

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Ahmed Draia Adrar
Faculté Des Sciences et de Technologies
Département Des Sciences et Technologie



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :
Master En Génie Civil
Option : structure
Présenté Par :

BENHAMDOU Fatima Zohra

BENMOULAY Cherifa

THEME

Systeme de protection sismique des ponts : description et
Modélisation

Soutenu Le 20/06/2018 Devant un membre de jury composé de :

Mr. BEN ABDELFAFATAH

Univ. Adrar

Président

Dr. BENNACER.LY

Univ. Adrar

Examineur

Mr. IKLEF

Univ. Adrar

Encadreur

Année Universitaire 2017-2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

En premier lieu, nous remercions Allah qui nous a procuré ce succès A travers ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr : IKHLEF pour ses conseils précieux et pour toutes les Commodités et aisances qu'elles nous ont apportées durant notre réalisation De ce projet.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux, monsieur le Président du jury Mr. BENABDALFATAH.ET monsieur L'examineur Mr. BENNASSER. Ly

A d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et Enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle D'étude. Sans omettre bien sûr de remercier profondément tous ceux qui ont Contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

DEDICACES

*Je dédie ce modeste mémoire à :
A mes très chers parents ; exemple de labeur,
D'amour et d'inlassable dévouement.*

En

*Témoignage de mon amour filial et de mon infinie
Reconnaissance pour les efforts et les sacrifices
Déployés à mon égard. Que ma réussite soit pour
Vous un gage de remerciement et sincère
Attachement.*

A mon MARIE OMAR

A mon fils unique Nabil

A mes Frères

A TOUTES LA PROMOTION GENIE CIVIL

*A tous ceux ou celles qui m'ont apporté leur
Soutien, réconfort moral et leur contribution dans
Elaboration de ce mémoire.*

BENHAMDOU Fatima Zohra

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :
A mes très chers parents
Espérant que dieu le porte dans son vaste
Paradis, ET pour leur
Sacrifices et leur encouragement, et qui grâce
À eux j'ai pu achever mes études.

Mes oncles
Que toutes mes tantes
A mes frères

A tous mes amis, ma famille, et en particuliers
A toutes la promotion GENIE CIVIL
Enfin à tous ceux qui de près ou de loin, ont
Contribués à la réalisation de ce travail et à ce
Qui me sont chers.

BENMOULAY CHERIFA

RESUME

Le but de ce présent travail est de contribuer à la compréhension du nouveau règlement parasismique des ouvrages d'art RPOA 2008 et l'application des grands chapitres de ce règlement ainsi que le RCPR.

Un cas d'étude : pont à poutres multiples en béton précontrainte à travées indépendantes dans une zone de forte sismicité est pris comme application afin d'illustrer les principes de la conception parasismique des ponts et les méthodes d'analyse dynamique.

Mot clé : pont , système controle sismique ,methode analyse sismique monomodale et multimodale et ouvrage d'art .

ABSTRACT

The purpose of this work is to contribute to the understanding of the new seismic regulation of RPOA 2008 structures and the application of the main chapters of this regulation as well as the RCPR.

A case study: multi-beam prestressed concrete bridge with independent spans in an area of high seismicity is used as an application to illustrate the principles of the design of seismic bridges and dynamic analysis methods.

Key-word: bridge, art work, seismic analysis methods monomodal and multimodal, control system seismic.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralité sur les ponts

I.1 Introduction	1
I.2 Définition de pont et éléments constitutifs	2
I.3. Classifications des ponts.....	3
I.4 Les équipements des ponts.....	8
I.5 les structures des ponts dépendante leur portée.....	12
I.6 Etapes démarche de conception pont.....	13
I.7 Conclusion.....	15

Chapitre II : les systèmes de contrôle de la réponse sismiques des ponts

II.1. Introduction	16
II.2. Principe de l'isolation sismique.....	16
II.3. Caractéristiques générales des structures isolées.....	17
II.4.1 systèmes de contrôle active.....	17
II.4.1 systèmes de contrôle PASSIF.....	18
II.4.3. Les appareils d'appui en élastomère.....	19
II.4.4. Les appareils d'appui à pot	20
II.4.5. L'appareil glissant à surface plane	23
II.4.6.les connecteurs.....	25
II.5 Systèmes d'amortisseur parasismique.....	25
II.6. Propriétés mécaniques des isolateurs.....	26
II.7. Méthodologie de pré dimensionnement des isolateurs sismique.....	29
II.8. Définition des propriétés de l'isolateur.....	31
II.9. CONCLUSION.....	34

Chapitre III : présentation de l'ouvrage

III .1. Introduction	35
III .2. Situation de l'ouvrage	35
III .3. Les données de projet	37
III .3.1. Les données fonctionnelles	38
III .3.2. Les données naturelles.....	39
III .3.3. Les données géotechniques.....	40
III .4. Les données sismologiques.....	41
III .5. Données climatiques.....	42
II.6. Présentation dès l'appareil d'appuis utilisé dans l'ouvrage	43
III.7Conclusion.	45

CHAPITRE IV : ANALYSE MONOMODALE DE L'OUVRAGE

IV.1 introduction.....	46
IV.2 Analyse sismique monomodale de l'ouvrage (période fondamentale)	46
IV.3 Conditions d'applicabilité de la méthode spectrale monomodale.....	47
IV.4. Application de la méthode sur l'ouvrage.....	49
IV.4.1. Sens horizontale.....	50
IV.4.2. Sens transversal.....	52
IV.4.3. Direction verticale.....	57
IV.5. CONCLUSION.....	58

CHAPITRE V : ANALYSE MULTIMODALE SPECTRALE DE L'OUVRAGE

V .1. Introduction	59
V.2. Principe.....	59
V.3. Etapes de modélisation et présentation de programme SAP2000	59
V .4. ETUDE STATIQUE.....	70
V.4.1 Moments fléchissant dans les poutres	71
V.4.2. Moments fléchissant due à la surcharge \dot{A} (l)	72
V.4.3. Efforts tranchants dans les poutres.....	79

V.5 l'ETUDE DYNAMIQUE.....80

V.5.1. Comparaison des résultats.....81

V.6. Conclusion86

Conclusion générale

Liste des figures

Figure I.1 : Différentes parties d'un pont.....	1
Figure I.2 : Formes du tablier d'un pont.....	2
Figure I.3 : différentes parties d'un pont à poutre.....	3
Figure I.4 : différentes parties d'un Pont à poutre treillis.....	4
Figure I.5 : différentes parties d'un Pont en arc.....	4
Figure I.6 : différentes parties d'un pont à béquilles.....	5
Figure I.7 : différentes parties d'un Pont suspendu.....	5
Figure I.8 : différentes parties d'un Pont à haubans.....	6
Figure I.9 : différentes parties d'un Pont à voute.	6
Figure I.10 : schéma d'un dalot cadre.	7
Figure I.11 : buse en béton.	7
Figure I.12 : Passerelle en arc	8
Figure I.13 : d'étanchéité des tabliers.....	9
Figure I.14 : exemple joint de chausse.....	10
Figure I.15 : exemple de dispositifs de retenue.....	10
Figure I.16 : exemple Appareils d'appuis.....	11
Figure I.17 : exemple Dispositifs d'évacuation des eaux.....	12
Figure I.18 : les grands systèmes de pont en fonction de la portée.....	12
Figure II.1 : Les catégories des systèmes de protection sismique mondiale.....	16
Figure II.2 : Concept d'isolation des ponts et loi de comportement du système bilinéaire...	17
Figure II.3 : Tableau de classification des principaux systèmes d'isolation	19
Figure II.4 : Le diagramme de système de contrôle actif.....	20
Figure II.5 : Constitution type d'un appareil en élastomère fretté [17].....	21
Figure II.6 : Schéma d'un appui élastomère fretté à cœur de plomb.....	22
Figure II.7 : Schématisation des composantes de l'appareil d'appui à pot.....	23
Figure II.8 : Schématisation d'un système pendulaire à une ou deux surfaces de glissement.....	24
Figure II.9 : Schématisation d'un connecteur sismique.....	25
Figure II.10 : Amortisseur à frottement à l'université de Concordia, Montréal.....	26
Figure II.11 : Schématisation d'un amortisseur hydraulique visqueux.....	26

Figure II.12 : Amortisseur hystérétique.....	27
Figure II.13 : Loi de comportement d'un dispositif LRB	28
Figure II.14 : Loi de comportement du HDR [23].....	28
Figure II.15 : Loi de comportement du dispositif pendulaire.....	29
Figure II.16 : Schématisation du FPS à deux surfaces de glissement.....	30
Figure II.17 : Caractéristiques de l'appareil FP.....	31
Figure II.18 : Caractéristiques de la loi de comportement du LRB.....	32
Figure II.19 : Schématisation d'un appui LRB.....	33
Figure III .1 : situation de l'ouvrage dans le site de projet.....	35
Figure III.2 : Coupe longitudinale.....	36
Figure III .3 : Vue en élévation.....	37
Figure III .4 : Le tracé en plan.....	38
Figure III.5 : Profil en travers.....	39
Figure III. 7 : définition géométrique d'un appareil d'appui.....	42
Figure III. 6: Appareil d'appui en élastomère fretté.....	44
Figure VI.1 : Séisme Transversal.....	53
Figure IV.2: types des ouvrages.....	56
Figure IV.3: type de pont dalle de l'ouvrage.....	58
Figure V.1 : Présentation de logiciel Sap2000.....	60
Figure V.2: Choix d'unité et de nouveau modèle.....	61
Figure V.3: Représentation de la fenêtre « Bridge Wizard »	61
Figure V.4: Affectation de la longueur du tablier.....	62
Figure V.5: Représentation de la longueur du tablier.....	62
Figure V.6: Séparation des différentes sections du tablier.....	63
Figure V.7 : Détermination des Charges et combinaisons.....	64
Figure V.8: Affectation des valeurs des surcharges.....	65
Figure V.9: Modèle du tablier à une seule travée.....	66
Figure V.10: Définition des culées.....	67
Figure V.11: Détermination des Spectres Horizontal et Vertical.....	69
Figure V.12: Modèle finale du Pont.....	70

Figure V.13: Diagramme de Moment Fléchissant Due au poids propre.....	72
Figure V.14: Diagramme de Moment Max due au poids propre.....	73
Figure V.15: Diagramme de Moment Max Due à la surcharge A (I).....	73
Figure V.16: Diagramme de Moment Max due à la surcharge A (I).....	74
Figure V.17: Diagramme d'effort tranchant Due au l'ELU.....	78
Figure V.18: Diagramme d'effort tranchant Due au l'ELS.....	79
Figure V.19: Diagramme de Moment Fléchissant de la combinaison sismique G+Ex+0.3Ey+0.3Ez.....	83
Figure V.20: Diagramme de Moment Fléchissant de la combinaison sismique G+Ex+0.3Ey+0.3Ez.....	84
Figure V.21: Diagramme de l'Effort tranchant de la combinaison sismique G+Ex+0.3Ey+0.3Ez.....	85
Figure V.22: Diagramme de l'Effort tranchant de la combinaison sismique G+Ex+0.3Ey+0.3Ez.....	86

Liste des tableaux

Tableau II.1 : avantages et les inconvénients de chaque type isolation parasismique distingué.....	24
Tableau V.1 : Valeurs des coefficients de combinaisons selon le BPE nt.....	71
Tableau V.2 : Moments fléchissant Max des sollicitations Individuelles (KN.m).....	75
Tableau V.3 : Tableau récapitulatif les Moments fléchissant maximum en (KN.m).....	75
Tableau V.4 : Tableau récapitulatifs les Moments maximum les plus défavorables aux ELU (KN.m).....	76
Tableau V.5 : Tableau récapitulatifs les Moments maximum les plus défavorables aux ELS (KN.m).....	76
Tableau V.6 : Tableau récapitulatifs les efforts tranchant maximum les plus défavorables aux ELU (KN.m)....	78
Tableau V.7 : Tableau récapitulatifs les efforts tranchant maximum les plus défavorables aux ELS (KN.m).....	79
Tableau V.8 : Tableau récapitulatif les périodes propres et les facteurs de participations modales.....	82
Tableau V.9 : Tableau récapitulatif les Moments maximum des efforts sismiques.....	84

Liste des symboles

E_d : est l'énergie dissipée de chaque unité d'isolation.

H_t : hauteur totale ($h_t=h_1+h_2$)

A : diamètre de la face supérieur.

B : diamètre de la face inférieur.

D : déplacement total maximum

$A_p = (\pi \times D^2 / 4)$: aire de cœur de plomb en mm^2

σ_{y1} : limite élastique du cœur de plomb en Mpa.

A_r : aire de l'élastomère réduit en mm^2 .

ω : la pulsation propre amortie (radian/sec).

m_i : la masse concentrée au i ème point nodal.

U_i : le déplacement dans la direction étudiée, lorsque la structure est soumise aux forces.

$f_i = m_i \times g$: agissant à tous les points nodaux dans la même direction

$[K]$: est la matrice de rigidité de l'ouvrage dans le sens transversal, obtenue par la même procédure que dans le cas du sens longitudinal

n : nombre d'appareils d'appuis.

e : épaisseur du caoutchouc de l'appareil d'appui.

n : nombre de pile.

E : module d'élasticité instantané de béton.

I : moment d'inertie en plan du voile.

h : hauteur de voile.

Δ : Vecteur unitaire dans la direction d'entraînement du sol.

V : La force sismique totale.

D : Facteur d'amplification dynamique moyen.

R : Coefficient de comportement global de la structure.

Q : Facteur de qualité.

P_q : La pénalité à retenir selon que le critère de qualité q .

W : Poids total de la structure.

W_{Gi} : Poids dû aux charges permanentes.

W_{Qi} : Charges d'exploitation.

β : Coefficient de pondération.

D : Les vecteurs propres.

ω_i : La pulsation associée au vecteur propre(Di).

p_i : Le facteur de participation modale.

Q : La charge d'exploitation.

S_a : Le spectre de calcul élastique.

A : Coefficient d'accélération de zone.

S : Coefficient de site.

T_1 et T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

η : Facteur de correction d'amortissement.

S_{ae}^v : Le spectre de réponse élastique pour la composante verticale (m/s).

ξ : Taux d'amortissement défini.

g : Accélération de la pesanteur (=9,81m/s²)

ρ : Masse volumique t/m³.

S_{ae} : Le spectre de réponse élastique pour les deux composantes horizontales (m/s).

α : Coefficient qui tient compte de l'importance de la composante verticale.

M_t : La masse total (t).

M_p : Masse des piles (t).

C_{dm} : Centre de masse de tablier (m) ; C_{de} : Centre élastique des appuis (m).

e_o : Excentricité théorique (m).

K : Raideur des appuis ($K_{culée}$: raideur de culée et K_{pile} : raideur de pile) KN.m.

L : Longueur de tablier (m).

I : Moment d'inertie (m⁴).

F : La force statique équivalente (KN).

G : Module de cisaillement de l'appareil (MPa).

^{tablier}

_{sol} d : Déplacement du tablier par rapport au sol (m).

^{pile}

_{sol} d : Déplacement de la tête de la pile par rapport au sol (m).

μ : La masse linéique du tablier.

R_i : Les réactions d'appui (KN).

a_N: est l'accélération nominale.

R_M : correspond au plateau du spectre élastique normalisé.

a : Le paramètre caractérise l'accélération du sol.

INTRODUCTION GENERALE

Un ouvrage d'art est une construction de grande importance permettant de franchir un obstacle sur une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport

De tels ouvrages sont qualifiés « d'art » parce que leur conception et leur réalisation font intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur.

La protection sismique ou la science de génie parasismique intéresse de diminuer les risques sismiques sur les ponts, peuvent avoir des conséquences catastrophiques. Certainement, l'effondrement d'un pont dans une ville ou dans une route peut engendrer des pertes humaines et économiques. Donc, il devrait être pris sagement la conception parasismique et l'analyse sismique des ponts selon le règlement parasismique en vigueur dans les zones sismiques.

Ce travail comprend une étude analytique d'un pont dalle sous l'influence de l'action Sismique avec l'utilisation de deux méthodes d'analyse sismique ; la méthode analyse Sismique monomodale et la méthode d'analyse sismique multimodale. Cette dernière est réalisée par le logiciel SAP 2000. Les résultats obtenus dans les deux analyses nous permettent de vérifier et de conclure des conclusions pratiques.

Ce travail se compose de cinq chapitres, dont les contenus sont brièvement décrits ci-dessous :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les ponts et ces différentes caractéristiques.
- Le deuxième chapitre en donne recueille théoriques sur les systèmes de contrôle parasismique.
- Le troisième chapitre permet de présenter l'ouvrage avec tous données importante pour études sismique
- Le quatrième chapitre présente une application pratique de l'analyse sismique d'un ouvrage D'art (exemple d'un pont dalle) par la méthode monomodale.
- Le cinquième chapitre multimodal. Réalisée par le logiciel SAP 2000. Le chapitre est fini par des interprétations et Des comparaisons des résultats obtenues dans les deux méthodes d'analyses.

CHAPITRE I

Generalité sur les ponts

I.1 Introduction

Dans le domaine routier, un ouvrage d'art, est une construction de génie civil autre qu'un Bâtiment qui permet d'assurer et protéger la continuité d'une voie de circulation. Il existe trois Grands types d'ouvrages d'art routiers : les ponts, les ouvrages de soutènements et les tunnels.

Dans ce chapitre en étudié généralement l'importance et différent type des ponts et la démarche de conception.

La conception des ponts a connu une grande évolution grâce à l'emploi de matériaux aux performances rigoureusement contrôlées et au développement de méthodes de construction à la fois rapides et précises [1]

I.2 Définition de pont et éléments constitutifs

Un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant a` une voie de circulation (dite « voie portée ») de franchir un obstacle naturel ou artificiel : rivière, vallée, route, voie Ferrée, canal... etc. La voie portée peut être une voie routière (pont routier), piétonne(Passerelle), ferroviaire (pont ferroviaire) ou, plus rarement, une voie d'eau (pont-canal).[14]

I.2.1 Les éléments constitutifs d'un pont

Les ponts sont constitués des éléments suivant (figure I.1) :

- Le tablier est une structure sur laquelle se fait le déplacement à niveau ou avec une pente suffisamment faible pour être admissible par des piétons, des animaux ou des véhicules entre ses deux extrémités,
- Les appuis qui supportent le tablier : culées aux deux extrémités et piles intermédiaires ou piles-culées si le tablier n'est pas continu,
- Les fondations qui permettent la transmission des efforts de l'ouvrage au terrain.

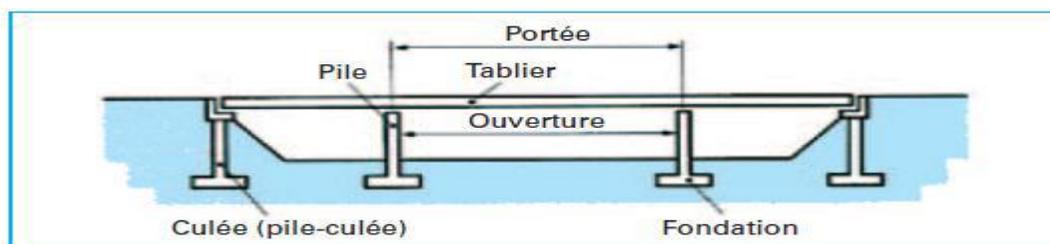


Figure I.1 : Différentes parties d'un pont. [14]

I.2.2 Les différentes formes du tablier d'un pont

La partie du pont comprise entre deux appuis s'appelle une « travée » et la distance entre deux appuis consécutifs s'appellent « portée de la travée (Figure I.2). Le tablier d'un pont peut être droit, biais (suivant l'inclinaison de la ligne d'appuis par rapport à l'axe longitudinal du pont), ou courbe.

On appelle « angle de biais » (θ) l'angle entre la ligne d'appuis et l'axe longitudinal de l'ouvrage. Ainsi, pour un pont droit, $\theta = 90^\circ$ ou 100 grade.

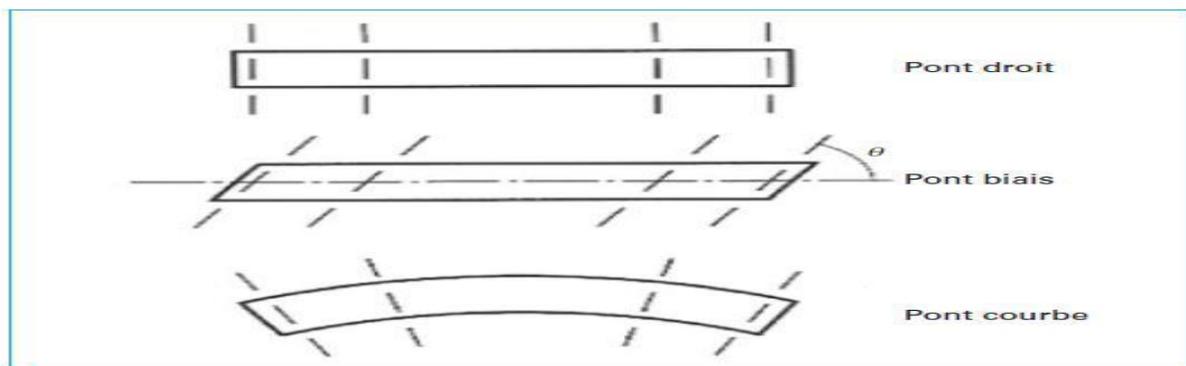


Figure I.2 : Formes du tablier d'un pont. [11]

I.3. Classifications des ponts

I.3.1 Critère de classification

Les ponts existent dans une grande variété de formes et possèdent des architectures les plus diverses. Cette grande diversité des types de ponts amène à distinguer les critères selon lesquels ils peuvent être classés. La classification des ponts peut se faire selon l'un ou plusieurs des critères suivants :

- Fonctionnement mécanique ;
- Matériau principal (béton armé, béton précontraint, acier, bois, mixte) ;
- Fixité ou mobilité du tablier (pont fixe, pont mobile) ;
- Disposition en plan (pont droit, pont biais, pont courbe) ;
- Nature de la voie portée (pont-route, pont-rail, passerelle) ;
- Nature de l'obstacle à franchir (pont d'étagement, pont sur rivière) ;
- Section transversale (pont dalle, pont à poutres : T, I, caissons) ;
- Position du tablier par rapport à l'ossature ;

- Durée de vie prévue (pont permanent, pont temporaire) ;
- Méthode de construction

I.3.2 Les grandes catégories

En général, on utilise pour la classification les critères qui caractérisent les éléments les plus significatifs d'un pont. Le système le plus adopté pour la classification des ponts est basé sur les deux critères fondamentaux :

- **Le fonctionnement mécanique.**
- **Le matériau principal** (béton, acier, bois, mixte : béton-acier, Acier-bois). [11]

II.3.2.1 Les ponts à poutre

Ponts composés d'un tablier très rigide qui transmet les charges sur les culées et des piliers (Piles) si la portée est trop importante pour être tenue par une simple poutre. Les ponts à poutres désignent tous les ponts dont l'organe porteur est une ou plusieurs poutres. Les efforts engendrés dans la structure sont principalement des efforts de **flexion**.

Un cas particulier de ce type de pont : les ponts à voussoirs. Des tronçons de tablier sont préfabriqués puis assemblés à la structure porteuse, la pile, au fur et à mesure de l'avancement du chantier, de manière alternée, afin d'équilibrer les charges de part et d'autre de la pile.

On trouve donc des ponts à poutre **en béton, en acier, mais aussi en bois** (la portée étant nettement plus courte).

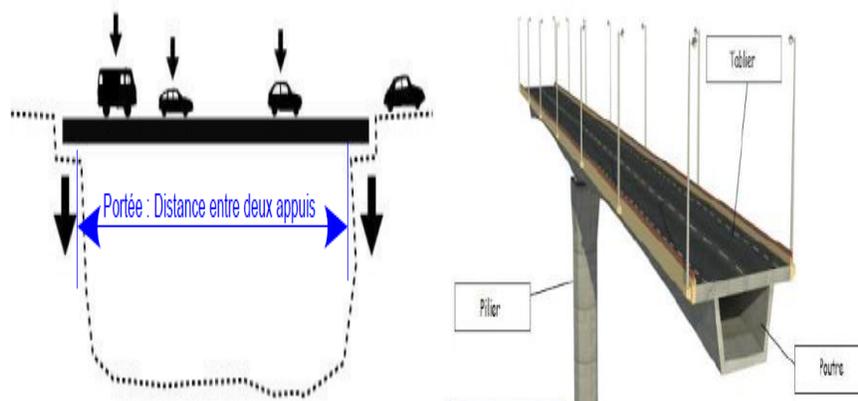


Figure I.3: différentes parties d'un pont à poutre [11]

I.3.2.2 Pont à poutre treillis

Ponts composés de structures triangulées, très légères et très rigides, supportant le tablier.

La structure en treillis est basée sur le principe de l'indéformabilité des triangles. Cette formidable découverte a permis aux charpentiers, la franchir des portées importantes avec l'aide d'éléments relativement minces et légers.

Les efforts engendrés principalement dans ce type de structures sont de la **traction** et de la **Compression**. Pour les ponts en poutre treillis **en acier**, on réussit à franchir des distances Étonnantes grâce à ce principe, alors qu'avec une poutre pleine.



Figure I.4 : différentes parties d'un Pont à poutre treillis. [11]

I.3.2.3 Pont en arc

Ponts utilisant un arc pour ramener les efforts en appui en suivant des lignes de **Compression** pure. Ces ponts sont capables de transformer les charges verticales du tablier en Forces obliques qui vont suivre la forme de l'arc. Ces forces vont se transmettre au terrain à Travers les culées et vont se décomposer en deux : une force verticale et une force horizontale Qui aura tendance à écarter les culées.

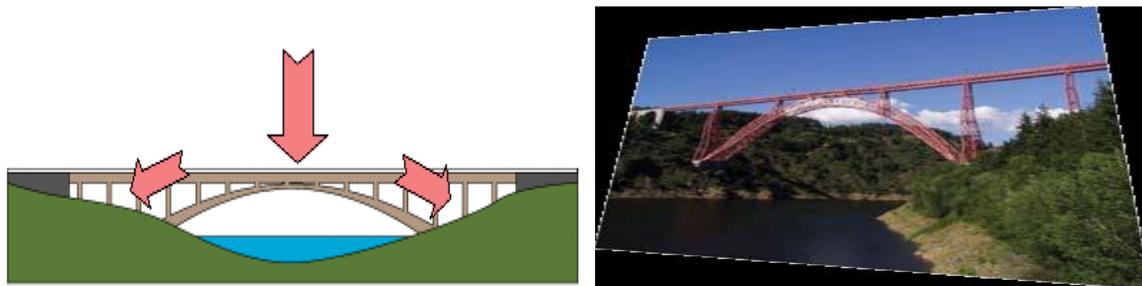


Figure I.5 : différentes parties d'un Pont en arc [11]

I.3.2.4 Pont à béquilles

Le pont à béquilles est un cas particulier du pont en arc. Les béquilles transmettent les efforts de charge du pont vers des massifs de béton, un peu comme le ferait un arc.

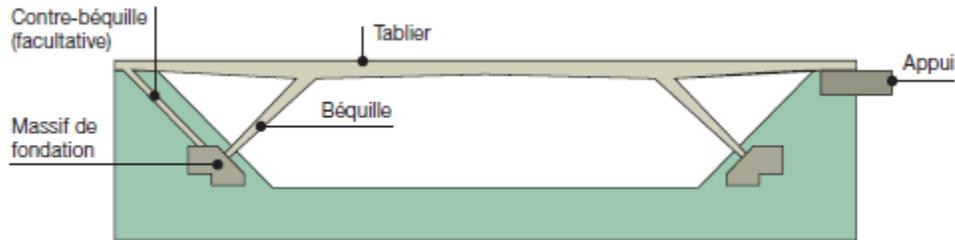


Figure I.6 : différentes parties d'un pont à béquilles. [11]

I.3.2.5 Pont à câble

a) -Pont Suspendu

Ponts en acier et en béton dont le tablier est suspendu à des câbles porteurs par des câbles verticaux, l'ensemble est supporté par des pylônes. Le poids du tablier, les charges dues à la circulation et toutes les autres charges sont transférées à travers les câbles jusqu'à la partie supérieure des pylônes. Les pylônes vont ensuite ramener les efforts verticaux vers le sol. Pour que ce système fonctionne correctement, les câbles porteurs sont ancrés dans de gros socles en béton à chaque extrémité du pont. Les grands câbles porteurs prennent la forme d'une caténaire, forme d'un élément souple soumis à des charges réparties tout le long.

Ces ponts sont les seuls à ramener des efforts horizontaux exceptionnels au niveau des fondations du câble principal à chacune des extrémités du pont. Plus les pylônes ne sont hauts et moins les efforts horizontaux sont importants.

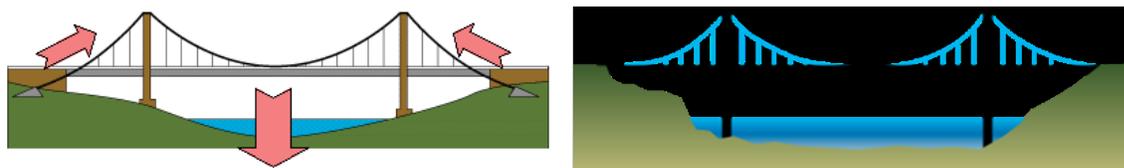


Figure I.7 : différentes parties d'un Pont suspendu. [8]

b) Pont à haubans

Un hauban est un câble qui relie une partie du tablier avec les pylônes. Le principe des ponts haubanés est basé sur une équilibre simple : des haubans portent deux parties symétriques du tablier du pont de chaque côté d'un pylône. Cet équilibre permet au pont à haubans, contrairement aux ponts suspendus, de transmettre seulement des poussées verticales au terrain à travers le pylône.

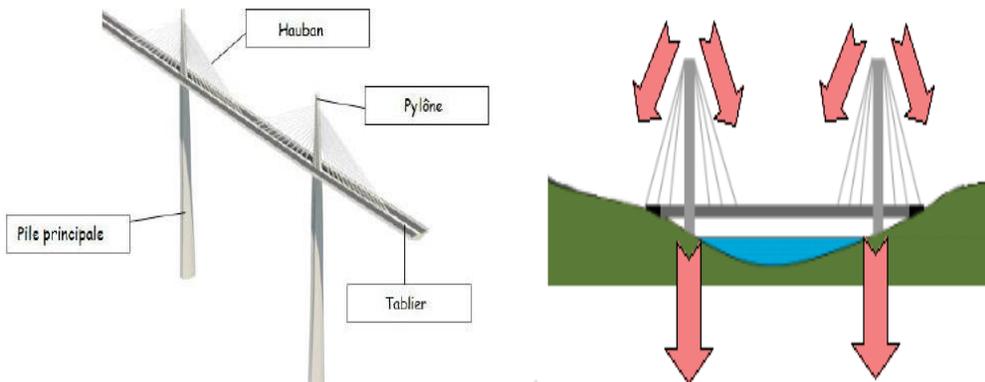


Figure I.8 : différentes parties d'un Pont à haubans. [8]

I.3.2.6 Pont à voûte

Ponts utilisant plusieurs arcs pour ramener les efforts en appui en suivant des lignes de **compression** pure. Ces ponts sont capables de transformer les charges verticales du tablier en forces obliques qui vont suivre la forme de l'arc, puis de les transférer vers le sol à l'aide de la pile. Ces forces vont se transmettre au terrain à travers les culées ou les piles et vont se décomposer en deux : une force verticale et une force horizontale qui aura tendance à écarter les culées. Généralement les ponts à voûtes sont en **pierre**, mais on en trouve **en acier et en béton**.

