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

BACHELOR UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

GÉNIE MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE : PARCOURS SIMULATION NUMÉRIQUE ET RÉALITÉ VIRTUELLE

ÉVALUATION DE LA COMPÉTENCE C5 : VIRTUALISER UN PRODUIT MÉCANIQUE OU UN PROCESS, DU CONCEPT AU JUMEAU NUMÉRIQUE

SESSION 2026

Durée : 2 h 30

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
GÉNIE MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE : PARCOURS SIMULATION NUMÉRIQUE ET RÉALITÉ VIRTUELLE	3,0 INDICATIF

Moyens de calculs et matériel autorisés :

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé. L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

Les documents réponses en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : RENAULT GROUP, USINE DE CLÉON, SEINE-MARITIME : CELLULE DE FRAISAGE ÉTUDIÉE POUR LA MISE EN PLACE D'UN JUMEAU NUMÉRIQUE DE PROCÉDÉ

Le service méthodes étudie la virtualisation d'une cellule de fraisage destinée à produire un support mécanique en aluminium. Vous devez proposer un modèle numérique exploitable pour préparer le procédé, estimer les temps de fabrication et vérifier la cohérence de la simulation à partir de mesures. Le cas industriel et toutes les données chiffrées nécessaires à l'étude sont définis dans les documents techniques joints.

Le travail porte sur le support S-120, son brut, l'opération de fraisage et les principaux risques associés à la cellule. Les dimensions sont en millimètres, les masses en kilogrammes, les durées en minutes et les coûts en euros hors taxes, sauf indication contraire. Toute hypothèse complémentaire doit être explicitée et rester compatible avec les données du dossier.

La note finale est établie sur 20 points. Les réponses sont à rédiger sur la copie et, lorsque cela est demandé, sur les documents réponses DR 1 et DR 2.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle, périmètre du modèle et exigences applicables (4,5 points)

Définir le besoin de virtualisation et construire un modèle idéalisé cohérent

La cellule comprend une fraiseuse à commande numérique, un montage de bridage, un outil de coupe, une pièce S-120, un système d'arrosage et un opérateur. Le modèle attendu doit permettre de préparer une opération, d'estimer son temps de cycle et de comparer des résultats simulés à des mesures. Pour l'analyse des risques, le dossier prend comme références générales la norme ISO 12100:2010 et, pour la conception des parties de commande relatives à la sécurité, l'ISO 13849-1:2023. La directive Machines 2006/42/CE reste la référence réglementaire applicable à la date de la session 2026.

Périmètre fonctionnel du jumeau numérique

Élément du système	Données disponibles	Sortie attendue du modèle
Pièce S-120 et brut	Géométrie nominale et matière	Géométrie virtuelle et volume enlevé
Outil et opération de fraisage	Diamètre, nombre de dents, paramètres de coupe	Temps de coupe et trajectoire
Cellule de production	Temps de cycle mesurés, accès opérateur	Temps de cycle estimé et analyse des risques

Les données de la cellule et les performances attendues sont précisées dans les documents techniques.

1.1 (1 point) Formuler la fonction principale du jumeau numérique et citer deux décisions de méthodes que ses résultats doivent permettre de prendre.

