

Question sociétale :

Comment améliorer les performances d'un système ou de manière plus générale, concevoir un système et valider des performances sans avoir le système voire qu'il ne soit pas encore façonné!?

Exemple d'un système que l'on dispose et que l'on veut optimiser :

*Vous souhaitez prédéterminer les nouvelles performances cinématiques de la voiture Tamiya radio télécommandée pour la modification suivante :*

- *L'accumulateur embarqué d'une bonne autonomie énergétique dégrade les performances de part son poids. Vous avez trouvé un accumulateur plus léger mais de plus faible capacité (nombre d'A·h plus faible).*



*Les questions que vous vous posez :*

- *comment évolue l'accélération ? ;*
- *comment évolue la vitesse de pointe ? ;*
- *comment évolue l'autonomie globale de la voiture ?.*

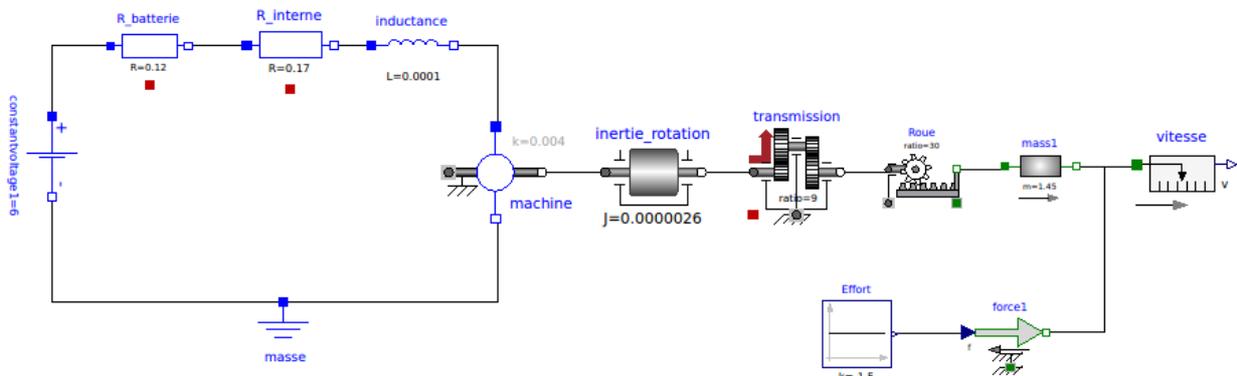
*De manière intuitive il est assez aisé de comprendre que l'accélération sera meilleure du fait d'un poids global diminué mais de combien est-elle augmentée ? Répondre à la deuxième et troisième questions s'annonce plus délicat.*

*La modélisation multi-physique est là pour vous aider !*

Qu'est ce que la modélisation multi-physique ?

La **modélisation multi-physiques** est une tentative de reproduction du comportement d'un système dépendant de différents domaines tels que les domaines de la mécanique, la mécanique des fluides, la thermique, la chimie, l'électromagnétisme, l'électricité, etc.

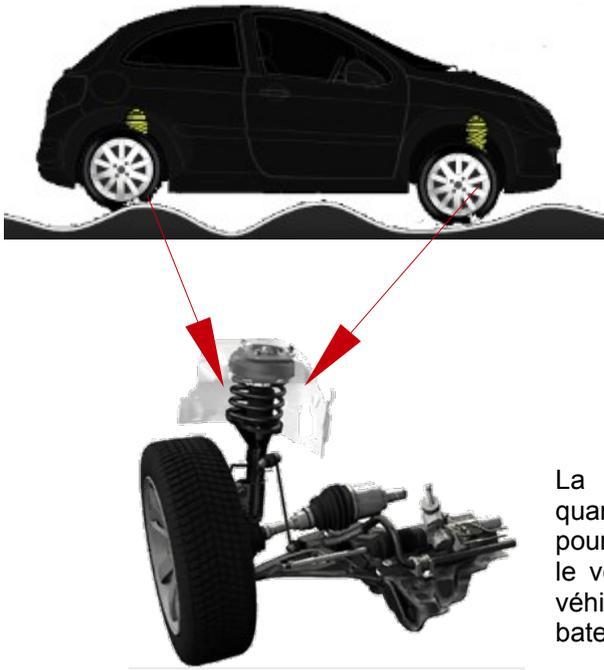
Exemple du modèle multi-physique (perfectible) de la voiture Tamiya (réalisé par le logiciel OpenModélica) :



