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 AÉRONAUTIQUE • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

BTS Aéronautique

Épreuve E4 - sous-épreuve U41

Session 2019 • Code sujet : **AE4EMPT** • Durée : **6 heures** • Coefficient : **4**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Étude générale de la chaîne d'énergie de l'hélicoptère** (7 questions) — **Page 3**
2. **Étude du moteur Turboméca Arriel 2C** (9 questions) — **Page 5**
3. **Étude cinématique de l'entraînement des rotors** (8 questions) — **Page 8**
4. **Analyse fonctionnelle de la commande d'incidence du rotor anti-couple** (4 questions) — **Page 12**
5. **Étude de la modification de la commande de pas du rotor anti-couple** (9 questions) — **Page 15**
6. **Étude de la chaîne de surveillance de la vitesse de rotation du rotor** (6 questions) — **Page 19**
7. **Rédaction d'un service bulletin** (1 question) — **Page 22**
8. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 23**

Sujet officiel (PDF) : https://btsaeronautique.fr/assets/annales/bts-aeronautique/E4.1 - Industrialisation de la production ou de la maintenance des aéronefs/2019/BTS Aéronautique - E4.1 - Industrialisation de la production ou de la maintenance des aéronefs - Session 2019 - 1-Sujet.pdf

1. Étude générale de la chaîne d’énergie de l’hélicoptère

L’étude porte sur la chaîne d’énergie de l’hélicoptère Dauphin et sur les principaux organes de transmission jusqu’au rotor anti-couple. Les documents techniques présentent les moteurs, les boîtes de transmission, les circuits hydrauliques et le rotor arrière.

Question 1.1. Donner le nombre de moteurs de l’hélicoptère et la puissance respective de chacun.

Le Dauphin est équipé de deux moteurs Turboméca Arriel 2C, comme l’indique la documentation technique. La puissance de 635 kW correspond à la puissance maximale au décollage d’un moteur. Elle s’applique donc à chacun des deux moteurs, et non à leur puissance cumulée. L’hélicoptère dispose ainsi de deux turbomoteurs de même type et de même puissance nominale maximale au décollage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Deux moteurs Arriel 2C, d’une puissance maximale au décollage de 635 kW chacun.

Question 1.2. Donner la signification des abréviations BTP et BTA.

La BTP est la boîte qui reçoit la puissance des moteurs et la transmet, après réduction, aux rotors ainsi qu’à certains accessoires. La BTA est la boîte de transmission placée à l’arrière de l’appareil, en aval de la BTP, qui participe à l’entraînement du rotor arrière. Les deux abréviations désignent donc les boîtes principale et arrière de la chaîne de transmission.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> BTP : boîte de transmission principale. BTA : boîte de transmission arrière.

Question 1.3. Énoncer la fonction principale du rotor anti-couple.

Le rotor anti-couple crée une poussée latérale qui s’oppose au couple de réaction produit par le rotor principal. Cette poussée contribue à empêcher la rotation non commandée du fuselage. En la faisant varier, le pilote contrôle également la rotation de l’hélicoptère autour de son axe vertical, appelée lacet. Le rotor assure donc à la fois l’équilibrage du couple et le contrôle directionnel de l’appareil.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Compenser le couple de réaction du rotor principal et commander le lacet de l’hélicoptère.

Question 1.4. Justifier l’utilité de la variation de pas des pales du rotor anti-couple.

Modifier le pas change l’incidence des pales et, par conséquent, la poussée produite par le rotor anti-couple. Cette variation permet d’ajuster la poussée pour équilibrer le couple de réaction du rotor principal selon les conditions de vol. Elle permet aussi au pilote de commander le lacet. Comme la plage de pas comprend des

valeurs positives et négatives, la poussée peut être orientée dans l'un ou l'autre sens.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Faire varier la poussée anti-couple pour équilibrer le rotor principal et contrôler le lacet.

Question 1.5. Préciser sur quelle commande le pilote doit agir pour modifier l'incidence des pales du rotor anti-couple.

Pour modifier l'incidence des pales, le pilote agit sur les pédales de lacet du palonnier. Le document technique précise que la pédale droite augmente l'incidence, tandis que la pédale gauche la diminue. Le mouvement des pédales est transmis par des bielles et des renvois à la servocommande arrière, puis à la commande de pas du rotor anti-couple. Le pilote n'agit donc pas directement sur les pales.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le pilote agit sur les pédales de lacet du palonnier.

Question 1.6. Préciser si l'action du pilote sur la commande est directe ou assistée, puis justifier la réponse.

L'action du pilote est assistée. Les pédales commandent une chaîne mécanique de bielles et de renvois, qui agit sur les leviers et les distributeurs de la servocommande arrière. Celle-ci est un vérin hydraulique à double effet : la pression hydraulique déplace le piston et sa tige, reliée à la commande de pas. L'effort appliqué par le pilote ne déplace donc pas directement les pales ; la servocommande fournit l'assistance nécessaire.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Action assistée par la servocommande hydraulique arrière à double effet.

Question 1.7. Préciser par quel ou quels circuits la servocommande arrière est alimentée.

La servocommande arrière est alimentée par les circuits hydrauliques principaux gauche et droit, représentés comme les deux générations principales du schéma hydraulique. Cette alimentation correspond à sa construction à double corps : chaque corps possède son distributeur. La documentation précise que le dispositif à deux distributeurs permet de conserver l'alimentation de la servocommande si le distributeur principal se grippe, ce qui évite le blocage de la commande.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Par les circuits hydrauliques principaux gauche et droit.

2. Étude du moteur Turboméca Arriel 2C

Cette partie commence par l'identification des principaux éléments du moteur Arriel 2C et la distinction entre turbine libre et turbine liée. Elle étudie ensuite son cycle de Taylor, les propriétés de l'air, le rendement et le couple transmis par l'arbre de puissance.

