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 TM

Sciences et Techniques Industrielles, option A : Traitements Thermiques

Session 2009 • Code sujet : **TMSTI A** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude du moyeu en acier C70 (4 questions) **Page 3**

2. Étude de la bague intérieure en acier 100Cr6 (6 questions) **Page 6**

3. Étude de l'outil de sertissage en acier rapide fritté (6 questions) **Page 9**

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

Sujet officiel (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2009/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2009 - 4-Sujet.pdf

1. Étude du moyeu en acier C70

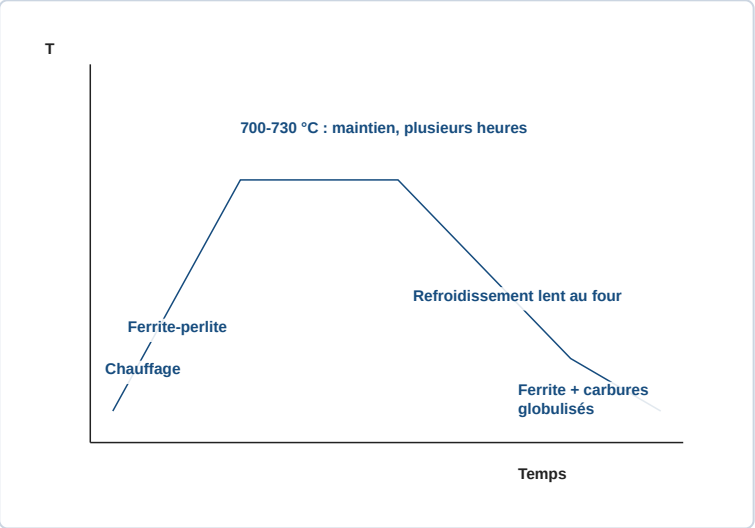
Le moyeu du dispositif de guidage est réalisé en acier C70 estampé, puis traité thermiquement dans la masse et en surface. L'étude porte sur le traitement de la phase 20 et sur la trempe par induction de la zone 1, avec des exigences de structure, de dureté et de profondeur de trempe.

Traitement thermique dans la masse

Question I.1. Détailler la phase 20 et tracer le cycle thermique en indiquant l'évolution structurale au cours du traitement, l'ordre de grandeur des températures et du temps de maintien, ainsi que le mode de refroidissement.

La phase 20 est un recuit de globulisation sous Ac1. Chauffer le C70 vers 700 à 730 °C, maintenir plusieurs heures, puis refroidir lentement au four. La structure ferrite-perlite issue du refroidissement après estampage évolue vers de la ferrite contenant des carbures globulisés, sans austénitisation complète. Ce traitement facilite l'usinage et le sertissage et vise 200 à 240 HBW.

Cycle de globulisation du moyeu C70



✓ RÉPONSE À RETENIR

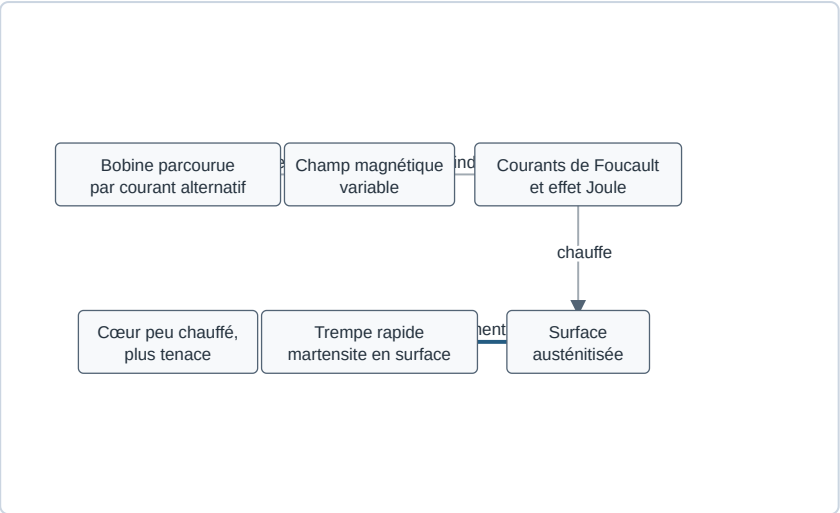
Recuit de globulisation : 700 à 730 °C, maintien de plusieurs heures, refroidissement lent au four.

