

Asservissements

Modélisation multi-physique

PSI : Lycée Rabelais

1 Régulation de température dans un bâtiment

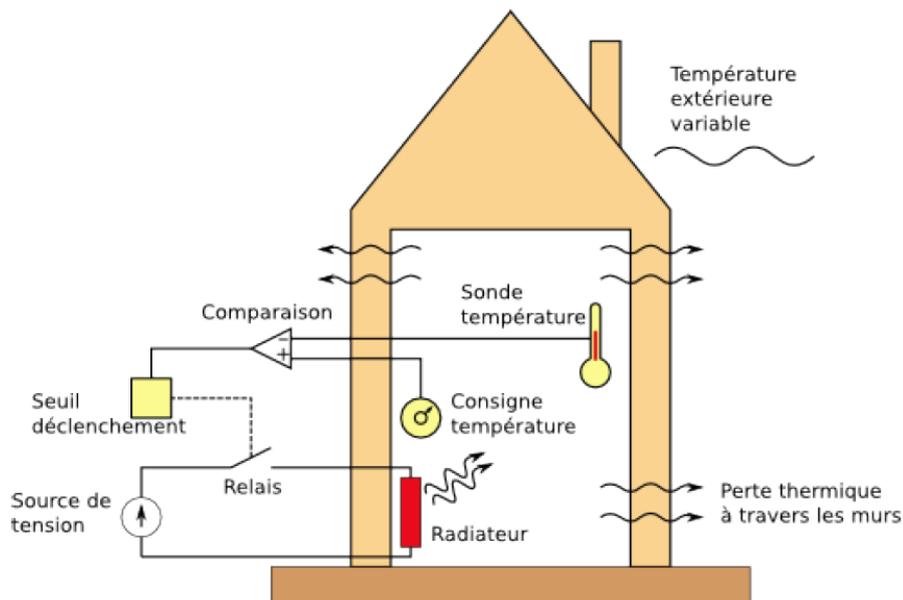
1.1 Mise en situation

1.1.1 Problème technique

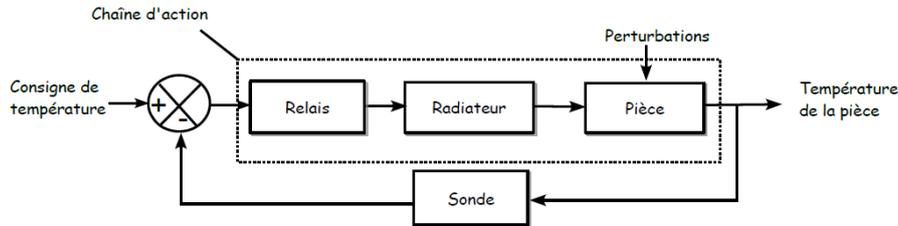
On considère le problème de régulation de température d'une maison à 20 degrés. La température de la pièce évolue car la température extérieure passe de 25 degrés le jour à 5 degrés la nuit et l'isolation thermique n'est pas parfaite. Les phénomènes physiques sont simples (en première approximation) :

- l'intérieur de la maison est modélisé par une capacité thermique (ou inertie thermique) qui caractérise la capacité du bâtiment à absorber ou restituer la chaleur
- l'isolant thermique de la maison agit comme un conducteur thermique entre l'intérieur et l'extérieur qui modélise ainsi les échanges de chaleur
- un radiateur chauffe l'intérieur quand cela est nécessaire et est modélisé par une résistance chauffante.

La commande tout ou rien s'appuie sur la mesure de la température intérieure et la consigne de température de la pièce pour allumer le radiateur quand la température mesurée de la pièce passe 3 degrés sous la consigne.



L'asservissement Tout-Ou-Rien (TOR) est représenté par le schéma fonctionnel suivant :



1.1.2 Comportements physiques élémentaires

La capacité thermique (ou capacité calorifique) d'un corps est une grandeur permettant de quantifier la possibilité qu'a un corps d'absorber ou restituer de l'énergie par échange thermique au cours d'une transformation pendant laquelle sa température varie.

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température d'un kelvin. Elle s'exprime en joule par kelvin (J/K). C'est une grandeur extensive : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande.