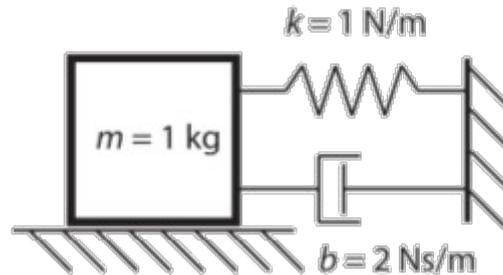
Vous n'y comprenez sans doute pas grand-chose mais pas d'inquiétude, chaque chose en son temps ! Avec un peu d'habitude et une connaissance des phénomènes physiques il est assez aisé de comprendre le modèle. Ce modèle est perfectible car il s'agit bien ici d'une modélisation des phénomènes réels or tous les phénomènes ne sont pas modélisés dans ce présent modèle !

## Un peu de vocabulaire ...

Vous entendrez parler de modélisation **causale** et **acausale**. Une petite explication s'impose !



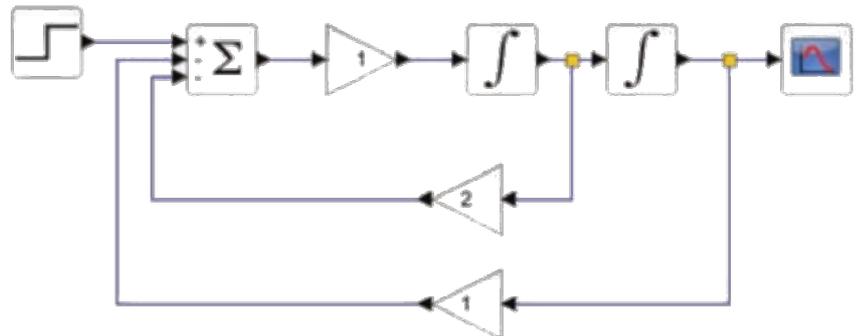
Prenons le cas d'un [amortisseur de voiture](#) qui peut être modélisé par le système masse-ressort ci-dessous.



La modélisation multi-physique est d'une aide importante quant à la détermination des caractéristiques de l'amortisseur pour s'assurer qu'en cas de variation de profil de la chaussée, le véhicule ne perde pas d'adhérence d'une part et que le véhicule ne se comporte sur la route comme le ferait un bateau sur une mer houleuse !

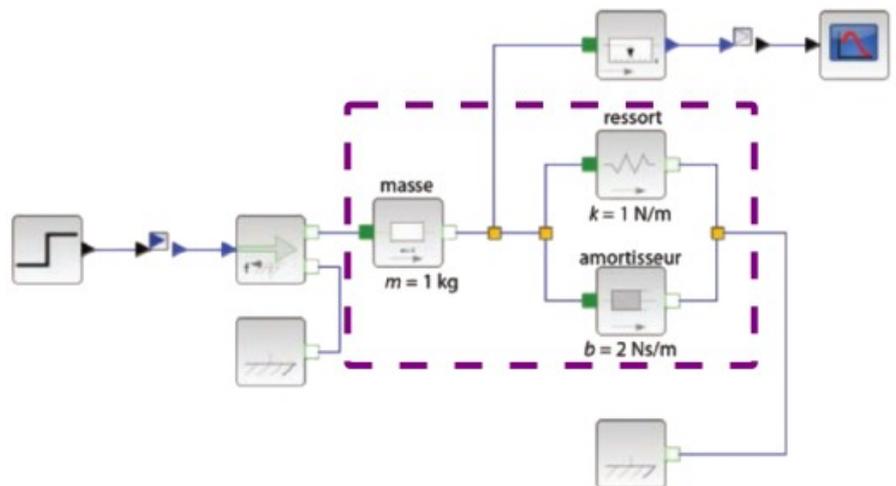
### Modèle **causal** du système masse-ressort :

Pour réaliser un tel modèle il est nécessaire de maîtriser parfaitement tous les phénomènes physiques et de décrire le comportement du système à partir d'équations qui peuvent rapidement être compliquées.



