

Session 2008

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR  
TRAVAUX PUBLICS

Épreuve E4

ÉTUDE DES OUVRAGES

MÉCANIQUE DES STRUCTURES

PRÉSENTATION

TRAVAIL DEMANDÉ

# Présentation

Le thème de cette étude a pour support la mise à deux fois deux voies d'une route départementale.

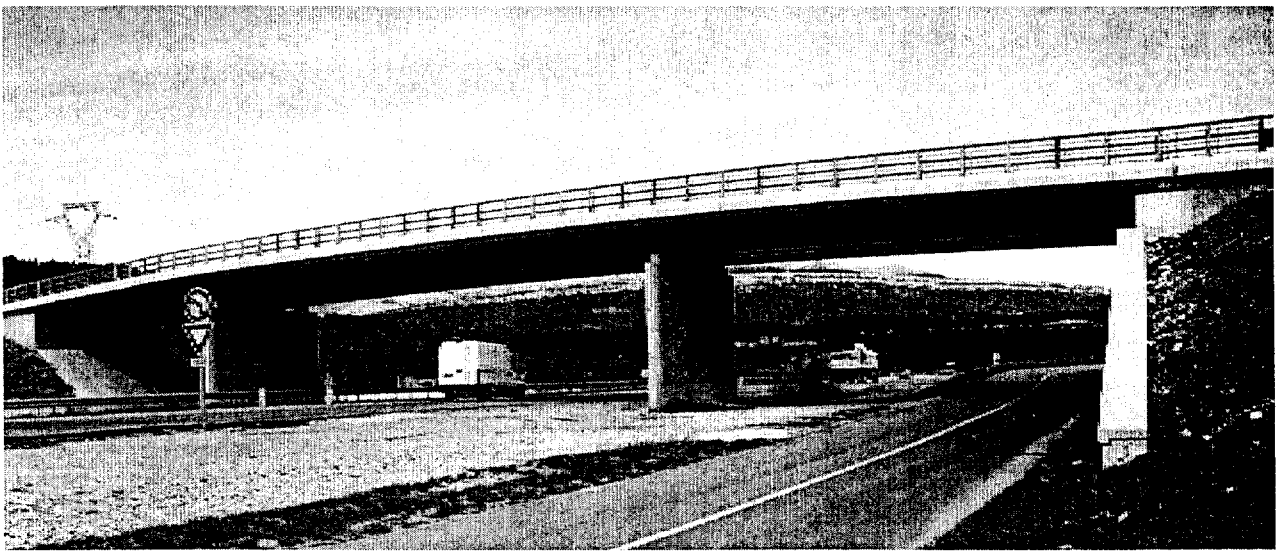
Sur cette portion routière, les travaux comprennent la construction d'un passage supérieur, l'OA9, objet de l'étude.

Cet ouvrage est un pont mixte de type quadripoutre avec entretoises ; il comporte trois travées de 18,242 m, 29,036 m et 18,264 m. Le tablier supporte une chaussée à 2 voies de 3,500 m chacune, bordée par deux trottoirs de 1,500 m de large se terminant côté extérieur par des corniches préfabriquées.

Le profil en long de l'ouvrage s'inscrit sur un arc de cercle de rayon 1000,000 m, l'ouvrage comporte un biais de 74,92 grades, le tablier n'a aucune pente transversale. Pour l'étude, le tablier sera considéré horizontal dans le sens longitudinal.

Cet ouvrage comprend :

- 2 culées, C1 et C4 sur fondations superficielles, C1 est réalisée sur le remblai d'accès ;
- 2 piles, P2 et P3 sur fondations superficielles ;
- 1 tablier de 12,000 m de largeur, constitué d'une ossature quadripoutre métallique (entr'axes des poutres de 2,000 m) de hauteur constante égale à 1,050 m et d'un hourdis en béton armé réalisé par des dalles préfabriquées de 11,200 m de longueur et dont l'épaisseur varie de 215 mm à 340 mm. Le hourdis est réalisé par la pose de dalles préfabriquées. Ces dalles seront mises en place en totalité sur la longueur du tablier avant d'être clavées en une seule opération.



# Étude du hourdis du tablier

Cette partie concerne l'étude du hourdis du tablier dans le sens transversal et l'étude du levage des dalles préfabriquées servant à la réalisation du hourdis.

Par mesure de simplification, la coupe transversale du tablier a été modifiée ; cela concerne la forme et les dimensions des dalles préfabriquées d'une part et les corniches d'autre part.

