



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Campagne 2012

Brevet de technicien supérieur Travaux Publics

Session 2012

Epreuve E4 : ETUDE DES OUVRAGES

Unité : U.41

MECANIQUE DES STRUCTURES

Durée : 4 h

Coefficient : 3

Matériel autorisé

Calculatrice (circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999, BO n°42 du 25 novembre 1999)

Aucun document autorisé

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Ce dossier comprend :

- la présentation de l'ouvrage ; page 1/8
- le travail demandé ; page 2/8 à 8/8
- les documents techniques :
 - ✓ **DT1** : vue en plan de l'ouvrage existant et du nouvel ouvrage
 - ✓ **DT2** : vue en plan de l'ouvrage fini et coupe longitudinale dans l'axe de l'ouvrage
 - ✓ **DT3** : coupe transversale du tablier
 - ✓ **DT4** : étaielement du tablier
 - ✓ **DT5** : extraits de l'aide-mémoire :
 - Calcul de la capacité portante ultime de fondations profondes
 - Vérification des sections transversales métalliques soumises à un effort axial de compression sans risque de flambement
 - Vérification des sections transversales métalliques soumises à un moment fléchissant
 - Vérification des sections transversales métalliques soumises à un effort tranchant
 - Tableau des caractéristiques des profilés HEB
 - ✓ **DT6** : extraits de l'aide-mémoire :
 - Théorème des 3 moments
 - Théorème de Müller-Breslau
 - Tableau des intégrales de Mohr
 - ✓ **DT7** : extraits de l'aide-mémoire :
 - Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire
 - Tableau des sections d'aciers.

Barème :

<i>Etude</i>	<i>Points</i>
N°1	7
N°2	10
N°3	19
N°4	7
N°5	10
N°6	7
TOTAL	60

Brevet de Technicien Supérieur Travaux Publics

Session 2012

Épreuve E4 : ETUDE DES OUVRAGES

Unité : U.41

MÉCANIQUE DES STRUCTURES

PRÉSENTATION

TRAVAIL DEMANDÉ

Ce dossier comprend 8 pages numérotées 1/8 à 8/8

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Ce dossier comprend :

- la présentation de l'ouvrage ; page 1/8
- le travail demandé ; page 2/8 à 8/8
- les documents techniques :
 - ✓ **DT1** : vue en plan de l'ouvrage existant et du nouvel ouvrage
 - ✓ **DT2** : vue en plan de l'ouvrage fini et coupe longitudinale dans l'axe de l'ouvrage
 - ✓ **DT3** : coupe transversale du tablier
 - ✓ **DT4** : étaielement du tablier
 - ✓ **DT5** : extraits de l'aide-mémoire :
 - Calcul de la capacité portante ultime de fondations profondes
 - Vérification des sections transversales métalliques soumises à un effort axial de compression sans risque de flambement
 - Vérification des sections transversales métalliques soumises à un moment fléchissant
 - Vérification des sections transversales métalliques soumises à un effort tranchant
 - Tableau des caractéristiques des profilés HEB
 - ✓ **DT6** : extraits de l'aide-mémoire :
 - Théorème des 3 moments
 - Théorème de Müller-Breslau
 - Tableau des intégrales de Mohr
 - ✓ **DT7** : extraits de l'aide-mémoire :
 - Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire
 - Tableau des sections d'aciers.

Barème :

<i>Etude</i>	<i>Points</i>
N°1	7
N°2	10
N°3	19
N°4	7
N°5	10
N°6	7
TOTAL	60

Brevet de Technicien Supérieur Travaux Publics

Session 2012

Épreuve E4 : ETUDE DES OUVRAGES

Unité : U.41

MÉCANIQUE DES STRUCTURES

PRÉSENTATION

TRAVAIL DEMANDÉ

Ce dossier comprend 8 pages numérotées 1/8 à 8/8

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

PRESENTATION

Présentation de l'opération

L'étude porte sur la reconstruction d'un pont de la RD 10 sur l'Indre. Cet ouvrage est un pont-dalle en béton précontraint. Il comporte trois travées de 17,400 m, 29,000 m et 17,400 m. Le tablier supporte une chaussée à 2 voies de 2,500 m chacune, bordée par deux trottoirs de 1,600 m de large se terminant côté extérieur par des corniches préfabriquées.

Vu en plan, l'ouvrage est rectiligne.

Vu en coupe longitudinale, le tablier possède une courbure suivant une parabole assimilée à un arc de cercle de rayon 500,000 m centré dans l'axe de l'ouvrage. Il présente une pente transversale de 2,5%. Pour l'étude, il sera considéré horizontal dans le sens longitudinal et dans le sens transversal.

Cet ouvrage comprend :

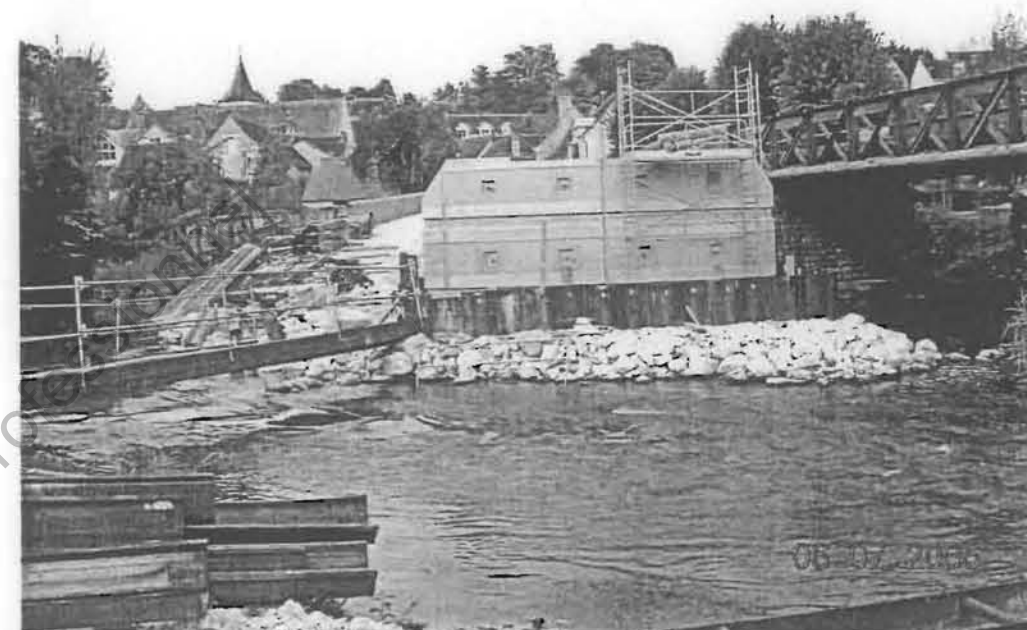
- 2 culées, C0 et C3 sur fondations superficielles ;
- 2 piles, P1 et P2 sur fondations superficielles ;
- 1 tablier de 9,400 m de largeur constitué d'un hourdis en béton armé dont l'épaisseur vaut 850 mm au maximum.

