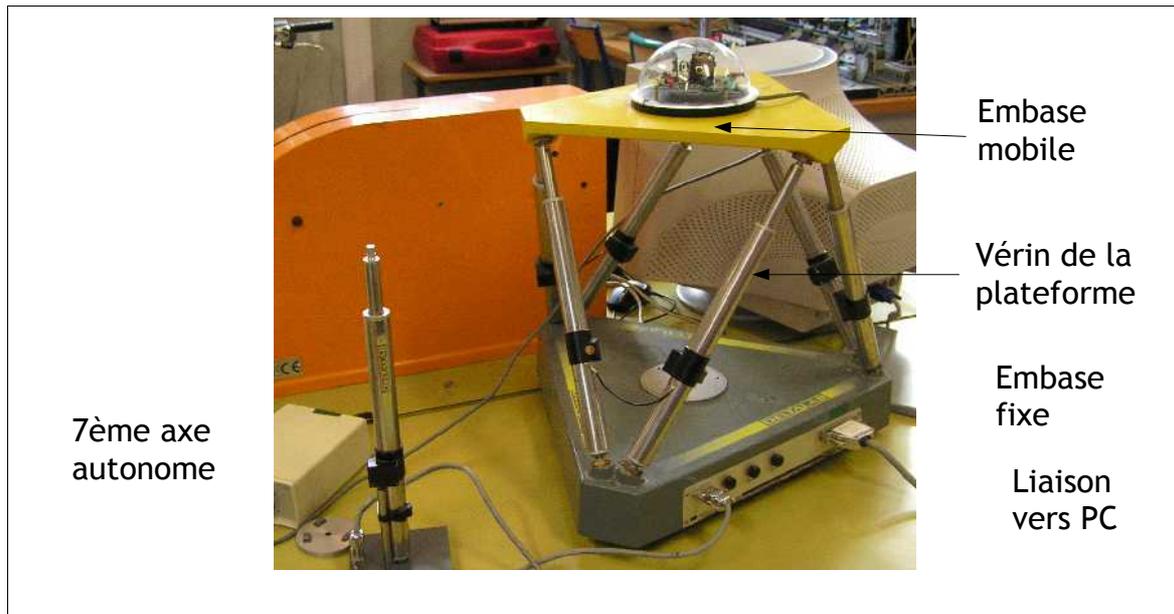


## Dimensionnement d'un vérin électrique

### Problématique

Pour restituer les mouvements (et les accélérations) d'un vol par exemple, une solution classique est l'architecture appelée plate-forme Stewart. Celle-ci est constituée de six vérins linéaires à vis.

Chaque vérin est asservi en position, grâce à un potentiomètre et le moteur à courant continu est muni d'un bouclage tachymétrique afin d'augmenter ses performances en rapidité. Le choix d'une motorisation adéquate est fondamental dans la réalisation d'une plate-forme performante.



L'objectif du travail proposé est de dimensionner le moteur utilisé dans les vérins linéaires et observer l'influence de la charge mise en mouvement sur les performances du vérin.

### Organisation de la séance

Les objectifs de la séance sont :

- analyser l'influence des éléments intervenant dans la chaîne d'énergie d'un vérin vis à vis de ses performances
- choisir la motorisation adaptée aux performances souhaitées
- compléter l'asservissement de cette motorisation en vue d'améliorer les performances du vérin

Sur votre PC, lancer le logiciel Scilab puis le module Xcos . Vérifier que le Navigateur de palette est disponible sinon cliquer sur Vue / Navigateur de palette dans la fenêtre vide qui s'ouvre.

Pour lancer une simulation lorsque le modèle est prêt, il suffit de cliquer sur le bouton .

