



*Ministère de l'enseignement supérieur Et
de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté science et de technologie
Département Génie civil*



MEMOIRE
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Structures

THEME

**ETUDE DE L'EFFET DE L'ESPACEMENT ENTRE
LES DIAPHRAGMES DES TABLIERS DE PONTS
(CAS DU TABLIER EN BETON)**

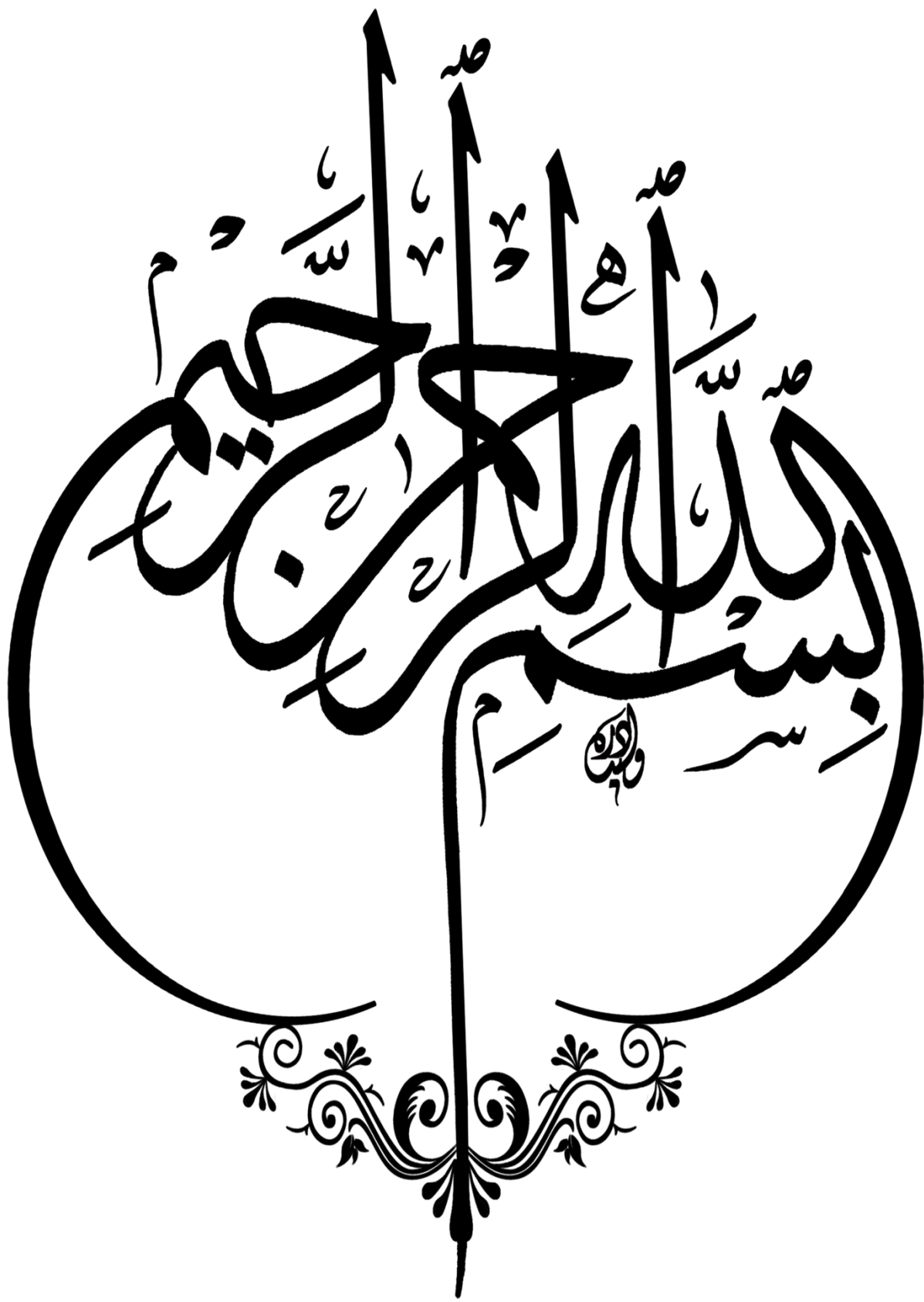
Dirigé par :

M. KHEIREDDINE BOUGUERRA

Présenté par :

- **Mle. BEN ABDERRAHMANE ABIR**
- **Mle. LAOUFI MOUNIRA**

Année universitaire : 2019/2020.



REMERCIEMENT

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous tiens à remercier chaleureusement notre encadreur M. Bouguerra pour sa compréhension, ses conseils, son aide précieuse et pour son encadrement durant toute la période de préparation de ce mémoire.

Nous remercions également les membres du jury qui nous ont honorés de juger notre travail.

Enfin, nous remercions tous les enseignants du département Génie Civil sans exception qui ont contribué à notre formation avec beaucoup de compétence et de dévouement.

➤ *Mle. Ben Abderrahmane Abir*

➤ *Mle. Laoufi Mounira*



DEDICACES

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE: Mehaidi Nacira. Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour moi falloler quand ilait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon estime profonde. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

Mle. BEN ABDERRAHMANE ABIR



DEDICACES

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un
labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on
aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la
reconnaissance durant toute notre existence*

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

Me. LAOUFI MOUNIRA

Résumé

Les diaphragmes sont des éléments transversaux dans un tablier de ponts. Ces éléments servent à stabiliser et transmettre les forces horizontales entre les poutres avant et après l'effet mixte entre la dalle et les poutres.

L'efficacité des diaphragmes dépend de leurs emplacements. Généralement, les diaphragmes servent à assurer la stabilité des poutres avant le coulage de la dalle que ce soit pour les tabliers mixtes ou les tabliers en béton.

Dans le cadre du présent projet de fin d'étude, deux types de pont, courbe et droit, ayant la même portée soit 36 mètres, ont été modélisés à l'aide d'un logiciel de calcul des structures pour étudier l'effet de l'espacement entre les diaphragmes sous le passage de camions. Les efforts internes dans les diaphragmes et les poutres ont été relevés pour chaque cas d'espacement pour être comparés. L'espacement minimal requis entre ces éléments est de 8m.

Abstract

Diaphragms are transverse elements in a bridge deck. These elements serve to stabilize and transmit horizontal forces between beams before and after the mixed effect between slab and beams.

The effectiveness of diaphragms depends on their locations. Generally, diaphragms are used to ensure the stability of the beams before the pouring of the slab, whether for composite decks or concrete decks.

As part of this end-of-study project, two types of bridge, curved and straight, having the same span, i.e. 36 meters, were modeled using structural calculation software to study the effect of the spacing between the diaphragms under the passage of trucks. The internal forces in the diaphragms and the beams were recorded for each case of spacing for comparison. The minimum required spacing between these elements is 8m.

المخلص

الأغشية هي عناصر عرضية في سطح الجسر. تعمل هذه العناصر على إستقرار ونقل القوى الأفقية بين الروافد قبل وبعد التأثير المختلط بين البلاطة و الروافد.

تعتمد فعالية الأغشية على مواقعها . بشكل عام ، يتم إستخدام الأغشية لضمان إستقرار الروافد قبل صب البلاطة ، سواء بالنسبة للأسطح المركبة أو الأسطح الخرسانية.

كجزء من مشروع نهاية الدراسة هذا ، تم تصميم نوعين من الجسور ، منحنى ومستقيم ، لهما نفس الامتداد ، أي 36 مترًا ، باستخدام برنامج الحساب الهيكلي لدراسة تأثير التباعد بين الأغشية تحت مرور الشاحنات. تم تسجيل القوى الداخلية في الأغشية والروافد لكل حالة تباعد للمقارنة. الحد الأدنى المطلوب للتباعد بين هذه العناصر هو 8 م.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACES Mle. Abir

DEDICACES Mle. Mounira

RESUME

ABSTRCT

الملخص

LISTE DES TABLRAUX

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Introduction générale

I.1- Introduction.....	1
I.2- Historique de pont	2
I.2.1- Le premier pont métallique de Paris	2
I.2.2- Le pont coulé par une barge.....	3
I.3- Différents types de béton dans la construction du pont.....	4
I.4- Problématique.....	4

Chapitre II : Recherche bibliographique

II.1- Introduction	5
II.2- Définition de pont.....	5
II.3- Le rôle de pont.....	5
II.4- Les types des ponts.....	6
II.4.1- Pont dalle	6
II.4.2- Pont poutre	7
II.4.3- Pont en arc.....	7
II.4.4- Pont mixte	8
II.5- Données nécessaires pour un projet de pont	9
II.5.1- Données fonctionnelles	9
II.5.2- Données naturelles	9
II.6- Éléments constitutifs d'un ponts	10
II.6.1- Le tablier	10
II.6.2- Les appuie	10
II.6.3 - Les fondations	12
II.7- Les équipements.....	14

II.7.1 – Dispositifs de retenue	14
II.7.2 – Corniches	14
II.7.3 - Les appareils d'appuis.....	15
II.7.4 – Joints de chaussée	15
II.7.5 – Étanchéité	15
II.7.6 – Drains.....	15
II.7.7 – Dalles de transition	15
II.8 – Charge de conception	16
II.8.1- Tablier	16
II.8.1.1- Dalle.....	16
II.8.1.2- Poutres.....	16
II.8.1.3- Diaphragme.....	17

Chapitre III : Les diaphragmes

III.1-Introduction.....	19
III.2- Le rôle du diaphragme et contreventement en bâtiment	19
III.2.1- Rôle du contreventement en bâtiment.....	19
III.2.2- Le rôle du diaphragme en bâtiment.....	20
III.3- Le rôle des diaphragmes dans les tabliers de ponts.....	22
III.4- Diaphragme en béton armé	23
III.4.1- Diaphragme intermédiaire.....	23
III.4.2- Diaphragme d'extrémité à la culée	23
III.5- Les code de calcule utilisé	23
III.6- Les charges nécessaires pour calculer le diaphragme	24

Chapitre IV : Modelisation

IV.1- Introduction.....	25
IV.2- Modélisation	25
IV.2.1- Ponts modélisés	25
IV.2.2- Charge mobile.....	29

Chapitre V : Analyse des résultats

V.1- Introduction.....	33
V.2- Pont droit.....	33
V.2.1- Poutre d'extrémité extérieure et poutre de centre	33
V.2.2- Efforts internes dans les diaphragmes dans le cas d'un tablier droit.....	36
V.2.3- Comparaison des efforts internes dans les diaphragmes pour le pont droit	43
V.3 - Pont courbe.....	44
V.3.1- Poutre d'extrémité extérieure et poutre de centre	44

V.3.2 - Efforts internes dans les diaphragmes dans le cas d'un tablier courbe.....	47
V.3.3 - Comparaison des efforts internes dans les diaphragmes pour le pont courbe	55
V.4- Comparaison entre les ponts droit et courbe	56

Chapitre VI: Conclusion

V.4- Conclusion.....	58
----------------------	----

LISTE DES TABLRAUX

Tableau V.1 : Valeurs du moment et du cisaillement de la poutre extérieure du pont droit...	33
Tableau V.2 : Valeurs du moment et du cisaillement de la poutre du milieu du pont droit....	34
Tableau V.3 :Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 4.5m (Pont droit).....	36
Tableau V.4 :Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 9 m(Pont droit).....	38
Tableau V.5 :Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 18m (Pont droit).....	40
Tableau V.6: Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 36m(Pont droit).....	41
Tableau V.7: Valeurs de moments et de cisaillements à chaque distance entre les diaphragmes en pont courbe.....	44
Tableau V.8: Valeurs de moments et de cisaillements à chaque distance entre les diaphragmes en pont courbe(Pont courbe).....	46
Tableau V.9: Efforts internes dans le cas diaphragme 4.5m(Pont courbe).....	47
Tableau V.10: Valeurs du moment, de l'effort normal et du cisaillement dans le cas diaphragme 9m(Pont courbe).....	49
Tableau V.11: Les valeurs du moment, effort normal et cisaillement dans le cas diaphragme 18m(Pont courbe).....	51
Tableaux V.12: Valeurs du moment, effort normal et cisaillement dans le cas diaphragme 36m(Pont courbe).....	53

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Pont de tron d'arbre.....	2
Figure I.2: Pont avec des corde.....	2
Figure I.3: Pont métallique de paris.....	3
Figure I.4: Le pont coulé par une barge.....	3
Figure II.1 : Photo représente un pont-dalle.....	6
Figure II.2 : Photo et schéma d'un pont à poutre.....	7
Figure II.3: Schéma avec représentation des différents ponts en arc.....	8
Figure II.4: Photo représente un pont mixte acier-béton.....	8
Figure II.5: Schéma d'un tablier(pont mixte).....	10
Figure II.6: Photo représente les piles.....	11
Figure II.7: Schéma d'une culée.....	12
Figure II.8: Photo représente les culées.....	12
Figure II.9: Schéma d'une fondation superficielle.....	13
Figure II.10: Schéma d'une fondation profonde.....	14
Figure II.11: Schéma d'un diaphragme	17
Figure II.12: Photo représente le diaphragme.....	18
Figure III.1:Schéma des contreventements.....	20
Figures III.2-3: Les diaphragmes en bâtiment.....	21
Figure III.4: Schémas des diaphragmes rigide et flexible.....	22
Figure III.5: Tablier de pont en béton.....	22
Figure IV.1 : Vue en plan du tablier droit.....	25
Figure IV.2 : Vue en plan du tablier courbe.....	26
Figure IV.3 : Coupe transversale des deux tabliers droit et courbe.....	26
Figure IV.4 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 4.5 m.....	27
Figure IV.5 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 9 m.....	27
Figure IV.6 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 18 m.....	27
Figure IV.7: Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 36m(diaphragmes d'extrémités seulement).....	28
Figure IV.8 : Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 4.5 m.....	28
Figure IV.9 : Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 9 m.....	28

Figure IV.10: Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 18 m.....	29
Figure IV.11: Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 36 m (diaphragmes d'extrémités seulement).....	29
Figure IV.12 : Une voie chargée sur le tablier droit.....	30
Figure IV.13 : Deux voies chargées sur le tablier droit.....	30
Figure IV.14 : Camion modélisé pour le calcul des efforts –tiré du tableau 7 de la norme NF-EN-19912.....	31
Figure IV.15 : Illustre le détail des essieux – tiré du tableau 8 de norme NF-EN-1991-2.....	31
Figure IV.16 : Déformée du tablier droit sous l'effet du passage du camion.....	32
Figure IV.17 : Déformée du tablier courbe sous l'effet du passage du camion.....	32
Figure V.1 : Diagrammes du moment de la poutre extérieure du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes.....	33
Figure V.2 : Diagrammes du cisaillement de la poutre extérieure du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes.....	34
Figure V.3 : Diagrammes du moment de la poutre de centre du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes.....	35
Figure V.4 : Diagrammes du cisaillement de la poutre de centre du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes.....	35
Figure V.5 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 4.5m(Pont droit).....	36
Figure V.6 : Diagramme du cisaillement dans le cas diaphragme 4.5m(Pont droit).....	37
Figure V.7: Diagramme de l'effort normal dans le cas diaphragme 4.5m(Pont droit).....	37
Figure V.8 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 9m(Pont droit).....	38
Figure V.9 : Diagramme du cisaillement dans le cas diaphragme 9m(Pont droit).....	39
Figure V.10: Diagrammes de l'effort normal dans le cas diaphragme 9m(Pont droit).....	39
Figure V.11 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 18m (Pont droit).....	40
Figure V.12 : Diagramme du cisaillement dans le cas diaphragme 18m(Pont droit).....	40
Figure V.13: Diagrammes de l'effort normal dans le cas diaphragme 18m(Pont droit).	41
Figure V.14: Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 36m(Pont droit).....	42
Figure V.15: Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 36m(Pont droit).....	42

Figure V.16 :Diagrammes de l'effort normal dans le cas diaphragme aux appuis (36m) (Pont droit).....	43
Figure V.17 :Diagrammes de moment dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement (Pont droit).....	43
Figure V.18 : Diagrammes de l'effort normal dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement(Pont droit).....	44
Figure V.19 : Diagrammes du moment de la poutre extérieure du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes(Pont courbe).....	45
Figure V.20 : Diagrammes du cisaillement de la poutre extérieure du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes (Pont courbe).....	45
Figure V.21 : Diagrammes du moment de la poutre de centre du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes(Pont courbe).....	46
Figure V.22 : Diagrammes du cisaillement de la poutre de centre du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes(Pont courbe).....	47
Figure V.23: Diagrammes de moment dans le cas diaphragme 4.5m (Tablier d'un pont courbe).....	48
Figure V.24: Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 4.5m(Pont courbe).....	48
Figure V.25: Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 4.5m(Pont courbe).....	49
Figure V.26: Diagrammes de moment dans le cas diaphragme 9m (Pont courbe).....	50
Figure V.27: Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 9m (Pont courbe).....	50
Figure V.28: Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 9m (Pont courbe).....	51
Figure V.29: Les diagrammes de moment dans le cas de diaphragme de 18m(Pont courbe).	52
Figure V.30: Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 18m (Pont courbe).....	52
Figure V.31: Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 18m(Pont courbe).....	53
Figure V.32: Diagrammes de moment dans le cas diaphragme 36m(Pont courbe).....	54
Figure V.33: Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 36m (Pont courbe).....	54
Figure V.34: Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 36m(Pont courbe).....	55
Figure V.35 : Diagrammes de moment dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement (Pont courbe).....	55
Figure V.36 : Diagrammes de l'effort normal dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement (Pont courbe).....	56

Figure V.37 : Diagrammes de l'effort normal dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement(Pont droit et courbe).....57



Chapitre I : Introduction générale

I.1- Introduction :

Un pont est un ouvrage d'art qui permet de franchir un obstacle ou un espace vide (un cours d'eau, une route, une vallée, ...etc.) en passant par-dessus. Suivant le type de voie portée (route, canal, rail ou piétonnière), on dira qu'il s'agit d'un pont-route, d'un pont-canal, d'un pont-rail ou d'une passerelle piétonnière[2]. Les ouvrages peuvent avoir des formes extérieures semblables, mais se différencient et se caractérisent surtout par la nature particulière du trafic qu'ils ont à supporter.[1]

La conception d'un pont est un long travail d'études visant à concilier diverses contraintes dont l'importance et l'ordre de prédominance varient selon les projets : données naturelles du franchissement, données fonctionnelles de la voie portée, procédés de construction, insertion dans l'environnement, coûts, délais...etc. [1]

La conception d'un pont résulte d'une démarche itérative dont l'objectif est l'optimisation technique et économique de l'ouvrage vis-à-vis de l'ensemble des contraintes naturelles et fonctionnelles imposées. Un certain nombre d'exigences de durabilité et de qualité architecturale ou paysagère y sont intégrées, ainsi que les avancées technologiques en termes de matériaux, de méthodes de construction, de création et de moyens de calcul. De façon générale, la démarche de conception d'un pont comprend trois étapes ; le recueil de données fonctionnelles et naturelles, le choix d'une structure répondant aux exigences, et l'étude de détail de la solution retenue. Il revient à l'ingénieur de tirer le meilleur parti des matériaux et de limiter les aléas possibles lors de l'exécution.[3]

I.2- Historique des ponts :

Les premiers ponts consistaient en de simples troncs d'arbres abattus et jetés entre les deux rives de la rivière, puis arrivèrent les pontons et les ponts en corde essentiellement en Amérique et Asie (ce qui éveilla d'ailleurs la curiosité des Européens). Ces ponts de corde se rencontraient encore assez fréquemment au siècle dernier. Mais les maîtres incontestables en la matière furent les Romains (env. 600 ans avant J-C), qui construisirent des ponts de bois soutenus par des piliers, puis utilisèrent la maçonnerie (taille de pierre). Après la chute de l'Empire Romain, il resta en Europe de nombreux ponts en arcs, en pierres massives, témoignant de l'habileté des Romains. Mais pendant des siècles, personne ne poursuivit leur.

L'histoire des ponts modernes commença avec le remplacement des arcs en demi-cercles par des formes elliptiques (pont de la Concorde à Paris). Cette nouvelle forme autorisait une portée beaucoup plus grande des arcs de ponts.[4]

**Figure I.1 :** Pont de tronc d'arbre**Figure I.2 :** Pont avec des cordes**I.2.1- Le premier pont métallique de Paris :**

La construction du pont a duré 3 ans, De 1801 à 1804. Les architectes de l'époque l'ont imaginé comme base d'un jardin suspendu. C'est le premier pont métallique de Paris, fabriqué avec neuf arches, et dès cette époque il est baptisé du nom qu'il porte aujourd'hui.



Figure I.3 : Pont métallique de paris

L'explication est simple : sous le Premier Empire, le palais du Louvre s'appelait alors le palais des Arts. Pour emprunter le pont, les piétons devaient à l'époque s'acquitter d'un droit de péage de deux sous si l'on en croit Honoré de Balzac (il donne le tarif du péage dans "La Rabouilleuse"). [5]

I.2.2- Le pont coulé par une barge :

En 1852, quelques mois avant le coup d'état de Napoléon III, le pont des Arts est modifié. Le quai Conti ayant été élargi, le nombre d'arches est ramené à sept. Jusqu'au XXe siècle, le Pont ne connaîtra pas d'événement majeur. Toutefois, en 1976 l'administration des Ponts et Chaussées tire le signal d'alarme : il est extrêmement fragile, les deux guerres et des accidents de la navigation l'ayant sérieusement endommagé. C'est à l'aune de ce rapport que le pont des Arts est interdit d'accès en 1977.

La décision, qui n'a pas forcément plu à l'époque, s'avéra judicieuse puisqu'en 1979 le pont s'effondra sur 60 mètres à la suite d'un choc avec une barge.[5]



Figure I.4 : Le pont coulé par une barge

I.3- Différents types de béton dans la construction de ponts :

- **Le béton simple** : Est un matériau de construction obtenu à partir d'un mélange de granulats (sable et gravier), d'eau et d'un liant (ciment), suivant des quantités précises, en fonction des caractéristiques mécaniques visées.

Exemple de dosages : Pour un sac de 35 kg de ciment, 80 litres de gravier, 40 litres de sable et 17,5 litres d'eau.

- **Le béton armé (1870)** : Est l'association du béton et de l'acier. On obtient alors un matériau composite ayant de bonnes caractéristiques mécaniques à la fois en compression et en traction.

- **Le béton précontraint (1928)** : Un ingénieur Français (Eugène Freyssinet) a trouvé une solution originale pour résoudre le problème de la traction, le point faible du béton : la précontrainte, par des câbles ou des barres d'acier à l'intérieur du bloc, qui applique en permanence une compression à la structure.[2]

I.4- Problématique:

Dans les tabliers des ponts on trouve deux types de diaphragmes : périphériques et intermédiaires. La fonction finale de ces éléments est de stabiliser la surface du pont contre les charges latérales telles que le tremblement de terre ou le vent, en transférant ces charges aux fondations. De plus, les diaphragmes d'extrémités confèrent une rigidité en torsion aux poutres principales et permettent de soulever le tablier. De leur côté, les diaphragmes intermédiaires fixent les poutres contre les déversements et solidifient la surface aux surcharges routières, Il fonctionne pour transférer les charges horizontales sur les éléments de support verticaux.

