

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2016

Corrigé

Tri'Ode

1. Présentation du système

2. Analyse du besoin

Objectif de cette partie : **vérifier** la capacité du Tri'Ode à remplir la mission à laquelle il est destiné.

Q1. Expliquer pourquoi le Tri'Ode est particulièrement adapté à la mission de nettoyage des graffitis en ville.

La charge utile du Tri'Ode annoncée par le constructeur (70 kg, 108 l) est suffisante pour transporter les produits et outils nécessaires à la mission de nettoyage (60 kg, 80 l). De même, l'autonomie annoncée, de 45 km, permet de couvrir la distance parcourue quotidiennement par le technicien.

Le Tri'Ode est beaucoup plus petit qu'une fourgonnette et peut se faufiler plus facilement dans la circulation en ville. Son stationnement est également facilité par sa petite taille.

Le fait qu'il soit électrique lui permet de pouvoir accéder à certaines zones réglementées comme les zones piétonnes ou le centre historique de certaines villes.

Q2. Calculer les rejets de CO₂ par kilomètre du Tri'Ode. **Conclure** sur l'aptitude du Tri'Ode à satisfaire l'exigence de la ville concernant les rejets de CO₂ dans l'atmosphère.

La recharge des batteries (2 kW·h) du Tri'Ode va générer 2×40 g de CO₂ pour une distance parcourue de 45 km soit un rejet de $\frac{2 \times 40}{45} = 1,78$ g de CO₂ / km

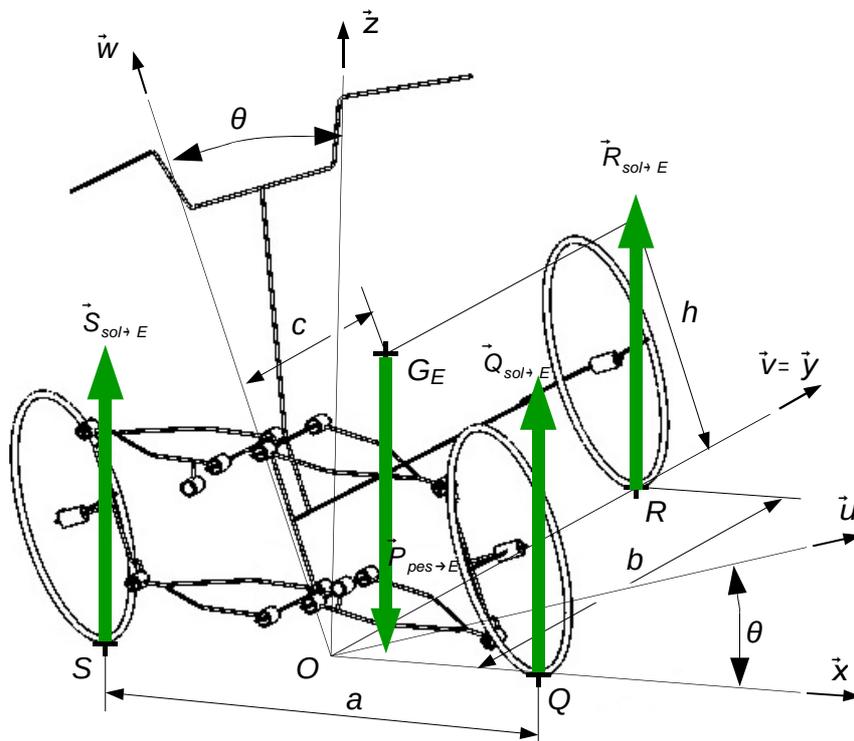
Le Tri'Ode rejete 1,78 g de CO₂ par kilomètre ce qui est très inférieur aux exigences de la ville qui impose une limite de 50 g/km.

3. Assurer la sécurité à l'arrêt, à basse et haute vitesse

Objectif de cette partie : **justifier** l'intérêt d'un dispositif permettant de bloquer la géométrie du train avant. **Vérifier** la réactivité du système de blocage de l'architecture transverse et **établir** son programme de fonctionnement.

