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

Mécanique - BTS Constructions métalliques

Session 2002 • Code sujet : **CMMECA** • Durée : **Non indiquée**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude d’une panne d’extrémité avec porte-à-faux (6 questions) **Page 3**

2. Étude d’une panne continue par la méthode des déplacements (4 questions) **Page 6**

3. Étude d’un portique courant et de sa ferme treillis (4 questions) **Page 9**

4. Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 12**

Sujet officiel (PDF) : https://btsamcr.fr/assets/annales/bts-amcr/E4 - Analyse, prescription, conception d'un projet/2002/BTS AMCR - E4 - Analyse, prescription, conception d'un projet - Session 2002 - 1-Sujet.pdf

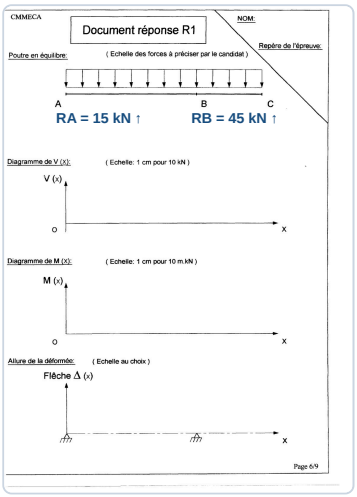
1. Étude d’une panne d’extrémité avec porte-à-faux

Une poutre reposant sur les appuis A et B se prolonge en porte-à-faux jusqu’en C et porte une charge uniformément répartie. Les données donnent la charge, les dimensions et les caractéristiques de la section pour étudier les réactions, les efforts internes et la déformée.

Question 1.1. Déterminer les expressions littérales des actions aux appuis, calculer leurs valeurs numériques et compléter le document réponse R1.

La charge uniforme couvre AB et le porte-à-faux, soit une longueur totale de $3L/2$. Sa résultante $3qL/2$ s’applique à $3L/4$ de A. L’équilibre vertical et l’équilibre des moments en A donnent $R_A + R_B = 3qL/2$ et $R_B L = 9qL^2/8$. Donc $R_A = 3qL/8$ et $R_B = 9qL/8$. Avec $q = 5\,\mathrm{kN/m}$ et $L = 8\,\mathrm{m}$, inscrire sur R1 deux réactions verticales ascendantes.

Réactions verticales sur R1



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Sur R1 : $R_A = 15\,\mathrm{kN}$ vers le haut et $R_B = 45\,\mathrm{kN}$ vers le haut. La charge totale vaut $60\,\mathrm{kN}$.

Question 1.2. Déterminer les équations littérales de V(x) et M(x), puis préciser leurs valeurs aux bornes, leurs racines et leurs extremums.

Avec x mesuré depuis A, en mètres, les équations par tronçon sont : pour $0 \le x \le 8$, $V = 15 - 5x$ kN et $M = 15x - 2{,}5x^2$ kN·m ; pour $8 \le x \le 12$, $V = 60 - 5x$ kN et $M = 60x - 2{,}5x^2 - 360$ kN·m. En B, le cisaillement saute de -25 à $+20$ kN sous l’effet de R_B.

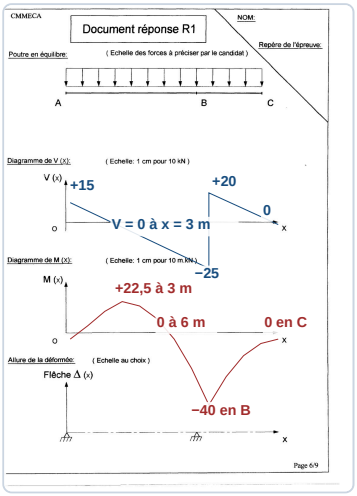
Les racines de V sont $x = 3$ et $x = 12$ m. M s’annule en $x = 0, 6, 12$ m. Son maximum est $+22{,}5$ kN·m en $x = 3$ m, et son minimum est -40 kN·m en B.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> V aux points A, B−, B+, C : $+15, -25, +20, 0$ kN. M : $0, -40, 0$ kN·m en A, B, C. Maximum : $+22{,}5$ kN·m à 3 m. Racines de M : 0, 6 et 12 m.