Les travaux principaux à la charge de l'entreprise sont les suivants:

- terrassement;
- batardeaux;
- appuis et dalles de transition ;
- mur en terre armée (rive gauche amont) ;
- tablier ;
- superstructures, équipements et aménagements divers ;
- assainissement, chaussée ;
- travaux de démolition de l'ouvrage existant après basculement du trafic sur l'ouvrage neuf.

Le sujet va s'articuler autour de 2 grands thèmes :

- 1^{er} thème : étude de la réalisation du tablier ;
- 2^{ème} thème : étude de l'appui intermédiaire (pile P1).



1^{er} thème : étude de la réalisation du tablier

Les différentes phases de réalisation du tablier vont être décrites. Les questions qui s'y rattachent sont précisées dans le tableau suivant.

Phases	Description	Question
1 ^{ère}	Afin de recevoir l'étalement du tablier, des plateformes d'appuis sont réalisées entre C0-P1 et P2-C3. Elles sont réalisées en enrochement puis fermées par un matériau calcaire. Elles reçoivent ensuite des plaques béton qui supporteront le futur étalement.	X
2 ^{ème}	Des tours SL40 ainsi que des tubes sont mis en place sur les semelles des appuis ou sur les plaques béton. La palée intermédiaire , située entre P1 et P2, repose sur des tubes métalliques directement fichés dans le sol. Ils sont contreventés en tête par des UPN 100.	1
3 ^{ème}	Des profilés de raidissement relient, deux à deux, les têtes de tube de la palée intermédiaire située entre P1 et P2.	4
4 ^{ème}	Des profilés de répartition (HEB 400 à 600) sont ensuite mis en place.	3
5 ^{ème}	Ils reçoivent des profilés de franchissement (HEB 400 à 600) équipés de fourrures de compensation de flèches.	2
6 ^{ème}	Des plateaux coffrants sont mis en place sur les profilés de franchissement à partir de l'appui C3 en reculant vers l'appui C0.	X
7 ^{ème}	Un contreplaqué (e = 15 mm) est mis en œuvre sur les plateaux coffrants.	X
8 ^{ème} à 12 ^{ème}	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place des vaux d'encorbellement et coffrage des abouts. - Ferrailage du tablier. - Bétonnage du tablier. - Décintrage de l'étalement. - Mise en tension de la précontrainte. 	X

1. Étude des tubes circulaires verticaux de la palée intermédiaire entre P1 et P2.

Documents à consulter : DT4, DT5.

L'étude concerne les tubes circulaires verticaux de la palée intermédiaire située entre les piles P1 et P2. Elle a pour but de vérifier que :

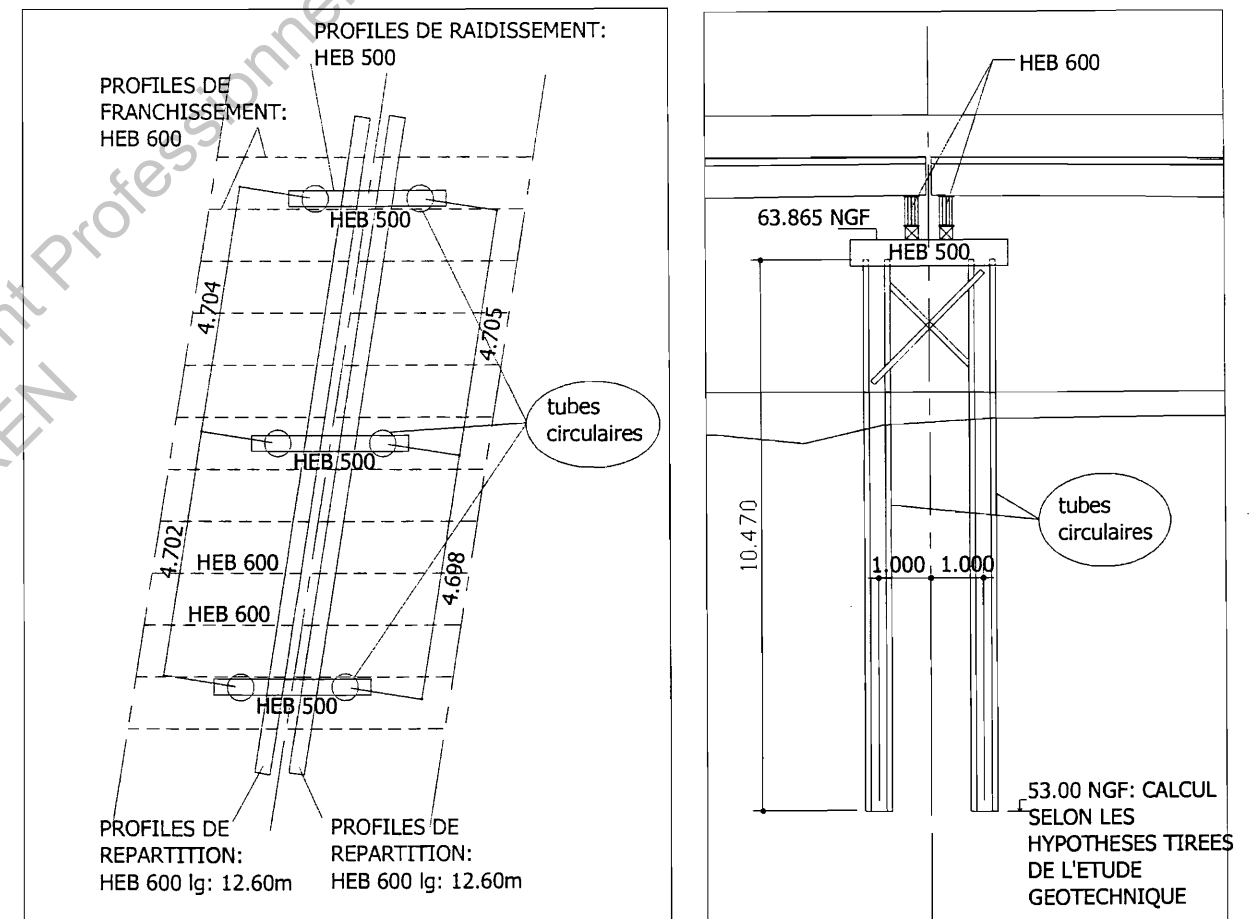
- le nombre de tubes est suffisant vis-à-vis des caractéristiques mécaniques du sol ;
- les profilés tubulaires circulaires sont correctement dimensionnés vis-à-vis des efforts de compression qui leur sont appliqués.

