**BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**AÉRONAUTIQUE**

**Épreuve E4 – sous épreuve U41**

**ÉTUDE DE MODIFICATIONS PLURITECHNOLOGIQUES**

**Session 2022**

Coefficient 4 – Durée 6 heures

L’usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L’usage de la calculatrice sans mémoire, type « collège » est autorisé.  
Le dictionnaire anglais/français, spécialisé aéronautique ou pas est autorisé.

|  |
| --- |
| *Battery relocation* |

**Corrigé**

***Travail demandé***

**PARTIE 1- Analyse fonctionnelle, impacts sur le vol**

**Diagramme des inter-acteurs**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.1 à 1.4 | **DR1**. |
| DR1 |

**Impacts du déplacement de la batterie dans le domaine du vol**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.5 | **Décrire** le phénomène physique qui se produit au niveau du rotor principal, lorsque le pilote actionne le manche cyclique vers l'avant. En **déduire** les conséquences autour de l'axe de roulis.  Pales avançantes plus rapides que pales reculantes.  Basculement autour de l'axe de roulis (longitudinal). |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.6 | **Préciser** si le déplacement de la batterie est aggravant ou bénéfique par rapport au phénomène précédent. **Justifier** votre réponse.  Aggravant car on enlève de la masse à droite (Plus de portance à droite). |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.7 | **Préciser** l’intérêt de l'élément structurel nommé "plan fixe horizontal" (horizontal stabilizer) sur le vol d'un hélicoptère. **Justifier** de l’orientation du profil de cet élément.  Améliorer la stabilité horizontale (tangage). Profil déporteur pour obtenir un effort orienté vers le bas. |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.8 | **Préciser** si le déplacement de la batterie est aggravant ou bénéfique par rapport à l'axe de tangage. **Justifier** votre réponse.  Déplacement aggravant, car provoquant un cabrage de l’aéronef. |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.9 | **Expliquer** si le déplacement de la batterie nécessitera l’ajout ou le retrait de lest en bout de queue. **Justifier** votre réponse.  Retrait de lest en poutre de queue pour compenser le cabrage. |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 1.10 | **Donner** au moins deux avantages et deux inconvénients concernant le déplacement de la batterie dans la poutre de queue.  Avantages :  Diminution du lest (donc moins de masse inutile embarquée) ;  Plus de place en cargo RH ;  Augmentation de la capacité batterie ;  Accessibilité de la batterie…  Inconvénients:  Modification du centrage ;  Coût, immobilisation de l’appareil au sol ;  Sollicitation de l'articulation de battement ou de la flexion des pales… |
| Feuille de copie |

**PARTIE 2 – Comparaison des Technologies de batterie utilisables**

**Caractéristiques des batteries**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.1 à 2.3 | **DR2** |
| DT2, DT3, DR2 |

**Satisfaire aux exigences du mode secours**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.4 | **Définir** pour ce type d’appareil, différentes situations où la batterie serait la seule source d’alimentation électrique.  **Autorotation ;**  **Perte de la génératrice en vol ;**  **Alimentation de la batterie au sol avec groupe de parc débranché et géné disjonctée.** |
| DT5  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.5 | **Donner** l'altitude maximale à laquelle peut voler cet appareil en calage QNH et en conditions ISA. Pour garantir les conditions de l’extrait normatif fourni, on considérera cette altitude pour le calcul de l’autonomie de la batterie.  **6100 m** |
| DT1  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.6 | **Calculer** la durée maximale d'une descente en autorotation pour cet hélicoptère.  **6100 m = 20013 ft à 450 ft·min-1 🡺 2668,4 s** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.7 | En considérant, les trois types de batteries (Initiale, Concorde et Saft), **calculer** l'autonomie de chaque batterie, en secondes, dans les conditions du mode secours.  **Charge dispo 71,5% sous 20 A.**  **SAFT 151 : 0,53625h = 1930,5s**  **SAFT 2376-1 : 0,7865h = 2831,4s**  **Concorde RG – 390E : 1,001h =3603s** |
| DT3  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.8  DT4  Feuille de copie | **Désigner** la batterie qui permet de satisfaire aux conditions de mode secours tout en présentant les meilleures garanties de sécurité d’utilisation. **Justifier** votre réponse en vous référent à l’encadré « Tailboom » du DT4.  **SAFT 2376-1 peut satisfaire au mode secours, elle possède une sécurité thermique de plus, accessoirement c’est la moins lourde.** |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.9 | Pour une des batteries le constructeur donne deux valeurs :   * Lower nut torque value * Upper nut torque value   **Donner** la signification de ces deux valeurs.  **Couple de serrage minimum et maximum des cosses batterie.** |
| DT3  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.10 | **Expliquer** pourquoi le non-respect de « lower nut torque value » pourrait impacter l’autonomie exigée par le mode secours.  **Si le couple de serrage minimum n’est pas respecté, la résistance de contact augmente, une partie de l’énergie disponible va être dissipée par effet joule et l’autonomie sera affectée (voire pire).** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.11 | **Donner,** parmi les quatre spécifications (CS23, CS25, CS27, CS29), celle qui correspond à l’hélicoptère étudié. **Justifier** ce choix.  **CS27 Small rotorcraft monoturbine, masse < 3175 kg et passagers < 9.** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 2.12 | **Préciser** l’organisme émetteur de ces spécifications de conception.  **EASA** |
| Feuille de copie |

