

TD CORRIGES

I-GENERALITES SUR LES PONTS

- 1- Qu'est-ce qu'un ouvrage d'art, quels sont les différents types d'ouvrages d'art
- 2- Donner un exemple d'ouvrage d'art de franchissement en fonction de la manière dont l'obstacle est franchi
- 3- Qu'est-ce qu'un pont et à quoi sert-il ?
- 4- Quelles sont les différentes parties d'un pont?
- 5- Quels sont les avantages et les inconvénients des différents types de ponts ?
- 6- Quel est le rôle du tablier ?
- 7- Pourquoi avoir besoin d'une dalle de transition ?
- 8- A quoi servent les culées ?
- 9- Comment assurer la stabilité d'un remblai d'accès ?
- 10- Quel est l'impact environnemental de la construction de ponts et comment est-il atténué ?
- 11- Qu'est-ce qu'un encorbellement et quels sont différents types d'encorbellements

CORRECTION

- 1- Un ouvrage d'art est une construction importante qui est nécessaire pour rétablir une voie de communication ou pour protéger contre l'action de la terre et de l'eau. Le terme "d'Art" est ajouté pour souligner que leur conception et leur réalisation nécessitent des connaissances et de l'expérience aussi importantes que la théorie, appelées "art de l'ingénieur". L'aspect esthétique et architectural est également important dans ces constructions.

Les différents types d'ouvrages d'art :

- Les ouvrages de franchissement ou liés à des voies de communications : pont, tunnel, écran acoustique
- Les ouvrages de protection ou de soutènement : mur, rideaux de palplanche, parois moulé, clouage de massif
- Les ouvrage de retenues d'eau : barrage (en béton ou en terre et enrochements), digues (remblais longitudinaux naturels ou artificiels)

2- Pont suspendu

- 3- Un pont est une construction qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voie de communication, vallée, etc.) en passant par-dessus cette séparation véhicules dans le cas d'un pont routier ou d'eau dans le cas d'un aqueduc.
- 4- Les différentes parties d'un pont incluent **le tablier** (la partie supérieure où circulent les véhicules), **les piles** (les supports verticaux qui soutiennent le tablier), **les culées** (les structures qui retiennent les extrémités du tablier), **les fondations** (les éléments qui transmettent la charge du pont au sol) et **les éléments d'appui** (qui permettent au pont de se dilater ou de se contracter en fonction des variations de température).
- 5- Les avantages et les inconvénients des différents types de ponts dépendent de leur conception et de leur utilisation prévue. Par exemple, les ponts en arc sont très esthétiques mais peuvent être coûteux à construire, tandis que les ponts à poutres ont des coûts de construction et d'entretien relativement faibles mais peuvent être limités en termes de portée.
- 6- Le tablier est la partie supérieure du pont où circulent les véhicules. . Il comprend la couverture (revêtement) et la partie de l'ossature sensiblement horizontale situé sous la voie portée

- 7- Une dalle de transition est une structure qui relie le tablier du pont à la chaussée en aval du pont. Elle permet de compenser la différence de hauteur entre le tablier du pont et la chaussée.
- 8- Les culées sont des Appuis d'extrémité, elles assurent le soutènement du remblai d'accès à l'ouvrage.
- 9- Pour assurer la stabilité d'un remblai d'accès, il est important de s'assurer que le sol est suffisamment compacté et que les pentes sont suffisamment douces pour éviter les glissements de terrain. Des techniques de stabilisation telles que la pose de géotextiles peut également être utilisées.
- 10- La construction de ponts peut avoir un impact environnemental important, notamment en termes d'altération des habitats naturels et de fragmentation des habitats fauniques. Pour atténuer ces impacts, des mesures peuvent être prises telles que la restauration des habitats, la construction de passages pour la faune et l'utilisation de matériaux écologiques.
- 11- Un encorbellement est une technique de construction qui consiste à faire avancer la partie supérieure d'une structure au-delà de sa base de soutien. Les différents types d'encorbellements sont :
- Encorbellement simple : il s'agit de la technique la plus courante, dans laquelle les pierres ou les blocs de béton sont empilés en saillie les uns sur les autres pour créer une structure en porte-à-faux.
 - Encorbellement en console : il s'agit d'un type d'encorbellement plus complexe, qui utilise des consoles en saillie pour soutenir la structure.
 - Encorbellement en encorbellement : il s'agit d'une technique qui consiste à utiliser plusieurs encorbellements en série pour créer une structure plus complexe.
 - Encorbellement en porte-à-faux : il s'agit d'un type d'encorbellement qui utilise une poutre en porte-à-faux pour soutenir la structure.

II. CLASSIFICATION DES PONTS

QUESTIONNAIRE

- 1- Qu'es ce qu'un ouvrage d'art ?
- 2- Quels sont les différents types d'ouvrage d'art qui existent ?
- 3- Définis un pont et donne ses différentes partie
- 4- Quelle est la différence entre une pile et une pile-culée ?
- 5- Quel est le rôle d'un appareil d'appui ?
- 6- Quelle est la différence entre un mur de front et un mur de tête ?
- 7- Suivant le fonctionnement mécanique, quels sont les types de ponts dont nous pouvons disposer ?
- 8- Comment fonctionne-t-il un pont suspendu ?
- 9- Donne trois avantages et trois inconvénients d'un pont en arc.
- 10- Qu'es ce qu'un pont levis ? Schéma annoté à l'appui
- 11- Donnez le rôle de la dalle de transition.
- 12- Donner la différence entre un pont courant type, un pont courant non type et un pont non courant
- 13- Quand es ce qu'on parle de passage inférieur ?
- 14- Quand es ce qu'on parle de PSI-DP ? Citez les techniques de précontrainte que vous connaissez.
- 15- Citez les différents types de pont courant ferroviaire. Donnez un exemple dans chaque cas.
- 16- Choisir la (les) bonne(s) réponse(s)
 - I. Un pont canal :
 - a) Est un pont à tablier mobile
 - b) Fais passer une canalisation d'eau
 - c) Fais passer une voie de navigation intérieure
 - II. Pour un ouvrage à dalle rectangulaire, la gamme de portée minimale dans le cas de travées isostatiques est de :

- a) 7m
- b) 14m
- c) 7 à 10m

17- Répondez par vrai ou faux à l'affirmation suivante et justifiez votre réponse :

- Du point de vue fonctionnement mécanique, un pont bow-strings est un pont en arc
- L'angle entre la ligne d'appui et l'axe longitudinal d'un pont biais est de 90°

PROPOSITION DE REPONSE

1-

Un ouvrage d'art se définit comme une construction de grande importance nécessitée par le rétablissement d'une voie de communication (route, voie ferreuse, canal etc...), un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau, un dispositif de retenue des eaux, et autre.

2-

Nous pouvons distinguer : les ouvrages de franchissement ou liés à des voies de communications, les ouvrages de protection ou de soutènement, ouvrages de retenues d'eau et les autres ouvrages d'art.

3-

Un pont est un ouvrage en élévation, construit *in situ*, permettant à une voie de circulation (dite voie portée) de franchir un obstacle naturel ou artificiel : **rivière, vallée, route, voie ferrée, canal, etc.**

Un pont est composé d'un tablier, des appuis (piles, culées, piles-culées), une fondation, l'ouverture, la portée, le gabarit.

4-

Les piles sont des appuis intermédiaires tandis que les piles-culées sont des appuis d'extrémité enterrés dans le remblai d'accès (totalement ou partiellement).

5-

Un appareil d'appui permet la transmission des charges du tablier aux appuis dans de bonnes conditions et favorise de petites déformations horizontales et de petits mouvements de rotation du tablier sous l'effet des charges.

6-

Un mur de front garde le tablier et assure la stabilité du remblai d'accès alors qu'un mur de tête soutient le remblai latéral.

7-

Nous pouvons distinguer : le pont cadre, le pont à poutre, le pont dalle, le pont en arc, le pont à câble, le pont à treillis.

8-

Les **ponts suspendus** sont des ponts dont les éléments porteurs principaux sont des câbles auxquels les réactions du tablier sont transmises par des suspentes (Figure 2-7). Ces câbles porteurs métalliques passent au sommet de pylônes et sont ancrés dans des culées de dimensions imposantes. Ces ouvrages sont le plus souvent *à trois travées* ; les travées latérales sont généralement des travées suspendues, quelquefois des travées indépendantes.

9-

Avantages :

- Hauts niveaux de forces et de résistance (de nombreux ponts romains existent encore)
- S'adapte bien aux conditions environnementales locales
- Plus grande portée par rapport aux ponts en poutres (bien que moins de portée que les types de pont en porte-à-faux et en suspension)

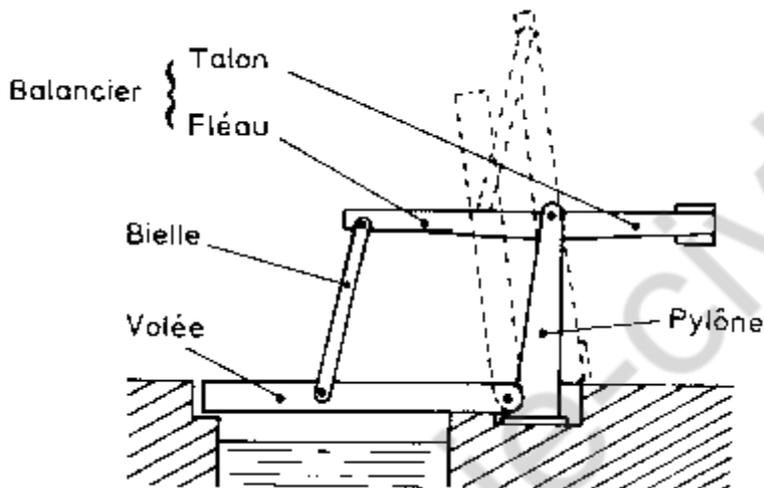
Inconvénients :

- La création d'une longue portée nécessite plus d'arc
- Long temps de construction et d'entretien
- Nécessite un support latéral solide pour compléter une portée réussie

10- Pont levis

Ce type de pont bascule comme dans le cas des ponts basculants, mais ces ponts sont plutôt soulevés par des tirants de levage (rotation par rapport à un axe horizontal).

✚ Schéma annoté à l'appui



11- Donnez le rôle de la dalle de transition.

La dalle de transition permet par son inclinaison une transition continue entre la partie susceptible de subir un tassement (le remblai d'accès) et le début du pont.

12- Donner la différence entre un pont courant type, un pont courant non type et un pont non courant.

➤ **Pont courant type** : Ce sont des ponts dont la conception et les règles de dimensionnement sont prévus par SETRA.

➤ Pont courant non type :

Ce sont les ouvrages courants non prévus par les guides de dimensionnement et de conception SETRA pouvant présenter des difficultés particulières de conception ou d'exécution :

- Liées au terrain ;

- Liées à un emploi limite de solution classique (grandes buses d'ouverture supérieure à 5 ou 6m par exemple)
- Dues à des modifications de solutions types résultant de la géométrie du tracé ou de recherches architectural (Biais ou courbure prononcés, appuis sophistiqués, etc.) ;
- Dues à l'emploi de structures moins classiques (ponts à béquilles, paravalanches etc....) ou au recours de techniques encore peu courantes et non codifiées ;
- Dues aux caractères innovants de la technique ou du procédé.

➤ **Ponts non courants**

Ce sont :

- les ponts possédant au moins une travée de plus de 40m de portée (ou 50m pour les ponts conformes au type VIPP du SETRA) ;
- les ponts dont la surface totale dépasse 1200 m².
- les ponts mobiles et les ponts canaux.
- les ouvrages se caractérisant par des difficultés particulières de dimensionnement, de conception ou de réalisation, relevant de techniques de construction ou de procédés innovants, présentant des géométries complexes (biais important, courbure prononcée...), nécessitant des travaux de fondations spéciaux, des études particulières (effets dynamiques), des phasages d'exécution complexes (contrainte d'exploitation maintien de la circulation...), ayant un fonctionnement structurel complexe ou répondant à des contraintes architecturales spécifiques.

13- On parle de passage inférieur lorsque le pont fait passer une voie de communication en dessous d'une voie de référence.

14- On parle de PSI-DP (Passages Supérieurs ou Inférieurs en Dalle Précontrainte) lorsque le pont est constitué d'une dalle précontrainte longitudinalement et armée transversalement, de hauteur constante.

✚ Les techniques de précontrainte :

- La précontrainte par pré-tension
- La précontrainte par post tensions

15- Les différents types de pont courant ferroviaire.

Nous distinguons :

- Les ponts à tabliers dans lesquels le béton constitue l'élément porteur principal

Exemple : pont à poutre, pont cadre, pont portique

- Les ponts à tabliers dans lesquels le béton est associé à un élément porteur métallique.

Exemple : Ponts à poutrelles enrobées, ponts mixtes acier-béton ;

16- Choisir la (les) bonne(s) réponse(s)

❖ Un pont canal :

c) Fais passer une voie de navigation intérieure

❖ Pour un ouvrage à dalle rectangulaire, la gamme de portée minimale dans le cas de travées isostatiques est de :

b) 14 m

17- Répondez par vrai ou faux à l'affirmation suivante et justifiez votre réponse

- Du point de vue fonctionnement mécanique, un pont bow-strings est un pont en arc : **FAUX**

Justification

Dans le cas des ponts « **bow-strings** » la poussée de l'arc est équilibrée par la traction du tirant horizontal et rend ainsi les réactions d'appui verticales.

Ce cas particulier d'ouvrage, bien qu'apparaissant extérieurement comme

un pont en arc, possède un tablier dont le fonctionnement mécanique est celui d'un pont à poutres.

- L'angle entre la ligne d'appui et l'axe longitudinal d'un pont biais est de 90° : **FAUX**

Justification

L'angle d'inclinaison est supérieur à 0° et est inférieur à 90° .

III. ELABORATION D'UN PROJET DE PONT ROUTIER

1-Quelles sont les différentes étapes de l'élaboration d'un projet routier.

Les différentes étapes de l'élaboration d'un projet routier sont :

- L'étude préliminaire
- L'avant-projet sommaire (APS)
- L'avant-projet détaillé (APD)
- Le dossier de consultation des entreprises le DCE

2- Quelles sont les actions que comprends l'étude préliminaire

Les actions que comprends l'étude préliminaire sont :

- Réexamen du cahier d'esquisse avec l'Architecte et le Maître d'Œuvre ;
- Définition des partis architecturaux par l'Architecte

- **Réexamen du cahier d'esquisse avec l'Architecte et le Maître d'Œuvre**

L'architecte retenu participe à la conception du projet en proposant, éventuellement, de Nouvelles esquisses de solutions, en plus de celles définies dans le cahier d'esquisse, des évolutions ou des modifications structurales des esquisses retenues, justifiées par le parti architectural. Puis l'équipe de maîtrise d'œuvre définit, en concertation avec le maître d'ouvrage, les solutions qui méritent d'être présentées dans le dossier d'études préliminaires. Selon l'importance de l'ouvrage, on retiendra de deux à une dizaine de solutions illustrant les différentes possibilités « *raisonnables* » pour réaliser le franchissement.

Le programme des études géotechniques et hydrauliques doit permettre de valider la faisabilité des solutions retenues et de définir la nature des fondations possibles. Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive prenant en compte l'ensemble des implantations d'appui possibles, mais de décrire, en plan et en profil, le cadre géologique et hydrogéologique du site. Ces études doivent souligner les difficultés majeures, notamment les accidents géologiques ainsi que les instabilités déclarées ou potentielles.

3-Quelles sont les composantes du dossier APD ainsi que le dossier APS.

Décrivez brièvement ces composantes

Les composantes de l'APS sont

-Les plans

Ils décrivent la variante adoptée et sont identiques à ceux de l'EP, seulement les dimensions de l'ouvrage sont plus précises.

- Les pièces écrites

— Mémoire général : il comporte les points suivants :

- Aperçu général sur l'ouvrage projeté et son site,
- Système de charges pour lesquelles sera calculé l'ouvrage, dans le cas d'un site fluvial, un calcul hydraulique sera donné pour vérifier la débouchée de l'ouvrage,
- Précision des points qui n'ont pas été éclaircis à la phase préliminaire et qui nécessitent des enquêtes sur le site telles que : passages de canalisations et de lignes divers, contraintes hydrologiques etc.,
- Les objectifs architecturaux que doit faire apparaître l'ouvrage.

- Programme géotechnique indiquant les différents essais demandés au laboratoire ainsi que les emplacements des sondages sur le terrain ;
- Estimation du projet : une nouvelle estimation de l'ouvrage est établie selon les nouvelles dimensions qu'on lui a adoptées.

- Les composantes de l'APD sont

- Les plans

L'APD contient les mêmes plans que l'APS et L'EP avec quelques petits changements dans les dimensions. En plus de ces plans, le bureau d'études doit présenter.

- Le plan d'implantation de l'ouvrage (1/1000 ou 1/500) ;
- Le plan de coffrage des poutres (1/100 ou 1/50) ;
- Le plan de ferrailage des poutres (1/100 ou 1/50);
- Le plan de câblage des poutres si elles sont en B. P (1/100 ou 1/50) ;
- Le plan de coffrage et ferrailage de l'hourdis (1/20) ;
- Le plan de détail des équipements du tablier tels que le garde-corps, la bordure de trottoir, le revêtement avec la chape d'étanchéité, les joints de chaussée, les appareils d'appuis, les gargouilles etc. (1/50 ou 1/25 ou 1/20);
- Le plan de coffrage et ferrailage de la pile (1/100 ou 1/50);
- Le plan de coffrage et ferrailage de la culée (1/100 ou 1/50);
- Le plan de coffrage et ferrailage de la semelle pile (1/100 ou 1/50) ;
- Le plan de coffrage et ferrailage de la semelle culée (1/100 ou 1/50);
- Le plan de coffrage et ferrailage des pieux s'il y a lieu (1/100 ou 1/50);
- Le plan de coffrage et ferrailage de la dalle de transition (1/100 ou 1/50).

