

**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**  
**SÉRIE SCIENTIFIQUE**  
**ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

**Session 2018**

Corrigé

Ce corrigé comporte 11 pages numérotées de 1 sur 11 à 11 sur 11.

## Navette autonome NAVYA ARMA

**Q1.** À partir des données fournies, **calculer** l'énergie consommée en kW·h par le véhicule pour parcourir un aller-retour et **en déduire** l'énergie consommée par kilomètre parcouru (en kW·h·km<sup>-1</sup>).

Énergie consommée : 28,05 kWh

Distance parcourue pendant une journée :  $((9 \times 60) / 10,5) \times (1,320 \times 2) = 135,8$  km

Énergie consommée par km :  $28,05 / 135,8 = 0,206$  kWh/km

**Q2.** **Évaluer** l'impact environnemental, en kg eq CO<sub>2</sub>· km<sup>-1</sup>, de l'exploitation de la navette Arma dans le quartier lyonnais. **En déduire** l'émission de gaz à effet de serre (GES) par passager en g eq CO<sub>2</sub>· km<sup>-1</sup>· passager<sup>-1</sup>

Impact environnemental :  $0,206 \times 0,09 = 0,0187$  kg eq CO<sub>2</sub>· km<sup>-1</sup>

Émission de GES par passager :  $18,7 / 15 = 1,2$  g eq CO<sub>2</sub>· km<sup>-1</sup>· passager<sup>-1</sup>

**Q3.** À partir du résultat de la question 2 et des données des figures 4 et 5 pages 6 et 7, **conclure en quelques lignes** sur la pertinence de l'implantation de la navette Arma dans le quartier lyonnais de Confluence d'un point de vue **environnemental et sociétal**.

L'étude de l'impact environnemental du véhicule permet de mettre en évidence le faible dégagement de GES dû à l'exploitation d'Arma. Cependant, il faudrait réaliser une ACV complète afin d'étudier l'impact global de la navette.

Au niveau sociétal, le service rendu par le véhicule autonome s'insère bien dans les infrastructures de transport déjà en place à Lyon et permet de répondre favorablement à la problématique du « dernier kilomètre » sur le quartier de Confluence.

**Q4.** **Calculer** en mètre, le rayon de la trajectoire que doit suivre la navette.

$$R = 8 / (\pi/2) = 5,09 \text{ m}$$

**Q5.** Sur le document réponse DR1 page 20, **compléter** le diagramme de la structure fonctionnelle du mécanisme de direction en plaçant les composants manquants. **Indiquer** la nature des énergies repérées dans la chaîne d'énergie.

Voir DR1 corrigé (page 9 sur 11 du corrigé),

**Q6.** À l'aide des figures 8, 9 et du DT1, **déterminer** les valeurs des angles de pivotement  $\alpha_A$  et  $\alpha_D$  pour la configuration deux roues directrices et des angles de pivotement  $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$ ,  $\alpha_C$  et  $\alpha_D$  pour la configuration quatre roues directrices

Pour un rayon de virage de 5 m, en reportant cette valeur sur les figures 8 et 9 on obtient les valeurs angulaires du DT1 pour les configurations 2 et 4 roues directrices

Configuration 2 roues directrices :  $\alpha_A=42^\circ$  et  $\alpha_D=31^\circ$

Configuration 4 roues directrices :  $\alpha_A=25^\circ$ ,  $\alpha_B=-25^\circ$ ,  $\alpha_C=-17^\circ$  et  $\alpha_D=17^\circ$

**Q7. Choisir**, en justifiant à partir de la figure 10, la configuration de direction (deux ou quatre roues directionnelles) la mieux adaptée à la navette pour suivre la trajectoire imposée.

À partir de ces résultats et par lecture graphique sur les courbes des figures 8 et 9

Configuration 2 roues directrices : Rayon de braquage mini  $\sim 7,75$  m

Configuration 4 roues directrices : Rayon de braquage mini  $\sim 4,9$  m.

