

## Sciences de l'ingénieur

Toutes les réponses seront faites sur le document réponses joint au sujet. Le barème donné par exercice est approximatif et pourra être modifié. Les 3 exercices proposent d'étudier les caractéristiques principales d'un planeur ultra léger (PUL, voir Fig. 1) en version décollage à pied (non motorisé, voir Fig.2) ou décollage sur piste d'envol (motorisation électrique) et de comparer les deux configurations. Préciser les unités des valeurs calculées. Pour les questions 1 et 3, repasser à l'encre vos constructions graphiques.

Certaines questions sont sous forme de choix multiples. Cocher la ou les bonnes réponses.

*Fig. 1 P.U.L.*



*Fig. 2 Version décollage à*

### Données et hypothèses :

- $R(O, \vec{x}, \vec{y})$  est lié à la terre, on considère le problème plan (voir figure 3),
- La direction  $\vec{x}$  est horizontale,
- $\underline{0}$  : sol,
- $\underline{1}$  : PUL (avec roues et pilote) de masse  $\mathbf{m}$ ,
- $\mathbf{G}$  : centre de gravité de  $\underline{1}$ ,
- $\vec{P}$  : vecteur force de l'action de la gravité sur  $\underline{1}$
- $\overrightarrow{A_{0 \rightarrow 1}}$  : vecteur force de l'action du sol sur la roue avant de  $\underline{1}$ , voir Fig.3
- $\overrightarrow{B_{0 \rightarrow 1}}$  : vecteur force de l'action du sol sur la roue arrière de  $\underline{1}$ , voir Fig.3
- Dans le sujet, **vol stabilisé** signifie que  $\underline{1}$  vole en translation rectiligne à vitesse constante par rapport à  $\underline{0}$ . On considère la vitesse de l'air (vent) par rapport au sol nulle.  
On note  $\overrightarrow{V_{air/\underline{1}}}$ , le vecteur vitesse de la vitesse de l'air par rapport à  $\underline{1}$ .
- $\overrightarrow{R_a}$  : force aérodynamique qui s'applique au point  $\mathbf{C}$  (centre de poussée) représentant l'action de l'air sur  $\underline{1}$ . La force  $\overrightarrow{R_a}$  est la somme vectorielle de la portance  $\overrightarrow{P_{ce}}$  et de la trainée  $\overrightarrow{T_r}$  telle que  $\overrightarrow{R_a} = \overrightarrow{P_{ce}} + \overrightarrow{T_r}$
- La direction de la force  $\overrightarrow{P_{ce}}$  est toujours perpendiculaire à la direction de la vitesse  $\overrightarrow{V_{air/\underline{1}}}$ .  $\overrightarrow{P_{ce}}$  s'applique en  $\mathbf{C}$ .
- La direction et le sens de la force  $\overrightarrow{T_r}$  sont identiques à ceux de la vitesse  $\overrightarrow{V_{air/\underline{1}}}$ . La trainée s'applique en  $\mathbf{C}$ .
- Les normes de  $\overrightarrow{P_{ce}}$  et  $\overrightarrow{T_r}$  s'expriment comme suit :
- $\|\overrightarrow{P_{ce}}\| = k_p \cdot (V_{air/\underline{1}})^2$  et  $\|\overrightarrow{T_r}\| = k_t \cdot (V_{air/\underline{1}})^2$   
avec  $k_p$  et  $k_t$ , valeurs qui dépendent de la géométrie de  $\underline{1}$  et de la densité de l'air.
- $\vec{F}$  représente la force poussée de l'hélice sur  $\underline{1}$  dans sa version motorisée (voir fig.4).

### EXERCICE 1 : (sur 16 points)

Pour Q1 et Q3 les vecteurs  $\vec{F}$  et  $\vec{P}$  sont représentés à l'échelle définie par des règles graduées. Ces échelles sont différentes et la norme de  $\vec{P}$  est plus importante dans la configuration motorisée en Q3 (poids du moteur).

