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 :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TRAITEMENTS DES MATERIAUX

SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUEES

Sous-épreuve spécifique à chaque option

Option A : Traitements Thermiques

- U4.3A -

SESSION 2017

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :
- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique sous réserve que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

Documents réponse à rendre avec la copie :
- DR1 et DR2 ……page 10/10

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10.

Base nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Dans une entreprise de traitements thermiques, il est courant de déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux par différentes méthodes.

L'entreprise en question réalise elle-même les essais de traction en réalisant ses propres éprouvettes mais elle a été amenée à caractériser les faciès de rupture en faisant appel à un laboratoire spécialisé disposant d'un microscope électronique à balayage (MEB).

Ces deux études font l'objet d'un premier exercice.

Cette entreprise réalise également des traitements thermochimiques et notamment la cémentation atmosphérique traditionnelle qui fera l'objet d'un deuxième exercice.

N.B. Les deux exercices de cette épreuve sont totalement indépendants et peuvent être traités séparément.

Exercice 1 - Déterminations de caractéristiques mécaniques - 12 points.

Document 1: le microscope à balayage (M. LAMOTHE; Renault S.A., Direction des études des matériaux) Extraits de la revue Traitement Thermique N°280

Partie 1 : principe de fonctionnement du microscope à balayage

Un microscope électronique est composé de :

- un canon qui génère un faisceau d'électrons,
- une colonne électronique qui réduit la taille du faisceau et assure sa focalisation sur l'échantillon,
- un ensemble de bobines de balayage qui assure la déviation du faisceau sur l'échantillon en synchronisme avec le balayage sur un tube cathodique,
- plusieurs détecteurs qui captent les signaux provenant de l'échantillon pour assurer la formation d'une image par modulation de la brillance du spot sur le tube cathodique en fonction de l'intensité détectée,
- une chambre d'échantillon contenant une platine qui permet des déplacements mécaniques de l'échantillon.

Un vide de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} Pa est réalisé dans l'enceinte du microscope.

Le canon électronique

Le canon de *type thermoélectronique* est constitué d'une cathode (filament), d'un Wehnelt (réalisant une première focalisation du faisceau) et d'une anode.

Le filament est chauffé de manière à extraire les électrons qui sont ensuite accélérés par l'application d'une différence de potentiel (U_0) entre l'anode et la cathode.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie 2 : Caractéristiques comparées microscopie optique / MEB* / MET**

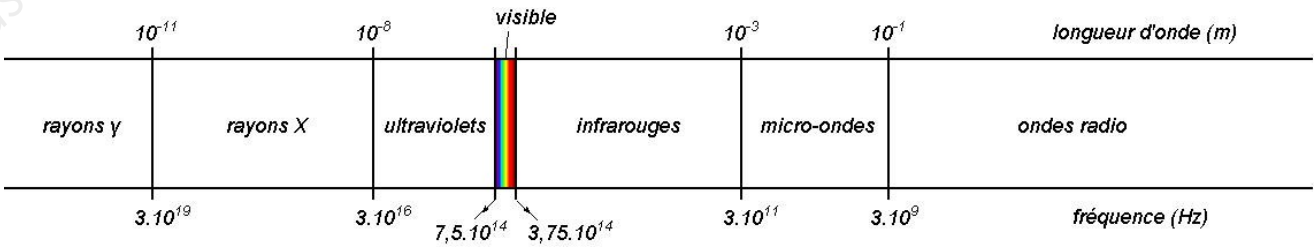
*MEB = Microscope Electronique à Balayage.
**MET = Microscope Electronique en Transmission.

	Microscopie optique	Microscopie électronique	
		à balayage	à transmission
Grandissement G	10 à 2 000	10 à 100 000	3 000 à 200 000
Grandissement maximum utile	1000	30 000	200 000
Limite de résolution (nm)	200	3	5
Profondeur de champ (µm) G = 100 G = 10 000	1,5	1000 pour $\alpha \approx 0{,}15.10^{-2}$ rad 8	 5
Préparation échantillon	Plan poli spéculaire	Surface quelconque de taille pouvant atteindre 0 cm / 10 cm suivant les MEB. Métallisation nécessaire pour échantillons non conducteurs.	Lames usinées par : - amincissement tonique ou chimique, - répliques carbone.

Partie 3 : la profondeur de champ

La profondeur de champ correspond à la profondeur pour laquelle les détails apparaîtront nets.
Elle est plus importante en MEB qu'en microscopie optique en raison du faible angle d'ouverture du faisceau ($\alpha \approx 2.10^{-3}$ rad dans un MEB et $\alpha \approx 1$ à 1,5 rad en microscopie optique).
Le MEB présente donc une très grande profondeur de champ qui permet l'observation de surfaces irrégulières.

