

MODÉLISATION MULTIPHYSIQUE

Scilab et les systèmes à
(seconde partie)ALAIN CAIGNOT, VINCENT CRESPEL ET DAVID VIOLEAU^[1]

Scilab ne se limite pas à l'analyse temporelle et fréquentielle, il permet aussi la simulation « acausale », au plus près de l'architecture physique des systèmes. Explication par l'exemple sur une régulation de température.

En première partie (*Technologie* n° 183, janvier-février 2013), nous présentions l'utilisation de Scilab pour l'analyse de systèmes mécatroniques à temps continu en utilisant des schémas-blocs. Ces blocs étaient orientés, et la notion d'entrée-sortie était fondamentale pour établir le modèle de chaque bloc. La relation entrée-sortie est dans ce cas dite causale puisqu'elle décrit un effet (sortie) dû à une cause (entrée).

La modélisation dite acausale est une forme récente de modélisation des systèmes qui permet de décrire les équations modélisant les phénomènes physiques sans anticiper l'orientation des liens entre les composants ou phénomènes (voir Ph. Fichou, « La modélisation multiphysique » dans le précédent numéro). Il n'y a notamment pas de choix particulier de variables échangées entre composants (force ou vitesse par exemple), ni de notion d'entrée et sortie. Cette particularité conduit à une très grande flexibilité des modèles de composants développés, à une réutilisation de ces modèles sur de nouveaux projets et à la possibilité de construire des bibliothèques de composants. Ces avantages en font un outil prisé en entreprise. D'un point de vue pédagogique, le modèle acausal est très proche de l'architecture matérielle et permet de simuler le comportement d'un système complexe sans écrire la moindre équation.

L'objectif sera ici de montrer les possibilités de Scilab/Xcos pour simuler des processus multiphysiques par une approche acausale.

La comparaison des approches causale et acausale sur un exemple très simple

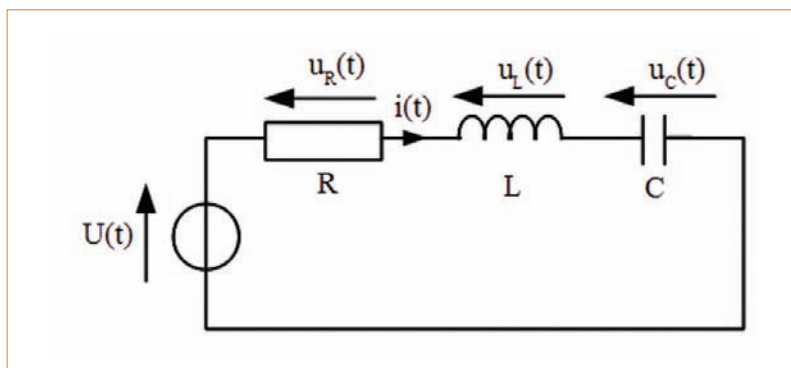
Le circuit RLC alimenté par une source de tension U est représenté par le schéma électrique 1.

mots-clés
logiciel, simulation

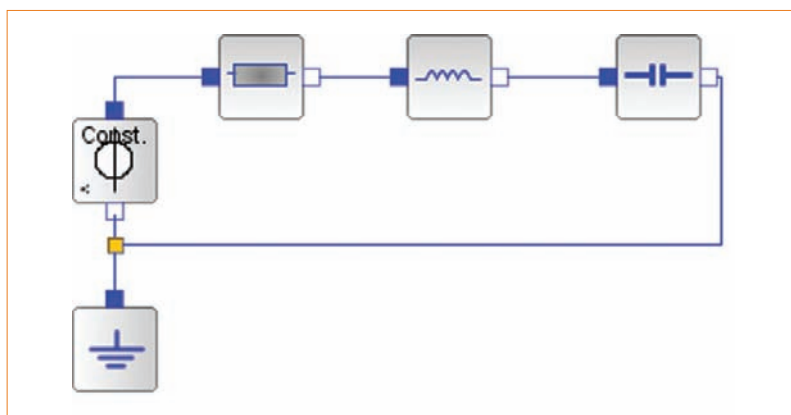
$$u_L(t) = L[di(t) / dt] \quad u_R(t) = Ri(t)$$

$$i(t) = C[du_C(t) / dt] \quad U(t) = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t)$$

