

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2019

Corrigé

Ce corrigé comporte 10 pages numérotées de 1 sur 10 à 10 sur 10.

Robot *Jupiter*



Robot Jupiter version 1 (société POK SAS)

Constitution du sujet

1	Présentation.....	Page 3
2	Performances en traction.....	Page 3
3	Longueur maximale de tuyau tractable.....	Page 3
4	Vitesse de déplacement du robot.....	Page 6
5	Pack batteries.....	Page 7
6	Niveau de charge du pack batteries.....	Page 9
7	Synthèse.....	Page 10

Le sujet comporte 26 questions.

**Les documents réponses DR1 à DR2 pages 20 et 21
sont à rendre avec la copie.**

1. Présentation

2. Performances en traction

Q1. Déterminer si le robot Jupiter version 1 peut remplacer au moins quatre pompiers en situation de traction du tuyau.

D'après le DT1 la force de traction d'un homme debout est de 225 N.

$$F_{robot} = F_{homme\ debout} \cdot 4 = 225 \cdot 4 = 900 \text{ N}$$

Le prototype ne respecte pas le cahier des charges car il présente un effort moyen de calage de 793 N qui est inférieur au 900 N nécessaire pour remplacer 4 pompiers.

3. Longueur maximale de tuyau tractable

Q2. Déterminer, Δp , la chute de pression maximale admissible entre l'entrée et la sortie du tuyau dans les conditions de l'étude, en bar puis en Pascal.

$$PA = 50 \text{ bars} = 5\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$PB = 7 \text{ bars} = 700\,000 \text{ Pa}$$

$$\text{Donc } \Delta p = 50 - 7 = 43 \text{ bars} = 4\,300\,000 \text{ Pa}$$

Q3. Étant données les hypothèses ci-dessus, **écrire** les relations qui lient V_A à V_B et Z_A à Z_B . **En déduire**, en appliquant le théorème de Bernoulli généralisé, l'expression de la longueur maximale du tuyau en fonction de la chute de pression Δp entre l'entrée et la sortie du tuyau.

Dans les conditions actuelles d'utilisations :

$$V_A = V_B \text{ et } Z_A = Z_B$$

Du coup la chute de pression Δp s'écrit :

$$-\Delta p = -\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\xi \cdot \rho_{eau} \cdot L \cdot Q^2}{D_i^5} \text{ et donc } L = \frac{\Delta p \cdot \pi^2 \cdot D_i^5}{\xi \cdot 8 \cdot \rho_{eau} \cdot Q^2}$$

Q4. Calculer la longueur maximale du tuyau et **conclure** sur la capacité du robot à se déplacer dans le rayon d'action défini dans le cahier des charges.

$$L = \frac{\Delta p \cdot \pi^2 \cdot D_i^5}{\xi \cdot 8 \cdot \rho_{eau} \cdot Q^2} = \frac{43 \cdot 10^5 \cdot \pi^2 \cdot 0,065^5}{0,007 \cdot 8 \cdot 1000 \cdot (0,05)^2} = 351,7 \text{ m}$$

La longueur maximale du tuyau induite par la différence de pression est de 351,7 m.

L'objectif de 300 m de tuyau tractable n'est pas limité par les pertes charges présentent dans le tuyau.

Q5. Indiquer le type de sollicitation subie par le tuyau lors du déplacement du robot. **Calculer** la section résistante du tuyau.