Sécurité à l'arrêt

Q3. Compléter la figure 20 du document réponse DR1 en indiquant aux différents points, la direction et le sens des différentes actions mécaniques extérieures qui s'appliquent au Tri'Ode.



Q4. Indiquer dans ce cas la valeur de $\|\vec{Q}_{sol \rightarrow E}\|$ et **en déduire** l'expression de $\sin(\theta)$ en fonction des dimensions a , b , c et h .

Lorsque le Tri'Ode est sur le point de se renverser sur la droite, $\|\vec{Q}_{sol \rightarrow E}\| = 0 \text{ N}$. donc

$$\|\vec{Q}_{sol \rightarrow E}\| = \left(\frac{h}{a} \times P(\text{pes} \rightarrow E) \times \sin(\theta) - \frac{(c-b) \times P(\text{pes} \rightarrow E)}{2 \times b} \right) = 0$$

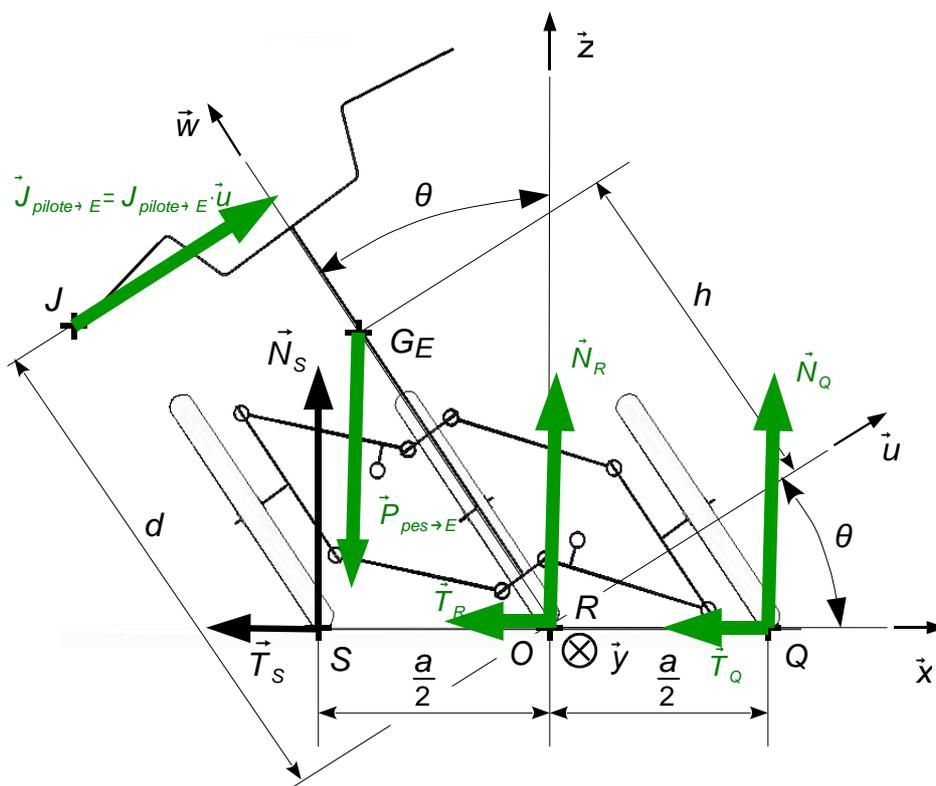
$$\text{d'où } \sin(\theta) = \frac{(c-b) \times a}{2 \times b \times h}$$

Q5. Calculer la valeur de l'angle θ à ne pas dépasser pour éviter tout risque de basculement si $a = 800$ mm, $b = 1\,398$ mm, $c = 703$ mm et $h = 347$ mm. **Vérifier** que les butées mécaniques permettent d'éviter le basculement, à l'arrêt en cas de défaillance du système de blocage, de la version professionnelle du Tri'Ode.

$$\theta = \arcsin\left(\frac{(c-b) \times a}{2 \times b \times h}\right) = \arcsin\left(\frac{(703-1398) \times 800}{2 \times 1398 \times 347}\right) = -34,96^\circ$$

L'angle limite correspond à celui défini par les butées mécaniques ; une bonne répartition des masses dans les malles peut permettre d'abaisser le centre de gravité de l'ensemble et limiter le risque de renversement, tout comme une mauvaise répartition peut le favoriser. Les butées mécaniques conviennent très certainement pour le modèle standard mais elles sont trop justes pour le modèle professionnel.