### Analyse et modélisation de la chaîne de transmission

Démarrer le logiciel Axe, présent sur le bureau. À partir du menu général, sélectionner successivement : Fichier...Nouveau puis Acquisition...Carré. Renseigner les paramètres : Période : 2s, Amplitude : 30 mm, Nb cycles : 1, Nb points/cycle : 100, Longueur initiale du vérin 350 mm. Valider et cliquer sur Pilotage...Action et Valider. L'axe regagne d'abord sa position initiale, attendre l'invite pour lancer le déplacement. Tracer des courbes en cliquant sur Pilotage...Courbes. Dans Choix, cliquer sur  $Y = y(x)$  et sélectionner la courbe de réponse : "Vitesse". Cliquer sur Valeurs puis sur les flèches pour déplacer le curseur et obtenir

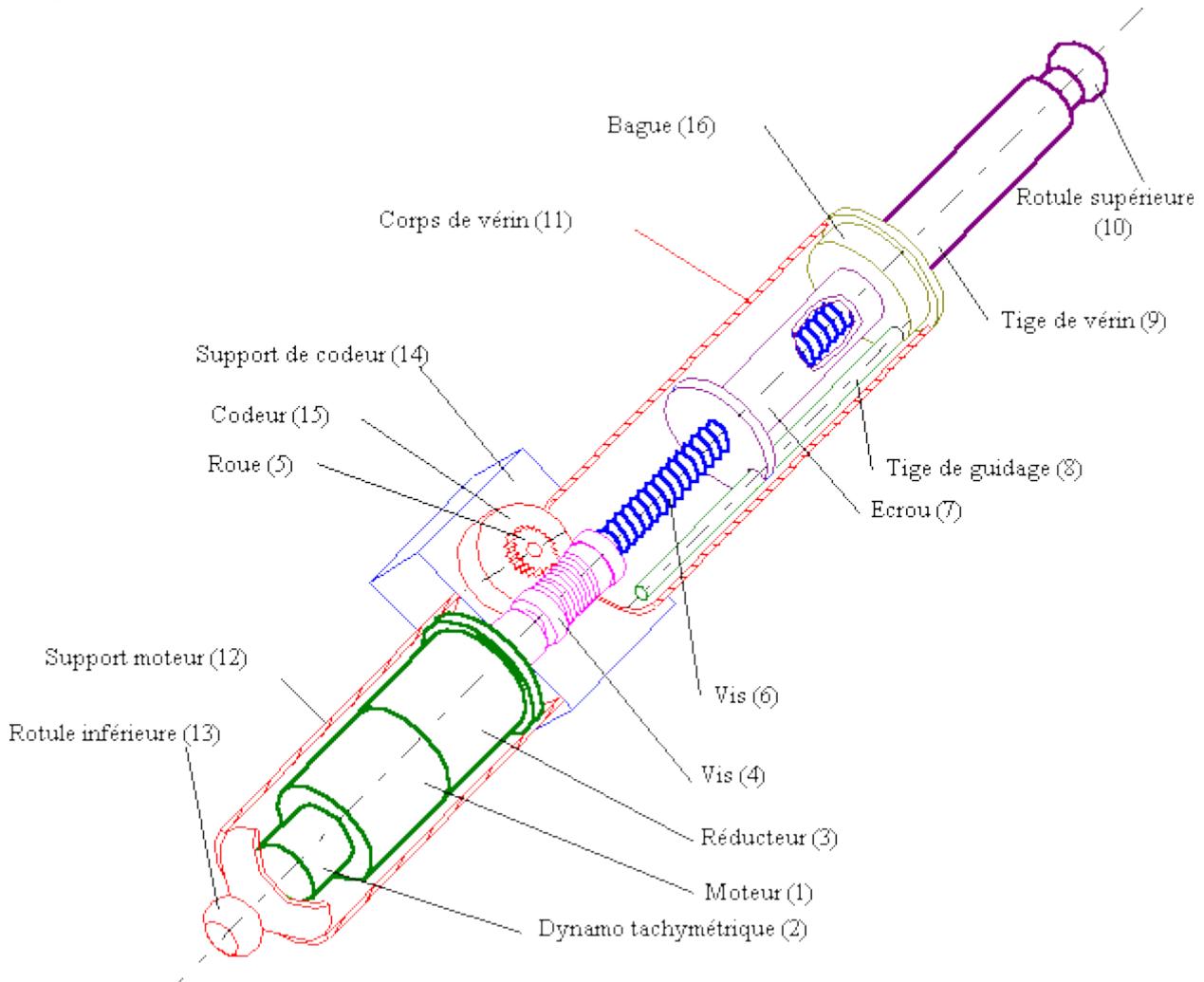
ainsi les valeurs particulières.

