Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BTS CRCI

U41 - Dimensionnement et vérification d’ouvrages

Session 2013 • Code sujet : **CLE4DVO - Sujet n° 10ED12** • Durée : **4 heures** • Coefficient : **3**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Étude mécanique d’une cuve horizontale et positionnement des berceaux** (13 questions) — **Page 3**

2. **Détermination des épaisseurs selon la division 1 du CODAP 2005** (9 questions) — **Page 7**

3. **Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 10**

Sujet officiel (PDF) : https://btscrci.fr/assets/annales/bts-crci/E4 - Réponse à une affaire/2013/BTS CRCI - E4 - Réponse à une affaire - Session 2013 - 1-Sujet.pdf

1. Étude mécanique d’une cuve horizontale et positionnement des berceaux

Une entreprise veut réduire les contraintes de flexion d’une cuve horizontale en optimisant la position de ses deux berceaux. Le modèle étudié est une cuve de 6 m, de diamètre extérieur 950 mm et d’épaisseur 10 mm, dont les piquages sont négligés; la cuve contient de l’eau.

1.1 Estimation de la charge q

Question 1.1.1. À partir des données de masse volumique, de dimensions et de g fournies, déterminer le poids total de l’ensemble constitué de l’eau et de l’acier.

Le diamètre intérieur vaut $D_i = 950 - 2 \times 10 = 930$ mm, soit 0,930 m. L’acier occupe la différence entre les volumes des cylindres de diamètres 0,950 m et 0,930 m; l’eau occupe le cylindre intérieur. Chaque poids est calculé par $P = \rho V g$, avec $V = \pi D^2 L/4$. En additionnant les poids de l’eau et de l’acier, on obtient le poids total demandé.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Poids total eau et acier : **54,67 kN**.

Question 1.1.2. Déduire du poids total la charge linéique q, en kN/m, appliquée sur la poutre.

La charge linéique est le poids total uniformément réparti sur la longueur de 6 m. On divise donc le poids obtenu à la question précédente par cette longueur : $q = P/L = 54,67/6$. Le sujet précise que, quelle que soit la valeur calculée, les questions suivantes doivent être traitées avec la charge imposée de 10 kN/m.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Charge calculée : **9,11 kN/m**. Pour la suite : **q = 10 kN/m**.

1.2 Cas particulier : X = L/4 = 1,5 m

Question 1.2.1. Pour la poutre soumise à q = 10 kN/m et avec les appuis B et C placés selon le schéma, déterminer les actions aux appuis B et C.

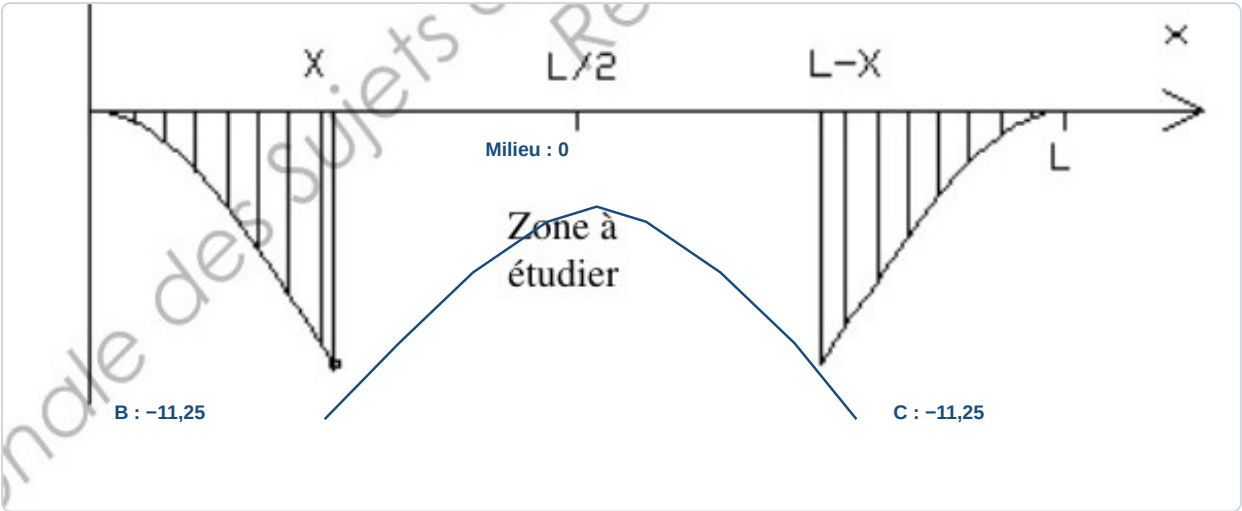
Les deux porte-à-faux ont la même longueur et la charge est uniformément répartie sur toute la poutre. Le système est donc symétrique, d’où $R_B = R_C$. L’équilibre vertical donne $R_B + R_C = qL = 10 \times 6 = 60$ kN. Chaque appui reprend la moitié de la charge totale; les actions des appuis sur la poutre sont orientées vers le haut.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **R_B = R_C = 30 kN**, vers le haut.