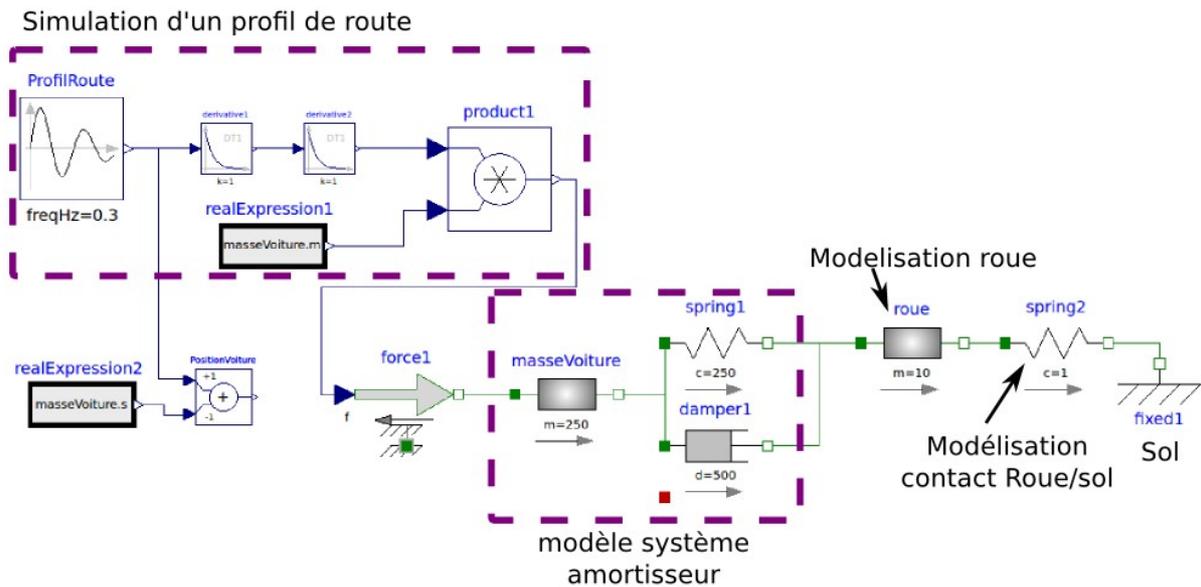
### Modèle **acausal** du système masse-ressort :

Le modèle **acausal** a la particularité de ressembler à la structure du système (dans le cadre en pointillés, on reconnaît le système masse-ressort). Il « suffit » ainsi de créer le modèle avec des constituants élémentaires (masse, ressort, amortisseur, etc) et de les associer convenablement pour obtenir un modèle. Bien évidemment, « derrière » chaque composant déposé il y a des équations fondamentales qui régissent leur fonctionnement !



## Concrètement, à quoi cela peut-il servir ?

Voici le modèle réalisé avec OpenModélica :



L'objectif pourrait être de déterminer les valeurs de raideur du ressort (spring) et de l'amortisseur (damper) pour maintenir un contact de la roue avec le sol et éviter un mouvement d'oscillation de la voiture désagréable pour les passagers.

