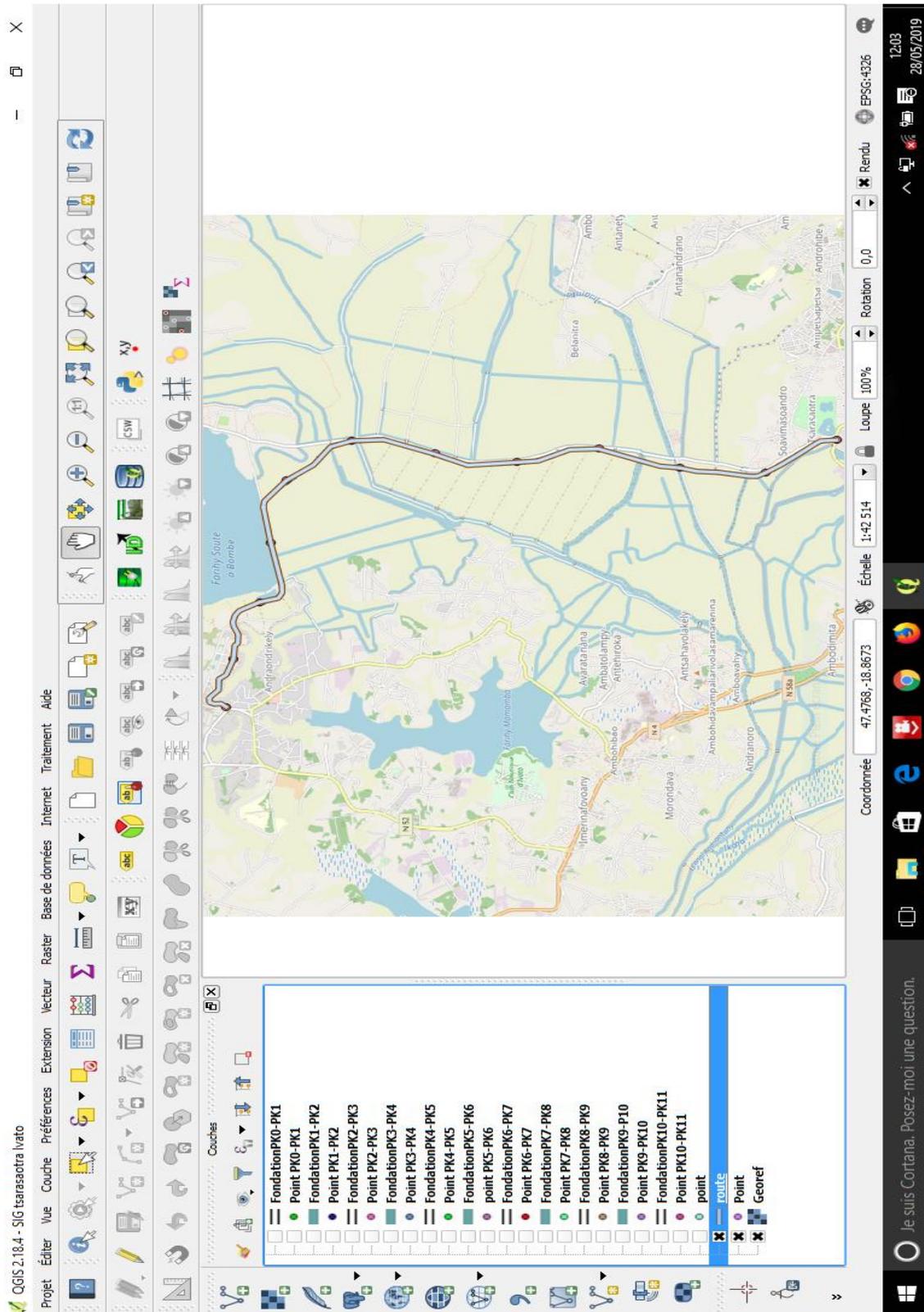


Figure 23 : Traçage de la route

X.6 Jointures des données .xls et .shp

La jointure consiste à associer différentes tables (tables d'attributs ou autres tables) :

- Jointure (En : « Joins ») : permet d'ajouter, dans la table d'attributs du fichier à partir duquel vous faites la jointure (« Table_Base »), les champs d'une autre table (« Table_Jointe »), sur base d'un champ (colonne) contenant une information commune aux deux tables ou sur base spatiale.
- Relation (En : « Relates ») : établi un lien entre deux tables, basé sur un champ (colonne) contenant une information commune, mais n'ajoute pas les champs d'une table reliée dans la table de base. Les informations de la table reliée sont accessibles à partir de la table de base.

Mode de création

- Joint basé sur un attribut commun à 2 tables

Dans le cas de jointure sur base attributaire, une seule « ligne » de la « Table_Jointe » peut être associée à une « ligne » donnée de la « Table_Base ».

C'est-à-dire, la jointure sur base attributaire est de mettre les fichiers .shp en contact avec les fichiers .xls qui contiennent les informations sur les matériaux de la couche de fondation par PK, dans le but d'enregistrer et stocker les informations et données dans le système de base de données QGIS.