Question 2.1. Donner la désignation des éléments repérés 1, 2, 3 et 4 sur le schéma du moteur ARRIEL-2C.

Les repères suivent les composants du générateur de gaz, puis ceux de la turbine. L'air admis est d'abord comprimé par le compresseur axial et le compresseur centrifuge. Il passe ensuite dans la chambre de combustion, puis les gaz entraînent la turbine du générateur de gaz. La turbine libre, repérée séparément sur le schéma technique, fournit la puissance à l'arbre de sortie.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> 1 : compresseur axial ; 2 : compresseur centrifuge ; 3 : chambre de combustion ; 4 : turbine du générateur de gaz.

Question 2.2. Préciser la différence entre une turbine libre et une turbine liée, puis préciser le type de turbine équipant l'hélicoptère AS365.

Une turbine liée est mécaniquement solidaire du générateur de gaz : les deux arbres tournent ensemble. Une turbine libre possède un arbre indépendant, ce qui permet à la turbine de travail d'adapter son régime à la puissance demandée. Le document technique précise que les moteurs Arriel 2C de l'AS365 sont à turbine libre.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'AS365 est équipé de moteurs Arriel 2C à turbine libre.

Question 2.3. À partir de l'équation caractéristique des gaz parfaits et des conditions données, calculer la masse volumique de l'air.

Pour l'air parfait, l'équation caractéristique donne $P = \rho r T$, donc $\rho = P/(rT)$. Convertissons les données : $P = 1013 \times 100 = 101300\,\mathrm{Pa}$ et $T = 25 + 273{,}15 = 298{,}15\,\mathrm{K}$. Avec $r = 287\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$, la substitution donne $\rho = 101300/(287 \times 298{,}15)$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\rho_{air} \approx 1{,}184\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$.

Question 2.4. **Calculer la chaleur massique à volume constant Cv et la chaleur massique à pression constante Cp de l'air.**

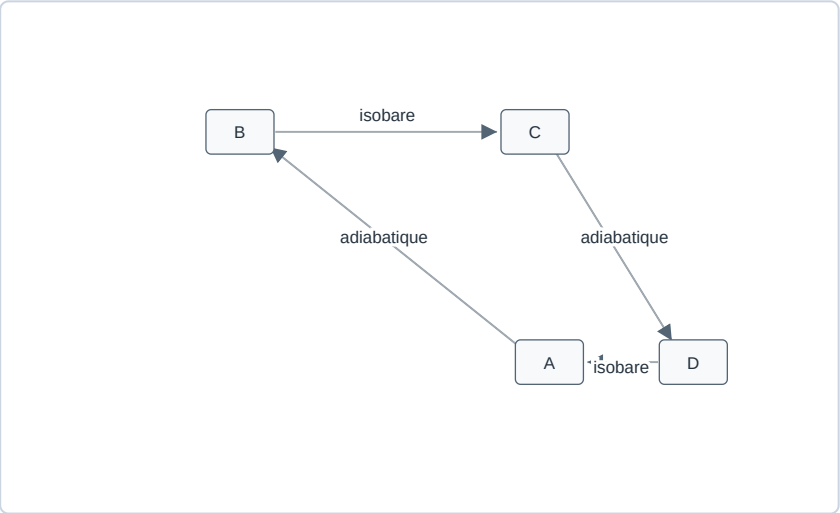
Pour un gaz parfait, $C_p - C_v = r$ et $\gamma = C_p/C_v$. On en déduit $C_v = r/(\gamma - 1)$ et $C_p = \gamma r/(\gamma - 1)$. En remplaçant par les données de l'énoncé, $r = 287\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ et $\gamma = 1{,}4$, on obtient les deux capacités thermiques massiques.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $C_v = 717{,}5$ et $C_p = 1004{,}5\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$.

Question 2.5. **Tracer sur un diagramme pression-volume de Clapeyron l'allure du cycle de Taylor de ce moteur et indiquer la nature de chacune des transformations.**

Sur le diagramme de Clapeyron, le volume V est en abscisse et la pression P en ordonnée. Le cycle suit A-B-C-D-A : A-B est une compression adiabatique réversible, B-C une combustion isobare, C-D une détente adiabatique réversible et D-A un refroidissement isobare. Les branches isobares sont horizontales ; les adiabatiques relient les niveaux de basse et de haute pression.

Cycle de Taylor, diagramme de Clapeyron



Axe horizontal : volume V. Axe vertical : pression P. A-B compression, B-C combustion, C-D détente, D-A refroidissement.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> A-B : compression adiabatique ; B-C : combustion isobare ; C-D : détente adiabatique ; D-A : refroidissement isobare.

Question 2.6. **À partir des données fournies, calculer la température TB en fin de compression.**

La compression A-B est adiabatique réversible. Pour un gaz parfait, $T_B/T_A = (P_B/P_A)^{(\gamma-1)/\gamma}$. Le taux de compression vaut $\tau = P_B/P_A = 8$, et la température initiale est $T_A = 25 + 273{,}15 = 298{,}15\,\mathrm{K}$. Ainsi, $T_B = 298{,}15 \times 8^{(1{,}4-1)/1{,}4}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$T_B \approx 540{,}08\,\mathrm{K}$, soit $266{,}93\,^\circ\mathrm{C}$.

Question 2.7. Donner l'expression du rendement du cycle théorique en fonction de TA, TB, TC et TD. En déduire son expression en fonction du taux de compression τ et de l'exposant adiabatique γ, puis calculer sa valeur.