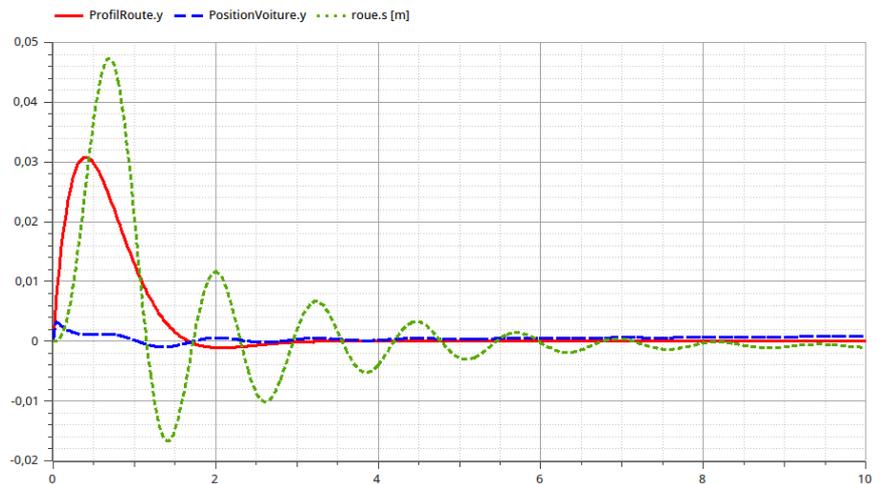
### Exemple de résultats :

Sur les deux graphes ci-après le profil de la route est en rouge trait plein, la position du véhicule en bleu discontinu et en pointillés verts la position de la roue par rapport au sol.

Manifestement, ici le confort des passagers est optimum mais la roue perd le contact avec le sol et rebondie ! A éviter à tous prix !!

$$k_{ressort} = 250 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

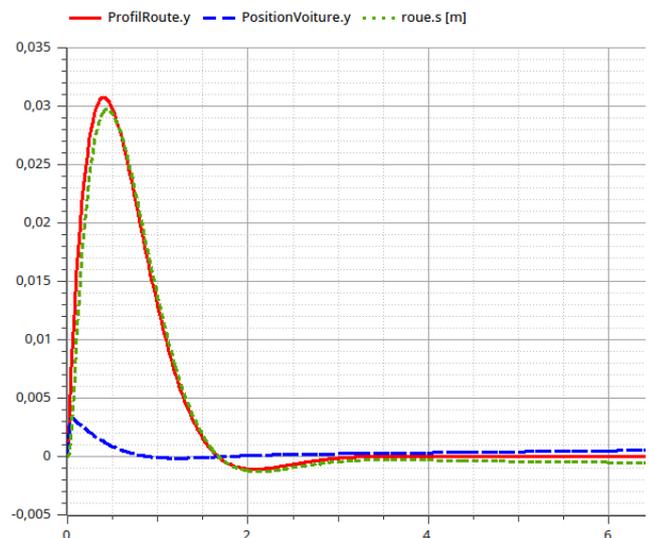
$$k_{amortisseur} = 10 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$$



Dans le cas présent, le confort reste encore acceptable mais la roue garde le contact avec le sol ! Les paramètres du ressort (spring) et de l'amortisseur (damp) sont donc meilleurs.

$$k_{ressort} = 250 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$k_{amortisseur} = 500 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$$



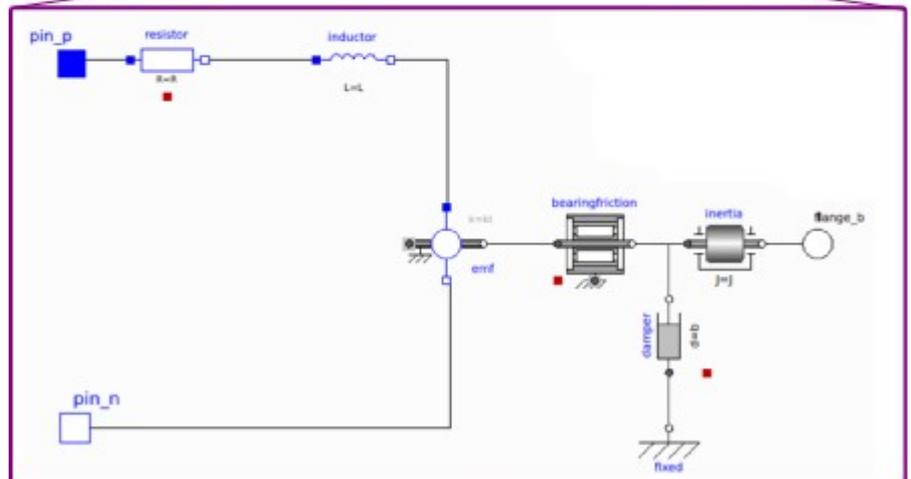
## Quels logiciels utiliser pour la modélisation multi-physique ?

