

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

INGÉNIERIE, INNOVATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Coefficient 16

Durée : 20 minutes -1 heure de préparation

Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée

Constitution du sujet :

- **Dossier de Présentation**..... Page 2
- **Dossier de Travail Demandé**..... Pages 3 à 4
 - Partie relative aux enseignements communs Pages 3 à 4
 - Partie relative à l'enseignement spécifique..... Page 4
- **Dossier Technique et Ressource** Pages 5 à 9

Rappel du règlement de l'épreuve

L'épreuve s'appuie sur une étude de cas issue d'un dossier fourni au candidat par l'examineur et présentant un produit pluritechnologique.

Un questionnaire est remis au candidat avec le dossier en début de la préparation de l'épreuve. Il permet de résoudre une problématique technologique (sans entraîner le développement de calculs mathématiques importants) afin d'évaluer des compétences et connaissances associées, de la partie relative aux enseignements communs et propres à l'enseignement spécifique choisi par le candidat lors de son inscription.

Pendant l'interrogation, le candidat dispose de 10 minutes pour exposer les conclusions de sa préparation avant de répondre aux questions de l'examineur, relatives à la résolution du problème posé.

| | | |
|--|-------------------|--------------|
| Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D | | Session 2023 |
| Ingénierie, innovation et développement durable - oral de contrôle | Code : 2023-22-EE | Page 1 / 9 |

Avion électrique à décollage et atterrissage vertical

Présentation

Face au défi que représente la mobilité urbaine et avec la nécessité d'améliorer l'accessibilité des transports, de nombreux efforts sont faits pour développer des véhicules adaptés à tous et capables de se déplacer rapidement en limitant le recours aux énergies non renouvelables. Parmi ces véhicules, se trouvent ceux appelés les Avions électriques à Décollage et Atterrissage Vertical (ADAV électrique ou eVTOL en anglais).

Des prototypes existent proposant certains avantages :

- réduction de la pollution sonore grâce à l'utilisation de moteurs électriques et d'hélices de petites dimensions ;
- amélioration de la sécurité des passagers par l'utilisation de couples moteurs coaxiaux contrôlés indépendamment et d'un système autonome de gestion de vol ;
- réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- réduction des coûts d'exploitation en utilisant l'énergie électrique et en réduisant la consommation de celle-ci ;
- réduction des coûts de production et de maintenance.

La société e-hang est un des acteurs principaux dans le domaine des avions à décollage et atterrissage vertical. Elle propose différents modèles d'ADAV dont le « e-hang 216 » qui sera étudié dans ce sujet dans le cas d'utilisation par les sapeurs-pompiers.



L'e-hang 216 propose deux modes de fonctionnement, avec un pilote aux commandes ou en autonomie totale avec surveillance depuis un centre de contrôle (voir figure 1).



Figure 1 : e-hang sapeur-pompier et son centre de contrôle

Problématique

L'objectif de cette étude est de valider certaines solutions techniques de la mobilité volante et de décrire l'impact des charges transportées sur l'autonomie en vol.

| | |
|--|-------------------|
| Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D | Session 2023 |
| Ingénierie, innovation et développement durable - oral de contrôle | Code : 2023-22-EE |
| | Page 2 / 9 |

DOSSIER DE TRAVAIL DEMANDÉ

Partie relative aux enseignements communs

Cette partie concerne l'ADAV électrique chargé au maximum de sa capacité (masse du véhicule + charge maximale).

Question 1 **Classer** les avantages de l'ADAV électrique selon les piliers du développement durable.

Question 2 **Calculer** la force de sustentation nécessaire créée par les hélices en phase de vol stationnaire à charge maximale.

DTR1

DTR2

On donne : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Question 3 **Calculer** la surface balayée par chacune des hélices du système de propulsion.

DTR1

DTR2

L'étude se fait dans le cas le plus désavantageux : durant un vol, un moteur de chaque couple tombe en panne ou est endommagé. L'e-hang 216 fonctionne donc avec seulement 8 moteurs.

La puissance P d'un moteur nécessaire pour un vol stationnaire se calcule par la formule :

$$P = \sqrt{\frac{T}{2 \rho S} \left(\frac{T}{N}\right)^3}$$

avec

- P : puissance induite en W ;
- T : force de sustentation en N, on prendra $T = 4\,800 \text{ N}$;
- N : nombre de moteurs en fonctionnement ;
- ρ : masse volumique de l'air, on prendra $\rho = 1,225 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- S : surface balayée par une hélice en m^2 , on prendra $S = 2 \text{ m}^2$.