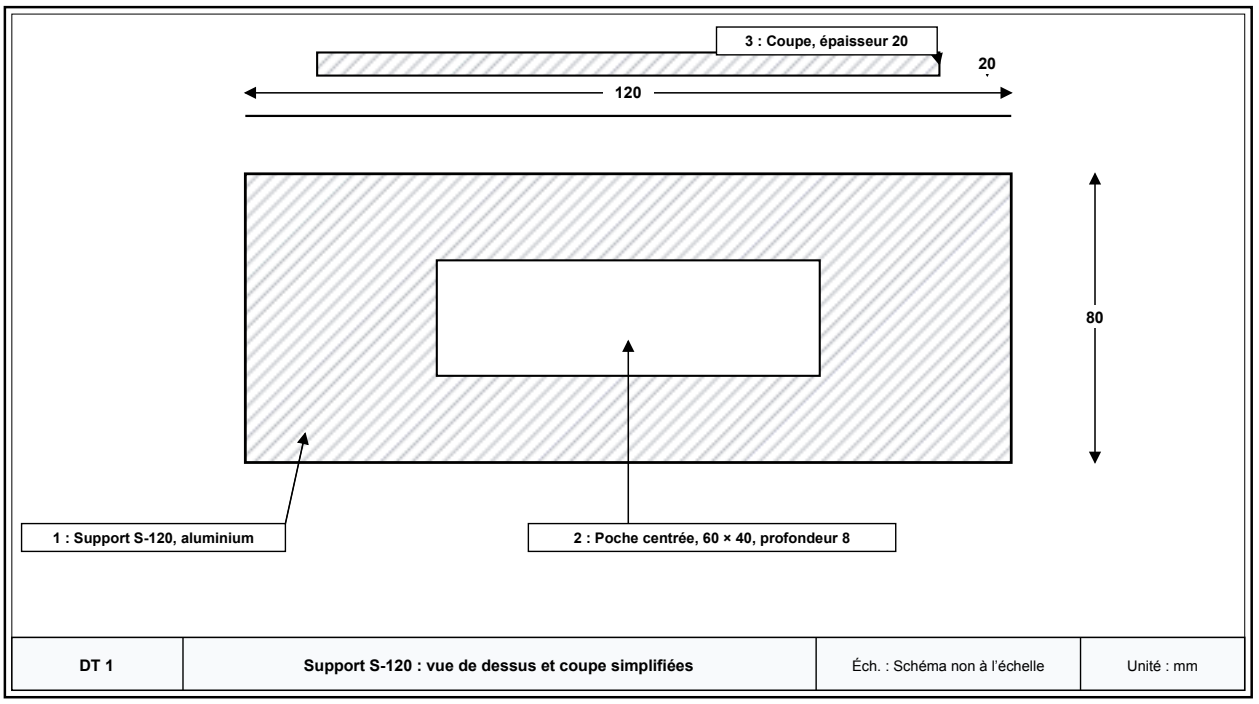
1.2 (1,5 point) Proposer un modèle idéalisé de la cellule en distinguant au moins trois composants géométriques ou fonctionnels à représenter et deux phénomènes à négliger ou simplifier. Justifier chaque simplification au regard de l'objectif annoncé.

1.3 (2 points) 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.

PARTIE 2 : Étude technologique, calculs et choix des paramètres (7 points)

Exploiter le modèle géométrique et les données de fabrication

Les données de matière, de géométrie, de coupe et de coût figurent dans les DT 1 et DT 2. Les relations à utiliser sont : volume d'un pavé droit $V = L \times l \times e$; vitesse de rotation $n = \frac{1000V_c}{\pi D}$; vitesse d'avance $V_f = f_z \times z \times n$; temps de coupe $t_c = \frac{L_p}{V_f}$; rendement volumique matière $\eta = \frac{V_{pièce}}{V_{brut}} \times 100$; résistance thermique surfacique $R = \frac{e}{\lambda}$. Les dimensions de calcul doivent être converties dans des unités cohérentes.



Géométrie nominale. Schéma indicatif, les cotes chiffrées prévalent.

Données de calcul et paramètres de l'opération

Grandeur	Valeur	Unité
Brut débité	130 × 90 × 22	mm
Pièce finie hors poche	120 × 80 × 20	mm
Poche centrée	60 × 40 × 8	mm
Masse volumique de l'aluminium	2,70 × 10^-6	kg/mm³
Prix matière	5,20	€/kg
Diamètre de fraise D	10	mm
Vitesse de coupe Vc	180	m/min
Avance par dent fz	0,050	mm/dent
Nombre de dents z	4	dents
Longueur totale de trajectoire en coupe Lp	1 800	mm

Valeurs imposées pour le calcul du cas étudié.

2.1 (1,5 point) 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.

2.2 (2 points) Calculer le rendement volumique matière, le taux de chute volumique et le coût de la matière consommée pour un brut. Le taux de chute est défini par $100 - \eta$. Compléter les résultats correspondants dans le DR 1.

2.3 (1,5 point) Calculer la vitesse de rotation de la broche n, puis la vitesse d'avance V_f. 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.

2.4 (1 point) La trajectoire totale en coupe vaut 1 800 mm. Calculer le temps de coupe théorique en minutes à partir de la vitesse d'avance calculée. Le temps de coupe exclut les déplacements rapides et les changements d'outil.