**PARTIE 3 – Modification du câblage**

**Impact de l'allongement du fil d'alimentation**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.1 | **Déterminer** la longueur totale, en mètre, des feeders du circuit d’alimentation DC de la barre bus PP1.  **BATPWR-1D2+ BATPWR-1C2+ BATPWR-1B2+ BATPWR-1A2+ BATPWR-2B2+ BATPWR-2A2 = 11 m** |
| DT4  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.2 | **Déterminer** la section en mm2 des câbles utilisés, sachant que la jauge utilisée est AWG 2.  **🡺** |
| DT4  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.3 | La référence du câble utilisé étant donnée sur le DT4**, déterminer** la masse de métal ajoutée par ce câblage (hors isolant et fixation).  **BMS 13-35 est un câble aluminium.**  **0,994 kg** |
| DT4  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.4 | **Donner**, en exploitant le document DT4 et la figure ci-dessous, les résistances électriques rl1 et rl2 équivalentes au câblage.  **,** rl2: résistance pour les 3 mètres de câbles  **et** |
| DT4  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.5 | **Déterminer**, l'intensité limite provoquant cette chute de tension de ligne.  **🡺 IL < 93,47A** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.6 | **Expliquer** ce qu'il se passera dans ce tronçon de câblage sous une intensité de 150 A pendant une durée courte correspondant à un démarrage moteur.  **Justifier** de la présence de l’élément F1 temporisé dans le câblage.  **Lors d’un démarrage moteur une intensité importante de faible durée fera chuter la tension de ligne. Le fusible étant temporisé et de 300 A, il ne réagira pas.** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 3.7 | **Conclure** sur la viabilité de la modification du câblage électrique dans le but d'aboutir à la certification. **OK** |
| Feuille de copie |

**PARTIE 4 – Masse et centrage**

**Côtes importantes**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.1 | **Donner** le chapitre de la norme ATA 100 dont on a extrait les documents dimensionnels.  **ATA 06** |
| DT1  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.2 | **Donner** la position sur l'axe longitudinal, noté **Xi**, du centre du rotor par rapport à la référence zéro (FS : fuselage station).  **DR3** |
| DT1, DR3 |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.3 | À partir des données dimensionnelles fournies, **déterminer** l'écart, en mètre, entre le nez de l'appareil et la référence zéro (FS), noté **xnez**. **Justifier** par un croquis.  **xnez = 65 mm** |
| DT1  Feuille de copie |

**Détermination des coordonnées du CG (centre de gravité) avec batterie en position initiale**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.4  DR3 | **Déterminer** les moments (**Pi.xi**) et (**Pi.zi**) en complétant le tableau pour effectuer un bilan de l’existant avant relocalisation de la batterie. |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.5 | Après avoir effectué les totaux des différentes colonnes**, déterminer** les coordonnées du centre de gravité **xG** et **zG** par rapport à la référence zéro (FS) dans le plan *(o, x, z).*  **xG = 3,4 m**  **zG = -1,212 m** |
| DR3  Feuille de copie |

