

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2019

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient 4,5 pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur.

Coefficient 6 pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité.

Aucun document autorisé.

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 21 pages numérotées de 1 sur 21 à 21 sur 21.

Robot *Jupiter*



Robot Jupiter version 1 (société POK SAS)

Constitution du sujet

1	Texte	Page 3
2	Documents techniques	Page 18
3	Documents réponses	Page 20

Le sujet comporte 26 questions.

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

1. Présentation

La société POK SAS commercialise le robot Jupiter version 1 qui est un robot d'intervention contre les feux d'origine explosifs, chimiques, industriels, de véhicules et de tunnels.

Ce robot est piloté à distance par un opérateur à l'aide d'une télécommande.

Il est alimenté en eau (fluide extincteur) par un camion de pompier équipé d'une pompe au travers d'un tuyau. Il possède une lance à haut débit qui envoie l'eau à une distance de 60 mètres. Pour atteindre cette distance, la pression minimale à l'entrée de la lance doit être de 7 bars.

Le robot Jupiter version 1 permet de remplacer plusieurs hommes en situation de traction du tuyau lors de son déploiement sur le site d'intervention.

Le système est doté de caméras infrarouges et de capteurs, permettant à l'opérateur de détecter la présence de victimes.

Dans sa version 1, le robot Jupiter a une zone d'action circulaire d'un rayon de 70 mètres, appelé rayon d'action. Le robot peut tracter le tuyau sur cette distance en se déplaçant avec une vitesse moyenne de $2,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Dans un souci d'amélioration de la sécurité des personnes, et afin de réduire les temps d'intervention sur site, la société POK SAS souhaite créer un robot Jupiter version 2 plus performant.

Le cahier des charges fonctionnel du robot Jupiter version 2 devra intégrer les éléments suivants :

- remplacer au minimum 4 pompiers en situation de traction du tuyau ;
- augmenter le rayon d'action de 70 m à 300 m ;
- conserver une pression minimale de 7 bars et un débit de $3\,000 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ en entrée de la lance pour garantir un jet de 60 m ;
- conserver la même lance à eau et le même tuyau de raccordement au camion ;
- augmenter la vitesse moyenne de déplacement de $2,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ à $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- avoir une autonomie de 2 heures lorsque le robot est en mode lutte contre le feu ;
- avertir l'opérateur du niveau de charge de la batterie.

L'étude proposée a pour objectif d'évaluer les modifications à apporter au modèle de robot version 1 pour répondre à ce nouveau cahier des charges.

2. Performances en traction

Objectif de cette partie : déterminer si le robot Jupiter version 1 permet de remplacer 4 pompiers en situation de traction du tuyau.

Des essais ont été réalisés afin de mesurer l'effort de traction maximal exercé par le robot Jupiter version 1. Cet effort est mesuré au moment où le robot cale et s'arrête brusquement.

Protocole de mesure :

- accrochage d'un premier câble à un point fixe (mur) ;
- accrochage de la seconde extrémité du premier câble à un dynamomètre ;
- accrochage du dynamomètre à un deuxième câble ;
- accrochage du deuxième câble à l'arrière du robot ;
- avancement du robot à vitesse constante ;
- acquisition en temps réel de la valeur mesurée par le dynamomètre.

La valeur moyenne des efforts mesurés pour faire caler le robot est de 793 N.

La figure 1 présente la réglementation concernant les forces limites recommandées pour les mouvements de poussée et de traction horizontaux à imposer aux pompiers.

Forces limites recommandées pour les mouvements de poussée et de traction horizontaux		
Condition	Force qui ne doit pas être dépassée, en newton	Exemples d'activités
A. Debout 1. Mouvement qui fait appel à tout le corps	225 N	Déplacer un mobile. Déplacer un objet. Déplacer un objet sur un axe.
A. Debout 2. Mouvement qui fait uniquement appel à la partie haute du corps	110 N	Se pencher au-dessus d'un obstacle pour déplacer un objet. Pousser un objet au niveau des épaules ou au-dessus des épaules.
B. À genoux	188 N	Enlever ou remplacer une pièce d'équipement dans le cadre d'un travail d'entretien. Déplacer un objet dans un endroit restreint, comme un tunnel ou une large conduite.

Figure 1 : forces limites pouvant être déployées par un pompier

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

3. Longueur maximale de tuyau tractable

Objectif de cette partie : déterminer si le tuyau actuel peut équiper le robot Jupiter version 2.

Pour atteindre l'objectif de 300 m de tuyau tracté, il faut vérifier que les différents éléments mécaniques et les phénomènes physiques mis en jeu n'imposent pas de limites.

La lance à eau est conçue pour être raccordée à des tuyaux de 70 mm de diamètre extérieur. Le tuyau ne doit pas se déformer plastiquement et les raccords doivent résister d'un point de vue mécanique.

Détermination de longueur maximale de tuyau induite par la pression hydraulique d'alimentation

Le schéma de la figure 2 définit l'emplacement du tuyau et son branchement.

La pompe qui génère le débit d'eau est intégrée au camion (point A).

La lance à eau est montée sur le robot (point B). Elle n'est pas équipée de système de remise en pression du fluide et nécessite donc une pression d'au moins 7 bars et un débit de $3\,000\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ en entrée pour un fonctionnement optimal (jet de 60 mètres).

Entre le point A et le point B, les frottements du fluide entraînent une chute de la pression dans le tuyau.

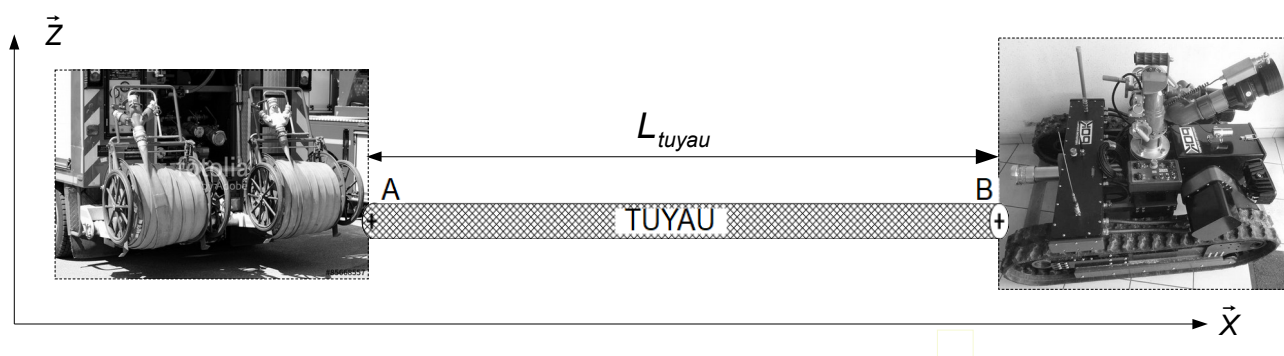


Figure 2 : position du tuyau entre le dérouleur du camion et le robot

Les pompiers règlent la pression de la pompe présente sur le camion à partir d'un tableau positionné au niveau des commandes de la pompe (figure 3).