2.5 (1 point) Le panneau de protection thermique du compartiment moteur a une épaisseur $e = 8$ mm et une conductivité thermique $\lambda = 0,19$ W/(m·K). Calculer sa résistance thermique surfacique avec $R = e/\lambda$, après conversion de l'épaisseur en mètres. Donner l'unité et expliquer en une phrase ce que représente cette valeur pour le modèle thermique.

PARTIE 3 : Préparation de fabrication et validation du modèle (5 points)

Définir un protocole de simulation et confronter les résultats aux mesures

Le temps de cycle simulé inclut les opérations de coupe, les déplacements rapides, le changement d'outil et le chargement de la pièce. Les mesures expérimentales et les données de simulation sont fournies au DT 2. Pour

un écart relatif, utiliser $\varepsilon = \frac{|t_{sim} - t_{mes}|}{t_{mes}} \times 100$, où t_{mes} est la moyenne des temps mesurés.

Mesures expérimentales et résultats du modèle

Grandeur	Valeur
Temps mesuré du cycle 1	2,62 min
Temps mesuré du cycle 2	2,58 min
Temps mesuré du cycle 3	2,60 min
Temps simulé initial	2,55 min
Objectif d'écart relatif maximal	5 %
Temps simulé après modification de la trajectoire	2,48 min

Les trois mesures ont été réalisées sur trois cycles consécutifs avec le même programme et le même opérateur.

3.1 (1,5 point) 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.

3.2 (1 point) 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 lancement de la simulation.

3.3 (1,5 point) 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 %.

3.4 (1 point) Calculer l'écart relatif entre le temps simulé après modification 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.

PARTIE 4 : Prévention des risques et conditions de validation (3,5 points)

Intégrer les risques professionnels et les exigences de sécurité au jumeau numérique

La cellule comporte des organes en mouvement, un outil rotatif, des projections possibles, un système d'arrosage et des interventions de réglage ou de maintenance. Les références du DT 3 servent à structurer l'analyse. Une simulation numérique ne constitue pas, à elle seule, une démonstration de conformité réglementaire.

Éléments de prévention à examiner

Situation	Danger à examiner	Point de contrôle attendu
Usinage en cycle automatique	Projection de copeaux ou contact avec l'outil	Enceinte fermée et interverrouillage
Réglage ou retrait de copeaux	Mouvement intempestif ou coupure	Arrêt, consignation et moyen adapté
Utilisation de l'arrosage	Contact avec le fluide et sol glissant	Évaluation du fluide et maîtrise des fuites

Les situations dangereuses et les mesures existantes sont décrites au DT 3.

4.1 (1,5 point) Sur le DR 2, compléter l'analyse de risques en associant à deux situations dangereuses un dommage possible, une mesure de prévention et un élément à représenter ou vérifier dans le modèle de la cellule.

4.2 (1 point) La cuve d'arrosage contient 40 L de mélange à une concentration cible de 6 % en volume. Calculer le volume de concentré et le volume d'eau nécessaires. Indiquer une précaution de préparation ou d'utilisation à intégrer à la procédure de l'atelier.

4.3 (1 point) 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.