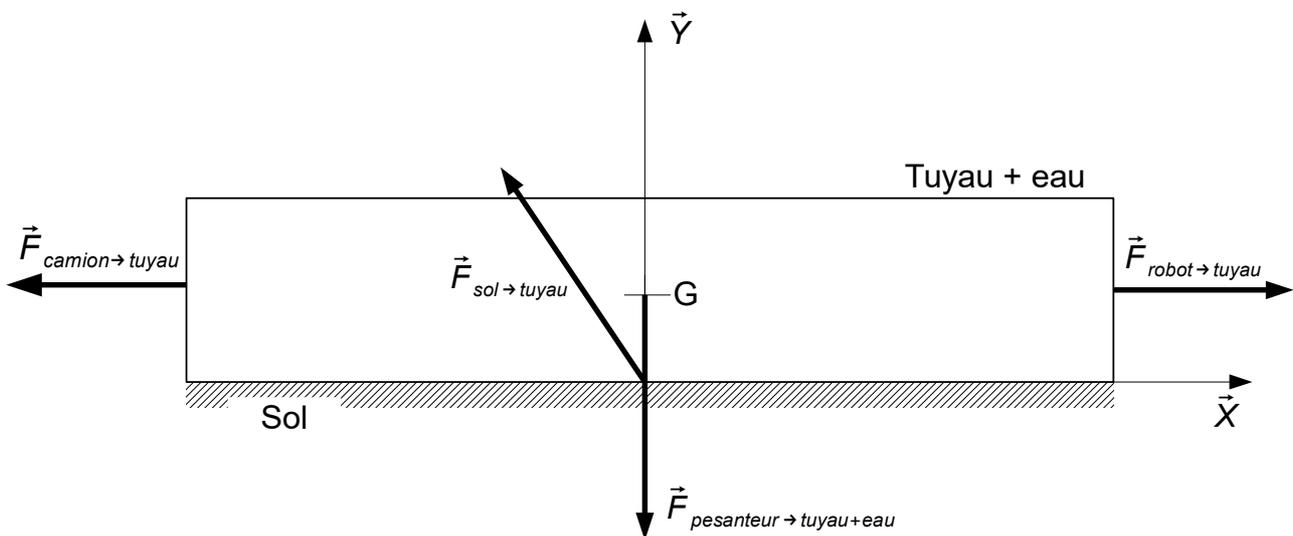
Le tuyau est soumis à de la traction.

$$Section = \frac{\pi \cdot (70^2 - 65^2)}{4} = 530 \text{ mm}^2$$

Q6. Déterminer l'effort maximal que peut supporter le tuyau.

$$F_{robot \rightarrow tuyau} = Section \cdot \frac{R_e}{s} = 530 \cdot \frac{36,5}{2} = 9672 \text{ N}$$

Q7. Sur le document réponse DR1 page 20 représenter graphiquement les actions mécaniques extérieures s'appliquant à l'ensemble $S = \{\text{tuyau} + \text{eau}\}$.



Q8. Établir l'expression littérale de la résultante de pesanteur sur le tuyau rempli d'eau.

Expression littérale de la résultante de pesanteur :

$$R_{pesanteur \rightarrow tuyau+eau} = g \cdot L \cdot m_l + g \cdot \rho_{eau} \cdot L \cdot \pi \cdot D_{tuyau \text{ intérieure}}^2 / 4$$

Q9. Appliquer le théorème de la résultante dynamique à l'ensemble S dans son mouvement par rapport au sol, en projection sur \vec{x} et \vec{y} .

En projection sur \vec{x} : $-T_{sol \rightarrow tuyau} + F_{robot \rightarrow tuyau} = 0$ donc $T_{sol \rightarrow tuyau} = F_{robot \rightarrow tuyau} = 9672 \text{ N}$

En projection sur \vec{y} : $N_{sol \rightarrow tuyau} - R_{pesanteur \rightarrow tuyau+eau} = 0$

Q10. Calculer la longueur maximale admissible du tuyau pour que celui-ci résiste mécaniquement et **conclure** sur la capacité du robot à se déplacer dans le rayon d'action défini dans le cahier des charges.

$$N_{sol \rightarrow tuyau} = \frac{T_{sol \rightarrow tuyau}}{f} = 32240 \text{ N (à la limite du glissement).}$$

Donc sur \vec{y} : $32240 - (g \cdot L \cdot m_l + g \cdot \rho_{eau} \cdot L \cdot \pi \cdot D_{tuyau \text{ intérieure}}^2 / 4) = 0$

$$\text{Donc } L = \frac{N_{sol \rightarrow tuyau}}{g \cdot (m_l + \frac{\pi \cdot \rho_{eau} \cdot D_{tuyau \text{ intérieure}}^2}{4})} = \frac{32240}{9.81 \cdot (0,4 + \frac{\pi \cdot 1000 \cdot 0.065^2}{4})} = 884 \text{ m}$$

La longueur maximale induite par la limite mécanique est de 884 m.

L'objectif de 300 m de tuyau tractable n'est pas limité par la résistance du tuyau.

Q11. Déterminer si tous les matériaux susceptibles d'être utilisés peuvent résister aux sollicitations mécaniques envisagées.

Avec la figure 4 nous pouvons observer que la valeur maximale de la contrainte est de 96,1 MPa pour l'effort donné, et avec le DT1 nous avons la limite élastique des 3 matériaux du raccord dont la plus faible est de 206 MPa pour le bronze.

En prenant en compte le coefficient de sécurité on trouve que la contrainte maximale qu'il ne faut pas dépasser est de $\sigma_{maxi} = \frac{206}{2} = 103 \text{ MPa}$.