Question 1.3. Compléter le document réponse R1 en traçant avec précision et en valeurs numériques les diagrammes de V(x) et de M(x), selon les échelles indiquées.

Sur R1, respecter les échelles indiquées : 1 cm pour 10 kN en cisaillement et 1 cm pour 10 kN·m en moment. V est affine sur chaque travée : il part de $+15$ kN en A, atteint -25 kN juste avant B, saute à $+20$ kN en B, puis revient à zéro en C. M est une parabole continue : elle vaut zéro en A, atteint $+22{,}5$ kN·m à 3 m, recoupe zéro à 6 m, atteint -40 kN·m en B, puis revient à zéro en C.

Diagrammes de V(x) et M(x) complétés sur R1



✓ RÉPONSE À RETENIR

R1 complété : V passe par $+15, -25, +20, 0$ kN ; M passe par $0, +22{,}5, 0, -40, 0$ kN·m aux points caractéristiques indiqués.

Étude de la déformée

Question 1.4 a). Sans effectuer de calcul, énoncer clairement le théorème permettant de déterminer le déplacement vertical en C, appelé flèche Δc.

Le théorème de Maxwell-Mohr, ou méthode de la charge unitaire, donne le déplacement recherché par le travail virtuel. On place en C une force fictive unitaire, orientée suivant le déplacement vertical demandé. On détermine le moment réel M et le moment virtuel m, puis on calcule le déplacement par $\Delta_C = \int Mm/(EI)\,dx$. Ici, seule l'énergie de déformation due à la flexion est retenue : les contributions de l'effort normal et de l'effort tranchant sont négligées.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Maxwell-Mohr : appliquer une force unitaire verticale en C et calculer $\Delta_C = \int Mm/(EI)\,dx$, avec la flexion seule.

Question 1.4 b). Développer la méthode et justifier la forme littérale du résultat indiqué pour Δc, orienté vers le bas, en ne tenant compte que de l'énergie de déformation due au moment fléchissant M.

On applique en C une force unitaire vers le bas. Les réactions virtuelles donnent $m = -x/2$ sur AB et $m = x - 3L/2$ sur BC. Sur AB, le produit Mm a une intégrale nulle. Sur BC, en posant $u = x - 3L/2$, les diagrammes deviennent $M = -qu^2/2$ et $m = u$. Le théorème de Maxwell-Mohr conduit donc à :

$$\Delta_C = \frac{1}{EI}\int_{L}^{3L/2} Mm\,dx = \frac{q}{2EI}\int_{-L/2}^{0} (-u^3)\,du = \frac{qL^4}{128EI}.$$

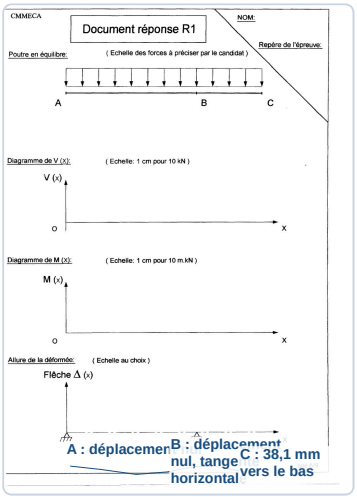
Le résultat est positif dans le sens de la force unitaire choisie, donc la flèche est dirigée vers le bas.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\Delta_C = qL^4/(128EI)$, vers le bas, conformément à la formule demandée.

Question 1.4 c). Calculer la valeur numérique de Δc et compléter le document réponse R1 par l'allure de la déformée, en tenant compte de la rotation nulle en B.

