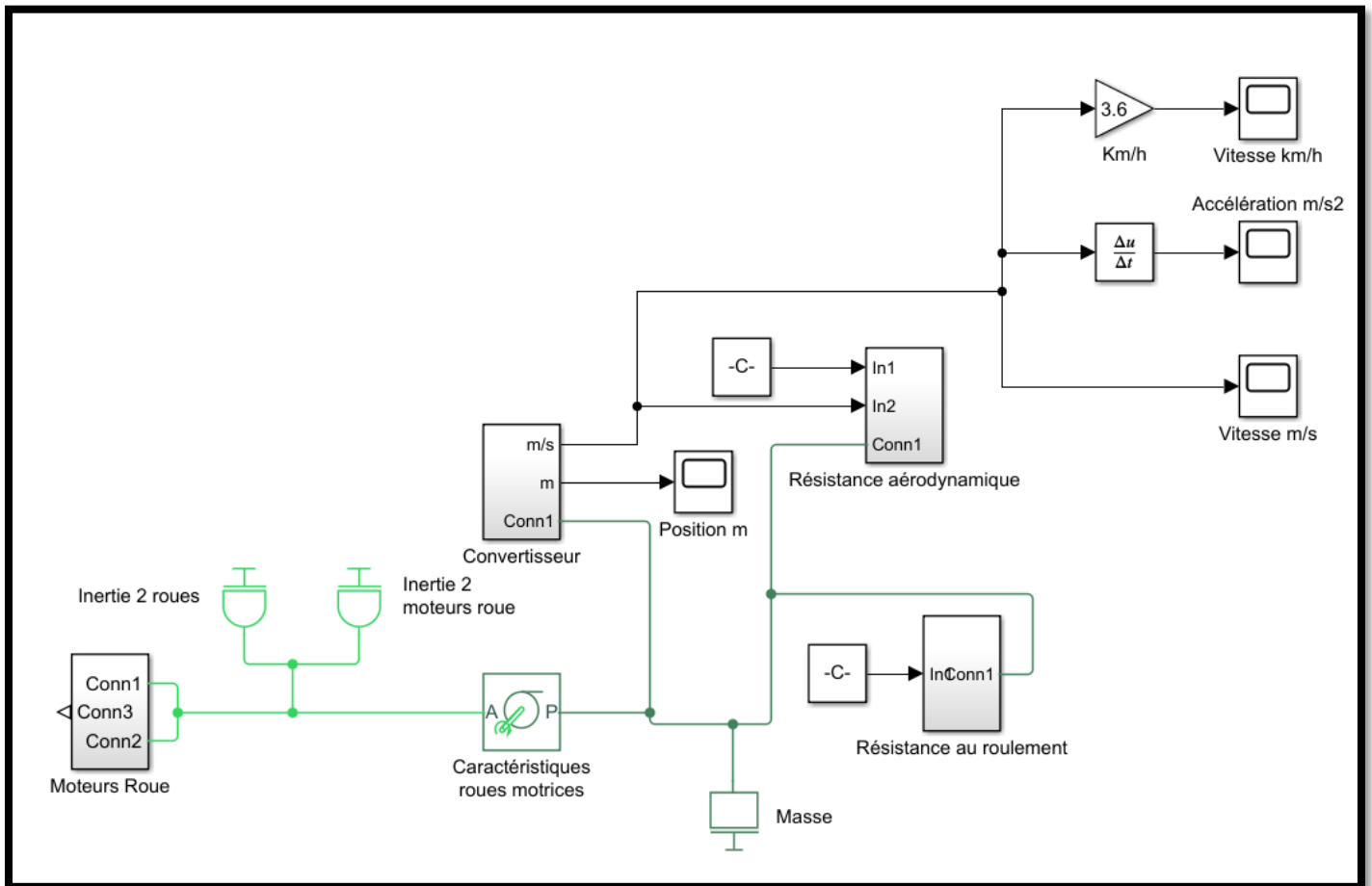


## I – Analyse du modèle multi physique de la chaine de puissance :

Vous disposez, ci-dessous, de la modélisation de la chaine de puissance sous le logiciel Matlab.



Ce modèle a été obtenu à partir de l'équation du moment dynamique projeté sur l'axe de rotation de la roue motrice (avant).

$$C_{mot} = \frac{\Gamma}{R_{roue}} (J_{mot} + J_{roue}) + R_{roue} * (F_v + F_{rr})$$

Avec les éléments suivants :

- $C_{mot}$  : couple moteur (N.m)
- $\Gamma$  : Accélération de l'ensemble trottinette et passager ( $m.s^{-2}$ )
- $R_{roue}$  : Rayon de la roue motrice (2 roues même diamètre)
- $J_{mot}$  : inertie moteur
- $J_{roue}$  : inertie d'une roue
- $M$  : Masse de l'ensemble
- $F_v$  : Force aérodynamique
- $F_{rr}$  : Force de résistance au roulement

Il s'agit dans un premier temps d'obtenir les valeurs de certains éléments afin de paramétrer au mieux le modèle. Ce modèle correctement paramétré permettra d'obtenir les variations de la position, de la vitesse et de l'accélération de la trottinette en fonction du temps.