Question 4 **Calculer** la puissance requise de chaque moteur pour maintenir l'appareil en vol stationnaire et **conclure** quant aux moteurs choisis.

DTR2

DTR3

Durant une mission de sauvetage en vol en autonomie, l'e-hang 216 transmet un flux vidéo au centre de contrôle par le biais du réseau 4G.

Question 5 **Extraire** du diagramme des exigences la valeur du débit de transmission vidéo de l'e-hang 216. **Conclure** quant à l'utilisation du réseau 4G pour la transmission.

DTR4

DTR5

| | | |
|--|-------------------|--------------|
| Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D | | Session 2023 |
| Ingénierie, innovation et développement durable - oral de contrôle | Code : 2023-22-EE | Page 3 / 9 |

Partie relative à l'enseignement spécifique

Cette partie aborde l'impact d'une charge supplémentaire sur l'autonomie en vol d'un véhicule volant, avec comme exemple le cas du transport d'une personne accidentée.

Question 6 **Indiquer** les blocs (A, B ou C) du modèle simulant le fonctionnement d'un des moteurs du véhicule dans lesquels placer les expressions littérales ci-dessous

DTR6

| | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| $\omega = \frac{2\pi N}{60}$ | $S = \frac{\pi D^2}{4}$ | $C = \frac{P}{\omega}$ |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|

Question 7 À partir des résultats de simulation obtenus pour les puissances (figure 8), **indiquer** les valeurs à reporter dans les cases numérotées 1 et 2 du tableau 3. **Calculer** la valeur du rendement de la chaîne de puissance entre la batterie et le moteur (case 3 du tableau 3).

DTR7
DTR8

Au décollage du véhicule vers le lieu de l'accident, la batterie est chargée à 100% (soit 14,4 kW·h) et la masse de la personne transportée supplémentaire est égale à celle du pilote (85 kg).

Question 8 Sachant que 20% de l'énergie disponible dans la batterie sont utilisés pour le trajet aller, **indiquer** les valeurs à reporter dans les cases numérotées 4 et 5 du tableau 4.

DTR7
DTR9

Question 9 Connaissant le nombre de moteurs, **calculer** la puissance totale en sortie de batterie et la nouvelle valeur de l'autonomie (respectivement case 6 et case 7 du tableau 4) en respectant le format hh:mm.

DTR9

Question 10 **Conclure** sur la pertinence de l'utilisation de ce type de véhicule pour des trajets courts.

DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCE

DTR1 : principe de fonctionnement

Les hélices jouent un rôle très important dans le vol de l'ADAV électrique. Lors de leurs rotations, les hélices créent des forces qui permettent de mettre en mouvement l'ADAV électrique.

L'intensité de ces forces dépend de la surface balayée par l'hélice et la vitesse de rotation :

- si la force produite par toutes les hélices est égale au poids : l'appareil est en vol stationnaire ;
- si la force produite par toutes les hélices est supérieure au poids : l'appareil prend de l'altitude ;
- si la force produite par toutes les hélices est inférieure au poids : l'appareil perd de l'altitude.