La transmission doit être aussi homogène que possible afin de ne pas surcharger et décomposer un élément particulier. À cet effet, le diaphragme, à son niveau, doit être plus solide que les éléments verticaux de stabilité, et il est clair qu'une bonne liaison entre eux doit être assurée.

Le but de ce mémoire de master est de connaître l'importance des diaphragmes dans les ponts et comment ils peuvent résister aux forces qui leurs sont appliquées dans différents cas.



Chapitre II : Recherche bibliographique

II.1- Introduction:

Le pont est une construction de grande importance entraînée par l'établissement d'une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale (ponts, tunnels) mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau. Ce chapitre présente une synthèse bibliographique qui définit et donne une idée générale sur les différents types des ponts ainsi que les tabliers et les équipements. Nous abordons également les charges de conception des ponts.

II.2- Définition de pont :

D'une façon générale, les ponts sont des constructions réalisées par l'homme pour franchir un obstacle ou un espace vide (vallée, cours d'eau, etc.) Entre deux points.

Les ponts font partie de la famille de l'ouvrage d'art, qui permet d'enjamber des rivières et des vallées. Ils servent également au passage de voies ferrées et de routes. Ils facilitent les déplacements et diminuent la durée des trajets en évitant de longs détours sur le réseau routier, un pont peut être construit pour éviter un carrefour surchargé.[6]

II.3- le rôle de pont :

Les ponts ont toujours eu pour rôle de faire transiter des personnes, des véhicules et des lourdes marchandises. Leur positionnement a toujours été choisi avec parcimonie. Les critères de ce choix étaient la complexité de l'obstacle à franchir en ce lieu là, la présence de pôles importants à portée de ce pont, l'emplacement situé sur une voie de passage très utilisée. Mais au-delà de cet aspect usuel, ils ont aussi une fonction représentative auprès du public, notamment les riverains et les habitants de la ville, quand le pont est urbain.

Ce rôle sémiotique véhicule des idées de liens et de connections, de prouesses techniques (dans certains cas), d'un édifice reflétant la puissance d'une cité ou autre entité commanditant ce pont, etc. Le franchissement de fleuves a depuis l'origine toujours été un dilemme du pouvoir : Fallait-il privilégier le confort que procure un rempart, ou bien fallait-il favoriser l'ouverture vers le monde, et développer les relations commerciales, industrielles et culturelles.

Dans un monde hostile, la frontière que représentait le fleuve devait impérativement rester sous le contrôle de l'autorité locale. Il était vital, dans un environnement politique incertain, de pouvoir couper les liens avec l'autre rive et donc d'éviter des invasions néfastes.

Le bac s'imposa rapidement comme le dispositif offrant le meilleur compromis, notamment sur cet aspect stratégique. [7]

II.4- Les types de ponts :

II.4.1- Pont dalle :

Les ponts-dalles constituent le type d'ouvrage le plus répandu, puisqu'ils représentent près de la moitié de la surface totale des ponts construits ces dernières années.

Cette population d'ouvrages comprend dans une large proportion des passages supérieurs ou inférieurs routiers ou autoroutiers et, dans une moindre mesure, des ponts rails, des tranchées couvertes et des passerelles pour piétons. Leur longueur varie d'une quinzaine à une soixantaine de mètres et, parfois, dépasse une centaine de mètres. Leurs travées déterminantes se situent entre une douzaine et une trentaine de mètres.

Ces ouvrages sont d'aspect élancé et restent cependant robustes, grâce à leur monolithisme. La simplicité de leur forme et leur grande réserve de sécurité constituent par ailleurs des atouts importants, ainsi que leur souplesse dans l'adaptation à toute difficulté d'implantation grâce à leur construction par coulage en place (dans le cas de tracé biais ou courbe en plan ou en élévation).

Ces avantages s'avèrent d'autant plus intéressants que ce type d'ouvrage demeure parmi les solutions de franchissement les plus économiques, sur le double plan de l'investissement et de l'entretien .[8]



Figure II.1 : Photo représente un pont-dalle

II.4.2- Pont 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.

Ce procédé permet de franchir de grandes portées, allant jusqu'à 300 mètres en utilisant le béton armé, sans besoin d'étaie. On trouve donc des ponts à poutre en béton, en acier, mais aussi en bois (la portée étant nettement plus courte). [9]

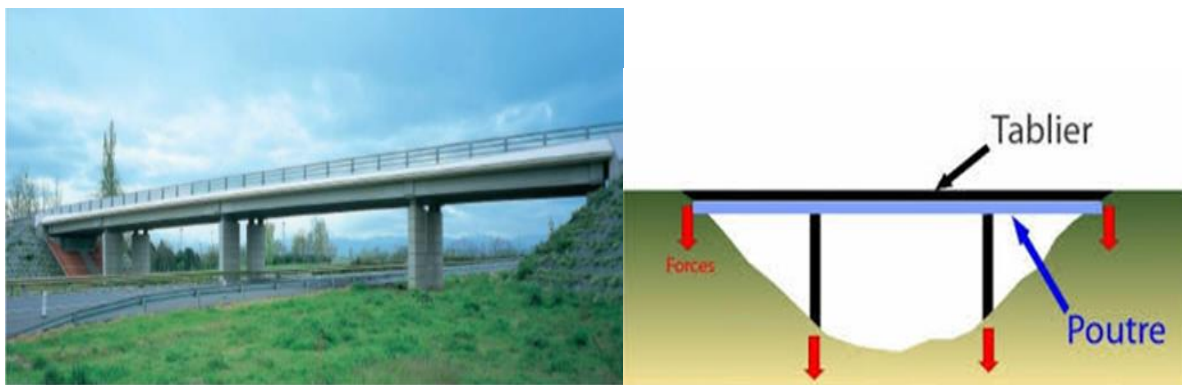


Figure II.2 : Photo et schéma d'un pont à poutre

II.4.3- Pont en arc :

Le pont en arc est un des types les plus anciens. Ce type de pont est très utilisé pour les grandes portées ou distances entre deux points.

Les voûtes et les arcs supportent des charges verticales en développant sur leurs fondations des réactions obliques qui compriment la structure. C'est donc une forme bien adaptée aux matériaux résistant mal à la traction (maçonnerie, béton). Le tablier, c'est-à-dire la partie du pont supportant la partie de la chaussée, peut soit reposer sur l'arc, soit être suspendu à l'arc.[10]

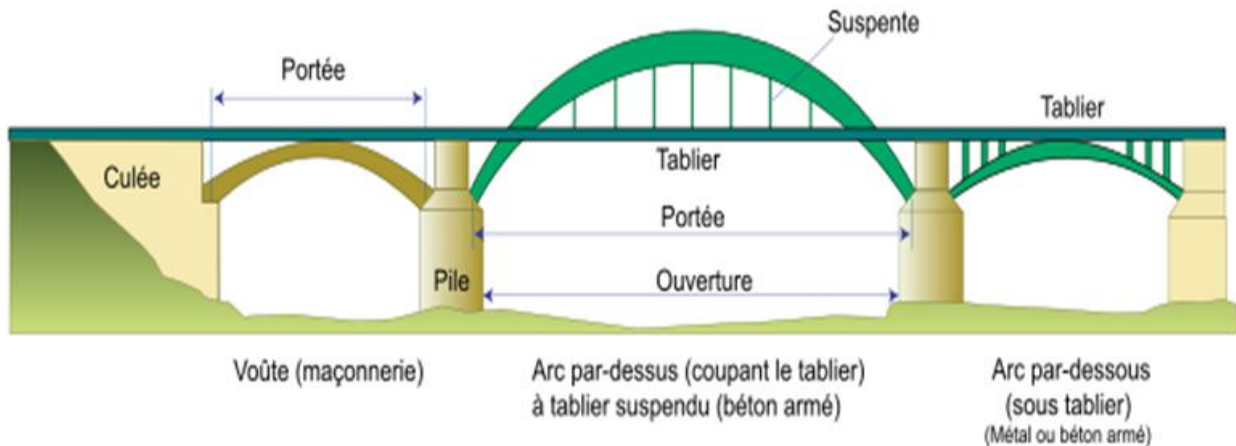


Figure II.3 : Schéma avec représentation des différents ponts en arc

II.4.4- Pont mixte :

Un pont mixte acier/béton comporte des éléments structurels en acier et en béton armé ou précontraint, dont la particularité réside dans le fait de faire fonctionner ces matériaux selon leurs aptitudes optimales, notamment en compression pour le béton et en traction pour l'acier. Ses éléments présentent une solidarisation entre eux, sous forme de liaisons mécaniques, de façon à créer un ensemble monolithique.

Leur dénomination est souvent ramenée à l'expression ponts mixtes bien que la mixité peut concerner d'autres matériaux comme le bois et la pierre et de la même façon, on peut parler uniquement de ponts à tabliers mixtes acier/béton alors que des ponts avec des piles et des tabliers composés alternativement des deux matériaux sont considérés comme des ponts mixtes.

Les ouvrages composés uniquement de béton armé ou précontraint, malgré l'acier qu'ils possèdent, ne sont pas considérés comme des ponts mixtes. [8]



Figure II.4 : Photo représente un pont mixte acier-béton

II.5- Données nécessaires pour un projet de pont :

La conception d'un pont doit satisfaire à un certain nombre d'exigences puisqu'il est destiné à offrir un service à des usagers. On distingue les exigences fonctionnelles (ou données fonctionnelles) qui sont l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement, et les exigences naturelles (ou données naturelles) qui sont l'ensemble des éléments de son environnement déterminant sa conception. [11]

II.5.1- Données fonctionnelles :

Les données fonctionnelles pour un projet de pont sont :

- Le tracé en plan est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, dessinée sur un plan de situation et repérée par les coordonnées de ses points caractéristiques. Cet axe n'est pas forcément l'axe de symétrie de la structure ou de la chaussée.
- Le profil en long est la ligne située sur l'extrados de l'ouvrage (couche de roulement mise en œuvre) définissant, en élévation, le tracé en plan. Il doit être défini en tenant compte de nombreux paramètres liés aux contraintes fonctionnelles de l'obstacle franchi ou aux contraintes naturelles, et en fonction du type prévisible de l'ouvrage de franchissement. [12]

II.5.2- Données naturelles :**II.5.2.1- Données géotechniques :**

Les données géotechniques sont évidemment fondamentales dans l'étude d'un ouvrage. Non seulement elles déterminent le type de fondation des appuis, mais elles constituent l'un des éléments du choix de la solution pour le franchissement projeté. Elles sont obtenues à partir d'une reconnaissance qui doit donner les informations désirées sur le terrain naturel, le niveau de la nappe et les niveaux possibles des fondations. En ce qui concerne le terrain naturel, le projeteur doit, bien évidemment, connaître avec précision sa topographie afin d'implanter correctement l'ouvrage, estimer les mouvements de terres et choisir les emplacements les plus adéquats pour les installations de chantier, les accès aux différentes parties de l'ouvrage et les aires de préfabrication éventuelles.

II.5.2.2- Données hydrauliques :

Lorsqu'un ouvrage franchit un cours d'eau ou un canal, un certain nombre de renseignements sont nécessaires. En dehors du relevé précis de la topographie du lit, il

convient de connaître les niveaux de l'eau qui influent sur la conception générale du franchissement et son implantation dans l'espace. Les principaux renseignements sont les niveaux correspondant aux PHEC (plus hautes eaux connues), PHEN (plus hautes eaux navigables). Le niveau des PHEC permet de caler le profil en long de l'ouvrage . [12]

II.6- Éléments constitutifs d'un pont :

II.6.1- Le tablier :

Est la partie quasi horizontale située sous la voie portée : il comprend les éléments porteurs dans le cas des ponts à poutre ou est supportée par eux dans le cas des ponts sen arc ou des ponts à câbles. La couverture ou platelage est la partie supérieure du tablier destinée à supporter les efforts dû à la circulation (dalle en béton, dalle orthotrope...etc.).[13]

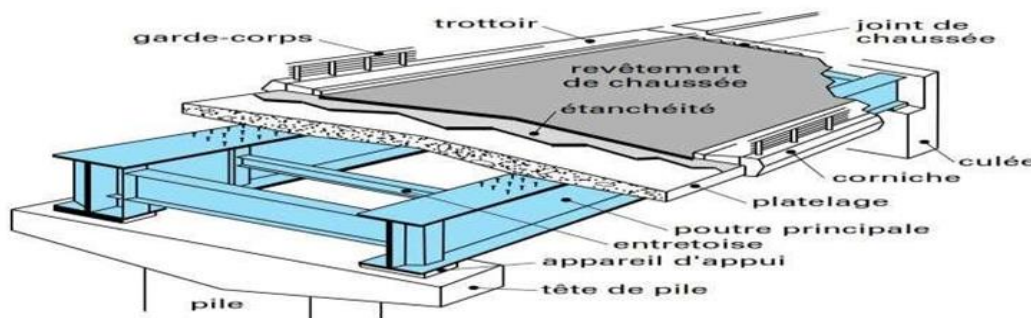


Figure II.5 : Schéma d'un tablier(pont mixte)

II.6.2- Les appuie :

On distingue deux types d'appuis :

- Appuis de rive ou culées.
- Appuis intermédiaires ou piles (Piles constituées de colonnes ou Piles constituées de voiles).

a- Les piles :

Elles comportent au minimum deux parties :

- La superstructure ou fût, reposant éventuellement sur une nervure.
- La fondation

Elle comporte des éléments verticaux qui peuvent être :

- Des voiles, éléments longs, de section allongée, Ils comportent au moins deux points d'appui pour supporter le tablier.
- Des colonnes (section circulaire) ou des poteaux (section rectangulaire), éléments courts, de faible section, Chaque élément comporte un point d'appui ou bien les

éléments sont reliés en tête par un chevêtre sur lequel repose les points d'appui du tablier. [14]

De plus, les piles participent fortement à l'aspect esthétique du pont.

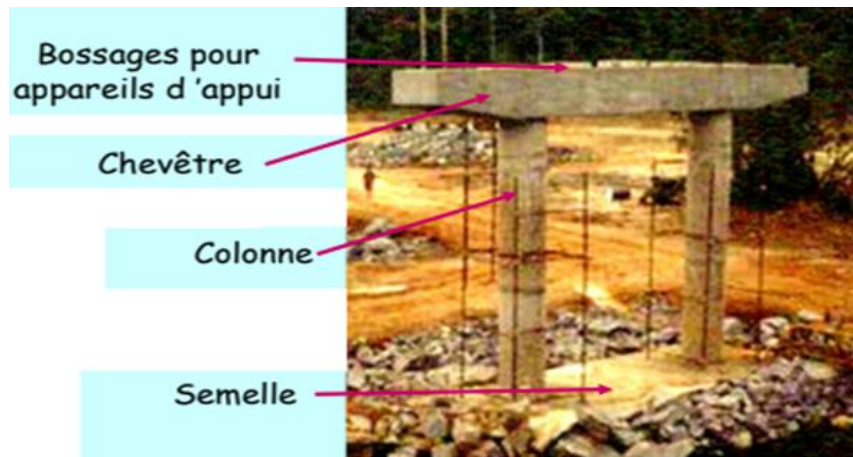


Figure II.6 : Photo représente les piles

b - Les culées:

S'ont les appuis extrêmes du tablier, elles assurent le soutènement du remblai d'accès à l'ouvrage. [6]

La culée est constituée de quatre éléments :

- Une fondation.
- Un mur de front, sur lequel s'appuie le tablier et qui assure la stabilité du remblai d'accès.
- Un mur de tête (mur garde grève), qui assure le soutènement des remblais latéralement.
- Les murs en retour qui sortent du mur de front pour confiner le remblai derrière la culée.

Les différents types de culées :

- Culées enterrées
- Culées remblayées
- Culées creuses.[14]

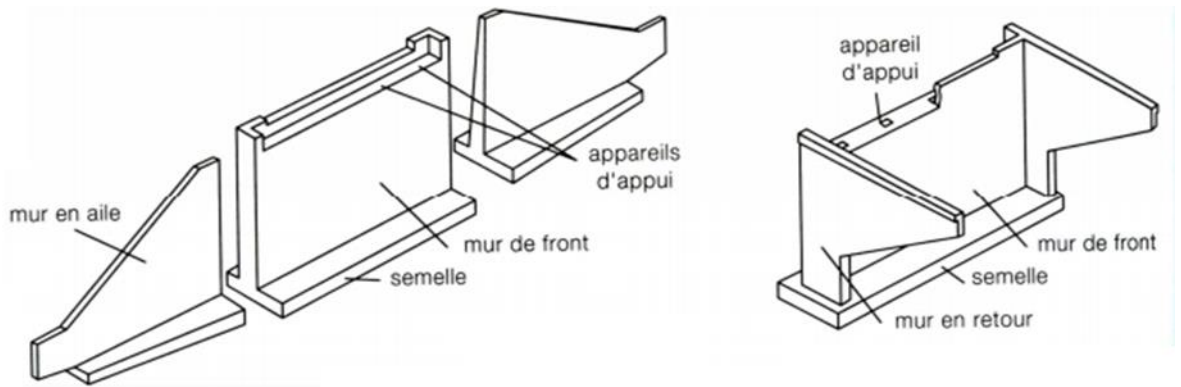


Figure II.7: Schéma d'une culée



Figure II.8 : Photo représente les culées

c - Les piles-culées :

Ce sont des appuis d'extrémité, enterrés dans le remblai d'accès (complètement ou partiellement). La pile culée n'assure pas la fonction de soutènement du remblai d'accès (sauf en tête de remblai dans certains cas).

Les piles-culées comportent trois parties :

- Une fondation
- Une partie intermédiaire constituée par des éléments verticaux (voiles, poteaux, colonne)
- Une partie supérieure (chevêtre) sur laquelle s'appuie le tablier. [14]

II.6.3 - Les fondations :

II.6.3.1- Introduction :

Elles permettent d'assurer la liaison entre les appuis et le sol. La partie du pont comprise entre deux appuis s'appelle une travée et la distance entre deux appuis consécutifs, la portée de la travée correspondante. Il ne faut pas la confondre avec l'ouverture qui est la distance libre entre les parements des appuis, ni avec la longueur du pont.

Il existe trois types de fondation :

- Fondations superficielles.
- Fondations semi profondes.
- Fondations profondes ou fondations sur pieux. [9]

II.6.3.2- Classification des fondations : [15]

a - Fondation superficielle :

Elles sont mise en œuvre lorsque il existe dans le sol à faible profondeur une couche suffisamment résistante pour supporter l'ouvrage.

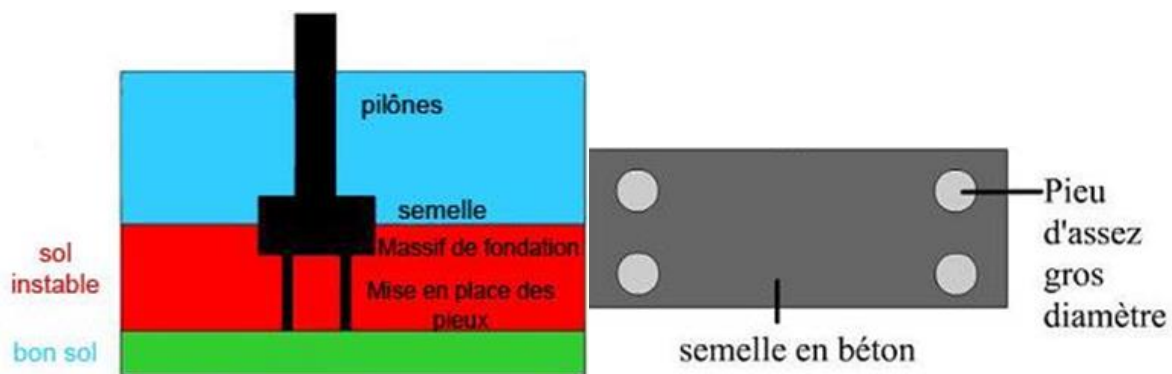


Figure II.9 : Schéma d'une fondation superficielle

b - Fondation profonde :

Lorsque il n'existe pas une profondeur acceptable un terrain de résistance suffisante pour supporter la structure, il faudra ancrer plus profond, dans la fondation profonde, on à deux types :

- Fondation par puits (semi profonde).
- Fondation par pieux (profonde) il y a : Les pieux qui travail par frottement et des pieux résiste par pointe. Les pieux forés et les pieux battus.

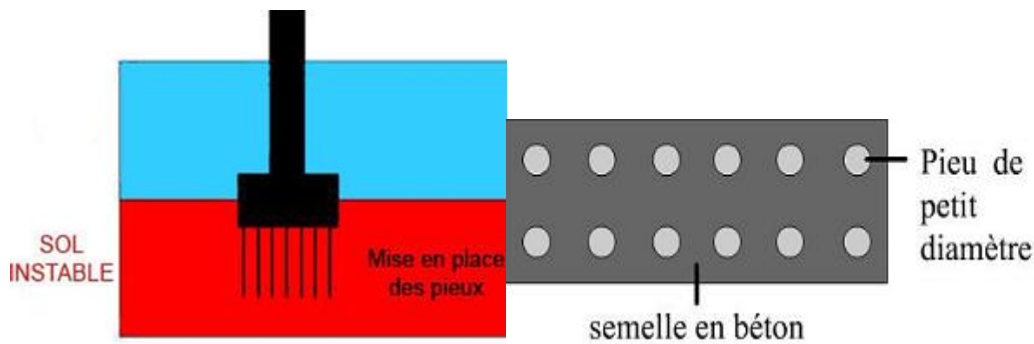


Figure II.10 : Schéma d'une fondation profonde

II.6.3.3- Choix des pieux :

Le choix du type et du diamètre des pieux dépendra :

- De l'importance de l'ouvrage.
- Des charges à supporter.
- Des caractéristiques du sol sous-jacent.
- De la configuration du terrain. [15]

II.6.3.4- Nombre des pieux :

Le nombre de pieux est déterminé d'après le rapport de sol (la portance des pieux) et la décente de la charge ramenée par l'ouvrage. [15]

II.7- Les équipements :

Par définition, ces éléments ne participent pas à la résistance de l'ouvrage. Leur incidence est par contre majeure sur l'aspect (notamment les dispositifs de retenue), sur la sécurité des usagers et la pérennité de l'ouvrage (étanchéité, assainissement, ...etc.).

II.7.1 – Dispositifs de retenue :

Les ponts sont équipés de dispositifs de retenue qui permettent d'assurer la sécurité des piétons et des usagers des véhiculant sur l'ouvrage.

Ces dispositifs peuvent être :

- Des garde-corps pour le piéton.
- Des barrières de niveau N (parfois dénommés glissières) pour les véhicules légers.
- Des barrières de niveau H pour les cars et les poids lourds.