En millimètres, $q = 5$ N/mm, $L = 8\,000$ mm et $E = 210\,000$ N/mm². La conversion de la section donne $I = 2\,000 \times 10\,000 = 20\,000\,000$ mm⁴. En utilisant la formule précédente, $\Delta_C = qL^4/(128EI) = 38{,}1$ mm vers le bas. Sur R1, tracer une courbe déformée passant par A et B, avec une tangente horizontale en B puisque $\theta_B = 0$, puis descendant jusqu'en C. La flèche indiquée en C est mesurée par rapport à la poutre non déformée.

Allure de la déformée sur R1



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\Delta_C = 38{,}1$ mm vers le bas ; déplacement nul en A et B, tangente horizontale en B.

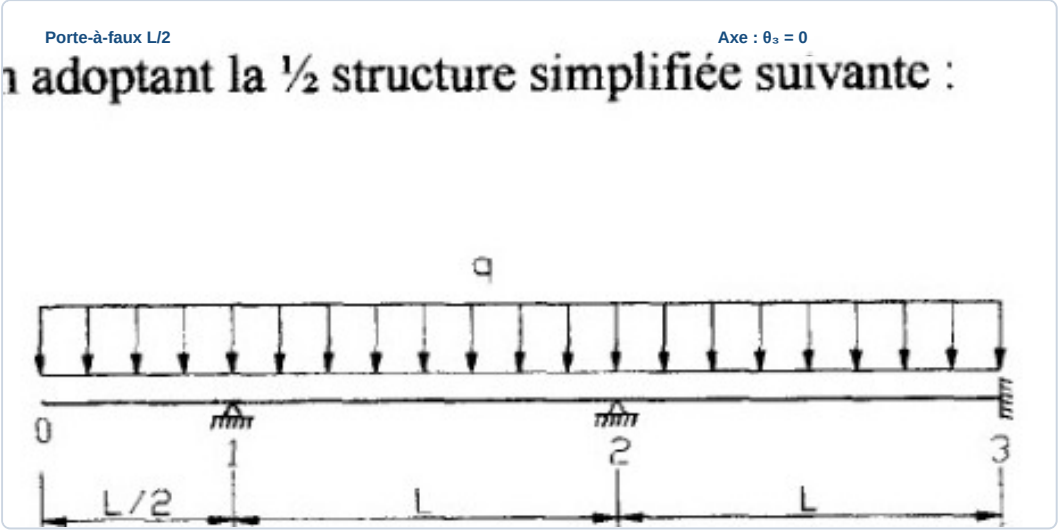
2. Étude d’une panne continue par la méthode des déplacements

La panne continue comporte plusieurs travées et deux porte-à-faux d’extrémité, soumis à une charge uniformément répartie. Le candidat peut traiter l’étude en valeurs littérales ou numériques et appliquer la méthode des déplacements, aussi appelée méthode des rotations.

Question 2.1. Justifier le choix du modèle simplifié en rappelant les propriétés et particularités de la structure, du chargement, des actions aux appuis, des diagrammes de V et M ainsi que des déformations.

La poutre, les porte-à-faux et le chargement sont symétriques par rapport à l’appui 3. Les réactions verticales et la déformée sont donc symétriques ; à l’axe, le déplacement vertical et la rotation sont nuls. On étudie une demi-poutre : un porte-à-faux de longueur $L/2$, deux travées de longueur L, puis une extrémité bloquée en rotation. Sans charge horizontale, les réactions horizontales sont nulles. Sous charge uniforme, $V(x)$ est affine par tronçon et $M(x)$ quadratique ; la continuité de la poutre impose la compatibilité des rotations aux appuis intermédiaires.

