

ANALYSE ET CONCEPTION D'OUVRAGE

Épreuve : U4 Analyse et conception d'ouvrage

SUJET 0

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

CORRIGE

Matériel autorisé :

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Aucun document autorisé :

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de pages, numérotées de -----.

BTS TRAVAUX PUBLICS – Analyse et Conception d'ouvrage		SUJET 0
U4 – Analyse et Conception d'ouvrage	Code :	Page 1 sur 11

Dossier réponse à rendre avec la copie	
DR N°1 : sur l' ÉTUDE 1	Page 3
DR N°2 : sur l' ÉTUDE 2	Page 4
DR N°3 : sur l' ÉTUDE 2	Page 5
DR N°4 : sur l' ÉTUDE 3	Page 6
DR N°5 : sur l' ÉTUDE 3	Page 7
DR N°6 : sur l' ÉTUDE 3	Page 8
DR N°7 : sur l' ÉTUDE 4	Page 8
DR N°8 : sur l' ÉTUDE 4	Page 9
DR N°9 : sur l' ÉTUDE 4	Page 10
DR N°10 : sur l' ÉTUDE 5	Page 11

Études	Barème	Durées indicatives
ÉTUDE 1 : LE TRACE ET SES CONTRAINTES	25 points	30 min
ÉTUDE 2 : L'OUVRAGE HYDRAULIQUE OH N°1	50 points	60 min
ÉTUDE 3 : LE MUR DE SOUTÈNEMENT M1 DU BOVIDUC	65 points	75 min
ÉTUDE 4 : LA COUCHE DE FORME DE CHAUSSEE	25 points	30 min
ÉTUDE 5 : L'ETAIEMENT DU PASSAGE SUPERIEUR N°1	35 points	45 min
TOTAL	200 points	240 min soit 4 heures

DOCUMENT REPONSE N°1 / 25 points

➤ **QUESTION N°1- Quelles sont les principales nuisances occasionnées par le trafic routier au sein de la commune de Saint-Hilaire-Sur-Risle qui ont conduit au projet de contournement ?**

Les principales nuisances occasionnées par le trafic routier sont :

- Nuisances sonores et visuelles,
- Pollutions atmosphériques (qualité de l'air),
- Vibrations,
- Accidentologie.

➤ **QUESTION N°2- Quelles sont les principales solutions possibles pour limiter ces nuisances ?**

Les principales solutions possibles pour limiter ces nuisances sont :

- Des murs anti-bruit,
- Des revêtements routiers absorbants la pollution et moins sonores,
- Un tunnel passant sous la commune,
- Une déviation du bourg de Saint-Hilaire-Sur-Risle,
- ...

➤ **QUESTION N°3- A partir des Documents Techniques N°1 et N°2, tracer et entourer sur le Document Réponse N°1, les éléments suivants étant des contraintes à gérer pour la définition du tracé du contournement en respectant les couleurs imposées.**

- **En noir** : la RD 926 existantes, les voies ferroviaires, les voies communes et les Routes Départementales,
- **En bleu** : les rivières, les zones de captage et de pompage d'eau potable, le château d'eau
- **En vert** : le château et sa grille classés, les zones boisées, les zones habitées et le cimetière.

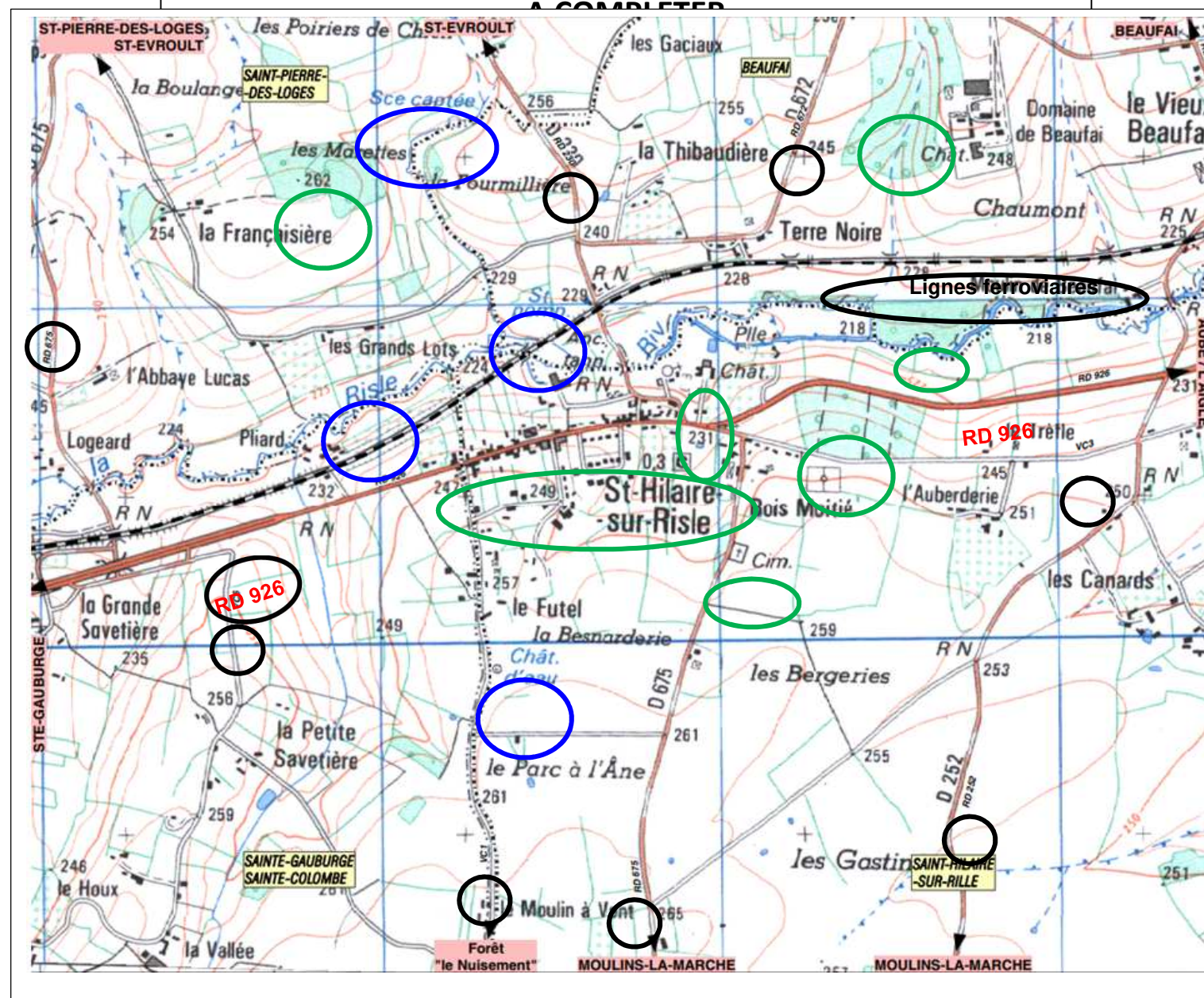
➤ **QUESTION N°4- Justifier le choix par le conseil départemental du tracé n°2 (DT 2) vis-à-vis des tracés n°1 et n°3.**

Compléter sur le Document Réponse N° le tableau comparatif Points forts/Points faibles en fonction des critères de contraintes définis.

	Tracé n°1	Tracé n°2	Tracé n°3
Coût lié à la longueur du tracé	-	+	-
Création d'ouvrages d'art pour franchissement de la Risle et des Voies ferrées	-	+	+
Zones boisées	-	+	+
ZNIEFF et Zone Natura 2000 (Faunes et Flores)	-	+	-
Château et Grille classés (Patrimoine)	-	+	+
Zone de captage d'eau potable	-	+	+
Château d'eau à éviter	+	+	+

Choix du tracé : Le tracé n°2 répond aux contraintes en étant le moins long et avec le moins d'ouvrage de franchissement par rapport aux deux autres tracés.