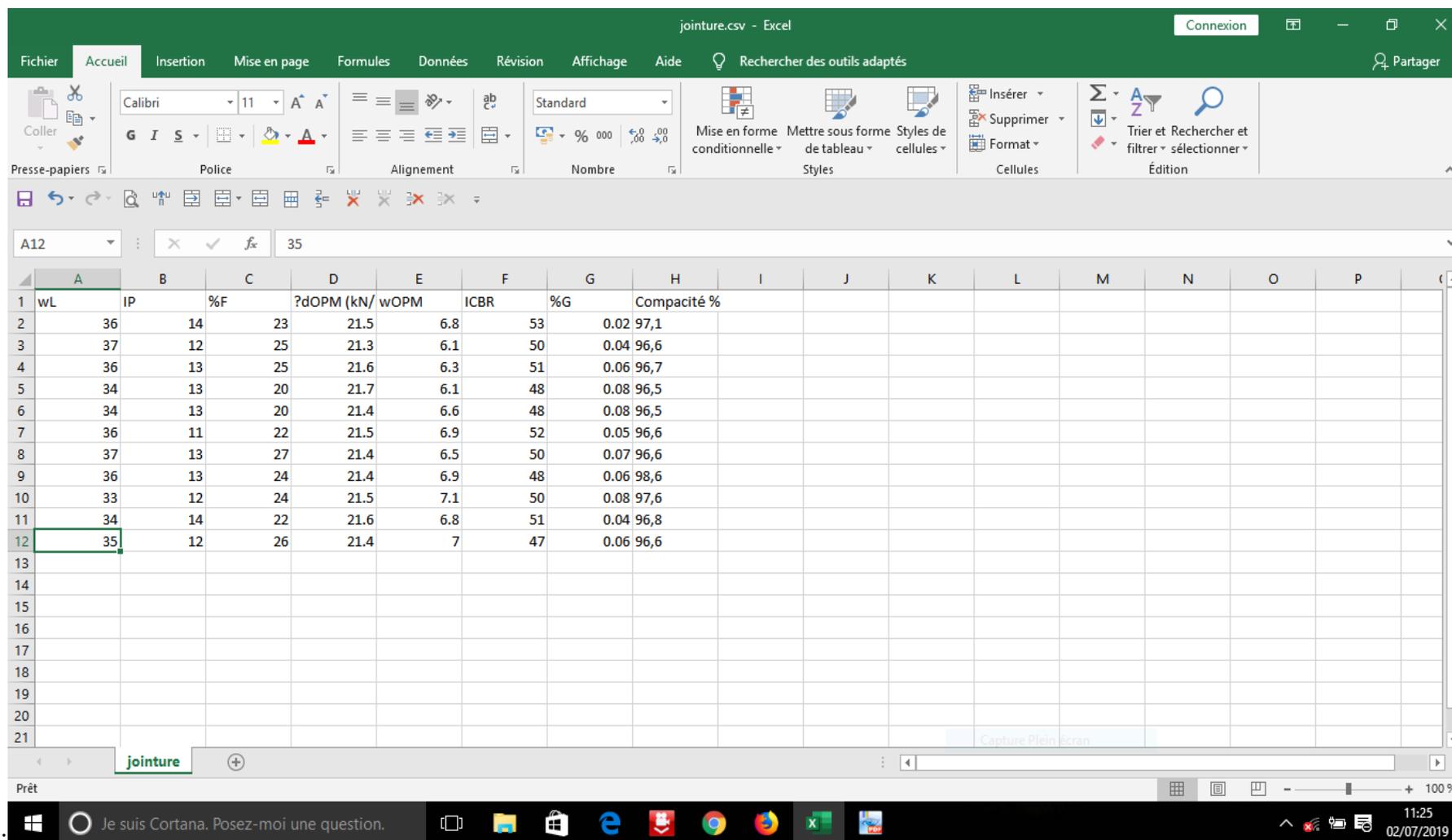


Figure 24 : Exemple d'un fichier .xls à joindre avec un fichier .shp

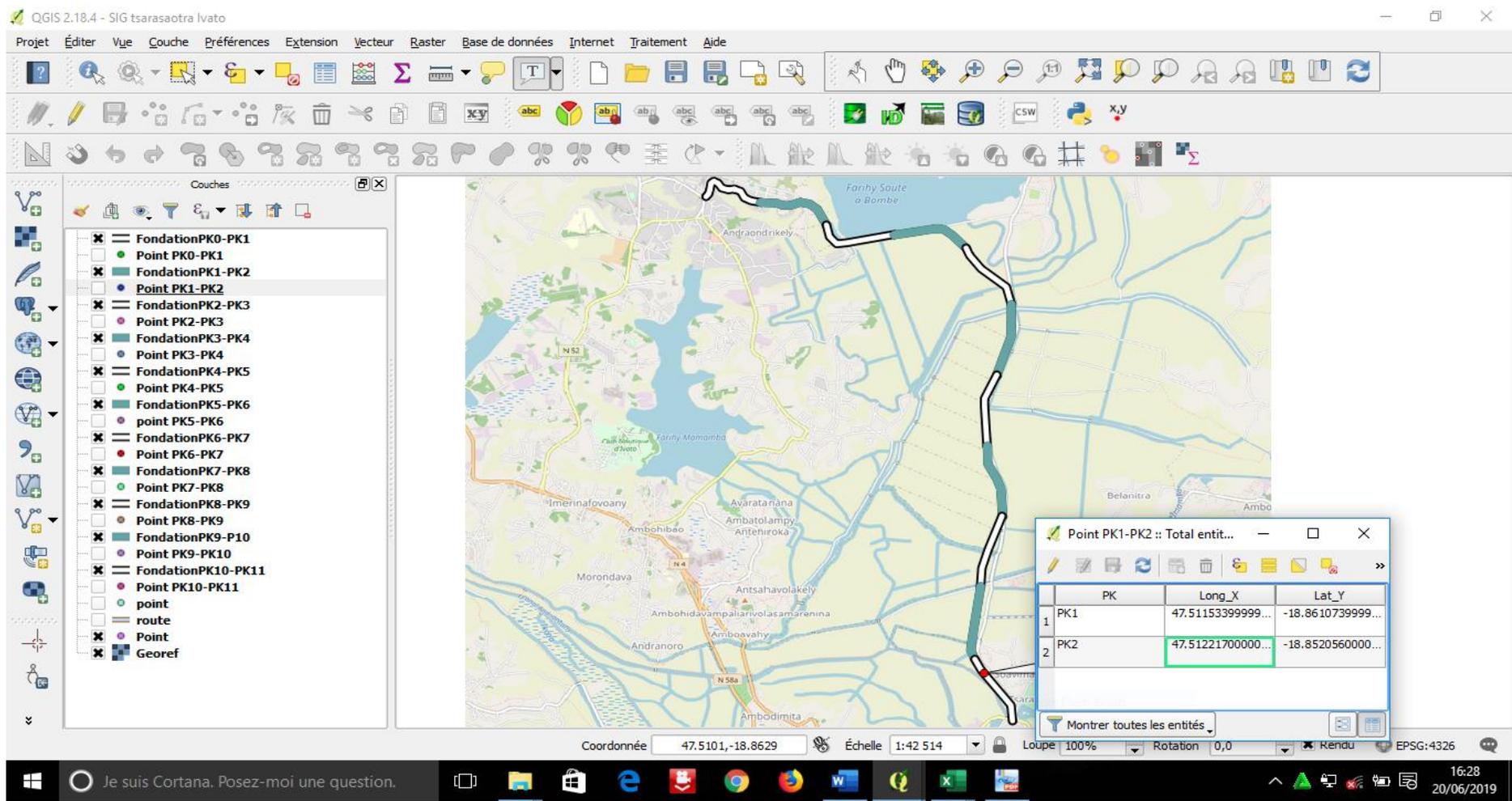


Figure 25 : Jointure effectué

Les tables correspondantes à chaque tronçon de 1 km montrant les informations et donn ees sur les matériaux, pouvant être visualisés dans l'interface QGIS