Demi-structure et condition de symétrie



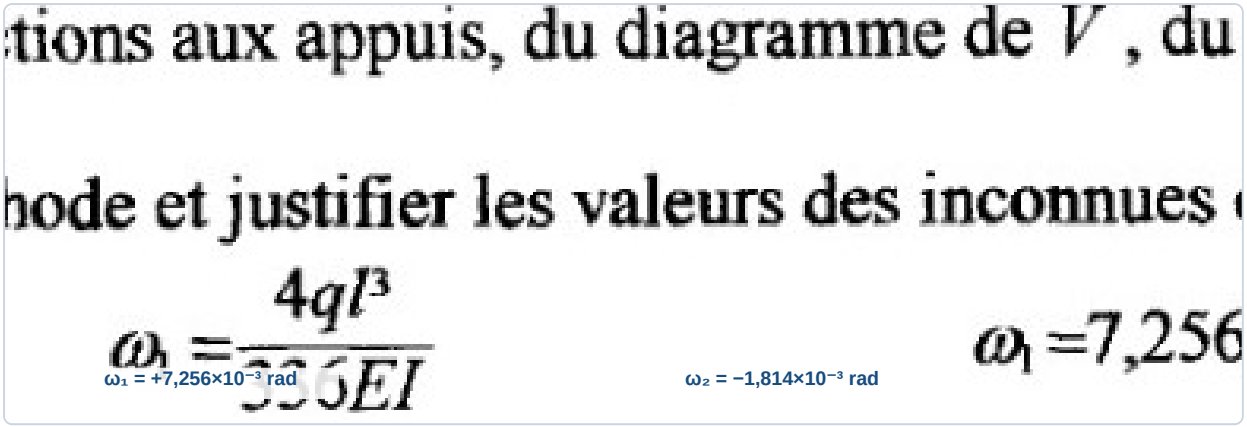
✓ RÉPONSE À RETENIR

Modèle : demi-poutre symétrique, avec un porte-à-faux $L/2$, deux travées L et une rotation nulle à l’appui 3, axe de symétrie.

Question 2.2. Développer la méthode des déplacements et justifier les valeurs des inconnues cinématiques indiquées sur le sujet, en valeurs littérales ou numériques.

Les déplacements verticaux aux appuis sont nuls et, par symétrie, $\omega_3 = 0$. La méthode des rotations exprime les moments d’extrémité de chaque travée en fonction des rotations nodales et des moments dus à la charge uniforme ; l’équilibre des moments aux nœuds 1 et 2 donne les équations du système. Le sujet fournit leur résolution : $\omega_1 = 4qL^3/(336EI)$ et $\omega_2 = -qL^3/(336EI)$. Avec $E = 210000 \times 1000\ \mathrm{kN/m^2}$ et $I = 2000 \times 10^{-8}\ \mathrm{m^4}$, on obtient $EI = 4200\ \mathrm{kN\,m^2}$.

Rotations nodales calculées



✓ RÉPONSE À RETENIR

Rotations nodales selon le sens positif du schéma : $\omega_1 = +7{,}256 \times 10^{-3}$ rad et $\omega_2 = -1{,}814 \times 10^{-3}$ rad.

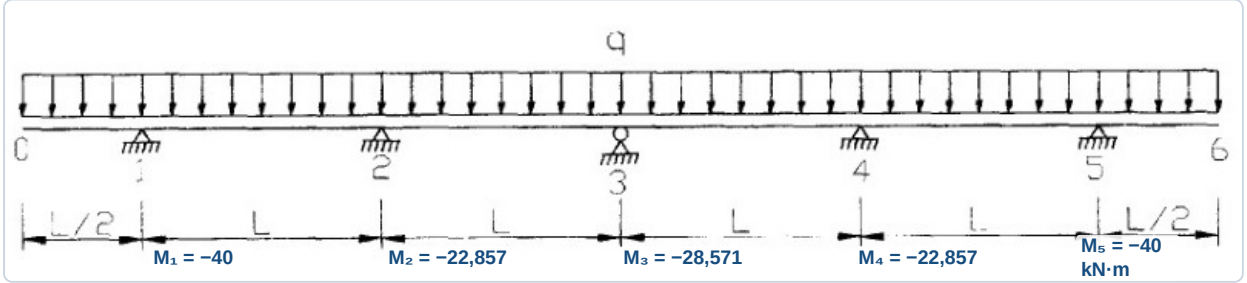
Question 2.3. Rechercher les valeurs des moments aux extrémités des poutres, puis tracer le diagramme de M(x).