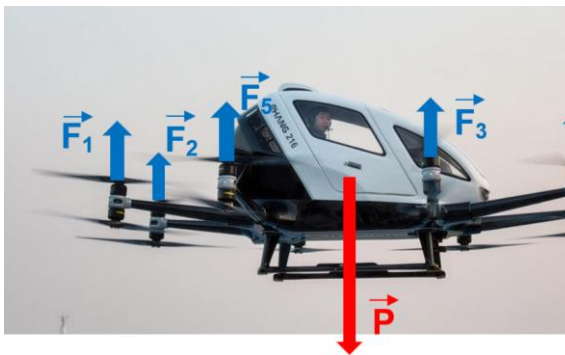


Figure 2 : actions mécaniques sur l'e-hang 216 en vol stationnaire

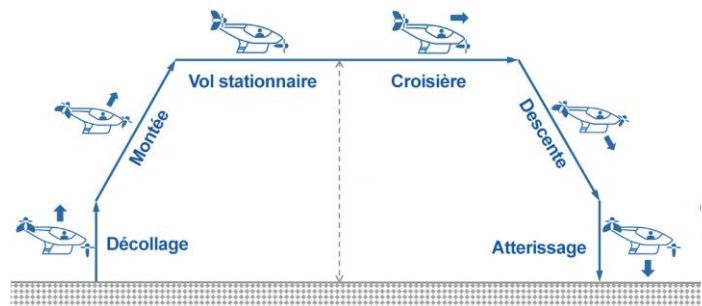


Figure 3 : phases de vol de l'e-hang 216

DTR2 : caractéristiques techniques de l'e-hang 216

| | |
|-----------------------------------|---|
| Type | Électrique - eVOTL |
| Dimensions (L x l x h) | 5,5 x 5,5 x 1,85 m |
| Capacité | 2 (pilote inclus) |
| Masse | 260 kg |
| Charge maximale | 220 kg |
| Puissance de vol stationnaire | 47,5 kW |
| Puissance d'un moteur | 19 kW |
| Diamètre d'une hélice | 1,6 m |
| Propulsion | 16 moteurs électriques / 16 hélices |
| Alimentation | 7 batteries Lithium-on avec charge rapide |
| Autonomie | 21 minutes |
| Distance de vol à charge maximale | 30 km |
| Connectivité | 4G (5G si disponible) |

Tableau 1 : caractéristiques techniques de l'e-hang 216

DTR3 : propulsion de l'e-hang 216

L'e-hang 216 est équipé de 16 moteurs brushless à courant continu à commande indépendante et de 16 hélices. Ces moteurs sont repartis en 8 couples de moteurs coaxiaux.

Cette configuration permet d'assurer la sécurité des utilisateurs et de l'appareil en cas de panne. En effet, si un des moteurs d'un couple tombe en panne ou est endommagé, l'hélice qui lui est reliée s'arrête. La seconde hélice reliée au second moteur fournit alors la totalité de la poussée requise.

Cette solution réduit considérablement l'encombrement et les composants structurels nécessaires à l'installation des hélices et des moteurs, rendant ainsi l'avion plus léger.



Figure 4 : composants de la propulsion de l'e-hang 216



Figure 5 : couple de moteurs coaxiaux

DTR4 : normes

| | 3G | 4G | 4G LTE Advanced | 5G |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Année de déploiement | 2004 | 2006 | 2010 | 2020 |
| Débit moyen | 144 Kbit·s ⁻¹ | 25 Mbit·s ⁻¹ | 75 Mbit·s ⁻¹ | 300 Mbit·s ⁻¹ |