La conduction thermique est un transfert thermique spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse, et est décrite par la loi dite de Fourier : $\varphi = -\lambda \frac{dT}{dx}$.

1.1.3 Objectifs

Les objectifs de ce TP sont de modéliser la chaîne d'action du système de régulation et d'en vérifier les performances. On cherchera également à mettre en place une régulation Tout-Ou-Rien et d'en montrer l'intérêt.

1.2 Modélisation du radiateur et maison

Implanter les composants électriques permettant de chauffer la pièce (l'alimentation électrique sera imposé à 220 V).

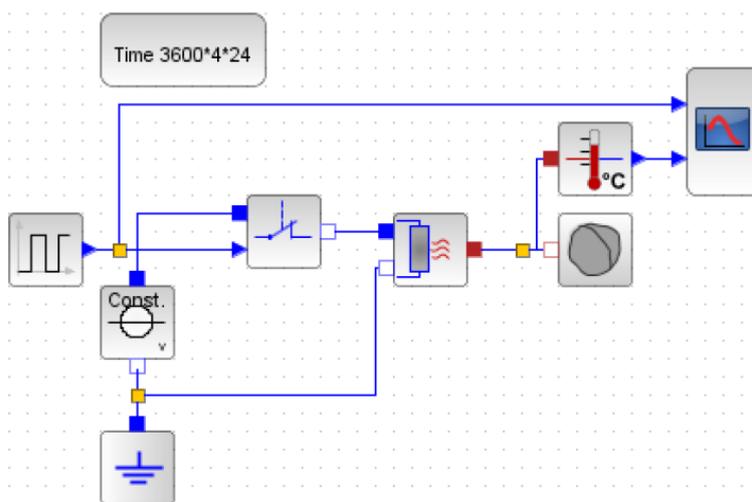
Faire glisser les blocs suivants puis double-cliquer sur chacun d'eux et **renseigner** les paramètres indiqués lorsque cela est demandé.

Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Résistance chauffante		Electrical / Passiv_basic / MEAB_HeatingResistor	50 Ohms à la température de référence de 20°= 293,15 K, coefficient de température égal à 0
Interrupteur commandé		Electrical / Passiv_basic / MEAI_IdealClosingSwitch	
Capacité thermique		Thermal / Basic / MTH_HeatCapacitor	5.10 ⁵ J/K
Commande		Signals / Sources / MBS_Pulse	à déterminer
Capteur de température		Thermal / Sensors / MTHC_TemperatureSensor	

Pour une première simulation, on choisit de simuler le comportement du chauffage en imposant, en entrée de l'interrupteur commandé, un signal créneau passant de 0 à 1 sur une période de 3h (3*3600s car l'unité temporelle est la seconde) et de rapport cyclique 20 %. Ceci signifie que toutes les 3h, on chauffe durant 36 minutes. On utilisera donc le bloc MBS_Pulse.

On considère que le radiateur est alimenté avec une tension de 230 V.

Finir le branchement pour observer le signal de commande et la température de la pièce (schéma ci-dessous). **Observer** le résultat et **conclure**.



1.3 Amélioration du modèle

1.3.1 Prise en compte des pertes

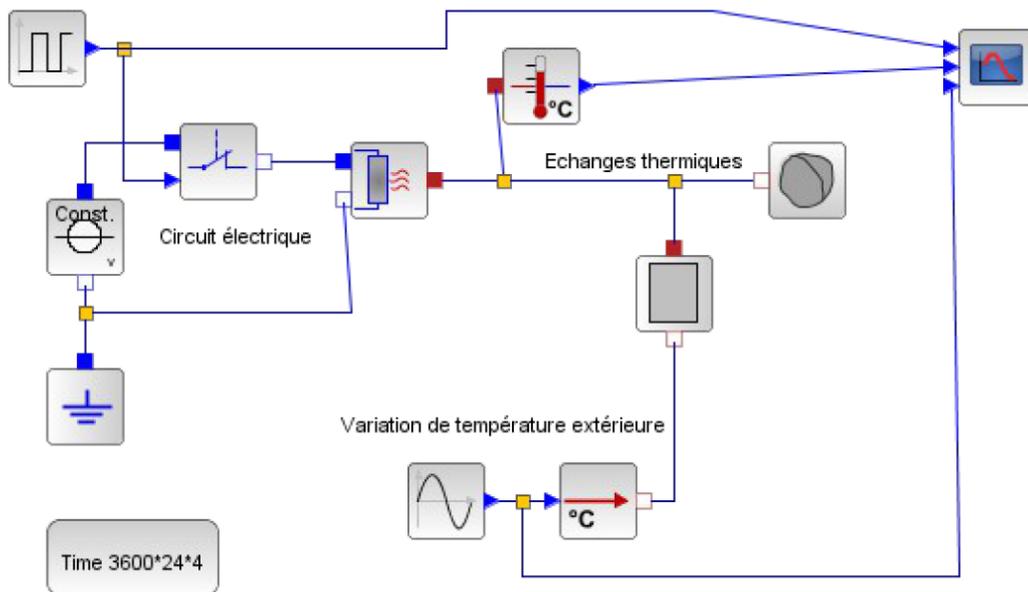
Ajouter les composants suivants et réaliser le schéma-bloc donné ci-après pour prendre en compte les pertes de chaleur.

Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Conductivité thermique		Thermal / Basic / MTH_ThermalConductor	20 W/K
Source de température		Thermal / Sources / MTHC_PrescribedTemperature	
Signal sinusoïdal		Signals / Sources/MBS_Sine	amplitude 10, offset 15, fréquence 1/24h à convertir en s ⁻¹

Le signal sinusoïdal modélise la variation de température extérieure de 5° à 25°, ce qui justifie les paramètres retenus.

Comme pour visualiser la température, pour imposer une température, il faut spécifier une source de température et dire comment elle varie en donnant le signal correspondant.

Modifier le bloc ISCOPE pour visualiser l'évolution de la température extérieure.



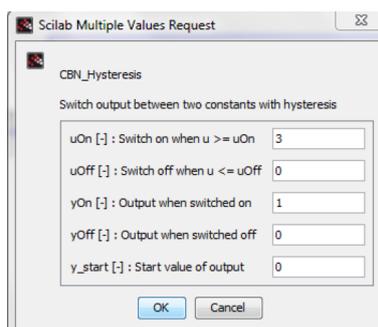
Lancer une nouvelle simulation et observer que la commande par impulsion est loin d'être optimale.

1.3.2 Mise en place d'une régulation

Pour assurer la régulation de température, il suffit de comparer le signal de température de la pièce à une température de consigne. L'écart ainsi formé est utilisé comme entrée d'un relais qui ferme ou non l'interrupteur. On réalise donc ici un asservissement en température !

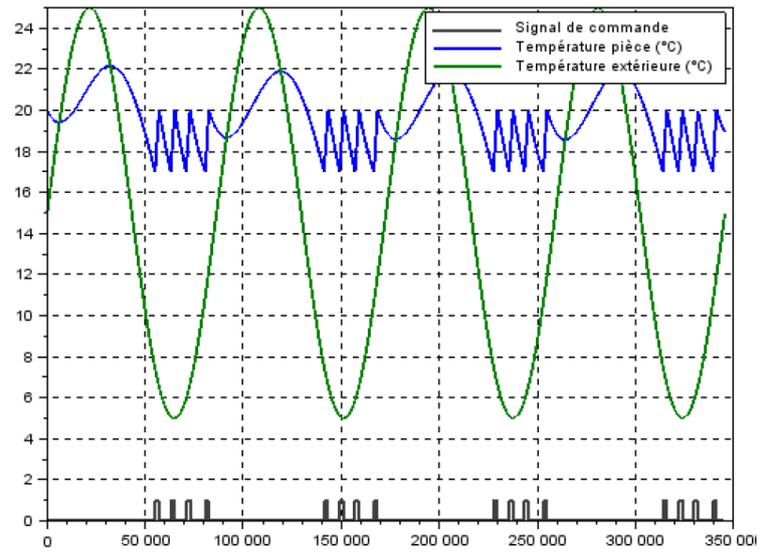
La consigne de température est un bloc signal constant. Une valeur de 20° sera spécifiée. Pour former l'écart on utilise un bloc sommateur. Pour changer les signes du sommateur, cliquer sur le bloc et mettre les valeurs -1 et 1. Le relais utilisé passe à 1 lorsque l'écart est supérieur à 3°, il repasse à 0 lorsque l'écart est nul.

Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Bloc constant		Signals /Sources/MBS_Constant	20°
Sommateur		Signals / Math / MBM_Add	
Relais		Signals / NonLinear / CBN_Hysteresys	voir fenêtre ci-dessous



Mettre en place le schéma bloc avec cette nouvelle commande. **Observer** la commande et l'évolution de la température

(tracé ci-dessous à retrouver). **Conclure.**



Modifier les éléments nécessaires pour que la température de votre logement reste toujours supérieure à 19 degrés (bien entendu, vous n'êtes pas maître de la météo !).

2 Modélisation d'un moteur à courant continu

2.1 Mise en situation

2.1.1 Problématique technique

Un nombre important de systèmes industriels nécessitent le pilotage d'un moteur à courant continu. Il est indispensable comme nous le verrons dans ce TP de modéliser ces moteurs à courant continu pour être capable de réaliser un asservissement par exemple ou bien pour évaluer les performances du système.

Le moteur à courant continu est modélisé, dans son régime linéaire, par les quatre équations suivantes :

$$U = E + R.I + L.\frac{dI}{dt} \quad (\text{eq. 1})$$

$$C_m = K.I \quad (\text{eq. 2})$$

$$E = K.\omega \quad (\text{eq. 3})$$

$$J.\frac{d\omega}{dt} = C_m + C_{pert} - f.\omega \quad (\text{eq. 4})$$

L'équation 1 correspond au modèle électrique du moteur qui est modélisé par une résistance R en série avec une inductance L et une force contre-électromotrice E.

Les équations 2 et 3 correspondent à des équations de couplage électro-mécanique. Le courant circulant dans la bobine génère des forces de Laplace qui se traduisent par un couple moteur C_m . L'équation 3 traduit le lien entre la vitesse angulaire et la force électromotrice.

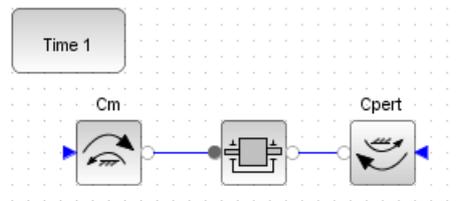
L'équation 4 correspond à l'équation de dynamique obtenue en isolant l'arbre moteur et en lui appliquant le théorème de l'énergie cinétique sachant qu'il est soumis au couple moteur C_m , à un couple C_{pert} (frottements secs par exemple) et un frottement visqueux.

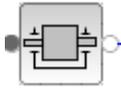
L'objectif du TP est de montrer comment modéliser le moteur sous le module SIMM et comment le piloter.

2.1.2 Modélisation mécanique

Le schéma cinématique du moteur soumis à des actions mécaniques peut directement être traduit dans SIMM.

Pour commencer, on considère le rotor en liaison pivot soumis à un couple C_m et un couple C_{pert} . Un solide en rotation autour d'un axe fixe est caractérisé mécaniquement par son moment d'inertie autour de l'axe de rotation (difficulté à le mettre en mouvement). **Mettre en place** les blocs suivants comme indiqué sur le schéma-bloc ci-après.

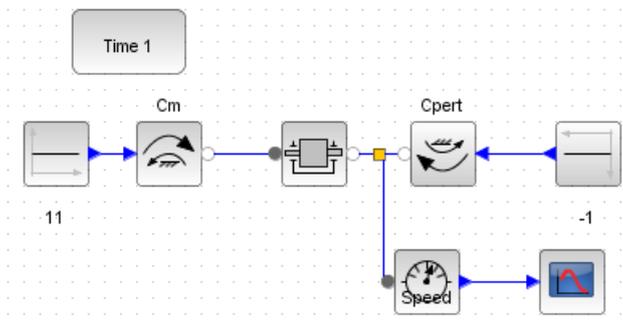


Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Solide en rotation autour d'un axe fixe		Mechanical / Rotational_1D / Basic / MMR_Inertia	0,00002 kg.m ²
Couple extérieur (entre l'axe et le bâti)		Mechanical / Rotational_1D / Sources / MMR_Inertia	
Étude temporelle		Utilities / Studies / IREP_TEMP	Durée : 1 s Nombre de points = 200

On constate que ce schéma correspond exactement au schéma cinématique. Sur un tel schéma on ne spécifie pas les évolutions des grandeurs. De la même manière, il faut indiquer dans SIMM comment évoluent les couples C_m et C_{pert} . Relier ainsi le couple C_m à un signal constant égal à 0,11 N.m et le couple C_{pert} à un signal constant de - 0,01 N.m (Signals/Sources/MBS_Constant).

