

## Modélisation du système scoot'elec

### Problématique

Le Scoot-élec de Peugeot a les mêmes performances qu'un scooter thermique de moins de 50 cm<sup>3</sup>. En usage urbain, il offre de nombreux avantages et peu d'inconvénients. Il s'intègre facilement dans le trafic. La puissance progressive de son moteur permet une conduite souple, fluide et sans à-coups. Son entretien est réduit et sa consommation très économique. L'engin, silencieux et propre, est nerveux, véloce, et maniable. Le schéma de la figure ci-dessous montre les différents éléments du scooter.

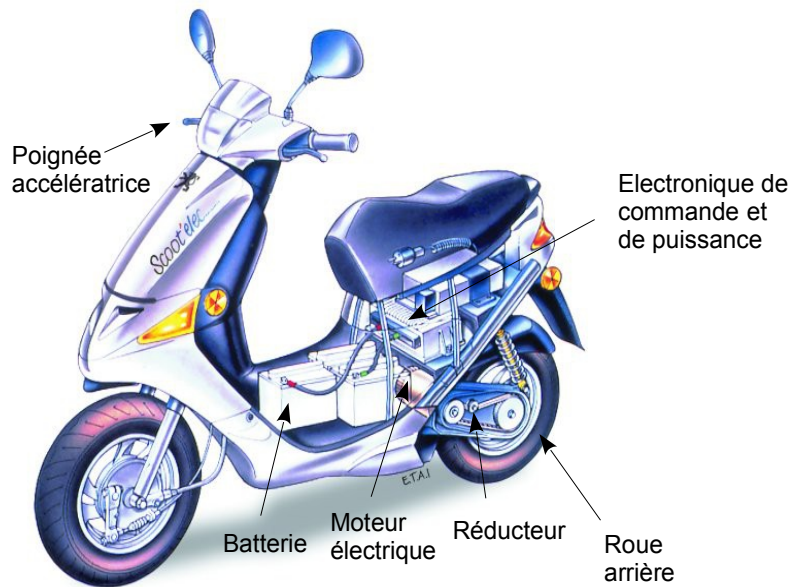


Illustration 1 : Structure du Scoot'elec

L'objectif du travail proposé est de justifier le choix de la motorisation électrique pour atteindre les performances indiquées dans le cahier des charges

Le cahier des charges partiels ci-dessous spécifie les principales performances annoncées par le constructeur.


Fonctions	Critères	Valeurs
FS1 : permettre le déplacement du conducteur par rapport à la route	Vitesse	45 km/h
	Accélération	100 m départ arrêté en 12s 10 m départ arrêté en 3,5s
	Pente	17%
FS2 : être adapté au conducteur	Masse transportée	85 kg maximum
	Hauteur de selle	780 mm ±5%
FS3 : être alimenté en énergie	Autonomie	1 h (vitesse max) 1h30 (utilisation urbaine)
	Charge	220 V, 7A max
	Temps de charge	5h max
FS4 : Respecter la réglementation	Vitesse maximale imposée	45 km/h en France
	Nuisance sonore	Aucune
FS5 : s'adapter à la route	Encombrement	L x l x h = 1740 x 700 x 1140 mm

## Organisation de la séance

**A la fin de la séance, vous devez obtenir une courbe qui représente l'évolution du couple mesuré au volant exercé par le conducteur pour un mouvement donné du volant.**

Les objectifs de la séance sont :


- de proposer un modèle de connaissance (établi à partir d'équations physiques) de chaque composant du scooter intervenant pour réaliser la fonction principale
- de simuler la réponse du système par un logiciel de modélisation multiphysique
- de vérifier les performances définies dans le cahier des charges

Sur votre PC, lancer le logiciel Scilab puis dans le gestionnaire de Fichier cliquer sur  et se positionner dans le répertoire contenant le fichier « modele\_SIMM\_scootelec\_vid.ezc ». Double-cliquer ensuite sur ce fichier, ce qui a pour effet de lancer le module Xcos, nouvelle fenêtre contenant le modèle multiphysique du scootelec commencé.

Ce modèle contient l'ensemble une partie des constituants du scootelec.

Chaque composant nécessite un paramétrage. Certains blocs sont déjà renseignés.

Pour renseigner les valeurs manquantes, il suffit de double-cliquer sur chaque bloc indiqué dans le texte et renseigner la valeur numérique correspondante.