II.7.2 – Corniches :

Les corniches font partie des éléments les plus visibles de l'ouvrage. Elles ont pour fonction d'habiller et de protéger les bords du tablier, de couronner et de souligner la continuité du profil en long. [6]

II.7.3 - Les appareils d'appui :

Les appareils d'appui interviennent directement dans le fonctionnement de la structure. Placés entre le tablier et les appuis, leur rôle est de transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitation (charges routières) et de permettre les mouvements de rotation (effets des charges d'exploitation et des déformations différées du béton). on distingue :

- Les appareils d'appui en acier, spécialement conçus pour certains grands ponts métalliques.
- Les appareils d'appui en caoutchouc fretté, constitués par un empilage de plaques d'élastomère et de feuilles d'acier (ce sont les plus répandus pour les ouvrages courants et parfois pour les grands ponts).
- Les appareils d'appui spéciaux ou à pot. Par le passé, il était fréquent de recourir à des appareils d'appui formés par une section rétrécie de béton traversée par des armatures passives (goujons) ils portaient le nom d'appui « Freyssinet » : la section rétrécie de béton se plastifiait sous l'effet des rotations du tablier. [16]

II.7.4 – Joints de chaussée :

Les joints de chaussée permettent d'assurer la transition entre le tablier et les chaussées adjacentes à l'ouvrage ou entre deux ouvrages discontinus.

II.7.5 – Étanchéité :

Le choix du système d'étanchéité doit être compatible avec les conditions thermo-hygrométriques dans lesquelles se trouve l'ouvrage.

II.7.6 – Drains :

Il est bien sûr indispensable de bien drainer les surfaces horizontales des tabliers ainsi que leur accès particulièrement pour les ouvrages longs.

II.7.7 – Dalles de transition :

Les dalles de transition sont destinées à éviter tout risque de formation de marche d'escalier entre l'ouvrage, qui constitue un point rigide, et les remblais d'accès. [6]

II.8 – Charge de conception :**II.8.1- Tablier :**

Le tablier est l'élément directement situé au-dessous de la voie de communication, et qui transmet les charges aux poutres principales solidarisiées entre elles par des poutres transversales ou entretoises qui leur sont disposées normalement.

Il existe plusieurs types de tablier :

- Les tabliers en dalle.
- Les tabliers à poutres sous chaussée.
- Les tabliers en caisson.
- Les tabliers métalliques.
- Les tabliers mixtes. [16]

II.8.1.1 – Dalle :

La dalle ou hourdis sert d'élément de couverture ; c'est elle qui reçoit la couche de roulement de la chaussée et les surcharges des véhicules. Outre celui de couverture, le rôle de la dalle est de reporter les charges permanentes et les surcharge sur les poutres, les longerons et les entretoises. [16]

II.8.1.2 – Poutres :

Les poutres en béton armé sont parallèles sous la chaussée, presque toujours à âme pleine, solidarisiées transversalement par des voiles en béton armé formant entretoise. La couverture est une dalle en béton armé qui joue le rôle de membrure supérieure de liaison des poutres.

- Les tabliers à hourdis nervuré.
- Les tabliers tubulaires.
- Les tabliers en dalle pleine. [17]

Les efforts dus au poids propre (de la dalle et des entretoises) et aux surcharges sont transmis aux poutres qui les reportent sur les appuis constitués par les culées. On distingue les poutres latérales et les poutres sous chaussée. [16]

Un certain nombre d'adaptations géométriques sont habituellement nécessaires : d'une part, les âmes comportent souvent des épaissements à proximité des appuis pour s'adapter à l'intensité de l'effort tranchant ; d'autre part, des renforcements de la zone d'about sont nécessaires pour assurer une bonne diffusion de l'effort de précontrainte. [18]

I.8.1.3 - Diaphragme :

➤ Qu'est-ce que le diaphragme en pont ?

Le diaphragme est un élément qui résiste aux forces latérales et transfère les charges au support. Certains des diaphragmes sont post-tendus et certains contiennent un renforcement normal. Il est nécessaire pour la stabilité latérale pendant l'érection et pour résister et transférer les charges sismiques. Sur la base de recherches antérieures, les diaphragmes sont inefficaces pour contrôler les flèches et réduire les contraintes des membres. De plus, il est communément admis que les diaphragmes contribuent à la répartition globale des charges vives dans les ponts.

La fonction principale des diaphragmes est de fournir un effet de raidissement à la dalle de tablier dans le cas où les voiles de pont ne sont pas situés directement sur le dessus des roulements. Par conséquent, les diaphragmes peuvent ne pas être nécessaires dans le cas où les roulements de pont sont placés directement sous les toiles car les charges dans les tabliers de pont peuvent être directement transférées aux roulements. D'un autre côté, les diaphragmes contribuent également à améliorer les caractéristiques de partage de charge des ponts. En fait, les diaphragmes contribuent également à fournir une retenue en torsion au tablier du pont.

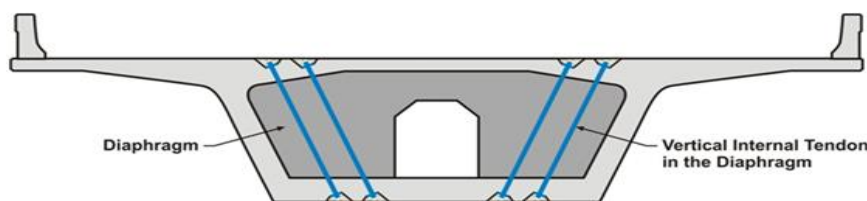


Figure II.11 : Schéma d'un diaphragme

La figure II.12 illustre un diaphragme en construction. Le bois visible entre les poutres est le coffrage des diaphragmes. À l'intérieur, il y a des barres d'armature et du béton. [19]



Figure II.12 : Photo représente le diaphragme



Chapitre III : Les diaphragmes

III.1-Introduction :

Le diaphragme transfère les efforts horizontaux aux éléments de support vertical, pour stabiliser les divisions (surtout dans la construction) en dehors de leur plan et solidifier le bâtiment. La transmission doit être aussi homogène que possible pour ne pas surcharger et décomposer un élément particulier. À cet effet, le diaphragme, dans son niveau, doit être plus solide que les éléments verticaux de stabilité, et il est clair qu'une bonne liaison entre eux doit être assurée. La rigidité du diaphragme dépend principalement du matériau à partir duquel il est fabriqué et de sa forme.[20]

Les dalles en béton armé sont préférablement plus rigides dans leur plan que les planchers en bois, par exemple. Le diaphragme et les films longs et étroits avec de grandes ouvertures doivent être évités car ils sont très flexibles. Dans le cas de membranes fabriquées avec des éléments préfabriqués, une attention particulière doit être accordée à la liaison des éléments constitutifs et à leur liaison, par exemple avec un renforcement approprié (longueur de fixation accrue, renforcement de continuité,...etc.). L'effondrement de ce type de sol dû à la perte de support est un dommage sismique fréquemment observé .[20]

La distribution horizontale des forces latérales aux courbures et aux murs de cisaillement est réalisée par les systèmes de plancher et de toit agissant comme des diaphragmes. Pour être considéré comme un diaphragme, un système de plancher ou de toit doit être capable de transmettre les forces latérales aux courbures et aux murs de cisaillement sans dépasser une déviation horizontale qui causerait de la détresse à tout élément vertical. L'action réussie d'un diaphragme nécessite également qu'il soit correctement attaché dans l'ossature de support. Les concepteurs doivent assurer cette action en détaillant adéquatement à la jonction entre les éléments structurels horizontaux et verticaux du bâtiment.[21]

III.2- Le rôle du diaphragme et contreventement en bâtiment:**III.2.1- Rôle du contreventement en bâtiment :**

Les contreventements sont des dispositifs conçus pour reprendre les efforts du vent dans la structure et les descendre au sol. Ils sont disposés soit en toiture dans le plan des versants (poutres au vent), soit en façades (palées de stabilité), et doivent reprendre les efforts du vent appliqués tant sur les pignons que sur les long-pans. La stabilité est ainsi assurée dans les trois directions de l'espace.

On distingue trois types essentiels de contreventements:[20]

III.2.1.1- Triangulation (treillis):

Il s'agit du type le plus fréquent ; les treillis en N conviennent bien lorsqu'il n'y a pas d'inversions d'efforts. Lorsque l'on est en présence d'inversions d'efforts possibles on préfère les croix de saint André (quelquefois les treillis en K ou V peuvent convenir).

III.2.1.2- Rigidification des nœuds (cadre-portique):

Ils se justifient pleinement lorsque l'on doit laisser le passage libre, ou pour éviter des diagonales inesthétiques, ou bien parfois pour laisser une plus grande liberté pour une modification de la structure.

III.2.1.3- Remplissage (voile, diaphragme) :

On utilise des voiles en béton pour les fortes sollicitations. Pour les faibles sollicitations des voiles en maçonnerie conviennent. Lorsqu'il existe un noyau ou un mur de refend celui-ci peut bien servir de contreventements (il s'agit surtout d'un cas pour les bâtiments à étages). Il est imprudent d'estimer que des bardages ou couvertures en tôles puissent faire office de contreventements.

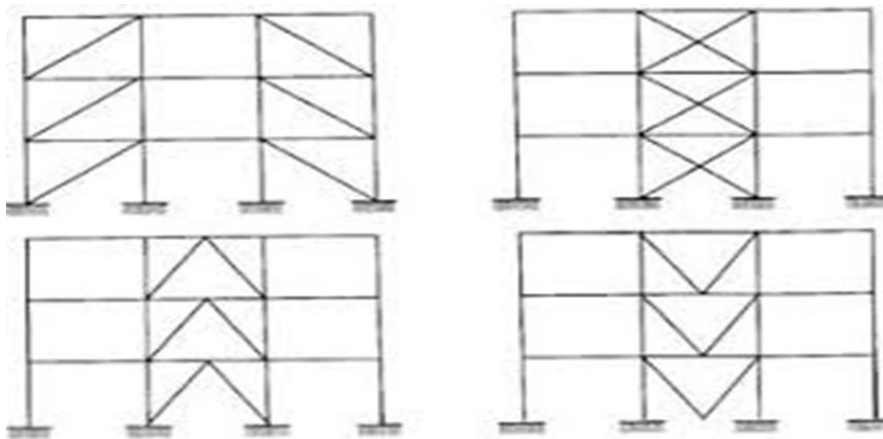


Figure III.1 : Schéma des contreventements

III.2.2- Le rôle du diaphragme en bâtiment :

Le rôle des diaphragmes est de transmettre les charges horizontales aux éléments verticaux de contreventement, de stabiliser les refends (surtout en maçonnerie) hors de leur plan et de raidir le bâtiment. La transmission doit être la plus uniforme possible pour ne pas surcharger un élément en particulier et l'amener à la rupture. Dans ce but, le diaphragme doit être, dans son plan, plus rigide que les éléments verticaux de la stabilisation et, évidemment, une bonne

liaison doit être assurée entre eux. Les diaphragmes sont des éléments plans, rigides, horizontaux ou inclinés, tels que les dalles, planchers, toitures, etc. [22].

Les planchers et les pans de toiture, s'ils sont rigides réalisent le contreventement horizontal. Ils imposent le même déplacement en tête de chaque élément de contreventement vertical, ce qui permet de les solliciter équitablement. Des planchers et pans de toiture flexibles ne constituent pas des plans de contreventement horizontal. [23]



Figures III.2-3 : Les diaphragmes en bâtiment

III.2.2.1- Notion de diaphragme rigide ou flexible :

Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions latérales sollicitant les constructions sur les éléments verticaux de contreventement, appelés palées de stabilité, qui les communiquent ensuite aux fondations. Par conséquent, il ne peut pas être assuré par les planchers partiellement ou totalement désolidarisés de la structure sous-jacente. Il est indispensable que le contreventement horizontal soit prévu à tous les niveaux du bâtiment, y compris les toitures.

En construction parasismique, il devrait être assuré par des diaphragmes rigides, c'est-à-dire par des planchers et toitures résistant au cisaillement et à la flexion dans leur propre plan et possédant une rigidité horizontale supérieure à celle des palées de stabilité. Tous les murs et poteaux liés à un diaphragme rigide subissent sous charges latérales le même déplacement en tête. Ces charges se répartissent donc sur les palées verticales proportionnellement à la rigidité relative de ces dernières. Les éléments les plus rigides supportent ainsi les charges les plus grandes.

Lorsque la rigidité d'une palée vient à baisser par suite de sa fissuration ou de sa destruction, les efforts qu'elle ne peut plus supporter sont automatiquement redistribués par le

diaphragme sur les autres palées. Il est donc souhaitable que le nombre de palées de stabilité soit supérieur au minimum nécessaire à la stabilité de la structure. [22]

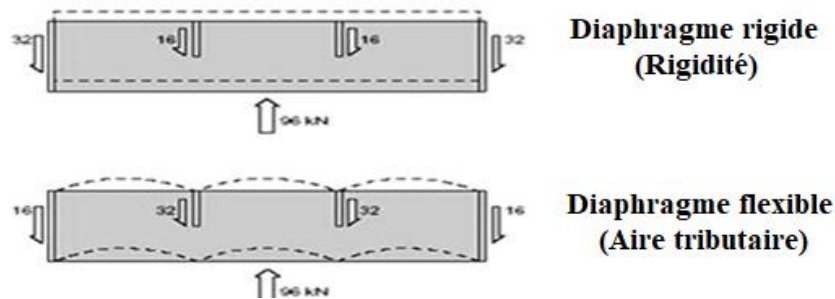


Figure III.4 : Schémas des diaphragmes rigide et flexible

III.3- Le rôle des diaphragmes dans les tabliers de ponts :

Les diaphragmes peuvent être considérés comme analogues aux poutres horizontales (ou inclinées, dans le cas de certains toits). La dalle de toit ou de plancher constitue l'âme ; les solives et les poutres fonctionnent comme des raidisseurs ; et les coudes et les murs de cisaillement agissent comme des brides. Les diaphragmes peuvent être construits en matériaux structuraux, tels que le béton, le bois ou le métal sous diverses formes. Des combinaisons de ces matériaux sont également possibles. Lorsqu'un diaphragme est composé d'unités, telles que du contre-plaqué, des planches de béton préfabriqué ou de l'acier. [24]



Figure III.5 : Tablier de pont en béton

III.4- Diaphragme en béton armé :

Deux types de diaphragmes qu'on trouve en pont : les diaphragmes d'extrémité et les diaphragmes intermédiaires. Les diaphragmes d'extrémité ont pour fonction de stabiliser le tablier du pont aux charges latérales telles qu'un séisme ou le vent, en transférant ces charges

vers les fondations. De plus, les diaphragmes d'extrémité procurent une rigidité de torsion aux poutres principales et permettent le levage du tablier. De leur côté, les diaphragmes intermédiaires stabilisent les poutres contre le déversement et rigidifient le tablier aux surcharges routières.[24]

III.4.1- Diaphragme intermédiaire:

- **Profondeur:** 300 mm de moins que la poutre principale d'un tablier à poutres coulées en place ; pour les poutres préfabriquées.

- **Largeur:** 250 mm.

- **Armature:** Le minimum exigé pour les poutres fléchies.

Les diaphragmes intermédiaires ne sont pas généralement conçus pour être considérés dans une analyse par éléments finis ou par grillage.

III.4.2- Diaphragme d'extrémité à la culée:

- **Profondeur :** La même que celle de la poutre principale d'un tablier à poutres coulées en place; pour les poutres préfabriquées.

- **Largeur :** 1000 mm à l'extrémité d'un tablier précontraint par post-tension ; 500 mm dans les autres cas ; pour les poutres préfabriquées..

- **Disposition :** Le diaphragme doit être centré par rapport aux appareils d'appui.

- **Armature :** En plus d'être calculé comme poutre de rive et comme contreventement de tablier, le diaphragme doit être calculé comme poutre de levage : on considère que les vérins sont placés sous le diaphragme de 300 mm à 450 mm de la semelle inférieure des poutres principales. Les diaphragmes sont conçus pour supporter la charge permanente du tablier et la surcharge due aux véhicules automobiles (5 kN/m/voie sans impact). [24]

III.5- Les code de calcule utilisé:

- **CSSBI B13-1991 :** Conception de diaphragmes de tablier en acier-Octobre1991.

- **CSSBI B13-06 :** Conception de diaphragmes de tablier en acier.

- **CAN/CSA-S6 :** Code Canadien sur le calcul des ponts routier.

- **CAN/CSA-A23.1/A23.2** : Béton : Constituants et exécution des travaux/ essais concernant le béton.

- **CAN/CSA-A23.3**: Calcul des ouvrages en béton.

III.6- Les charges nécessaires pour calculer le diaphragme :

Le diaphragme résiste à 0.1 % des forces horizontales appliquées au tablier du pont.[24]



Chapitre IV :

Modélisation

IV.1- Introduction:

Généralement, les concepteurs des tabliers de ponts prévoient des diaphragmes en extrémité et le long des travées. La distance entre ses éléments secondaires varie d'un type de pont à l'autre, d'un code de calcul l'autre et surtout d'un ingénieur à l'autre. Dans le cadre du présent projet de fin d'études, deux ponts, un droit et l'autre courbe, ayant la même portée, ont été modélisés à l'aide du logiciel de calcul des structures afin d'étudier l'effet de l'espacement entre les diaphragmes.

IV.2-Modélisation:

IV.1.1-Ponts modélisés :

Deux tabliers de pont ont été étudiés, soit un tablier droit et un tablier courbe. Les deux ont la même portée, 36 m, et la même largeur 12 m et sont composés de 5 poutres espacées de 2.5 m et un porte à faux de chaque côté d'un mètre. Les poutres ont 1700 mm de profondeur et 300 mm de largeur. Le rayon de courbure du pont courbe à l'axe longitudinal est de 120 m. Les coupes longitudinales des tabliers et montrés à la figure IV.1 et la figure IV.2 pour le tablier droit et le tablier courbe, respectivement. Cependant, la coupe transversale des deux est montrée à la figure IV.3.

Les deux tabliers sont modélisés avec des appuis fixes d'un côté et des appuis mobiles de l'autre. Les rotations autour de l'axe transversal (axes-Y) sont permises.

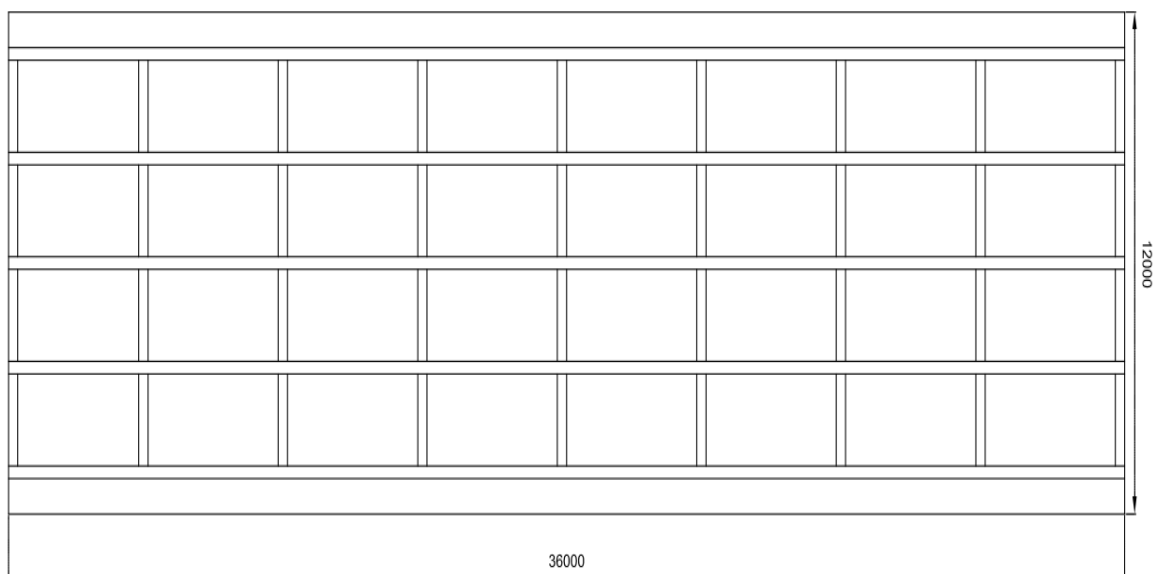


Figure IV.1 : Vue en plan du tablier droit

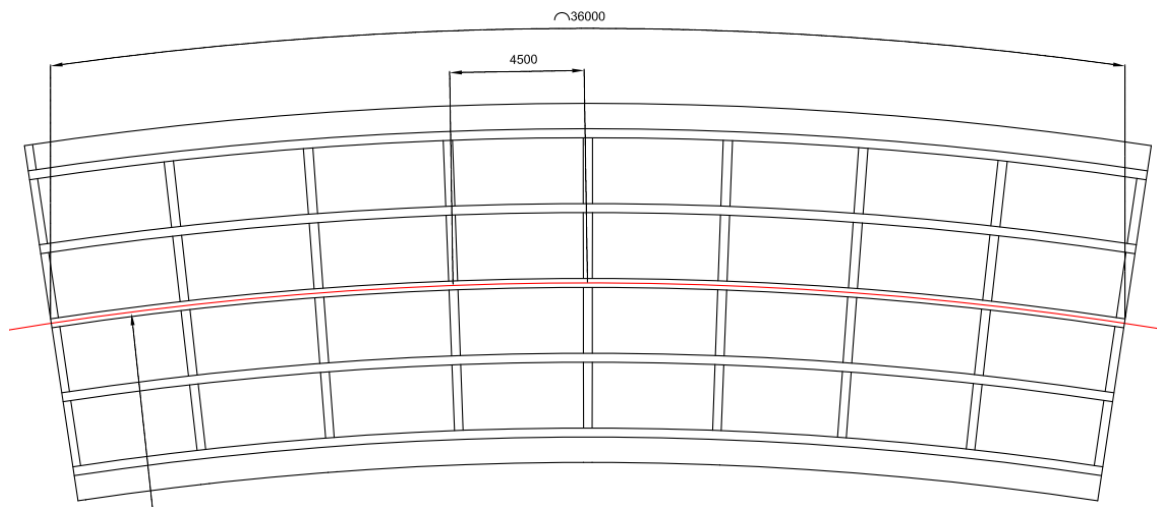


Figure IV.2 : Vue en plan du tablier courbe

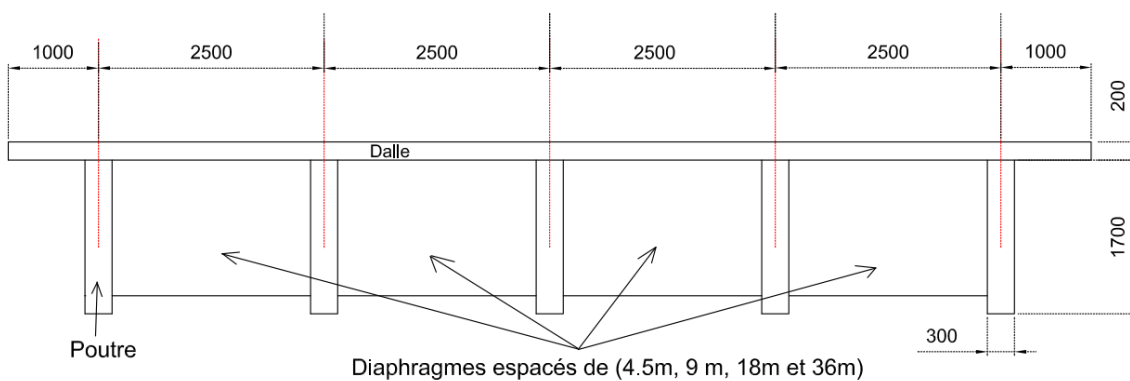


Figure IV.3 : Coupe transversale des deux tabliers droit et courbe

Afin de pouvoir tirer des conclusions plus justes, huit modèles 3D pour les deux types de ponts étaient élaborés pour tenir compte de quatre espacements différents entre les diaphragmes. Les espacements pris étaient 4.5 m, 9 m, 18 m et 36 m. les figures IV.4 à IV.11 illustrent les différentes configurations de diaphragmes pour les tabliers droit et courbe.