Ainsi nous pouvons conclure que le raccord peut être réalisé dans la matière de notre choix.

Q12. Conclure sur la capacité du tuyau actuel à équiper le robot Jupiter version 2 au regard des contraintes hydrauliques et mécaniques.

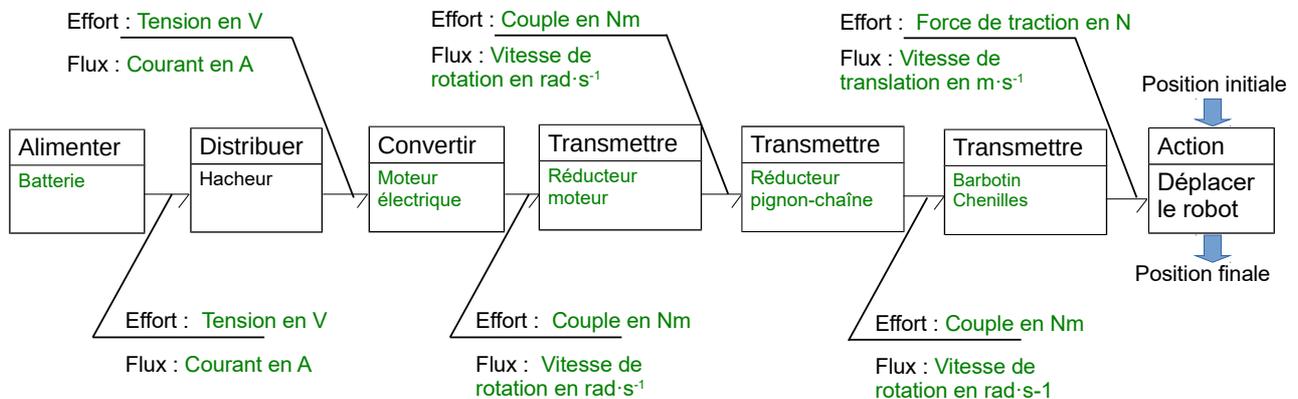
Nous avons vu précédemment que :

- la chute de pression dans le tuyau permet d'utiliser une longueur de 300 m ;
- le tuyau de 300 m rempli d'eau résiste à la traction ;
- Les matériaux des différents raccords résistent lorsqu'ils subissent un effort dû à la traction d'un tuyau de 300 m rempli d'eau.

Donc nous pouvons en conclure que l'objectif de tracter un tuyau de 300 m rempli d'eau est respecté sans modification de celui-ci.

4. Vitesse de déplacement du robot

Q13. Compléter la chaîne d'énergie sur le document réponse DR1 page 20, **indiquer** les liens de puissances (efforts et flux) et **préciser** les unités SI.



Q14. Déterminer les puissances dissipées par chacun des modèles de chenille lors de l'entraînement du robot à une vitesse de 2,3 km·h⁻¹. **Conclure** sur le choix du modèle de chenille à utiliser.

Modèle de chenille	Puissance +motoréd+chaîne-barbotin (en W)	Puissance +motoréd+chaîne-barbotin+chenille (en W)	Puissance perdue dans chenille (en W)
BETA	36	312	276
TECDRON	36	189	153

Nous allons donc choisir des chenilles de la marque **TECDRON** car elles présentent une perte de puissance de 153 W par chenille contrairement à l'autre marque de chenille.

Q15. Avec le modèle de chenille précédemment choisi et à l'aide du tableau de la figure 7, **vérifier** que $P_{transmission}$, la puissance dissipée par un seul ensemble « pignons-chaîne+barbotin+chenille » lorsque le robot Jupiter version 2 se déplace à une vitesse de 3,5 km·h⁻¹, est de 270 W.

$$P_{transmission} = \frac{(189 - 12) \cdot 3,5}{2,3} = 270 \text{ W}$$

La puissance perdue dans un ensemble « chenille+pignons-chaîne+barbotin » pour la vitesse de 3,5 km·h⁻¹ est de 270 W.