Trempe par induction

Question I.2.1. Expliquer le principe du durcissement de la zone 1 par trempe après chauffage par induction.

La pièce est placée dans une bobine parcourue par un courant alternatif. Le champ magnétique variable induit des courants de Foucault dans la zone superficielle du moyeu ; leur effet Joule la chauffe rapidement jusqu'à l'austénitisation. Une trempe immédiate, généralement par aspersion, transforme l'austénite de surface en martensite. Le cœur, moins chauffé, conserve une structure plus tenace.

Principe de la trempe par induction



Le chauffage est localisé en surface ; le cœur reste moins chauffé.

✓ RÉPONSE À RETENIR

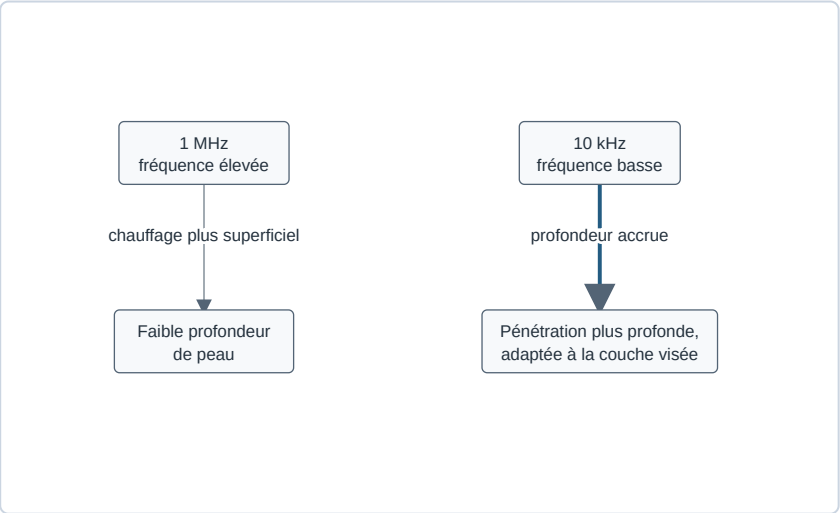
Courants induits et effet Joule chauffent la surface, qui est austénitisée puis trempée en martensite.

Choix de la fréquence

Question I.2.2. Parmi les fréquences 10 kHz et 1 MHz, choisir celle qui convient le mieux au traitement et expliquer ce choix.

La profondeur de pénétration du chauffage par induction augmente quand la fréquence diminue : la profondeur de peau varie approximativement comme l'inverse de la racine carrée de la fréquence. La profondeur conventionnelle demandée est de 3,2 ± 0,2 mm. Entre les deux choix, 10 kHz chauffe donc plus profondément que 1 MHz et convient mieux à cette couche.

Fréquence et profondeur de chauffage



Une fréquence plus basse accroît la profondeur de pénétration.