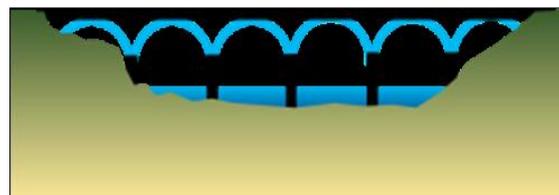


Figure I.9 : différentes parties d'un Pont à voûte. [9]

I.3.3 Les dalots et les buses

On définit par « petits ouvrages » les ouvrages constitués par les dalots et les buses, qui servent de passage aux écoulements des eaux de ruissellement ou d'assainissement et nous les différencions des « grands ouvrages » que sont les ponts.

a) Les dalots

Encore appelés ponceaux, ce sont de petits ponts qui servent à franchir un cours d'eau ou un fossé sur une voie. Ils sont en béton armé et présentent une section rectangulaire ou carré.

On distingue deux types :

- Les dalots ordinaires constitués de piédroits (voile) verticaux fondés sur semelle ou radier Général et sur lesquels repose une dalle en béton armé.
- Les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure Rigide en béton armé. Ce sont des ponts-cadres.
- Les dalots portiques analogues aux dalots cadres mais sans radier.

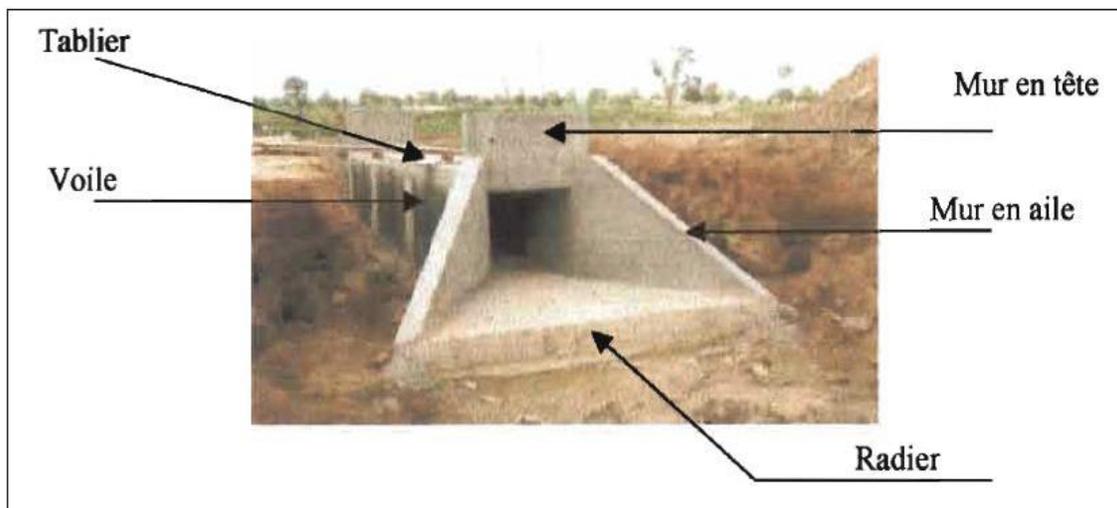


Figure I.10 : schéma d'un dalot cadre. [10]

b) Les buses

Les buses sont de petits ouvrages en béton ou en métal sous chaussées qui servent à franchir un ruisseau ou à assurer l'écoulement d'un fluide. Elles sont généralement de section circulaire mais parfois en forme d'arches, beaucoup plus aplaties.



Figure I.11 : buse en béton. [11]

I.3.4 Les Passerelles

Une passerelle est un ouvrage réservé aux piétons ou servant à soutenir des canalisations, ou, exceptionnellement, destiné à faire passer le gibier entre deux parties d'une forêt.

on distingue parmi les passerelles piétonnes deux types de structures les plus utilisées:

- Tablier à dalle supérieure à poutres sous chaussée,
- Tablier à dalle inférieure à poutres latérales.

a) Les passerelles à dalle supérieure à poutres sous chaussée

Ces structures sont en général composées de deux poutres en béton armé, préfabriquées précontraintes par pré-tension ou en acier, associées à une dalle en béton armé coulée en place ou constituée d'éléments préfabriqués.

b) Les passerelles à dalle inférieure à poutres latérales

La structure a la forme d'un U (ou d'un cadre inversé). Les poutres latérales en béton ou en Acier servent aussi de garde-corps. La dalle inférieure est en béton armé coulée en place ou Constituée d'éléments préfabriqués.



Figure I.12 : Passerelle en arc [11]

I.4 Les équipements des ponts

Les équipements des ponts désignent un ensemble de dispositifs très divers qui complètent De La structure et qui permettent d'assurer en particulier :

- Le fonctionnement de la structure : appareils d'appui et joints de chaussées ;
- La pérennité de la structure : étanchéité de l'ouvrage, corniches, perrés et évacuation eaux
- La sécurité des usagers (piétons et véhicules) : dispositifs de retenue
- Le confort des usagers et/ou des riverains : joints de chaussées, dalles de transition, Écrans
- L'entretien et l'accessibilité des ouvrages : escaliers sur les perrés, échelles, portes ect

I.4.1- Étanchéité

Le système d'étanchéité des tabliers a pour objectif de protéger la structure béton des diverses agressions générées par les eaux pluviales (contenant des produits agressifs : sels de dévier glaçage) circulant sur l'ouvrage et des cycles éventuels de gel-dégel. Il permet d'éviter la pénétration d'agents chimiques agressifs et la corrosion des armatures du béton du tablier et donc de garantir la durée du service de l'ouvrage.

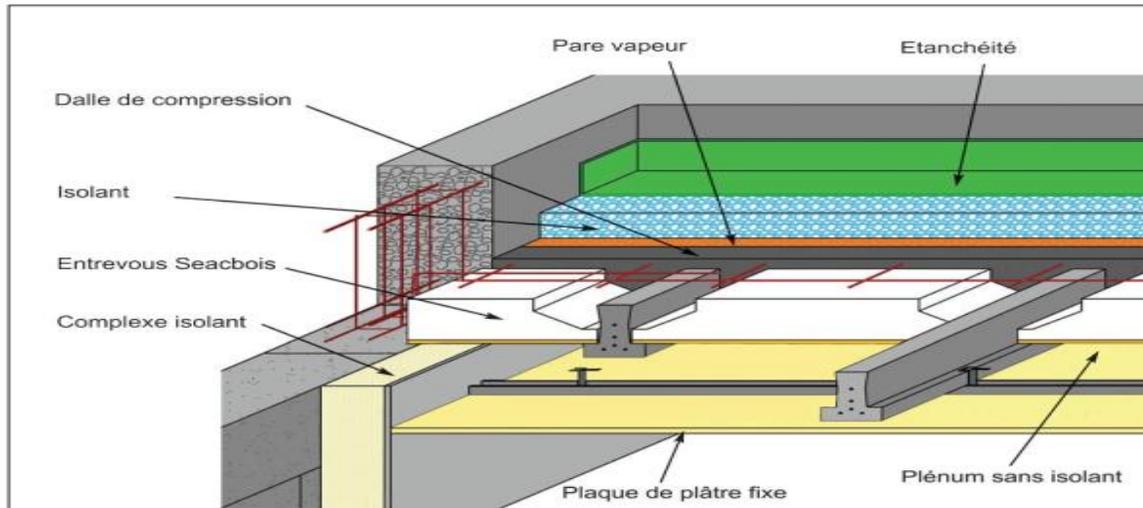


Figure I.13 : d'étanchéité des tabliers [11]

I.4.2 - Couches de roulement :

Les couches de roulement mises en œuvre sur les tabliers d'ouvrages d'art routiers ou autoroutiers sont similaires, surtout dans le cas des ouvrages d'art courants, à celles utilisées sur chaussées courantes. Elles doivent offrir un bon uni, des caractéristiques antidérapantes adaptées et présenter une adhérence pérenne avec le système d'étanchéité. Leur épaisseur est de l'ordre de 7 à 12 cm, en fonction des formulations et du trafic.

I.4.3 - Joints de chaussées :

Les joints de chaussées permettent d'assurer la transition entre le tablier et les chaussées Adjacentes à l'ouvrage ou entre deux ouvrages discontinus, en remplissant les conditions Suivantes :

- Assurer la liberté de mouvement du pont ;
- Donner une continuité de la surface de roulement ;
- Ne pas être une source de bruit et de vibration ;
- avoir une bonne étanchéité ou une bonne évacuation des eaux.

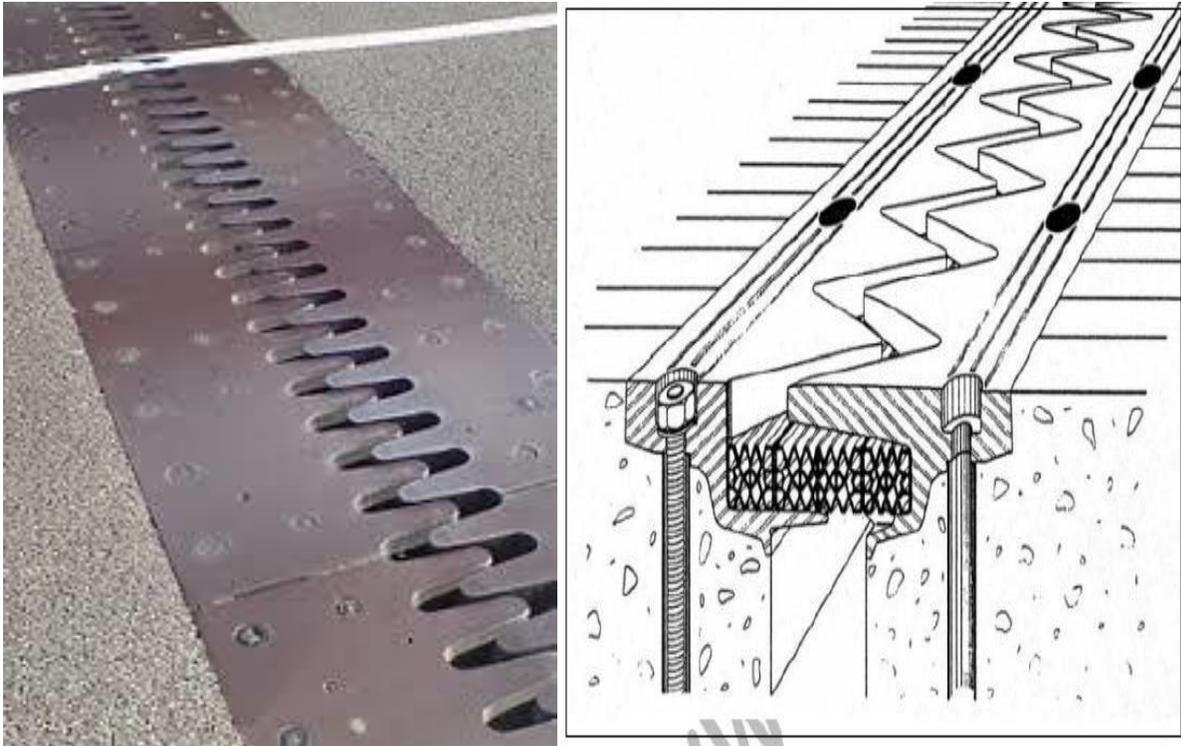


Figure I.14 : exemple joint de chausse [11]

I.4.4 -Dispositifs de retenue

Les ponts sont équipés de dispositifs de retenue qui Permettent d'assurer la sécurité des piétons, des usagers et des véhicules circulant sur L'ouvrage. Ces dispositifs peuvent être :

- Des **garde-corps** pour les piétons,
- Des **barrières de niveau N** (parfois dénommés glissières) pour les véhicules légers,
- Des **barrières de niveau H** pour les cars et les poids lourds. [15]



Figure I.15: exemple joint de chausse [11]

I.4.5 -Corniches

Les corniches sont des éléments qui équipent les bords latéraux d'un pontet dont le rôle principal est d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage :

- Jouant sur des effets de forme, de proportion, de couleur ;
- Éloignant l'eau des parements verticaux ;
- Rattrapant les irrégularités de la structure. [16]

I.4.6 Appareils d'appui

Les appareils d'appui sont des éléments de structure qui assurent la liaison entre le tablier et les appuis (piles et culées) et ils ont pour fonction de transmettre les efforts entre un élément et son support tout en autorisant certains degrés de liberté.

On distingue trois types d'appareils d'appui :

a) - fixes :

Ils permettent les rotations sur appui autour d'au moins un axe, mais ne permettent pas les déplacements ;

b) - mobiles unidirectionnels :

Ils permettent les rotations sur appui et les déplacements dans une seule direction déterminée.

c)- mobiles multidirectionnels :

Ils permettent les rotations sur appui et les déplacements dans toutes les directions dans un plan. Les appareils d'appui les plus utilisés sur les ponts courants sont les appareils en élastomère fretté. Ils sont constitués d'un empilage de feuillets d'élastomère (néoprène d'épaisseur de 8 à 16 mm) associés par vulcanisation à des frettes en acier doux. Ce système de frettage leur permet de résister à des taux de compression très élevés

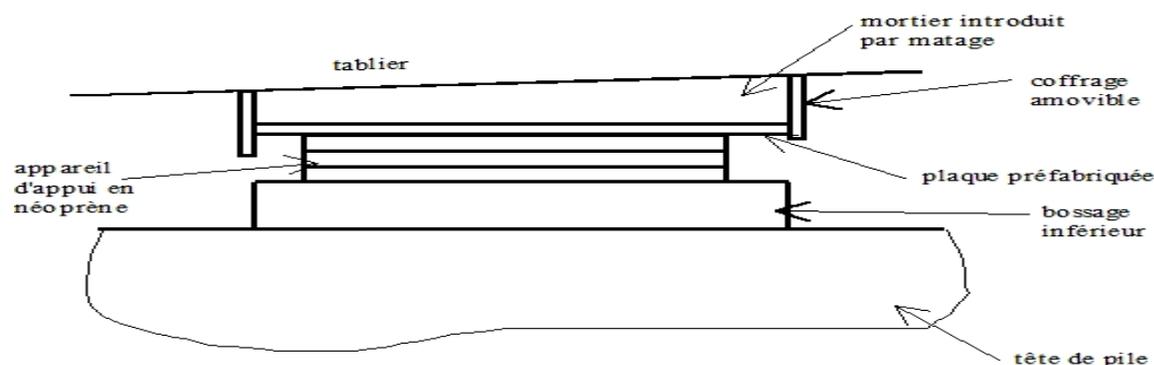


Figure I.16 : exemple Appareils d'appui [11]

I.4.7- Dispositifs d'évacuation des eaux

Ces dispositifs sont destinés à assurer l'écoulement et l'évacuation des eaux pluviales sur le tablier. Ils permettent une protection du tablier contre les infiltrations dans la couche de Roulement et une évacuation rapide de l'eau sur le tablier, afin d'éviter tout risque D'inondation de la chaussée. [16]



Figure I.17 : exemple Dispositifs d'évacuation des eaux [12]

I.5 LES STRUCTURES DES PONTS DEPENDENTDE LEUR PORTEE (Distance entre deux appuis) :

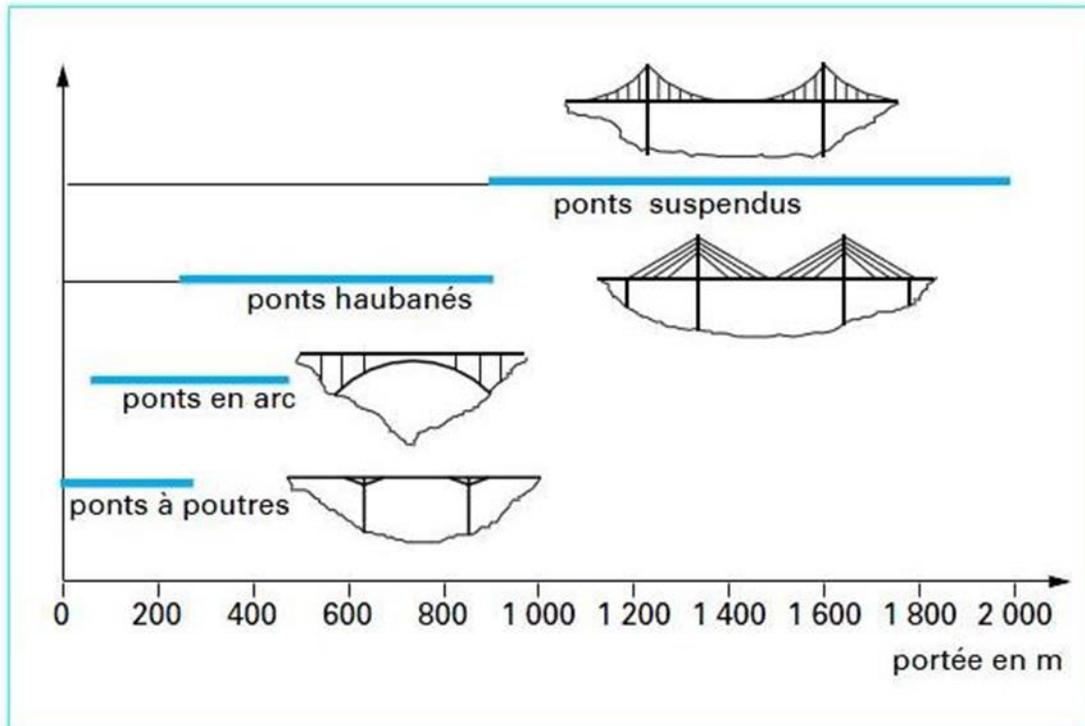


Figure I.18 : les grands systèmes de pont en fonction de la portée

I.6 Etapes démarche de conception pont :

Cette démarche du concepteur comprend, de façon générale, trois étapes :

- Le recueil des données fonctionnelles et naturelles relatives à l'ouvrage et à l'obstacle franchi
- Le choix d'une structure répondant aux exigences techniques, esthétiques et économiques
- L'étude de détail de la solution retenue. [12]

I.6.1 Recueil des données de l'ouvrage

L'étude d'un pont ne peut être entreprise que lorsque l'on dispose de l'ensemble des données du franchissement. Les informations indispensables pour engager cette étude dans de bonnes conditions sont détaillées comme suit.

I.6.1.1 Implantation et caractéristiques d'ensemble de l'ouvrage :

a) -L'implantation d'un ouvrage d'art :

Est souvent fixée par le projet routier qui l'englobe, Mais rarement de manière impérative. Si le tracé ne comprend pas d'ouvrage exceptionnel, le poids financier des ponts est, en principe, faible devant celui des terrassements. Par contre, s'il s'agit de franchir une grande brèche ou un

fleuve, l'implantation du pont ou du viaduc doit être examinée avec soin. Une bonne collaboration doit s'instaurer entre le spécialiste de la route et celui des ouvrages d'art.

b) -Les caractéristiques géométriques :

Doivent être déterminées avec soin. Elles dépendent essentiellement de la nature de la voie portée, mais peuvent être légèrement modifiées afin de simplifier le projet du pont, améliorer son fonctionnement mécanique ou offrir une plus grande liberté dans le choix du type d'ouvrage. [12]

I.6.1.2 Recueil de données naturelles :

La visite des lieux par l'ingénieur est une étape essentielle du projet. Les principaux Renseignements à recueillir sur place sont évoqués ci-après.

a) Topographie :

Il convient de disposer d'un relevé topographique et d'une vue en plan du site indiquant les Possibilités d'accès, ainsi que les aires disponibles pour les installations du chantier, les Stockages.

b) Hydrologie :

Dans le cas du franchissement d'un cours d'eau, il est indispensable d'en connaître le régime : fréquence et importance des crues, débit solide, charriage éventuel de corps flottants susceptibles de heurter les piles. Mis à part les chocs, le plus grand danger réside dans les affouillements. Il convient d'évaluer la hauteur d'affouillement potentielle au voisinage des Appuis et de limiter autant que possible le nombre des appuis en site aquatique.

c) Données géotechniques :

Ces données, qui concernent la nature du sol et du sous-sol, sans oublier la connaissance du Niveau de la nappe phréatique, sont très importantes. Leur recueil constitue une étape décisive Pour le choix du type de fondations. Une étude insuffisante peut entraîner des modifications Du projet ou des renforcements de la structure déjà exécutée très onéreux si le sous-sol est de Nature différente de celle attendue. Les essais géotechniques sont en général assez coûteux et le projecteur doit organiser la reconnaissance en fonction de la taille et de l'importance de l'ouvrage.

d) Actions naturelles susceptibles de solliciter un pont :

Outre l'action d'un cours d'eau mentionnée plus haut, les autres actions naturelles Susceptibles de solliciter un pont est des actions directes comme celles du vent, dont la force Peut être accrue dans le cas d'une vallée encaissée, de la neige et de la glace, des séismes, de

La houle dans le cas du franchissement d'un estuaire ou d'un bras de mer, et des actions Indirectes comme celles des embruns et, de façon générale, les actions physico-chimiques du Milieu environnant. [12]

I.6.1.3 Données fonctionnelles :

Afin de ne rien omettre, il convient de dresser à l'avance la liste des données indispensables Pour entreprendre l'étude ; cette liste comprend

- Le tracé en plan,
- Le profil en travers, tenant compte éventuellement d'élargissements ultérieurs,
- Le profil en long,
- Les charges d'exploitation, normales et exceptionnelles,
- Les hauteurs libres et ouvertures à réserver (route, voie ferrée, voie navigable),
- La qualité architecturale,
- Les sujétions de construction, qui peuvent être de nature très variée (délais de construction, Coût relatif de la main d'œuvre et des matériaux, disponibilité des granulats et du ciment, etc.).

I.6.2 Choix du type d'ouvrage

Après avoir recueilli l'ensemble des données relatives à l'ouvrage, le projeteur recherche les solutions techniquement envisageables en évaluant leur coût et leur aspect architectural.

Pour aboutir au meilleur choix, à la fois sur les plans technique, économique et esthétique, il doit bien connaître l'éventail des solutions possibles, avec leurs sujétions, leurs limites et leur Coût. [12]

I.7 Conclusion

Après avoir introduit notre ouvrage et ses éléments de base on s'est intéressé à La construction des différents types des ponts différentes contraintes liées au pont et vu l'influence majeure de ces dernières, on a déterminé les différentes techniques et matériaux utilisé a la réalisation des ponts, ainsi la démarche de conception de ces derniers. On est arrivé à conclure que notre pont peut être réalisé sous forme de pont à poutres en béton armé.

CHAPITRE II

Systeme de controle de la réponse sismique des ponts

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre ont présenté les différents types de systèmes de contrôle sismique. Les systèmes de protection sismique actuellement utilisés vont des dispositifs de contrôle passif relativement simple aux systèmes complètement actifs. Les systèmes passifs sont, peut-être, les plus connus et ils incluent les systèmes d'isolation sismique et les systèmes mécaniques de dissipation d'énergie.

Le système de protection sismique peut être classé en deux catégories comme le montre la figure (II.1).

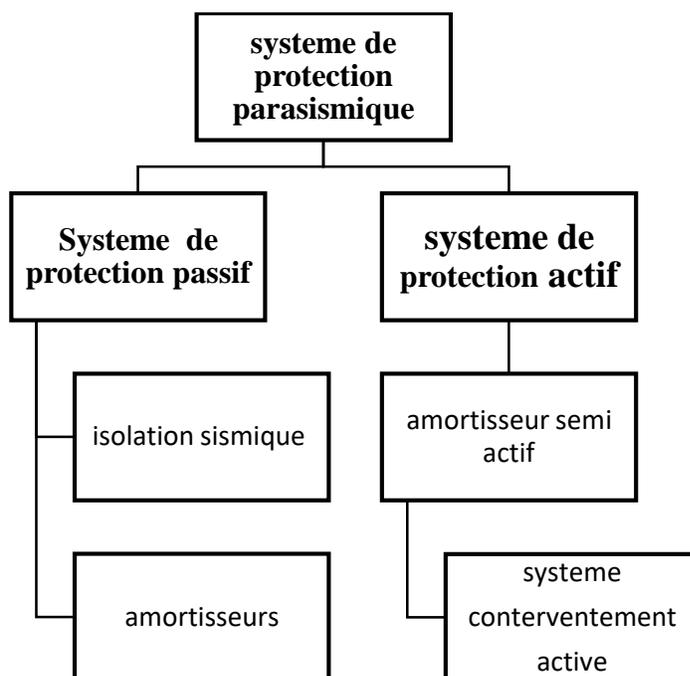


Figure II.1. Les catégories des systèmes de protection sismique mondiale [3]

II.2. Principe de l'isolation sismique

Les isolateurs sismiques sont des systèmes qui découplent la structure des mouvements du sol et/ou de ses appuis en augmentant la flexibilité de la structure, en d'autres termes en allongeant sa période fondamentale de vibration, tout en fournissant un amortissement appropriât.

Puisque les dommages induits à une structure par l'effet des tremblements de terre sont essentiellement dus à la concordance entre la période naturelle de vibration d'une structure et la période dominante de la secousse sismique, l'allongement de la période de vibration de la structure

permet, pour un séisme qui produit des accélérations maximales à de hautes fréquences (caractéristique propre aux séismes de l'est canadien), de réduire considérablement l'amplitude des accélérations, et par conséquent des forces qui lui sont transmises.

II.3. Caractéristiques générales des structures isolées

Un pont est généralement isolé immédiatement au-dessous de la superstructure et le but de l'isolement est de protéger les appuis (piles et culées) en réduisant les charges d'inertie transmises par le tablier.

II.3.1. Paramètres des systèmes isolés à comportement linéaire et bilinéaire

On suppose que l'isolateur se situe en tête de pile et qu'il ne contribue pas à des mouvements de bascule. On se place dans le cadre d'une analyse monomodale, où l'on considère que les déplacements critiques se produisent lors du premier mode des vibrations. Le déplacement total du pont est une combinaison du déplacement de la sous-structure et de l'isolateur. Les déplacements respectifs de chaque élément sont fonction de la rigidité relative.

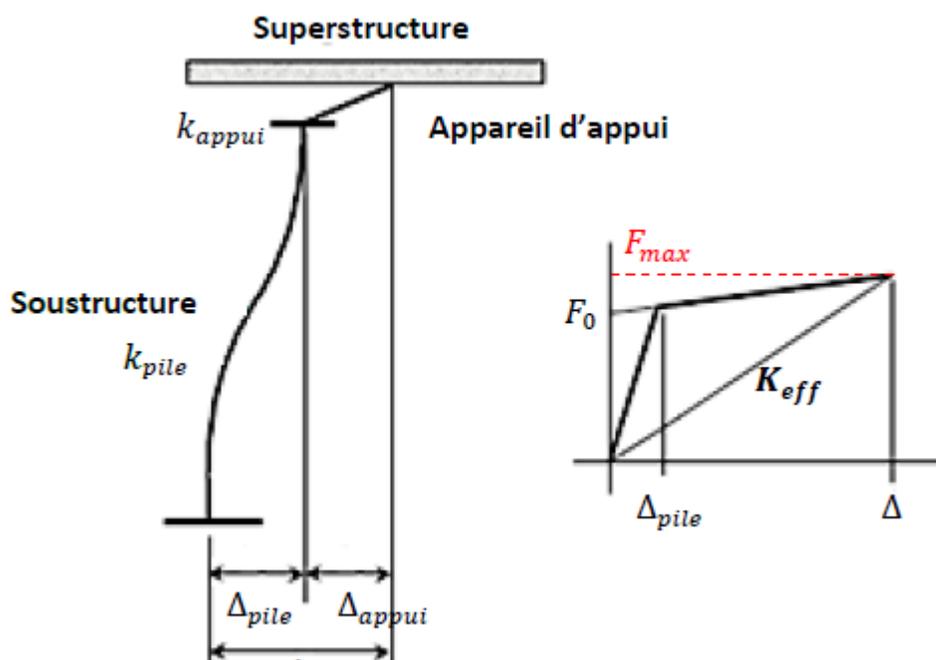


Figure II.2 Concept d'isolement des ponts et loi de comportement du système bilinéaire [14]

- Pour calculer la rigidité effective du système, on considère que la raideur de la pile et de l'isolateur fonctionne en série. On a alors :

$$K_{eff} = \frac{k_{pile} \times k_{appui}}{k_{pile} + k_{appui}}$$

- L'amortissement du système est :

$$\xi_{eff} = \frac{1}{2\pi} \times \frac{\sum E_D}{K_{eff} \times \Delta^2}$$

Avec :

- E_D est l'énergie dissipée de chaque unité d'isolation
- Δ est la traduction du déplacement fixé ou maximal

- La rigidité équivalente du système bilinéaire est alors définie comme :

$$K_{eff} = \frac{F_{max}}{\Delta}$$

- En se basant sur la loi de comportement bilinéaire d'un dispositif isolateur, on en tire les équations suivantes :

$$F_0 = (K_{eff} \times \Delta) - (k_{appui} \times \Delta)$$

$$\xi_{eff} = \frac{2 \times F_0}{\pi \times \Delta} \times \frac{\left(\Delta + \frac{F_0}{k_{appui} - k_{pile}} \right)}{(F_0 + k_{appui} \times \Delta)}$$

II.3.2 Méthodologie de classification des systèmes d'isolation

Le tableau ci dessus dévoilent les effets des différents paramètres qu'on retrouve au sein d'un système d'isolation. En particulier, les effets de l'amortissement de base, facteur de non linéarité et le facteur d'isolation élastique.

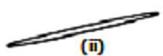
LOI DE COMPORTEMENT (Force cisaillement/ Déplacement)	NON ISOLE	ISOLE			
	Elastique (i)	Linéaire		Bilinéaire	
					
Description	Structure à comportement élastique non isolée	Isolation linéaire avec faible amortissement "visqueux"	Isolation linéaire avec haut amortissement "visqueux"	Isolation non linéaire avec capacité élastique	Grande isolation non linéaire
Déformation de la structure	Importante	Faible	Faible	Faible	Faible
Déplacement de l'isolateur		Important	Modéré	Faible	Faible
Accélération de la structure	Important	Faible	Faible	Faible	Modéré
Cisaillement des appuis	Important	Modéré	Modéré / Faible	Faible	Faible
Avantages		Accélération sont contrôlées Bonne filtration des périodes courtes pour éviter l'apparition de forces sismiques trop grandes		Faibles forces sismiques et petit déplacement de l'isolateur	Contrôle totale sur la période de vibration
Désavantages		Grand déplacement Besoin d'un amortissement	Déplacement modéré Stabilité du dispositif	Procédés de fabrication plus complexes	Grand déplacement Charges verticales
Exemples		Appareil élastomère fretté + Amortisseur extérieur	Appareil élastomère fretté avec haut capacité d'amortissement	Appareil élastomère avec coeur de plomb	Appareil glissant / friction

Figure II.3 : Tableau de classification des principaux systèmes d'isolation []

II.4.1 systèmes de contrôle active

Un contrôle passif est fondamentalement conçu pour réduire seulement un mode de vibration particulier de la structure. En revanche, un contrôle actif peut amortir une large bande de fréquence.

L'étude du contrôle actif des structures est une extension logique de technologie de contrôle passif. Un système de contrôle est actif si un ou plusieurs actionneurs appliquent des forces sur une structure en utilisant une source d'énergie externe. Ces forces peuvent être utilisées pour ajouter ou dissiper l'énergie de la structure à contrôler. Afin de construire un tel système, il existe deux approches qui sont radicalement différentes :

La première consiste à identifier la perturbation qui crée les vibrations pour l'annuler en lui superposant une excitation inverse. Cette stratégie de contrôle actif est appelée contrôle par anticipation (feedforward).

La deuxième consiste à identifier la réponse de la structure plutôt que l'excitation qui la fait vibrer. Elle nécessite, donc, la modélisation du comportement dynamique de la structure. Le travail de contrôle des vibrations qui porte sur ce type de stratégie est appelé contrôle par boucle de rétroaction (feedback).

