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

BUT GMP

BUT Génie mécanique et productique : parcours Simulation numérique et réalité virtuelle, compétence C5

Session 2026 • Code sujet : **26-BUT-GMP-EP1** • Durée : **2 h 30** • Coefficient : **3,0** **indicatif**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Analyse fonctionnelle, périmètre du modèle et exigences applicables** (3 questions) — **Page 3**
2. **Étude technologique, calculs et choix des paramètres** (5 questions) — **Page 5**
3. **Préparation de fabrication et validation du modèle** (4 questions) — **Page 8**
4. **Prévention des risques et conditions de validation** (3 questions) — **Page 10**
5. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 12**

Sujet officiel (PDF) : https://butgmp.fr/assets/annales/but-gmp/C5 - Virtualiser un produit mécanique ou un process/2026/BUT Génie Mécanique et Productique - C5 - Virtualiser un produit mécanique ou un process - Session 2026 - 1-Sujet.pdf

1. Analyse fonctionnelle, périmètre du modèle et exigences applicables

Le service méthodes de Renault Group, usine de Cléon, étudie la virtualisation d'une cellule de fraisage produisant le support en aluminium S-120. Le modèle doit aider à préparer le procédé, estimer le temps de cycle, comparer les résultats de simulation aux mesures et prendre en compte les exigences applicables à la cellule.

Question 1.1. Formuler la fonction principale du jumeau numérique et citer deux décisions de méthodes que ses résultats doivent permettre de prendre.

Le jumeau numérique représente la cellule et le fraisage du support S-120 pour préparer l'opération, estimer le temps de cycle et comparer cette estimation aux mesures réelles. Il aide les méthodes à choisir ou ajuster la trajectoire et les paramètres de coupe, puis à vérifier si le cycle prévu respecte l'objectif de production. Il fournit ainsi une aide à la décision, sans remplacer la validation sur la cellule réelle.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Préparer et valider le procédé : choisir la trajectoire et les paramètres de coupe, puis vérifier le temps de cycle.

Question 1.2. Proposer un modèle idéalisé de la cellule en distinguant au moins trois composants géométriques ou fonctionnels à représenter et deux phénomènes à négliger ou simplifier. Justifier chaque simplification au regard de l'objectif annoncé.

Élément représenté	Modèle idéalisé
Pièce et montage	Brut, support S-120, poche et bridage
Machine et outil	Axes, broche, fraise et trajectoire programmée
Cellule et opérateur	Enceinte, accès et zone de travail

Pour estimer le cycle, représenter les temps de coupe, les déplacements rapides, le changement d'outil et le chargement. Négliger la dynamique détaillée des copeaux et simplifier les déformations thermiques ou vibratoires : ces phénomènes sont secondaires pour cette estimation. En revanche, conserver l'enceinte et l'accès opérateur permet d'intégrer les principaux risques au périmètre du modèle.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Représenter la pièce, le bridage, la machine, l'outil, la trajectoire et l'accès opérateur. Simplifier la dynamique des copeaux et les déformations thermiques ou vibratoires.

Question 1.3. Sur le DR 1, compléter la chaîne « données d'entrée, modèle, résultats, décision » pour le calcul du temps de cycle. Indiquer également deux exigences applicables à la conception ou à l'utilisation de la cellule et préciser à quel moment de la démarche de virtualisation chacune doit être prise en compte.

Dans le DR 1, compléter la chaîne avec les données nécessaires au cycle, le modèle de sommation des durées, le temps de cycle estimé et la décision d'ajuster le procédé ou son organisation.

- ISO 12100:2010 : intégrer l'appréciation et la réduction des risques dès la définition du périmètre et la conception du modèle.
- ISO 13849-1:2023 : prendre en compte les fonctions de sécurité lors de la conception des parties de commande, puis confronter le modèle à la cellule réelle et aux exigences réglementaires applicables, dont la directive Machines 2006/42/CE en 2026.

