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

Métallurgie du soudage

Session 2003 • Code sujet : **U52** • Durée : **Non indiquée**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Procédures de soudage (12 questions) **Page 3**

2. Contrôles et qualité en soudage (8 questions) **Page 8**

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

Sujet officiel (PDF) : https://btscicn.fr/assets/annales/bts-cicn/E5 - Conception et industrialisation/2003/BTS CICN - E5 - Conception et industrialisation - Session 2003 - 2-Sujet.pdf

1. Procédures de soudage

L'étude porte sur le soudage par fil fourré avec gaz d'un bordé de fond de 20 mm en acier EH36 pour un navire de recherche hydrographique soumis aux règlements IRCN et du Bureau Véritas. À partir du DMOS et de courbes métallurgiques, il faut analyser les paramètres de soudage, les risques de fissuration à froid et le choix des consommables et procédés, notamment en comparaison avec l'acier S420.

Question 1. Expliquer les rôles opératoire, qualitatif et économique de la latte triangulaire représentée sur le profil du joint.

La latte triangulaire est un support de racine laissé en place pendant les passes I et II. Elle soutient le bain et aide à obtenir une pénétration régulière, sans laisser fuir le métal à la racine. Elle améliore ainsi la qualité du joint. Comme elle évite un gougeage envers systématique et facilite l'exécution des passes, elle réduit le temps de travail et le coût de fabrication. Le DMOS prévoit de finir la passe II avant de retirer les lattes.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Support de racine, pénétration et qualité améliorées, gougeage et reprises limités.

Question 2. Calculer la vitesse de soudage v permettant d'obtenir une énergie de soudage de 25 kJ/cm dans les passes I et II, exécutées à plat par le procédé FFAG. Utiliser le DMOS et la formule d'énergie fournie.

Le DMOS donne 220 A et 28 V pour la passe I, puis 290 A et 29 V pour la passe II. Avec l'énergie nominale demandée, la relation est **v = 60UI / (1000 En)**. Ainsi, pour I : 60 × 220 × 28 / (1000 × 25) = 14,784 cm/min. Pour II : 60 × 290 × 29 / (1000 × 25) = 20,184 cm/min. Les vitesses sont arrondies au dixième.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Passe I : 14,8 cm/min. Passe II : 20,2 cm/min.

Question 3. Calculer la vitesse de soudage v permettant d'obtenir une énergie de soudage de 25 kJ/cm dans la passe de reprise au plafond, en supposant un soudage à l'électrode enrobée de diamètre 4 mm. Utiliser les relations fournies pour l'intensité et la tension ainsi que l'indication concernant l'intensité en position plafond.

Pour l'électrode de diamètre 4 mm, l'intensité vaut **I = 50(d − 1)**, soit 50 × (4 − 1) = 150 A. La tension est **U = 20 + 0,04I**, soit 26 V. Le document précise que l'intensité au plafond est la même qu'à plat. En isolant v dans la relation d'énergie, on obtient 60 × 150 × 26 / (1000 × 25) = 9,36 cm/min.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesse de reprise au plafond : 9,36 cm/min.

Question 4. Pour l'acier EH36 et une énergie de soudage de 25 kJ/cm, déterminer sur la courbe de fissuration à froid le temps de passage entre 800 et 500 °C, la dureté sous cordon maximale tolérée mesurée par essai destructif et le risque de fissuration ou de rupture sur la première passe. Pour évaluer le risque, retenir des conditions opératoires similaires et une contrainte de bridage maximale égale à Re.

Sur la courbe de fissuration à froid de l'EH36, la lecture à 25 kJ/cm donne un temps t8/5 d'environ 20 s et une dureté sous cordon limite proche de 350 HV5. La courbe de contrainte admissible reste en dessous de la limite élastique de l'acier, voisine de 355 MPa. Avec un bridage égal à Re, la contrainte dépasse donc la zone indiquée sans risque. La première passe présente un risque de fissuration à froid, voire de rupture.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

t8/5 ≈ 20 s ; dureté limite ≈ 350 HV5 ; risque de fissuration à Re.