Diamètre en mm	25	38	45	52	65	70	75	102	110	152
Pression en sortie de pompe en bars	50	50	50	50	50	50	50	36	36	36

Figure 3 : réglage pression de la pompe suivant le diamètre du tuyau

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

Afin d'évaluer la chute de pression dans le tuyau il est possible d'utiliser l'équation de Bernoulli généralisée. Cette équation s'écrit de la façon suivante entre deux points A et B d'une canalisation :

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{eau} \cdot (V_B^2 - V_A^2) + \rho_{eau} \cdot g \cdot (Z_B - Z_A) + (P_B - P_A) = - \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\xi \cdot \rho_{eau} \cdot L \cdot Q^2}{D_i^5}$$

- V_A , vitesse du fluide au point A, en sortie de pompe du camion, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- P_A , pression du fluide au point A en Pa ;
- Z_A , altitude du point A en m ;
- V_B , vitesse du fluide au point B, à l'entrée du robot, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- P_B : pression du fluide au point B en Pa ;
- Z_B : altitude du point B en m ;
- $\xi = 0,007$, coefficient de perte de charge régulière du tuyau ;
- Q , débit d'eau au travers de la canalisation en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$;
- L et D_i , longueur et diamètre intérieur du tube en m ;
- $\rho_{eau} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, masse volumique de l'eau ;
- $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, accélération gravitationnelle.

Pour appliquer l'équation de Bernoulli généralisée, on considère les hypothèses suivantes :

- le tuyau est posé sur un sol horizontal ;
- le débit du fluide $Q = 0,05 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ est constant le long du tuyau ;
- le tuyau a un diamètre extérieur $D_e = 70 \text{ mm}$ et une épaisseur $e = 2,5 \text{ mm}$.

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.

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

Détermination de longueur maximale de tuyau induite par la tenue mécanique du tuyau

Si on augmente la longueur du tuyau, l'extrémité attachée au robot devra supporter des efforts plus importants.

La gaine du tuyau est en polyester et son épaisseur est de 2,5 mm.

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

Les caractéristiques mécaniques du tuyau en polyester sont fournies sur le document technique DT1 page 18. Le coefficient de sécurité appliqué est de 2.

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

Afin de relier l'effort de traction du robot sur le tuyau à la longueur du tuyau, on étudie l'équilibre du tuyau.

Hypothèses :

- le tuyau repose entièrement sur le sol (bitume) ;
- le tuyau glisse sur le sol, à vitesse constante, avec un coefficient de frottement f (voir document technique DT1) ;
- la masse linéique du tuyau vide est $m_l = 0,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$;
- le tuyau est rempli d'eau ;
- le tuyau a un diamètre extérieur $D_e = 70 \text{ mm}$ et une épaisseur $e = 2,5 \text{ mm}$.

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.

On suppose que l'effort exercé par le camion sur le tuyau est négligeable.

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} .

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.

Vérification de la résistance mécanique des raccords

Le tuyau est connecté, à ses extrémités, à la pompe et au robot par l'intermédiaire de raccords. Ces raccords sont en général réalisés en acier inoxydable, en bronze ou en alliage d'aluminium.

Afin de choisir le matériau des raccords une simulation mécanique numérique a été réalisée (figure 4 page 8) dans les conditions de fonctionnement imposées par le cahier des charges.

Paramétrage de la simulation :

- effort de traction de 3 000 N ;
- tuyau rempli d'eau ;
- longueur déployée de 300 m.

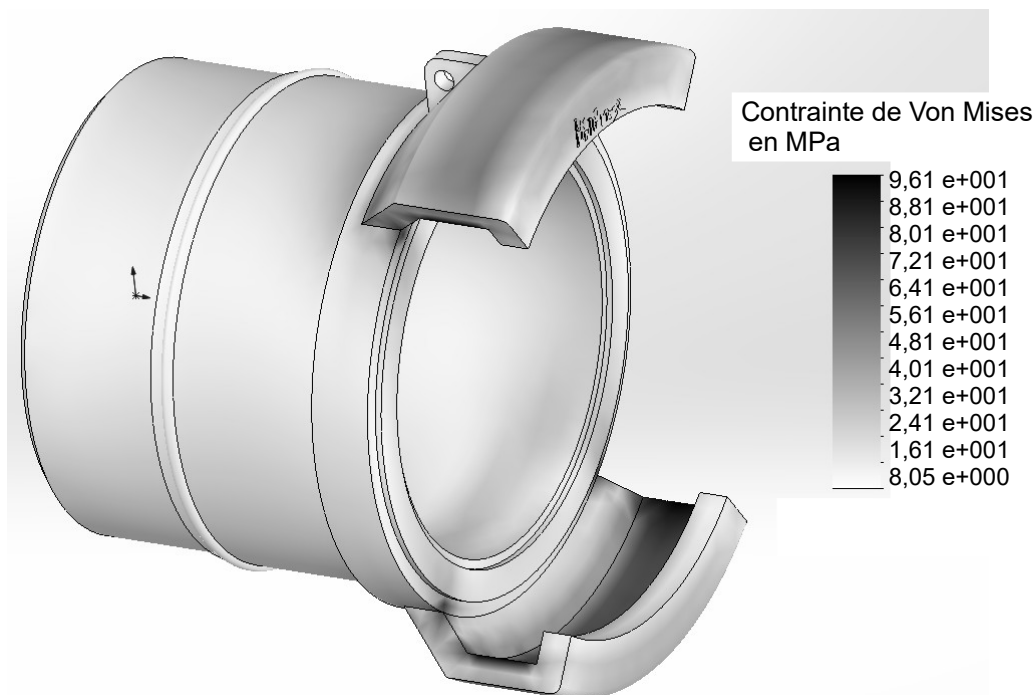


Figure 4 : résultat de la simulation numérique

Les caractéristiques des matériaux sont fournies dans le document technique DT1 page 18. Pour ce type d'application, le coefficient de sécurité appliqué est égal à 2.