PLAN DE SITUATION DE L'ENVIRONNEMENT AVANT TRAVAUX



DOCUMENT REPONSE N°2 / 50 points

➤ **QUESTION N°5 :** A partir des informations ci-dessus, déterminer l'intensité d'averse *i* en mm/min puis en m/h.
i (en mm/minute) = $a \times T_c^b$

Coefficient de Montana		Temps de concentration en minutes T_c	Intensité d'averse en mm/minute i	Intensité d'averse en m/heure i
a	b			
7,3	-0,68	14	1,213	0,0728

➤ **QUESTION N°6 :** Calculer le débit de pointe noté Q_p en m³/seconde en tenant compte d'une intensité d'averse $i = 0,0728$ m/heure.
 Q_p (en m³/heure) = $i \times C \times A$

Intensité d'averse en m/heure i	Coefficient de ruissellement C	Surface totale du bassin versant en m ² A	Débit de pointe en m ³ /h Q_p	Débit de pointe en m ³ /s Q_p
$i = 0,0728$	$C = 0,297$	$A = 2\,620\,000$	$Q_p = 56\,648,59$	$Q_p = 15,74$

➤ **QUESTION N°7 :** Déterminer par calcul le diamètre théorique D de la canalisation circulaire en béton pour un débit de pointe $Q_p = 15,74$ m³/s.
 $Q_p = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$

Débit de pointe en m ³ /s Q_p	Coefficient de rugosité buse béton K	Pente de la canalisation en m/m I	Diamètre théorique de la canalisation en m D
$Q_p = 15,74$	$K = 70$	$I = 0,01$	$[(15,74 \times 4^{5/3}) / (70 \times 0,01^{1/2} \times \pi)]^{3/8}$ $D = 2,098 + 0,50 = 2,598$

Choisir le diamètre réel du fournisseur, sachant qu'il faut rajouter 50 cm de GNT 0/31⁵ pour reconstituer le lit du ruisseau parmi les diamètres ci-dessous (encadrer le diamètre) :

600 , 800 , 1000 , 1200 , 1400 , 1600 , 1800 , 2000 , 2200 , 2500 , **2800** , 3000 , 3200,...

➤ **QUESTION N°8 :** Déterminer par calcul la vitesse pleine section de cette canalisation en béton pour un diamètre de 2800 mm (compléter le Document Réponse N°2).

$V_{PS} = K \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$

$R_h = S_m / P_m$ S_m : Surface mouillée en m² P_m : Périmètre mouillé en m

Coefficient de rugosité buse béton K	Surface mouillée en m ² S_m	Périmètre mouillé en m P_m	Rayon hydraulique en m R_h	Pente de la canalisation en m/m I	Vitesse à pleine section en m/s V_{PS}
$K = 70$	$\pi \cdot r^2 = \pi \cdot 1,4^2$ $S_m = 6,158$	$2 \cdot \pi \cdot r = 2\pi \cdot 1,4$ $P_m = 8,786$	$6,158 / 8,786$ $R_h = 0,701$	$I = 0,01$	$70 \times 0,701^{2/3} \times 0,01^{1/2}$ $V_{PS} = 5,52 > 5$ m/s

Commenter la vitesse pleine section obtenue, est-elle acceptable ?

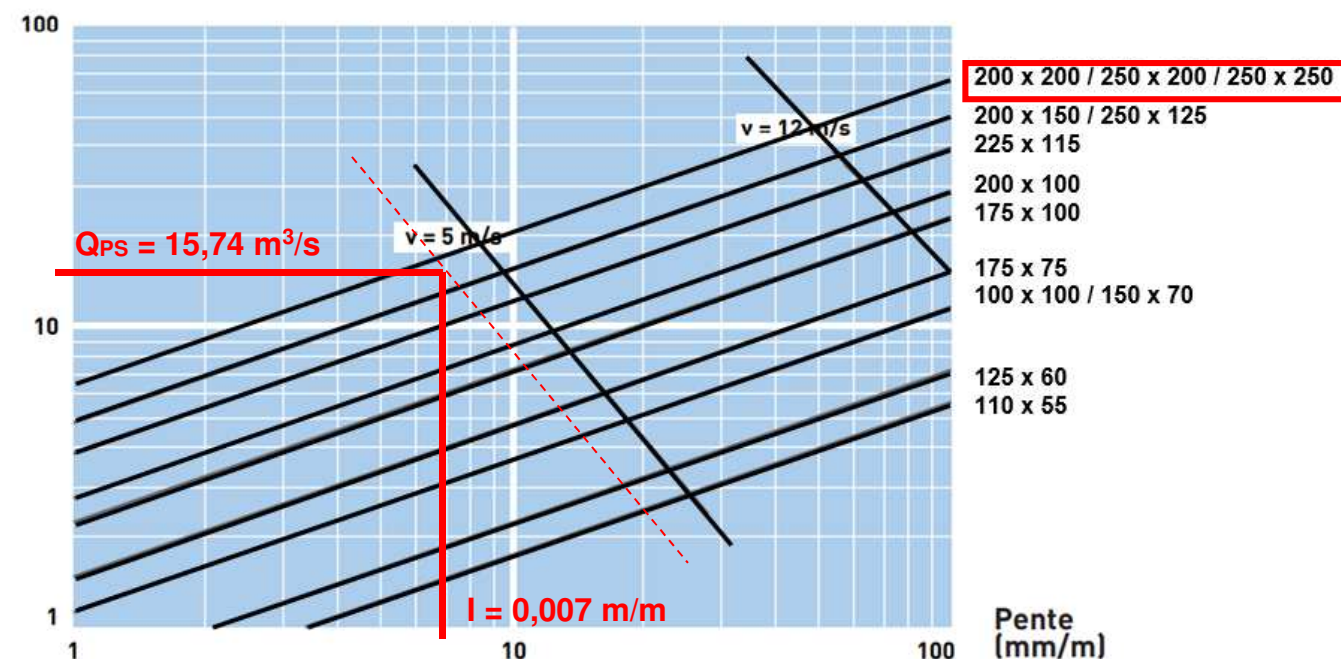
La vitesse à pleine section n'est pas acceptable car supérieure à 5 m/s

Si ce n'est pas le cas, recalculer la vitesse pleine section pour une pente de 0,007 m/m :

$V_{PS} = 70 \times 0,701^{2/3} \times 0,007^{1/2} \Leftrightarrow V_{PS} = 4,62 < 5$ m/s

➤ **QUESTION N°9 :** Déterminer par lecture sur abaque la section commerciale du cadre carré L x H pour un débit de pointe $Q_p = 15,74$ m³/s (compléter le Document Réponse N°2).