Il faudra équiper le véhicule de 4 roues directrices, condition nécessaire pour franchir le virage serré du parcours entre les arrêts Passerelle et Salins.

**Q8.** Sur le document DR2 page 21, **compléter** le graphe des liaisons en précisant les caractéristiques de ces liaisons (axes, directions, normales).

Voir corrigé DR2 (page 10 sur 11 du corrigé),

**Q9. Exprimer**, au point H, l'équation des moments issue du principe fondamental de la dynamique appliqué à l'ensemble {4+6}. **En déduire** la valeur  $F_2$  de l'action de résultante de la crémaillère 2 sur la biellette 4.

Compte tenu des hypothèses sur les effets dynamiques négligeables, l'écriture du PFD se résume à :

$$\vec{R}(2 \rightarrow 4) + \vec{R}(0 \rightarrow 6) + \vec{R}(sol \rightarrow 6) = \vec{0}$$

$$\vec{M}(H, 2 \rightarrow 4) + \vec{M}(H, sol \rightarrow 6) = \vec{0}$$

L'équation des moments permet d'obtenir directement l'action de la crémaillère sur la biellette :

$$\text{avec } \vec{M}(H, 2 \rightarrow 4) = \vec{HF} \wedge \vec{R}(2 \rightarrow 4) = 0,152 \cdot F_2 \cdot \vec{z}$$

On en déduit :

$$0,152 \cdot F_2 \cdot \vec{z} - 365 \cdot \vec{z} = \vec{0} \text{ soit } F_2 = \frac{365}{0,152} = 2402 \text{ N}$$

**Q10. Déterminer** le couple moteur à appliquer au pignon de direction afin d'assurer le mouvement des roues.

Les actions des biellettes sur la crémaillères sont égales à 4800 N suivant  $\vec{x}$ .

Le diamètre primitif du pignon d'entraînement est de 19mm.

On en déduit le couple moteur à appliquer sur le pignon :

$$C_m = \frac{4800 \cdot 0,019}{2} = 45,6 \text{ N.m}$$

**Q11.** En comparant les angles de pivotement des roues de la simulation et les résultats (figure 14 page 13) des mesures effectuées sur la navette (figure 15), **analyser** la validité du modèle d'un point de vue cinématique.

En examinant les courbes de variation des angles de pivotement des roues, on remarque que les résultats de la simulation sont proches des résultats expérimentaux : les valeurs extrêmes des angles sont comparables et l'évolution de la grandeur physique en fonction du temps est cohérente.

**Q12. Relever** les valeurs extrêmes du couple en sortie de réducteur obtenues expérimentalement et par simulation. **Compléter** la première ligne du tableau du document réponse DR2 page 21.

Voir document réponse DR2 corrigé (page 10 sur 11 du corrigé),

**Q13. Calculer** l'écart relatif (en %) entre les valeurs mesurées et simulées. **Compléter** le tableau du document réponse DR2. **Justifier** ces écarts et **analyser** la validité du modèle du point de vue des actions mécaniques.

Voir document réponse DR2 corrigé (page 10 sur 11 du corrigé).

En comparant les résultats expérimentaux et simulés, on constate que le modèle est assez fidèle au comportement mesuré sur la navette autant d'un point de vue de la cinématique de la direction, que du couple en sortie du réducteur. Les écarts constatés au niveau du couple en sortie de réducteur peuvent être expliqués par une sous évaluation du couple résistant des pneumatiques sur le sol. On remarque aussi une augmentation brutale du couple moteur lors de l'arrivée en butée de la direction. Cette butée n'a pas été modélisée dans le modèle de simulation.

**Q14.** À l'aide des figures des figures 14 et 15, **discuter** le choix du constructeur concernant le motoréducteur sélectionné en s'appuyant sur les grandeurs physiques courant et couple.