**Q1 :** En configuration sans moteur et en considérant un **vol stabilisé**. Sur le schéma du document réponse :

- représenter le vecteur force  $\overrightarrow{R_a}$  qui compense le poids  $\overrightarrow{P}$
- construire les vecteurs  $\overrightarrow{P_{ce}}$  et  $\overrightarrow{T_r}$  tel que  $\overrightarrow{R_a} = \overrightarrow{P_{ce}} + \overrightarrow{T_r}$

**Q2 :** A partir de l'échelle fournie sur le schéma en Q1, déterminer les normes de  $\overrightarrow{P_{ce}}$  et de  $\overrightarrow{T_r}$

**Q3 :** En configuration avec moteur et en considérant un **vol stabilisé**. Sur le schéma du document réponse :

- Représenter les vecteurs  $\overrightarrow{P_{ce}}$  et  $\overrightarrow{T_r}$
- Construire le vecteur force aérodynamique  $\overrightarrow{R_a}$

**Q4 :** A partir de l'échelle fournie sur le document réponse en Q3, déterminer les normes de  $\overrightarrow{P_{ce}}$  et de  $\overrightarrow{T_r}$

En comparant, dans les deux configurations : les directions, normes de  $\overrightarrow{V_{air/1}}$ , les normes du poids  $\vec{P}$ , de la portance  $\vec{P}_{ce}$  et de la trainée  $\vec{T}_r$ , répondez aux questions suivantes (plusieurs bonnes réponses sont possibles).

**Q5 :** Pourquoi les normes de la portance et de la trainée sont différentes dans les deux configurations ?

**Q6 :** En vol stabilisé, pour chacune des 2 configurations, pourquoi la trajectoire de l'aéronef par rapport au sol est différente ?

### Vérification du centrage

La position du centre de gravité  $G$  du PUL par rapport au centre de poussée  $C$  a un effet sur la stabilité et la maniabilité en vol. Une méthode simple pour déterminer  $x_G$  au sol est d'utiliser deux balances (type « pèse personne »). L'une est positionnée sous le train principal en  $B$ , l'autre sous la roulette de nez en  $A$ .

**Q7 :** Exprimer  $\|\vec{P}\|$  en fonction de  $m_A$  et  $m_B$ , les masses indiquées sur les deux balances.

**Q8 :** Exprimer (en appliquant le théorème du moment statique)  $x_G$  en fonction de  $m_A$ ,  $m_B$  et  $c$ .

### EXERCICE 2 : (sur 10 points)

On souhaite estimer l'énergie consommée par les batteries durant la phase de décollage.

La piste de décollage est une prairie horizontale dont la longueur permet au PUL de décoller sur une distance  $L=100\text{m}$ . La vitesse minimale nécessaire pour pouvoir décoller est  $v = 36 \text{ km/h}$ . On considère que durant la phase de décollage le mouvement du PUL est un mouvement rectiligne uniformément accéléré (accélération constante) par rapport au sol  $\underline{0}$ . On note  $a$  l'accélération de  $\underline{1}$  par rapport à  $\underline{0}$ .

**Q9 :** En exploitant les équations horaires du mouvement, calculer l'accélération  $a$  du PUL et la durée  $t$  de la phase de décollage.

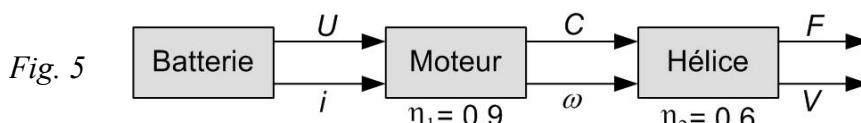
Durant la phase de décollage les actions mécaniques exercées sur l'ensemble P.U.L. sont :  $\vec{A}_{0 \rightarrow 1}$ ,  $\vec{B}_{0 \rightarrow 1}$ ,  $\vec{P}$ ,  $\vec{T}_r$ ,  $\vec{P}_{ce}$  et  $\vec{F}$ . (Fig. 4)

**Q10 :** Écrire l'équation de la résultante dynamique en projection sur l'axe horizontal  $\vec{x}$

On donne la masse  $m=200\text{kg}$  et  $\|\vec{T}_r\| = 400\text{N}$

**Q11 :** Calculer la norme de la force  $\|\vec{F}\|$

On donne la chaîne de puissance (Fig. 5) ;  $\eta_1$  et  $\eta_2$  sont les rendements du moteur et de l'hélice.