Débit (m³/s)



Choix de la section commerciale : si cadre de 200 cm de haut rajouter lit 50 cm donc 250 x 250 cm

La vitesse pleine section est-elle acceptable ? oui la vitesse $V_{PS} < 5$ m/s

Montrer l'équivalence hydraulique entre votre cadre et la buse en béton :

Dimensions cadre L x H (cm)	Goussets (cm)	Débit équivalent tuyau			
		1 tuyau		2 tuyaux	
		circulaire ϕ mm exact	circulaire normalisé	circulaire ϕ mm exact	circulaire normalisé
50 x 30	5 x 5	420	500	324	400
60 x 40	5 x 5	535	600	412 (400)	500
80 x 40	5 x 5	612	800	472	500
100 x 40	10 x 10	668	800	515	600
100 x 60	5 x 5	839	1000	647	800
100 x 75	20 x 20	914	1000	704	800
100 x 100	10 x 10	1098	1200	846	1000
110 x 55	10 x 10	837	1000	645	800
125 x 60	10 x 10	920	1000	719	800
125 x 125	20 x 20	1357	1400	1047	1000/1200
150 x 70	15 x 15	1095	1200	848	1000
150 x 100	20 x 20	1321	1400	1019	1000/1200
150 x 150	20 x 20	1638	1600/1800	1263	1200/1400
170 x 80	20 x 20	1238	1200/1400	955	1000
175 x 75	20 x 20	1209	1200/1400	933	1000
200 x 100	20 x 20	1518	1600	1170	1200
200 x 125	20 x 20	1717	1800	1324	1400
200 x 150	20 x 20	1892	2000	1459	1500
200 x 200	20 x 20	2195	2200	1693	1800
225 x 115	20 x 20	1734	1800	1337	1400
250 x 125	20 x 20	1907	2000	1470	1500
250 x 150	20 x 20	2107	2200	1624	1800
250 x 200	20 x 20	2452	2500	1891	2000
250 x 250	20 x 20	2748	2800	2119	2200
300 x 200	20 x 20	2678	2800	2065	2200

DOCUMENT REPONSE N°3

➤ **QUESTION N°10 :** Suite à l'enquête Faune-Flore, on constate que cet ouvrage hydraulique se situe dans une Zone Natura 2000 (voir Document Technique N°3) avec présence d'une faune et d'une flore très variées, on envisage donc un passage petites faunes de 70 cm de large, dans l'ouvrage hydraulique.

Quel impact, cette contrainte a-t-elle sur la section intérieure de l'ouvrage ?

Choisir la section la plus appropriée en justifiant votre réponse.

Type et sections d'ouvrage	OH Conduite circulaire Ø2800 mm	OH Cadre préfabriqué 250 x 250 cm
Impact sur la section intérieure de l'OH	1/8 de la section est occupée par ce passage petite faune, il faut donc augmenter la section et passer à un Ø3000 ou Ø 3200	L'impact est plutôt négligeable on conserve une section hydraulique pratiquement de 250 x 250 cm.
Choix de la section par rapport aux contraintes environnementales	Solution à privilégier pour des petites sections (très petits cours d'eau)	Solution à privilégier pour des sections importantes (ruisseau, rivière)

➤ **QUESTION N°11 :** Déterminer, la Longueur maxi d'un cadre, son poids ainsi que le nombre d'éléments sachant que l'OH1 a une longueur totale de 79,19 m en complétant le DR N° (encadrer le cas de figure). On négligera le passage petites faunes dans le poids d'un élément, on supposera un joint de 1 cm entre chaque cadre.

Cadre de 250 x 250 cm : Epaisseur du cadre = 25 cm

Longueur = 175 cm

Poids du cadre = 12,31 Tonnes

Nombre d'éléments : $79,19 \text{ m} / 1,75 \text{ m} = 45 \text{ éléments}$ ($45 \times 1,75 + 0,01 \times 44 \text{ joints} = 79,19 \text{ m}$)

Cadres

Modulables

Cadres

Cadrem

modulables

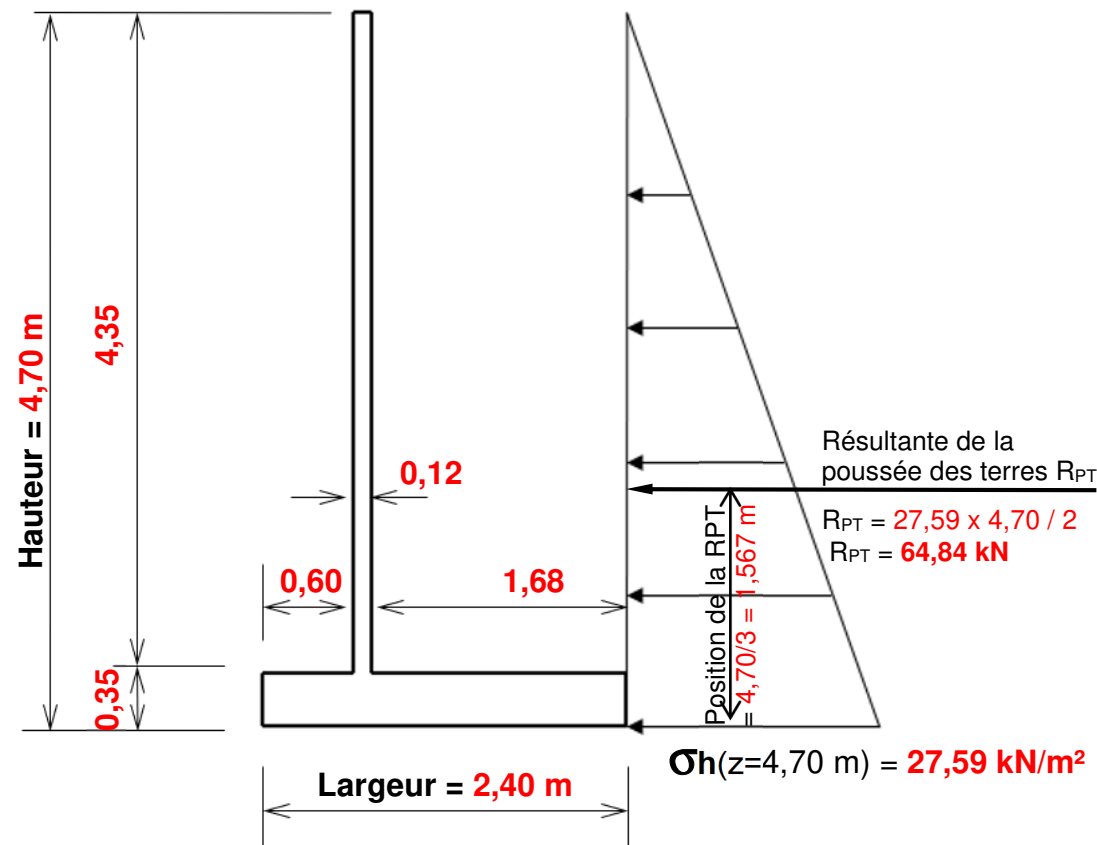
Cadrem

Caractéristiques dimensionnelles

Poids des pièces (T) selon longueur et épaisseur (cm)		Épaisseur (cm)												Manutention							
		16	18	19	21	22	25	30,5	33,5	16	18	19	21								
Longueur maxi. (cm)	l x H (cm)	239	200	200	239	150	200	239	100	150	175	200	120	150	175	200	120	150	175	200	
		100x75	4,20																		
100x100	4,65																				5 T < poids ≤ 10 T = 2 ancrés x 10 T
125x100	5,10																				
150x100	5,85	5,60																			
150x150	6,80	6,50																			
150x175	7,13		8,51				9,93														
200x100	6,80	6,50	8,12	7,60	9,46																
200x150	7,75	7,40	9,25	8,60	10,79																
200x200	8,70	8,30	10,38	9,70	10,12																
200x250			11,28		11,04																
250x100	7,31	9,06	8,59		10,58																
250x125	7,80	9,81	9,20		11,45																
250x150	8,30	10,38	9,70	10,12																	
250x200	9,15	11,28	10,73	11,04																	
250x250	10,10	10,57	11,80	10,76		12,31															
300x125	8,70	10,73	10,21	10,50																	
300x150	9,20	11,51	10,70	11,21																	
300x200	10,10	10,57	11,80	10,76		12,38															
300x250		11,51	12,80	11,72		11,55															
300x300			10,50			12,50								17,90							
350x200														16,56							
400x150															15,32						20,96
400x200															16,57						
400x250															17,81						
400x300															19,05						
500x150															17,81						
500x200																21,98					
500x250															19,10						
500x300															17,59						
500x350															17,80						
500x400															16,20						
500x450															15,90						
600x250															11,34						
600x300															12,00						
600x350																16,77					
600x400																17,70					
600x450																19,50					