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

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

4. Vitesse de déplacement du robot

Objectif de cette partie : définir la chaîne d'énergie en vue d'augmenter la vitesse de déplacement jusqu'à $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ pour un tuyau de 300 m.

La figure 5 présente la chaîne d'énergie du robot Jupiter version 1 pour une chenille. Il est alimenté par une batterie. Un moto-réducteur (moteur électrique accouplé à un réducteur) entraîne un dispositif pignons-chaîne. Le barbotin, lié au deuxième pignon, entraîne la chenille.

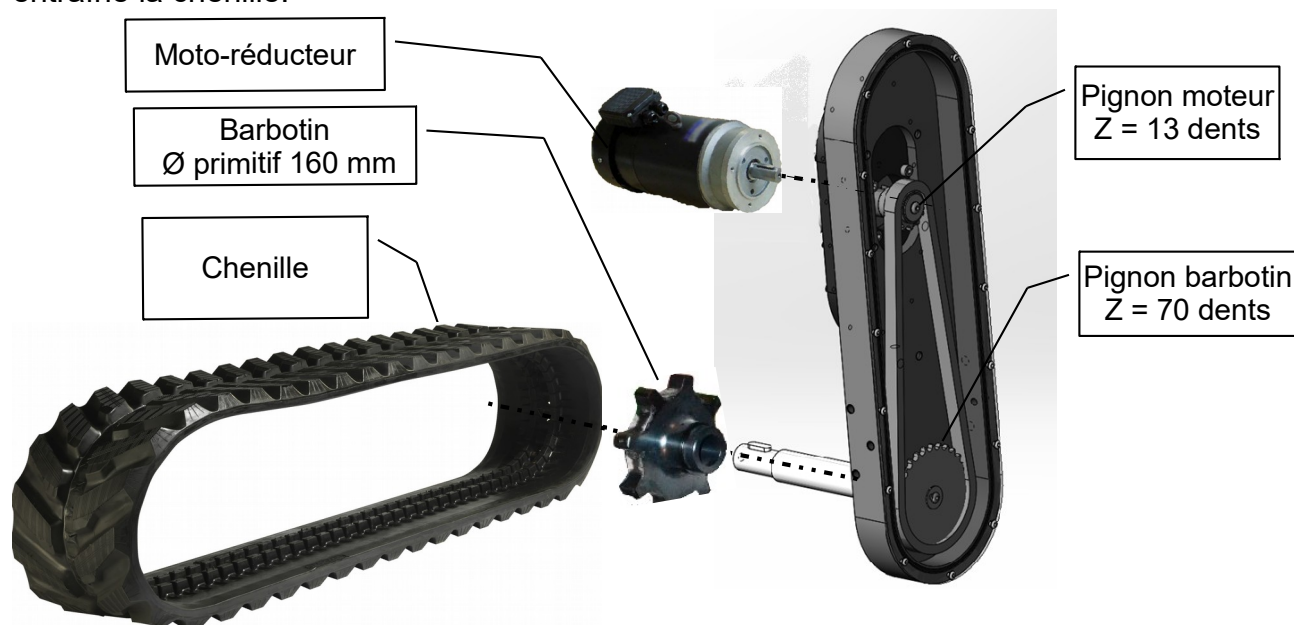


Figure 5 : chaîne d'énergie du robot Jupiter version 1

Q13. Compléter la chaîne d'énergie sur le document réponse DR1 page 20 en indiquant le nom des composants et des liens de puissances (efforts et flux). **Préciser** les unités SI.

Choix des chenilles

En vue d'évaluer les pertes dans la transmission de puissance, des essais ont été réalisés avec deux types de chenille (modèle BETA et modèle TECDRON). La chaîne d'acquisition est présentée figure 6 page 10.

Protocole de mesure :

- élévation du robot (pour les essais, les chenilles ne touchent pas le sol) ;
- branchement de l'alimentation stabilisée 48 V CC et du wattmètre ;
- branchement d'un seul moteur du robot sur le système de mesure ;
- mise en route de l'alimentation stabilisée ;
- acquisition en temps réel des mesures issues du wattmètre ;
- mesure de la vitesse par comptage du nombre de tours du barbotin et chronométrage (essais 3 et 4).

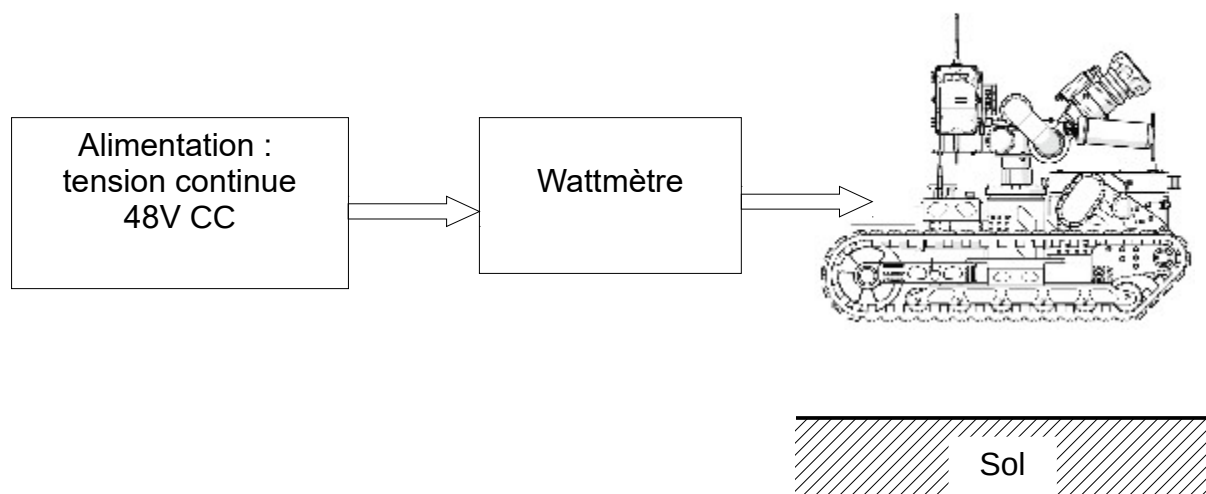


Figure 6 : chaîne d'acquisition

L'ensemble des résultats des essais est synthétisé dans le tableau de la figure 7.

