
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université TAHRI Mohamed, Béchar



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique

Polycopié Pédagogique de
(Cours,)
Intitulé :

"Cours de Ponts"

Code de la Matière : - F612 Niveau : Licence (S6)

Filière (s) : (Travaux Publics)

Spécialité (s) : (Voies et Ouvrages d'Arts)

Etabli par l'enseignant :
Dr. Abdelhamid MAMMERI

Année Universitaire : 2023/2024.

SOMMAIRE

Préambule.....	I
Introduction générale.....	II

CHAPITRE 01 : GENERALITES SUR LES PONTS

1. INTRODUCTION	1
2. ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN PONT	1
3. QUELQUES NOTIONS GEOMETRIQUES	1
3.1 CLASSIFICATION DES PONTS	2
3.1.1 Selon la nature de la voie portée	2
3.1.2 Selon les matériaux de construction	2
3.1.3 Selon la mobilité du pont.....	4
3.1.4 Selon la vue en plan	6
3.1.5 Selon la position du tablier	7
3.1.6 Selon la constitution du tablier	9
4. DOMAINE D'EMPLOI DES PONTS SELON LEURS PORTEES	12

CHAPITRE 02 : CONCEPTION DES PONTS

1. INTRODUCTION	14
2. LES ETAPES D'ELABORATION D'UN PROJET	14
2.1 Les ouvrages courants	14
2.2 Le projet d'exécution	18
3. LES DONNEES D'ETUDES DE PROJET.....	18
3.1 Les données fonctionnelles	18
3.1.1 Données relatives à la voie portée	18
3.1.2 Données relatives à l'obstacle franchi	18
3.2 Les données naturelles	19
3.2.1 Les données géotechniques	19
3.2.2 Les données hydrauliques.....	19
3.2.3 Les données climatiques	19
3.2.4 Les données sismologiques	19
3.3 Les données d'intégration au site	19
3.3.1 Considérations d'ordre esthétique.....	19
3.3.2 Considération des problèmes d'environnement	20
4. CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE	20
4.1 Analyse des données	20
4.1.1 Les données fonctionnelles	20
4.1.2 Les données naturelles.....	20
4.2 Définition de la brèche	20
4.3 Etude des possibilités d'implantations des appuis	21
4.4 Choix de la structure.....	21

CHAPITRE 03 : DIFFERENTS TYPES D'OUVRAGES

1. INTRODUCTION	22
-----------------------	----

2. LES DIFFERENTS TYPES DE PONTS	22
--	----

CHAPITRE 04 : ACTIONS ET COMBINAISONS D'ACTIONS

1. INTRODUCTION	27
2. LES CHARGES PERMANENTES	27
2.1 Poids propre de la structure	27
2.2 Poids propre des équipements	27
2.3 Actions dues à la précontrainte et aux variations linéaires du tablier (retrait, fluage)	28
2.4 Tassements d'appuis	28
2.5 Force de rappel dû au frottement des appareils d'appui	28
3. CHARGES D'UN PONT ROUTE	29
3.1 Charges dues aux trafics.....	29
3.1.1 Considérations générales.....	29
3.1.2 Système A(l).....	31
3.1.3 Système B.....	33
3.1.4 Charges sur les remblais	40
3.1.5 Charges militaires.....	40
3.1.6 Charges exceptionnelles.....	43
3.1.7 Charges sur trottoir	45
3.1.8 Charges sur le garde de corps.....	46
3.1.9 L'effet de choc	46
3.1.10 Franchissement du trottoir ou de la bande cyclable.....	46
3.1.11 Forces d'impact sur les bordures de trottoirs.....	46
3.2 Charges hors trafics	46
3.2.1 Actions Thermiques	46
3.2.2 Actions dues au vent	47
3.2.3 Actions dues à l'eau.....	47
3.2.4 Incendie	47
3.2.5 Séisme.....	48
3.3 Combinaison d'action	48
3.3.1 Etat limite de service (ELS).....	48
3.3.2 Etat limite ultime (ELU)	48

CHAPITRE 05 : LIGNES D'INFLUENCE

1. INTRODUCTION.....	50
2. LIGNES D'INFLUENCE DES POUTRES SUR APPUIS SIMPLES	50
3. EMPLOI DES LIGNES D'INFLUENCES	51
4. LIGNES D'INFLUENCES D'AUTRES POUTRES ISOSTATIQUES	53
4.1 Poutre console.....	53
4.2 Poutre en console.....	54
 Conclusion.....	 55
Références bibliographiques	56

Préambule

Le développement économique d'un pays se traduit par une augmentation du pouvoir d'achat et accéder à un certain confort grâce aux biens de consommation. L'augmentation du nombre de véhicule se traduit par une insuffisance du réseau routier à satisfaire la circulation automobile et sur tout dans le secteur du transport urbain qui est privatisé à 90%. Pour y remédier, on est amené à élargir le réseau routier en construction des trémies et des ponts.

D'une façon générale, un pont se définit comme un ouvrage permettant de franchir un obstacle naturel ou une voie de circulation terrestre, fluviale ou maritime. La conception d'un pont doit satisfaire à bon nombre d'exigences naturelles, fonctionnelles et autres. En effet, en plus de pouvoir assurer des services à des usagers, un pont doit impérativement répondre à des exigences vis-à-vis de son environnement.

L'objectif de ce document pédagogique est de permettre aux étudiants de troisième année licence LMD Travaux Publics d'acquérir certaines notions fondamentales en ponts, et cela pour une meilleure maîtrise des concepts fondamentaux appliqués dans le domaine d'ouvrages d'art.

Introduction générale

Le présente document constitue le principal support écrit du cours de généralités sur les ponts, conception et calculs primaire de chargement et leurs sollicitations, dispensé à l'Université Tahri Mohamed Béchar. Il s'agit bien d'un support de cours de module de Pont, le lecteur n'y trouvera pas toutes les réponses aux questions qu'il peut se poser. La difficulté, dans la rédaction d'un cours, est de limiter le propos à l'essentiel pour aboutir à un document pratique et de taille raisonnable. Il est alors bien évident que tous les types d'ouvrages ne peuvent être abordés, ce cours n'examine que un cours de module de Ponts, destinés aux étudiants du 3ème année licence en Travaux Publics, et cela de manière synthétique car chaque chapitre pourrait, à lui seul, faire l'objet d'un propre document.

En fait, si ce cours reste de taille raisonnable, c'est parce que de nombreux sujets sont déjà traités par ailleurs, notamment les fondations, les appuis et les ouvrages de petite et moyenne importance. Il est donc principalement consacré à des généralités sur les ponts, conceptions des ponts, différents type de ponts, actions appliquées et le calcul de sollicitations en utilisant les lignes d'influences.

Ce document se compose en cinq chapitres. Le premier couvre également les ouvrages courants pour donner à l'exposé une plus grande généralité sur les ponts et de quoi se compose-t-il. Le deuxième chapitre traite la conception des ponts, qu'est une démarche itérative dont l'objectif est l'optimisation technique et économique de l'ouvrage. Le suivant chapitre donne un aperçu sur les différents types d'ouvrages et dans l'avant dernier chapitre en traite les actions sollicitant le pont et leurs combinaisons d'actions. Le calcul des sollicitations suivant ces actions appliquées en utilisant les lignes d'influences, pour le calcul des sollicitations maximales dans les sections les plus critiques ont traités dans le dernier chapitre du document,

CHAPITRE 01 : GENERALITES SUR LES PONTS

1. INTRODUCTION

En général, un pont est un ouvrage qui permet de traverser un obstacle naturel (une rivière, une vallée...) ou artificiel (une autre route). Son définition est un peu imprécise car elle ne mentionne aucune notion de dimension, de forme ou de nature d'un ouvrage.

2. ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN PONT

Le pont est constitué essentiellement de 2 parties principales [1] :

- **Le tablier** : C'est la partie horizontale du pont qui supporte directement les charges roulantes.
- **Les appuis** : Ils transmettent les charges du tablier vers les fondations. On distingue les appuis intermédiaires qui sont les piles et les appuis de rive qui sont les culées.

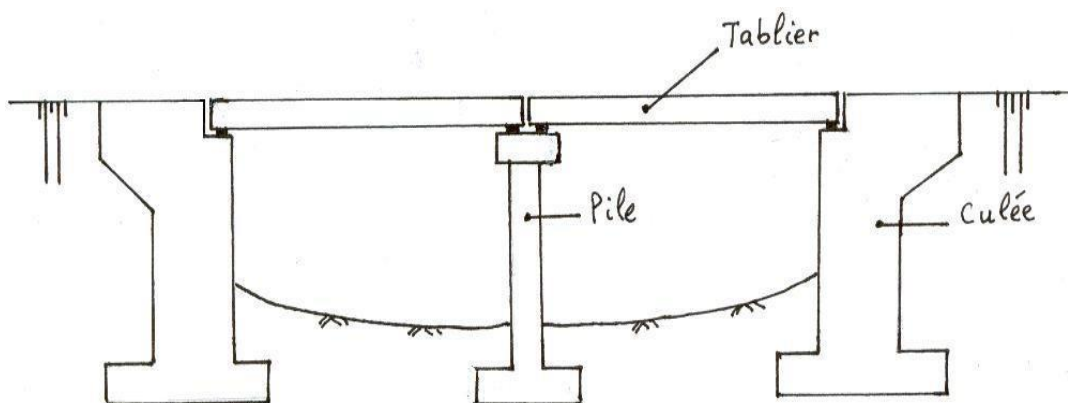


Fig (1.1) : Schéma général d'un pont.

3. QUELQUES NOTIONS GEOMETRIQUES

La travée est la partie du pont qui se trouve entre 2 appuis consécutifs. Dans l'exemple de la figure (1.1), le pont est constitué de 2 travées.

Les caractéristiques géométriques d'une travée sont [1] :

- **La portée** : C'est la distance entraxe de 2 appuis consécutifs.
- **L'ouverture** : C'est la distance entre nus de 2 appuis consécutifs.

- **La longueur** : La travée débord toujours par rapport à ses 2 appuis, donc sa longueur dépasse sa portée.
- **La hauteur libre** : Appelée aussi le tirant d'air, c'est la hauteur du vide entre la face inférieure du tablier et l'obstacle franchi.

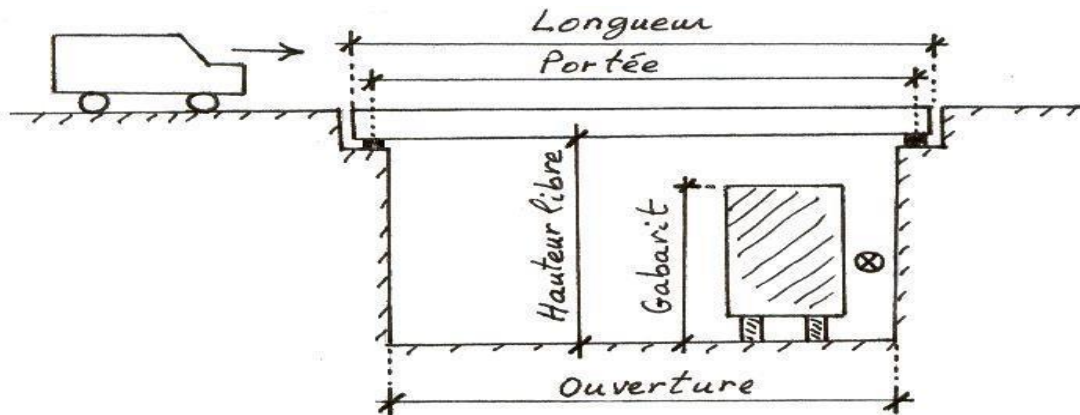


Fig (1.2) : Données géométriques d'un pont à une seule travée.

3.1 CLASSIFICATION DES PONTS

3.1.1 Selon la nature de la voie portée

- **Pont routier** : Il porte une ou plusieurs voies routières.
- **Pont-rail** : Il porte une ou plusieurs voies ferrées ou de tramway.
- **Pont mixte** : Il porte à la fois des voies routières et des voies ferrées.
- **Pont canal** : Il porte un canal d'eau à ciel ouvert, il peut aussi porter des conduites d'eau de gaz ou de pétrole etc.
- **Passerelle** : C'est un pont destiné à la circulation des piétons.
- **Pont spécial** : Il sert à porter des avions.

3.1.2 Selon les matériaux de construction

Les éléments porteurs du pont sont construits par divers types de matériaux. On distingue :

- **Pont en bois** : Il sert généralement de passerelle pour piétons.
- **Pont en maçonnerie** : Il est construit en pierres taillées ou en briques en béton non armé. Ce type d'ouvrages résiste très bien à la compression mais se comporte mal à la traction. C'est pour cette raison qu'il est réalisé en voûtes (arcs) pour pouvoir reprendre les charges sous forme d'efforts

de compression (fig (1.3)).

- **Pont en béton armé** : Le matériau est constitué de béton pour résister à la compression et d'acier pour résister à la traction.
- **Pont en béton précontraint** : Le matériau est constitué de béton pour résister à la compression, d'aciers passifs comme celles du béton armé, et de câbles précontraints pour comprimer le béton et l'alléger de sa traction (fig (1.4)).
- **Pont métallique** : Le tablier est construit en charpente métallique. Parfois même les piles sont en acier avec fondation en béton armé.
- **Pont mixte** : Les poutres sont métalliques tandis que l'hourdis (la dalle) est en béton armé (fig (1.5)).

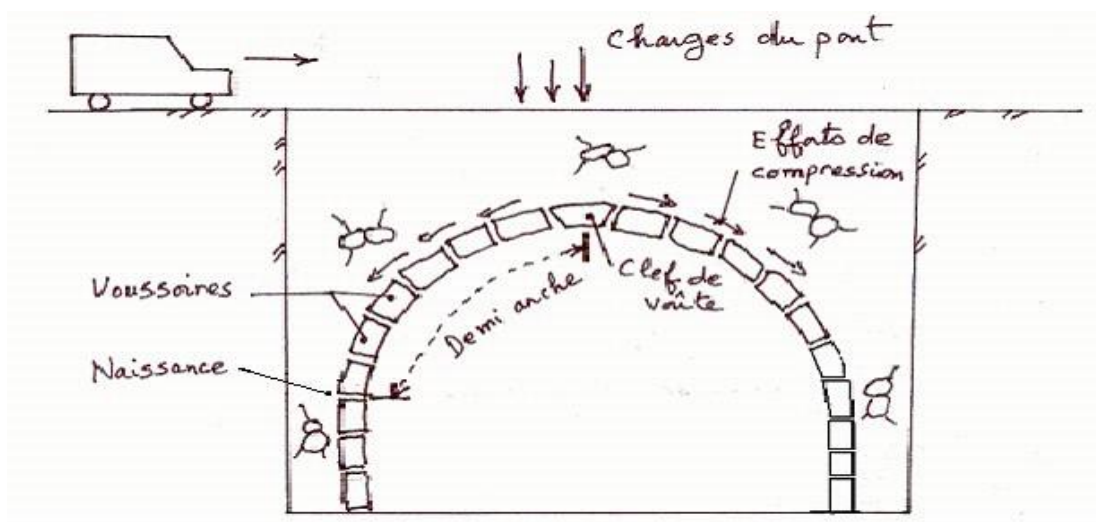


Fig (1.3) : Pont en maçonnerie construit en voûte.

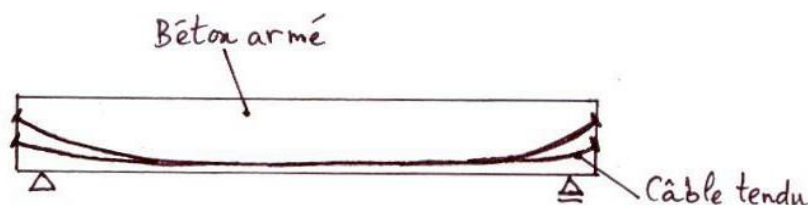


Fig (1.4) : Poutre d'un pont en béton précontraint.

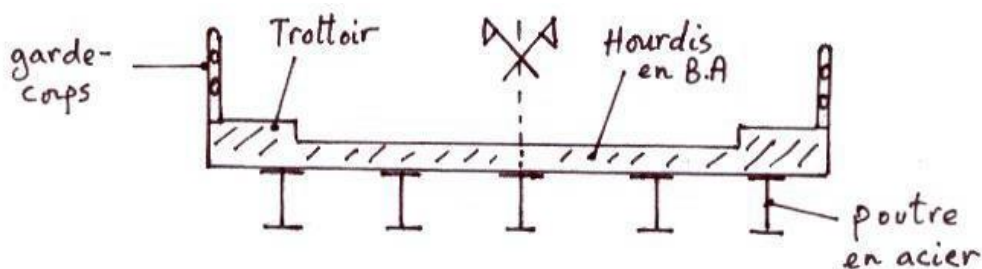


Fig (1.5) : Coupe transversale du tablier d'un pont mixte (acier-béton).

3.1.3 Selon la mobilité du pont

- **Pont fixe** : Il n'exerce aucun mouvement comme c'est le cas de la majorité des ponts.
- **Pont mobile** : Une partie du pont peut se mouvoir pour assurer une surface d'encombrement suffisante pour permettre la circulation des engins hors gabarit. Parmi les ponts mobiles, on peut citer les types suivants :
- **Pont tournant** : Le tablier peut tourner autour de l'axe vertical de la culée ou la pile (fig (1.6)).
- **Pont levant** : Le tablier est soulevé par des câbles vers les sommets de deux pylônes. L'équilibre est assuré par 2 contre poids (fig (1.7)).
- **Pont basculant** : Le tablier peut pivoter autour d'un axe horizontal (fig (1.8)).
- **Pont flottant** : Il est constitué de massifs flottants liés entre eux par des câbles (amarrage). Généralement, il s'agit des ponts provisoires tels que les ponts militaires (fig (1.9)).