DOCUMENT REPONSE N°4 / 65 points

➤ **QUESTION N°12 : Vérifier la stabilité au glissement du mur et celle au poinçonnement du sol support.**



Vérification de la stabilité externe :

Les vérifications se faisant aux ELU :

- Les actions permanentes favorables à l'équilibre sont pondérées par un coefficient de **1**
- Les actions permanentes défavorables à l'équilibre sont pondérées par un coefficient de **1,35**
- Les actions d'exploitation favorables à l'équilibre sont pondérées par un coefficient de **0**
- Les actions d'exploitation défavorables à l'équilibre sont pondérées par un coefficient de **1.5**

Déterminer les côtes manquantes à partir du DT N°8. En déduire la contrainte horizontale notée σ_h à partir des informations ci-dessous. Faire le bilan des forces agissant sur ce mur (forces et distances).

• $\sigma_h (ELU) = K_a \times \sigma_v$

avec : $\sigma_v (ELU) =$ Contrainte Verticale = coefficient pondérateur . γ . z

$\sigma_h =$ Contrainte Horizontale

$K_a =$ Coefficient de poussée = $(\tan (45 - \phi/2))^2$

• $\sigma_h (ELU) = K_a \times \sigma_v$

$K_a = (\tan (45 - \phi/2))^2 = (\tan (45 - 40/2))^2 = \mathbf{0,21744}$

$\sigma_v = 1,35 \times (20 \times 4,70) = \mathbf{126,90 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}}$

$\sigma_h (ELU) = 0,21744 \times 126,90 = 27,59 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)} = \mathbf{27,59 \text{ kN/ml de mur}}$

Bilan des forces :

$R_{PT} =$ Résultante de la Poussée des Terres

$R_{PT} = \mathbf{64,84 \text{ kN}}$

$W_{Mur} =$ Poids du Mur = $0,12 \times 4,35 \times 1 \text{ ml} \times 25 \text{ kN/m}^3$

$W_{Mur} = \mathbf{13,05 \times 1,35 = 17,6175 \text{ kN}}$

$W_{Semelle} =$ Poids de la Semelle = $0,35 \times 2,40 \times 1 \text{ ml} \times 25 \text{ kN/m}^3$

$W_{Semelle} = \mathbf{21 \times 1,35 = 28,35 \text{ kN}}$

$W_{Remblai} =$ Poids de la Remblai = $1,68 \times 4,35 \times 1 \text{ ml} \times 20 \text{ kN/m}^3$

$W_{Remblai} = \mathbf{146,16 \times 1,35 = 197,316 \text{ kN}}$

Distance entre le poids du mur W_M et le centre de la semelle 0 :

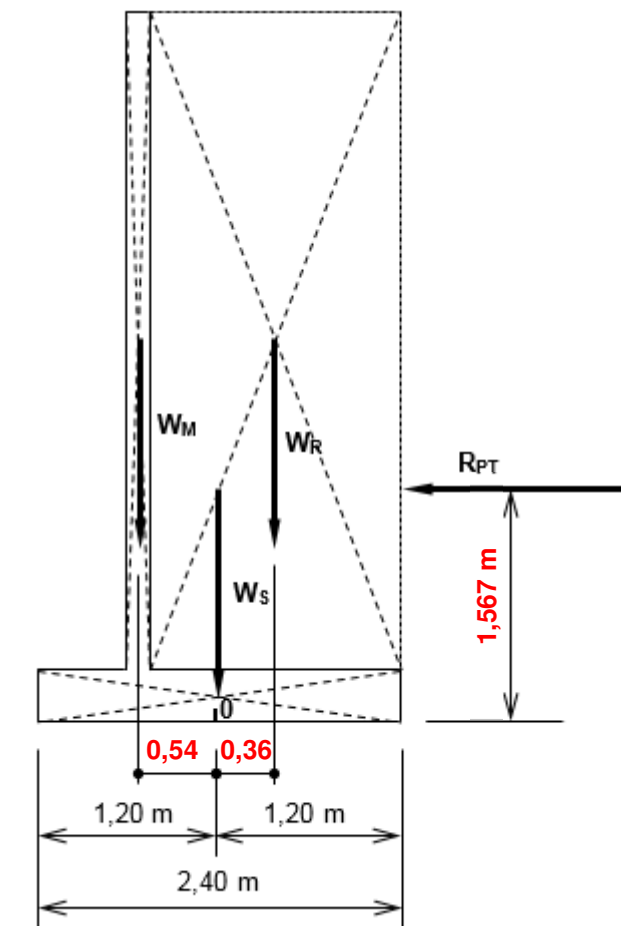
$1,20 - 0,60 - (0,12/2) = \mathbf{0,54 \text{ m}}$

Distance entre le poids du remblai W_R et le centre de la semelle 0 :

$1,20 - (1,68/2) = \mathbf{0,36 \text{ m}}$

Distance entre le poids du semelle W_S et le centre de la semelle 0 :

$\mathbf{0}$



DOCUMENT REPONSE N°5

Vérification au non glissement :

Résultante des efforts verticaux pondérés :

$R_v = 17,6175 + 28,35 + 197,316 = 243,28 \text{ kN}$

Résultante des efforts horizontaux pondérés :

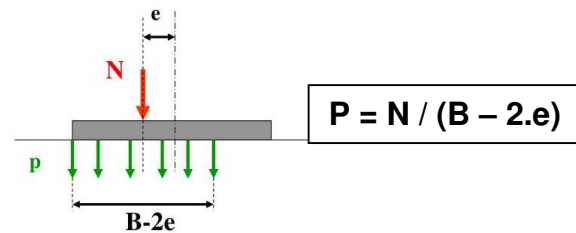
$R_H = 64,84 \text{ kN}$

Vérification : $\frac{R_v \times \tan\theta}{R_H} = (243,28 \times \tan 40^\circ) / 64,84 = 3,15 > 1,1 ?$

Conclusion : **Il n'y a donc pas risque de glissement du mur de soutènement car on trouve $3,15 > 1,10$**

Vérification au non poinçonnement du sol support :

Schéma de MEYERHOF



Résultante des efforts verticaux pondérés :

$R_v = 243,28 \text{ kN}$

Moment résultant pondérés de l'ensemble des forces pondérées par rapport au point O, centre de gravité de la surface de contact sol/semelle :

$M_R = M_0W_M + M_0W_S + M_0W_R + M_0R_{PT}$
 $M_R = (+ 0,54 \times 17,6175) + (0) + (- 0,36 \times 197,316) + (+ 1,567 \times 64,84)$
 $M_R = + 40,08 \text{ kN.m}$

Excentricité e de la résultante des efforts verticaux pondérés :

$e = \frac{M_R}{R_v} = (+ 40,08 / 243,28) = 0,165 \text{ m}$

Contrainte $q'_{\text{réf}}$ exercée par la semelle sur le sol support :

$q'_{\text{réf}} = \frac{R_v}{B-2e} = (243,28 / (2,40 - 2 \times 0,165)) = 117,53 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)} < 200 \text{ kPa} ?$

$R_v = 243,28 \text{ kN}$

B (Base de la semelle) = 2,40 m

e (Excentricité) = 0,165 m

Conclusion : **Il n'y a donc pas risque de poinçonnement du mur de soutènement car on trouve une contrainte de pression au sol de 117,53 kPa < 200 kPa (pression admissible du sol)**

Vérification de la stabilité interne :

Afin de limiter l'épaisseur du mur, il a été choisi de faire reprendre les efforts de poussée des terres par des raidisseurs verticaux de section 20 x 50cm.

