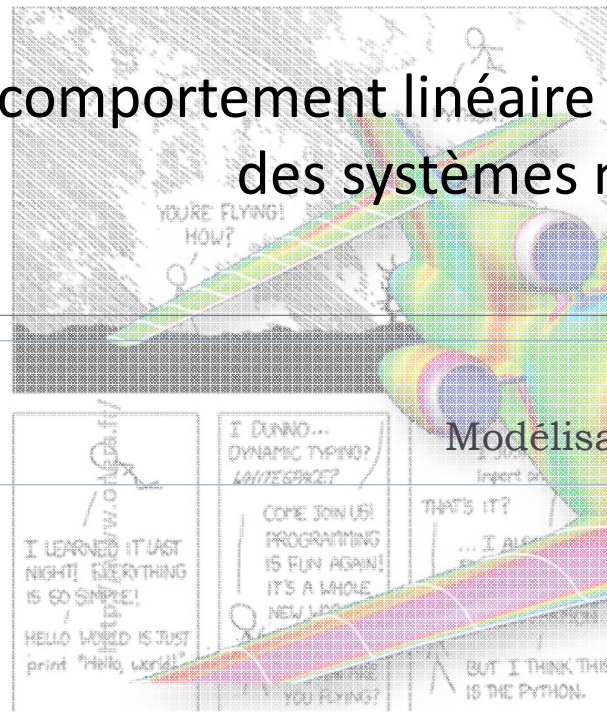
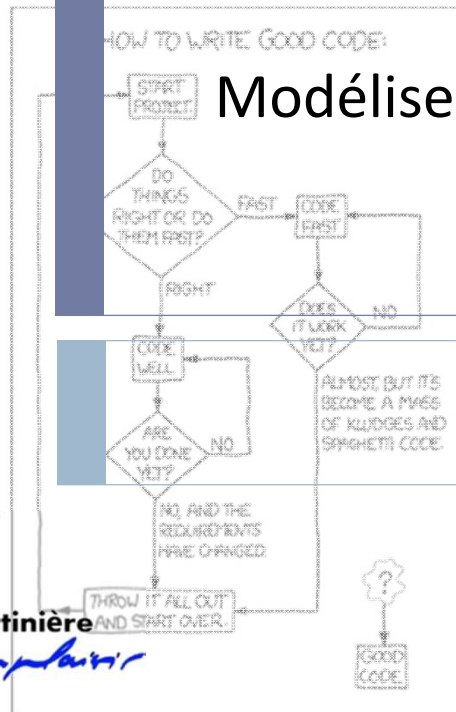


Modéliser le comportement linéaire et non linéaire des systèmes multiphysiques

Cycle 1

Chapitre 1 Modélisation multiphysique



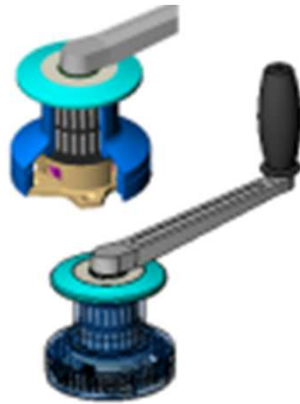
<http://xcd.com/353/>
<http://xcd.com/844/>

La Martinière
en français

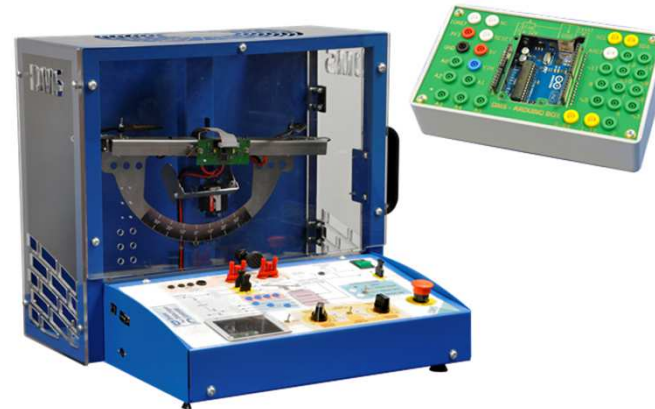
Introduction

Qu'est-ce qu'un système multiphysique

Winch



Drone D2C



Introduction

Pourquoi modéliser des systèmes ?

- ✓ Pouvoir prévoir le comportement du système réel alors qu'il n'existe pas encore lors de la phase de conception;
 - ✓ permettre la prévision de phénomènes (en météorologie par exemple);
 - ✓ éviter ou limiter le recours aux expérimentations réelles qui peuvent être très coûteuses ou très dangereuses, voire proscrites (essais nucléaires militaires) ou impossibles dans l'état actuel des connaissances et des moyens (projet ITER);
 - ✓ quand l'échelle de temps des phénomènes dans le système réel ne permet pas une expérience « en une durée raisonnable » pour effectuer des observations ou des mesures. (premiers instants de l'univers ($t < 10^{-6}$ s) ou l'évolution des galaxies ($t > 10^6$ années));
 - ✓ « observer » ou représenter des variables inaccessibles à l'expérience ou la mesure;
 - ✓ les manipulations sont faciles sur un modèle. Elles peuvent être répétées, voire itérées automatiquement pour apprécier de très nombreuses situations;
 - ✓ le droit à l'erreur, sans risque;
 - ✓ la possibilité de supprimer des phénomènes perturbateurs ou des effets secondaires.
- ✗ Avoir une confiance aveugle dans les simulations et ses résultats : des erreurs liées aux modèles ou aux calculs peuvent ne pas être perçues immédiatement;
 - ✗ « oublier » les conditions de la simulation et les hypothèses formulées pour établir le modèle et surtout dans le cas des systèmes complexes;
 - ✗ « inverser » la réalité et « forcer » le réel à intégrer les contraintes du modèle;
 - ✗ oublier le niveau de précision des résultats provenant du modèle.