✓ RÉPONSE À RETENIR

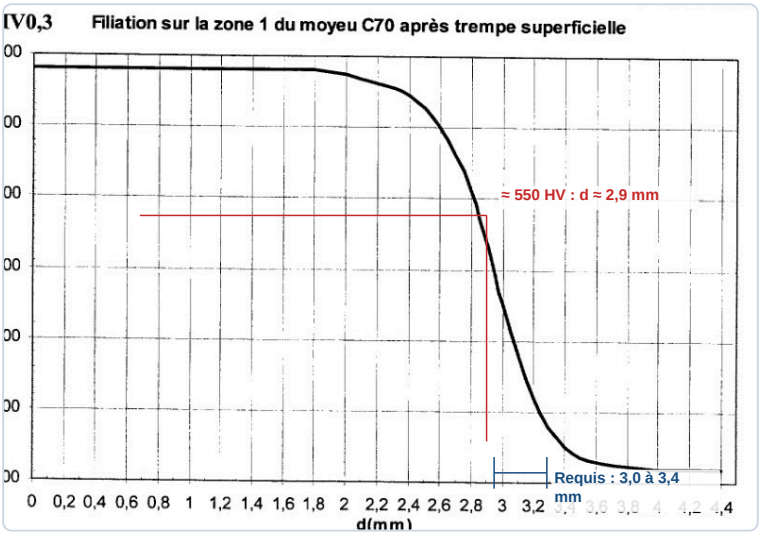
Choisir 10 kHz : la pénétration est plus profonde qu'à 1 MHz et correspond mieux à la couche visée.

Filiation de dureté

Question I.2.3. À partir de la courbe de filiation de dureté de la zone 1, dire si le traitement est correct et expliquer. Indiquer le ou les paramètres simples sur lesquels intervenir pour respecter les clauses du cahier des charges, et justifier.

La courbe indique environ 780 HV0,3 en surface. Cette valeur est dans la plage visée de 720 à 800, mais la charge d'essai diffère de celle du cahier des charges, qui spécifie HV1. Pour la profondeur conventionnelle, la courbe franchit environ 550 HV vers 2,9 mm : c'est inférieur au minimum de 3,0 mm. Le traitement n'est donc pas conforme en profondeur. Augmenter le temps de chauffage ou réduire la vitesse de balayage augmente la profondeur durcie.

Lecture de la profondeur conventionnelle sur la filiation



✓ RÉPONSE À RETENIR

Non conforme en profondeur : environ 2,9 mm pour 3,0 à 3,4 mm requis. Augmenter le temps de chauffage ou réduire la vitesse de balayage.

2. Étude de la bague intérieure en acier 100Cr6

La bague intérieure est fabriquée à partir d'un tube laminé en acier 100Cr6 et doit respecter des exigences de dureté, d'austénite résiduelle et d'absence de carbures en réseaux. Les questions portent sur le recuit, la trempe à l'huile, le four à tapis, l'atmosphère de protection, le traitement par le froid et le revenu, à l'aide des données métallurgiques fournies.

Recuit avant usinage

Question II.1. Expliquer l'utilité du recuit réalisé avant l'usinage d'ébauche, destiné à obtenir une structure globulaire sans carbures en réseaux et une dureté comprise entre 180 et 210 HBW 2,5/187,5.

Le recuit globulisant sphéroïdise les carbures et supprime leur réseau continu, qui fragiliserait la pièce. La structure ferritique avec carbures dispersés abaisse la dureté à 180-210 HBW et facilite la coupe, réduit l'usure des outils et rend l'usinage d'ébauche plus régulier. Il prépare ainsi la bague à l'usinage puis à la trempe, sans compromettre l'absence de carbures en réseau exigée à l'état final.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Recuit globulisant : carbures sphéroïdisés sans réseau, dureté abaissée et usinage facilité.

Vitesse de refroidissement

Question II.2.1. Déterminer si une vitesse moyenne de refroidissement à cœur de 40 °C/s entre 700 °C et 300 °C est suffisante pour n'obtenir qu'une transformation martensitique, et justifier la réponse.

Le refroidissement entre 700 °C et 300 °C dure $t = (700 - 300)/40 = 10$ **s**. La lecture du diagramme CCT du 100Cr6 montre que cette vitesse évite les domaines de transformation diffusante : les constituants transformés sont donc principalement martensitiques. La trempe ne supprime toutefois pas nécessairement toute l'austénite, qui peut rester résiduelle. La vitesse est ainsi suffisante pour éviter perlite et bainite, mais elle ne garantit pas à elle seule le respect de la limite d'austénite résiduelle.