Question 5. À partir du diagramme de transformation au refroidissement de l'acier EH36, déterminer le temps de passage entre 800 et 500 °C pour lequel l'assemblage est en sécurité, puis nommer l'élément de la structure finale qui est alors éliminé.

Le diagramme de transformation de l'EH36 situe la limite d'apparition de la structure martensitique vers t8/5 = 15 s. Un refroidissement dont le temps de passage est au moins égal à cette valeur évite donc cette structure dure et fragile. La réponse est une lecture graphique du diagramme, et non une valeur calculée à partir de l'énergie. La structure à nommer comme éliminée est la martensite.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Sécurité pour t8/5 ≳ 15 s ; la martensite est éliminée.

Question 6. Pour l'acier S420 et une énergie de soudage de 25 kJ/cm, déterminer sur la courbe de fissuration à froid le temps de passage entre 800 et 500 °C, la dureté sous cordon maximale tolérée mesurée par essai destructif et les contraintes de bridage acceptables sans risque de fissuration avec des électrodes enrobées basiques puis rutiles.

Sur la courbe du S420, à 25 kJ/cm, on lit un t8/5 d'environ 20 s et une dureté sous cordon maximale proche de 350 HV5. La contrainte de bridage admissible dépend du consommable : la lecture donne environ 350 MPa pour les électrodes basiques et 200 MPa pour les rutiles. Les basiques tolèrent donc un bridage plus élevé sans fissuration dans les conditions représentées par la courbe. Ces valeurs restent des lectures graphiques approximatives.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

t8/5 ≈ 20 s ; dureté ≈ 350 HV5 ; bridage : 350 MPa avec basiques, 200 MPa avec rutiles.

Question 7. Déterminer, à partir du tableau fourni, la dureté maximale admissible pour des aciers du groupe 2 soudés en multipasses bout à bout.

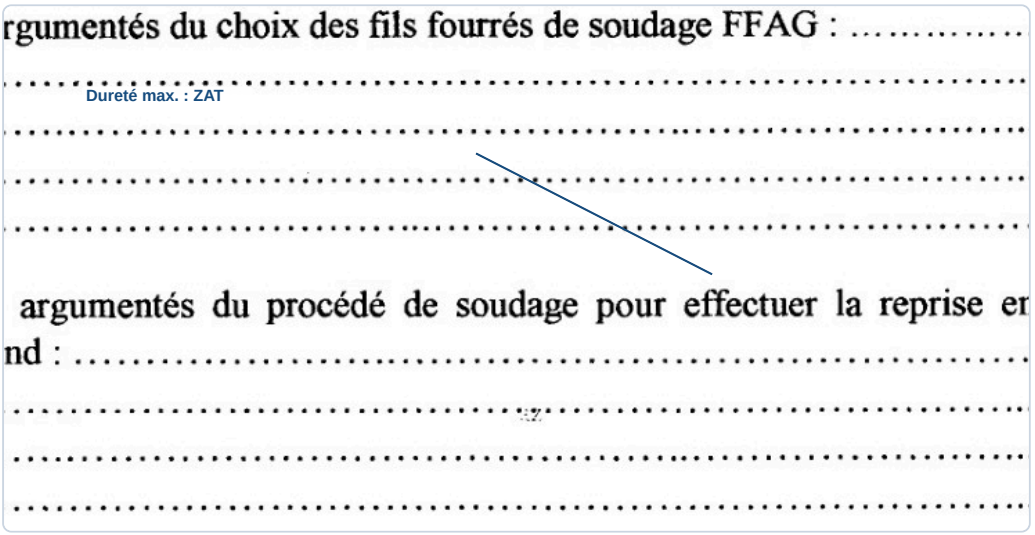
Dans le tableau, les aciers du groupe 2 correspondent à la ligne « 1, 2 ». À l'intersection de cette ligne et de la colonne « soudures multipasses bout à bout ou d'angle, non traité thermiquement », la dureté maximale admissible est de 350 HV10. La valeur de 320 HV10 concerne la colonne avec traitement thermique après soudage. Pour le cas demandé, sans traitement thermique indiqué, c'est donc la première valeur qui s'applique.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Dureté maximale admissible : 350 HV10, sans traitement thermique.