La représentation acausale étant basée sur les composants, elle ne privilégie aucune grandeur physique particulière. Ainsi, dans Scilab/Xcos, le schéma correspond au circuit RLC serait illustré par la figure 2. On y retrouve quatre blocs représentant les composants – source de tension, résistance, inductance et capacité – et une mise à la terre. Il n'est pas nécessaire d'écrire les équations du système, car chaque bloc les contient. Il suffit simplement de renseigner les paramètres de chaque bloc (R , L , C et U). Un lien entre deux blocs contient dans ce cas à la fois la tension et l'intensité. Dans une représentation



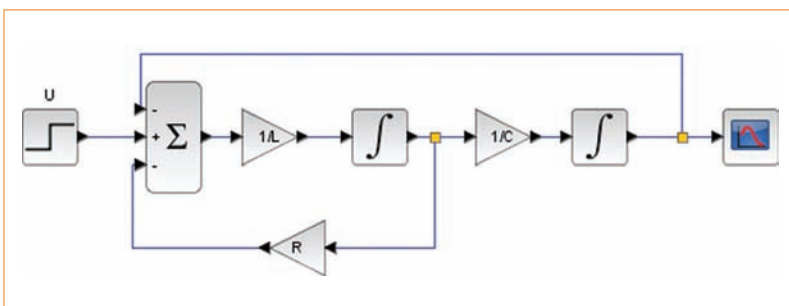
1 Le schéma électrique du circuit RLC



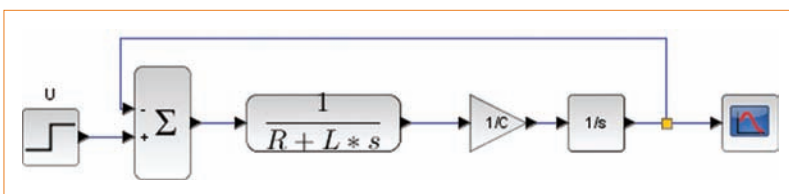
2 Le schéma du circuit RLC acausal dans Scilab/Xcos

[1] Professeurs en classes préparatoires aux grandes écoles, formateurs STI2D pour l'académie de Paris.

temps continu



3 Le schéma causal du circuit RLC



4 Le schéma-bloc simplifié en variable de Laplace

```

Console Scilab
?

Start COSELICA module
  Load macros
  Load palette: Coselica - Blocks
  Load palette: Coselica - Electrical
  Load palette: Coselica - Heat transfer
  Load palette: Coselica - Mechanics/Translational
  Load palette: Coselica - Mechanics/Rotational
  Load palette: Coselica - Mechanics/Planar
  Load palette: Coselica - Components
  Load demos
  Load Modelica Equations
  Coselica Version: 0.5.2
Start SIMM toolbox
  Load macros
  Load palette - SIMM blocks
  Load palette: SIMM - Utilities
  Load palette: SIMM - Components
  Load palette: SIMM - Signals
  Load palette: SIMM - Electrical
  Load palette: SIMM - Mechanics
  Load palette: SIMM - Thermal
  Simm Version: 1.0
  
```

5 Le lancement de Coselica et Simm

causale, les liens représentent une grandeur physique particulière, et le schéma est alors une représentation graphique des équations plutôt qu'une représentation des composants.

Dans une modélisation, la dérivée pose problème car elle nécessite, pour être correctement évaluée, que l'on connaisse l'état suivant d'une variable. Elle n'est donc pas adaptée à une approche causale qui suppose que la sortie de chaque bloc orienté n'est connue qu'à partir de l'entrée. Pour résoudre cette difficulté, on intègre alors les termes dérivés pour aboutir au schéma 3.

L'utilisation de la transformée de Laplace permet, entre autres, de simplifier la représentation causale par schéma-bloc (suppression de la boucle avec R par exemple) 4.