**Influence du déplacement de la batterie**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.6 | **Déterminer** la position en mètres, suivant l’axe x, du CG de la batterie par rapport à FS. La batterie se trouve à la moyenne des stations indiquées pour la découpe du revêtement de la poutre de queue.  **xbatterie = 3,4 + 2,714 + (2,295+1,825)/2 = 8,174 m** |
| DT1, DT6  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.7  DT2, DT3, DR3 | **Compléter** le tableau permettant d'évaluer les changements liés aux déplacements des éléments concernés (*le bras de levier des supports est identique à celui des batteries*).  **DR3** |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.8 | **Déterminer** la nouvelle masse et le nouveau moment**, compléter** le tableau.  **Déterminer** la nouvelle position du CG sur l'axe x (**xGfinal**) par rapport à FS.  **XGfinal = 3,505 m** |
| DR3  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.9 | **Déterminer** la variation relative de la position longitudinale du CG après le déplacement de la batterie.  **(3,505-3,4)/3,4\*100 = 3%** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.10 | **Donner** la nature de la modification (majeure ou mineure). **Justifier** votre réponse en exploitant les résultats obtenusdans les questions précédentes **Majeure**  **Variation significative de la position du CG.** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.11 | **Conclure** sur la nécessité de peser ou non l'aéronef.  **Pesée obligatoire et renseignement de la fiche de pesée.**  **(**Dépassement de + de 0,5% de la position du CG ou de la masse MLW de l’aéronef**).** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 4.12 | **Compléter** les champs repérés 1, 2, 3 et 4 du placard.Les mentions 3 et 4 seront approximatives mais cohérentes entre elles.  **DR4** |
| DR4 |

‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬‬**PARTIE 5 – Validation de la fixation de la batterie**

**Validation de l’«U-plate**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.1 | **Donner** la masse , en Kg, de la batterie *Saft 2376-1.*  **M = 25,5 kg** |
| DT3  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.2 | **Calculer** le poids **Pch** de la batterie à prendre en compte en fonction du facteur de charge en cas de chute de l’appareil.  **Pch =M· fch = 1753 N** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.3 | **Effectuer** le bilan des actions mécaniques extérieures (B.A.M.E.) exercé sur l’U-plate (2).  **DR5** |
| DR5 |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.4 | **Appliquer** le principe fondamental de la statique (PFS) au point A, et écrire les équations vectorielles des théorèmes de la résultante statique (TRS) et du moment statique (TMS).  TRS :  TMS :  En **déduire** leséquations de projection sur l’axe y du TRS et sur l’axe z du TMS.  TRS /y : -  TMS  /z·: - \* AB + \* AM = 0  **Déterminer** la valeur des actions mécaniques aux points **A** et **B.**  , sens  **DR5** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.5 | **Déterminer** le torseur de cohésion dans la partie **EA** et **AC** de l’ «U-plate».  **Nul entre E et A, entre A et C voir DR5** |
| DT9, DR5  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.6 | En **déduire** le type de sollicitation exercé dans cette partie AC.  **Voir DR5** |
| DR5 |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.7 | **Calculer** le moment de flexion maximum **Mfzmaxi**.  **Mfzmaxi = 8 000 N·mm à x = 8 mm** |
| DT9  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.8 | **Calculer** la valeur de la contrainte maximum ***σ*max**.  ***σ*max = 8000\*(5,1-1,63)/117,3 = 237 MPa** |
| DT9  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.9 | **Donner** la formule littérale de la déformation maximale ***f*max** au point Een fonction des données de l’ «U-Plate».  ***f*max = -**  **Calculer** la valeur de la déformation maximum ***f*max** au point E.  ***f*max = - 0,068 mm** |
| DT9  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.10 | **Entourer** la zone la plus contrainte et la zone de déformation maximum. **Donner** la valeur de la contrainte maxi en MPa et de la déformation maximum en mm.  **DR5** |
| DR5 |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.11 | La réglementation impose une valeur minimum du coefficient de sécurité **cs** à utiliser, **donner** cette valeur.  **cs = 1,5** |
| DT8  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.12 | **Donner** la liste (numéros) des «U-Plate» correspondant à ce critère.  **1 ; 4 ; 6 ; 7 ; 11 ; 12 ; 14** |
| DT10  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.13 | **Choisir** dans cette liste l’«U-Plate» à préconiser, **justifier** votre choix.  **11, U-Plate d’épaisseur 2,4 mm en EN AW 2014 T6 ;**  **masse minimum avec une déformation faible.** |
| Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.14 | **Donner** la composition du matériau choisi.  **Alliage d’Aluminium avec 4% de Cuivre, du Silicium et du Manganèse.** |
| Feuille de copie |