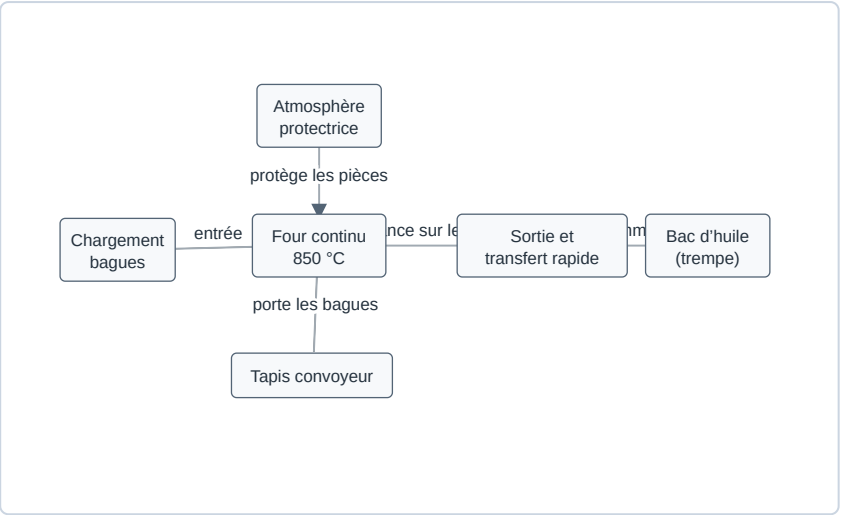
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Oui : 40 °C/s conduit principalement à la martensite, sans exclure une fraction d'austénite résiduelle.

Four à tapis

Question II.2.2. Réaliser un schéma sommaire commenté d'un four à tapis avec bac de trempe.

Les bagues sont déposées sur le tapis, traversent le four continu et sont austénitisées à 850 °C sous atmosphère protectrice. À la sortie, elles sont transférées directement dans le bac d'huile pour la trempe. Le schéma indique le trajet des pièces, le tapis, l'enceinte chauffée, l'atmosphère et le bac de trempe.

Four continu à tapis avec bac de trempe



Principe de circulation des bagues dans un four à tapis puis dans le bac d'huile.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Four continu à tapis sous protection, suivi d'un transfert direct des bagues dans le bac d'huile.

Atmosphère de protection

Question II.2.3. Expliquer pourquoi une atmosphère de protection est nécessaire, puis préciser le type d'atmosphère le plus recommandé pour ce four et cette pièce.

À 850 °C, l'oxygène de l'air provoquerait oxydation et décarburation. La perte de carbone en surface diminuerait la dureté après trempe et altérerait les performances de la bague. Pour un four continu à tapis, on recommande une atmosphère endothermique protectrice, à potentiel carbone contrôlé et adapté au 100Cr6, plutôt qu'une atmosphère dont le potentiel pourrait appauvrir la surface en carbone.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Atmosphère endothermique contrôlée, au potentiel carbone adapté au 100Cr6 : protection contre oxydation et décarburation.

Passage à basse température

Question II.2.4. Expliquer l'intérêt possible d'un passage à -80 °C après la trempe et déterminer s'il est justifié dans ce cas, en explicitant la démarche à partir des données fournies.

Un traitement sous zéro transforme une partie de l'austénite résiduelle en martensite et améliore la stabilité dimensionnelle. Le diagramme situe la température de début de transformation martensitique du 100Cr6 vers 200 °C ; le tableau indique alors 14 % d'austénite résiduelle à 20 °C, contre 3 % à -120 °C. Le passage à -80 °C est donc pertinent pour réduire cette fraction, mais la valeur à -80 °C n'est pas donnée : la conformité stricte à moins de 5 % n'est pas démontrée. Il faut vérifier la teneur, ou viser -120 °C.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Traitement sous zéro justifié pour réduire l'austénite. À -80 °C, le seuil de moins de 5 % n'est pas garanti par les données.

