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 consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du BP Froid, veuillez visiter :
bpfroid.fr/annales-sujets-et-corriges

Physique appliquée (épreuve écrite), unité U11

Session 2014 • Code sujet : **E.1-A** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **3**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Psychrométrie : contrôle de l'évaporateur d'une chambre froide positive (7 questions) **Page 3**

2. Thermodynamique : installation frigorifique au R404A desservant deux chambres froides (12 questions) **Page 7**

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

Sujet officiel (PDF) : https://bpfroid.fr/assets/annales/bp-froid/U11 - Physique appliquée/2014/BP Froid - U11 - Physique appliquée - Session 2014 - 1-Sujet.pdf

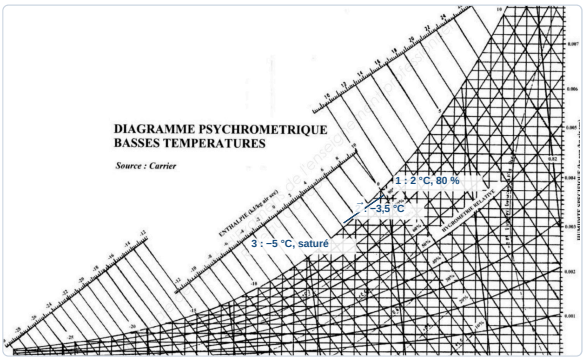
1. Psychrométrie : contrôle de l'évaporateur d'une chambre froide positive

L'étude porte sur un évaporateur à air ventilé et à ailettes d'une chambre froide positive, dont il faut contrôler les performances et évaluer la déshumidification. Les états de l'air à l'entrée, à la sortie et à la surface de l'évaporateur servent à déterminer le débit massique, les puissances échangées, l'efficacité et le condensat.

Question 1-a. Placer les points 1, 2 et 3 sur le diagramme psychrométrique, tracer l'évolution de l'air traversant l'évaporateur et indiquer son sens par une flèche.

Le point 1 se place à 2 °C et 80 % d'humidité relative ; le point 2 est défini par une température sèche de −3,5 °C et une température humide de −3,6 °C. Le point 3 correspond à l'évaporateur saturé à −5 °C. Sur le diagramme, tracer uniquement l'évolution de l'air de 1 à 2 et orienter la flèche vers le point 2. Le point 3 est une référence pour déterminer la puissance maximale, pas une étape de l'évolution réelle de l'air.

États et évolution de l'air



✓ RÉPONSE À RETENIR

Points 1, 2 et 3 placés ; évolution réelle de l'air de 1 vers 2, flèche orientée vers le point 2.

Question 1-b. Compléter le tableau des relevés des points 1, 2 et 3 avec la température sèche, l'enthalpie, la température humide, la température de rosée, l'humidité absolue et l'humidité relative.

Les relevés se lisent sur le diagramme psychrométrique. Les températures, enthalpies et humidités absolues sont données au dixième, conformément au critère ; l'humidité relative est arrondie à l'unité. Le point 1 reprend les conditions mesurées à l'entrée, le point 2 celles du soufflage et le point 3 l'état saturé à la température de surface. Les colonnes du tableau suivent l'ordre demandé.

Point	Température sèche (°C)	Enthalpie (kJ/kg air sec)	Température humide (°C)	Température de rosée (°C)	Humidité absolue (g/kg air sec)	Humidité relative (%)
1 : entrée	2,0	10,8	0,9	−1,2	3,5	80
2 : soufflage	−3,5	3,8	−3,6	−3,6	2,9	99
3 : surface	−5,0	1,2	−5,0	−5,0	2,5	100

Relevés psychrométriques à reporter

des points	sèche θ (°C)	h kJ/kg$_{air\ sec}$	humide θ_h (°C)	de rosée θ_r (°C)	absolue w g$_{eau}$/kg$_{air\ sec}$	relative φ (%)
Point n° 1 : entrée évaporateur h 10,8 | th 0,9 | tr −1,2 | w 3,5 | HR 80 %						80 %
Point n° 2 : air sortie (soufflage) h 3,8 | th −3,6 | tr −3,6 | w 2,9 | HR 99 %	−3,5					
Point n° 3 : surface l'évaporateur h 1,2 | th −5,0 | tr −5,0 | w 2,5 | HR 100 %						100%