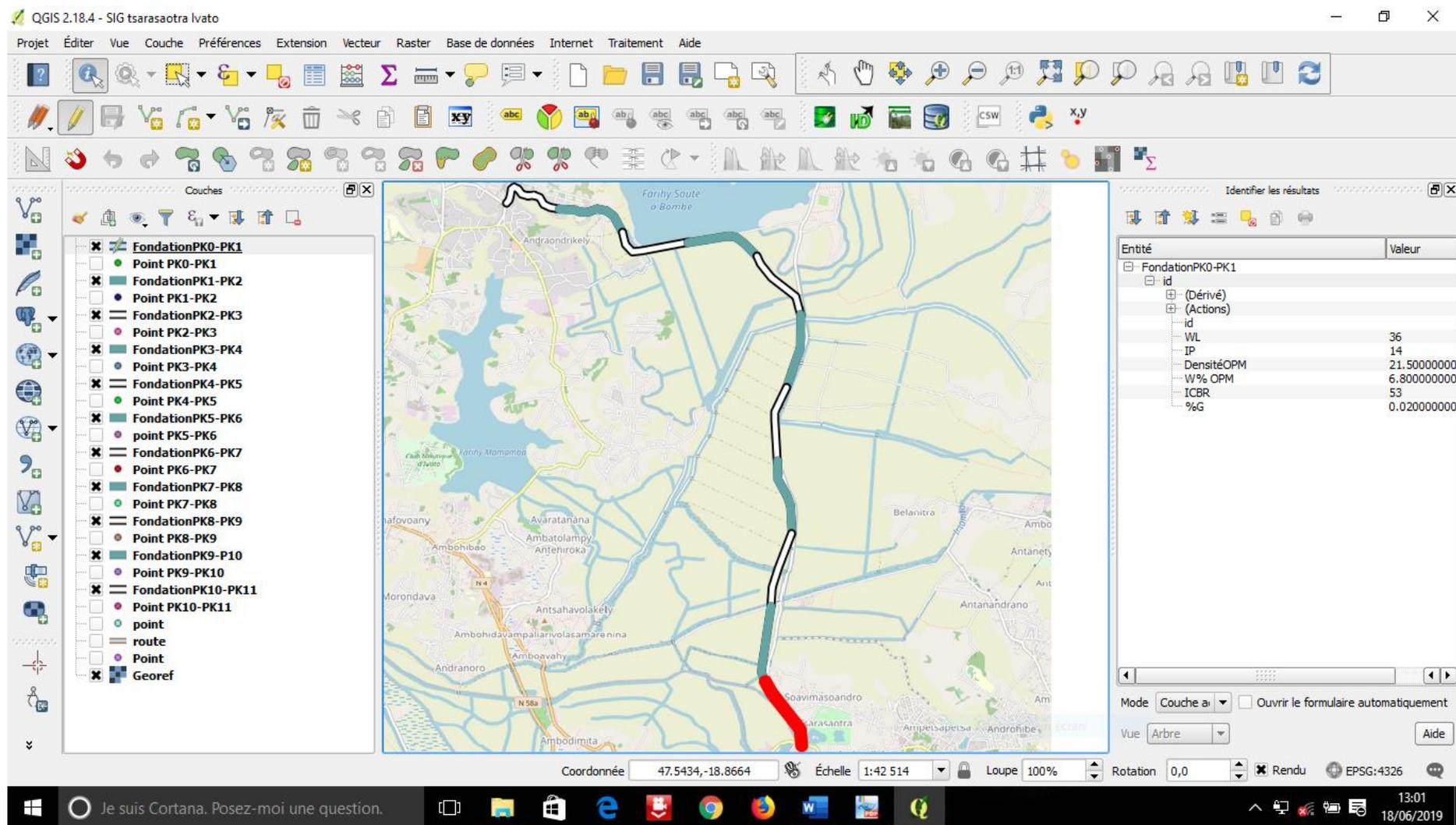


Figure 26 : Exemple de jointure effectué avec information sur les PK0-PK1

X.7 Evaluation des travaux SIG

Les évaluations des travaux de SIG sont affichées sur les tableaux ci-dessous avec des valeurs quantitatifs et estimatifs. Ces valeurs sont en fourchette car ça dépend de la durée de l'exécution effectuée.