Température de revenu

Question II.2.5. Déterminer vers quelle température effectuer le revenu et justifier la réponse à l'aide de la courbe fournie.

Le cahier des charges impose une dureté strictement comprise entre 61 et 64 HRC. Sur la courbe de revenu du 100Cr6 trempé à l'huile depuis 850 °C, cette plage se situe autour de 200 °C : la dureté lue est alors voisine de 62-63 HRC. Il faut donc effectuer le revenu dans cette zone, puis contrôler la dureté obtenue. Si un traitement sous zéro est appliqué, il se place après la trempe et avant le revenu.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Revenu vers 200 °C : la courbe indique environ 62-63 HRC, dans la plage exigée.

3. Étude de l’outil de sertissage en acier rapide fritté

Une bouterolle en acier rapide HS 6-5-2 fritté sertit l’extrémité du moyeu sur la bague intérieure. L’étude concerne la composition et le frittage de l’acier, l’évolution des constituants lors du double revenu, puis le traitement de surface effectué en enceinte sous vide avec la pièce à la cathode.

Désignation de l’acier

Question III.1. À partir de la désignation normalisée HS 6-5-2, donner la composition chimique moyenne de cet acier.

Pour l’acier rapide, HS désigne un acier à outils rapide. Les nombres indiquent les teneurs moyennes en tungstène, molybdène et vanadium, dans cet ordre. Le chrome, présent à environ 4 %, n’apparaît pas dans la désignation. La teneur en carbone, proche de 0,9 %, permet notamment de former des carbures durs. Les valeurs sont des compositions moyennes, les limites exactes variant selon les spécifications de la nuance.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> HS 6-5-2 : environ 0,9 % C, 4 % Cr, 6 % W, 5 % Mo et 2 % V.

Frittage

Question III.2. Donner le principe de la mise en forme par frittage.

Le frittage met en forme des poudres métalliques sans faire fondre le métal. La poudre est d’abord compactée dans une matrice pour former une pièce crue, de géométrie proche de la pièce finale. Cette pièce est ensuite chauffée à une température inférieure au point de fusion. La diffusion crée des liaisons entre les particules et densifie progressivement la pièce. Pour un acier rapide, le procédé favorise une répartition fine et homogène des carbures.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Compacter les poudres, puis les chauffer sous leur température de fusion pour les lier et densifier.

Double revenu

Question III.3. Après la trempe, l’outil subit un double revenu à 560 °C pendant 2 heures. Décrire l’évolution des constituants au cours de ces revenus.

Lors du premier revenu à 560 °C, la martensite se décompose et des carbures fins riches en éléments d’alliage précipitent : c’est le durcissement secondaire. L’austénite résiduelle se déstabilise en partie, puis une fraction se transforme en martensite fraîche au refroidissement. Le second revenu tempère cette martensite nouvellement formée et poursuit la précipitation des carbures. La succession des deux revenus réduit la fragilité et stabilise la structure de l’acier rapide.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Précipitation de carbures secondaires, transformation partielle de l'austénite résiduelle, puis revenu de la martensite fraîche.

Identification du traitement

Question III.4.1. Nommer le traitement réalisé pendant 10 heures à 510 °C dans un four sous une pression de 50 Pa de $N_2 + H_2$, avec la pièce à la cathode de l'enceinte sous une tension de 500 V.

La pièce est la cathode, la tension est de 500 V et l'atmosphère $N_2 + H_2$ est raréfiée à 50 Pa. Ces conditions créent une décharge luminescente dans l'enceinte : les ions du plasma bombardent la surface et permettent l'apport d'azote. Le traitement est donc une nitruration ionique, aussi appelée nitruration plasma. Ce n'est ni une nitruration gazeuse classique ni un dépôt électrolytique.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Nitruration ionique, ou nitruration plasma.

Objectifs du traitement

Question III.4.2. Présenter les objectifs et l'intérêt du traitement décrit pour l'outil.