Question 1.2.2. **Compléter sur feuille de copie le diagramme du moment fléchissant Mf entre B et C.**

Sur chaque porte-à-faux, le moment à l'appui vaut $-qX^2/2 = -11,25$ kN·m. Entre B et C, le diagramme est une parabole symétrique qui reste sous l'axe. Il atteint son maximum au milieu, où le moment vaut zéro et où la tangente est horizontale. Il redescend ensuite jusqu'à $-11,25$ kN·m en C. Le tracé demandé ne comporte donc pas de portion positive.

Diagramme du moment fléchissant complété



> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Parabole sous l'axe : **−11,25 kN·m en B et C**, **0 au milieu**.

Question 1.2.3. **Déterminer la valeur de |Mf|maxi pour la poutre.**

La résultante de la charge répartie sur chaque porte-à-faux vaut qX et s'applique à une distance $X/2$ de l'appui. Le moment à l'appui est donc $-qX^2/2$. Avec $q = 10$ kN/m et $X = 1,5$ m, sa valeur absolue est 11,25 kN·m. Entre B et C, le moment reste compris entre cette valeur négative et zéro au milieu.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **$|M_f|_{max}$ = 11,25 kN·m.**

1.3 Détermination de X optimum

Question 1.3.1. **Déterminer par le calcul la valeur de Mf(X), au niveau de l'appui, en fonction du paramètre X.**

Le moment à l'appui provient de la charge répartie sur le porte-à-faux de longueur X. Sa résultante qX agit à $X/2$ de l'appui, avec un signe négatif selon la convention du diagramme. Ainsi, $M_f(X) = -(qX)(X/2) = -qX^2/2$. La charge retenue pour la suite est $q = 10$ kN/m; X est exprimé en mètres.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$M_f(X) = -5X^2$ **kN·m.**

Question 1.3.2. Déterminer par le calcul la valeur de Mf(L/2), au centre de la poutre, en fonction du paramètre X.

Par symétrie, la réaction en B vaut $qL/2$. Au centre, le bras de levier de cette réaction est $L/2 - X$; la charge répartie sur la demi-poutre produit un moment de $q(L/2)^2/2$. On obtient donc $M_f(L/2) = (qL/2)(L/2 - X) - q(L/2)^2/2$. Avec $q = 10$ kN/m et $L = 6$ m, cela donne l'expression demandée.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$M_f(L/2) = 45 - 30X$ **kN·m.**

Question 1.3.3. Montrer que résoudre -Mf(X) = Mf(L/2) revient à résoudre l'équation du second degré X² + 6.X - 9 = 0.

La condition d'optimisation donnée est $-M_f(X) = M_f(L/2)$. En remplaçant par les expressions établies, on a $-(-5X^2) = 45 - 30X$, soit $5X^2 + 30X - 45 = 0$. La division des deux membres par 5 donne directement l'équation du second degré indiquée dans le sujet.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$X^2 + 6X - 9 = 0$**.**

Question 1.3.4. À partir des deux solutions données, X1 = -7,24 m et X2 = 1,24 m, déterminer la valeur de X.

La variable X représente une distance entre l'extrémité de la cuve et un berceau. La solution négative $X_1 = -7,24$ m n'a donc pas de signification physique et doit être écartée. On retient la solution positive $X_2 = 1,24$ m. Par symétrie, le second berceau est placé à la même distance de l'autre extrémité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

X = 1,24 m depuis chaque extrémité.