Un système de contrôle actif des structures a la configuration de base comme indiquée dans la figure suivante :

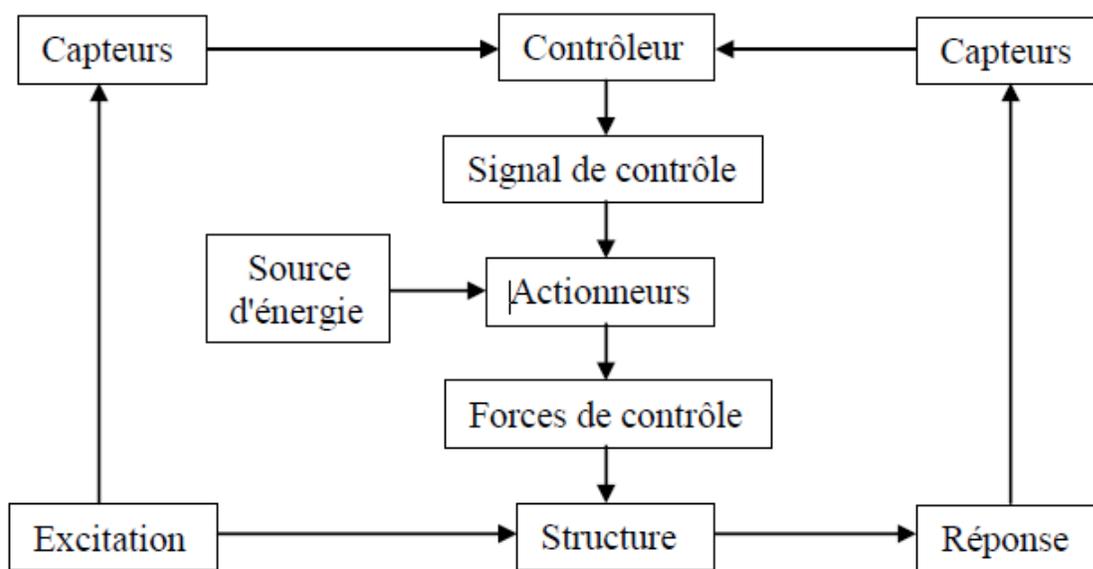


Figure II.4 : Le diagramme de système de contrôle actif

Dans notre cas on a intéressé c'est le système passif

II.4.2. Les systèmes de contrôle passif

Le comportement des dispositifs d'isolation permet, certes, de diminuer les sollicitations sismiques reprises par la structure, mais crée un déplacement résiduel assez important. C'est pourquoi il s'avère intéressant d'y incorporer un mécanisme de recentrage automatique. Dans l'éventualité où le système de recentrage s'avérerait trop complexe à mettre en place (ce qui est souvent le cas), il est tout de même plus facile de réparer une structure isolée, dont les déformations

sont concentrées dans les isolateurs, qu'une structure conventionnelle dont les éléments structuraux seraient déformés dans leur domaine plastique.

L'énergie sismique peut être dissipée de trois façons : les appareils à haut amortissement, la friction ou la déformation hystérétique des matériaux. Les auteurs précisent que la forme d'amortissement la plus populaire est celle basée sur la déformation hystérétique du plomb, car c'est la forme la plus fiable et c'est le concept le mieux maîtrisé par les ingénieurs.

Aussi, les différents systèmes d'isolation utilisés sur les ponts peuvent être classés en trois catégories :

1. Les appareils en élastomère

2. Les appareils à pot

3. Les systèmes glissants basés sur la friction

II.4.3. Les appareils d'appui en élastomère

Il existe trois types d'isolateurs en élastomère :

- L'élastomère fretté ;
- L'élastomère fretté avec noyau de plomb ;
- L'élastomère fretté à amortissement élevé.

II.4.3.1 L'élastomère fretté

Un appareil d'appui en élastomère fretté est un bloc d'élastomère vulcanisé renforcé intérieurement par une ou plusieurs frettes en acier, collées chimiquement par adhésion pendant la vulcanisation. L'élastomère est un matériau macromoléculaire qui reprend approximativement sa forme et ses dimensions initiales après avoir subi une importante déformation sous l'effet d'une faible variation de contrainte.

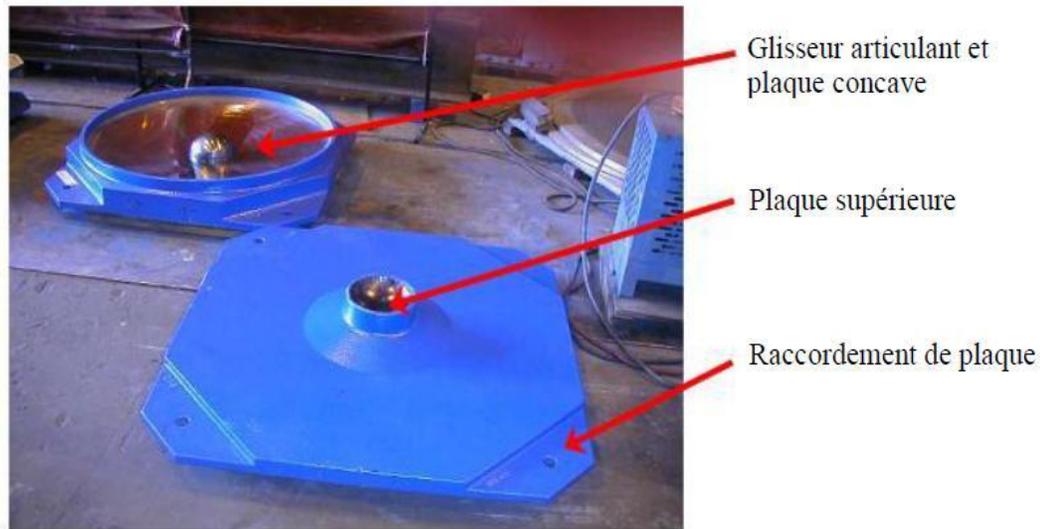


Figure II.5 : Constitution type d'un appareil en élastomère fretté [17]

II.4.3.2. L'isolateur avec noyau à plomb (LRB)

La deuxième catégorie d'appui élastomère est le LRB. Ce système regroupe la capacité de reprise de charges verticales, de flexibilité horizontale, et d'amortissement en une seule unité. C'est donc un appui élastomère fretté standard où l'on y ajoute un noyau de plomb central pour fournir un moyen supplémentaire de dissipation d'énergie

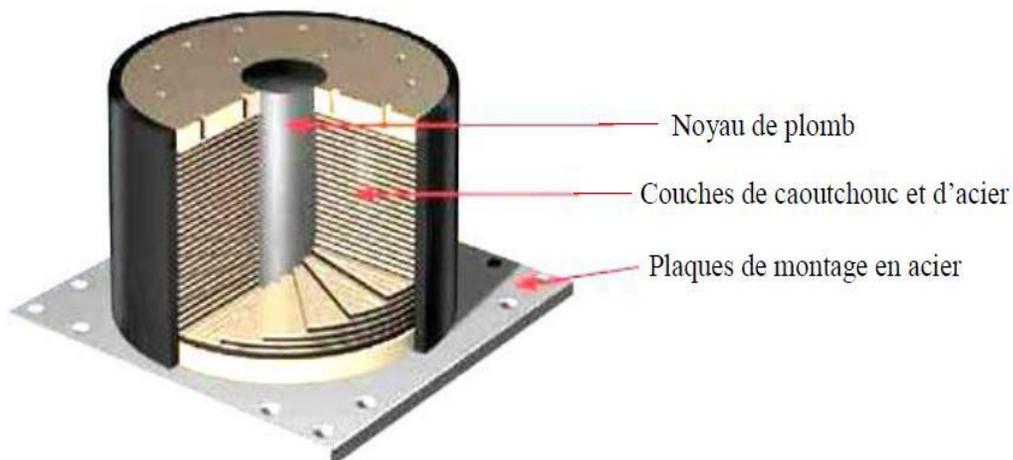


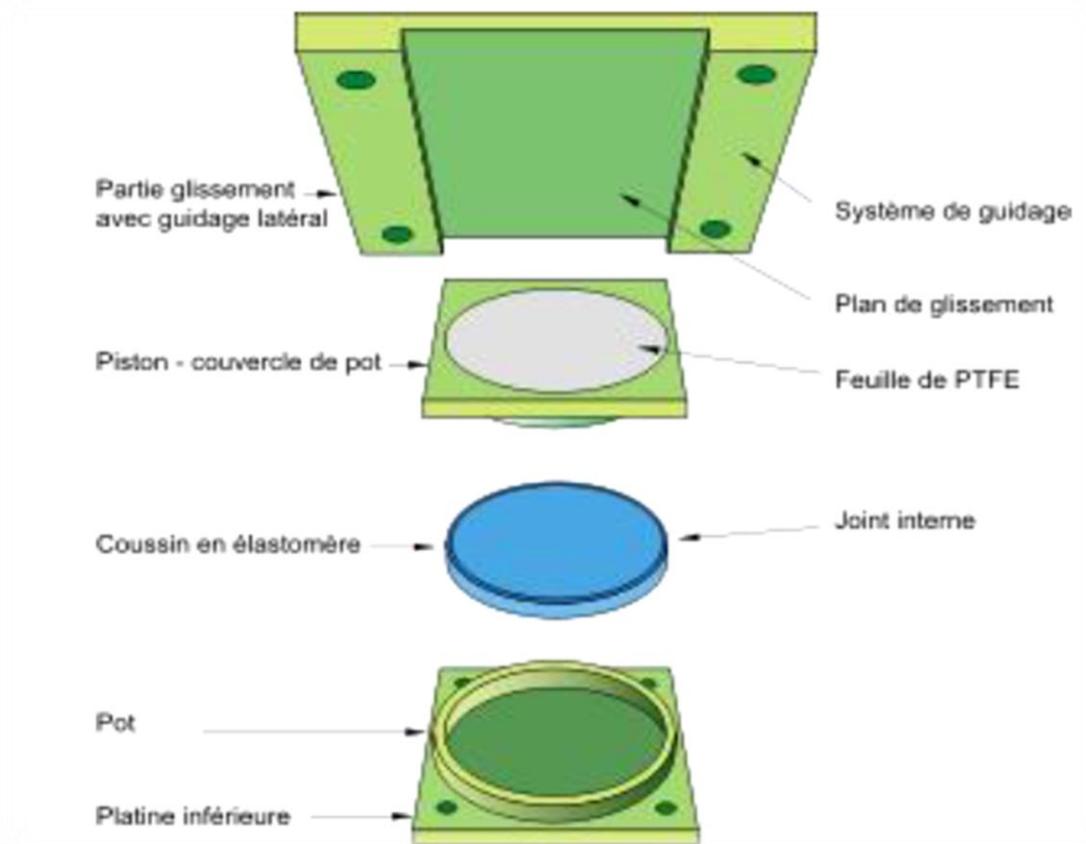
Figure II.6: Schéma d'un appui élastomère fretté à cœur de plomb

II.4.3.3. L'isolateur à amortissement élevé (HDR) :

Ces appareils ont à la fois la capacité d'augmenter la période naturelle de la structure et de dissiper l'énergie de manière relativement importante afin de limiter le déplacement. Ces appareils peuvent donc résister à des déformations en cisaillement très grandes, beaucoup plus élevées que les élastomères normaux. Cependant, par leur propriété de fort amortissement, ces dispositifs sont relativement volumineux et difficiles à installer.

II.4.4. Les appareils d'appui à pot

Ce sont des appareils en élastomère confiné. Ils ont une grande capacité de mouvement une ou deux directions horizontales avec un faible coefficient de frottement et sans effort de rappel élastique. Il possède aussi une grande capacité de rotation avec une très haute résistance aux charges dynamiques. Il existe trois types d'appareils à pot : libre, guidé et fixe.[19]



Figure

II.7 : Schématisation des composantes de l'appareil d'appui à pot [19]

II.4.5. L'appareil glissant à surface plane :

Les systèmes à surface horizontale isolent le tablier des mouvements sismiques en lui permettant de glisser sur ses appuis grâce à une interface à faible résistance en friction. Le glissement intervient lorsque la force sismique dépasse la résistance maximale développée par le frottement. Une petite quantité d'énergie sismique est donc dissipée sous forme de chaleur par le phénomène de frottement. La conception du mécanisme de glissement se fait à l'aide d'une plaque en acier inoxydable reposant sur une face de l'appareil d'appui, sur laquelle est adhérisée une feuille de polytétrafluoroéthylène (PTFE).

II.4.5.1L'appareil glissant pendulaire (FPS)

Le concept de glissement peut être également obtenu avec le concept d'appui pendulaire. Comme pour le système à surface plane, le FPS agit uniquement lorsque la force sismique dépasse la valeur de frottement statique. Néanmoins pour ce type d'appareil, on néglige le frottement de manière à obtenir une équation de mouvement similaire à celle d'un pendule.

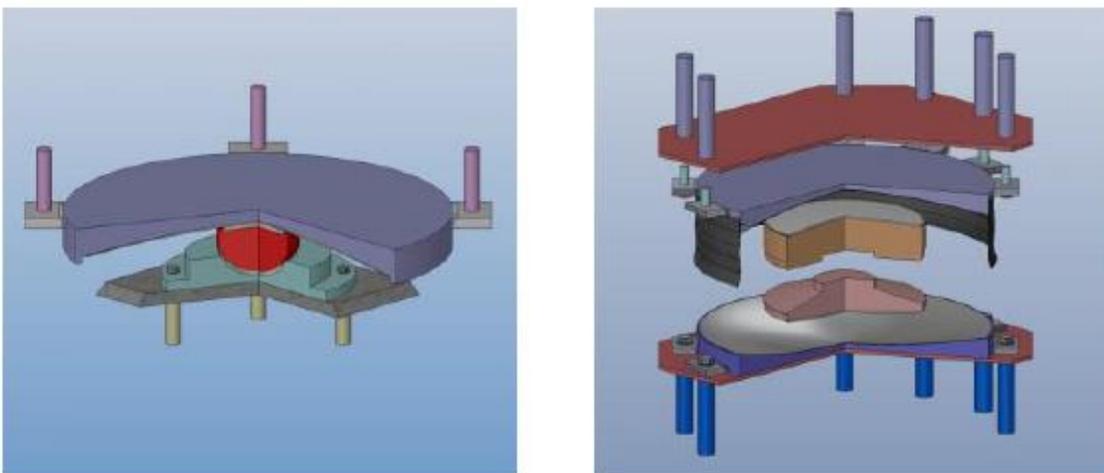


Figure II.8:Schématization d'un système pendulaire à une ou deux surfaces de glissement [21]

Pour distinguer chaque type de dispositif isolateur, on a répertorié leurs caractéristiques. Connaissant les propriétés spécifiques de chaque appareil, on est capable de cibler la solution qui correspond au mieux au projet sismique en question.

Tableau II.1: avantages et les inconvénients de chaque type isolation parasismique distingué [20]

Type	Avantages	Inconvénients
Elastomère	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accélération sismique Maitrisées ✓ Petit cout 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grand déplacement ✓ Faible amortissement
Elastomère à haut amortissement	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accélération sismique Maitrisées ✓ Amortissement modéré ✓ Bonne résistance charges verticale 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Analyse complexe pour assurer la stabilité des appuis ✓ Limitation dans le choix des rigidité
Elastomère à cœur de plomb	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accélération sismique Maitrisées ✓ Bonne choix dans la rigidité ✓ Déplacement contrôlé 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Propriété mécanique plus difficile à maitriser

II.4.6.les connecteurs

Les connecteurs assurent une liaison rigide entre le tablier et les piles lors des déplacements rapides dus aux séismes. Ils favorisent la répartition des efforts sismiques horizontaux entre l'ensemble des éléments où ils sont disposés.

II.4.6.1Les Connecteurs Description

L'appareil est généralement constitué d'un cylindre rempli d'un fluide spécifique dans lequel se déplace une tige munie d'un piston. Une valve dotée de plusieurs orifices calibrés permet la communication des deux chambres internes séparées par le piston (point de régulation). L'appareil se présente sous la même forme suivante :

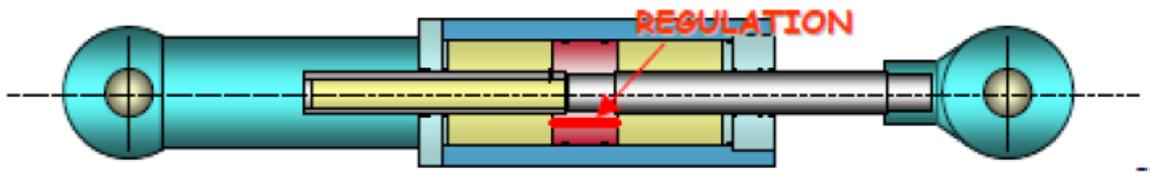


Figure II.9 : Schématisation d'un connecteur sismique [27]

II.5 Systèmes d'amortisseur parasismique

La dissipation d'énergie est une technique de protection sismique des structures ; elle est regroupée avec les techniques d'amortissements passifs, c'est-à-dire, les vibrations structurales dues à l'excitation sont amorties sans aucune intervention extérieure supplémentaire.

Les systèmes de dissipation d'énergie passive sont très efficaces dans le but de la réduction des pulsations et l'augmentation d'amortissement de la structure vibrante. La réalisation de cette technique se fait par l'ajout des matériaux ou des systèmes qui possèdent la capacité de dissiper l'énergie, soit par la transmission d'énergie cinétique en une énergie thermique, soit par la conversion d'énergie en un autre mode de vibration.

II.5.1 Amortisseur à frottement

Les amortisseurs à friction (frottement) comprennent une série de plaques fixées les unes aux autres par des boulons en acier à haute résistance et spécialement traitées pour produire un degré de friction maximale. Le principe de ces amortisseurs repose sur le phénomène de dissipation de l'énergie par friction.

Lors d'un tremblement de terre, il permet la déformation du bâtiment tout en la maîtrisant son système mécanique coulissant fait qu'il reste toujours porteur. Ces amortisseurs se révèlent être les plus efficaces et les plus durables, puisqu'ils reprennent leur position initiale sans dommages.



Figure II. 10 : Amortisseur à frottement à l'université de Concordia, Montréal [4].

II.5.2. Amortisseurs Visqueux

L'amortisseur visqueux est assimilable à un vérin hydraulique à double effet et à forte capacité de dissipation d'énergie il se constitue d'un cylindre creux rempli avec un fluide à base d'huile de silicone qui est forcé de s'écouler à travers de petits orifices [4]

Le fluide circule à des vitesses élevées, résultant du frottement entre les particules de fluide et la tête de piston.

Les forces de frottement donnent lieu à une dissipation d'énergie sous la forme de chaleur. Le fluide a généralement une viscosité relativement faible. Tout comme les connecteurs, les amortisseurs visqueux ont donc un comportement qui dépend de la vitesse de sollicitation. L'appareil se présente sous la forme suivante :

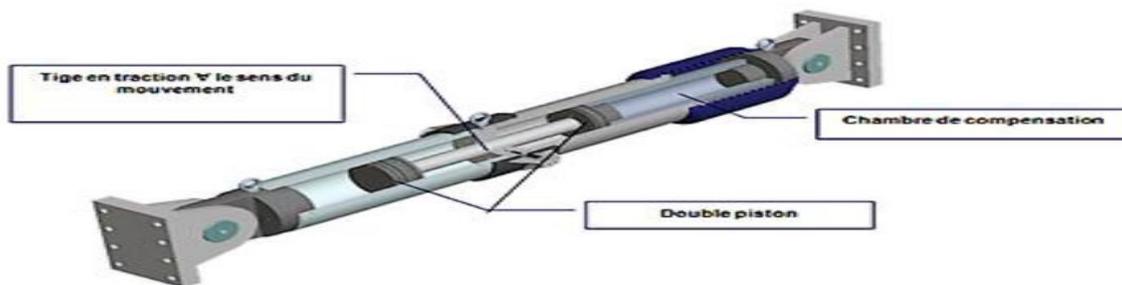


Figure II.11 : Schématisation d'un amortisseur hydraulique visqueux

NB : Sismicité élevée ou ouvrage à risque spécial

II.5.3 Amortisseurs Hystérétiques (élastoplastique)

Ils constituent un assemblage de pièces en acier doux ou bien en plomb soit des alliages malléables. Lorsque les fondations et la structure sont en mouvement, ces matériaux se déforment de manière à dissiper l'énergie sismique. Ces amortisseurs ne demandent pas d'entretien et sont faciles à remplacer. Ils se présentent, comme celle de fluide visqueux, sous forme de barreaux en acier, en plomb ou bien grâce à des poutres.

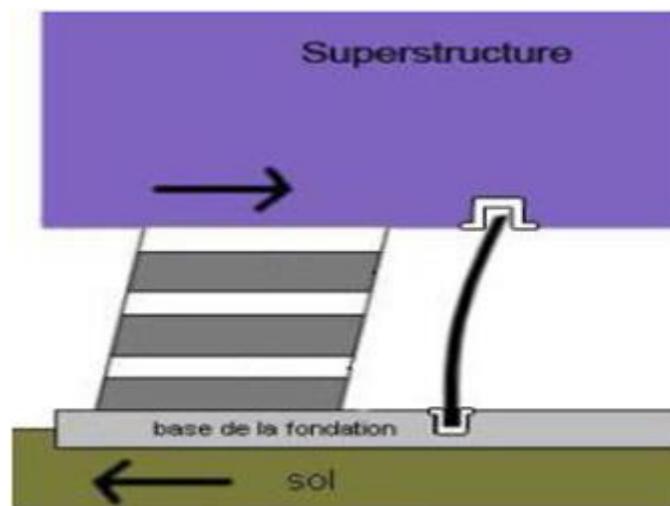


Figure II.12 : Amortisseur hystérétique

II.6. Propriétés mécaniques des isolateurs

Les propriétés mécaniques des isolateurs spécifiques, c'est à dire l'élastomère à cœur de plomb, l'élastomère à haut amortissement et l'appareil glissant pendulaire. Les propriétés de chaque dispositif sont perceptibles à travers leur loi de comportement.

II.6.1. Loi de comportement des élastomères à cœur de plomb

Le dispositif LRB engendre sous déplacements horizontaux une courbe d'hystérésis qui se caractérise par la combinaison d'un comportement élastique linéaire du matériau élastomère avec l'hystérésis élastoplastique d'un noyau de plomb en cisaillement.

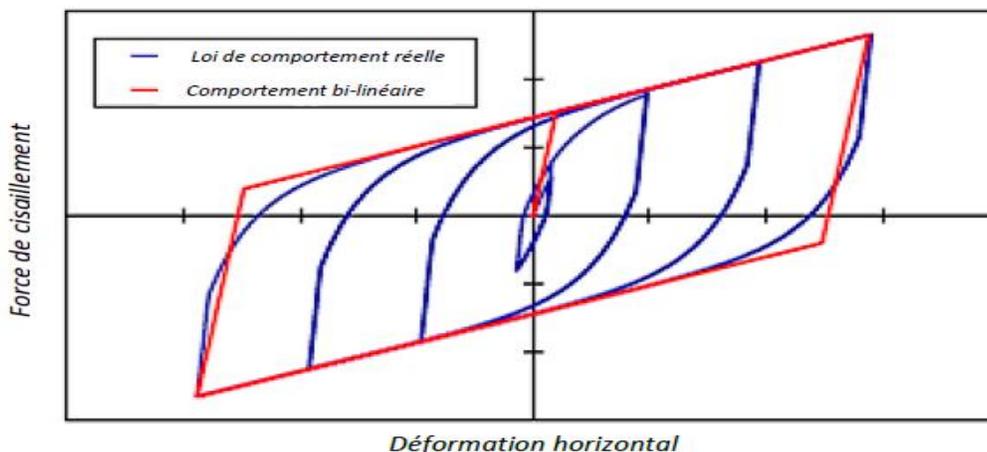


Figure II.13 : Loi de comportement d'un dispositif LRB [22]

II.6.2. Loi de comportement de l'élastomère à haut amortissement

Les appareils d'appui à amortissement élevé sont réalisés avec un composant élastomérique spécifique qui arrive à fournir un amortissement compris entre 10% à 20%. Ces propriétés sont fonction de la technique de vulcanisation du caoutchouc et du processus de durcissement. La loi de comportement du dispositif montre la formation de grandes boucles d'hystérésis qui caractérise bien la bonne capacité de dissipation d'énergie.

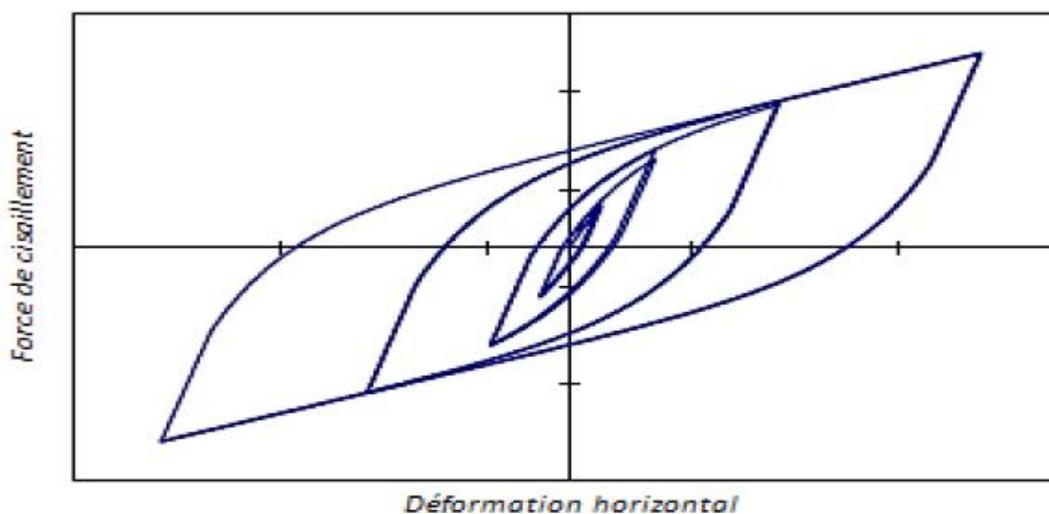


Figure II.14 : Loi de comportement du HDR [23]

II.6.3 Loi de comportement de l'appareil pendulaire

Le système pendulaire permet de réduire les actions sismiques horizontales en augmentant de la flexibilité latérale entre la pile et le tablier. Sa loi de comportement se définit par la force de frottement et la force de rappel créée par sa forme concave. Elle s'apparente à un modèle bilinéaire

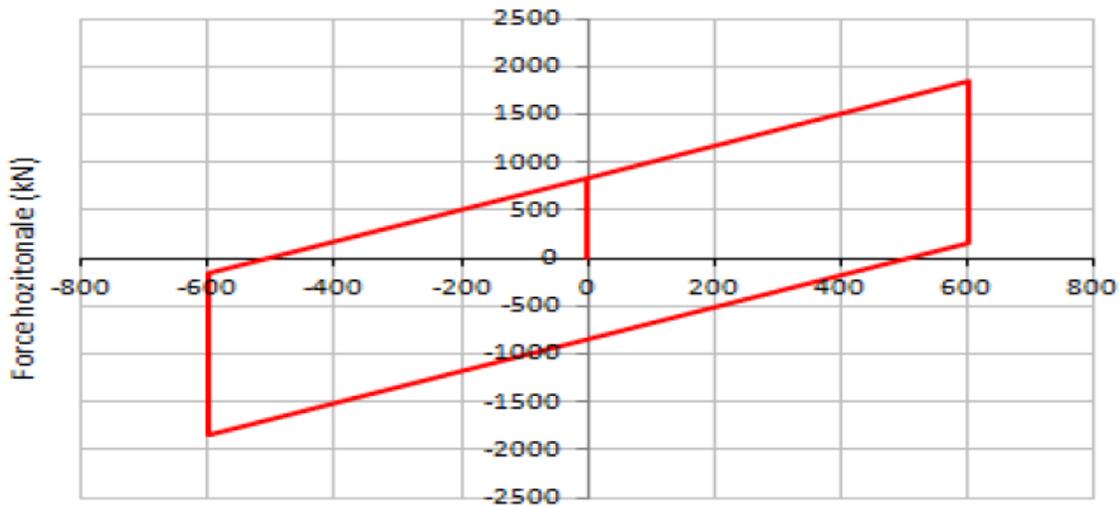


Figure II.15 : Loi de comportement du dispositif pendulaire [21]

II.7. Méthodologie de pré dimensionnement des isolateurs sismique

Les propriétés de calcul des isolateurs dépendent de leur comportement, qui peut être un comportement ou une combinaison des comportements décrits dans les annexes des RPOA.

1. La condition de glissement sur une surface concave se produit uniquement

Lorsque la force latérale est supérieure à la force caractéristique de glissement. On enregistre alors un mouvement initial qui implique des petits déplacements latéraux. On parle de raideur élastique égale à :

$$K_e = \frac{F_f}{d_{initial}} \approx 50 \text{ à } 100 \times K_p$$

Avec :

$$F_f = \frac{\mu_1 \times (R_1 - h_1) \cdot V + \mu_2 \times (R_2 - h_2) \cdot V}{(R_1 + R_2) - (h_1 + h_2)}$$

2. Lorsque le mouvement de glissement s'engage simultanément sur les deux surfaces, on :

$$K_p = \frac{V}{R_{eff}} = \frac{V}{(R_1 + R_2) - (h_1 + h_2)}$$

3. Evaluation de la raideur équivalente :

$$K_{eff} = K_e + K_p$$

4. Calcul de la période de l'isolateur et de la période équivalente :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} ; T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}}$$

$$\zeta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \left[\frac{\mu_s}{\mu_s + \frac{u}{R}} \right]$$

5. Appréciation du taux d'amortissement équivalent :

$$u = u_1 + u_2 = \left(\frac{F - F_f}{V} \right) \cdot (R_{eff} - h_T) ; \mu_s = \frac{\mu_1 \times (R_1 - h_1) + \mu_2 \times (R_2 - h_2)}{R_1 + R_2 - h_1 - h_2}$$

Avec :

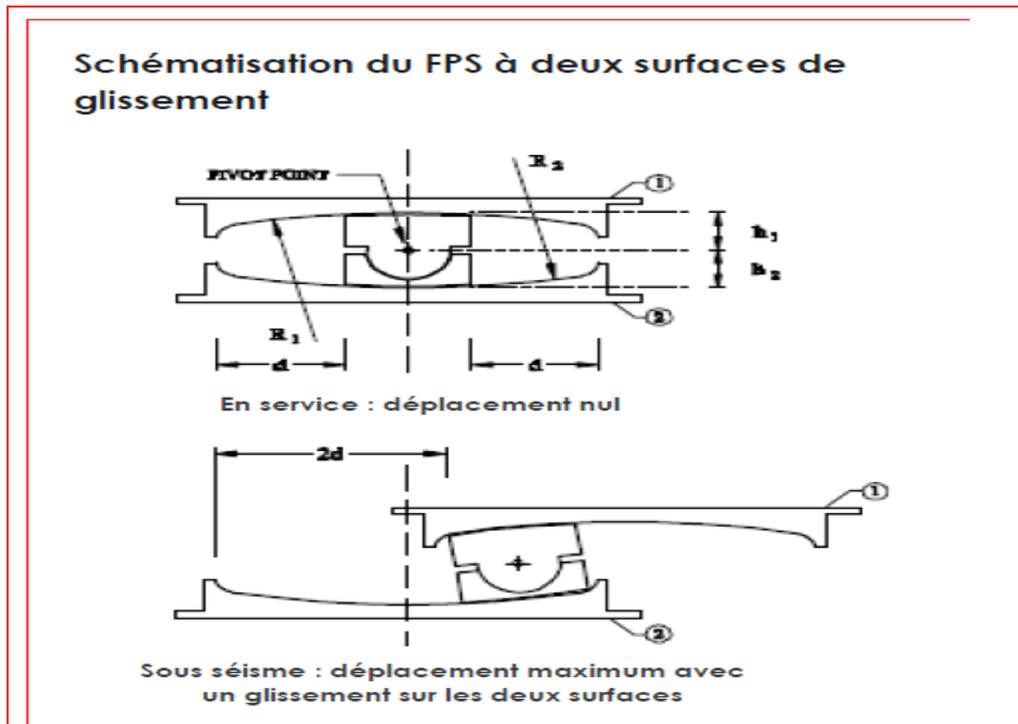


Figure II.16 : Schématisation du FPS à deux surfaces de glissement

En se basant sur la liste des gammes existantes, on fait un premier choix d'appareil

Selon l'effort maximum de compression du système à l'ELS/ELU de manière à estimer le nombre de FPS. Soit :

$$N_{FPS} \geq \frac{v_{max}}{v_k} \quad (1)$$

➤ En ELS :

$$: N_{FPS} \geq \frac{v_{max}}{v_d} \quad (2)$$

➤ En ELU :

Connaissant la valeur du déplacement maximum à ne pas dépasser, on vérifie la gamme qui a été choisie selon l'effort V-MAX. Soit On en déduit les propriétés géométriques A, B et ht de l'appareil par lecture sur le tableau (cf. cadre (3), (4) et (5)).