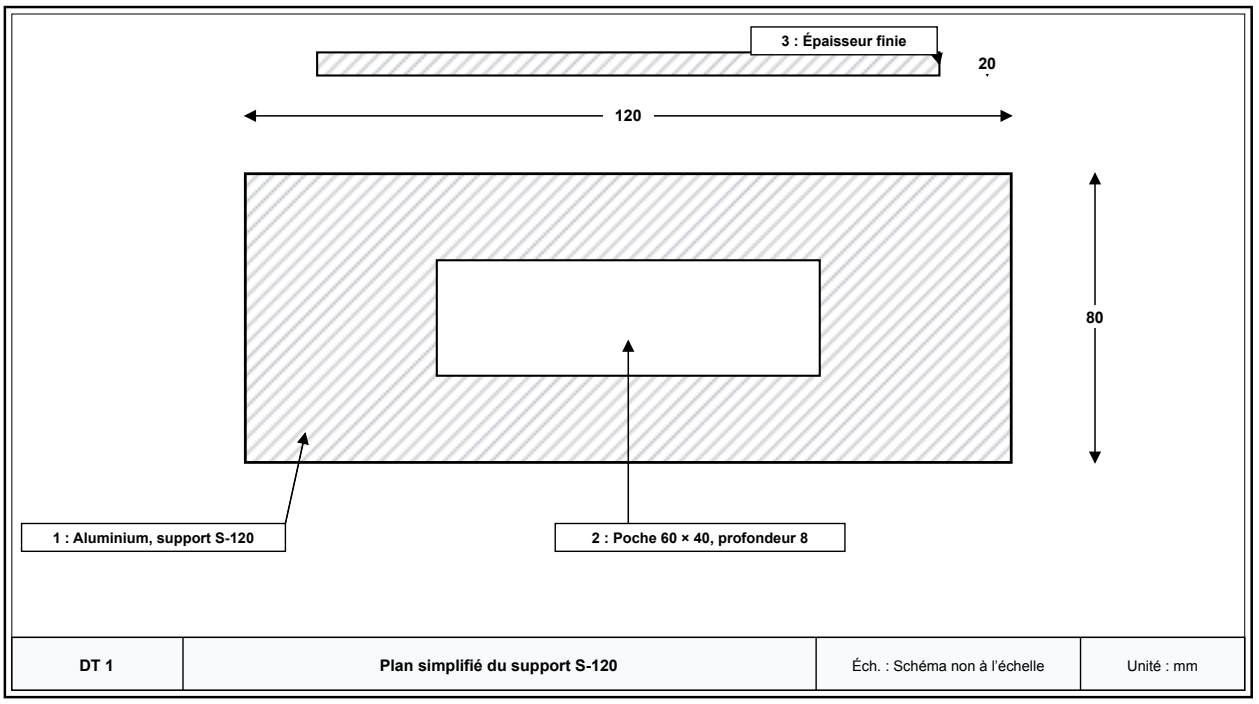
DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : DÉFINITION GÉOMÉTRIQUE DU SUPPORT S-120 ET DU BRUT

Pièce en aluminium : encombrement fini 120 × 80 × 20 mm. Une poche rectangulaire centrée de 60 × 40 mm est usinée à une profondeur de 8 mm. Le brut parallélépipédique débité mesure 130 × 90 × 22 mm. Le fond de la poche est plan et les arêtes ne sont pas prises en compte dans le calcul volumique. Pour les calculs de matière, le volume fini est le volume de l'enveloppe extérieure diminué du volume de la poche.

Le volume d'un pavé est calculé par $V = L \times l \times e$. La masse est obtenue par $m = \rho V$, avec $\rho = 2,70 \times 10^{-6}$ kg/mm³. Le prix d'achat est de 5,20 €/kg. Les dimensions sont nominales et aucune surépaisseur supplémentaire ne doit être ajoutée au brut fourni.



Vue de dessus et coupe simplifiées. La poche est centrée. Les dimensions indiquées sur le plan sont les dimensions nominales.

Caractéristiques géométriques et matière

Caractéristique	Valeur
Dimensions du brut	130 × 90 × 22 mm
Encombrement fini	120 × 80 × 20 mm
Poche centrée	60 × 40 × 8 mm
Masse volumique de l'aluminium	2,70 × 10^-6 kg/mm³
Prix matière	5,20 €/kg

Données nominales fournies pour le calcul.

DT 2 : DONNÉES DE FABRICATION, MODÈLE CINÉMATIQUE ET MESURES DE VALIDATION

Opération étudiée : fraisage de la poche avec une fraise de diamètre 10 mm et quatre dents. La vitesse de coupe prescrite pour le cas est de 180 m/min et l'avance par dent de 0,050 mm/dent. La trajectoire totale en coupe, calculée par le logiciel de FAO pour le parcours retenu, est de 1 800 mm. La limite de vitesse de broche de la machine est de 8 000 tr/min.

Le temps de cycle simulé comprend le temps de coupe, les déplacements rapides, le changement d'outil et le chargement de la pièce. Les temps mesurés ont été relevés sur trois cycles avec le même programme, le même montage et un opérateur formé. La durée de chaque cycle est fournie au tableau de la partie 3.