Il existe un nombre important de logiciels, par exemple :

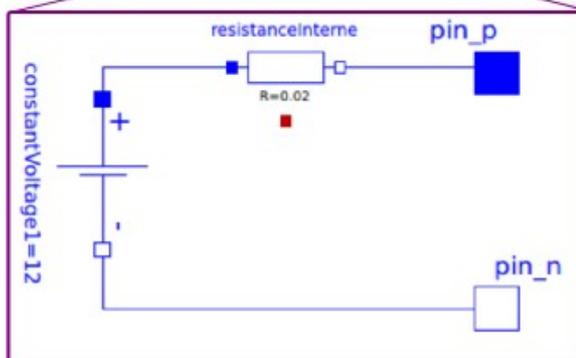
- OpenModelica (gratuit) ;
- Scilab Xcos (gratuit) ;
- Matlab ;
- System Modeler Wolfram ;
- Sinusphy ;
- etc.

Voici quelques modèles multi-physiques :

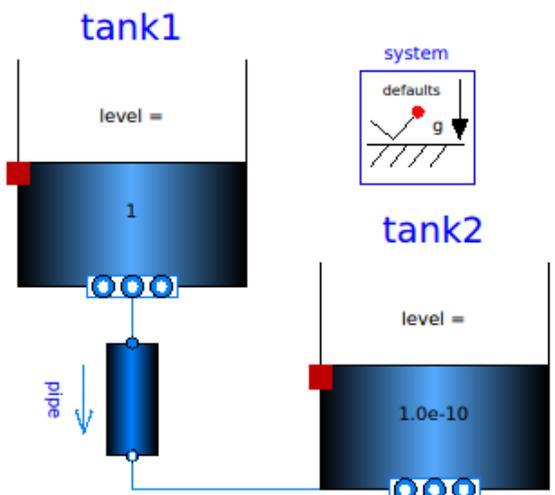
Modèle d'un moteur à courant continu :  
(ci-contre)



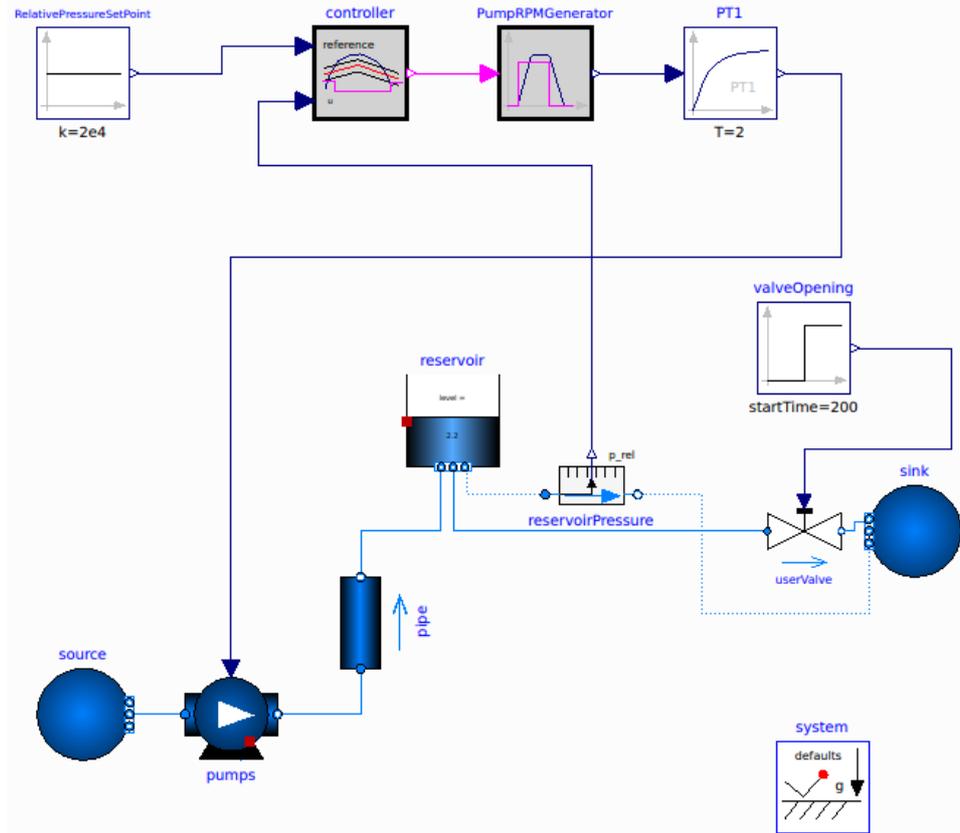
Modèle d'une source de tension :  
(ci-dessous)