Tableau 27 : Durée d'exécution

Travaux	Durée
Recueil des données par GPS	1jour
Exportation des données GPS Vers Excel	½ jour
Traitement des données <ul style="list-style-type: none"> ➤ Création SHP ➤ Géoreferencement 	½ jour ½ jour
Analyses des données et élaboration des bases de données	1 mois
Total Durée :	1mois et 2,5jours

Tableau 28 : Evaluation des coûts (forfaitaire)

Matériel	Coûts (Ar)
Ordinateur avec Outils	1.100.000
Outils de digitalisation	400.000
Imprimante	800.000
Accessoire (Flash-CD...)	100.000
GPS	1.800.000
Logiciel QGIS avec Licence	3.500.000
Total Dépense :	7.700.000
Travaux	Coûts (Ar)
Recueil des données par GPS	100.000
Exportation des données GPS Vers Excel	80.000
Traitement des données <ul style="list-style-type: none"> ➤ Création SHP ➤ Géoréférencement 	100.000 500.000
Analyses des données et élaboration des bases de données	800.000
Total de traitement pour un projet :	1.580.000

CONCLUSION

Aux termes de notre analyse, la couche de fondation est bien en adéquations avec le projet de la route Tsarasaotra-Ivato, les essais au laboratoire sont recommandés sur les Normes Européens AFNOR, les conditions météorologiques sont Beau sur les ouvrages sur terrain. Celui-ci nous donne un produit ayant des propriétés physiques, géotechniques et mécaniques assez élevées et rentable. Plusieurs avantages sont apportés pour la construction de la route reliant Tsarasaotra-Ivato, comme par exemple : elle réduit les embouteillages d'Ambohimanarina, Andranomena, Ambohibao. Elle fluidifie aussi la circulation.

Nous avons utilisé le système d'information géographique pour rassembler et stocker les données et informations sur ces matériaux en manipulant le logiciel QGIS. Les informations géographiques ont été relevées en manipulant l'appareil GPS. Elles sont d'abord traitées dans Excel et sont ensuite converties dans QGIS avec le système de coordonnées correspondant ; c'est pour être utilisées pendant la mise en place de la base de données sur les matériaux de la couche de fondation à chaque tronçon de 1 km le long de la route dite voie rapide. D'après la première partie et la deuxième partie, nous avons pu exposer les études bibliographiques concernant la généralité sur la couche de fondation des routes et notion de base de donnée pour stocker les données, puis on a fait l'étude géotechnique in-situ et sur laboratoire pour avoir les résultats précis. La troisième partie, nous avons pu manipuler le logiciel avec le GPS et les accessoires informatiques pour réaliser une base de données SIG.

On peut étudier aussi ce travail sur des autres logiciels de base de donnée comme Matlab, Code blocs... Pour évoluer les formules et les codes de base de données.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] M. ROBERT (J.F. LAFON) : COURS ROUTE. MASTER 2011 (I TOM 1).
- [2] Mme Zolimboahangy RAKOTOMALALA, Maître de conférence et enseignant chercheur à l'Université Polytechnique d'Antananarivo ESPA : MATERIAUX ROUTIER (Master I 2017) « COURS ET TRAVAUX PRATIQUE ».
- [3] ABDO J., SERFASS J.P., T70 : Terrassement et assises de chaussées : Traitement des sols aux liants hydrauliques, Collection Technique CIMBETON, 2009.
- [4] Dr. Brahim BELATTAR - LISA – Dpt d'informatique- Faculté des sciences de l'Ingénieur- Univ. De Batna- 05000- Algérie.
- [5] El HADJ MIMOUNE Khadidja, MERABET Meriem- Etude de sécurité en base de données avec une application pour le contrôle d'accès.
- [6] Mme Zolimboahangy RAKOTOMALALA, Maître de conférence et enseignant chercheur à l'Université Polytechnique d'Antananarivo ESPA : SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (Master II 2018) « COURS ET TRAVAUX THEORIQUE ».
- [7] BCEOM de 1972/1984, (Chap. 6 et 7 du tome 1, tome 2 et tome 3) : Règles techniques pour la construction routière dans les pays africains de la zone intertropicale.
- [8] Midi Madagascar Le 23/11/18 Recueillis par Navalona R.
- [9] La Vérité Le 10/08/18 Rova R.
- [10] Mr BOUDAUD Noureddine, Géomètre expert et enseignant associé à l'Université de Tlemcen : SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE « COURS ET TRAVAUX PRATIQUES »
- [11] Odile PAPINI – POLYTECH Université d'Aix-Marseille.
- [12] MM J.-F. CORTE LCPC (Division Géotechnique Mécanique des Chaussées),
Réalisation des remblais et des couches de forme.
- [13] Fondations stabilisées au ciment - Classification, Fabrication, Domaines d'emploi
Bulletin n° 11 Bruxelles : Fédération de l'Industrie Cimentière (FIC), 1983
- [14] Rédaction du Midi Madagascar, le 22 Juin 2018
- [15] Les Nouvelles Par Riana R. (03/11/2018)
- [16] Google Earth pro, Image satellite Mars 2018