L'installation du logiciel

La procédure d'installation du logiciel Scilab a été présentée en première partie. Une fois celle-ci terminée, lancez le logiciel, puis installez la boîte à outils Simm par Applications/Gestionnaire de modules – Atoms, puis Éducation, et sélectionner Simm. Ce module est basé sur le module Coselica, mais propose une organisation et des fonctionnalités différentes. À l'issue de l'installation, redémarrez le logiciel Scilab : la console Scilab (colonne du milieu) doit indiquer que la boîte à outils est correctement installée. L'écran 5 montre que Coselica et Simm se lancent correctement. Attention, pour pouvoir utiliser ces *toolboxes*, il est indispensable d'installer au préalable un compilateur C sur l'ordinateur (sous Windows, on pourra télécharger par exemple Visual C/C++ Express ou bien lcc_win32 et l'Atom complémentaire dans le gestionnaire d'Atoms, rubrique « Windows Tools/LCC_Windows »). Si aucun compilateur n'est accessible, un message apparaîtra dans la fenêtre centrale de Scilab.

Lorsque la console Scilab est lancée, démarrez l'extension Xcos en cliquant sur l'icône dédiée située dans le bandeau supérieur () ou tout simplement en tapant « xcos » (sans majuscules : le logiciel est sensible à la casse).

Cette action a pour effet d'ouvrir deux fenêtres : le navigateur de palettes qui contient les différentes icônes et la feuille de travail, initialement nommée « Sans titre

– hh:mm:ss », « hh:mm:ss » correspondant à l'heure de création du modèle. Dans le navigateur de palettes se trouvent toutes les icônes nécessaires à la simulation de processus, et dans la partie inférieure la palette nommée « Simm » qui contient des blocs regroupant les composants des chaînes d'énergie et d'information ainsi qu'une organisation par phénomènes (mécanique, thermique, électrique, signal) **6**.

Pour réaliser un schéma-bloc acausal, on fait tout simplement glisser des blocs de la palette vers la fenêtre de travail, puis on les relie entre eux. Un double-clic sur chaque bloc permet de spécifier les paramètres du modèle de composant.

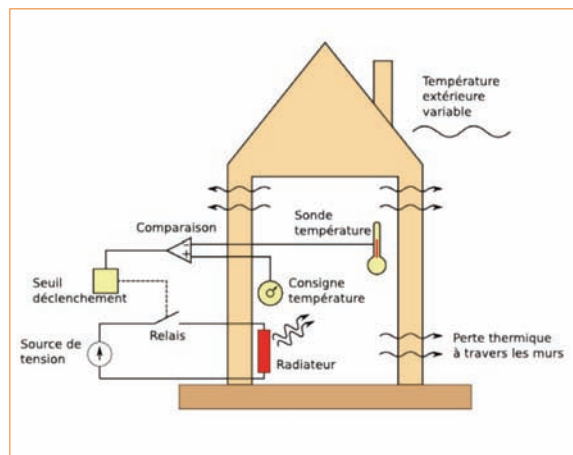
Un exemple

On considère le problème de régulation de température d'une maison à 20 °C **7**.

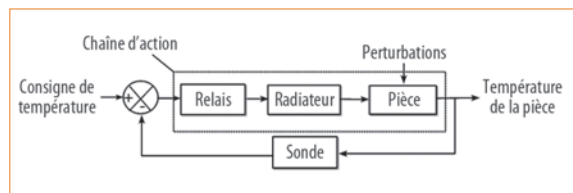
La température intérieure évolue, car la température extérieure passe de 25 °C le jour à 5 °C la nuit et l'isolation thermique n'est pas parfaite.

Les phénomènes physiques sont simples (en première approximation) :

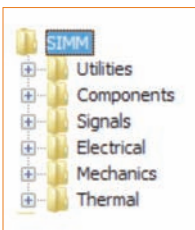
- l'intérieur de la maison est modélisé par une capacité thermique (ou inertie thermique) qui caractérise la capacité du bâtiment à absorber ou restituer la chaleur ;
- l'isolant thermique de la maison agit comme un conducteur thermique entre l'intérieur et l'extérieur qui modélise ainsi les échanges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



7 La régulation de température d'une maison



8 Le schéma-bloc de la régulation de température d'une maison



6 La palette Simm

La commande « tout ou rien » (TOR) s'appuie sur la mesure de la température intérieure et sur la consigne de température de la pièce pour allumer le radiateur quand la température mesurée de la pièce passe 3 °C sous la consigne. L'asservissement TOR est représenté par le schéma fonctionnel **8**.