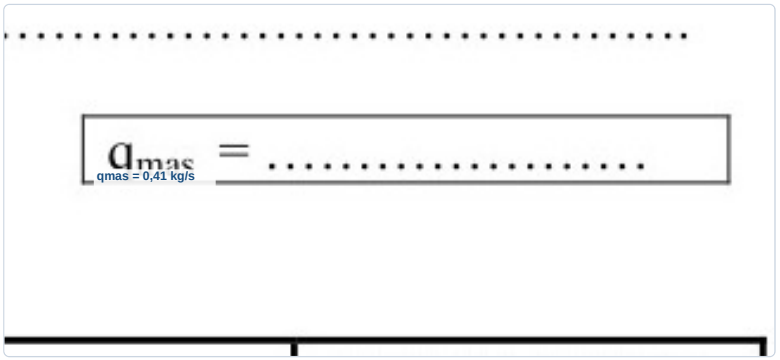
✓ RÉPONSE À RETENIR

Point 1 : (2,0 ; 10,8 ; 0,9 ; −1,2 ; 3,5 ; 80). Point 2 : (−3,5 ; 3,8 ; −3,6 ; −3,6 ; 2,9 ; 99). Point 3 : (−5,0 ; 1,2 ; −5,0 ; −5,0 ; 2,5 ; 100), dans l'ordre des colonnes du tableau.

Question 1-c. Déterminer en kg/s le débit massique d'air traversant l'évaporateur, en utilisant le débit volumique global de soufflage et le volume massique de l'air au point 2.

La formule du formulaire est **débit massique = débit volumique × masse volumique**, avec la masse volumique égale à l'inverse du volume massique. Le débit volumique est converti en m³/s : $1129/3600$. Au point 2, on lit $v = 0,77$ m³/kg, donc $\rho = 1/0,77$ kg/m³. Ainsi, $q_{mas} = (1129/3600)/0,77 = 0,4073$ kg/s. À deux décimales, le débit demandé est $0,41$ kg/s.

Débit massique calculé



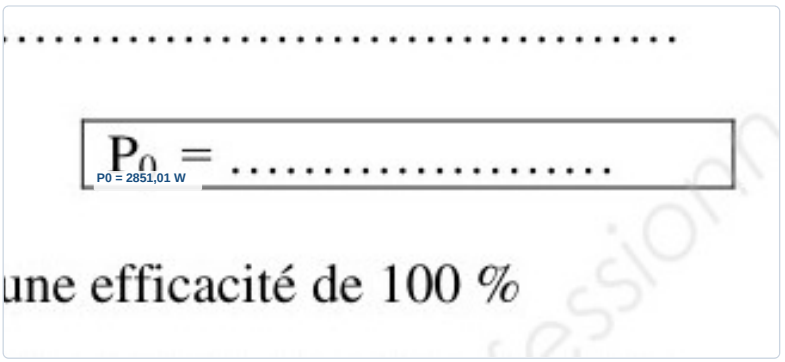
✓ RÉPONSE À RETENIR

$q_{mas} = 0,41$ kg/s.

Question 1-d. Calculer en watts la puissance réelle P0 de l'évaporateur à partir du débit massique d'air et des relevés psychrométriques.

La puissance réelle se calcule avec la différence d'enthalpie entre l'entrée et la sortie : $P_0 = q_{mas}(h_1 - h_2)$. La baisse d'enthalpie vaut $10,8 - 3,8 = 7,0$ kJ/kg. En conservant le débit massique non arrondi, $q_{mas} = (1129/3600)/0,77 = 0,407287$ kg/s, la puissance vaut $0,407287 \times 7,0 = 2,85101$ kW. Comme 1 kW vaut 1000 W, le résultat est $2851,01$ W, arrondi à deux décimales.