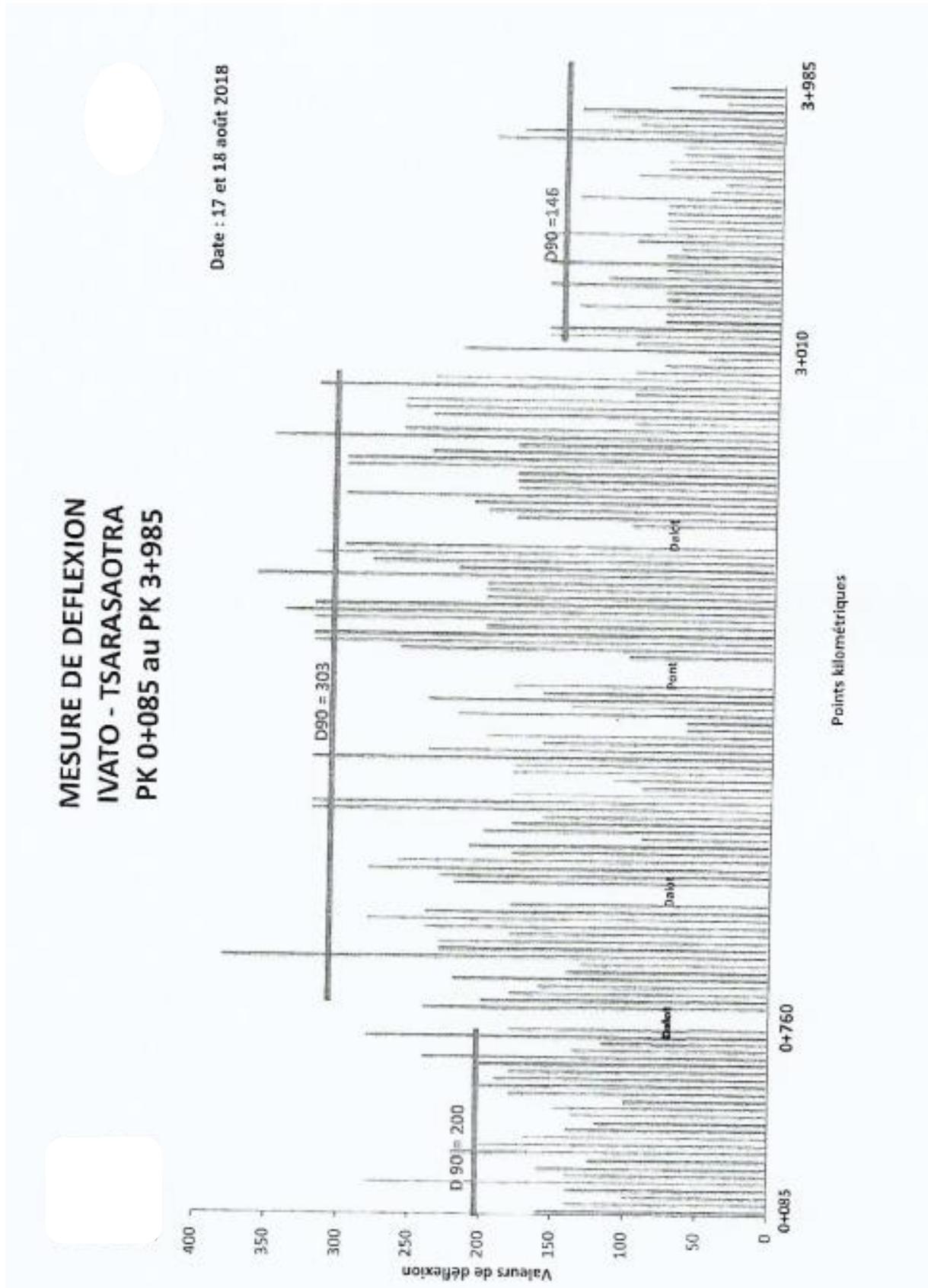
WEBOGRAPHIES

- [W1] <http://wikylis.weebly.com/uploads/4/2/3/2/42326613/mmo.pdf>
- [W2] <http://www.afegeo.asso.fr/les-sig.html> 15/02/2010
- [W3] http://www.prevention2000.org/cat_nat/risques/mvtter/mvt_prev.htm 20/10/2000
- [W4] <http://www.axesig.fr/produits/sig.html> 26/06/2014
- [W5] http://www.corse.fr/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html 30/05/2008
- [W6] http://www.congovirtuel.com/page_rapport_travaux/tfc_inbtp/tfc_rolly.pdf
- [W7] <http://www.cairn.info/les-systemes-d-informations-geographique--978230-page-88.htm>
- [W8] <http://seig.ensg.ign.fr/> 25/11/2015
- [W9] <http://repository.uneca.org/bitstream/handle/10855/935/bib-12679.pdf?sequence=1>
- [W10] http://ctgaafrique.org/wpcontent/2016/07/projet_guide_routier_v000_4_aout_2014.pdf
- [W11] https://docs.qgis.org/2.8/fr/docs/gentle_gis_introduction/data_capture.html 2017
- [W12] <http://www.forumsig.org/showthread.php/37012-Vente-Table-%C3%A0-digitaliser>
- [W13] <https://themamap.greyc.fr/fr/node/17>
- [W14] <http://www.arcorama.fr/2015/01/sig-3d-35-conception-de-donnees-3d.html>
- [W15] <http://resources.arcgis.com> 15/10/2005
- [W16] <http://www.axesig.fr/produits/sig.html> 08/03/2003
- [W17] <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.fr.html>
- [W18] <http://www.notre-planete.info/terre/outils/sig.php> 16/01/2018
- [W19] <http://www.cairn.info/les-systemes-d-informations-geographique--97839230-.htm>

ANNEXES

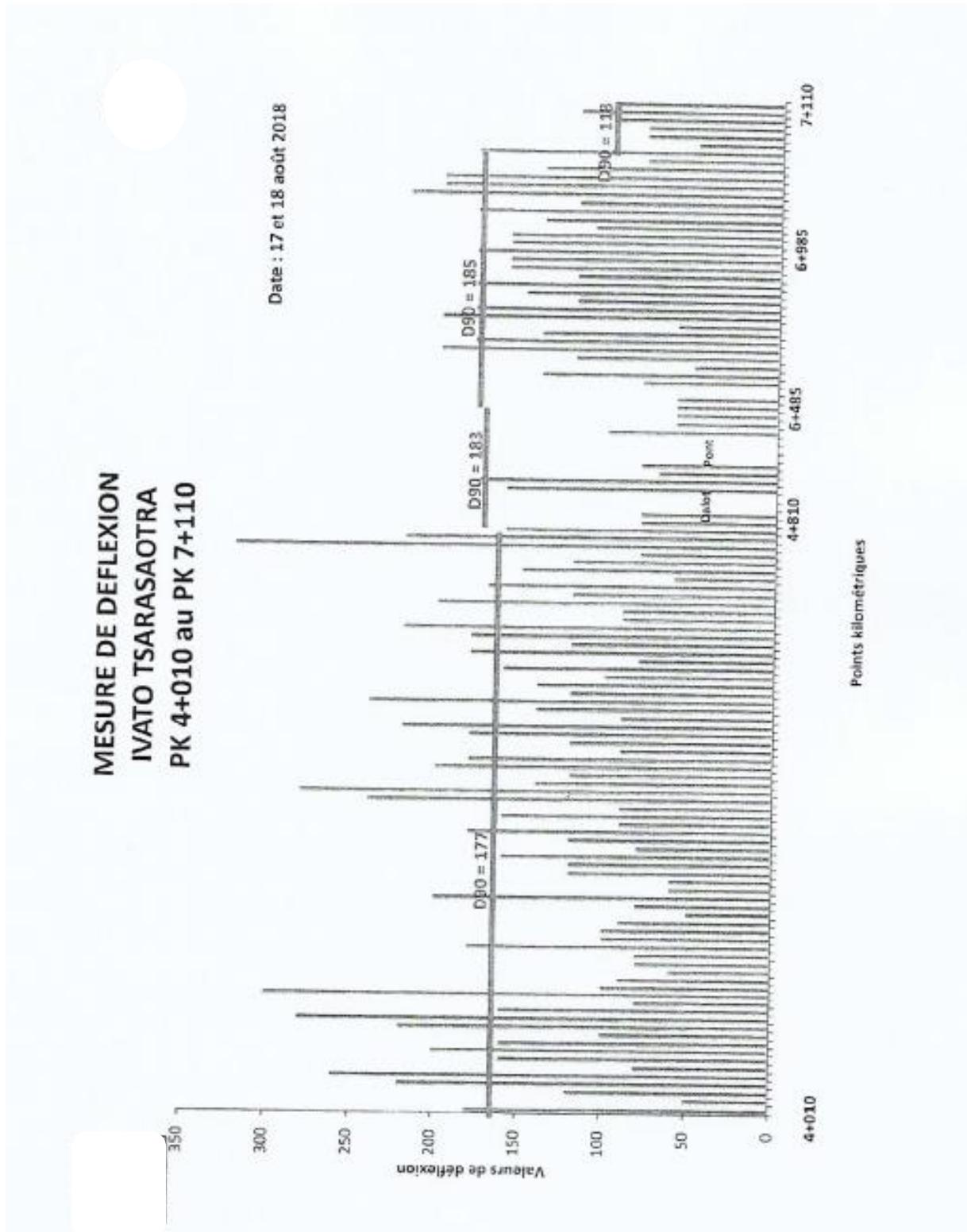
« RESULTATS DE CAMPAGNE DE DEFLEXION »