Données, hypothèses, remarques :

- ❖ D'après les sondages réalisés sur le site, on retient les paramètres suivants concernant le sol :

- Frottement latéral unitaire de chaque couche de sol :
 - entre 60,000 NGF et 56,500 NGF : $q_{s1} = 0,065 \text{ MPa}$
 - entre 56,500 NGF et 53,000 NGF : $q_{s2} = 0,12 \text{ MPa}$
- Pression limite équivalente et facteur de portance du sol au niveau de la pointe du tube :
 - $p_{le}^* = 3,55 \text{ MPa}$
 - $k_p = 1,8$

- ❖ **L'ensemble de la palée intermédiaire** reprend une charge verticale majorée à l'ELU de 3345 kN.
- ❖ Chaque tube présente un diamètre extérieur de 516 mm, un diamètre intérieur de 500 mm et une épaisseur de 8 mm.



VUE EN PLAN PALEE INTERMEDIAIRE

ELEVATION PALEE INTERMEDIAIRE

Travail demandé :

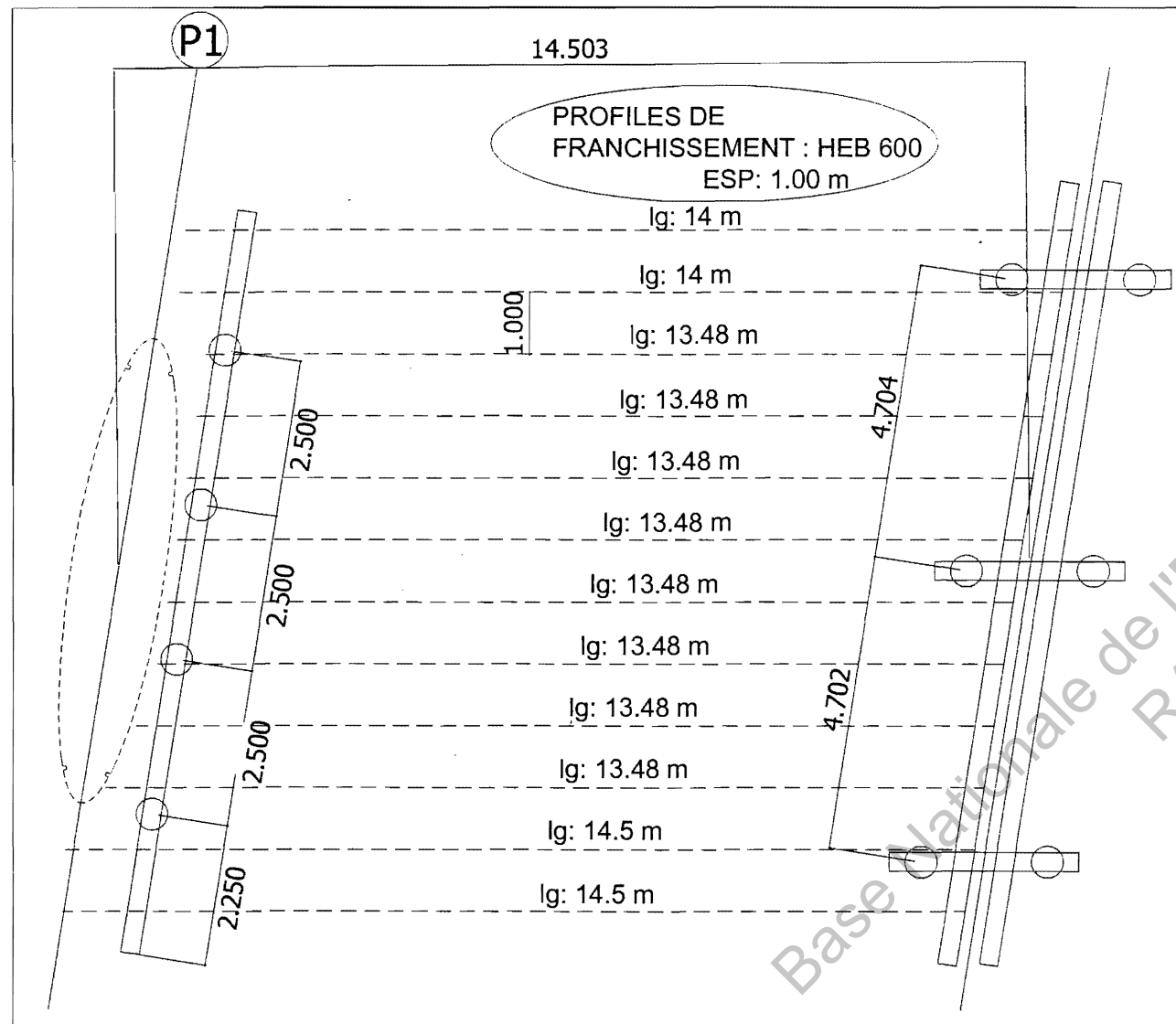
- 1.1. Déterminer la capacité portante de calcul R_{cd} de chaque tube vis-à-vis des charges axiales conformément aux indications fournies sur le document technique DT5. En déduire le nombre de tubes nécessaires pour supporter la charge appliquée sur la palée intermédiaire. Vérifier que le choix finalement effectué et figurant sur la représentation ci-dessus convient.
- 1.2. Vérifier la résistance à la compression des tubes métalliques conformément aux indications fournies sur le document technique DT5. Pourquoi aucun risque de flambement n'est-il à craindre ?

2. Étude des profils de franchissement.

Documents à consulter : DT4, DT5.