Résultats des mesures (les chenilles ne touchant pas le sol)			
Essai n°		P_{\max} en W	Vitesse de translation de la chenille/robot en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
1	moto-réducteur seul	12	
2	moto-réducteurs + pignons-chaîne + barbotin	36	
3	moto-réducteur + pignons-chaîne + barbotin + chenilles modèle BETA	312	2,3
4	moto-réducteur + pignons-chaîne + barbotin + chenilles modèle TECDRON	189	2,3

Figure 7 : résultats des essais réalisés par POK SAS

Q14. Déterminer les puissances dissipées par chacun des modèles de chenille lors de l'entraînement du robot à une vitesse de $2,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. **Conclure** sur le choix du modèle de chenille à utiliser.

Choix du moteur et du rapport de réduction optimal

Hypothèse : l'évolution de la puissance dissipée par l'ensemble « pignons-chaîne+barbotin+chenille » en fonction de la vitesse de translation des chenilles par rapport au robot est linéaire.

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

La figure 8 présente la modélisation des actions mécaniques s'exerçant sur le robot pendant son fonctionnement avec $F_{\text{tuyau} \rightarrow \text{robot}} = 3\,000\text{ N}$ déterminée par simulation, $F_{\text{lance} \rightarrow \text{robot}} = 1\,400\text{ N}$ et $\alpha = 35^\circ$ obtenus par expérimentation.

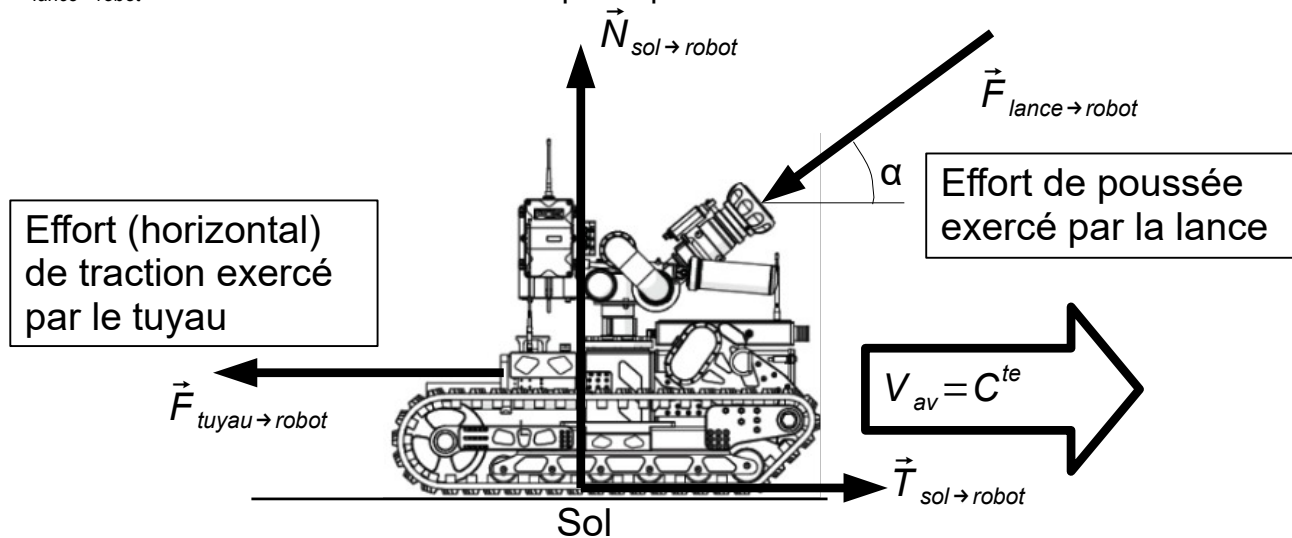


Figure 8 : modèle de calcul de la puissance moteur

Le cahier des charges impose au robot Jupiter version 2 une vitesse de déplacement de $V_{av} = 3,5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Q16. Déterminer l'expression de $T_{\text{sol} \rightarrow \text{robot}}$ en fonction de $F_{\text{tuyau} \rightarrow \text{robot}}$, $F_{\text{lance} \rightarrow \text{robot}}$ 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 $3,5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Le tableau de la figure 9 est issu de la documentation d'un constructeur de moteurs électriques.

Désignation	Puissance (pour les conditions de fonctionnement optimales)		
	1 500 tr·min ⁻¹ 12 V	2 000 tr·min ⁻¹ 24 V	3 000 tr·min ⁻¹ 48 V
V 88.25	0,8 kW	1 kW	1,3 kW
V 88.38	1,2 kW	1,5 kW	2,2 kW
V 88.57	1,7 kW	2,2 kW	3,3 kW
V 88.81			4,4 kW

Figure 9 : documentation constructeur d'un moteur

Compte tenu des caractéristiques des chenilles, il faut faire tourner le barbotin à $9,5\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ afin d'atteindre la vitesse de déplacement de $3,5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

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

5. Pack batteries

Objectif de cette partie : dimensionner le pack batteries afin d'atteindre une autonomie de 2 heures en mode lutte contre le feu.

Il faut définir un pack batteries permettant d'effectuer une mission complète.

Une mission complète du robot Jupiter version 2 se déroule comme suit :

- se rendre du camion au site de l'intervention ;
- réaliser l'intervention sur le site ;
- pour le retour, soit le feu est éteint avant la décharge des batteries et le robot retourne au camion, soit le feu n'est pas éteint et l'énergie présente dans le pack batteries devient insuffisante. Dans ce cas le robot doit revenir vers le camion afin de se mettre en sécurité, pour un changement éventuel du pack batteries.

Afin de dimensionner le pack batteries pour réaliser la mission, le modèle multiphysique de la chaîne d'énergie d'un moteur a été réalisé.

Sur le document technique DT2 page 19, le bloc 1 comprend le moteur, le bloc 3 correspond au réducteur pignon-chaîne et le bloc 4 correspond à l'ensemble barbotin-chenille.

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.

Des essais de traction, avec différentes longueurs de tuyaux remplis d'eau, réalisés sur le robot Jupiter version 1 ont permis de relever l'allure du courant sur un moteur au cours du déplacement du robot Jupiter version 1. Lors de ces essais, le hacheur du robot délivrait la tension nominale de la batterie au moteur.

Afin de le valider, les mêmes conditions de traction sont reproduites sur le modèle multiphysique. La courbe de la figure 10 page 13 synthétise les résultats.