Question 8. Indiquer sur le croquis la zone où se situe la valeur maximale de dureté admissible.

La dureté maximale admissible concerne la zone affectée thermiquement, dans le métal de base et au voisinage de la ligne de fusion. Sur le croquis, elle ne se place donc ni au centre du métal fondu, ni dans le métal de base éloigné du joint. Le maximum se situe dans la partie de la ZAT qui a subi le cycle thermique le plus marqué. L'annotation vise la ZAT juste à côté de la limite de la soudure.

Position de la dureté maximale

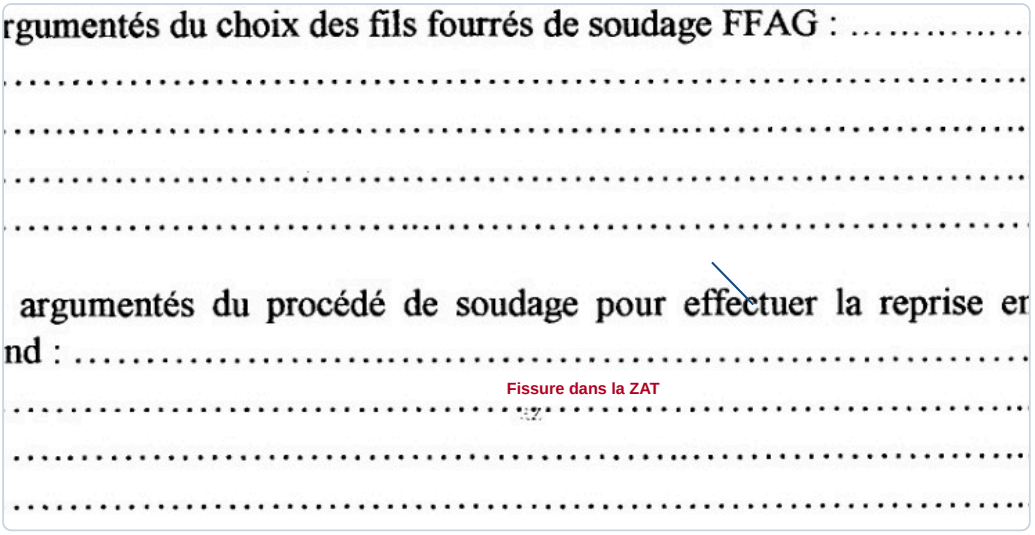


> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Dans la ZAT, au voisinage immédiat de la ligne de fusion.

Question 9. Dessiner et positionner un exemple de fissure à froid sur le croquis fourni.

Un exemple de fissure à froid peut être dessiné dans la ZAT, près du pied du cordon, en amorce depuis la surface et orienté vers la ligne de fusion. Le croquis est une coupe transversale : la fissure doit donc être représentée dans la bande de ZAT, et non au milieu du métal fondu. Les fissures sont inacceptables selon le document IRCN, quelle que soit leur position dans la soudure ou la zone affectée.

Exemple de fissure à froid



✓ RÉPONSE À RETENIR

Fissure à froid dans la ZAT, près du pied du cordon, orientée vers la ligne de fusion.

Question 10. Après avoir présenté des conclusions argumentées à partir des critères des questions précédentes, donner un avis sur le choix du DMOS avec l'acier EH36, un fil fourré basique SD 400 en première passe et un fil fourré rutile SD 100 en deuxième passe.