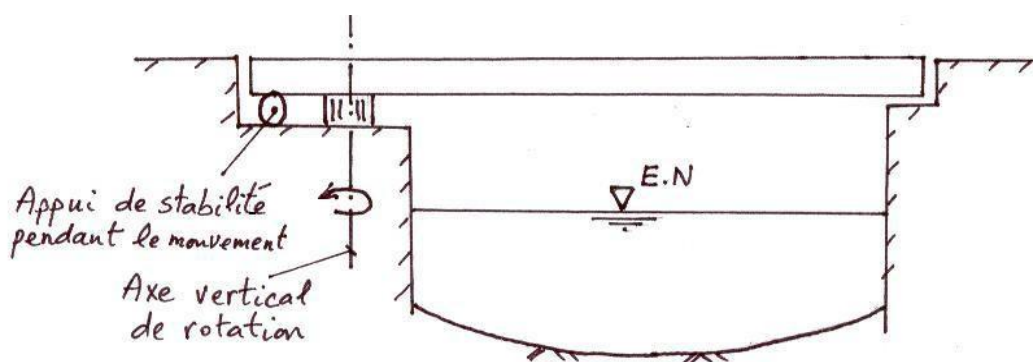


Fig (1.6) : Schéma d'un pont tournant.

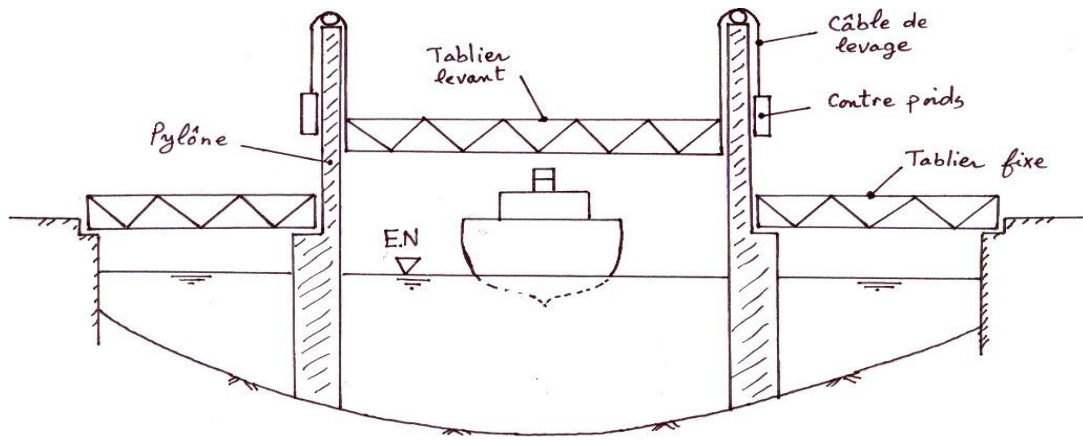


Fig (1.7) : Schéma d'un pont levant.

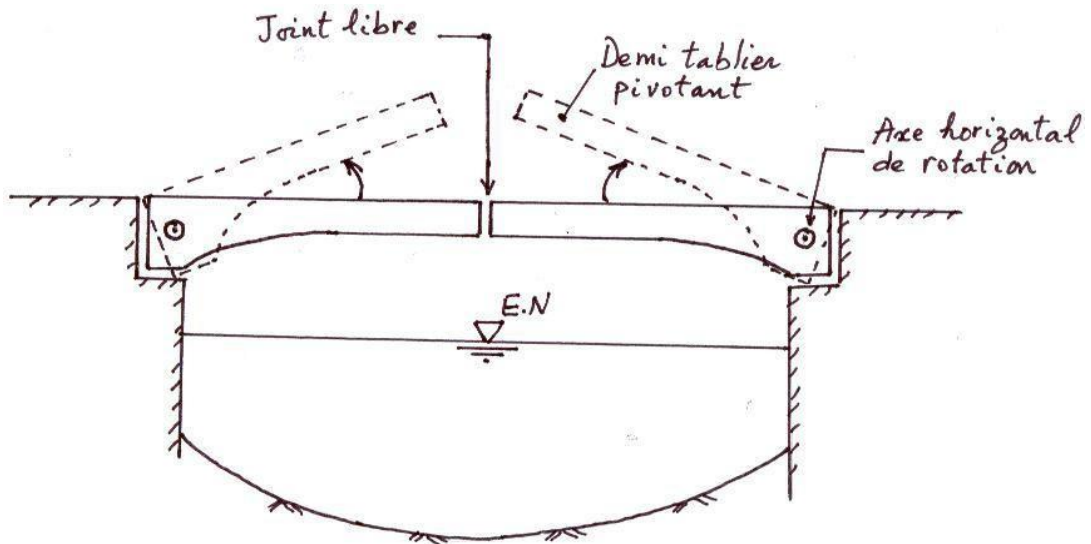


Fig (1.8) : Schéma d'un pont basculant.

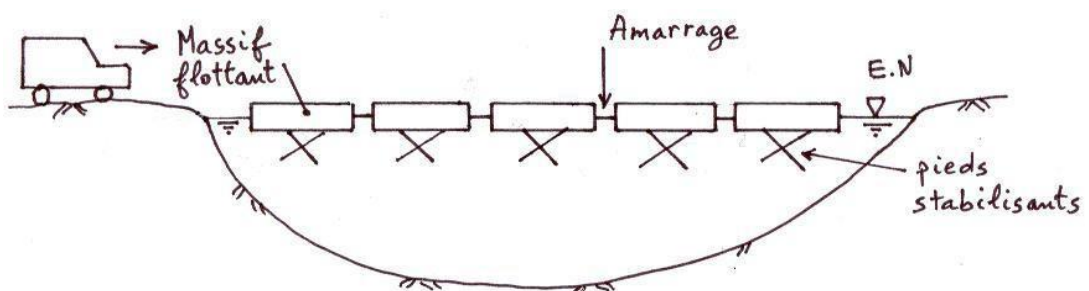


Fig (1.9) : Schéma d'un pont flottant.

3.1.4 Selon la vue en plan

- **Pont droit** : Lorsque l'axe longitudinal du pont fait un angle droit avec les lignes d'appui transversales, le pont est droit géométriquement. Dans le cas où l'axe longitudinal du pont fait un angle droit avec l'axe de la voie franchie, on dit que l'angle de franchissement est droit (fig (1.10)).
- **Pont biais** : Lorsque l'axe longitudinal du pont fait un angle biais avec les lignes d'appui transversales, il s'agit d'un biais géométrique. S'il existe un angle biais entre les axes longitudinaux du pont et de la voie franchie, on parle d'un biais de franchissement est droit (fig (1.11)). L'unité de mesure de l'angle est le grade, et ce pour augmenter la précision.
- **Pont courbe** : L'axe en plan de l'ouvrage est soit un arc circulaire soit une partie d'un raccordement progressif (fig (1.12)).

Dans les ponts courbes et biais l'effet de torsion est considérable. Leur étude et réalisation sont plus difficiles que le pont droit.

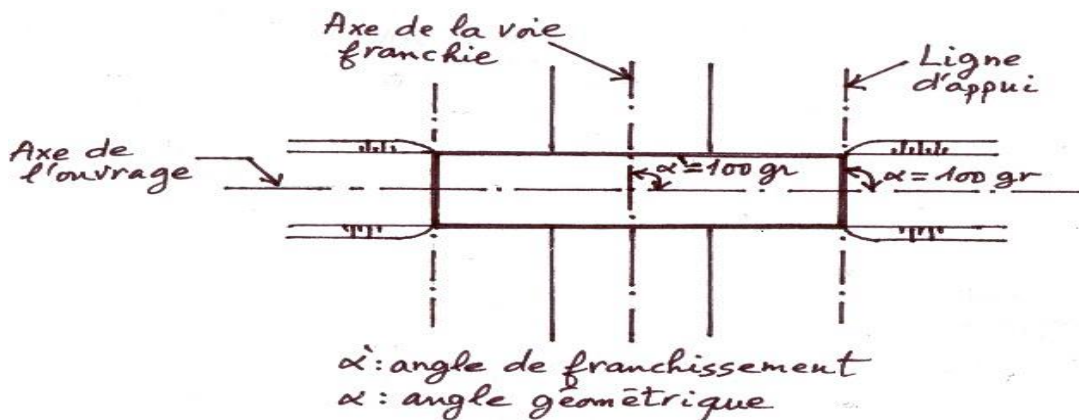


Fig (1.10) : Vue en plan d'un pont droit en géométrie et en franchissement.

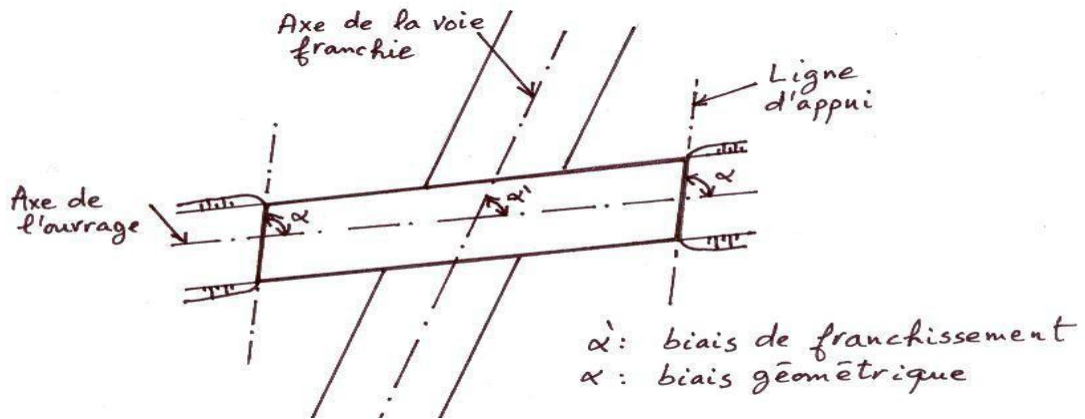


Fig (1.11) : Le biais géométrique et le biais de franchissement.

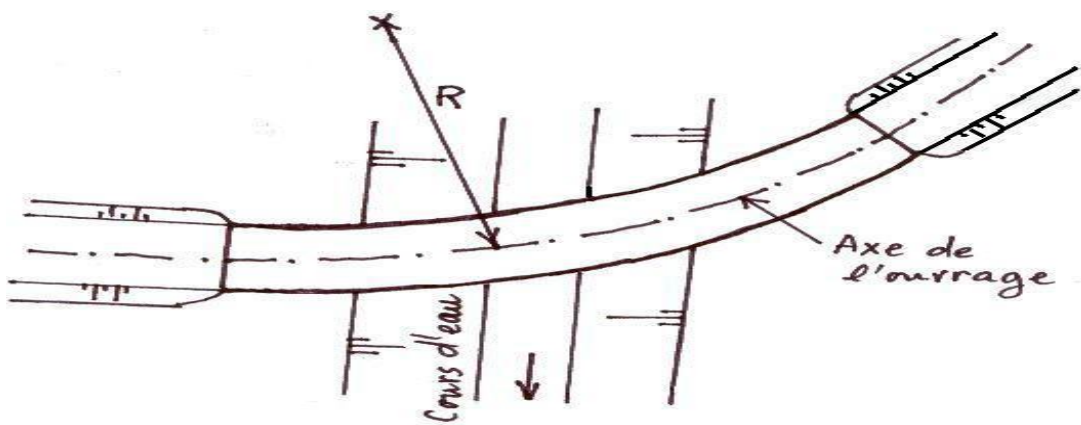


Fig (1.12) : Vue en plan d'un pont en courbe circulaire.

3.1.5 Selon la position du tablier

- **Pont à tablier supérieur** : Le tablier se situe au-dessus des éléments porteurs (fig (1.13)).
- **Pont à tablier inférieur** : Le tablier se trouve dans la partie inférieure des éléments porteurs (fig (1.14)).
- **Pont à tablier intermédiaire** : (supérieur et inférieur) (fig (1.15)).
- **Pont à double tablier** : Le 1er tablier est l'extrados du pont tandis que le 2^{ème} est un tablier intermédiaire (fig (1.16)). D'après cette figure, on peut définir :
 - **Intrados** : C'est la ligne qui définit le contour inférieur du pont.
 - **Extrados** : C'est la ligne qui définit le contour supérieur du pont.

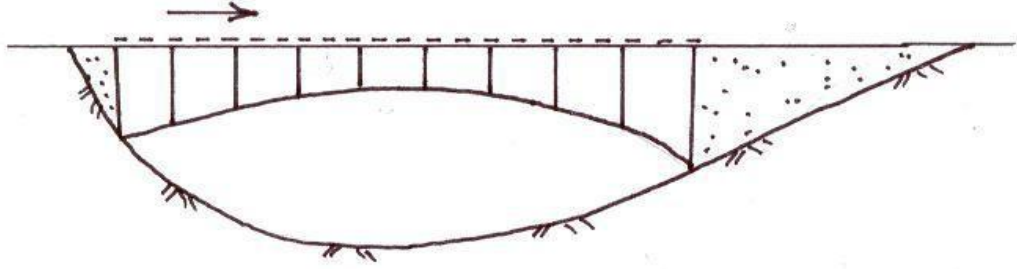


Fig (1.13) : Pont à tablier supérieur.

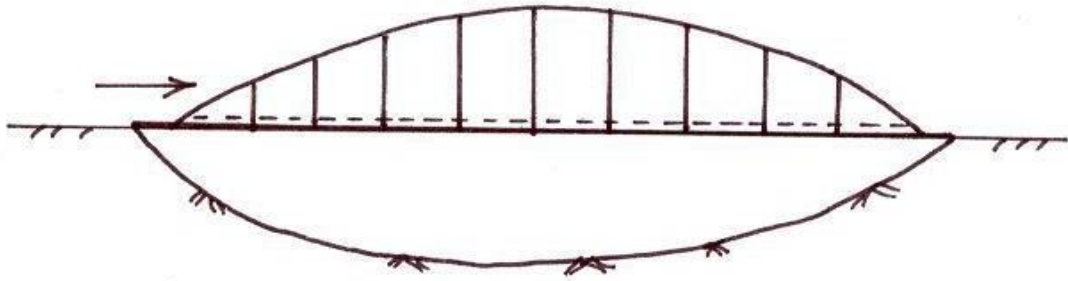


Fig (1.14) : Pont à tablier inférieur.

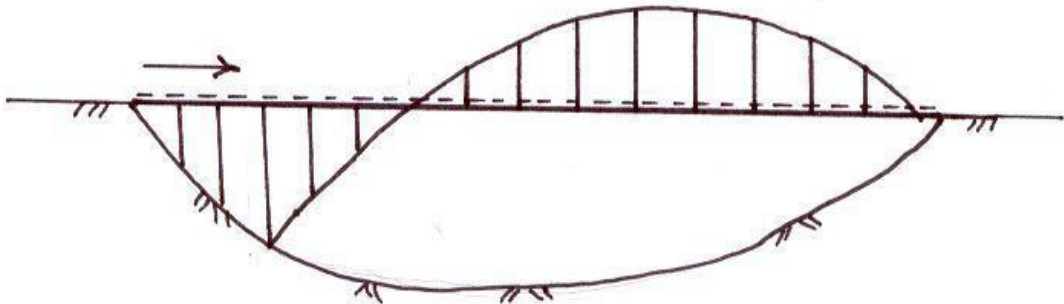


Fig (1.15) : Pont à tablier intermédiaire.

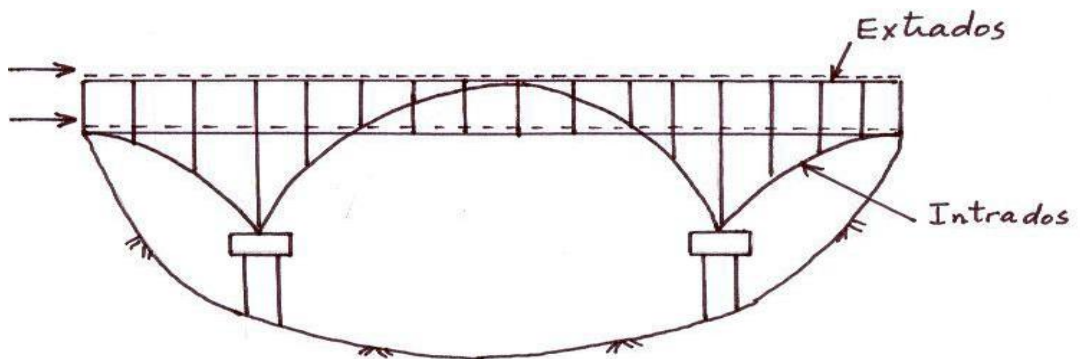


Fig (1.16) : Pont à double tablier.

3.1.6 Selon la constitution du tablier

La structure du tablier diffère d'un pont à l'autre. Il existe 5 catégories :

3.1.6.1 Pont à poutres multiples : Les éléments porteurs principaux sont les poutres, elles transmettent les charges du tablier vers les appareils d'appuis (fig (1.17)).