*A partir du début du mouvement, on peut constater que la vitesse comporte trois phases ; Expliquez l'origine de la deuxième phase à vitesse constante. Relever la valeur de cette vitesse du moteur constante (bien noter l'unité).*

Compte tenu de ce phénomène, on peut supposer que le moteur est alimenté par une tension constante, ici 12 V pendant les phases 1 et 2.

*A l'aide du logiciel tracer l'évolution de la position du vérin et déterminer la pente de cette courbe dans la partie affine. En déduire le rapport de réduction global de la chaîne d'énergie du vérin en mm/rad.*

Le vérin est constitué d'un moteur suivi d'un réducteur de rapport 1/19,2 et d'un dispositif vis/écrou de pas  $p=6,35$  mm/tour.

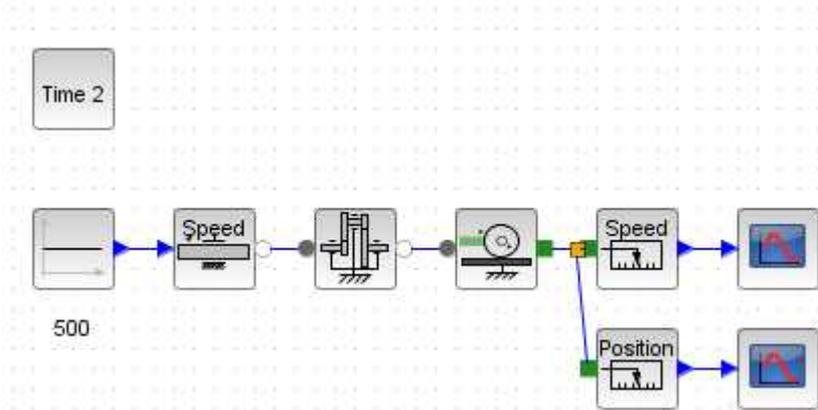


Dans le logiciel Xcos, faire glisser depuis le navigateur de palettes, les blocs `MMR_IdealGearGen` (palette `SIMM/Composants/Adaptateurs`) et `MMR_IdealGearR2TGen` (palette `SIMM/Composants/Adaptateurs`). Double-cliquer sur ces blocs pour compléter les valeurs des constituants. Attention, ces modèles utilisent non pas les rapports sortie/entrée mais l'inverse.

Ajouter également depuis la palette `Utilitaires/Visualisation` les blocs `ISCOPE` et `IREP_TEMP` pour spécifier le type d'étude (durée de simulation de 2 s). Pour visualiser le déplacement du vérin, il est nécessaire d'ajouter un capteur permettant soit de visualiser la vitesse de la tige soit son déplacement. Faire glisser ainsi le bloc `CMTS_GenSensor` de la palette `SIMM/Mecanique/Translation 1D/Mesures`. Double-cliquer sur ce bloc et taper 0 pour afficher la position ou 1 pour afficher la vitesse. La sortie de ce bloc doit être associée à un bloc `ISCOPE` pour visualiser le signal émis par ce capteur.

Mettre en place pour terminer une consigne de vitesse du moteur constante égale à celle mesurée (bloc MBS\_Constant de SIMM/Signaux/Sources) et un bloc CMRS\_ImposedKinematics (palette SIMM/Mecanique/Rotation 1D/Sources) et renseigner 1 dans ce bloc pour imposer la vitesse.

Relier les blocs entre eux de manière à obtenir le schéma-bloc suivant.



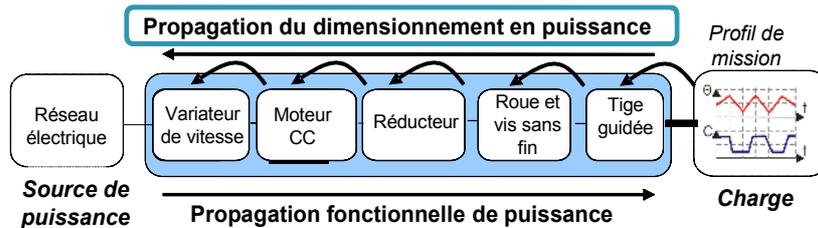
Lancer une simulation en cliquant sur le bouton  et vérifier que le modèle est cohérent avec la mesure de la vitesse du vérin expérimentalement ou le déplacement atteint au bout de 2 s.