Convention : moment positif en flexion sagissante. Le porte-à-faux donne $M(s) = -qs^2/2$, avec s mesuré depuis son extrémité libre. Les travées et les moments sont symétriques par rapport à l'appui 3. Les expressions et valeurs ci-dessous définissent le tracé parabolique sur la demi-poutre ; reporter les mêmes valeurs en miroir sur l'autre moitié.

Tronçon ou point	Moment fléchissant (kN·m)
Extrémité libre, puis appui 1	0 ; −40
Travée 1-2, abscisse s depuis 1	$M = -40 + 22{,}143s - 2{,}5s^2$
Appui 2	−22,857
Travée 2-3, abscisse s depuis 2	$M = -22{,}857 + 19{,}286s - 2{,}5s^2$
Appui 3, axe de symétrie	−28,571
Maximum en travée 1-2 ; en travée 2-3	+9,031 à $s = 4{,}429$; +14,337 à $s = 3{,}857$

Les maxima se trouvent lorsque l'effort tranchant, dérivée du moment, s'annule. Le diagramme est continu aux appuis et présente un moment négatif de $-40\ \mathrm{kN\,m}$ à chaque appui d'extrémité du porte-à-faux.

Moments aux appuis de la panne



✓ RÉPONSE À RETENIR

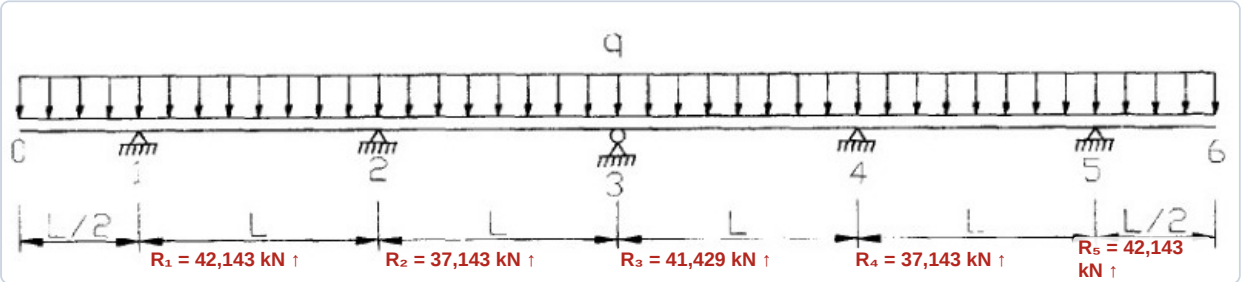
Moments aux appuis 1 à 5 : -40, $-22{,}857$, $-28{,}571$, $-22{,}857$, $-40\ \mathrm{kN\,m}$. Maxima positifs : $+9{,}031$ et $+14{,}337\ \mathrm{kN\,m}$, en miroir.

Question 2.4. Rechercher les valeurs des actions aux appuis et dessiner la structure en équilibre.

La charge et la géométrie étant symétriques, les réactions verticales sont symétriques et les réactions horizontales nulles. À chaque appui, la réaction se déduit du saut d'effort tranchant ; au premier appui, elle reprend aussi la charge du porte-à-faux. Le tableau donne les actions verticales exercées sur la poutre. Le contrôle global confirme l'équilibre : la somme des réactions égale la charge uniformément répartie appliquée sur les $40\ \mathrm{m}$ de poutre.

Appui	Réaction horizontale (kN)	Réaction verticale (kN)
1	0	42,143 vers le haut
2	0	37,143 vers le haut
3	0	41,429 vers le haut
4	0	37,143 vers le haut
5	0	42,143 vers le haut

Structure en équilibre : réactions d'appui



✓ RÉPONSE À RETENIR

Réactions verticales aux appuis 1 à 5 : $42{,}143$, $37{,}143$, $41{,}429$, $37{,}143$, $42{,}143\ \mathrm{kN}$, toutes vers le haut. Réactions horizontales nulles.