Une fois que vous aurez répondu à toutes les questions du TP, il vous suffira de renseigner les valeurs numériques des constantes dans les blocs étudiés et lancer une simulation en cliquant sur le bouton .

## Partie A - Modélisation du scooter

### A.1. Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel ci-dessous établit la structure de commande du scooter électrique en définissant les composants permettant de passer de l'angle de consigne  $\alpha(t)$  donné au niveau de la poignée accélératrice à la vitesse de déplacement du scooter  $v(t)$  (déplacement en translation)

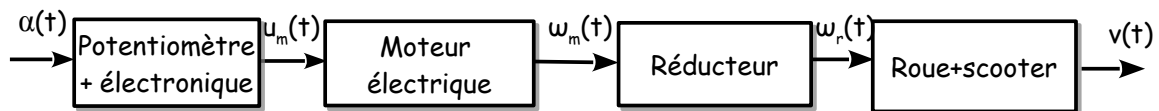


Illustration 2 : Schéma fonctionnel du scooter électrique

Les logiciels de modélisation multi-physique permettent de décrire un système au plus proche de la description fonctionnelle.

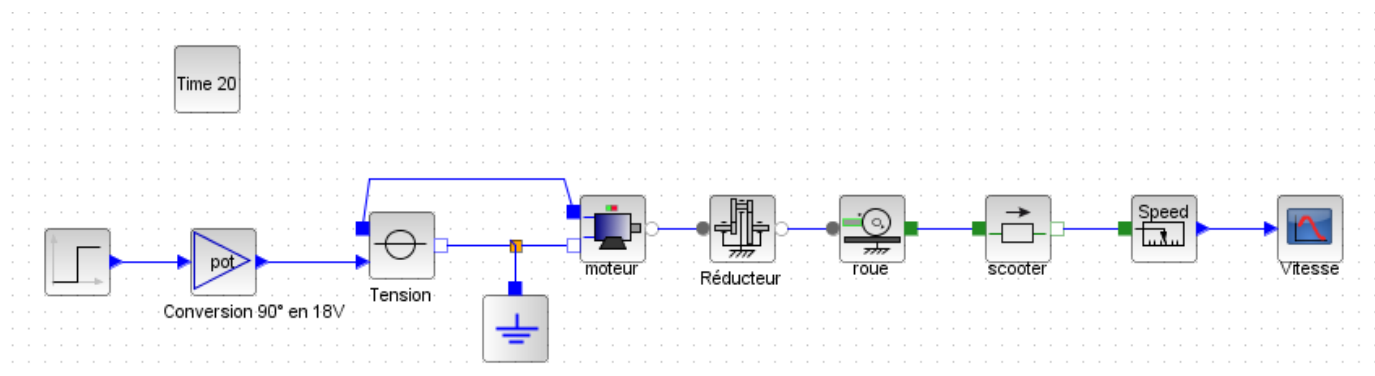


Illustration 3 : Schéma acausal du scooter électrique

**Réalisation du schéma acausal sous Xcos**

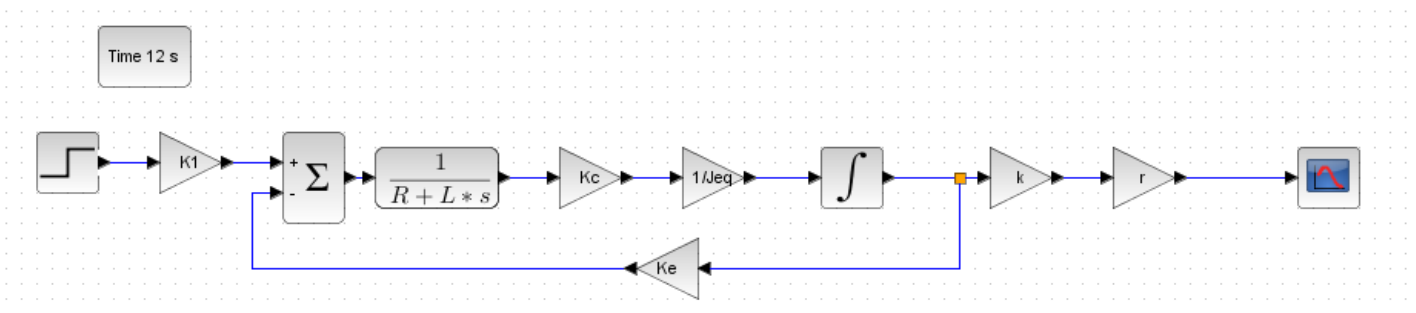
Réaliser ce schéma-bloc en utilisant les blocs suivants.