On peut ensuite visualiser les grandeurs qui transitent sur chaque lien entre les composants. Dans un modèle mécanique 1D de type rotation, ces grandeurs sont l'accélération, la vitesse et la position angulaires ainsi que le couple. Mettre en place le bloc de mesure ci-contre, situé dans la palette Mechanical/Rotational_1D/Sensors/CMRS... .._GenSensor et double-cliquer dessus. **Attention, sur la palette c'est plutôt le bloc de mesure de position angulaire qui apparaît : il faut l'introduire en l'état puis en double cliquant dessus imposer la mesure d'une vitesse.**

Choisir de visualiser la vitesse en tapant 1. Mettre en place également un ISCOPE à une entrée. On obtient le schéma-bloc suivant.

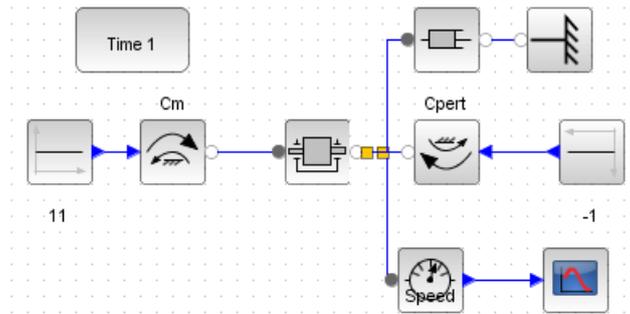


Lancer la simulation et observer la vitesse. Ce résultat vous semble-t-il cohérent ? Ce résultat permet d'attester le modèle dynamique utilisé et illustre bien la notion d'inertie. Cependant ce modèle ne prend pas en compte la limitation de l'apport en énergie, ni les frottements...

Le couple de frottement visqueux existe entre le bâti et le rotor. Pour le modéliser, il suffit d'ajouter sur le lien représentant l'axe :

-  un bloc "viscosité" MMR_Damper (palette Mechanical/Rotational_1D/Basic avec une valeur de 0,0001 Nm.s),
-  et le bâti MMR_Fixed (palette Mechanical/Rotational_1D/Basic).

La prise en compte du frottement visqueux mène donc finalement au schéma ci-dessous :



Observer l'évolution de la vitesse ? Cela est-il cohérent ?

2.1.3 Modélisation électrique et couplage

Le schéma-bloc électrique est à nouveau comparable au circuit électrique. Il ne faut pas oublier de mettre une masse dans le circuit. De la même manière le bâti doit toujours être spécifié dans une étude mécanique (référentiel galiléen d'étude), il est implicitement spécifié lorsqu'on impose les couples.

Mettre en place à partir de la palette Electrical, les blocs suivants et les reliés entre eux :

Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Source de tension		Electrical / Sources / CEAS_PredefVoltage	12 V
Résistance		Electrical / Passiv_Basic / Resistor	1 Ohm
Inductance		Electrical / Passiv_Basic / Inductor	0.001 H
Force électromotrice en rotation (couplage)		Electrical / Passiv_Basic / CEAB_EMFGEN	0.01 N.m/A fixed frame 1
Masse		Electrical / Sources / MEAB_Ground	

On constate que le bloc EMFGEN propose de supposer que le bâti est implicitement donné ou non (fixed frame). Pour la source de tension, les connecteurs ont un sens particulier, le connecteur plein correspond à la borne positive, le connecteur vide à la borne négative.

Tracer l'évolution de la vitesse de rotation pour un échelon de tension de 12 V. Mettre en place les capteurs supplémentaires suivants : un ampèremètre, un capteur de couple. **Observer** le résultat obtenu et conclure.

2.2 Modélisation du pilotage par un hacheur

2.2.1 Principe du hacheur

Le hacheur est le préactionneur le plus courant pour l'asservissement des moteurs à courant continu. Il permet, en moyenne, de doser le niveau de tension aux bornes du moteur. Associé à une mesure de courant et une régulation, il peut aussi doser le niveau d'intensité dans le moteur.