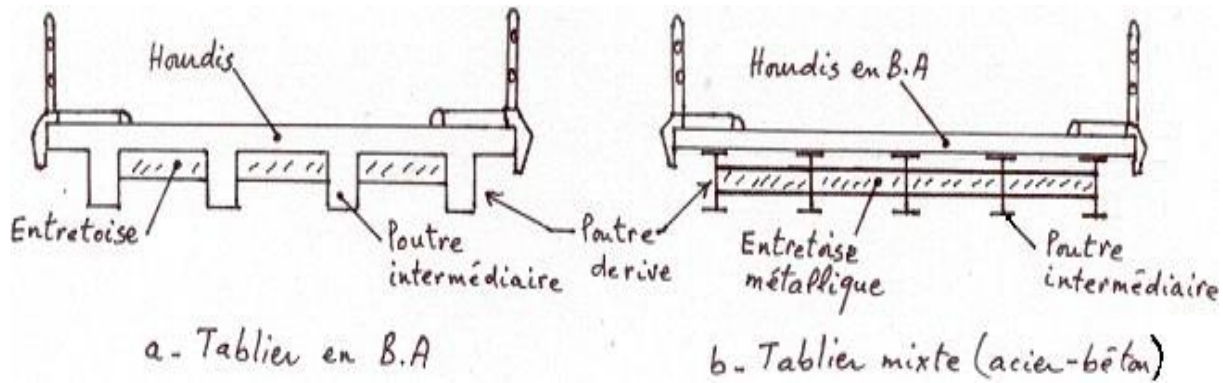
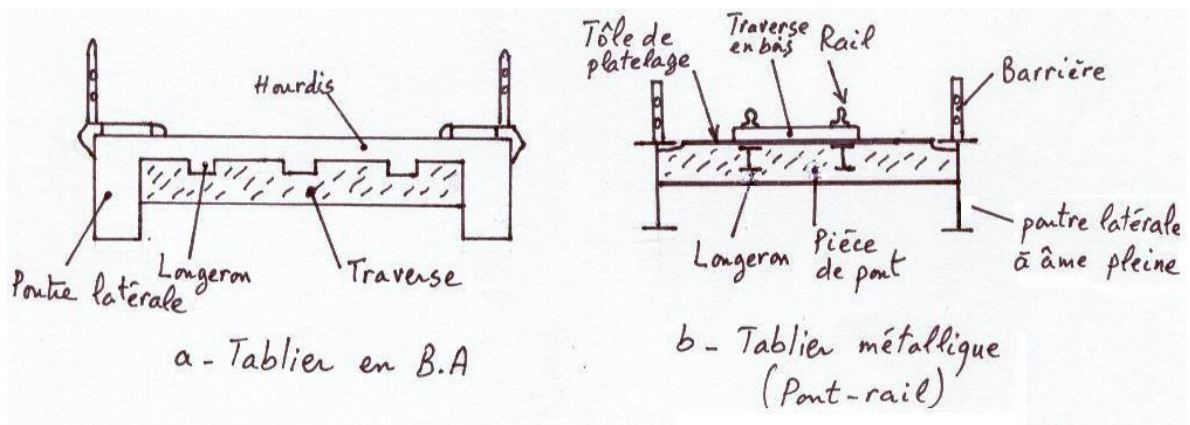


Fig (1.17) : Pont à poutres multiples sous hourdis.

3.1.6.2 Pont à poutres latérales : Les charges sont transmises acheminées vers les appareils d'appuis selon l'ordre : hourdis vers longerons, vers les traverses s'il s'agit d'un pont en béton armé ou vers les pièces de pont si l'ouvrage est métallique, vers les poutres latérales, et enfin vers les appareils d'appuis. (fig (1.18)).



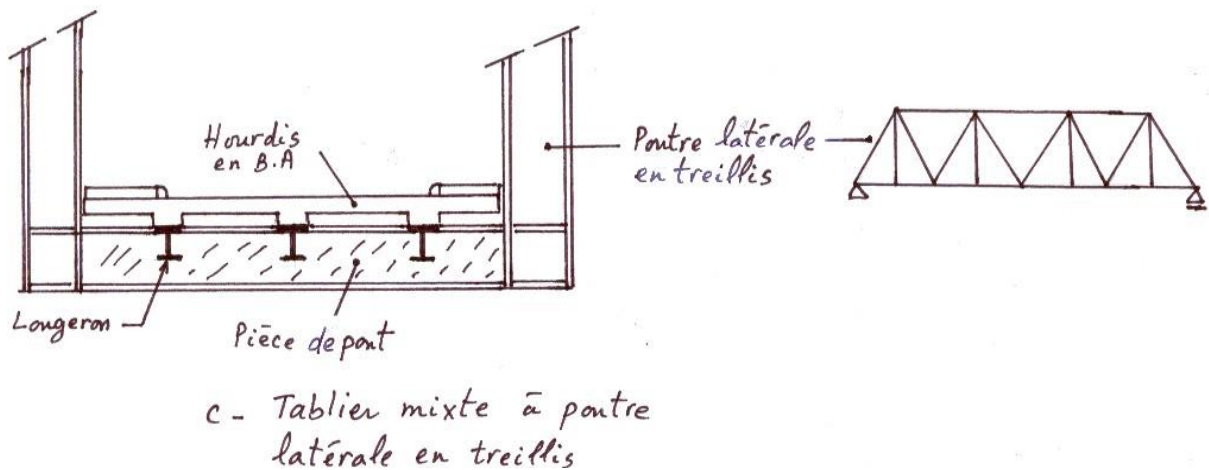


Fig (1.18) : Pont à poutres latérales.

3.1.6.3 Pont à poutres en caisson : Le tablier est assimilé à une ou plusieurs poutres construites en béton précontraint ou en béton armé, évidées à l'intérieur et possédant des dimensions importantes. De ce fait, leurs rigidités vis-à-vis la flexion et la torsion sont considérables (fig (1.19)).

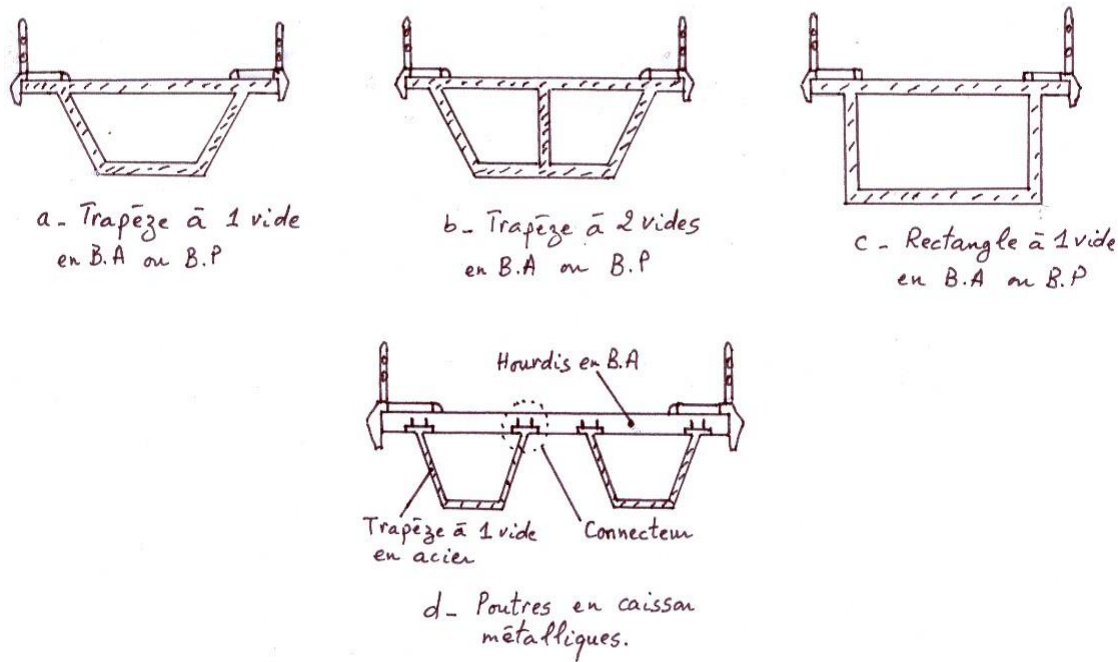


Fig (1.19) : Pont à poutres en caisson.

3.1.6.4 Pont à poutres plissées : Similairement aux en caissons, les poutres plissées sont d'une grande rigidité. Elles ont la forme d'un triangle dont le côté supérieur est l'hourdis, les deux autres côtés sont munies de plaques métalliques ondulées et très rigides qui se rencontrent au sommet inférieur du triangle qui est in tube métallique de liaisons des deux ailes (fig (1.20)).

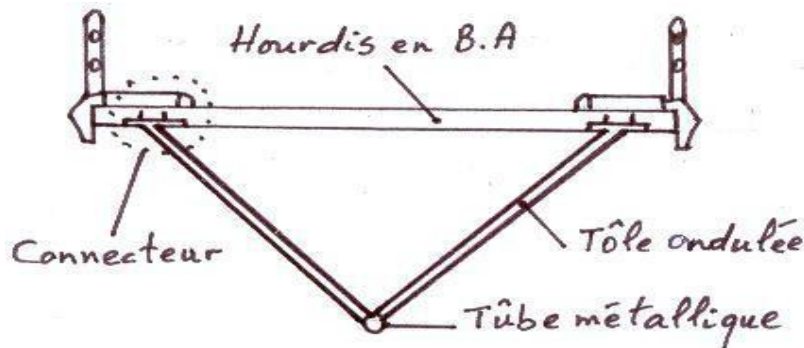


Fig (1.20) : Pont à poutres plissées.

3.1.6.5 Pont dalles : Les charges sont transmises directement de la dalle vers les appareils d'appuis. Cette fois ci l'hourdis possède une épaisseur importante, il est appelé dalle (fig (1.21)).

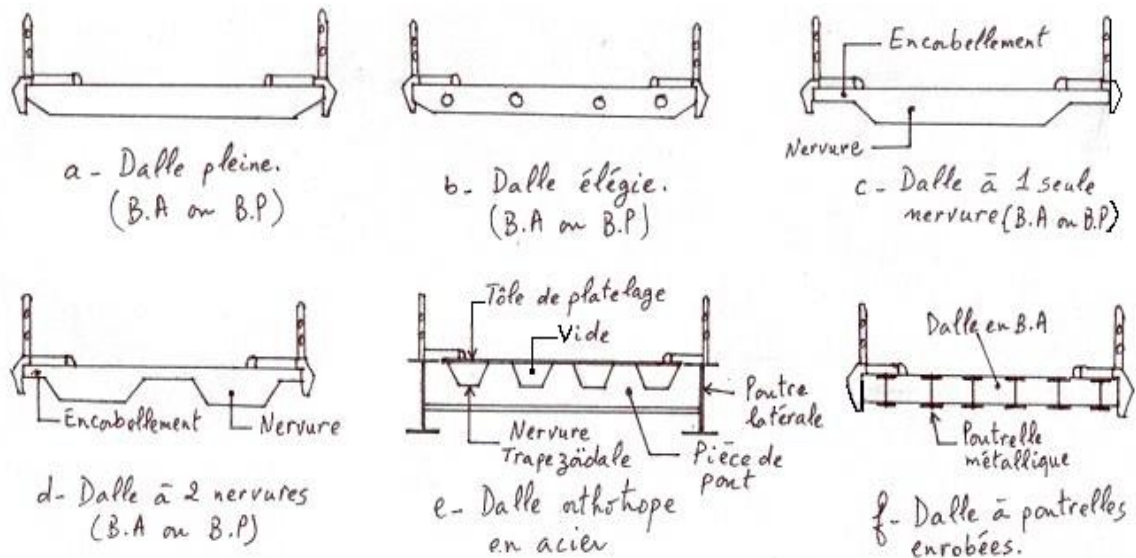


Fig (1.21) : Pont dalle.

4. DOMAINE D'EMPLOI DES PONTS SELON LEURS PORTEES

Quand on parle de la portée d'un ouvrage, il s'agit de décrire la longueur entre axes de sa plus grande travée, cette longueur est appelé portée déterminante [1].

4.1 Ponts en maçonnerie

4.1.1 Ponceaux en voûte : 1 m à 5 m²

4.1.2 Ponts construits en arches de maçonnerie :

(Domaine courant) : 5 m à 45 m²

(Domaine exceptionnel) : 45 m à 96.5 m²

4.2 Ponts en béton armé ou béton précontraint

4.2.1 Dalot en B.A : 1 m à 3.50 m²

4.2.2 Buses en B.A : 0.80 m à 2.50 m²

4.2.3 Buses matière : 5 m à 9 m²

4.2.4 Procédé matière : 7 m à 15 m²

4.2.5 PICF (Passage inférieur en cadre fermé) : 1 m à 12 m²

4.2.6 PIPO (Passage inférieur en portique ouvert) : 10 m à 18 m²

4.2.7 PSI-DA (Passage supérieur ou inférieur en dalle armée) :

(Section rectangulaire) : 7 m à 15 m²

(Section à encorbellements latéraux) : 15 m à 20 m²

4.2.8 PSI-DP (Passage supérieur ou inférieur en dalle précontrainte) :

(Section rectangulaire) : 15 m à 23 m²

(Section à encorbellements latéraux) : 23 m à 30 m²

4.2.9 PSI-DE (Passage supérieur ou inférieur en dalle élégie) :

(Tablier de hauteur constante) : 15 m à 25 m²

(Tablier de hauteur variable) : 25 m à 35 m²

4.2.10 PSI-DN (Passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée) : 20 m à 50 m²

4.2.11 PSI-BA (Passage supérieur ou inférieur à poutres en béton armé) :

(Domaine courant) : 15 m à 25 m²

(Domaine exceptionnel) : 25m à 28 m²

4.2.12 PRAD (Pont à poutrelles précontraintes par fil adhérent) : 15 m à 30 m²

4.2.13 VIPP (Viaduc à poutres précontraintes par post tension) : 25 m à 52 m²

4.2.14 Cintre auto-lanceur : 30 m à 80 m²

4.2.15 Pont poussé (unilatéralement) : 34 m à 65 m²

4.2.16 Pont poussé (bilatéralement) : 36 m à 65 m²

4.2.17 Pont construit en encorbellement : 49 m à 200 m²

4.3 Ponts métalliques

4.3.1 Buses métalliques : 1 m à 31 m²

4.3.2 Pont à poutrelles enrobées :

(Travées indépendantes) : 10 m à 26 m²

(Travées continues) : 10 m à 30 m²

4.3.3 Pont à tablier mixte :

(Travées indépendantes) : 26 m à 90 m²

(Travées continues) : 30 m à 140 m²

4.3.4 Pont à tablier en dalles orthotrope :

(Travées indépendantes) : 60 m à 180 m²

(Travées continues) : 90 m à 220 m²

4.4 Ponts à câbles

4.4.1 Pont à haubans : 150 m à 890 m² (rivière de Tarara, Japon)

4.4.2 Pont suspendu : 150 m à 1990 m² (Akachi Kaiko, Japon).

CHAPITRE 02 : CONCEPTION DES PONTS

1. INTRODUCTION

Le plus souvent dans la littérature, la conception d'un pont est basée sur une approche itérative dans le but d'optimiser la technique et l'économie de l'ouvrage franchissant en tenant compte des contraintes naturelles et fonctionnelles imposées, tout en intégrant des normes de durabilité et de qualité architecturale ou paysagère..

2. LES ETAPES D'ELABORATION D'UN PROJET

Comme tout ouvrage de Génie Civil, l'élaboration d'un projet de pont s'effectue par étapes. Il faut rappeler que dans le cadre de l'élaboration de projet, les ponts sont classés en ouvrage courants et ouvrages non courants [2] :

2.1 Les ouvrages courants qui se subdivisent en 2 sous classes :

- **Les ouvrages courants conformes à un modèle type** : les ponts types du SETRA sont des ouvrages à dossier pilote disponible en fichier électronique qu'il suffit d'utiliser ce sont : **PSI-BA, PSI-DA, PSI-DP, PSI-DE, PSI-DN, PRAD, VIPP, PIPO, PICF.**
- **Les ouvrages courants non conformes** à un modèle type : les ponts types sont ceux qui présentent des difficultés particulières de conception ou d'exécution : terrain, modifications de solution types, structures peu classiques, techniques innovantes etc...
- **Les ouvrages non courants** : Ce sont :
 - Les ponts ayant une travée de plus de 40 m de portée.
 - Les ponts dont la surface dépasse 1200 m².
 - Les ponts mobiles et les ponts canaux.

L'étude d'une opération routière s'effectue selon 2 étapes principales correspondant à des dossiers techniques :

2.1.1 L'avant-projet

Qui permet de fixer les caractéristiques techniques, l'estimation de l'opération, d'engager la procédure de Déclaration d'Utilité Publique (DUP). L'Avant-projet correspond pour les ouvrages d'art à l'étude préliminaire dont la consistance diffère selon le type de projet [2] :

- **Dans le cas des ouvrages courants conformes à un modèle type :**
 - ✓ Le tableau récapitulatif des ouvrages courants (numérotés) et de la nature des obstacles franchis avec, pour chacun d'eux.
 - ✓ Les caractéristiques du fonctionnelles du franchissement (PI ou PS), largeur des trottoirs ou BAU, biais, ouverture biaise, hauteur libre minimale sous ouvrage.
 - ✓ Le type envisage et l'estimation.
 - ✓ Le mémoire.
 - ✓ Le cas échéant, en cas de recherche architecturale poussée, les documents graphiques.
- **Dans le cas des ouvrages courants non conformes à un modèle type :**
 - ✓ En général, la consistance est analogue au cas précédent mais le mémoire est plus étoffé.
- **Dans le cas des ouvrages non courants**
 - ✓ Mémoire étoffé.
 - ✓ coupe longitudinale et coupe transversale de chaque ouvrage envisagé avec indication du profil en long des hauteurs libres et des éléments relatifs au sol.
 - ✓ Le cas échéant photographies du site et photomontages.
 - ✓ Estimation sommairement décomposée de la ou des solutions retenues pour faire l'objet d'un APOA (Avant-projet d'ouvrage d'Art).
 - ✓

2.1.2 Le projet de définition

Il fournit tous les éléments nécessaires à l'établissement des données du dossier de consultation des entreprises (DCE). C'est l'étape qui suit l'avant – projet pour les ouvrages d'art Courants conformes à un modèle type et certains ouvrages courants non conformes à un modèle type. Cette étape basée sur des études élaborées, aboutit à la définition complète des ponts projetés et à leur estimation fine. Pour chaque ouvrage courant le projet de définition comporte [2] :

- Plan de situation,
- Vue en plan définissant l'implantation à l'échelle 1/100 à 1/500,
- Elévation (échelle 1/100 à 1/500),
- Coupe longitudinale sur l'axe de la chaussée avec report du TN et sondages (échelle 1/100 à 1/500),
- Coupe transversale (échelle 1/20 ou 1/50),
- Dessins de détails (échelle 1/20 ou 1/50),
- Estimation,
- Note justifiant les dispositions adoptées, notamment au niveau des fondations, note à laquelle sont annexés les rapports de laboratoire et coupes de sondages.