Q16. Déterminer l'expression de $T_{sol \rightarrow robot}$ en fonction de $F_{tuyau \rightarrow robot}$, $F_{lance \rightarrow robot}$ et de l'angle α . **Exprimer** puis **déterminer** P_{2m} la puissance que doit fournir l'ensemble des deux moto-réducteurs pour assurer le déplacement du robot Jupiter version 2 à $3,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

$$T_{sol \rightarrow robot} = F_{tuyau \rightarrow robot} + F_{lance \rightarrow robot} \cdot \cos(\alpha)$$

$$P_{2m} = T_{sol \rightarrow robot} \cdot V + 2 \cdot P_{transmission}$$

$$P_{2m} = (F_{tuyau \rightarrow robot} + F_{lance \rightarrow robot} \cdot \cos(\alpha)) \cdot V + 2 \cdot P_{transmission}$$

$$P_{2m} = (3000 + 1400 \cdot \cos(35)) \cdot \left(\frac{3,5 \cdot 10^3}{3600}\right) + 2 \cdot 270 = 4572 \text{ W}$$

Q17. Choisir le moteur le mieux adapté permettant de fournir la puissance nécessaire au déplacement du robot.

Pour un seul moteur : $P_{moteur} = \frac{P_{2m}}{2} = 2285 \text{ W}$

La puissance pour un seul moteur est de 2285 W. Il faut prendre le premier moteur qui nous donne une puissance supérieure à celle trouvée, et qui sera alimenté en 48 V. Donc notre choix se porte sur le V88.57.

5. Pack batteries

Q18. À l'aide de la figure 5 page 9 et du document technique DT2, **proposer** des paramètres et leur valeur pour configurer les blocs 3 et 4.

	Réducteur pignon chaîne	Barbotin chenille
Paramètre	Ratio (ou rapport de réduction)	Rayon primitif
Valeur	70/13 (ou 13/70)	80 mm

Q19. Commenter l'écart entre l'évolution du courant mesuré et l'évolution du courant obtenu par simulation.

Le modèle n'est pas correctement configuré, car le graphe représentant les courants réel et simulé fait apparaître un écart constant tout au long du déplacement.

Nous avons deux droites du type $y = a \cdot x + b$

le coefficient directeur des deux caractéristiques est identique mais l'ordonnée à l'origine est différente.

Q20. Déterminer le paramètre du modèle multi-physique à modifier pour annuler l'écart entre les mesures et la simulation.

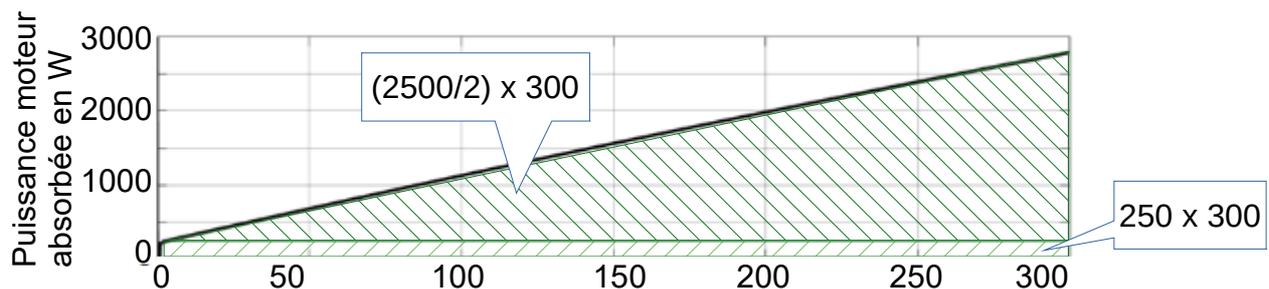
Pour corriger le modèle multi-physique, il faut intervenir le couple résistant constant de la transmission. (doubler la valeur de ce paramètre pour que le courant mesuré sur le

modèle passe de 3,5 A à 7 A).

Q21. À partir des résultats de la simulation **calculer** l'énergie consommée pour un moteur, pendant le parcours aller. En **déduire** l'énergie totale nécessaire à la mission, c'est-à-dire pour aller sur zone, pour alimenter le système d'orientation de la lance motorisée et pour le retour du robot.

Déterminer la capacité minimale, en A·h, du pack de batteries si on souhaite disposer d'une tension de sortie de 48 V.

Énergie 1 moteur aller (à partir du graphe)



$$\text{Énergie}_{1-\text{moteur aller}} = P_{\text{moyenne}} \cdot \text{temps} = 1250 \cdot 300 + 250 \cdot 300 = 450000 \text{ Joules} = 125 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Énergie total mission

$$\text{Énergie}_{\text{total mission}} = \text{Énergie}_{\text{lance motorisée}} + (\text{Énergie}_{1-\text{moteur aller}} + \text{Énergie}_{1-\text{moteur retour}}) \cdot 2$$

$$\text{Énergie}_{\text{total mission}} = 216 + (125 + 125) \cdot 2$$

$$\text{Énergie}_{\text{total mission}} = 716 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Capacité du pack batteries

$$\text{Énergie}_{\text{total mission}} = \text{Capacité}_{\text{pack batteries}} \cdot \text{tension}_{\text{pack batteries}}$$

$$\text{tension}_{\text{pack batteries}} = 48 \text{ V}$$

$$\text{Capacité}_{\text{pack batteries}} = \frac{\text{Énergie}_{\text{total mission}}}{\text{tension}_{\text{pack batteries}}}$$

$$\text{Capacité}_{\text{pack batteries}} = \frac{716}{48} = 14,9 \text{ A} \cdot \text{h}$$