Le choix du DMOS est cohérent pour l'EH36 : le fil basique SD 400 en première passe limite l'apport d'hydrogène à la racine, zone sensible à la fissuration à froid. Le fil rutile SD 100 facilite ensuite la conduite et le dépôt des passes de remplissage. Cette combinaison ne supprime pas le risque : il faut respecter les paramètres du DMOS, maîtriser l'humidité des consommables et contrôler la racine ainsi que le refroidissement. La dureté admissible en multipasses est de 350 HV10 sans traitement thermique.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Choix cohérent : SD 400 basique en première passe, puis SD 100 rutile en remplissage, avec maîtrise de l'hydrogène et du refroidissement.

Question 11. Choisir et justifier le procédé de soudage pour effectuer la passe de reprise au plafond parmi le FFAG à flux basique ou rutile et l'électrode enrobée basique ou rutile. Intégrer le taux de dépôt indiqué : 4 kg/h pour le FFAG et 1,5 kg/h pour l'électrode enrobée.

Pour cette reprise localisée au plafond, le choix prudent est l'électrode enrobée basique : elle limite l'hydrogène diffusible et permet de maîtriser le bain en position. Son taux de dépôt est toutefois de 1,5 kg/h, contre 4 kg/h pour le FFAG, soit un avantage de productivité d'environ 2,7 pour le FFAG. Le débit supérieur ne suffit pas à écarter les exigences de maîtrise au plafond et de limitation du risque de fissuration sur cette passe sensible.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Électrode enrobée basique au plafond : maîtrise et faible hydrogène prioritaires, malgré un dépôt inférieur (1,5 contre 4 kg/h).

Question 12. Expliquer pourquoi l'organisme de certification Bureau Véritas ne propose pas l'usage de l'acier S420, notamment dans les zones structurelles fortement sollicitées.

Le S420 présente une limite élastique plus élevée, mais cette résistance accrue ne garantit pas à elle seule une meilleure tenue de la structure navale. Elle rend le choix plus exigeant vis-à-vis de la ténacité, de la fatigue et de la maîtrise du soudage, notamment du risque de fissuration à froid lié à l'hydrogène, au bridage et au refroidissement. L'EH36 est un acier de coque prévu par le DMOS et les règles applicables, avec des caractéristiques de soudabilité et de comportement mieux encadrées pour ces structures.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le S420 impose des exigences accrues de ténacité et de soudage ; l'EH36 est le choix de coque encadré par le DMOS et les règles.

2. Contrôles et qualité en soudage

L'étude compare le contrôle de la compacité des soudures d'un navire de recherche de 80 m soumis aux règlements IRCN et du Bureau Véritas et d'un paquebot de 345 m relevant du Lloyd's Register of Shipping. Les candidats exploitent les règles d'implantation, les classes de qualité, un plan de soudures, des descriptifs radiographiques et les critères d'acceptation des défauts.

Navire de 80 m

Question 1.1. Calculer le nombre minimal n de points de contrôle de compacité pour le bateau de 80 m, avec Lpp = 72,1 m, largeur maximale l = 25 m et creux c = 9,1 m, en appliquant la formule réglementaire.

La formule réglementaire est **n = L(l + c) / 46,5**. Pour le navire de 80 m : **n = 72,1 × (25 + 9,1) / 46,5 = 52,87**. Le minimum s'arrondit à l'entier supérieur, afin de garantir au moins le nombre de points calculé. La formule concerne les zones A et B, hors contrôles supplémentaires prévus pour les cas particuliers.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **53 points de contrôle minimum.**

Navire de 345 m

Question 1.2. Calculer le nombre minimal n de points de contrôle de compacité pour le bateau de 345 m, avec Lpp = 301,35 m, largeur maximale l = 41 m et creux c = 33,94 m, en appliquant la formule réglementaire.

La formule réglementaire est **n = L(l + c) / 46,5**. Pour le paquebot : **n = 301,35 × (41 + 33,94) / 46,5 = 485,66**. Le nombre de points étant minimal, on arrondit à l'entier supérieur. Ce résultat concerne les zones A et B ; des contrôles supplémentaires peuvent être définis pour les structures internes ou les cas particuliers.