Dans le navigateur de palettes (répertoire SIMM), faire glisser les blocs nécessaires pour réaliser le schéma-bloc défini ci-dessus et les relier entre eux (il n'est pas nécessaire de mettre des labels sous les blocs). Mettre un 'iscope' pour visualiser la vitesse du véhicule.

- Utilitaires / Visualisation / Iscope et IREP\_TEMP
- Composants / Actionneurs / MEMC\_DCmotor
- Composants / Préactionneurs / MMR\_IdealGearR2TGen et MMR\_IdealGearGen
- Signaux / Sources / MBS\_Step et Math / MBM\_Gain
- Electrique / Sources / MEAS\_SignalVoltage et MEAB\_Ground
- Mécanique / Translation 1D / CMTC\_Mass et Mesure / CMTS\_GenSensor (double-cliquer sur ce bloc et taper 1 pour sélectionner une mesure de vitesse et non de position.

En cliquant droit sur un lien ou un bloc puis en sélectionnant Format/Édition, entrer un texte dans l'onglet 'Paramétrage du texte'. Valider puis déplacer le texte si nécessaire.

En modélisation dite causale (par fonction de transfert), le schéma-bloc aurait été le suivant :



Indiquer la correspondance entre le schéma-bloc multiphysique et le schéma-bloc causal en précisant notamment où se trouve le moteur dans le schéma-bloc causal.

**A.2. Modélisation et détermination des paramètres**

Pour prévoir le comportement du scooter électrique, il est nécessaire d'élaborer un modèle de connaissance basé sur ce schéma fonctionnel de façon à pouvoir compléter les différents blocs entrés.

**A.2.a) Modèle du potentiomètre + électronique de commande et de puissance**

L'ensemble délivre une tension maximale de 18 V pour un angle de consigne de 90°. Une butée physique empêche la poignée de tourner au delà de 90°.

En supposant que  $u_m(t) = K_1 \alpha(t)$ , calculer la valeur numérique du gain  $K_1$ . Double-cliquer sur le bloc pot et renseigner cette valeur (il est possible de taper des opérations dans les blocs).

**A.2.b) Modèle du réducteur**

Le réducteur est constitué d'un ensemble poulies / courroie et d'un engrenage cylindrique.

Les poulies possèdent respectivement 67 dents et 34 dents. L'engrenage est constitué de deux roues dentées de 13 et 47 dents. On note  $\omega_m(t)$  la vitesse angulaire du moteur,  $\omega_r(t)$  la vitesse angulaire de la roue et  $\omega_p(t)$  la vitesse de la poulie intermédiaire

Déterminer la constante  $k$  telle que  $\omega_r(t) = k \omega_m(t)$  Renseigner la valeur  $1/k$  dans le bloc réducteur.

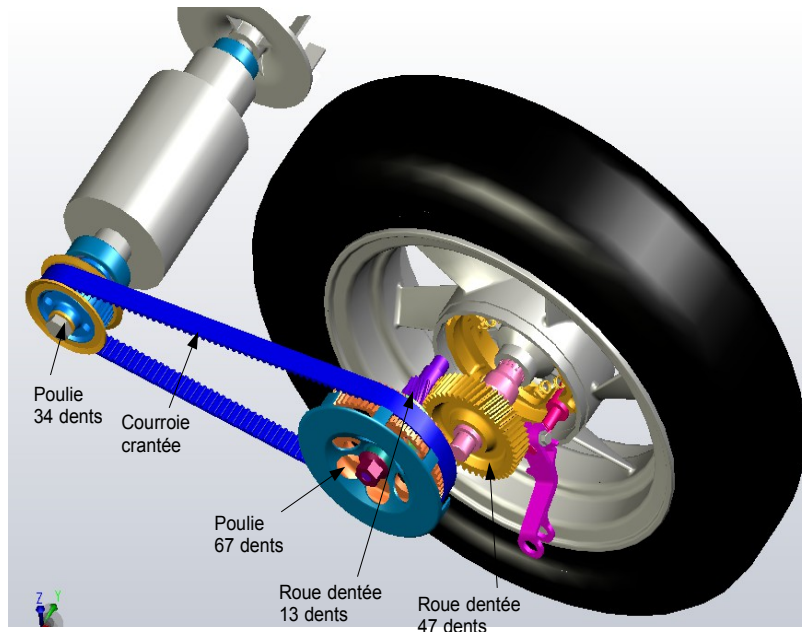


Illustration 4: Description du réducteur

**A.2.c) Modélisation de la roue**

*Le rayon  $r$  de la roue en contact avec le sol est de 21 cm. Déterminer une relation entre  $v(t)$  et  $\omega_r(t)$  en précisant l'hypothèse utilisée. Mettre la valeur  $1/r$  (en m) dans le bloc de la roue.*