Remarque : Le signal d'entrée peut être modifié pour obtenir un profil de position ou de vitesse particulier du vérin.

### Dimensionnement statique du moteur

On s'intéresse maintenant au choix du moteur. On souhaite être capable de déplacer une masse variant de 0,5 à 2 kg avec un temps de réponse à 5 % de l'ordre de 0,1 s (sur la courbe de vitesse du moteur).

Il est intéressant de mettre en évidence que le modèle multiphysique peut servir au dimensionnement en puissance de l'actionneur connaissant les performances attendues. On se donne toujours un profil de mission (vitesse souhaitée, charge imposée) et on remonte aux données au niveau du moteur.



Ouvrir le fichier `verin_dimensionnement_statique.zcos`. Dans ce modèle, on impose au niveau de la tige un effort équivalent au poids maximum appliqué  $mg = 20 \text{ N}$ . On mesure alors le couple au niveau de l'entrée réducteur (sortie moteur). Cette modélisation permet de déterminer pour une vitesse de rotation donnée (régime permanent), le couple maximal que doit fournir le moteur pour supporter la charge.

Lancer une simulation et relever la valeur du couple maximal que doit fournir le moteur. Vérifier que le produit  $C \cdot \omega$  est égal au produit  $F \cdot V$  (il n'y a pas de perte de puissance).

Ce calcul permet de choisir une gamme de moteurs qui permettent d'atteindre ce couple maximal et la vitesse nominale imposée.

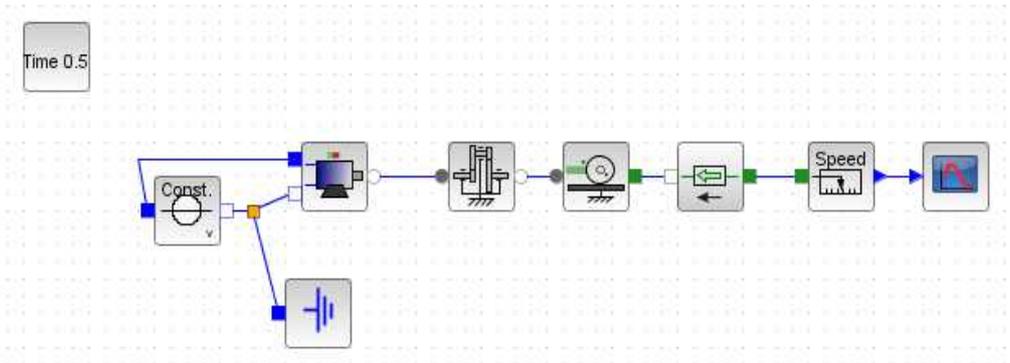
Caractéristiques moteur (provisoire)	N° de bobinage (N° de commande)	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941
1 Puissance conseillée	W	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
2 Tension nominale	Volt	3,00	3,60	4,20	4,80	6,00	7,20	7,20	9,00	12,00	15,00	18,00	24,00
3 Vitesse à vide	tr/min	4890	5340	4730	4750	5300	5740	5000	5070	5440	5500	4980	4710
4 Couple de démarrage	mNm	10,0	11,0	10,5	10,7	11,9	12,6	11,3	10,9	11,7	11,7	10,4	9,45
5 Pente vitesse/couple	tr/min/mNm	494	492	457	446	450	462	461	468	469	476	485	505
6 Courant à vide	mA	21,8	21,0	14,7	12,9	12,4	11,8	9,39	7,67	6,48	5,28	3,73	2,56
7 Courant de démarrage	mA	1740	1730	1250	1120	1110	1060	807	653	564	455	305	197
8 Résistance aux bornes	Ohm	1,73	2,08	3,36	4,27	5,40	6,79	6,92	13,8	21,3	33,0	69,1	122
9 Vitesse limite	tr/min	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800
10 Courant permanent max.	mA	900	900	722	640	570	508	443	356	287	230	172	120
11 Couple permanent max.	mNm	5,20	5,72	6,06	6,11	6,09	6,02	6,02	5,97	5,97	5,93	5,87	5,75
12 Puissance max. fournie à la tens. nom.	mW	1280	1530	1290	1330	1640	1880	1430	1450	1670	1680	1360	1180
13 Rendement max.	%	79,5	79,8	80,1	80,3	80,6	80,6	80,2	80,1	80,3	80,2	79,7	79,2
14 Constante de couple	mNm/A	5,78	6,36	8,38	9,54	10,7	11,9	13,6	16,8	20,8	25,7	34,1	46,0
15 Constante de vitesse	tr/min/V	1650	1500	1140	1000	893	806	703	589	459	371	280	199
16 Constante de temps mécanique	ms	19,2	19,1	18,9	18,8	18,8	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7
17 Inertie du rotor	gcm <sup>2</sup>	3,72	3,71	3,95	4,00	3,95	3,88	3,87	3,81	3,80	3,75	3,68	3,54
18 Inductivité	mH	0,10	0,12	0,21	0,27	0,35	0,42	0,56	0,85	1,31	2,00	3,51	6,94
19 Résistance therm. carcasse/ambiant	K/W	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
20 Résistance therm. rotor/carcasse	K/W	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30