Puissance réelle de l'évaporateur



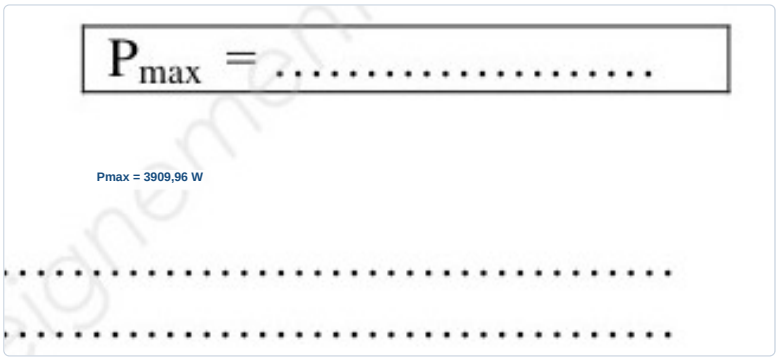
✓ RÉPONSE À RETENIR

$P_0 = 2851,01$ W.

Question 1-e. Calculer la puissance théorique maximale Pmax de l'évaporateur pour une efficacité de 100 %.

Pour une efficacité de 100 %, l'air atteint l'état de surface de l'évaporateur, soit le point 3. La puissance maximale est donc $P_{max} = q_{mas}(h_1 - h_3)$. L'écart d'enthalpie vaut $10,8 - 1,2 = 9,6$ kJ/kg. Avec le débit massique non arrondi $(1129/3600)/0,77 = 0,407287$ kg/s, on obtient $P_{max} = 0,407287 \times 9,6 = 3,90996$ kW, soit $3909,96$ W après conversion. Le résultat est donné à deux décimales.

Puissance théorique maximale



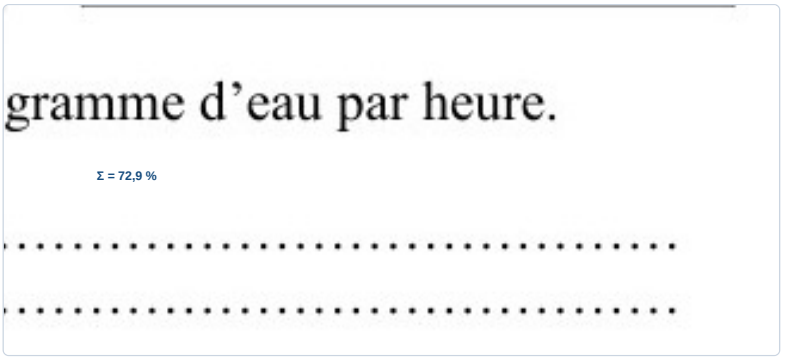
✓ RÉPONSE À RETENIR

$P_{max} = 3909,96$ W.

Question 1-f. Calculer en pourcentage l'efficacité de l'évaporateur à partir des puissances réelle et théorique maximale.

L'efficacité est le rapport entre la puissance réelle et la puissance maximale, exprimé en pourcentage : $\Sigma = (P_0/P_{max}) \times 100$. Les deux puissances utilisent le même débit massique, qui se simplifie dans le rapport. On calcule alors $\Sigma = ((10,8-3,8)/(10,8-1,2)) \times 100 = 72,9167$ %. À un chiffre après la virgule, l'évaporateur fonctionne à 72,9 % de son efficacité théorique maximale.

Efficacité de l'évaporateur



✓ RÉPONSE À RETENIR

$\Sigma = 72,9$ %.

Question 1-g. Calculer en grammes d'eau par heure la quantité d'eau piégée sur l'évaporateur à partir du débit d'air et de la différence d'humidité absolue entre l'entrée et la sortie.

Le débit de condensat se calcule avec $q_{eau} = q_{mas} \times \Delta W$, en prenant le débit d'air en kg/h et la différence d'humidité en g/kg. Les étapes sont :

1. Débit massique horaire : $(1129/3600/0,77) \times 3600 = 1466,23$ kg/h.
2. Écart d'humidité absolue : $3,5 - 2,9 = 0,6$ g/kg.
3. Condensat : $1466,23 \times 0,6 = 879,74$ g/h.