Enfin, on valide le nombre et la gamme en utilisant les caractéristiques linéaires équivalentes du FPS via une approche spectrale monomodale (cf. EC 8-2, §7.5.4). On

rappelle que l'amortissement visqueux apporté par le système doit être $\leq 30\%$. Cette condition est vérifiée si le frottement satisfait :

$$\mu_s \leq \frac{0,89 \times D}{R}$$

Généralement, pour les appuis pendulaires à double surface de glissement on a :

$$R_1 - h_1 = R_2 - h_2 \text{ et } \mu_1 \approx \mu_2$$

Caractéristiques de l'appareil FPS :

- ht : hauteur total (ht = h1+h2)
- A : diamètre de la face supérieure
- B : diamètre de la face inférieure
- D : déplacement total maximum

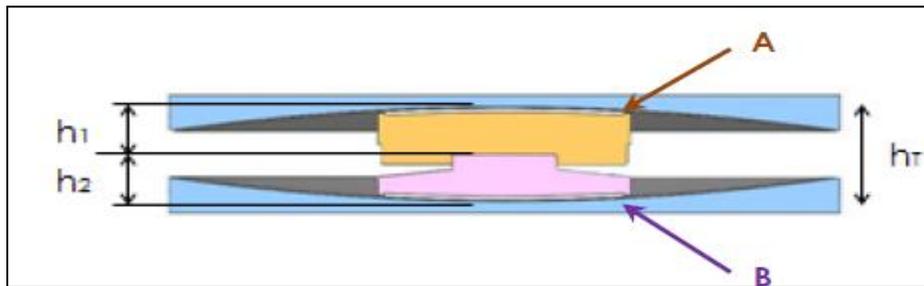


Figure II.17 : Caractéristiques de l'appareil FPS

II.8. DEFINITION DES PROPRIETES DE L'ISOLATEUR

L'isolateur à cœur de plomb possède une loi de comportement hystérésis bilinéaire (Figure II.18). Le pré dimensionnement de l'appareil devra donc prendre en compte cette loi de comportement.

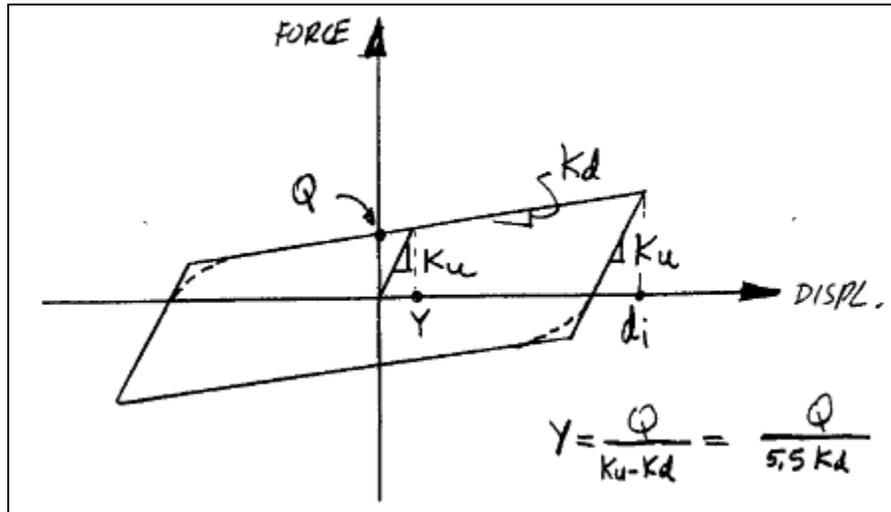


Figure II.18 : Caractéristiques de la loi de comportement du LRB

On rappelle les relations qui découlent de la loi de comportement :

1. Force caractéristique :

$$Q = A_p \times \sigma_{YL} \quad (1.1)$$

Avec :

$A_p = (\pi \cdot D^2 / 4)$: aire du cœur de plomb en mm^2

σ_{YL} : limite élastique du cœur de plomb en MPa

2. Rigidité post-élastique

$$K_d = \frac{G \times A_r}{t_e} \times f \quad (1.2)$$

- A_r : aire de l'élastomère réduit en mm^2
- G : module de cisaillement de l'élastomère en MPa
- t_e : hauteur totale de l'appareil
- f : coefficient compris entre 1,1 et 1,6

3. Rigidité initiale

$$K_u = \frac{\pi \times D^3 \times \sigma_{YL}}{4 \times d_i} \approx 6,5 \times K_d \quad (1.3)$$

II.8.1– La méthodologie de LRB

La conception d'un appareil d'appui LRB est assez complexe et requière une procédure itérative. De manière à avoir la même section pour l'ensemble des appareils d'appui, on fixe le nombre d'appareils n et l'aire du cœur de plomb. Le nombre représente la quantité restante d'appareils d'appui en élastomère simple.

On retient donc les formules suivantes :

$$\sum K_{eff} = (n \times K_d) + (n \times K_u) + \left(m \times \frac{GA}{t_e}\right)$$

$$T_e = 2\pi \times \sqrt{\frac{M}{\sum K_{eff}}}$$

$$C_s = \frac{\sum K_{eff} \times d_i}{M \times g}$$

$$\beta = \frac{W_d}{2\pi \times \sum K_{eff} \times d_i^2}$$

$$W_d = 4 \times Q_T \times (d_i - y)$$

$$Q_T = n \times A_p \times \sigma_{YL}$$

Pour arriver à un bon dimensionnement, on prend comme hypothèse $\beta=0.30$ et $B=1,7$

Cette hypothèse est équivalente au taux d'amortissement de 30 %.

II.8.2. DEFINITION DES SECTIONS DU MATERIAU

- Géométrie générale : isolateur circulaire $D = 432$ mm
- Géométrie du noyau de plomb : $dL = 118$ mm
- Détail du nombre de couche d'élastomère : 29 couches x 9,5 mm ep → 275,5 mm
- Détail du nombre de frette d'acier : 28 frettes x 3,2 mm ep → 89,6 mm
- Détail complémentaires : plaque d'acier 25,4 mm

Exemple de conception LRB :

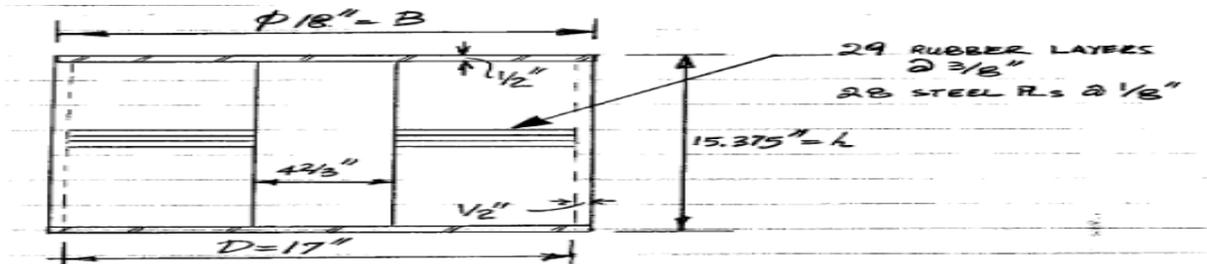


Figure II.19 : Schématisation d'un appui LRB

II.8.3.1a vérification de dimensionnement

II.8.3.1 Spécification pour le renversement :

On note qu'en accord avec l'AASHTO, l'appareil d'appui est stable lorsqu'on prend en compte un déplacement maximum de $1,5 d_i$. Il faut donc vérifier que :

$$1,5 \times d_i \geq d_{max}$$

Avec :

$$- d_{max} = \frac{(F_V \times B) - (Q_T \times h)}{F_V + (K_d \times h)}$$

$$- F_V = 0,8 \times (M_{isolateur} \cdot g)$$

Si l'appareil est vérifié et le comportement de la structure est bien atteint, c'est terminé. Sinon On doit affiner en modifiant les caractéristiques de l'appareil, voir changer de type de dispositif si la solution ne convient toujours pas.

II.9. CONCLUSION

Ce chapitre on distingue différentes synthèses et un état de l'art sur les systèmes de contrôle de la réponse des structures aux séismes qui constituent actuellement un domaine d'intérêt très intéressant. L'étude des appareils appuis avec leurs comportements mécaniques avec les avantages et les inconvénients des isolateurs de système passif qui sont utilisés dans le but de protéger l'ouvrage contre les effets de l'excitation sismique.

La méthodologie théorique de dimensionnement des isolateurs c'est qui est dans ce chapitre sur la modélisation mathématique des isolateurs sismiques. Avant d'entamer les analyses numériques des structures isolées, on a exposé en détail sur la méthodologie de dimensionnement des appareils parasismique.

CHAPITRE III

Presentation de l'ouvrage

III .1. Introduction :

Ce projet d'étude a pour but, de franchir cette autoroute qui relie la nouvelle ville de Sidi Abdallah et la ville de Zeralda, également un chemin de fer qui est en cours de réalisation en parallèle avec l'autoroute qui relie la ville de Zeralda et la ville de Birtouta.

Il est donc recommandé de réaliser un ouvrage (viaduc) d'une longueur de 98.85 ml, à trois travées avec 2 fois 2 voies pour les 2 sens, à 12 poutres en béton précontraint pour chaque travée.

L'ouvrage qui nous été confié à l'étude est considéré comme une voie secondaire VS1-2 qui relie la commune de Mehalma et une caserne militaire qui se trouve au périphérique Nord. L'étude du tracé routier a été terminée au niveau du passage supérieur, le pont ne mène nulle part, à ce stade la réalisation d'une nouvelle ville se fera ultérieurement.

III .2. Situation de l'ouvrage :

Ce projet se trouve au Cyber Park de Sidi Abdallah, à environ 1 Km au nord du chef-lieu de la commune de Mhelma, à environ 4 Km au sud-est de la ville de Zéralda. L'accès au site se fait en empruntant la route nationale N 63 jusqu'à l'entrée de la localité de Mahelma, puis via une piste goudronnée.

- Du point de vue morphologique : L'ouvrage projeté se situe en contrebas d'une colline pente douce qui s'élève à une altitude d'environ 185 m.
- Du point de vue hydrologique : Le site se trouve, à environ 180 m, en rive droite de l'oued **SAFSAF**, un cours d'eau au régime intermittent, qui draine les collines aux alentours de la localité de Mahelma.

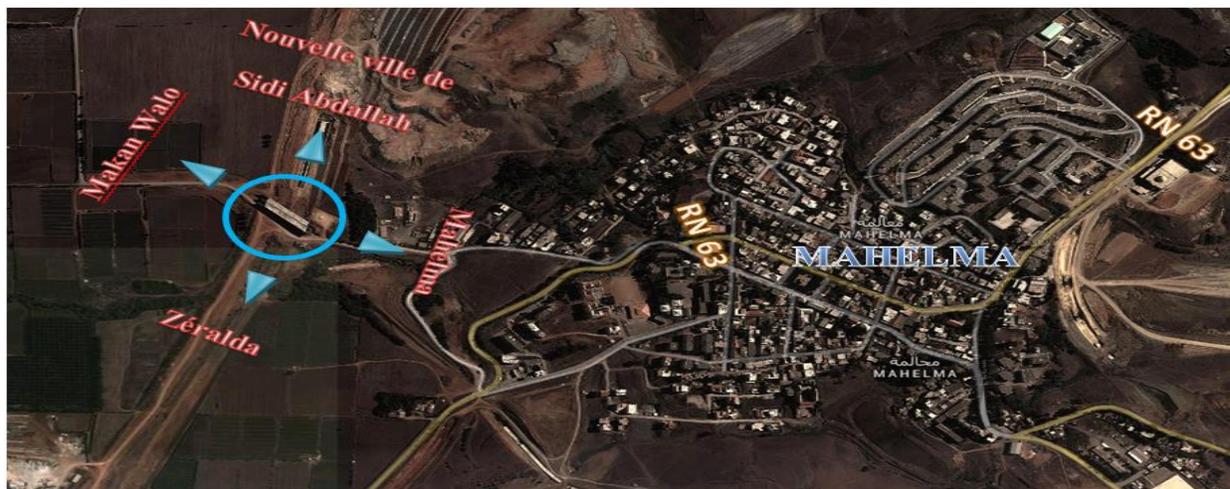


Figure III .1 : situation de l'ouvrage dans le site de projet

III .3.Les données de projet :

L'étude d'un pont ne peut commencer que lorsque toutes les données relatives au franchissement sont réunies, notamment les données relatives à la voie portée telle que le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

III .3.1.Les données fonctionnelles :

Les données fonctionnelles rassemblent des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement à sa mise en service et à terme compte tenu de phasage fonctionnelle éventuel, pour cela il est nécessaire de définir les caractéristiques des voies portées et des voies ou obstacles franchis.

III .3.1.1Profil en long :

Le profil en long est la ligne située sur l'axe de l'ouvrage, définissant en élévation du tracé en plan, il doit être défini en tenant compte de nombreux paramètres liés aux contraintes fonctionnelles de l'obstacle franchit ou aux contraintes naturelles, en général il convient d'éviter les ouvrages plats et horizontaux.

La longueur de cet ouvrage est de 100.4 m de longueur, composé de trois travées identiques isostatique de 33.4 m chacune, il est compris entre le PK 0+302.067 au PK 0+402.417.

L'ouvrage en question a pour but de franchir +une voie ferrée ainsi qu'un dédoublement routier.

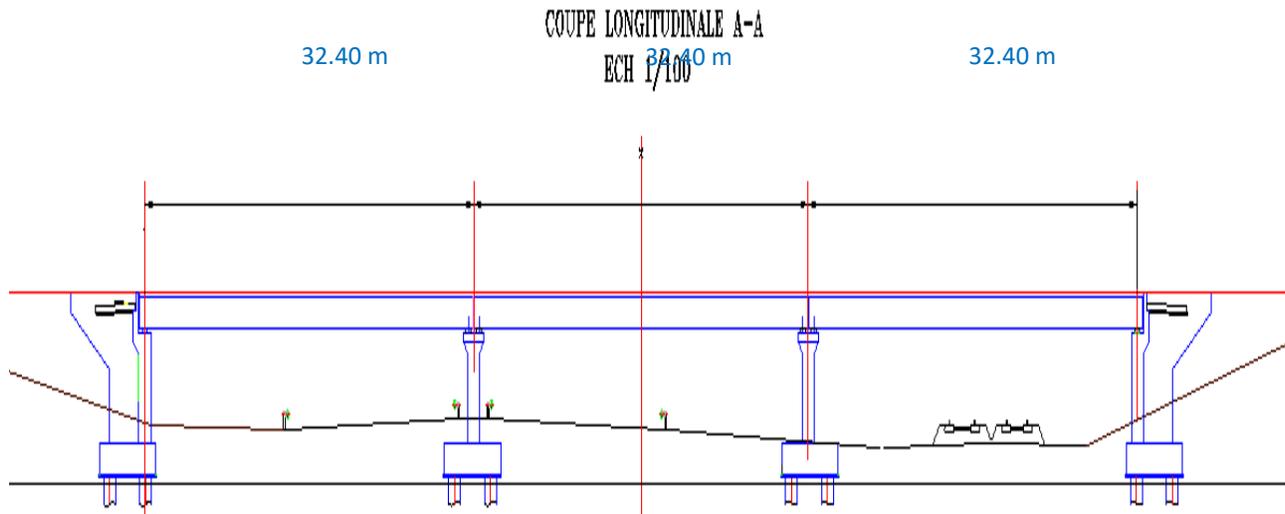


Figure III. 2 : Coupe longitudinale

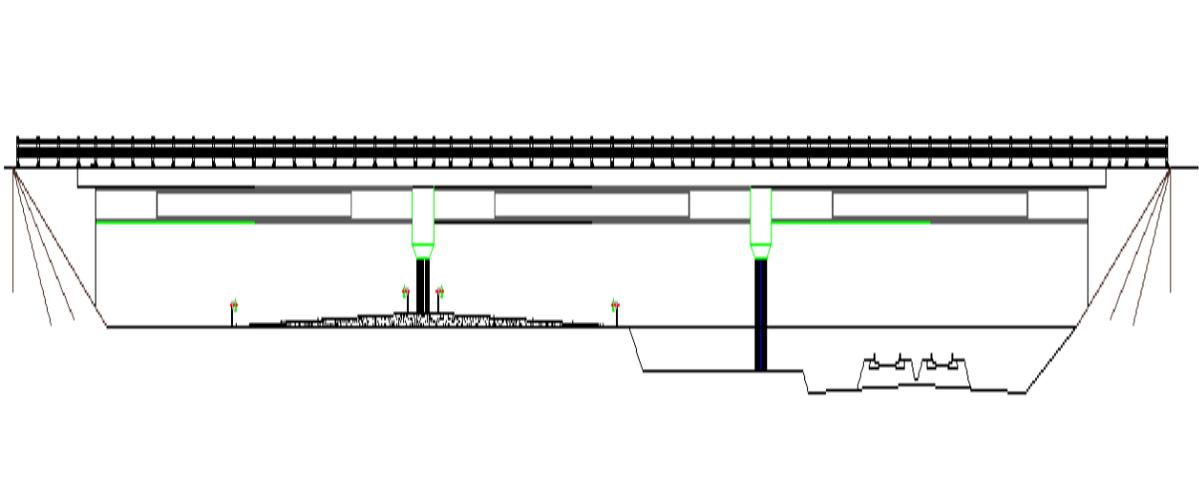


Figure III. 3 : Vue en élévation

III .3.1.2. Tracé en plan :

Le tracé en plan est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, dessiné sur un plan de situation et repéré par les coordonnées de ces points caractéristiques.

L'axe en plan de l'ouvrage est inscrit dans un alignement droit de longueur totale de 98.85m. En plan, l'ouvrage étudié est caractérisé par un biais.

✓ **Le biais :**

Le biais géométrique ou plus simplement le biais de l'ouvrage correspond à l'angle φ , habituellement exprimé en grades, formé entre l'axe longitudinal de l'ouvrage et les lignes d'appui. Cet angle peut varier d'un appui à un autre.

Compte tenu de cette définition, un ouvrage est considéré comme :

- Droit lorsque l'angle de son biais géométrique est de 100 grades ;
- Peu biais lorsque l'angle de biais géométrique est compris entre 70 et 100 grades ;
- De biais à biais très accentué, pour un angle plus faible, inférieure à 70 grades.

L'ouvrage étudié présente un angle de biais géométrique de **71.20 grade**, ce qu'il fait de lui un ouvrage peu biais, il sera considéré comme un pont **droit** lors de calcul.

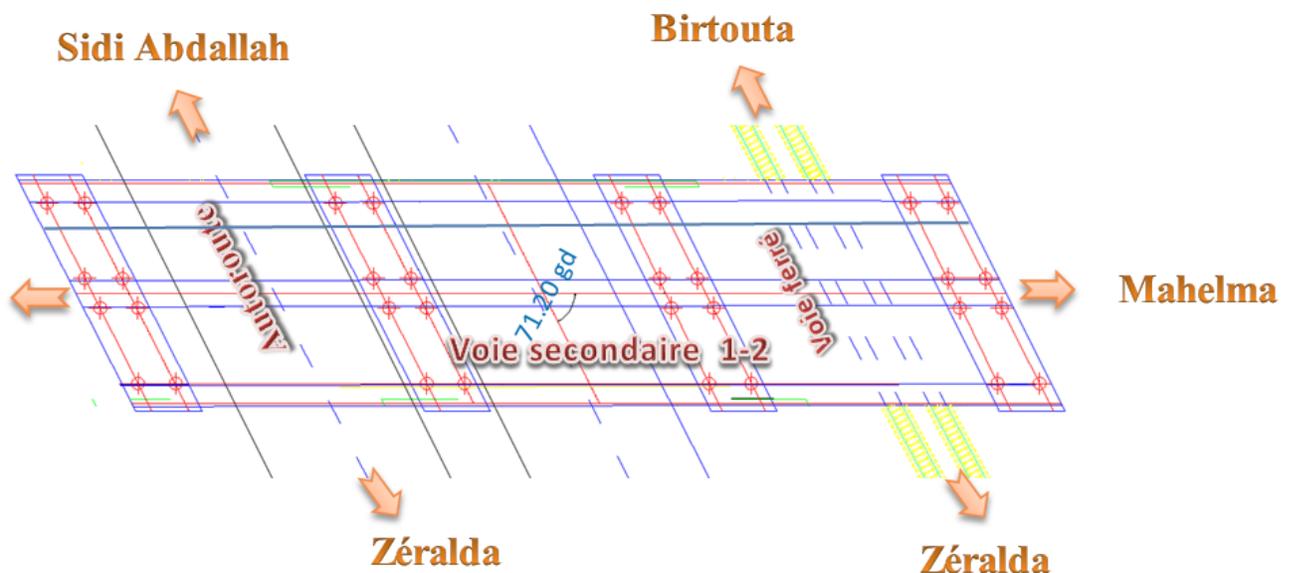


Figure III .4 : Le tracé en plan

III .3.1.3. Profil en travers :

Le profil en travers est l'ensemble des éléments qui définissent la géométrie et les équipements de la voie dans le sens transversal.

Le profil en travers de la chaussée est défini par :

- Largeur roulable $L_r = 6.25$ m

- Nombre de voies de circulation = 2 voies.

-La pente : 2.5 %.

La largeur du tablier est de 10 m avec une largeur roulable de 6.25 m bordée d'un trottoir de 3.25m d'un côté et 0.5 m de l'autre côté.

Le tablier constitué de six poutres en béton précontraint de 33.40 m de longueur et de 1.50 m de hauteur espacées de 1.8 m entre eux, surmontées d'une dalle en béton armé de 20 cm d'épaisseur.

Les appuis extrêmes du pont sont des culées massives ancrées dans le sol au moyen de fondations profondes, les appuis centraux du pont sont constitués d'un chevêtre recevant les appareils d'appuis en élastomères frettés et deux piles de type voile arrondi de 7.20 m de longueur et 1.20 de largeur prenant appuis sur le sol au moyen de fondations profondes.

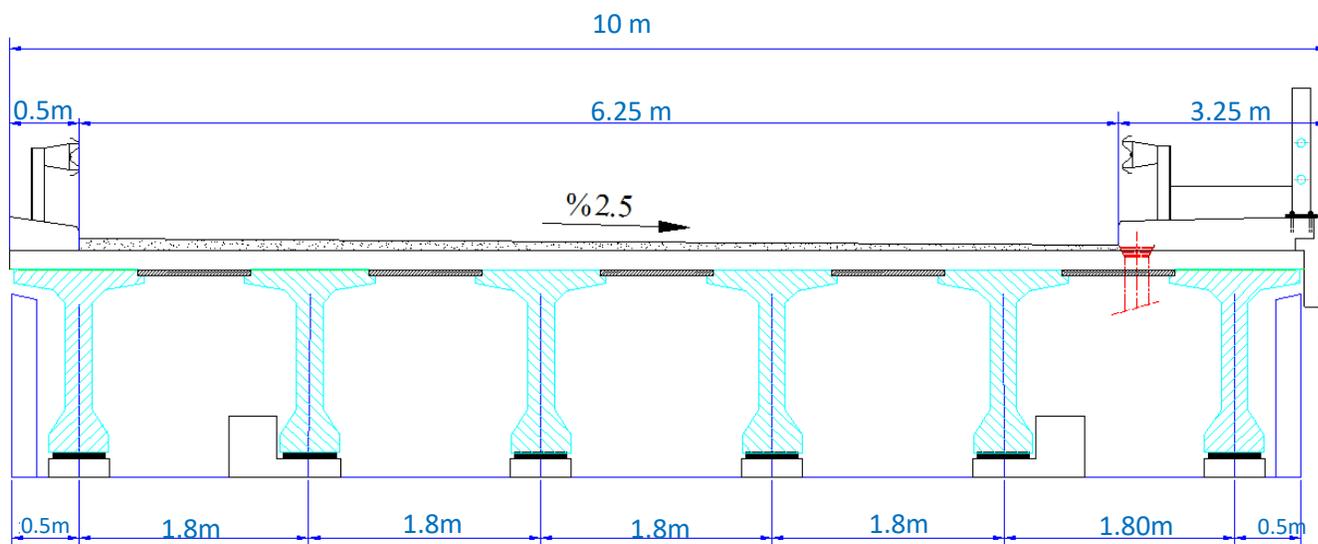


Figure III. 5 : Profil en travers

III .3.2. Les données naturelles

Les données naturelles sont récoltées directement sur le site du projet, elles sont fixes et inchangées, et nécessaires pour l'étude de l'ouvrage, pour la partie infrastructure de l'ouvrage.

III .3.3. Les données géotechniques :

Les données géotechniques sont évidemment primordiales dans l'étude d'un ouvrage en contact avec le sol, elles sont indispensables pour la détermination du type de fondation des appuis,

et de choisir un bon emplacement dans le but d'avoir un bon comportement mécanique de l'ouvrage en question.

Elles sont obtenues à partir d'une reconnaissance qui doit donner des informations nécessaires sur le terrain naturel, le niveau de la nappe et l'implantation possibles des fondations.

La connaissance des caractéristiques géotechniques du sol, entraîne de meilleures conditions de stabilité et de rigidité.

➤ **D'après le rapport géotechnique :**

En effet, Pour connaître le sol de fondation, la campagne de reconnaissances géotechniques in-situ a consisté en la réalisation de sondages carottés avec essais SPT et de sondages pressiométriques avec essais à intervalle de 2m aux emplacements des quatre appuis.

Sur la base des résultats géotechniques, nous pouvons conclure que le site du projet se trouve au cyber parc, dans la commune de Mhelma, dans la wilaya d'Alger est :

➤ **Du point de vue géologique :**

Les coupes lithologiques, obtenues avec les quatre sondages, mettent en évidence une couche de limon-sableux en surface, d'environ 0.4 à 1.6m d'épaisseur, recouvrant des sables argileux et argiles sableuses de 4 à 5m d'épaisseur, eux même surmontant une puissante formation conglomératique, représentée par une alternance de sables à passer argileuse et à passer grésifiées et de niveaux de grés grossiers à fin d'environ 8 à 12m d'épaisseur. L'ensemble de ces formations repose sur une marne grise, ferme rencontrée à partir de 16-17m de profondeur.

Il n'a pas été relevé de niveau phréatique dans aucun des quatre sondages.

Cependant, les conglomérats qui reposent sur la marne grise peuvent constituer un aquifère lors de la période humide. On doit prévoir une protection pour le béton constitutif des pieux et un drainage superficiel autours de la structure de l'ouvrage projeté.

L'essai de pénétration au carottier S.P.T conclue que les sols rencontrés sont de consistance moyenne à très élevée.

➤ **Du point de vue fondation :**

En se basant sur les résultats des calculs de fondation, la nature du sol rencontrée ainsi que l'importance de l'ouvrage projeté, le bureau d'études INZAMAC Algérie recommande de fonder l'ouvrage sur des pieux de 14m de longueur ancrés dans les conglomérats.

Ce choix a été dicté par la nature lithologique des formations rencontrées en surface et qui sont susceptible d'engendrer des phénomènes de tassement différentiel si le choix de fondations superficielles ancrées à 3m était envisagé.

Les calculs de portance ont donné des valeurs variant entre 289 et 320 tonnes pour un diamètre de 1m et des valeurs variant entre 347 et 384 tonnes pour un diamètre de 1.2m.

Les charges préconisées pour l'ensemble du site sont :

260 tonnes pour un diamètre de 1.0 m (charge limite d'un pieu).

310 tonnes pour un diamètre de 1.2m (charge limite d'un pieu).

→ La solution de fonder toujours sur pieux, dans la marne grise ferme, située au-delà de 17m de profondeur est envisageable. L'avantage de fonder sur un tel terrain est motivé par l'homogénéité de ce sol, son extension en profondeur et sa bonne portance (en terme de pointe et en terme de frottement latéral).

III .4. Les données sismologiques :

Un séisme est une succession de déplacements rapides imposés aux fondations d'un ouvrage. En général, le séisme est caractérisé par un spectre de réponse en termes de déplacements, vitesses ou accélérations.

Sur un ouvrage rigide, les efforts sont identiques à ceux d'une accélération uniforme présentant une composante horizontale de direction quelconque et une composante verticale.

La vérification des ouvrages vis-à-vis des actions sismiques de calcul doit être telle que le risque de défaillance sous séisme potentiel soit suffisamment faible.

La wilaya d'Alger s'inscrit entièrement dans la « Zone III », de sismicité très élevée (classification sismique des wilayas et communes d'Algérie du R.P.O.A 2008), Le R.P.O.A 2008 classe les ponts en trois (03) groupes selon leur importance.

L'ouvrage d'art projeté dans le cadre du projet est à reporter au **Groupe 3** (pont d'importance moyenne).

Pour les besoins du projet, le coefficient d'accélération de zone 'A' à prendre en considération dans les calculs, défini en fonction de la zone sismique et de l'importance du pont est **A = 0.25** (voir la partie R.P.O.A 2008 « **COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE 'A'** » (SELON LE R.P.O.A 2008).

III .5. Données climatiques :

➤ La température :

Les effets de la température sont bien évidemment pris en compte dans le calcul des constructions, elle a son effet au niveau des joints de chaussée et des appareilles d'appui (généralement comprise entre +10° et +25°)

➤ La neige :

Les effets de la neige ne sont pas pris en considération dans le calcul des ponts mais ils peuvent intervenir dans certains cas particuliers (ouvrage en phase de construction)

➤ Le vent :

Les efforts engendrés sur les structures par le vent, sont fixés par le RCPR, on prend une surcharge du vent répartie de 125Kg/m² soit 0.125t/m².

II.6. Présentation dès l'appareil d'appuis utilisé dans l'ouvrage

Ils sont constitués de feuillets d'élastomère (en général de néoprène) empilés avec interposition de tôles d'acier jouant le rôle de frettes (appui semi fixe). Ils ne sont donc ni parfaitement fixes ni parfaitement mobiles. Ce type d'appareils d'appuis est plus couramment employé pour tous les ouvrages en béton à cause Des avantages qu'ils présentent :

- Facilité de mise en œuvre.
- Facilité de réglage et de contrôle.
- Ils permettent de répartir les efforts horizontaux entre plusieurs appuis.
- Ils n'exigent aucun entretien.
- Leur coût est relativement modéré.

Ils transmettent les charges normales à leur plan, et ils permettent en même temps d'absorber par rotation et distorsion les déformations et translations de la structure.

Le principal intérêt de ces appareils d'appuis réside dans leur déformabilité vis-à-vis des efforts qui les sollicitent. Ils reprennent élastiquement les charges verticales, les charges horizontales et les rotations.