Modélisation des systèmes multiphysiques

Modélisation causale et acausale

Domaine physique	Variables « across »	Variables « through »
Électrique	Tension (V)	Courant (A)
Hydraulique	Pression (Pa)	Débit ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Mécanique de translation	Vitesse linéaire (m s^{-1})	Force (N)
Mécanique de rotation	Vitesse angulaire (rad s^{-1})	Moment (Nm)
Thermique	Température (V)	Flux thermique et flux d'entropie

Modélisation des systèmes multiphysiques

Modélisation causale et acausale

Lorsque le fonctionnement d'un système est régi par une équation différentielle, dont l'ordre de dérivation de la sortie est supérieur à l'ordre de dérivation de l'entrée, la sortie est une conséquence de l'entrée. En passant l'équation dans le domaine de Laplace puis en la traduisant sous forme de schéma bloc, on obtient alors un bloc **orienté** traduisant ainsi la relation de cause à effet entre l'entrée et la sortie.

On parle ici de modélisation **causale**.

Les liens entre les blocs représentent une grandeur physique (courant, tension, position, vitesse *etc.*).

En modélisation acausale, les entrées et sorties ne sont pas spécifiées. Les liens entre entrées et sorties sont définies de manière implicite. Lorsqu'on visualise la traduction graphique d'un modèle acausal, les liens ne sont pas orientés (les blocs sont « réversibles »). Les blocs sont traversés par des flux d'énergie d'un même domaine physique.

Dans Matlab – Simulink, on parle de grandeurs potentielles (across) et de grandeur traversante (through) :

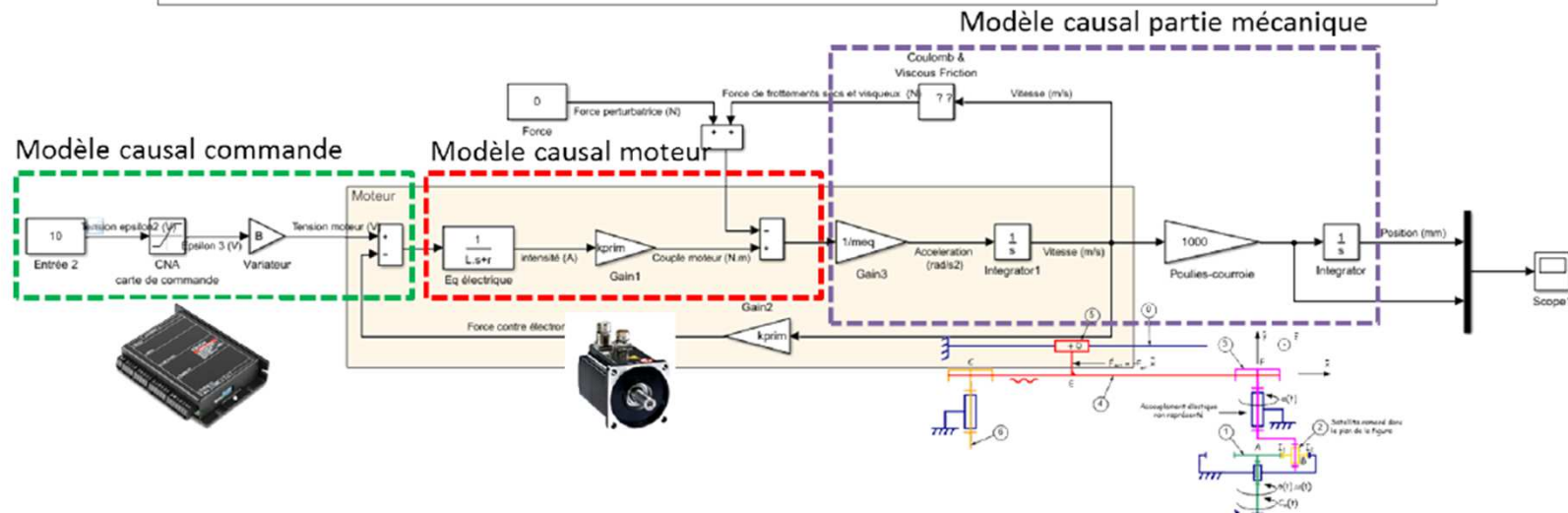
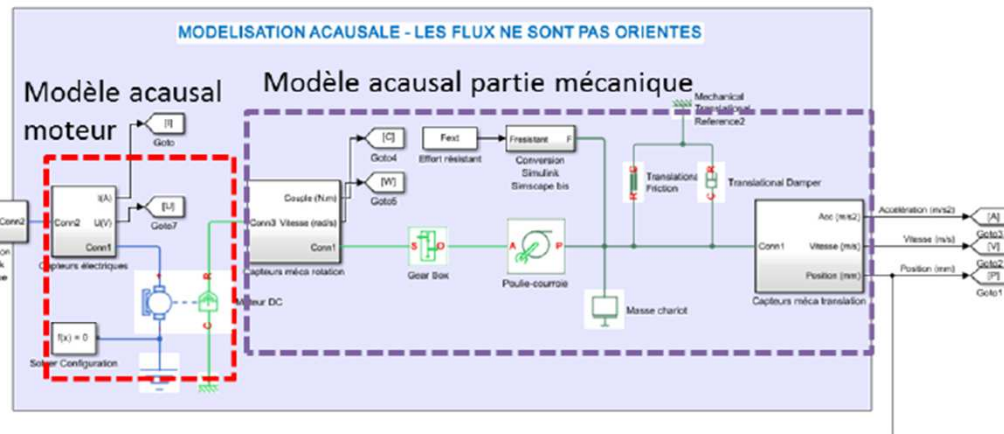
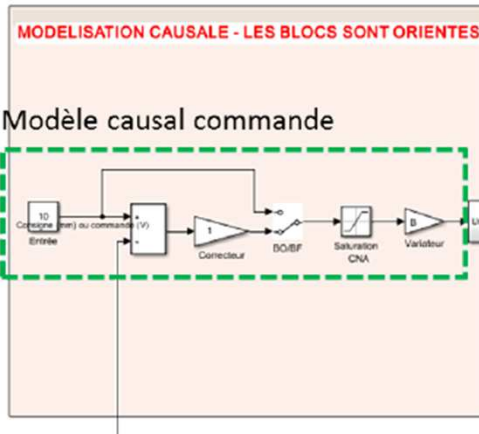
- une variable potentielle est mesurée par un instrument en parallèle avec la chaîne d'énergie ;
- une variable traversante est mesurée par un instrument en série avec la chaîne d'énergie.