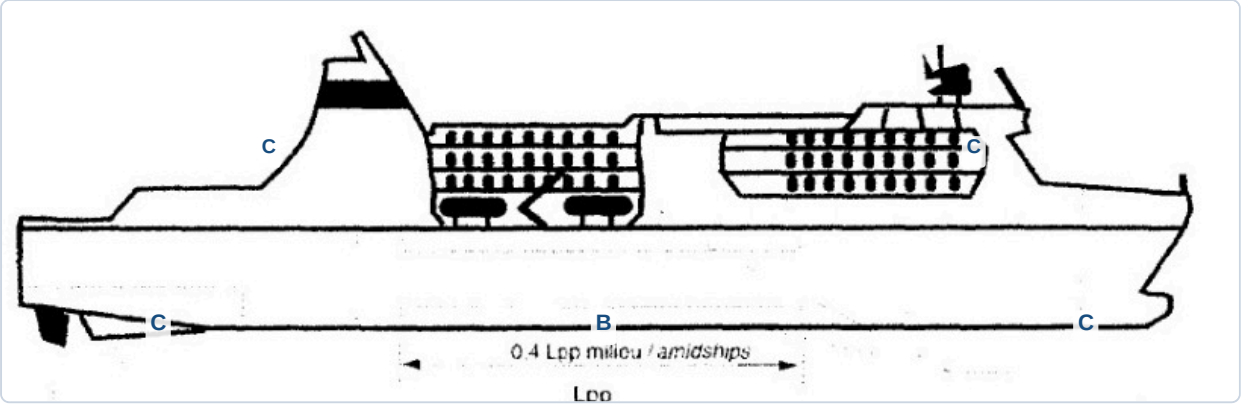
> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **486 points de contrôle minimum.**

Navire de 80 m

Question 2.1. Positionner les classes de qualité applicables sur le croquis du bateau de 80 m, en tenant compte de la règle particulière prévue pour les navires dont la longueur entre les points perpendiculaires est inférieure à 150 m.

La longueur entre perpendiculaires est inférieure à 150 m : la règle remplace la classe A par B et la classe B par C. Sur le croquis, la zone centrale du fond, longue de **0,4 Lpp**, est donc en classe B. Les autres zones du navire sont en classe C. Le document précise que le contrôle réglementaire des régions C n'est pas prévu.

Classes de qualité du navire de 80 m



✓ RÉPONSE À RETENIR

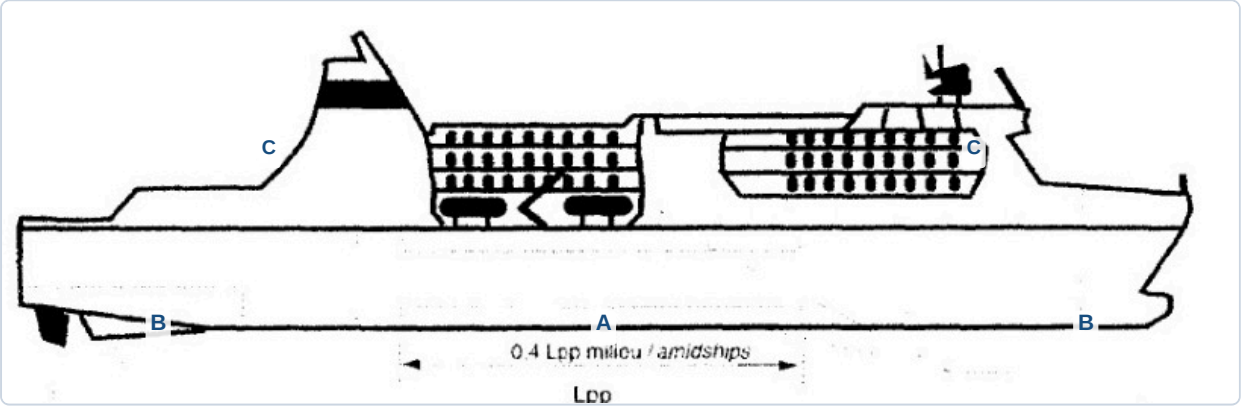
Fond central sur 0,4 Lpp : B. Reste du navire : C.