L'étude concerne les profils de franchissement supportant le tablier en cours de coulage et son coffrage. Ils sont situés entre la pile P1 et la palée intermédiaire positionnée du côté de P2. Ils sont constitués de HEB 600 que l'on souhaite vérifier vis-à-vis :

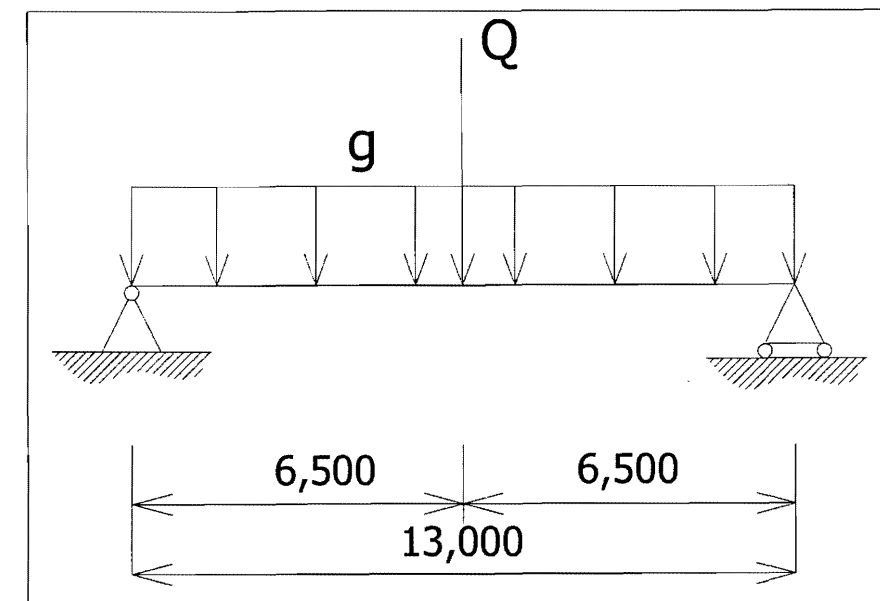
- de leur résistance en flexion ;
- de leur résistance au cisaillement.



VUE EN PLAN PROFILES DE FRANCHISSEMENT
ENTRE PILE P1 ET PALEE INTERMEDIAIRE

Données, hypothèses, remarques :

- ❖ Les profils de franchissement ne présentent pas tous la même longueur (13,480 m à 14,500 m) mais leur distance entre appuis demeure constante. On négligera les débords en console qui peuvent apparaître pour certains d'entre eux sur l'extrait de plan ci-dessus. Par conséquent, chaque HEB est étudié comme une poutre isostatique sur deux appuis. La portée considérée est : $l = 13,000$ m. Deux types de chargement sont pris en compte :
 - une charge uniformément répartie g comprenant :
 - le poids du béton (poids volumique : 25 kN/m^3) sur une épaisseur de $0,850$ m.
 - le poids surfacique du coffrage et des plateaux : $0,650 \text{ kN/m}^2$.
 - le poids propre linéique du HEB : $2,120 \text{ kN/m}$.
 - Une charge d'exploitation ponctuelle Q centrée sur la poutre d'intensité : 15 kN avant pondération.
- ❖ L'entraxe entre les profils HEB est : $1,000$ m.



Travail demandé :

2.1. Calculer g (kN/m).

2.2. Représenter le modèle mécanique de la poutre aux Etats Limites Ultimes ELU : charges permanentes majorées par 1,35 et charges d'exploitation par 1,5.

2.3. Tracer les diagrammes d'effort tranchant et de moment fléchissant en précisant les valeurs particulières. Donner l'effort tranchant maximum V_{Ed} et le moment fléchissant maximum M_{Ed} dans la poutre.

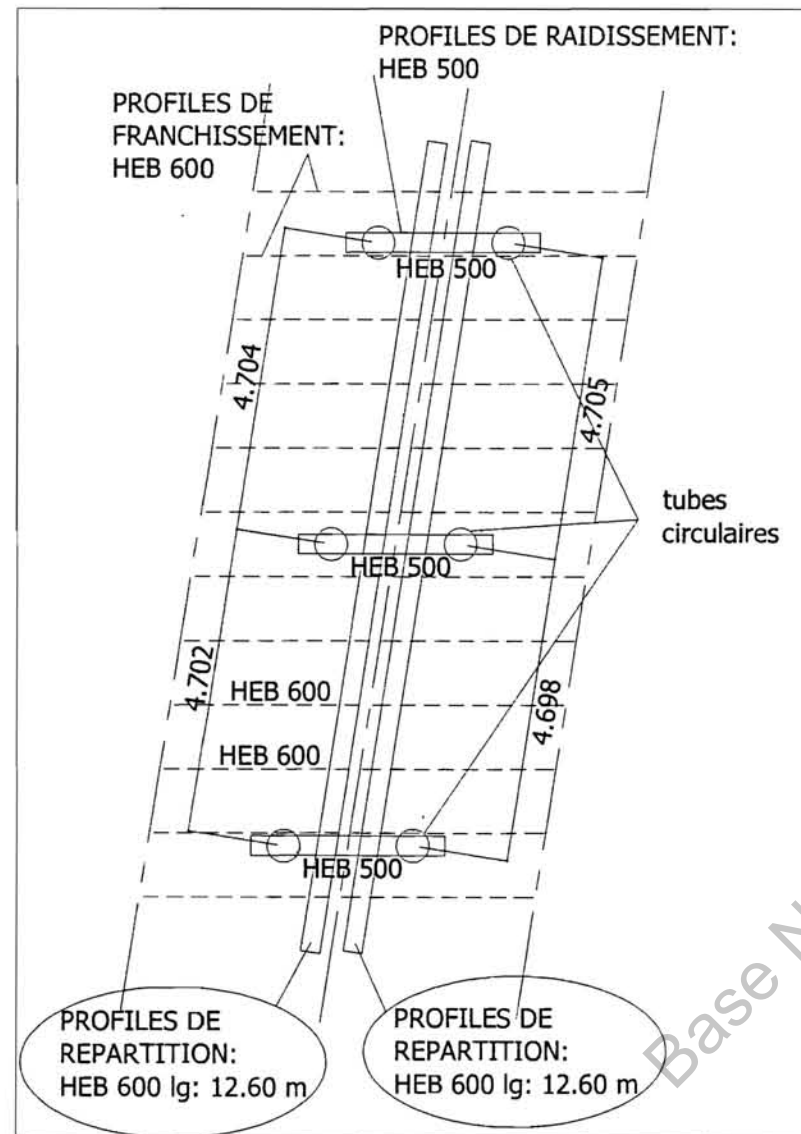
2.4. Vérifier le critère de résistance vis-à-vis de la contrainte normale engendrée par le moment fléchissant, conformément aux indications fournies sur le document DT5.

2.5. Vérifier le critère de résistance vis-à-vis de la contrainte tangentielle engendrée par l'effort tranchant, conformément aux indications fournies sur le document DT5.

3. Étude des profilés de répartition.

Documents à consulter : DT4, DT6.

