

Cycle  
4

Modéliser de façon causale et acausale les systèmes complexes pluri-technologiques

TP Découverte

Prise en main  
Scilab & Xcos



# Prise en main Xcos

## 1 - Étude temporelle

# Prise en main Scilab 1/4

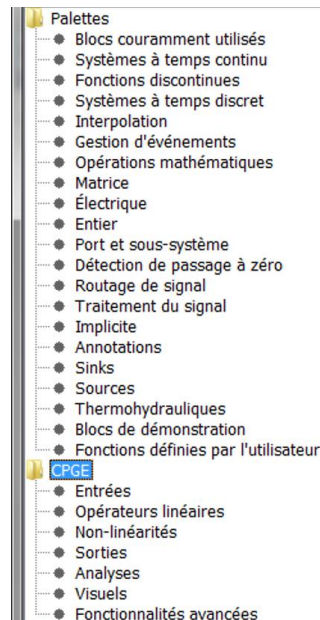
Pour lancer Scilab :

1. Dans le dossier Scilab sur le bureau, cliquer sur « start\_scilab » présent dans vos documents

2. Dans la zone de texte, taper « xcoss » et appuyer sur entrée. Deux fenêtres s'ouvrent.

-->xcoss

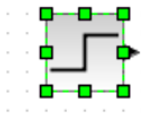
3. Développer l'arbre pour ouvrir le dossier CPGE



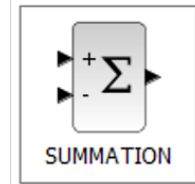
4. Sélectionner la fonction échelon (step)



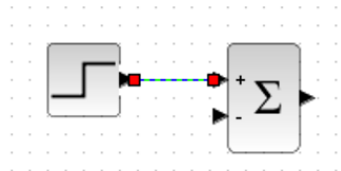
5. Glisser ce bloc dans la zone de dessin



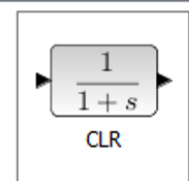
6. Faire de même pour le comparateur (pour transformer un « Big som » en comparateur, double cliquer dessus et inscrire (1,-1) dans la fenêtre qui s'ouvre)



7. Relier les deux blocs en cliquant sur le triangle noir d'un des deux blocs et faire glisser le fil jusqu'à l'autre



8. Le bloc ci-contre permet de représenter une fonction de transfert du premier ordre  
**La variable de Laplace est notée « s »**

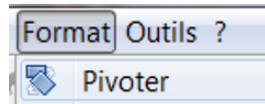


# Prise en main Scilab 2/4

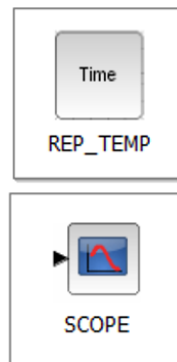
1. Le bloc ci-contre permet de modéliser un gain.



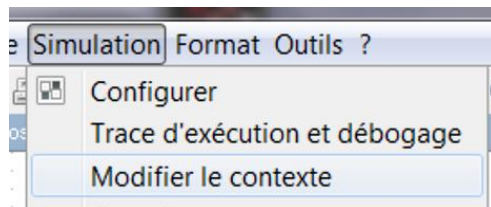
2. Vous pouvez ensuite tourner le bloc gain



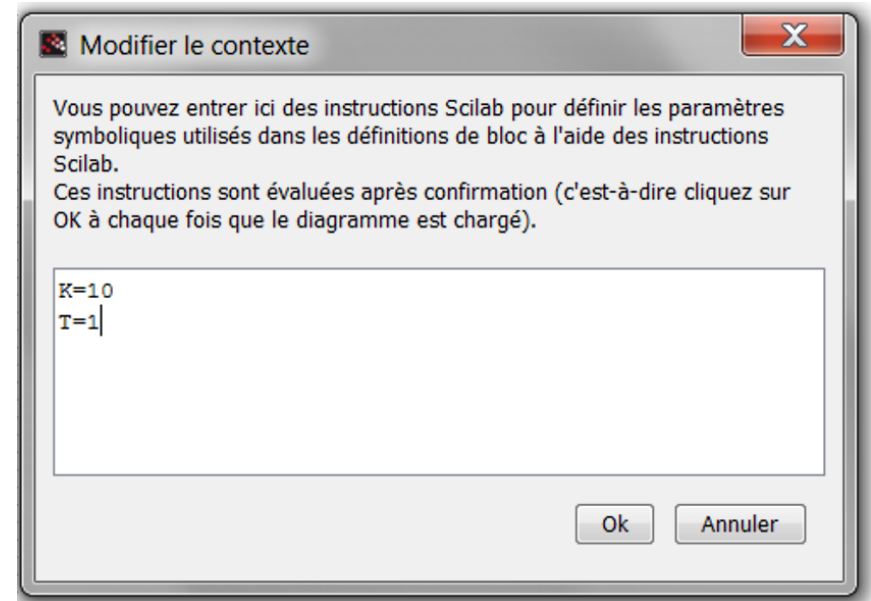
3. Pour afficher la réponse temporel, les deux blocs ci-contre sont nécessaires, l'un pour fixer la durée de l'essai et l'autre pour afficher les courbes. Il faut relier le bloc « Scope » à la grandeur que vous souhaitez observer



4. Une fois que tous blocs sont installés, il faut « déclarer » les constantes qui seront utilisées. Cliquer sur « Modifier le contexte ».

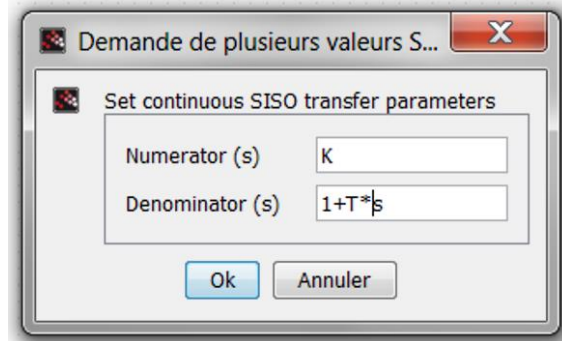


5. Dans la fenêtre qui s'ouvre, lister les constantes qui seront utilisées (K, T, G) et fixer la valeur souhaitée à chacune des variables (il faut utiliser un point pour remplacer la virgule d'une valeur décimale). Cliquer ensuite sur OK.