La zone la plus sollicitée étant située à la liaison mur/semelle on se propose de calculer les sollicitations à ce niveau.

➤ **QUESTION N°13 : Calculer le moment en pied de raidisseur soit M_A .**

Hachurer, dans un premier temps, sur le schéma ci-dessous à gauche, la surface reprise par un raidisseur. En déduire la largeur L de reprise d'un raidisseur ainsi que la valeur de la charge variable Q en kN/ml et la nouvelle résultante R_{PT} /raidisseur en complétant le Document Réponse N°5. Calculer ensuite la valeur du moment repris par un raidisseur en A noté M_A .

Calcul de la largeur L de reprise d'un raidisseur à partir du **Document Technique N°8** :

$L = 85/2 + 20 + 43 = 105,50 \text{ cm} = 1,055 \text{ m}$

En déduire la valeur de la charge variable en pied de raidisseur Q :

$Q = 25,5 \text{ kN/m}^2 \times 1,055 \text{ m} = 26,9025 \text{ kN/m}$

En déduire la nouvelle résultante des poussées des terres sur un raidisseur R_{PT} :

$R_{PT} = 26,9025 \times 4,35/2 = 58,51 \text{ kN}$

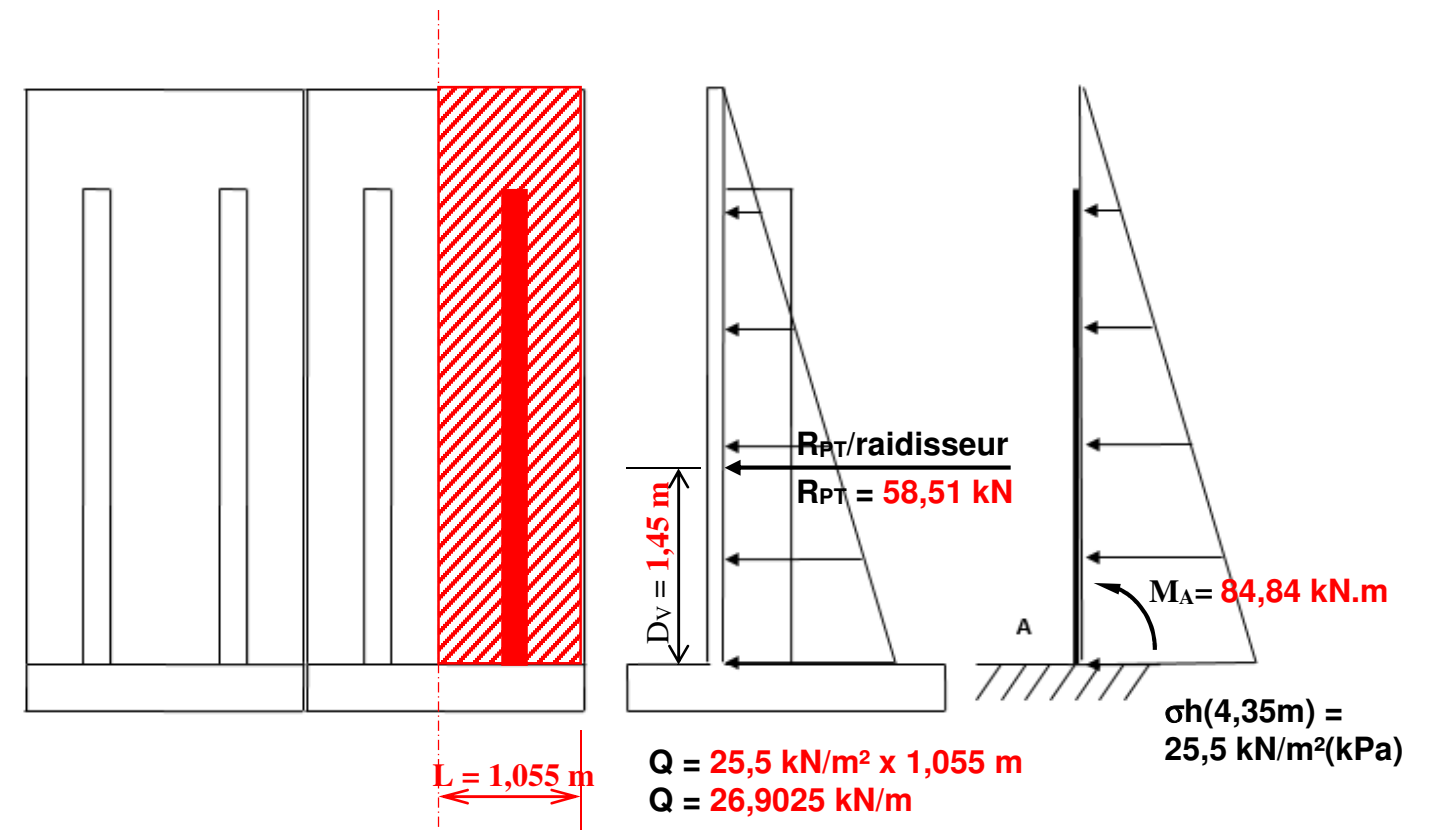
Distance verticale D_v entre cette résultante et le point A :