-Les pièces écrites

— Mémoire général : élaboré par le BET, ce mémoire comporte les points suivants :

- Aperçu général sur l'ouvrage projeté et son site,

- Conclusion de l'étude hydraulique, ▪ étude architecturale et paysagère.

— Etude géotechnique, elle est établie par le laboratoire et comprend les parties :

- Étude géologique du site avec des coupes du sol d'assises en différents points de sondage,
- Profondeur d'ancrage avec le type de fondations choisi : superficielle, semi profonde et profonde,
- La contrainte admissible du sol,
- Les tassements prévisibles du sol d'assise,
- Résultat des différents essais établis sur site ou au laboratoire.

— Note de calcul : le BET doit justifier les dimensions de l'ouvrage par une note de calcul qui comprend :

Les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés

- Les différentes sollicitations de l'ouvrage: statiques, convois normaux et spéciaux, séisme, vent, température etc.,
- Le calcul des efforts et déformations de l'ouvrage sous différentes combinaisons d'actions,
- Le dimensionnement de la structure selon les résultats des efforts,
 - description des différents essais sur site ou au laboratoire.

— Métré de l'ouvrage : les quantités sont de plus en plus proches de la réalité. Le devis quantitatif et estimatif est assez fin. L'erreur commise sur cette estimation ne doit pas dépasser les 15 % du montant réel de l'ouvrage

4-Quelles sont les différentes procédures de passation de marchés de travaux publics

Les différentes procédures de passation de marchés de travaux publics :

- Les marchés par adjudication;
- les marchés sur appel d'offres;
- Les marchés négociés

5-Quels sont les types d'appel d'offre que vous connaissez.

Les types d'appel d'offre :

- Les appels d'offres sur projet de base sans variantes ;
- Les appels d'offres sur projet de base avec variantes;
- Les appels d'offres sur concours;
- Les appels d'offres sur performances.

IV. EQUIPEMENTS DE PONTS

1. Citez les équipements principaux d'un pont
2. Quelles sont les fonctions que doivent assurer un joint de chaussée ?
3. Quelle est l'utilité des dispositifs de retenue ?
4. Quelle différence faites-vous entre glissières, barrières et garde-corps ?
5. Quels sont les différents types de séparateur que vous connaissez ?
6. Quels intérêts présente la couche de roulement ?
7. Quelle est l'importance des corniches ?
8. Quels rôles joue la dalle de transition ?

Correction

1- Les équipements principaux d'un pont :

- Les appareils d'appui
- Le revêtement du tablier
- Les trottoirs
- Les dispositifs de retenues
- Les joints de chaussées et de trottoir
- Les systèmes d'évacuation des eaux
- Les corniches
- La dalle de transition
- Les autres équipements divers (les perrés, l'éclairage, la signalisation, les écrans acoustiques, les dispositifs de visite).

2- Les fonctions d'un joint de chaussée

- Assurer la liberté de mouvement du pont ;
- Donner une continuité de la surface de roulement ;

- Ne pas être une source de bruit et de vibration ;
- Avoir une bonne étanchéité ou une bonne évacuation des eaux.

3- Utilité des dispositifs de retenue

Les dispositifs de retenue permettent d'assurer la sécurité des piétons, des usagers et des véhicules circulant sur l'ouvrage.

4- Différence faits-vous entre glissières, barrières et garde-corps

- Les **garde-corps** ont essentiellement pour rôle **la protection des piétons**. Sauf dans des cas particuliers où ils sont spécialement renforcés, ils ne sont pas conçus pour résister au choc accidentel d'un véhicule léger.
- Les **glissières** par contre sont des éléments destinés à retenir des véhicules légers dont les conducteurs ont perdu le contrôle. Il existe des glissières souples et des glissières rigides.
- Les **barrières** quant à elles sont destinées à empêcher des véhicules lourds de tomber du pont, et à essayer de les remettre, si possible, dans la bonne direction.

5- Les différents types de séparateur

Nous avons deux types de séparateurs

- **Séparateur double DBA** de poids 620 kg/ML.
- **Séparateur simple GBA** de poids 700 kg/ml.

6- Intérêt de la couche de roulement

La couche de roulement vient au-dessus de la chape d'étanchéité et doit offrir un bon uni, des caractéristiques antidérapantes adaptées et présenter une adhérence pérenne avec le système d'étanchéité.

7- Importance des corniches

Les corniches ont pour rôle :

— **d'améliorer l'aspect de l'ouvrage en :**

- éloignant l'eau et les souillures ;
- rattrapant les irrégularités éventuelles de la structure porteuse provenant de sa conception et de son mode d'exécution ;

- jouant sur la forme, les couleurs et les proportions de la corniche.

— **d'assurer des fonctions secondaires telles que :** support au relevé d'étanchéité, butée de trottoir, scellement du garde-corps, etc.

— **En plus de ces rôles principaux, les corniches peuvent se présenter comme un larmier pour l'écoulement latéral des eaux** et ainsi éviter le ruissellement de l'eau sur la partie porteuse de la structure.

8- Rôles de la dalle de transition

- La dalle de transition est d'atténuer les effets de tassement du remblai à proximité de l'ouvrage.

-Elle permet aussi de protéger le remblai d'accès contre l'infiltration des eaux.

- La dalle de transition contribue à supporter la chaussée sous les zones circulées

V. PROGRAMME DE CHARGE ET SOLLICITATION DE CALCUL

Exercice 1

Calculer la charge $A(l)$ pour le pont représenté dans la figure.

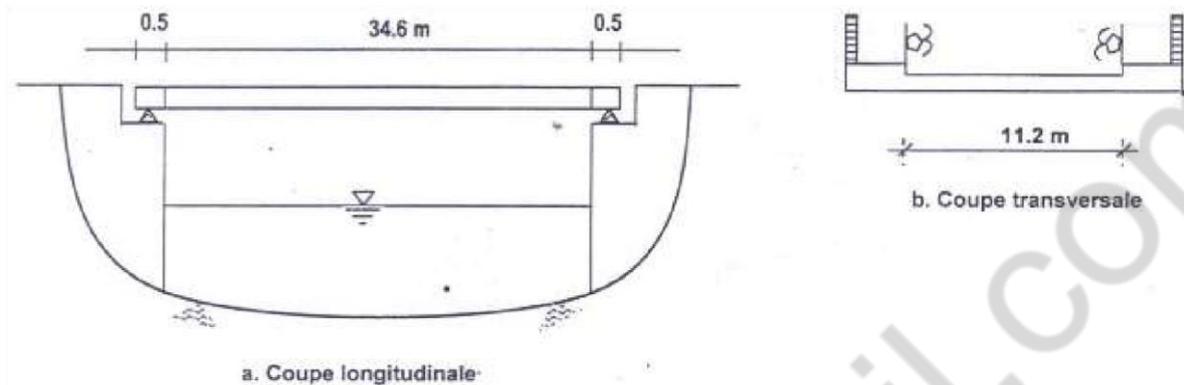


Fig.1 Détail d'un pont à une seule travée

Solution

$$A(l) = 2.3 + \frac{360}{12+l}$$

$$A(l) = 2.3 + \frac{360}{12+34.6} = 10.025 \text{ kN/m}^2$$

La largeur roulable $L_r = 11.2 \text{ m} \geq 7 \text{ m}$ alors le pont est de la 1^{ère} classe.

La largeur chargeable $L_{ch} = 11.2 - 2 \times 0.2 = 10.2 \text{ m}$

Le nombre de voies : $N_v = E \left(\frac{L_{ch}}{3} \right) = E \left(\frac{10.2}{3} \right) = E(3.4) = 3$

La largeur d'une voie : $v = \frac{L_{ch}}{N_v} = \frac{10.2}{3} = 3.4 \text{ m}$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pont de classe 1} \\ \text{Nombre de voies } N_v = 3 \end{array} \right. \Rightarrow a_1 = 0.9$

$$A_1(l) = \max(a_1 \times A(l); 4 - 0.002 \times l)$$

$$A_1(l) = \max(0.9 \times 10.025; 4 - 0.002 \times 34.6)$$

$$A_1(l) = \max(9.023; 3.931)$$

$$A_1(l) = 9.023 \text{ kN/m}^2$$

Classe 1 $\Rightarrow v_0 = 3.50 \text{ m}$

$$a_2 = \frac{v_0}{v} = \frac{3.5}{3.4} = 1.029$$

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

$$A_2(l) = 1.029 \times 9.023 = 9.285 \text{ kN/m}^2$$

Exercice 2

Un pont route de portée égale à 30 m est constitué d'une chaussée de 8.8 m de largeur possédant une glissière de sécurité d'un seul côté. Le tablier est constitué de 8 poutres précontraintes espacées de 1.4 m et pesant chacune 16 KN/ml. L'entretoisement est assuré par l'hourdis, et le poids total sans les poutres est de 62 KN/ml.

Calculer le coefficient de majoration δ_{Bc} dans les 2 cas suivants :

- a- Etude des poutres
- b- Etude de l'hourdis

Solution

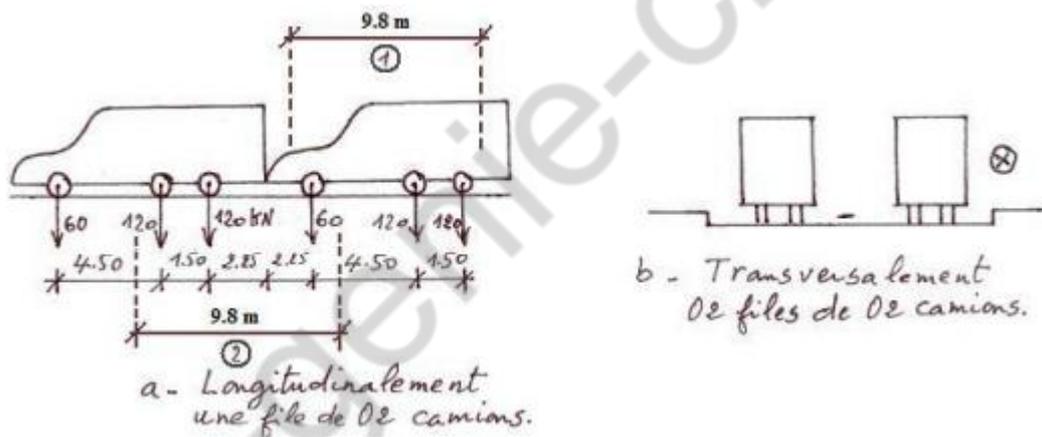


Fig 2: Disposition des essieux Bc sur la longueur $L = 9.8 \text{ m}$

- a- Etude des poutres

Le coefficient de majoration dynamique s'écrit :

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1+0.2L} + \frac{0.6}{1+4 \times \frac{G}{S}}$$

Puisqu'il s'agit de poutres, la longueur : $L = l_p = 30 \text{ m}$

La charge permanente : $G = g_t \times L$

Avec $g_t = 8 \times 16 + 62 = 190 \text{ KN/ml}$

Soit $G = 190 \times 30 = 5700 \text{ KN}$

La largeur roulable $L_r = 8.8 \text{ m} > 7 \text{ m}$ alors le pont de 1^{ère} classe.

La largeur chargeable $L_{ch} = L_r - 0.5 = 8.3 \text{ m}$

Nombre de voies : $N_V = E \left(\frac{L_{ch}}{3} \right) = \frac{8.3}{3} = E(2.76) = 2$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pont de classe 1} \\ \text{Nombre de voies } N_V = 2 \end{array} \right. \rightarrow b_c = 1.1$

La largeur de 30m suffit pour mettre 2 camions longitudinalement.

Transversalement, on peut disposer 2 files de camions puisque le nombre de voies de 2. Le nombre total de camions est de 4.

Soit $B_c = 4 \times 300 = 1200 \text{ KN}$

$S_{B_c} = b_c \times B_c = 1.1 \times 1200$

$S_{B_c} = 1320 \text{ KN}$

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1+0.2 \times 30} + \frac{0.6}{1+4 \times \frac{5700}{1320}} = 1.090$$

b- Etude de l'hourdis

La longueur de l'élément se calcule par la relation

$$L = \inf[L_P, \sup(L_r, L_B)]$$

$$L_P = 30 \text{ m} \quad ; \quad L_r = 8.8 \text{ m} \quad ; \quad L_B = 9.8 \text{ m}$$

$$L = \inf[30, \sup(8.8, 9.8)]$$

$$L = 9.8 \text{ m}$$

La charge permanente : $G = g_h \times L$

$$\text{Soit } G = 62 \times 9.8 = 607.6 \text{ KN}$$

La longueur de 9.8 m ne suffit pas pour mettre longitudinalement la totalité des essieux des 2 camions Bc. On cherchera donc la charge maximale qu'il est possible de disposer sur 9.8 m.

D'après la figure ci-dessous, les dispositions 1 et 2 permettent d'avoir une charge maximale de 300 KN sur la longueur de 9.8 m

Transversalement on peut disposer 2 files de camions puisqu'on dispose de 2 voies. La charge totale est donc

$$B_c = 2 \times 300 \text{ KN}$$

$$S_{B_c} = b_c \times B_c = 1.1 \times 600 = 660 \text{ KN}$$

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1+0.2 \times 30} + \frac{0.6}{1+4 \times \frac{607.6}{660}} = 1.263$$

Exercice 3

Calculer la force de freinage développée par les systèmes $A(l)$ et B_c dans le tablier d'un pont portique en B.A de portée 13 m.

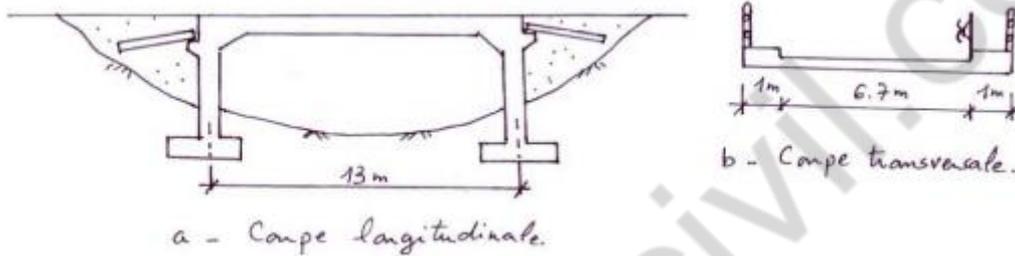


Fig. 3 Exemple d'un pont portique

Solution

1- Freinage du au système $A(l)$:

$$A(l) = 2.3 + \frac{360}{12+l}$$

$$A(l) = 2.3 + \frac{360}{12+13} = 16.7 \text{ KN/m}^2$$

La largeur roulable $L_r = 6.70 \text{ m}$

On a $5.5 \text{ m} < L_r < 7 \text{ m} \rightarrow$ Pont de classe 2.

La largeur chargeable $L_{ch} = L_r - 0.5 = 6.20 \text{ m}$.

$$\text{Nombre de voies : } N_v = E \left(\frac{L_{ch}}{3} \right) = \frac{6.2}{3} = E(2.07) = 2$$

$$\text{La largeur d'une voie : } v = \frac{L_{ch}}{N_v} = \frac{6.2}{2} = 3.1 \text{ m}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pont de classe 2} \\ \text{Nombre de voies } N_v = 2 \end{array} \right. \Rightarrow a_1 = 0.9$$

$$A_1(l) = \max(a_1 \times A(l); 4 - 0.002 \times l)$$

$$A_1(l) = \max(0.9 \times 16.7; 4 - 0.002 \times 13)$$

$$A_1(l) = \max(15.03 ; 3.974)$$

$$A_1(l) = 15.03 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Classe 2} \Rightarrow v_0 = 3 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{v_0}{v} = \frac{3}{3.1} = 0.968$$

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

$$A_2(l) = 0.968 \times 15.03 = 14.549 \text{ kN/m}^2$$

L'aire de la zone chargée par $A(l)$: $S = L_{ch} \times l$

$$S = 6.2 \times 13 = 80.60 \text{ m}^2$$

$$Fr(A) = \frac{A_2(l) \cdot S}{20 + 0.0035 \times S}$$

$$Fr(A) = \frac{14.549 \cdot 80.6}{20 + 0.0035 \times 80.6} = 57.817 \text{ KN}$$

2- Freinage du au système Bc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pont de classe 2} \\ \text{Nombre de voies } N_v = 2 \end{array} \right. \Rightarrow b_c = 1$$

$$Fr(Bc) = b_c \times Bc$$

$$Fr(Bc) = 300 \times 1 = 300 \text{ KN}$$

Exercice 4

Un pont mixte est courbe en plan avec un rayon $R = 250 \text{ m}$ et un dévers de 8%

- 1- Calculer la force centrifuge maximale développée dans le tablier sachant que le coefficient de majoration $\delta_{Bc} = 1.18$
- 2- Quelles sont les composantes tangentielle et verticale de cette force ?