Document 2 : Spectre des ondes électromagnétiques



Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1. Traction et déformation

L'essai de traction est réalisé sur une éprouvette standard cylindrique de longueur initiale du corps L_0 = 40,0 mm et de section S_0 = 40,0 mm^2.



Figure 1 : machine d'essai de traction

Les résultats des mesures sont regroupés dans le document réponse **DR1 à rendre avec la copie situé en dernière page**.

1.1. Représentation de la courbe conventionnelle de traction

La courbe conventionnelle de traction représente la contrainte normale R en fonction de la déformation normale e (ou allongement relatif de l'éprouvette)**.**

Ces grandeurs sont définies à partir des relations : $R = \frac{F}{S_0}$ et $e = \frac{L - L_0}{L_0}$

1.1.1. Indiquer la signification et l'unité dans le système international (U.S.I.) de chaque grandeur des relations précédentes.

1.1.2. Calculer e et R dans le cas où F = 7420 N et $L - L_0$ = 0,1 mm.
Compléter le document réponse **DR1 à rendre avec la copie** en indiquant l'unité utilisée de R ainsi que les valeurs de e et R pour les trois premières valeurs de F.

1.1.3. Ajouter les points correspondants sur le graphique du document réponse **DR2 à rendre avec la copie** et compléter l'unité manquante de l'axe des ordonnées.

1.2. Exploitation de la courbe

1.2.1. L'analyse de la courbe montre que la limite d'élasticité R_e est de 230 MPa. Sur le document réponse **DR2 :**

- Tracer la courbe R = f (e),
- Délimiter les domaines de déformations élastique et plastique,
- Placer sur la courbe le point correspondant à la résistance maximale R_m et déterminer sa valeur.

1.2.2. En admettant que dans le domaine élastique, la courbe conventionnelle se superpose à la courbe rationnelle *($e \approx \varepsilon = \Delta L/L$ et $R \approx \sigma = F/S$)*, déterminer le module d'Young E du matériau de l'éprouvette en précisant son unité.

1.2.3. À l'échelle microscopique, la présence de dislocations permet la déformation plastique. Expliquer de manière simple ce phénomène et citer deux types de dislocations.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

2. Utilisation du microscope électronique à balayage (MEB)

Données utiles à la résolution

- charge de l'électron : $q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
- 1 électronvolt (eV) = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J
- constante de Planck : h = $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J.s
- célérité de la lumière dans le vide : c = $3{,}00 \cdot 10^{8}$ m.s^{-1}

On souhaite observer le faciès de rupture d'une éprouvette. On utilise pour cela un microscope électronique à balayage (MEB).

2.1. D'après la **partie 2 du document 1**, donner deux raisons qui nécessitent l'emploi d'un MEB de préférence à celui d'un microscope optique pour observer le faciès de rupture d'une éprouvette.

2.2. Profondeur de champ

2.2.1. D'après la **partie 2 du document 1**, indiquer la profondeur de champ pour un grandissement G = 100 avec le MEB.

2.2.2. Indiquer, d'après la **partie 3 du document 1,** la raison principale pour laquelle la profondeur de champ est plus importante avec un MEB qu'avec un microscope optique.

2.3. Dans cette question, on s'intéresse à l'aspect énergétique et au caractère ondulatoire des ondes produites lors de l'interaction électron-matière.

Les électrons qui bombardent la surface de l'échantillon observé proviennent du canon à électrons (**partie 1 du document 1**). L'énergie cinétique qu'ils possèdent est celle qu'ils ont à la sortie du canon à électrons.

Elle est donnée par la relation : $E_c = |q_e| \times U_o$

2.3.1. Calculer cette énergie si la tension accélératrice U_0 est égale à 15kV ; en donner la valeur en joule (J) et en électronvolt (eV).

2.3.2. On considère que l'énergie incidente des électrons qui bombardent la surface de l'échantillon est au plus égale à 15 keV. Montrer, dans ces conditions, que la longueur d'onde minimale (λ_{mini}) des rayonnements secondaires émis lors de l'interaction électron-échantillon est égale à 82,7 pm.

2.3.3. En déduire, à partir du **document 2,** la nature de ce rayonnement.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

2.4. L'échantillon étudié est placé dans une chambre qui possède une paroi dont l'épaisseur est de 10 mm ;

On désire savoir si ce rayonnement sera totalement absorbé par la paroi.