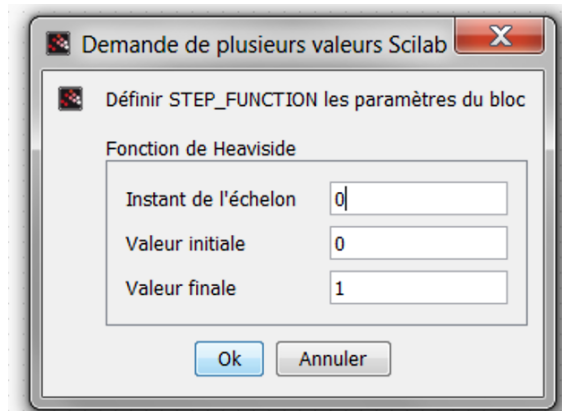


# Prise en main Scilab 3/4

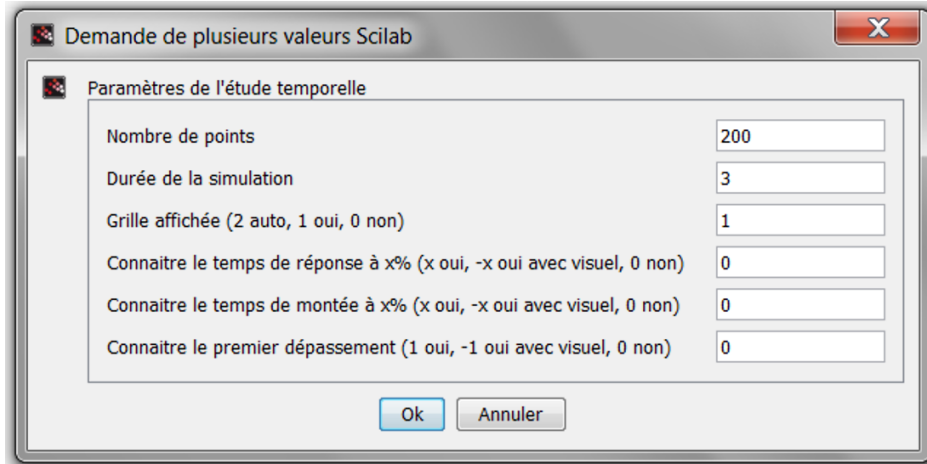
1. Une fois que les constantes ont été déclarées, il faut modifier chacun des blocs pour y inscrire ces constantes (en double cliquant dessus, les blocs s'ouvrent).



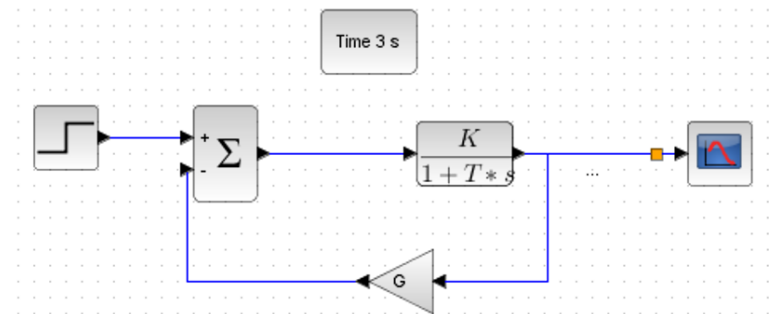
2. Modifier également l'échelon pour qu'il corresponde à la fenêtre ci-dessous



3. Modifier ensuite le bloc time pour limiter l'observation à 3 secondes



4. Une fois que vous avez fini, vous devriez avoir ceci :



5. Vous pouvez alors lancer la simulation :



# Prise en main Scilab 4/4 : *Param. variation*

Il est possible d'étudier l'influence d'un paramètre sur la réponse du système étudié. Pour cela il faut :

1. Ajouter la variable dans le *Contexte*.

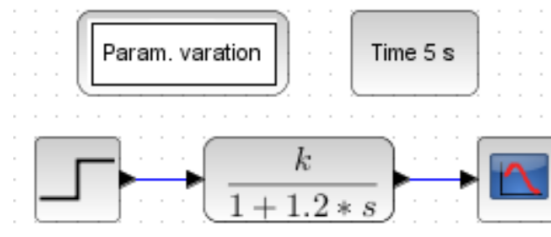
- Dans l'**Editeur**, aller dans le menu **Simulation**, puis **Modifier le contexte**. Une nouvelle fenêtre s'ouvre.

- Rentrer le nom du paramètre et sa valeur par défaut (exemple :  $k=1$ ).

*Attention, ne pas nommer une variable  $t$  car le logiciel utilise déjà ce nom de variable pour le temps.*

2. Modifier la fonction de transfert en remplaçant la valeur du gain par  $k$ .

3. Ajouter le bloc **Param. variation** (dans le *Navigateur de palettes* et *Analyses*) et entrer ensuite le nom du paramètre variable et ses valeurs.



Répéter les trois premières opérations pour ajouter un autre paramètre variable

Attention : Pour l'affichage des courbes, il ne faut faire varier qu'un seul paramètre, tous les autres étant fixes.