## 1 Étude de la corniche en béton armé

Documents à consulter : DT3.

L'étude porte sur 1,000 mètre linéaire de corniche en place après clavage ; elle a pour objectif de déterminer la position de son centre de gravité et son poids.

*Travail demandé :*

### 1.1 Centre de gravité de la corniche.

À partir de la coupe transversale de la corniche simplifiée, (cf fig-1), déterminer les coordonnées du centre de gravité de la section de la corniche dans le repère Oxy.

### 1.2 Poids linéaire de la corniche.

Déterminer le poids par mètre linéaire de corniche.

Poids volumique du béton armé :  $25 \text{ kN/m}^3$ .

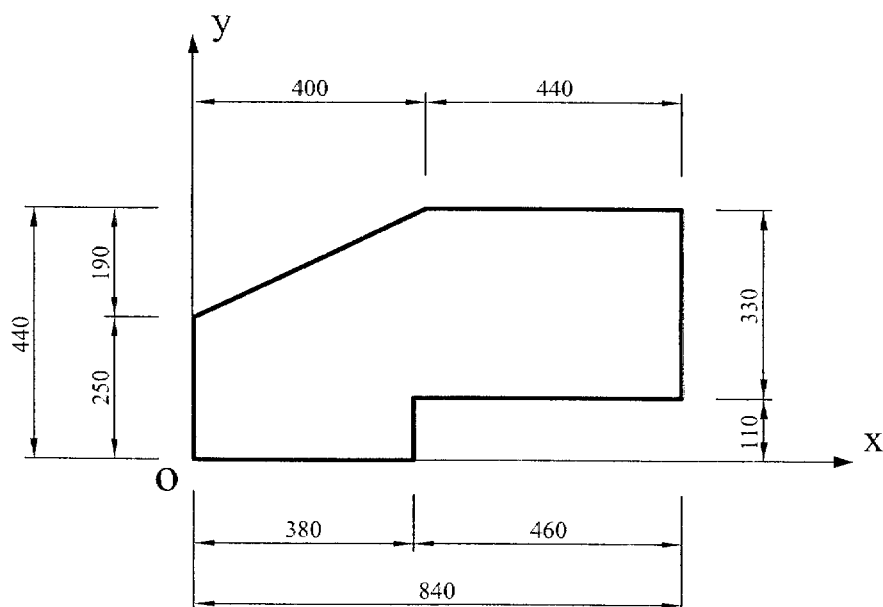


FIG. 1 – Coupe transversale de la corniche simplifiée

## 2 Étude du tablier

### 2.1 Charges sur le hourdis

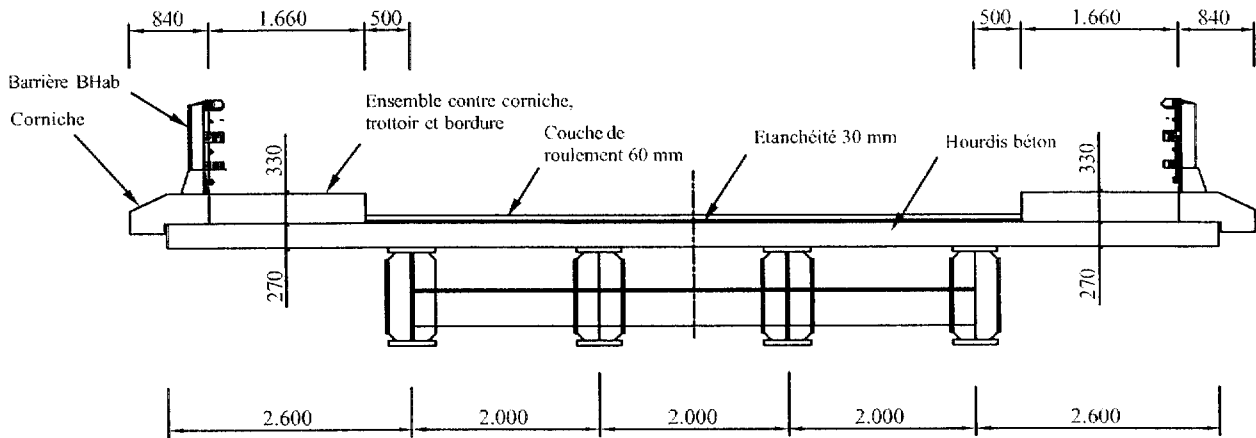


FIG. 2 – Coupe transversale du hourdis

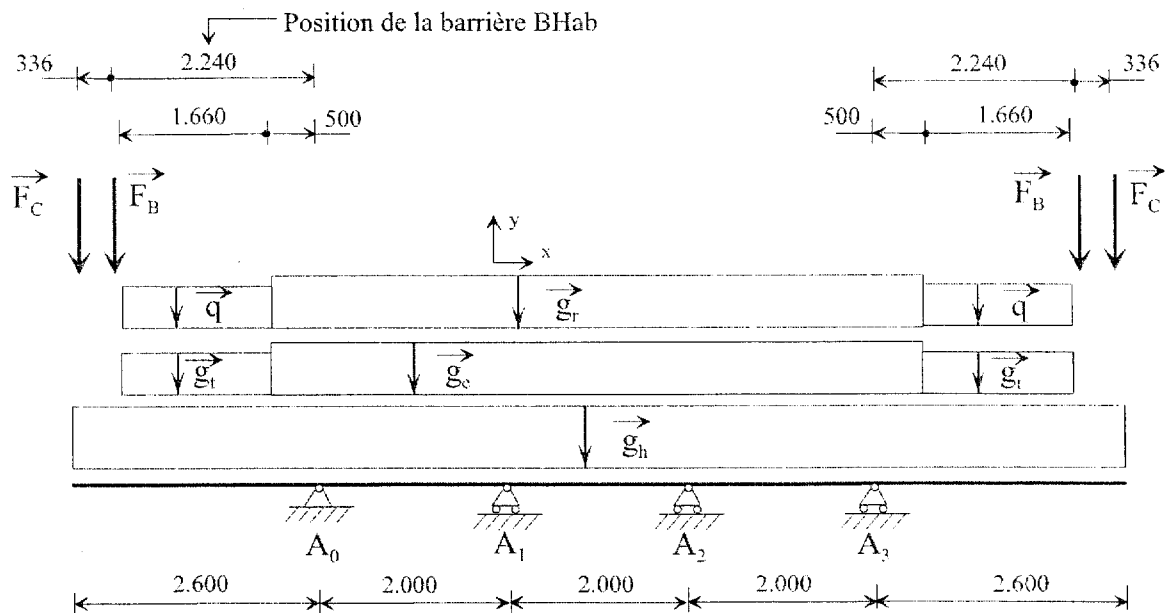


FIG. 3 – Modélisation du hourdis

Données, hypothèses et remarques :

- Documents à consulter : DT3 ;
- L'étude porte sur une bande de 1,000 mètre de hourdis du tablier (sens transversal) ;
- Les appuis seront pris à l'axe des poutres métalliques du tablier ;
- L'épaisseur du hourdis a une valeur constante de 270 mm (hypothèse simplificatrice) ;

- poids volumique du béton  $25 \text{ kN/m}^3$ .

La couche d'étanchéité et la couche de roulement s'arrêtent contre le trottoir ;