La quantité d'eau évacuée est donc de 879,74 g par heure, arrondie à deux décimales.

Quantité de condensat

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

$q_{eau} = 879,74$ g/h.

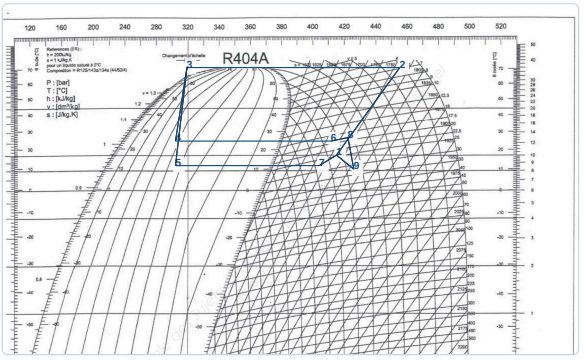
2. Thermodynamique : installation frigorifique au R404A desservant deux chambres froides

Deux installations distinctes au R22, destinées à une chambre froide positive à 2 °C et à une chambre froide négative à -3 °C, sont remplacées par une installation à simple étage avec un seul compresseur au R404A. À partir des caractéristiques des composants et du diagramme enthalpique, il faut tracer le cycle, déterminer les puissances frigorifiques et mécaniques, puis calculer le COP.

Question 2-a. Tracer sur le diagramme enthalpique du R404A le cycle frigorifique de l'installation et repérer les points caractéristiques.

Le cycle comporte une compression isentropique 1-2, puis la condensation et le sous-refroidissement 2-3. Le liquide se détend vers les deux évaporateurs : 3-4-6-8 pour la chambre positive, puis 8-9 à travers le régulateur; la branche négative suit 3-5-7. Les sorties 7 et 9 rejoignent l'aspiration 1. Les points sont reportés sur le diagramme selon les pressions et températures du sujet.

Cycle frigorifique R404A



✓ RÉPONSE À RETENIR

Cycle R404A tracé et points 1 à 9 repérés sur le diagramme.

Question 2-b. Compléter le tableau des points caractéristiques 1 à 9 avec les pressions absolues, températures et enthalpies demandées, ainsi que le volume massique lorsqu'il est indiqué dans le tableau.

Les valeurs thermodynamiques sont des lectures arrondies du diagramme R404A. Les conditions données fixent les températures des points : condensation à 40 °C avec 3 K de sous-refroidissement; évaporation à -5 °C en positif et -10 °C en négatif. Les détentes étant isenthalpiques, $h_4 = h_5 = h_3$ et $h_9 = h_8$. Le volume massique demandé dans le tableau ne concerne que le point 1.

Point	P (bar abs.)	θ (°C)	h (kJ/kg)	v (dm³/kg)
1	4,4	10	382	51,7
2	18,0	≈ 65	431	-
3	18,0	37	264	-
4	5,0	-5	264	-
5	4,4	-10	264	-
6	5,0	5	375	-
7	4,4	0	370	-
8	5,0	10	382	-
9	4,4	≈ 10	382	-

✓ RÉPONSE À RETENIR

Tableau complété avec les lectures du diagramme, arrondies à la précision graphique.

Question 2-c. Calculer le taux de compression du compresseur à partir des pressions absolues de refoulement et d'aspiration.

Le taux de compression est le rapport de la pression absolue de refoulement à celle d'aspiration. Le diagramme donne $P_{refoulement}$ = 18,0 bar et $P_{aspiration}$ = 4,4 bar. Ainsi, $\tau = 18,0/4,4 = 4,091$. Le résultat est sans unité. On utilise les pressions absolues du tableau, conformément à la définition du formulaire.

✓ RÉPONSE À RETENIR

τ = 4,091

Question 2-d. Calculer le rendement volumétrique du compresseur à partir du taux de compression.