**Q12 :** Calculer la puissance utile maximale  $P_h$  développée par l'hélice au moment du décollage.

**Q13 :** Donner l'expression puis un ordre de grandeur de la puissance maximale  $P_b$  fournie par la batterie.

### EXERCICE 3 : (sur 14 points) Surveillance et affichage de l'état de charge de la batterie

Le pilote du PUL motorisé a besoin de connaître en permanence l'état de charge de la batterie. Le boîtier de commande exploite la tension de la batterie pour envoyer une donnée vers un petit afficheur. L'information d'état de charge affichée est une courte chaîne de caractères alphanumériques.

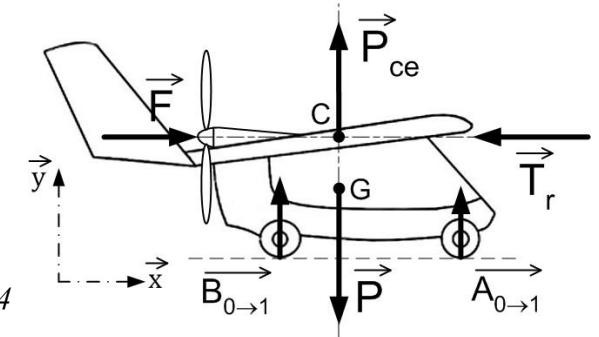
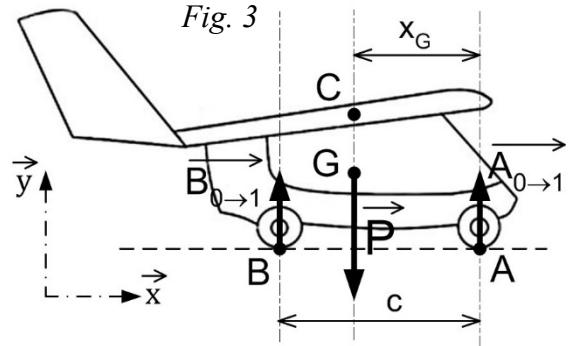
Le support de communication est une liaison série filaire de type RS-232.

La liaison série RS-232 est une liaison série asymétrique permettant de transmettre des informations sur un seul fil électrique, bit après bit, entre deux composants.

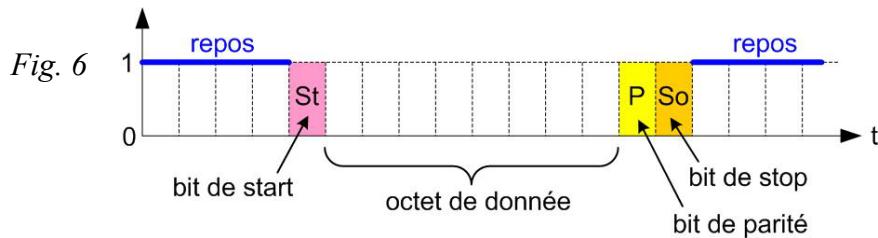
Le signal est au repos (pas d'envoi de donnée) quand il est à l'état logique 1.

Le format de la trame complète transmise est composé de 4 blocs :

- 1 bit de start : au niveau logique 0 pour informer du début de l'envoi de la trame de donnée ;
- 1 octet de données : code exploitant la table de caractères ASCII, avec le bit de poids faible en premier ;
- 1 bit de contrôle de parité paire : le bit de parité prend la valeur logique 0 ou 1 afin que la somme des bits à l'état logique 1 dans l'octet de données et le bit de parité soit paire ;

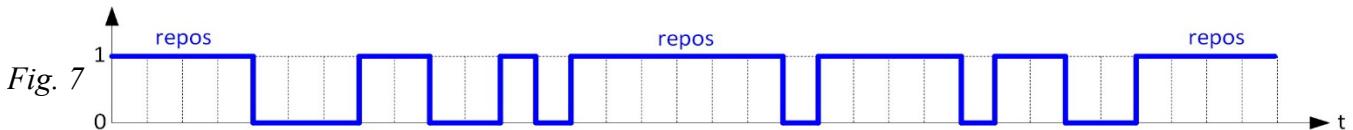


- 1 bit de stop : au niveau logique 1 pour informer de la fin de l'envoi de la trame de donnée.  
La vitesse de transmission  $v_t = 9600$  baud (1 baud = 1 bit/s). On note  $b$  le nombre de bits d'une trame.