Dans Scilab – Coselica, (langage Modelica), on parle de variables potentielles et flux.

- variables potentielles : les variables qui sont reliées au même port sont égales ;
- variables flux : les variables qui aboutissent au même port ont pour somme 0.

Modélisation des systèmes multiphysiques

Les différents modèles et outils



Modélisation des systèmes multiphysiques

Résolution

Que ce soient des modèles causaux ou acausaux, Matlab a recours à des solveurs pour simuler le comportement des systèmes. En effet, des équations différentielles, linéaires ou non, sont « cachées » derrière les blocs.

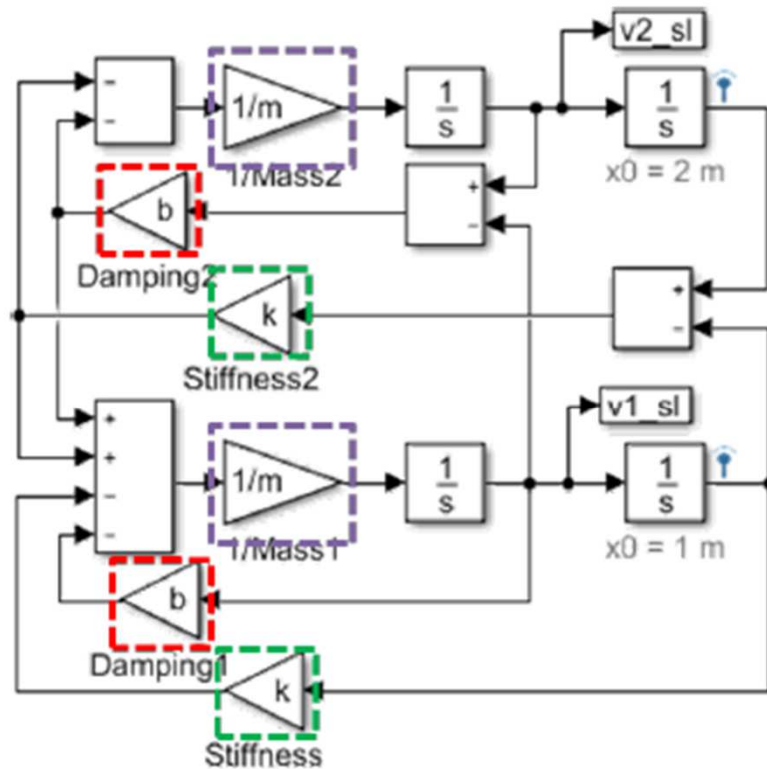
Par défaut, nous laisserons un choix automatique du solveur. Cependant, certains modèles imposeront (via un message d'erreur) le changement de ce solveur. Par ailleurs le pas de simulation devra être changé dans certain cas, dans le but d'améliorer la précision des résultats.