DR 1 complété : chaîne du temps de cycle

Rubrique	Réponse du candidat
Données d'entrée du calcul du temps de cycle	Vc, D, fz, z, Lp ; durées rapides,
Modèle ou opération numérique mobilisé	Modèle cinématique et
Résultat exploitable	Temps de cycle durées estimé
Décision de méthodes rendue possible	Ajuster trajectoire ou
Volume du brut en mm³	organisation de production
Volume net de la pièce en mm³	.....
Volume théorique enlevé en mm³	.....
Rendement matière en %	.....
Taux de chute en %	.....
Masse du brut en kg	.....
Coût matière par brut en €	.....
Vitesse de rotation calculée en tr/min	.....
Vitesse d'avance calculée en mm/min	.....

✓ RÉPONSE À RETENIR

Données de coupe et durées → modèle cinématique → temps de cycle estimé → ajustement du procédé. Intégrer l'analyse des risques dès la conception et les fonctions de sécurité à la conception des commandes.

2. Étude technologique, calculs et choix des paramètres

L'étude porte sur le support S-120 en aluminium, réalisé à partir d'un brut parallélépipédique et usiné par fraisage pour obtenir une poche rectangulaire centrée. Les données géométriques, matière, outil, paramètres de coupe et relations de calcul servent à déterminer les volumes, coûts, vitesses, temps de coupe et résistance thermique d'un panneau.

Question 2.1. À partir du DT 1, calculer le volume du brut et le volume net de la pièce finie, poche comprise. En déduire le volume théorique de matière enlevée. Présenter les étapes et les unités.

Le brut est un pavé de 130 × 90 × 22 mm : son volume vaut 130 × 90 × 22 = 257 400 mm³. Le volume net comprend l'enveloppe extérieure moins la poche : 120 × 80 × 20 − 60 × 40 × 8 = 172 800 mm³. La matière enlevée correspond au volume du brut moins le volume net : 257 400 − 172 800 = 84 600 mm³.

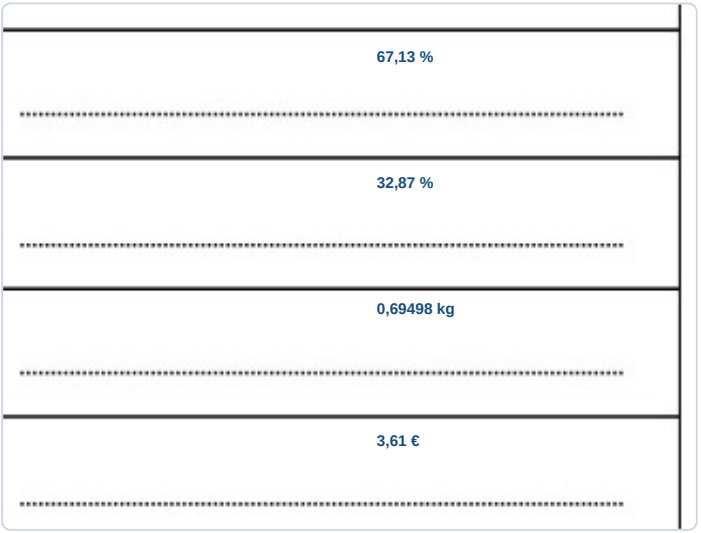
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Volume du brut : 257 400 mm³ ; volume net : 172 800 mm³ ; matière enlevée : 84 600 mm³.

Question 2.2. Calculer le rendement volumique matière, le taux de chute volumique défini par 100 − η et le coût de la matière consommée pour un brut. Compléter les résultats correspondants dans le DR 1.

Grandeur	Calcul	Résultat
Rendement matière	172 800 ÷ 257 400 × 100	67,13 %
Taux de chute	100 − 67,13	32,87 %
Masse du brut	$257\,400 \times 2{,}70 \times 10^{-6}$	0,69498 kg
Coût matière par brut	0,69498 × 5,20	3,61 €

Le rendement compare le volume net au volume du brut. Le coût est calculé sur la masse du brut acheté, avant usinage.