Question 1.3.5. Déterminer |Mf|maxi, le comparer au résultat obtenu à la question 1.2.3 et conclure.

La racine positive exacte est $X = -3 + 3\sqrt{2}$, soit environ 1,24 m. À l'optimum, la valeur absolue du moment aux appuis égale celle du moment au centre. Le moment maximal vaut $qX^2/2$, soit environ 7,72 kN·m. Il est inférieur aux 11,25 kN·m du cas $X = 1,5$ m : le positionnement optimal réduit donc le moment fléchissant maximal.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$|M_f|_{max}$ ≈ 7,72 kN·m, contre 11,25 kN·m pour X = 1,5 m.

1.4 Détermination de la contrainte de flexion

Question 1.4.1. Avec X = 1,25 m, Mfmaxi = 7,813 kN.m, L = 6 m, Dext = 950 mm, e = 10 mm et l'acier P295GH, déterminer la contrainte maximale de flexion dans la virole et commenter cette valeur pour cet acier. Utiliser les formules fournies pour σmaxi, W et IGZ.

Le diamètre intérieur vaut $950 - 2 \times 10 = 930$ mm. En mètres, $I_{GZ} = \pi(0,95^4 - 0,93^4)/64$, puis $W = I_{GZ}/0,475$. Avec $M_{f,max} = 7\,813$ N·m, $\sigma_{max} = M_{f,max}/W \approx 1,14$ MPa. Le tableau des caractéristiques donne pour le P295GH et une épaisseur inférieure ou égale à 16 mm une limite d'élasticité minimale de 295 MPa : la contrainte calculée est très inférieure.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\sigma_{max} \approx 1,14$ **MPa**, très inférieure à 295 MPa pour le P295GH.

1.5 Dilatation

Question 1.5.1. Déterminer la dilatation maximale entre les deux berceaux lorsque la température varie de +10 °C à +115 °C, en utilisant le coefficient de dilatation de l'acier et la distance entre les berceaux.

Pour la valeur de $X = 1,25$ m donnée dans la partie de flexion, l'écartement des berceaux est $l = L - 2X = 6 - 2 \times 1,25 = 3,50$ m. L'élévation de température est $\Delta T = 115 - 10 = 105$ °C. En appliquant $\Delta l = \alpha l \Delta T$, avec $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ °C⁻¹, on calcule l'allongement entre les appuis.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\Delta l = 4,41$ **mm.**

Question 1.5.2. Si la dilatation dépasse 4 mm, proposer une solution constructive pour limiter les contraintes dues à cette dilatation.

La dilatation calculée est de 4,41 mm, donc supérieure au seuil de 4 mm. Pour éviter de contraindre axialement la cuve, prévoir un berceau fixe et un berceau mobile. Le berceau fixe assure le positionnement; le berceau mobile coulisse dans le sens longitudinal pour autoriser l'allongement thermique. Son guidage doit maintenir la cuve latéralement sans bloquer son déplacement axial.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Prévoir un **berceau fixe** et un **berceau coulissant** pour autoriser la dilatation axiale.

2. Détermination des épaisseurs selon la division 1 du CODAP 2005

Le sujet demande de dimensionner une cuve en acier non allié P295GH, composée d'une tubulure, d'une virole et d'un fond torisphérique, selon le CODAP didactique 2005. Les calculs portent sur les conditions normales et exceptionnelles, puis sur la vérification et le renforcement éventuel d'une ouverture.

Contraintes nominales

Question 2.1. **Déterminer la contrainte nominale f dans la situation normale de service.**

Le sujet fixe explicitement la contrainte nominale à retenir pour la situation normale de service, quelle que soit la valeur qui pourrait être obtenue à partir des caractéristiques du P295GH. Cette valeur prescrite s'applique aux calculs de dimensionnement réalisés ensuite pour la pression normale de 2 MPa et la température de 78 °C. Il n'y a donc pas de calcul supplémentaire à effectuer pour cette question.