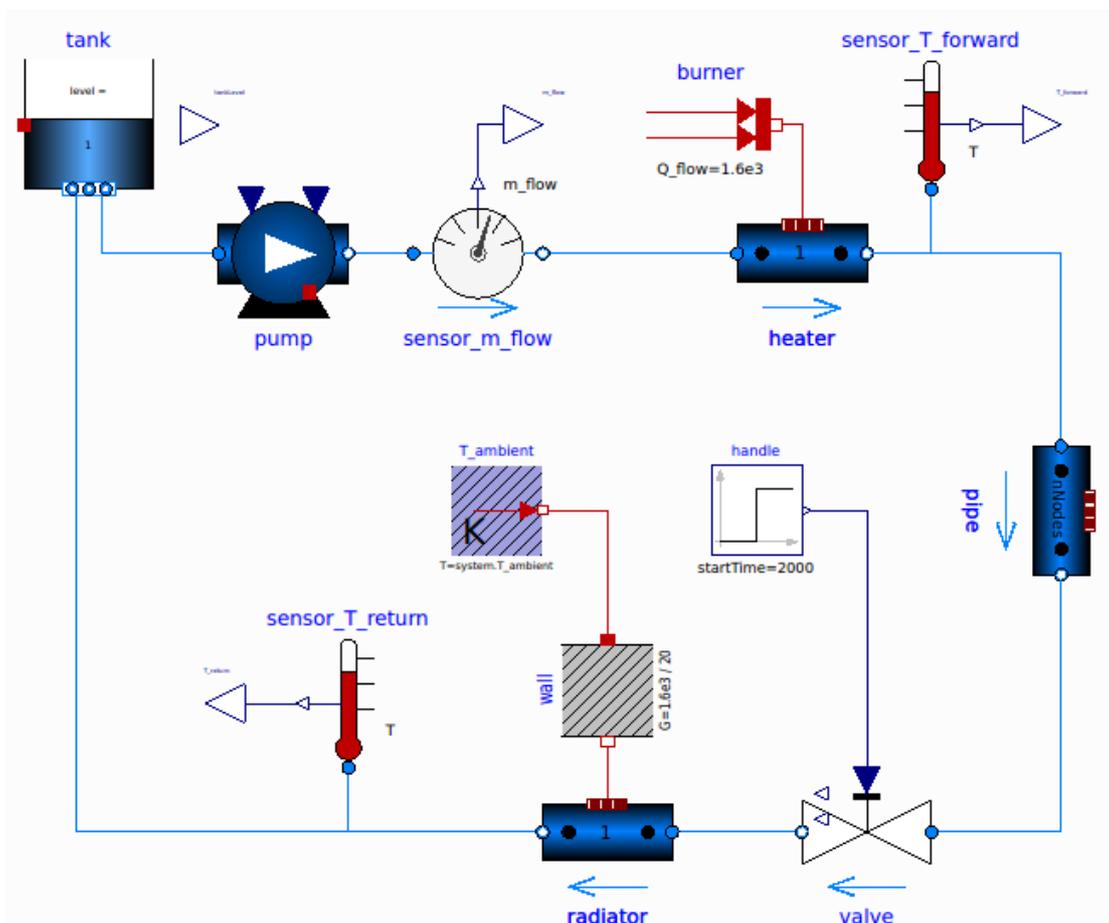
Modèle de vidange d'un réservoir vers un autre en tenant compte des imperfections de la canalisation :  
(ci-dessous)