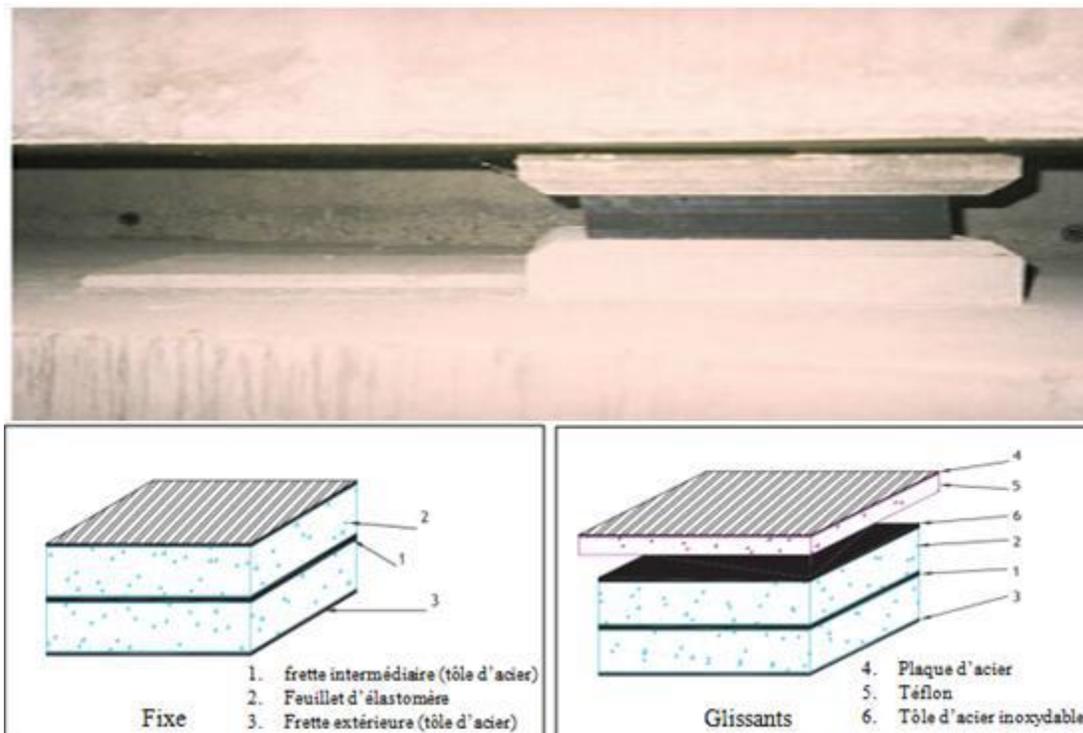


Figure III. 6: Appareil d'appui en élastomère fretté.

II.6.1. Matériaux constitutants et rôles :

a) Elastomère :

L'élastomère utilisé pour la fabrication des appareils d'appuis peut être d'origine végétale ou synthétique. On générale, celui d'origine synthétique est préféré à celui d'origine végétale et ce pour ses qualités de résistance ou vieillissement à l'ozone de l'atmosphère et à la combustion, son inertie chimique lui permet de résister à la dégradation due aux matières organiques et chimique sans perdre son pouvoir d'élasticité et d'allongement.

b) Les Frettes :

Les frettes sont en acier doux de qualité, dans le cas d'appareils d'appuis courants, les frettes sont solidarisées aux néoprènes par vulcanisation.

c) vérification a l'état limite ultime (ELU) :

Conformément à la NF EN 1337-3, quatre types de vérification aux Etats Limites Ultimes

Doivent être faits pour les appareils d'appui en élastomère fretté quel que soit leur type :

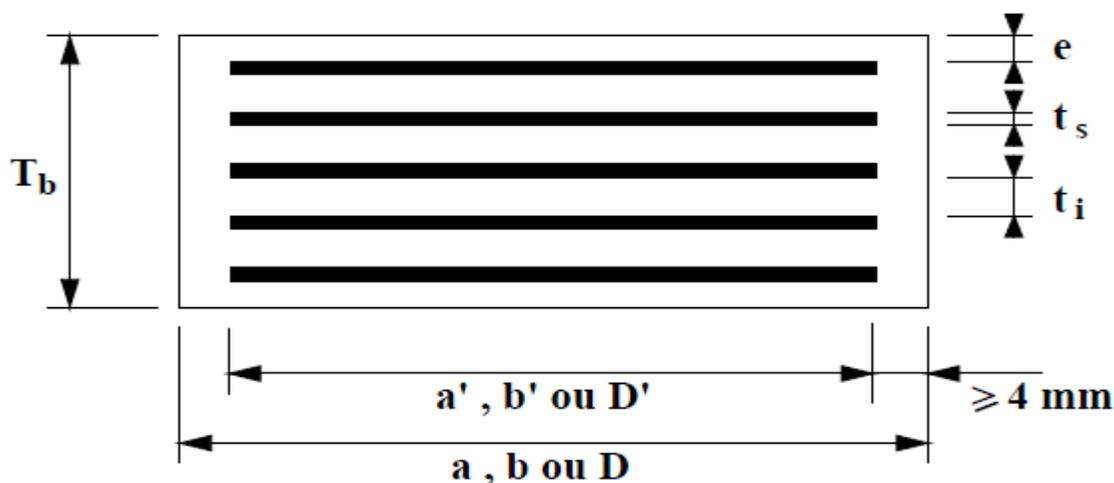
- La distorsion totale maximale en tout point de l'appareil d'appui est limitée ;
- L'épaisseur des frettes doit être suffisante pour résister à la traction qu'elles subissent ;
- La stabilité de l'appareil d'appui doit être assurée à la rotation, au flambement et au glissement ;
- Les actions exercées par l'appareil d'appui sur le reste de la structure doivent être vérifiées (effet direct de l'appareil d'appui sur la structure et l'effet indirect dû aux déformations de l'appui).

d) Dimensionnement de l'appareil d'appui :

Le dimensionnement de ces appareils d'appuis est essentiellement basé sur la limitation

Des contraintes qui se développent dans l'élastomère au niveau des plans de frettage et qui

Sont dues aux efforts appliqués ou aux déformations imposées à l'appareil.



Figure

III. 7 : définition géométrique d'un appareil d'appui

e) Aire de l'appareil d'appui :

La poutre la plus touchée par les efforts tranchants engendre une réaction maximale de la combinaison max **G+D240**

On a :
$$\sigma_m = \frac{N}{a \times b}$$

On désigne par **a** et **b** l'aire de l'appareil d'appui.

a : Côté parallèle à l'axe horizontal de l'ouvrage ;

b : Côté perpendiculaire à l'axe horizontal de l'ouvrage ;

Avec :

N : réaction verticale maximale sur l'appui ;

σ_m : Contrainte moyenne de compression =15Mpa ;

Tel que :

$$axb > \frac{3586.943 \times 100}{15 \times 10}$$

$$axb > 247.5 \text{ cm}^2$$

On choisit : a=55 ; b=45

e) Hauteur nette d'élastomère :

Elle est désignée par (t) et fixer selon une condition de non flambement :

Il faut respecter les conditions suivantes :

L'épaisseur minimale.

$$\frac{a}{10} \leq T \leq \frac{a}{5}$$

$$4\text{cm} \leq a \leq 8\text{cm}$$

On prend : T=60mm T = n × t et t = 12mm (fixée par les normes) ;

n = 5 (nombre de feuillet).

f) Epaisseur des frettes :

$e \geq \frac{a}{\beta} \times \frac{\sigma_m}{\sigma_e}$; $e < 3\text{mm}$ ou σ_e : limite élastique des frettes ;

$\sigma_e = 2150\text{Kg/cm}^2$ pour l'acier E24 ;

β : coefficient de forme ;

$$\beta = \frac{a \times b}{(a+b) \times 2t} = \frac{55 \times 45}{(55+45) \times 2 \times 2.1} = 5.9$$

$$\sigma_m = \frac{Rm}{a \times b} = \frac{1009.005 \times 100}{55 \times 45} = 82.6\text{Kg/cm}^2$$

$$e \geq \frac{45}{5.9} \times \frac{82.62}{2150} \text{ soit } e \geq 0.232$$

$$2.32 \leq e \leq 3\text{mm}$$

On prend e = 2,5mm

Donc la désignation de l'appui est 550 × 450 × 5 × (12 + 2,5)

III.7. Conclusion

Aujourd'hui, l'enjeu est tellement considérable que l'a été jugé utile d'élaborer ce règlement des Charges et surcharges applicables aux ponts routes qui permettra d'uniformiser la réglementation et les documents contractuels concernant les études et l'exécution des ouvrages d'art.

Dans ce chapitre on a présenté notre ouvrage avec tous ces données nécessaires pour réalisation complète ; aussi pour études sismiques dans les suivant chapitres.

CHAPITRE IV

Analyse modale de l'ouvrage

IV.1 Introduction

Lors de la construction des ouvrages, plusieurs problèmes sont posés à l'ingénieur qui doit dimensionner ces derniers pour résister aux séismes probables. A cet effet, une étude sismique est indispensable. Celle-ci ne peut être menée sans comprendre le mécanisme générateur des séismes ainsi que les caractéristiques du mouvement sismique et leurs effets sur le mouvement du sol qui constitue l'assise de tout ouvrage de génie civil.

Une meilleure connaissance des effets dynamiques dans un ouvrage améliore la précision de l'évaluation de la sécurité structurelle de celui-ci, et cela nécessite une compréhension des phénomènes mécaniques qui permettent une prévention de sa réponse à des excitations variables, qu'on va s'occuper dans la suite de l'étude par l'action due aux tremblements de terre.

Le présent chapitre vise à présenter les résultats de l'analyse sismique monomodale d'un pont dalle et les résultats de l'analyse sismique multimodale de même pont dalle (application pratique de la théorie du chapitre 03). Par la suite, des études comparatives entre ces deux analyses sismiques sont faites toutes en appliquant les règles de conception parasismique des ouvrage d'art (RPOA 2008) et des conclusions de la comparaison sont données.

IV.2 Analyse sismique monomodale de l'ouvrage (période fondamentale)

Notre travail est de déterminer et d'analyser en appliquant les règles de conception parasismique des ouvrage d'art (RPOA 2008) ce qui suit :

IV.2.1 Direction longitudinale

- 1) Les conditions d'applicabilité de la méthode l'analyse sismique monomodale ;
- 2) La masse totale de l'ouvrage en supposant un poids des équipements de 3500 kg/ml ;
- 3) La raideur des appuis et des appareils d'appui ainsi que la raideur du système ;
- 4) La période fondamentale de l'ouvrage ;
- 5) L'effort longitudinal résultant ainsi que l'effort par élément porteur ;
- 6) Le déplacement du tablier par rapport au sol ;
- 7) Le déplacement de la tête de pile par rapport au sol.

IV.2.2 Direction transversale

- 1) La période de La sollicitation sismique transversale en supposant que le tablier est bloqué transversalement sur la pile.
- 2) Déterminer de l'effort transversal résultant ainsi que l'effet par élément porteur.
- 3) Le déplacement du tablier par rapport au sol.

- 4) Le déplacement de la tête de pile par rapport au sol.

IV.2.3 Direction verticale

Déterminer les réactions d'appuis verticaux sous séisme en utilisant la méthode Approchée.

IV.3 Conditions d'applicabilité de la méthode spectrale monomodale

IV.3.1 Principe :

C'est une méthode simplifiée où les mouvements de la structure sont à tout instant proportionnels à une déformée privilégiée, appelée mode fondamental. Les caractéristiques du mode fondamental dans chaque direction sont déterminées à l'aide d'une analyse modale dans la direction considérée à condition de remplacer, pour le calcul des efforts, la masse du mode fondamental par la masse totale du modèle.

IV.3.2 Domaine d'application :

L'application de la méthode monomodale est gouvernée par la vérification des critères suivants :

Condition01 : Masses modales

" La masse totale mise en mouvement doit être supérieure à 70% de la masse totale de la structure, y compris la masse des appuis en élévation ". Ce critère est à vérifier aussi bien pour le séisme longitudinal que pour le séisme transversal.

Condition02 : Angle de biais

" L'angle de l'axe du tablier avec l'axe de ses appuis doit être supérieur à 70 gr et les raideurs Longitudinales et transversales totales des appuis ne varient pas de plus de 10% par rapport aux valeurs calculées sans biais ".

Condition 03 : Angle de courbure

" L'angle balayé en plan par la tangente à l'axe doit être inférieur à 30 gr et les raideurs longitudinales et transversales totales des appuis ne varient pas de plus de 10% par rapport aux valeurs calculées sans courbure ".

Condition04 : Symétrie transversal

" La distance entre le centre de masse du tablier et le centre élastique des appuis n'excède pas 5% de la distance entre appuis extrêmes pour l'étude du séisme transversal ".

IV.3.3 vérification des conditions de la méthode monomodale :**➤ Condition 01 : Masses modales**

La masse en mouvement doit être supérieure à 70% de la masse totale. Cette condition est considérée comme vérifiée si la masse de la pile (voile) est inférieure à 0.43 la masse du tablier.

$$M \text{ pile} = 2.5 \times V$$

$$M \text{ pile} = 2.5 \times 7.20 \times 9.392 \times 1.20 = 202.87 \text{ t.}$$

$$M (1 \text{ poutre}) = 49.963 \text{ t.}$$

$$M (6 \text{ poutres}) = 299.778 \text{ t.}$$

$$M \text{ dalle} = 2.5 \times V$$

$$M \text{ dalle} = 2.5 \times 0.25 \times 10 \times 33.4 = 208.75 \text{ t.}$$

$$CCP = 3.877 \times 33.4 = 129.4918 \text{ t.}$$

$$M \text{ tablier} (1 \text{ travée}) = 299.778 + 208.75 + 129.4918 = 638.018 \text{ t.}$$

$$\text{Poids propre du tablier} (1 \text{ travée}) G = 638.018 \text{ t.}$$

$$M \text{ tablier} = G + \alpha Q$$

Avec :

α : 20% des charges d'exploitations routières pour ponts routiers urbains.

Q : actions variables des charges d'exploitation -> $Q = A(L)$

Q = 302.604 t (la plus défavorable).

$$M \text{ tablier} = 1914.054 + (0.20 \times 302.604)$$

$$M \text{ modale} = \mathbf{1974.57 \text{ t.}}$$

M pile = 202.87 t est inférieure à $(0.43 \times 1914.054 = 849.065 \text{ t})$ vérifié.

La masse en mouvement est supérieure à 70% de la masse totale.....CV

➤ Condition 02 : Angle de biais

L'angle de biais est égal à 71.21 gr supérieur à 70 gr, la condition sur la variation des raideurs longitudinales et transversales est vérifiée. Les résultats sont donnés au tableau ci-dessous :

Raideurs totales sans angle de biais (MN/m)=67.30

Remarque: la méthode monomodale reste applicable dans le sens longitudinal, car la variation entre la raideur avec et sans biais du système dépasse légèrement les 10%, ce qui est pratiquement négligeable.

➤ **Condition 03 : Angle de courbure**

L'ouvrage étudié ne présente aucune courbure, il n'y a pas une vérification vis-à-vis cette condition.

➤ **Condition 04 : Symétrie transversale**

L'excentricité entre le centre des masses et le centre élastique des appuis n'excède pas 5% de la distance entre appuis extrêmes. Cette excentricité est vérifiée du fait que l'ouvrage est symétrique aussi bien géométriquement que mécaniquement.

IV.4. Application de la méthode sur l'ouvrage

IV.4.1. Sens longitudinale

IV.4.1.1 Détermination de la masse de système :

La masse du système est égale à la masse du tablier seul car il repose sur des appareils d'appuis en élastomères fretté .la portion des surcharges routiers n'est pas prise en compte par ce que le pont étudié n'est pas très fréquenté. D'où **M=1914.054 t**

IV.4.1.2 Détermination de la raideur du système :

La raideur du système comprend la raideur des appuis et la raideur des appareils d'appuis surculées.

✓ **Raideur de l'appui (k app) :**

La raideur de l'appui comprend la raideur des piles (voiles) et celle des appareils d'appui :

✓ **Raideur de l'appareil d'appui (k) :**

La raideur des appareils d'appui est calculée selon le guide RPOA (§5.1.2.2)

Par la formule suivante:
$$K = n \frac{G ab}{e}$$

Tel que :

- n : nombre d'appareils d'appuis =12.
- G : module de cisaillement de l'appareil d'appui =1.2 Mpa.
- ab: surface en plan de l'appareil d'appuis = $0.3 \times 0.4m^2$.
- e : épaisseur du caoutchouc de l'appareil d'appui =0.065m.

Donc **k=26.58 MN/m**

✓ **Raideur des piles (k1)**

En distingue la raideur des piles sans de biais et avec angle de biais

✓ **Raideur sans angle de biais**

La raideur d'une pile encastree en bas et articulée en tête est calculée selon le guide RPOA (§5.1.2.2) par formule suivante:

$$K1 = n \frac{3EI}{h^3}$$

Tel que :

- n: nombre de pile =1
- E: module d'élasticité instantané de béton =33000Mpa
- I: moment d'inertie en plan du voile = $b \times h^3/12=1.0368 \text{ m}^4$
- h: hauteur de voile =9.392m

Donc **k1=123.90 MN/m**

✓ **Raideur avec angle de biais :**

On a divisé le voile en deux parties par l'axe perpendiculaire (Δ); les centres de gravités des 02 parties ne sont pas alignés sur la droite perpendiculaire à la direction de la force appliquée longitudinalement, il y a lieu d'appliquer la formule de HUGENS :

$$K1 = 2 \times 3 \frac{E}{h^3} (I + S \times d^2)$$

Où d représente la distance entre les centres de gravité des 02 parties et l'axe perpendiculaire qui passe par le milieu du voile, prise égale à :

- 0.78m dans le sens longitudinal
- 1.62m dans le sens transversal

Donc :

K1=752.84 MN/m longitudinalement

K1=2833.87 MN/m transversalement

La raideur totale de l'appui est assemblage en série de deux ressorts (pile et appareil d'appui), d'où:

$$K_{app} = \frac{1}{\frac{1}{k1} + \frac{1}{k}}$$

Raideur de l'appui (MN/m) = **21.88**

✓ **Raideur de la culée (kC) :**

Puisque la culée est infiniment rigide dans le sens longitudinal la raideur à prendre en compte la culée est celle des appareils d'appuis :

$$k = n \frac{Gab}{k}$$

On les mêmes appareils d'appui sur culées que sur la pile, il travaille contre les déplacements du au séisme tout en dissipant de l'énergie (considère non glissants) donc on conserve les mêmes caractéristiques sauf pour le nombre qui est égal à 6.

Donc : **$K_C=13.29\text{MN/m}$**

✓ **Raideur du système(KT) :**

La raideur totale du système est un assemblage en parallèle des 3 ressorts (2culée et 2 appuis),
Donc la raideur totale est la somme les raideurs des appuis : $K_T=2K_C+2K_{app}$

Raideur totale du système (MN/m) = **70.34**

IV.4.1.3 Evaluation de l'amortissement :

Le pont étudié est un pont courant avec une pile en béton arme, le règlement préconise d'adopter un taux d'amortissement de 5%, ce qui revient à utiliser le spectre de réponse sans correction ($\eta = 1$).

IV.4.1.4. Période propre de l'ouvrage :

Période propre de système = **1.036(s)**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{KT}}$$

IV.4.1.5 Evaluation de la force sismique longitudinale :

La Période du système se situe entre 0.4s et 3s, donc on utilisera la 3ème équation du spectre élastique (S_{ae}) avec les paramètres suivants :

- $A=0.25$;
- $S=1.1$;
- $T_1=0.15\text{s}$;
- $T_2=0.40\text{s}$;
- $\eta = 1$;

Donc l'accélération spectrale est égale a :

$$S_{ae}=2.5 \times 1 \times 0.25 \times 9.81 \times 1.1 \times \frac{0.40}{0.985} = 2.74\text{m/s}^2$$

La force sismique longitudinale vaut alors : $F_{\text{Longitudinale}}=M S_{ae}$

✓ **$F_{\text{Longitudinale}}=1914.154 \times 2.74 = 5244.51\text{kN}$**

IV.4.1.6 Répartition des efforts sismiques sur les appuis :✓ **Effort sur la culée :**

$$F_{\text{culée}} = \frac{13.29}{77.92} \times 5244.51 = 894.50 \text{KN}$$

✓ **Effort sur appui :**

$$F_{\text{appui}} = \frac{25.67}{77.92} \times 5244.51 = 1727.75 \text{KN}$$

IV.4.1.7 Evaluation des déplacements :✓ **Déplacement du tablier par rapport au sol :**

$$d_{\text{longitudinal}} = \frac{0.985^2}{4\pi^2} \times 2.47 = 0.067 \text{m} = 6.73 \text{cm}$$

✓ **Déplacement de la tête de pile par rapport au sol :**

$$d_{\text{pile}} = \frac{1727.75}{752840} = 0.0023 \text{m} = 0.23 \text{cm}$$

On constate que, le déplacement longitudinal de la tête de la pile par rapport au sol, est très petit devant celui du tablier, car le tablier ne transmet pas son déplacement à la pile puisqu'il repose sur des appareils d'appui en élastomère frettés, c'est eux qui encaissent ce déplacement car ils sont souples dans la direction longitudinale. Ça n'aurait pas été le cas si le tablier était encastré à la pile.

IV.4.2 Sens transversal**IV.4.2.1 Période propre de l'ouvrage :**

Le pont étudié appartient au domaine des ponts à tablier flexible. En effet :

$$\frac{L}{B} = \frac{100.2}{10} = 10.02 > 5$$

Si l'on désigne par μ_i la flèche de la masse m_i dans la déformée du tablier quand il est placé dans un champ d'accélération transversale unité (1 m/s^2), la période de vibration du mode fondamental transversal est évaluée comme suit :

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{\sum m_i \times U_i^2}{\sum f_i \times U_i}}$$

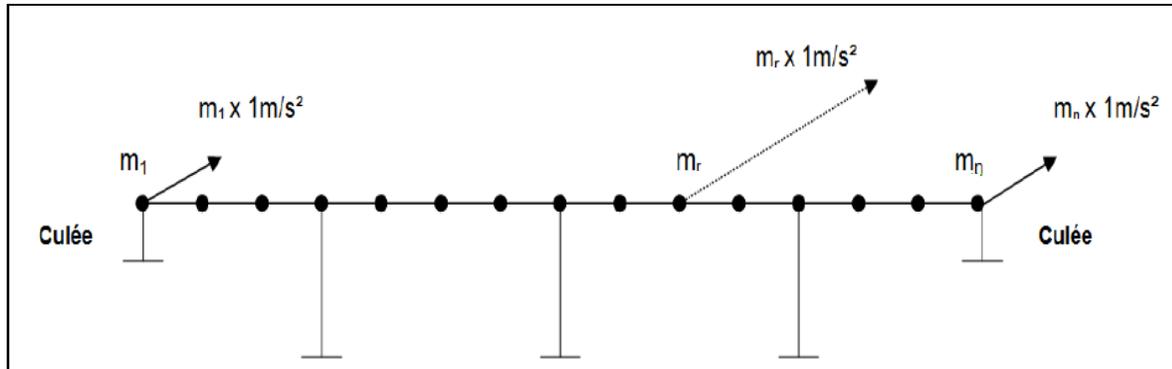


Figure VI.1 : Séisme Transversal.

L'effet du séisme résulte de l'application de forces latérales statiques équivalentes au nœud de rang i qui ont pour expression :

$$F_i = \frac{4\pi^2}{T^2} \times \frac{S_a(T)}{g} \times U_i \times m_i$$

Les déplacements correspondant ont pour valeurs :

$$d_i = \frac{u_i}{\sum m_i u_i} M \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 S_a(T)$$

✓ Discrétisation du tablier

La travée est divisée en deux travées identiques de longueur 16.7 m.

✓ Masse en travées de rive

$$m_i = 2.5 \times V$$

$$m \text{ dalle} = 2.5 \times 0.25 \times 10 \times 25.05 = 156.56 \text{ t.}$$

$$m \text{ poutres (06)} = 6 \times 1.496 \times 25.05 = 224.850 \text{ t.}$$

$$\text{CCP} = 3.877 \times 25.05 = 97.120 \text{ t.}$$

$$m_i = 156.56 + 224.850 + 97.120$$

$$\mathbf{m_i = 478.530 \text{ t}}$$

✓ Masse en travée intermédiaire :

$$m \text{ dalle} = 2.5 \times 0.25 \times 10 \times 16.7 = 104.375 \text{ t.}$$

$$m \text{ poutres (06)} = 6 \times 1.496 \times 16.7 = 149.900 \text{ t.}$$

$$\text{CCP} = 3.877 \times 16.7 = 64.746 \text{ t.}$$

$$m_i = 104.375 + 149.900 + 64.746$$

$$m_i = 319.020 \text{ t}$$

✓ **Masse sur appui :**

$$m \text{ dalle} = 2.5 \times 0.25 \times 10 \times 16.7 = 104.375 \text{ t.}$$

$$m \text{ poutres (06)} = 6 \times 1.496 \times 16.7 = 149.900 \text{ t.}$$

$$\text{CCP} = 3.877 \times 16.7 = 64.746 \text{ t.}$$

$$m \frac{1}{2} \text{ pile} = 101.435 \text{ t.}$$

$$m \text{ cap beam} = 2.5 \times 1.1 \times 2 \times 10 = 55 \text{ t.}$$

$$m_i = 104.375 + 149.900 + 64.746 + 101.435 + 55$$

$$m_i = 475.456 \text{ t}$$

✓ **Le vecteur masse en tonnes est donné par :**

$$M = \{478.530 ; 475.456 ; 319.020 ; 475.456 ; 478.530\}$$

La Période fondamentale pour le deuxième model qui est le model à tablier flexible peut être estimée par la méthode de Rayleigh, elle est donnée alors par la formule suivante :

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{\sum m_i \times U_i^2}{\sum f_i \times U_i}}$$

- m_i : la masse concentrée au i ème point nodal.
- U_i : le déplacement dans la direction étudiée, lorsque la structure est soumise aux forces.
- $f_i = m_i \times g$: agissant à tous les points nodaux dans la même direction. Les forces (f_i) agissent statiquement sur l'ouvrage d'où le déplacement de chaque degré de liberté est donné par :

$$\begin{cases} \{U\} = [K]^{-1} \times \{f\}. \\ \langle f \rangle^T = \langle m_i \times g \rangle. \end{cases}$$

- $\langle f \rangle^T = \{4694.379 ; 4664.223 ; 3129.586 ; 4664.223 ; 4694.379\}$ (KN)

$[K]$: est la matrice de rigidité de l'ouvrage dans le sens transversal, obtenue par la même procédure que dans le cas du sens longitudinal.

Le vecteur déplacement en mètres est donné par :

- $U = \{0.00431 ; 0.00277 ; 0.00472 ; 0.00277 ; 0.00431\}$

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{\sum m_i \times U_i^2}{\sum f_i \times U_i}} = 0.13 \text{ s}$$

Les effets transversaux du séisme ont pour expression :

$$F_i = \frac{4\pi^2}{T^2} \times \frac{S_a(T)}{g} \times U_i \times m_i$$

$T = 0.13$ Spectre de réponse (RPOA) :

$$\begin{cases} 0 \leq T \leq T_1. \\ S_{AE} \text{ (m/s}^2\text{)} = A \times g \times S \times \left(1 + \frac{T}{T_1} \times (2.5\eta - 1)\right) = 3.724 \text{ m/s}^2. \end{cases}$$

- $\{F_i\} = \{3216.85 ; 2055.73 ; 2349.28 ; 2055.73 ; 3216.85\}$ (KN).

IV.4.3.Direction verticale

Lorsque la méthode monomodale est applicable, le séisme vertical peut être négligé. Les sollicitations provoquées par le séisme vertical sont dans la très grande majorité des cas couvertes par les charges d'exploitation à l'E.L.U. On ne tiendra donc pas compte des efforts dans le tablier dus au séisme vertical. Toutefois, il est important de calculer les réactions d'appui sous séisme vertical pour vérifier les appareils d'appui et, en particulier, se prémunir contre des risques de soulèvement ou plus couramment contre le risque de cheminement d'un appareil en élastomère fretté.

Le risque de soulèvement sous sollicitation dynamique est moins grave que sous sollicitation statique. S'il se présente, il convient de *guider le tablier* de sorte qu'il ne s'échappe pas de ses appuis. Il n'est en général pas nécessaire de prévoir un dispositif lourd anti-soulèvement pour les ouvrages courants [21] Les vibrations verticales du tablier sont complexes. Lorsque le tablier repose simplement sur ses appuis (pas d'encastrement), les réactions d'appui R_i peuvent être calculées simplement à l'aide de la relation suivante :

$$R_i = a b \mu L$$

Où L est la longueur de la travée principale, et μ est la masse linéique du tablier
Le paramètre a caractérise l'accélération du sol en fonction de la classe de l'ouvrage, de la zone sismique et de la géologie du site du projet :

Les valeurs obtenues sont présentées au Tableau 4-4 pour différents types des ouvrages [20]

D'après la figure 4.4, on a : $L=32.4m$ et $\psi L=32.4m \rightarrow \psi=1$;

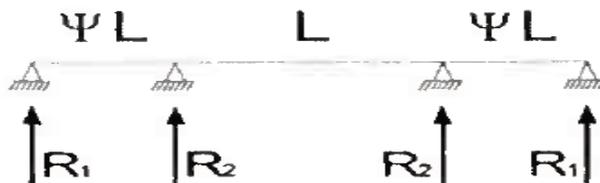


Figure IV.2: types des ouvrages

Tableau IV.1: Paramètre b

Ψ	R1	R2
0,5	0,22	0,45
0,6	0,24	0,48
0,7	0,26	0,58
0,8	0,26	0,69
0,9	0,24	0,75
1,0	0,25	0,75

On a trois travées et $\psi=1$

$$b_1=0.25 \quad \left\{ \begin{array}{l} \\ b_2=0.75 \end{array} \right.$$

Le spectre de réponse élastique par la composante verticale est donné en fonction de la Période élastique (T) et du taux d'amortissement (ξ) de l'ouvrage par

$$S_{ae}^v(T, \xi) = \begin{cases} \alpha A g \left(1 + \frac{T}{T_1} (2.5\eta - 1) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\alpha A g \eta & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\alpha A g \eta \left(\frac{T_2}{T} \right) & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\alpha A g \eta \left(\frac{3T_2}{T^2} \right) & T \geq 3.0s \end{cases}$$

Car une pile (ou culée) étant toujours très raide vis-à-vis des efforts normaux, alors on de Place sur le plateau du spectre élastique.

Donc :

- $S_{ae}^v = 2.5\alpha A g \eta (3T_2/T^2)$
- $T \leq T_2 = 0.9s$ (cas site S2)
- $A = 0.25$ et $g = 9.81 m/s^2$
- Zone sismique III $\Rightarrow \alpha = 0.7$
- $S_{ae}^v = 2.5 \times 0.7 \times 0.25 \times 9.81 \times (1.48) = 6.35 m/s^2$
- $\mu = \frac{M}{L}$ donc $\mu = 19.69 kg/m$
- $a = S_{ae}^v \times A \times \alpha = 1.11125 m/s^2$

D'où les réactions d'appui : $R_i = a b_i \mu L$

$$\mathbf{R1} = a b_1 \mu L = \pm 1.533 \times 0.25 \times 19.69 \times 33.4 = R1 = 252.251 \text{ KN.}$$

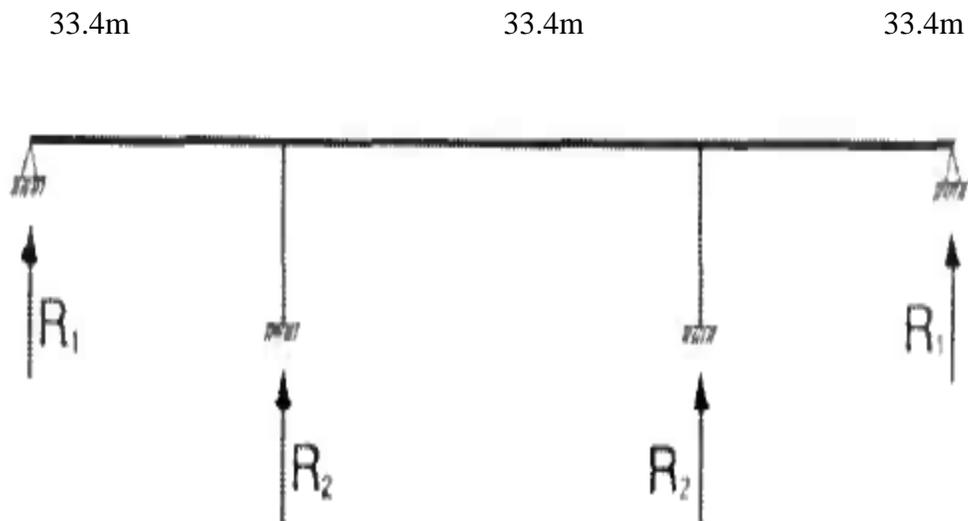
$$\mathbf{Fv}^{culée} = \mathbf{R1} = 25.25t$$

$$\mathbf{R2} = a b_2 \mu L = \pm 1.533 \times 0.75 \times 19.69 \times 33.4 = 756.754 \text{ KN.}$$

$$\mathbf{Fv}^{pile} = \mathbf{R2} = 75.67t$$

$$\mathbf{FV} = 2\mathbf{R1} + 2\mathbf{R2} = 201.801 t.$$

On vérifie les appareils d'appui et les piles en cumulant ces valeurs avec les réactions d'appui sous charge (verticales) permanentes et en les combinant avec les actions résultant du séisme horizontal. Il convient de prendre ces réactions d'appui vers le haut et vers le bas afin de tenir compte Aussi bien du séisme vertical ascendant que du séisme vertical descendant.