Pour le panneau du compartiment moteur, utiliser une épaisseur de 8 mm et une conductivité thermique de 0,19 W/(m·K). La résistance thermique surfacique s'exprime en m²·K/W avec $R = e/\lambda$, où l'épaisseur est exprimée en mètres. Pour la cuve d'arrosage, le volume final est de 40 L et la concentration cible est de 6 % en volume ; le volume de concentré est calculé par $V_c = 0,06 \times 40$, le complément étant de l'eau.

Paramètres de simulation du procédé

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse de coupe Vc	180	m/min
Diamètre de l'outil D	10	mm
Avance par dent fz	0,050	mm/dent
Nombre de dents z	4	dents
Longueur de trajectoire en coupe Lp	1 800	mm
Limite de broche	8 000	tr/min
Épaisseur du panneau	8	mm
Conductivité thermique du panneau	0,19	W/(m·K)

Paramètres imposés pour le calcul et l'analyse du modèle.

Mesures expérimentales et résultats simulés

Mesure ou résultat	Temps
Cycle mesuré 1	2,62
Cycle mesuré 2	2,58
Cycle mesuré 3	2,60
Simulation initiale	2,55
Simulation après modification de trajectoire	2,48
Écart relatif maximal visé	5 %

Temps de cycle complet, en minutes.

DT 3 : EXIGENCES DE PRÉVENTION ET DONNÉES DE LA CELLULE

La cellule est équipée d'une enceinte fermée, d'un accès avec interverrouillage, d'un arrêt d'urgence, d'un système d'arrosage et d'un éclairage de poste. Les opérations de réglage, de changement d'outil, de nettoyage et de maintenance peuvent nécessiter un accès à la zone de travail. Les copeaux ne doivent pas être retirés à la main lorsque la machine est en mouvement.

Pour structurer l'étude, se référer aux principes généraux d'appréciation et de réduction du risque de l'ISO 12100:2010, aux exigences pertinentes de l'EN 60204-1:2018 pour l'équipement électrique des machines et à l'ISO 13849-1:2023 pour la conception des parties de commande relatives à la sécurité. La directive 2006/42/CE constitue la référence Machines applicable en 2026. Ces références ne dispensent pas d'examiner les textes applicables à la machine réelle, son évaluation des risques, sa notice et les consignes de l'employeur.

Situations dangereuses et mesures existantes

Situation de travail	Danger identifié	Mesure ou donnée disponible
Cycle automatique avec accès fermé	Contact avec outil rotatif ou projection de copeaux	Enceinte et accès interverrouillé
Retrait de copeaux et nettoyage	Coupure, brûlure ou mouvement intempestif	Machine à l'arrêt, outil adapté, procédure de mise en sécurité
Préparation du fluide d'arrosage	Contact cutané et éclaboussures	Fiche de données de sécurité à consulter, gants adaptés selon l'évaluation
Fuite de fluide au sol	Glissade et chute de plain-pied	Détection, nettoyage rapide et maintien du sol dégagé

Données d'entrée pour l'analyse des risques de la cellule étudiée.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : questions 1.3, 2.2 et 2.3 — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les cellules signalées par « ... ». Reporter les calculs détaillés sur la copie. Les résultats numériques doivent être accompagnés de leur unité.

Chaîne de données du jumeau numérique et bilan matière

Rubrique	Réponse du candidat
Données d'entrée du calcul du temps de cycle	.....
Modèle ou opération numérique mobilisé	.....
Résultat exploitable	.....
Décision de méthodes rendue possible	.....
Volume du brut en mm^3	.....
Volume net de la pièce en mm^3	.....
Volume théorique enlevé en mm^3	.....
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	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Document réponse à rendre avec la copie : questions 3.2 et 4.1 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les tableaux ci-dessous. Pour chaque opération, préciser un moyen ou une ressource utile. Pour chaque situation dangereuse, proposer une prévention cohérente et un point à intégrer ou contrôler dans le modèle numérique.

Feuille de préparation de fabrication et de simulation

Ordre	Opération ou étape	Ressource ou donnée nécessaire	Contrôle avant l'étape suivante
1	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....

Analyse de risques à compléter

Situation dangereuse	Dommage possible	Mesure de prévention	Élément à représenter ou vérifier dans le modèle
Usinage en cycle automatique	.....	.....	.....
Retrait de copeaux ou intervention de réglage	.....	.....	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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.