Tableau 2 : normes de réseau de téléphonie mobile

DTR5 : diagramme des exigences

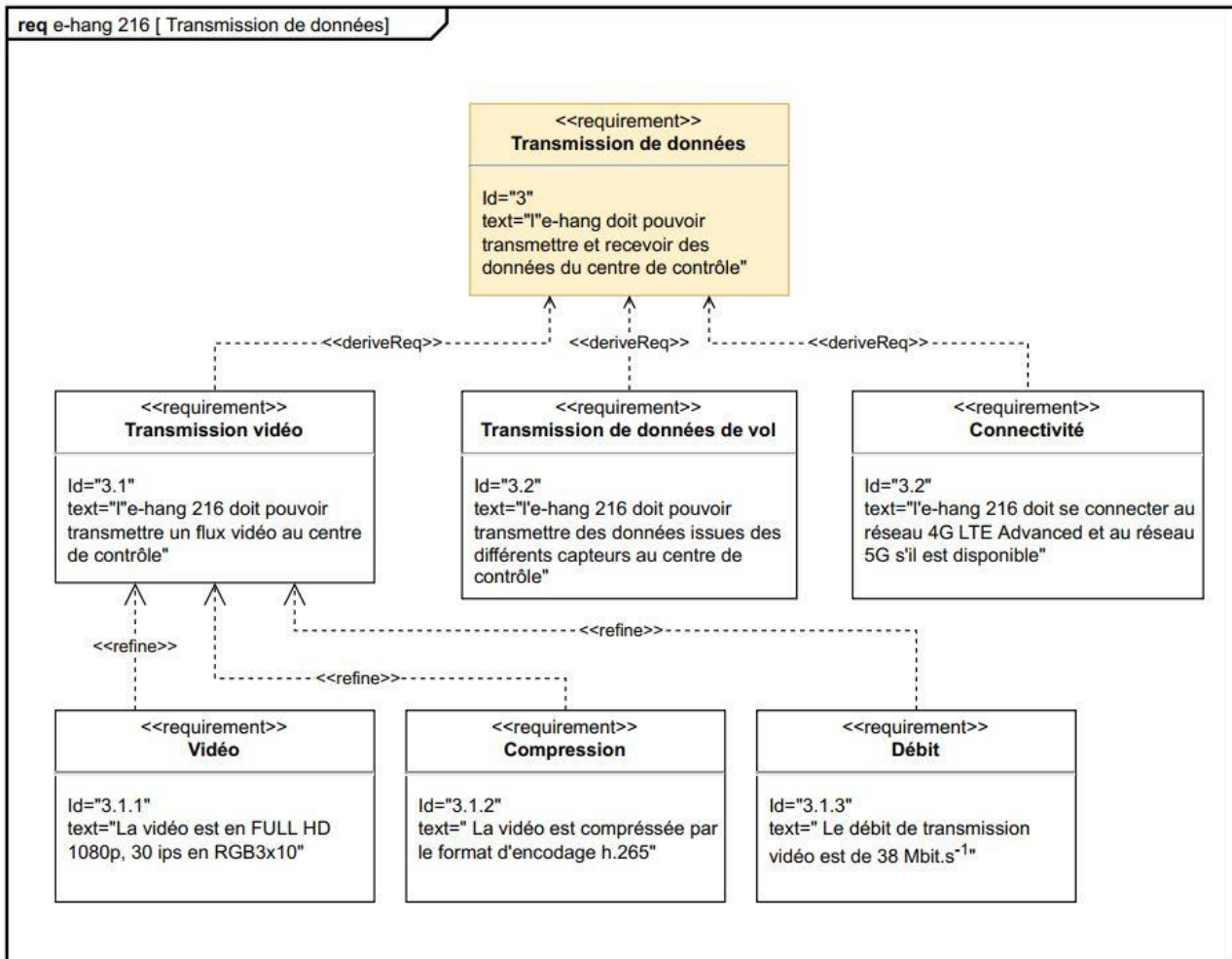


Figure 6 : branche « Transmission de données » du diagramme des exigences

DTR6 : simulation pour un moteur

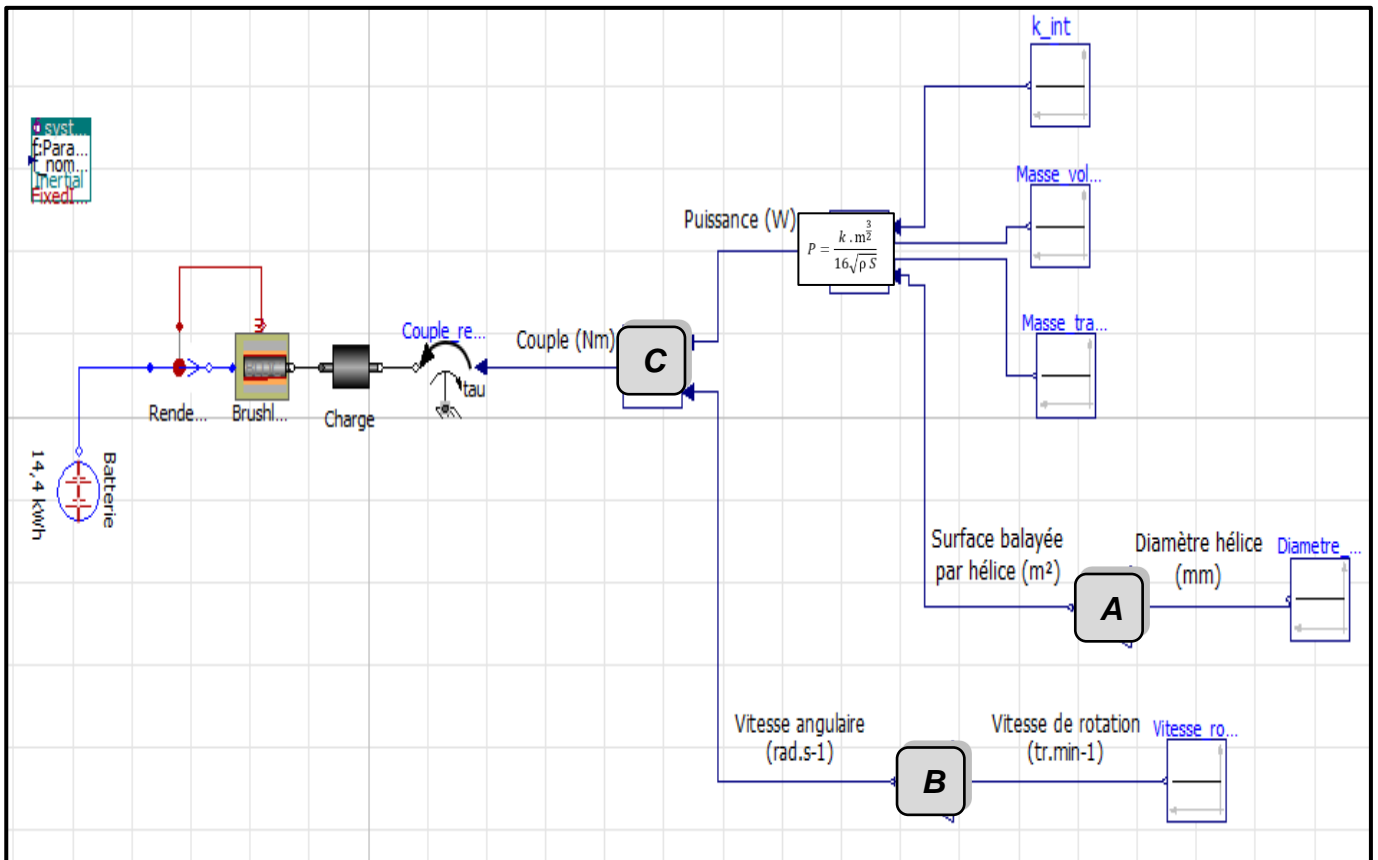


Figure 7 : modèle de simulation pour un moteur

DTR7 : relevés de valeurs

| | CAS 1 Masse du véhicule et du pilote | CAS 2 Masse du véhicule, du pilote et de la personne accidentée |
|--|--|---|
| Relevé de la puissance en sortie d'un moteur P_{moteur} | 4 930 | 1 |
| Relevé de la puissance en sortie de la batterie $P_{batterie}$ | 5 800 | 2 |
| Calcul du rendement de la chaîne de puissance η | 0,85 | 3 |

Tableau 3 : relevés de valeurs de puissances pour un moteur

DTR8 : résultats de simulation