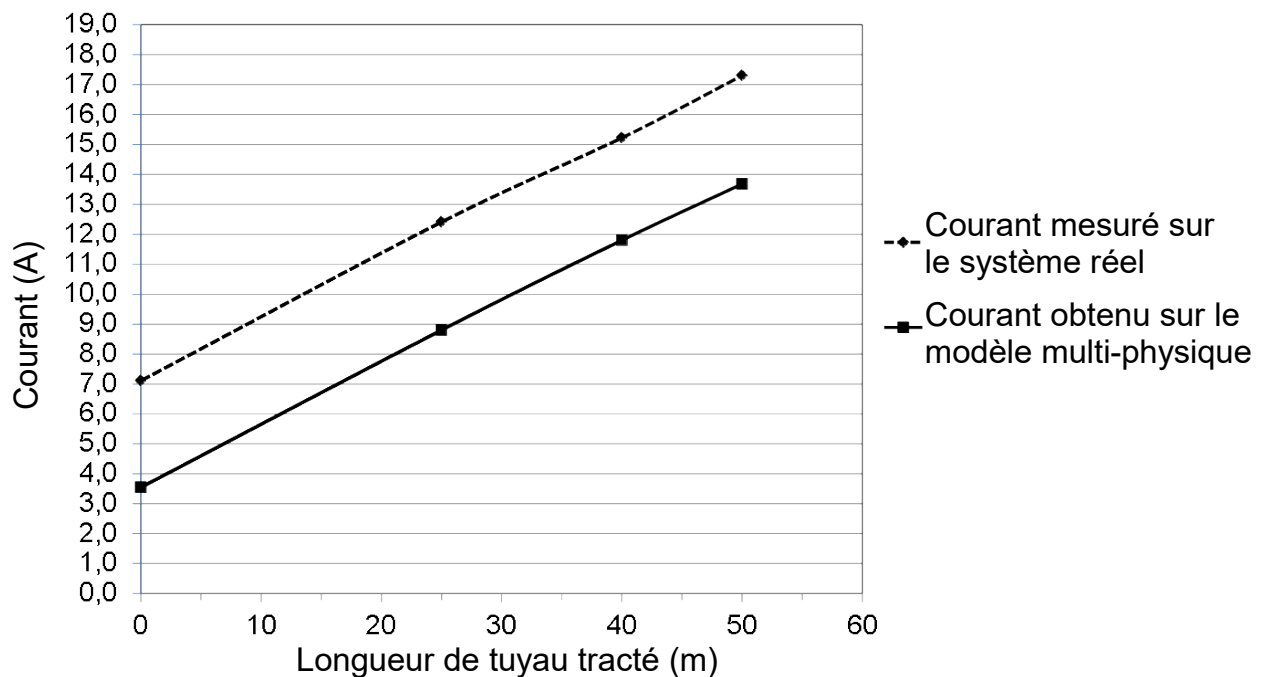


Figure 10 : courant moteur obtenu à partir du modèle multiphysique et courant moteur mesuré sur le système réel

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

Pour un moteur à courant continu, le couple moteur C_m est proportionnel au courant consommé par l'induit.

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

Le modèle multiphysique du robot Jupiter version 1 étant validé, celui-ci a été utilisé pour simuler une mission complète avec 300 m de tuyau.

La figure 11 page 14 présente les résultats de cette simulation, pour un moteur, pendant le parcours aller.