La chaleur reçue à pression constante est proportionnelle à $T_C - T_B$, et la chaleur rejetée à $T_D - T_A$. Le rendement s'écrit donc $\eta = 1 - (T_D - T_A)/(T_C - T_B)$. Les relations adiabatiques donnent $T_B/T_A = \tau^{(\gamma-1)/\gamma}$ et $T_C/T_D = \tau^{(\gamma-1)/\gamma}$. En substituant ces rapports, le rendement se réduit à $1 - 1/\tau^{(\gamma-1)/\gamma}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{1}{\tau^{(\gamma-1)/\gamma}} \approx 44{,}8\,\%.$$

Question 2.8. À partir de la consommation spécifique, de la puissance du moteur et du pouvoir calorifique du kérosène, calculer le rendement global du moteur.

Le formulaire donne le rendement global $\eta_{global} = 3600/(C_{sp} P_{ci})$. Le facteur 3600 assure la cohérence des unités entre la puissance en kilowatts et le pouvoir calorifique en kilojoules par kilogramme. Avec $C_{sp} = 0{,}332\,\mathrm{kg\,kWh^{-1}}$ et $P_{ci} = 44000\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$, on effectue la substitution directe.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\eta_{global} \approx 0{,}247$, soit $24{,}7\,\%$.

Question 2.9. Sachant que la vitesse de rotation de l'arbre de puissance est de 6 000 tr·min⁻¹, calculer le couple transmissible sur cet arbre.

La puissance mécanique vérifie $P = C\omega$, donc $C = P/\omega$. À $N = 6000\,\mathrm{tr\,min^{-1}}$, la vitesse angulaire vaut $\omega = 2\pi N/60 = 628{,}32\,\mathrm{rad\,s^{-1}}$. En utilisant la puissance au décollage du moteur, $P = 635\,\mathrm{kW} = 635000\,\mathrm{W}$, le couple est $C = 635000/628{,}32$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$C \approx 1011\,\mathrm{N\,m}$, soit $1{,}01\,\mathrm{kN\,m}$.

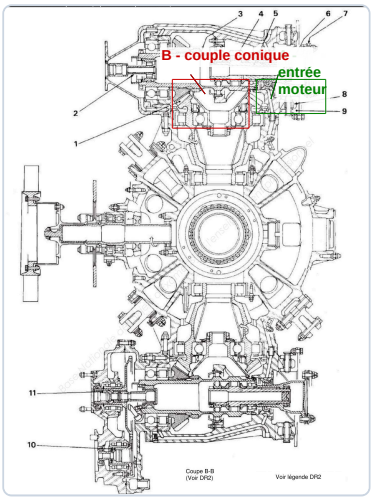
3. Étude cinématique de l’entraînement des rotors

La partie étudie la transmission de la puissance depuis l’entrée de la BTP vers le rotor principal et la BTA, en s’appuyant sur son schéma cinématique et les nombres de dents des engrenages. Le candidat repère les ensembles sur les documents de réponse, calcule les rapports de réduction successifs et détermine les vitesses des rotors.

Question 3.1. Sur le document de la BTP en coupe, vue de dessus, entourer globalement en vert l’ensemble A, entrée de puissance du moteur gauche, et en rouge l’ensemble B, couple conique d’entrée de puissance gauche.

Sur le DR1, repérer l’arbre d’entrée moteur à droite de la vue de dessus et l’entourer globalement en vert : c’est l’ensemble A. Entourer en rouge le couple conique B, immédiatement en prise avec cet arbre, à l’intérieur de la BTP. Le schéma DT3 confirme leur position et distingue l’arbre d’entrée A des deux pignons B1 et B2 appartenant à l’ensemble B.

DR1 complété : ensembles A et B entourés



✓ RÉPONSE À RETENIR

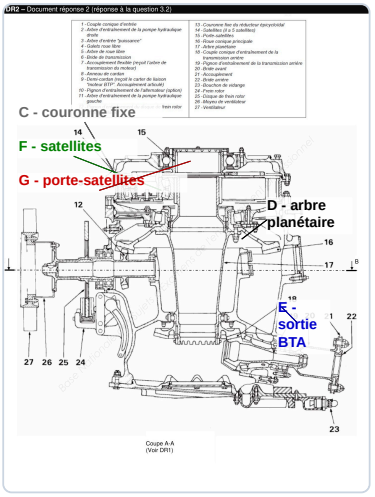
DR1 : ensemble A entouré en vert ; ensemble B entouré en rouge.

Question 3.2. Sur le document de la BTP en coupe, vue de face, colorier en noir l’ensemble D, en bleu l’ensemble E, en gris l’ensemble C, en vert l’ensemble F et en rouge l’ensemble G, selon les désignations données dans le sujet.

Ensemble	Désignation DT3	Couleur
D	Arbre planétaire	Noir
E	Sortie de puissance vers la BTA	Bleu
C	Couronne fixe du réducteur	Gris
F	Satellites	Vert
G	Porte-satellites	Rouge

Les étiquettes et traits de rappel colorés identifient les éléments sur la coupe A-A du DR2. Les désignations sont celles de la légende DT3 : la couronne est fixe, les satellites sont portés par G, et l'arbre planétaire D transmet la puissance vers E.

DR2 complété : repérage des ensembles sur la coupe A-A



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> DR2 : D noir, E bleu, C gris, F vert, G rouge.

Question 3.3. Calculer le rapport de réduction r1 du premier étage, constitué du couple conique A-B.

Le rapport demandé est la vitesse de sortie B sur la vitesse d'entrée A. Pour un engrènement extérieur, le rapport en valeur absolue est le nombre de dents du pignon menant divisé par celui de la roue menée. DT3 donne $Z_A = 33$ et $Z_{B1} = 41$, donc $r_1 = \frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{Z_A}{Z_{B1}} = \frac{33}{41} = 0{,}8049$. B tourne dans le sens opposé à A, mais le rapport de réduction est donné en valeur positive.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $r_1 = 0{,}8049$ en valeur absolue.