La modélisation de la chaîne d'action

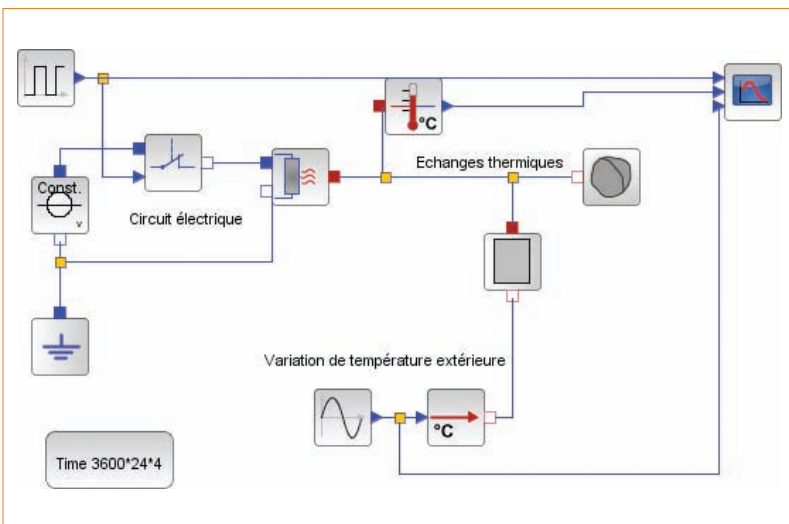
Le système permettant de chauffer la pièce est représenté par le diagramme Xcos **9**. On y retrouve les composants définis précédemment **10**.

Chaque bloc possède un ou plusieurs connecteurs à gauche et à droite de formes et couleurs différentes. Seuls des connecteurs (pleins ou vides) de même couleur et même forme doivent être reliés entre eux.

Pour tester le comportement de cette chaîne d'action, on réalise une étude temporelle sur une durée de 4 jours. La durée de simulation est spécifiée par le bloc IREP_TIME (palette « Utilitaires/Visualisation ») **11**. On choisit de paramétrer le bloc de manière que 20 000 pas de temps de calcul soient réalisés et que les courbes se tracent à la fin du calcul.

L'interrupteur est commandé par un signal créneau de 0 à 1 d'une période de 3 heures (3 × 3 600 s) et de rapport cyclique 20 % (toutes les 3 heures, on chauffe durant 36 min). On utilise le bloc de la palette « Signaux/Sources/MBS_Pulse ». Pour visualiser des signaux provenant d'une source ou d'un capteur, on utilise le bloc ISCOPE de la palette « Utilitaires/Visualisation » pour lequel le nombre d'entrées à visualiser sur un même graphique est spécifié (une légende peut être donnée pour chaque courbe).

Pour changer l'orientation d'un bloc, sélectionnez-le puis cliquez droit et sélectionnez Format/Pivoter ou Format/Miroir (ou faites directement Ctrl + M ou Ctrl + R).



9 Le diagramme Xcos du système de chauffage de la pièce

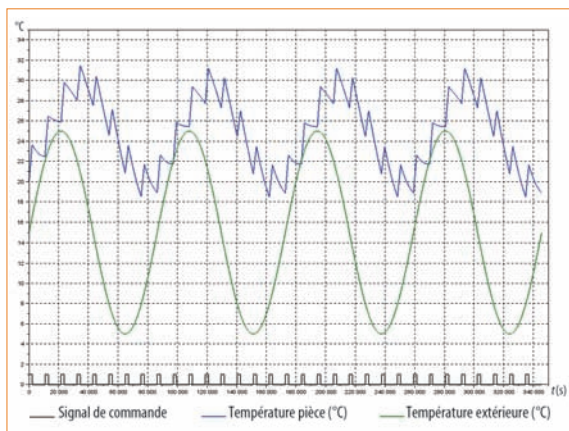
Désignation	Représentation	Localisation (palette)	Paramétrage
Résistance chauffante		Électrique/Passif_basic/MEAB_HeatingResistor	50 ohms à la température de référence de 20 °C = 293,15 K, coefficient de température égal à 0
Interrupteur commandé		Électrique/Passif_basic/MEAI_IdealClosingSwitch	
Source de tension		Électrique/Sources/CEAS_PrefdefVoltage	Constante égale à 220 V continu
Terre		Électrique/Sources/MEAB_Ground	
Capacité thermique		Thermique/Basic/MTH_HeatCapacitor	$5 \times 10^5 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$
Capteur de température		Thermique/Mesure/MTHC_TemperatureSensor	
Conductivité thermique		Thermique/Basic/MTH_ThermalConductor	$20 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$
Source de température		Thermique/Sources/MTHC_PrescribedTemperature	
Signal sinusoïdal		Signaux/Sources/MBS_Sine	Modélise la variation de température extérieure de 5 °C à 25 °C (amplitude 10, offset 15, fréquence 1/24 h = 1 / [3 600 × 24] s)