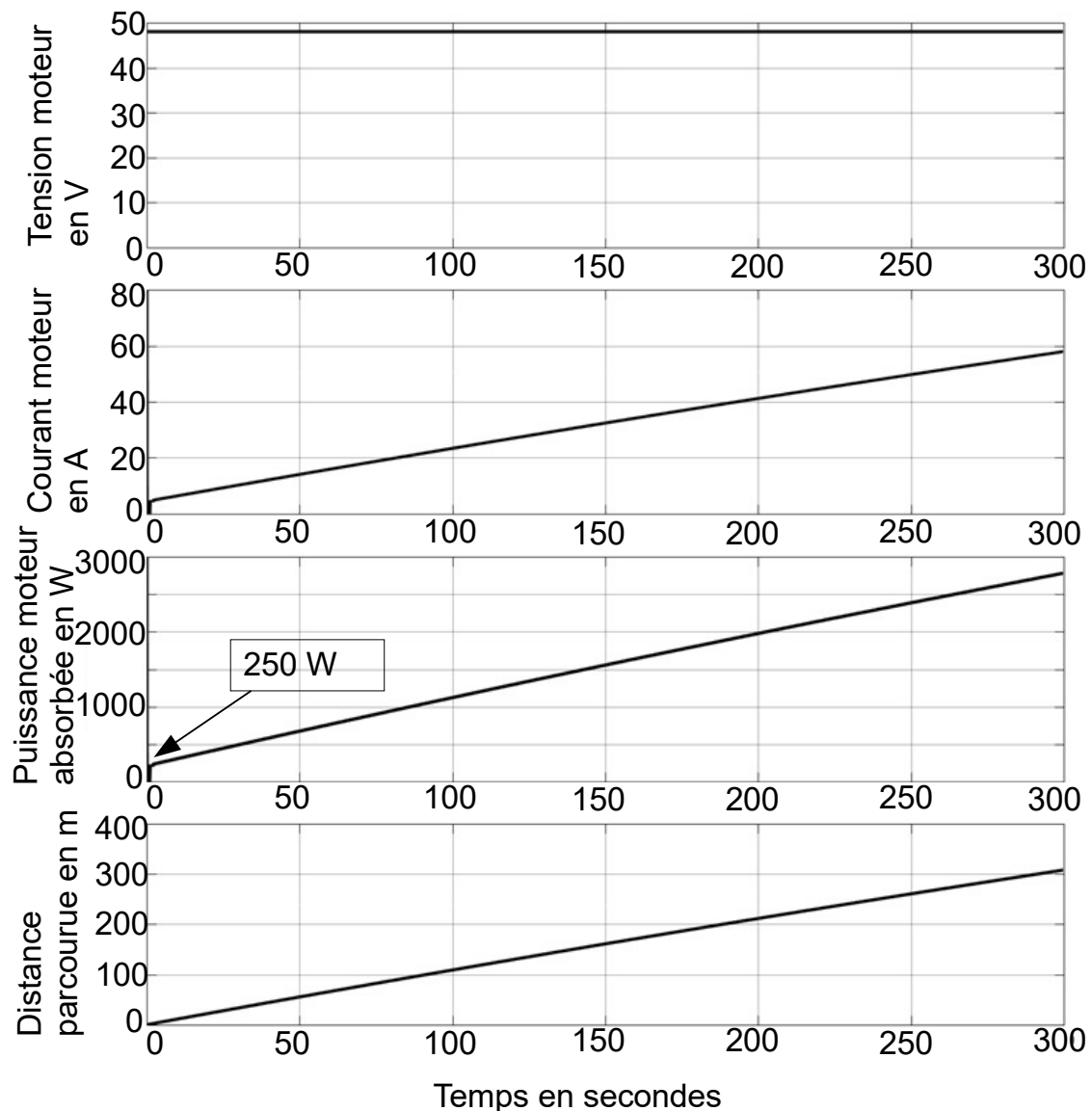


Figure 11 : résultats de la simulation pour un moteur

Pour limiter les risques de dysfonctionnement, il n'y a qu'un seul pack de batteries sur le robot pour alimenter tous les systèmes (orientation de la lance, moteurs, capteurs, etc.).

Durant une mission complète, l'énergie nécessaire pour faire fonctionner le système d'orientation de la lance est de 216 W·h.

L'énergie nécessaire pour le retour du robot est considérée égale à celle utilisée pour l'aller.

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.

Le constructeur a surdimensionné la capacité de la batterie. Son choix s'est porté sur un pack constitué de plusieurs batteries, dont les caractéristiques sont données dans le tableau de la figure 12.

Batterie 3,3 V 40 A·h	
Tension nominale	3,3 V
Capacité	40 A·h
Plage de fonctionnement	Min 2,8 V - Max 4 V
Durée de vie	3 000 cycles à 80 % de décharge profonde
Tension de décharge maximale (les cellules sont endommagées si la décharge est inférieure à cette tension)	2,5 V
Courant de décharge optimal	20 A
Courant de décharge maximale (maxi pendant 15 min si la batterie est pleine)	120 A
Courant de décharge pic (maximum 5 sec pendant 1 min)	400 A
Courant de charge optimal	20 A
Courant de charge maximal	120 A
Température de travail maximale (ne pas dépasser cette température durant la charge ou la décharge)	70°
Dimensions (LxHxP) : (tolérance +/- 2 mm)	116x190x46 mm ³
Poids (tolérance +/- 150 g)	1,6 kg

Figure 12 : caractéristiques de la batterie

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 page 14).

6. Niveau de charge du pack batteries

Objectif de cette partie : définir les conditions qui permettent d'alerter l'utilisateur sur le niveau de charge du pack de batteries.

Afin de connaître le niveau de charge du pack de batteries, la courbe de la tension en fonction de la charge utile de ce pack est présentée figure 13 page 16.

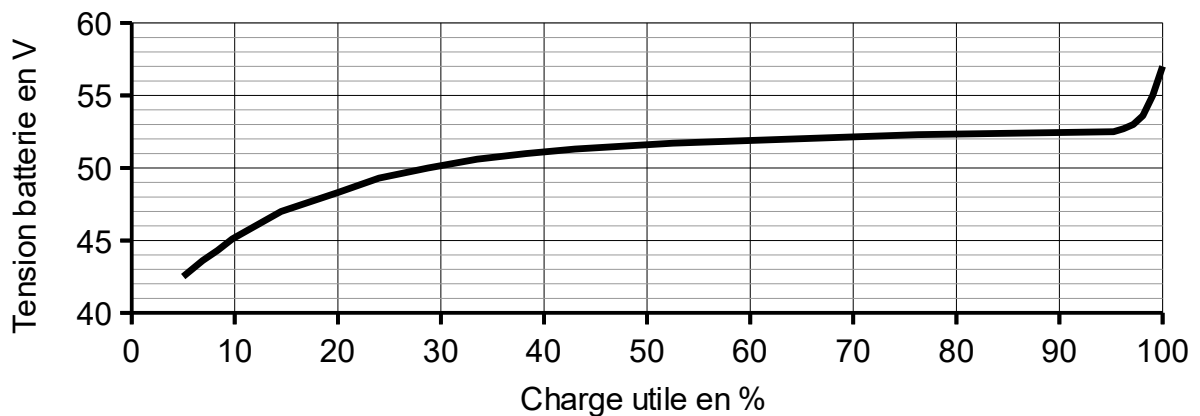


Figure 13 : tension en fonction du niveau de charge utile du pack de batteries

Afin d'éviter la destruction du pack batteries, par sécurité, le seuil limite de décharge est fixé à 20 %. Un voyant sera activé sur la télécommande dès que la charge de la batterie est inférieure à 40 %. Le robot doit revenir à sa base avant que la charge du pack de batteries soit inférieure à 20 %.

La figure 14 présente la chaîne de conversion et de traitement de l'information « tension de charge du pack de batteries ». Le courant d'entrée du convertisseur sera négligé.