Question 3.4. Calculer le rapport de réduction r2 du deuxième étage, constitué du couple conique B-D.

1. Le pignon B2, solidaire de l'ensemble B, entraîne le pignon D2.
2. Pour le rapport de réduction en valeur absolue, on divise le nombre de dents du pignon menant par celui du pignon mené.
3. Avec $Z_{B2} = 28$ et $Z_{D2} = 78$, on obtient $r_2 = \frac{\omega_D}{\omega_B} = \frac{28}{78} = 0{,}3590$.

Le sens de rotation est inversé par ce couple conique.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $r_2 = 0{,}3590$ en valeur absolue.

Question 3.5. **Calculer le rapport de réduction r3 du train épicycloïdal constitué des ensembles C-D-F-G, en utilisant le rappel fourni.**

La couronne C est fixe, le planétaire d'entrée est le pignon D3 et la sortie est le porte-satellites G. Dans la relation du sujet, $\frac{\omega_p-\omega_{ps}}{\omega_C-\omega_{ps}} = -\frac{Z_C}{Z_p}$, on pose $\omega_C = 0$, $Z_C = 84$ et $Z_p = Z_{D3} = 22$. En isolant le rapport de sortie, $r_3 = \frac{\omega_G}{\omega_D} = \frac{Z_{D3}}{Z_C+Z_{D3}} = \frac{22}{84+22} = 0{,}2075$. Le porte-satellites tourne dans le même sens que le planétaire.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $r_3 = 0{,}2075$.

Question 3.6. **Calculer le rapport de réduction r4 du troisième étage, constitué du couple conique D-E.**

Élément	Nombre de dents	Rôle
D1	37	Pignon menant
E	16	Roue menée, sortie vers la BTA

Le rapport de vitesse de sortie sur entrée vaut le nombre de dents du pignon menant divisé par celui de la roue menée. Ainsi, $r_4 = \frac{\omega_E}{\omega_D} = \frac{37}{16} = 2{,}3125$. La valeur supérieure à 1 signifie que cet étage augmente la vitesse de rotation, malgré l'appellation « rapport de réduction » dans l'énoncé.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $r_4 = 2{,}3125$.

Question 3.7. **À partir de la vitesse de rotation de sortie du moteur NA = 6 000 tr·min⁻¹, calculer les vitesses de rotation de la sortie rotor principal NG et de la sortie vers la BTA NE.**

1. La sortie vers le rotor principal est le porte-satellites G : $N_G = N_A r_1 r_2 r_3 = 6000 \times \frac{33}{41} \times \frac{28}{78} \times \frac{22}{84+22}$.
2. La sortie vers la BTA s'obtient après le couple D1-E : $N_E = N_A r_1 r_2 r_4 = 6000 \times \frac{33}{41} \times \frac{28}{78} \times \frac{37}{16}$.

Les vitesses calculées sont arrondies au tour par minute. La valeur obtenue pour la BTA est proche des 4010 tr·min⁻¹ retenus dans la question suivante.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $N_G \approx 360$ tr·min⁻¹ ; $N_E \approx 4009$ tr·min⁻¹.

Question 3.8. À partir de la vitesse de rotation de sortie vers la BTA, prise égale à NE = 4 010 tr·min⁻¹, calculer la vitesse de rotation du rotor anti-couple.

Dans la BTA, le pignon menant 3, de 61 dents, entraîne la roue menée 9, de 68 dents. Le rapport de vitesse en valeur absolue est donc $\frac{Z_3}{Z_9}$, d'où $N_{rotor} = N_E \frac{61}{68} = 4010 \times \frac{61}{68} = 3597{,}2$ tr·min⁻¹. Le résultat est arrondi au tour par minute. À noter : DT5 indique une vitesse rotor de 3579 tr·min⁻¹, différente du résultat obtenu avec les valeurs imposées ici.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesse calculée du rotor anti-couple : 3597 tr·min⁻¹.

4. Analyse fonctionnelle de la commande d’incidence du rotor anti-couple

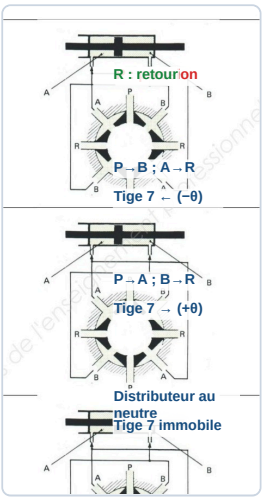
L’étude porte sur le fonctionnement de la servocommande arrière et sur le déplacement du mécanisme qui règle l’incidence des pales du rotor anti-couple. Les schémas décrivent la commande pilote, les distributeurs hydrauliques et les positions limites nécessaires pour établir la course de la tige.

Principe de fonctionnement de la servocommande

Question 4.1. Pour les trois schémas représentant une action du pilote sur le servomoteur, colorier en rouge la pression et en vert le retour, dessiner le distributeur dans sa position et tracer une flèche indiquant le sens de déplacement de la tige 7.

La servocommande est un vérin double effet. Quand le levier 1 monte, le distributeur alimente la chambre B en pression et relie la chambre A au retour : la tige 7 se déplace vers la gauche, dans le sens de θ. Quand le levier descend, la pression alimente A et B retourne au réservoir : la tige se déplace vers la droite, dans le sens de +θ. Au neutre, le distributeur ne commande aucun déplacement et la tige reste immobile.