Le Projet de définition sert de base à l'élaboration du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE).

2.1.3 L'avant-projet d'ouvrage d'art non courant (APOA) qui précède le projet de définition

Pour chaque ouvrage non courant et pour les ouvrages courants non conformes à un modèle type spécifié dans la DM (Décision Ministérielle) relative à l'Avant-projet, l'APOA est établi sur la base des conclusions de l'étude préliminaire. Une ou plusieurs (souvent 2) solutions sont choisies et sont étudiées en détail de façon à [2] :

- Aboutir à une estimation précise des dépenses,

- Fixer définitivement les caractéristiques fonctionnelles et géométriques du franchissement.

L'APOA a la consistance ci-après :

- Rapport de synthèse,
- Plan de situation,
- Vue en plan et définition de l'implantation de l'ouvrage au 1/200 ou au 1/500,
- Profil en long : échelle longueurs = échelle élévation et échelle hauteurs = quintuple ou décuple échelle longueurs,
- Coupe longitudinale dans l'axe de la chaussée au 1/200 ou au 1/500,
- Coupe(s) transversale (s) au 1/20 ou 1/50,
- Note sur les conclusions des études géologiques et géotechniques,
- Etude paysagère et architecturales accompagnée de documents graphiques et photographiques,
- Mémoire justificatif,
- Estimation.

La consistance de l'APOA peut être beaucoup plus étoffée pour certains ouvrages d'importance exceptionnelle. L'étape d'APOA est destinée à figer toutes les caractéristiques de l'ouvrage.

2.1.4 Le dossier de consultation des entreprises (DCE)

Etabli sur la base des éléments du Projet de Définitions. En général les marchés de travaux relatifs à la construction de ponts sont attribués sur Appel d'Offres selon les 3 types ci-après [2] :

- ✓ Appel d'Offres sur projet de base sans variante,
- ✓ Appel d'Offres sur projet de base avec variante,
- ✓ Appel d'Offres sur concours.

2.2 Le Projet d'exécution

Il est établi par l'entreprise déclarée adjudicataire pour tous les types d'ouvrage entreprise qui procède au calcul et à la justification de toutes les parties de la structure en tenant compte de ses méthodes, de son matériel et de la cinématique de construction prévue. Le projet d'exécution est soumis au visa du maitre d'œuvre qui est chargé de sa vérification [2].

3. LES DONNEES D'ETUDES DE PROJET

La conception d'un pont doit satisfaire à des exigences ou données fonctionnelles, naturelles et autres [2, 3].

3.1 Les données fonctionnelles

3.1.1 Données relatives à la voie portée :

- ✓ Le tracé en plan,
- ✓ Le profil en long,
- ✓ Le profil en travers

Ces caractéristiques doivent respecter les textes normatifs (ici normes géométriques des routes).

3.1.2 Données relatives à l'obstacle franchi

Lorsque l'ouvrage franchit une voie de communication (route, voie ferrée, voie navigable), il est nécessaire de respecter les caractéristiques fonctionnelles relatives à cette voie, c'est-à-dire les hauteurs libres et les ouvertures (gabarit).

- Hauteur libre ou tirant d'air est fonction des gabarits de circulation ou de navigation à respecter pour la voie franchie : 3 cas peuvent se présenter :
 - ✓ voie franchie = route
 - ✓ voie franchie = voie ferrée
 - ✓ voie franchie = voie navigable
- Ouverture comptée entre nus intérieurs des appuis de l'ouvrage qui encadre le profil en travers.

3.2 Les données naturelles

3.2.1 Les données géotechniques

Elles sont fondamentales pour l'étude des ouvrages, elles sont obtenues par une reconnaissance qui doit donner les informations les plus complètes possibles sur le terrain naturel.

3.2.2 Les données hydrauliques

Dans le cas d'un franchissement d'un cours d'eau, il est nécessaire de connaître les renseignements ci-après : topographie du lit, les niveaux d'eau (PHEC, PHEN, PBE etc...), le phénomène d'affouillement etc..

3.2.3 Les données climatiques

Le vent, la température, la neige et certaines conditions climatiques locales (embruns marins par exemple).

3.2.4 Les données sismologiques

Ici, il est nécessaire de se connaître le degré de séismicité de la région d'étude, afin de le prendre en considération dans le calcul des éléments porteur de l'ouvrage.

3.3 Les données d'intégration au site

Ces données sont très importantes dans la conception des ponts car elles nous aident sur l'implantation de l'ouvrage correctement en l'intégrant dans l'historique du site de la région d'étude.

3.3.1 Considérations d'ordre esthétique

D'impact visuel du pont, surtout en site urbain, mais aussi en rase campagne, un ouvrage architecturalement réussi peut contribuer à un épanouissement touristique de la zone. Pour que la dénomination « ouvrage d'art » conserve son sens, il importe de soigner l'aspect de la construction. Il est vrai que le calcul d'un pont est capital, mais c'est son apparence qui est perçu par les usagers et qui constitue pour eux le critère de base d'évaluation de sa qualité. C'est pourquoi il est nécessaire, s'il le faut, de requérir l'intervention d'un architecte dès le stade des études préliminaires.

3.3.2 Considération des problèmes d'environnement

Qu'il faut séparer en nuisances en cours d'exécution et en nuisances apportées par l'ouvrage en service. Les études d'impact sur l'environnement (EIE) obligatoires pour tout projet d'envergure, prennent correctement en compte ces questions.

4. CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE

4.1 Analyse des données

Les données ci avant réunies doivent être analysées pour aboutir à l'ouvrage projeté [2].

4.1.1 Les données fonctionnelles

- ✓ Mise au point du profil en long,
- ✓ Mise au point du tracé en plan adaptation du biais ou de la courbure,
- ✓ Mise au point du profil en travers

4.1.2 Les données naturelles

Analyse des caractéristiques géotechniques et hydrauliques

- ✓ Qualité des sols choix ➡ du mode de fondation (superficielles, semi-profondes, profonds),
- ✓ Les contraintes hydrauliques liées à l'écoulement des eaux conduit à prendre en compte.
 - ✚ Les niveaux des crues : PHE ou PHEC, PBE, PHEN,
 - ✚ Les débouchés hydrauliques permettant le passage de la crue de référence et les objets flottants : fixation de la côte minimale de l'intrados.
 - ✚ Risques d'affouillement : forme des piles

4.2 Définition de la brèche

Délimitation de la brèche à franchir après étude des obstacles issus de contraintes qui peuvent être naturelles (cours d'eau, thalweg), fonctionnelles (voie de

communication), d'environnement (emprise hydraulique), architecturale ou d'exploitation [2].

4.3 Etude des possibilités d'implantations des appuis

- Analyse des contraintes du projet et définition de la brèche à franchir : position des appuis extrêmes,
- Recherche des zones possibles d'implantation des appuis intermédiaires,
- définition des portées du pont et apparition des choix de structures envisageables.

En général, on opte pour une répartition symétrique des travées par rapport au milieu du pont [2].

4.4 Choix de la structure

- Le critère principal de choix est la portée déterminante ou principale (plus grande distance entre 2 appuis successifs),
- Autres paramètres : possibilités de construction du pont, caractéristiques géométriques en plan, largeur du tablier, hauteur disponible, nature terrain de fondation, résistance de la structure aux chocs (véhicules, navires etc...).

Tous ces éléments conduisent à définir [2] :

- ✓ Le nombre de travées et leurs longueurs,
- ✓ Le balancement des travées,
- ✓ Le type de structure (longitudinalement et transversalement) en se basant sur les domaines d'emploi usuels des ouvrages.



CHAPITRE 03 : DIFFERENTS TYPES D'OUVRAGES

1. INTRODUCTION

Il est difficile de classer les ponts en différentes catégories en raison de divers critères tels que le matériau utilisé pour construire le tablier (généralement en acier et en béton armé ou précontraint), la nature des réactions que le pont produit sur ses appuis, le mode de fonctionnement de la structure en flexion longitudinale, le schéma statique transversal de l'ouvrage et enfin son mode de construction. Traditionnellement, il existe trois grandes familles de ponts qui sont classées en fonction de la nature des réactions qu'ils produisent sur leur support : les ponts en poutre, qui ne produisent que des réactions verticales ou quasi verticales, à l'exception des efforts horizontaux causés par le freinage des convois ou les effets du vent, ils doivent être construits avec des matériaux résistants à la flexion, tels que le bois, le béton armé ou précontraint et l'acier. Les ponts en arc sont des structures funiculaires de compression qui peuvent être construits avec des matériaux qui ne résistent pas à la traction, tels que la pierre ou la fonte. Les ponts suspendus, dans lesquels les grands câbles porteurs exercent des efforts de traction sur leurs culées.

2. LES DIFFERENTS TYPES DE PONTS

On peut classer les différents types de ponts selon le tableau suivant [4] :

PONTS EN ARC	
Pont à voûtes	
<p>Ce sont les premiers ponts durables réalisés. Ils ne travaillent qu'en compression. Le matériau de construction est la pierre. La voûte est constituée de pierres rayonnantes, comprimées sous la charge des véhicules empruntant le pont. Les efforts se répartissent sur les piles et sur les culées à chaque extrémité.</p> <p>Matériaux : La pierre, le ciment, le béton armé.</p> <p>Caractéristiques : Un pont en arc peut être très long car plusieurs arcs peuvent être alignés pour former une ligne continue.</p> <p>Raisons de la construction : Les ponts en arc sont les premiers ponts qui sont apparus, ils furent créés par les Grecs, puis ont évolués grâce aux Romains, notamment par l'apport de nouveaux matériaux comme le ciment.</p>	
Pont à arche	
<p>Dans un pont en arche, la rivière ou la brèche est franchie en une seule fois par une seule arche alors que dans le pont à voûtes, le tablier repose sur des piles intermédiaires.</p> <p>Le pont en arc associe la compression à la flexion.</p> <p>Matériaux : Le métal, le béton armé, le béton précontraint et l'acier.</p>	

Caractéristiques : C'est le pont le plus simple qu'il soit dans le principe et la réalisation. Le tablier est soutenu par une ou plusieurs poutres. Il est très simple et léger, mais il reste tout de même très solide.

Raisons de la construction : On recherchait un type de pont simple à construire, au départ sur une distance de 20 à 100 mètres, et les avancées technologiques ont permis le développement de la distance de ces ponts.

PONTS EN POUTRES

La structure peut être assimilée à une poutre droite. Image de la simplicité, il travaille en flexion.

Matériaux : Le métal, le béton armé, le béton précontraint et l'acier.

Caractéristiques : C'est le pont le plus simple qu'il soit dans le principe et la réalisation. Le tablier est soutenu par une ou plusieurs poutres. Il est très simple et léger, mais il reste tout de même très solide.

Raisons de la construction : On recherchait un type de pont simple à construire, au départ sur une distance de 20 à 100 mètres, et les avancées technologiques ont permis le développement de la distance de ces ponts.



PONTS A CABLES

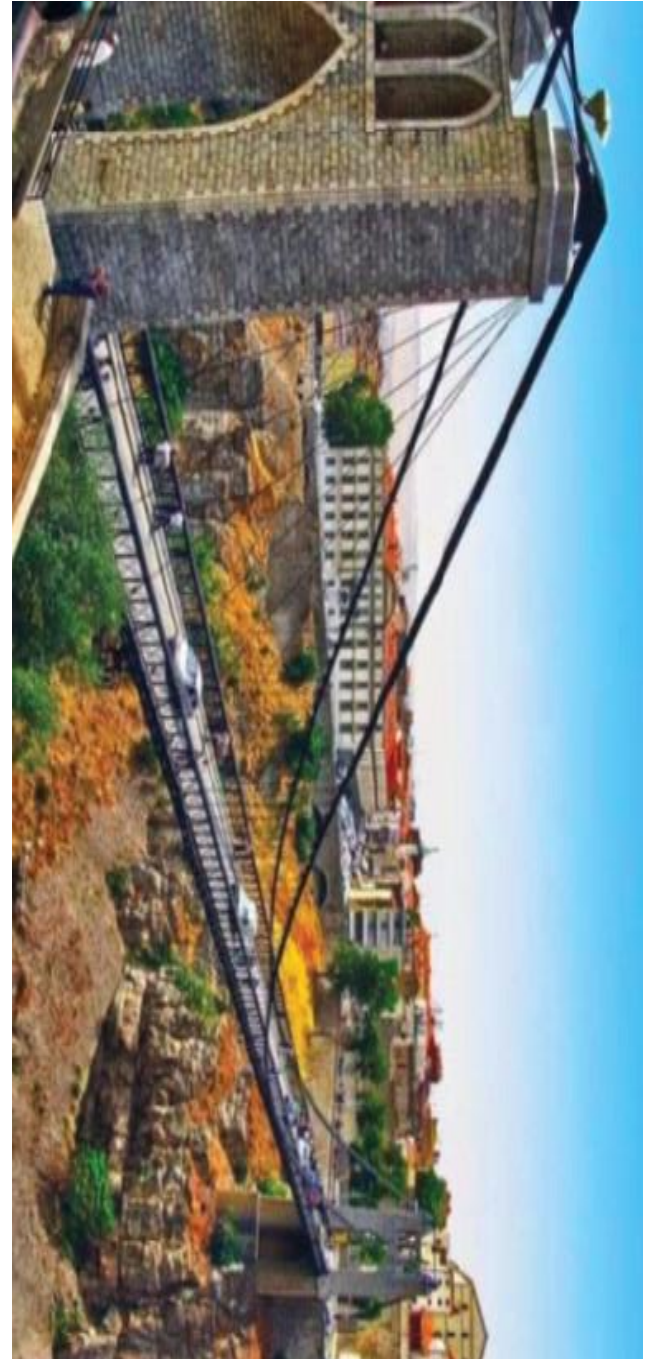
Pont suspendu

Un pont suspendu est un pont dont le tablier est suspendu à des pylônes par un système de câbles. Il est rangé dans la famille des ponts à câbles, combinant la **traction**, la **compression** et la **flexion** dans un fonctionnement plus complexe que les précédentes familles. Les pylônes s'élèvent au-dessus du tablier et supportent un ou deux câbles principaux, appelés câbles porteurs, qui vont d'une culée à l'autre, un de chaque côté du tablier. Ces câbles soutiennent le tablier par l'intermédiaire d'un ensemble de câbles verticaux : les suspentes.

Matériaux : Le béton, le béton armé, le béton précontraint

Caractéristiques : Le principe du pont suspendu est de maintenir le poids du tablier par deux câbles porteurs solidement arrimés aux berges. Il ne peut être construit sur n'importe quel sol, car il nécessite la présence de massifs d'ancrage imposants et lourds

Raisons de la construction: On avait besoin de trouver un type de pont capable de résister à des poids lourds sur plusieurs kilomètres, et les ponts suspendus sont ceux qui correspondent à ce que l'homme recherchait.



Pont à haubans

Un pont à haubans est un type de pont à câbles en acier. Le tablier est maintenu par un réseau de câbles directement tendus entre le sommet (ou une partie proche du sommet) des pylônes et fixés à intervalles réguliers sur le tablier.

Matériaux : Le béton, l'acier, les alliages à base d'aluminium et la fonte.

Caractéristiques : L'intérêt principal des ponts à haubans réside dans le fait qu'ils permettent, du fait de l'absence de piliers régulièrement espacés, le passage de bateaux sous le tablier.

Raisons de la construction: On recherchait un type de pont permettant le passage de bateaux sous le tablier.



CHAPITRE 04 : ACTIONS ET COMBINAISONS D'ACTIONS

1 INTRODUCTION

Un pont doit avoir une marge de sécurité suffisante pour résister non seulement au poids propre, mais aussi aux actions naturelles et fonctionnelles. Le règlement algérien DTR-RCPR 2008 a été élaboré pour définir les contraintes et les tests d'un pont route. En ce qui concerne les ponts ferroviaires, il est nécessaire de se référer à l'eurocode 1. Pour les charges non mentionnées dans les règlements, il appartient au CCTP (cahier des clauses techniques particulières) de définir ces actions.

On peut classer les charges d'un pont selon 3 catégories [5] :

- ✓ **Les charges permanentes** : dues au poids propre de la structure du pont et de ses équipements, le poids et la poussée des terres, la précontrainte, le tassement des appuis, variation linéaire du tablier du au retrait et au fluage du béton, etc.
- ✓ **Les charges dues au trafic** :
 - Variables : camions, trains, piétons, etc.
 - Accidentelles : chocs, franchissement du trottoir par un camion, déraillement d'un train, etc.
- ✓ **Les charges hors trafic** :
 - Variables : effet de la température, de l'eau, du vent, etc.
 - Accidentelles : séisme, incendie, etc.

2 LES CHARGES PERMANENTES

2-1 Poids propre de la structure

- Béton armé : 25 KN/m³,
- Acier : 78.5 KN/m³.

2-2 Poids propre des équipements

- Béton non armé : 22 KN/m³,

- Béton bitumineux : 24 KN/m³,
- Chape d'étanchéité : 23 KN/m³,
- Glissière de sécurité ou du garde-corps : 1 KN/ml,
- Corniche préfabriquée avec le trottoir : 11.25 KN/ml.

Dans certains cas, il convient de calculer le poids propre de certains équipements tels que les trottoirs larges, les canalisations passant sous le tablier, les écrans acoustiques etc [5].

2-3 Actions dues à la précontrainte et aux variations linéaires du tablier (retrait, fluage)

Les actions dues aux variations linéaires engendrées par le retrait, fluage et relaxation des matériaux constitutifs des éléments structurels ainsi que l'action de la précontrainte sont prises en compte comme actions permanentes selon les règlements en vigueur de béton armé et de béton précontraint [5].