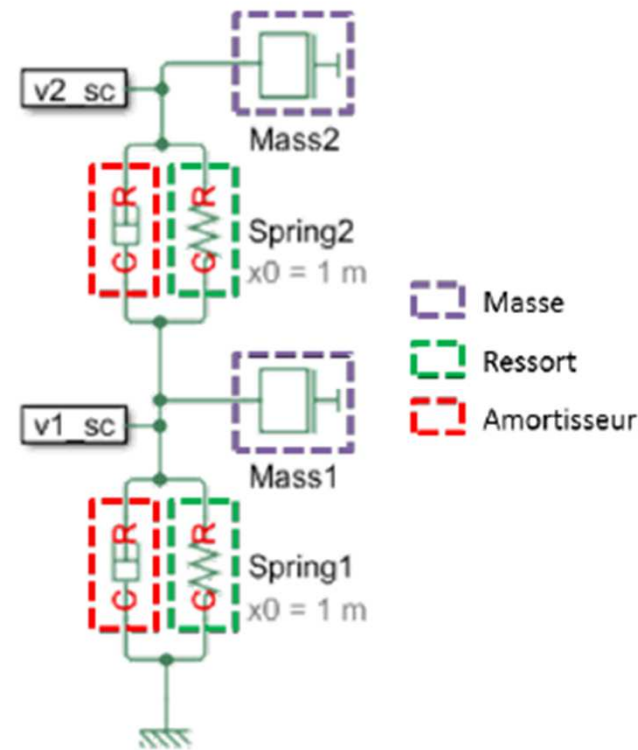
Attention, il est à noter qu'il peut être difficile de réaliser de diagramme de Bode en utilisant un modèle acausal. Ceci peut être un handicap en phase de conception d'un système car il devient plus délicat de déterminer les résonances du système.