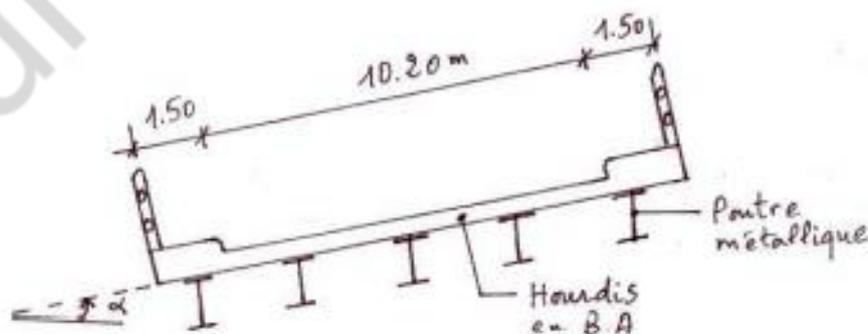


Fig. 4 Coupe transversale d'un pont courbe déversé

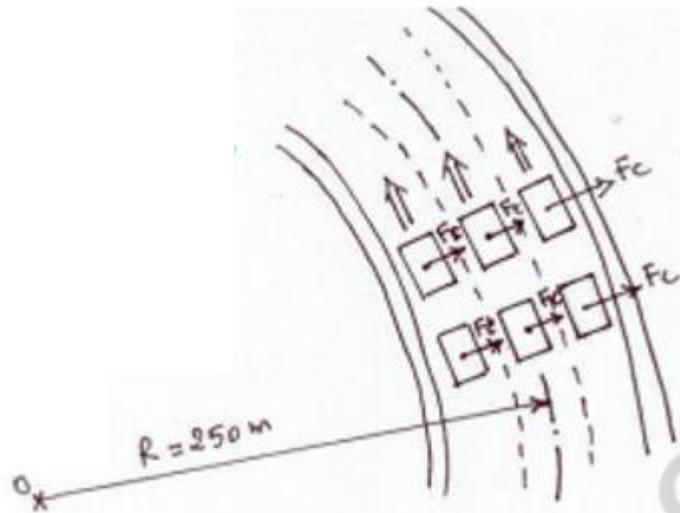


Fig. 5: Vue en plan du pont en courbe

Solution

1- La force centrifuge

La largeur roulable $L_r = 10.20 \text{ m} > 7 \text{ m} \rightarrow$ Pont de classe 1

La largeur chargeable $L_{ch} = L_r = 10.20 \text{ m}$.

$$\text{Nombre de voies : } N_V = E \left(\frac{L_{ch}}{3} \right) = \frac{10.20}{3} = E(3.4) = 3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pont de classe 1} \\ \text{Nombre de voies } N_V = 3 \end{array} \right. \Rightarrow b_c = 0.95$$

$$R = 250 \text{ m} < 400 \text{ m} \Rightarrow F_c = n_c \times B_c \times \delta_{Bc} \times \frac{(R + 150)}{(6R + 350)}$$

$$F_c = 6 \times 300 \times 1.18 \times \frac{(250 + 150)}{(6 \times 250 + 350)} = 436.284 \text{ kN}$$

Remarque : Chaque voie a son rayon de courbe, mais dans les calculs on prendra en considération seulement le rayon de la courbe en plan qui est assimilée à l'axe longitudinale du pont, soit $R=250 \text{ m}$.

2- Les composantes de la force centrifuge

$$\tan \alpha = 0.08 \Rightarrow \alpha = 4.574$$

La composante tangentielle : $F_t = \frac{F_c}{\cos \alpha}$

$$\text{Soit } F_t = \frac{436.284}{\cos(4.574)} = 437.678 \text{ kN}$$

La composante verticale : $F_v = \frac{F_c}{\sin \alpha}$

$$\text{Soit } F_v = \frac{436.284}{\sin(4.574)} = 34.903 \text{ kN}$$

Cette composante verticale peut être cumulée avec les charges $A(l)$ et B_c .

Exercice 5

Un pont routier métallique de portée de 60 m est constitué de 2 fermes latérales. De poids propre égal à 120 KN/ml, cet ouvrage est supposé reprendre les charges d'un convoi militaires du type Mc 120. Calculer le moment fléchissant maximal développé à mi travée du pont.

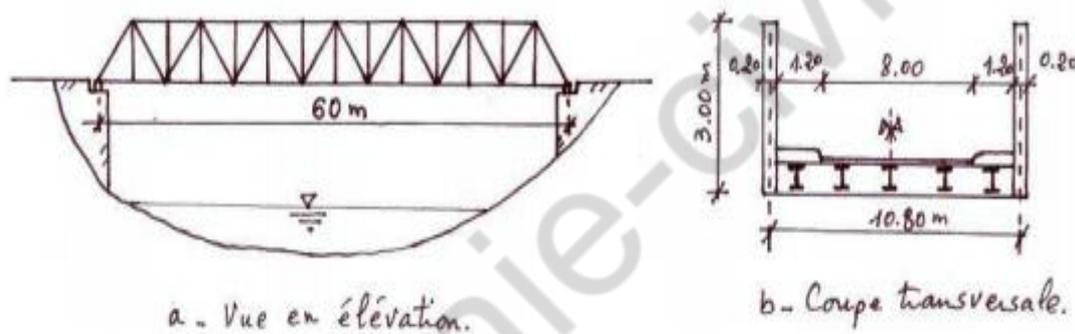


Fig 6: Vue générale du pont

Solution

Avant de calculer le moment fléchissant maximal, on doit tout d'abord connaître la valeur du coefficient de majoration dynamique.

$$\delta_{Mc 120} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

Puisqu'il s'agit d'une étude globale du pont, la longueur $L = L_p = 60 \text{ m}$

Le poids propre total de la travée étudiée : $G = g_t \times L$

$$\text{Soit } G = 120 \times 60 = 7200 \text{ kN}$$

La surcharge S est obtenue en disposant le maximum de charge du système Mc 120 sur l'ouvrage, soit 2 véhicules (Fig. 34). $S = 2 \times 1100 = 2200 \text{ kN}$

$$\delta_{Mc 120} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 60} + \frac{0,6}{1+4 \times \frac{7200}{2200}} = 1.073$$

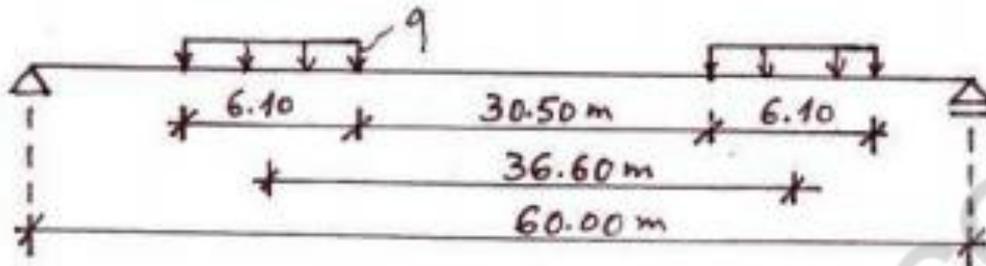


Fig. 7: Disposition longitudinale maximale des véhicules Mc 120

Le poids par mètre d'un véhicule Mc 120 est :

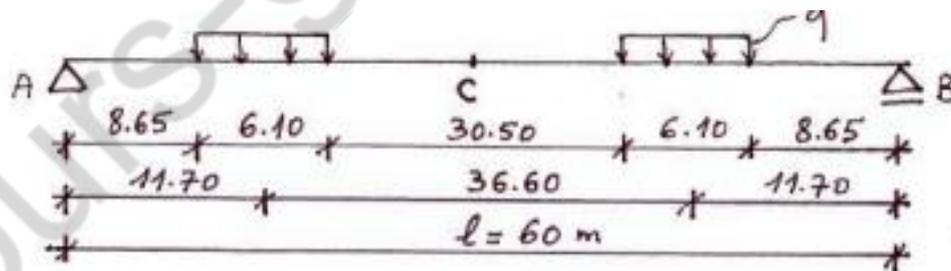
$$q = \frac{1100}{6.1} = 180.328 \text{ kN}$$

Pour calculer le moment fléchissant maximal à mi travée, on peut envisager 2 cas :

Le 1er cas : 2 véhicules Mc 120 disposés symétriquement par rapport au milieu C de la travée.

$$R_A = R_B = 1100 \text{ kN}$$

$$M_C = R_A \times \frac{l}{2} - 1100 \times \frac{36.6}{2} = 12870 \text{ kN.m}$$

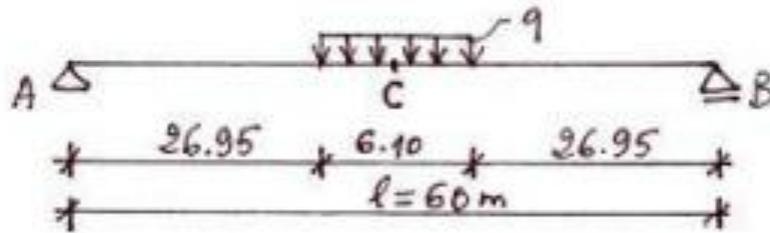


Le 2e cas : Un véhicule Mc 120 disposé au milieu de la travée.

$$R_A = R_B = \frac{1100}{2} \text{ kN}$$

$$M_C = R_A \times \frac{l}{2} - q \times \left(\frac{6.1}{2}\right) \times \left(\frac{6.1}{4}\right)$$

$$M_C = 550 \times \frac{60}{2} - \frac{1100}{6.1} \times \left(\frac{6.1}{2}\right) \times \left(\frac{6.1}{4}\right) = 15661.250 \text{ kN.m}$$



$$M_C = \max(M_C^1; M_C^2) = 15661.250 \text{ KN.}$$

Ce moment doit être multiplié par le coefficient de majoration dynamique δ_{Mc120} ,

$$\text{Soit } M_C = 15661.25 \times 1.073 = 16804.521 \text{ kN.m}$$

Exercice 6

Calculer les réactions ; maximale et minimale aux appuis A et B de l'ouvrage schématisé dans la figure 8. Le système de charges pris en compte est le convoi exceptionnel du type E 360.

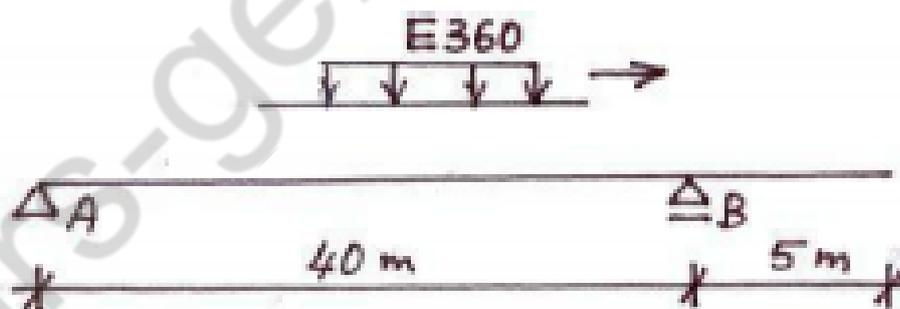


Fig.8 Schéma statique d'un pont à encorbellement soumis aux charges exceptionnelles E360

Solution

La charge par mètre linéaire du système E360 se calcule par

$$q = \frac{3600}{18.6} = 193.548 \text{ kN/ml}$$

La réaction maximale se produit dans l'appui B, tandis que la réaction minimale se produit au niveau de l'appui A. Cela se justifie par le traçage des lignes d'influence de R_A et R_B dans la figure 9.

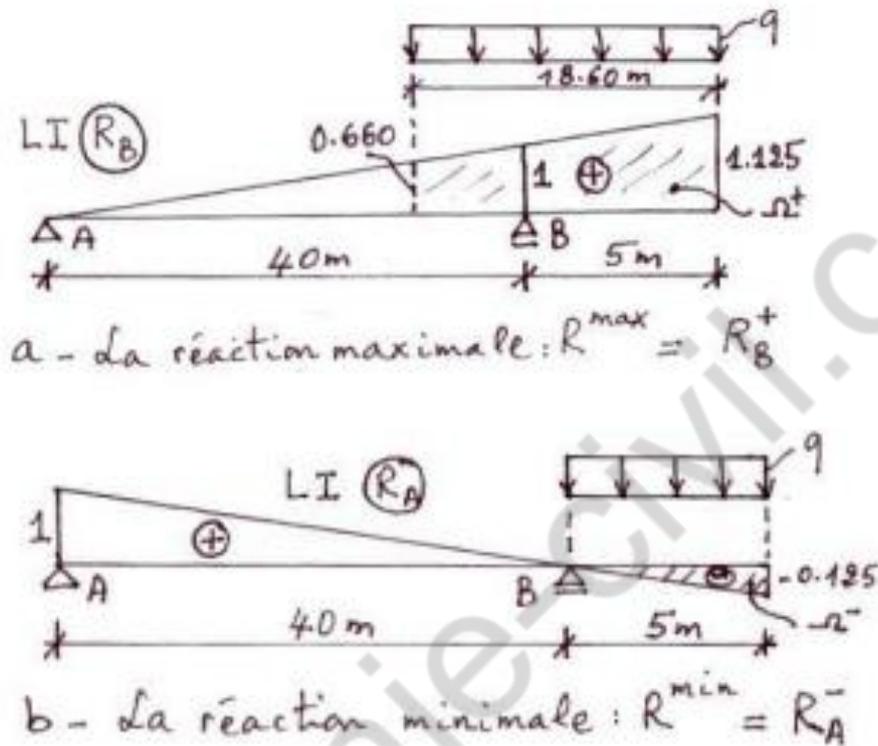


Fig. 9 :Lignes d'influence des réactions d'appuis

$$\Omega^+ = \left(\frac{0.660 + 1.125}{2} \right) \times 18.6 = 16.6$$

$$R^{max} = R^+ = q \times \Omega^+$$

$$R^{max} = \frac{3600}{18.6} \times 16.6 = 3212.903 \text{ kN}$$

$$\Omega^- = -\frac{0.125 \times 5}{2} = -0.3125$$

$$R^{min} = R^- = q \times \Omega^-$$

$$R^{min} = \frac{3600}{18.6} \times (-0.3125) = -60.484 \text{ kN}$$

Remarque : Les réactions R^{max} et R^{min} peuvent s'obtenir en utilisant l'équilibre statique de la RDM. D'après les figures 41-a et 41-b, on a :

$$\sum M_{/A} = 0 \Rightarrow R_B \times 40 - q \times 18.6 \times \left(26.4 + \frac{18.6}{2} \right) = 0$$

$$R_B = R^{max} = 3213 \text{ kN}$$

$$\sum M_{/B} = 0 \Rightarrow R_A \times 40 + q \times \frac{(5)^2}{2} = 0$$

$$R_A = R^{min} = -60.484 \text{ kN}$$

Exercice 7

Calculer le moment fléchissant maximal à mi travée dû aux charges a(1) d'une passerelle en béton précontraint représentée dans la figure 10.

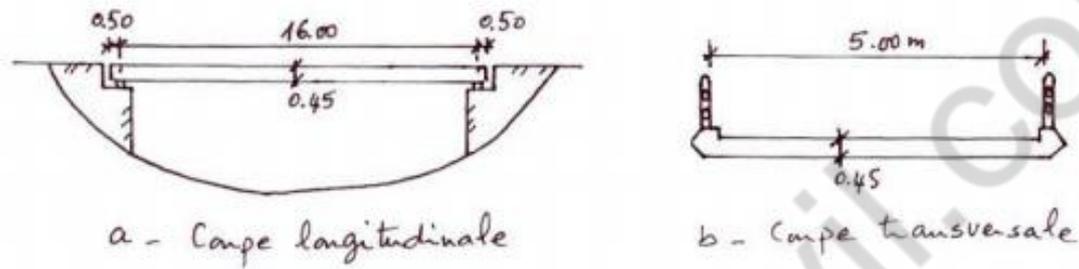


Fig. 10 Schéma d'une passerelle en B.P

Solution

Pour obtenir le moment fléchissant maximal, on ne doit charger que la longueur entre axes de la passerelle, soit $l = 16 \text{ m}$.

$$a_l = 2 + \frac{150}{l + 50}$$

$$a_l = 2 + \frac{150}{16 + 50} = 4.273 \text{ kN/m}^2$$

Par mètre linéaire de longueur, on a

$$q_{a_l} = a_l \times L$$

$$q_{a_l} = 4.273 \times 5 = 21.365 \text{ kN/ml}$$

Le moment fléchissant à mi travée dû aux surcharges

$$M = q \cdot \frac{l^2}{2} \Rightarrow M = 21.365 \cdot \frac{16^2}{2} = 683.680 \text{ kN.m}$$

Exercice 8

Pour le pont représenté dans la figure 11, Calculer en phase de service, les poussées statiques du vent :