On rappelle la loi d'absorption : $I(x) = I_o \times e^{-\mu.x}$

$I(x)$: l'intensité du rayonnement à la profondeur x

I_0 : l'intensité du rayonnement incident (à x = 0)

μ : coefficient d'absorption linéique du matériau

2.4.1. Quelle est l'unité en système international du coefficient μ ?

2.4.2. Ce coefficient est souvent exprimé en fonction de la demi-épaisseur d'absorption ($x_{1/2}$) définie comme l'épaisseur de matériau qui absorbe la moitié du rayonnement incident. Montrer que $\mu = \frac{ln2}{x_{1/2}}$.

2.4.3. On donne, pour la paroi utilisée, $x_{1/2} = 0{,}13$ mm et on admet que, dans les conditions de l'expérience, la protection minimale consiste à atténuer le rayonnement initial de 99 %.
Peut-on considérer que la chambre échantillon protège l'opérateur qui utilise le MEB ?

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Exercice 2 - Traitement thermochimique - 8 points.

Le traitement de cémentation appliqué aux aciers est un traitement thermochimique superficiel d'enrichissement en carbone réalisé en phase austénitique (généralement entre 900 et 980°C). Il est destiné à obtenir après refroidissement un durcissement superficiel par trempe.

Appliquée sur un acier à faible teneur en carbone, la cémentation est un moyen de durcissement superficiel permettant d'assurer une forte mise en précontrainte de compression de la surface et une bonne résistance à l'usure grâce à l'obtention d'une martensite à haute teneur en carbone, tout en garantissant à cœur une bonne ductilité grâce à l'obtention d'une martensite à bas carbone (la transformation du cœur sera, selon la trempabilité de l'alliage et la section de la pièce à traiter, totale ou partielle).

Dans cette entreprise, seule la cémentation gazeuse atmosphérique traditionnelle est pratiquée.

Document 4 : principe de fonctionnement d'un générateur endothermique

Les générateurs endothermiques sont des réacteurs chimiques chauffés dans lesquels est réalisée une combustion d'un hydrocarbure (méthane en général) *en défaut d'air.*

L'atmosphère typique obtenue à partir de l'oxydation partielle du méthane est composée, en volume, essentiellement de diazote (40 %), de dihydrogène (40 %) et de monoxyde de carbone (20 %).

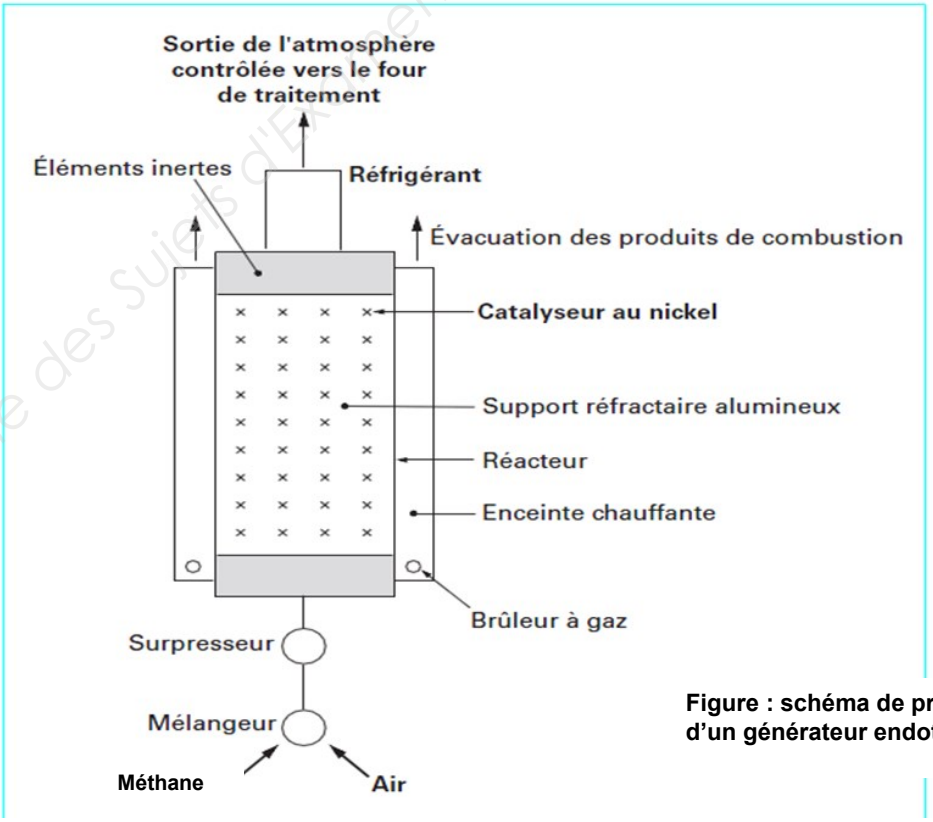


Figure : schéma de principe d'un générateur endothermique

D'après « Techniques de l'ingénieur »

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

La problématique de l'industriel est de déterminer une durée de traitement.