DR 1 complété : bilan matière



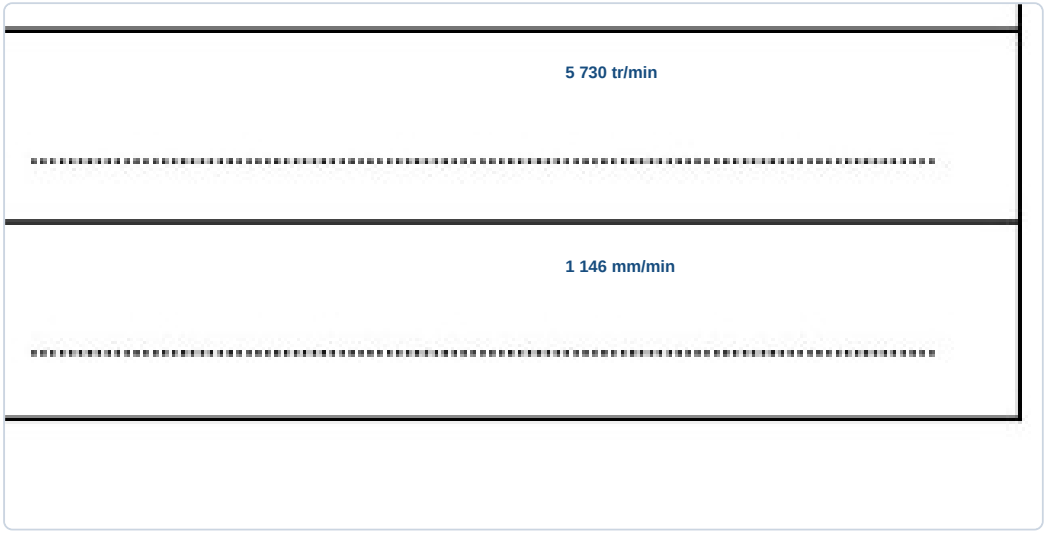
✓ RÉPONSE À RETENIR

Rendement : 67,13 % ; chute : 32,87 % ; masse du brut : 0,69498 kg ; coût matière : 3,61 € par brut.

Question 2.3. Calculer la vitesse de rotation de la broche n, puis la vitesse d'avance Vf. Donner les résultats arrondis à l'unité, en tr/min et en mm/min. Indiquer si une broche limitée à 8 000 tr/min peut atteindre la vitesse calculée et compléter le DR 1.

Avec $V_c = 180$ m/min et $D = 10$ mm, $n = 1000 V_c / (\pi D) = 5\,729{,}6$ tr/min, soit **5 730 tr/min** arrondis à l'unité. L'avance vaut $V_f = f_z z n = 0{,}050 \times 4 \times 5\,729{,}6 = 1\,145{,}9$ mm/min, soit **1 146 mm/min**. La limite de 8 000 tr/min dépasse la vitesse calculée : la broche peut l'atteindre.

DR 1 complété : vitesses de broche et d'avance



✓ RÉPONSE À RETENIR

n = 5 730 tr/min ; Vf = 1 146 mm/min. La broche limitée à 8 000 tr/min peut atteindre cette vitesse.

Question 2.4. À partir d'une trajectoire totale en coupe de 1 800 mm et de la vitesse d'avance calculée, calculer le temps de coupe théorique en minutes. Le temps demandé exclut les déplacements rapides et les changements d'outil.

1. Le temps de coupe vaut $t_c = L_p / V_f$, avec $L_p = 1\,800$ mm et $V_f = 1\,145{,}9$ mm/min.
2. $t_c = 1\,800 / 1\,145{,}9 = 1{,}571$ min, soit environ 1 min 34 s.

Ce calcul porte uniquement sur la trajectoire en coupe ; les déplacements rapides et changements d'outil sont exclus.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Temps de coupe théorique : 1,571 min, soit environ 1 min 34 s.

Question 2.5. **Pour le panneau de protection thermique du compartiment moteur, convertir l'épaisseur de 8 mm en mètres, calculer la résistance thermique surfacique avec R = e/λ et λ = 0,19 W/(m·K), donner son unité et expliquer en une phrase ce que représente cette valeur pour le modèle thermique.**

Convertir d'abord l'épaisseur : 8 mm = $0{,}008$ m. Alors $R = e/\lambda = 0{,}008/0{,}19 = 0{,}0421$ m²·K/W. Cette résistance thermique surfacique caractérise l'opposition du panneau au transfert de chaleur par unité de surface ; une valeur plus élevée signifie un transfert plus limité.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Résistance thermique surfacique : 0,0421 m²·K/W.