- épaisseur  $30 \text{ mm}$  pour la couche d'étanchéité et  $60 \text{ mm}$  pour la couche de roulement ;
- poids volumique de  $24 \text{ kN/m}^3$  pour ces deux matériaux.
- La contre corniche, le trottoir et la bordure seront considérés comme un ensemble de largeur  $1,660 \text{ m}$  ;
  - poids volumique du béton constituant ces éléments :  $25 \text{ kN/m}^3$ .
- Sur l'ensemble trottoir (largeur  $1,660 \text{ m}$ ) s'applique une action variable de valeur  $q = 1,5 \text{ kN/m}^2$  ;
- La charge ponctuelle permanente correspondant à l'action de la corniche, notée  $F_C$ , a pour intensité  $F_C = 7,1 \text{ kN}$ .
- Le dispositif de retenue, constitué de barrière de type (B Hab), a un poids au mètre linéaire de  $1,50 \text{ kN/m}$ .

### Travail demandé :

À partir de la coupe transversale, (cf fig-2), et de sa modélisation, (cf fig-3), il vous est demandé de déterminer :

- la valeur de l'intensité des taux de charge permanente :
  - ( $g_h$ ) du hourdis en béton armé ;
  - ( $g_l$ ) de l'ensemble trottoir ;
  - ( $g_e$ ) de l'étanchéité du tablier ;
  - ( $g_r$ ) de la couche de roulement ;
- la valeur de la charge ponctuelle permanente, ( $F_B$ ) correspondant à l'action de la barrière B Hab ;
- la valeur du taux de charge variable,  $q$ , s'appliquant sur la largeur de l'ensemble trottoir.