# Annexe : bibliothèque

| Symbole                                                                             | Nom / Fonction                   | Paramètres réglables                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Entrée constante                 | Valeur du signal d'entrée                                                                                                         |
|    | Entrée échelon                   | <b>Instant initial du signal (si 0 : pas de retard)</b><br>Valeur initiale du signal d'entrée<br>Valeur finale du signal d'entrée |
|    | Entrée rampe                     | Valeur de la pente ( <b>0 par défaut</b> )<br>Instant de départ (si 0 : pas de retard)<br>Valeur initiale                         |
|    | Entrée définie par l'utilisateur | Possibilité de créer soi-même l'allure souhaitée en modifiant les points de la courbe                                             |
|    | Entrée sinusoïdale               | Amplitude du signal<br>Fréquence du signal (rad/s)<br>Phase du signal (rad)                                                       |
|   | Entrée Dirac                     | Instant de l'impulsion<br>Durée de l'impulsion                                                                                    |
|  | Entrée créneau                   | Instant initial (si 0 : pas de retard)<br>Durée du signal<br>Valeur initiale et finale<br>Valeur du créneau                       |
|  | Entrée trapézoïdale              | Amplitude du signal / Largeur du trapèze<br>Début du signal / Valeur initiale<br>Temps de montée / descente                       |

# Annexe : bibliothèque

## Opérateur linéaire

| Symbole                                                                             | Nom / Fonction                                                       | Paramètres réglables                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Intégrateur                                                          | Condition initiale<br>Limite supérieure<br>Limite inférieure                                                                                 |
|    | Dérivateur                                                           |                                                                                                                                              |
|    | Sommateur / Comparateur                                              | Signe des 2 ports de gauche :<br>+1 = POSITIF<br>-1 = NEGATIF<br><b>(Un comparateur se note [1 ; -1])</b><br>(Un sommateur se note [1 ; 1])  |
|    | Gain pur                                                             | Valeur du gain pur                                                                                                                           |
|    | Fonction de transfert                                                | Fonction de transfert du numérateur<br>Fonction de transfert du dénominateur<br><b>s est la variable de Laplace</b><br><b>s² se note s*s</b> |
|  | Correcteur Proportionnel<br>Intégral (2 <sup>ème</sup> année)        | Gain Proportionnel<br>Gain Intégral                                                                                                          |
|  | Correcteur Proportionnel<br>Intégral Dérivé (2 <sup>ème</sup> année) | Gain Proportionnel<br>Gain Intégral<br>Gain Dérivé<br>Constante de temps pour le filtre sur la dérivée                                       |

## Opérateur non linéaire

| Symbole                                                                             | Nom / Fonction | Paramètres réglables                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|  | Saturation     | Valeur supérieure<br>Valeur inférieure<br>Courbe coupe zéro (0 = non, 1 = oui) |

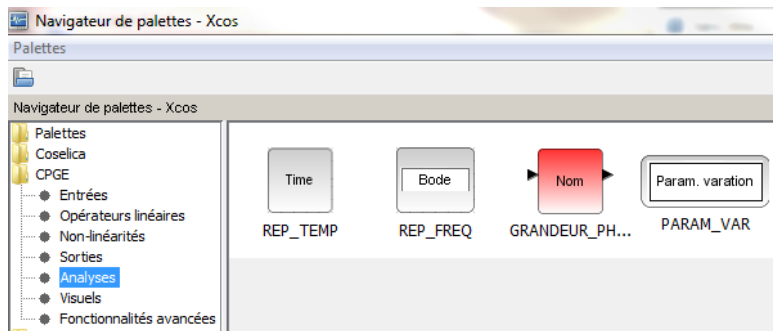


# Prise en main Xcos

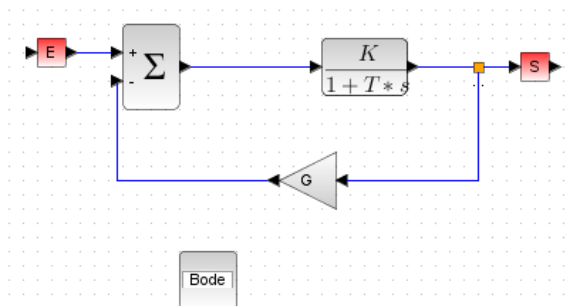
## 2 - Étude fréquentielle

# Etude fréquentielle avec Scilab

1. Reprendre un schéma bloc déjà construit puis supprimer le bloc « Time » pour ne plus avoir l'étude temporelle
2. Dans le « navigateur de palettes », insérer le bloc « Bode » sur votre schéma bloc ainsi que deux blocs « Grandeur\_Physique »



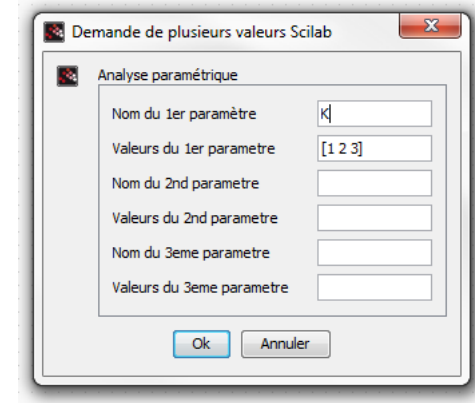
Les deux blocs « Grandeur\_Physique » correspondent au signal d'entrée et au signal de sortie, il faudra donc les disposer ainsi (en supprimant au préalable les blocs en lien avec la représentation temporelle) :



3. Cliquer sur le bloc « Bode » pour demander l'affichage des asymptotes

4. Vous pouvez alors lancer la simulation en cliquant sur 

5. Xcos permet aussi de simuler plusieurs courbes en simultané. Insérer un bloc « Param\_Var » dans votre schéma bloc et demander à faire varier le paramètre K ainsi :



5. Vous pouvez alors lancer la simulation pour observer l'influence dans le diagramme de Bode du paramètre choisi.

Cycle  
4

Modéliser de façon causale et acausale les systèmes complexes pluri-technologiques