L'étude concerne les profilés de répartition de la palée intermédiaire située entre les piles P1 et P2. Ils supportent les profilés de franchissement et transmettent les charges vers les profilés de raidissement positionnés en tête des tubes verticaux fichés dans le sol. Ils sont constitués de HEB 600. Dans cette partie, on souhaite effectuer les études préliminaires qui permettront, par la suite, d'effectuer la vérification vis-à-vis du critère de résistance en flexion.

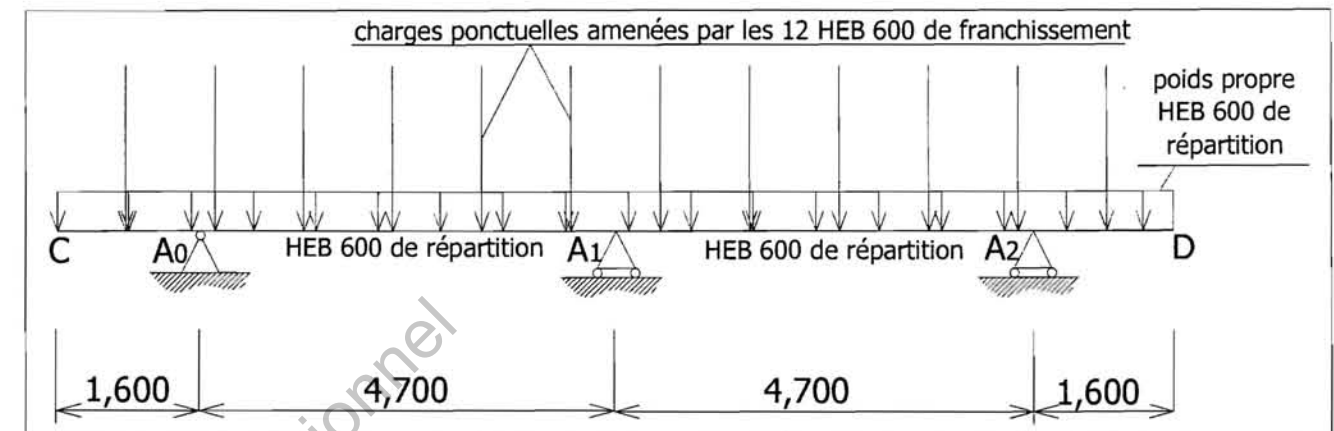


VUE EN PLAN PROFILS DE REPARTITION

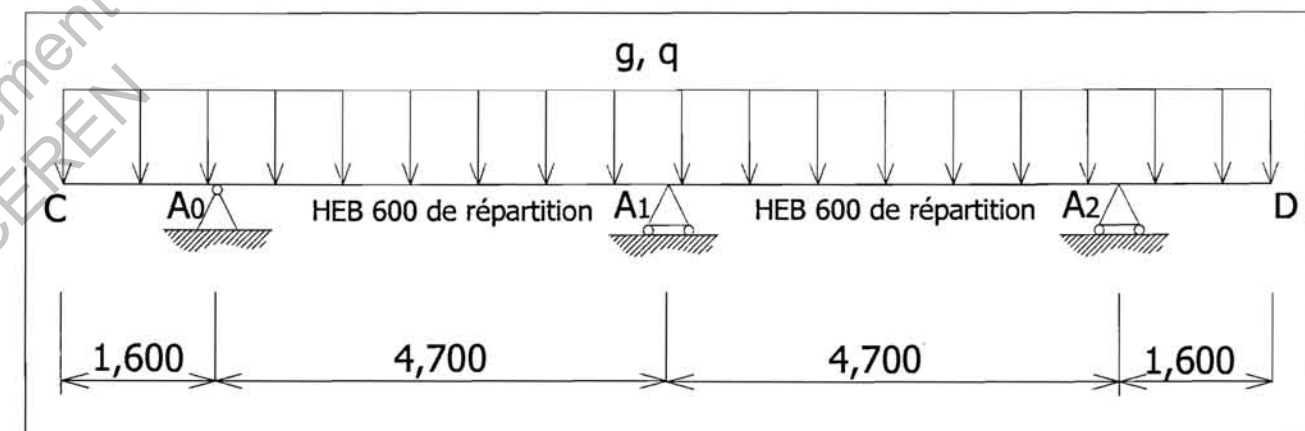
Données, hypothèses, remarques :

- ❖ Chaque HEB 600 de répartition est étudié comme une poutre sur trois appuis. Pour simplifier les calculs, les longueurs des travées sont considérées identiques. Deux types de chargement sont pris en compte :
 - une charge uniformément répartie correspondant au poids propre du profilé de répartition : $2,120 \text{ kN/m}$.

- des charges ponctuelles amenées par les profilés de franchissement, eux aussi des HEB 600.



- ❖ Les HEB 600 de franchissement étant positionnés tous les 1,000 m, il est admissible de répartir uniformément les charges qu'ils amènent sur le profilé de répartition étudié. En conséquence, le modèle mécanique pris en compte est le suivant :



- ❖ On donne : $g = 175 \text{ kN/m}$ et $q = 10 \text{ kN/m}$.

Travail demandé :

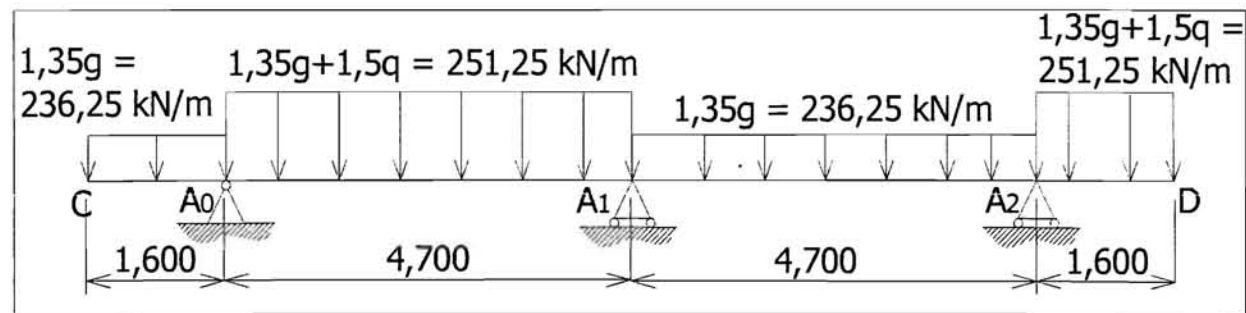
L'objectif est de déterminer le moment fléchissant maximum dans le profilé en effectuant un calcul aux ELU.

3.1. Calculer le moment fléchissant maximum sur l'appui A_0 : M_{0max} .

On souhaite aboutir à la détermination du moment fléchissant maximum sur l'appui A_1 : M_{1max} .