Modélisation des systèmes multiphysiques

Modélisation des systèmes mécaniques



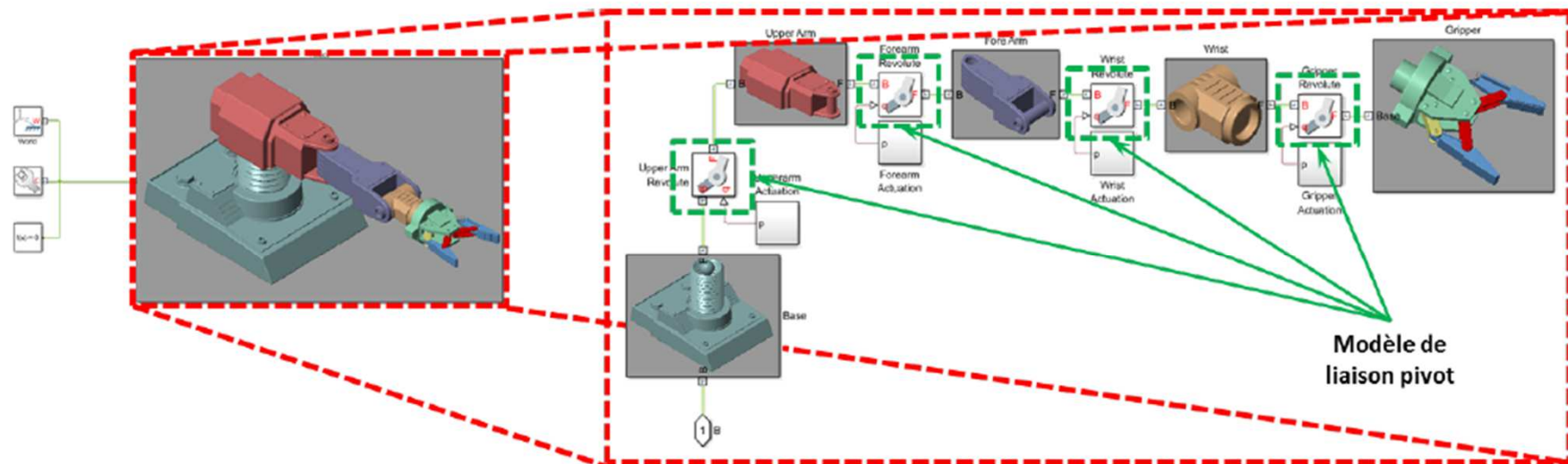
Modèle causal



Modèle acausal

Modélisation des systèmes multiphysiques

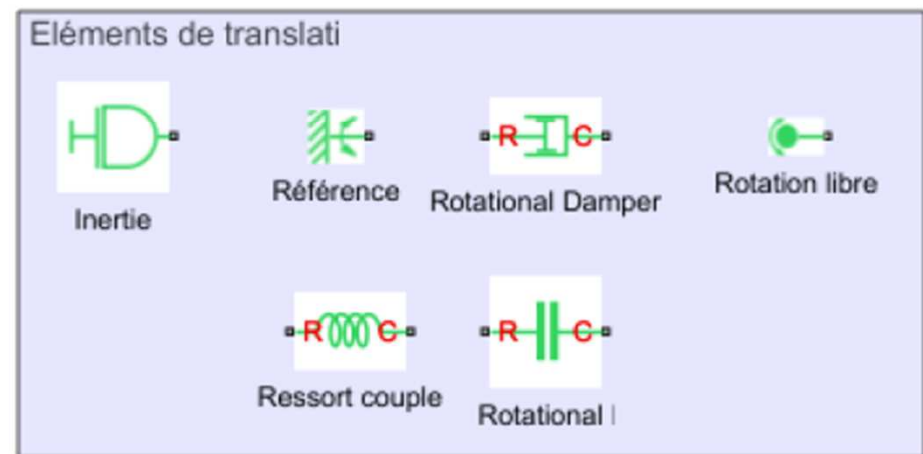
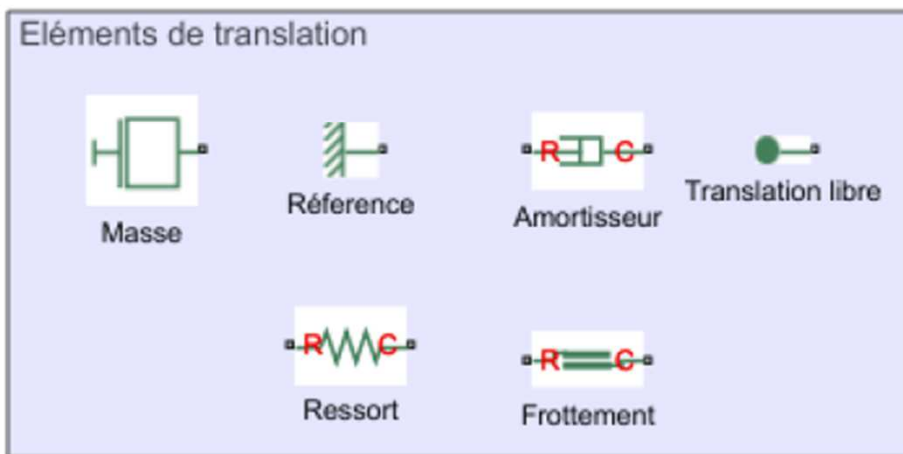
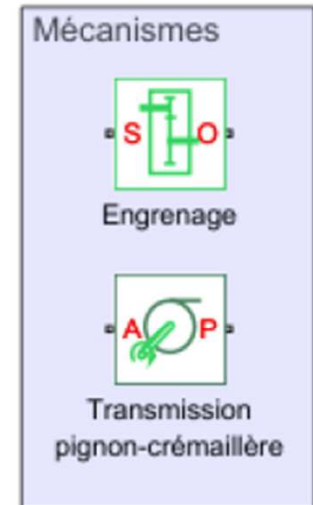
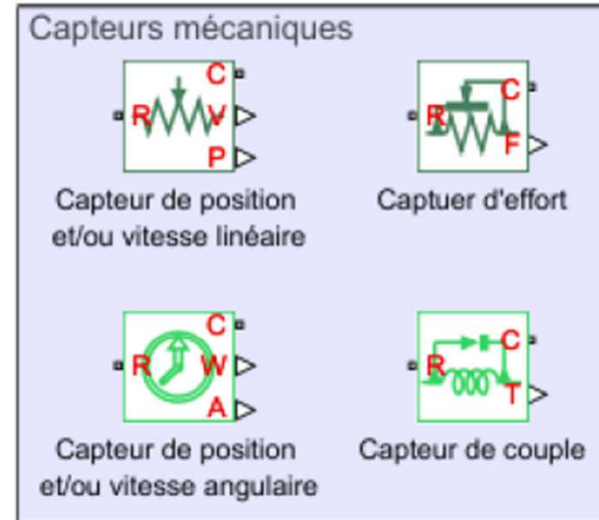
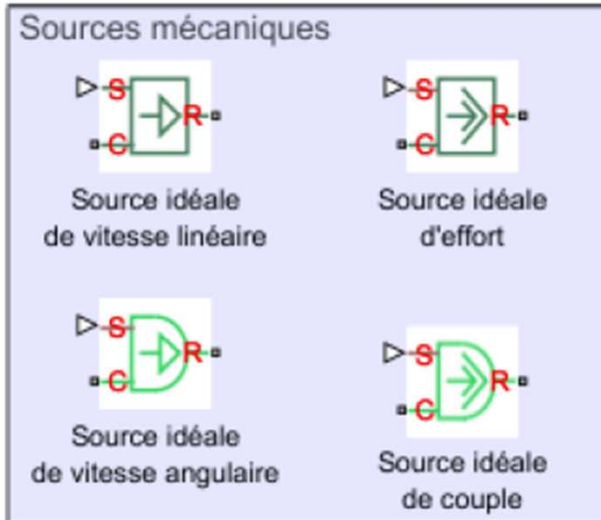
Modélisation des systèmes mécaniques



Modélisation acausale 3D d'un bras robotisé.