## 2.2 Moment sur appui

À partir du schéma mécanique ainsi complété, déterminer la valeur du moment fléchissant ( $M_{A_0}$ ) au point  $A_0$ .

Ce calcul sera conduit à l'état limite de service.

## 2.3 Dimensionnement des armatures longitudinales de la dalle du hourdis au droit de l'appui $A_0$

Pour ce calcul, les valeurs des sollicitations maximales proviennent du cas de charge le plus défavorable (présence d'un camion sur le trottoir).

Le raisonnement se fera sur une bande de  $1,000 \text{ mètre}$  de hourdis.

Données :

- Fissuration préjudiciable ;
- Béton du hourdis : C35/40 (soit un B35 de l'ancienne norme),  $f_{c28} = 35 \text{ MPa}$  ;
- Armatures pour béton armé de type Fe 500 :  $f_e = 500 \text{ MPa}$  ;
- Enrobage :  $3 \text{ cm}$  ;
- Moment maximal en service au droit de l'appui  $A_0$  :  $|M_{ser}| = 83 \text{ kN.m}$  ;

- Effort tranchant maximal ultime au droit de l'appui  $A_0$  :  $|V_u| = 140$  kN ;
- Extraits du BAEL fourni dans le document technique DT5 ;
- Tableau des sections d'armatures fourni dans le document technique DT5 ;

### Travail demandé :

#### 2.3.1 Section sur appui $A_0$ .

Calculer la section d'armatures longitudinales au droit de l'appui  $A_0$ .

Aucune vérification n'est demandée pour cette question.

Toutes les étapes et les calculs intermédiaires doivent apparaître dans votre rédaction.

Proposer un choix de section réelle d'armatures longitudinales.

#### 2.3.2 Schéma d'armatures.

Proposer le schéma d'armatures en complétant le document réponse DR1 (section de la dalle préfabriquée) ; toutes les autres armatures seront des HA14 espacées de 10 cm. La solution tiendra compte de la réalisation du clavage après la pose des dalles préfabriquées.

#### 2.3.3 Contrainte tangentielle.

Calculer la valeur de la contrainte tangentielle,  $\tau_u$ , au droit de l'appui  $A_0$ .

Vérifier cette contrainte conformément au BAEL.

Des armatures transversales sont-elles nécessaires dans ces dalles ?

## 3 Étude des effets des actions variables sur le hourdis

La modélisation du hourdis, (cf fig-4), prend en compte les actions variables d'origine  $B_c$  (convoi de camions) et permet la recherche du moment fléchissant maximum dans la travée  $A_0A_1$ . Les actions ponctuelles, d'intensité 60 kN chacune, représentent les charges appliquées par les roues d'un essieu de camion qui se serait déporté par rapport à l'axe de sa voie.

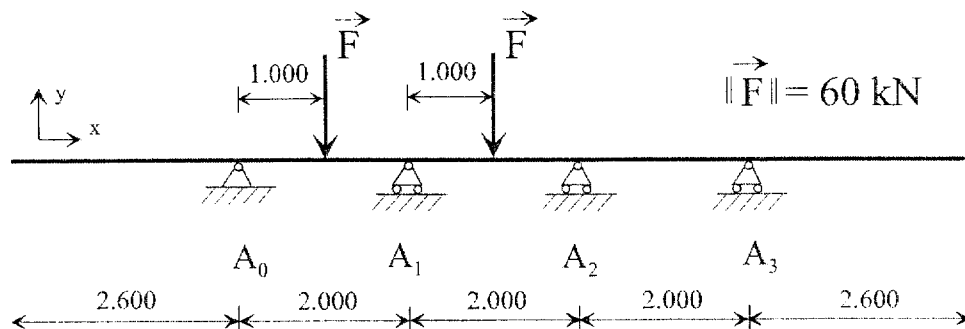


FIG. 4 – Modélisation du hourdis sous charges  $B_c$

### Données :

Sur la base des deux travées consécutives  $i$  et  $i + 1$ , (cf fig-5) ;

- le produit  $EI_{Gz}$  sera considéré constant sur la longueur de la poutre ;