## Activité élève

### 1-1 La Trainée aérodynamique

Le calcul de la force de **trainée aérodynamique** se fait à partir de l'équation suivante :

$$F_v = 0.5 \times 1.225 \times S \times Cx \times V^2$$

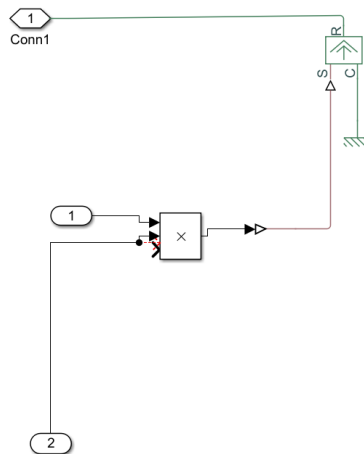
Cette force s'oppose au mouvement de la trottinette et son unité est le N (Newton).

- $\rho_{air}$  : Masse volumique de l'air ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ )
- $S$  : Surface frontale, perpendiculaire à la direction du mouvement (en  $\text{m}^2$ )
- $Cx$  : le coefficient de trainée (sans unité)
- $V$  : Vitesse de translation de la trottinette avec son passager (2 roues même diamètre)

On peut aussi considérer la formule réduite ainsi :

$$F_v = a V^2 \quad \text{avec} \quad a = (0.5 \times 1.225 \times S \times Cx)$$

- ☞ Estimer la valeur de  $S$  sachant que l'on considère un homme de taille moyenne 1,70 m et d'une largeur moyenne de 35 cm.
- ☞ Déterminer le coefficient  $a$  sachant que  $Cx = 0,8$  (homme de taille moyenne debout).
- ☞ Identifier la boîte de constante -C- dans laquelle le coefficient  $a$  devra être saisi. Entourez-le en rouge sur le schéma de modélisation du document réponse.
- ☞ Expliquer comment est réalisé  $V^2$  dans le bloc « résistance aérodynamique » proposé ci-dessous.



### 1-2 La Résistance au roulement

Le calcul de la force de résistance au roulement se fait à partir de l'équation suivante :

$$F_{rr} = C_{rr} \times M \times 9.81$$

Cette force s'oppose au mouvement de la trottinette et son unité est le N (Newton).

- $C_{rr}$  : 0,0025m (2,5mm), coefficient de résistance au roulement d'un pneu sur bitume.
- $M$  : Masse de l'ensemble (trottinette et passager)
- 9,81 : accélération de la pesanteur (en  $\text{m/s}^2$ )

- ☞ Rechercher dans le « document technique » la masse du Gyropode.
- ☞ Déterminer la valeur de la masse  $M$  de l'ensemble sachant que la charge est de 25 kg (valeur minimale de la masse transportée).
- ☞ Déterminer la force de résistance au roulement  $F_{rr}$ .
- ☞ Identifier la boîte de constante -C- dans laquelle le coefficient  $F_{rr}$  devra être saisi. Entourez-le en vert sur le schéma de modélisation du document réponse.

### 1-3 L'Inertie de la roue motrice

Le calcul du moment d'inertie  $J_{roue}$  d'une roue (assimilé à un cylindre plein) se fait à partir de l'équation suivante :

$$J_{roue} = I_{zz} = 0.5 \times m \times R^2 \text{ (avec } m : \text{masse d'une roue)}$$

Pour les deux roues, on aura alors l'équation suivante

$$J_{roues} = 2 \times I_{zz} = m \times R^2 \text{ (avec } m : \text{masse d'une roue)}$$

Ce moment quantifie la résistance à la mise en rotation des roues. Son unité est le kg.m<sup>2</sup>.