- 1- latéralement sur le tablier,
- 2- verticalement sur la pile élancée

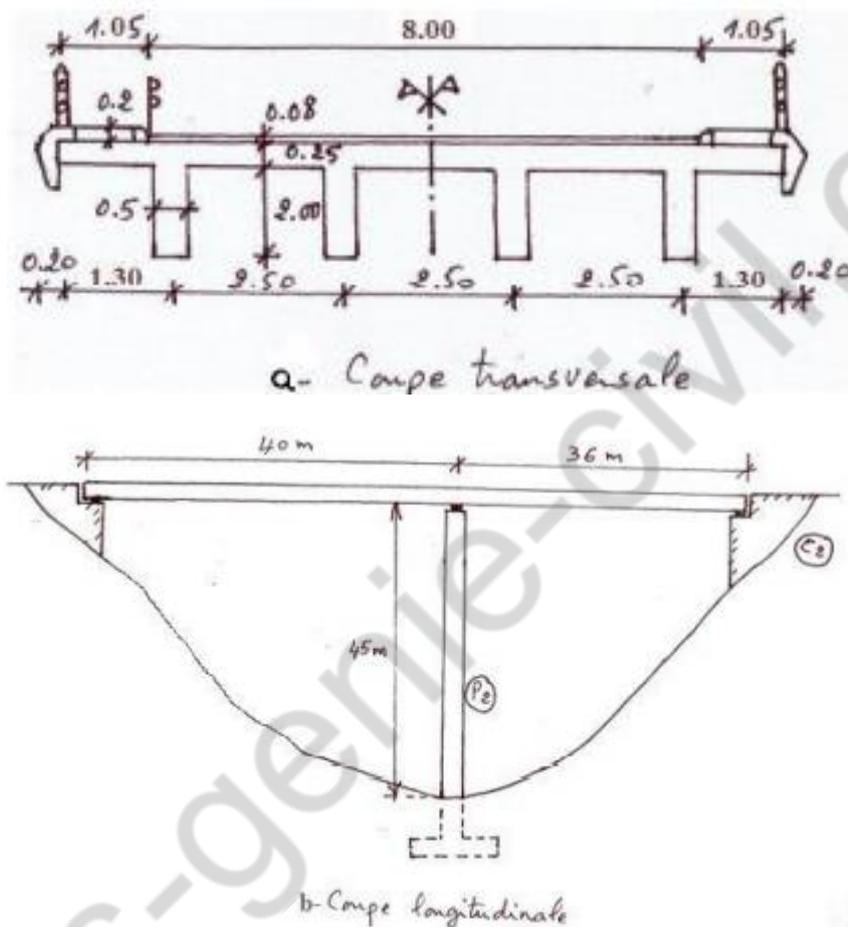


Fig. 11: Description de l'ouvrage

Solution

En service : $p_H = 2 \text{ KN/m}^2$ et $p_v = 1 \text{ KN/m}^2$

1- La poussée statique latérale sur le tablier : $F_H = p_H \cdot S$

Calculons la section latérale du tablier : $S = L \cdot h$

$$L = 36 + 40 = 76 \text{ m}$$

$$h = d + 0.6 + 0.3$$

$$d = 2 + 0.25 + 0.2 = 2.45 \text{ m} \quad \rightarrow \quad h = 3.35 \text{ m}$$

$$S = L \cdot h = 76 \times 3.35 = 254.6 \text{ m}^2$$

$$F_H = p_H \cdot S$$

$$F_H = 2 \times 254.6 = 509.2 \text{ kN}$$

2- L'effort normal dans la pile due à la pression verticale sur le tablier : $N = p_v \cdot S$

Calculons la section horizontale du tablier afférente à la pile : $S = L' \cdot B$

$$B = 8 + 2 \times 1.05 + 2 \times 0.2 = 10.5 \text{ m}$$

$$L' = (36/2 + 40/2) = 38 \text{ m}$$

$$S' = L' \cdot B = 38 \times 10.5 = 399 \text{ m}^2$$

$$N = p_v \cdot S$$

$$N = 1 \times 399 = 399 \text{ kN}$$

Exercice 9

Une pile de pont de section rectangulaire (1.5x10) m reçoit un courant fluvial de vitesse moyenne égale à 2.5 m/s. Calculer la force hydrodynamique et son moment renversant appliqués sur cette pile sachant que la profondeur d'immersion est de 9 m.

Solution

La force hydrodynamique : $F_{wa} = k \cdot \rho_{wa} \cdot b \cdot h \cdot v_{wa}^2$

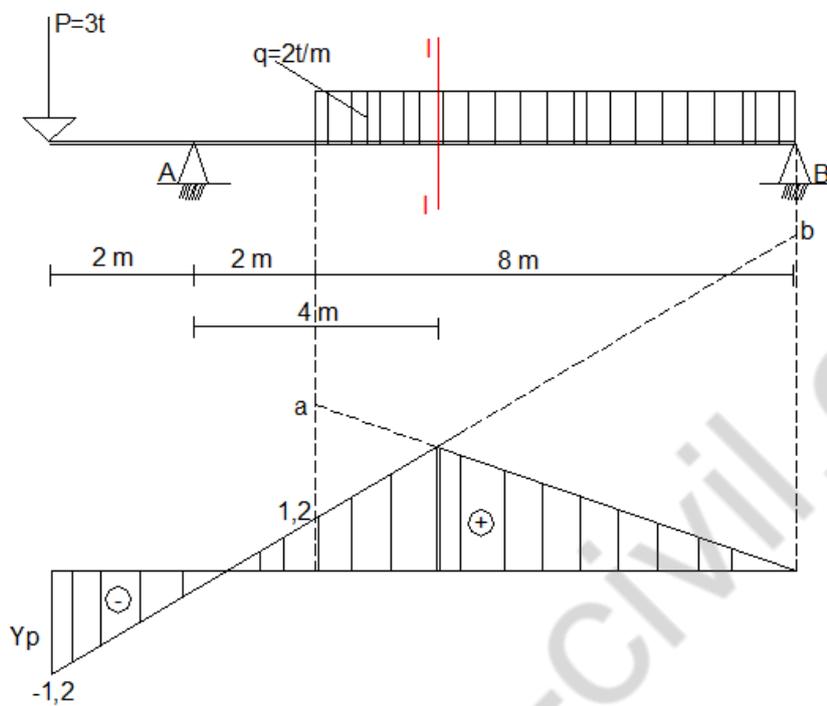
$$F_{wa} = 0.72 \times 1000 \times 1.5 \times 9 \times (2.5)^2 = 60750 \text{ N} = 60.75 \text{ kN}$$

Le moment renversant : $M = F_{wa} \cdot \frac{2h}{3} \Rightarrow M = 60.75 \times \frac{2 \times 9}{3} =$

$$364.5 \text{ kN.m}$$

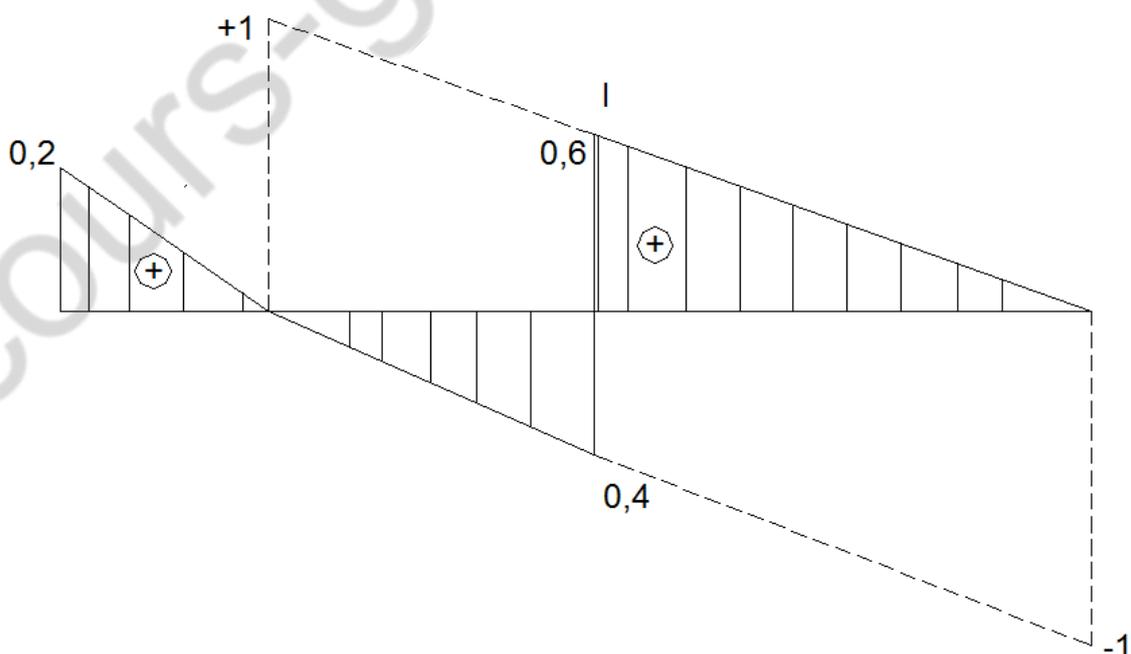
VI. LIGNES D'INFLUENCE

Exemple 1 :



$$M_I = -3 \times 1,2 + \left[2 \times \frac{1,2 + 2,4}{2} + \frac{2,4 \times 6}{2} \right] \times 2$$

$$M_I = 18t.m$$

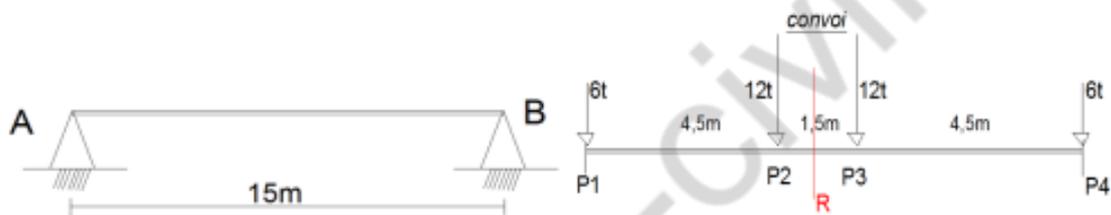


$$T_I = 0,2 \times 3 + 2 \left[-\frac{0,2 + 0,4}{2} + \frac{0,6 \times 6}{2} \right]$$

$$T_I = 3t$$

Exemple 2 :

Exercice 1 : Trouver la position du convoi pour que le moment soit maximum au droit de l'essieu P₂



La charge P₂ doit être symétrique à R par rapport au milieu de la travée

$$\Rightarrow \delta = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ et } z = \frac{\delta}{2} = 0,375 \text{ m}$$

$$R = \sum R_i = 6 + 12 + 12 + 6 = 36t$$

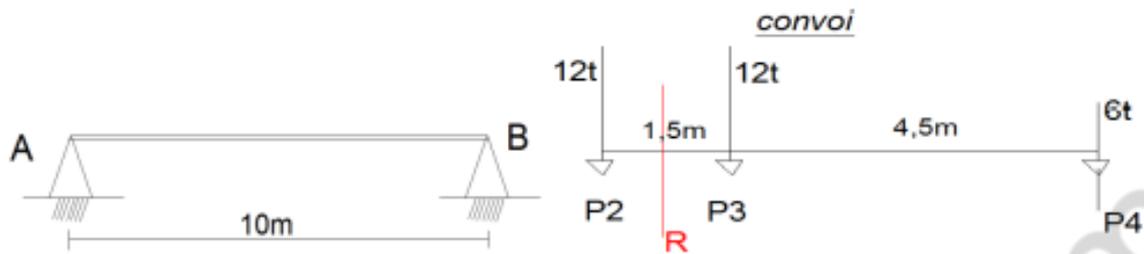
$$R_A = \frac{R}{l} \left(\frac{l}{2} - \delta + z \right) = \frac{36}{15} \left(\frac{15}{2} - 0,75 + 0,375 \right) = \frac{36 \times 7,125}{15}$$

$$R_A = 17,1 t$$

$$R_A = \frac{R}{l} \left(\frac{l}{2} - \delta + z \right) = \frac{36}{15} \left(\frac{15}{2} - 0,75 + 0,375 \right) = \frac{36 \times 7,125}{15}$$

$$R_A = 17,1 t$$

Exercice 2 : Déterminer la position du convoi pour qu'on ait le M_f maxi au



droit de P_2

Position de la résultante R : par rapport à P_1 on a

$$\sum M_{ts}/P_1 = P_2 \times 4,50 + P_3 \times 6 - Rx = 0 \Rightarrow x = \frac{12(4,50 + 6)}{30}$$

$x = 4,2 \text{ m}$ C'est-à-dire R est à 0,30m de P_2 entre P_1 et P_2

Le milieu de la poutre se trouve à 0,15m à gauche de P_2

$$R_A = \frac{R}{l} \left(\frac{l}{2} - \delta \right) = R_A = \frac{30}{10} (5 - 0,30) = 14,1 \text{ t}$$

$$M_{fs} = 14,1 \times (5 - 0,15) - 6 \times 4,50$$

$$= 14,1 \times 4,85 - 6 \times 4,50 = 66,39 - 27$$

$$\mathbf{M_{fs} = 39,39 \text{ t.m}}$$

Travaux dirigés_ ligne d'influence poutre isostatique

Exercice 1 :

Le pont représenté dans la figure 13 est constitué de poutres longitudinales ayant 38 m de longueur. Selon une étude de répartition transversale des charges, chaque poutre doit supporter un camion complet QS-660.

- 1- Tracer la ligne d'influence de la réaction R_A .
- 2- En supposant que le camion circule de la gauche vers la droite, calculer R_A^{\max} et R_A^{\min}

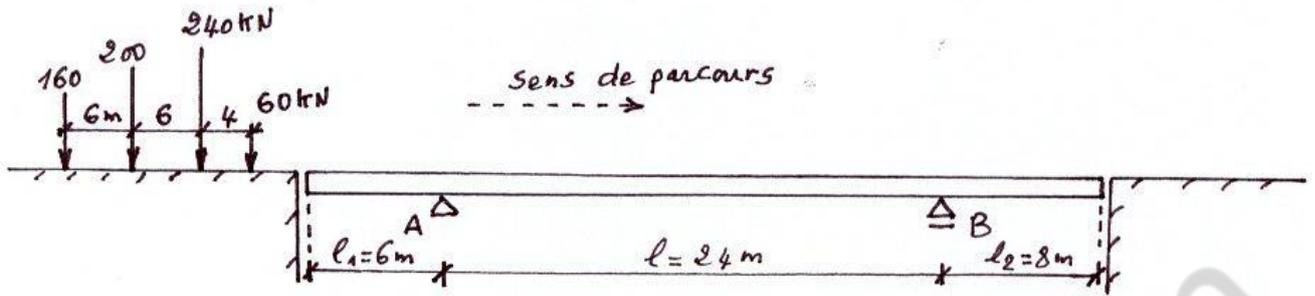
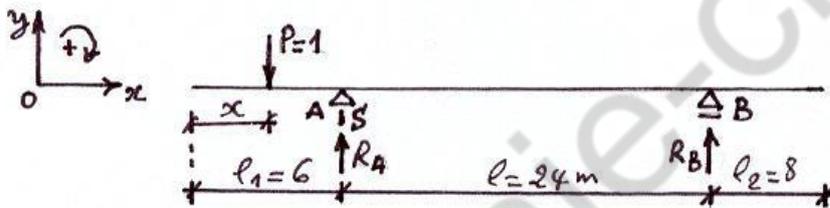


Fig. 13 Pont isostatique avec porte-à-faux

SOLUTION :

1er cas : $1 \leq x \leq l_1$



$$\sum M^t/B = 0 \Rightarrow -1 \cdot (l + l_1 - x) + R_A \cdot l = 0$$

Soit

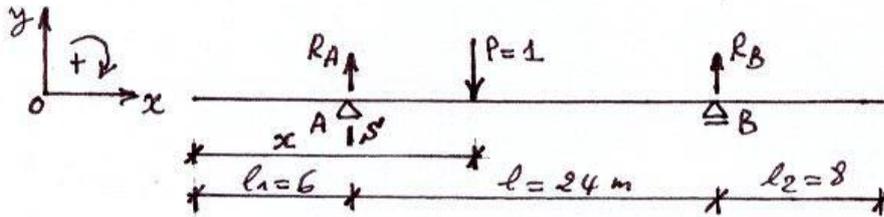
$$R_A = \frac{l + l_1 - x}{l} \Rightarrow R_A = 1 + \frac{(l_1 - x)}{l}$$

$$x=0 \Rightarrow R_A = 1 + \frac{l_1}{l}$$

$$\text{soit } R_A = 1 + \frac{6}{24} = 1.25$$

$$x=l_1 \Rightarrow R_A = 1$$

2e cas : $l_1 \leq x \leq l_1+l$



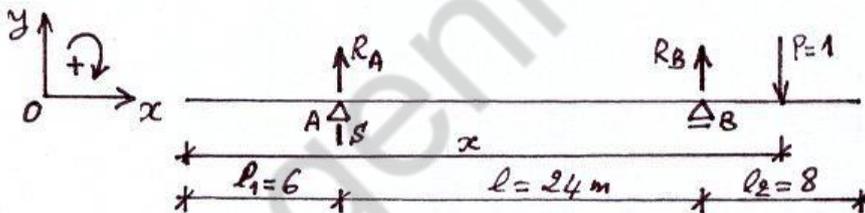
$$\sum M^t/B = 0 \Rightarrow -1.(l + l_1 - x) + R_A.l = 0$$

Soit
$$R_A = 1 + \frac{(l_1-x)}{l}$$

$$x=l_1 \Rightarrow R_A = 1$$

$$x=l_1 + l \Rightarrow R_A = 0$$

3e cas : $l_1 + l \leq x \leq l_1+l+l_2$

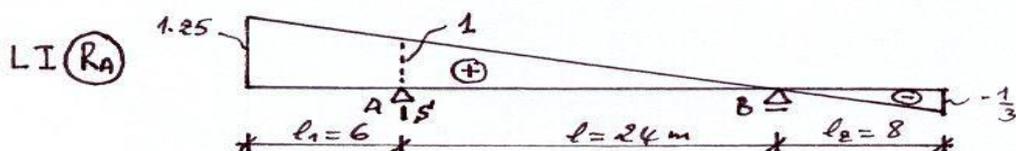


$$\sum M^t/B = 0 \Rightarrow -1.(l + l_1 - x) + R_A.l = 0$$

Soit
$$R_A = 1 + \frac{(l_1-x)}{l}$$

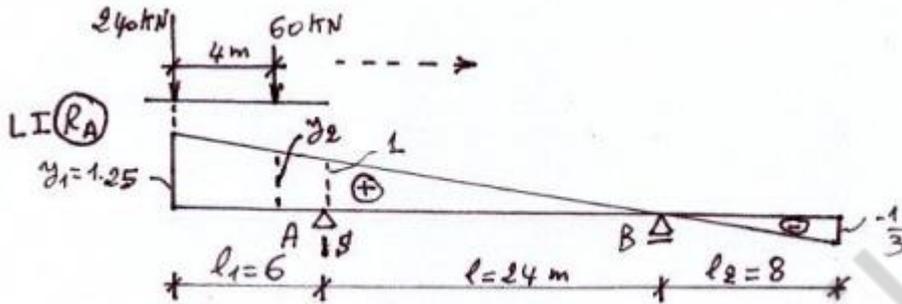
$$x=l_1 + l \Rightarrow R_A = 0$$

$$x=l_1 + l + l_2 \Rightarrow R_A = -\frac{l_2}{l} \quad R_A = -\frac{8}{24} = -\frac{1}{3}$$



2-a/ R_A^{\max} : On fait déplacer le camion dans la partie positive de la ligne d'influence de R_A selon les positions 1, 2 et 3.