ANNEXE I



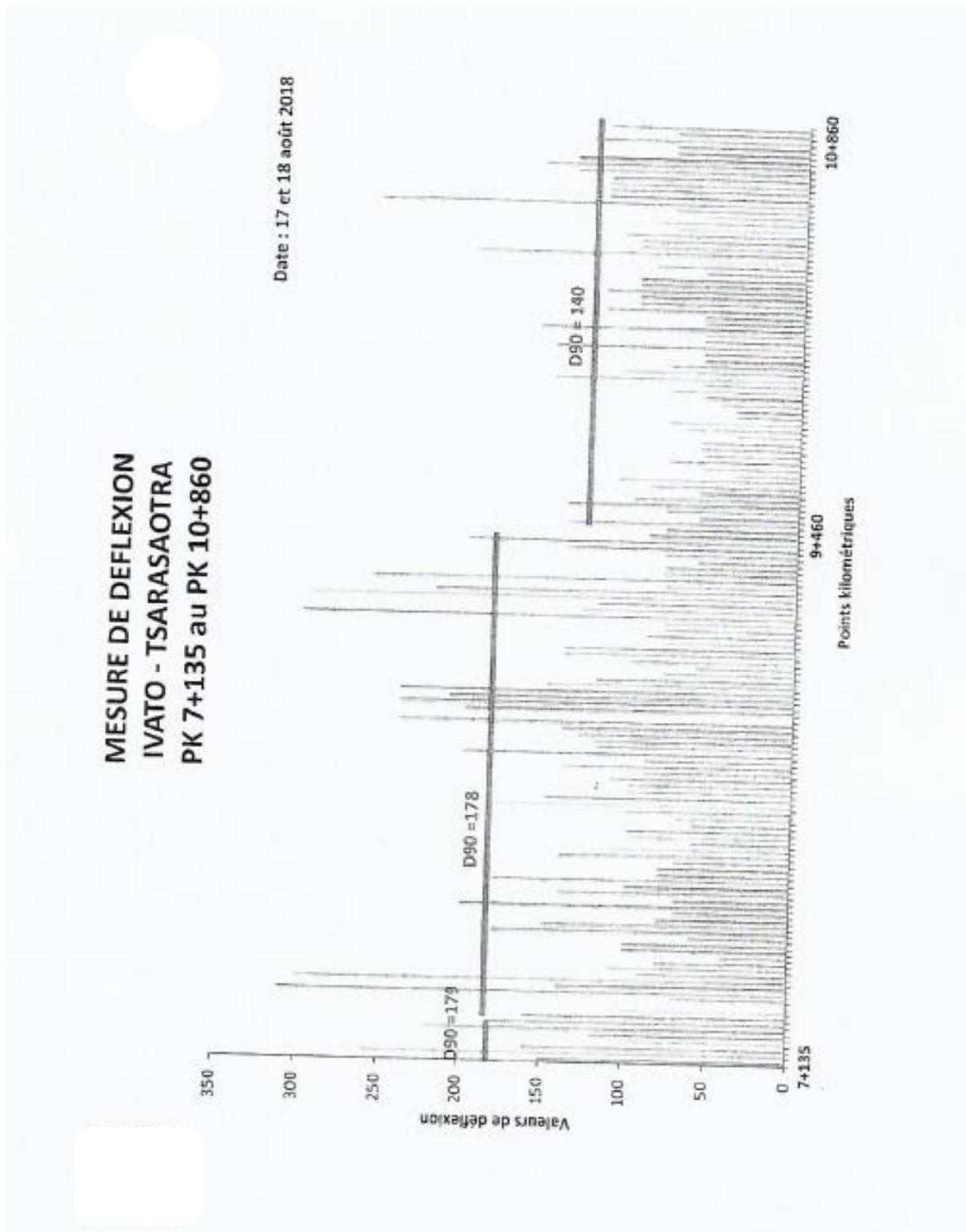
Annexe 1 : Mesure de Déflexion PK 0+085 au PK 3+985