TP Découverte

TP analyse  
fréquentielle



# Applications de cours

*30 minutes*

# Application 1

On rappelle la fonction de transfert du TD 4

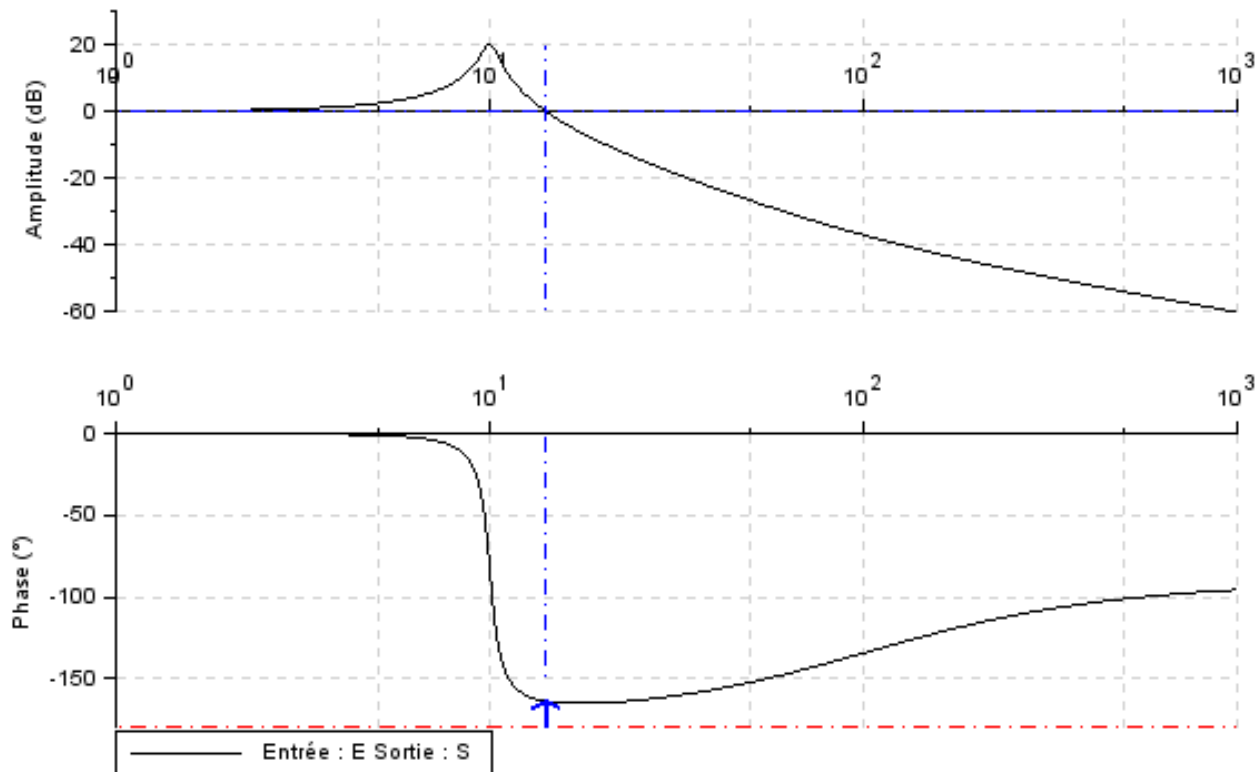
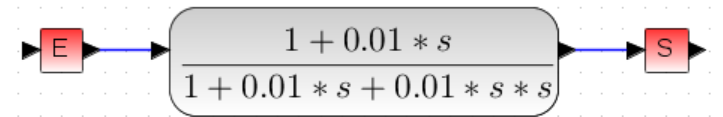
$$\frac{Z_a(p)}{Z_p(p)} = \frac{1 + 0,01p}{1 + 0,01p + 0,01p^2}$$

**Question 1 :** Avec Scilab, tracer le diagramme de Bode asymptotique de cette fonction de transfert en déterminant avec précision les pulsations, les valeurs et les pentes caractéristiques. Préciser également la valeur en décibel du pic de résonance. Comparer le résultat avec le diagramme obtenu en cours.

**Question 2 :** Déterminer, en utilisant le module Bode de Scilab, les marges de stabilité.

*La correction est donnée slide suivante.*

# Correction application 1



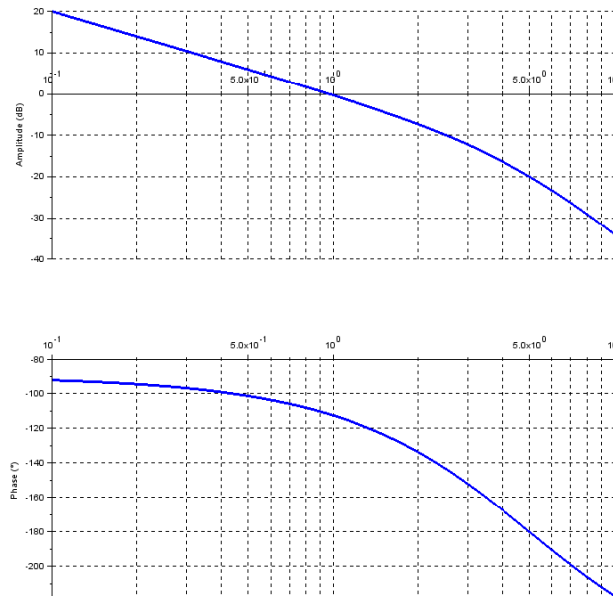
Marge de gain infinie ; Marge de phase : 16.09°

# Application 2

On rappelle la fonction de transfert du TD 5 :

$$G(p) = \frac{K}{p \left(1 + \frac{p}{5}\right)^2}$$

Le tracé asymptotique du gain donné dans le TD est le suivant :