3. Étude d’un portique courant et de sa ferme treillis

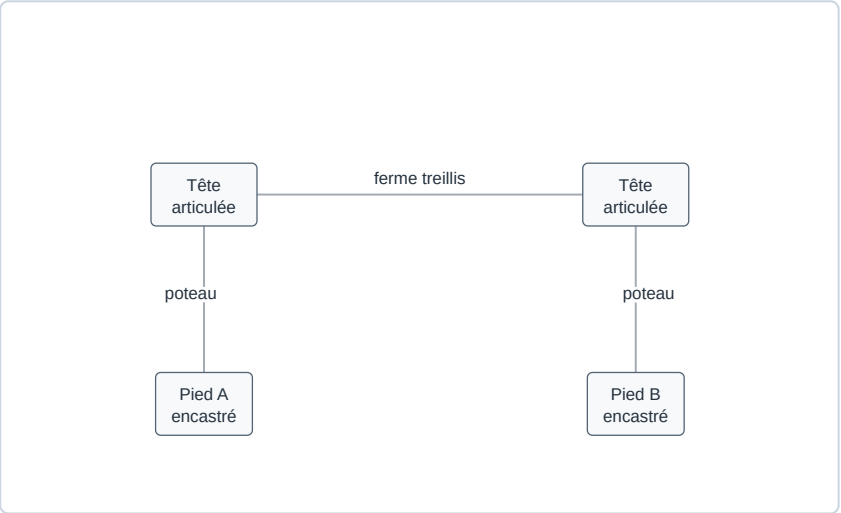
Le système étudié associe deux poteaux encastrés en pied et articulés en tête à une ferme treillis chargée par des forces verticales. Les questions portent sur l’hyperstatisme, la méthode des forces, les sollicitations des poteaux et les efforts dans des barres de la ferme.

Analyse

Question 3.1. Déterminer le degré d’hyperstatisme de la structure constituée des poteaux et de la ferme treillis.

Les deux poteaux transmettent à la ferme des réactions horizontales opposées, dont la valeur n’est pas fixée par les seules équations d’équilibre. Cette réaction horizontale constitue l’unique redondante : la structure est hyperstatique du premier degré.

Réaction horizontale redondante



Les réactions horizontales opposées forment l’unique redondante.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Degré d’hyperstatisme : **1**.

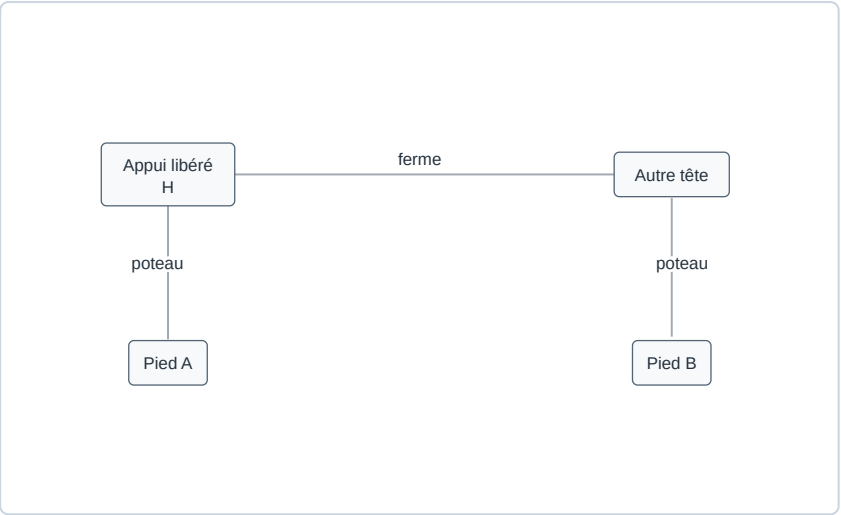
Résolution par la méthode des forces

Question 3.2. Expliquer clairement, à l’aide de schémas précis et sans calcul, la méthode des forces adoptée. Désigner la ou les inconnues hyperstatiques, proposer une décomposition en problèmes isostatiques et exprimer la ou les conditions cinématiques à exploiter.