**A.2.d) Modélisation dynamique**

Les quatre équations qui caractérisent un moteur à courant continu correspondent de manière générale à :

- Équation électrique (modélisation par circuit R-L) :  $u_m(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$
- Équation mécanique :  $J_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} = Cm(t) - Cr(t)$
- Équations de couplage magnétique :  $Cm(t) = k_c i(t)$  et  $e(t) = k_e \omega_m(t)$

avec  $u_m(t)$  tension d'alimentation                       $i(t)$  courant circulant dans le moteur  
 $Cm(t)$  couple fourni par le moteur                       $Cr(t)$  couple résistant supposé nul  
 $\omega_m(t)$  vitesse de rotation du moteur                       $J_m, L, R, k_c$  et  $k_e$  des constantes caractéristiques du moteur

R	$k_e$	$k_c$	L	$J_m$
0,02 $\Omega$	0,038 V.s	0,038 Nm/A	$10^{-5}$ H	0,01 $kg \cdot m^2$

On note également  $m=200$  kg la masse du conducteur + scooter.

*Renseigner ces paramètres dans le bloc moteur et dans le bloc scooter.*

## Partie B - Vérification des performances du Scoot'élec

On cherche dans un premier temps à vérifier que le moteur retenu permet d'atteindre la vitesse maximale à plat définie dans le cahier des charges. On applique pour cela en entrée un échelon d'angle de  $90^\circ$  (on accélère à fond très rapidement!)

Renseigner le bloc échelon de  $90$  pour l'entrée  $\alpha$ , ce qui modélise une rotation maximale de la poignée de manière instantanée.

Lancer une simulation en choisissant une durée de simulation de  $12$  s et  $200$  points de calcul (à renseigner dans IREP\_TEMP).

Vérifier la performance de vitesse maximale définie dans le cahier des charges. On pourra ajouter un bloc MBM\_Gain pour convertir la vitesse mesurée de m/s à km/h.

Compléter votre schéma-bloc de manière à visualiser également la position au cours du temps et l'accélération du scooter.

Vérifier les performances d'accélération définies dans le cahier des charges. Commenter le réalisme du modèle retenu au vu des performances, proposer plusieurs sources d'amélioration du modèle.

Modifier la masse du scooter ( $300$  kg par exemple) et commenter l'influence de cette masse sur les performances du scooter. Expliquer pourquoi dans le schéma-bloc causal, la masse n'apparaît pas. Préciser alors l'expression de  $J_{eq}$  en fonction de la masse  $m$ , du rapport de réduction global et de  $J_{m.el}$

## Partie C - Amélioration du modèle

### C.1. Démarrage à plat

Le modèle précédent a été établi en faisant l'hypothèse du roulement sans glissement de la roue motrice arrière sur le sol. Or lorsqu'on applique un échelon de  $90^\circ$ , il est possible que la roue patine au démarrage. Il peut se faire également que la roue avant décolle.

L'objectif de l'étude suivante est donc de déterminer la valeur de l'échelon que l'on peut appliquer pour éviter le patinage au démarrage ou le décollerement de la roue avant.



Illustration 5: Modélisation dynamique

On considère le scooter sur route plate. La position du centre de la roue arrière motrice (A) est repérée par  $\vec{OA} = x(t) \vec{x}_0$ . Le centre de la roue avant est défini par  $\vec{AB} = L \vec{x}_0$  ( $L=1300\text{mm}$ ). On note A' et B' les points de contact des deux roues arrière et avant avec le sol. Le problème est supposé plan.

Le centre de gravité du scooter+conducteur est défini par  $\vec{A'G} = l \vec{x}_0 + h \vec{y}_0$  ( $l=380\text{mm}$ ,  $h=500\text{mm}$ )

La masse totale du scooter et conducteur est estimée à  $m=200\text{ kg}$ .