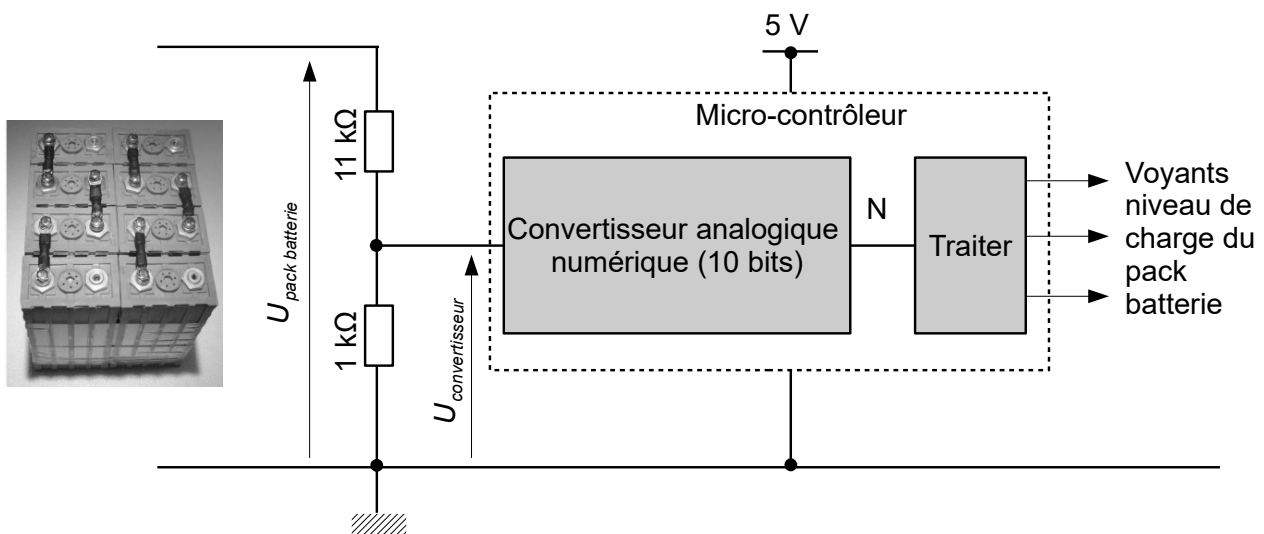


Figure 14 : schéma du pont diviseur de tension et du convertisseur

Q23. Vérifier que le pont diviseur de tension, réalisé avec les deux résistances, 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 $U_{pack\ batterie}$ à prendre en compte. Déterminer $U_{convertisseur}$ 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.

La télécommande présente trois voyants pour informer l'opérateur du niveau de charge de la batterie :

- voyant charge normale (charge utile > 40%) ;
- voyant charge faible (40 % > charge utile > 20%) ;
- voyant batterie déchargée (charge utile < 20%).

La gestion de ces trois voyants est traitée par un programme. Ce programme débute par l'acquisition de la valeur numérique de N . Ensuite, en fonction de la valeur de N , les variables voyant-charge-normale, voyant-charge-faible, voyant-batterie-déchargée sont affectées aux valeurs 1 (voyant allumé) ou 0 (voyant éteint).

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

7. Synthèse

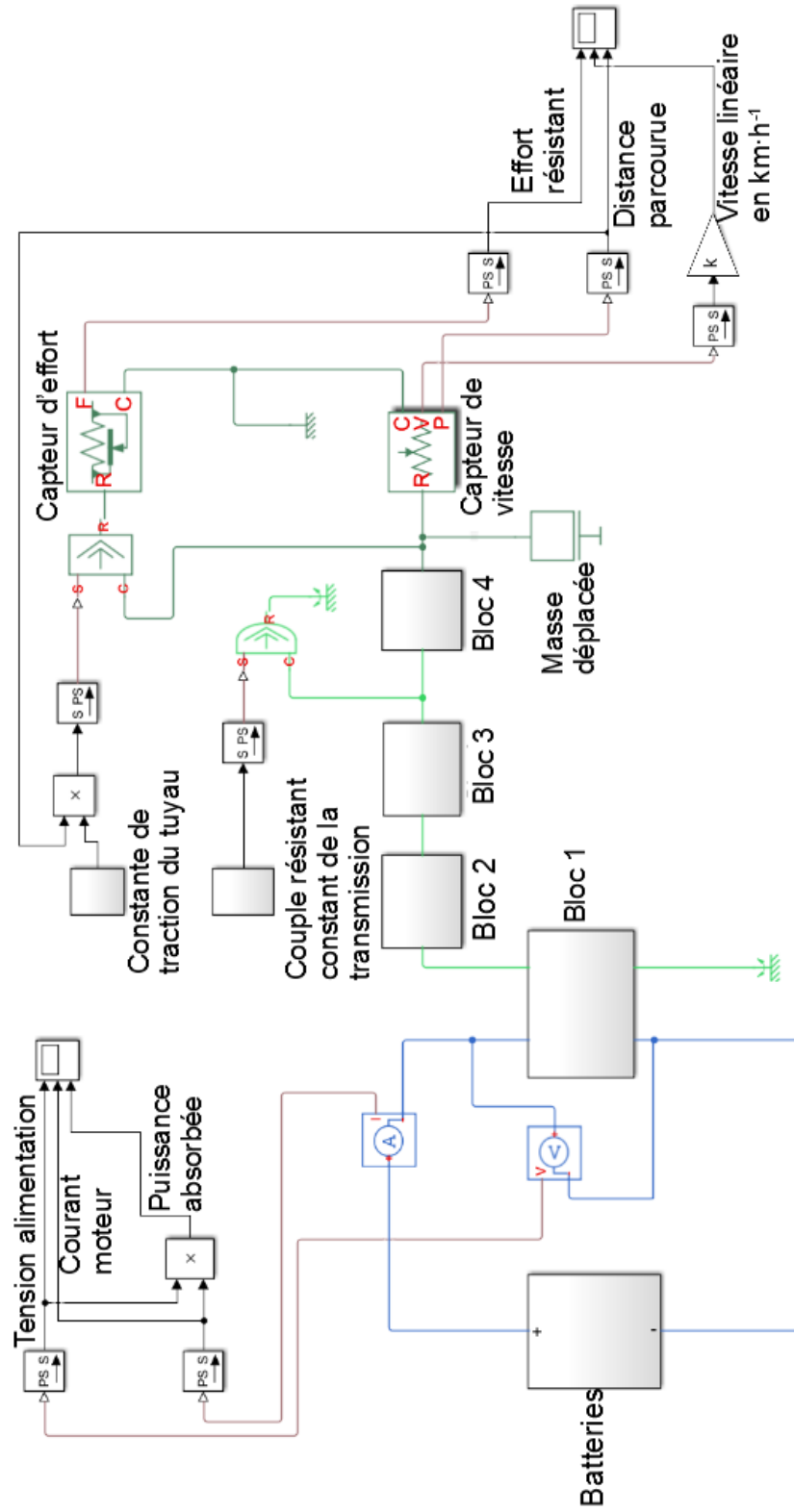
Objectif de cette partie : proposer une synthèse des différents résultats obtenus dans le but de conclure sur le respect des contraintes du nouveau cahier des charges.