3. Préparation de fabrication et validation du modèle

La préparation de fabrication concerne la simulation complète du cycle de fraisage, comprenant la coupe, les déplacements rapides, le changement d'outil et le chargement de la pièce. Les résultats initiaux et modifiés sont comparés à trois mesures expérimentales réalisées dans les mêmes conditions, avec un objectif d'écart relatif maximal de 5 %.

Question 3.1. Décrire un protocole opératoire de virtualisation en quatre étapes minimum, depuis la préparation des données jusqu'à l'exploitation du résultat. Pour chaque étape, nommer au moins une donnée ou un contrôle nécessaire.

1. Préparer les données : relever la géométrie du brut et de la pièce, la matière et le programme FAO ; vérifier les unités et la cohérence des cotes.
2. Construire le modèle : intégrer la fraise de diamètre 10 mm et 4 dents, le montage, la pièce et la trajectoire de 1 800 mm.
3. Paramétrer puis simuler le cycle complet : coupe, déplacements rapides, changement d'outil et chargement ; contrôler les collisions et les limites machine.
4. Valider et exploiter : comparer le temps simulé à la moyenne des cycles mesurés, calculer l'écart relatif et décider si le modèle ou le procédé doit être ajusté.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Préparer et vérifier les données, modéliser la cellule, simuler le cycle complet, puis comparer les résultats aux mesures pour décider des ajustements.

Question 3.2. Sur le DR 2, compléter la feuille de préparation de fabrication en indiquant l'ordre logique des opérations, les ressources nécessaires et le contrôle à réaliser avant le lancement de la simulation.

Le DR 2 suit quatre étapes : valider les données géométriques et le programme FAO, définir l'opération avec l'outil et ses paramètres, paramétrer les ressources de la cellule, puis lancer et comparer la simulation. Avant chaque étape suivante, contrôler respectivement les cotes et unités, la trajectoire de 1 800 mm, la prise en compte du cycle complet et l'absence de collision. Pour les risques, vérifier la fermeture et l'interverrouillage de l'enceinte, puis l'arrêt et la mise en sécurité avant toute intervention.

DR 2 complété : préparation et analyse des risques

Ordre	Opération	Ressource ou donnée	Contrôle avant lancement
1	Valider les données	Plans, CAO, FAO	Cotes et unités
2	Définir le fraisage	Fraise Ø10, 4 dents	Trajectoire : 1 800 mm
3	Paramétrer la cellule	CNC, montage, outil	Cycle complet
4	Simuler et comparer	Logiciel, temps mesurés	Collision et écart contrôlés

Analyse de risques à compléter

Situation dangereuse	Dommage possible	Mesure de prévention	Élément à représenter ou vérifier dans le modèle
Usinage en cycle automatique	Blessure, projection	Enceinte interverrouillée	Enceinte et accès vérifiés
Retrait de copeaux ou intervention de réglage	Coupure, brûlure	Arrêt, consignation, outil a	Arrêt et accès sécurisé

✓ RÉPONSE À RETENIR

DR 2 complété : données vérifiées, fraisage défini, cellule paramétrée, simulation contrôlée et risques associés aux deux situations renseignés.

Question 3.3. Calculer la moyenne des trois temps mesurés, puis l'écart relatif entre cette moyenne et le temps simulé initial. Conclure au regard de l'objectif maximal de 5 %.

La moyenne des trois mesures est $(2,62 + 2,58 + 2,60)/3 = 2,60$ min. En prenant cette moyenne comme référence, l'écart relatif de la simulation initiale vaut $(|2,55 - 2,60|/2,60) \times 100 = 1,92\%$. Cet écart est inférieur à l'objectif maximal de 5 % : le résultat initial satisfait donc le critère de concordance fixé.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Moyenne mesurée : 2,60 min. Écart initial : 1,92 %, donc inférieur à l'objectif maximal de 5 %.