DR3 complété : pression, retour et sens de déplacement



✓ RÉPONSE À RETENIR

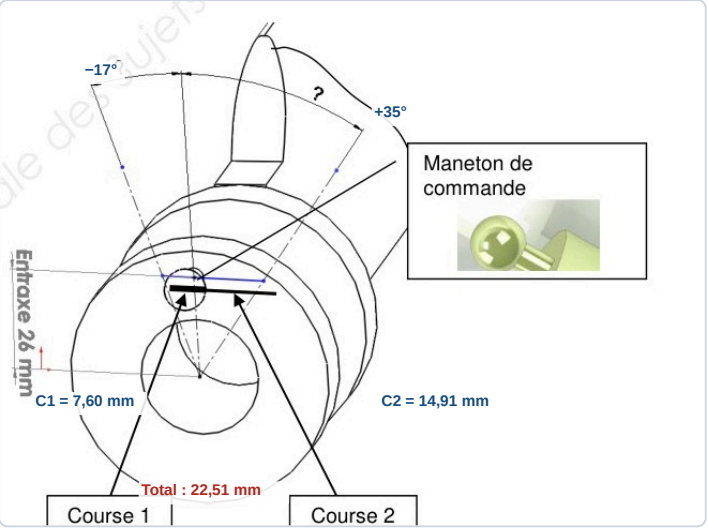
Levier montant : P vers B, A vers R, tige vers la gauche. Levier descendant : P vers A, B vers R, tige vers la droite. Au neutre : tige immobile.

Variation d’incidence des pales

Question 4.2. Relever les valeurs extrêmes de l’angle d’incidence des pales. Calculer les courses C1 et C2 du plateau de commande 5 correspondant à chaque position, puis en déduire la course totale de la servocommande.

Les angles extrêmes du rotor sont −17° et +35°. Avec l’excentration de 26 mm indiquée sur le schéma, le déplacement axial depuis la position neutre vaut l’excentration multipliée par le sinus de l’angle : C1 = 26 sin(17°) = 7,60 mm et C2 = 26 sin(35°) = 14,91 mm. La course totale entre les deux extrêmes est la somme de ces déplacements, soit 22,51 mm.

Courses correspondant aux angles extrêmes



✓ RÉPONSE À RETENIR

Angles : −17° et +35°. C1 = 7,60 mm ; C2 = 14,91 mm ; course totale = 22,51 mm.

Question 4.3. La servocommande pouvant effectuer une course de 30 mm, vérifier si cette course est compatible avec les résultats obtenus à la question 4.2.

La course nécessaire entre les deux angles extrêmes est de 22,51 mm, tandis que la servocommande peut parcourir 30 mm. La course n'est donc pas compatible sans limitation : l'actionneur peut dépasser la plage angulaire autorisée de 7,49 mm. Il faut empêcher ce déplacement supplémentaire afin de préserver les limites de pas des pales.

Comparaison des courses

Course nécessaire	Course servocommande	Dépassement
22,51 mm	30 mm	7,49 mm

La course de l'actionneur dépasse la course entre les angles extrêmes.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Non : 30 mm disponibles dépassent les 22,51 mm requis de 7,49 mm.

Question 4.4. Choisir parmi les propositions fournies celle qui permet de rendre compatible la course de la servocommande avec le déplacement angulaire des pales : détection des angles limites et coupure hydraulique, absence de nécessité de compatibilité, ou installation de butées sur la tige de commande.

Il faut installer des butées sur la tige de commande. Elles limitent mécaniquement le déplacement de la tige aux positions correspondant aux angles extrêmes des pales, malgré la course disponible de 30 mm. La détection des angles et la coupure hydraulique ne sont pas la solution proposée ici ; laisser la course sans limitation ne protégerait pas la commande contre un dépassement.

Choix de la solution

Proposition	Choix
Détecteurs d’angle et coupure hydraulique	Non
Ne pas rendre les courses compatibles	Non
Butées sur la tige de commande	Oui

Les butées limitent mécaniquement la course aux angles extrêmes.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Installer des butées sur la tige de commande.

5. Étude de la modification de la commande de pas du rotor anti-couple

Cette partie analyse les efforts transmis par la servocommande au plateau et aux manetons, puis évalue la pression de contact et la pertinence d'un changement de matériau. Elle examine aussi la tenue mécanique des faisceaux torsibles soumis aux efforts centrifuges, à la traction et aux exigences de sécurité et d'allongement.

Étude statique

Question 5.1. Avec une pression hydraulique de fonctionnement de 60 bars, un diamètre de tige de 17 mm et un diamètre de piston de 36 mm, déterminer l'effort sur la tige 7 en tenant compte des pressions dans les deux chambres.

La pression différentielle utile est de 60 bar, soit 6 N/mm². La tige traverse les pistons : la surface efficace de chaque piston est donc annulaire, $S = \frac{\pi}{4}(36^2 - 17^2)$. Les deux corps de la servocommande agissent ensemble sur la tige 7, d'où $F = 2pS$. On prend la pression de retour comme référence, soit une pression relative nulle. Le calcul utilise les diamètres en millimètres et donne l'effort total transmis par les deux corps.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Effort total sur la tige 7 : $9\,491\ \mathrm{N}$, soit environ $9{,}49\ \mathrm{kN}$.

Question 5.2. En supposant que l'effort de la servocommande est totalement transmis au plateau de commande de pas 5, en déduire l'effort exercé sur chaque maneton de pale. Tenir compte des dix pales.

Le plateau transmet l'effort de la servocommande aux dix manetons, un par pale. Avec une répartition égale, l'effort par maneton est l'effort total calculé à la question 5.1 divisé par 10 : $F_m = 9\,490{,}75/10$. La valeur de 964 N donnée dans l'énoncé pour les questions suivantes est une donnée spécifique à l'étude de contact ; elle ne résulte pas de cet arrondi.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Effort calculé par maneton : environ $949\ \mathrm{N}$. Pour l'étude de contact, l'énoncé stipule séparément $964\ \mathrm{N}$.

Pression de matage

Question 5.3. Avec le premier modèle, où la pression est répartie uniformément sur une surface projetée, calculer la pression de contact P0 au niveau des manetons à partir du tableau fourni et préciser le modèle de surface retenu.