En examinant les courbes de la figure 15, on peut remarquer que le courant et le couple moteur sont supérieurs à leur valeur nominale donnée par le constructeur. Cependant, ces valeurs ne dépassent pas les capacités maximales du motoréducteur. Compte tenu du fait que le fonctionnement dans les conditions du modèle n'est pas

continu, le choix de l'actionneur peut se justifier.

**Q15.** À partir des données, **déterminer** les rayons  $R_A$  et  $R_B$  de la trajectoire de la roue A et de la roue B pendant le virage. En **déduire** les vitesses  $V_A$  et  $V_B$  en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  des points A et B.

Dans le virage la roue A suit la trajectoire de rayon  $R_A = (R - \frac{e}{2}) = (5 - \frac{1,9}{2}) = 4,05 \text{ m}$

et la roue B suit la trajectoire de rayon  $R_B = (R + \frac{e}{2}) = (5 + \frac{1,9}{2}) = 5,95 \text{ m}$

La vitesse de rotation du véhicule autour de O est :

$$\omega = \frac{V_M}{R} = \frac{10/3,6}{5} = 0,556 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

Pour la roue gauche A :  $V_A = \omega \cdot R_A = 0,556 \cdot 4,05 = 2,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Pour la roue droite B :  $V_B = \omega \cdot R_B = 0,556 \cdot 5,95 = 3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

**Q16.** Le déplacement du véhicule s'effectuant sans glissement, **calculer** les vitesses de rotation  $n_A$  et  $n_B$  des roues A et B en  $\text{tr}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Les vitesses de rotation :

$$n_A = \frac{V_A}{\pi \cdot D_p} = \frac{2,25}{\pi \cdot 0,69} = 1,038 \text{ tr}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\text{et } n_B = \frac{V_B}{\pi \cdot D_p} = \frac{3,3}{\pi \cdot 0,69} = 1,525 \text{ tr}\cdot\text{s}^{-1}$$

**Q17.** **Exprimer** les fréquences  $f_A$  et  $f_B$  des signaux issus des capteurs roue droite A et roue gauche B, en fonction des caractéristiques de la roue dentée et de la fréquence de rotation des roues. **Calculer**  $f_A$ ,  $f_B$  et le rapport  $\frac{f_A}{f_B}$ , pour la partie de trajectoire en ligne droite et pour la partie de trajectoire en 1/4 de cercle.

En ligne droite  $f_A = f_B = n_A \cdot 300 = \frac{V_M}{\pi \cdot D_p} \cdot 300 = 384 \text{ Hz}$  et  $\frac{f_A}{f_B} = 1$

En virage :

$$f_B = n_B \cdot 300 = 1,525 \cdot 300 = 457 \text{ Hz}$$

$$f_A = n_A \cdot 300 = 1,038 \cdot 300 = 311 \text{ Hz} \quad \text{et} \quad \frac{f_A}{f_B} = \frac{311}{457} = 0,68$$

**Q18. Indiquer** le type de mouvement de la navette en fonction du rapport des fréquences  $\frac{f_A}{f_B}$   $>1, =1$  ou  $<1$ .

$\frac{f_A}{f_B} > 1$  : la navette tourne à droite

$\frac{f_A}{f_B} = 1$  : la navette roule en ligne droite

$\frac{f_A}{f_B} < 1$  : la navette tourne à gauche

**Q19. Expliquer** la fonction réalisée par cette partie du programme (figure 18) et **proposer** un algorithme permettant de doubler la précision sur la mesure de la distance en complétant le DR3 page 22.

Cet algorithme permet de calculer le déplacement à partir des fronts montants des impulsions reçues avec une précision correspondant à la résolution.

Voir document DR3 corrigé (page 11 sur 11 du corrigé).

**Q20. Déterminer** les distances parcourues en mètre par chacune des roues  $D_A$  et  $D_B$  pour les différentes portions (entre  $t_0$  et  $t_1$  et entre  $t_1$  et  $t_2$  du parcours proposé.