Le formulaire donne $\eta_v = 1 - 0,05\tau$. Avec le taux de compression calculé, $\eta_v = 1 - 0,05 \times 4,091 = 0,79545$. Le rendement volumétrique est une fraction; en pourcentage, cela représente 79,5 %. La valeur non arrondie est conservée pour le calcul du volume aspiré.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> η_v = 0,795 (79,5 %)

Question 2-e. Calculer en m³/h le volume balayé par le compresseur à partir de sa cylindrée et de sa vitesse de rotation.

Le volume balayé par heure vaut le volume de cylindrée par tour multiplié par le nombre de tours par heure : $V_b = 60CN$. La cylindrée est 200 cm³, soit 0,000200 m³, et la vitesse est 857 tr/min. Donc $V_b = 60 \times 0,000200 \times 857 = 10,284$ m³/h. Le facteur 60 convertit les minutes en heures.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> V_b = 10,284 m³/h

Question 2-f. Calculer en m³/h le volume aspiré par le compresseur à partir du volume balayé et du rendement volumétrique.

Le volume aspiré tient compte du rendement volumétrique : $V_a = V_b\eta_v$. Avec le volume balayé calculé et $\eta_v = 1 - 0,05 \times (18/4,4) = 0,79545$, on obtient $V_a = 10,284 \times 0,79545 \approx 8,180$ m³/h. Le compresseur aspire ainsi environ 79,5 % de son volume balayé théorique.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> V_a = 8,180 m³/h

Question 2-g. Calculer en kg/s le débit massique de fluide frigorigène aspiré par le compresseur à partir du volume aspiré et du volume massique à l'entrée du compresseur.

Le volume massique à l'aspiration, lu au point 1, est 51,7 dm³/kg, soit 0,0517 m³/kg. Le débit massique vaut $q_m = V_a/v = 8,180/0,0517 \approx 158,2$ kg/h. Conversion en secondes : $158,2/3600 \approx 0,04395$ kg/s. Cette valeur est proche de la somme des débits massiques des deux évaporateurs indiqués dans le sujet.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> q_m = 0,04395 kg/s

Question 2-h. Calculer en kW la puissance frigorifique disponible à l'évaporateur de la chambre froide positive, en utilisant le débit massique fourni et la variation d'enthalpie dans l'évaporateur.

Pour l'évaporateur positif, le débit fourni est 62,75 kg/h, soit $62,75/3600 = 0,01743$ kg/s. La variation d'enthalpie entre l'entrée 4 et la sortie 6 est $375 - 264 = 111$ kJ/kg. La puissance frigorifique est donc $\phi_{0p} = (62,75/3600) \times 111 = 1,9348$ kW, soit 1,93 kW à deux décimales.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> φ_{0p} = 1,93 kW

Question 2-i. Calculer en kW la puissance frigorifique disponible à l'évaporateur de la chambre froide négative, en utilisant le débit massique fourni et la variation d'enthalpie dans l'évaporateur.

Pour l'évaporateur négatif, le débit fourni est 95,60 kg/h, soit $95,60/3600 = 0,02656$ kg/s. La variation d'enthalpie entre l'entrée 5 et la sortie 7 vaut $370 - 264 = 106$ kJ/kg. Ainsi, $\phi_{0n} = (95,60/3600) \times 106 = 2,8149$ kW, soit 2,81 kW à deux décimales.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> φ_{0n} = 2,81 kW

Question 2-j. Calculer en kW la puissance mécanique théorique Pth du compresseur à partir du débit massique et de la variation d'enthalpie dans le compresseur.

La puissance mécanique théorique est le débit massique total multiplié par l'augmentation d'enthalpie dans le compresseur : $P_{th} = q_m(h_2 - h_1)$. Le débit calculé est environ 0,04395 kg/s et la variation vaut $431 - 382 = 49$ kJ/kg. Donc $P_{th} = 0,04395 \times 49 \approx 2,15$ kW.

✓ RÉPONSE À RETENIR

P_{th} = 2,15 kW

Question 2-k. Calculer en kW la puissance mécanique réelle Pr à fournir sur l'arbre du compresseur en tenant compte des rendements indiqué et mécanique.