Position 1 :

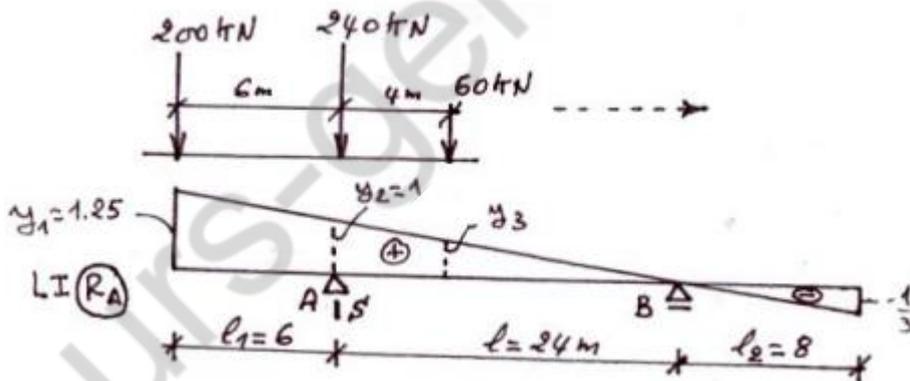


$$\frac{y_2}{26} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_2 = \frac{13}{12}$$

$$R_A^{(1)} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2$$

$$\text{Soit } R_A^{(1)} = 240 \times 1.25 + 60 \times \frac{13}{12} = 365 \text{KN}$$

Position 2:

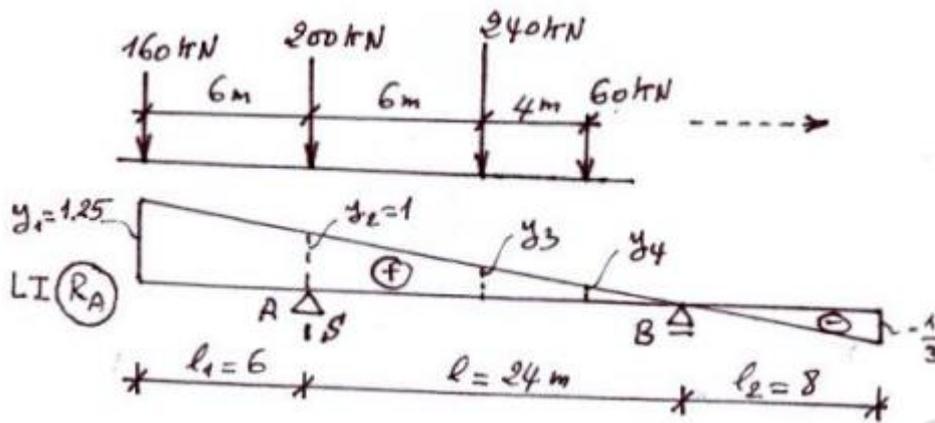


$$\frac{y_3}{20} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_3 = \frac{5}{6}$$

$$R_A^{(2)} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_3 \cdot y_3$$

$$\text{Soit } R_A^{(2)} = 200 \times 1.25 + 60 \times \frac{5}{6} + 240 \times 1 = 540 \text{KN}$$

Position 3:



$$\frac{y_3}{18} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_3 = 0.75$$

$$\frac{y_4}{14} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_4 = \frac{7}{12}$$

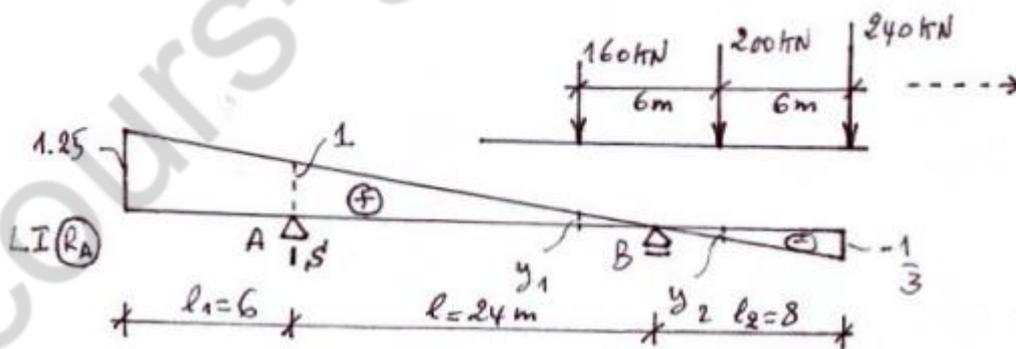
$$R_A^{(3)} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_3 \cdot y_3 + P_4 \cdot y_4$$

$$\text{Soit } R_A^{(3)} = 200 \times 1 + 60 \times \frac{7}{12} + 240 \times 0.75 + 160 \times 1.25 = 615 \text{ KN}$$

$$R_A^{(max)} = \text{Sup}(R_A^{(1)}, R_A^{(2)}, R_A^{(3)}) = 615 \text{ KN}$$

2-b/ $R_A^{(min)}$: On fait déplacer le camion dans la partie négative de la ligne d'influence de R_A selon les positions 1 et 2.

Position 1 :



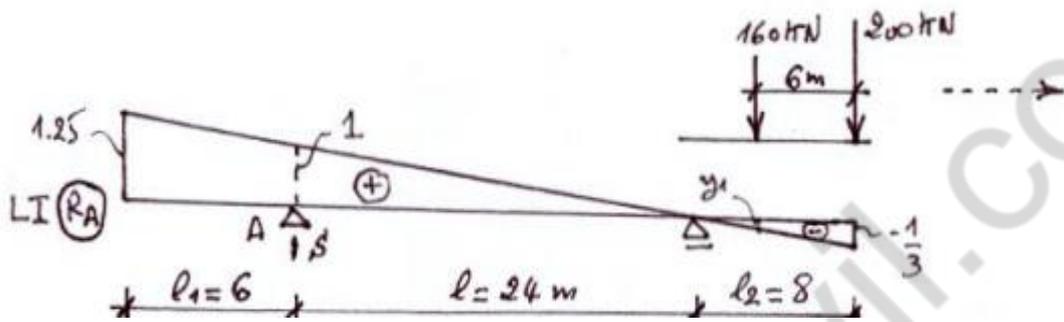
$$\frac{y_1}{18} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_1 = \frac{1}{6}$$

$$-\frac{y_2}{2} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_2 = -\frac{1}{12}$$

$$R_A^{(1)} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_3 \cdot y_3$$

$$\text{Soit } R_A^{(3)} = 160 \times \frac{1}{6} + 200 \times \left(-\frac{1}{12}\right) + 240 \times \left(-\frac{1}{3}\right) = -70 \text{ KN}$$

Position 2 :



$$-\frac{y_1}{2} = \frac{1}{24} \Rightarrow y_1 = -\frac{1}{12}$$

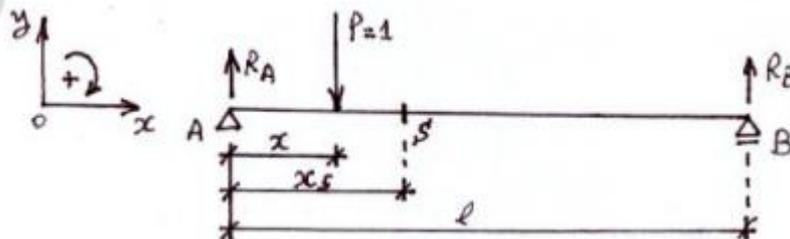
$$R_A^{(2)} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2$$

$$\text{Soit } R_A^{(2)} = 160 \times \left(-\frac{1}{12}\right) + 200 \times \left(-\frac{1}{3}\right) = -80 \text{ KN}$$

$$R_A^{(min)} = \text{Inf}(R_A^{(1)}, R_A^{(2)}) = -80 \text{ KN}$$

L'effort tranchant

1- 1 er cas : $S \ x \leq x$



$$T_s = R_A - 1$$

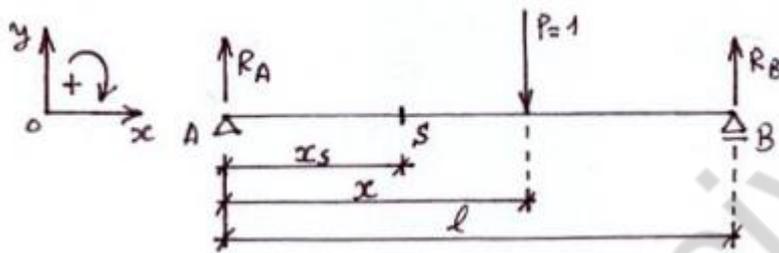
$$T_s = 1 - \frac{x}{l} - 1$$

$$T_s = -\frac{x}{l}$$

$$x=0 \Rightarrow T_s = 0$$

$$x=x_s \Rightarrow T_s = -\frac{x_s}{l}$$

2 ème cas : $x_s \leq x \leq l$



$$T_s = R_A$$

$$T_s = 1 - \frac{x}{l}$$

$$x=x_s \Rightarrow T_s = 1 - \frac{x_s}{l}$$

$$x=l \Rightarrow T_s = 0$$

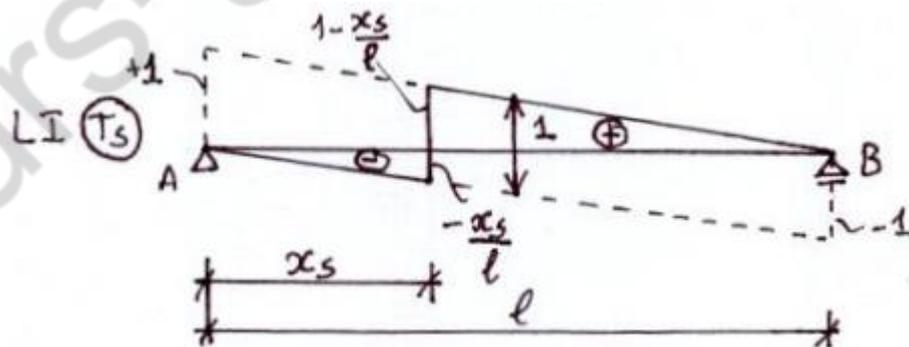


Fig. 14 La ligne d'influence de l'effort tranchant T dans la section S.

Exercice 2

Un pont route à une seule travée de longueur $l = 30$ m est constitué de poutres sous chaussée, chacune d'elles supporte une file de camions Bc.

1- Tracer la ligne d'influence de l'effort tranchant T dans la section S d'abscisse $x_s = \frac{l}{4}$.

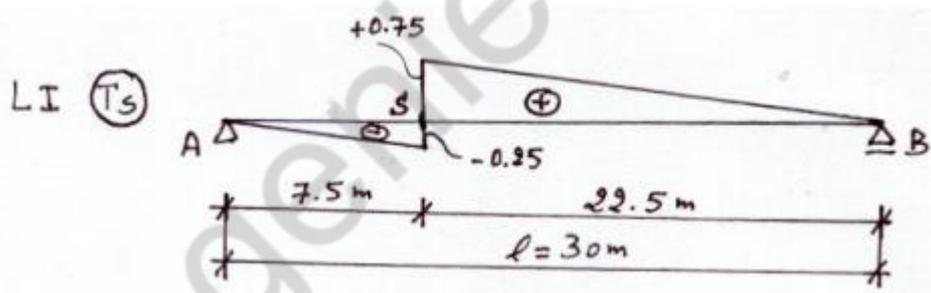
2- Calculer T_s^{\max} et T_s^{\min} .

$$b_c = 1.1 \text{ et } \delta_{Bc} = 1.139$$

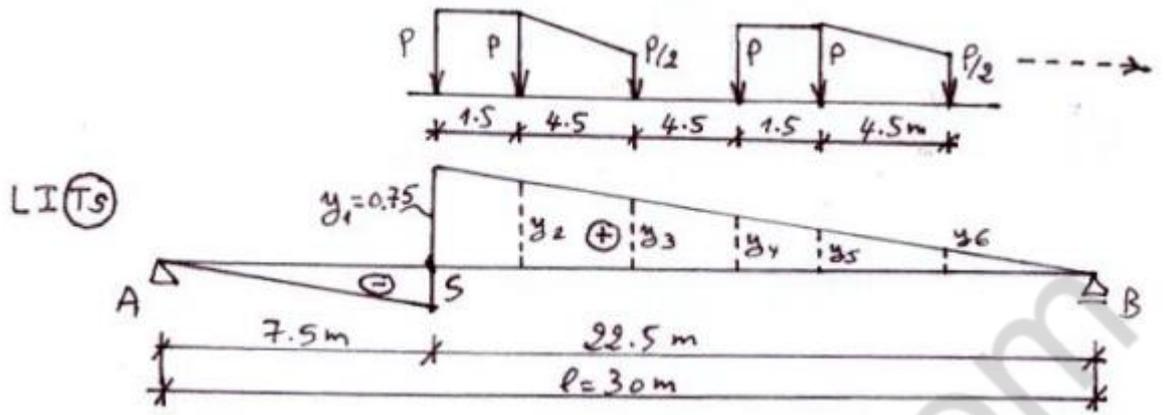
SOLUTION

1- $x = x_s^g = \frac{l}{4} \Rightarrow T_s^g = -\frac{x_s}{l} = -0.25$

$x = x_s^g = \frac{l}{4} \Rightarrow T_s^g = 1 - \frac{x_s}{l} = -0.75$



a- T_s^{\max} :



$$\frac{y_2}{21} = \frac{0.75}{22.5} \Rightarrow y_2 = 0.7$$

$$\frac{y_3}{16.5} \Rightarrow y_3 = 0.55$$

$$\frac{y_4}{12} \Rightarrow y_4 = 0.4$$

$$\frac{y_5}{10.5} \Rightarrow y_5 = 0.35$$

$$\frac{y_6}{6} \Rightarrow y_6 = 0.2$$

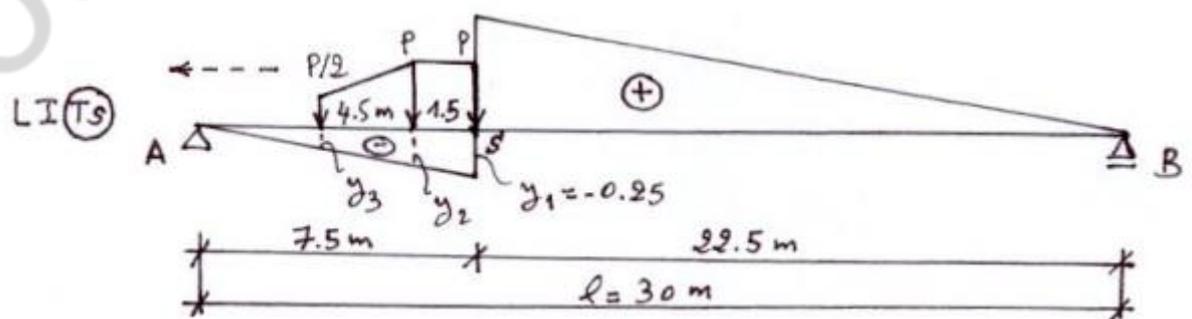
$$T_s^{max} = P \cdot \left(y_1 + y_2 + \frac{y_3}{2} + y_4 + y_5 + \frac{y_6}{2} \right)$$

$$T_s^{max} = 120 \times \left(0.75 + 0.7 + \frac{0.55}{2} + 0.4 + 0.35 + \frac{0.2}{2} \right) = 309 \text{ KN}$$

En utilisant les coefficients $b_c=1.1$ et $\delta_{BC}=1.139$, on aura

$$T_s^{max} = 309 \times 1.1 \times 1.139 = 387.146 \text{ KN}$$

b - T_s^{min} :



$$-\frac{y_2}{6} \Rightarrow -\frac{0.25}{7.5} \Rightarrow y_2 = -0.2$$

$$-\frac{y_3}{1.5} \Rightarrow -\frac{0.25}{7.5} \Rightarrow y_3 = -0.05$$

$$T_s^{min} = P \cdot \left(y_1 + y_2 + \frac{y_3}{2} \right)$$

$$T_s^{min} = 120 \times \left(-0.25 - 0.2 - \frac{0.05}{2} \right) = -57 \text{ KN}$$

En utilisant les coefficients $b_c=1.1$ et $\delta_{Bc}=1.139$, on aura

$$T_s^{min} = -57 \times 1.1 \times 1.139 = -71.415 \text{ KN}$$

Exercice 3

Un pont route à une seule travée de longueur $l = 18 \text{ m}$. On suppose que chaque poutre supporte un tandem Bt.