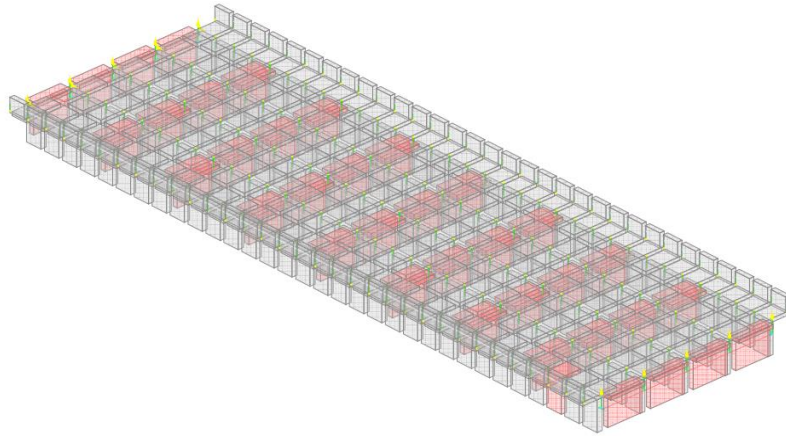


Figure IV.4 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 4.5 m

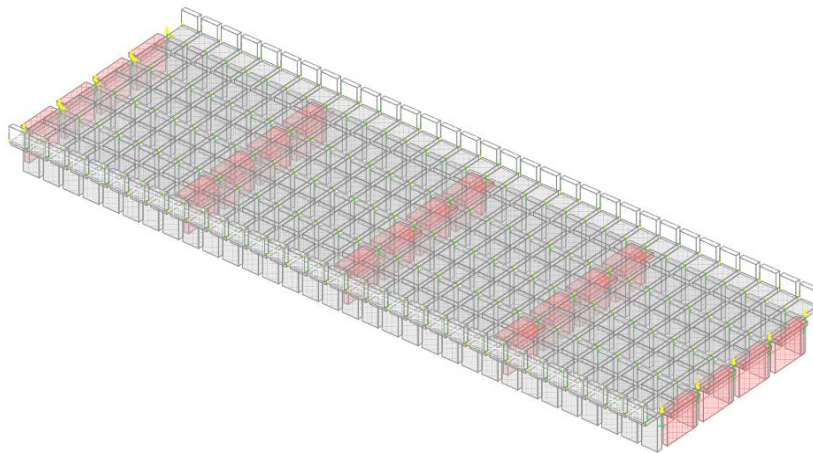


Figure IV.5 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 9 m

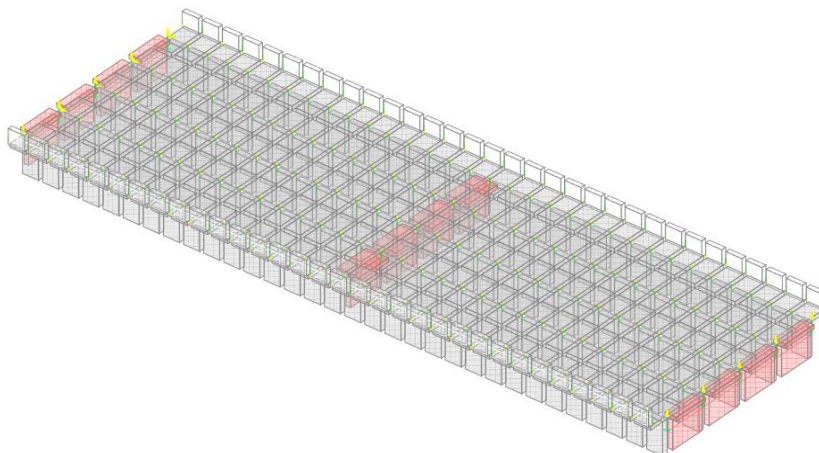


Figure IV.6 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 18 m

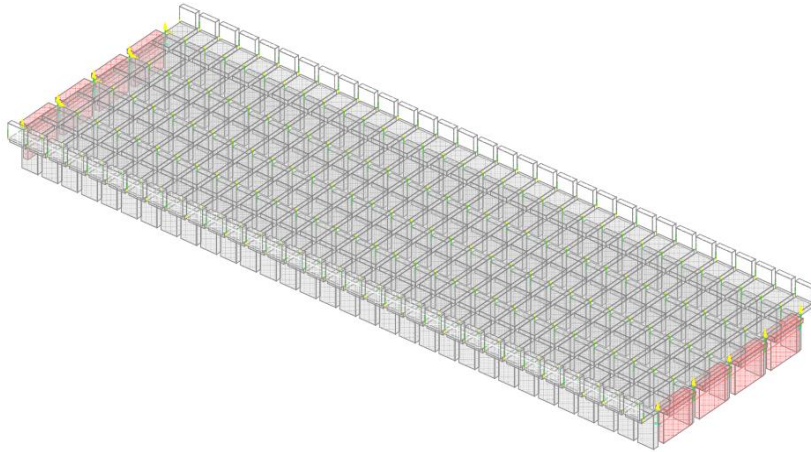


Figure IV.7 : Tablier de pont droit avec des diaphragmes espacés de 36 m (diaphragmes d'extrémités seulement)

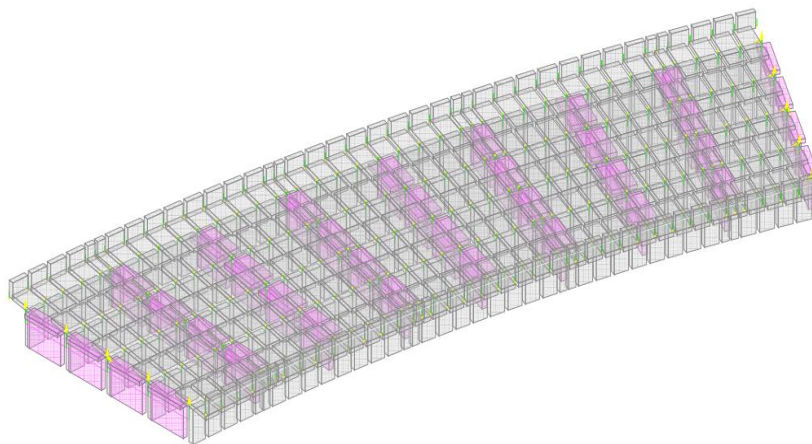


Figure IV.8 : Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 4.5 m

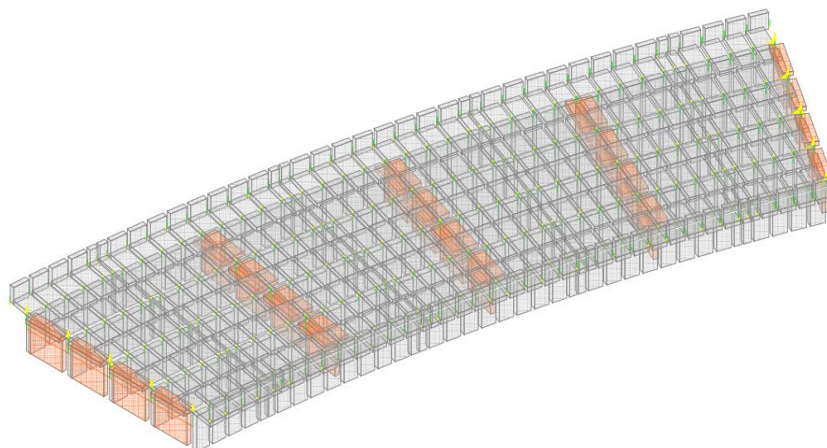


Figure IV.9 : Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 9 m

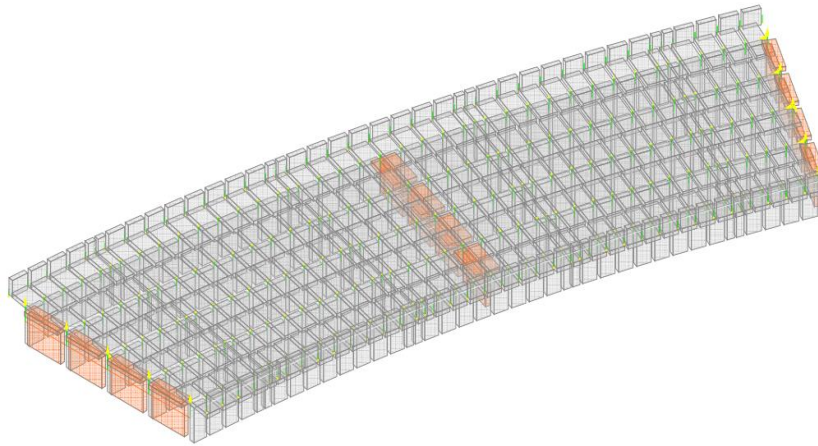


Figure IV.10 : Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 18 m

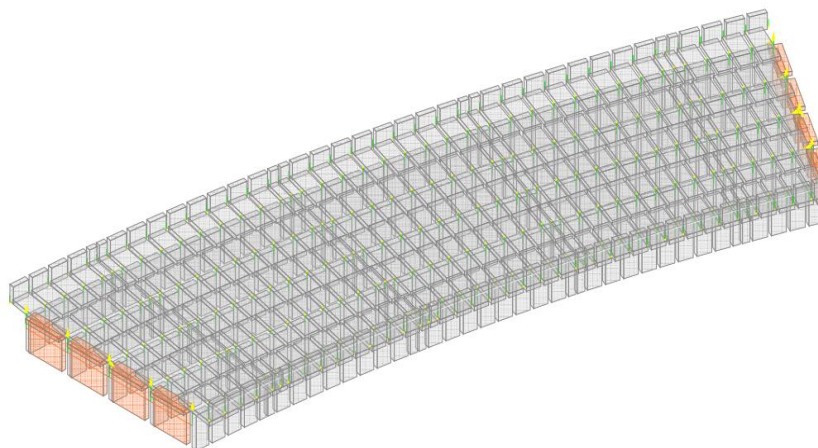


Figure IV.11 : Tablier de pont courbe avec des diaphragmes espacés de 36 m (diaphragmes d'extrémités seulement)

IV.2.2- Charge mobile :

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, seulement l'effet de la charge vive (charge mobile du camion) a été considérée pour étudier l'influence de l'espacement des diaphragmes. De plus, seulement deux voies au maximum ont été chargées pour tirer les efforts max et min dans les poutres et les diaphragmes. Les figures IV.12 et IV.13 illustrent le passage d'un camion et deux camions respectivement. Pour alléger le rapport, seulement le passage sur le tablier droit est montré.

Le logiciel fait circuler le camion de l'entrée à la sortie du pont et de gauche à droite avec un pas de 200 mm afin d'obtenir une enveloppe d'efforts dans chaque éléments modélisé.

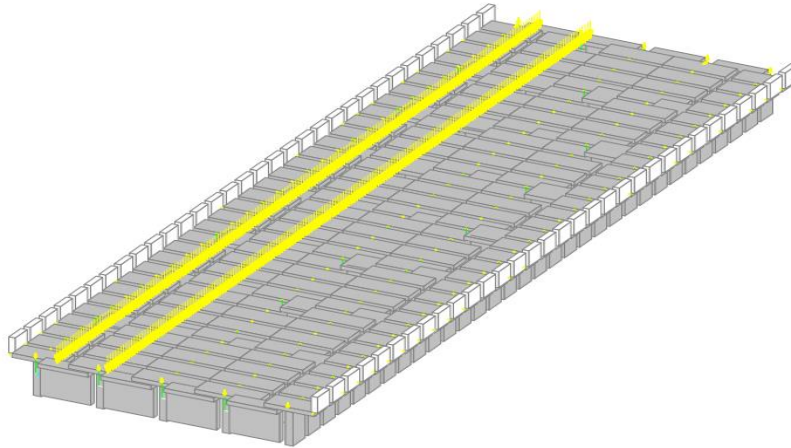


Figure IV.12 : Une voie chargée sur le tablier droit

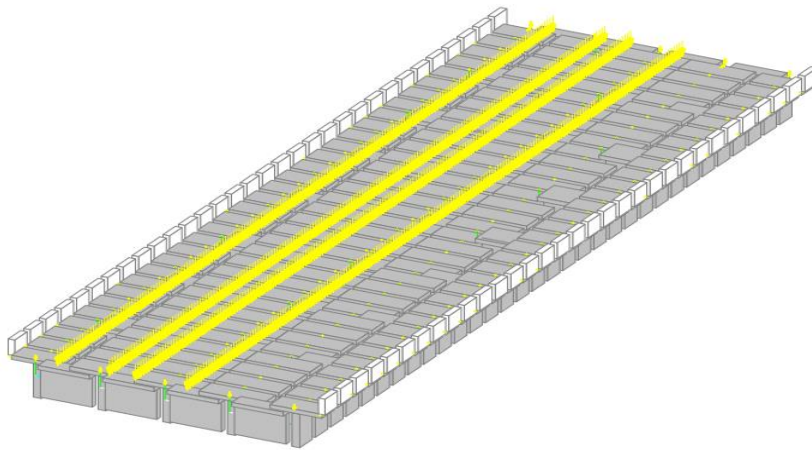


Figure IV.13 : Deux voies chargées sur le tablier droit

Le type de camion utilisé correspond au camion numéro trois du tableau 4.7 (*Ensemble de camions équivalents*) de la partie 2 (*Actions sur les ponts dues au trafic*) de la norme européenne Eurocode 1 (*Actions sur les structures*) NF-EN 1991-2 édition mars 2004.

La figure IV.14 illustre la configuration des essieux du camion utilisé. De plus, la figure IV.15 tirée du tableau 8 de la même norme illustre le détail des essieux de ce camion.

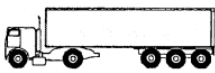
	3,20	70	50,0	30,0	5,0	A
	5,20	150				B
	1,30	90				C
	1,30	90				C
		90				C

Figure IV.14 : Camion modélisé pour le calcul des efforts –tiré du tableau 7 de la norme NF-EN-1991-2

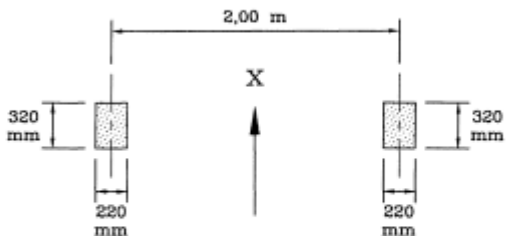
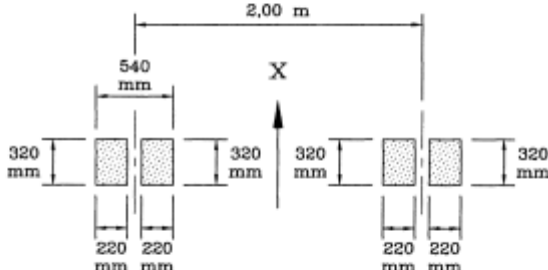
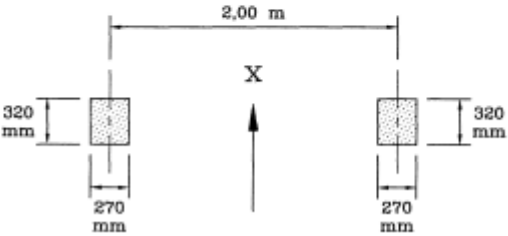
Type de roues/d'essieux	Définition géométrique
A	
B	
C	

Figure IV.15 : Illustre le détail des essieux – tiré du tableau 8 de norme NF-EN-1991-2

Les figures IV.16 et IV.17 illustre la déformée des tabliers droit et courbe respectivement sous l'effet du passage du camion.

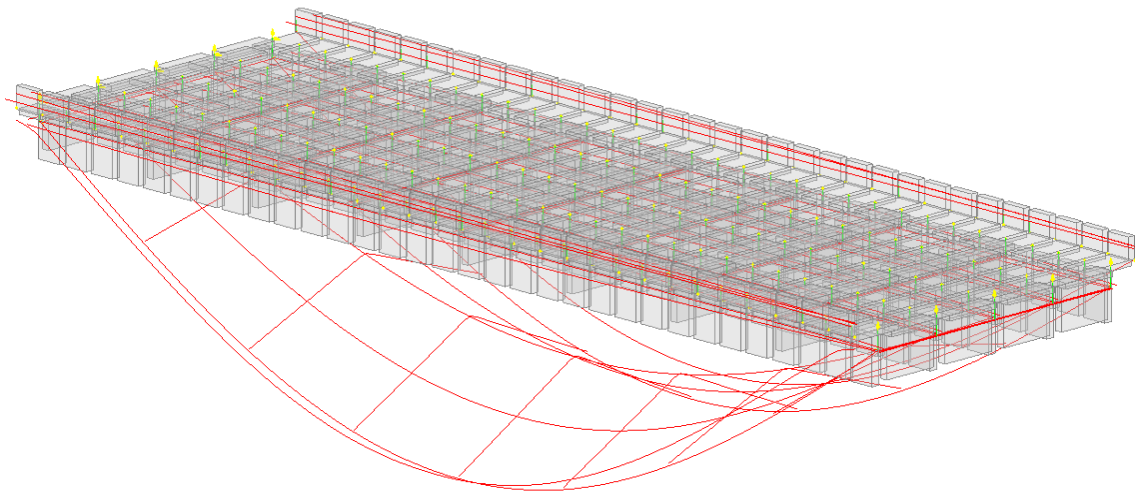


Figure IV.16 : Déformée du tablier droit sous l'effet du passage du camion

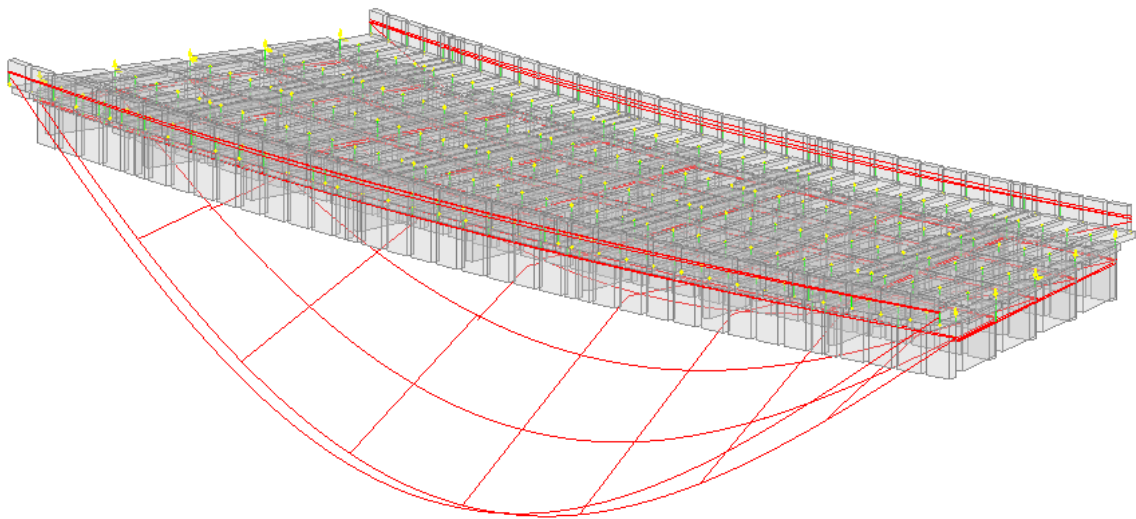
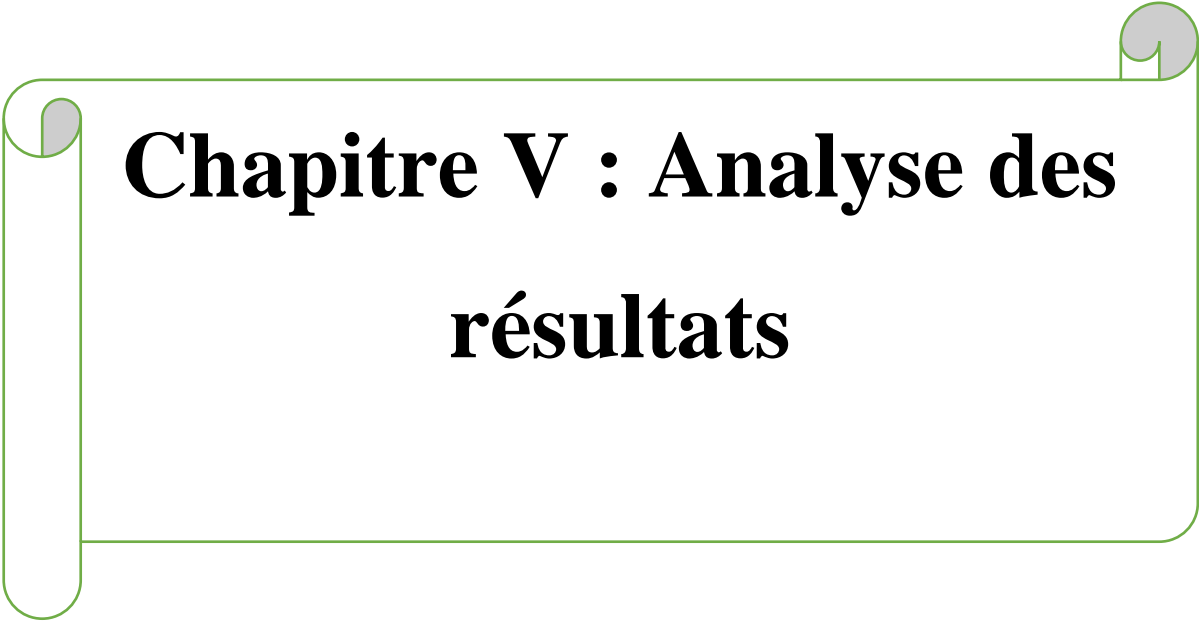


Figure IV.17 : Déformée du tablier courbe sous l'effet du passage du camion



Chapitre V : Analyse des résultats

V.1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous analyserons les résultats de la modélisation que nous avons faite dans le chapitre précédent (chapitre IV), où nous enregistrons les valeurs de moment, de cisaillement et d'effort normal et nous tracerons leurs diagrammes pour chaque cas d'espacement de diaphragme pour les deux ponts droit et courbe.

Afin de faire l'analyse des résultats nous avons choisi des points espacés de 4.5 mètres de la poutre du milieu et de la poutre d'extrémité. Pour les diaphragmes nous avons pris les valeurs min/max des efforts.