2-4 Tassements d'appuis

Les efforts dus au mouvement des appuis, tel que le tassement d'appui sont à prendre en compte dans le calcul en tant qu'actions permanentes. Sauf indication contraire du CCTP, on considère un tassement par rapport au profil théorique de l'ouvrage.

$$\Delta h = 5 \text{ mm} \quad (1)$$

Ce tassement est appliqué sur une seule ligne d'appui à la fois, mais doit être étudié pour tous les appuis successivement, de manière à obtenir les effets les plus défavorables. Le module du béton est le module différé.

2-5 Force de rappel dû au frottement des appareils d'appui

Pour les ouvrages équipés d'appareils d'appuis glissants, la détermination des sollicitations agissant sur les appuis (pile ou culée) doit prendre en compte le coefficient de frottement de ces organes. Ces efforts horizontaux s'écrivent

$$H = \mu . N \quad (2)$$

Avec :

μ : coefficient de frottement, pris en général égal à 5%, sauf indication contraire,

H : effort horizontal,

N : effort vertical (charge permanente).

L'effort horizontal H est appliqué directement en tête de l'appui, cet effort sera utilisé pour l'étude de la pile ou de la culée.

3 CHARGES D'UN PONT ROUTE

3-1 Charges dues aux trafics

3-1.1 Considérations générales

3-1.1.1 Largeur roulable (L_r)

C'est la largeur mesurée entre les dispositifs de sécurité ou les bordures de trottoir se trouvant de part et d'autre de la chaussée. La glissière ou barrière de sécurité sont appelées dispositifs de sécurité. La largeur roulable comprend donc outre la chaussée proprement dite les réservations additionnelles telles que bandes dérasées (BD) ou bandes d'arrêt (BA). Dans le cas d'un éventuel élargissement de la chaussée, celle-ci sera considérée dans son état définitif [4] .

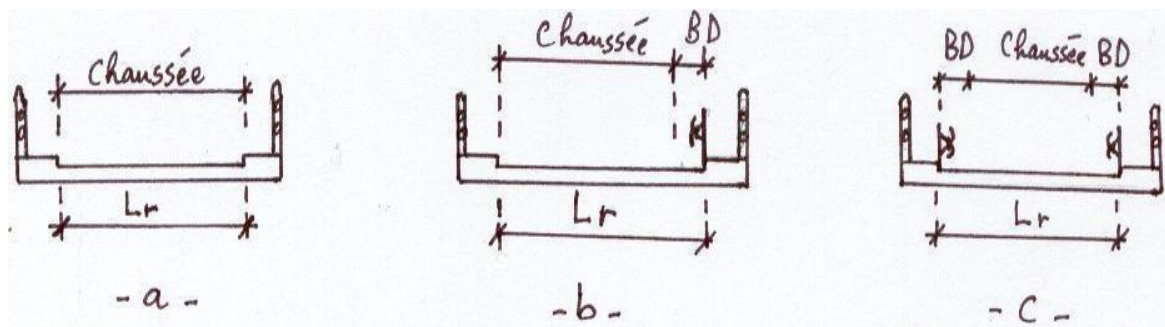


Fig (4.1) : Largeur roulable.

3-1.1.2 Largeur roulable (L_r)

C'est la largeur roulable diminuée de 50 cm de chaque dispositif de sécurité lorsqu'il existe.

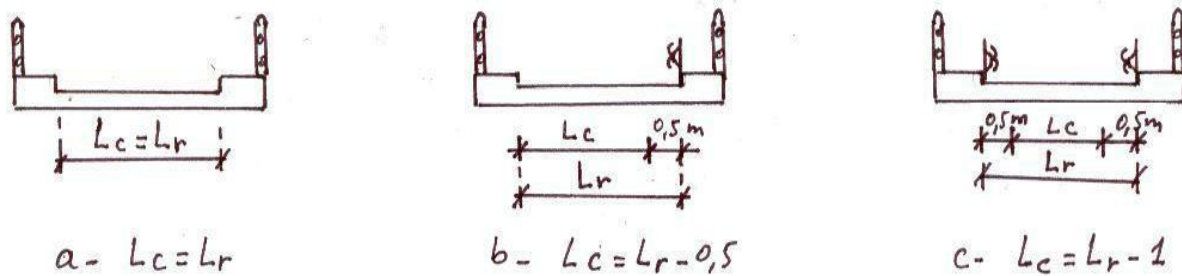


Fig (4.2) : Largeur chargeable.

3-1.1.3 Nombre de voies (n)

C'est la partie entière du quotient par 3m de la largeur chargeable L_c en mètres.

$$N = \text{int} \left(\frac{L_c}{3} \right) \quad (3)$$

3-1.1.4 Largeur d'une voie (v)

C'est la largeur chargeable divisée par le nombre de voies. $v = \frac{L_c}{n}$ (4)

3-1.1.5 Classe d'un pont route

Les ponts routes sont rangés en 3 classes selon la largeur roulable et leur destination.

Classe	Largeur roulable (L_r)
I	$L_r \geq 7\text{m}$
II	$5.5\text{m} < L_r < 7\text{m}$
III	$L_r \leq 5.5\text{m}$

Tab (4.1) : Classes d'un pont route.

Remarques :

1- Tous les ponts routiers supportant des bretelles d'accès à d'autres voies, sont considérées de 1^{ère} classe (fig. (4.3)).

2- On peut considérer de 1^{ère} classe les ponts de largeur roulable inférieure à 7m qui sont désignés par le CCTP, tels que les ponts sur lesquels il y a risque d'accumulation de poids lourds, surtout dans les zones urbaines ou industrielles [5].

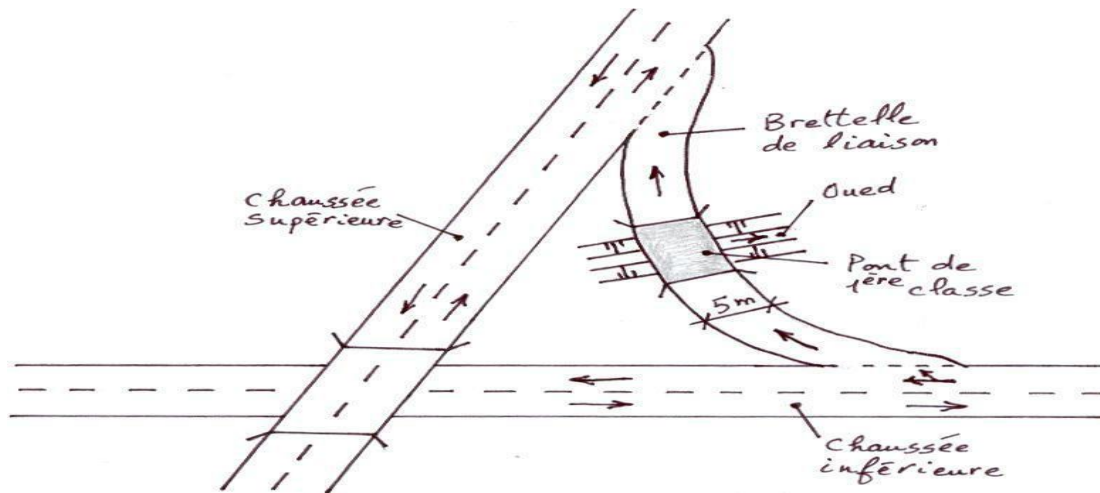


Fig (4.3) : Exemple d'un pont brette de liaison considéré de 1^{ère} classe

3-1.2 Système A(l)

3-1.2.1 Définition

Dans les ponts de portée unitaire inférieure ou égale à 200 m, la chaussée est supposée supporter une charge uniformément répartie.

$$A(l) = 2,3 + \frac{360}{12+l} \quad \text{KN/m}^2 \quad (6)$$

Où l est la longueur chargée en mètres.

N.B : Dans les ponts qui comportent une ou plusieurs portées unitaires dépassant les 200 m, le CCTP décrira les charges à prendre en compte.

La charge $A(l)$ est multipliée par le coefficient (a_1) de dégressivité transversale donné par le tableau (4.2).

Classe du pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	≥ 5
I	1	1	0.9	0.7 5	0.7
II	1	0.9	-	-	-
III	0.9	0.8	-	-	-

Tab (4.2) : Valeurs de coefficient a_1 .

A partir de $A(l)$ on calcule $A_1(l)$ selon la relation :

$$A_1(l) = \max \left\{ \begin{array}{l} a_1 \times A(l) \\ 4 - 0,002l \end{array} \right. \quad KN/m^2 \quad (7)$$

Pour obtenir la charge finale $A_2(l)$, le système $A_1(l)$ est multiplié par le coefficient a_2 décrit par :

$$a_2 = \frac{v_0}{v} \quad (8)$$

$$v_0 = \begin{cases} 3,50 \text{ m} & \text{pour les ponts classe 1} \\ 3,00 \text{ m} & \text{pour les ponts classe 2} \\ 2,75 \text{ m} & \text{pour les ponts classe 3} \end{cases} \quad (9)$$

v est la largeur réelle d'une voie.

La charge finale $A_2(l)$ est calculée par l'équation

$$A_2(l) = a_2 \times A_1(l) \quad (10)$$

3-1.2.2 Zone d'application du système $A(l)$

La charge $A(l)$ peut s'appliquer soit sur la longueur totale du pont soit sur quelques parties des travées. Transversalement, cette charge peut être appliquée sur une voie, deux voies..., ou sur toute la largeur de la chaussée portée par le pont. Le choix de la zone d'application du système $A(l)$ dépend essentiellement de l'effet recherché [5].

Sens transversal : La largeur chargée transversalement comprend un nombre entier de voies de circulation pour donner l'effet maximal considéré (fig. (4.4)).

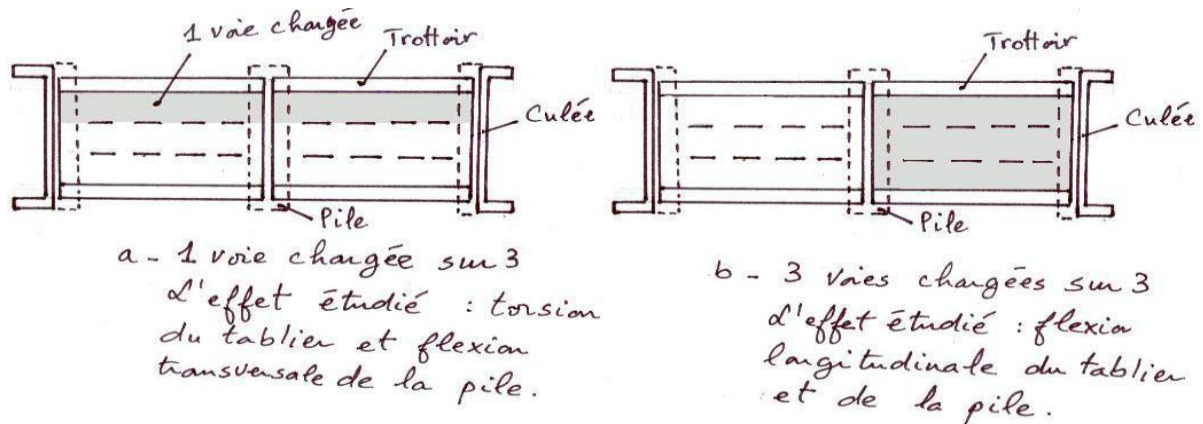


Fig (4.4) : Disposition en largeur du système A(l).

Sens longitudinal : Les limites des zones chargées doivent coïncider avec les zéros de la ligne d'influence de façon à donner l'effet maximal.

3-1.3 Système B

Il comprend 3 sous systèmes distincts indépendants l'un de l'autre :

- Le système B_c qui se compose de camions types.
- Le système B_r qui représente une roue isolée.
- Le système B_t qui est constitué de tandems.

Les sous systèmes B_c et B_r s'appliquent à tous les ponts quelle que soit leur classe, le système B_t n'est utilisé que dans les ponts de 1^{ère} et 2^{ème} classe [5].

3-1.3.1 Système B_c

Le camion type pèse 300 KN, il est composé de 3 essieux, celui d'avant pèse 60 KN, les deux arrières pèsent 120 KN chacun. D'après la figure (4.5), la longueur d'encombrement d'un camion est de 10.50 m, sa largeur est de 2.50 m. La vue en plan du camion montre que chaque essieu est constitué de 2 roues simples munies

de pneumatiques. Leur surface d'impact est un carré de $(0.2 \times 0.2) \text{ m}^2$ pour les roues de l'essieu avant, et de $(0.25 \times 0.25) \text{ m}^2$ pour celles des 2 essieux arrières [5].

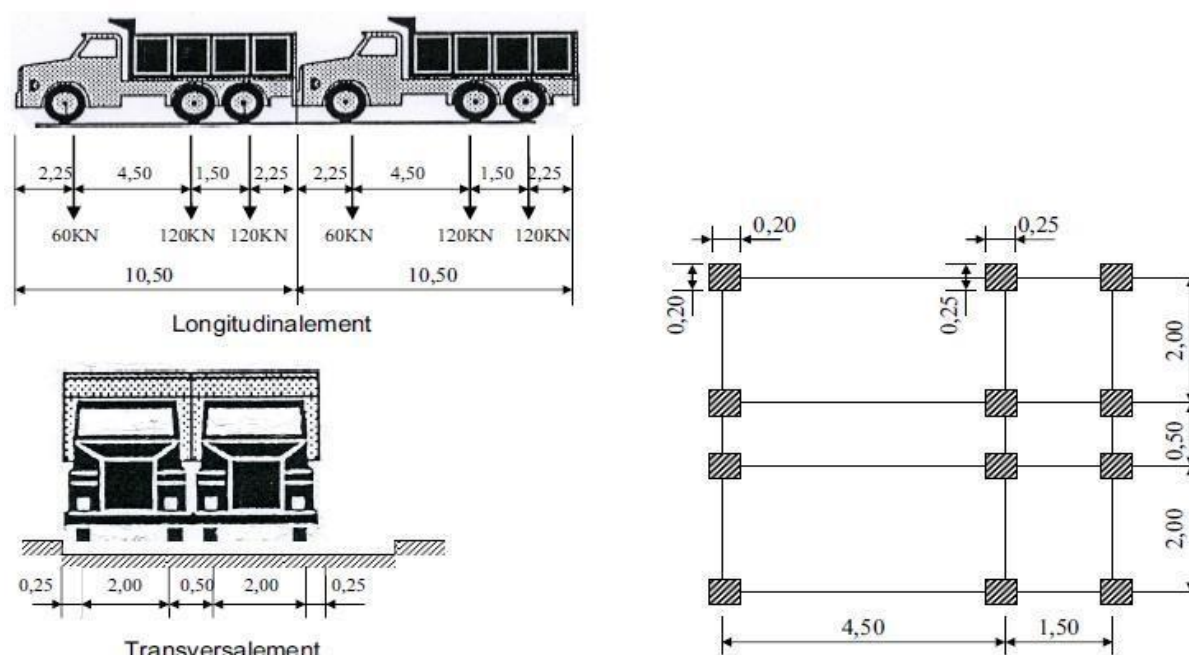


Fig (4.5) : Disposition du système B_c.

Les charges du système B_c sont multipliées par le coefficient b_c qui dépend de la classe du pont et du nombre de files de camions disposées transversalement (tab (4.3)).

Classe du pont	Nombre de files disposées transversalement				
	1	2	3	4	≥ 5
I	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70
II	1.00	1.00	-	-	-
III	1.00	0.80	-	-	-

Tab (4.3) : Valeurs du coefficient b_c.

- Longitudinalement, le nombre de camions par file est limité à deux, la distance longitudinale entre deux camions est déterminée pour produire l'effet le plus défavorable.
- Transversalement, le nombre de camions est toujours inférieur ou égal au nombre de voies disponibles. Les camions peuvent être contigus ou séparés pour produire la situation la plus défavorable recherchée.

Si l'on veut calculer les éléments du tablier tels que l'hourdis, le longeron, l'entretoise, la pièce de pont etc. (calcul local), les camions sont disposés transversalement sur la largeur roulable (L_r). L'axe de la file de roues la plus excentrée doit se trouver à une distance minimale de 0.25 m de la bordure de trottoir ou du dispositif de sécurité (fig (4.6)).

- Dans les ponts biais, pour faciliter les calculs, il est loisible de disposer les camions transversalement selon la parallèle au biais géométrique. Même les impacts des roues peuvent avoir des formes de losanges (fig (4.7)).

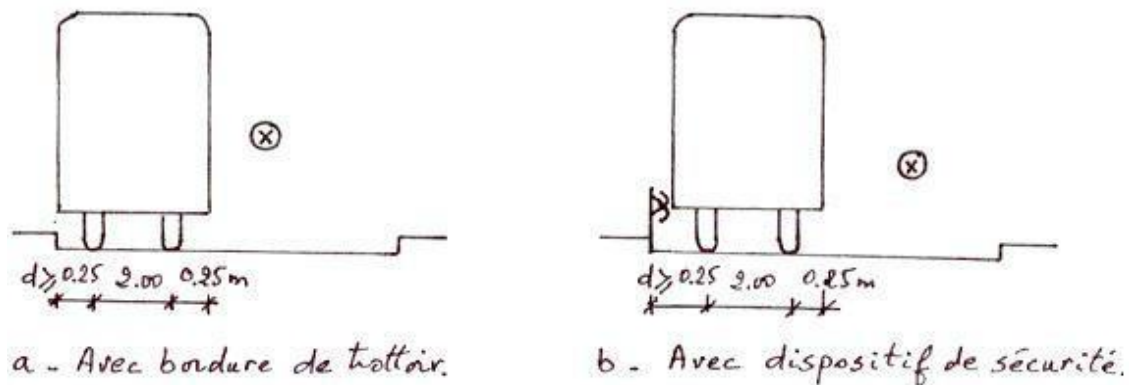


Fig (4.6) : Dispositions transversales extrêmes d'un camion Bc pour le calcul local

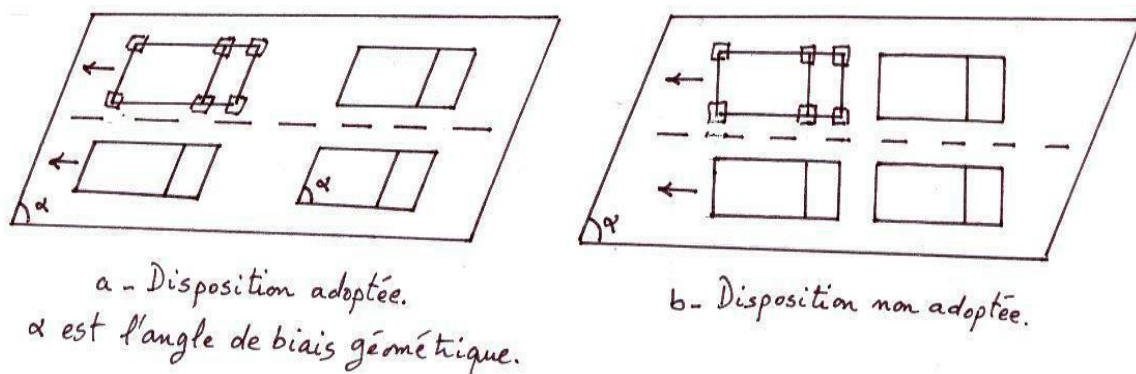


Fig (4.7) : Disposition en plan du système Bc dans un pont biais.