**Validation du système de fixation de l’«U-plate»**

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.15 | **Vérifier**, par le calcul, que la valeur de l’effort de serrage est bien compatible avec la valeur donnée précédemment.  **F = > 1000 N donné** |
| DT11  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.16 | **Déterminer** la contrainte de traction maximum dans les tiges de fixation (*Clamp Assembly*) sachant que le filetage provoque une concentration de contrainte **Kt = 2**.  Le calcul sera effectué au niveau de la partie filetée (**d3**) de la tige.  **σ = 2·1000 / 17,9 = 111,7 MPa** |
| DT9, DT12, DT13  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.17 | En **déduire** la valeur minimum de la limite élastique **Re** du matériau des tiges de fixation.  **Re ≥ 167,6 MPa** |
| DT9  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.18 | **Identifier** le diamètre des rivets donné.  **diamètre du rivet de 3,2 mm** |
| DT7  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.19 | Sachant que les rivets sont en alliage d’aluminium**, déterminer** la valeur du pas moyen **Pmoy**, **justifier** votre réponse.  **Pmoy = 25 mm car utilisation courante (pas en zone étanche)** |
| DT14  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.20 | **Retrouver** la valeur de la pince **c**.  **c = 7 mm** |
| DT14  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.21 | **Déterminer** la longueur **L** du «Fastening Hook» en fonction des valeurs trouvées précédemment.  **L = 114 mm** |
| DT14  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.22 | **Retrouver** la valeur du diamètre de perçage **dp** des tôles.  **dp = 3,3 mm** |
| DT14  Feuille de copie |

|  |  |
| --- | --- |
| Question 5.23 | **Représenter** le «Fastening Hook» en fonction des valeurs trouvées précédemment.  **Reporter** sur le dessin 2D les cotes correspondantes.  **DR6** |
| DR6 |

**DR1 : –** Document réponse 1 Analyse fonctionnelle, impacts sur le vol.

**Réponse à la question 1.1 :**

**FC3**

**FC2**

**FC1**

**FC5**

**FC4**

Structure

Batterie

(relocalisation, modification)

Equipages

Passagers

Hélicoptère

Domaine du vol

Energie

Personnel au sol

Environnement extérieur

Réglementation

**FP2**

**FP1**

**Réponse à la question 1.2 :**

|  |  |
| --- | --- |
| **FC4 :** | **Etre facilement accessible pour le personnel au sol (maintenance)** |
| **FC5 :** | **Etre conforme à la réglementation** |

**Réponse à la question 1.3 :**

* **Impossible de faire une modification sur l’aéronef et de la vendre sans la détention du STC**
* **Eurocopter Canada Limited**

**Réponse à la question 1.4 :**

**Part 21 J.**

**DR2 : –** Document réponse 2 Comparaison des technologies de batterie.

**Réponse à la question 2.1 :**

**Précisez les unités lorsque cela est possible!**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ***Saft***  ***2376-1*** | ***Concorde***  ***RG – 390E*** | ***Batterie initiale***  ***151 CH1*** |
| *Tension Nominale* | ***24V (Volt)*** | ***24V (Volt)*** | ***24V*** |
| *Technologie (li-ion, Ni-MH etc…)* | **Cd-Ni** | **Pb** | **Cd-Ni** |
| *Capacité* | **22Ah** | **28Ah** | **15Ah** |
| *Masse* | **25,5 kg** | **28,1 kg** | **15 kg** |

**Réponse à la question 2.2 :**

**dm 2376-1 = (24x22)/25,5 = 20,7 Wh·kg-1**

**dm RG-390E = (24x28)/28,1 = 23,9 Wh·kg-1**

**dm 151 CH1 = (24x15)/15 = 24 Wh·kg-1**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ***Saft***  ***2376-1*** | ***Concorde***  ***RG – 390E*** | ***Batterie initiale***  ***151 CH1*** |
| *Densité massique* | **20,7 Wh·kg-1** | **23,9 Wh·kg-1** | **24 Wh·kg-1** |

**Réponse à la question 2.3 :**

t

t

**73,8°C**

**68,2°C**

ON

OFF

Température de la batterie en °C

Contact du thermostat

**DR3 :** Document réponse 3 Masse et centrage.

**Réponse aux questions 4.2, 4.4 et 4.5 :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Bilan de l'hélicoptère considéré avant transformation "relocation battery"** | | | | | |
| **Description** | **Mass (kg)** | **Arm (m)** | | **Moment (N.m)** | |
| **Xi** | **Zi** | **Pi.Xi** | **Pi.Zi** |
| Voilure | 189,4 | **3,40** | -0,22 | **6317** | **-409** |
| Fuselage | 208.9 | 3,74 | -1,742 | **7664** | -3570 |
| Empennage | 14,9 | 8,8 | -1,21 | 1286 | **-177** |
| GTM | 410,7 | 3,9 | -0,75 | **15713** | -3022 |
| Autres Equipements | 346,2 | 2,36 | -1,98 | 8027 | -6735 |
| **TOTAL position initiale:** | **1170,1** |  |  | **39008** | **-13913** |