V.2- Pont droit :

V.2.1- Poutre d'extrémité extérieure et poutre de centre :

a- Poutre extérieure :

	Diaphragme @4.5m		Diaphragme @9m		Diaphragme @8m		Diaphragme @36m	
Position (m)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)
0	0	286	0	312	0	297	0	295
4,5	755	272	734,5	260	714,5	245	714	241
9	1182,5	217	1219,5	221	1175,5	209	1169,5	199
13,5	1409,5	175	1425,5	167	1448	172	1428	167
18	1465	135	1514	135	1557	150	1492	121
22,5	1409.5	157	1425.5	167	1448	172	1428	167
27	1182.5	217	1219.5	221	1175.5	209	1169.5	199
31,5	755	272	734.5	260	714.5	245	714	241
36	0	286	0	312	0	297	0	295

Tableau V.1 : Valeurs du moment et du cisaillement de la poutre extérieure du pont droit

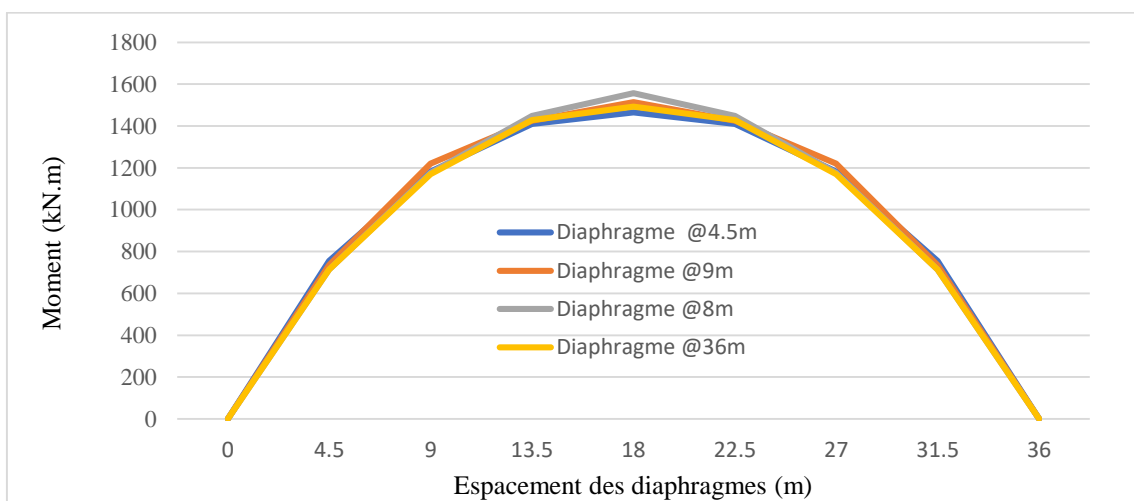


Figure V.1 : Diagrammes du moment de la poutre extérieure du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes

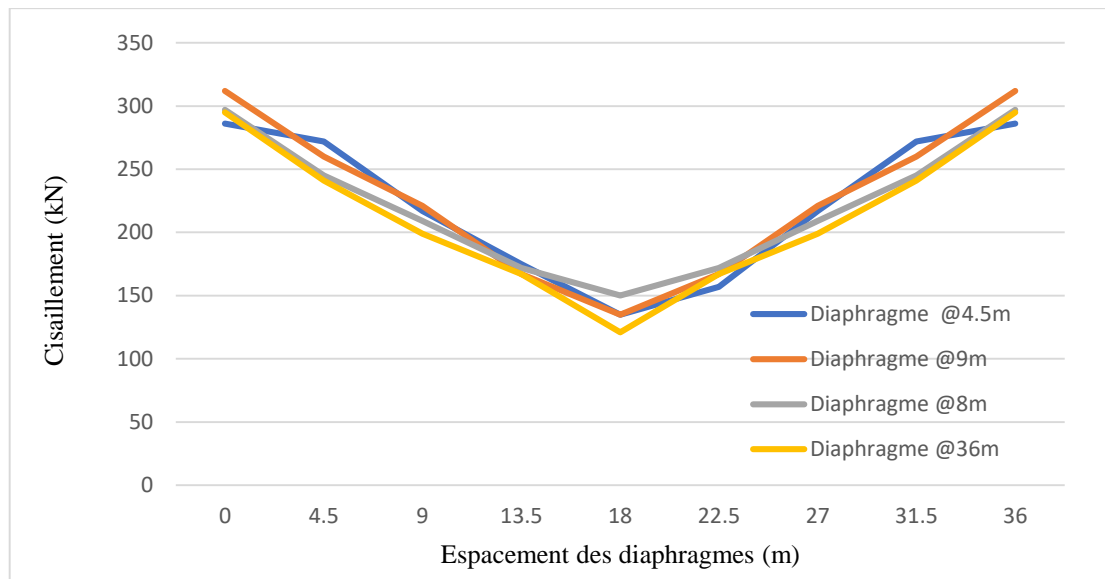


Figure V.2 : Diagrammes du cisaillement de la poutre extérieure du pont droit avec différents cas d’espacement de diaphragmes

Selon les figures V.1 et V.2 illustrant les diagrammes du moment et du cisaillement respectivement pour la poutre extérieur d’un tablier de pont droit, la variation de l’espacement entre les diaphragmes n’a aucun effet significatifs sur les efforts internes.

b- Poutre de centre :

Position (m)	Diaphragme @4.5m		Diaphragme @9m		Diaphragme @18m		Diaphragme @36m	
	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)
0	0	251	0	273	0	319	0	337
4,5	512,5	209	612,5	199	721,5	251	754,5	280
9	814,5	186	782	222	1074,5	180	1204	228
13,5	979	163	1086	153	1115	156	1413	190
18	1020	138	990	176	968	238	1463	160
22,5	979	163	1086	153	1115	156	1413	190
27	814,5	186	782	222	1074,5	180	1204	228
31,5	512,5	209	612,5	199	721,5	251	754,5	280
36	0	251	0	273	0	319	0	337

Tableau V.2 : Valeurs du moment et du cisaillement de la poutre du milieu du pont droit

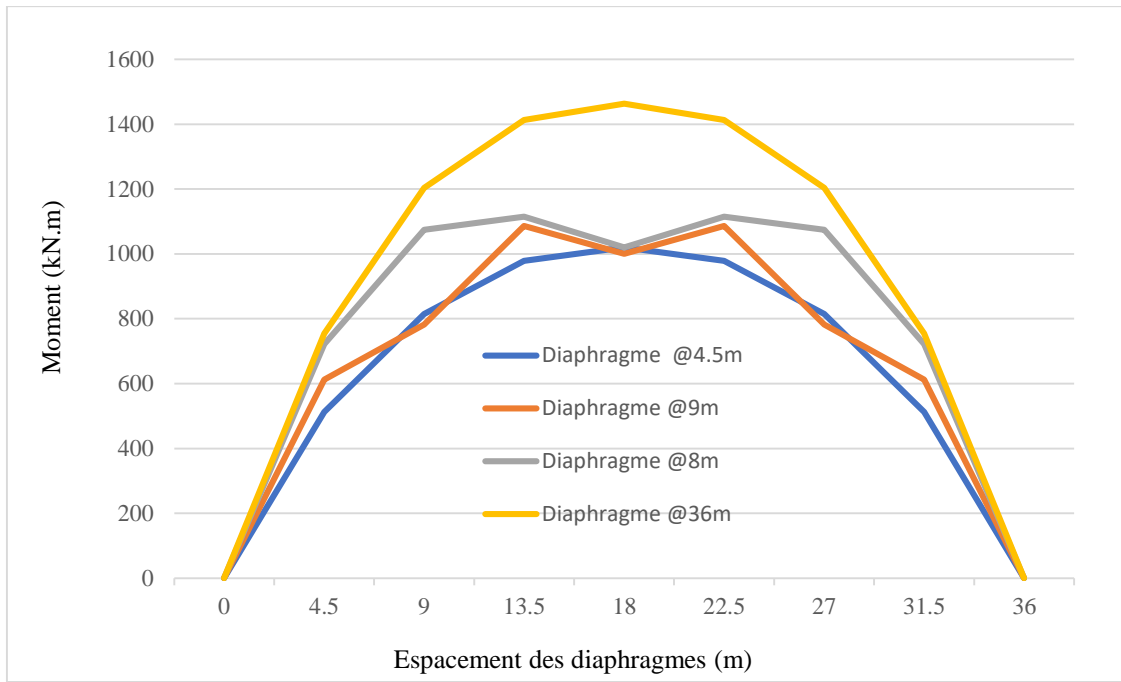


Figure V.3 : Diagrammes du moment de la poutre de centre du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes

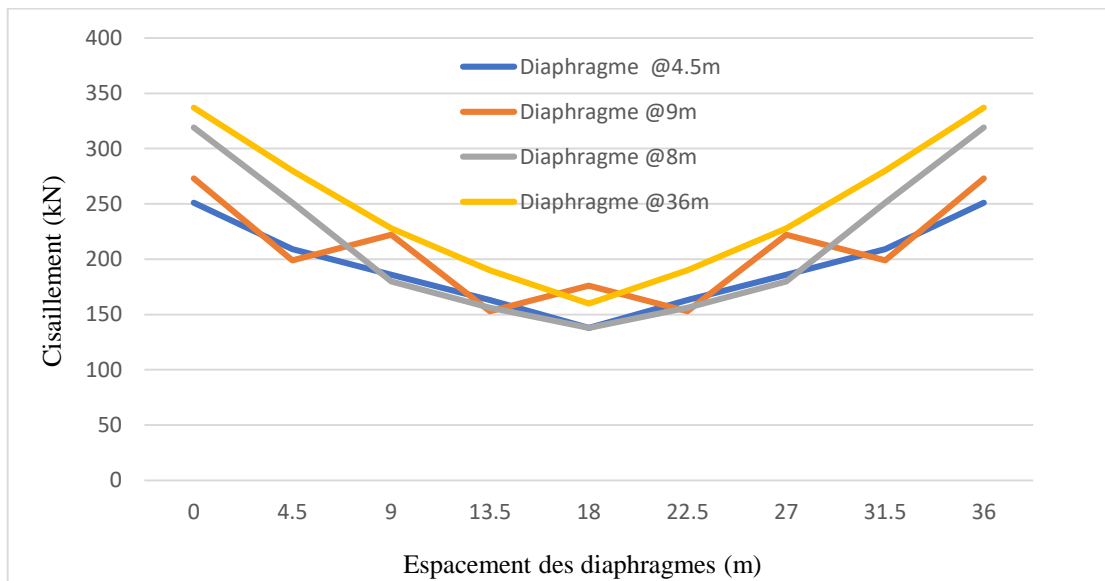


Figure V.4 : Diagrammes du cisaillement de la poutre de centre du pont droit avec différents cas d'espacement de diaphragmes

La figure V.3 illustrant le moment dans la poutre centrale du pont droit pour les différents cas d'espacement entre les diaphragmes démontre que la valeur maximale du moment augmente avec l'augmentation de l'espacement entre les diaphragmes. Le moment au centre

passer d'environ 1000 kN.m pour un espacement de 4.5 m à plus de 1400 kN.m quand on n'a pas de diaphragmes intermédiaires.

Contrairement au moment, la figure V.4 démontre qu'en rapprochant les diaphragmes la valeur du cisaillement dans la poutre de centre augmente. Elle passe, aux appuis, de 250 kN pour pas de diaphragme à 337 kN quand l'espacement est de 4.5m.

V.2.2- Efforts internes dans les diaphragmes dans le cas d'un tablier droit:

V.2.2.1- Premier cas : la distance entre les diaphragmes 4.5m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		Compression	Traction
0	67	67	53	42	3
4,5	122	65	53	43	143
9	144	91	60	89	192
13,5	140	97	64	34	198
18	136	97	64	34	200
22,5	140	97	64	34	198
27	144	91	60	89	192
31,5	122	65	53	43	143
36	67	67	53	42	3

Tableau V.3 : Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 4.5m (Pont droit)

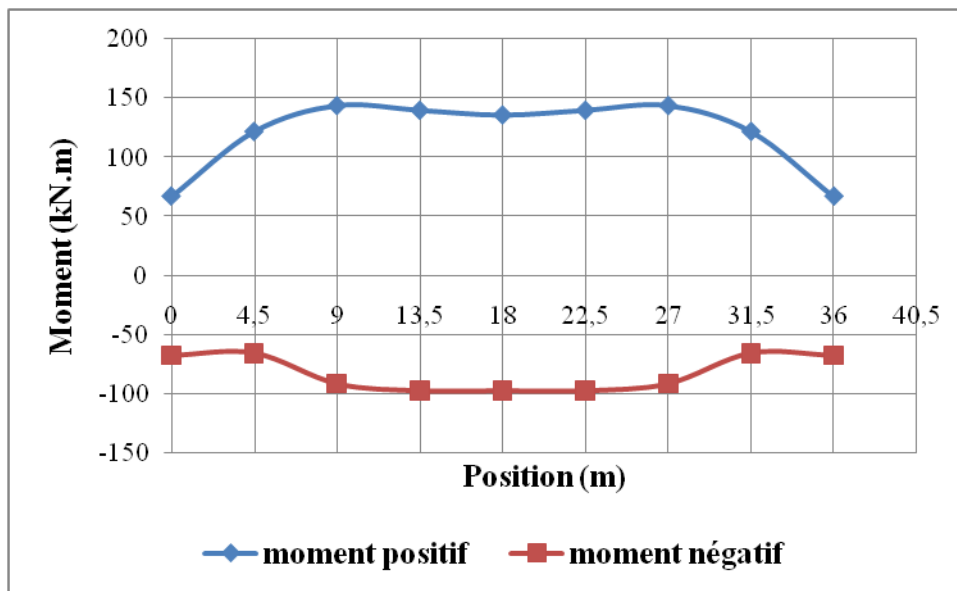


Figure V.5 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 4.5m(Pont droit)

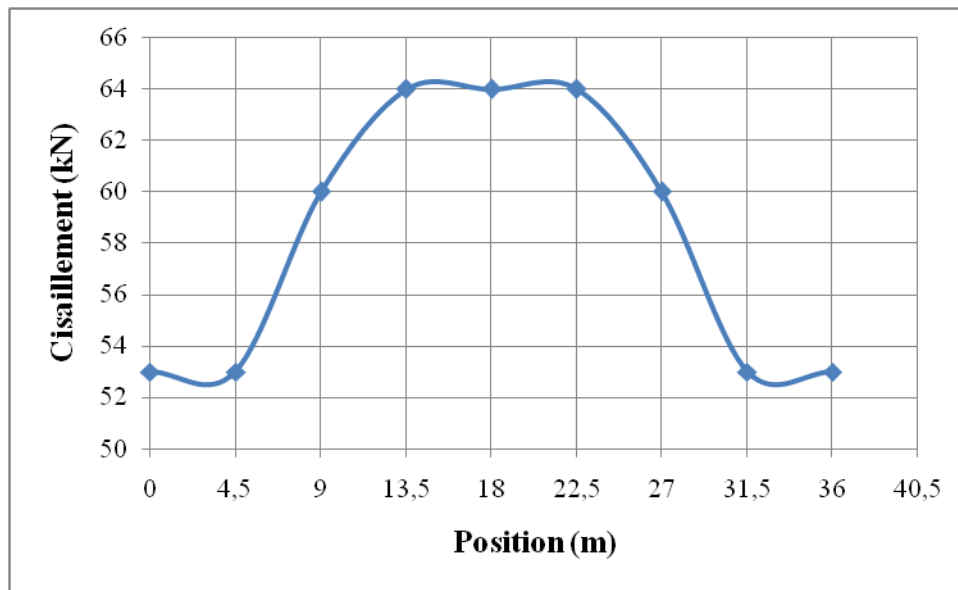


Figure V.6 : Diagramme du cisaillement dans le cas diaphragme 4.5m(Pont droit)

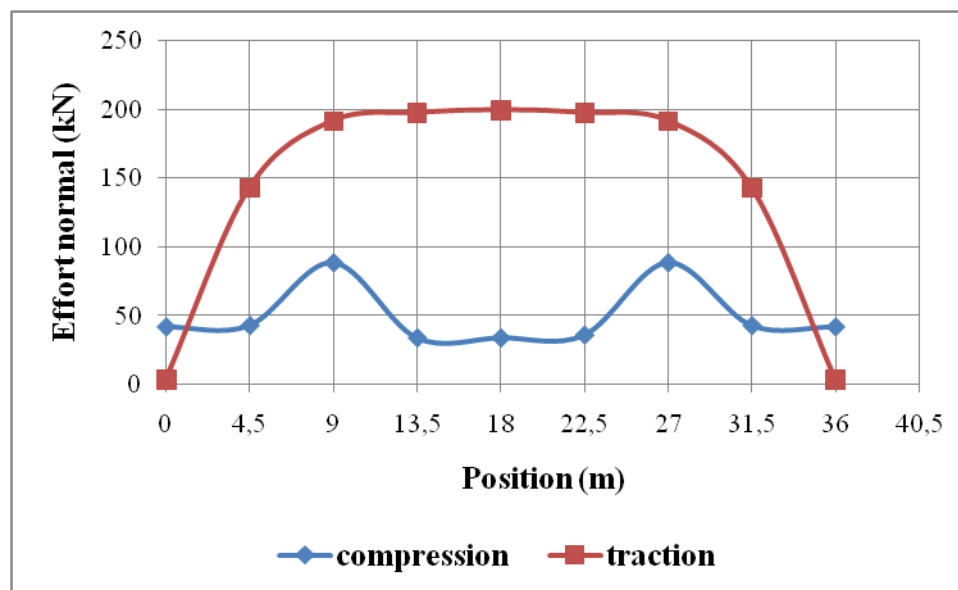


Figure V.7 : Diagramme de l'effort normal dans le cas diaphragme 4.5m(Pont droit)

Les figures V.5, V.6 et V.7 illustrant les diagrammes du moment, du cisaillement et de l'effort normal dans les diaphragmes espacés de 4.5 m pour un pont droit indiquent que ces éléments sont sollicités à partir de 9 m d l'appui de chaque côté.

V.2.2.2- Deuxième cas : la distance entre les diaphragmes 9 m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		Compression	Traction
0	64	53	51	31	1
4,5	-	-	-	-	-
9	257	158	104	73	299
13,5	-	-	-	-	-
18	257	178	119	55	329
22,5	-	-	-	-	-
27	257	158	104	73	299
31,5	-	-	-	-	-
36	64	53	51	31	1

Tableau V.4 : Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 9 m(Pont droit)

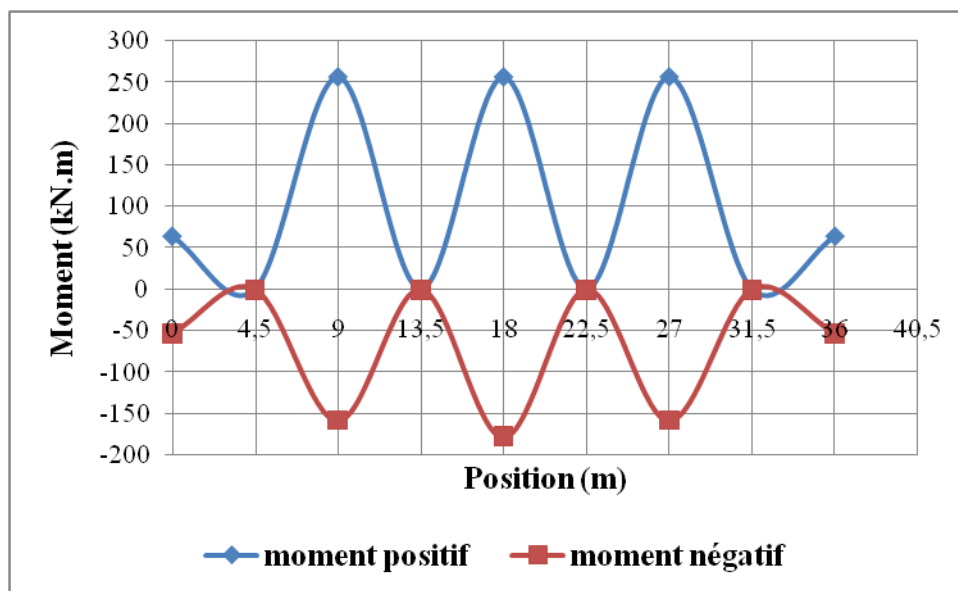


Figure V.8 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 9m(Pont droit)

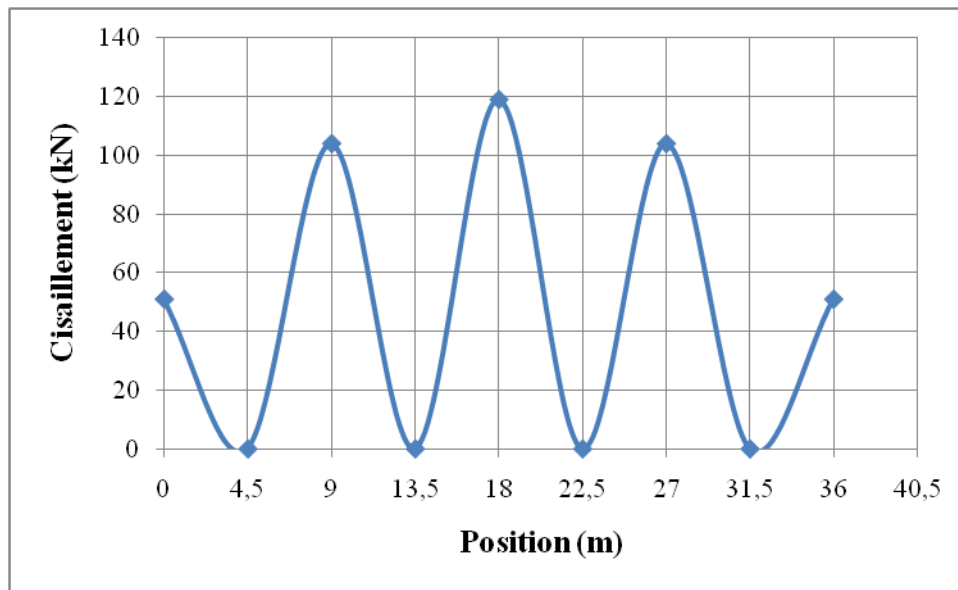


Figure V.9 : Diagramme du cisaillement dans le cas diaphragme 9m(Pont droit)

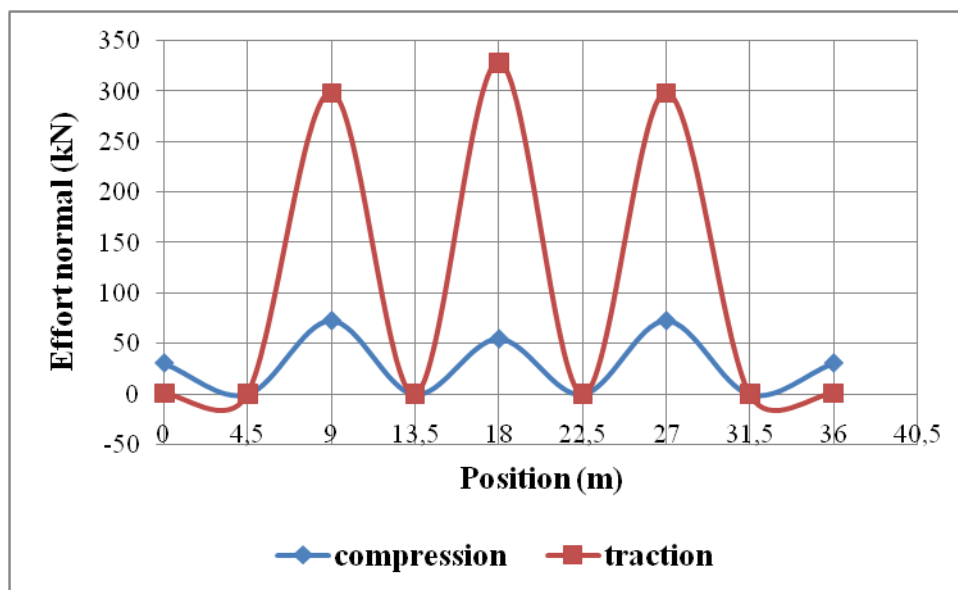


Figure V.10 : Diagrammes de l'effort normal dans le cas diaphragme 9m(Pont droit)

L'élimination d'un diaphragme sur deux ce qui rend l'espacement entre les diaphragmes de 9m démontre, selon les figures V.8, V.9 et V.10, que les efforts internes restent semblables dans les diaphragmes intermédiaires du tablier de pont droit.