Q6. Compléter la figure 21 du document réponse DR1 en représentant aux points J , G_E , R et Q , les actions mécaniques extérieures qui s'appliquent à l'ensemble E ; **représenter** les composantes normales et tangentielles des actions aux points Q et R . En appliquant le théorème du moment dynamique, **exprimer** l'équation algébrique qui traduit l'équilibre de l'ensemble E autour de l'axe (O, \vec{y}) .



$$J(\text{pilote} \rightarrow E) \times d + N_S \times \frac{a}{2} - P(\text{pes} \rightarrow E) \times h \times \sin \theta - N_Q \times \frac{a}{2} = 0$$

Q7. Sachant que le pilote ne doit pas exercer un effort supérieur à 100 N pour relever le Tri'Ode, **déterminer** l'angle d'inclinaison maximal du véhicule (assuré par le vérin du système de blocage) correspondant à cet effort.



L'angle d'inclinaison maximal correspondant à un effort de 100 N est de 5°.

Lorsque la vitesse du véhicule est inférieure à 8 km·h⁻¹, le système de blocage doit limiter l'inclinaison du véhicule à 5° de part et d'autre de la verticale.

Sécurité à basse et haute vitesse

Q8. **Déterminer** le temps nécessaire pour transmettre une trame complète.

Le nombre d'octets nécessaire par information est de **4 octets**.

L'information data est composée des 9 informations des capteurs soit $(9 \times 4) = \mathbf{36 \text{ octets}}$.

L'information fournie par la centrale d'inertie est composée des informations suivantes :

début de trame + Identification + données + CS soit :

$$1 + 3 + 36 + 1 = \mathbf{41 \text{ octets}}$$

La trame d'échange d'un octet de la liaison RS232 est composée de 1 bit de start, 8 bits de données, 1 bit de parité et 1 bits de stop soit **11 bits** au total.

Pour transmettre 1 octet de données la trame transmet 11 Bits. Pour transmettre les 41 octets de données, il faut $41 \times 11 = \mathbf{451 \text{ bits}}$.

La vitesse de transmission est de 19200 bits par seconde. Pour transmettre les 451 bits, il faudra : $\frac{451}{19200} = 0,0235 \text{ s}$ soit environ **24 ms**.

Q9. Sachant que le temps de réaction des électrovannes est de 45 ms et que celui des autres composants est négligeable, **vérifier** que le temps de réaction du système correspond à celui du cahier des charges (figure 1).

Temps de réaction du système = 24 + 45 = **69 ms**.

Il est inférieur au temps de blocage spécifié dans le cahier des charges, qui est de 300ms ; la réactivité du système de blocage est suffisante pour assurer la sécurité du pilote.

Contrôle de l'inclinaison

Q10. Préciser, sur le document réponse DR2, le mouvement de la tige du vérin (rentrée de tige ou sortie de tige) lorsque le véhicule bascule de la position verticale vers la droite et lorsque le véhicule bascule de la position verticale vers la gauche.

Mouvement du véhicule	Action de la tige du vérin
De la position verticale vers la droite	Sortie de tige
De la position verticale vers la gauche	Rentrée de tige

Q11. Indiquer sous chaque schéma du document réponse DR2 le(s) mouvement(s) possible(s) de la tige du vérin (entourer le mouvement possible, barrer le mouvement impossible). **Justifier** en traçant, en couleur, le sens de parcours du fluide dans les conduites.