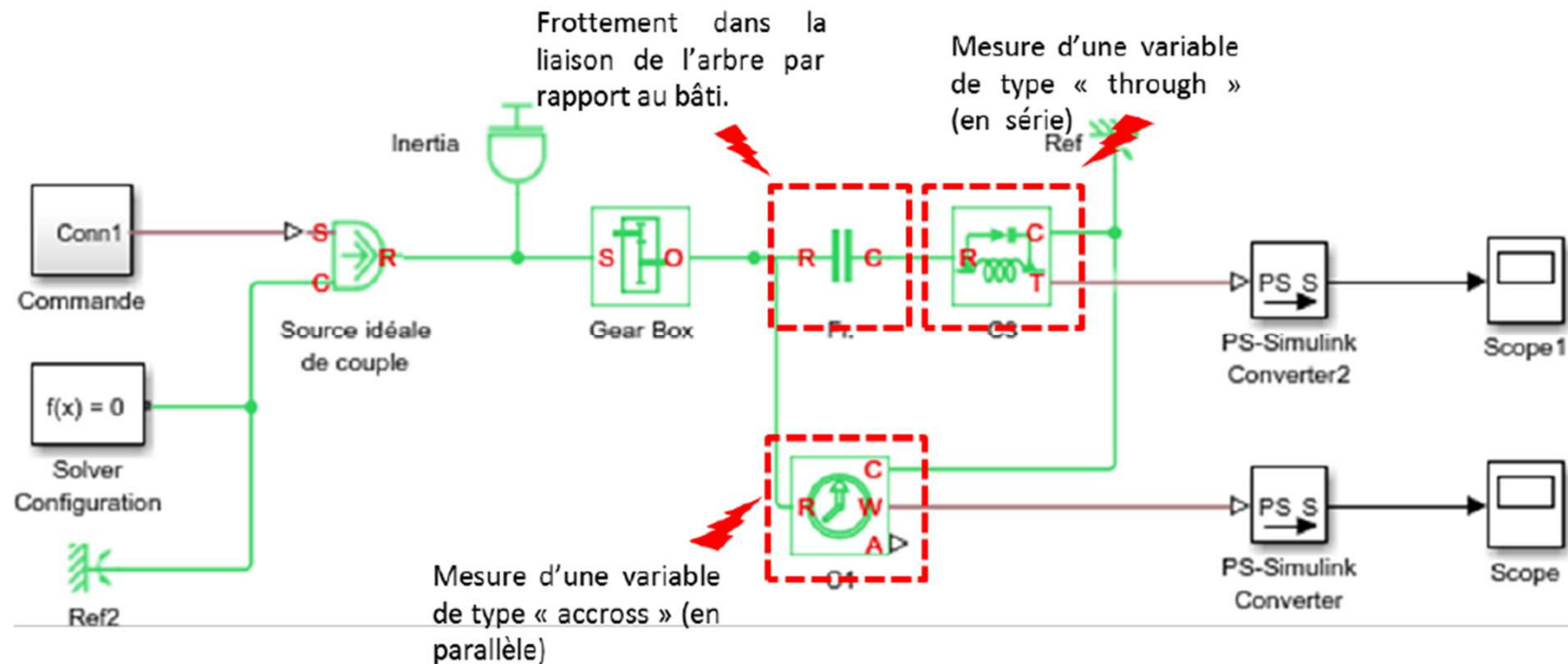
Modélisation des systèmes multiphysiques

Modélisation des systèmes électriques



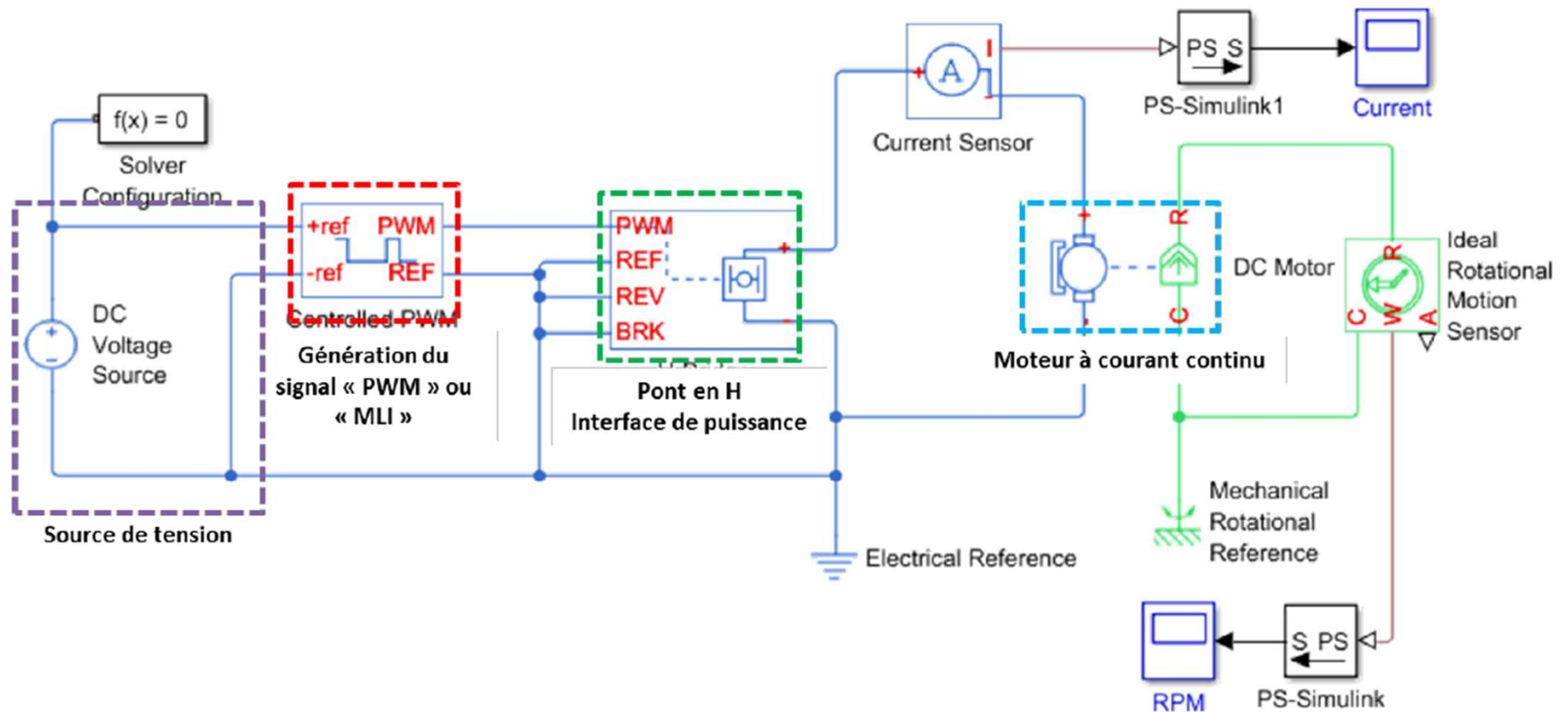
Modélisation des systèmes multiphysiques