V.2.2.3- Troisième cas: la distance entre les diaphragmes 18 m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		Compression	Traction
0	61	55	46	38	2
4,5	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-
18	413	257	166	115	473
22,5	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
31,5	-	-	-	-	-
36	61	55	46	38	2

Tableau V.5 : Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 18m (Pont droit)

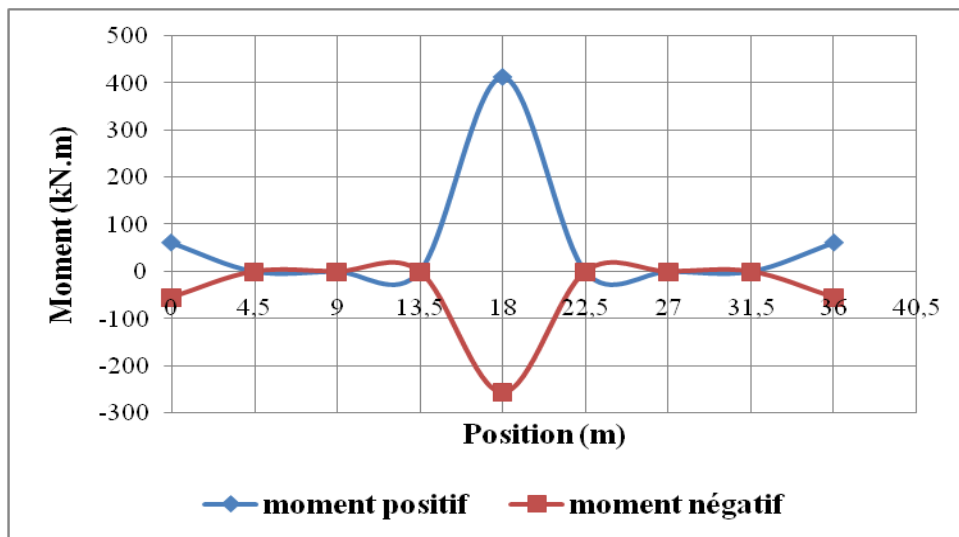


Figure V.11 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 18m (Pont droit)

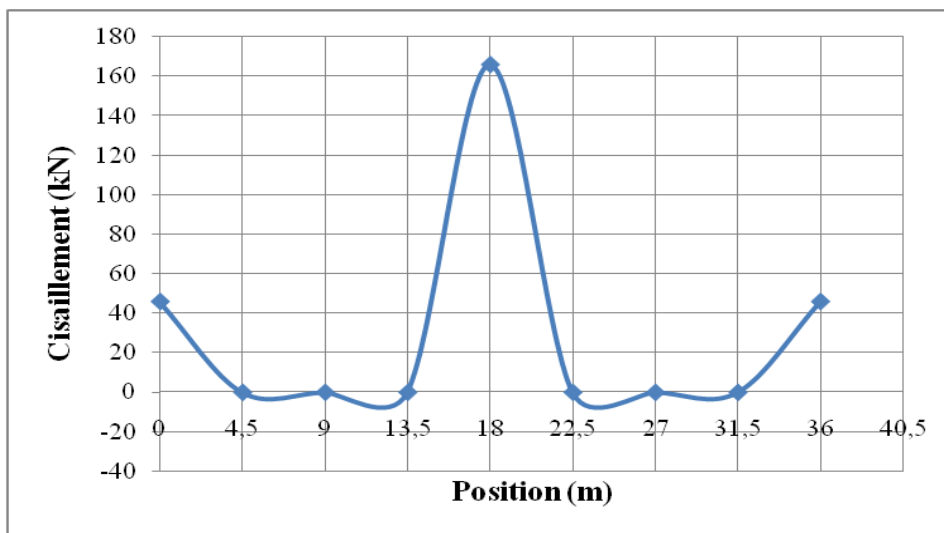


Figure V.12 : Diagramme du cisaillement dans le cas diaphragme 18m (Pont droit)

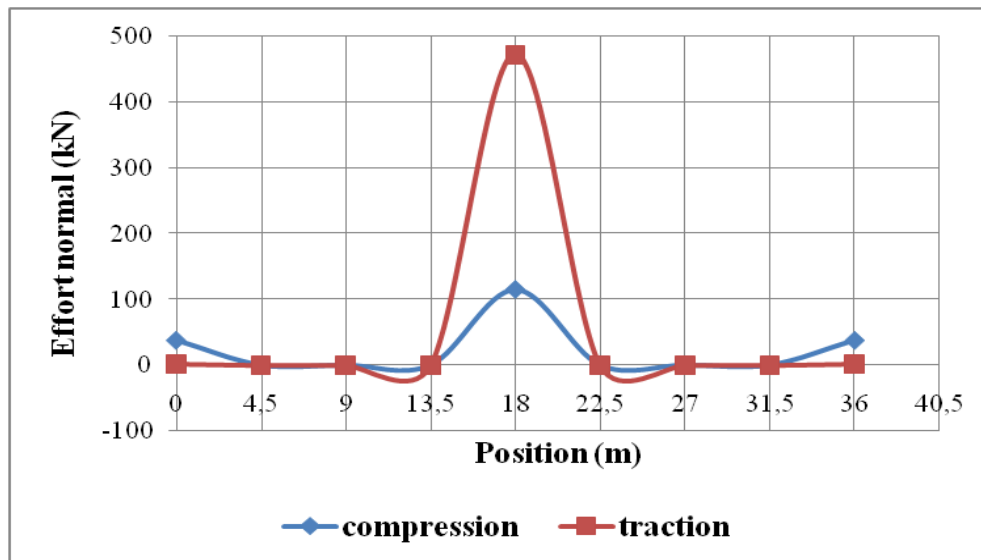


Figure V.13 : Diagrammes de l'effort normal dans le cas diaphragme 18m(Pont droit)

V.2.2.4- Quatrième cas: la distance entre les diaphragmes 36 m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		Compression	Traction
0	75	68	53	31	6
4,5	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
31,5	-	-	-	-	-
36	75	68	53	31	6

Tableau V.6 : Efforts internes dans les diaphragmes espacés de 36m(Pont droit)

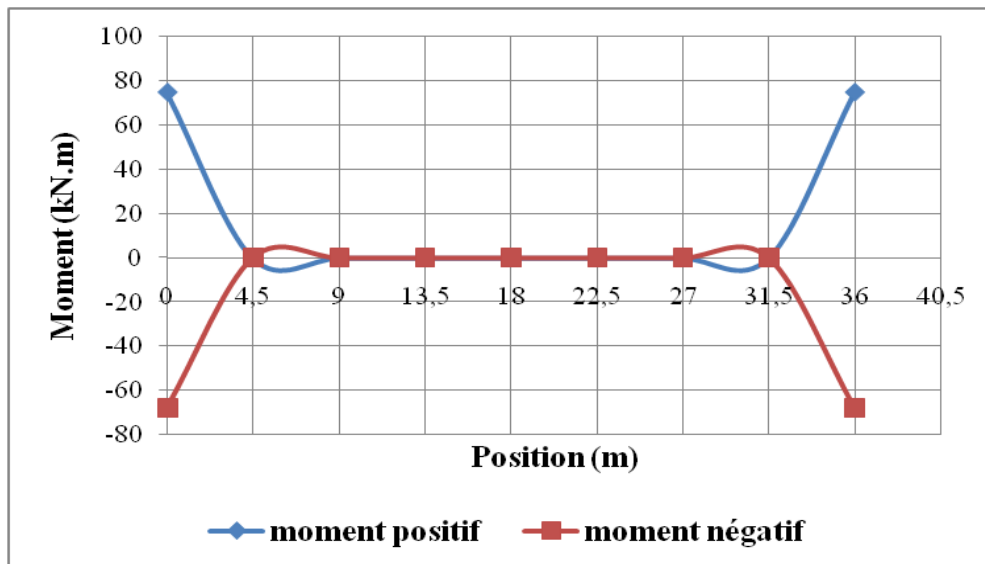


Figure V.14 : Diagrammes du moment dans le cas diaphragme 36m (Pont droit)

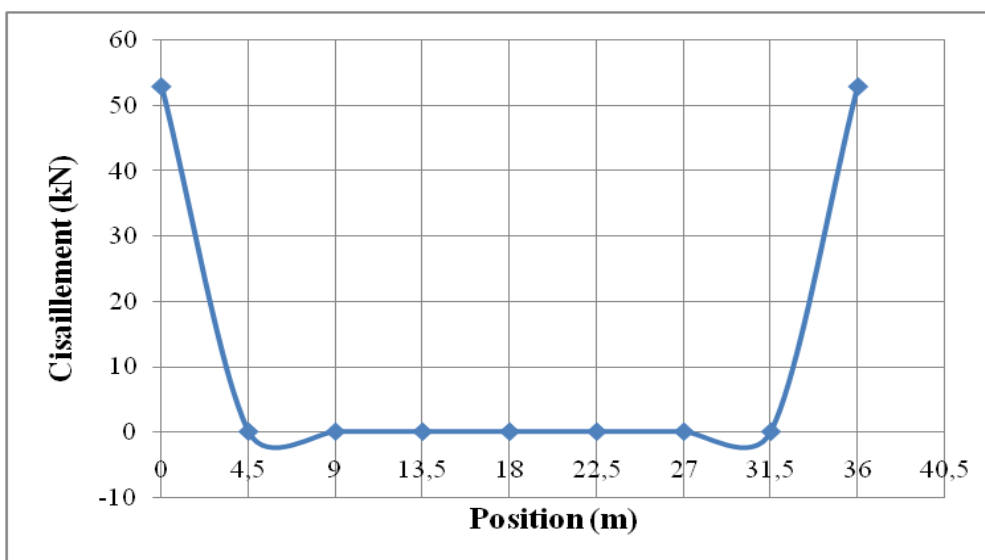


Figure V.15 : Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 36m (Pont droit)

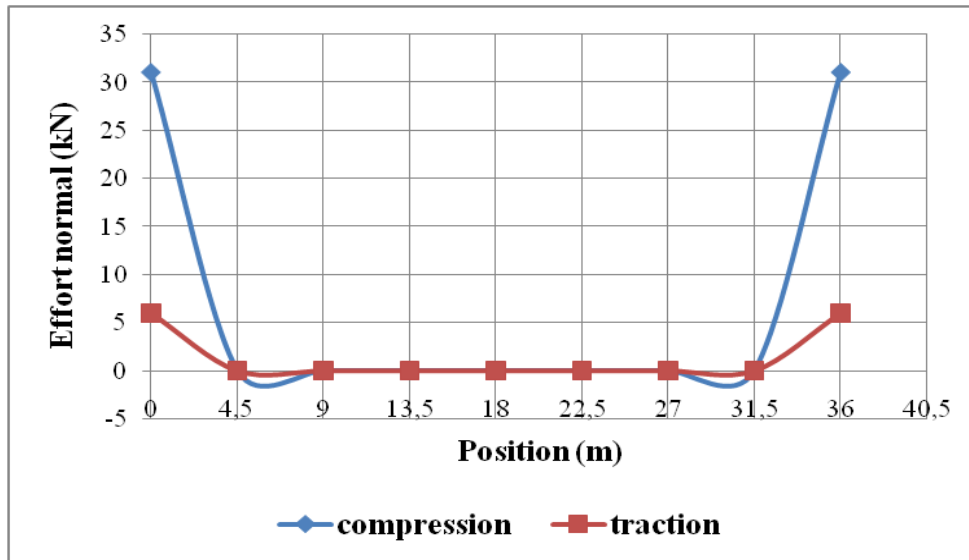


Figure V.16 : Diagrammes de l'effort normal dans le cas diaphragme aux appuis (36m) (Pont droit)

V.2.3 - Comparaison des efforts internes dans les diaphragmes pour le pont droit:

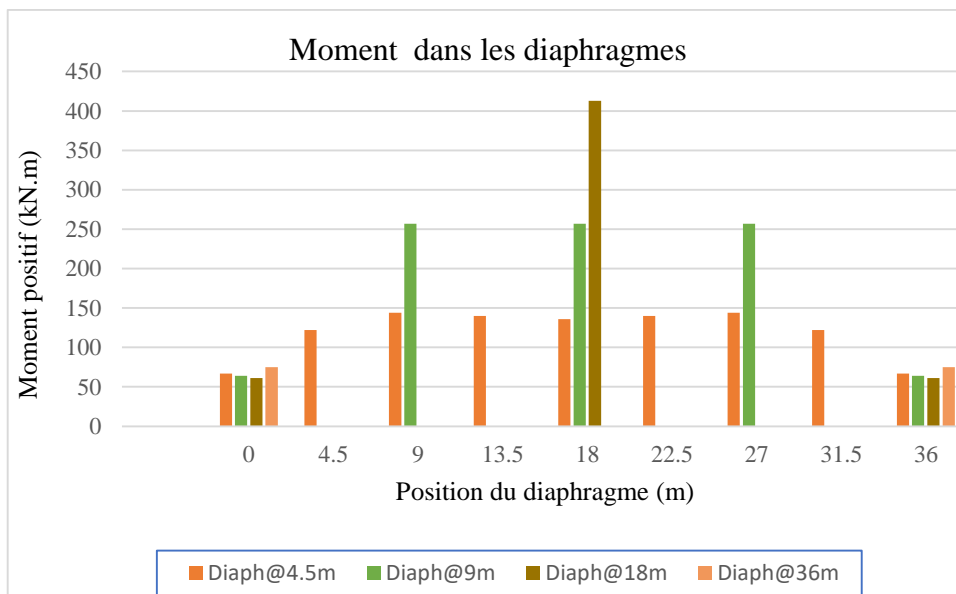


Figure V.17 : Diagrammes de moment dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement(Pont droit)

La figure V.17 démontre que la valeur du moment pour les diaphragmes se trouvant à la même position mais avec un espacement différent augmente avec l'augmentation de l'espacement. Dans le cas du diaphragme intermédiaire se trouvant à mi-travée du pont droit, le moment passe de 136 kN.m pour un espacement de 4.5 m à 413 kN.m pour un espacement de 18 m. ce que signifie que lors de la conception des diaphragmes, la section de

ses éléments doit être adaptée à l'espacement entre eux. Les valeurs du moment pour les diaphragmes d'extrémités restent comparables pour les différents cas d'espacement entre les diaphragmes intermédiaires.

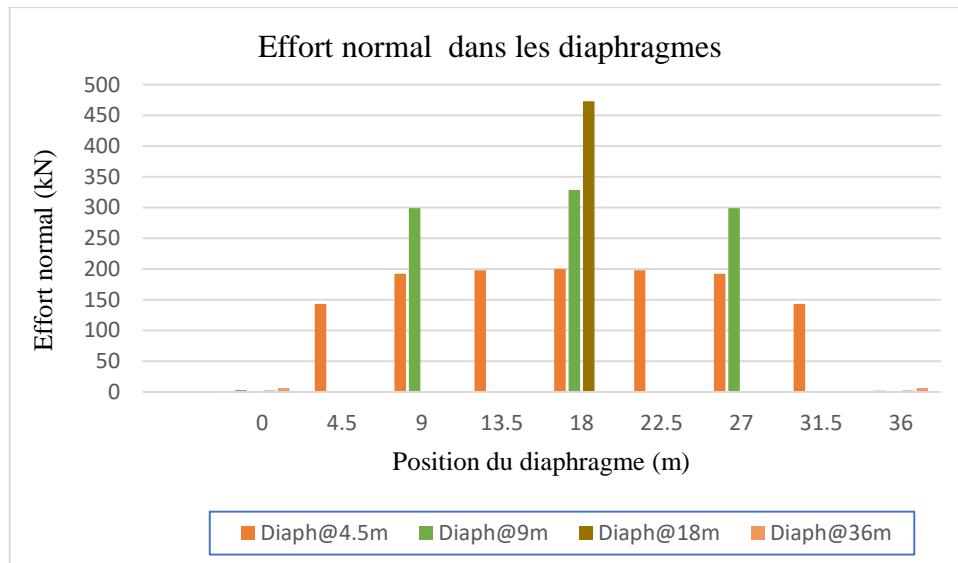


Figure V.18 : Diagrammes de l'effort normal dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement(Pont droit)

De la même manière que les le moment, l'effort normal, tel que montré dans la figure V.18, augmente dans le les diaphragmes avec l'augmentation de l'espacement entre ces derniers.

V.3 - Pont courbe :

V.3.1- Poutre d'extrémité extérieure et poutre de centre :

a- Poutre d'extrémité extérieure :

Position (m)	Diaphragme (4.5m)		Diaphragme (9m)		Diaphragme (18m)		Diaphragme (36m)	
	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)
0	0	327	0	328	0	332	0	341
4,5	1010,5	273	1029,5	266	1046,5	267	1060	275
9	1702,5	257	1790	251	1817,5	239	1861	253
13,5	2094,5	189	2170	176	2258	163	2349	178
18	2206	152	2330	150	2363	162	2498	134
22,5	2094,5	189	2170	176	2258	163	2349	178
27	1702,5	257	1790	251	1817,5	239	1861	253
31,5	1010,5	273	1029,5	266	1046,5	267	1060	275
36	0	327	0	328	0	332	0	341

Tableau V.7 : Valeurs de moments et de cisaillements à chaque distance entre les diaphragmes en pont courbe

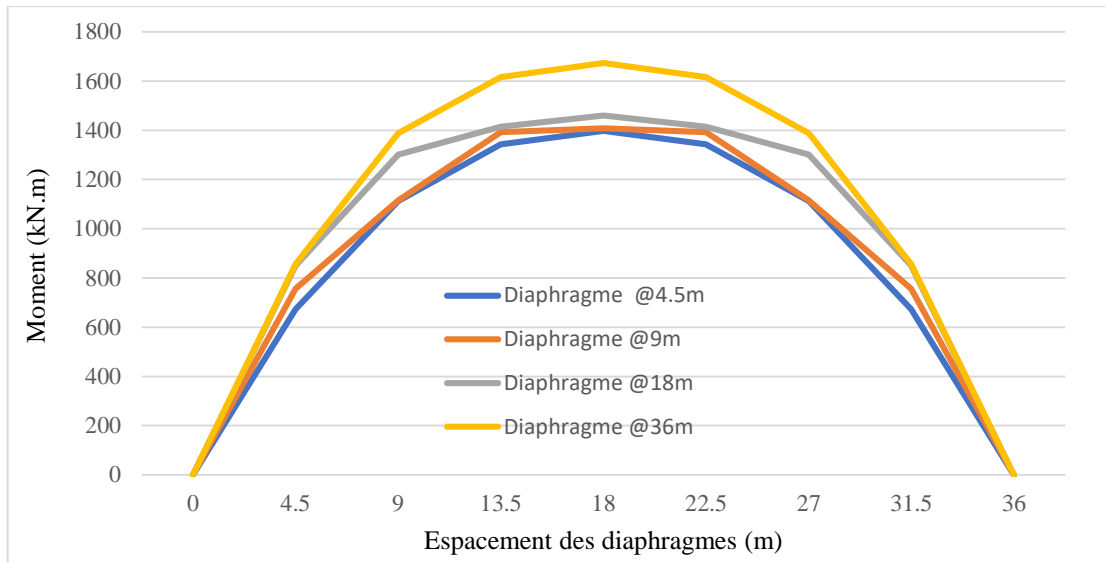


Figure V.19 : Diagrammes du moment de la poutre extérieure du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes(Pont courbe)

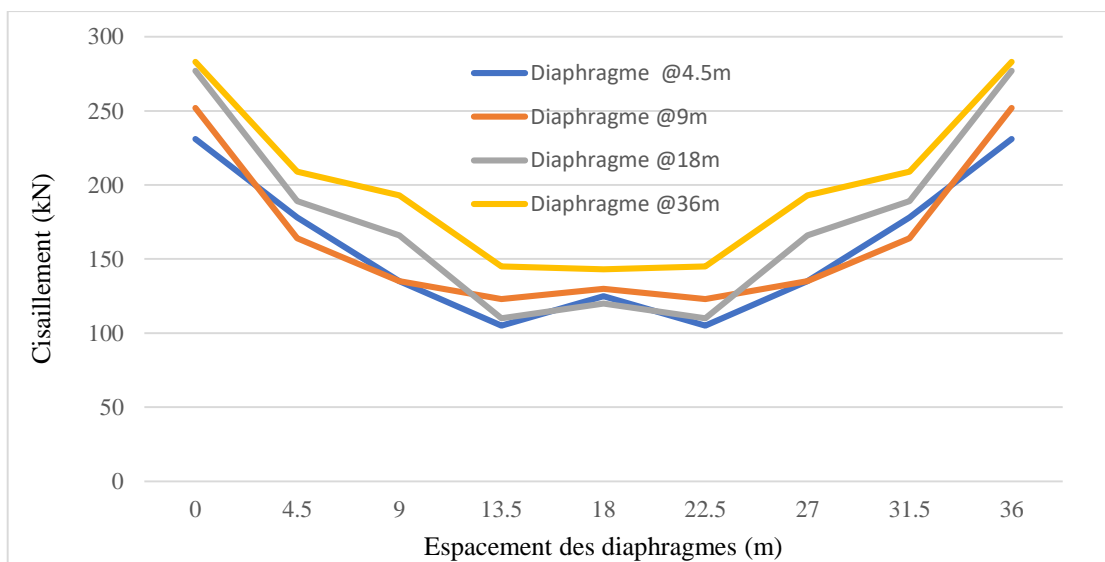


Figure V.20 : Diagrammes du cisaillement de la poutre extérieure du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes (Pont courbe)

Selon les figures V.19 et V.20 illustrant les diagrammes du moment et du cisaillement respectivement pour la poutre extérieur d'un tablier de pont courbe, la variation de l'espacement entre les diaphragmes n'a aucun effet significatifs sur l'allure des efforts internes. L'augmentation de l'espacement entre les diaphragmes engendre une légère augmentation dans le moment à une section donnée de la poutre. À mi travée de la poutre le moment passe de 2206 kN.m pour un espacement de diaphragmes de 4.5m à 2498 kN.m dans le cas où il n'y a pas de diaphragmes intermédiaire. Ceci représente 13% d'augmentation.

b- poutre de centre :