10 Les composants du diagramme Xcos

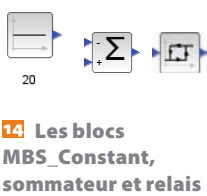
La simulation est lancée par un clic sur l'icône correspondante (▶). Une fenêtre récapitulant les données de simulation est proposée. Après un certain temps, les courbes 12 s'affichent et montrent notamment que la commande directe par impulsions ne convient pas. En effet, le choix de cette commande par impulsions régulières (signal de commande noir crénelé) n'est pas judicieux, car la pièce est chauffée même quand ce n'est pas nécessaire !

La régulation de température

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. Le système permettant de réguler la température de la pièce est représenté par le diagramme Xcos 13.



12 Les courbes de chauffage TOR

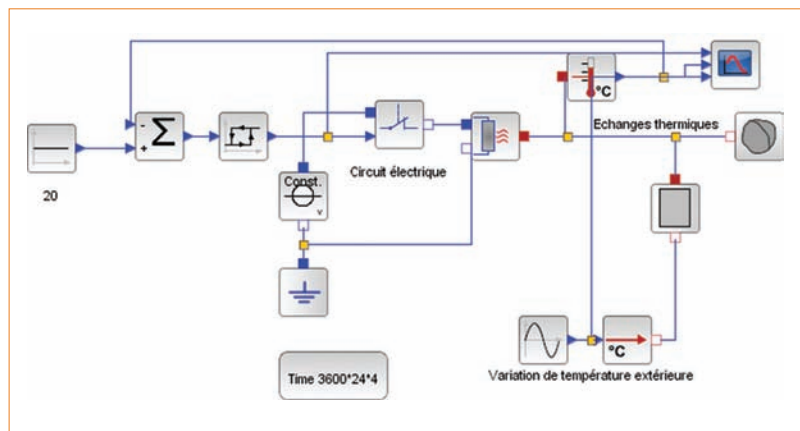


La consigne de température est un bloc signal constant (palette « Signaux/Sources/MBS_Constant ») 14. Une valeur de 20 °C est spécifiée.

Pour former l'écart, on utilise un bloc sommateur (palette « Signaux/Math/MBM_Add »). Pour changer les signes du sommateur, on clique sur le bloc et on entre les valeurs - 1 et 1.

Le relais (palette « Signaux/Non-Linearités/CBN_Hysteresys ») passe à 1 lorsque l'écart est supérieur à 3 °C, et repasse à 0 lorsque l'écart est nul. L'écran 15 montre le réglage du bloc.

On obtient des résultats de simulation beaucoup plus pertinents vis-à-vis de l'objectif de chauffage de la pièce 16. Lorsque la température y descend à 17 °C, le système de chauffage se met en route (le signal de commande en noir passe à 1), et la température de la pièce remonte à 20 °C quelle que soit la température