Navire de 345 m

Question 2.2. Positionner sur le croquis les classes de qualité applicables au bateau de 345 m.

La longueur entre perpendiculaires dépasse 150 m : les classes initiales s'appliquent. La zone centrale du fond, sur **0,4 Lpp**, est en classe A. Les parties basses du navire, hors de cette zone, relèvent de la classe B ; les régions supérieures sont en classe C. Le croquis annoté situe ces classes sur le profil du paquebot.

Classes de qualité du paquebot de 345 m



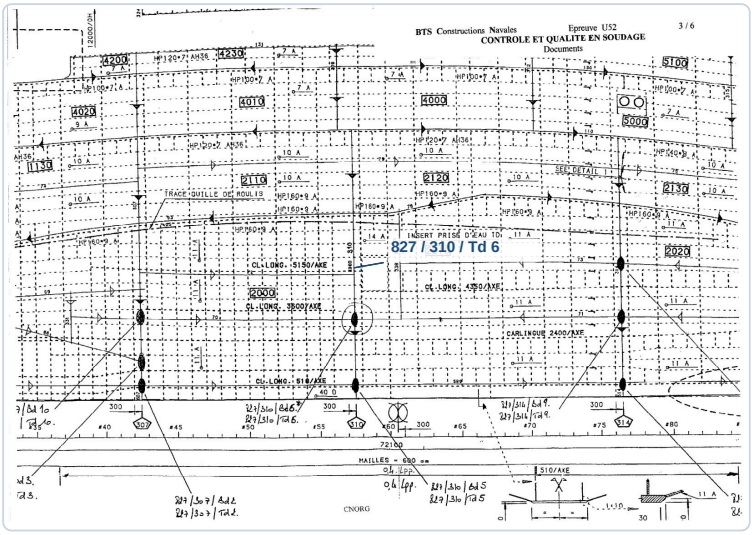
✓ RÉPONSE À RETENIR

Fond central : A. Parties basses hors zone centrale : B. Régions supérieures : C.

Question 3. Sur le plan de compacité des soudures du bateau de 80 m, rechercher le point de contrôle tribord 6. Identifier les numéros des lignes de soudure qui se croisent à ce point et indiquer l'épaisseur ou les épaisseurs des quatre panneaux qui y sont réunis.

Le repère **827 / 310 / Td 6** désigne le croisement de la soudure transversale 827 et de la soudure longitudinale 310, côté tribord. Le croisement réunit quatre panneaux ; le plan indique une épaisseur de **10 mm** pour chacun. Le point est à contrôler car le règlement demande notamment des contrôles aux croisements des abouts de liaison des panneaux préfabriqués.

Repérage du croisement 827 / 310 / Td 6



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Soudures 827 et 310, au repère Td 6. Quatre panneaux de 10 mm.

Question 4. Déterminer si le croisement des soudures 827 / 310 / Tb 6 est conforme ou non, en exploitant le descriptif de la radiographie par rayons gamma et l'abaque des critères d'acceptation du défaut de manque de fusion selon les classes de qualité.

Le radiogramme montre un manque de fusion d'environ **13 mm**, estimé avec l'échelle graduée. Le point est situé au fond : pour ce navire de moins de 150 m, la classe A y est remplacée par la classe B. Pour une tôle de 10 mm, la limite de longueur lue sur l'abaque de classe B est d'environ 4 à 5 mm. Le défaut dépasse cette limite : le croisement n'est pas conforme.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Non conforme : environ 13 mm de manque de fusion, au-delà de la limite de classe B.

Question 5. Déterminer si la soudure de quille de 40 mm, repérée 827 / 307 / Q 1, est conforme ou non. Exploiter le descriptif de la radiographie par rayons gamma, le tableau de pondération des soufflures et l'abaque d'acceptation.