Modélisation des systèmes électriques



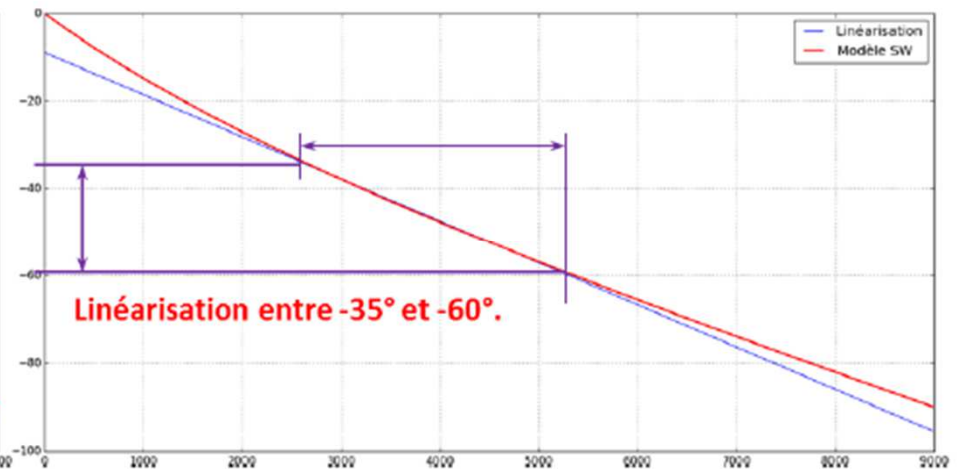
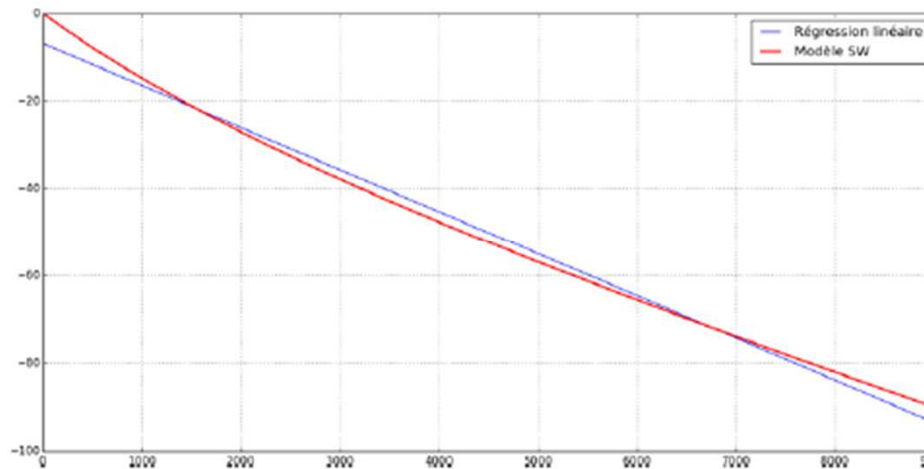
Modélisation des systèmes multiphysiques

Modélisation des systèmes électriques



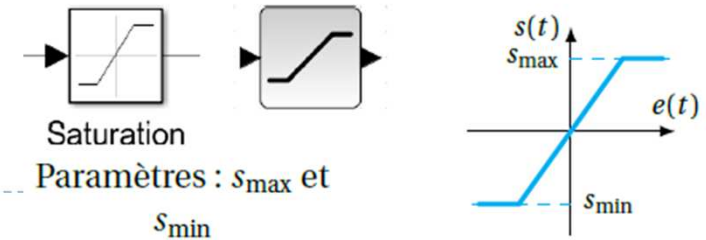
Modélisation des non linéarités

- Pour le Maxpid, l'angle de rotation du bras n'est pas linéaire par rapport à l'angle de déplacement du moteur.