**Déterminer** la résolution des capteurs en cm, et en **déduire** le nombre d'impulsions reçues  $N_A$  et  $N_B$  pour les différentes phases de la trajectoire retenue.

En ligne droite chacune des roues parcourt 5m.

Pour le virage chacune des roues parcourt un quart du périmètre du cercle soit un angle de  $\pi/2$ .

$$D_A = \frac{\pi}{2} \cdot R_A = \frac{\pi}{2} \cdot 4,05 = 6,36 \text{ m}$$

$$D_B = \frac{\pi}{2} \cdot R_B = \frac{\pi}{2} \cdot 5,95 = 9,34 \text{ m}$$

Lorsque la roue fait un tour elle avance de son périmètre  $\pi \cdot D_p = \pi \cdot 0,69 = 2,167 \text{ m}$

Résolution = Périmètre / nombre de dents =  $2,167 / 300 = 0,7 \text{ cm}$

Pour trouver les valeurs du nombre d'impulsions on applique :  $N = \frac{D}{\text{Résolution}}$

Pour la ligne droite  $N_A = N_B = 714$

Pour le virage :  $N_A = 908$  et  $N_B = 1334$

**Q21. Relever** précisément les périodes de chaque signal et **indiquer** quel est le pneu dégonflé. **Citer** trois autres situations pour lesquelles on peut enregistrer des vitesses  $n_A$  et  $n_B$  **des roues A et B différentes**.

L'oscillogramme représente la demie période des signaux :

pour la voie A : la période est le double de 6,5 carreaux de 0,2ms soit

$$T_A = 2 \cdot 6,5 \cdot 0,2 = 2,6 \text{ ms}$$

pour la voie B : la période est le double de 6,25 carreaux de 0,2 ms soit

$$T_B = 2 \cdot 6,25 \cdot 0,2 = 2,5 \text{ ms}$$

Les fréquences sont  $f_A = \frac{1}{T_A} = \frac{1}{2,6 \cdot 10^{-3}} = 384,6 \text{ Hz}$  et  $f_B = 400 \text{ Hz}$

Cela signifie que la roue B tourne plus vite que la roue A alors que le véhicule circule en ligne droite, donc plusieurs hypothèses sont envisageables :

Perte d'adhérence, sous gonflage d'un coté, usure d'un pneumatique.

**Q22. Expliquer** pourquoi le calculateur peut perdre la trajectoire réelle et **conclure** **par rapport aux performances de l'odométrie**.

Le calculateur utilise les signaux des capteurs des roues A et B, en cas de glissement ou de défaut des pneumatiques la trajectoire retracée par calcul accumule les erreurs sur les rayons de courbure et sur les distances parcourues. L'écart entre la position réelle et la position calculée ne fait qu'augmenter.

L'odométrie seule ne suffit pas.

**Q23. Justifier** le fait que le constructeur ait mis en œuvre plusieurs solutions pour obtenir les informations concernant le déplacement du véhicule, en indiquant les avantages et inconvénients de chacune des deux solutions (odométrie et GPS différentiel).

Le fait de coupler les deux systèmes de positionnement confère un positionnement optimal. L'odométrie est sensible à l'état du sol et des pneumatiques, mais est précise à 0,7 cm près, quant au GPS différentiel il est précis à 1 cm près mais est sensible aux conditions climatiques et bruitages passagers.

**Q24. Compte tenu** des résultats et conclusions obtenus dans les parties précédentes, **conclure** sur la capacité de la navette à suivre la trajectoire le long de la Saône et sur la pertinence de son intégration dans l'éco-quartier Confluence.

D'un point de vue sociétal, l'intégration de la navette autonome Arma à Confluence épouse parfaitement la philosophie de développement de l'éco-quartier : absence de nuisance sonore, de rejet polluant, circulation sur des voies inaccessibles aux autres

transports en commun, image moderne et innovante. Afin de compléter l'étude environnementale, il serait nécessaire d'effectuer une analyse de cycle de vie du véhicule complète.