**Q14 :** Donner l'expression du temps  $t$  nécessaire pour transmettre une seule trame complète puis un ordre de grandeur (cocher la bonne réponse).

Une représentation de la trame d'un signal est proposée :



**Q15 :** Déterminer le code binaire associé aux deux caractères transmis par le signal (Fig 7). Puis indiquer le code décimal et le code hexadécimal correspondant à ces deux caractères.

La surveillance de la charge de la batterie se fait par la mesure de la tension à ses bornes. Cette tension est un signal électrique analogique qui varie en permanence selon l'état de charge et la puissance instantanée à fournir au système. Ainsi, lors d'une demande importante et instantanée de puissance (démarrage du moteur ou forte accélération) la tension chute brutalement mais se stabilise rapidement autour de sa valeur nominale. Il est donc judicieux de surveiller une valeur moyenne de la tension de la batterie et non sa valeur instantanée. La carte électronique de gestion du système possède des entrées électriques analogiques et un convertisseur analogique-numérique (CAN).

Caractéristiques de la carte électronique (CAN):

☒ Plage de tension d'entrée analogique :  $0 \text{ V} < U_2 < 5 \text{ V}$

☒ Résolution du CAN :  $n = 10$  bits

La tension nominale de la batterie  $E = 50 \text{ V}$

Afin de permettre le branchement de la tension  $E$  de la batterie sur la carte électronique il faut adapter le signal avec un pont diviseur de tension dans le circuit est proposé fig. 8.

**Q16 :** Donner l'expression de  $U_2$  en fonction de  $E$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ .

$N$  est la valeur numérique issue du CAN.

**Q17 :** Déterminer la valeur maximale  $N_{max}$ .

**Q18 :** Donner l'expression puis calculer la valeur du quantum  $q$  du CAN.

Le seuil d'alerte de charge basse est atteint lorsque la tension  $E$  de la batterie est en dessous du seuil de 46 V.

**Q19 :** Déterminer la valeur numérique  $N$  correspondante à cette tension de seuil d'alerte.

### Programme de gestion de la surveillance de la charge de la batterie

Le fonctionnement attendu est présenté ci-après :

- La tension  $E$  de la batterie est mesurée en continu ;
- Chaque seconde la valeur  $E[i]$  est prélevée sur un intervalle de 10 secondes : on mémorise 10 valeurs, soient  $E[1], E[2], \dots, E[10]$ ;
- Chaque 10 secondes,
  - o la moyenne  $Em$  est calculée avec les 10 valeurs prélevées ;
  - o la valeur affichée sur l'écran est actualisée ;
  - o la valeur moyenne  $Em$  est comparée à la valeur de tension de seuil d'alerte  $Emin$  ;
  - o si  $Em$  est inférieure ou égale à  $Emin$  alors l'afficheur affiche le texte « Lo » pour alerter le pilote.

**Q20 :** Compléter la partie du programme en langage Python concernant la fonction « moyenne ».

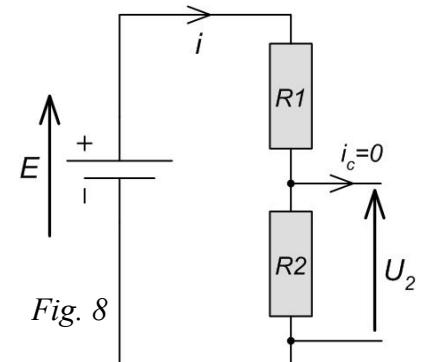


Fig. 8