Le moteur du vérin correspond à la référence 936. Son couple permanent est juste suffisant pour maintenir la vitesse souhaitée sous une charge de 20 N.

### Dimensionnement dynamique de la motorisation

On cherche maintenant à étudier plus finement le régime transitoire et affiner le choix du moteur. On utilise cette fois le critère de temps de réponse à 5 %.

Ouvrir le fichier `verin_dimensionnement_dynamique.zcos`. Entrer les paramètres de résistance (aux bornes), inductance (Inductivité), constante de couple (en Nm/A) et Inertie en kg.m<sup>2</sup> dans le bloc moteur à partir du moteur retenu. La tension imposée correspond à 12 V comme dans l'expérience initiale. La masse correspond uniquement à un plateau vide (seule la masse de la tige est prise en compte).



**Lancer une simulation et vérifier que la courbe obtenue est cohérente en terme de temps de réponse à 5% et de vitesse maximale avec celle mesurée dans la première. Vérifier alors que le critère du cahier des charges est respecté.**

Le moteur retenu permet donc de respecter le cahier des charges en termes de performances du vérin.

### Influence de la masse déplacée sur les performances

Cependant pour améliorer les performances, il est nécessaire d'obtenir un système précis et rapide quelle que soit la masse mise en place sur le plateau. C'est pourquoi la suite de l'étude s'attache à montrer l'influence sur les performances d'un ajout de masse.

Modifier dans la simulation la masse de la tige (on suppose qu'on ajoute 1kg) et entrer ainsi 1,5 kg. Lancer à nouveau une simulation. Relever à nouveau le temps de réponse à 5% et comparer avec le temps déterminé précédemment sans masse additionnelle. Vous pouvez vérifier expérimentalement en ajoutant une masse de 1kg sur la tige que le temps de réponse à 5% ne varie pas.

Le moteur est régi par les équations électriques et de couplage suivantes :

$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + k \omega_m(t)$  où  $u(t)$  est la tension aux bornes de celui-ci et  $i(t)$  l'intensité le parcourant, tandis que  $\omega_m(t)$  est la vitesse angulaire de l'axe moteur.  $R$ ,  $L$  et  $k$  sont les constantes caractéristiques du moteur. Le couple moteur est donné par  $C_m = k i(t)$ .

On note  $J$  le moment d'inertie du rotor du moteur sur l'axe de celui-ci. On note  $J_v$  le moment d'inertie de la vis en sortie de réducteur sur l'axe de rotation et on note  $M$  la masse de la tige+écrou,  $m$  les masses additionnelles. L'accélération de la pesanteur est notée  $-g$ .

**Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble rotor/réducteur/vis/tige et montrer la relation suivante  $J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} = C_m - \mu(M+m)g$  où on donnera l'expression de  $J_{eq}$  et  $\mu$  en fonction de  $J$ ,  $J_v$ ,  $m+M$  et  $r$  rapport de réduction du réducteur et  $p$  pas du dispositif vis écrou.**

**Sachant que la vis peut être assimilée à un cylindre en acier de rayon 0,5 cm et de masse 150g, estimer son moment d'inertie par la formule  $masse \cdot rayon^2 / 2$ . Comparer l'ordre de grandeur des différents termes intervenant dans l'expression de  $J_{eq}$ . Quel est le terme dominant ? Conclure sur l'observation faite par simulation ou expérimentalement sur l'influence des masses.**

Remarque : on pourrait affiner la simulation en ajoutant un bloc MMR\_Inertia (SIMM/Mécanique/Rotation 1D/Basique) entre le réducteur et le bloc R2T.