Question 3.4. Calculer l'écart relatif entre le temps simulé après modification de la trajectoire et la moyenne expérimentale. Dire si la modification améliore la concordance. Proposer un contrôle complémentaire permettant de vérifier que l'amélioration ne résulte pas d'une hypothèse de modèle incorrecte.

Avec la simulation modifiée, l'écart à la moyenne mesurée est $(|2,48 - 2,60|/2,60) \times 100 = 4,62\%$. La modification n'améliore donc pas la concordance : l'écart initial était de 1,92 %, plus faible. Pour vérifier le modèle, refaire plusieurs cycles modifiés dans les mêmes conditions expérimentales, puis contrôler séparément la durée de coupe, les déplacements rapides, le changement d'outil et le chargement afin de repérer une hypothèse ou un temps auxiliaire mal représenté.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Écart après modification : 4,62 %. La concordance se dégrade par rapport à l'écart initial de 1,92 %, même si le seuil de 5 % reste respecté.

4. Prévention des risques et conditions de validation

La cellule étudiée comporte un outil rotatif, une enceinte interverrouillée, un système d'arrosage et des interventions possibles de réglage ou de maintenance. L'analyse s'appuie sur les risques et mesures décrits dans le dossier, en rappelant qu'une simulation seule ne démontre pas la conformité de la machine réelle.

Question 4.1. Sur le DR 2, compléter l'analyse de risques pour les deux situations dangereuses indiquées en associant à chacune un dommage possible, une mesure de prévention et un élément à représenter ou à vérifier dans le modèle de la cellule.

Le DR 2 distingue le cycle automatique de l'intervention manuelle. En cycle, le danger est le contact avec l'outil rotatif ou la projection de copeaux. Pendant une intervention, les copeaux peuvent couper ou brûler, et un mouvement intempestif peut blesser. Dans le modèle, vérifier l'enceinte et l'interverrouillage, puis l'état d'arrêt de la machine et la sécurisation de l'accès. Ces éléments sont à confronter aux équipements et procédures de la cellule réelle.

Situation	Dommage possible	Prévention	Élément à représenter ou vérifier
Usinage en cycle automatique	Blessure par contact avec l'outil ou projection de copeaux	Enceinte fermée et accès interverrouillé	Enceinte et interverrouillage fonctionnel
Retrait de copeaux ou intervention de réglage	Coupure, brûlure ou blessure par mouvement intempestif	Arrêt, consignation et outil adapté	Arrêt de la machine et accès sécurisé

DR 2 : analyse de risques complétée

Situation dangereuse	Dommage possible	Mesure de prévention	Élément à représenter ou vérifier dans le modèle
Usinage en cycle automatique	Blessure par outil ou copeaux	Enceinte fermée, interverrouillage	Enceinte et accès interverrouillé
Retrait de copeaux ou intervention de réglage	Coupure, brûlure, mouvement intempest	Arrêt, consignation, outil adapté	Arrêt confirmé, accès sécurisé

✓ RÉPONSE À RETENIR

Cycle : enceinte et interverrouillage. Intervention : arrêt, consignation, outil adapté et accès sécurisé.

Question 4.2. Pour une cuve contenant 40 L de mélange à une concentration cible de 6 % en volume, calculer les volumes de concentré et d'eau nécessaires. Indiquer une précaution de préparation ou d'utilisation à intégrer à la procédure de l'atelier.

La concentration cible est de 6 % du volume final de 40 L : $V_c = 0{,}06 \times 40 = 2{,}4\ \text{L}$. L'eau complète le volume final : $V_e = 40 - 2{,}4 = 37{,}6\ \text{L}$. Les deux volumes totalisent bien 40 L.

Avant préparation, consulter la fiche de données de sécurité du fluide et appliquer les consignes du fabricant. Porter les gants adaptés selon l'évaluation et éviter les éclaboussures.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Concentré : 2,4 L; eau : 37,6 L. Consulter la FDS, porter les gants adaptés et éviter les éclaboussures.

Question 4.3. Citer deux vérifications à effectuer avant de considérer le jumeau numérique comme exploitable pour préparer la production, dont une vérification des données ou des résultats et une vérification relative à la sécurité. Expliquer pourquoi une simulation ne remplace pas l'évaluation des risques de la machine réelle.