Les actions mécaniques du sol sur le scooter seront notées :

$$\left\{ (T^a)_{sol \rightarrow scooter} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} T_A \vec{x}_0 + N_A \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{A'}$$

et

$$\left\{ (T^b)_{sol \rightarrow scooter} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} T_B \vec{x}_0 + N_B \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{B'}$$

On estime que le coefficient de frottement d'une roue sur le sol est  $f=0,8$

On se place en **phase d'accélération**. Seule la roue arrière est motrice. On néglige les quantités inertielles des roues devant les actions mécaniques.

**Déterminer les actions du sol sur les roues en précisant les isolements réalisés et les équations retenues.**

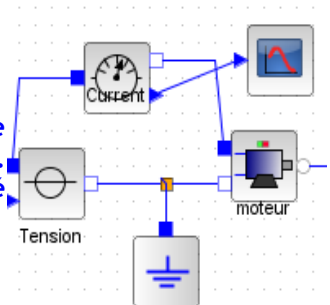
**Indiquer pour quelle accélération maximale la roue avant décolle-t-elle.**

**Quelle condition sur l'accélération doit-on vérifier pour qu'il n'y ait pas glissement de la roue arrière sur le sol. Faire l'application numérique.**

Après avoir indiqué le critère limitant pour l'accélération, vérifier par simulation dans Xcos pour une entrée en échelon d'angle de  $90^\circ$  si ce critère est respecté et conclure sur la validité du modèle de consigne.

### C.2. Consigne de vitesse au démarrage

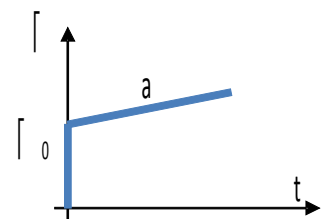
Mettre en place dans le circuit électrique un ampèremètre (Electrique/Mesure/MEAS\_CurrentSensor) pour relever l'intensité du moteur. Relever la valeur maximale et dans quelle zone on obtient cette intensité maximale.



L'intensité maximale que peut supporter le moteur est de 300 A. Si l'intensité dépasse cette valeur, un contacteur coupe l'alimentation du moteur. C'est pourquoi le conducteur adapte naturellement la consigne au niveau de la poignée accélératrice pour éviter que le moteur 'cale'.

On retient donc le profil suivant pour la consigne d'entrée du modèle :

On rappelle que la butée ne peut pas dépasser physiquement un angle de  $90^\circ$ .



Mettre en place un bloc MBS\_Ramp de la palette Signaux/Sources. Paramétrer les blocs de manière à ce que le scooter soit le plus rapide possible sans que l'intensité du moteur ne dépasse 300 A. On pourra mettre un bloc ISCOPE pour vérifier l'allure de la consigne.

**A quelle grandeur physique (position, vitesse, accélération) le courant est-il le plus proche ? Justifier ce lien au regard des équations du moteur.**

### C.3. Démarrage en pente

Le cahier des charges indique que le scooter peut monter une pente de 17%. On note  $\theta_0$  l'angle de la route avec l'horizontale. Dans ces conditions le scooter est soumis à une partie de l'action de la pesanteur. Pour prendre en compte cette action dans le modèle, il suffit d'appliquer une force sur le bloc correspondant au scooter.

**Donner l'expression de cette force en fonction de  $m$ ,  $g$ ,  $\theta_0$ . Compléter le schéma-bloc comme ci-contre en ajoutant un bloc de la palette Mécanique / Sources/ CMTS\_Force0 et un bloc Signaux/Sources/MBS\_Constant. Lancer une simulation et vérifier si le cahier des charges est respecté. Adapter si nécessaire la consigne.**

#### **C.4. Prise en compte de l'action de l'air.**

Pour avoir une modélisation plus réaliste, on prend en compte l'action de l'air qui exerce une autre action mécanique sur le scooter égal à :  $Fr(t) = -\frac{\rho}{2} C_x S v(t)^2 \approx -7,62 v(t)^2$  où  $\rho$  est la masse volumique de l'air,  $S$  la surface frontale du scooter+conducteur,  $C_x$  un coefficient de traînée et  $v(t)$  la vitesse du scooter.

Supprimer le bloc MBS\_Constant (on ne s'intéresse plus au démarrage en pente). Choisir dans la palette Signaux / Math des blocs permettant de construire la force due à l'air en fonction de la vitesse du véhicule (en m/s).

#### **Synthèse**

---

*Vérifier que les performances définies dans le cahier des charges sont toujours vraies*