La figure IV.3: type de pont dalle de l'ouvrage

IV.5. CONCLUSION

La procédure à suivre pour évaluer l'effort sismique dans l'ouvrage paraît simple, mais en réalité un calcul très lourd et inévitable doit être effectué pour évaluer l'action maximale probable qui peut solliciter l'ouvrage. La complexité de ce calcul ne s'arrête pas au niveau de l'évaluation de l'effort sismique, mais aussi à la répartition de cet effort sur les éléments porteurs de l'ouvrage.

Dans le cas d'un tablier reposant sur des appareils d'appui en élastomère frété, une autre problématique est apparue, parce que celui-ci va se comporter comme étant une structure isolée, d'où une étude fiable fait appel aux techniques de calcul des structures isolées.

CHAPITRE V

Analyse multimodale spectrale de l'ouvrage

V.1. Introduction :

L'analyse multimodale spectrale est plus sophistiquée que la méthode monomodale et est très efficace dans l'analyse de la réponse des structures élastiques linéaires complexes à une excitation d'un tremblement de terre. Cette méthode est appropriée pour des structures à géométrie irrégulière. Ces irrégularités induisent un couplage dans les trois directions orthogonales au sein de chaque mode de vibrations.

V.2. Principe :

Cette analyse prend en compte tous les modes de vibration qui ont une contribution sur la réponse de la structure à une excitation sismique. Elle est basée sur un calcul dynamique multimodal spectral et tient compte de façon statique des déplacements différentiels. La réponse globale est obtenue par des combinaisons statistiques des contributions modales maximales.

V.3. Etapes de modélisation et présentation de programme SAP2000 :

Une analyse spectrale multimodale est généralement effectuée par la modélisation de la structure du Pont en plusieurs éléments dans les trois directions avec une masse de structure concentrée à différents Endroits pour représenter les modes de vibration des composants. Habituellement, cinq éléments sont Suffisants par travée pour représenter les trois premiers modes de vibration. En général, pour saisir le $i^{\text{ème}}$ mode de vibrations, la travée doit être décomposée en au moins $(2i-1)$ éléments. Pour les structures à longue portée beaucoup plus d'éléments devraient être utilisés pour capturer tous les modes qui contribuent à la vibration. Pour obtenir une réponse raisonnable, le nombre de modes devraient être au moins égale à trois fois le nombre de travées.

Cette analyse est généralement effectuée par un programme informatique d'analyse dynamique comme **ADINA, GTSTRUDL, SAP2000, ANSYS, et NASTRAN**. Les discontinuités au niveau des articulations et des butées doivent être incluses dans le modèle.

V.3.1. Présentation de programme SAP2000 :

La modélisation a pour objectif d'élaborer un modèle capable de décrire d'une manière Approchée le fonctionnement de l'ouvrage sous différentes conditions. Cette démarche de Modélisation par la méthode des éléments finis (**MEF**) ne permet généralement l'économie de temps, et met en évidence la maîtrise de trois domaines des sciences de l'ingénieur : la Mécanique des milieux continus (**MMC**), la rhéologie des matériaux et le calcul numérique

Par ordinateur. Avec la diversité des logiciels disponibles dans le monde de génie civil, on a adopté à Travailler avec le **sap2000v14** ; qui nous permettra un passage fiable de l'état physique à l'état numérique.

Le **SAP 2000** est un logiciel de conception et de calcul des structures d'ingénierie particulièrement adapté aux bâtiments et ouvrage de génie civil. Il permet en un même environnement la saisie graphique dans un environnement à trois (3) dimensions des ouvrages de **btp** avec une bibliothèque d'élément qui donne une approche de comportement du type de structure choisie.

Il offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques avec des compléments de conception et de vérification des structures en béton armé, charpente métallique. Le post-processeur graphique disponible facilite considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports Explicatifs.

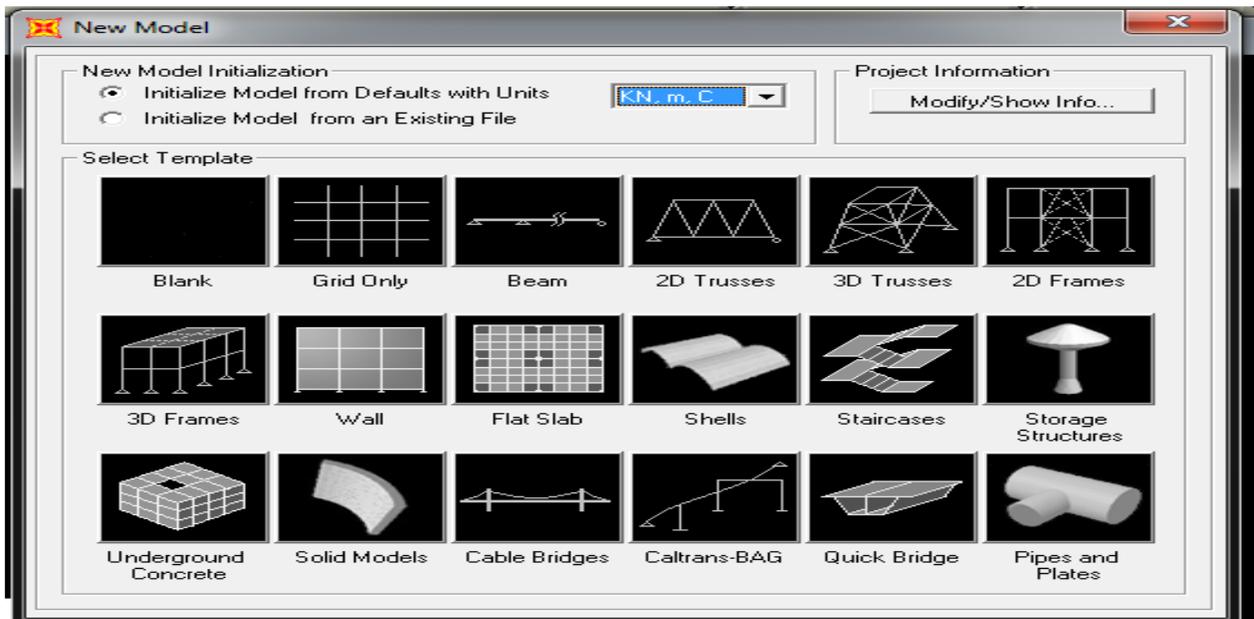


Figure V.1 : Présentation de logiciel Sap2000

V .3.2. Les étapes de modélisation :

Pour la modélisation du pont dans **le cas statique**, étant donné que l'ouvrage est isostatique avec cinq (3) travées indépendantes, on étudiera une seule travée (une dalle de 25cm d'épaisseur avec 6 poutres).

V.3.2.1. Le choix de type d'ouvrage :

L'ouvrage a été réalisé en choisissant le modèle « **Blank** », les étapes suivies pour la Modélisation sont indiquées comme suit :

Avant de choisir notre modèle avec lequel nous analysons la travée, on doit d'abord Changer l'unité au « **KN, m, C** » et ensuite le choix du modèle « **Blank** » est sélectionner soit Immédiatement par la barre des tâches ou en cliquant sur « **File** » « **New Model** ».

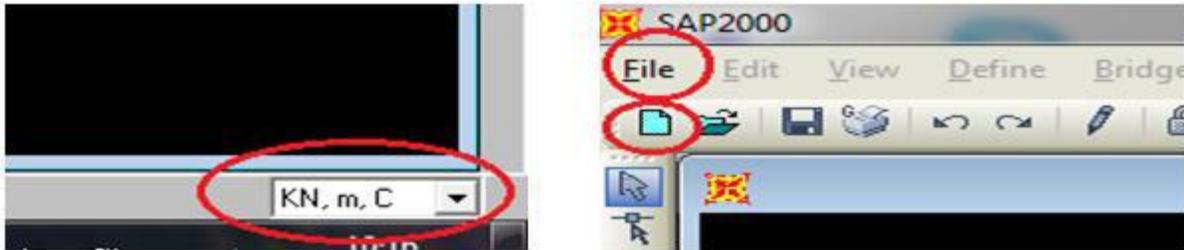
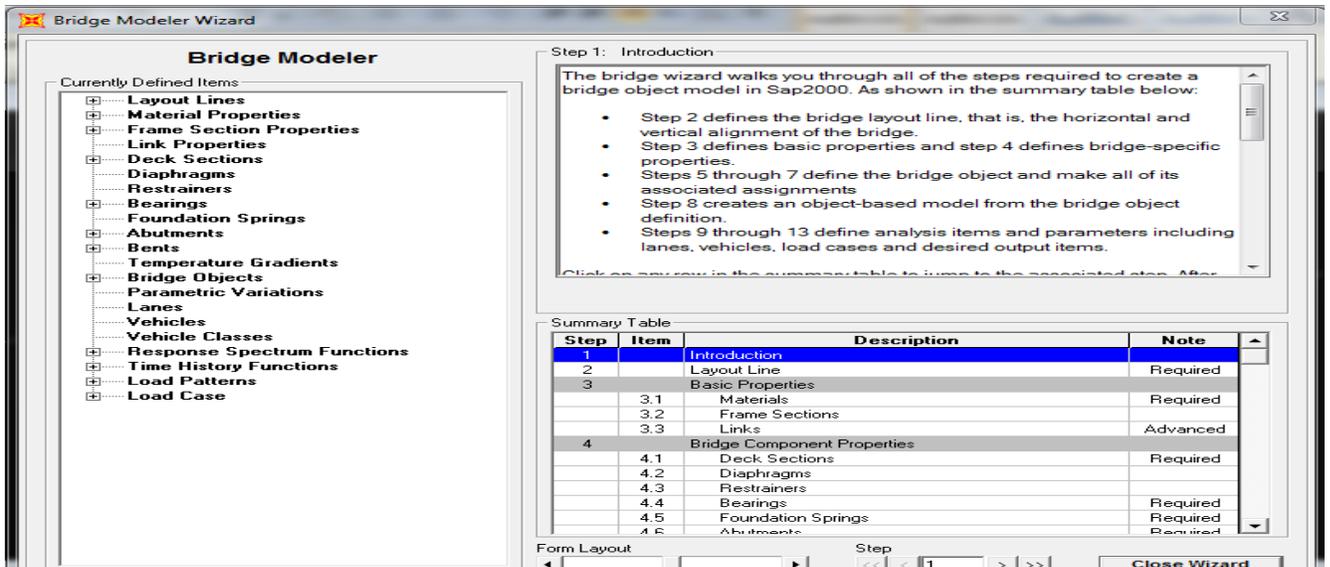


Figure V.2: Choix d'unité et de nouveau modèle.

Dans ce cas, le modèle « **Blank** » est pris comme choix. On passe ensuite par la description « **Bridge** » pour le choix de la sous-tâche « **Bridge Wizard** », dans laquelle on trouve tous les étapes nécessaires pour la modélisation du pont.



Step	Item	Description	Note
1		Introduction	
2		Layout Line	Required
3		Basic Properties	
	3.1	Materials	Required
	3.2	Frame Sections	
	3.3	Links	Advanced
4		Bridge Component Properties	
	4.1	Deck Sections	Required
	4.2	Diaphragms	
	4.3	Restraints	
	4.4	Bearings	Required
	4.5	Foundation Springs	Required
	4.6	Abutments	Required

Figure V.3: Représentation de la fenêtre « Bridge Wizard ».

V.3.2.2. La modélisation du tablier :

Le tablier est défini par la description « **Lay-out Line** » représenté dans le tableau de la Fenêtre précédente, et dans laquelle on fait entrer la valeur initial et final de toute longueur du Tablier, comme indiqué dans la figure suivante :

Initial and End Station Data	
Initial Station (m)	0.
Initial Bearing	N900000E
Initial Grade in Percent	0.
End Station (m)	33.4

Figure V.4: Affectation de la longueur du tablier

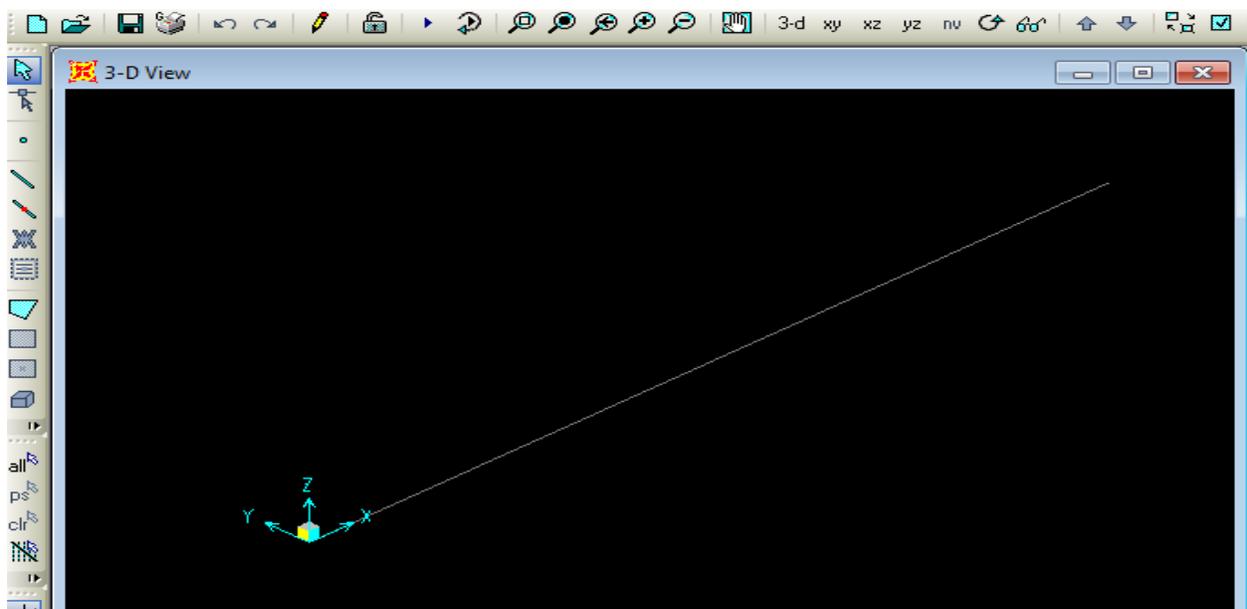


Figure V.5: Représentation de la longueur du tablier

L'étape qui suit, est de définir les caractéristiques des matériaux nécessaires pour l'étude en choisissant la description « **Materials** » et par suite on définit les propriétés des sections du tablier, poutres en T (dans les deux extrémités) et en I (dans la section Médiane).

Pour cela, on passe par « **Frame section** » et dans laquelle on choisit le type « **concrete** » signifiant le Béton, et la forme « **Precast** la description « **Deck Section** » nous permet de définir le tablier, par entrant les valeurs des dimensions de ce dernier dans les cases appropriées. Alors

on définit deux (2) types de tabliers, le premier caractérise un tablier de poutres en T et un deuxième pour les poutres en I.

Le choix de type de section des poutres en T ou en I est donné par cliquant dans la case représentant l'item « **Girder Section** ». Ensuite on doit séparer les différentes sections du tablier, de quelle façon qu'on aura la section d'about en T et la section médiane en I. Pour cela on choisit « **Bridge Object** » du tableau, et on donne les longueurs variantes des différentes sections indépendantes, représentés comme suit :

Bridge Object Data

Bridge Object Name: objet1 Layout Line Name: pont

Define Bridge Object Reference Line

Span Label	Station m	Span Type
trave2	66.8	Full Span to End Bent
Start Abutment	0.	Start Abutment
trave1	33.4	Full Span to End Bent
trave2	66.8	Full Span to End Bent
Span To End Abutment	100.4	Full Span to End Abutment

Note: 1. Bridge object location is based on bridge section insertion point following specified layout

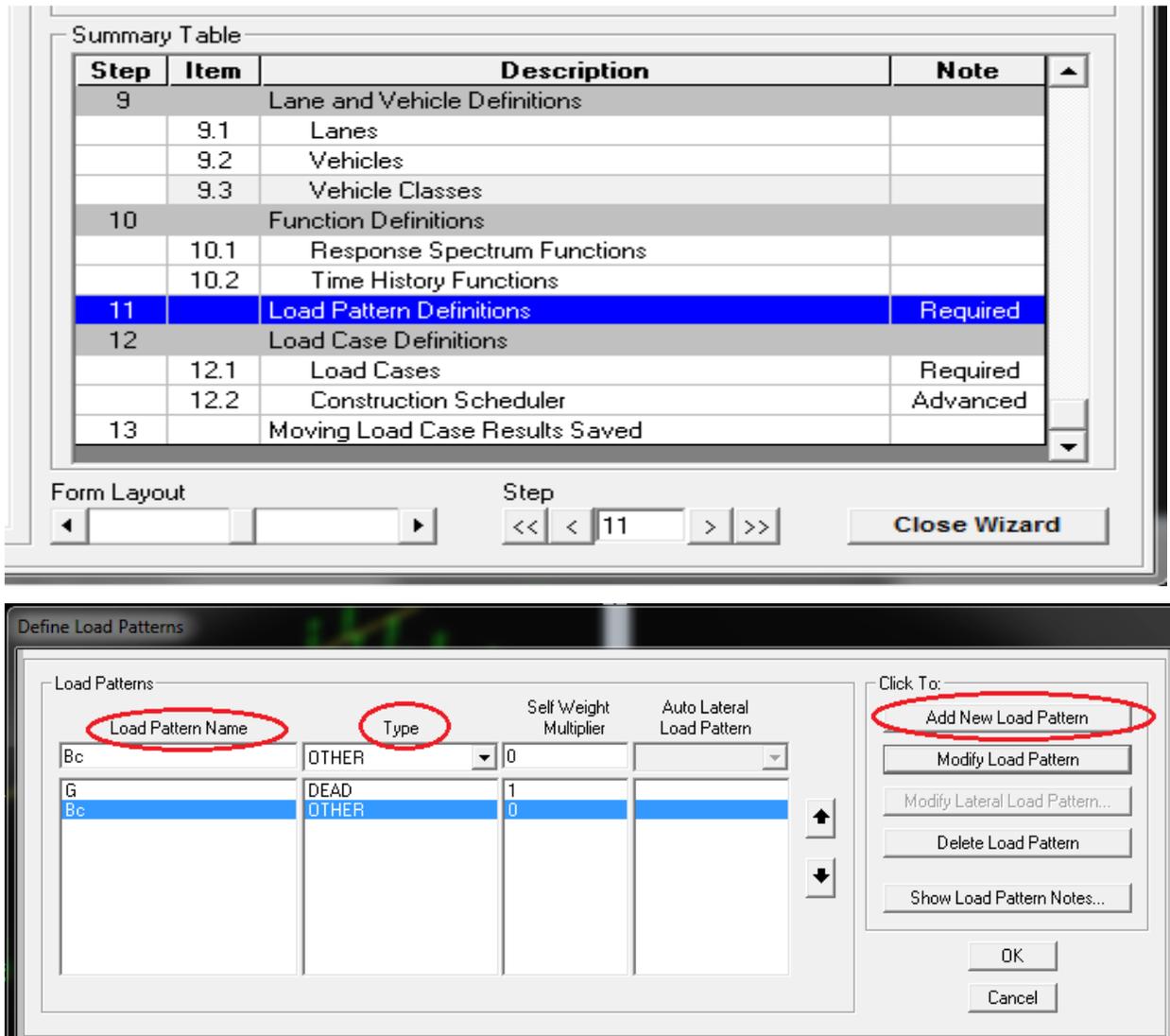
Bridge Object Plan View (X-Y Projection)

Show Enlarged Sketch...

Figure V.6: Séparation des différentes sections du tablier

V .3.2.3. Détermination des Charges et leurs combinaisons :

Pour bien analyser le tablier, on a besoin des combinaisons dans l'Etat Limite Ultime (ELU) et autres dans l'Etat limite de Service (ELS), et pour les définir on doit passer d'abord par la notation des chargements nécessaire dans l'étude annexe 03. Pour cela, on choisit la description « **Load Pattern Définitions** » du tableau indiqué dans La figure(V.7) et ajouter à chaque fois la charge et son type en cliquant sur « **Add New LoadPattern** », représenté comme suit :



La figure V.7 : Détermination des Charges et combinaisons

Les combinaisons sont définies en choisissant « **Define** » de la barre des tâches, et puis « **Load combinations** », et puis définir le Cas de chargements dans « **Load Cases** », soit linéaire et statique, ou pour certains surcharges, comme ceux de camion, on choisit le type « **MovingLoad** ». Ensuite, on représente les lignes de voie sur la travée, par la sous-tâche « **Lanes** » qui est adoptée soit par la description « **Lanes** », ou par passant de « **Define** » « **Bridge Loads** » « **Lanes** ». Donc par suite on peut faire entrer la valeur de chaque surcharge et sa classe de véhicule, soit directement du tableau de « **Bridge Wizard** » ou par la tâche « **Define** », comme représente la figure si après :

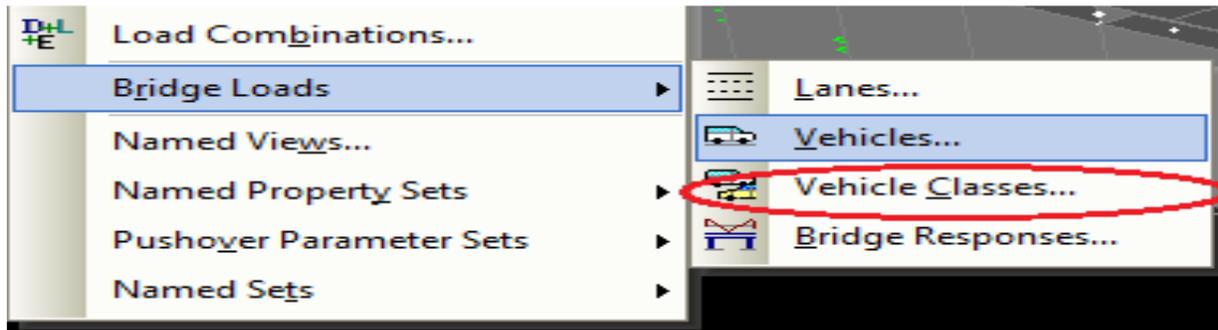


Figure V.8: Affectation des valeurs des surcharges

Comme dernier modèle, le voici représenté, le tablier du pont dans l'état statique :

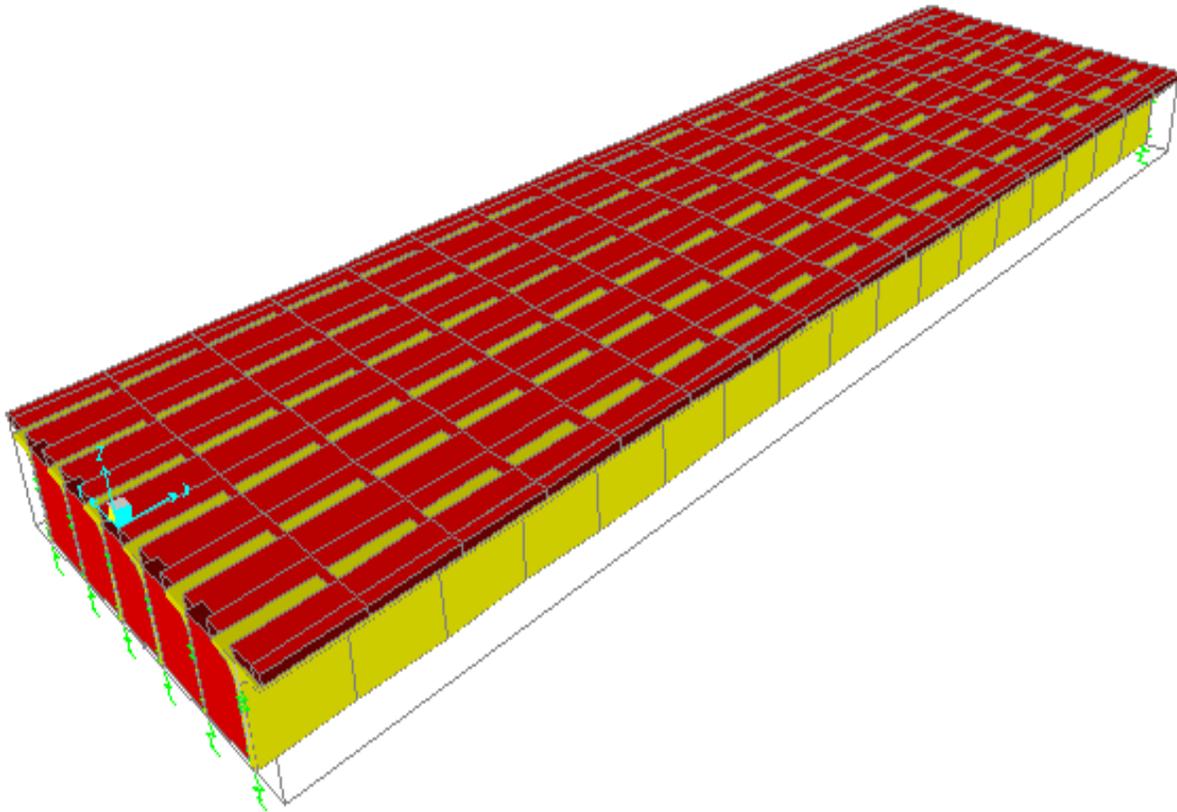


Figure V.9: Modèle du tablier à une seule travée

Passons ensuite, à la modélisation du pont dans **le cas dynamique**. En utilisant les mêmes étapes au cas Statique en passant par « **Bridge Wizard** » de la tâche « **Bridge** ».

On définit les piles et le chevêtre comme élément « **Frame** ». Après la définition des matériaux nécessaires à la construction et les propriétés de chaque section (Pile, Chevêtre, Poutre en about et Poutre en mi travée).

On change la longueur totale du tablier dans la sous-tâche « **lay-outlines** ».

Dans ce cas-là, la description « **Bridge Object** » est choisie directement par le tableau Précédent représenté dans la figure (4.4), et on définit les différentes sections du tablier avec leurs longueurs. Une fois les sections sont déterminées, on décompose le tablier en variantes sections (en T et en I) avec l'assignement « **Spans** ». Quand les propriétés des sections sont données, on passe à l'étape afin de définir la culée, sachant que la description « **Abutement** » représente cette dernière, comme suit :

« **Bridge** » « **Abutement** » « **Add New Bridge Abutement** », et donner un nom pour l'élément :

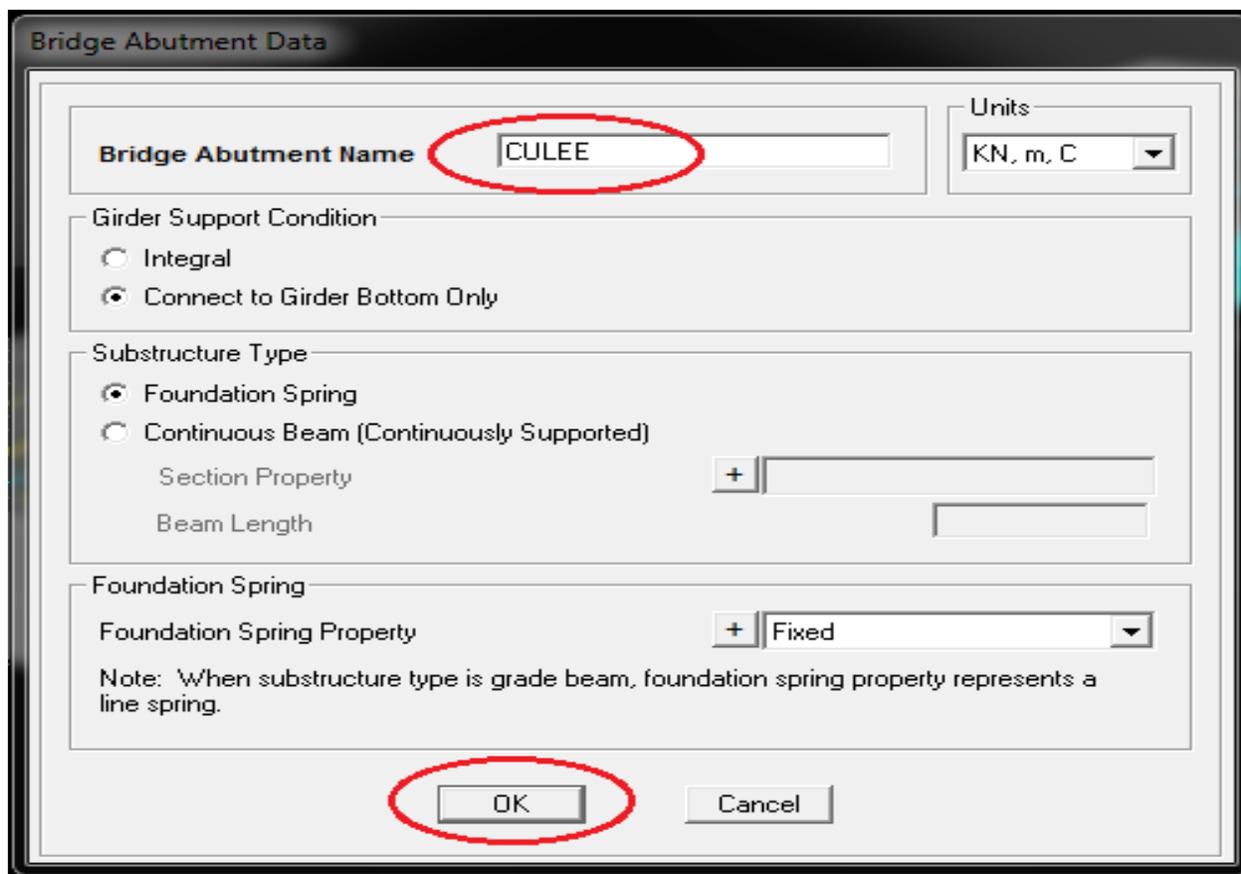


Figure V.10: Définition des culées

L'étape qui suit, est définir les piles par la sous-tâche « **Bents** », sachons qu'on a 2 piles de différentes hauteurs préfabriquées de 3 fûts intermédiaires, on ajoute donc 2 Bents dans Notre modèle Bent1, Bent2.

Les propriétés de chaque pile sont données par entrant dans le cadre « **Modify/Show Column data** » existant dans la description « **Bents** », et on fait entrer les dimensions et les valeurs qu'on a pour chaque colonne (La figure est représentée au-dessous).

Par suite, et dans la même tâche, il existe des données sur les appareils d'appuis (Éléments **Bearing**) soit en double ou singulier, avec la distance entre l'axe des appareils et celui de la pile. Notre pont comporte deux (2) appareils d'appuis symétrie par rapport à l'axe de la pile, c'est-à-dire « **Double Bearing Line** » et une distance de 55cm entre axes de la pile et l'appareil d'appui.