- expression du théorème des trois moments  
 $L_i M_{i-1} + 2(L_i + L_{i+1})M_i + L_{i+1}M_{i+1} = 6EI_{Gz}(\omega'_{i+1} - \omega''_i)$ ;
- $\omega'_{i+1}, \omega''_i$  : rotations à droite et à gauche de l'appui  $A_i$ , dans les travées isostatiques  $i+1$  et  $i$  associées ;
- $\omega'_i$  et  $\omega''_i$ , respectivement valeur des rotations des appuis  $A_{i-1}$  et  $A_i$  dans la travée isostatique  $i$  associée, (cf fig-5) :

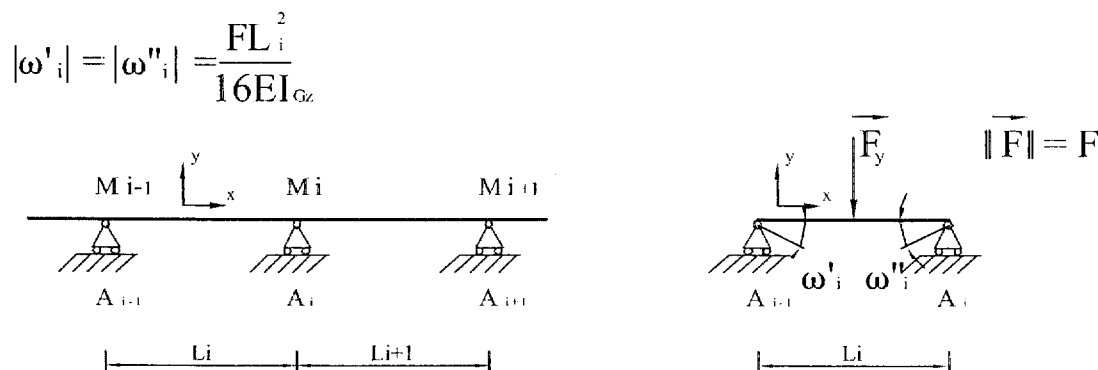


FIG. 5 - Rappel du théorème des trois moments

*Travail demandé :*

### 3.1 Degré d'hyperstaticité.

Montrer, en le justifiant, que le degré d'hyperstaticité de cette poutre a pour valeur 2.

### 3.2 Valeurs des moments fléchissants sur appuis.

Il est rappelé que les inconnues de ce problème sont les valeurs des moments fléchissants sur appuis.

**3.2.1** En appliquant le théorème des trois moments aux appuis  $A_0, A_1$  et  $A_2$ , écrire l'équation qui lie les valeurs de  $M_1$  et  $M_2$ .

**3.2.2** Puis appliquer le théorème des trois moments aux appuis  $A_1, A_2, A_3$  et écrire l'équation qui lie les valeurs de  $M_1$  et  $M_2$ .

**3.2.3** Calculer la valeur de  $M_1$  et  $M_2$  en résolvant le système de deux équations à deux inconnues.

### 3.3 Diagrammes

*Données :*

$$M_1 = -21 \text{ kN.m}, M_2 = -6 \text{ kN.m.}$$

À partir des valeurs de  $M_1$  et  $M_2$ , tracer, sur le document réponse DR2, les diagrammes d'effort tranchant,  $V(x)$ , et de moment fléchissant,  $M(x)$ , le long de cette poutre en précisant les valeurs particulières.

### 3.4 Actions de liaison

Donner la valeur de chacune des actions de liaison.



## 4 Étude du levage des dalles préfabriquées

Conformément au mode de levage des dalles défini sur le document DT4 (un palonnier supportant quatre élingues), la modélisation de l'ensemble dalle et matériel de levage, (cf fig-6), permet l'étude des diverses parties du système de levage.

Il est à noter que les points de levage se situent au droit des appuis  $A_0$  et  $A_3$ .

### 4.1 Tension dans les élingues

*Données :*

- Poids de la dalle :  $P = 126,6 \text{ kN}$ , positionnée au centre de la dalle ;
- Action du crochet de la grue sur le palonnier : force d'intensité  $F$ .

**Travail demandé :**

Calculer la valeur de la tension dans chacune des élingues reliées à la dalle.