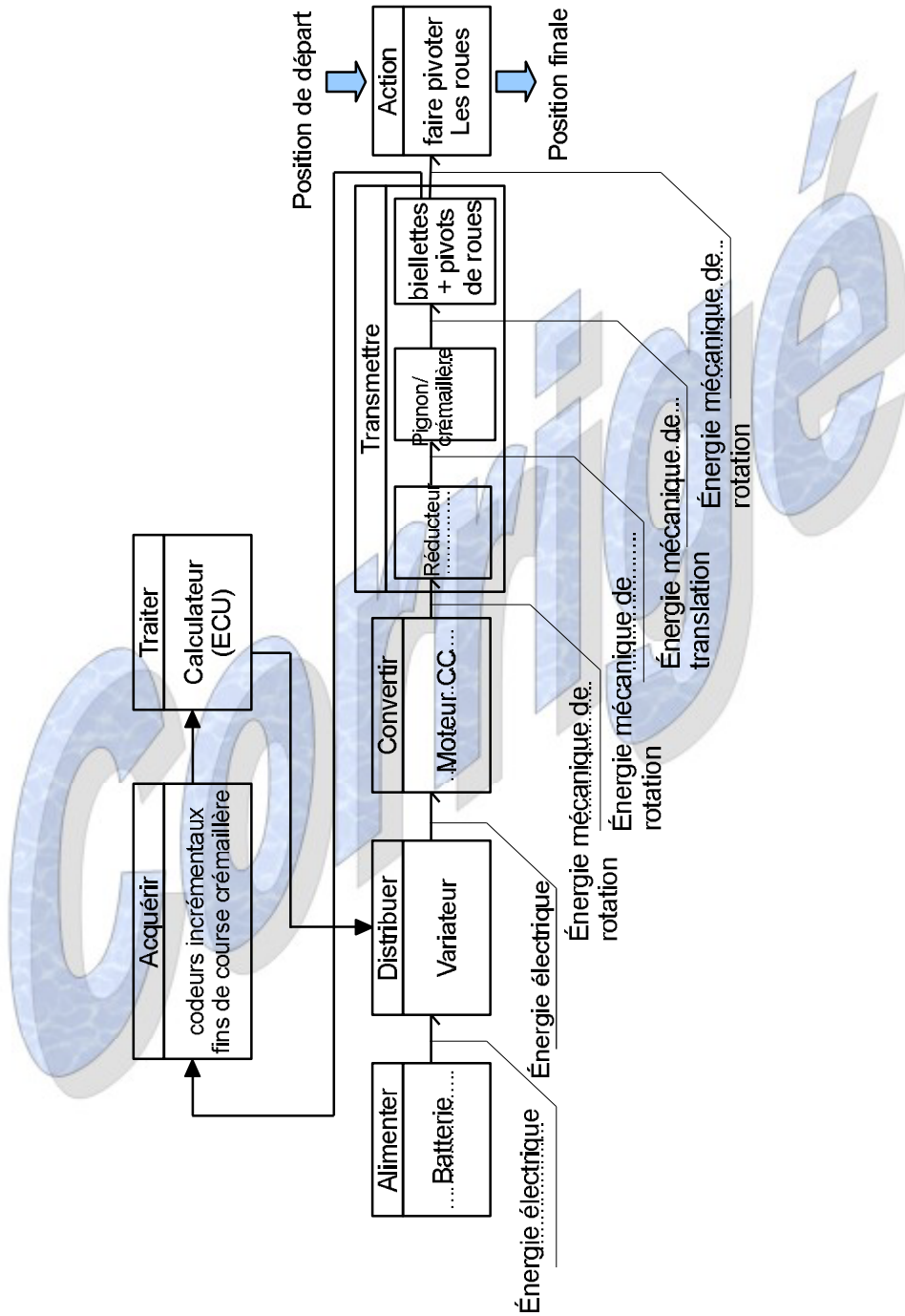
Concernant les capacités techniques du véhicule à suivre le trajet prévu le long de la Saône, l'étude effectuée sur la direction montre que la navette est tout à fait apte à respecter le chemin choisi par les programmeurs. Il reste néanmoins à effectuer une étude afin de vérifier l'autonomie du véhicule dans les conditions d'exploitation.