L'atmosphère de cémentation utilisée provient d'un générateur endothermique et contient les gaz suivants : CO, CO_2, H_2, H_2O, CH_4 et N_2.

On admettra que les pressions partielles de CO, CO_2, H_2 seront maintenues constantes pendant toute la durée du traitement, avec des pressions partielles en CO et H_2 égales à celles données par le document 4 et une pression partielle de CO_2 de 0,10 %.

La pression totale dans le four est de 1 bar.

La température du four est maintenue à θ = 950 °C.

Données : constante des gaz parfaits : R = 8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}

T(en K) = Θ (en°C) + 273,15

1. Détermination du potentiel carbone de cette atmosphère

1.1. Définir le potentiel carbone d'une atmosphère.

1.2. On étudie l'équilibre (1) suivant : $C_{(\gamma)} + CO_{2(g)} \leftrightarrows 2\ CO_{(g)}$

L'enthalpie libre standard (en J.mol^{-1}) de cet équilibre est donnée par la relation : $\Delta_r G_T^0 = -174{,}5\,T + 170\,700$ avec T : la température absolue en kelvin (K).

Montrer que, dans les conditions utilisées par l'industriel, $\Delta_r G_T^0$ = – 42,7 kJ.mol^{-1}.

1.3. En déduire la valeur de la constante *K* de l'équilibre (1) dans les conditions utilisées.
On rappelle que : $\Delta_r G_T^0 = -RT \ln K$

1.4. Exprimer *K* en fonction des pressions partielles en monoxyde de carbone P(CO) et en dioxyde de carbone P(CO_2) ainsi que l'activité du carbone a_C.
Montrer que l'activité du carbone a_C, dans ces conditions industrielles, est proche de 0,6.

1.5. La relation entre le potentiel carbone X% d'une atmosphère et l'activité du carbone a_C est donnée par la relation de Gunnarson :

$$X\% = \frac{100\,a_c}{19{,}5\,a_c + 1{,}07\,e^{4798{,}6/T}}$$ avec T : température absolue en kelvin .

Calculer le potentiel carbone X % de l'atmosphère considérée à 950°C.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

2. Détermination du coefficient de diffusion du carbone dans l'acier à 950°C

On rappelle que le coefficient de diffusion D_T du carbone dans l'acier varie avec la température suivant une loi de type Arrhenius :

$$D_T = D_0 . e^{\frac{-\Delta_{diff}H°}{R.T}}$$

Avec D_0 = 10^{-5} $m^2.s^{-1}$

$\Delta_{diff}H°$: Enthalpie standard de diffusion : $\Delta_{diff}H°$ = 134 $kJ.mol^{-1}$

Calculer la valeur du coefficient de diffusion D_T du carbone dans le fer pour la température θ = 950 °C. Donner le résultat avec 3 chiffres significatifs.

3. Détermination de la durée du traitement à 950°C

L'industriel veut travailler sur une pièce en acier dont le pourcentage massique initial en carbone est 0,15 %.
Il veut procéder à une cémentation de sorte à ce que le pourcentage massique en carbone soit de 0,35 % à une profondeur de 0,6 mm.

Le potentiel carbone du four utilisé est égal à 0,85%.

À la température de travail, le coefficient de diffusion est proche de $1{,}9.10^{-11}$ $m^2.s^{-1}$.

Si on considère que, sur l'intervalle de pourcentage de carbone, la masse volumique de l'acier ne varie pas, la relation entre les pourcentages massiques est :

$$\frac{w - w_S}{w_0 - w_S} = \mathrm{erf}(u)$$

avec w : pourcentage massique en carbone à la profondeur x
w_0 : pourcentage massique en carbone au cœur de l'acier
w_S : pourcentage massique en carbone en surface de l'acier
u : variable de Cauchy : $u = \frac{x}{2\sqrt{D.t}}$ avec D : coefficient de diffusion
t : durée de diffusion

3.1. Calculer dans ces conditions la valeur de $\mathrm{erf}(u)$.

3.2. Pour cette valeur de $\mathrm{erf}(u)$, on trouve u = 0,754 .
Calculer la durée du traitement pour obtenir le résultat voulu.