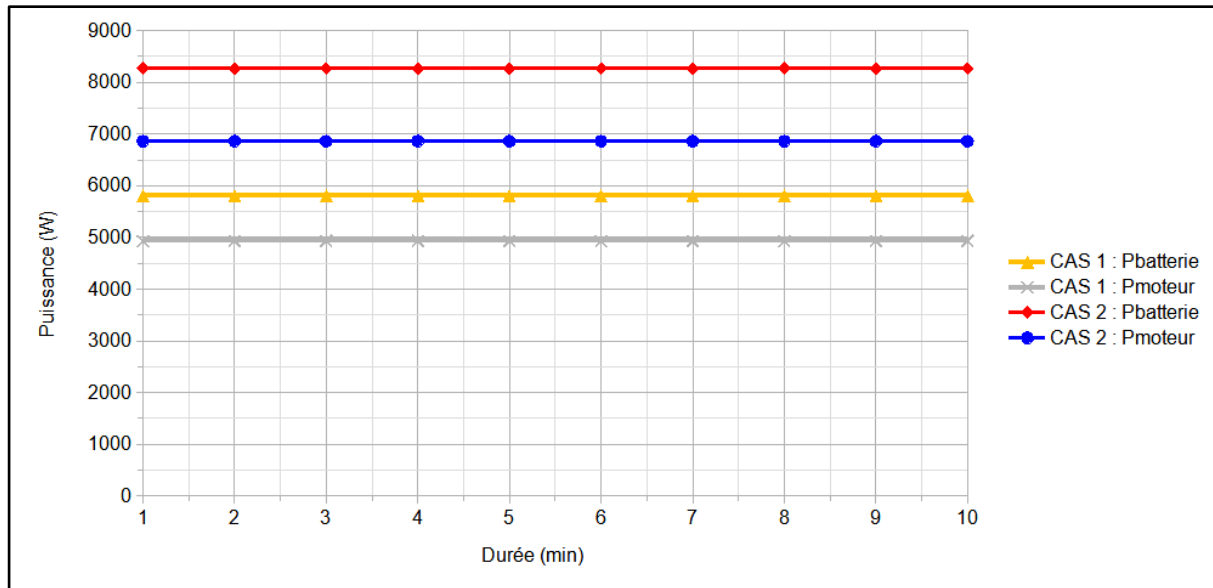


Figure 8 : résultats de la simulation pour un moteur et pour deux masses transportées différentes (CAS 1 et CAS 2)

DTR9 : impact sur l'autonomie

| | CAS 1 Masse du véhicule et du pilote | CAS 2 Masse du véhicule, du pilote et de la personne accidentée |
|---|--|---|
| Relevé de l'énergie (en kWh) disponible dans la batterie chargée à 100 % E_{100} | 4 | |
| Calcul de l'énergie restante (en kWh) pour le retour (20 % consommés à l'aller) E_{80} | 5 | |
| Nombre de moteurs | 8 | |
| Calcul de la puissance totale en sortie de la batterie pour le retour $P_{batterie\ totale}$ | 46 399 | 6 |
| Calcul de l'autonomie (format hh:mm) pour le retour | 00h15min | 7 |

Tableau 4 : calcul de l'autonomie dans le cas du transport d'une personne supplémentaire