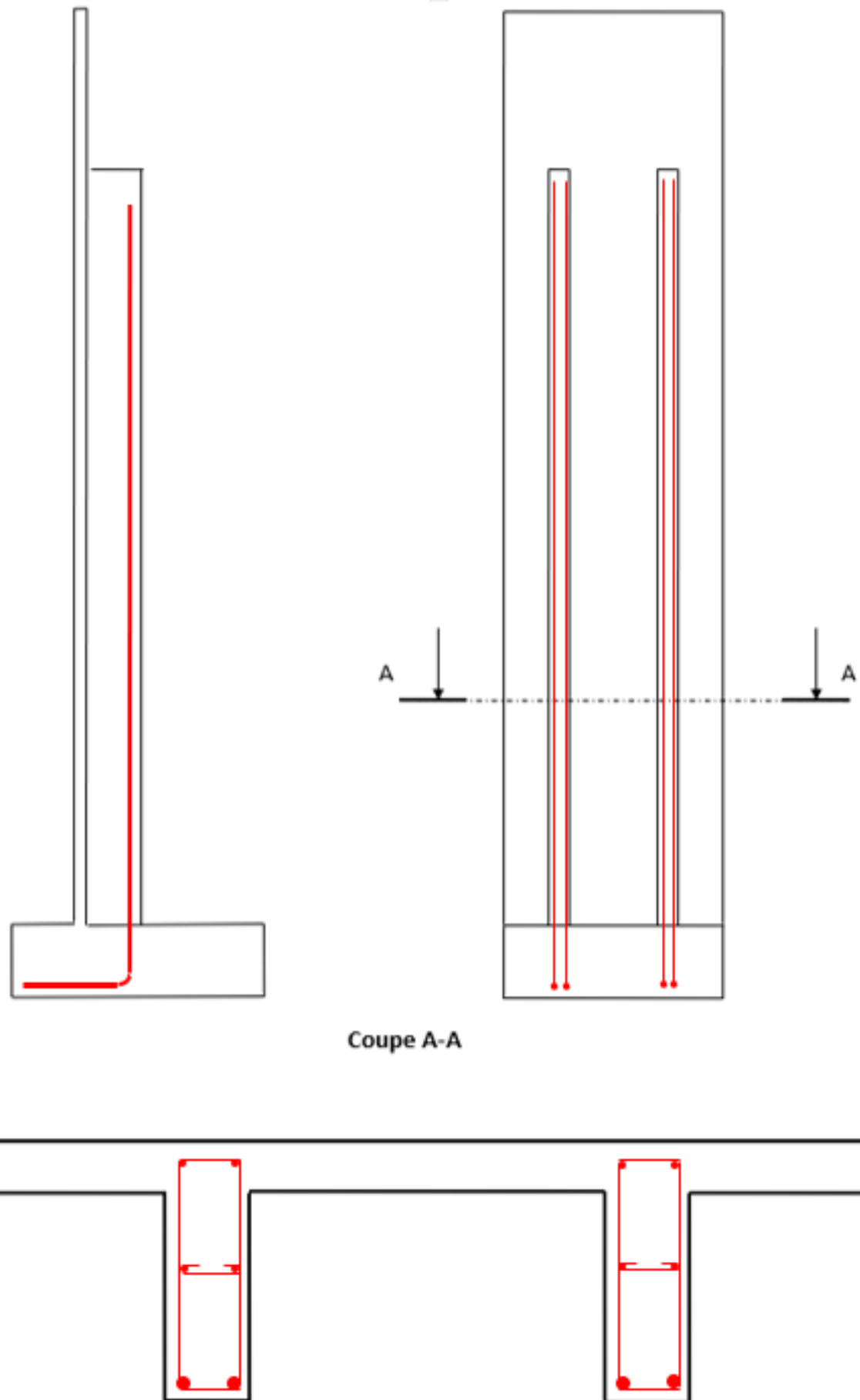
$D_v = 4,35 / 3 = 1,45 \text{ m}$

Moment repris par un raidisseur noté M_A :

$M_A = + 1,45 \times 58,51 = 84,84 \text{ kN.m}$

➤ **QUESTION N°14 : Déterminer les zones tendues au niveau des raidisseurs pour en déduire une répartition des barres puis représenter sur l'élévation et la coupe AA du Document Réponse N°6 la position de ces aciers principaux.**





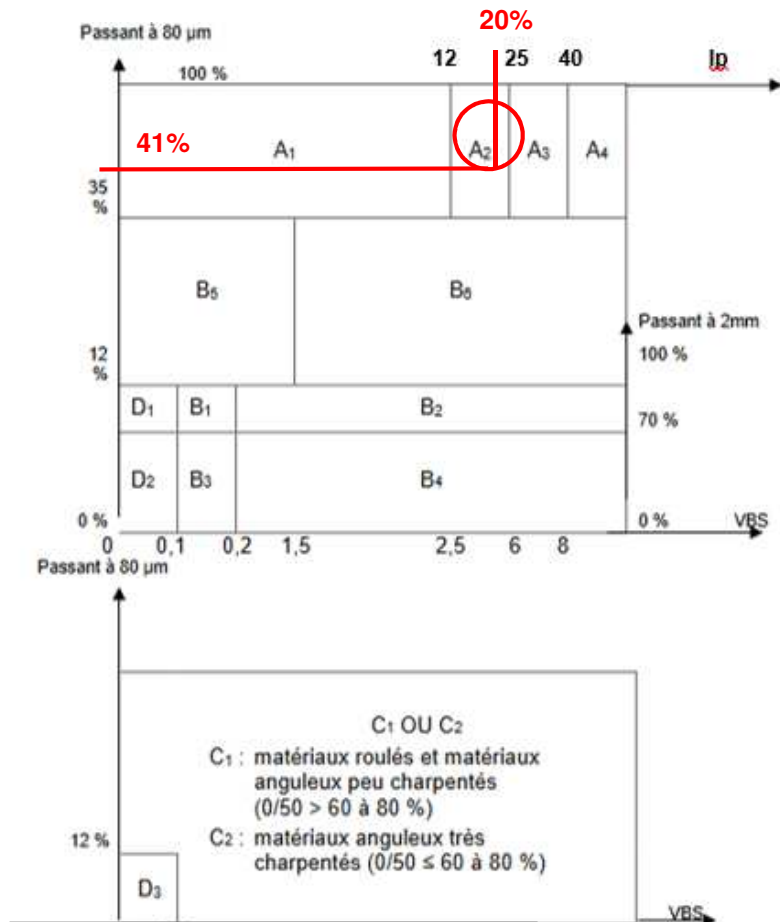
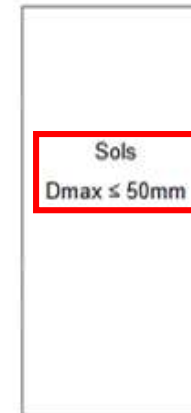
➤ QUESTION N°15 : Déterminer la classe et la sous-classe du sol support à partir des résultats de laboratoire ci-dessous et en complétant le Document Réponse N°7.

CLASSE DU SOL : passant au 80 µm = **41%** $Ip = W_L - W_P = 38 - 18 = 20$

Sol fin type **A2**

SOUS-CLASSE : $W_n = 15\%$ $W_{OPN} = 12\%$ $W_n / W_{OPN} = 15/12 = 1,25$

Sol fin type **A2** à l'état hydrique **h**



Classement selon l'état hydrique	
Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
$Ip \leq 3$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	A ₁ th
$3 < Ip \leq 8$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	A ₁ h
$8 < Ip \leq 25$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	A ₁ m
$0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	A ₁ s
$w_n < 0,7 w_{OPN}$	A ₁ ts
$Ip \leq 2$ ou $lc \leq 0,9$ ou $w_n \geq 1,3 w_{OPN}$	A ₂ th
$2 < Ip \leq 5$ ou $0,9 < lc \leq 1,05$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN}$	A₂h
$5 < Ip \leq 15$ ou $1,05 < lc \leq 1,2$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,1 w_{OPN}$	A ₂ m
$1,2 < lc \leq 1,4$ ou $0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	A ₂ s
$lc > 1,4$ ou $w_n < 0,7 w_{OPN}$	A ₂ ts

DOCUMENT REPONSE N°8

➤ **QUESTION N°16 : Déterminer le classement de la Partie Supérieure des Terrassements notée PSTi et le classement de l'Arase de terrassement notée ARi sachant que la granularité du sol support permet son traitement en complétant le Document Réponse N°8.**

Classement du sol support : **A2h**

Classement de la PST et de l'AR : **PST4 AR2**

Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , se trouvant dans un état hydrique (h). Contexte Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	AR0	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₁₄ et certains matériaux C ₂ , R ₂₀ et R ₂₁ dans un état hydrique (h). Contexte. PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B).	AR1	Dans ce cas de PST, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme).
P.S.T. n°2		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₁₄ et certains matériaux C ₂ , R ₂₀ et R ₂₁ dans un état hydrique (m). Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A). Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B).	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.
P.S.T. n°3		Sols Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) mais pouvant chuter à long terme sous l'action de l'infiltration des eaux pluviales (B).	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas PST 2 Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration dans la PST.
P.S.T. n°4		Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique "remblai" et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
P.S.T. n°5		Sols B ₁ et D ₁ et certains matériaux rocheux de la classe R ₂₂ . Contexte PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.	AR2 AR3	La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST nés'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
P.S.T. n°6		Sols Matériaux des classes D ₂ , R ₁₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₁₄ , R ₂₂ , R ₂₃ , R ₂₄ , R ₂₅ ainsi que certains matériaux C ₂ , R ₂₂ , R ₂₃ et R ₂₄ . Contexte PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.	AR3 AR4	Classement en AR3 si EV2 ≥ 120 MPa et en AR4 si EV2 ≥ 200 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

➤ **QUESTION N°17 : Déterminer le nouveau classement de la Plate-Forme et l'épaisseur de la couche de forme en limons traités en complétant le Document Réponse N°8.**