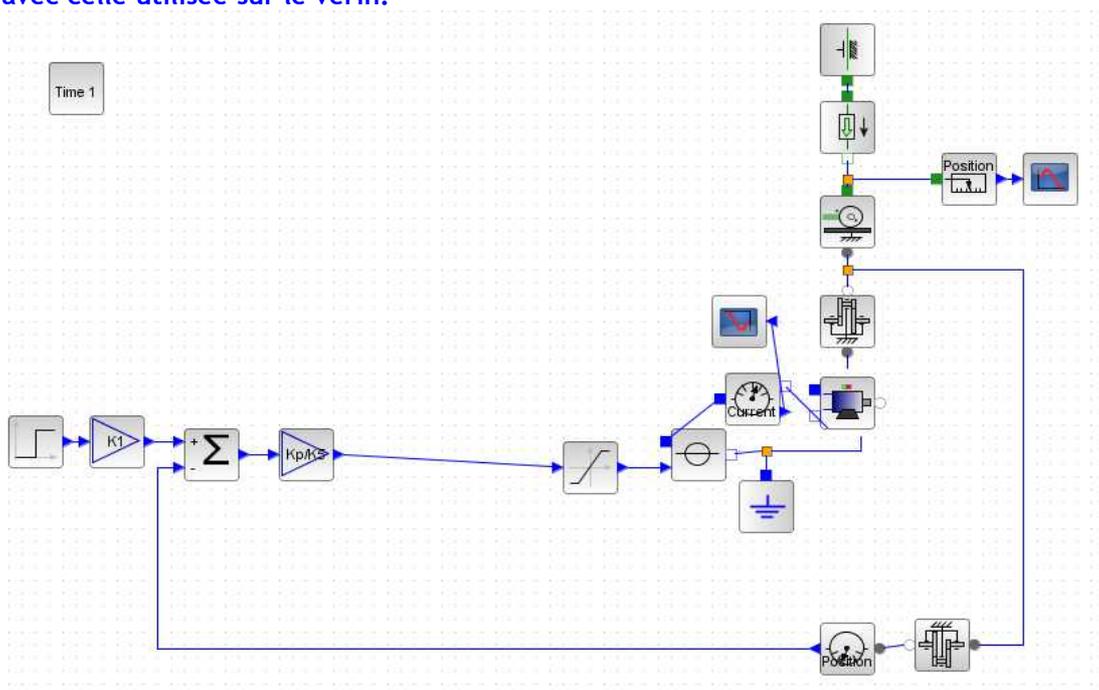
### Asservissements du vérin

La modélisation multiphysique peut ensuite être adaptée pour réaliser l'asservissement du vérin.

Pour réaliser un asservissement de position, on mesure la position du vérin, on la compare à une consigne et l'écart est corrigé par un correcteur puis la valeur de commande est amplifiée et envoyée au moteur.

Dans le cadre du vérin disponible sur le système, le capteur n'est pas directement sur la tige du vérin. C'est un potentiomètre angulaire couplé à un réducteur roue/vis de rapport de transmission 26.

Ouvrir le modèle `verin_asservissement_position.zcos` et vérifier que la structure mise en place est cohérente avec celle utilisée sur le vérin.



*Lancer une simulation en demandant un déplacement de 0,005 m. Observer la réponse et vérifier que le système est précis et rapide à atteindre la consigne demandée.*

*Relancer une simulation pour un déplacement de 0,05 m.*

*Observer le courant d'alimentation du moteur, ainsi que la tension du moteur. Que représente le bloc non*

*linéaire*  ?

Malgré la saturation en tension placée en entrée de l'alimentation, le courant peut dépasser les 1A et le modèle se comporte mal lorsque la sortie est proche de la consigne. Il faut donc améliorer le pilotage du moteur.

On ajoute ainsi une boucle de vitesse sur le moteur pour optimiser sa réponse. Ouvrir le fichier `verin_asservissement_vitesse.zcos` et lancer la simulation. Conclure sur l'intérêt d'utiliser un double asservissement.