3-1.3.2 Système B_r

Il se compose d'une roue isolée de poids égal à 100 kN. Sa surface d'impact est un rectangle dont le grand côté de 0.6 m se trouve dans la direction transversale, le petit côté de 0.3 m est suivant l'axe longitudinal du pont (fig. 13 (4.8)). La roue B_r peut être placée n'importe où sur la largeur roulable, pourvue que le sens de déplacement de la roue suit l'axe longitudinal du tablier. Ce système est souvent utilisé dans l'étude des effets locaux du tablier tel que le poinçonnement de l'hourdis. Dans les ponts biais, le rectangle d'impact deviendra un parallélogramme dirigé selon le biais géométrique de l'ouvrage [5].

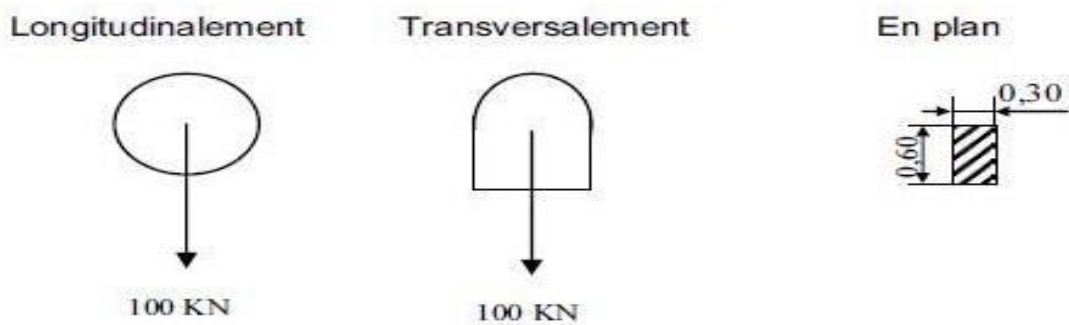


Fig (4.8) : Disposition du système B_r .

3-1.3.3 Système B_t

Le tandem type pèse 320 kN, il est composé de 2 essieux identiques dont chacun pèse 160 kN. L'essieu est constitué de 2 roues simples munies de pneumatiques, la surface d'impact d'une roue est un rectangle dont le côté transversal mesure 0.6 m et le côté longitudinal 0.25 m (fig (4.9)) [5].

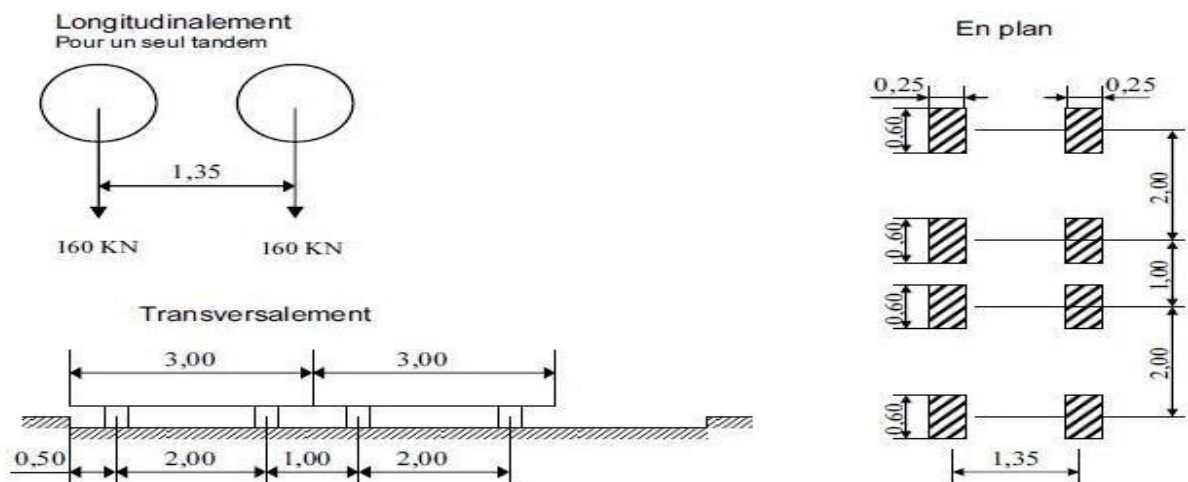


Fig (4.9) : Disposition du système B_t .

La charge du système B_t est multipliée par le coefficient b_t qui dépend de la classe du pont (tab (4.4)).

Classe du pont	I	II
b_t	1.0	0.9

Tab (4.4) : Valeurs du coefficient b_t .

NB :

- Longitudinalement, un seul tandem est disposé.
- Transversalement, si le pont ne comporte qu'une seule voie, on disposera d'un seul tandem, si le pont comporte 2 voies et plus, le nombre maximal de tandems disposés transversalement est de 2. Ils peuvent être contigus ou séparer pour produire l'effet le plus défavorable.
- Si l'on veut faire un calcul global, les tandems sont disposés transversalement sur la largeur chargeable (L_c). L'axe de la file de roues la plus excentrée doit se situer au minimum à une distance de 0.50 m par rapport à la bordure de trottoir et de 1.00 m par rapport au dispositif de sécurité.
- Si l'on veut faire un calcul local, les 2 tandems sont disposés transversalement sur la largeur roulable (L_r). L'axe de la file de roues la plus excentrée doit se trouver à une distance minimale de 0.50 m de la bordure de trottoir ou du dispositif de sécurité.
- Dans les ponts droits comportant 2 voies et plus, les 2 tandems doivent être disposés de front.

Remarques importantes :

1. Les systèmes A(1) et B sont distincts et indépendants et ne peuvent être appliqués simultanément.
2. Dans l'étude globale du tablier telle la flexion longitudinale des poutres, l'effet de freinage, les réactions des appuis etc., chacun des 2 systèmes doit être considéré successivement. Par ailleurs, dans l'étude locale d'un élément

du tablier tel que hourdis, entretoise, longeron etc., seul le système B est pris en compte.

3-1.3.4 Le coefficient de majoration dynamique δ

Du fait que les charges B sont mobiles, leurs valeurs statiques sont amplifiées par un coefficient de majoration dynamique ($\delta > 1$) [5].

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+4\frac{G}{S}} \quad (11)$$

Où G est la charge permanente.

S est la charge la plus élevée des essieux du système B qu'il sera possible de placer sur le tablier et pour une longueur L.

Quand il s'agit de calculer les poutres principales ou les fermes maîtresses, la longueur L est celle de la portée de la travée considérée, la charge permanente G est le poids total de cette travée. Le coefficient de majoration ainsi calculé est appliqué aux poutres principales et aux entretoises si elles relient des poutres multiples.

$$L=L_p \quad (12)$$

Quand il s'agit de calculer le tablier d'un pont à poutres ou fermes latérales, et que la couverture de ce tablier est une dalle en B.A, la longueur L est calculée par la suivante, la charge permanente G est le poids total de la partie du tablier sur la longueur L mis à part les poutres ou fermes latérales. G comprendra sur la longueur L l'hourdis, les longerons, les entretoises, la chape d'étanchéité, le revêtement, les trottoirs, les gardes corps et les autres équipements. Le coefficient de majoration ainsi calculé sera applicable pour les éléments du tablier (hourdis, longerons, et entretoises).

$$L = \inf [L_p, \sup(L_r, L_B)] \quad (13)$$

Où :

L_p : La portée de la travée étudiée.

L_r : La largeur roulable.

L_B : L'entre axe des poutres de rive droite et gauche s'il s'agit de poutres multiples, ou bien la distance entre lignes d'appuis intérieurs du tablier sur les 2 poutres ou fermes latérales. Dans les ponts à poutres en caisson, L_B est la distance entre les plans moyens des âmes de rive des caissons.

3-1.3.5 La force de freinage

Elle est développée par l'un des 2 systèmes $A(l)$ ou B_c . Cette force est supposée centrée sur l'axe longitudinal du tablier et dirigée dans l'un ou l'autre sens de circulation (fig (4.10)) [5].

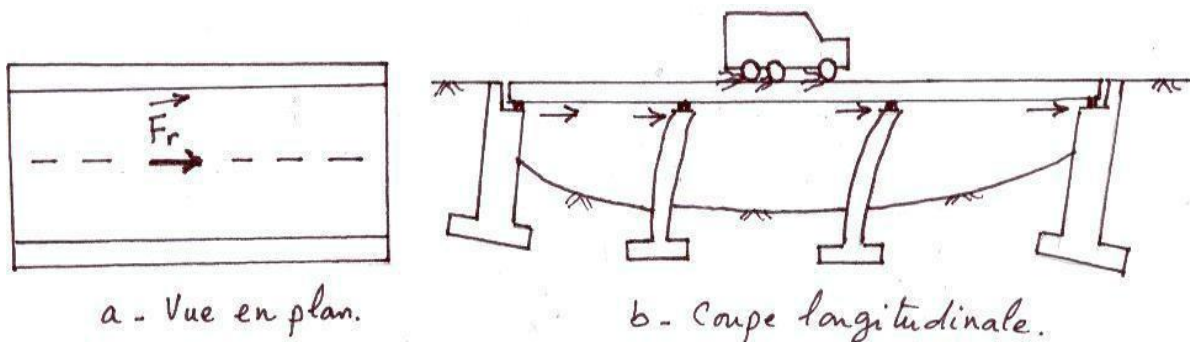


Fig (4.10) : Effet de freinage sur un pont

3-1.3.5.1 Freinage du au système $A(l)$

$$F_r(A) = \frac{A_2(l).S}{20+0,0035.S} \quad (14)$$

Où S est l'aire en mètre carré de la partie du tablier chargée par le système $A(l)$.

3-1.3.5.2 Freinage du au système B_c

Parmi les camions disposés sur le pont, un seul est supposé freiner en développant une force égale à son poids.

$$Fr(B_c) = b_c.B_c \quad (15)$$

N.B : Les efforts de freinage ne sont pas concernés par la majoration dynamique.

3-1.3.6 La force de centrifuge

Elle est produite uniquement par le système B_c , et ce dans les tabliers qui représentent des courbes en plan. Tous les camions B_c sont susceptibles de produire la force centrifuge [5].

3-1.4 Charges sur les remblais

Les remblais derrière les culées sont susceptibles de recevoir une charge ($S_r = 10 \text{ kN/m}^2$). En outre, pour la justification des éléments de faible dimension, tels que murs garde grèves, il y a lieu de disposer sur le remblai, les systèmes B_c , B_t ou B_r . Ces systèmes, exclusifs de toute autre charge, sont considérés comme non susceptibles de majoration pour effets dynamiques lorsqu'ils sont disposés sur le remblai [5].

3-1.5 Charges militaires

Sur les itinéraires permettant la circulation des convois militaires, les ponts doivent être calculés pour supporter les véhicules militaires du type [5] :

- M_c : Véhicules militaires du type chenilles.
- M_e : Véhicules militaires du type essieux.

3-1.5.1 Système M_c

3-1.5.1.1 Vehicule M_c 80

Il est constitué de 2 chenilles, le poids total du véhicule est de 720 kN.

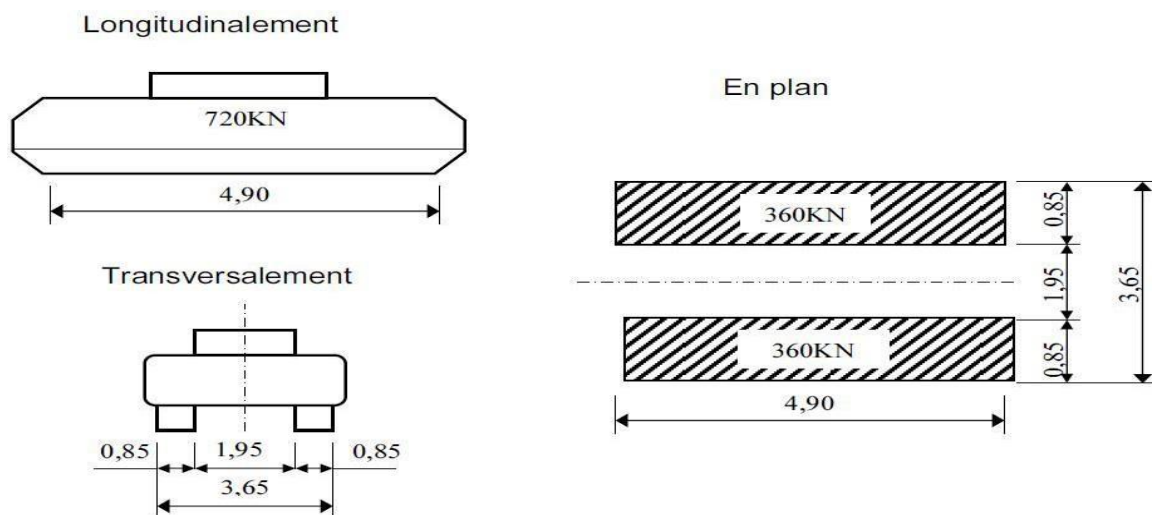


Fig (4.11) : Véhicule M_c 80.

3-1.5.1.2 Vehicule M_c 120

Il est constitué de 2 chenilles, le poids total du véhicule est de 1100 kN.

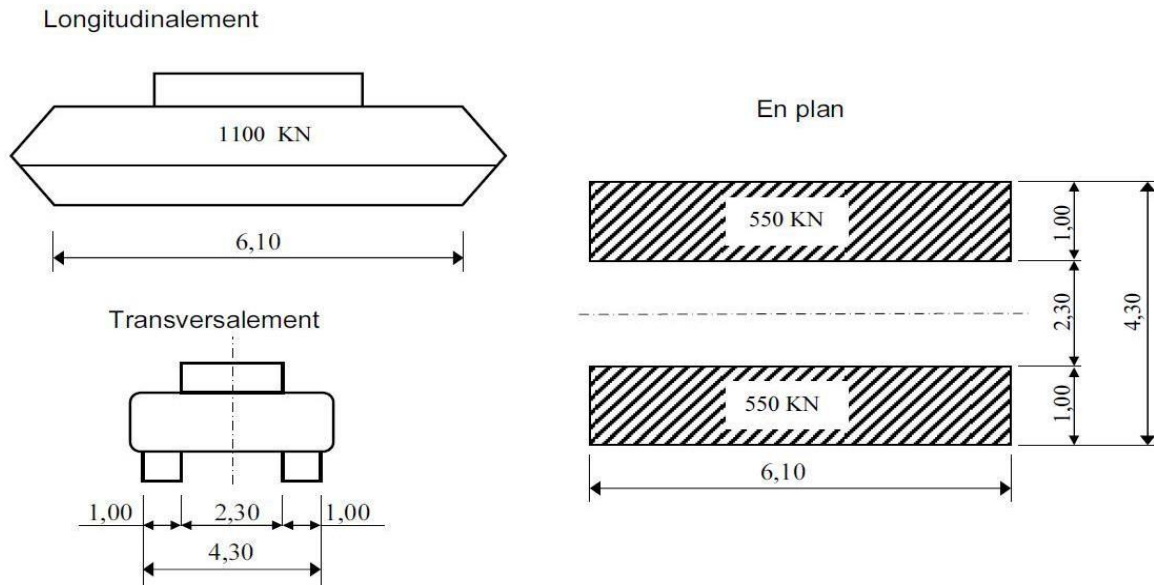


Fig (4.12) : Véhicule Mc 120.

3-1.5.2 Système Me

3-1.5.2.1 Vehicule Me 80

Il est constitué de 2 essieux, le poids total du véhicule est de 440 KN.

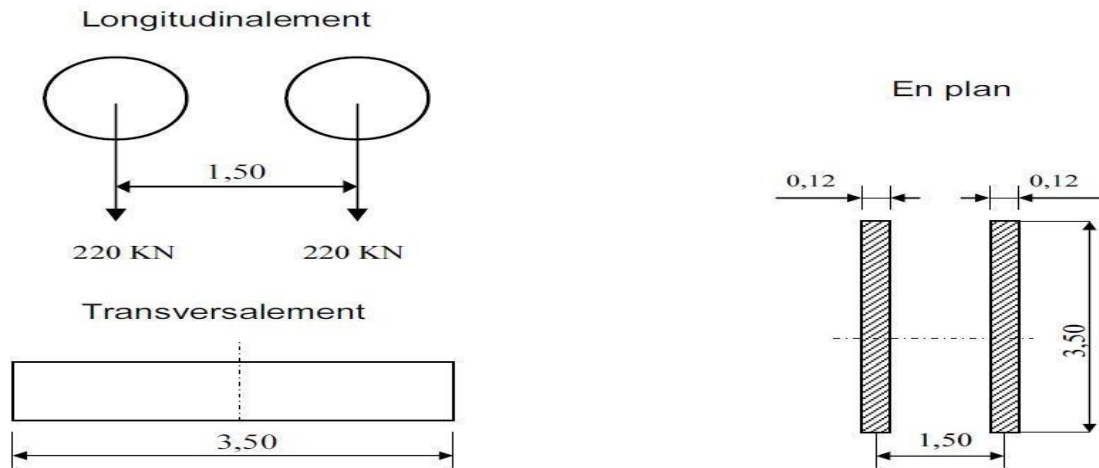


Fig (4.13) : Véhicule Me 80.