3.2. Représenter le cas de chargement aux ELU permettant d'y parvenir. On indiquera les combinaisons de charges et les valeurs numériques des charges dans chaque travée de la poutre continue. Le calcul de M_{1max} n'est pas demandé dans cette question.

3.3. On souhaite calculer le moment fléchissant maximum dans la travée A_0A_1 : $M_{t_{A_0A_1max}}$.
Le cas de chargement aux ELU est fourni.



3.3.1. Déterminer le degré d'hyperstaticité de cette poutre.

3.3.2. Montrer que les moments fléchissants sur les appuis A_0 et A_2 valent respectivement :

$$M_0 = -302,400 \text{ kN.m} \text{ et } M_2 = -321,600 \text{ kN.m}$$

3.3.3. Calculer la valeur du moment fléchissant sur l'appui A_1 : M_1 .

3.3.4. En suivant la démarche de votre choix et en ordonnant les calculs comme vous le souhaitez, donner la valeur de chacune des actions de liaison et tracer les diagrammes d'effort tranchant, $V(x)$, et de moment fléchissant, $M(x)$, le long de cette poutre en précisant les valeurs particulières.

On donne $M_{0max} = -321,600 \text{ kN.m}$, $M_{1max} = -542,564 \text{ kN.m}$ (attention : ce n'est pas le résultat qui doit être obtenu à la question 3.3.3.) et $M_{t_{A_0A_1max}} = +288,188 \text{ kN.m}$.

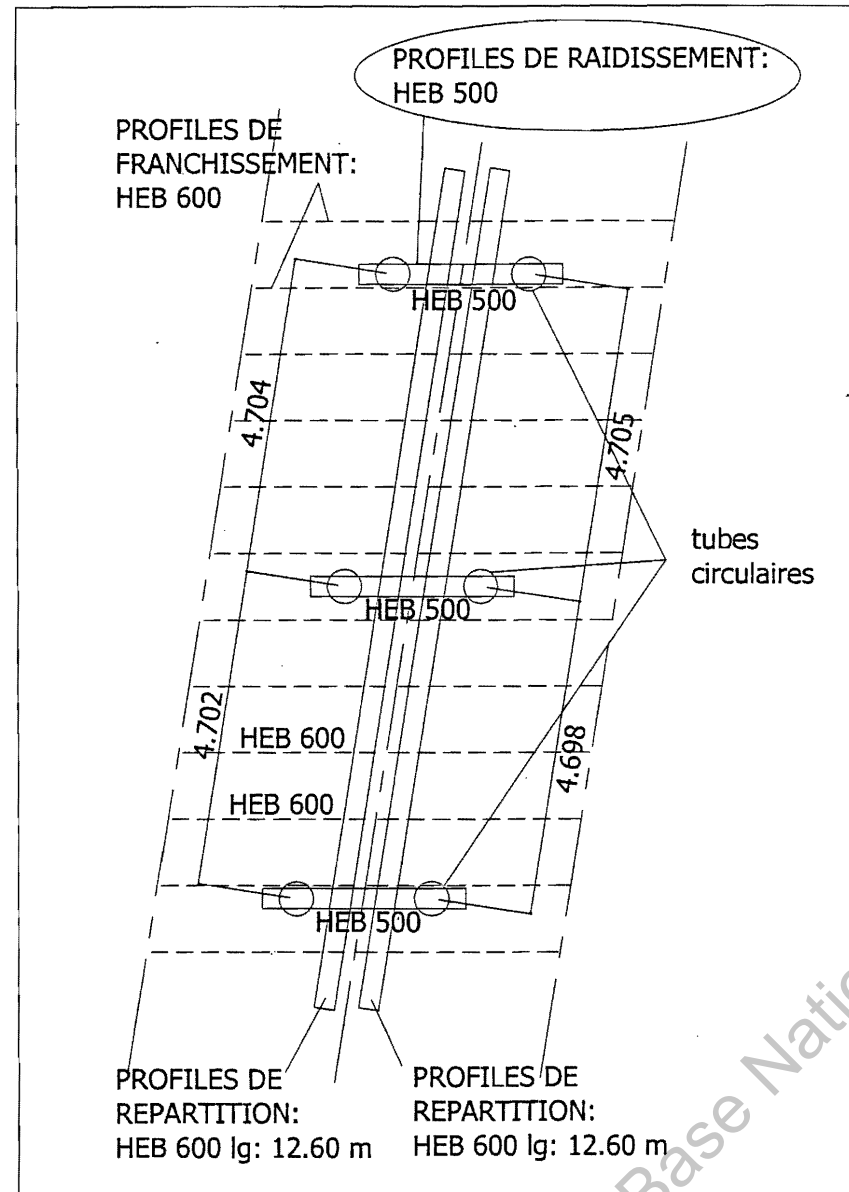
3.4. Quelle valeur reprenez-vous pour effectuer la vérification du profilé de répartition vis-à-vis du critère de résistance en flexion (on ne vous demande pas d'effectuer la vérification en question) ?

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

4. Étude des profilés de raidissement.

Documents à consulter : DT4, DT6.

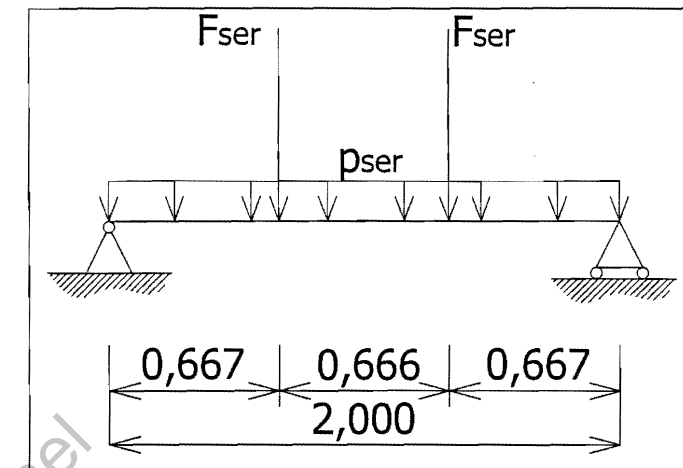
L'étude concerne les profilés de raidissement situés en tête des tubes verticaux fichés dans le sol. Ils reçoivent les profilés de répartition qui supportent les profilés de franchissement. Ils sont constitués de HEB 500 que l'on souhaite vérifier vis-à-vis du critère de déformée.