Vérifier d'abord que les données du modèle correspondent à la configuration réelle : programme, outil, montage et paramètres de coupe. Confronter ensuite le temps simulé aux mesures expérimentales. Côté sécurité, contrôler sur la machine réelle l'enceinte, l'interverrouillage, l'arrêt d'urgence et les procédures d'intervention.

- Données et résultats : cohérence avec la production et les temps mesurés.
- Sécurité : protections et fonctions de sécurité effectivement opérationnelles.

La simulation dépend d'hypothèses et ne couvre pas tous les usages ni toutes les défaillances possibles. Elle ne remplace donc pas l'évaluation des risques de la machine réelle selon les principes de l'ISO 12100.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Valider les données et les résultats par comparaison aux mesures, puis vérifier les protections et fonctions de sécurité de la machine réelle.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2026)

Bilan de l'épreuve : L'épreuve BUT GMP SNRV, compétence C5, de la session 2026 (code 26-BUT-GMP-EP1) dure 2 h 30 et porte un coefficient indicatif de 3,0. À partir du support aluminium S-120 et de sa cellule de fraisage, elle évalue la modélisation du procédé, les calculs de fabrication, la préparation et la validation d'une simulation par comparaison aux mesures, ainsi que l'intégration des risques professionnels.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le volume net de la pièce est le volume de l'enveloppe extérieure diminué du volume de la poche; $\eta = V_{pièce}/V_{brut} \times 100$.
- En fraisage, $n = 1000Vc/(\pi D)$, $Vf = fz \times z \times n$ et le temps de coupe théorique $tc = Lp/Vf$.
- La résistance thermique surfacique se calcule par $R = e/\lambda$, avec e convertie en mètres; son unité est $m^2 \cdot K/W$.
- L'écart relatif de validation est $\varepsilon = |tsim - tmoy|/tmoy \times 100$, où tmoy est la moyenne des temps mesurés.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir les dimensions dans des unités cohérentes et accompagner les résultats numériques de leurs unités.
- Calculer le taux de chute à partir du rendement matière selon la définition donnée : $100 - \eta$.
- Distinguer le temps de coupe du temps de cycle complet, qui comprend aussi les déplacements rapides, le changement d'outil et le chargement.
- Pour chaque risque, relier situation, dommage, prévention et vérification du modèle; ne pas assimiler une simulation à une preuve de conformité.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer le volume net de la pièce S-120 avec sa poche ?

Calculez le volume de l'enveloppe finie avec ses dimensions extérieures, puis celui de la poche avec sa longueur, sa largeur et sa profondeur. Soustrayez le volume de la poche à celui de l'enveloppe pour obtenir le volume net.

Q : Comment vérifier si la broche peut atteindre la vitesse calculée ?

Calculez n avec la vitesse de coupe et le diamètre de la fraise en utilisant des unités cohérentes. Comparez ensuite le résultat à la limite machine de 8 000 tr/min : une vitesse calculée supérieure excède la capacité annoncée.

Q : Comment organiser les réponses et gérer le temps de l'épreuve ?

Commencez par les calculs en détaillant les étapes et les unités, puis traitez les protocoles et les risques. Gardez du temps pour compléter les DR 1 et DR 2 et vérifier les arrondis ainsi que les conclusions par rapport aux seuils indiqués.

Q : Quels éléments montrer pour valider la concordance entre le modèle et les mesures ?

Calculez la moyenne expérimentale, appliquez la formule de l'écart relatif et comparez le résultat au seuil de 5 %. Vérifiez aussi la cohérence des données et hypothèses du modèle; l'évaluation des risques de la machine réelle reste nécessaire.

Sujet officiel associé (PDF) : https://butgmp.fr/assets/annales/but-gmp/C5 - Virtualiser un produit mécanique ou un process/2026/BUT Génie Mécanique et Productique - C5 - Virtualiser un produit mécanique ou un process - Session 2026 - 1-Sujet.pdf
Ressources BUT Génie Mécanique et Productique : 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.