Classement de la Plate-Forme : **PF3** Epaisseur de la couche de forme : **0,35 m**

A₁, A₂

Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plate-forme support de chaussée			
					PST n°1	PST n°2	PST n°3	PST n°4
					AR 1	AR 1	AR 1	AR 2
A ₁ h		+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON				
		= ou - pas de pluie	T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 2 2				
A ₁ m	La grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter avec des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux. La maîtrise de l'état hydrique de ces sols traités est souvent délicate en raison de la variation brutale de leur comportement (portance) pour de faibles écarts de teneur en eau. Ces sols se traitent généralement en place.	+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON				
		= ou - pas de pluie	W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 2 2				
A ₁ s		+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON	e=0,35	e=0,35	e=0,35	e=0,35
		= ou - pas de pluie	W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 2 1 2				
A ₂ h	La sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter le plus souvent en associant chaux + liant hydraulique étant donné l'importance de la fraction argileuse qu'ils peuvent contenir. L'association avec de la chaux peut par ailleurs s'imposer pour ajuster leur état hydrique lorsqu'ils sont trop humides. Lorsqu'ils sont dans un état sec, il est nécessaire de les humidifier pour les ramener à l'état moyen et dans ce cas la chaux peut avantageusement être introduite sous forme de lait de chaux dont la concentration doit être adaptée au cas de chantier considéré. Ces sols se traitent presque toujours en place pour la phase de prétraitement à la chaux et éventuellement en centrale pour la phase traitement au ciment.	+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON				
		= ni pluie ni évaporation	T : Traitement mixte : chaux + liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 3 2	PF2	PF2	PF3	PF3
A ₂ m		- évaporation importante	T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 2 2				
		+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON				
A ₂ s		= ou - pas de pluie	W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 2 2				
		+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON				
A ₂ s		+ pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON				
		= ou - pas de pluie	W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 2 2 2				

DOCUMENT REPONSE N°9

➤ **QUESTION N°18 : Déterminer quelle sera la nouvelle structure de chaussée (couche d'assise en Grava Bitume classe3) pour une classe de trafic cumulé TC4 20 ans et une classe de plateforme PF3 en complétant le Document Réponse N°9.**

TC4 20 ans PF3 (entre 120 et 200 MPa)

Épaisseur de la couche d'assise en GB3 : **14 cm**

GB3/GB3 VRNS	PF 2		PF 3	PF 4	
	50 MPa	120 MPa	200 MPa	50 MPa	120 MPa
TC8 ₂₀ 43,5 millions PL (21 millions NE)					
TC7 ₂₀ 17,5 millions PL (8,6 millions NE)		CS 12 cm 13 cm	CS 11 cm 12 cm		
TC6 ₂₀ 6,5 millions PL (3,2 millions NE)	CS 13 cm 13 cm	CS 10 cm 11 cm	CS 9 cm 9 cm		
TC5 ₂₀ 2,5 millions PL (1,3 million NE)	CS 10 cm 11 cm	CS 8 cm 8 cm	CS 14 cm		
TC4₂₀ 1,5 million PL (0,6 million NE)	CS 9 cm 10 cm	CS 14 cm	CS 11 cm*		
TC3 ₂₀ 0,5 million PL (0,2 million NE)	CS 8 cm 8 cm	CS 11 cm*	CS 8 cm*		
TC2 ₂₀	CS 12 cm*	CS 8 cm*	CS 8 cm*		

➤ **QUESTION N°19 : Déterminer le coût journalier puis unitaire de la solution couche de forme en limons traités avec 1 à 2% de chaux et 5 à 6 % de ciment sur 0,35 m d'épaisseur en complétant le Document Réponse N°9.**

Choisir la solution la plus rentable.

Rendement solution limons traités : 3500 m²/jour

Traitement du sol en place (Quantité de chaux en kg/m ²)						
%	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Épaisseur						
0,25 m	2,25 kg/m ²	4,50	6,75	9,00	11,25	13,50
0,30 m	2,70 kg/m ²	5,40	8,10	10,80	13,50	16,20
0,35 m	3,15 kg/m ²	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90
0,40 m	3,60 kg/m ²	7,20	10,80	14,40	18,00	21,60

Traitement du sol en place (Quantité de ciment routier en kg/m ²)						
%	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Épaisseur						
0,25 m	15,75 kg/m ²	18,00	20,25	22,50	24,75	27,00
0,30 m	18,90 kg/m ²	21,60	24,30	27,00	29,70	32,40
0,35 m	22,05 kg/m ²	25,20	28,35	31,50	34,65	37,80
0,40 m	25,20 kg/m ²	28,80	32,40	36,00	39,60	43,20

Déboursés Secs MATERIELS solution CDF traitée chaux et ciment			
Désignation du matériel	Nombre	Coût journalier en €/jour	Coût total en €
Répandeuse + Cond.	1	2000	2000
Malaxeur + Cond.	1	2400	2400
Arroseuse + Cond.	1	600	600
Niveleuse + Cond.	1	1200	1200
Compacteur V4 + Cond.	2	900	1800
Guidage 3D	1	400	400
DS TOTAL MATERIELS			8 400 €/jour
Déboursés Secs MAIN D'ŒUVRE solution CDF traitée chaux et ciment			
Chef de chantier et fourgon	1	700	600
Ouvrier	1	300	300
DS TOTAL MAIN D'ŒUVRE			900 €/jour
Déboursés Secs FOURNITURES solution CDF traitée chaux et ciment			
Désignation du matériau	Quantité	Prix unitaire HT en €/unité	Coût total en €
Chaux (1,5%)	3500 x 9,45 = 33 075 kg soit 33,075 t	200 €/tonne	6 615
Ciment routier (5,5%)	3500 x 34,65 = 121 275 kg soit 121,275 t	140 €/tonne	16 978,5
DS TOTAL FOURNITURES			23 593,50 €/jour
DS TOTAL MATERIELS + MAIN D'ŒUVRE + FOURNITURES			32 893,50 €/jour
COÛT EN DS UNITAIRE EN €/M²			32 893,50/3500 = 9,40 €/m²

• Choix de la Couche De Forme :

Type de Couche De Forme	Coût unitaire en DS
Granulaire 0/63 sur 0,60 m	14,86 €/m ²
Limons traités chaux et ciment routier sur 0,35 m (CHOIX)	9,40 €/m²

DOCUMENT REPONSE N°10 / 35 points

➤ **QUESTION N°20 :** A partir de l'extrait du plan d'étalement et des données concernant le coffrage, vérifier que la valeur de la charge uniformément répartie aux ELU est bien égale à 45 kN/ml.

Dans un premier temps, expliquer pourquoi la largeur d'influence de ce profilé métallique type HEB600 est de 0,925 m (à partir du Document Technique N°10).

- **Largeur d'influence retenue** = $1000/2 + 850/2 = 925 \text{ mm} = 0,925 \text{ m de largeur}$

Déterminer, ensuite les charges à prendre en compte pour G, Qb et Qs.