Position (m)	Diaphragme (4.5m)		Diaphragme (9m)		Diaphragme (18m)		Diaphragme (36m)	
	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)	Moment (kN.m)	cisaillement (kN)
0	0	231	0	252	0	277	0	283
4,5	673	178	756	164	850	189	857	209
9	1113	135	1115	135	1301	166	1388	193
13,5	1342,5	105	1392	123	1415	110	1616	145
18	1397	125	1408	130	1460	120	1673	143
22,5	1342,5	105	1392	123	1415	110	1616	145
27	1113	135	1115	135	1301	166	1388	193
31,5	673	178	756	164	850	189	857	209
36	0	231	0	252	0	277	0	283

Tableau V.8 : Valeurs de moments et de cisaillements à chaque distance entre les diaphragmes en pont courbe(Pont courbe)

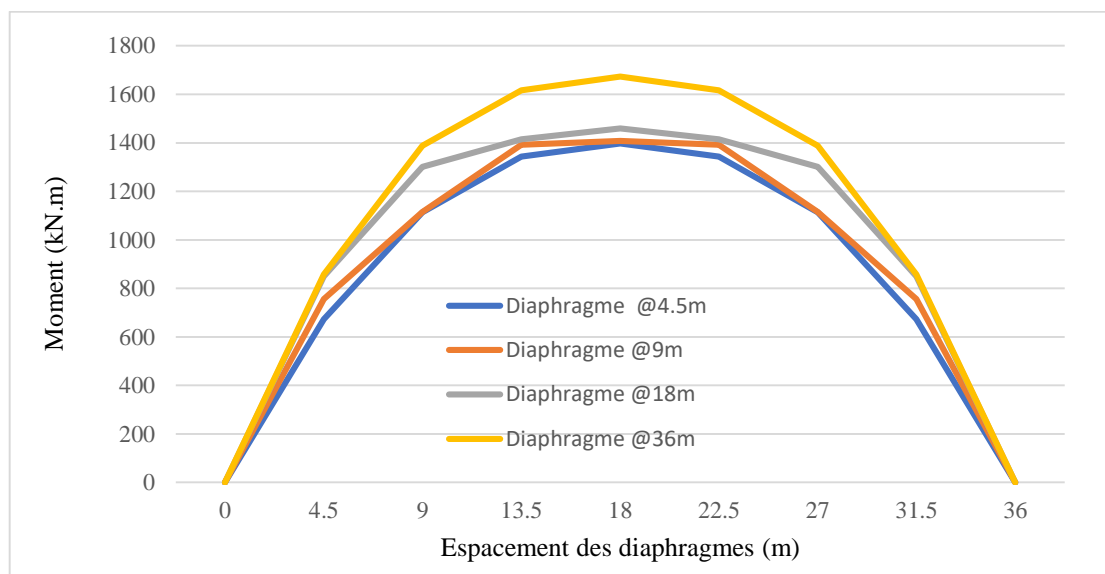


Figure V.21 : Diagrammes du moment de la poutre de centre du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes(Pont courbe)

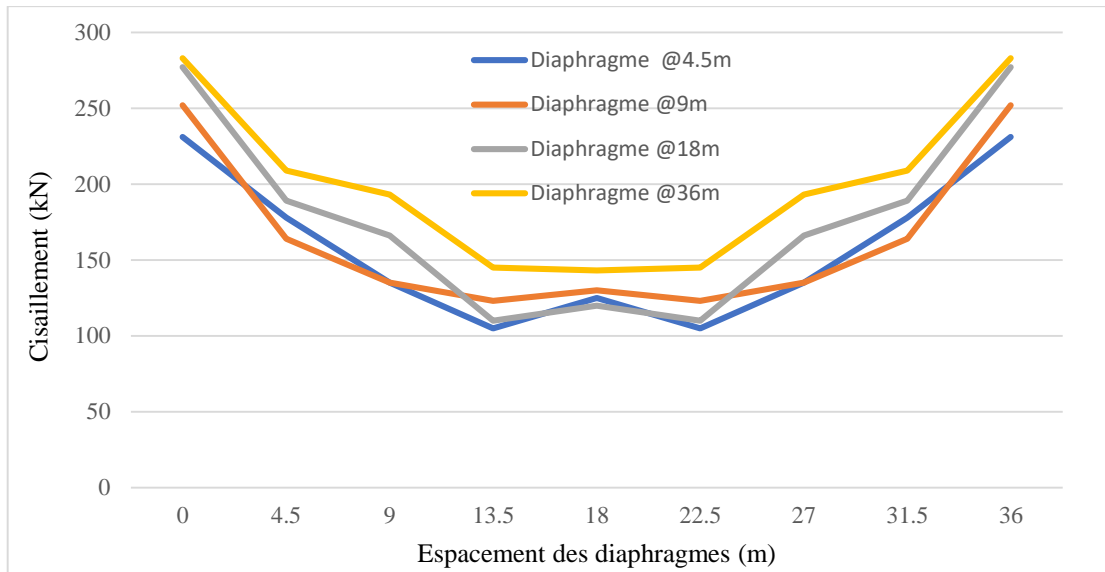


Figure V.22 : Diagrammes du cisaillement de la poutre de centre du pont courbe avec différents cas d'espacement de diaphragmes(Pont courbe)

La figure V.21 illustrant le moment dans la poutre centrale du pont courbe pour les différents cas d'espacement entre les diaphragmes démontre que la valeur maximale du moment augmente avec l'augmentation de l'espacement entre les diaphragmes. Le moment au centre passe d'environ 1343 kN.m pour un espacement de 4.5 m à plus de 1673 kN.m quand on n'a pas de diaphragmes intermédiaires.

Pareil que moment, la figure V.22 démontre qu'on éloignant les diaphragmes la valeur du cisaillement dans la poutre de centre augmente. Elle passe, aux appuis, de 231kN quand l'espacement est de 4.5m à 283 kN pour pas de diaphragme.

V.3.2- Efforts internes dans les diaphragmes dans le cas d'un tablier courbe :

V.3.2.1- Premier cas : la distance entre les diaphragmes 4.5m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		compression	traction
0	105	105	60	80	107
4,5	168	113	58	50	83
9	176	135	65	33	119
13,5	195	181	78	63	137
18	165	170	75	36	140
22,5	195	181	78	63	137
27	176	135	65	33	119
31,5	168	113	58	50	83
36	105	105	60	80	107

Tableau V.9 : Efforts internes dans le cas diaphragme 4.5m(Pont courbe)

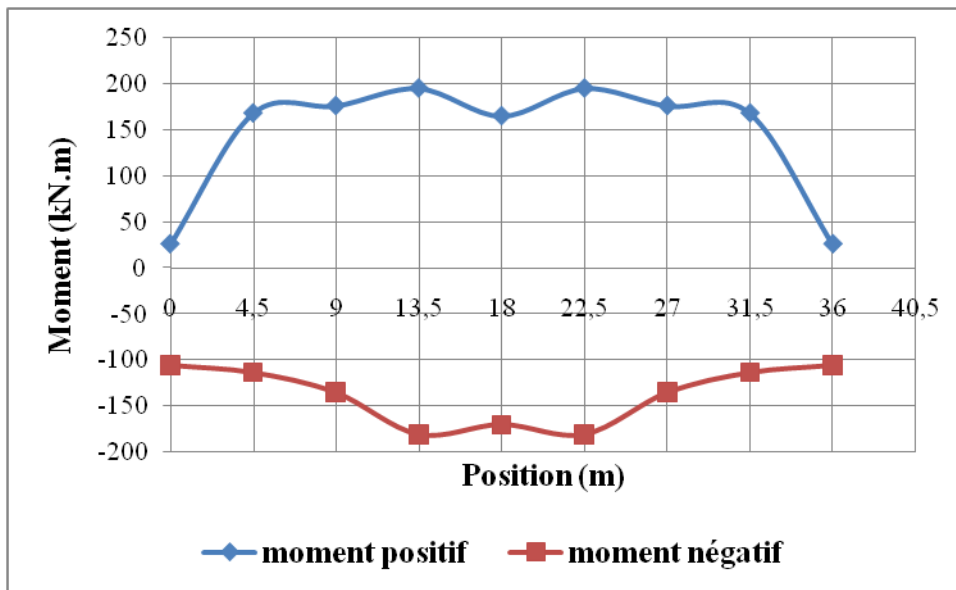


Figure V.23 : Diagrammes de moment dans le cas diaphragme 4.5m (Tablier d'un pont courbe)

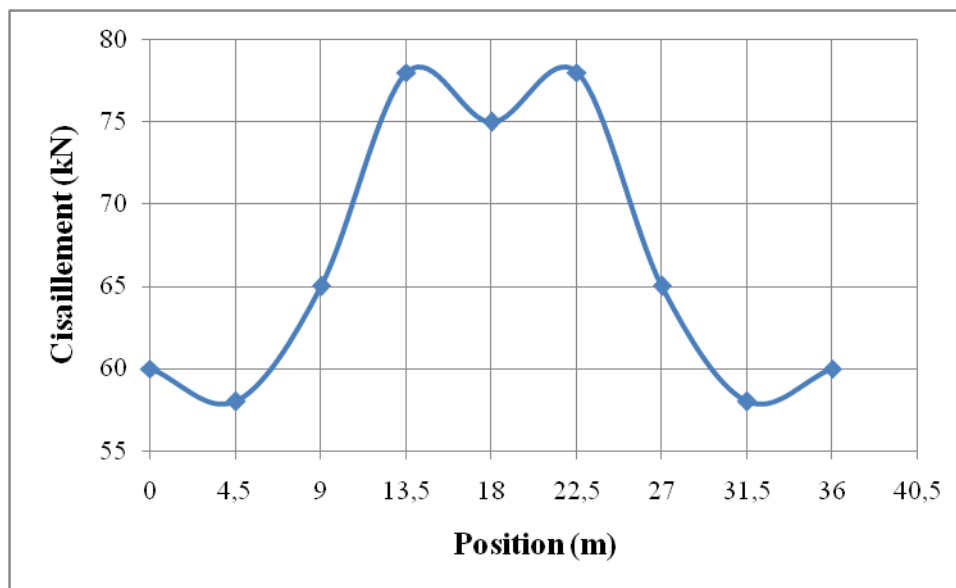


Figure V.24: Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 4.5m (Pont courbe)

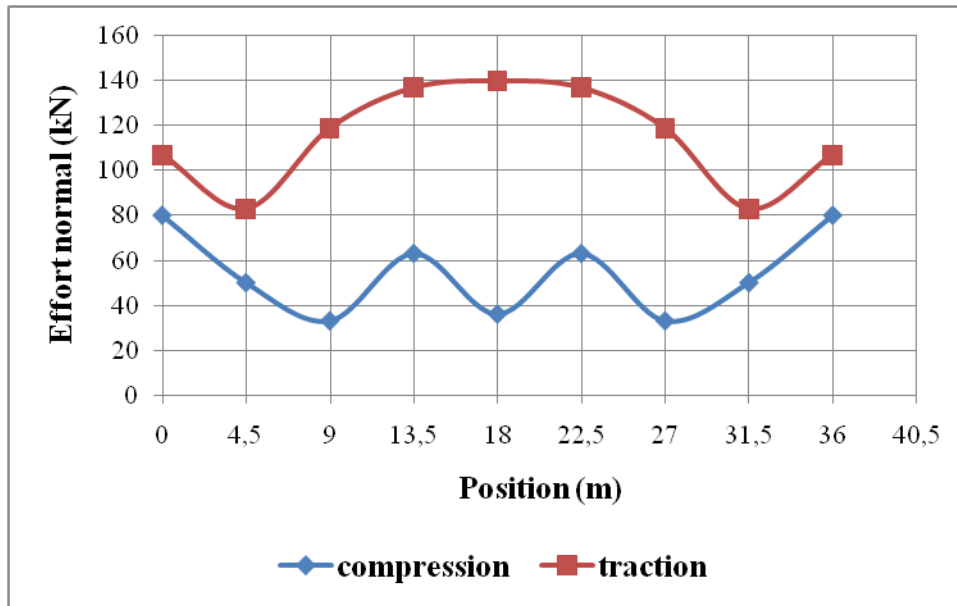


Figure V.25 : Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 4.5m(Pont courbe)

Les figures V.23, V.24 et V.25 illustrant les diagrammes du moment, du cisaillement et de l'effort normal dans les diaphragmes espacés de 4.5 m pour un pont courbe indiquent que ces éléments sont plus sollicités à partir de 9 m d'appui de chaque côté pour le moment fléchissant et en traction. Pour le cisaillement, ce sont les trois diaphragmes du milieu qui le sont.

V.3.2.2- Deuxième cas : la distance entre les diaphragmes 9 m

Position (m)	Moment (kN.m)		Cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		Compression	traction
0	97	67	64	60	119
4,5	-	-	-	-	-
9	297	240	102	135	219
13,5	-	-	-	-	-
18	281	275	114	139	230
22,5	-	-	-	-	-
27	297	240	102	135	219
31,5	-	-	-	-	-
36	97	67	64	60	119

Tableau V.10 : Valeurs du moment, de l'effort normal et du cisaillement dans le cas diaphragme 9m(Pont courbe)

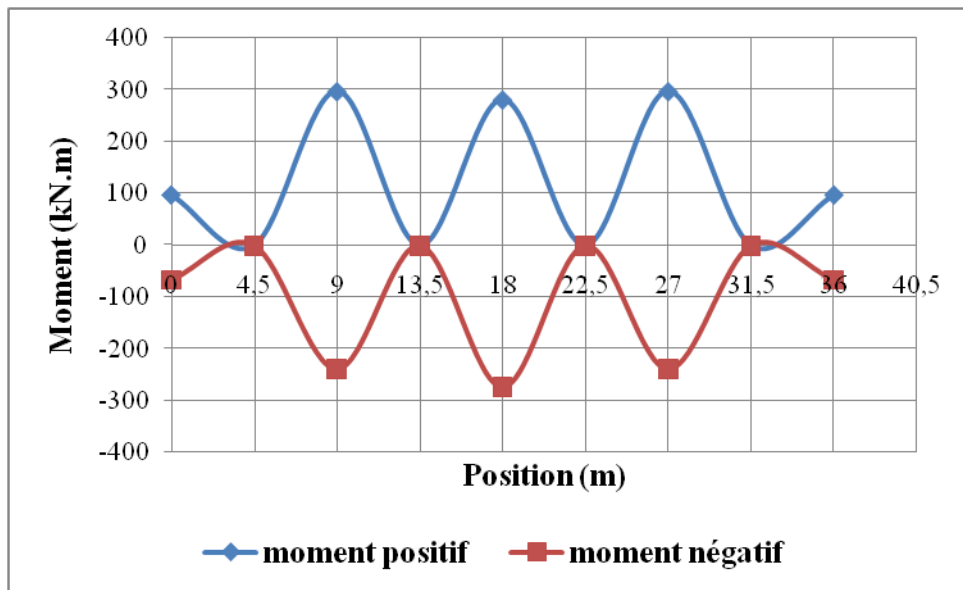


Figure V.26 : Diagrammes de moment dans le cas diaphragme 9m (Pont courbe)

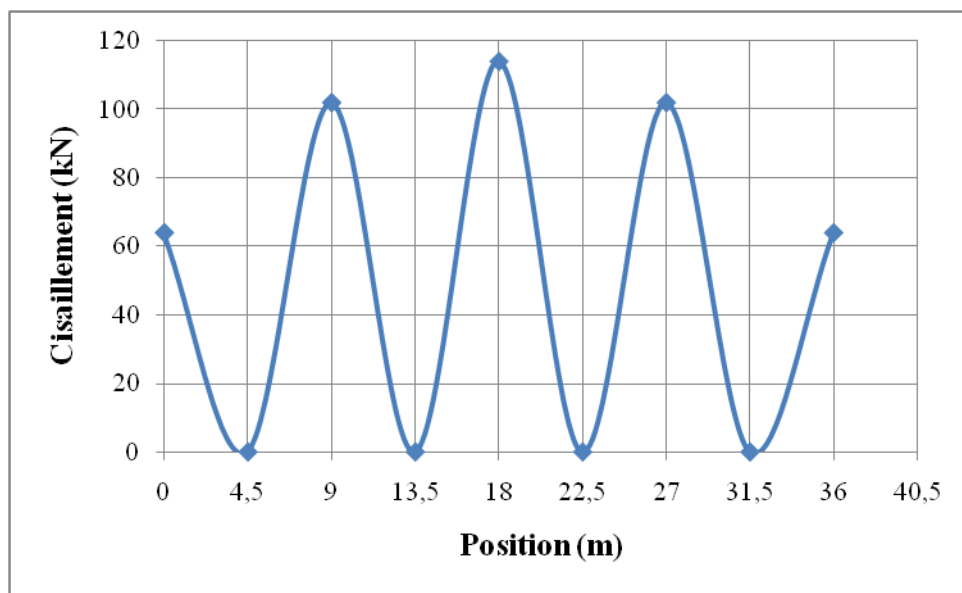


Figure V.27 : Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 9m (Pont courbe)

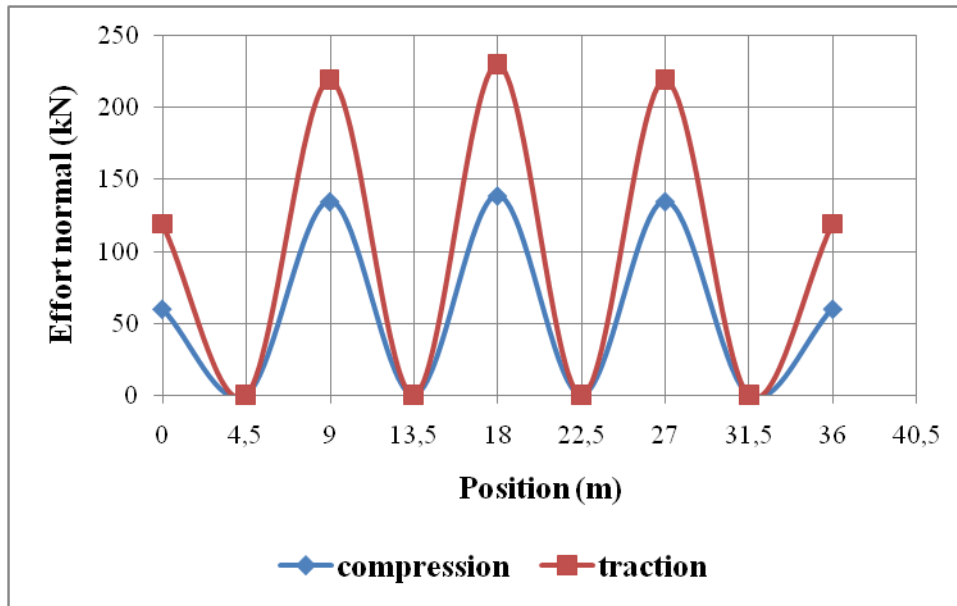


Figure V.28 : Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 9m (Pont courbe)

L'élimination d'un diaphragme sur deux ce qui rend l'espacement entre les diaphragmes de 9m démontre, selon les figures V.26, V.27 et V.28, que les efforts internes max/min restent semblables dans les diaphragmes intermédiaires du tablier de pont courbe.

V.3.2.3- Troisième cas : la distance entre les diaphragmes 18 m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		compression	Traction
0	99	66	65	65	120
4,5	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-
18	392	453	149	287	297
22,5	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
31,5	-	-	-	-	-
36	99	66	65	65	120

Tableau V.11: Les valeurs du moment, effort normal et cisaillement dans le cas diaphragme 18m(Pont courbe)

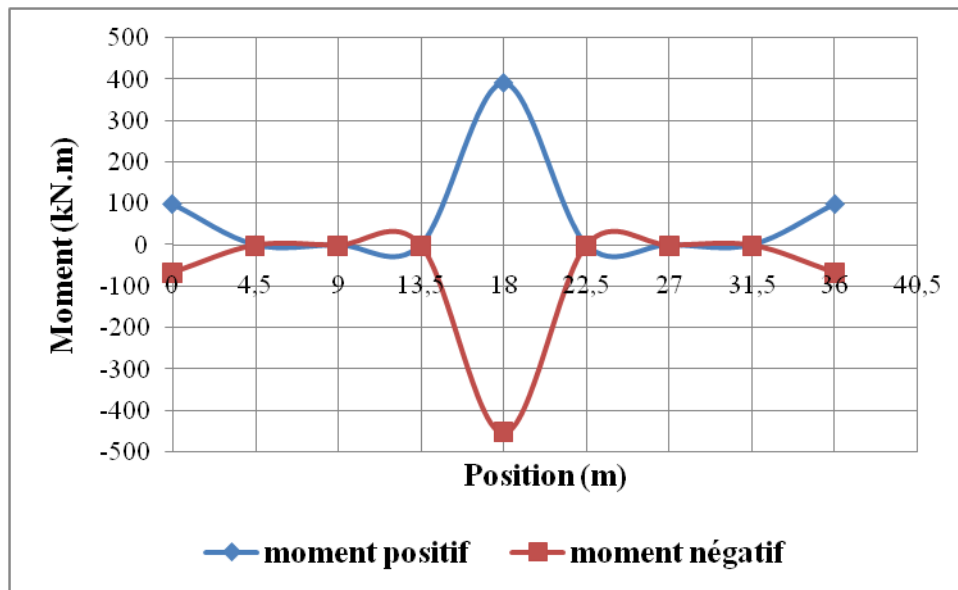


Figure V.29 : Les diagrammes de moment dans le cas de diaphragme de 18m(Pont courbe)

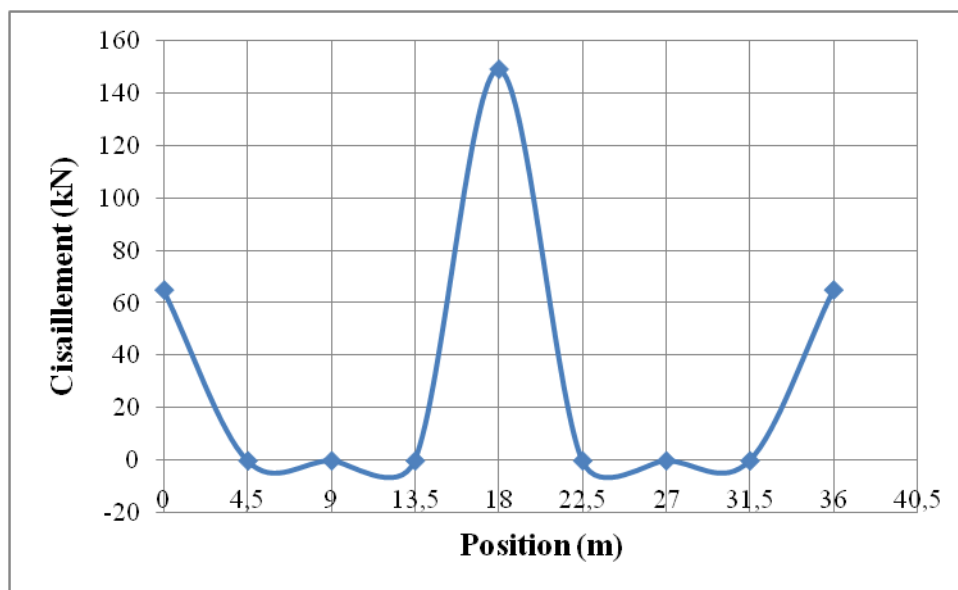


Figure V.30 : Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 18m (Pont courbe)