1. Choisir comme inconnue redondante la réaction horizontale de l’un des appuis de la ferme, notée H, puis supprimer cette liaison horizontale pour obtenir le système isostatique de base.
2. Étudier ce système sous les charges réelles, puis sous une force unitaire dans le sens de H. La superposition doit annuler le déplacement horizontal relatif au point libéré : $u_0 + H f_{11} = 0$, donc $H = -u_0 / f_{11}$.

La symétrie impose des réactions horizontales opposées aux deux têtes.

Principe de la méthode des forces



Système isostatique libéré ; H rétablit la compatibilité du déplacement.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Redondante : **H**. Compatibilité : **déplacement horizontal nul au point libéré**.

Étude des poteaux

Question 3.3. À partir des actions aux appuis données dans le sujet, préciser le type de sollicitations auquel sont soumis les poteaux et la particularité des diagrammes N, V et M.

Chaque poteau reçoit une compression verticale de 40 kN et un effort horizontal non nul. Il est donc soumis à une **flexion composée**. En prenant x depuis le pied vers la tête, avec une hauteur h :

- N est constant, en compression : 40 kN ;
- V est constant et égal à l'effort horizontal ;
- M varie linéairement, est nul à l'articulation en tête et non nul à l'encastrement du pied.

✓ RÉPONSE À RETENIR

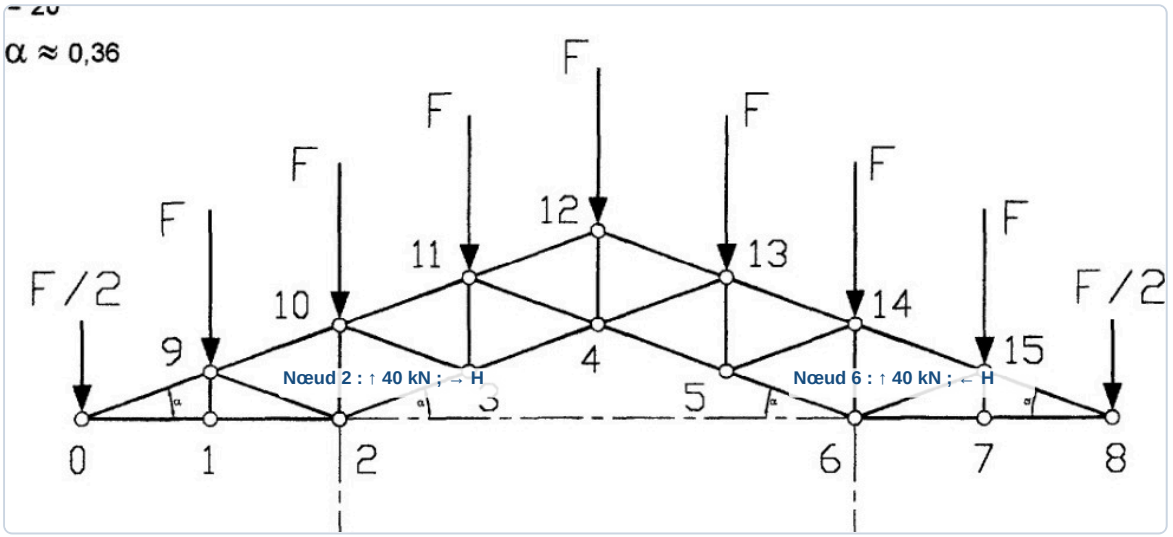
Poteaux en flexion composée : **N constant en compression, V constant, M linéaire**, nul en tête et non nul au pied.