VUE EN PLAN PROFILS DE RAIDISSEMENT

Données, hypothèses, remarques :

- ❖ La flèche limite est : $20 \text{ mm} + \frac{1}{2000^{\text{ème}}}$ de la portée.
- ❖ Module d'Young de l'acier : $E = 210\,000 \text{ MPa}$.
- ❖ Les profilés de raidissement supportent, en plus de leur poids propre, deux charges ponctuelles provenant des profilés de répartition. Le modèle mécanique de calcul, à l'ELS, est le suivant :

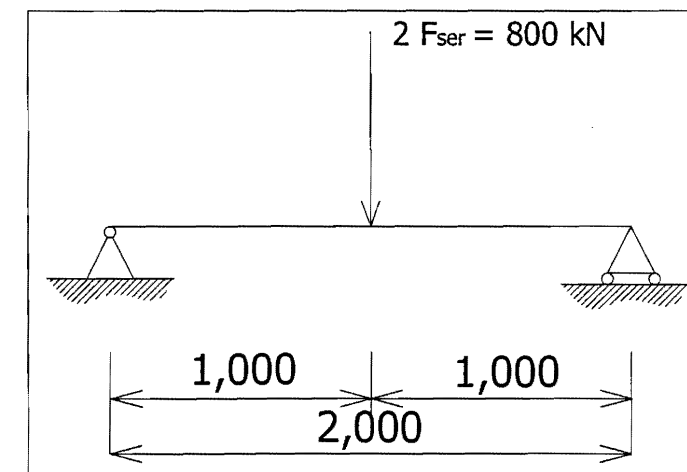


- ❖ On prendra $F_{ser} = 400 \text{ kN}$ et $p_{ser} = 1,870 \text{ kN/m}$.
- ❖ Le théorème de Muller-Breslau et le tableau des intégrales de Mohr figurent sur le document DT6.

Travail demandé :

L'objectif est de déterminer la flèche maximum en milieu de portée et de vérifier si elle est admissible.

Dans un premier temps et en première approche, on s'intéresse à la poutre selon le modèle mécanique simplifié suivant.



4.1. Calculer la flèche à mi-portée.

Dans un second temps, on s'intéresse à la poutre soumise uniquement à la charge répartie $p_{ser} = 1,870 \text{ kN/m}$. La flèche, à mi-portée, se calcule grâce à l'expression : $\frac{5 p_{ser} \ell^4}{384 EI}$.

- I : moment quadratique du profilé.
- p_{ser} : charge uniformément répartie.
- ℓ : portée de la poutre.

4.2. Calculer la flèche due à la charge répartie à mi-portée.

4.3. Calculer la flèche totale (due aux charges ponctuelles et réparties). Est-elle admissible ? Quelle analyse faites-vous de ce résultat ?

2^{ème} thème : étude de l'appui intermédiaire (pile P1)

L'étude consiste à :

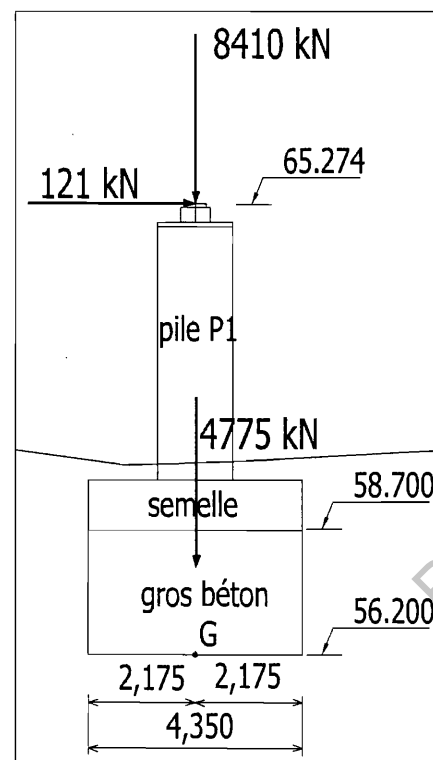
- déterminer le diagramme de répartition des contraintes sous la semelle et à effectuer une vérification au poinçonnement du sol ;
- calculer le ferrailage d'une partie de la semelle.

5. Vérification des contraintes sous la semelle de la pile P1.

Document à consulter : DT3.

Données :

- ❖ Les efforts, à l'ELS, appliqués en tête de la pile P1 sont verticalement de 8410 kN et horizontalement de 121 kN.
- ❖ Le poids propre de l'ensemble pile + semelle + gros béton est, à l'ELS, de 4775 kN.
- ❖ La semelle présente une largeur $B = 4,350$ m et une longueur $L = 10,000$ m.
- ❖ G représente le centre de gravité de la base rectangulaire du gros béton en contact avec le sol.

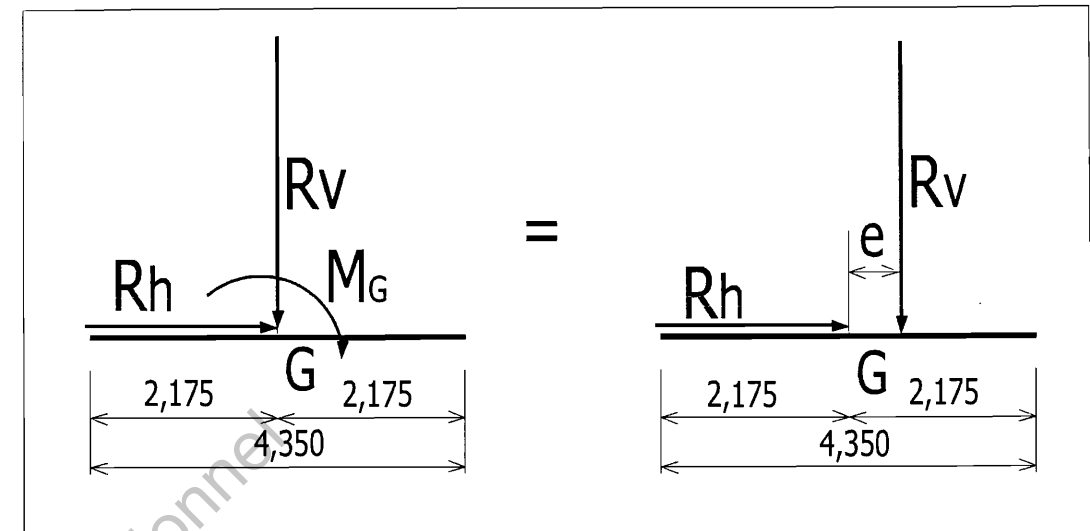


- ❖ Contrainte admissible du sol : $q_{adm} = 0,4$ MPa.