Le maneton est une sphère de diamètre 10 mm, donc de rayon $R = 5$ mm. Le tableau indique, pour une demi-sphère, une surface projetée circulaire de valeur $S_p = \pi R^2$. Avec l'effort presseur donné de 964 N, la pression uniforme vaut $P_0 = F/S_p = 964/(\pi \times 5^2)$. Comme $1\ \mathrm{N/mm^2} = 1\ \mathrm{MPa}$, le résultat s'exprime directement en MPa.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Modèle retenu : surface projetée circulaire de la demi-sphère. Pression de contact : $P_0 = 12{,}27\ \text{MPa}$.

Question 5.4. Les matériaux des pales et du plateau étant identiques et le coefficient de sécurité au matage devant être supérieur à 1,3, utiliser le tableau des pressions admissibles pour justifier la nécessité de changer le matériau.

La liaison sphérique oscille en fonctionnement : la colonne pertinente est donc « ajustage mobile, alternée ». Le X15 Cr Ni 18-2 admet 15 MPa dans cette configuration. Avec la pression du modèle uniforme, le coefficient de sécurité vaut $s = 15/12{,}27 \approx 1{,}22$. Le critère exige une valeur strictement supérieure à 1,3. Le matériau initial ne respecte donc pas le critère de matage et doit être remplacé.

✓ RÉPONSE À RETENIR

X15 Cr Ni 18-2 insuffisant : coefficient de sécurité $s \approx 1{,}22 < 1{,}3$. Le changement de matériau est nécessaire.

Question 5.5. Avec le modèle de Hertz pour une sphère, calculer la pression de contact P0 au niveau des manetons à l'aide de la formule fournie. Indiquer si le changement de matériau est justifié, puis proposer un autre matériau en tenant compte du tableau et du coefficient de sécurité de 1,3.

Le rayon de la sphère est $R = 10/2 = 5$ mm. Avec la formule de Hertz fournie, $P_0 = 3F/(2\pi R^2) = 3 \times 964/(2\pi \times 5^2)$. Cette pression dépasse les 15 MPa admissibles pour le X15 Cr Ni 18-2 en ajustage mobile alterné : son remplacement est justifié. Le carbure de tungstène admet 25 MPa dans cette configuration. Son coefficient de sécurité vaut $25/P_0$, ce qui dépasse 1,3.

✓ RÉPONSE À RETENIR

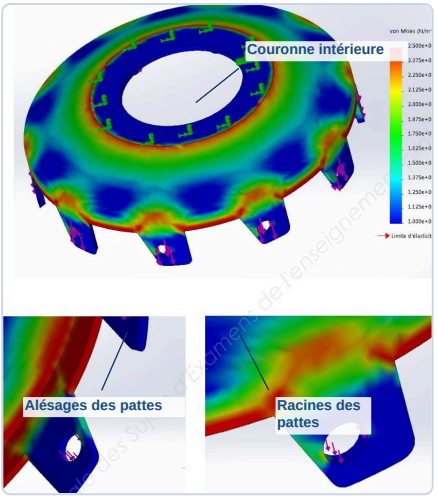
Hertz : $P_0 = 18{,}41\ \text{MPa}$. Carbure de tungstène : $s \approx 1{,}36 > 1{,}3$, matériau adapté.

Sollicitation sur le plateau de commande

Question 5.6. En cas de remplacement des manetons, indiquer par des flèches sur le document réponse les zones du plateau de commande à contrôler, en s'appuyant sur l'étude simulant la répartition des contraintes.

La simulation de contraintes met en évidence des zones à contrôler sur le plateau : le pourtour de l'ouverture centrale, les raccordements entre la couronne et les pattes périphériques, ainsi que les pattes autour de leurs alésages. Ces zones correspondent aux concentrations de contraintes visibles sur le document réponse. Les flèches de l'annotation désignent ces secteurs, en particulier les racines des pattes et le bord de la couronne intérieure.

Zones du plateau à contrôler



✓ RÉPONSE À RETENIR

Contrôler le pourtour de l'ouverture centrale, les raccordements couronne-pattes et les pattes autour de leurs alésages.

Sollicitations radiales sur les faisceaux torsibles

Question 5.7. Avec m = 470 g, R = 200 mm et N = 3 579 tr·min⁻¹, calculer la force centrifuge F = mRω², où ω est la vitesse de rotation en rad·s⁻¹.

La vitesse angulaire s'obtient en convertissant le régime en tours par seconde : $\omega = 2\pi N/60 = 2\pi \times 3579/60$. En unités SI, la masse vaut 0,470 kg et le rayon 0,200 m. La force centrifuge est alors $F = mR\omega^2$. Cette force radiale est l'effort exercé par une pale et repris par son faisceau torsible.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$\omega \approx 374{,}79\ \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$; force centrifuge $F \approx 13\,204\ \text{N}$.

Question 5.8. En considérant le faisceau torsible comme une poutre en aramide de section S et de longueur l, encastrée en A et soumise en B à un effort F de 13 200 N, étudier la traction seule : déterminer la contrainte, calculer le coefficient de sécurité et déterminer l'allongement. Utiliser E = 110 000 MPa, Re = 3 100 MPa, l = 150 mm et S = 10 mm².

En traction seule, la contrainte normale vaut $\sigma = F/S = 13\,200/10$. En N/mm², elle s'exprime directement en MPa. Le coefficient de sécurité est le rapport de la résistance élastique à cette contrainte : $s = R_e/\sigma = 3\,100/\sigma$. L'allongement élastique se calcule avec $\Delta l = Fl/(ES)$, en utilisant les longueurs en millimètres et le module d'élasticité en MPa.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Contrainte : $1\,320\ \text{MPa}$; coefficient de sécurité : $2{,}35$; allongement : $1{,}80\ \text{mm}$.