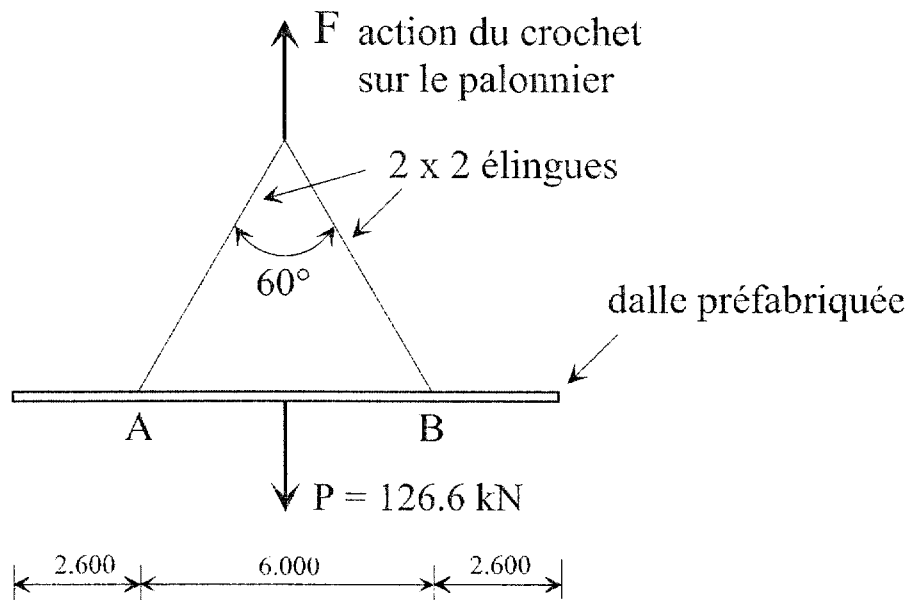


FIG. 6 – Modélisation du levage

### 4.2 Sollicitations dans la dalle

Le schéma mécanique de la dalle en cours de levage proposé ci-dessous, (cf fig-7), donne les composantes de l'action des 4 élingues (2 de chaque côté) respectivement au point de levage A et au point de levage B ; le taux de charge précisé correspond au poids propre de la dalle.

**Travail demandé :**

- 4.2.1 Vérifier l'équilibre de la dalle ;
- 4.2.2 Tracer les diagrammes correspondant aux sollicitations ( $N(x)$ ,  $V(x)$ ,  $M(x)$ ) sur le document réponse DR3 ;
- 4.2.3 Préciser la nature des sollicitations dans les zones 1 et 2, (cf fig-7).

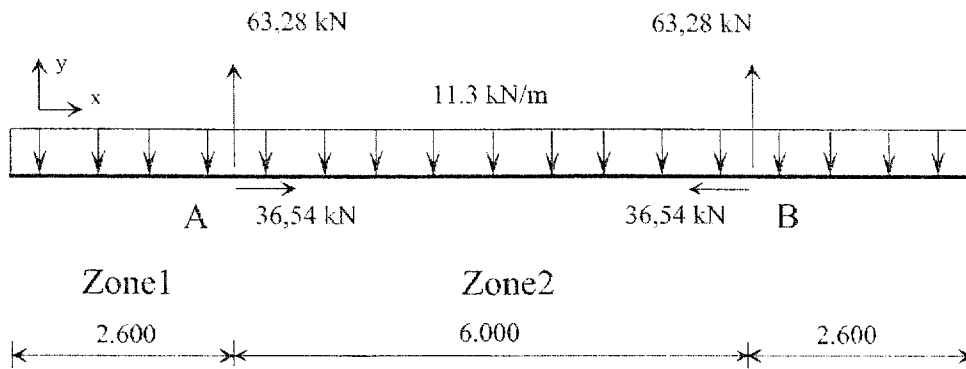


FIG. 7 - Modélisation de la dalle en cours de levage

### 4.3 Vérification de la dalle

*Données :*

- Documents à consulter : DT3, DT4;

Pendant la phase de levage, la valeur maximale du moment fléchissant dans la dalle se situe au point de levage A (en B aussi, par symétrie). Ce moment a pour valeur :  $|M_{ser}| = 38,2 \text{ kN.m}$  (c'est un moment à l'état limite de service);

- La section d'armatures longitudinales au droit des deux points de levage est constituée par 15 HA16, répartis sur la largeur de 1,650 m de dalle préfabriquée;

- Il est à noter que la section comprimée, au droit de ces points de levage, a une largeur de 1,250 m (présence des réservations nécessaires au clavage des dalles et de leur liaison avec les poutres métalliques).

*Travail demandé :*

**4.3.1** Calculer le moment fléchissant maximal que peut reprendre cette section.

(Section de calcul :  $b = 1,250 \text{ m}$ ,  $h = 0,270 \text{ m}$ ; enrobage : 3 cm).