Q22. Indiquer comment associer les batteries et **déterminer** le nombre de batteries nécessaires. **Justifier** si le pack de batteries est en mesure de fournir le courant maximal (voir figure 11 page 14).

Conclure sur l'objectif d'avoir une autonomie de 2 heures du robot en mode lutte contre le feu compte tenu du scénario d'une mission (précisé à la question 21).

Les batteries sont associées en série.

Nombre de batteries = $48 / 3,3 = 14,54 \rightarrow$ soit 15 batteries

La simulation indique un courant maximal inférieur à 60 A pour un moteur. Le pack batteries convient puisque le courant de décharge maximale est de 120 A .

L'autonomie de 2 heures est respectée puisque la capacité du pack batteries choisi est 2,68 fois supérieur à ce qui est réellement nécessaire.

6. Niveau de charge du pack batteries

Q23. Vérifier que le pont diviseur de tension, réalisé avec les deux résistances, est adapté.

$$U_{\text{convertisseur}} = \frac{U_{\text{pack batterie max}} \cdot 1}{(1+11)} = \frac{57,5}{12} = 4,79 \text{ V}$$

La tension $U_{\text{pack batterie max}}$ étant divisée par 12, $U_{\text{convertisseur}} \leq 5 \text{ V}$. Cette valeur est inférieure à la tension d'alimentation du micro-contrôleur, donc le pont diviseur de tension est adapté

Q24. À l'aide des données de simulation de la figure 13, **indiquer** sur le document réponse DR2 page 21 quels sont les seuils de tension limites $U_{\text{pack batterie}}$ à prendre en compte. **Déterminer** $U_{\text{convertisseur}}$ et la valeur de N en base 10 qui sera prise en compte dans le programme pour visualiser l'état de charge de la batterie.

Voyant	Charge normale	Charge faible	Batterie déchargée
% charge utile	Charge utile > 40 %	40 % > charge utile > 20 %	Charge utile < 20 %
$U_{\text{pack batterie}}$	$U_{\text{batterie}} \geq 51\text{V}$	$51 \text{ V} > U_{\text{batterie}} > 48.75 \text{ V}$	$U_{\text{batterie}} \leq 48.75\text{V}$
$U_{\text{convertisseur}}$	$U_{\text{convertisseur}} \geq 4,25$	$4,25 > U_{\text{convertisseur}} > 4,06$	$U_{\text{convertisseur}} \leq 4,06$
N en base 10	$N \geq 870$	$870 > N > 831$	$N \leq 831$

Q25. Compléter l'algorithme de commande des voyants de signalisation sur le document réponse DR2 page 21.

Début

$N \leftarrow$ acquérir la tension d'entrée

Si $N \geq 870$

Alors voyant charge_normale = 1

Sinon voyant charge_normale = 0

Si $N > 832$ ET $N < 870$

Alors voyant charge_faible = 1

Sinon voyant charge_faible = 0

Si $N \leq 832$

Alors voyant batterie_déchargée = 1

Sinon voyant batterie_déchargée = 0

Fin

7. Synthèse

Q26. En reprenant les éléments étudiés dans le sujet, **conclure** sur le respect du cahier des charges du robot Jupiter version 2.

Nous avons pu voir à travers cette étude différentes parties qui nous permettent de conclure que l'augmentation de la portée à 300 m n'est pas limitée par les pertes charges hydrauliques présentes dans le tuyau. Elle n'est pas limitée non plus par la résistance à l'arrachement du tuyau ou du raccord.

Nous avons vu que nous devons choisir des chenilles de la marque TECDRON afin de limiter les pertes de puissance induites par celle-ci afin de dimensionner les nouveaux moteurs du robot, ainsi que le nouveau rapport de réduction pour obtenir une vitesse de $3,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Ensuite nous avons pu déterminer les nouvelles batteries pour effectuer la mission.

Et enfin nous avons permis à l'utilisateur d'être prévenu lorsque le niveau de charge de la batterie devient trop faible afin de mettre le robot en sécurité.