Question 5.9. Conclure sur la validité des faisceaux en vérifiant que le coefficient de sécurité atteint au minimum 2 et que leur allongement ne dépasse pas 2 mm.

Le coefficient de sécurité calculé est 2,35, supérieur au minimum exigé de 2. L'allongement obtenu est de 1,80 mm, inférieur à la limite de 2 mm fixée pour préserver la liaison pivot. Les deux critères sont donc satisfaits pour la sollicitation en traction étudiée. Les faisceaux torsibles sont valides selon ces exigences.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Faisceaux valides : $s = 2{,}35 \geq 2$ et $\Delta l = 1{,}80\ \text{mm} \leq 2\ \text{mm}$.

6. Étude de la chaîne de surveillance de la vitesse de rotation du rotor

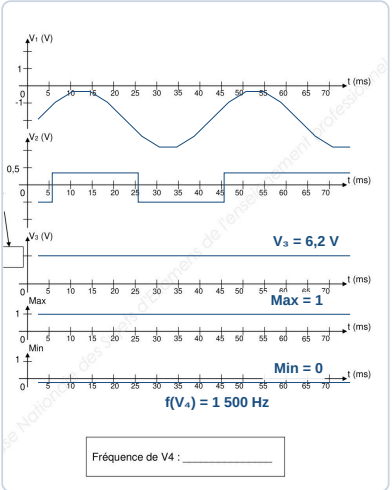
L'étude examine la chaîne de mesure tachymétrique et d'alarme qui surveille la vitesse du rotor, depuis le capteur jusqu'aux indicateurs et avertisseurs. Les documents décrivent la conversion fréquence-tension, les seuils de comparaison, l'oscillateur et le schéma électrique des équipements.

Traitement du signal tachymétrique

Question 6.1. Compléter le document réponse pour une fréquence de rotation du rotor de 390 tr·min⁻¹ et justifier la démarche suivie.

À 390 tr·min⁻¹, la fréquence vaut **f = 4 × 390 / 60 = 26 Hz**, donc la période est 38,46 ms. Le capteur fournit V_1 sinusoïdal d'amplitude 2 V. La mise en forme produit V_2 rectangulaire entre −1 et +1 V, de même fréquence. La conversion donne V_3 = 1 + 0,2 × 26 = 6,2 V. Le comparateur active Max, mais pas Min; l'oscillateur délivre alors un signal V_4 de 1 500 Hz.

DR5 complété pour N_r = 390 tr·min⁻¹



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> f = 26 Hz ; T = 38,46 ms ; V_3 = 6,2 V ; Max = 1 ; Min = 0 ; f(V_4) = 1 500 Hz.

Vérification de la chaîne de détection

Question 6.2. La fréquence de rotation du rotor devant être comprise entre 345 et 380 tr·min⁻¹, préciser si le fonctionnement de la chaîne de détection est correct.

Le seuil bas V_3 = 5,6 V correspond à f = 23 Hz, soit 345 tr·min⁻¹. Le seuil haut V_3 = 6,1 V correspond à f = 25,5 Hz, soit 382,5 tr·min⁻¹. Entre 345 et 380 tr·min⁻¹, la chaîne ne déclenche donc aucune alarme. Toutefois, la survitesse n'est signalée qu'au-dessus de 382,5 tr·min⁻¹ : à 380 tr·min⁻¹, la limite haute est déjà dépassée sans alarme. La détection n'est donc pas correctement réglée.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Détection incorrecte : l'alarme de survitesse se déclenche au-dessus de 382,5 tr·min⁻¹, au lieu de 380 tr·min⁻¹.

Schéma électrique

Question 6.3. Donner le nom et la fonction des composants C et D du panneau 4α.

Sur le panneau 4α, C et D sont les deux disjoncteurs des alimentations 28 V gauche et 28 V droite. Ils protègent les lignes contre les surintensités et peuvent interrompre l'alimentation lorsqu'un défaut survient. Le schéma les montre en amont des circuits de surveillance, chacun associé à sa source d'alimentation. Ils assurent donc la protection électrique et la coupure de leur circuit respectif.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> C et D sont les disjoncteurs des alimentations 28 V gauche et droite : ils protègent et coupent leurs circuits respectifs.

Question 6.4. Préciser ce que permettent les composants repérés D du boîtier 37α.

Les composants D du boîtier 37α sont des diodes. Elles conduisent le courant dans le sens prévu et bloquent son retour vers l'autre alimentation. Elles permettent ainsi de raccorder les alimentations disponibles sans qu'une source ne réalimente l'autre. Cette isolation évite les retours de courant entre les circuits d'alimentation.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les diodes isolent les alimentations et empêchent le courant de revenir d'une source vers l'autre.

Question 6.5. Préciser la position 1 ou 2 de l'interrupteur du panneau 12 permettant d'entendre les alarmes, puis indiquer la fonction du voyant HORN.

L'interrupteur du panneau 12 doit être placé en position **1** pour permettre l'audibilité des alarmes. Lorsqu'il est alimenté, le haut-parleur 20E convertit le signal électrique en signal sonore et transmet également l'alarme au téléphone de bord. Le voyant HORN du panneau 7α signale l'activation de l'avertisseur sonore, afin d'indiquer à l'équipage que l'alarme sonore est commandée.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Position 1. Le voyant HORN indique que l'avertisseur sonore est activé.

Question 6.6. Préciser le type de câble qui véhicule l'information entre les boîtiers 15 et 11, puis justifier l'utilisation de ce type de câble.