Vérin hydraulique double effet

Clapet anti-retour

Vanne hydraulique proportionnelle

Vanne A

Vanne B

Circuit de commande

Mouvement(s) possible(s)

Rentrée de tige ~~Sortie de tige~~

Vérin hydraulique double effet

Clapet anti-retour

Vanne hydraulique proportionnelle

Vanne A

Vanne B

Circuit de commande

Mouvement(s) possible(s)

~~Rentrée de tige~~ ~~Sortie de tige~~

Vérin hydraulique double effet

Clapet anti-retour

Vanne hydraulique proportionnelle

Vanne A

Vanne B

Circuit de commande

Mouvement(s) possible(s)

~~Rentrée de tige~~ Sortie de tige

Vérin hydraulique double effet

Clapet anti-retour

Vanne hydraulique proportionnelle

Vanne A

Vanne B

Circuit de commande

Mouvement(s) possible(s)

Rentrée de tige ~~Sortie de tige~~

Q12. En **déduire** la(les) vanne(s) (A, B) à fermer pour bloquer l'inclinaison du Tri'Ode uniquement vers la droite, uniquement vers la gauche et en position verticale. **Compléter** le document réponse DR3.

Vanne(s) à fermer pour bloquer l'inclinaison de la position verticale vers la gauche :	B
Vanne(s) à fermer pour bloquer l'inclinaison de la position verticale vers la droite :	A
Vanne(s) à fermer pour bloquer le Tri'Ode en position verticale :	A et B

Q13. Compléter sur le document réponse DR3 l'algorithme de commande des électrovannes.

Début

TANT QUE $v = 0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Fermer Vanne A

Fermer Vanne B

FIN TANT QUE

Ouvrir Vanne A

Ouvrir Vanne B

si $v < 8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

si inclinaison à droite $\geq 5^\circ$

Alors **Fermer** Vanne A

Ouvrir Vanne B

Fin de si

si inclinaison à gauche $\geq 5^\circ$

Alors **Ouvrir** Vanne A

Fermer Vanne B

Fin de si

Fin de si

Si chute détectée à droite

Alors **Fermer** Vanne A

Ouvrir Vanne B

Fin de si

Si chute détectée à gauche

Alors **Ouvrir** Vanne A

Fermer Vanne B

Fin de si

4. Gestion de l'alimentation

Objectif de cette partie : **valider** le choix des batteries et **vérifier** que la réserve d'énergie (lorsque le voyant batterie s'allume) est suffisante pour permettre au pilote de retourner au garage.

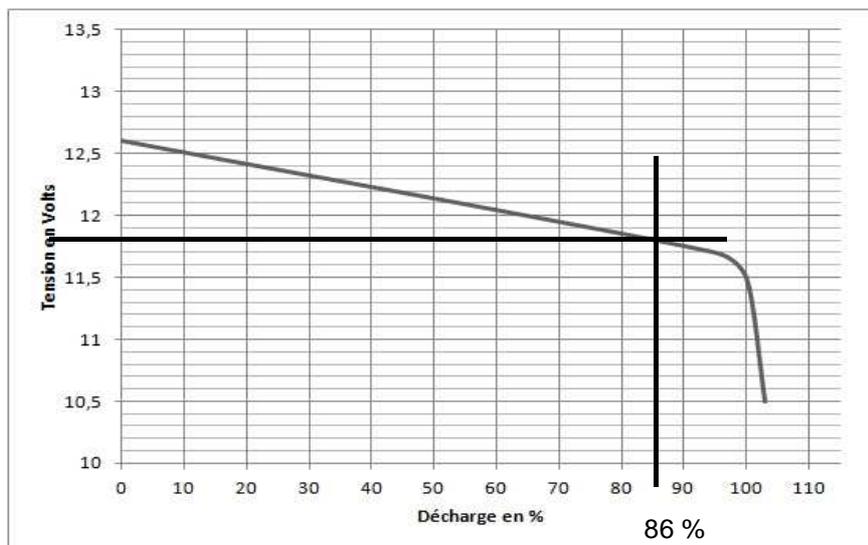
Contrôle de la tension de la batterie

Q14. Déduire d'après la courbe caractéristique de décharge (figure 12), la capacité de batterie restante.