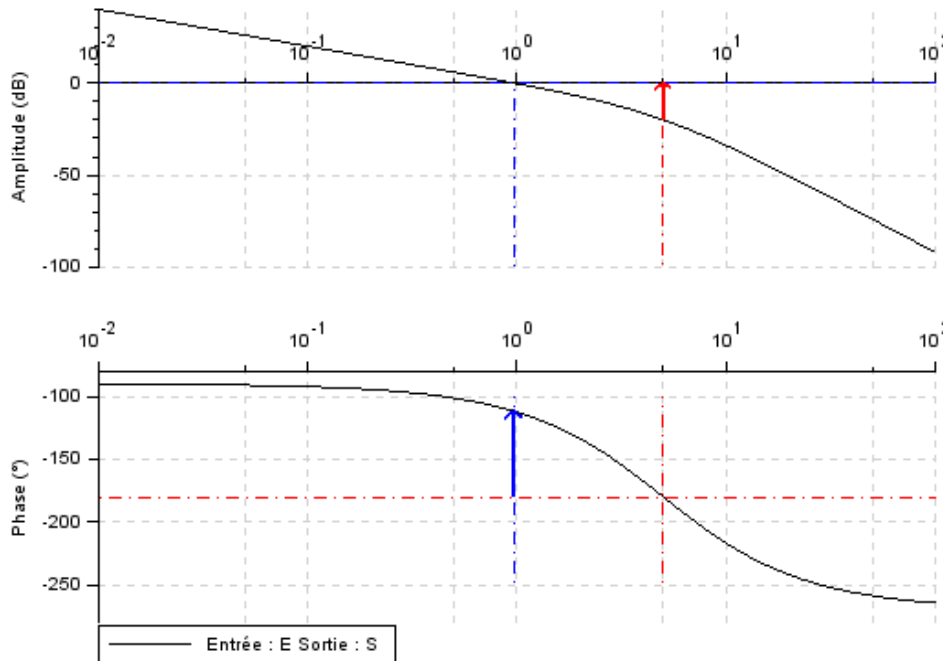
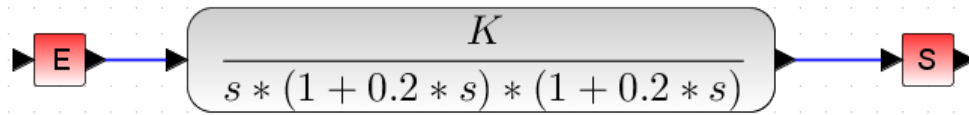
**Question 1 :** Retrouver ce même diagramme réel de  $G(j\omega)$  avec Scilab pour  $K = 1$ .

**Question 2 :** Déterminer, en utilisant le module Bode de Scilab, les marges de stabilité pour  $K = 1$ .

**Question 3 :** Déterminer la valeur maximum du gain  $K$  qui donne une marge de gain mini de 6 dB et une marge de phase mini de  $45^\circ$ . Comparer avec les valeurs du TD.

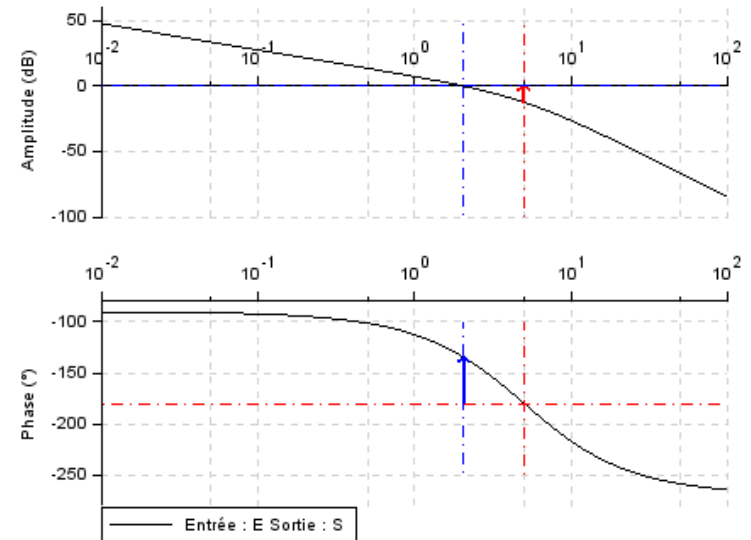
*La correction est donnée slide suivante.*

# Correction application 2



Marge de gain : 19.99dB ; Marge de phase : 68.17°

**Question 3 :** A tâton, on trouve gain  $K = 2,4$  pour respecter une marge de phase de  $45^\circ$  :



Marge de gain : 12.39dB ; Marge de phase : 45.34°



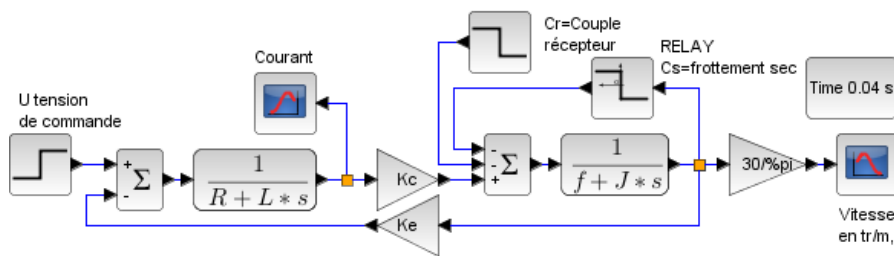
# Cours : modélisation causale ou acausale

La **modélisation causale** est celle que vous connaissez.

Elle ne requiert aucune connaissance des symboles (électriques, mécaniques, etc.), la recherche des solutions analytiques est simplifiée mais le schéma impose un ordre de résolution au solveur et l'architecture du modèle respecte rarement celle du système étudié.

La modélisation impose de connaître les équations différentielles qui régissent le système et repose sur le calcul symbolique (Laplace, schéma blocs). Les conditions initiales sont nulles et le modèle est « irréversible » cause → un effet (sens des flèches).

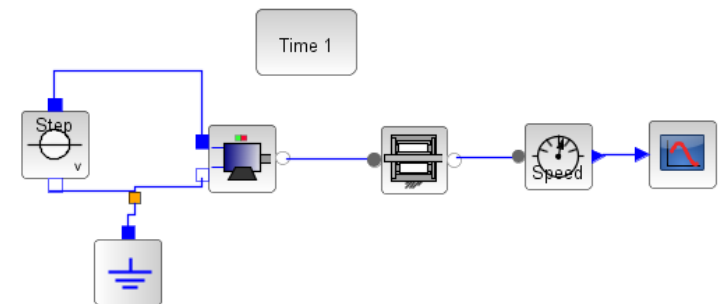
L'étude fréquentielle est simple et ne nécessite pas de passer par l'analyse temporelle.