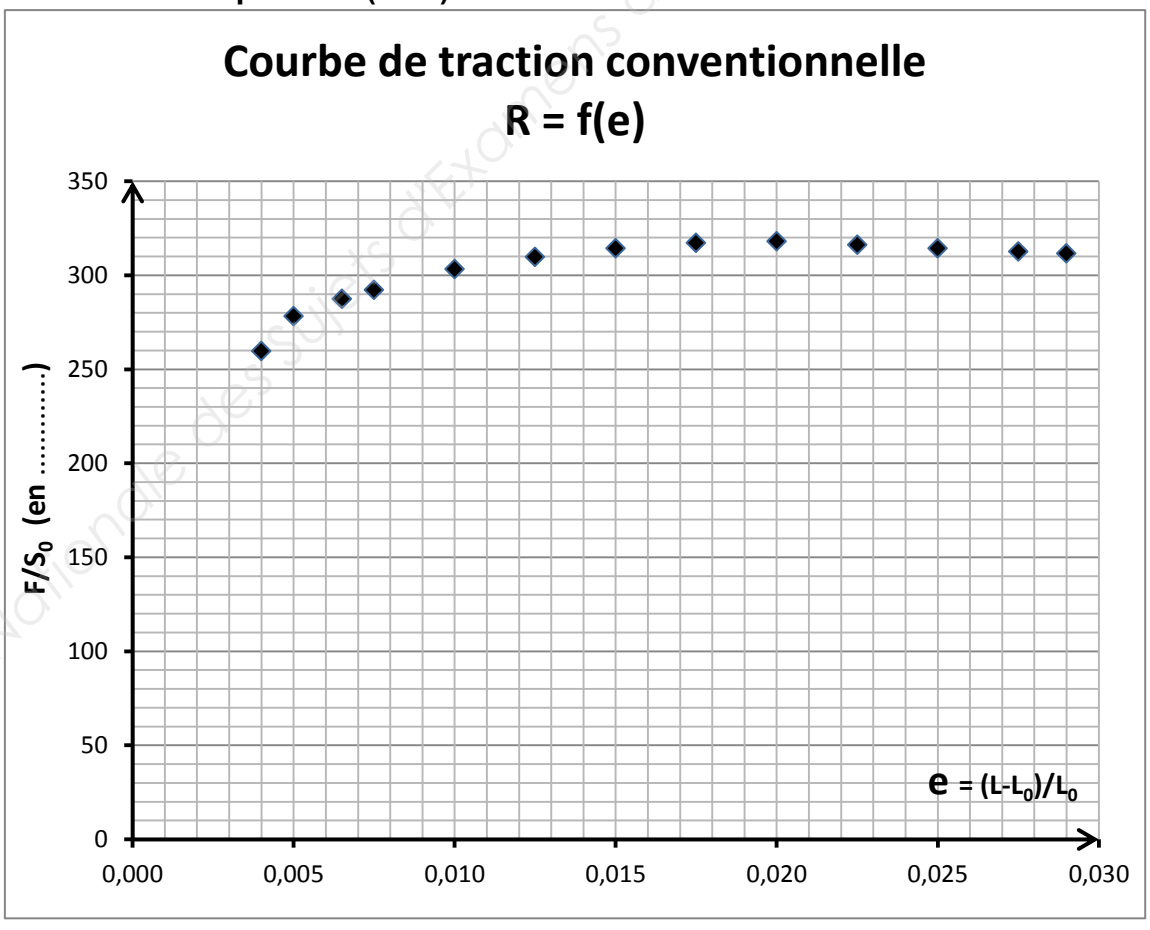
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Documents réponse (à rendre avec la copie)

Document réponse 1 (DR1)

$L - L_0$ (en mm)	F (en N)	$e = (L-L_0) / L_0$	$R = F / S_0$ (en ……)
0,00	0		
0,10	7420		
0,14	9646		
0,16	10388	0,0040	260
0,20	11130	0,0050	278
0,26	11501	0,0065	288
0,30	11687	0,0075	292
0,40	12132	0,0100	303
0,50	12391	0,0125	310
0,60	12577	0,0150	314
0,70	12688	0,0175	317
0,80	12725	0,0200	318
0,90	12651	0,0225	316
1,00	12577	0,0250	314
1,10	12503	0,0275	313
1,16	12466	0,0290	312
1,20	12429	0,0300	311

Document réponse 2 (DR2)



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.