Calculer alors la distance pouvant être encore parcourue, en considérant une vitesse constante de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et un courant moyen consommé de 22 A .

Vérifier la pertinence de la solution technologique du voyant qui alerte le conducteur.

Lorsque la tension atteint $11,8 \text{ V}$, la batterie est déchargée à 86% ; il reste donc 14% de la capacité de la batterie soit $\frac{14 \times 55}{100} = 7,7 \text{ A}\cdot\text{h}$.



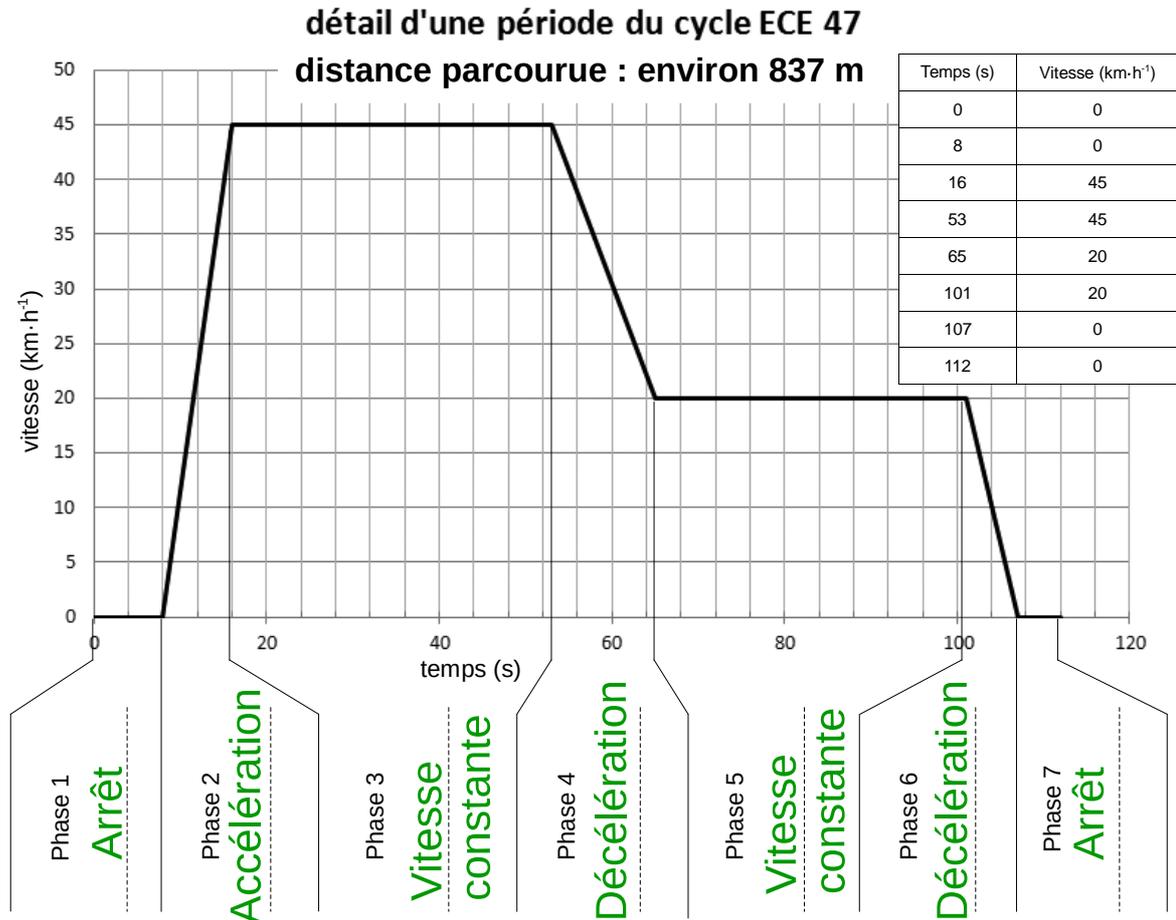
L'autonomie est alors de $\frac{7,7}{22} = 0,35 \text{ h}$ soit **21 min.**

La distance parcourue est de $20 \times 0,35 = 7 \text{ km}$

L'autonomie est suffisante puisque l'on peut parcourir 7 km avec la réserve alors que le pilote sera au pire à 6 km de son garage.