✓ RÉPONSE À RETENIR

f = 170 MPa

Question 2.2. **Déterminer la contrainte nominale f dans la situation exceptionnelle.**

Pour la situation exceptionnelle, le sujet impose également la contrainte nominale à retenir pour les calculs suivants. On utilise cette valeur avec la pression exceptionnelle de 3,5 MPa et la température de 115 °C. Elle remplace toute valeur qui pourrait être recherchée dans les tableaux de caractéristiques du matériau. Aucun calcul supplémentaire n'est demandé pour déterminer f dans ce cas.

✓ RÉPONSE À RETENIR

f = 230 MPa

Épaisseurs de la virole

Question 2.3. **Déterminer l'épaisseur minimale nécessaire e de la virole en situation normale de service.**

Pour la virole cylindrique soudée, la relation de calcul est $e = PD/(2fz - P)$, avec le coefficient de soudure $z = 0{,}85$ pour la construction B2. En service normal, on prend $P = 2$ MPa, $D = 950$ mm et $f = 170$ MPa. L'épaisseur obtenue correspond à l'épaisseur minimale requise par le calcul, avant les réductions de fabrication et le choix de l'épaisseur de commande.

✓ RÉPONSE À RETENIR

e = 6,62 mm

Question 2.4. **Déterminer l'épaisseur minimale nécessaire e de la virole en situation exceptionnelle.**

On applique à nouveau la relation de la virole soudée, avec le coefficient de soudure $z = 0{,}85$. Pour le cas exceptionnel, les données sont $P = 3{,}5$ MPa, $D = 950$ mm et $f = 230$ MPa. Le résultat est l'épaisseur minimale de calcul, avant d'ajouter les réductions de fabrication et de vérifier l'épaisseur nominale disponible.

✓ RÉPONSE À RETENIR

e = 8,58 mm

Question 2.5. **Déduire l'épaisseur de commande en de la virole permettant de satisfaire les deux conditions d'utilisation.**

Situation	e calculée	Avec C_1 et C_2
Normale	6,62 mm	7,27 mm
Exceptionnelle	8,58 mm	9,23 mm

Pour la tôle de 10 mm, la tolérance négative de classe A est de 0,5 mm. Avec la réduction de fabrication C_2 = 0,15 mm, l'épaisseur disponible est 9,35 mm, supérieure aux 8,58 mm requis. La tôle de 8 mm ne suffit pas : son épaisseur disponible est seulement 7,45 mm.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Épaisseur de commande de la virole : en = 10 mm.

Épaisseurs du fond

Question 2.6. **Déterminer l'épaisseur minimale nécessaire e du fond en situation normale.**

Le fond torisphérique monobloc a un coefficient de soudure égal à 1. Avec $D = 950$ mm et le rayon de raccordement $r = 95$ mm, le coefficient géométrique vaut $\beta = (3 + \sqrt{D/(2r)})/4$. La relation de calcul donne $e = PD\beta/(2f - 0{,}5P)$, en prenant la pression normale de 2 MPa et $f = 170$ MPa. Il s'agit de l'épaisseur minimale requise, avant réduction de fabrication.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Épaisseur minimale du fond : e ≈ 7,34 mm.

Question 2.7. **Sachant que l'épaisseur minimale e du fond en situation exceptionnelle est de 10,5 mm, déterminer l'épaisseur de commande en du fond satisfaisant les deux conditions d'utilisation.**

En situation exceptionnelle, l'épaisseur minimale requise est donnée : $e = 10{,}5$ mm. La réduction de fabrication du fond vaut 15 % de l'épaisseur commandée, donc l'épaisseur utile est $0{,}85e_n$. Il faut commander au moins $10{,}5/0{,}85 = 12{,}35$ mm. La série disponible pour le fond comprend 12 mm puis 15 mm : 12 mm est insuffisant, il faut retenir la dimension supérieure.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Épaisseur de commande du fond : en = 15 mm.