Sur 100 mm de soudure, le radiogramme montre deux soufflures de 1,5 mm et une de 3,5 mm. Le tableau donne respectivement les coefficients 4 et 16 : **KT = 2 × 4 + 16 = 24**. À 40 mm d'épaisseur, cette valeur se situe dans la zone d'acceptation de l'abaque, sous la limite d'acceptation possible après examen. La soudure est conforme.

✓ RÉPONSE À RETENIR

KT = 24 : soudure conforme pour 40 mm d'épaisseur.

Question 6. Donner trois différences entre les radiographies par rayons X et celles par rayons gamma. Les radiographies du bateau de 80 m sont effectuées par l'une ou l'autre méthode et celles du bateau de 345 m par rayons gamma.

Trois différences distinguent les méthodes. Les rayons X sont produits par un générateur électrique, tandis que les rayons gamma proviennent d'une source radioactive. Le générateur RX permet de régler la tension et d'interrompre l'émission en l'arrêtant ; une source gamma émet sans interruption tant qu'elle est exposée et son activité décroît avec le temps. Enfin, l'appareil RX nécessite une alimentation électrique, contrairement à la source gamma autonome.

✓ RÉPONSE À RETENIR

RX : générateur réglable, alimentation électrique et émission interrompue à l'arrêt. Gamma : source radioactive autonome, émission continue et activité décroissante.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2003)

Bilan de l'épreuve : L'épreuve U52 de BTS Constructions Navales porte sur la métallurgie du soudage et le contrôle de sa qualité. La session, la durée et le coefficient ne sont pas indiqués. Elle étudie le soudage d'un bordé en EH36, la comparaison avec le S420, les risques de fissuration à froid et les contrôles de compacité. Les compétences évaluées comprennent les calculs, la lecture de diagrammes et l'application de critères réglementaires.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- L'énergie nominale de soudage est En = 60UI/(1000v), avec En en kJ/cm et v en cm/min.
- Pour l'électrode enrobée, le sujet donne I = 50(d - 1) et U = 20 + 0,04I.
- Le nombre minimal de points de contrôle est n = L(l + c)/46,5, avec les dimensions en mètres.
- Pour les soufflures isolées, le coefficient est KT = N1 + 4N2 + 9N3 + 16N4.

Points de vigilance & attentes du jury

- Vérifier les unités avant tout calcul de vitesse de soudage ou de nombre de points de contrôle.
- Lire chaque valeur sur le document correspondant au bon acier, à la bonne épaisseur et à la bonne énergie.
- Appliquer le remplacement des classes A par B et B par C pour les navires de moins de 150 m.
- Pour juger la conformité, identifier le défaut, l'épaisseur et la classe de qualité avant de consulter le critère adapté.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer la vitesse à partir de l'énergie de soudage ?

Utilisez En = 60UI/(1000v), puis isolez v : v = 60UI/(1000En). L'intensité est en ampères, la tension en volts et la vitesse obtenue en centimètres par minute. Vérifiez que l'énergie demandée est exprimée en kJ/cm.

Q : Comment déterminer si des soufflures isolées sont acceptables ?

Classez les soufflures selon leur diamètre pour déterminer les nombres N1 à N4, puis calculez KT = N1 + 4N2 + 9N3 + 16N4. Comparez le résultat à l'abaque correspondant à l'épaisseur de tôle.

Q : Le sujet indique-t-il une durée ou un barème de points ?

Aucune durée, aucun coefficient et aucun barème de points ne sont imprimés dans les pages fournies. Les consignes sont numérotées, mais la répartition des points entre les questions n'est pas précisée.

Q : Quels critères faut-il mobiliser pour juger une soudure radiographiée ?

Repérez le type de défaut, l'épaisseur contrôlée et la classe de qualité applicable, puis consultez l'abaque ou le tableau correspondant. Le document précise que les fissures sont inacceptables dans tous les cas.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btscicn.fr/assets/annales/bts-cicn/E5 - Conception et industrialisation/2003/BTS CICN - E5 - Conception et industrialisation - Session 2003 - 2-Sujet.pdf
Ressources BTS Conception et Industrialisation en Construction Navale : 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.