Corrigé



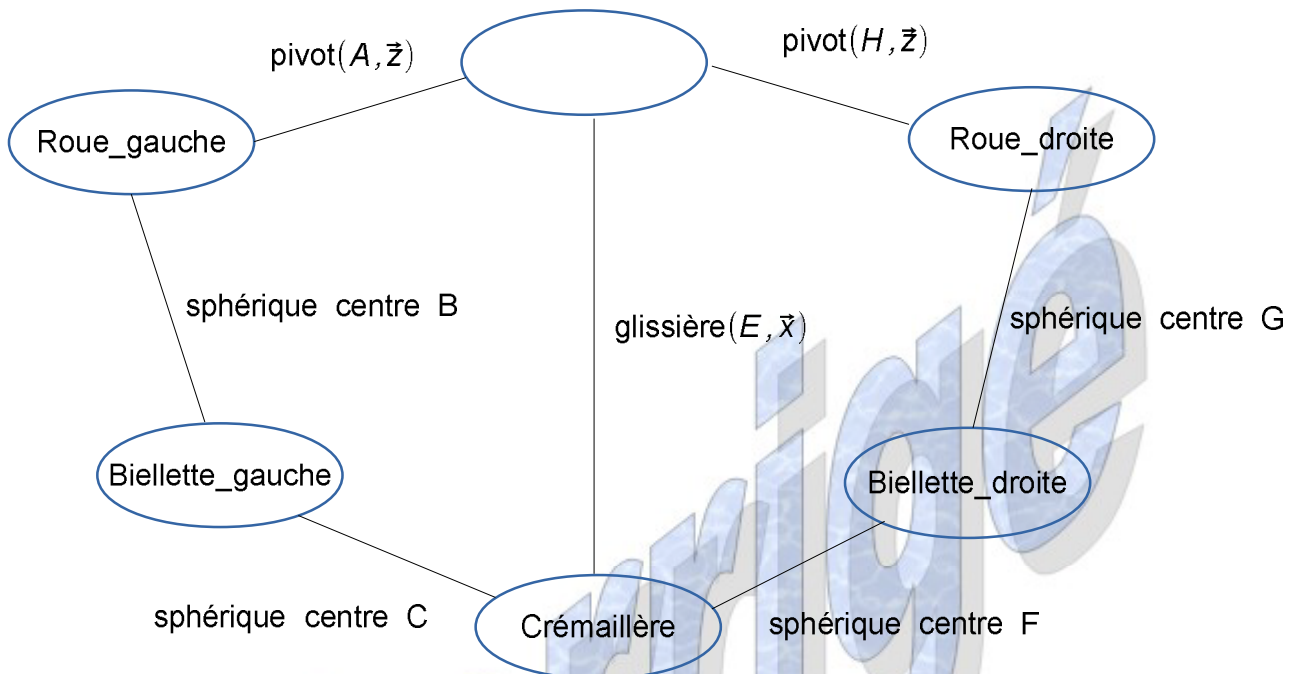
Document réponse DR1.

Q5. Compléter les éléments de la chaîne fonctionnelle de la direction.



## Document réponse DR2.

**Q8. Compléter** le graphe de liaisons.



**Q12 et Q13 . Calculer** les écarts entre les valeurs mesurées et simulées.

	Valeurs minimales		Valeurs maximales	
	mesurée	simulée	mesurée	simulée
Couple réducteur $C_r$ en N	43 N.m	41 N.m	54 N.m	51 N.m
Écart relatif en %	4,5 %		5,5 %	

## Document réponse DR3.

Q19. Compléter l'algorithme.