Le pilotage d'un hacheur se fait par l'intermédiaire d'un PWM (Pulse Width Modulation, MLI comme Modulation de

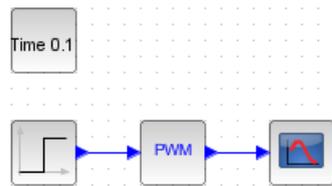
Largeur d'Impulsions en français).

Le principe est simple : un signal créneau de 0 (État logique bas) à 5 V (État logique haut) dont le rapport cyclique est variable est généré. Comme la fréquence de ce signal est élevée (environ 500 Hz fréquemment), si le système connecté à la sortie PWM est "lent", il ne voit à ses bornes que la tension moyenne du signal PWM (il fonctionne ainsi comme un filtre).

Le hacheur fonctionne selon le même principe que le signal PWM : il hache la tension issue d'une l'alimentation externe grâce à des transistors ; la tension moyenne dépend alors du rapport cyclique. C'est le signal PWM qui est utilisé pour commander ces transistors.

2.2.2 Signal PWM

Créer une nouvelle fenêtre Xcos. Puis **placer** dans cette fenêtre les blocs indiqués pour réaliser le schéma-bloc suivant :

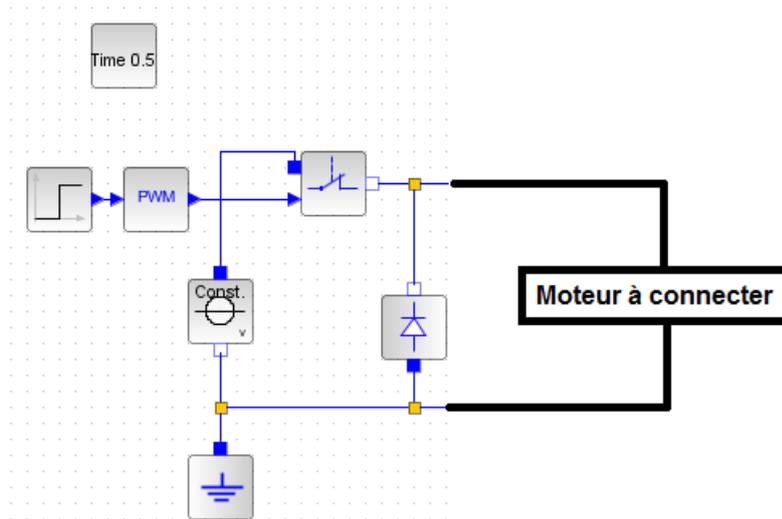


Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Échelon		Signals / Sources / MBS_Step	Height = 125 (le reste à 0)
PWM		Signals / Sources / SIMM_PWM	8 bits, fréquence : 500 Hz, start_time : 0
Affichage de signal		Utilities / ISCOPE	

Lancer une simulation et **observer** le signal. **Mettre** à la place de l'échelon un bloc MBS_Ramp de pente 255/0.1. **Observer** l'évolution du signal créneau.

Le hacheur le plus simple est le hacheur série 1 quadrant. Il est constitué d'un transistor commandé (interrupteur commandé) et d'une diode.

Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Interrupteur commandé		Electrical / Passiv_Basic / MEAI_IdealClosingSwitch	
Diode		Electrical / Passiv_Basic / CEAI_IdealDiode	



Reprendre le schéma-bloc du moteur et **ajouter** un interrupteur normalement fermé et une diode pour représenter le schéma électrique ci-dessus. Insérer le pilotage par PWM donné précédemment en utilisant un échelon de 120. **Lancer** une simulation sur une durée de 0,2 s (pour 1000 points). **Observer** les différentes grandeurs et **analyser** l'influence des différents paramètres (moment d'inertie, fréquence de hachage, etc...).

2.2.3 Simplification du schéma

Le moteur étant un actionneur très utilisé. Un bloc associé est déjà présent dans la palette (rubrique *Composants* puis *Actionneurs*).



Modifier votre schéma pour faire apparaître ce bloc et y **implanter** les valeurs numériques utiles.