Vérification et renforcement de l'ouverture

Question 2.8. **Pour la situation normale de service et avec f = ft = 170 MPa, vérifier si l'ouverture nécessite un renforcement selon le CODAP. Utiliser les données de la cuve, le dessin et les épaisseurs de commande imposées.**

La vérification CODAP porte sur le bilan des sections autour de l'ouverture, et non sur le seul rapport entre son diamètre et l'épaisseur de la virole. Le dessin donne une ouverture de Ø 108 mm, une tubulure d'épaisseur nominale 3,6 mm et une hauteur représentée de 55 mm. Avec les épaisseurs de commande imposées, on compare la section de métal retirée à l'ouverture aux sections résistantes disponibles dans la virole et la tubulure, dans la zone de renfort admissible. Le bilan est insuffisant sans renfort.

✓ RÉPONSE À RETENIR

L'ouverture Ø 108 mm nécessite un renforcement selon le CODAP.

Question 2.9. **Dans le cas où l'ouverture n'est pas conforme au CODAP, proposer un renforcement d'ouverture.**

Ajouter un renfort annulaire en acier P295GH, centré sur la tubulure et adapté à la courbure de la virole. Déterminer ses dimensions par le bilan de sections du CODAP : la section résistante du renfort, ajoutée à celles de la virole et de la tubulure admissibles, doit au moins compenser la section manquante. Réaliser des soudures continues selon le détail de construction retenu, puis contrôler leur continuité et leur étanchéité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Prévoir un renfort annulaire dimensionné pour satisfaire le bilan de sections du CODAP.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2013)

Bilan de l'épreuve : L'épreuve BTS CRCI U41, session 2013, code CLE4DVO, sujet 10ED12, dure 4 heures et a un coefficient 3. Elle porte sur une cuve horizontale en acier P295GH. Les compétences évaluées couvrent la modélisation d'une poutre, le calcul des efforts et de la flexion, la dilatation thermique, puis le dimensionnement des épaisseurs et la vérification d'une ouverture selon le CODAP didactique 2005.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- La charge linéique uniformément répartie s'obtient en divisant le poids total de la cuve et de son contenu par la longueur modélisée.
- Pour un tube circulaire, $IGZ = \pi(Dext^4 - Dint^4)/64$ et le module de flexion vaut $W = IGZ/v$.
- La contrainte maximale de flexion se calcule par $\sigma maxi = |Mf|maxi/W$, en utilisant des unités cohérentes.
- La dilatation thermique linéaire se calcule par $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$, où l est la distance entre les deux berceaux.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir les dimensions en unités cohérentes et distinguer le poids total de la charge linéique.
- Lire le schéma pour repérer les appuis, les porte-à-faux et la position X avant de calculer les moments.
- Pour le CODAP, distinguer l'épaisseur minimale calculée de l'épaisseur de commande et tenir compte des réductions de fabrication.
- Appliquer les valeurs imposées par le sujet pour la suite des calculs, même si les résultats calculés diffèrent.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer la charge linéique q à partir du poids de la cuve ?

Calculez séparément les masses d'acier et d'eau à partir des volumes et masses volumiques, puis leurs poids avec g. Additionnez ces poids et divisez le total par la longueur de la poutre pour obtenir q en N/m, puis convertissez en kN/m.

Q : Comment choisir la solution de l'équation qui donne la position optimale des berceaux ?

Résolvez l'équation du second degré, puis confrontez chaque solution à la géométrie de la cuve. La position X représente une distance depuis une extrémité : retenez la solution positive compatible avec la longueur et l'emplacement des appuis.

Q : Le sujet attribue-t-il des points à chaque question et comment répartir les quatre heures ?

Aucun barème par question n'est imprimé dans le sujet. Répartissez les quatre heures entre l'étude mécanique et le dimensionnement CODAP, en réservant du temps pour vérifier les unités, les formules et la cohérence des résultats.

Q : Quelles valeurs utiliser si mes résultats diffèrent des valeurs imposées dans le sujet ?

Pour les calculs suivants, utilisez les valeurs explicitement imposées, notamment q = 10 kN/m, f = 170 MPa en service normal et f = 230 MPa en situation exceptionnelle. Présentez les calculs avec leurs unités et distinguez résultats calculés et valeurs de poursuite.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btscrci.fr/assets/annales/bts-crci/E4 - Réponse à une affaire/2013/BTS CRCI - E4 - Réponse à une affaire - Session 2013 - 1-Sujet.pdf

Ressources BTS Conception et Réalisation en Chaudronnerie Industrielle : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.