ANNEXE II



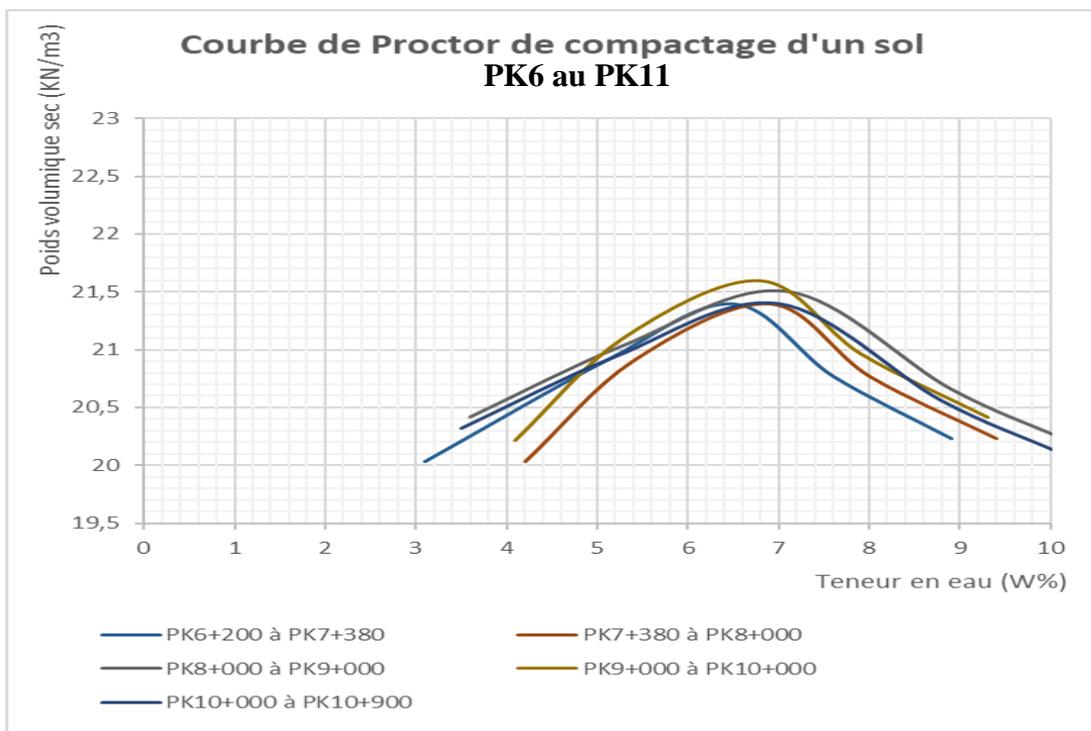
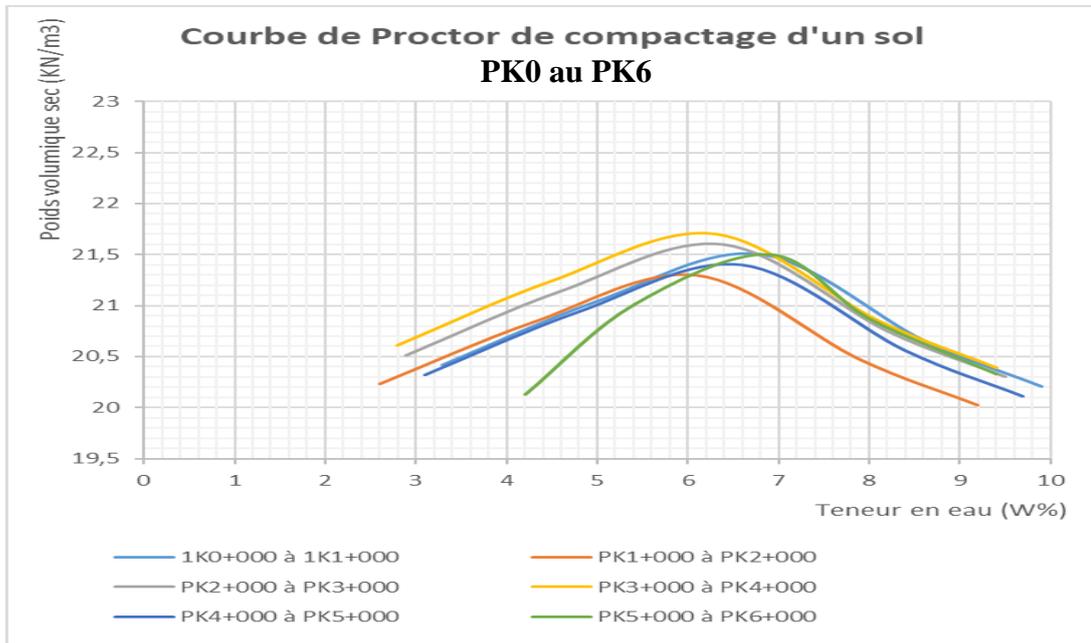
Annexe 2 : Mesure de Déflexion PK 4+010 au PK 7+110

ANNEXE III



Annexe 3 : Mesure de Déflexion PK 7+135 au PK 10+860

ANNEXE IV



Annexe 4 : Courbe de Proctor à chaque tronçon de 1km

Table des matières

TENY FISAORANA	i
REMERCIEMENTS	iii
SOMMAIRE	iv
LISTE DES ABREVIATION ET NOTATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES PHOTOS.....	ix
LISTE DES ANNEXES.....	x
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I :	2
ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES.....	2
Chapitre I : GENERALITES SUR LES ROUTES	3
I.1 Définitions.....	3
I.2 Structure d'une chaussée.....	3
I.2.1 La couche de surface	4
I.2.2 La couche d'assise.....	4
I.2.3 La couche de forme	4
I.3 Rôles [1].....	5
I.4 Classification des routes à Madagascar	5
I.5 Etudes du Trafic.....	6
I.5.1 Le trafic passé.....	6
I.5.2 Le trafic actuel.....	6
I.5.3 Le trafic futur	7
I.5.4 Les effets du trafic.....	7
I.6 Dégradations sur une route revêtue[W1]	7
I.6.1 Déformation [13].....	8
I.6.2 Fissurations [13].....	9
I.6.3 Arrachements [13].....	10
I.6.4 Remontées des Matériaux [13].....	11
Chapitre 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ROUTIERS POUR COUCHE DE FONDATION.....	12
II.1 Les constituants de base d'une chaussée revêtue	12
II.2 Type de couche de Fondation.....	12
II.3 Exigences relatives aux matériaux de fondation des chaussées	13