La **modélisation acausale** est plus récente. Les blocs sont facilement identifiables et le modèle se compose de façon intuitive en suivant l'architecture du système réel. Cette modélisation est réversible. Le modèle de connaissance du composant n'est pas indispensable à la réalisation du modèle, **mais** il faut maîtriser les paramètres influant sur le comportement.

En pratique, cela signifie juste que l'on construit le modèle sans savoir à priori **où sera l'entrée ou la sortie** et en respectant simplement l'architecture du système.

L'analyse fréquentielle est plus délicate qu'avec un modèle causal : il faut procéder à des simulations temporelles successives en utilisant un signal d'entrée périodique dont on fait varier la fréquence.



# Application 1 : amortisseur

*1h45*

# Amortisseur 1/2

Chaque suspension est constituée d'un ressort et d'un amortisseur, et supporte le quart du poids de la voiture (+passagers) :  $M = 350 \text{ kg}$  par suspension.

Les organes internes de l'humain ont des fréquences propres comprises entre 1 et 20 Hz, ce qui correspond aux fréquences des signaux d'entrée (accélérations verticales) liés aux défauts de la route. Par ailleurs l'oreille interne est particulièrement sensible aux fréquences inférieures à 1 Hz (ce qui provoque le mal des transports). La fréquence propre d'une suspension standard est comprise entre 0.8 et 1.5 Hz et à pour raideur  $k = 16 \text{ kN/m}$ .

Pour des raisons de confort, le frottement visqueux varie entre 1000 et 2000 N.s/m d'une citadine à un monospace, on adopte  $f = 1500 \text{ N.s/m}$ .

La longueur à vide du ressort est fixée par la géométrie de caisse (=châssis du véhicule), ici :  $L_0 = 0.4 \text{ m}$ .

**Question 1 :** Chargez le modèle acausal « Suspension acausal.zcos » et lancez une simulation. Expliquez ce qui se passe à 0 s et à environ 4 s.

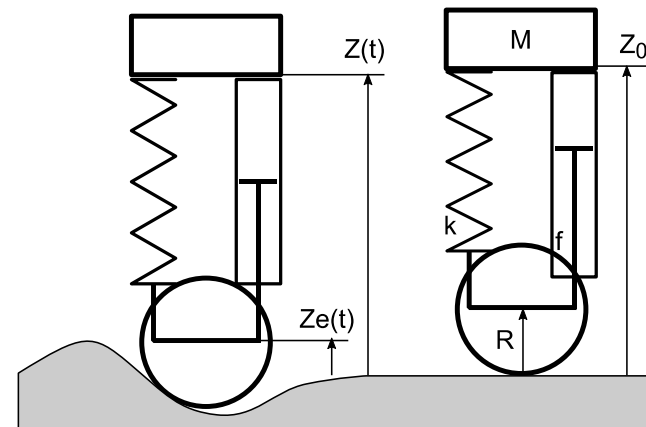
La raideur d'un pneu est voisine de  $170 \text{ kN/m}$ , son diamètre égale  $0.6 \text{ m}$  et la masse associée à la roue est évaluée à  $40 \text{ kg}$  (la masse est déjà prise en compte dans le modèle).

**Question 2 :** Proposez une modification prenant en compte la raideur du pneu. Si la fenêtre du navigateur de palette n'est pas ouverte, cliquez sur "Vue" et cochez "navigateur de palette". Les blocs sont dans la palette SIMM. Relancez une simulation et concluez.

On s'intéresse au schéma ci-contre. On pose  $Z(t)$  altitude du châssis du véhicule par rapport à une référence horizontale galiléenne et  $z_e(t)$  l'altitude du centre de la roue par rapport à cette même référence.  $L_0$  est la longueur libre du ressort de la suspension,  $Z_0$  est l'altitude du châssis lorsque le profil de la route ne varie pas et  $R$  est le rayon de la roue. On considère les pneus comme étant des solides indéformables.

**Question 3 :** Donnez les équations de fonctionnement dans le domaine temporel et proposez un modèle causal (il est conseillé de passer par un théorème de la résultante statique puis dynamique). On pourra poser  $z(t)$  tel que :  $Z(t) + R - Z_0 = z(t)$ .

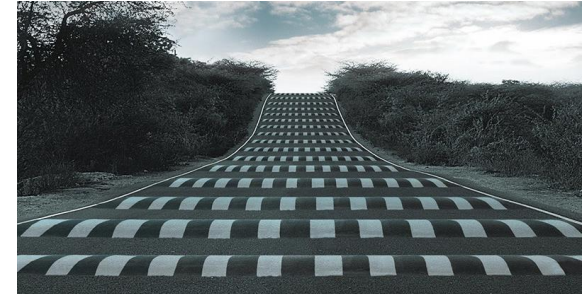
**Question 4 :** Réalisez la simulation et tracez la réponse fréquentielle de l'amortisseur avec Xcos.



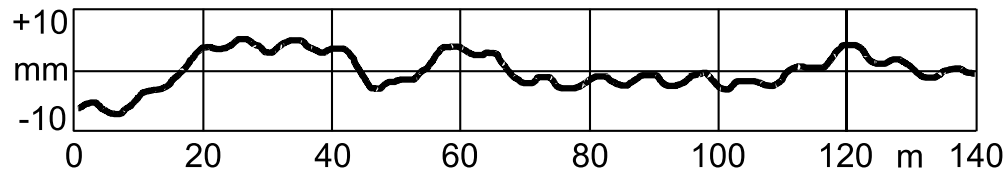
# Amortisseur 2/2

On considère, dans un premier temps, que le profil de route ci-contre que l'on peut modéliser par une fonction sinusoïdale de type  $y(t) = Y_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$

**Question 5 :** Déterminer analytiquement le profil (c'est à dire l'espacement entre les ralentisseur) le plus critique pour la voiture (en termes de résonance), pour une vitesse de 30km/h puis 130km/h.