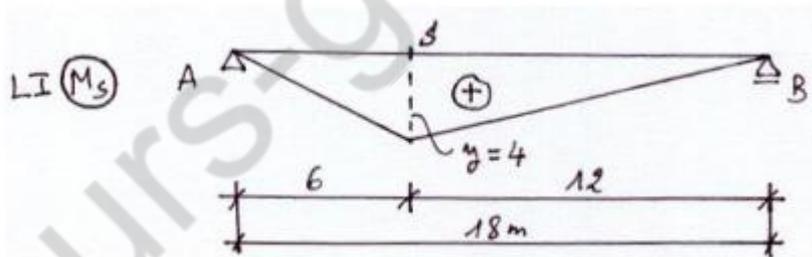
2- Tracer la ligne d'influence du moment fléchissant M dans la section S d'abscisse $x_s = \frac{l}{3}$.

2- Calculer M_s^{max} et M_s^{min} .

$b_t = 1.0$ et $\delta_{Bt} = 1.107$

SOLUTION

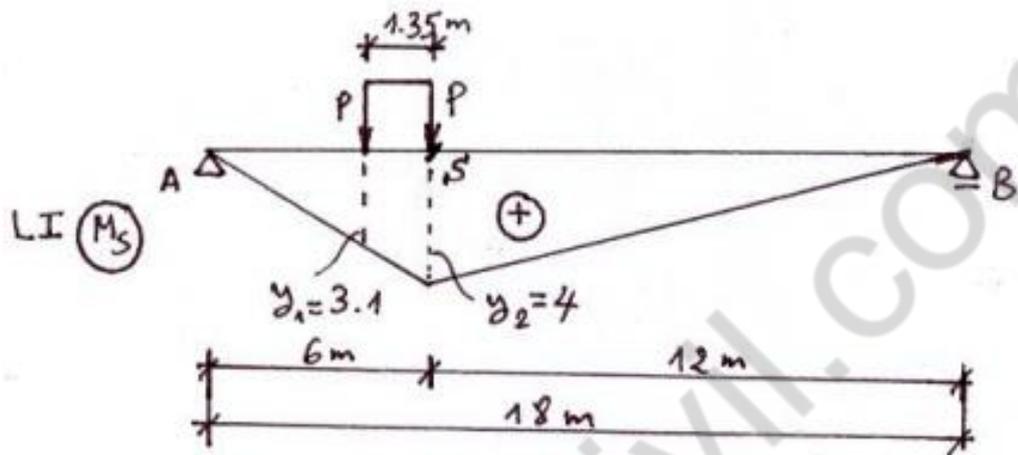
$$1- x = x_s = \frac{l}{3} = 6 \text{ m} \Rightarrow M_s = x_s \cdot \left(1 - \frac{x_s}{l} \right) = 6 \times \left(1 - \frac{6}{18} \right) = 4$$



2- Puisque la ligne d'influence de M_s est toujours positive, le moment M_s^{min} est égal à zéro, en considérant que la poutre n'est pas chargée.

Pour avoir le M_s^{min} , on fait déplacer le tandem Bt dans la zone de la ligne d'influence de M_s qui a des valeurs y_i maximales.

Positions 1 :

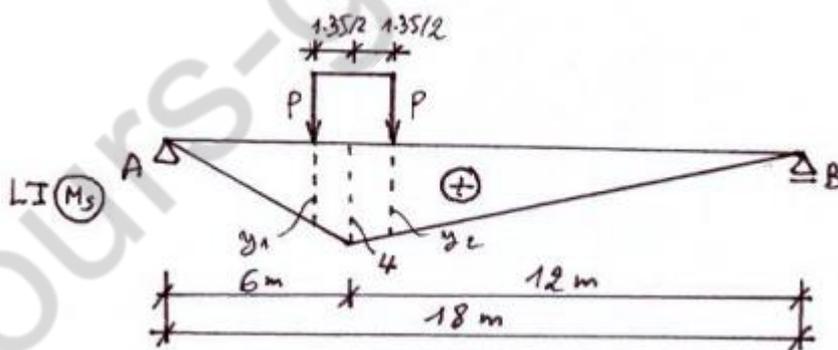


$$\frac{y_1}{4.65} = -\frac{4}{6} \Rightarrow y_1 = 3.1$$

$$M_s^{(1)} = P \cdot (y_1 + y_2)$$

$$\text{Soit } M_s^{(1)} = 160 \times (3.1 + 4) = 1136 \text{ KN.m}$$

Position 2 :



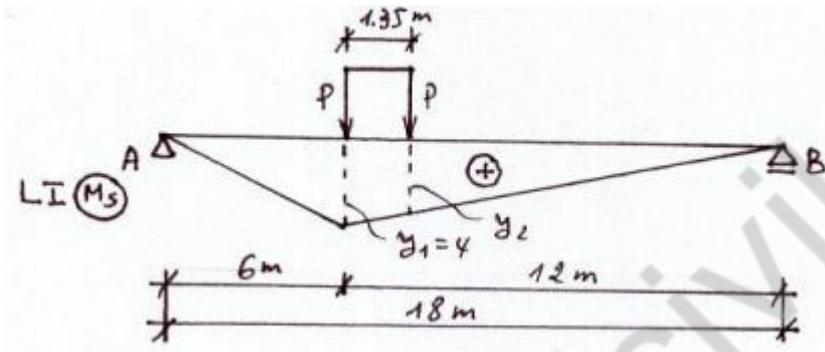
$$\frac{y_1}{5.325} \Rightarrow y_1 = 3.55$$

$$\frac{y_2}{11.325} \Rightarrow y_2 = 3.775$$

$$M_s^{(2)} = P \cdot (y_1 + y_2)$$

$$\text{Soit } M_s^{(2)} = 160 \times (3.55 + 3.775) = 1172 \text{ KN.m}$$

Position 3:



$$\frac{y_2}{12} = \frac{4}{12} \Rightarrow y_2 = 3.55$$

$$M_s^{(3)} = P \cdot (y_1 + y_2)$$

$$\text{Soit } M_s^{(3)} = 160 \times (3.55 + 4) = 1208 \text{ KN.m}$$

$$M_s^{\max} = \text{Sup}(M_s^{(1)}, M_s^{(2)}, M_s^{(3)}) = 1208 \text{ KN.m}$$

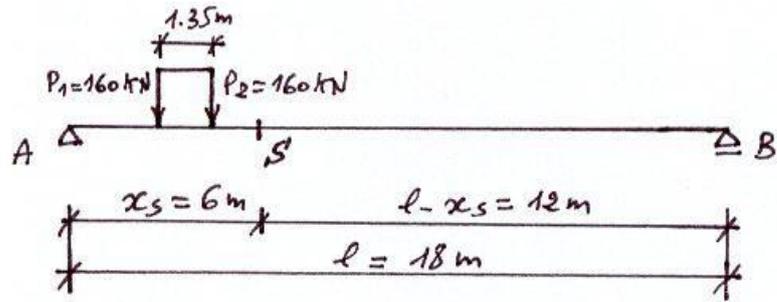
En introduisant les coefficients $b_t = 1.0$ et $\delta_{Bc} = 1.107$, on aura

$$M_s^{\max} = 1208 \times 1 \times 1.107 = 1292.560 \text{ KN.m}$$

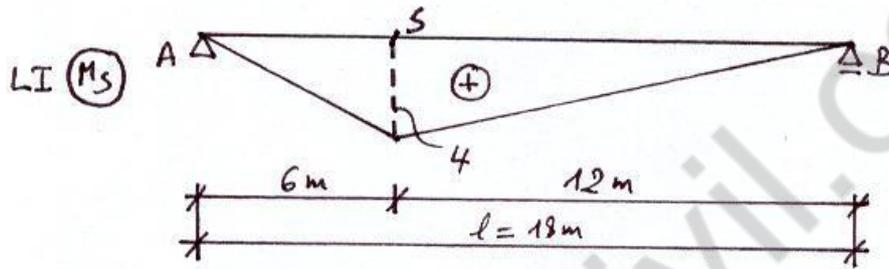
Résultat: Pour avoir le moment fléchissant maximal dans la section S, l'un des essieux doit se situer au droit de cette section. Pour un convoi contenant n essieux, on cherche le moment maximal en S à partir de n positions du convoi.

Exercice 4

En utilisant la méthode d'approximations successives, vérifier la valeur de M_s^{\max} du système Bt de l'exercice 3.



Solution



Quelle que soit la position de P_i en S, on aura

$$R = P_1 + P_2 = 320 \text{ KN}$$

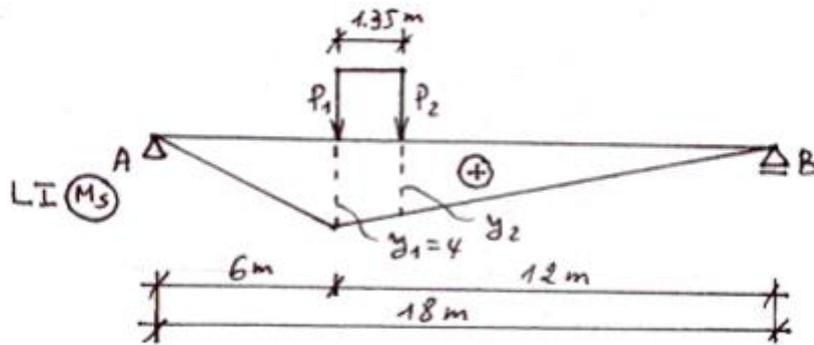
La valeur : $\frac{R \cdot x_s}{l} = \frac{320 \times 6}{18} = 106.667 \text{ KN}$

FORCE EN S	R [KN]	R . x_s / L [KN]	RG1 [KN]	RG2 [KN]	RG1 \geq R . x_s / L ET RG2 < R . x_s / L
P ₂	320	106.667	320	160	C.N.V
P ₁	320	106.667	160	0	C.V

N.B : C.N.V : Condition non vérifiée.

C.V: Condition vérifiée

La position de P1 en S donnera le moment M_S^{max}



Soit $M_S^{max} = P1 \cdot y1 + P2 \cdot y2$

$M_S^{max} = 160 \times (4 + 3.55) = 1208 \text{ KN.m}$

Cette valeur coïncide bien avec celle de l'exercice 3, elle correspond à la position 3.

Exercice 5

Une locomotive spéciale composée de 6 essieux se déplace de gauche vers la droite sur un pont-rail à une seule travée.

Calculer le moment fléchissant maximal dans la section S (fig. 18).

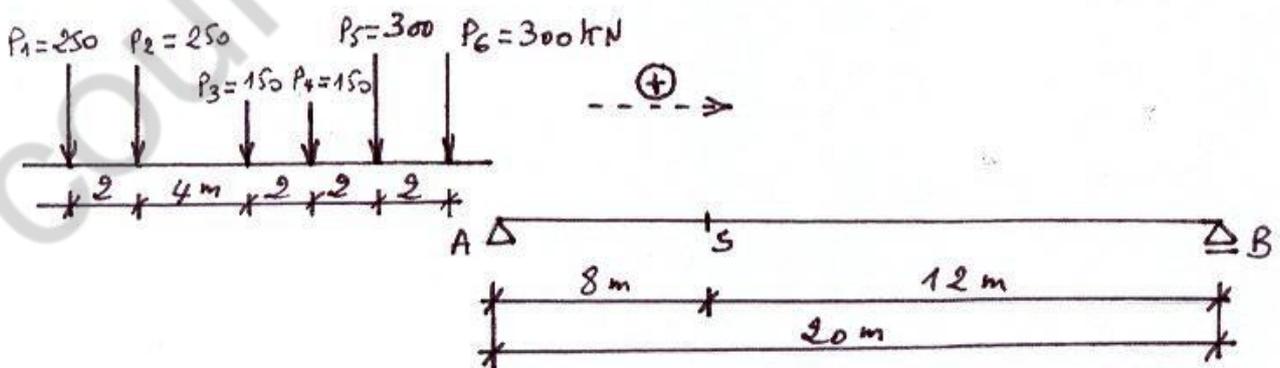


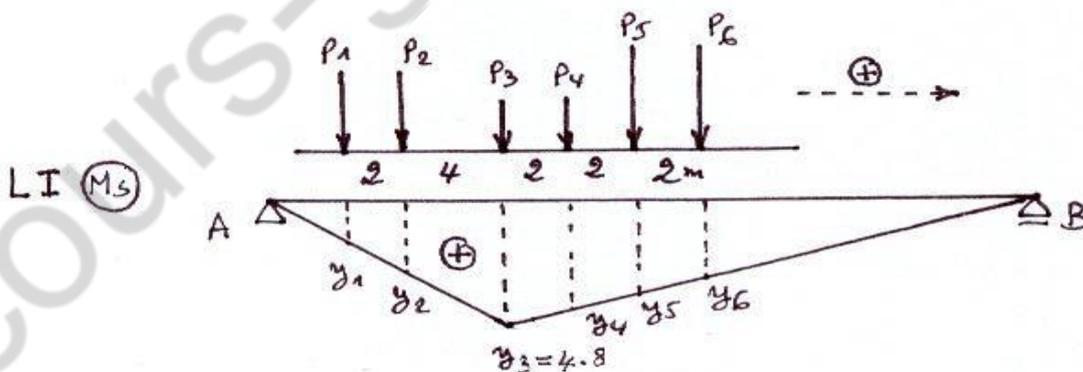
Fig. 18 Déplacement d'une locomotive dans un pont-rail.

Solution

FORCE EN S	R [KN]	R. X _S / L [KN]	RG1 [KN]	RG2 [KN]	RG ₁ ≥ R. X _S / L ET RG ₂ < R. X _S / L
P ₆	900	360	900	600	C.N.V
P ₅	1150	460	850	550	C.N.V
P ₄	1400	560	800	650	C.N.V
P ₃	1400	560	650	500	C.V
P ₂	1400	560	500	250	C.N.V
P ₁	1400	560	250	0	C.N.V

L'essieu P₃ en S donnera le moment fléchissant maximal, soit

$$M_S^{max} = \sum_{i=1}^6 P_i \cdot y_i$$

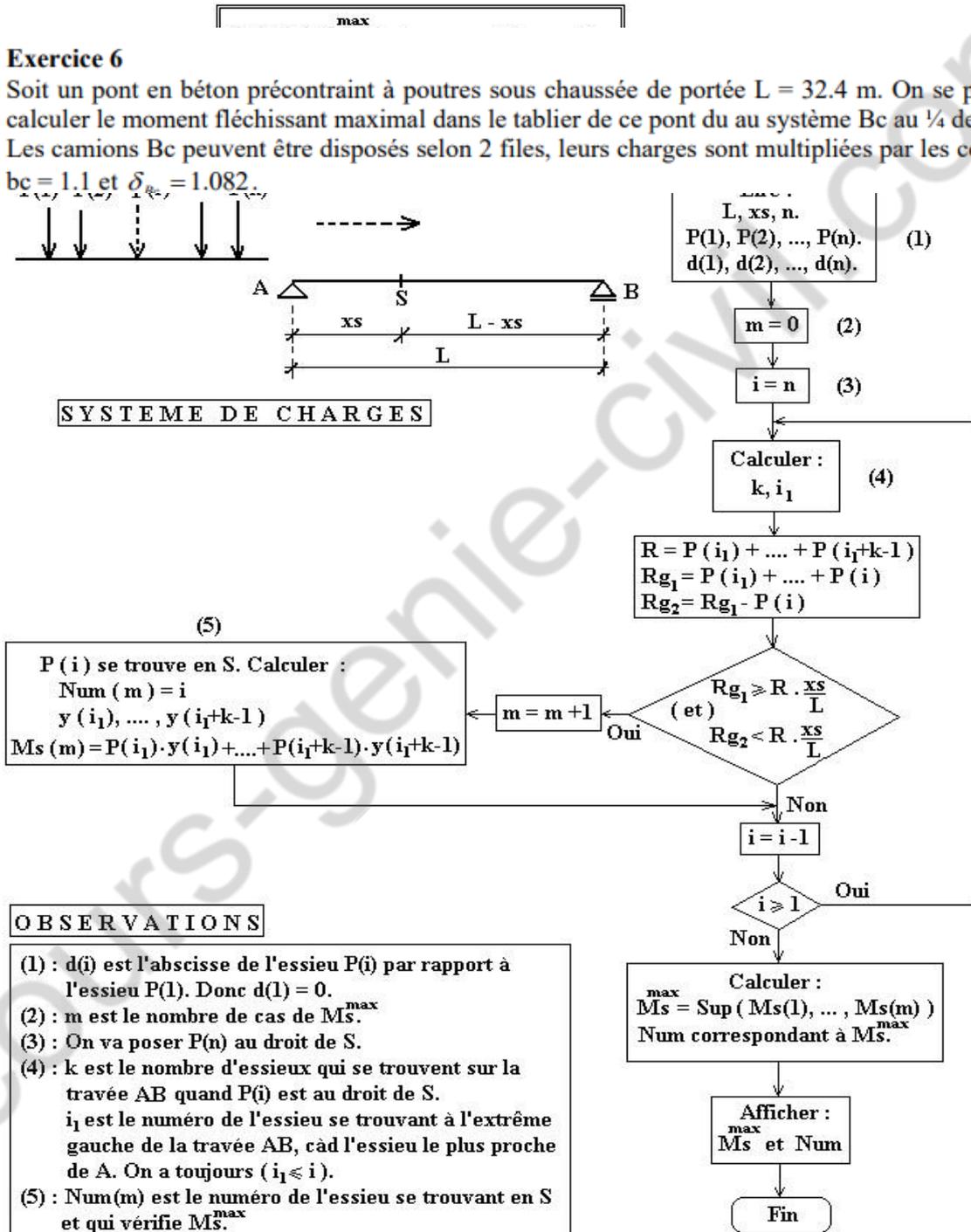


$$M_S^{max} = 250 \times 1.2 + 250 \times 2.4 + 150 \times 4 + 150 \times 4.8 + 300 \times 2.4 + 300 \times 3.2 = 3900 \text{ KN.m}$$

Remarque : Dans certains cas, la condition décrite par la relation 28 peut être vérifiée pour plusieurs cas, soit m cas tel que (m < n). Dans ces conditions, on calcule M_s pour chaque cas, le moment maximal sera

$$M_s^{max} = \text{Sup}(M_s^{(1)}, M_s^{(2)}, \dots, M_s^{(m)})$$

La procédure de calcul de M_s^{max} et son essieu correspondant est illustrée dans l'organigramme suivant



OBSERVATIONS

(1) : $d(i)$ est l'abscisse de l'essieu $P(i)$ par rapport à l'essieu $P(1)$. Donc $d(1) = 0$.