Le rendement indiqué est égal au rendement volumétrique, soit 0,79545; le rendement mécanique vaut 0,9. D'après le formulaire, $P_r = P_{th}/(\eta_i \eta_m)$. En utilisant la puissance théorique non arrondie, $P_r = 2,1538/(0,79545 \times 0,9) \approx 3,01$ kW. La puissance à l'arbre est supérieure à la puissance théorique en raison des pertes.

✓ RÉPONSE À RETENIR

P_r = 3,01 kW

Question 2-l. Calculer le coefficient de performance frigorifique COP de l'installation à partir de la somme des puissances frigorifiques des deux évaporateurs et de la puissance mécanique réelle du compresseur.

La puissance frigorifique totale est la somme des deux puissances calculées : $\phi_{0total} = 1,9348 + 2,8149 = 4,7497$ kW. Le coefficient de performance vaut cette puissance divisée par la puissance mécanique réelle : $COP = 4,7497/3,008 \approx 1,58$. Le COP est sans unité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

COP = 1,58

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2014)

Bilan de l'épreuve : Épreuve écrite de physique appliquée du BP Monteur dépanneur en froid et climatisation, session 2014, code E.1-A, d'une durée de 2 heures et de coefficient 3. Notée sur 60 points, elle étudie un évaporateur de chambre froide par psychrométrie, puis une installation au R404A desservant deux chambres froides. Elle évalue le tracé des cycles et le calcul des performances.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le débit massique d'air se calcule par qmas = qv × ρ, avec un débit volumique en m³/s et une masse volumique en kg/m³.
- La puissance d'un évaporateur est P = qmas × (hentrée - hsortie), avec qmas en kg/s et les enthalpies en kJ/kg pour obtenir des kW.
- Le formulaire donne τ = Prefoulement / Paspiration et ηv = 1 - 0,05τ pour le taux de compression et le rendement volumétrique.
- Le COP frigorifique est le rapport entre la somme des puissances frigorifiques des évaporateurs et la puissance mécanique réelle du compresseur.

Points de vigilance & attentes du jury

- Sur le diagramme psychrométrique, placer les trois états et tracer précisément l'évolution de l'air avec une flèche indiquant son sens.
- Respecter les unités et conversions, notamment entre m³/h et m³/s, et entre kg/h et kg/s.
- Sur le cycle R404A, tenir compte de la compression isentropique, de la détente isenthalpique et des conditions de surchauffe et de sous-refroidissement.
- Respecter les précisions du barème : températures, enthalpies et humidités absolues à une décimale, humidité relative à l'unité, puis les arrondis indiqués pour les calculs.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment déterminer les propriétés de l'air aux différents points psychrométriques ?

Placez chaque état sur le diagramme à partir des données imposées, comme la température sèche et l'humidité relative ou la température humide. Lisez ensuite les autres propriétés sur les courbes correspondantes et respectez la précision demandée.

Q : Comment tracer le cycle frigorifique du R404A sur le diagramme enthalpique ?

Repérez les états à partir des pressions, températures, surchauffes et sous-refroidissement indiqués. Reliez-les selon les transformations des composants : la compression est isentropique et la détente est isenthalpique.

Q : Comment gérer le temps et le barème de cette épreuve ?

L'épreuve dure 2 heures et vaut 60 points : 20 en psychrométrie et 40 en thermodynamique. La calculatrice est autorisée hors connexion réseau. Appuyez-vous sur le barème pour répartir votre temps entre les tracés et les calculs.

Q : Quelles unités, précisions et qualités de tracé sont attendues ?

Indiquez les unités et suivez les arrondis du barème : deux décimales pour les calculs psychrométriques, sauf l'efficacité à une décimale, puis trois ou deux décimales selon la question en thermodynamique. Les tracés doivent être justes, propres, précis et repérés.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bpfroid.fr/assets/annales/bp-froid/U11 - Physique appliquée/2014/BP Froid - U11 - Physique appliquée - Session 2014 - 1-Sujet.pdf
Ressources BP Froid : 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.