*Toutes les étapes et les calculs intermédiaires doivent apparaître dans votre rédaction.*

**4.3.2** Quelle conclusion peut-on faire à partir de ce résultat.

## Étude de la stabilité de la culée C4

Cette partie concerne l'étude de la culée C4; calcul des charges appliquées et vérification de l'équilibre.

La définition et les éléments de calcul de la culée C4 sont fournis ci-dessous, (cf fig-8).

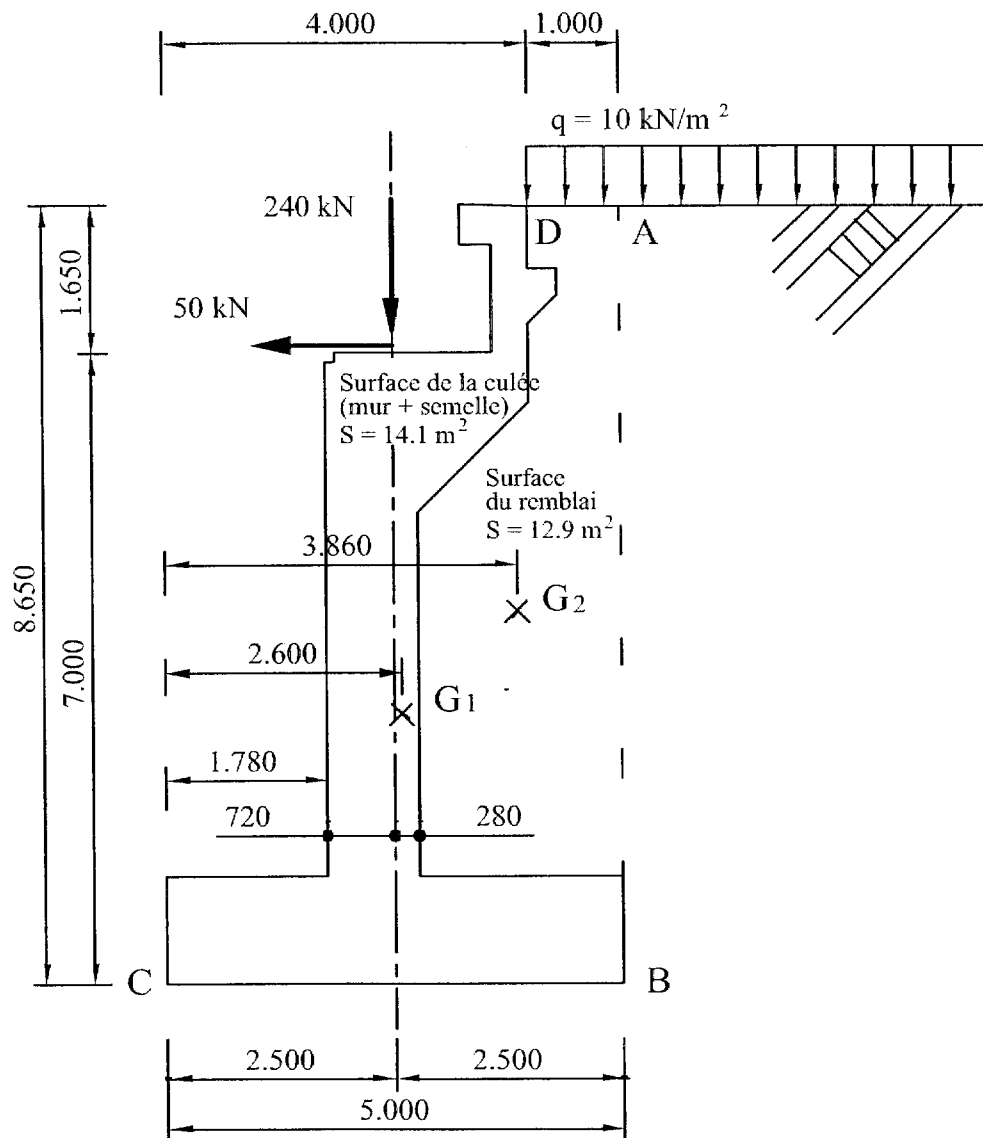


FIG. 8 -- Culée C4

### Données :

- Le remblai présent sous l'ouvrage d'art ne sera pas pris en compte ;
- La dalle de transition n'est pas prise en compte dans les calculs ;
- Les effets de la butée sont négligés ;
- La poussée des terres s'exerce sur un écran fictif vertical AB ;
- Les calculs seront menés sans pondération (à l'état limite de service) ;
- Le poids du mur et de la semelle s'applique au centre de gravité  $G_1$  ; sa position est donnée figure 8 ;

- Le poids du remblai s'applique au centre de gravité  $G_2$ ; sa position est donnée figure 8;  
La charge variable appliquée sur le remblai a pour valeur,  $q = 10 \text{ kN/m}^2$ .