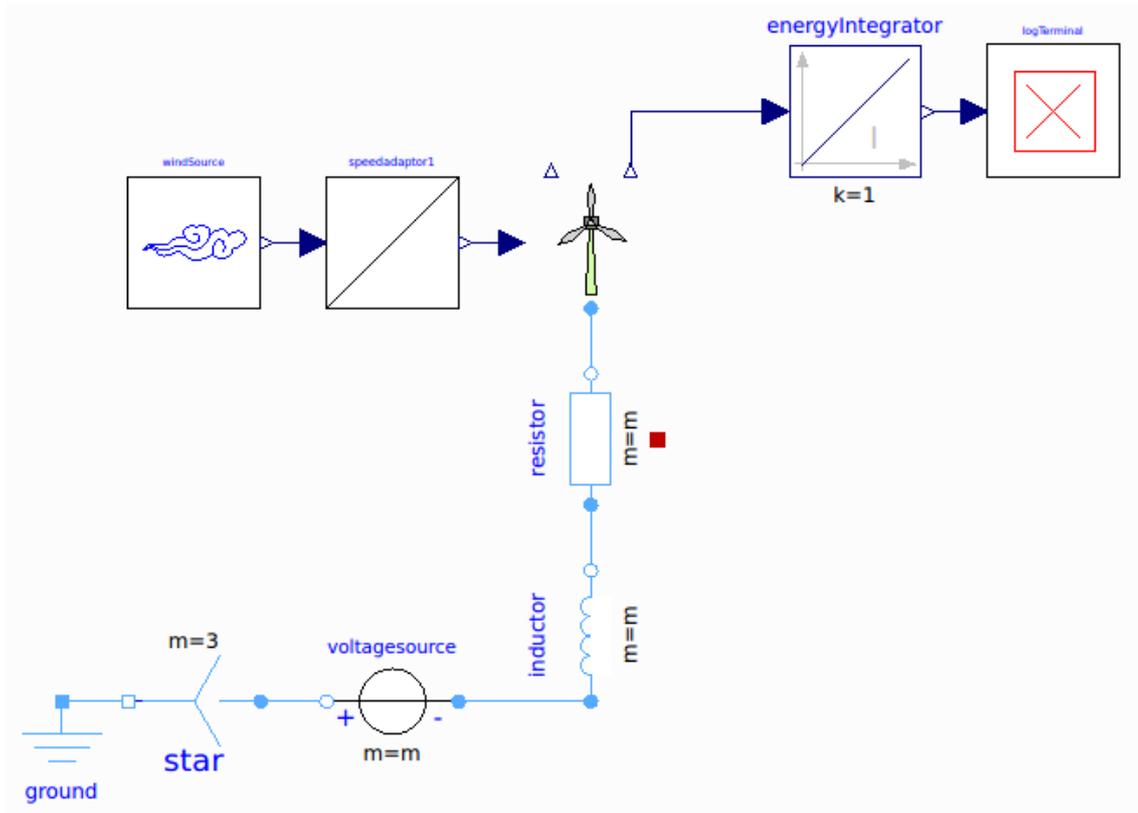
Modèle d'une régulation de différence de pression entre un réservoir et l'utilisation (lavabo par exemple) :



Modèle du installation de chauffage à eau chaude :



## Modèle de production d'énergie éolienne :



## Constations :

On s'aperçoit que les modèles vont du plus simplistes (batterie 12 V par exemple) au plus compliqué. La modélisation multi-physique utilise la programmation orientée objet POO (<https://youtu.be/BNEtWb3WceQ>) qui permet l'utilisation d'objet élémentaire (donc un modèle très simple) pour en construire des beaucoup plus conséquents sans pour autant avoir à tout reprogrammer.