Le terrain destiné à servir pour la réalisation du pont est meuble (d'après le rapport géotechnique), à ce titre, le mode d'infrastructure proposé est de passer par un système de fondations profondes sur pieux, et pour cette raison on considère dans notre modèle un encastrement à la base des piles.

V.3.2.4. Détermination des rigidités :

L'élément intéressant qu'on doit vérifier surtout, est la rigidité de l'appareil d'appuis (à voir le **Chapitre VI**), et pour faire entrer leurs valeurs dans le logiciel **SAP**, on passe par la description « **Bearings** » « **Add New Bridge Bearings** ».

Les appareils d'appuis se trouvent au niveau des chevêtres pour chaque pile et chaque culée. Pour cela, on donne deux « **Bearings** » de différents noms, un pour pile et autre pour culée. Leurs types est ressemblant, et donc leurs rigidités sont égaux. Après le choix de nouveau « **Bearing** », la fenêtre qui suite nous oblige de donner les valeurs des déplacements suivant x, y et z et les rotations pour les mêmes repères (R1, R2 et R3).

On a un déplacement suivant x et y, et celui pour z est considéré comme infiniment rigide, donc on donne les valeurs pour chacun des deux U1 et U2 après changer le type de la réalisation au « **Partial Fixity** » et on libère toutes rotations. (Le calcul des raideurs est représenté dans étude de la méthode monomodale).

On passe ensuite à la sous-tâche « **Bridge Objects** » pour modifier les assignements de chaque élément d'appui, et mettre les données des appareils séparément.

a. Au niveau des piles :

On doit d'abord vérifier si les conditions de la superstructure des sections intermédiaires sont continuées, et celles qui restent d'extrémités soient discontinues. Selon le cas, on peut noter les étapes à suivre comme suit :

« **Bridge Objects** » « **Bents** » changer le nom de la travée dans la considération « **Bent At the End of this Span** » par celui de la première de la petite longueur, ensuite passer à « **Bentproperty** » et choisir « **None** », on continue avec cette méthode pour le reste mais sauf là où il y'a une pile, on choisit dans les propriétés des « **Bents** » la pile considérée. continuons notre travail avec les appareils d'appuis, pour les piles, leurs propriétés vont être modifiés sur la droite de la fenêtre (existent uniquement là où il y'a une pile).

b. Au niveau des culées :

Pour les culées d'autre part, les propriétés sont ajoutées dans l'assignement « **Abutments** », dans laquelle on observe qu'il existe deux fenêtre assimilés, une représente toutes propriétés de la première culée, et autre qui est pour celle de l'extrémité. On modifie alors les données pour chacun d'eux dans le « **BearingProperty** ».

L'étude dynamique comporte uniquement les combinaisons sismiques, et pour cette raison on doit définir les spectres de réponses horizontal et vertical comme suit :

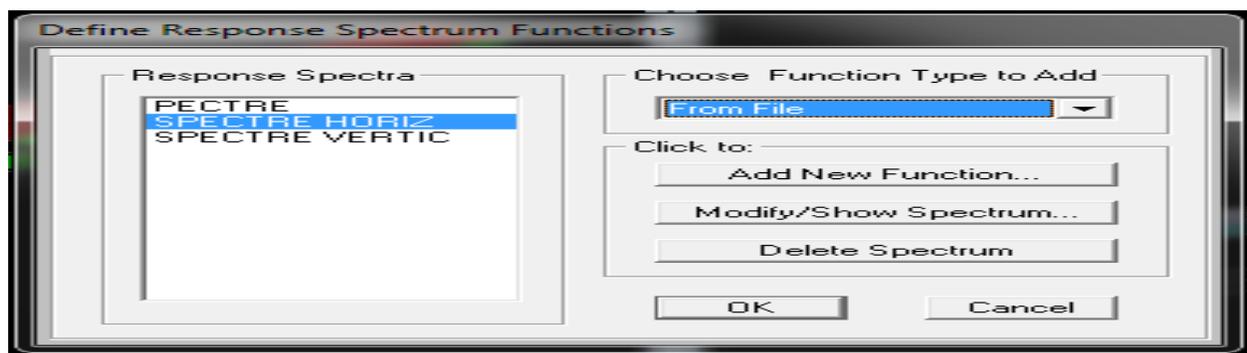
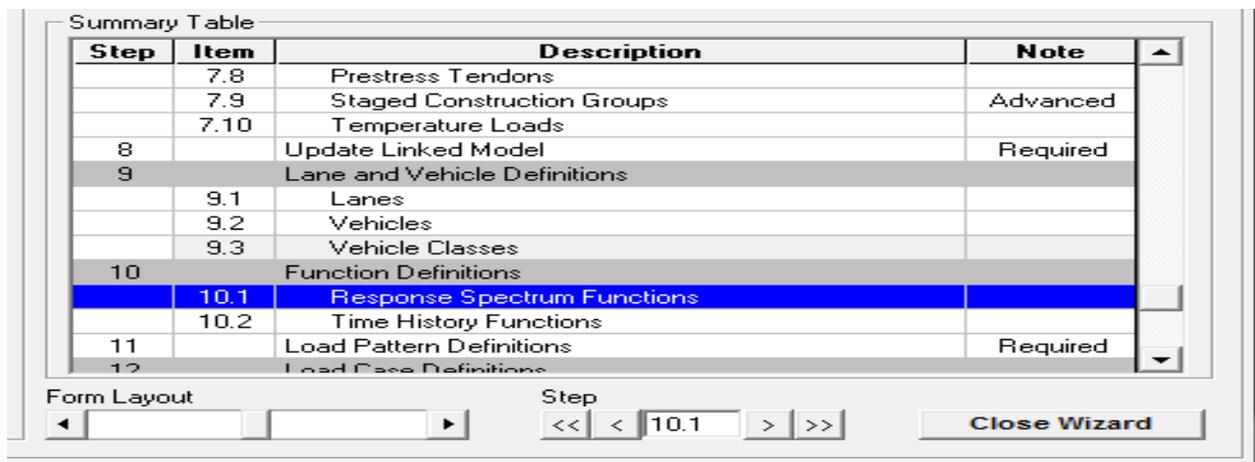


Figure V.11: Détermination des Spectres Horizontal et Vertical

Les valeurs des spectres horizontal et vertical doivent être enregistrés déjà sous un Fichier, pour pouvoir les ajoutés en utilisant la signification « **Browse** ».

V.3.2.5. Détermination des actions et combinaisons sismiques :

Les combinaisons sismiques Ex, Ey et Ez sont définies également dans « **Load Cases** » En modifiant leur type par « **Response Spectrum** », et choisir leur combinaisons Modale et directionnelles (**CQC**) et (**SRSS**), ensuite changer la fonction de chaque déplacement et multiplions par le facteur qui est égale à 9.81.

Bref, on fait l'analyse de notre modèle et on fait sortir les Moments Max et Efforts Tranchants pour chaque combinaison, afin de faire l'étude de notre intitulé, et interpréter les résultats dans le Chapitre suivant.

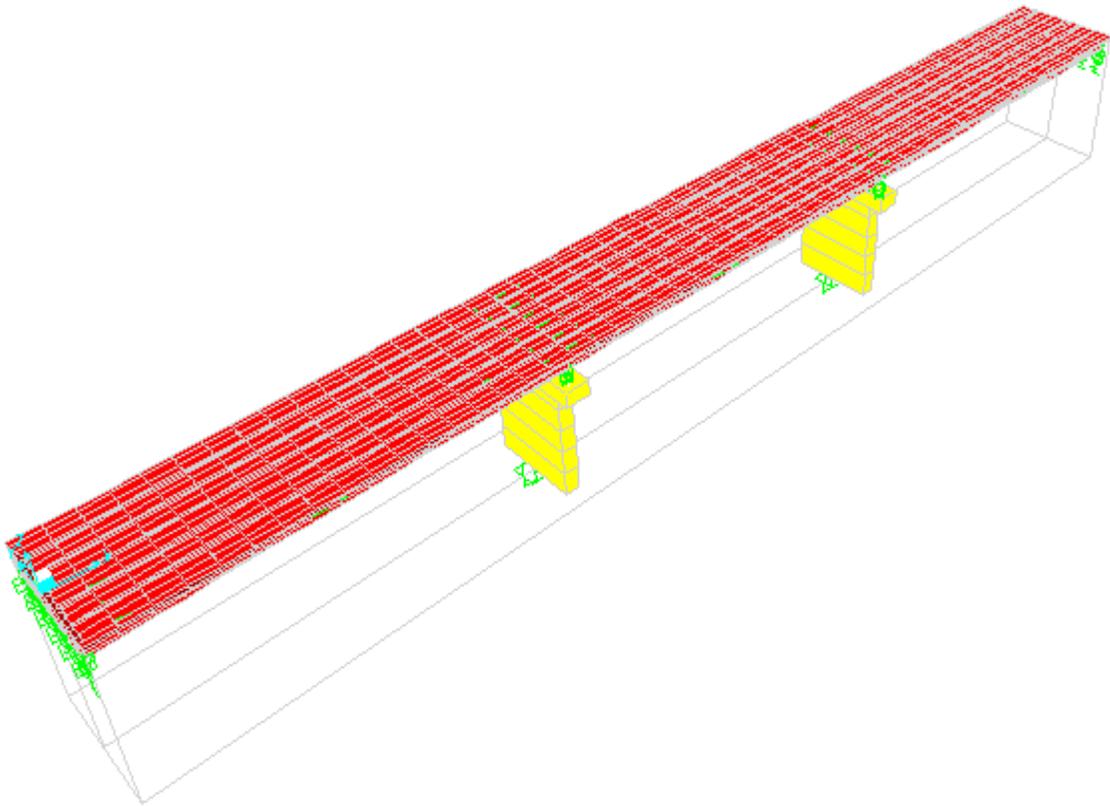


Figure V.12: Modèle finale du Pont

V.4. ETUDE STATIQUE :

A partir des charges et surcharges déterminés, on effectue par la suite une analyse statique de Pont

Tableau V.1 : Valeurs des coefficients de combinaisons selon le BPE nt

Actions	ELU	ELS
G (charges Permanentes)	1.35	1
Q surcharge d'exploitation	1.5	1
Surcharges A(l)	1.6	1.2
Surcharges Bc	1.6	1.2
Surcharges Bt	1.6	1.2
Mc120	1.35	1
D240	1.35	1
D280	1.35	1

Les charges citées précédemment sont introduites en considérant :

- **G** : charge permanente, définie comme une charge statique ;
- **Q** : surcharge de trottoir+corniche+garde-corps et glissière revêtement ;
- **A(l)** : surcharge uniformément répartie sur la largeur roulable, définie comme Charge linéairement statique ;
- **Bc, Bt** : surcharges des camions type, définie comme charges mobile (movingLoad) ;
- **MC120** : surcharge militaire, définie comme une charge mobile (**movingload**) ;
- **D240** : convois exceptionnels (**movingload**) ;

Combinaison à prendre en considération pour l'étude :

A l'Etat Limite Ultime (ELU) : [7]

1.35G+1.5Q+Max [1.6A(I); 1.6Bc; 1.6Bt; 1.35Mc120; 1.35D240; 1.35D280].

A l'Etat Limite de Service (ELS) :

G+Q+ Max [1.2A(I); 1.2Bc; 1.2Bt; Mc120; D240; D280].

V.4.1 Moments fléchissant dans les poutres :

V.4.1.1. Moments fléchissant due au poids propre :

D'après le calcul avec logiciel SAP2000, On a trouvé les résultats présentés Sous forme de Diagramme suivant :

V.4.1.2. Poutre de rive :

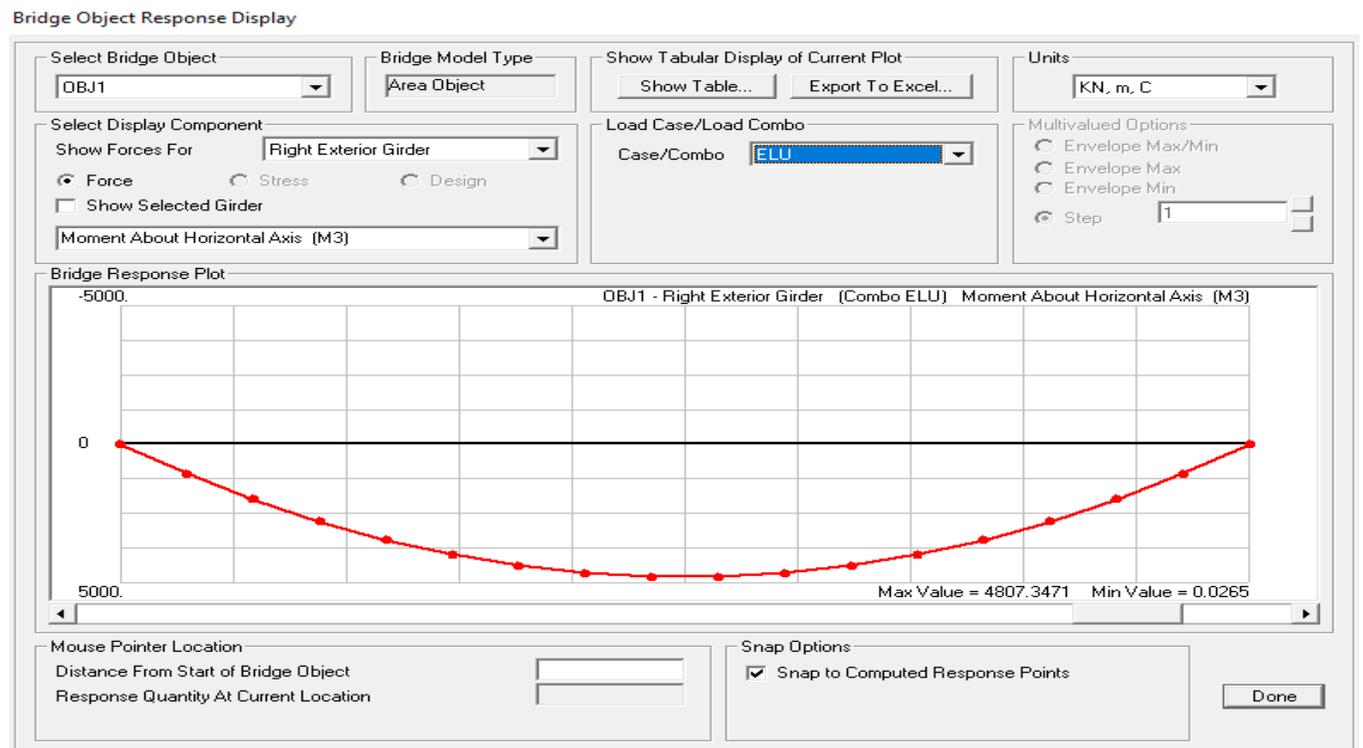


Figure V.13: Diagramme de Moment Fléchissant Due au poids propre.

V.4.1.3. Poutre intermédiaire :

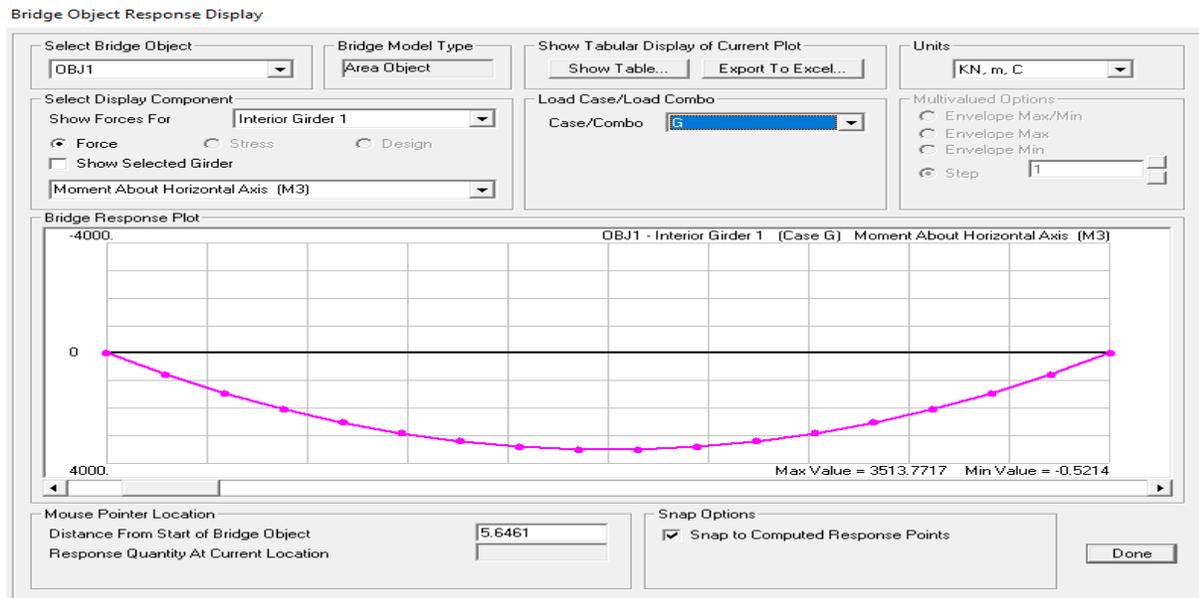


Figure V.14: Diagramme de Moment Max due au poids propre.

V.4.2. Moments fléchissant due à la surcharge À (I) :

V.4.2.1. Poutre de rive :

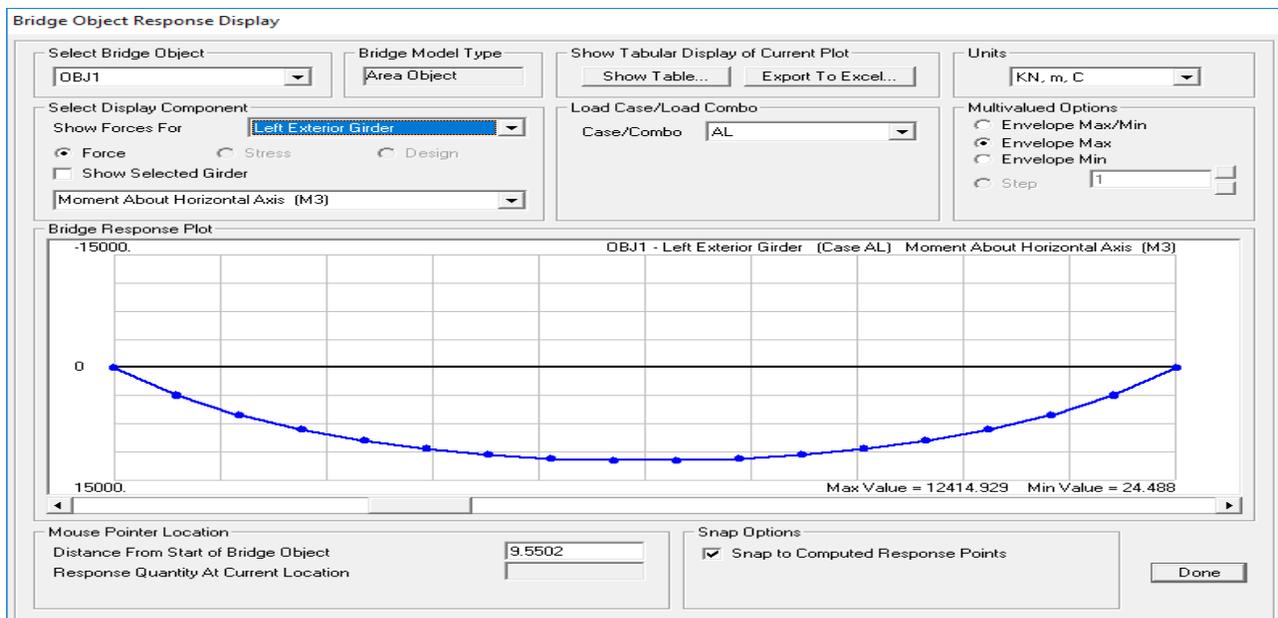


Figure V.15: Diagramme de Moment Max Due au surcharge A(I).

V.4.2.2. Poutre intermédiaire :

Bridge Object Response Display

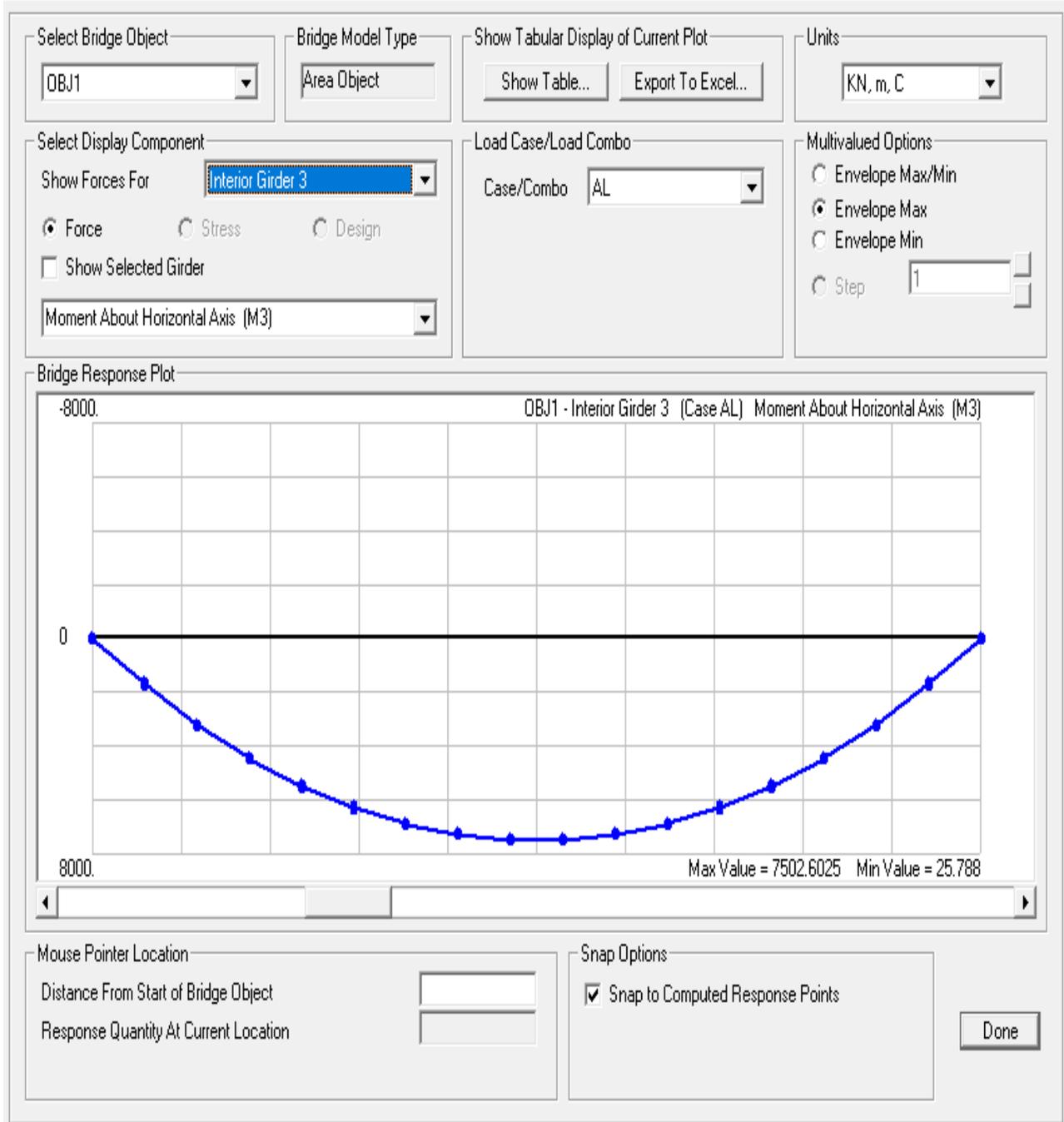


Figure V.16: Diagramme de Moment Max Due à la surcharge A (I).

On résume tous les résultats des Moments fléchissant maximum en (KN.m) obtenus à Partir du SAP2000 :

Tableau V.2: Moments fléchissant Max des sollicitations Individuelles en (KN.m).

Poutres	G	SurchargeA(I)	SurchargeBc	SurchargeMc120	SurchargeD240
gauche	3560.99	12141.92	5389.93	1033.69	343.13
1	3513.65	8854.99	4243.92	747.68	247.92
2	3498.46	7502.65	3709.89	652.19	193.32
3	3498.042	7502.65	3709.89	652.19	193.32
4	3513.77	8854.99	4243.92	747.68	247.92
droite	21146.09	12141.92	5389.93	1033.69	343.13

A ce titre, on peut noter le Moment Maximum de chaque cas de charge :

Tableau V.3: Tableau récapitulatif les Moments fléchissant maximum

Cas de charge	Moment fléchissant Maximum(KN.m)
Charge permanente G	3560.99
Surcharge A(I)	12141.92
Surcharge Bc (centrée)	5389.93
Surcharge Mc120 (excentrée)	1033.69
Surcharge D240 (excentrée)	343.13

Tableau V.4: Tableau récapitulatifs les Moments maximum les plus défavorables aux ELU

Combinaisons d'actions	Moment de la poutre intermédiaire(KN.m)	Moment de la poutre de rive(KN.m)
1.35G+1.5Q	5063.14	4848.27
1.35G+1.5Q+1.6A(I)	7380.88	7065.22
1.35G+1.5Q+1.6Bc	7616.62	7349.56
1.35G+1.5Q+1.35Mc120	5656.66	5431.60

Tableau V.5: Tableau récapitulatifs les Moments maximum les plus défavorables aux ELS (KN.m)

Combinaisons d'actions	Moment de la poutre intermédiaire(KN.m)	Moment de la poutre de rive (KN.m)
1.35G+1.5Q	3737.89	3581.39
1.35G+1.5Q+1.6A(I)	5476.2	5244.1
1.35G+1.5Q+1.6Bc	5457.4	5653.01
1.35G+1.5Q+1.35Mc120	4013.52	4177.54
1.35G+1.5Q+1.35D240	4580	4884.84

V.4.3. Efforts tranchants dans les poutres :

V.4.3.1. Efforts tranchant due au poids propre :

D'après le calcul avec logiciel SAP2000, On a trouvé les résultats présentés sous forme de diagramme suivant :

On note les valeurs les plus défavorables des Efforts Tranchant maximum en ELU pour les combinaisons des mêmes charges, récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau V.6: Tableau récapitulatifs les efforts tranchant maximum les plus défavorables aux ELU (KN.m).

Combinaisons d'actions	Effort tranchant dans la poutre intermédiaire(KN.m)	Effort tranchant dans la poutre de rive(KN.m)
1.35G+1.5Q	613.85	686.78
1.35G+1.5Q+1.6A(I)	866.85	975.73
1.35G+1.5Q+1.6Bc	1043.4	929.84
1.35G+1.5Q+1.35Mc120	706.8	705.92
1.35G+1.5Q+1.35D240	802.12	826.65

Bridge Object Response Display

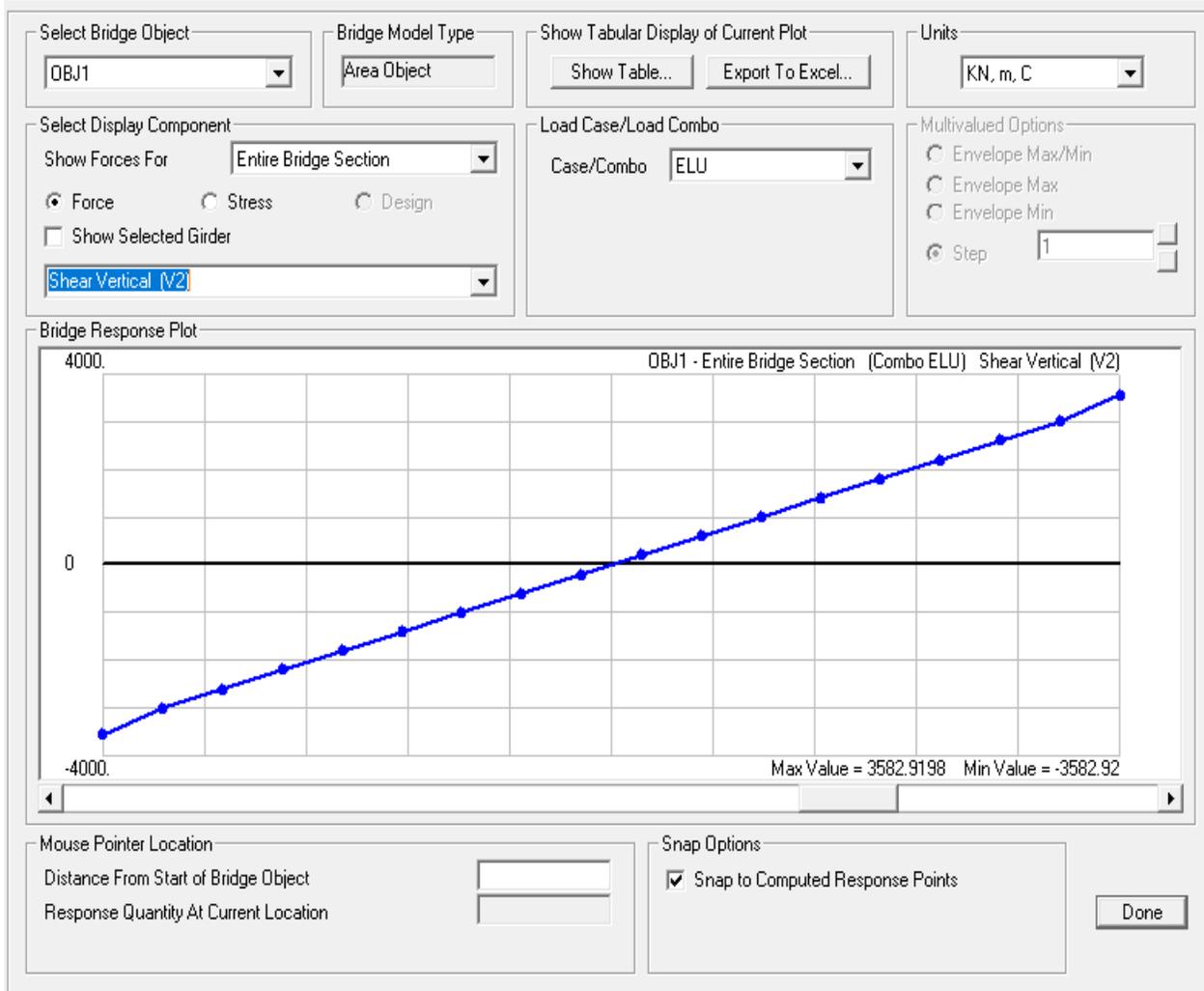


Figure V.17: Diagramme d'effort tranchant Due au l'ELU.

Tableau V.7: Tableau récapitulatifs les efforts tranchant maximum les plus défavorables aux ELS (KN.m).