**XG·= 3,40 mm ZG·= -1,212 mm**

**Réponse à la question 4.6 et 4.7 :**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Bilan de la transformation "relocation battery"** | | | |
| **Description** | **Mass (kg)** | **Arm (m)** | **Moment (N.m)** |
| **Xi** | **Pi.Xi** |
| Battery Saft 151 CH1 | **-15** | **3,85** | **-567** |
| Initial tray | **-2** | **3,85** | **-76** |
| Initial wiring | -0,6 | 4,1 | **-24** |
| Battery Saft 2376-1 | 25,5 | **8,174** | **2045** |
| Tray for 2376-1 | **1,6** | **8,174** | **128** |
| Wiring for 2376-1 | +2,5 | 5,8 | **142** |
| **Différence après relocation :** | **+12** |  | **1649** |

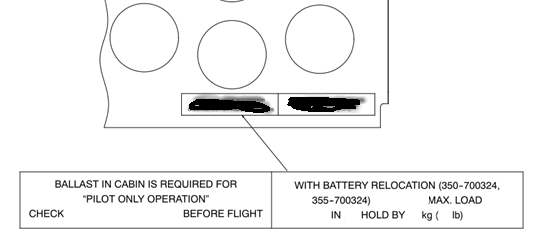
**Réponse à la question 4.8 :**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Total après relocation :** | **1182,1** |  | **40657** |

**XGfinal = 3,505 mm**

**DR4 :** Document réponse 4 Masse et centrage.

**Réponse à la question 4.12 :**

****

**RH**

3

2

4

1

Fraction du cockpit de l’hélicoptère

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | **Weight and Balance** |
| 2 | **increase** |
| 4 | **17** |
| 5 | **37** |

**DR5 :** Document réponse 5 Fixation de la batterie.

**Réponse à la question 5.3 :**

On isole l’U-Plate (2) :

B.A.M.E.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Actions extérieures** | **Point d'application** | **Résultante** | **Direction** | **Sens** | **Intensité [N]** |
| Batterie / 2 | M |  |  |  | **1751** |
| **1/2** | **A** |  |  | **?** | **?** |
| **3/2** | **B** |  |  | **?** | **?** |

**Réponse à la question 5.4 :**

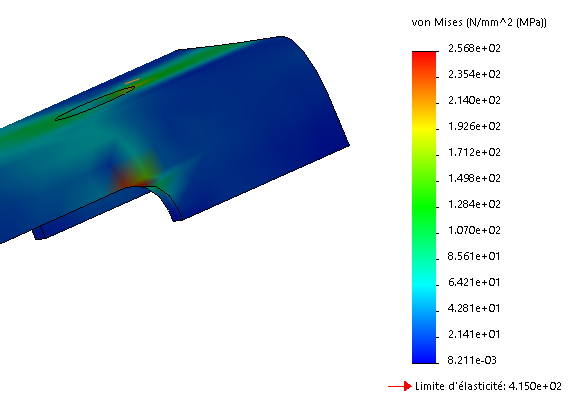
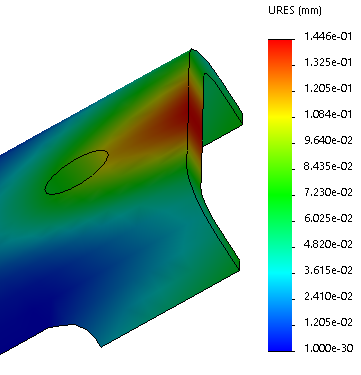
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Actions extérieures** | **Point d'application** | **Résultante** | **Direction** | **Sens** | **Intensité [N]** |
| **1/2** | A |  |  |  | **876,5** |
| **3/2** | B |  |  |  | **876,5** |

**Réponse à la question 5.5 : Réponse à la question 5.6 :**

 Sollicitation : **Flexion plane / z**

**Réponse à la question 5.10 :**

Contrainte : Déformation :

***σ*maxi** = **256,8 MPa** **fmax** = **0,145 mm**

**DR6 : -** Document réponse 6 Fixation de la batterie.

**Réponse à la question 5.23 :**

Représentation 2D à l’échelle 1:1 avec la cotation demandée.