On donne ci-dessous le profil d'une route (profil réel), il existe des normes à ce sujet définissant les défauts tolérables pour la sécurité mais aussi pour le confort des usagers (véhicules particuliers et camions). Les défauts sont en général périodiques, on les dissocie en PO (petites ondes, périodes de 0.7 à 2.8 m), MO (moyennes ondes, périodes de 2.8 à 11.3 m) et GO (grandes ondes, périodes de 11.3 à 45 m). Ces défauts proviennent souvent d'un problème lors de la réalisation des routes (défauts sur les appareils d'aplanissement, etc.).



On se place dans des conditions moyennes : ondes de période 1.5 m et d'amplitude  $\pm 1$  mm ; puis ondes de période 7 m et d'amplitude  $\pm 2$  mm et grandes ondes de période 25 m et d'amplitude  $\pm 8$  mm.

**Question 6 :** En vous basant sur le diagramme de Bode obtenu à la question 4, il y a-t-il une vitesse (entre 0 et 130 km/h) pour laquelle la variation de hauteur de caisse dépassera 5 mm du fait des défauts de la route, pour les trois profils d'onde donnés ?

**Question 7 :** Que se passe-t-il sur la variation de hauteur de caisse si la vitesse de la voiture tend vers l'infini ? Conclure sur le comportement à avoir au volant.

*La correction est disponible sur cahier de prépa.*

# Application 2 : pompe doseuse

*2h*

# Pompe doseuse à seringue 1/3

Une telle machine a de multiples utilisations (collage de composant sur circuit imprimé, dosage pharmaceutique, etc.). Un moteur à courant continu entraîne une vis (pas 1 mm) par l'intermédiaire d'un réducteur (1/8) composé de deux roues dentées (on peut les changer afin de modifier le rapport).

Le piston (R = 5 mm) est solidaire de l'écrou entraîné par la vis.

## Caractéristiques attendues :

- Débit : 0.006 ml/s à 1 ml/s
- Taille (ou volume) de tir : 0.002 ml à 2 ml ( $\Delta z = 2.10^{-6}$  à  $2.10^{-3}$  m)
- Résolution : 0.00025 ml
- Rapport de réduction total : 1/50265
- (réducteur 1/8 et vis de pas 1 mm)
- Codeur Optoélectronique : 500 imp/tr.

## Caractéristiques moteurs :

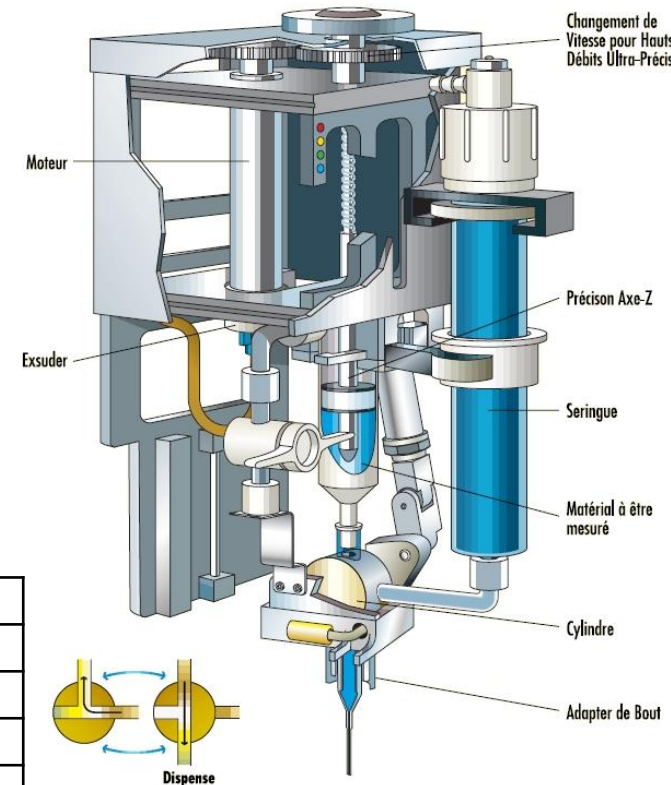
|                       |                                 |                                  |               |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------|
| Puissance conseillée  | 200 W                           | Vitesse à vide                   | 4900 tr/mn    |
| Tension de définition | 48 V                            | Vitesse nominale                 | 4620 tr/mn    |
| Résistance            | 0.608 $\Omega$                  | Couple continu maxi              | 420 mNm       |
| Inductance            | 0.423 mH                        | Courant permanent maxi           | 4.58 A        |
| Constante de couple   | 0.0934 N.m/A                    | Courant impulsionnel             | 78.9 A        |
| Constante de vitesse  | 0.0934 V.s                      | Couple visqueux : $C_f = f w$    | Inconnu N.m/s |
| Inertie rotor         | 542 $10^{-7}$ kg.m <sup>2</sup> | Couple friction statique : $C_s$ | Inconnu N.m   |

## Exigences :

- Erreur statique nulle (pour la taille du tir).
- Erreur de trainage <1 % (pour le débit continu).
- On s'impose donc une marge de phase 75° à 200 rd/s.

**Jeq** rapportée au moteur par calcul :  $550 \cdot 10^{-7}$  kg.m<sup>2</sup>

**Cr maxi** rapporté au moteur du au fluide par calcul :  $3 \cdot 10^{-4}$  N. Cr correspond au couple récepteur qui agit sur le moteur.



# Pompe doseuse à seringue 2/3

## Détermination des caractéristiques en situation

Du fait des frottements visqueux inconnus et des frottements secs liés à l'étanchéité, on doit procéder à des essais.