- ☞ Rechercher la masse  $m$  en kg et le rayon  $R$  en m de la roue motrice dans le « *document technique* ».
- ☞ Déterminer la valeur du moment d'inertie des deux roues  $J_{roues}$ .
- ☞ Identifier la boîte de constante -C- dans laquelle le coefficient  $J_{roue}$  devra être saisi. Entourez-le en bleu sur le schéma de modélisation du document réponse.
- ☞ Repérer sur le modèle multi-physique du « *Document Réponse* » les différents termes de l'équation.  
(Rouge : trainée aérodynamique, vert : résistance au roulement, bleu : l'inertie de la roue motrice)

## II – Comparaison du modèle multi physique de la chaine de puissance avec le CdCf

### 2-1 Les relevés

L'ensemble des relevés sont dans le document « *Résultats simulations Matlab Ninebot* »

#### • Charge passager de 25 kg

- ☞ En observant l'allure de la courbe de la vitesse  $V$  en km/h, préciser l'ordre du modèle du système parmi les 4 proposés sur la « *fiche de modélisation temporelle* ».
- ☞ Déterminer la valeur de la vitesse en phase de stabilisation et déduire la valeur du gain statique  $K$ .
- ☞ Déterminer le temps d'accélération. C'est le temps qu'a mis le gyropode pour atteindre cette vitesse. En déduire la valeur de la constante de temps  $\tau$ .
- ☞ Ecrire l'équation de la courbe de la vitesse  $V(t)$  à l'aide des coefficients  $K$  et  $\tau$  en vous aidant de l'équation du modèle sur la « *fiche de modélisation temporelle* ».
- ☞ Déterminer la distance parcourue au bout d'une minute à l'aide de la courbe « *position* ».
- ☞ Déterminer la valeur de l'accélération maximale en début de mouvement.
- ☞ Consigner vos résultats dans le tableau du « *Document Réponse* ».

#### • Charge passager de 50 kg

- ☞ Réaliser le même travail pour une charge de 50 kg.

#### • Charge passager de 75 kg

- ☞ Réaliser le même travail pour une charge de 75 kg.

#### • Charge passager de 100 kg

- ☞ Réaliser le même travail pour une charge de 100 kg.

### 2-2 Les écarts entre le modèle simulé est le Cahier des Charges

☞ Les performances annoncées par le cahier des charges (en termes de vitesse) sont-elles atteintes pour toutes les charges ? Justifier votre réponse en donnant les écarts en % par rapport à la vitesse maximale de 16 km/h annoncée par le cahier des charges.

☞ Consignez vos résultats dans le tableau du « *Document Réponse* ».

Rappel pour calculer les écarts :

$$V_{\%} = \frac{(V_2 - V_1)}{V_1} \times 100$$

$V_1$  : valeur de référence du cahier des charges

☞ Peut-on dire que la distance parcourue au bout d'une minute se maintient quelle que soit la charge ? Justifier votre réponse en donnant les écarts en % par rapport à la distance de 265 m.

### 2-3 Conclusion

☞ Sur quelle performance du gyropode l'augmentation de la charge transportée va-t-elle agir ? Justifier votre réponse.

### 2-4 Utilisation en montée

Le cahier des charges mentionne une pente maximale de 15% soit un angle de montée maximal de  $8,53^\circ$  ( $\alpha = \arctan(0,15) = 8,53^\circ$ ). Pour cette situation, les performances de vitesse de 15 km/h doivent donc être maintenue). Cette pente rajoute une résistance au roulement provoquée par la composante de poids de l'ensemble. Pour une charge transportée de 100kg, cette **résistance** est égale à **164 N**.  $R = (100 + 12,8) \times 9,81 \times \sin(8,53^\circ) = 164 \text{ N}$

☞ Déterminer la nouvelle valeur de la résistance au roulement  $F_{rr}$ .

☞ En observant la courbe de la vitesse, vérifier si la vitesse  $V$  de 15 km/h peut être maintenue dans cette situation.

## III – Comparaison des relevés expérimentaux avec le CdCf

### 3-1 Le protocole expérimental

Les relevés expérimentaux en charge de 25 kg peuvent être réalisés sur le banc d'essais à rouleaux avec des lourdes masses de la salle de musculation.

Les relevés en charges de 50 kg, 75 kg et 100 kg peuvent être réalisés directement à l'extérieur sur sol plat. La charge embarquée sera la masse de l'élève ajustée de masses de 2 kg, de 1 kg et de 0,5 kg disposées dans un sac à dos sur le dos de l'élève.

### 3-2 Les instruments de mesure

Vous avez à votre disposition un décimètre et vous pouvez disposer de votre téléphone portable.  
Vous pouvez télécharger et utiliser les deux applications suivantes :