- **G** (poids propre du cintre HEB600 + Plateau coffrant) = $2,12 \text{ kN/ml} + (1 \text{ ml} \times 0,925 \text{ m de largeur} \times 0,54 \text{ kN/m}^2) = 2,6195 \text{ kN/ml} \approx 2,62 \text{ kN/ml}$

- **Qb** (poids du béton armé) =

$1 \text{ ml} \times 1,098 \text{ m d'épaisseur} \times 0,925 \text{ m de largeur} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 25,39125 \text{ kN/ml} \approx 25,39 \text{ kN/ml}$

- **Qs** (poids des surcharges de bétonnage dues aux matériels et à l'équipe de bétonnage) =

$1 \text{ ml} \times 0,925 \text{ m de largeur} \times 2,50 \text{ kN/m}^2 = 2,3125 \text{ kN/ml} \approx 2,31 \text{ kN/ml}$

Vérifier que la valeur du taux de charge uniformément répartie est bien égale à 45 kN/ml en appliquant la combinaison d'actions suivante : $P_{ELU} = 1,33.G + 1,5.Q_b + 1,2.Q_s$

$P_{ELU} = (1,33 \times 2,62) + (1,5 \times 25,39) + (1,2 \times 2,31) = 44,34 \text{ kN/ml} \approx 45 \text{ kN/ml}$

➤ **QUESTION N°21 :** A partir du schéma mécanique ci-dessous, déterminer les réactions d'appuis en B et en C notées Y_B et Y_C.

Appliquons le PFS : $\sum M_B = 0$

$\Leftrightarrow M_B Y_B + M_B Y_P + M_B Y_C = 0$

$\Leftrightarrow 0 + (- (7,400 - 1,148) \times (45 \times 14,800)) + (+ 13,478 \times Y_C) = 0$

$\Leftrightarrow + 13,478 \times Y_C = + 4163,832 \text{ soit } Y_C = + 4163,832 / +13,478 = + 308,94 \text{ kN} \uparrow$

$\sum F_{Oy} = 0$

$\Leftrightarrow Y_B - Y_P + Y_C = 0$

$\Leftrightarrow Y_B - (45 \times 14,800) + 308,94 = 0$

$\Leftrightarrow Y_B = + 666 - 308,94 = + 357,06 \text{ kN} \uparrow$

➤ **QUESTION N°23 :** Vérifier ce profilé métallique à l'Eurocode 3 vis-à-vis du Moment fléchissant M_{Ed} = 1007 kN.m et de l'effort tranchant V_{Ed} = 306 kN.

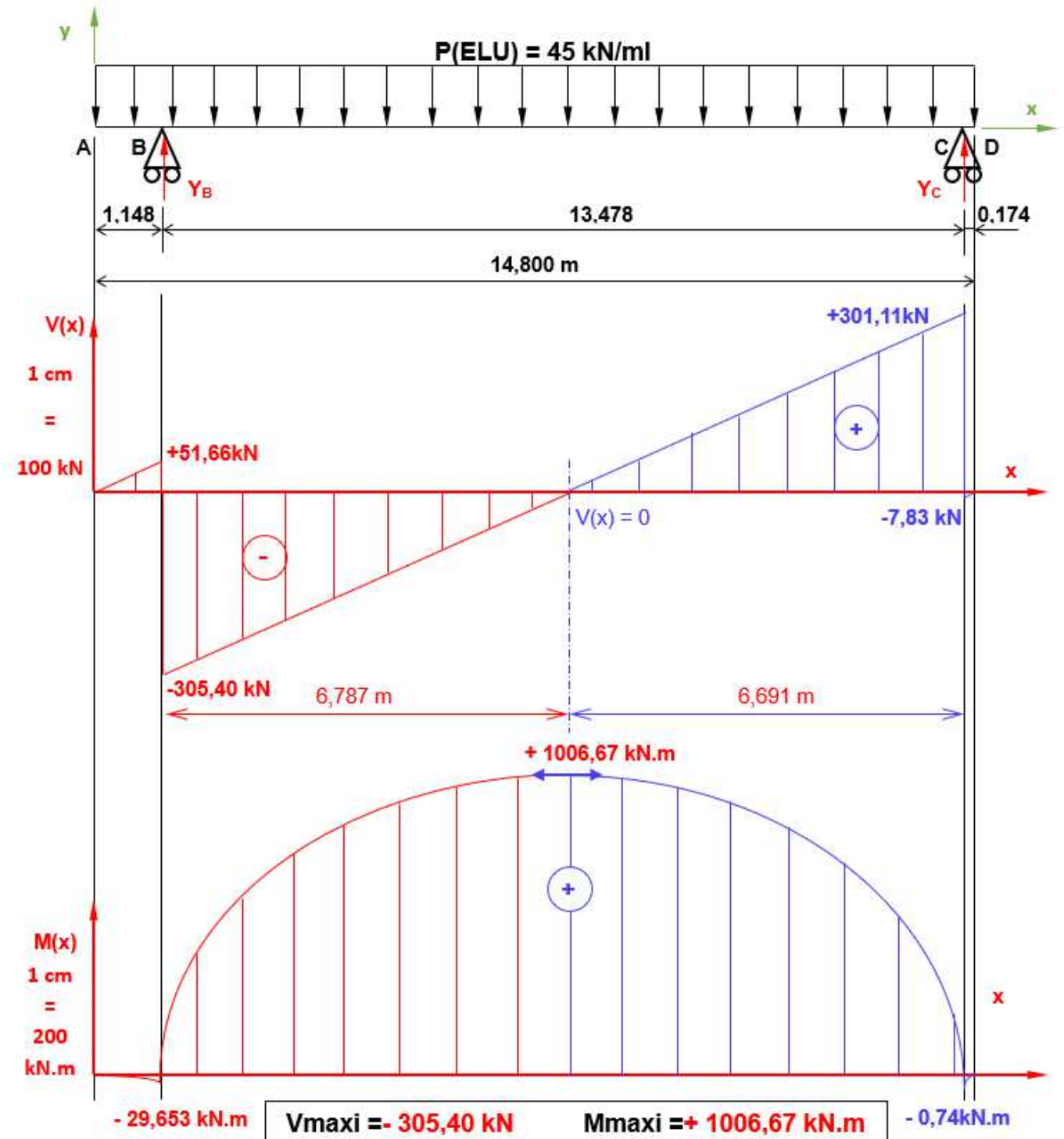
Analyse de l'effort tranchant : il faut vérifier que $V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1,00$

$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 0,58 \times A_v \times (f_y / \gamma_{M0}) = 0,58 \times 110,80 \times 10^2 \times 235 = 1\,510\,204 \text{ N}$ soit **1510,2 kN**

Avec : $A_v = 110,80 \times 10^2 \text{ mm}^2$ $f_y = 235 \text{ MPa (N/mm}^2)$ $\gamma_{M0} = 1,00$

$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1,00 \Leftrightarrow 306 / 1510,2 = 0,20 \leq 1,00$ **ok vérification satisfaite.**

➤ **QUESTION N°22 :** Sachant que les réactions d'appuis en B notée Y_B et en C notée Y_C sont égales respectivement à +357,06 kN et +308,94 kN, compléter les diagrammes de l'effort tranchant V(x) et des moments fléchissants M(x). En déduire l'effort tranchant noté V_{maxi} et le moment fléchissant noté M_{maxi}.



➤ **QUESTION N°23 :** Vérifier ce profilé métallique à l'Eurocode 3 vis-à-vis du Moment fléchissant M_{Ed} = 1007 kN.m et de l'effort tranchant V_{Ed} = 306 kN.

Analyse du moment fléchissant : il faut vérifier que $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$

$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el,min} \times (f_y / \gamma_{M0}) = 5701 \times 10^3 \times (235/1) = 1\,339\,735\,000 \text{ N.mm}$ soit **1339,7 kN.m**

Avec : $W_{el,min} = 5701 \times 10^3 \text{ mm}^3$ $f_y = 235 \text{ MPa (N/mm}^2)$ $\gamma_{M0} = 1,00$

$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \Leftrightarrow 1007 \text{ kN.m} \leq 1339,7 \text{ kN.m}$ **ok vérification satisfaite.**

BTS TRAVAUX PUBLICS – Analyse et Conception d'ouvrage		SUJET 0
U4 – Analyse et Conception d'ouvrage	Code :	Page 11 sur 11