(2) : m est le nombre de cas de M_s^{max}

(3) : On va poser $P(n)$ au droit de S.

(4) : k est le nombre d'essieux qui se trouvent sur la travée AB quand $P(i)$ est au droit de S. i_1 est le numéro de l'essieu se trouvant à l'extrême gauche de la travée AB, c'est-à-dire l'essieu le plus proche de A. On a toujours ($i_1 \leq i$).

(5) : Num(m) est le numéro de l'essieu se trouvant en S et qui vérifie M_s^{max} .

SOLUTION

$$x_s = \frac{L}{4} = \frac{32.4}{4} = 8.1\text{m}$$

$$y_s = x_s \cdot \frac{(L-x_s)}{L} = 8.1 \times \frac{24.3}{32.4} = 6.075\text{m}$$

Traçons la ligne d'influence de M_s , et faisons passer le convoi Bc au droit de S.

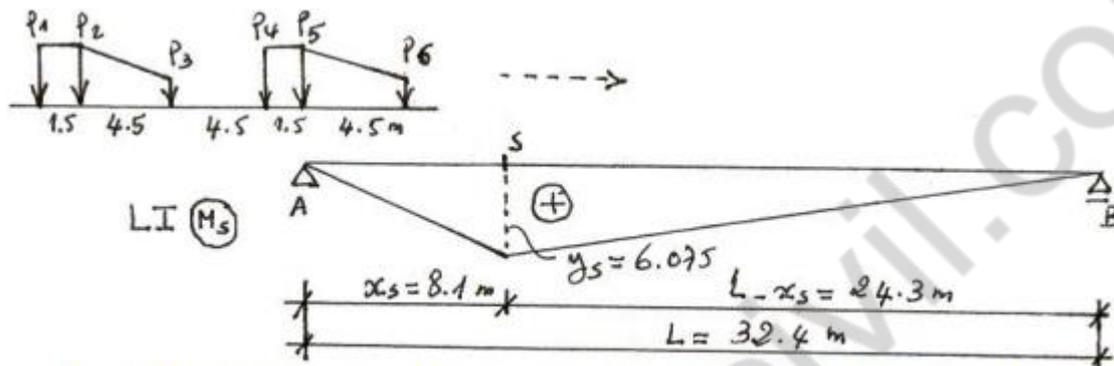


Fig. 19 Déplacement d'une file de camion Bc dans un pont à une seule travée.

FORCE EN S	R [KN]	R . x_s / L [KN]	RG1 [KN]	RG2 [KN]	$RG_1 \geq R . x_s / L$ ET $RG_2 < R . x_s / L$
P ₆	300	75	300	240	C.N.V
P ₅	360	90	300	180	C.N.V
P ₄	360	90	180	60	C.V
P ₃	600	150	300	240	C.N.V
P ₂	600	150	240	120	C.V
P ₁	600	150	120	0	C.N.V

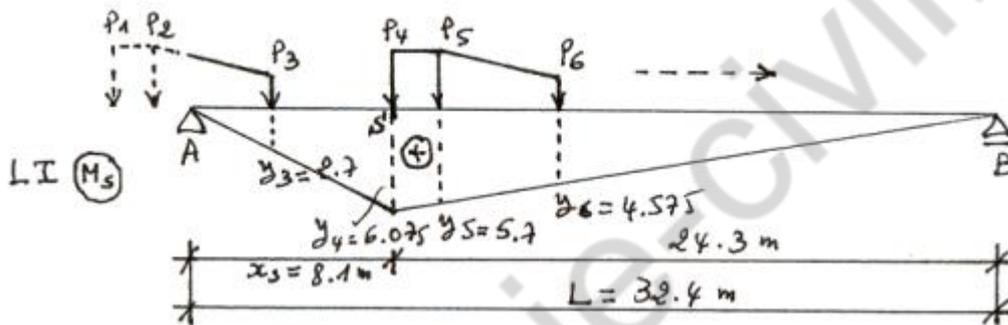
Quand les essieux P4 et P2 sont au droit de S la condition de M_s maximal est vérifiée. On calculera ce moment pour ces 2 positions et on choisira le maximum entre les deux.

Positions 1 : (P4 au droit de S)

$$M_s^{(1)} = \sum_{i=1}^6 P_i \cdot y_i$$

$$M_s^{(1)} = P \cdot \left(\frac{y_3}{2} + y_4 + y_5 + \frac{y_6}{2} \right)$$

$$M_s^{(1)} = 120 \cdot \left(\frac{2.700}{2} + 6.075 + 5.700 + \frac{4.575}{2} \right) = 1849.500 \text{ KN.m}$$



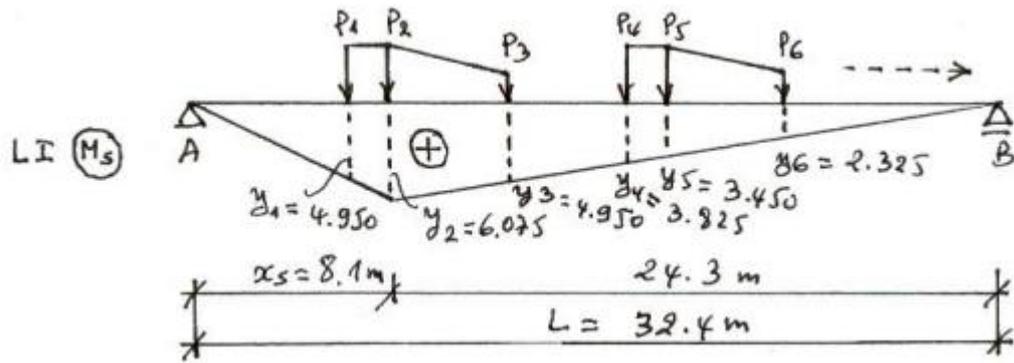
Position 2 : (P2 au droit de S)

$$M_s^{(2)} = \sum_{i=1}^6 P_i \cdot y_i$$

$$M_s^{(2)} = P \cdot \left(y_1 + y_2 + \frac{y_3}{2} + y_4 + y_5 + \frac{y_6}{2} \right)$$

$$M_s^{(2)} = 120 \cdot \left(4.950 + 6.075 + \frac{4.950}{2} + 3.825 + 3.450 + \frac{2.325}{2} \right) = 2632.500$$

KN.m



$$M_s^{max} = \text{Sup}(M_s^{(1)}, M_s^{(2)}) = 2632.500 \text{ KN.m}$$

Le nombre de files est $n = 2$, on aura

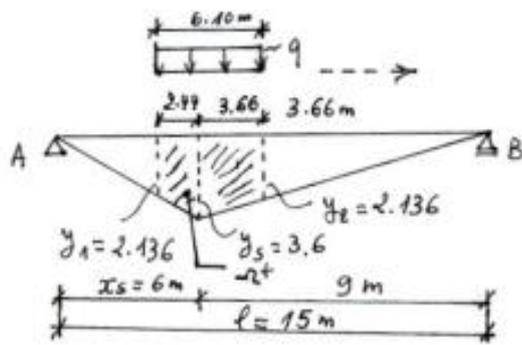
$$M_s^{max} = 2632.500 \times \delta \text{ Bc} \times \text{bc}$$

$$M_s^{max} = 2632.500 \times 1.1 \times 1.082 = 3133.202 \text{ KN.m}$$

Exercice 7

Un pont dalle de portée 15 m est parcouru par un convoi Mc120. Calculer le moment maximal dans une section située à 6m de l'appui A. Le coefficient de majoration dynamique $\delta_{Mc120} = 1.125$.

Solution:



$$y_s = xs \cdot \frac{(L - xs)}{L} = 6 \times \frac{9}{15} = 3.60$$

$$\alpha = \frac{xs}{L} = \frac{6}{15} = 0.4$$

$$\alpha \cdot D = 0.4 \times 6.1 = 2.44 \text{ m}$$

$$\Omega^+ = \frac{(2.136 + 3.6)}{2} \times (2.44 + 3.66) = 17.4948$$

$$q = \frac{1100}{6.1} \text{ KN/ml}$$

$$M_s^{\max} = q \times \Omega^+ \times \delta_{M6120}$$

$$M_s^{\max} = \frac{1100}{6.1} \times 17.4948 \times 1.125 = 3549.150 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

Exercice 8

Déterminer la section critique et le moment fléchissant maximal de la poutre représentée dans la figure 23.

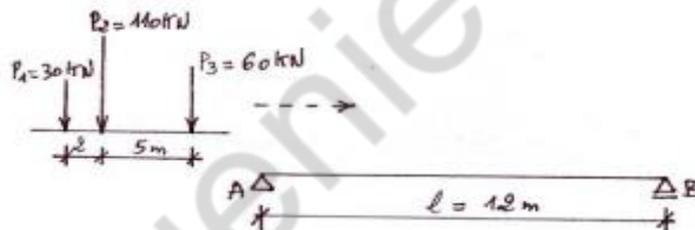


Fig. 23 Poutre soumise à un convoi composé de 3 essieux.

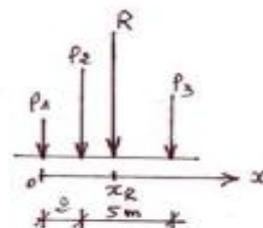
Solution

On calcule la résultante R et on détermine sa position par rapport au 1^{er} essieu (P₁ = 30 KN).

$$R = 30 + 110 + 60 = 200 \text{ KN}$$

$$x_R = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^3 P_i} = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i \cdot x_i}{R}$$

$$x_R = \frac{30 \times 0 + 110 \times 2 + 60 \times 7}{200} = 3.20 \text{ m}$$



1^{er} cas : Le convoi circule de gauche vers la droite.

La distance entre la résultante R et l'essieu P₂ est

$$d_i = x_R - x_2$$

$$d_i = 3.2 - 2 = 1.20 \text{ m}$$

Le convoi doit se positionner sur la poutre de telle façon que P_2 et R soient symétriques par rapport au milieu c de la poutre. La section critique S se trouve à gauche de c d'une distance δ (fig. 24).

$$\delta = \frac{d_1}{2} = \frac{1.20}{2} = 0.60 \text{ m.}$$

$$x_s = \frac{l}{2} - \delta$$

$$x_s = 6 - 0.6 = 5.4 \text{ m.}$$

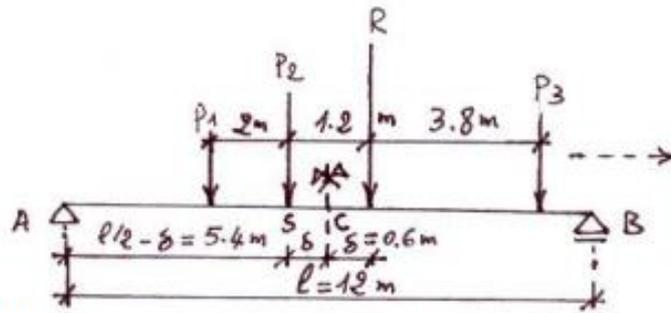


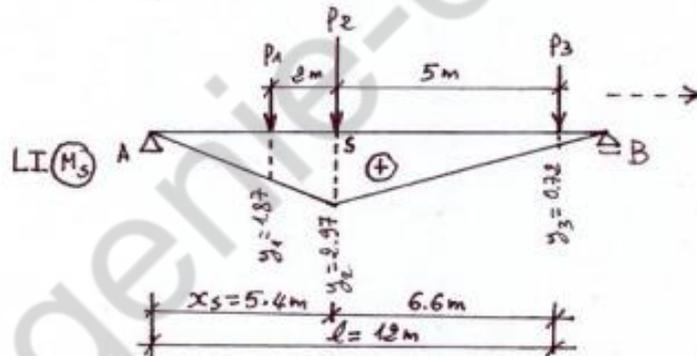
Fig. 24 Position de la section critique pour un déplacement du convoi de gauche vers la droite.

En utilisant l'équation 42, on a

$$M_s^{(1)} = \frac{Rl}{4} \cdot \left(1 - \frac{d_1}{l}\right)^2 - \sum P_i \cdot d_i$$

$$M_s^{(1)} = \frac{200 \times 12}{4} \times \left(1 - \frac{1.2}{12}\right)^2 - 30 \times 2 = 426.00 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

On peut vérifier la valeur de $M_s^{(1)}$ en utilisant les lignes d'influence.



$$M_s^{(1)} = \sum_{i=1}^3 P_i \cdot y_i$$

$$M_s^{(1)} = 30 \times 1.87 + 110 \times 2.97 + 60 \times 0.72 = 426.00 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

2^e cas : Le convoi circule de droite vers la gauche.

La distance entre la résultante R et l'essieu P₃ est

$$d_i = x_3 - x_R$$

$$d_i = 7 - 3.2 = 3.80 \text{ m}$$

La position du convoi est telle que P₃ et R soient symétriques par rapport au milieu c de la poutre. La section critique S se trouve à gauche de c d'une distance δ (fig. 25).

$$\delta = \frac{d_i}{2} = \frac{3.80}{2} = 1.90 \text{ m.}$$

$$x_S = \frac{l}{2} - \delta$$

$$x_S = 6 - 1.9 = 4.1 \text{ m.}$$

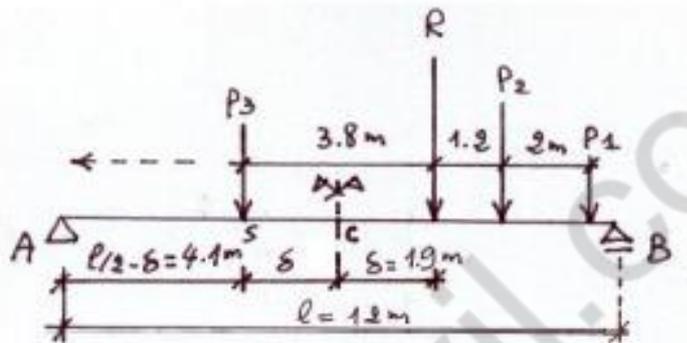


Fig. 25 Position de la section critique pour un déplacement du convoi de droite vers la gauche.

$$M_S^{(2)} = \frac{Rl}{4} \cdot \left(1 - \frac{d_i}{l}\right)^2 - \sum P_i \cdot d_i$$

$$M_S^{(2)} = \frac{200 \times 12}{4} \times \left(1 - \frac{3.8}{12}\right)^2 - 0 = 280.167 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$M_S^{(2)}$ peut être calculée en utilisant la ligne d'influence du moment fléchissant en S.

$$M_S^{\max} = \text{Sup}(M_S^{(1)}, M_S^{(2)}) = 426.00 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

La section critique correspond au 1^{er} cas, elle se situe à une distance $\delta = 1.90 \text{ m}$ par rapport au milieu c de la poutre. Son abscisse par rapport à l'appui A est $x_S = 5.4 \text{ m}$.