Vérification de l'autonomie du Tri'Ode

Q15. Identifier sur la figure 24 du document DR4, détaillant une période du cycle ECE 47, les différentes phases du mouvement (accélération, décélération, vitesse constante, arrêt).



Q16. Comparer ce cycle à celui d'un trajet qui serait réalisé en milieu urbain.
Conclure sur la validité de l'autonomie du véhicule annoncée par le constructeur.

Ce cycle représente un trajet de plus de 800 m. Il est peu probable de pouvoir parcourir une telle distance en ville sans marquer d'arrêt et avec une vitesse aussi régulière. Les stops, feux rouges, passages piétons, bouchons... vont "hacher" le parcours et nécessiter de nombreuses phases d'accélération et de décélération. L'utilisation du Tri'Ode en ville avec une charge utile de 60 kg ne permettra pas de parcourir les 45 km annoncés par le constructeur ; les phases d'accélération étant gourmandes en énergie, à fortiori avec un véhicule chargé.

Justification du modèle multi-physique du triode grand public (sans mallette ni charge)

Q17. Indiquer la nature et l'unité des grandeurs de flux et d'effort correspondant à la puissance en sortie du composant «*Roue arrière*» du modèle multi-physique.

Sachant que la roue arrière a un diamètre de 58 cm, **justifier** le ratio de $3,45 \text{ rad}\cdot\text{m}^{-1}$ du composant «*Roue arrière*» dont la définition est donnée ci-dessus.

Vitesse linéaire en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et force en N.

La roue a un diamètre de 58 cm soit une circonférence de $\pi \times 0,58 \approx 1,82 \text{ m}$.

Donc pour un angle de rotation de $2 \pi \text{ rad}$, la roue avance de 1,82 m d'où le ratio :

$$\frac{2 \times \pi}{1,82} = 3,45 \text{ rad}\cdot\text{m}^{-1}.$$

Q18. Après avoir comparé les différentes formes du Tri'Ode grand public (sans mallette ni charge) aux formes présentées figure 14, **justifier** l'ordre de grandeur du C_x de 0,8.

De par sa forme, le Tri'ode se rapproche plus d'une moto de tourisme que d'une voiture ; son C_x sera donc plus proche de 0,9 que de 0,5. Le carénage à l'avant du Tri'Ode, de forme arrondie, descend assez bas et le pare-brise remonte assez haut ce qui est propice à améliorer le C_x . Par contre les deux roues à l'avant engendrent plus de traînée qu'un deux roues classique. Globalement, un C_x légèrement plus faible qu'une moto de tourisme semble cohérent.

Validation du modèle multi-physique du Tri'Ode grand public (sans mallette ni charge)

Q19. Comparer l'allure des courbes simulée et réelle ainsi que les valeurs de courant maximal, moyen entre 20 s et 50 s.

Comparer les distances parcourues.

Conclure sur la validité du modèle multi-physique.

L'allure des courbes simulée et réelle sont similaires ; on retrouve notamment les mêmes zones correspondant aux phases d'accélération, de vitesse constante et de freinage sur des durées équivalentes.

Le courant maximal mesuré est de $5,8 \times 40 = 232 \text{ A}$ pour environ 225 A simulé.

Entre 20 et 50 s, le courant moyen mesuré est d'environ $1,1 \times 40 = 44 \text{ A}$ pour 47 A simulé.

La distance parcourue réellement est de 837 m, celle obtenue par simulation de 835 m, la différence est négligeable.

Les résultats obtenus avec le modèle multiphysique sont proches de ceux obtenus sur le système réel ; il peut donc être validé.

Q20. Calculer en ampères heures la quantité Q d'électricité consommée pendant le cycle.

En **déduire** le nombre de cycles pouvant être réalisés (voir les caractéristiques de la batterie), puis la distance totale d_{totale} pouvant être parcourue.