- Accelerometer



- Segway Ninebot



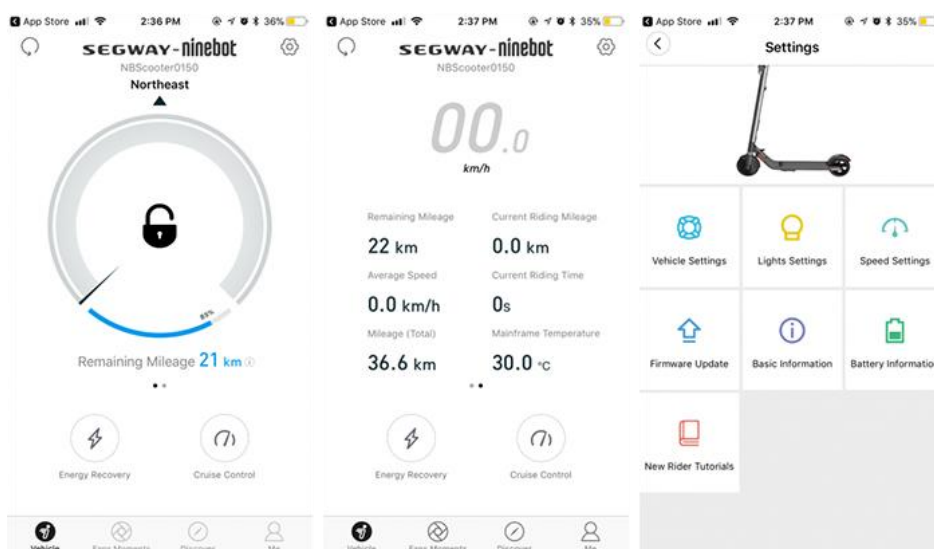
#### L'application accéléromètre

En fixant correctement votre mobile sur la trottinette (en respectant la direction des 3 axes), vous pouvez obtenir les courbes de la variation de l'accélération.  
Un support de guidon (pour mobile) vous ait proposé.



#### L'application M365 Tools

L'application est très complète (*elle ne permet cependant pas afficher l'accélération*).  
Il suffit de se connecter en bluetooth. Elle se présente sous la forme suivante :



### 3-3 Les relevés expérimentaux

- La vitesse stabilisée (*en km/h*)

☞ Définir un protocole expérimental pour obtenir la valeur mesurée de la vitesse stabilisée en km/h.

Valeurs mesurées :

25 kg ➔ 15,5 km/h    50 kg ➔ 14,2 km/h    75 kg ➔ 13,8 km/h    100 kg ➔ 12,5 km/h

☞ Remplir le tableau sur le « Document Réponse ».

## Activité élève

- Le temps d'accélération (*en s*)

☞ Définir un protocole expérimental pour obtenir le temps d'accélération mesuré en seconde.

Valeurs mesurées :

25 kg ➔ 5 s    50 kg ➔ 7 s    75 kg ➔ 9 s    100 kg ➔ 13 s

☞ Remplir le tableau sur le « *Document Réponse* ».

- La distance au bout d'une minute (*en m*)

☞ Définir un protocole expérimental pour obtenir la distance parcourue au bout d'une minute.

Valeurs mesurées :

25 kg ➔ 300 m    50 kg ➔ 280 m    75 kg ➔ 265 m    100 kg ➔ 240 m

☞ Remplir le tableau sur le « *Document Réponse* ».

- L'accélération maximale (*en m/s<sup>2</sup>*)

☞ Définir un protocole expérimental pour obtenir l'accélération maximale au départ du mouvement.

Valeurs mesurées :

25 kg ➔ 8 m/s<sup>2</sup>    50 kg ➔ 6 m/s<sup>2</sup>    75 kg ➔ 4 m/s<sup>2</sup>    100 kg ➔ 1 m/s<sup>2</sup>

☞ Remplir le tableau sur le « *Document Réponse* ».

### **3-4 Les écarts entre les mesures et le cahier des charges**

☞ Les performances annoncées par le cahier des charges (en termes de vitesse) sont-elles atteintes pour toutes les charges ? Justifier votre réponse en donnant les écarts en % par rapport à la vitesse maximale de 16 km/h annoncée par le cahier des charges.

☞ Consignez vos résultats dans le tableau du « *Document Réponse* ».

Rappel pour calculer les écarts :

$$V_{\%} = \frac{(V_2 - V_1)}{V_1} \times 100$$

$V_1$  : valeur de référence du cahier des charges

☞ Peut-on dire que la distance parcourue au bout d'une minute se maintient quelle que soit la charge ? Justifier votre réponse en donnant les écarts en % par rapport à la distance de 265 m.

☞ Consigner vos résultats dans le tableau du « *Document Réponse* ».

### **IV – Les écarts entre les relevés expérimentaux et les résultats simulés**

☞ Déterminer les écarts en terme de vitesse et de distance parcourue au bout d'une minute entre les relevés expérimentaux et les résultats simulés.

☞ Consigner vos résultats dans le tableau du « *Document Réponse* ».

### **V – Conclusion**

☞ Au regard des écarts constatés, proposer des paramétrages supplémentaires du modèle pour que les résultats des simulations soient plus proches des relevés expérimentaux.