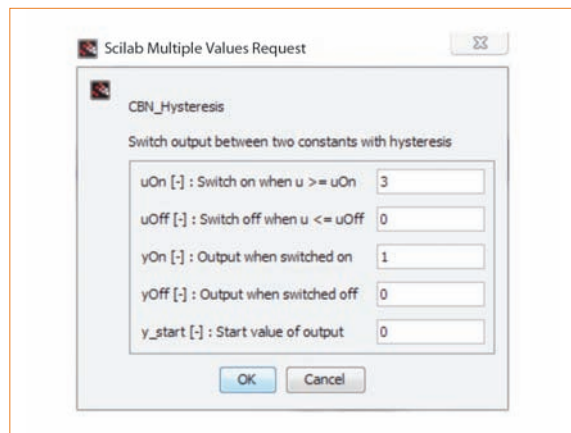


13 Le diagramme Xcos du système de régulation de température de la pièce

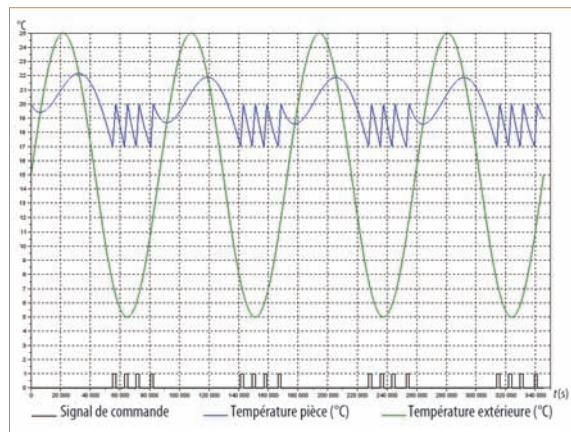
extérieure. Le signal de commande passe alors à 0 (il n'est plus nécessaire de chauffer). Lorsque la température de consigne est atteinte, si la température extérieure est inférieure à la température intérieure, celle-ci va à nouveau baisser jusqu'à atteindre 17 °C et provoquer un nouveau chauffage de la pièce. On obtient donc un signal de température intérieure crénelé lorsque la température extérieure est faible en accord avec le signal de commande (noir). La température est ainsi gérée automatiquement.

On constate également que le système ne peut pas refroidir la pièce lorsque la température extérieure dépasse la consigne !

Remarque sur les limites de la simulation : Normalement, la tension EDF est sinusoïdale (220 V, 50 Hz), mais, évidemment, si le simulateur doit représenter correctement le signal sinusoïdal dans le circuit électrique, le pas de temps sera très petit (de l'ordre de 1/500 s), alors que le phénomène thermique est étudié sur plusieurs jours... C'est pourquoi il est indispensable d'utiliser une source de courant continu à 220 V. D'une façon générale, il faut éviter d'imposer dans un même modèle des phénomènes dont les constantes de temps sont très éloignées. Cette contrainte conduit à des compromis sur le niveau de détail des modèles choisis.



15 Les paramètres de réglage du bloc



16 Les courbes de régulation

Conclusion

On a vu dans cet article quelques possibilités d'utilisation du logiciel libre Scilab, de son extension Xcos et de la boîte à outils Simm pour la simulation de processus multiphysiques. La mise en œuvre du modèle est immédiate et ne nécessite que quelques connaissances des modèles physiques élémentaires.

L'apport de la modélisation acausale est immédiat et permet de rester au plus près de la physique ou de l'architecture du système étudié. Différentes notions physiques peuvent être illustrées simplement à partir de quelques blocs sans aucune équation à écrire ou à résoudre. Une telle modélisation permet de mettre l'accent sur les phénomènes et leur interprétation plutôt que sur la manière d'obtenir un résultat.

Bien que sans aucun doute moins performant que d'autres solutions disponibles (Matlab + Simulink + Simscape ou Maple + Maplesim), le module Simm permet de réaliser des modèles relativement faciles à comprendre par les élèves, plus intéressants de notre point de vue, car pouvant être développés sur leur propre ordinateur, compte tenu de la gratuité du logiciel. Et la profusion des blocs disponibles dans d'autres solutions compliquerait plutôt la tâche quand il s'agit d'illustrer des notions simples en classes prébac. ■

technologie

s'affiche sur Éduscol...



Vous y trouverez :

- Le sommaire détaillé de chaque nouveau numéro
- Des liens pour chaque article, ceux donnés dans la revue mais pas seulement
- Un lien vers les archives de la revue

Vous pourrez y télécharger :

- Des articles d'archives de la revue
- L'éditorial et le Technomag de chaque numéro



... mettez-le dans vos favoris !

<http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>