3-1.5.2.2 Vehicule Me 120

Il est constitué de 2 essieux, le poids total du véhicule est de 660 KN.

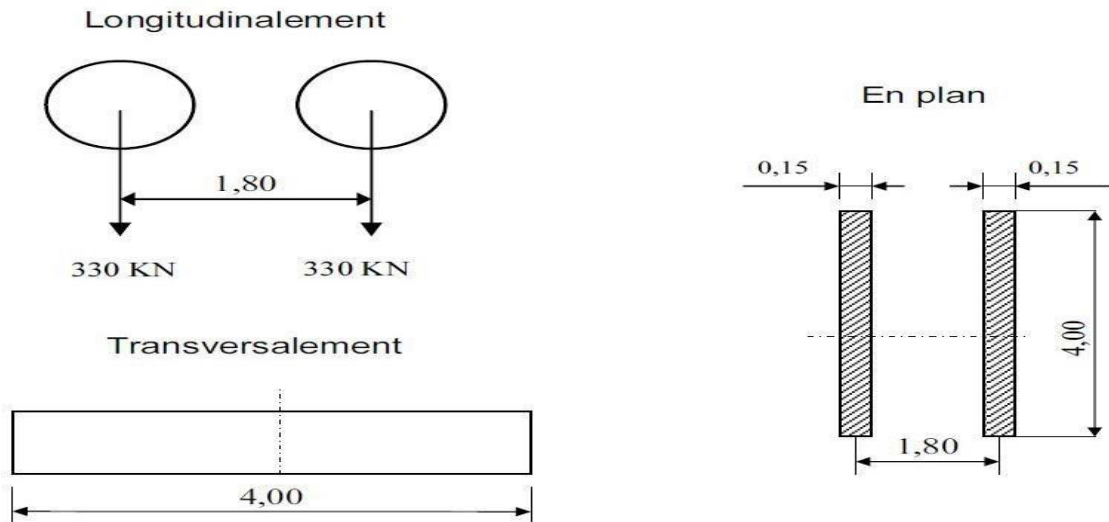


Fig (4.14) : Véhicule Me 120.

3-1.5.3 Règles générales de disposition des charges militaires

- Transversalement, un seul convoi est supposé circuler sur la largeur chargeable L_c , quel que soit le nombre de voies disponibles.
- Longitudinalement, le nombre de véhicules Mc disposés parallèlement à l'axe du pont n'est pas limité, la distance minimale entre deux véhicules consécutifs est de 30,50 m. D'où une distance entre axe de 35,40 m pour le Mc 80 et de 36,60 m pour le Mc 120 (fig (4.15)).
- Les charges militaires sont concernées par la majoration dynamique.- Le convoi militaire est supposé ne développer ni force de freinage ni force centrifuge.
- Dans les ponts biais, les rectangles d'impact sont disposés selon le biais (fig (4.16)).

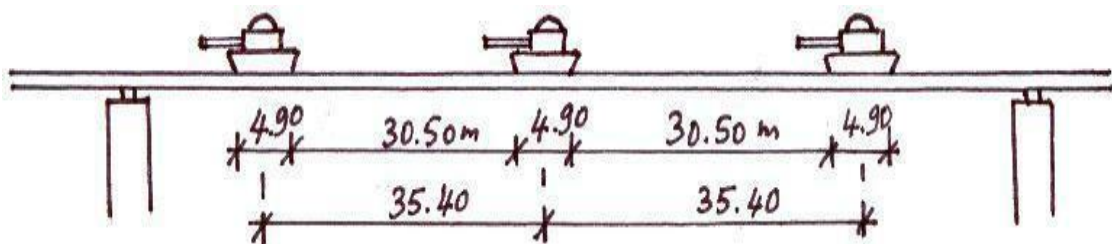


Fig (4.15) : Exemple de disposition longitudinale du système Mc 80.

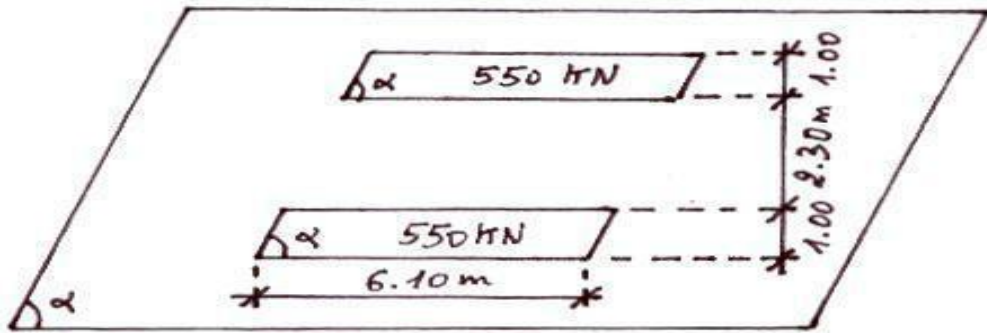


Fig (4.16) : Exemple de disposition en plan d'un véhicule Mc 120 dans un pont biais.

3-1.6 Charges exceptionnelles

Certains itinéraires permettent la circulation de convois exceptionnels du type D et E. Ce type de charges est indiqué par le CCTP du projet de pont à réaliser [5].

3-1.6.1 Convoi type D

3-1.6.1.1 Convoi type D280

Le convoi type D280 comporte deux remorques supportant chacune 1400 kN, dont le poids est supposé reparti au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément chargé de 3.30 m de large et 11 mètres de long, la distance entre axes des deux rectangles est de 19 mètres.

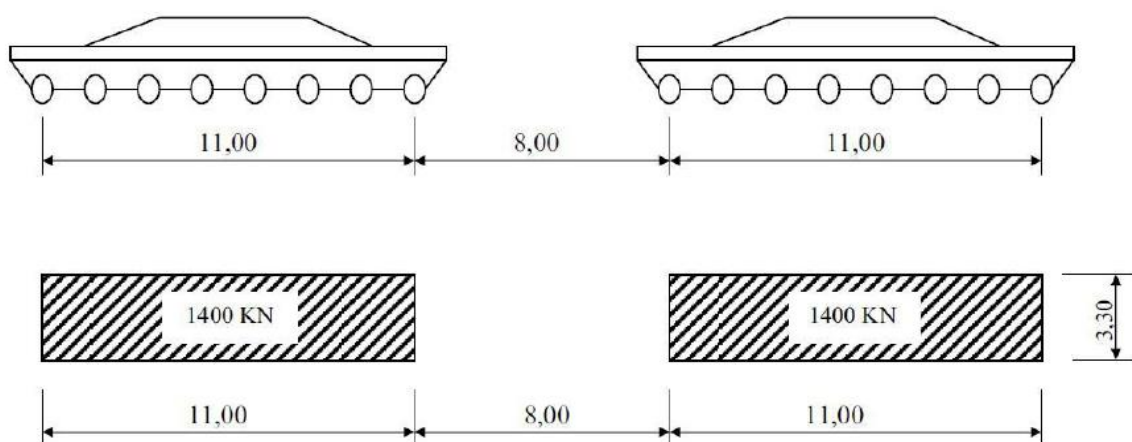


Fig (4.17) : Disposition du convoi type D280.

3-1.6.1.2 Convoi type D240

C'est une remorque composée de 3 éléments dont chacun comporte 4 lignes à 2 essieux (Fig(4.18)). Le poids total du convoi D est de 2400 KN, cette charge est supposée uniformément répartie au niveau de la chaussée et sur un rectangle de 18.60 m de long et 3.20 m de large [5].

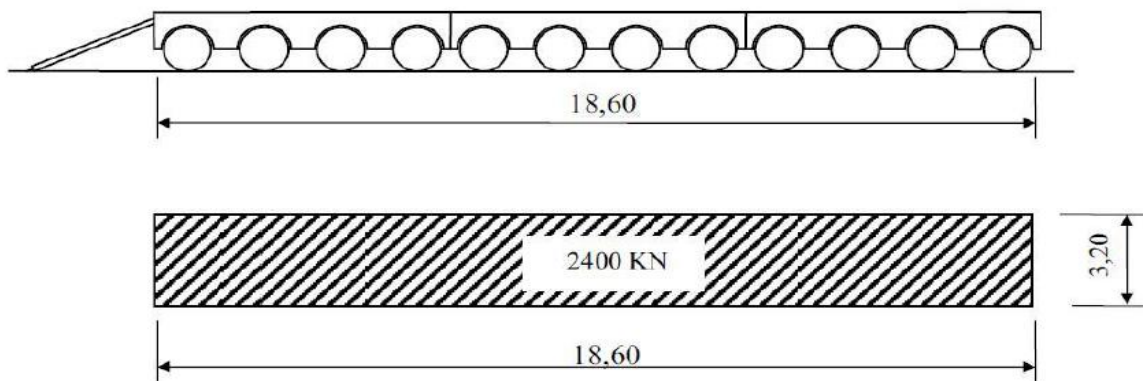


Fig (4.18) : Disposition du convoi type D240.

3-1.6.2 Convoi type E

3-1.6.2.1 Convoi type E400

Le convoi-type E400 comporte deux remorques supportant chacune 2000 KN, dont le poids est supposé reparti au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément charge de 3,30 m de large et 15 m de long : la distance entre axes des deux rectangles est de 33 m [5].

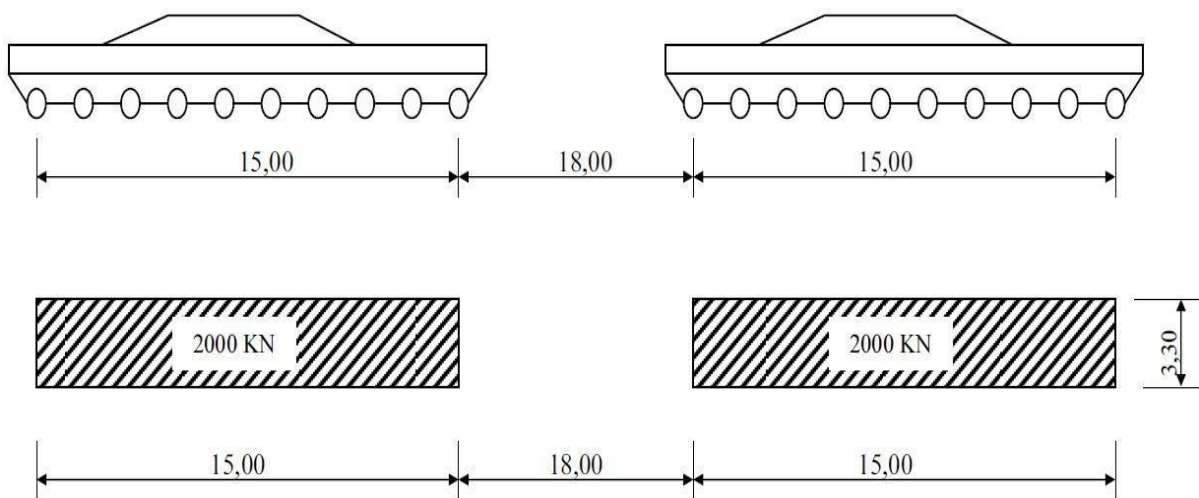


Fig (4.19) : Disposition du convoi type E400.

3-1.6.2.2 Convoi type E360

C'est une remorque composée de 3 éléments dont chacun comporte 4 lignes à 3 essieux (Fig (4.20)). Le poids total de 3600 KN est supposé uniformément réparti sur un rectangle de 18.60 m de long et 5.10 m de large [5].

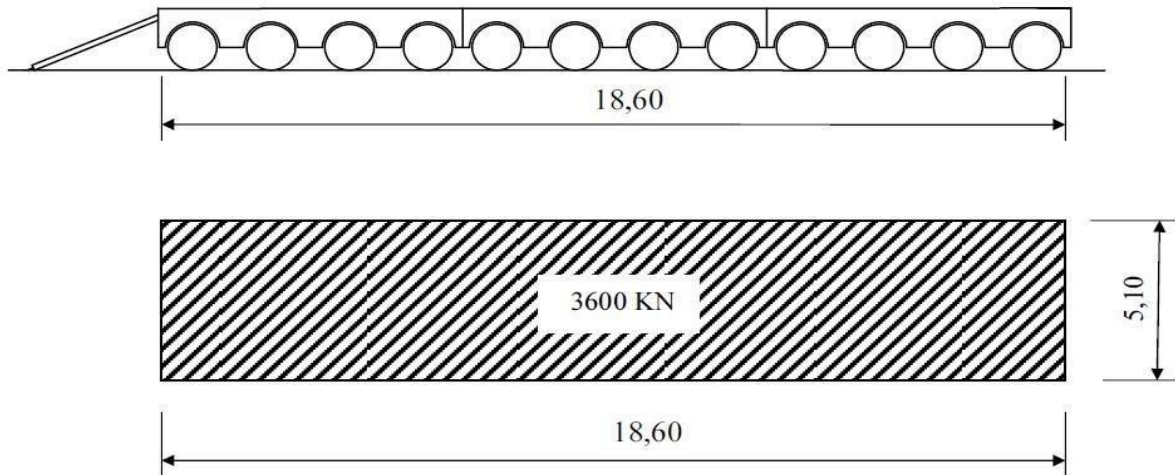


Fig (4.20) : Disposition du convoi type E360.

3-1.6.3 Considérations générales sur les charges exceptionnelles

- Les convois exceptionnels sont supposés rouler à une vitesse au maximum égale à 10 Km/h. Ce système n'est pas donc concerné par la majoration dynamique.
- Le convoi exceptionnel est supposé ne développer ni force de freinage, ni force centrifuge.
- La charge exceptionnelle est exclusive de toutes autres charges, elle est sensée s'appliquer toute seule sans aucune autre charge.

3-1.7 Charges sur trottoir

Ces charges appliquées soit sur les trottoirs soit sur les pistes cyclables, ne sont pas frappées par la majoration dynamique. Elles se divisent en 2 types :

- Charges locales.
- Charges générales.

3-1.8 Charges sur le garde de corps

La charge horizontale sur le garde-corps due à la main courante, sa valeur q par mètre linéaire. Lorsqu'il s'agit d'un garde-corps de service, la poussée q est supposée égale à ($q=1 \text{ KN /ml}$) [5].

3-1.9 L'effet de choc

Il est dû au trafic routier, ferroviaire ou de navigation. Les parties du pont susceptible aux chocs sont les piles ou le tablier.

3-1.10 Franchissement du trottoir ou de la bande cyclable

Si une barrière de sécurité est prévue, il n'est pas nécessaire de prendre en considération des charges de roue ou de véhicule au-delà de cette protection. Sur les parties non protégées du tablier, on place une charge accidentelle correspondant à un camion B_c ou une file de roues si l'espace ne le permet pas. Leur emplacement doit produire l'effet le plus défavorable.

Il n'y a pas lieu de considérer la présence simultanée d'aucune autre charge variable sur le tablier [4].

3-1.11 Forces d'impact sur les bordures de trottoirs

L'action due à l'impact d'un véhicule sur les bordures comme une force latérale agissant à une hauteur de 0,05 m sous le niveau supérieur de la bordure. Sa valeur est ($Q=100 \text{ KN}$) [5].

3-2 Charges hors trafics

3-2.1 Actions Thermiques

3-2.1.1 Variations uniformes de température

La variation linéaire du tablier de pont est calculée en utilisant l'écart entre la température extrême (minimale ou maximale) et la température de référence T_{ref} pour laquelle l'ouvrage a été construit.

3-2.1.2 Gradient thermique

Il est admis une variation linéaire de température sur la hauteur de la section. Le module d'élasticité à considérer pour le béton est le module instantané. Le gradient

est positif si la température de la fibre supérieure du tablier est plus grande que celle de la fibre inférieure [5].

3-2.2 Actions dues au vent

Les efforts engendrés sont introduits dans les calculs comme des pressions horizontales statiques appliquées aux surfaces frappées. Leur intensité vaut :

- En service : $PH = 2 \text{ KN/m}^2$.
- En construction : $PH = 1,25 \text{ KN/m}^2$.

3-2.3 Actions dues à l'eau

Les actions dues à l'eau se manifestent de multiples manières. Les phénomènes les plus couramment rencontrés sont :

- la pression hydrostatique,
- la poussée hydrodynamique du courant,
- l'action abrasive du courant envers les futs des piles,
- l'affouillement générale des rivières et local autour des piles de ponts.

La prise en compte de la pression hydrostatique ne pose généralement aucun problème. L'action abrasive du courant est un phénomène physique assez rare dont on se prémunit à l'aide de dispositions constructives appropriées, telles que la forme hydrodynamique de la pile [5].

Par sa vitesse, l'eau développe une action hydrodynamique sur les obstacles qu'elle rencontre. L'intensité de cette action est généralement faible, voire négligeable, et n'intervient pas dans les calculs de stabilité des appuis de ponts, sauf :

- dans le cas de certains batardeaux,
- lorsque le mouvement de l'eau est dû à la crue.

3-2.4 Incendie

Les effets d'un incendie se traduisent par une élévation de température à prendre en compte. Cette action s'accompagne de modification des caractéristiques mécaniques des matériaux. Le CCTP précise la durée de la résistance au feu [5].

3-2.5 Séisme

Le séisme est considéré comme une action accidentelle. Il y a lieu de se référer à cet égard, à la réglementation parasismique en vigueur (RPOA 2008). Le tablier, les piles et les culées recevront chacun deux forces d'inerties ; horizontale et verticale, dues à l'action sismique [5].