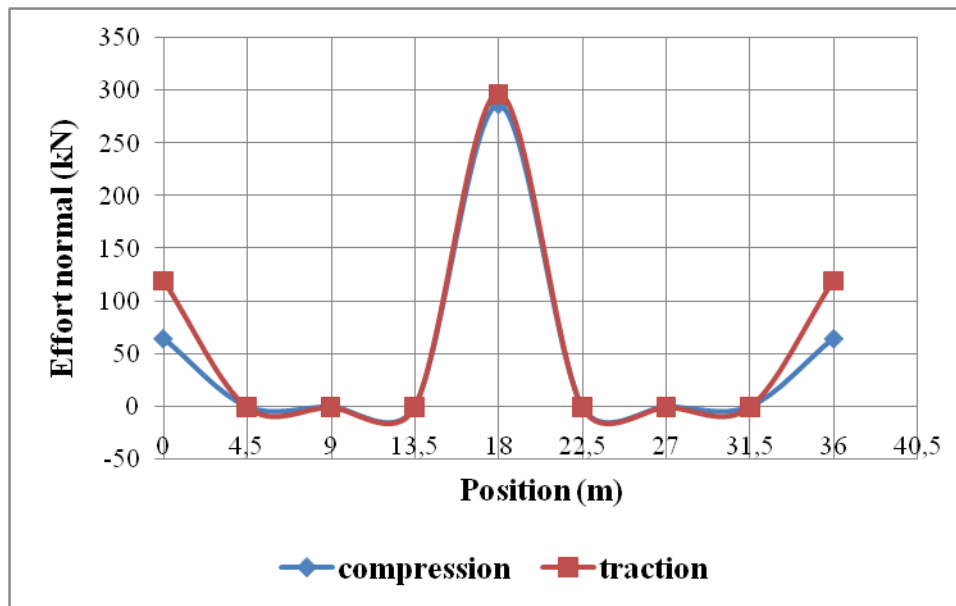


Figure V.31 : Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 18m(Pont courbe)

V.3.2.4- Quatrième cas: la distance entre les diaphragmes 36 m

Position (m)	Moment (kN.m)		cisaillement (kN)	Effort normal (kN)	
	Positif	Négatif		compression	traction
0	103	89	74	88	122
4,5	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
31,5	-	-	-	-	-
36	103	89	74	88	122

Tableaux V.12 : Valeurs du moment, effort normal et cisaillement dans le cas diaphragme 36m(Pont courbe)

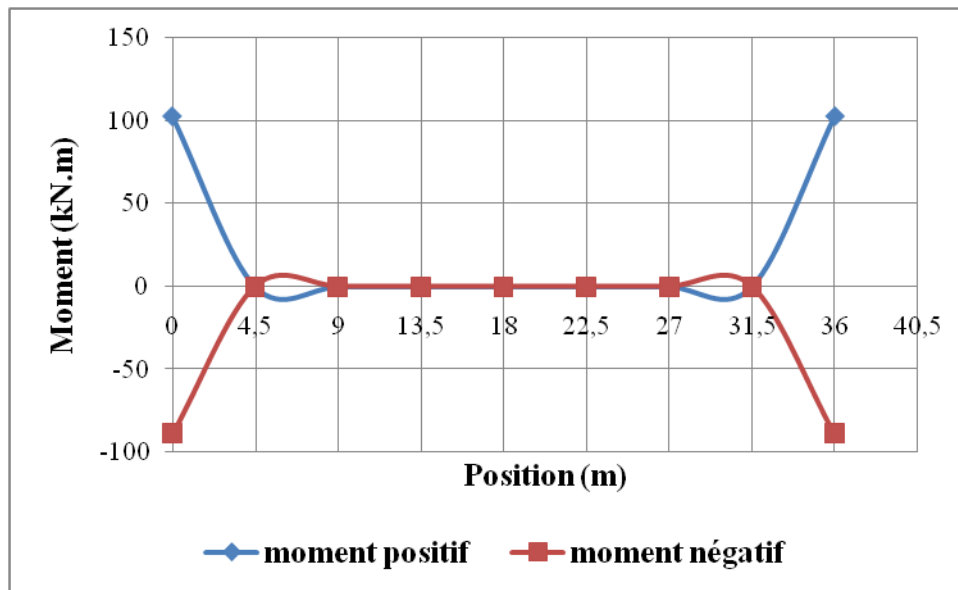


Figure V.32 : Diagrammes de moment dans le cas diaphragme 36m (Pont courbe)

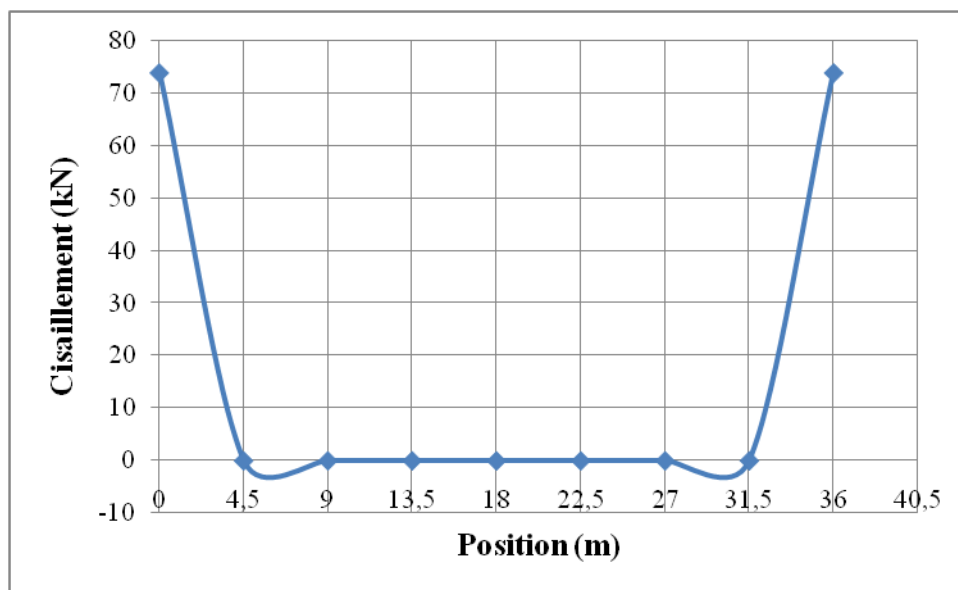


Figure V.33 : Diagramme de cisaillement dans le cas diaphragme 36m (Pont courbe)

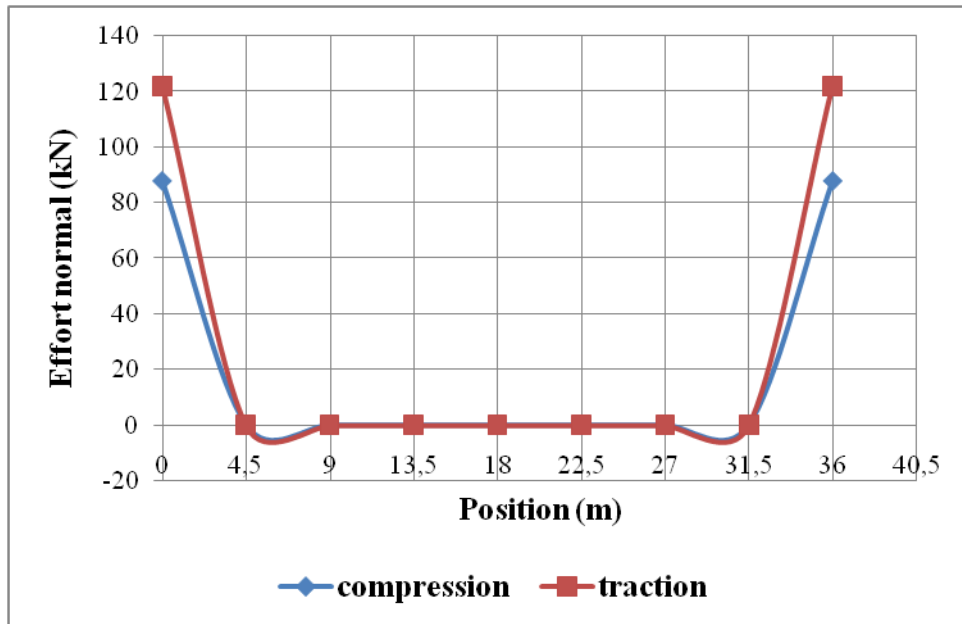


Figure V.34 : Diagramme d'effort normal dans le cas diaphragme 36m(Pont courbe)

V.3.3 - Comparaison des efforts internes dans les diaphragmes pour le pont courbe:

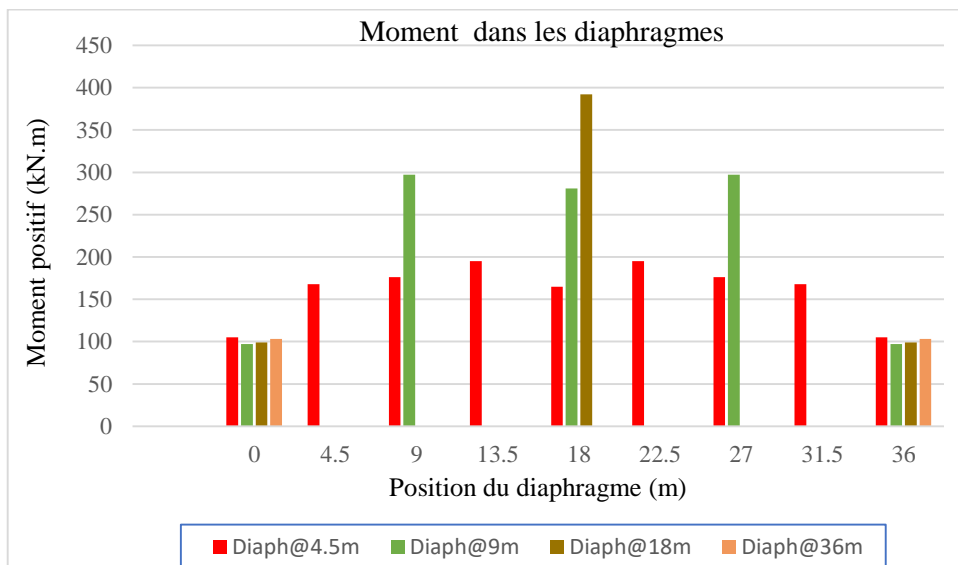


Figure V.35 : Diagrammes de moment dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement (Pont courbe)

La figure V.35 démontre que la valeur du moment pour les diaphragmes se trouvant à la même position mais avec un espacement différent augmente avec l'augmentation de l'espacement. Dans le cas du diaphragme intermédiaire se trouvant à mi-travée du pont courbe, le moment passe de 165 kN.m pour un espacement de 4.5 m à 392 kN.m pour un espacement de 18 m. ce que signifie que lors de la conception des diaphragmes, la section de ses éléments doit être adaptée à l'espacement entre eux. Les valeurs du moment pour les

diaphragmes d'extrémités restent comparables pour les différents cas d'espacement entre les diaphragmes intermédiaires.

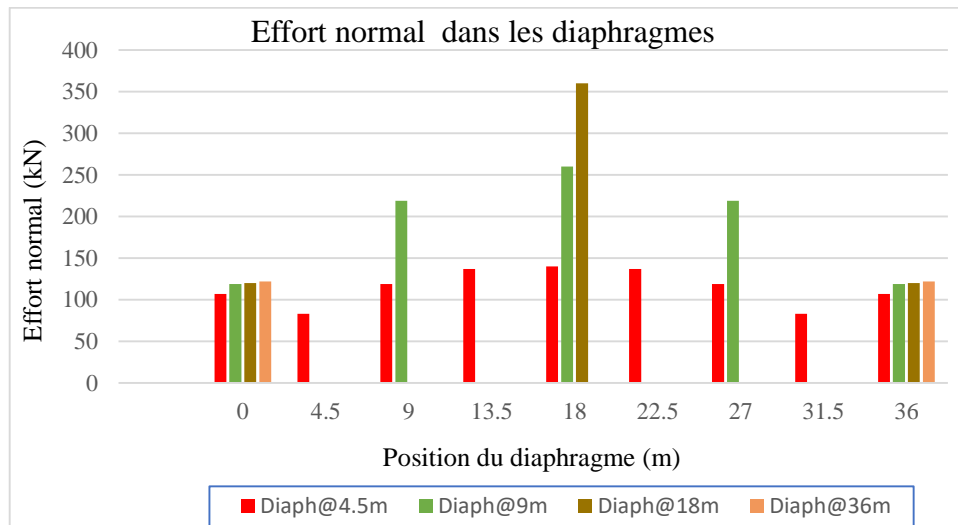


Figure V.36 : Diagrammes de l'effort normal dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement (Pont courbe)

De la même manière que les le moment, l'effort normal, tel que montré dans la figure V.36, augmente dans les diaphragmes avec l'augmentation de l'espacement entre ces derniers.

V.4- Comparaison entre les ponts droit et courbe:

Afin de faire une comparaison entre le pont droit et courbe, nous avons choisi de comparer l'effort normal de traction dans les diaphragmes.

La figure V.37 illustre l'effort normal dans les diaphragmes des deux types de pont étudié, droit et courbe en fonction de la distance entre les diaphragmes.

Selon la figure V.37, les diaphragmes intermédiaires du pont droit sont plus sollicités. On constate par exemple que pour le diaphragme se trouvant à mi-travée, c'est-à-dire à 18 m de chaque appui, l'effort normal est de 200 kN, 329 kN et 473 kN dans le cas de diaphragmes espacés de 4.5m, 9m et 18m respectivement pour un le pont droit. Dans le cas du pont courbe, l'effort normal pour les mêmes positions est de 140 kN, 260 kN et 360 kN.

En ce qui concerne les diaphragmes d'extrémité, l'effort normal dans le cas du pont courbe est plus important. Cette valeur est inférieure à 6 kN pour tous les cas d'espacement dans le pont droit, alors qu'elle est de 107 kN, 119 kN, 120 kN et 122 kN quand l'Espacement est de 4.5m, 9m, 18m et 36 m respectivement pour le pont courbe.

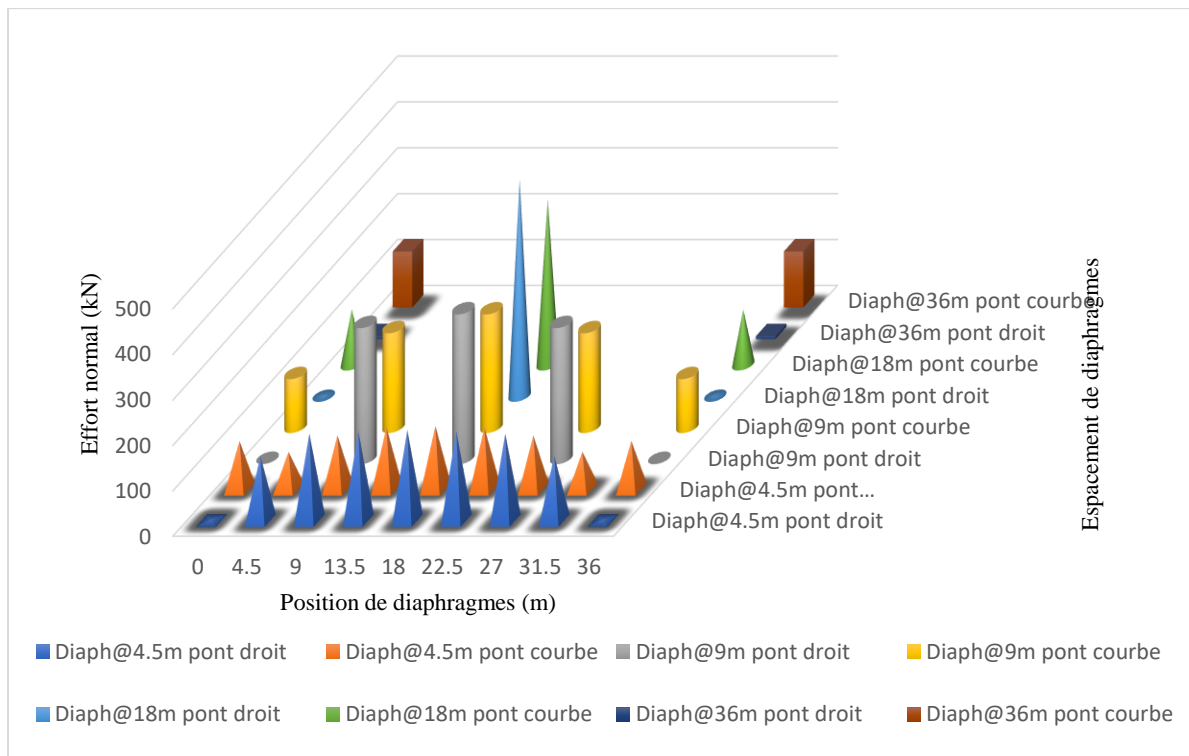


Figure V.37 : Diagrammes de l'effort normal dans les diaphragmes pour tous les cas d'espacement (Pont droit et courbe)



Chapitre VI : Conclusion

Conclusion

Dans le cadre du présent mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master en génie civil, nous avons entamé un sujet très spécial et nouveau. Il s'agit de rôles des diaphragmes dans les tabliers de pont.

Afin de mieux cerner le sujet étudié, le mémoire a été partagé en cinq chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre nous avons traité l'histoire des ponts. Par la suite dans le chapitre deux une grande recherche bibliographique a été menée pour déterminer les types des ponts et leurs éléments constitutifs et les charge de conception. Le chapitre trois traite le rôle des diaphragmes et leurs charges de conception. Pour traiter le vif du sujet, nous avons présenté dans le chapitre quatre la partie modélisation de deux tabliers en béton isostatique de pont semblables ayant 36 m de portée mais un droit et l'autre courbe avec un rayon de 120 m par rapport à son axe longitudinal sous l'effet d'un passage d'un puis deux camions. Par la suite, l'analyse des résultats numériques en termes d'efforts internes dans les diaphragmes obtenus de plusieurs espacements entre ces derniers est présentée dans le chapitre cinq.

À la lumière de ce qu'a été dit dans le chapitre recherche bibliographique et vu dans le chapitre analyse et discussion des résultats, les diaphragmes dans les ponts sont des éléments secondaires mais importants. Leurs rôles sont diversifiés et primordiales à la fois. Ils changent d'un type de pont à l'autre et d'une configuration à une autre.

Ce travail nous a permis d'avoir de tirer certaines conclusions qui sont comme suit :

- La distance entre les diaphragmes n'est pas donnée par des valeurs numériques mais plutôt par des équations empiriques qui varient d'un code de calcul à l'autre ;
- Une distance minimale entre les diaphragmes de 9 mètres doit être fixée. De plus la valeur maximale ne doit pas dépasser 15 mètres pour les tabliers en béton. Cette conclusion coïncide avec les recommandations du code canadien sur le calcul des ponts ;
- Un calcul de dimensionnement doit être effectué pour chaque cas d'espacement entre les diaphragmes pour tenir compte des efforts internes ;
- les diaphragmes d'extrémité sont plus importants surtout pour un tablier courbe et doivent être considérés comme des éléments principaux ;

- Le rôle des diaphragmes est important avant le coulage de la dalle puisque ils assurent la stabilité de l'ensemble du tablier.

Enfin, d'un point de vue personnel, ce projet de fin d'étude a été l'occasion d'entamer des recherches et de faire un pas en avant. En plus de cela, il nous a permis de connaître les diaphragmes dans les ponts. Notre connaissance en ponts et de leurs composants a également été approfondie.

Bibliographie

- [1] : A. Nehaoua, Cours de Ponts mixtes, 2015.
- [2] : <https://ouvresdegenie.wordpress.com/ponts-a-poutres/> consulter le 14.04.2020 en 22h24min.
- [3] : Jean-Armand CALGARO, Anne BERNARD-GELY; Conception des ponts – Démarche de conception, 10 aout 2009.
- [4] : Michel Loisy, Document ressource les ponts, académie versailles éducation nationale enseignement supérieur recherche, 2008.
- [5] : Site internet : partite histoire du pont des Art-paris ZigZag/ insolit & secret.
- [6] : Ben Chabla Hauda, Etude comparative enter deux portique routières, un encastre et l'autre ayant des rotules a leur bases, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Faculté de technologie ,2015.
- [7] : Trifunac, M.D. et Brady, A.G. On The Correlation of Seismic Intensity Scales with the Peak of Recorded Strong Ground Motion". Bull. Seism. Soc. Amer. Vol. 65, N°1, February, PP. 138 – 162, 1975.
- [8] : Djonit Asma, Interaction sol-structure influence la profondeur et des types des ponts (cas d'un pont dalle), Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Faculté de technologie ,2016.
- [9] : Sadi Wardiya, comportement dynamique d'un pont dalle en tenant compte de l'interaction sol-structure, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Faculté de technologie ,2019.
- [10] : Education à la technologie, Conception et concetrection, Ministère de l'éducation du Nouveau-Burunwick, Faculté d'ingénierie de l'université de Moncton, Mars 2007.
- [11] : J.A.Calgaro, «projet et construction de ponts ».
- [12] : Ksouri M. & Lassoued J, Projet de fin d'études pont a poutres en béton armé sur oued Béja Tunisie, École nationale d'ingénieurs de Sfax ,2013.
- [13] : Mr Issoufou Tamboura, Enseignement supérieur (cours de ponts -ouvrages d'art),Année académique, 2015.
- [14] : Lucas de Nehon ,technologie des ponts, cours de génie civil.

- [15] : Bou midi Sofiane et Oued Abdallah Smaili Yacine, Conception et étude d'un ouvrage de l'intersection de l'évitement d'El-Maha avec la route de Tergal, Ecole nationale des travaux publics, 2008.
- [16] : Madou Passim et Zakaria Sofiane, Etude de fondations d'un Pont en béton précontraint sur la RN9 du PK 00+000 au PK 01+060 (Souk el tienne, Bejaia), Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Faculté de technologie, 2016.
- [17] : <https://ouvresdegenie.wordpress.com/ponts-a-poutres/> consulter le 2.04.2020 en 14h26min.
- [18] : A.L.Millan, V.Le Khac et P.Paillusseau , Ponts à poutres préfabriquées précontraintes par post-tension, février 1996.
- [19] : www.quora.com/What-is-bridge-diaphragm consulter le 29.03.2020 en 12h30min.
- [20] : M . FR. Laissle et AD. Schuebler, Calcul et construction des ponts métallique, 1871.
- [21] : Frederick S. Merritt et Jonathan T. Ricketts, Building design and construction handboug.
- [22] : P.Lestuzzit, M.-A.Stude, F.Frey, A.Muttoni, M.A.hirt, M.crisinel, Ch.Ancey et A.Parriaux, Génie parasismique: conception et dimensionnement des bâtiments, 2008.
- [23] : Milan Zacek, Construire parasismique, Avril 1996.
- [24] : Manuel de conception des structures, volume 1: nouvelle édition, Ministère des transports du Québec, Direction des structures , Octobre 2009.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