L'information entre les boîtiers 15 et 11 circule sur la paire de conducteurs blindée repérée 1EU1. Le capteur fournit un signal alternatif dont la fréquence représente la vitesse de rotation. Le blindage limite les perturbations électromagnétiques susceptibles de parasiter ce signal pendant son acheminement vers le calculateur. Les deux conducteurs véhiculent le signal, tandis que le blindage contribue à préserver sa qualité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Une paire de conducteurs blindée (1EU1) transporte le signal et le protège des perturbations électromagnétiques.

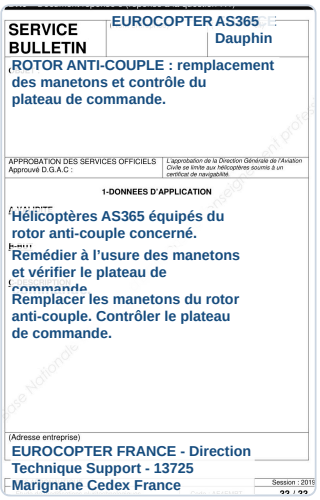
7. Rédaction d’un service bulletin

L’étude technique conclut à la nécessité de remplacer les manetons du rotor anti-couple et de contrôler certaines zones du plateau de commande. Le candidat doit renseigner la première page d’un service bulletin en s’appuyant sur un exemple concernant le même aéronef.

Question 7.1. Compléter le document réponse de service bulletin à partir de l’exemple fourni pour le même aéronef.

Compléter le bulletin au nom d’Eurocopter France pour l’AS365 Dauphin. Indiquer comme objet le remplacement des manetons du rotor anti-couple et le contrôle du plateau de commande. La validité peut être formulée pour les appareils AS365 équipés du rotor concerné. Décrire ces deux opérations sans inventer de référence de bulletin, de date d’application ou de zones précises de contrôle non indiquées. Laisser l’approbation officielle à l’autorité compétente et reprendre l’adresse figurant sur le bulletin exemple.

DR6 complété : projet de service bulletin



SERVICE BULLETIN

EUROCOPTER AS365 Dauphin

ROTOR ANTI-COUPLE : remplacement des manetons et contrôle du plateau de commande.

APPROBATION DES SERVICES OFFICIELS
Approuvé D.G.A.C. :

L’approbation de la Direction Générale de l’Aviation Civile se limite aux hélicoptères soumis à un certificat de navigabilité.

1-DONNEES D’APPLICATION

Hélicoptères AS365 équipés du rotor anti-couple concerné.

Remédier à l’usure des manetons et vérifier le plateau de commande.

Remplacer les manetons du rotor anti-couple. Contrôler le plateau de commande.

(Adresse entreprise)
EUROCOPTER FRANCE - Direction Technique Support - 13725
Marignane Cedex France

Session : 2015

✓ RÉPONSE À RETENIR

AS365 : remplacer les manetons du rotor anti-couple et contrôler le plateau de commande.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2019)

Bilan de l'épreuve : L'épreuve E4, sous-épreuve U41 du BTS Aéronautique, session 2019, porte le code AE4EMPT et dure 6 heures, coefficient 4. Autour du Dauphin AS365 et de son rotor anti-couple Fenestron, elle évalue l'analyse de chaîne d'énergie, la thermodynamique, la cinématique, la commande hydraulique, la résistance des matériaux, la surveillance tachymétrique et la rédaction d'un service bulletin.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le rotor anti-couple produit une poussée qui équilibre le couple de réaction du rotor principal et permet le contrôle en lacet.
- Pour un gaz parfait, $P = \rho r T$; les relations adiabatiques relient pression et température pendant la compression.
- La force centrifuge d'une masse en rotation s'écrit $F = mR\omega^2$, avec ω exprimée en $rad \cdot s^{-1}$.
- Dans la chaîne tachymétrique, la fréquence du signal capteur dépend de NR, puis la conversion fournit V3 = 1 + 0,2f.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir les unités avant les calculs : température en kelvins, pression en pascals, masse en kilogrammes et vitesse angulaire en $rad \cdot s^{-1}$.
- Pour chaque rapport de transmission, identifier l'entrée, la sortie, les engrenages concernés et le sens de rotation utilisé.
- Dans les calculs de pression de contact, distinguer la surface projetée du modèle de Hertz et appliquer le critère de sécurité demandé.
- Reporter les couleurs, flèches et repères sur les documents réponses indiqués, puis rendre les documents DR1 à DR6 avec la copie.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment passer de la vitesse de rotation N à la vitesse angulaire utilisée pour la force centrifuge ?

Convertissez d'abord N de $tr \cdot min^{-1}$ en $tr \cdot s^{-1}$ en divisant par 60, puis calculez $\omega = 2\pi N$. La force centrifuge s'obtient ensuite avec $F = mR\omega^2$, en unités SI.

Q : Comment exploiter les seuils de la chaîne de surveillance tachymétrique ?

Calculez la fréquence du signal capteur à partir de NR, puis la tension V3 avec la relation de conversion. Comparez V3 aux seuils du tableau pour déterminer les états Min et Max, puis l'alarme associée.

Q : Le sujet indique-t-il un barème par partie et comment organiser les six heures ?

Aucun barème chiffré par partie ou question n'est imprimé dans le sujet. Les sept parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent : répartissez le temps selon votre maîtrise et gardez du temps pour vérifier.

Q : Que doit-on rendre avec la copie et quels critères techniques faut-il respecter ?

Les documents réponses DR1 à DR6 sont à rendre avec les copies, même vierges. Soignez les repérages, les unités, les justifications et les schémas demandés, et appuyez les choix de matériaux sur les données et coefficients de sécurité fournis.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btsaeronautique.fr/assets/annales/bts-aeronautique/E4.1 - Industrialisation de la production ou de la maintenance des aéronefs/2019/BTS Aéronautique - E4.1 - Industrialisation de la production ou de la maintenance des aéronefs - Session 2019 - 1-Sujet.pdf

Ressources BTS Aéronautique : 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.