3-3 Combinaison d'action

3-3.1 Etat limite de service (ELS)

Il correspond à des conditions au-delà desquelles les exigences d'aptitudes spécifiées (sécurité et confort de la circulation...) pour une structure ou un élément structural ne sont plus satisfaites. Les combinaisons d'actions correspondantes à cet ELS traduisent différents niveaux de probabilités d'application de ces actions. Ainsi, les actions sont pondérées par des coefficients minoratifs ψ , selon que l'on considère que telle ou telle répartition des efforts est fortement probable ou peu probable. On distingue ainsi trois niveaux de probabilité dans les combinaisons à l'ELS [5]:

- **Combinaisons rares** : sollicitation que la structure (ou sa grande partie) aura à subir au moins une fois pendant la durée de sa vie.
- **Combinaisons fréquentes** : sollicitation que la structure aura à subir de manière relativement fréquente.
- **Combinaisons quasi permanentes** : sollicitation que la structure aura à subir pendant la majeure partie de la durée de sa vie.

Les vérifications à effectuer dans le cas des états limites de service portent sur, la contrainte maximale de compression du béton, la fissuration du béton ou la contrainte limite de l'acier, la déformation et les déplacements de la structure.

3-3.2 Etat limite ultime (ELU)

C'est un état limite associé à la ruine des structures, c'est à dire à son effondrement ou à d'autres formes de défaillances structurales ; il correspond à l'atteinte de la capacité structurale de l'ouvrage (résistance, stabilité de forme) ou à une perte

d'équilibre statique. Pour les ELU, il y a lieu de se servir de coefficients adrateurs γ .

A l'ELU, on distingue trois types de combinaisons [5]:

- **Combinaisons fondamentales** : durables ou transitoires.
- **Combinaisons accidentelles** : choc, empiètement du trottoir, incendie, etc.
- **Combinaisons sismiques** : mouvements ; horizontal et vertical, liés au sol lors d'un séisme.

A l'ELU, on devra justifier la résistance des matériaux constitutifs de tous les éléments de construction, la mobilisation du sol (capacité portante), la stabilité de tous ces éléments compte tenu des effets du 2^{ème} ordre et l'équilibre statique de l'ouvrage.

CHAPITRE 05 : LIGNES D'INFLUENCE

1. INTRODUCTION

Pour une section donnée x , les lignes d'influence sont obtenues. Ces lignes d'influences sont déterminées pour les moments fléchissants et les efforts tranchants dans le cas des poutres. Ils sont obtenus en effectuant un balayage d'une charge unitaire ($P=1$) le long de la poutre et en recherchant le moment fléchissant ou l'effort tranchant dans la section x en question [6,7].

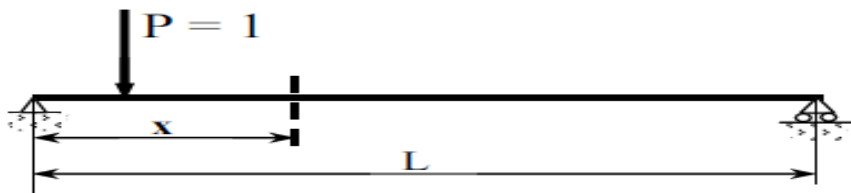


Fig (5.1) : Section x pour une ligne d'influence.

Donc une ligne d'influence est toujours liée avec une section donnée (x). On écrit pour les lignes d'influences des moments fléchissants : Li " M_x " et ceux des efforts tranchants : Li " T_x ".

2. LIGNES D'INFLUENCE DES POUTRES SUR APPUIS SIMPLES

Les lignes d'influences des moments fléchissants et des efforts tranchants sont présentées dans la Figure (5.2) ci-après. Pour les moments fléchissants, la ligne d'influence d'une poutre sur appui simple est une ligne brisée dont le sommet, y , est [6,7] :

$$y = \frac{x(L-x)}{L}$$

Ainsi, les valeurs sont positives et de même signe. Pour les efforts tranchants, la ligne d'influence est formée par deux parties (Figure (5.2)), une partie positive d'extrémité, y' , tel que :

$$y' = 1 - \left(\frac{x}{L}\right)$$

Et une partie négative d'extrémité : $\left(\frac{-x}{L}\right)$

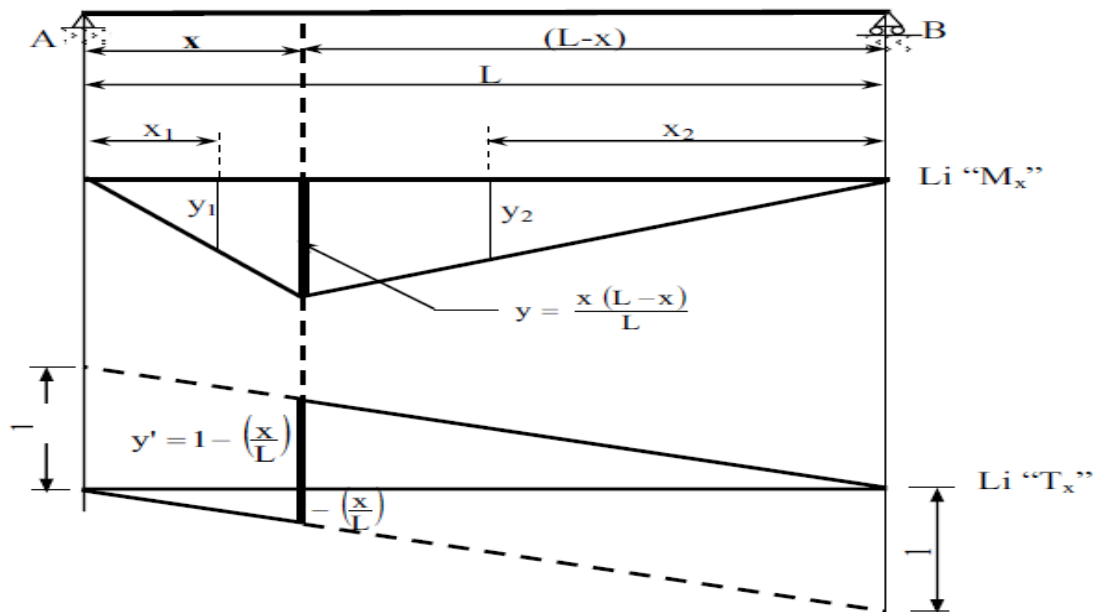


Fig (5.2) : Lignes d'influences des moments fléchissants et des efforts tranchants dans une section x.

Les valeurs des ordonnées y_1 ou y_2 sont retrouvées à partir de la règle des triangles semblables (ou Thalès). Ainsi, connaissant x , y , x_1 on peut retrouver y_1 , c.à.d.,

$$y_1 = y \cdot \left(\frac{x_1}{x}\right) \quad \text{avec} \quad y = \frac{x(L-x)}{L}$$

De la même manière, en connaissant $(L-x)$, y , et x_2 on peut retrouver y_2 .

$$y_2 = y \cdot \left(\frac{x_2}{(L-x)}\right)$$

Pour les valeurs des ordonnées intermédiaires des lignes d'influences des efforts tranchants, nous procédons de la même manière.

3. EMPLOI DES LIGNES D'INFLUENCES

- **1^{er} cas :** Une charge concentrée, P.

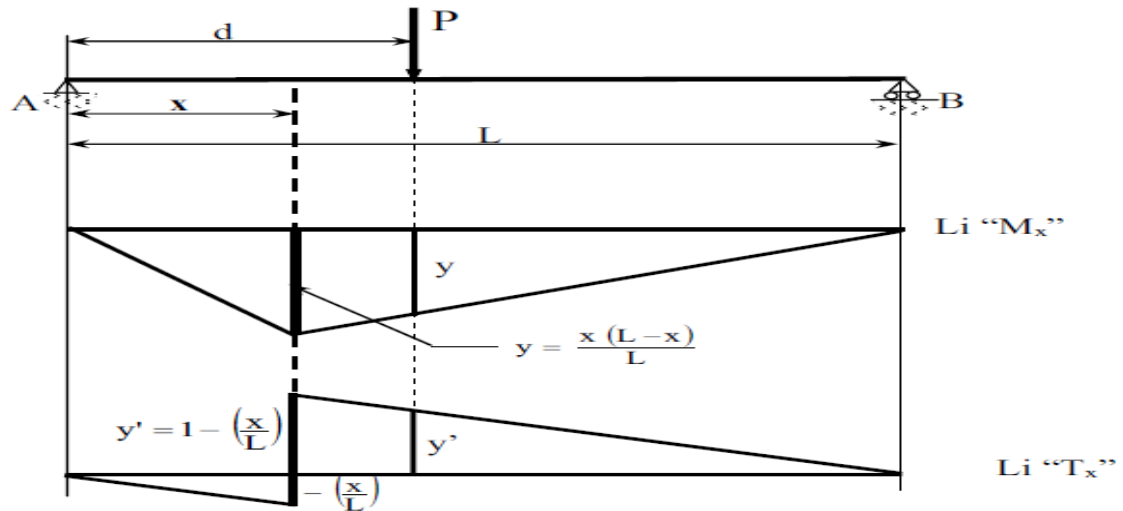


Fig (5.3) : Charge concentrée P appliquée à une distance d .

Dans ce cas :

$$\begin{cases} M_x = P \cdot y \\ T_x = P \cdot y' \end{cases} \quad \begin{array}{l} y : \text{ordonnée correspondant à } P \text{ sur la Li de } M_x. \\ y' : \text{ordonnée correspondant à } P \text{ sur la Li de } T_x. \end{array}$$

- 2^{ème} cas : Plusieurs charges concentrées, P_i .

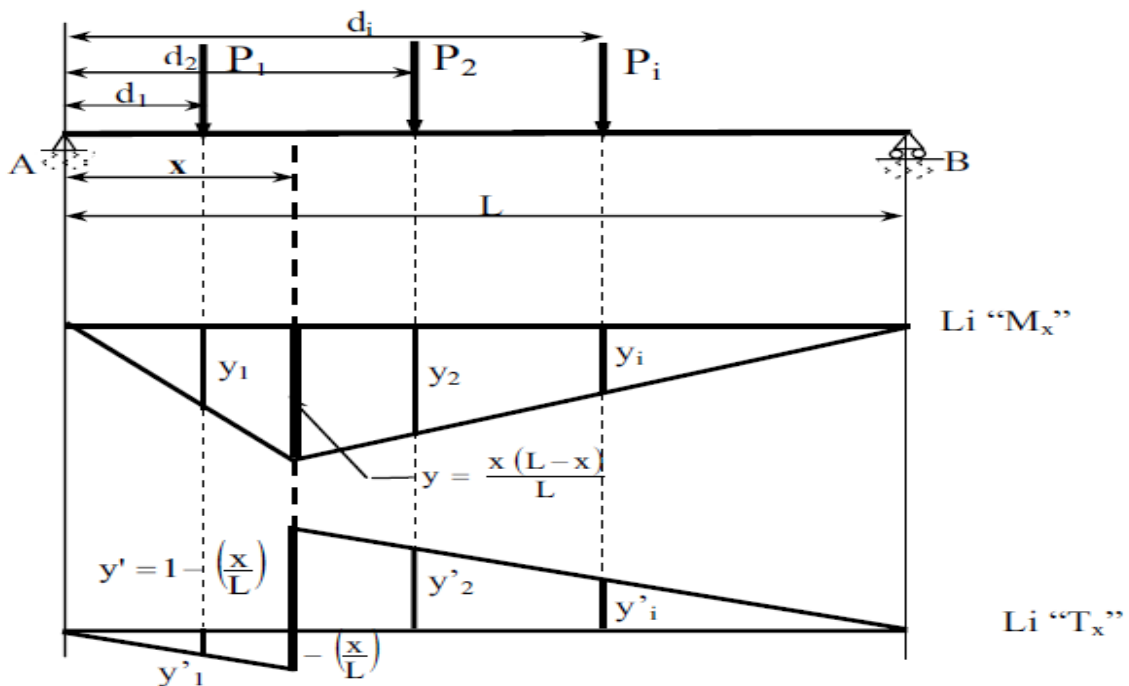


Fig (5.4) : Plusieurs charges concentrées P_i appliquée à une distance d_i .

Dans ce cas :

$$\begin{cases} M_x = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + \dots & y_i: \text{ordonnée correspondant à } P \text{ sur le Li de } M_x. \\ T_x = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y'_i = P_1 \cdot y'_1 + P_2 \cdot y'_2 + \dots & y' : \text{ordonnée correspondant à } P \text{ sur la Li de } T_x. \end{cases}$$

- **3^{ème} cas** : Charge répartie, q , sur une longueur c .

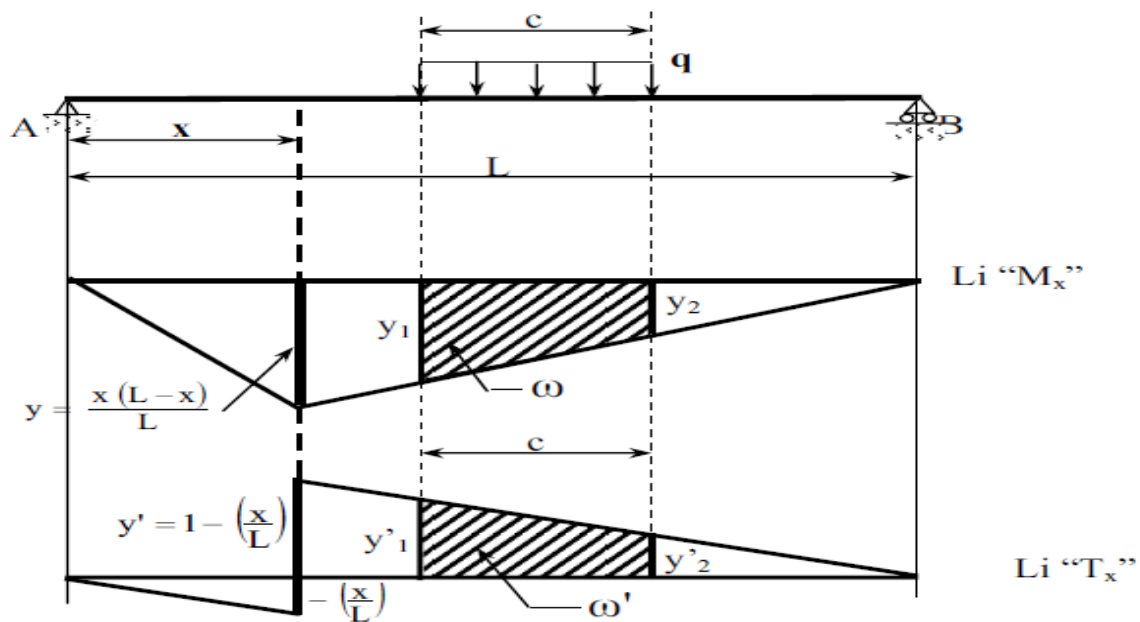


Fig (5.5) : Charges réparties (q) appliquée à une distance c .

Dans ce cas :

$$\begin{cases} M_x = q \cdot w \\ T_x = q \cdot w' \end{cases} \quad \begin{aligned} w &: \text{aire de la ligne d'influence de } M_x \text{ comprise entre } y_1 \text{ et } y_2. \\ w' &: \text{aire de la ligne d'influence de } T_x \text{ comprise entre } y'_1 \text{ et } y'_2 \end{aligned}$$

$$\text{Avec : } w = \frac{1}{2}(y_1 + y_2) \cdot c \quad \text{et} \quad w' = \frac{1}{2}(y'_1 + y'_2) \cdot c$$

4. LIGNES D'INFLUENCES D'AUTRES POUTRES ISOSTATIQUES

4.1 Poutre console

Conclusion

Un pont est un ouvrage d'art qui permet de franchir un obstacle naturel ou artificiel (dépression, cours d'eau, voie de communication, vallée, ravin, canyon) en passant par-dessus. Le franchissement supporte le passage d'humains et de véhicules dans le cas d'un pont routier, ou d'eau dans le cas d'un aqueduc.

Pour leur conception, les techniciens et les ingénieurs doivent donc bien réfléchir avant d'agir car ceux-ci sont soumis à des contraintes. Il existe tout d'abord les contraintes environnementales comme la sensibilité au vent et aux séismes qui sont source de phénomène de résonance, sans oublier la température. Mais pas seulement, les contraintes qui sont liées aux activités humaines sont elles aussi importantes pour la construction et l'exploitation d'un pont. Les charges conventionnelles (véhiculaires), les charges exceptionnelles (passage de chars militaires) et enfin le pas cadencé entrent en considération dans ces contraintes.

Pour adapter les ponts à ces différents phénomènes, les ingénieurs effectuent différents calculs, mesures et utilisent différentes méthodes, comme nous avons pu l'étudier dans son dernier de ce document (charges mobiles), pour assurer une sécurité, non seulement au pont mais aussi à ceux qui l'exploitent et éviter ainsi des destructions catastrophiques.

Finalement, L'objet de ce polycopié de cours est de servir de guide aux étudiants de travaux publics de l'Université Tahri Mohamed de Béchar et aux personnes souhaitant avoir une vue d'ensemble sur les ponts.

Références bibliographiques

- [1] Lien d'internet : http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/baghdadi_mohammed/files/chap_1_generalites_dp1_m1voa.pdf
- [2] Issoufou Tamboura, « Cours : Ponts-Ouvrages d'Art » Enseignement superieur. Ministère Equipement, Niamey –Niger, année 2014-2015.
- [3] B. Gely, J- A. Calgarou. « Conception des ponts ». Presse des Ponts, France 1994.
- [4] Lien d'internet : <https://irp.cdn-website.com/2715b014/files/uploaded/rukomigexifojelobavegag.pdf>
- [5] Lien d'internet : http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/baghdadi_mohammed/files/cha2_programme_de_charges.doc_m1_voa.pdf
- [6] Mongi Ben Ouézdou, « Cours d'Ouvrages d'Art, Tome 2 : Dimensionnement ». Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Octobre 2008.
- [7] R. Soltani « Lignes d'influence des poutres et arcs isostatiques. O.P.U., 2003.