Remblai :

- Coefficient de poussée des terres suivant la théorie de Rankine :  $k_a = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$
- Poids volumique  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Angle de frottement interne  $\varphi = 33^\circ$
- Cohésion  $c = 0$

Sol support :

- Angle de frottement interne  $\varphi = 33^\circ$  (angle de frottement sol - semelle).
- Cohésion  $c = 0$
- Contrainte admissible  $q_{adm} = 0,3 \text{ MPa}$

## 5 Actions sur la culée

*Travail demandé :*

### 5.1 Diagrammes de contraintes

Déterminer :

- la répartition des contraintes horizontales de poussée du remblai,  $(\sigma_{Hr})$ , sur l'écran AB;
- la répartition des contraintes horizontales de poussée de la charge variable,  $q$ ,  $(\sigma_{Hq})$ , sur l'écran AB;

Représenter les diagrammes de ces contraintes sur le document réponse DR4 (Diagramme des contraintes).

### 5.2 Résultantes de poussée

Calculer :

- la résultante de poussée du remblai,  $R_s$ , sur l'écran AB;
- la résultante de poussée de la charge variable,  $R_q$ , sur l'écran AB;

Dessiner et donner la position de ces forces sur le document réponse DR4 (Diagramme des efforts).

### 5.3 Autres charges

À partir des renseignements donnés sur la figure 8, calculer :

- la valeur du poids de la culée,  $P_1$ , appliqué en  $G_1$  (l'aire du béton de la culée est donnée figure 8) ;
- la valeur du poids du remblai,  $P_2$ , appliqué en  $G_2$  (l'aire du remblai est donnée figure 8) ;
- la valeur de l'action variable verticale,  $P_q$ , due à la présence de  $q$  sur la zone AD (cf fig-8).

Dessiner et donner la position de ces forces par rapport au point C sur le document réponse DR4 (Diagramme des efforts).

## 6 Équilibre de la culée

Travail demandé :

### 6.1 Étude de la stabilité au poinçonnement

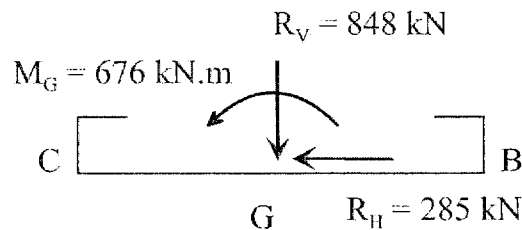


FIG. 9 – Actions au centre de gravité de la semelle

Les composantes de la résultante et du moment résultant de toutes les forces appliquées à la culée, calculées au centre de gravité de la semelle, sont données figure 9 ci-dessus.

#### 6.1.1 Déterminer :

- le diagramme des contraintes normales créées par  $R_v$  sous la semelle ;
- le diagramme des contraintes normales créées par  $M_G$  sous la semelle ;
- puis calculer la valeur des contraintes maximale ( $\sigma_M$ ) et minimale ( $\sigma_m$ ) sous la semelle ; on considèrera un diagramme linéaire entre ces deux valeurs (cf fig-10 ci-dessous pour précisions).

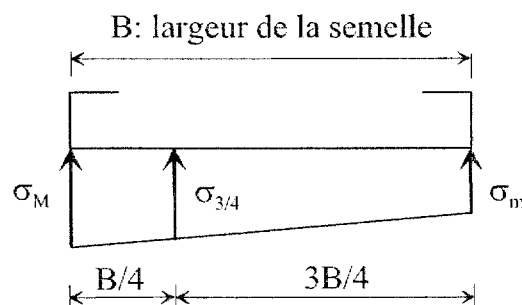


FIG. 10 – Diagramme des contraintes sous la semelle

- #### 6.1.2
- Calculer la valeur de la contrainte  $\sigma_{3/4}$  puis vérifier la stabilité au poinçonnement par la relation  $\sigma_{3/4} \leq q_{adm}$ . Conclusion. (cf fig-10 pour précisions).

### 6.2 Non glissement de la culée

Vérifier la stabilité au glissement de la culée. Le coefficient de sécurité sera pris égal à 1,2. Conclusion.