Étude de la ferme treillis

Question 3.4. Déduire de la question précédente les actions des poteaux sur la ferme et représenter celle-ci en équilibre sur le document R2. Rechercher graphiquement, en isolant successivement trois nœuds opportuns, les actions dans les barres 0-1, 1-2, 0-9, 9-10, 1-9 et 2-9. Rechercher analytiquement les actions dans les barres 3-4, 11-12 et 4-11, indiquer les cotes utiles sur le schéma et renseigner le tableau des résultats.

La ferme reçoit des poteaux, aux nœuds 2 et 6, des actions verticales ascendantes de 40 kN chacune et des actions horizontales opposées, notées H et −H. Le chargement vertical total vaut $7F + 2(F/2) = 8F = 80$ kN. Les efforts des barres demandées dépendent de H : les données de cette question ne donnent pas sa valeur, donc elles ne déterminent pas un tableau numérique unique. Sur le schéma, inscrire les actions d'appui et reporter les résultats obtenus par équilibre des nœuds en fonction de H.

Document R2 : actions des poteaux sur la ferme



✓ RÉPONSE À RETENIR

Appuis de la ferme : **40 kN vers le haut** chacun, avec des réactions horizontales opposées **H** et **−H**. Les efforts de barre dépendent de H.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2002)

Bilan de l'épreuve : Épreuve E4 de mécanique du BTS Constructions métalliques, session 2002, code CMMECA. La durée et le coefficient ne sont pas indiqués. Les études portent sur des pannes chargées, un portique et sa ferme treillis, dans le contexte technique d'un auvent de station-service. Les compétences évaluées comprennent l'équilibre, les efforts internes, les déformations et l'analyse des structures hyperstatiques.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Déterminer les réactions en appliquant les équations d'équilibre global : somme des forces et somme des moments nulles.
- Sous une charge répartie uniforme, V varie linéairement et M s'obtient par intégration de l'effort tranchant.
- La méthode des déplacements établit les moments d'extrémité à partir des rotations inconnues et des effets du chargement.
- Dans une ferme treillis idéale, les barres travaillent axialement en traction ou en compression, déterminées par l'équilibre des nœuds.

Points de vigilance & attentes du jury

- Annoncer les conventions de signe et définir l'origine de x avant d'établir V(x) et M(x).
- Vérifier les réactions par l'équilibre global et contrôler leurs unités.
- Indiquer les valeurs remarquables des diagrammes et respecter les échelles des documents réponse.
- Pour la méthode des forces, montrer inconnues, systèmes isostatiques associés et conditions cinématiques, sans calcul.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment déterminer la flèche en C avec le diagramme de moment ?

On peut utiliser le théorème des travaux virtuels, ou méthode de la charge unitaire. Le déplacement recherché s'obtient en intégrant sur la poutre le produit du moment réel et du moment virtuel, divisé par EI, en tenant compte des tronçons.

Q : Comment traiter les inconnues de rotation dans la panne continue ?

On modélise la poutre simplifiée en conservant ses appuis, ses porte-à-faux et son chargement. La méthode des déplacements relie ensuite les moments d'extrémité aux rotations inconnues, à l'aide des équations de flexion et des conditions aux appuis.

Q : La durée et le barème de points sont-ils précisés dans le sujet fourni ?

Non. Les pages disponibles ne donnent ni durée officielle ni répartition des points. Pour la panne continue, le sujet autorise une résolution entièrement littérale ou entièrement numérique; certaines productions sont à reporter sur les documents réponse.

Q : Qu'est-ce qui est évalué dans la question sur la méthode des forces ?

Aucun calcul n'est demandé pour cette question. L'évaluation porte sur le choix des inconnues hyperstatiques, la décomposition en problèmes isostatiques et l'expression des conditions cinématiques, accompagnés de schémas précis.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btsamcr.fr/assets/annales/bts-amcr/E4 - Analyse, prescription, conception d'un projet/2002/BTS AMCR - E4 - Analyse, prescription, conception d'un projet - Session 2002 - 1-Sujet.pdf
Ressources BTS Architectures en Métal : Conception et Réalisation : 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.