Travail demandé :

5.1. En G, calculer, à l'ELS, l'effort vertical R_v , l'effort horizontal R_h et le moment M_G exercés par la pile et son chargement, la semelle et le gros béton sur le sol.

5.2. En déduire l'excentricité $e = \frac{M_G}{R_v}$.



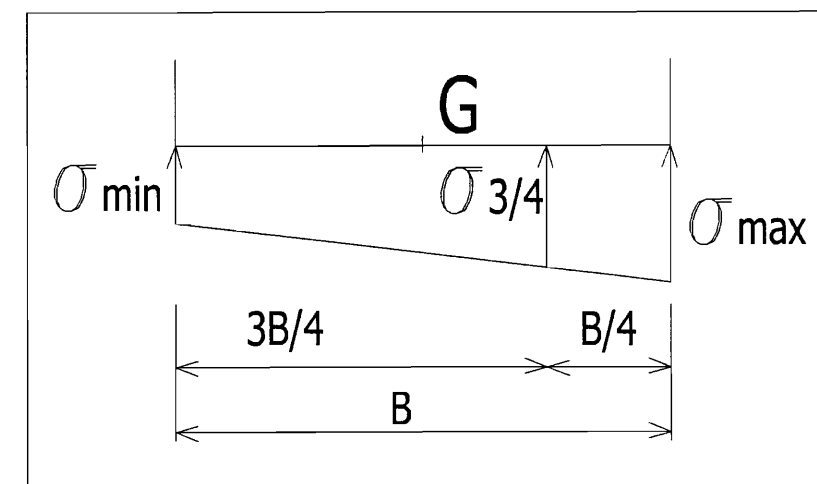
- Si $e \leq \frac{B}{6}$, le diagramme des contraintes exercées par le sol sur la semelle est trapézoïdal.
- Si $e > \frac{B}{6}$, le diagramme des contraintes exercées par le sol sur la semelle est triangulaire.

Montrer que le diagramme que vous obtenez est trapézoïdal.

Le diagramme trapézoïdal est constitué d'une contrainte maximale σ_{max} et d'une contrainte minimale σ_{min} . Elles se calculent de la façon suivante :

$$\sigma_{max} = \frac{|R_v|}{BL} + \frac{6|M_G|}{B^2L}$$

$$\sigma_{min} = \frac{|R_v|}{BL} - \frac{6|M_G|}{B^2L}$$



5.3. Calculer σ_{max} et σ_{min} .

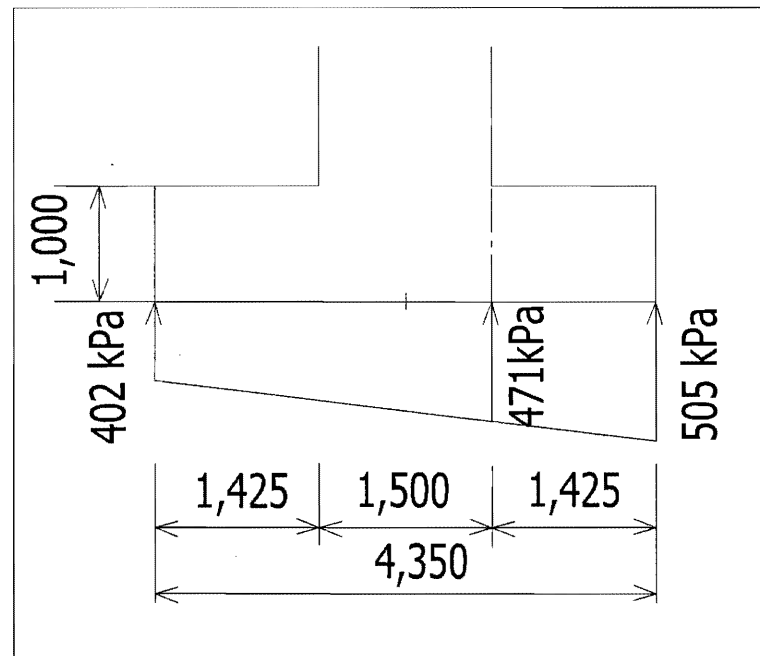
5.4. Calculer la valeur de la contrainte $\sigma_{3/4} = \frac{\sigma_{min} + 3\sigma_{max}}{4}$. Vérifier la stabilité au poinçonnement par la relation $\sigma_{3/4} \leq q_{adm}$. Conclusion.

6. Ferrailage d'une partie de la semelle de la pile P1.

Document à consulter : DT3, DT7.

Données :

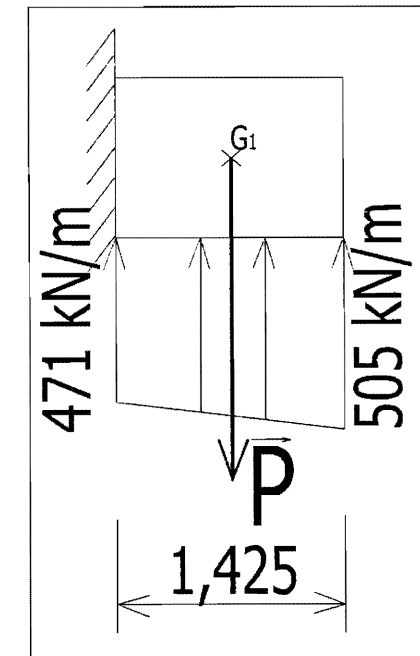
- ❖ Les combinaisons d'actions considérées sont à l'ELU.
- ❖ A l'ELU, la répartition des contraintes sous la semelle est la suivante, pour 1 m de profondeur de semelle :



Travail demandé :

6.1. A partir du modèle mécanique ci-dessous, montrer que le moment ultime au niveau de l'encastrement de la console sur la partie arrière de la semelle vaut : $M_{Ed} = 475,843 \text{ kN.m}$.

Tranche de 1 m de profondeur



6.2. A partir de l'organigramme de calcul fourni sur le document technique DT7, déterminer la section des armatures principales. Effectuer un choix d'armatures et indiquer leur disposition sur un schéma.

- ❖ On se limite à une partie de semelle travaillant, par hypothèse, en console de longueur 1,425 m, de largeur $b_w = 1,000 \text{ m}$ (correspondant au 1 m de profondeur énoncé ci-dessus) et de hauteur $h = 1,000 \text{ m}$.
- ❖ On ne tient pas compte des terres et de l'eau situées au-dessus de la console. En revanche, le poids de la console est considéré sans majoration par 1,35.
- ❖ Le béton est de classe **C30/37**. Son poids volumique est 25 kN/m^3 .
- ❖ La classe d'exposition de la semelle de fondation est **XC2**.