II.4 Caractéristiques des granulats	14
II.5 Mélange de granulats.....	15
II.6 Caractéristiques mécaniques des matériaux de fondation des chaussées	15
Chapitre 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA ROUTE	16
III.1 Principe de dimensionnement	16
III.2 Méthode de dimensionnement	16
III.2.1 Méthode américaine de l’AASHTO [3]	17
III.2.2 Méthode française de dimensionnement de la chaussée	18
Chapitre 4 : NOTION DE BASE DE DONNEES	19
IV.1 Notions générales [4]	19
IV.1.1 Définition.....	19
IV.1.2 Objectifs d’une base de données [W9].....	19
IV.1.2.1 Partage de l’information	19
IV.1.2.2 Organisation des données indépendamment des programmes	19
IV.1.3 Rôle d’une Base de données[W12]	20
IV.1.4 La démarche de conception d’une base de données.....	20
IV.1.4.1 Principe général	20
IV.1.5 Problèmes posés par la Centralisation de l’information sous forme de B.D.....	21
IV.1.5.1 Nature et type de l’information.....	21
IV.1.5.2 Sûreté physique, sûreté de fonctionnement et point de reprise	22
IV.1.5.3 Partage de l’information	22
IV.1.5.4 Problème des données confidentielles	23
IV.2 Systèmes de Gestion De Bases de Données (SGBD) [5].....	23
IV.2.1 Objectifs de l'approche SGBD	24
IV.2.1.1 Intégration et corrélation.....	24
IV.2.1.2 Flexibilité ou indépendance	25
IV.2.1.3 Disponibilité	26
IV.2.1.4 Sécurité	26
IV.3 Types de base de données [5]	26
Chapitre 5 : PRESENTATION DU SIG ET SES FONCTIONNALITES	27
V.1 Concepts Fondamentaux des Systèmes d’Informations Géographiques.....	27
V.2 Définitions [6]	27
V.3 Structure d’un SIG.....	29
V.4 Fonctionnalités d’un SIG [10]	30
V.5 Les données dans les SIG.....	31

V.5.1 Types de données dans un SIG	32
V.5.1.1 Données spatiales	32
V.5.1.2 Données associées	33
VI.6 Domaines d'application des SIG [6]	35
VI.7 Mise en place d'un SIG	36
PARTIE II :	37
ETUDES TECHNIQUES	37
Chapitre 6 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	38
VI.1 Contexte de la construction de la route [8]	38
VI.2 Autres objectifs de la voie rapide	39
VI.3 Caractéristiques de la voie rapide	39
VI.4 Mesures de sécurité	40
Chapitre 7 : CARACTERISATION DES MATERIAUX	41
VII.1 Essais d'identification des propriétés de nature.....	41
VII.1.1 Teneur en Eau (NORME : NF P 94-050)	41
VII.1.2 Analyse granulométrie par Tamisage (NORME : NF EN 933-1)	41
VII.1.3 Analyse granulométrique par sédimentométrie (NORME : NF P 94-056)	41
VII.1.4 Limites d'Atterberg (NORME : NF P 94-051)	42
VII.1.5 Equivalent de sable (NORME : NF EN 933-8)	42
VII.2 Essai d'identification des propriétés d'état	43
VII.2.1 Poids spécifiques	43
VII.2.2 Essais de compactage	43
VII.2.2.1 Essai PROCTOR (NORME : NF P 94-093)	43
VII.2.2.2 Essais de Portance CBR (NORME : NF P 94-078)	44
VII. 3 Les essais mécaniques	44
VII.3.1 Essai de compression (Norme NF EN 12390-4).....	44
VII.3.2 Essai pressiométrique (Norme NF P 94-110)	44
VII.3.3 Essais TRIAXIAUX (Norme NF P94-074)	45
Chapitre 8 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX	46
VIII.1 Nappe phréatique.....	46
VIII.2 Les sols de la PST	46
VIII.2.1 Texture des sols	46
VIII.2.2 Paramètres pressiométriques	46
VIII.3 Matériaux pour la couche de fondation	47
VIII.3.1 Teneur en eau naturelle ($\omega\%$)	48

VIII.3.2 Masse volumiques	48
VIII.3.3 Granularité du Sol Couche de Fondation.....	49
VIII.3.3.1 Résultats des Analyses granulométriques par tamisage.....	49
VIII.3.4 Limites d'Atterberg	52
VIII.3.5 Compactage – Essai Proctor	53
VIII.3.6 Indice portance ICBR	54
VIII.3.7 Compacité.....	55
Chapitre 9 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX POUR COUCHE DE ROULEMENT	57
IX.1 Caractéristiques des constituants	57
IX.1.2 Identification des concassés	57
IX.1.3 Caractéristiques du Bitume	57
IX.2 Formules des enrobés.....	58
IX.3 Recherche de la teneur en Bitume Optimum	58
IX.3.1 Essai Marshall	58
IX.3.2 Essai Duriez.....	59
IX.4 Récapitulation	60
IX.4.1 Sur les agrégats.....	60
IX.4.2 Sur le bitume	60
IX.4.3 Sur le mélange bitumineux.....	60
PARTIE III :	61
MISE EN PLACE DE LA BASE DE DONNEES	61
Chapitre 10 : MANIPULATION DU LOGICIEL QGIS ET EVALUATION DES TRAVAUX SIG	62
X.1 Présentation du logiciel QGIS.....	62
X.1.1 Interface QGIS.....	62
X.2 Traitement des données GPS.....	64
X.2.1 Présentation du GPS	64
X.2.2 Exportation des données GPS dans QGIS	64
X.3 Donnée Shapefile (.shp)	66
X.4 Georéférencement	68
X.5 Traçage de la route	70
X.6 Jointures des données .xls et .shp.....	71
X.7 Evaluation des travaux SIG.....	75
CONCLUSION	76
BIBLIOGRAPHIES	77

WEBOGRAPHIES.....	78
ANNEXES	I
ANNEXE I.....	II
ANNEXE II.....	III
ANNEXE III	IV
ANNEXE IV	V