On donne les résultats de deux essais sans fluide, à vide (donc avec un couple récepteur  $C_r=0$ ) :

|                         | Essai 1     | Essai 2     |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Alimentation moteur     | 18 V        | 36 V        |
| Vitesse rotation moteur | 1821 tr/min | 3648 tr/min |

**Question 1 :** Déterminez la valeur de  $f$  (coefficient de frottement fluide) et  $C_s$  (couple de « friction statique », ou « frottement sec ») en exploitant les valeurs issues des essais et en vous appuyant sur les 4 équations du moteur à courant continu,

## Commande en tension modèle causal

**Question 2 :** Chargez le modèle causal du moteur «Moteur causal commande tension.zcos ». Dans ce modèle, les grandeurs  $C_r$ ,  $C_s$  et  $f$  sont pour le moment nuls, l'inertie est celle du moteur seul. Lancer la simulation en l'état. Exploitez les courbes obtenues :

- Que pensez vous du pic de courant ? Quelles sont les conséquences potentielles ? Comment aurait-on pu l'éviter
- A partir de la courbe de courant, et en vous basant sur les 4 équations du MCC que vous connaissez, quelles sont les deux caractéristiques électrique du moteur que l'on peut obtenir de cette courbe (aide : on peut suppose  $k.\Omega \ll U$  pour  $t < 0,002$  s) ? Mettre en place le protocole et déterminer la valeur de ces caractéristiques. Comparer les valeurs numériques obtenues avec celles données dans le tableau « Caractéristiques moteurs ».
- Que pensez vous de l'allure de la courbe de vitesse? Sachant que le coefficient d'amortissement est de 1.17, cela est-il cohérent ?

**Vous devez retenir l'allure du courant et la démarche précédente, typique d'une commande en tension (grand classique des TP oraux).**

**Question 3 :** Justifiez la modélisation du frottement sec par le bloc RELAY (bloc qui permet de prendre le signe inverse de la grandeur sur laquelle le bloc est installé). Implémentez les valeurs de frottement déterminées, le couple récepteur et l'inertie équivalente (clic droit au milieu de la fenêtre, modifier le contexte). Réalisez un essai à la tension nominale  $U = 48$  V. Relevez la courbe de vitesse et celle du courant. Conclure sur la valeur en régime permanent de la vitesse de rotation du moteur.

Pour la suite, on admet :

$C_s = 0.01$  N et  $f = 0.0001$  N.m.s

- $T_m = 0.0029$  (s)
- $T_e = 0.00091$  (s)

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{10.63}{1 + 3.812 \times 10^{-3} p + 2.65 \times 10^{-6} p^2} = \frac{K_m}{(1 + T_m p)(1 + T_e p)}$$

# Pompe doseuse à seringue 3/3

## Asservissement de position standard

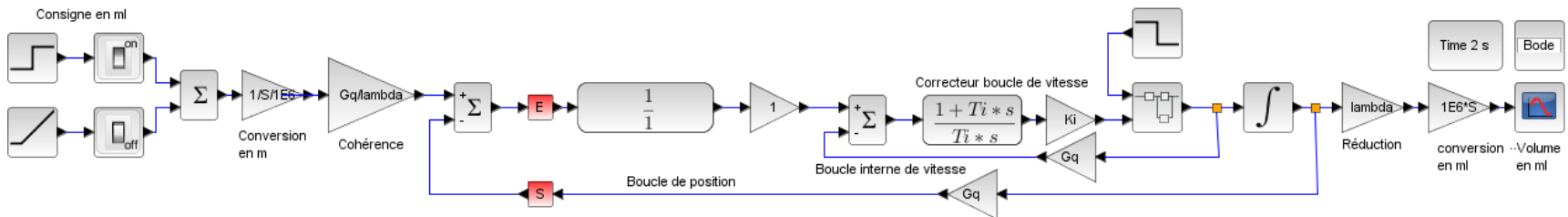
Chargez le modèle de l'asservissement de position « Commande en tension asservissement de position.zcos ». Le bloc RELAY perturbe la simulation fréquentielle, pour la suite (asservissement de position) le frottement sec est compris dans le couple récepteur. Le moteur est réduit dans un « super-bloc », cliquez deux fois sur celui-ci pour le voir.

**Question 4 :** Les perturbations vont-elles avoir un impact sur la réponse ? Réaliser deux essais pour un tir de 2 ml et 0.002 ml. Conclure les perturbations et préciser si en l'état la réponse du système paraît acceptable.

**Question 5 :** Justifiez qu'un correcteur par avance de phase serait pertinent et déterminez les paramètres du correcteur. Une fois le correcteur réglé, simulez un tir de 2 ml et un débit de 1 ml/s, en examinant les grandeurs que vous jugez intéressantes dans la boucle et concluez.

## Asservissement de position avec boucle interne de vitesse

Une des solutions pour améliorer les performances est d'installer une boucle de vitesse interne (boucle tachymétrique). On voit ci-dessous la structure de la boucle interne (fichier «asservissement de position avec boucle interne de vitesse.zcos »). On utilise le même capteur mais l'information est traitée pour donner une image de la vitesse.



### *Réglage de la boucle interne*

**Question 6 :** Chargez le fichier «boucle interne de vitesse seule.zcos» justifiez le choix du correcteur et proposez un réglage de sa constante de temps.

**Question 7 :** Réglez  $K_i$  pour optimiser le temps de réponse du moteur sans dépassement. Déterminez la boucle ouverte de position (correspondant à  $S/E$ ) en fonction de  $K_i$  puis avec la valeur de  $K_i$  réglée. Commentez le gain statique obtenu.

### *Réglage de la boucle de position*

**Question 8 :** Ouvrir «asservissement de position avec boucle interne de vitesse.zcos ». Réglez  $K_i$  de la boucle interne, en l'ajustant petit à petit, de façon à obtenir la bonne marge de phase à la pulsation critique choisie.

**Question 9 :** En adoptant un correcteur proportionnel  $K$  pour la boucle de position (pour le moment, ce correcteur est égal à 1) réglez celui-ci de façon à satisfaire l'exigence de stabilité. Conclure en comparant les deux corrections (avance de phase ou boucle interne).