Comparer cette distance avec celle annoncée dans le cahier des charges ; **rechercher** des causes aux éventuels écarts constatés.

$$Q = 5 \times 220 + 40 \times 47 + 32,5 \times 16,5 \approx \mathbf{3516 \text{ Coulombs soit } 0,977 \text{ Ah}}$$

En déduire le nombre de cycles pouvant être réalisés :

$$\frac{55}{0,977} = \mathbf{56,3 \text{ cycles}}$$

Distance d_{totale} pouvant être parcourue :

$$D_{totale} = 835 \times 56,3 = \mathbf{47010 \text{ m soit environ } 47 \text{ km}}$$

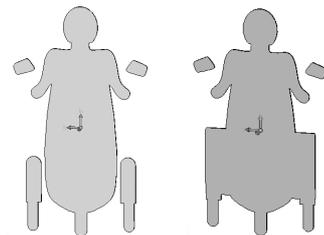
Cette distance est un peu supérieure aux 45 km annoncés par le constructeur. Les écarts peuvent provenir des simplifications faites pour le calcul, des paramètres qui ont été entrés dans le modèle multiphysique (coefficient de roulement, C_x ...) mais également de la consommation des composants électriques (centrale inertielle, variateur de vitesse, électrovannes...) qui n'a pas été prise en compte dans le modèle.

Vérification de l'autonomie pour la mission envisagée avec valise et charge

Q21. Indiquer quels paramètres il faut modifier pour adapter le modèle multiphysique aux conditions réelles d'utilisation du Tri'ode par la société de nettoyage. **Préciser**, sans donner de valeur, la façon dont ces paramètres doivent évoluer.

Les paramètres à modifier sont :

- la courbe de variation de la tension d'alimentation du moteur pour avoir un cycle de vitesse représentatif d'un trajet urbain ;
- la masse de l'ensemble scooter+pilote qui augmente avec la charge des valises ;
- le C_x qui augmente par l'ajout à l'arrière du véhicule de valises peu aérodynamiques ;
- la surface frontale qui augmente ; les valises latérales débordant de chaque côté du scooter :



Q22. Donner la tension nominale du pack constitué des trois batteries au plomb et **calculer** l'énergie qui peut être stockée dans ce pack. En **déduire** l'autonomie, en kilomètres, du Tri'Ode avec ces nouvelles conditions. **Conclure** sur l'aptitude du Tri'Ode à réaliser la mission envisagée lorsqu'il est alimenté par des batteries au plomb.

La tension nominale du pack de batterie est de $3 \times 12,6 = 37,8 \text{ V}$.

Energie embarquée dans les batteries : $37,8 \times 55 \times 3600 = 7484400 \text{ J}$.

Autonomie : $\frac{7484400}{156100} \times 0,696 = 33,4 \text{ km}$.

L'autonomie est insuffisante car la mission de nettoyage nécessite de parcourir 45 km.

Q23. Exploiter les résultats obtenus dans les parties précédentes pour valider ou non l'utilisation du Tri'Ode par la société de nettoyage et les éventuelles modifications à réaliser.

Réponse attendue sous forme d'un paragraphe argumenté de 10 lignes maximum.

Le Tri'Ode a la capacité de transporter le matériel nécessaire au nettoyage des graffitis. De plus, il participe à réduire les émissions nocives pour l'environnement grâce à sa propulsion électrique et son faible taux de rejet de CO₂.

La sécurité de l'utilisateur est améliorée par le système de contrôle de l'inclinaison qui évite le basculement dans les virages et à l'arrêt et ce malgré une charge utile importante transportée à l'arrière du véhicule. La santé du conducteur est également prise en compte en limitant l'effort nécessaire pour maintenir l'équilibre du véhicule lors des manœuvres à faible vitesse.

L'utilisation de batteries au plomb ne permet cependant pas au Tri'Ode de parcourir une distance suffisante pour réaliser sa mission. Un système de récupération de l'énergie de freinage permettrait d'augmenter l'autonomie de manière significative.