La nitruration enrichit la surface en azote et accroît sa dureté, sans durcir de façon importante le cœur de l'outil, qui conserve sa ténacité. Elle améliore ainsi la résistance à l'usure et au grippage lors du contact avec la pièce sertie. La couche nitrurée peut aussi améliorer la tenue en fatigue. Le procédé plasma, réalisé à 510 °C après les revenus à 560 °C, limite les déformations et permet un traitement de surface précis.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Durcir la surface et améliorer sa résistance à l'usure, au grippage et à la fatigue, en préservant la ténacité du cœur.

Évolution des constituants en surface

Question III.4.3. Décrire l'évolution des constituants en surface de l'outil au cours du traitement.

Le plasma nettoie et active la surface, puis l'azote y pénètre par diffusion. Il réagit avec le fer et les éléments d'alliage de l'acier rapide, notamment Cr, Mo et V, pour former des nitrures. La surface peut présenter une couche de combinaison constituée de nitrures de fer, au-dessus d'une zone de diffusion enrichie et durcie par des nitrures précipités. La profondeur de cette zone dépend notamment du temps et de la température de traitement.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Formation de nitrures en surface et d’une zone de diffusion enrichie en azote et durcie par des nitrures d’alliage.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2009)

Bilan de l'épreuve : Cette épreuve de Sciences et Techniques Industrielles du BTS Traitements des matériaux, option A Traitements Thermiques, est celle de la session 2009, code TMSTI A. D'une durée de deux heures et de coefficient 2, elle étudie un dispositif de guidage à billes. Elle évalue l'analyse de traitements thermiques, la lecture de courbes et diagrammes, ainsi que la compréhension du frittage et du traitement de surface.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- La trempe par induction chauffe localement l'acier par courants induits, puis le refroidit rapidement pour durcir la zone visée.
- Une fréquence d'induction élevée concentre le chauffage près de la surface, tandis qu'une fréquence plus basse favorise une pénétration plus profonde.
- Le revenu après trempe ajuste la dureté et les propriétés de l'acier en fonction de la température et de la durée du traitement.
- La nitruration ionique utilise une enceinte contenant un mélange gazeux sous faible pression et une pièce placée à la cathode.

Points de vigilance & attentes du jury

- Sur un cycle thermique, distinguer les phases de chauffage, le maintien et le refroidissement, puis associer les transformations structurales.
- Pour exploiter un diagramme de transformation, comparer la courbe de refroidissement aux domaines de transformation indiqués.
- Sur une courbe de dureté, lire les axes et unités, puis vérifier séparément la dureté de surface et la profondeur exigée.
- Pour chaque choix de traitement, relier les données fournies aux exigences du cahier des charges et justifier la conclusion.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment vérifier la profondeur de trempe avec une filiation de dureté ?

Lisez la dureté en fonction de la profondeur, puis comparez la zone durcie à la profondeur conventionnelle exigée. Vérifiez également la dureté de surface séparément, car les deux critères du cahier des charges ne se confondent pas.

Q : Comment savoir si une vitesse de refroidissement donne uniquement de la martensite ?

Reportez la vitesse de refroidissement considérée sur le diagramme de transformation adapté à l'acier. Vérifiez si la courbe évite les domaines de transformations diffusives avant d'atteindre la zone de transformation martensitique.

Q : Comment répartir les deux heures de l'épreuve ?

Le barème répartit les 20 points entre les parties I, II et III, pour 6, 6,5 et 7,5 points. Utilisez ces poids pour gérer le temps et conservez une marge pour les schémas, les courbes et la vérification des unités.

Q : Quels éléments le barème permet-il de repérer ?

Le sujet attribue des points aux questions numérotées et fixe un total de 20 points. Le barème indique notamment 1,5 point pour II.2.4, 2 points pour I.1 et 2 points pour III.4.3.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2009/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2009 - 4-Sujet.pdf
Ressources BTS Traitements des Matériaux : 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.