Combinaisons d'actions	Effort tranchant dans la poutre intermédiaire(KN.m)	Effort tranchant dans la Poutre De rive(KN.m)
1.35G+1.5Q	453.71	505.73
1.35G+1.5Q+1.6A(I)	643.46	722.44
1.35G+1.5Q+1.6Bc	775.87	689.66
1.35G+1.5Q+1.35Mc120	522.55	521.14
1.35G+1.5Q+1.35D240	593.17	610.6

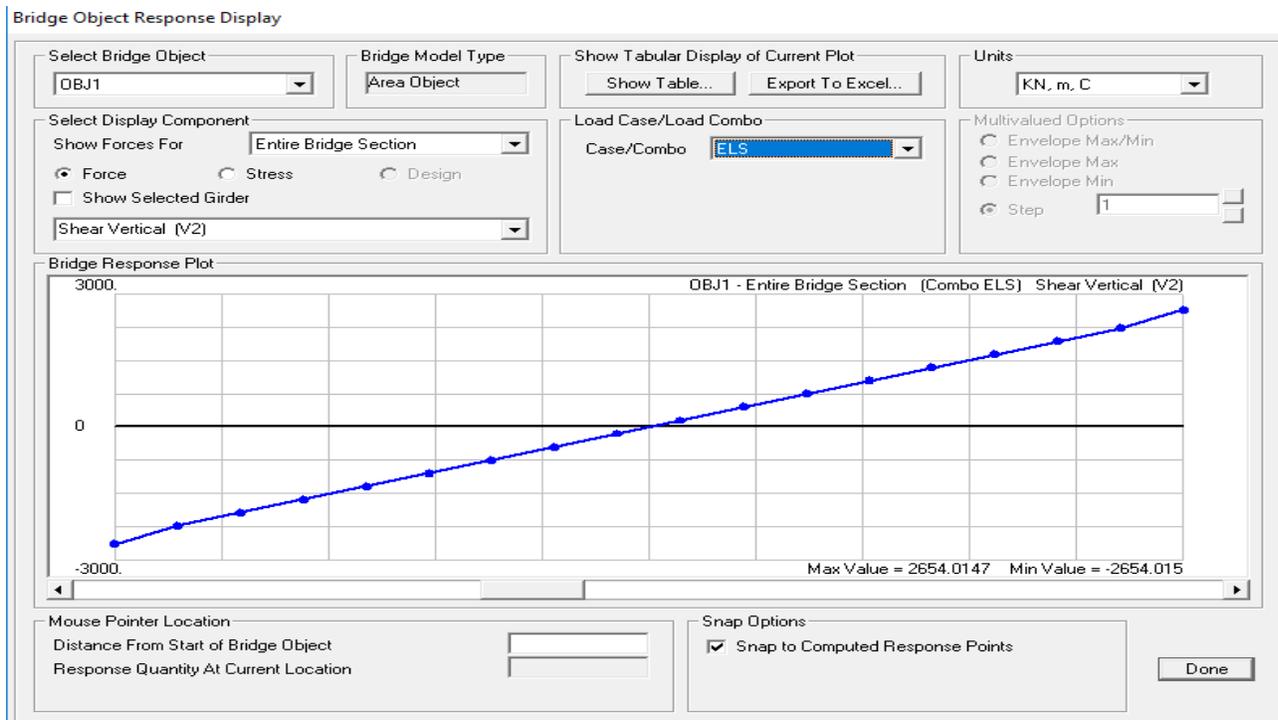


Figure V.18: Diagramme d'effort tranchant Due au l'ELS.

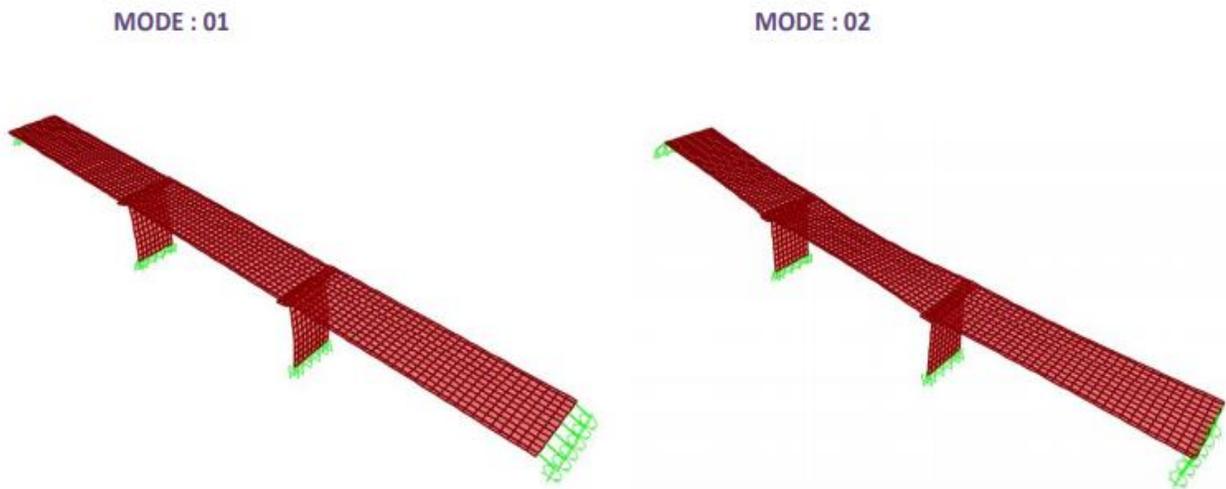
V.5 l'ETUDE DYNAMIQUE

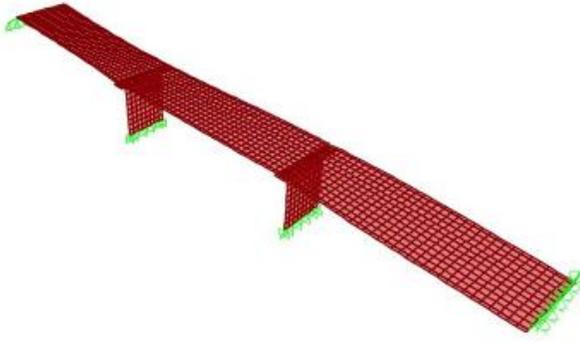
Le règlement Algérien RPOA contient des principes de conception et de Dimensionnement, des critères et des dispositions constructives pour les ponts neufs, pour Réduire au minimum leur susceptibilité au dommage dus aux actions sismiques. L'objectif de cette étude est consacré à :

- Analyse modale (Modes de vibration).
- Analyse dynamique spectrale.
- Evaluation des sollicitations sous différentes combinaisons

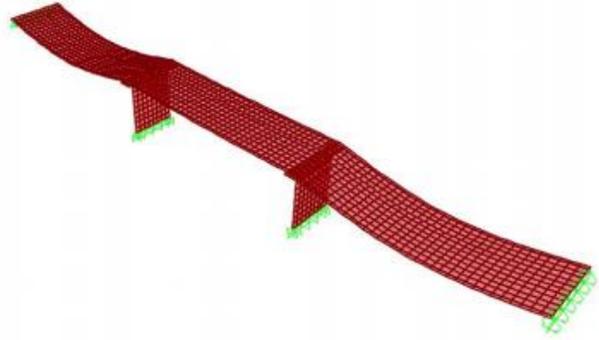
V.5.1 Analyse modale :

Après l'analyse du modèle, on récapitule les quatre (04) premiers Modes sous des diagrammes représentés comme suit :

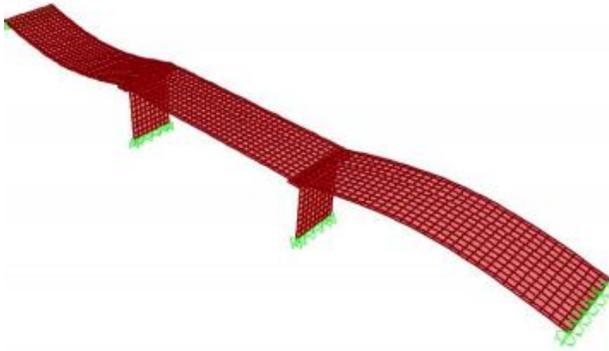




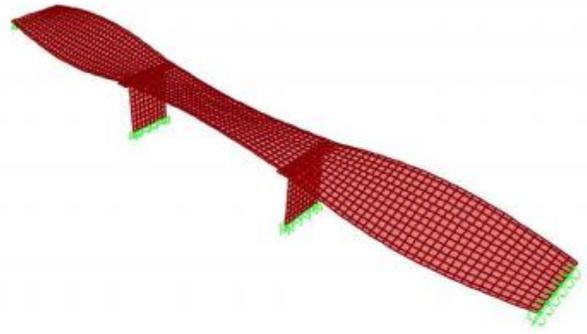
MODE : 03



MODE : 04



MODE : 05



MODE : 06

V.5.1. Comparaison des résultats :

V.5.1.1. Périodes propres :

Tableau V.8: Tableau récapitulatif les périodes propres et les facteurs de participations modales.

modes	Période(s)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Mode1	0.500148	0.05839	1.413E-11	0.18007	0.05839	1.413E-11	0.18007
Mode2	0.413652	0.27556	8.413E-10	0.03557	0.33396	8.555E-10	0.21564
Mode3	0.407337	1.383E-08	0.04363	6.707E-09	0.33396	0.04363	0.21564
Mode4	0.35207	0.47253	6.61E-08	0.0702	0.80649	0.04363	0.28584
Mode5	0.333883	8.02E-08	0.21894	0.000007356	0.80649	0.26257	0.28585
Mode6	0.332005	0.08933	0.000004416	0.34174	0.89582	0.26258	0.62759
Mode7	0.313497	0.000001521	0.06335	6.93E-09	0.89582	0.32592	0.62759
Mode8	0.293495	3.472E-08	0.01135	1.84E-09	0.89582	0.33727	0.62759
Mode9	0.229097	1.443E-09	0.37342	3.741E-09	0.89582	0.71069	0.62759
Mode10	0.194402	2.763E-10	0.04433	8.081E-09	0.89582	0.75502	0.62759
Mode11	0.193263	0.00096	7.154E-08	0.01181	0.89678	0.75502	0.6394
Mode12	0.163374	1.204E-09	0.00072	3.674E-09	0.89678	0.75574	0.6394
Mode13	0.144436	0.00726	2.807E-10	0.00016	0.90404	0.75574	0.63955

V.5.2. Moments fléchissant dans les poutres :

V.5.2.1. Moments fléchissant de la combinaison sismique $G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$:

a) Poutre de rive :

Bridge Object Response Display

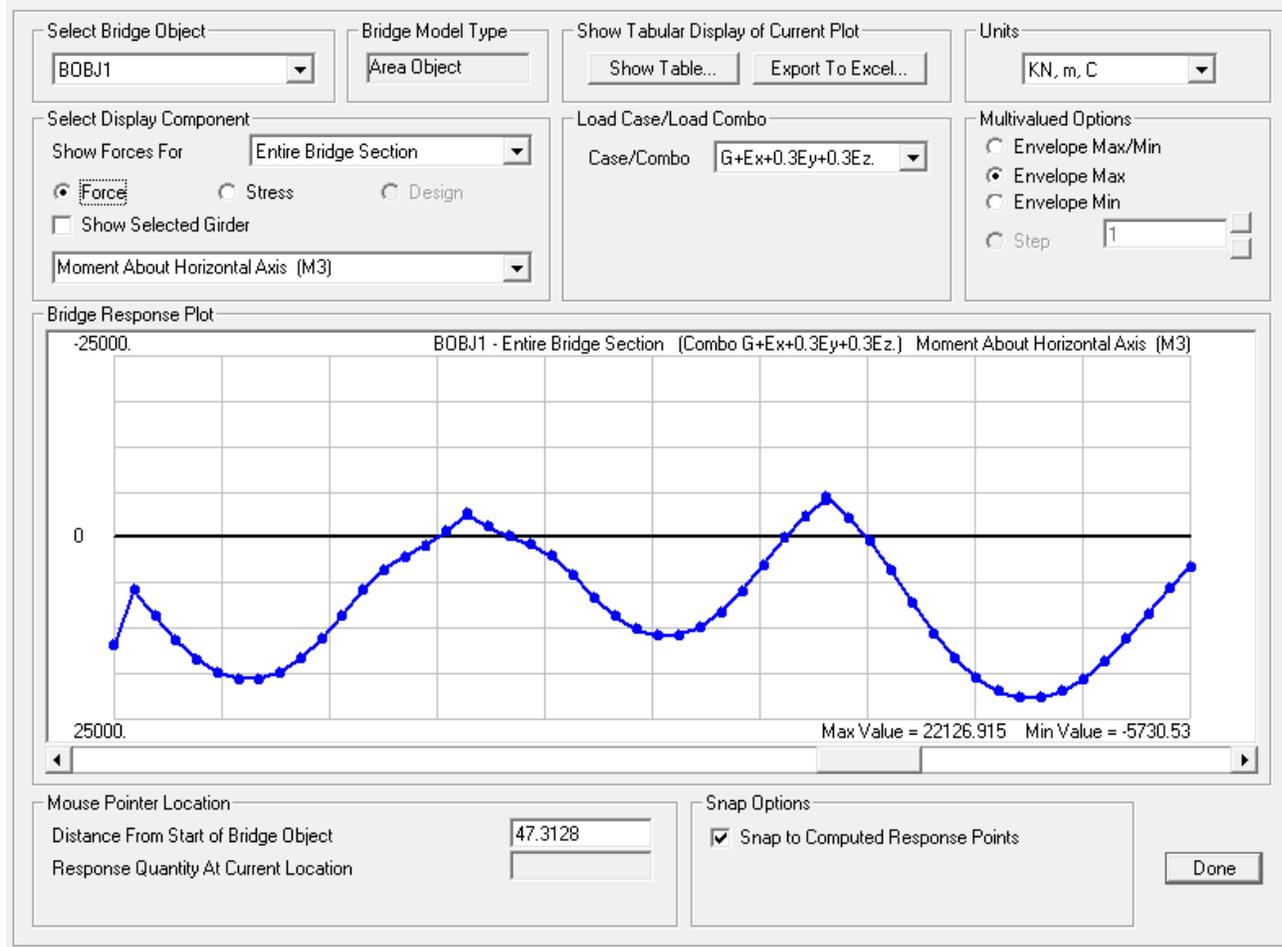


Figure V.19: Diagramme de Moment Fléchissant de la combinaison sismique $G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$.

b) Poutre de rive :

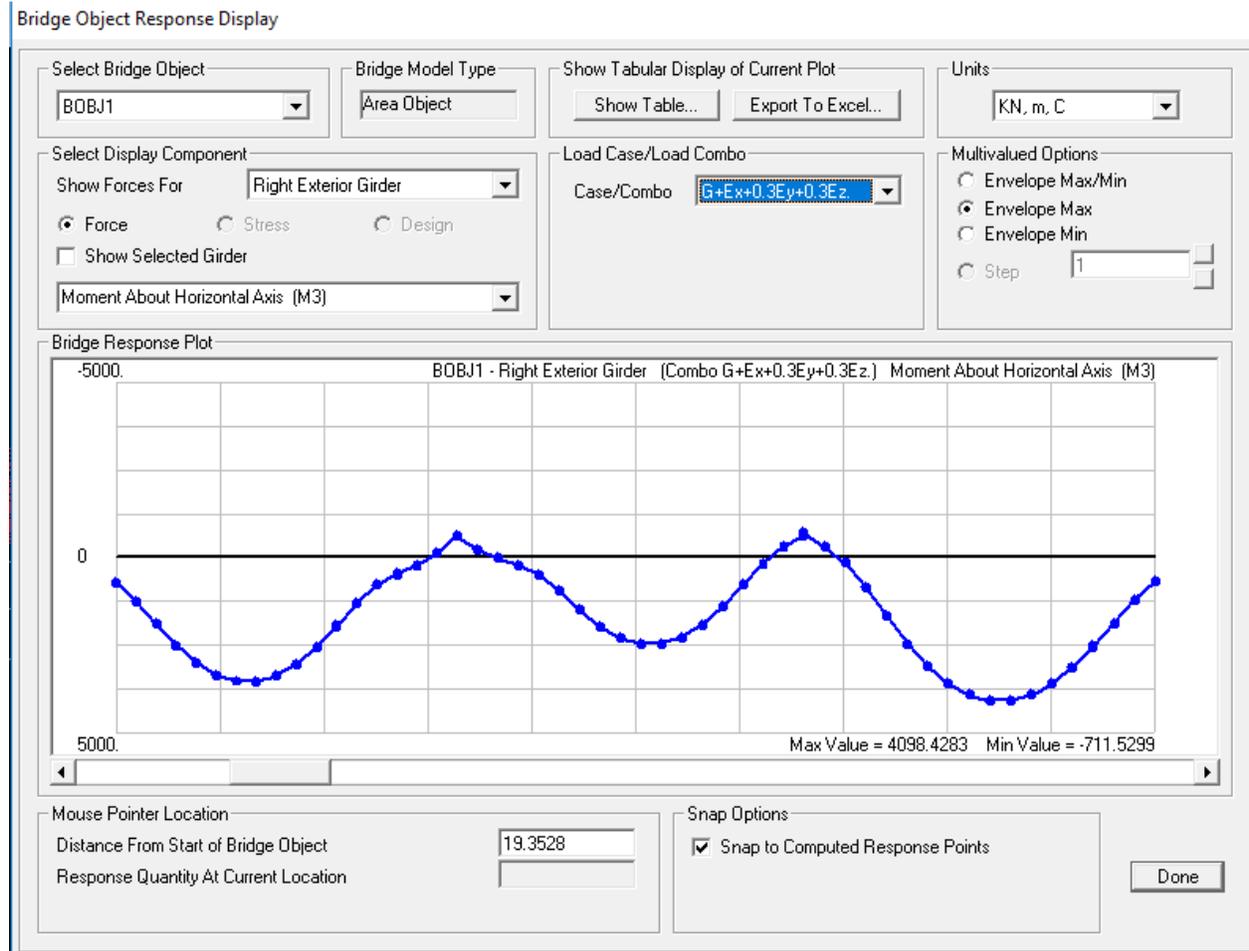


Figure V.20: Diagramme de Moment Fléchissant de la combinaison sismique $G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$.

On résume les résultats des moments fléchissant obtenues par le SAP2000 dans le tableau suivant:

Tableau V.9: Tableau récapitulatif les Moments maximum des efforts sismiques

Poutre	$G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$	$G+Ey+ 0.3Ex+0.3Ez$	$G+Ez+0.3Ex+0.3Ey$
Droite	3761.59	3781.53	4229.22
1	3615.86	3619.89	4065.25
2	3592.31	3588.98	4038.92
3	3592.31	3588.98	4038.92
4	3615.86	3619.89	4065.25
Gauche	3761.59	3781.53	4229.22

V.5.3. Effort tranchant dans les poutres :

V.5.3.1. Effort tranchant de la combinaison sismique $G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$:

a) Poutre de rive :

Bridge Object Response Display

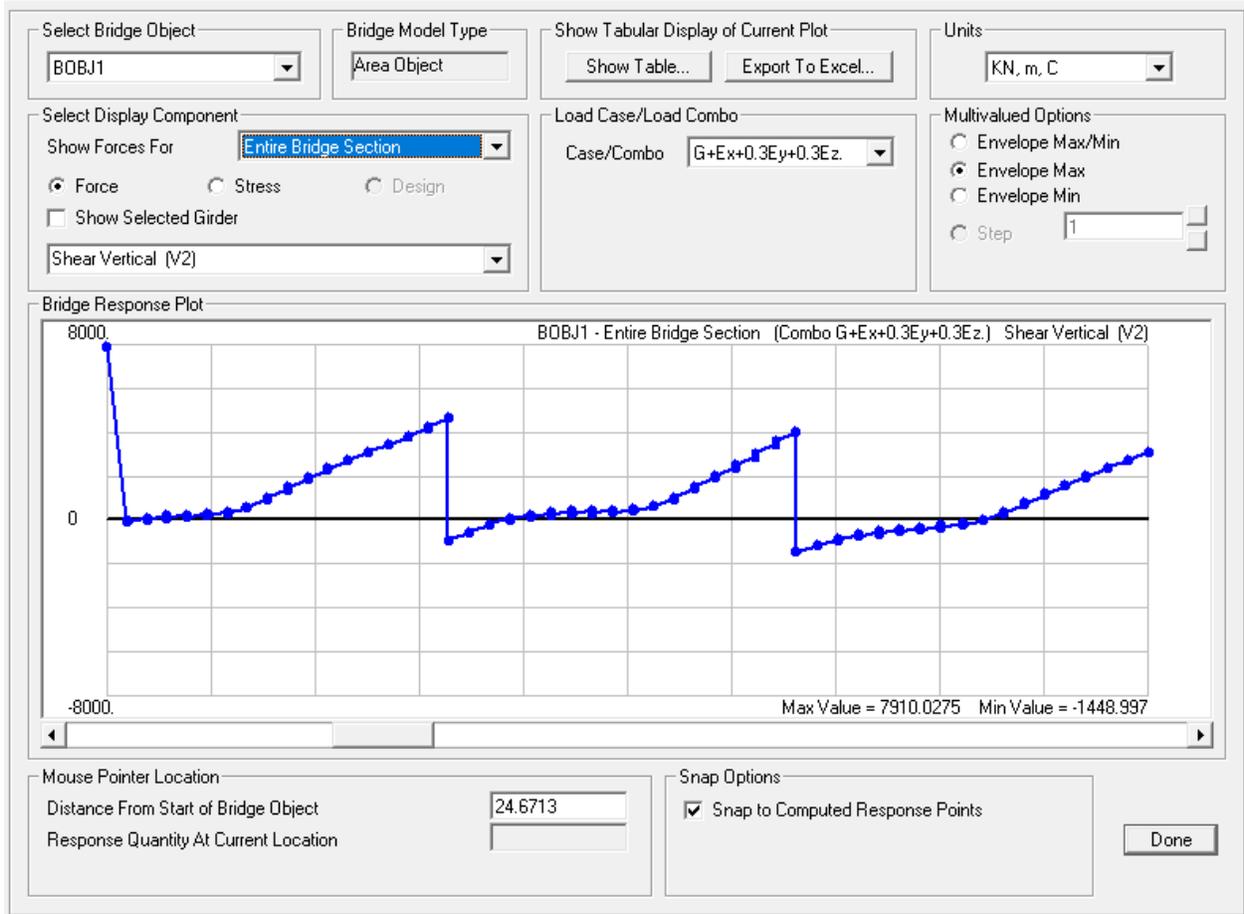


Figure V.21: Diagramme de l'Effort tranchant de la combinaison sismique $G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$.

b) Poutre intermédiaire :

Bridge Object Response Display

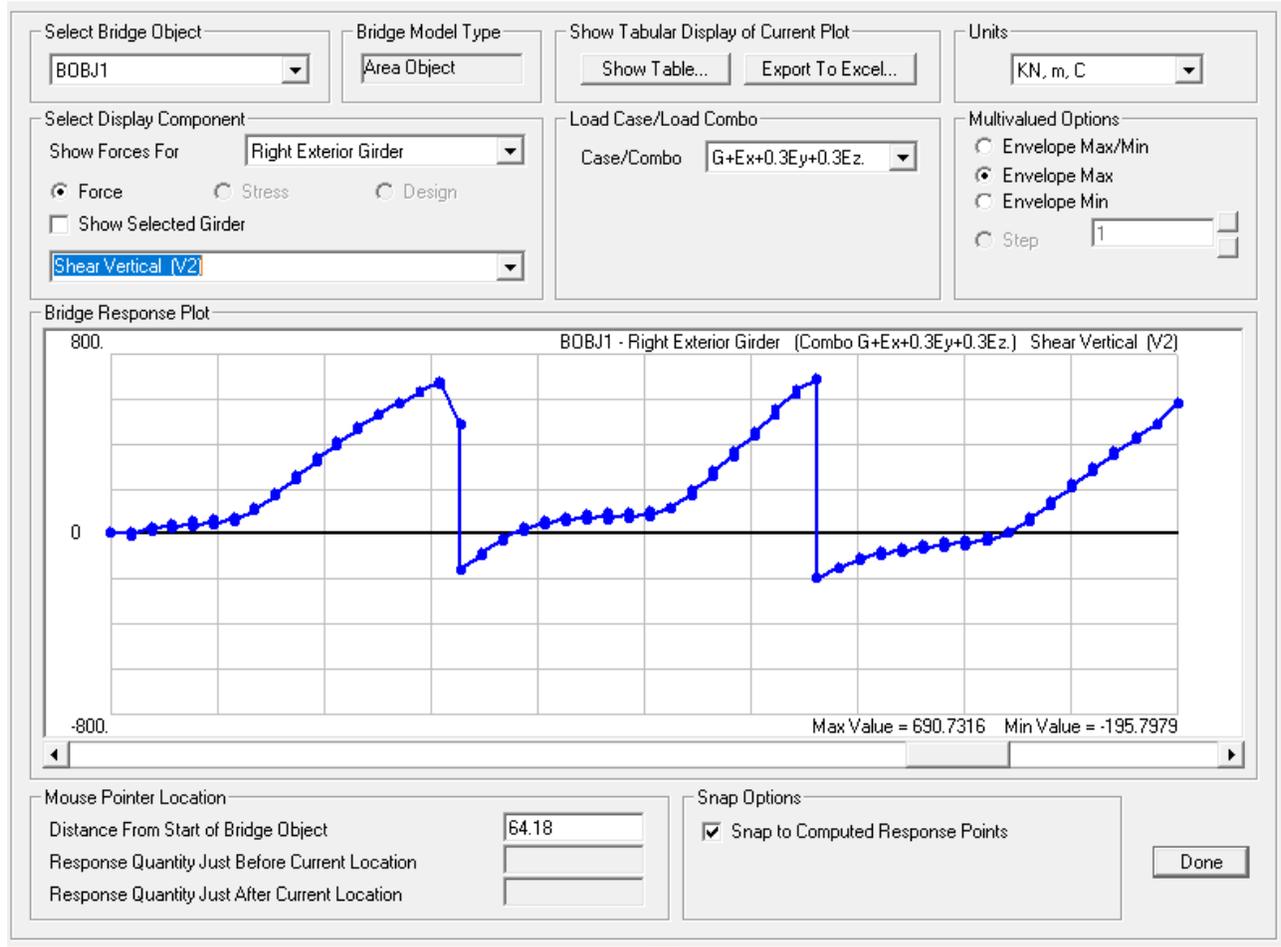


Figure V.22: Diagramme de l'Effort tranchant de la combinaison sismique $G+Ex+0.3Ey+0.3Ez$.

V.6. Conclusion :

Après avoir simulé l'ouvrage dans le logiciel de calcul des structures (SAP2000-V14) avec toutes les conditions d'appuis, on a pu comprendre le comportement de l'ouvrage vis-à-vis d'un chargement dynamique, à partir duquel, on a essayé d'élaborer un modèle mathématique qui représente l'ouvrage dans son ensemble, et qui sera utile pour l'application des méthodes (servant à évaluer l'effort sismique dans l'ouvrage) présentées dans le nouveau règlement parasismique des ouvrages d'art (RPOA).

On a pu représenter l'ouvrage par deux modèles indépendants l'un de l'autre, tout dépend du sens étudié. Ces modèles ont permis d'avoir pratiquement les mêmes déformées, les mêmes périodes dans le sens longitudinal et un ordre de grandeur acceptable des périodes dans le sens transversal, comparativement avec celle obtenues par le logiciel SAP2000-V14.

Mais, en tous les cas, une analyse analytique demeure délicate, voire même impossible dans le cas des ouvrages qui présentent une géométrie complexe, d'où le recours au calcul automatique est obligatoire. Pour avoir un résultat satisfaisant, un modèle automatique est compte beaucoup sur la précision des résultats on site parmi lesquelles : - Eléments finis, conditions d'appuis, Type et caractéristique des matériaux, les degrés de libertés permises dans une analyse (plans de l'analyse) et La source de masse a mobilisée dans une analyse dynamique (analyse sismique)

Conclusion générale

Le projet de fin d'étude est une phase de concrétiser les connaissances scientifiques acquises durant nos cinq ans de domaine de génie civil à travers l'étude d'analyse sismique d'un pont. L'objectif de notre travail, est de faire une étude dynamique d'un pont, et faire la comparaison entre les résultats obtenus pour les deux méthodes d'analyse sismique (monomodale, multimodale), afin de mieux savoir que les deux méthodes donnent des résultats plus proches.

L'utilisation de logiciel SAP2000 nous a permis de déterminer les différentes sollicitations (les moments fléchissant et les efforts tranchants) pour les deux cas d'étude. Dont, nous avons introduit séparément les résultats pour les deux modèles concernés.

On conclure que dans le cas où les critères de l'analyse sismique monomodale sont vérifiés en peut appliquer à le pont un calcul sismique simplifié (monomodale).

En effet, cette étude nous a donné l'occasion de connaître mieux les étapes principales de modélisation des ouvrages d'arts par le logiciel SAP2000, et modélisation des ouvrages d'arts par le logiciel SAP2000, et de maîtriser mieux ce logiciel, de ce qui résulte dans l'avenir à une rapidité dans le calcul et avec une meilleure précision.

Références bibliographiques

- 1- « sismologie et structure de la terre ». Fiches de Cours de SVT / Biologie destinée aux élèves de Lycée, site internet
- 2- **MILAN ZACEK**, « conception parasismique », sismologie appliquée, Tome 4, 2004.
- 3- **JASKY MAZARS**, « cour de génie parasismique », Grenoble-INP, Tunis, 2008
- 4- « Risque sismique » Direction général de la prévention des risques, bureau information préventive, La France, février 2005.
- 5- Dr Chabou Moulley charaf, « les tremblements de la terre » Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre université Ferhat addas Stif.
- 6- Réseau National de Surveillance Sismique, France (ReNaSS)
- 7- **Patricia BALANDIER** « sismologie appliqué », Eléments de sismologie appliquée à la construction à l'usage des techniciens du bâtiment, juillet 2001.
- 8- **Yelles Chaouche** « sismicité en Algérie et tectonique des plaques », Algérie.- AFPS (2003) rapport de mission du séisme du 21 mai 2003 en Algérie
- 9- **Bensoula Mohammed** « Le parasismique », cours structures, chapitre 2, université abd elhamide ibn badis de Mostaganem ; 11/2015.
- 10- **CRAAG** : Centre de Recherche en Astronomie et géophysique Algérie. Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique (EPST), Février2006.
- 11- **Monique Lefebvre** « les ouvrages d'art » Sétra - Centre des techniques d'ouvrages d'art). - 5002
- 12- **Jean-Armand CALGARO** « Conception des ponts - Démarche de conception » Éditions Techniques de l'Ingénieur, Paris – France ; 10/08/2009.
- 13- Pr. Noyan Turkkan « conception des ponts » ; Faculté d'ingénierie université de Moncton ;8/09/2005.
- 14- **Fiche ressource technologie au collège César Franck** « Avantages et inconvénients des ponts » ; académie Paris – France.
- 15- «BÉTONS ET OUVRAGES D'ART », Tom 1 ; Ce document a été rédigé par un groupe de travail composé d'experts de la FIB, du CERIB, du SNBPE, du SNPB et de CIMBETON. Édition : DBG Studios - S2974, septembre 2005.
- 16- **Jean-Armand CALGARO** « Conception des ponts - Équipements des ponts» Éditions Techniques de l'Ingénieur, Paris – France ; 10/02/2010.

17- **Coffi Blaise KOGNONSA** « Méthodologie de dimensionnement des fondations d'ouvrages d'art en béton armé: Application aux ponts-routes sur micros-pieux » Projet de fin d'études, Juillet 2004 page 6 et 7, université cheikh anta diop de DAKAR - SENEGAL

18- **jean-Michel MOREL** « La réparation des buses métalliques » Centre d'Études techniques Club ouvrages d'art Mars 2012

19- **Alain Capra et Victor Davidovici** « Calcul dynamique des structures en zone sismique » Edition Eyrolles guide pratique d'utilisation des règles B.A.E.L.80 Parise (1981).

20- **SETRA**, « Ponts courants en zone sismique, guide de conception » Document réalisé Par : (SETRA) Service d'études techniques des route et autoroutes, (SNCF) direction de l'ingénierie, département des ouvrages d'art, France ; Janvier 2000.

21- **Ministère de l'habitat**, « Règlement Parasismique Algériennes (RPA 99/ version 2003) » - centre national de recherche appliquée en génie parasismique- CGS- Algérie 2003

22- **Ministère des travaux publics**, « Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA2008) », document technique réglementaire D-T-R – Algérie 2008

23-**INSA**, «MEMOIRE IMPORTANTE DEVELOPPEMENT DES CAPACITES DE CONCEPTION PARASISMIQUE DES PONTS » CONCEPTION BASEE SUR LE PRINCIPE D'ISOLATION ET L'EMPLOI DE DISPOSITIFS AMORTISSEURS VISQUEUX ; France 01 Février au 31 Juillet 2012.