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

Document technique DT1. Caractéristiques matériaux

Matériaux	Polyester	Acier inoxydable 430	Bronze au manganèse	Aluminium 6005-T6
Module d'Young en GPa	3,5	207	110	72,4
Limite élastique en MPa	36,5	350	206	270
Masse volumique en kg.m ⁻³	1 200	7 860	8 300	2 700
Coefficient de Poisson	0,39	0,27	0,34	0,33
Coefficient de frottement avec le bitume	0,3			

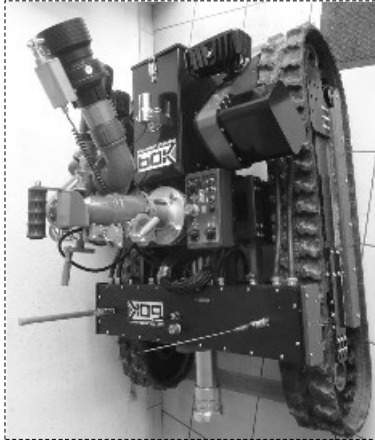
Document technique DT2. Modèle multiphysique



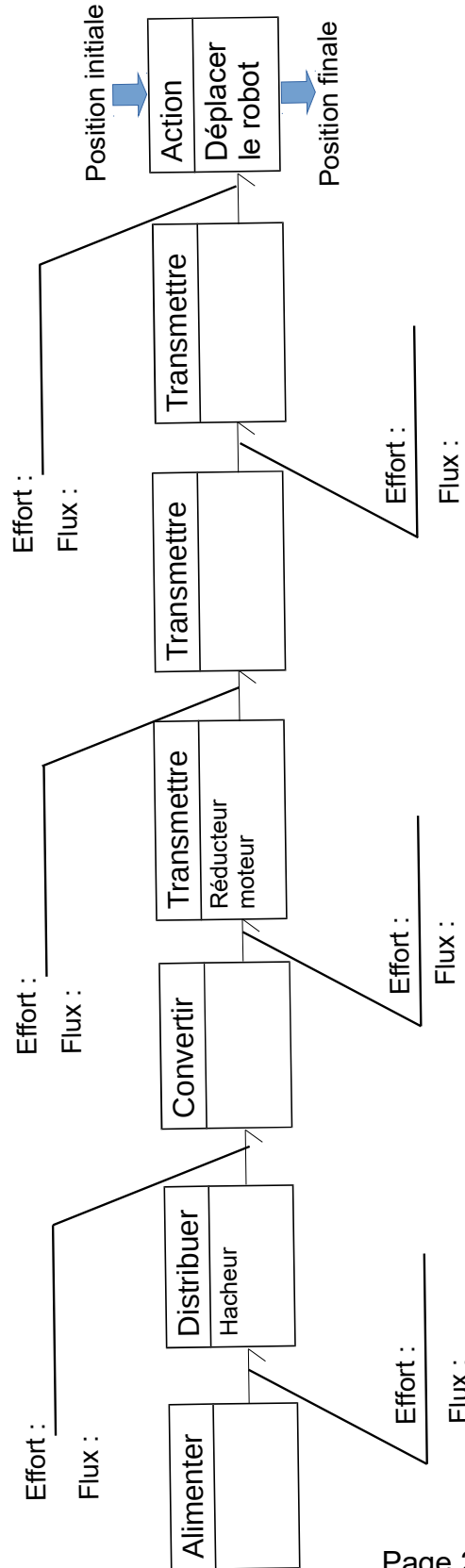
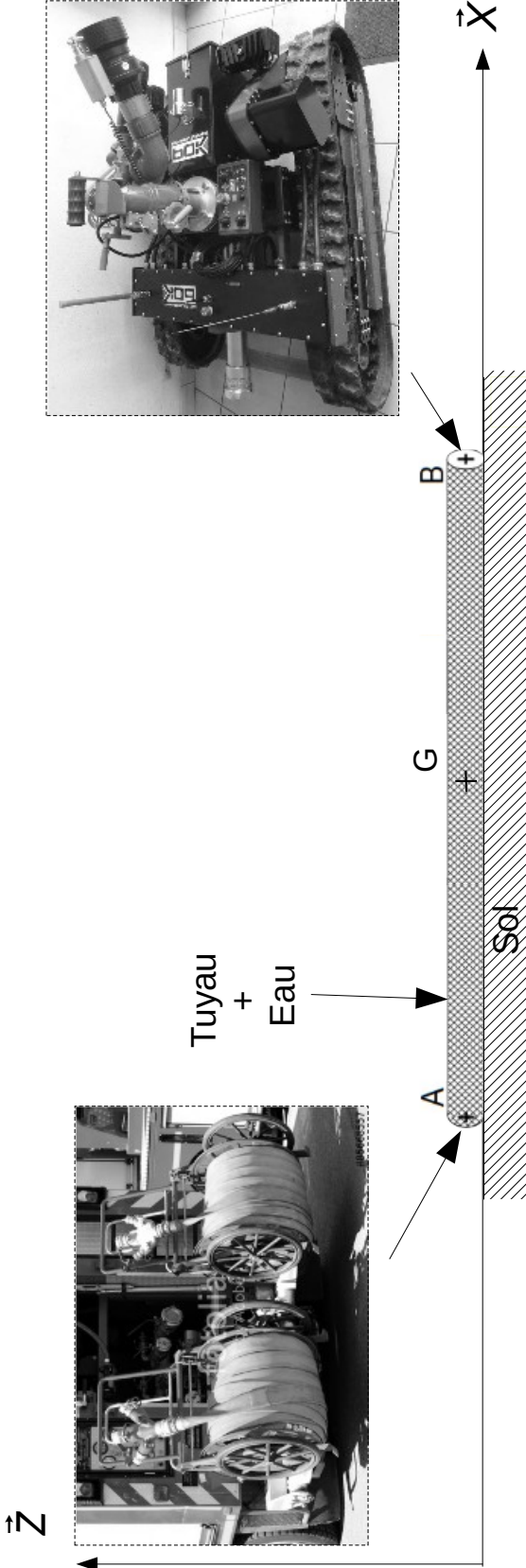
À rendre avec la copie

Document réponse DR1.

Question 7 :



Question 13 :



À rendre avec la copie**Document réponse DR2. Caractéristiques du pack batteries et algorithme****Question 24 :**

Voyant	Charge normale	Charge faible	Batterie déchargée
% charge utile	Charge utile $40 \geq \%$	$40 \% > \text{charge utile} > 20 \%$	Charge utile $\leq 20 \%$
$U_{\text{pack batterie}}$	$U_{\text{pack batterie}} \geq \dots$	$\dots > U_{\text{pack batterie}} > \dots$	$U_{\text{pack batterie}} \leq \dots$
$U_{\text{convertisseur}}$	$U_{\text{convertisseur}} \geq \dots$	$\dots > U_{\text{convertisseur}} > \dots$	$U_{\text{convertisseur}} \leq \dots$
N en décimal	$N \geq \dots$	$\dots > N > \dots$	$N \leq \dots$

Question 25 :

Début

N ← acquérir la tension d'entrée

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fin