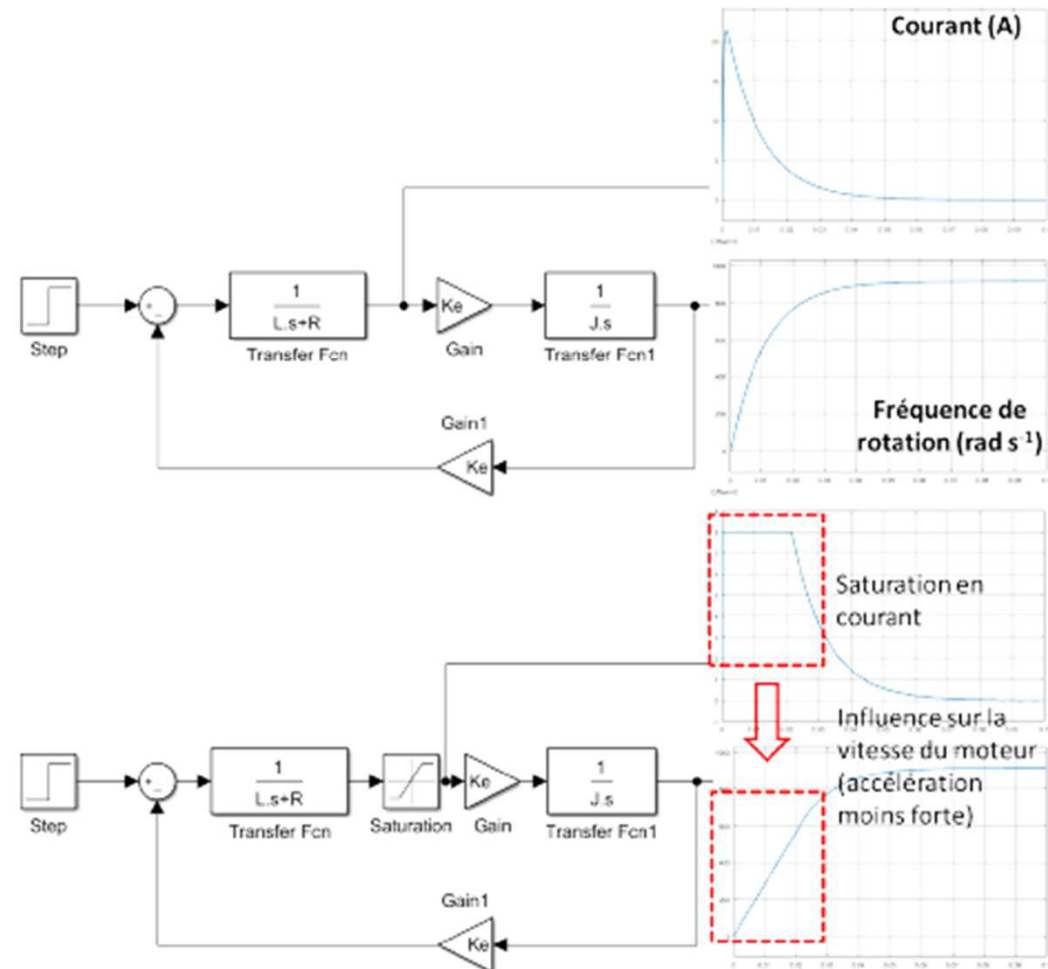


Modélisation des non linéarités

Saturation



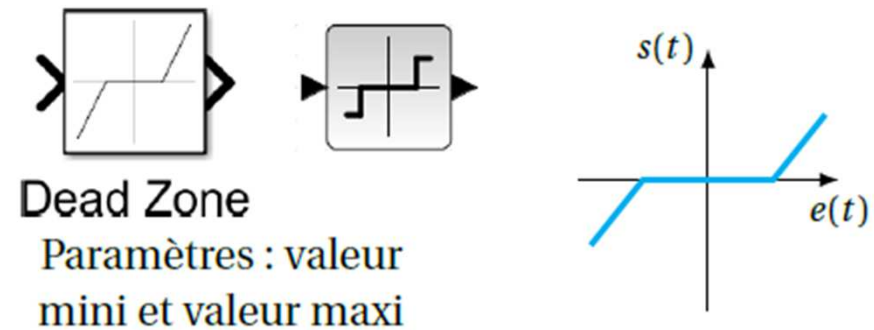
- Exemple : limitation en tension ou courant d'un système



Modélisation des non linéarités

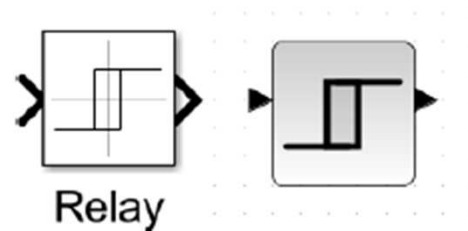
Seuil

- ▶ Exemple : modélisation du frottement au niveau de la commande



Modélisation des non linéarités

Hystérésis



Relay

Paramètres : switch
on point, switch off
point, output when
on, output when off