VII. CALCUL DES PONTS A POUTRE EN BA

Exercice d'application

Calculer par la méthode de PIGEQUD les moments en travée et en appuis selon les deux directions x et y dans un panneau d'hourdis rectangulaire de dimensions $l_x = 2.4 \text{ m}$ et $l_y = 8 \text{ m}$, sous l'effet de la roue B_r . L'épaisseur de l'hourdis est de 20m, celle du revêtement est de 8cm (6+2). Le coefficient de majoration dynamique est $\delta_{B_r} = 1.14$

Calculer la valeur de l'effort tranchant sous l'effet de

- La charge permanente
- La roue B_r

Solution

Calcul du moment fléchissant sous la roue Br

Pour une roue B_r , $a=0.6\text{m}$; $b=0.3\text{m}$

Selon x $u=a+1,5h_r+h=0.6+1.5\times 0.08+0.2=0.92\text{m}$

Selon y $v=b+1,5h_r+h=0.3+1.5\times 0.08+0.2=0.62$

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{2.4}{8} = 0.3$$

$$\frac{u}{l_x} = \frac{0.92}{2.4} = 0.383$$

$$\frac{v}{l_y} = \frac{0.62}{2.4} = 0.258$$

Doubles interpolation linéaires pour trouver la valeur de M_1 et M_2

Valeur de M_1

	0,300	0,383	0,400
0,0	0,191	0,174	0,170
0,078		0,165	
0,1	0,178	0,163	0,165

Valeur de M_2

	0,300	0,383	0,400
0,0	0,193	0,176	0,172
0,078		0,110	
0,1	0,100	0,092	0,09

$M_1 = 0,165$ et $M_2 = 0,110$

$$M_x = (M_1 + 0,15M_2) \times P \times \delta_{Br}$$

$$M_x = (0,165 + 0,15 \times 0,110) \times 100 \times 1,14 \quad M_x = 20,691 \text{ KN.m}$$

$$M_y = (M_2 + 0,15M_1) \times P \times \delta_{Br}$$

$$M_y = (0,110 + 0,15 \times 0,165) \times 100 \times 1,14 \quad M_y = 15,362 \text{ KN.m}$$

Sur appui

$$M_{x(a)} = -0,5M_x \quad M_{x(a)} = -10,346 \text{ KN.m}$$

$$M_{y(a)} = -0,5M_y \quad M_{y(a)} = -7,681 \text{ KN.m}$$

En travée

$$M_{x(t)} = 0,8M_x \quad M_{x(t)} = -10,346 \text{ KN.m}$$

$$M_{y(t)} = 0,8M_y \quad M_{y(t)} = -7,681 \text{ KN.m}$$

Calcul de l'effort tranchant

Evaluation de la charge permanente supporté par l'hourdis

-Hourdis $0,20 \times 25 = 5,00 \text{ KN.m}$

-Revêtement $0,06 \times 24 = 1,44 \text{ KN.m}$

-Etanchéité $0,02 \times 24 = 0,48 \text{ KN.m}$

$$g = 6,92 \text{ KN / m}^2$$

$$G = g \times l_x \times l_y = 6,92 \times 8 \times 2,4 = 132,864 \text{ KN}$$

Evaluation tranchant sous la charge permanente G

$$\text{Selon x : } T_x = \frac{G}{2l_y + l_x} = 7,22 \text{ KN/ml}$$

$$\text{Selon y : } T_y = \frac{G}{3l_y} = 5,536 \text{ KN/ ml}$$

Effort tranchant sous la roue : B_r

$$U = 0,92 \text{ m} > u = 0,62 \text{ m}$$

Selon u $T_u = \frac{p \times \delta_{Br}}{2v+u} = 41.304 \text{ KN/ml}$

Selon v $T_v = \frac{P \times \delta_{Br}}{3v} = 46,341 \text{ KN/ml}$

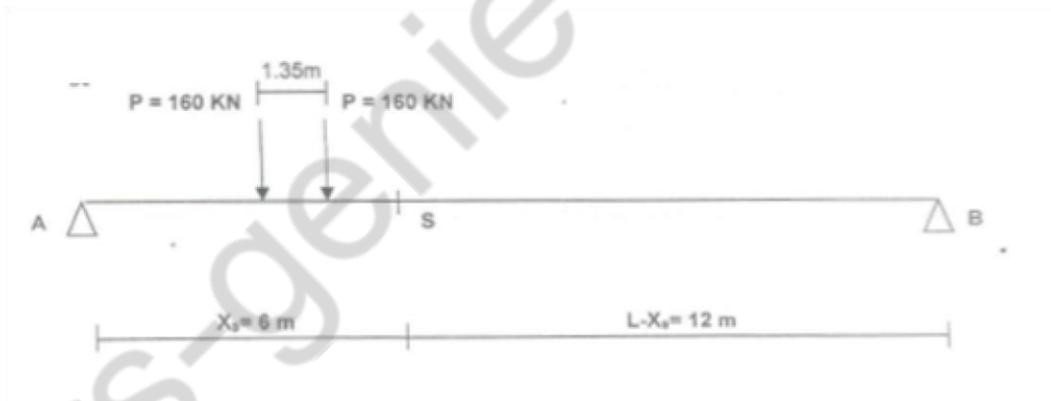
EXERCICE 2

Un pont route à une travée de longueur $l=18\text{m}$. On suppose que chaque poutre supporte un tandem B_t

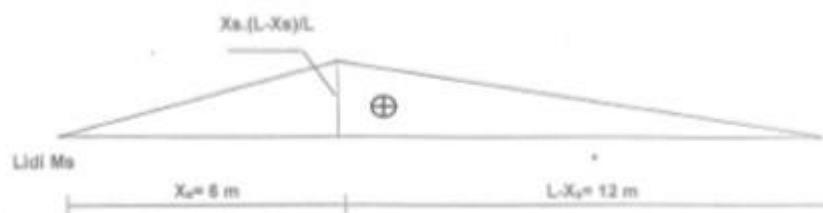
1-Tracer la ligne d'influence du moment fléchissant M dans la section S
d'abscisse $x_s < \frac{l}{3}$

2-Déterminer M_s^{max} par la méthode d'approximations successives.

$b_t=1.0$ et $\delta_{bt}= 1.107$



SOLUTION



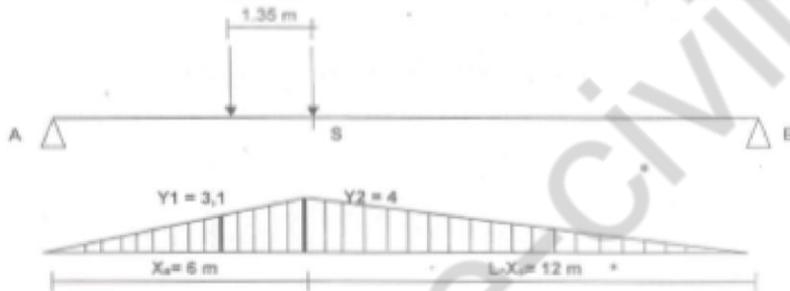
Quelque soit la position de P_i en S , on aura :

$$R = P_1 + P_2 = 320 \text{ kN}$$

$$\frac{R x_s}{l} = \frac{320 \times 6}{18} = 106,667 \text{ kN}$$

FORCE EN S	R (KN)	$R \cdot X_s / L$	$R G_1$ (KN)	$R G_2$ (KN)	$R G_1 \geq R \cdot X_s / L$ ET $R G_2 < R \cdot X_s / L$
P2	320	106,667	320	160	Non
P1	320	106,667	160	0	oui

La position de P_i en S donnera M_s^{max}

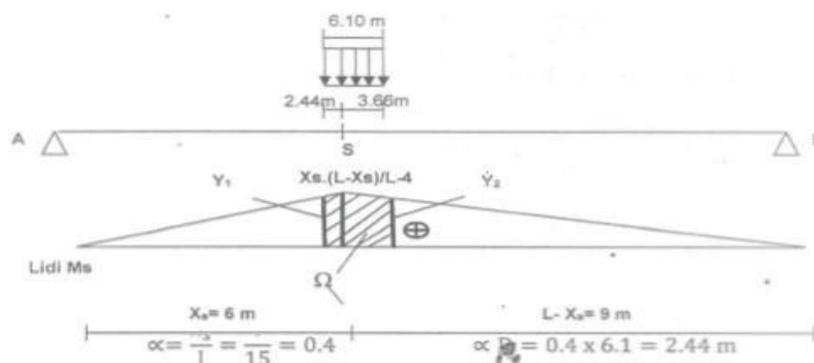


$$M_s^{max} = P_1 y_1 + P_2 y_2 = 160(4 + 3,55) = 1208 \text{ kN.m}$$

EXERCICE 3

Un pont en béton armé de portée 15 m est parcouru par un convoi Mc120. Calculer le moment maximal dans une section située à 6m de l'appui. Le coefficient de majoration dynamique $\delta_{Mc120} = 1,125$

SOLUTION



$$y_s = x_s \frac{(1-x_s)}{L}$$

$$\Omega = \frac{2,136+3,6}{2} \times (2,44 + 3,66) = 17,4948$$

$$q = \frac{1100}{6,1} \text{ kN/ml}, M_s^{max} = q \times \Omega \times \delta_{MC120}$$

$$M_s^{max} = \frac{1100}{6,1} \times 17,4948 \times 1,125 = 3549,150 \text{ KN.m}$$

cours-genie-civil.com

VIII. CALCUL DES ELEMENTS D'APPUI

Exercice d'application

Calculer par la méthode de PIGEQUOD les moments en travée et en appuis selon les deux directions x et y dans un panneau d'hourdis rectangulaire de dimensions $l_x=2.4\text{m}$ et $l_y =8\text{m}$, sous l'effet de la roue B_r . L'épaisseur de l'hourdis est de 20m, celle du revêtement est de 8cm (6+2). Le coefficient de majoration dynamique est $\delta_{B_r} =1.14$

Calculer la valeur de l'effort tranchant sous l'effet de

- La charge permanente
- La roue B_r

Solution

Calcul du moment fléchissant sous la roue Br

Pour une roue B_r , $a=0.6\text{m}$; $b=0.3\text{m}$

Selon x $u=a+1,5h_r+h=0.6+1.5\times 0.08 +0.2= 0.92\text{m}$

Selon y $v=b+1,5h_r+h=0.3+1.5\times 0.08+0.2=0.62$

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{2.4}{8} = 0.3$$

$$\frac{u}{l_x} = \frac{0.92}{2.4} = 0.383$$

$$\frac{v}{l_y} = \frac{0.62}{2.4} = 0.078$$

Doubles interpolation linéaires pour trouver la valeur de M_1 et M_2

Valeur de M_1

	0,300	0,383	0,400
0,0	0,191	0,174	0,170
0,078		0,165	
0,1	0,178	0,163	0.165

Valeur de M_1

	0,300	0,383	0,400
0,0	0,193	0,176	0,172

0,078		0,110	
0,1	0,100	0,092	0.09

$$M_1 = 0,165 \text{ et } M_2 = 0,110$$

$$M_x = (M_1 + 0,15M_2) \times P \times \delta_{Br}$$

$$M_x = (0,165 + 0,15 \times 0,110) \times 100 \times 1,14 \quad M_x = 20,691 \text{ KN.m}$$

$$M_y = (M_2 + 0,15M_1) \times P \times \delta_{Br}$$

$$M_y = (0,110 + 0,15 \times 0,165) \times 100 \times 1,14 \quad M_y = 15,362 \text{ KN.m}$$

Sur appui

$$M_{x(a)} = -0,5M_x \quad M_{x(a)} = -10,346 \text{ KN.m}$$

$$M_{y(a)} = -0,5M_y \quad M_{y(a)} = -7,681 \text{ KN.m}$$

En travée

$$M_{x(t)} = 0,8M_x \quad M_{x(t)} = -10,346 \text{ KN.m}$$

$$M_{y(t)} = 0,8M_y \quad M_{y(t)} = -7,681 \text{ KN.m}$$

Calcul de l'effort tranchant

Evaluation de la charge permanente supporté par l'hourdis

-Hourdis $0,20 \times 25 = 5,00 \text{ KN.m}$

-Revêtement $0,06 \times 24 = 1,44 \text{ KN.m}$

-Etanchéité $0,02 \times 24 = 0,48 \text{ KN.m}$

$$g = 6,92 \text{ KN / m}^2$$

$$G = g \times l_x \times l_y = 6.92 \times 8 \times 2.4 = 132.864 \text{ KN}$$

Evaluation tranchant sous la charge permanente G

$$\text{Selon x : } T_x = \frac{G}{2l_y + l_x} = 7.22 \text{ KN/ml}$$

$$\text{Selon y : } T_y = \frac{G}{3l_y} = 5.536 \text{ KN/ml}$$

Effort tranchant sous la roue : B_r

$$U = 0.92 \text{ m} > u = 0.62 \text{ m}$$

$$\text{Selon u } T_u = \frac{p \times \delta_{Br}}{2v + u} = 41.304 \text{ KN/ml}$$

$$\text{Selon v } T_v = \frac{P \times \delta_{Br}}{3v} = 46,341 \text{ KN/ml}$$

EXERCICE 2

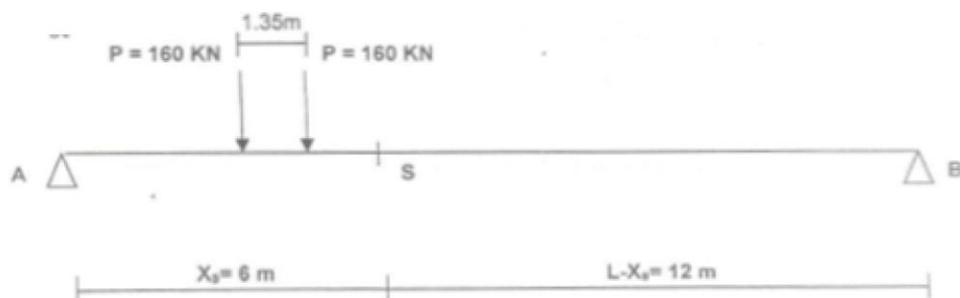
Un pont route à une travée de longueur $l=18\text{m}$. On suppose que chaque poutre supporte un tandem B_t

1-Tracer la ligne d'influence du moment fléchissant M dans la section S

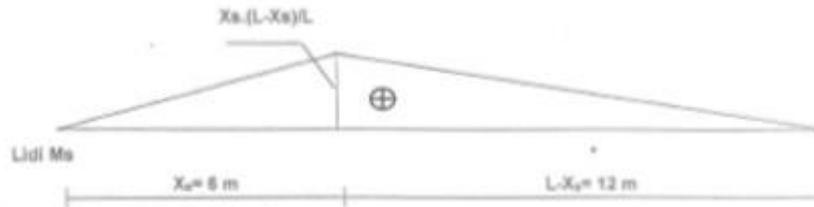
d'abscisse $x_S < \frac{l}{3}$

2-Déterminer M_S^{max} par la méthode d'approximations successives.

$b_t=1.0$ et $\delta_{bt}= 1.107$



SOLUTION



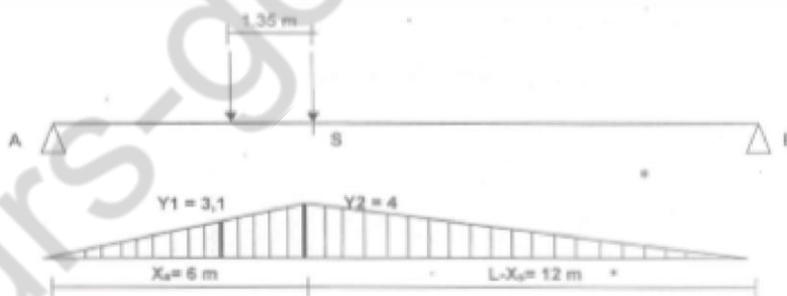
Quelle que soit la position de P_i en S , on aura :

$$R = P_1 + P_2 = 320 \text{ kN}$$

$$\frac{R x_s}{l} = \frac{320 \times 6}{18} = 106,667 \text{ kN}$$

FORCE EN S	R (KN)	$R \cdot X_s / L$	$R G_1$ (KN)	$R G_2$ (KN)	$R G_1 \geq R \cdot X_s / L$ ET $R G_2 < R \cdot X_s / L$
P2	320	106,667	320	160	Non
P1	320	106,667	160	0	oui

La position de P_i en S donnera M_S^{max}

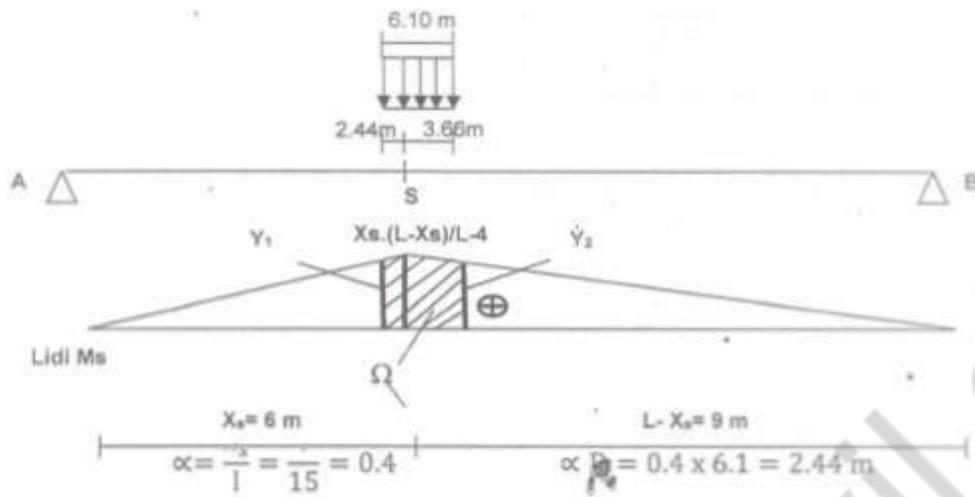


$$M_S^{max} = P_1 y_1 + P_2 y_2 = 160(4 + 3,55) = 1208 \text{ kN.m}$$

EXERCICE 3

Un pont en béton armé de portée 15 m est parcouru par un convoi Mc120. Calculer le moment maximal dans une section située à 6m de l'appui. Le coefficient de majoration dynamique $\delta_{MC120} = 1,125$

SOLUTION



$$y_s = x_s \frac{(1 - x_s)}{L}$$

$$\Omega = \frac{2,136 + 3,6}{2} \times (2,44 + 3,66) = 17,4948$$

$$q = \frac{1100}{6,1}\text{ kN/ml}, M_s^{max} = q \times \Omega \times \delta_{MC120}$$

$$M_s^{max} = \frac{1100}{6,1} \times 17,4948 \times 1,125 = 3549,150\text{ KN.m}$$