

Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - » domaine électrique
  - » domaine mécanique
  - » domaine thermique
  - » domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - » diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



*Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux*



Ivan LIEBGOTT

# Enseigner la modélisation multi-physique et la simulation des systèmes

Présentation du livre:

« Modélisation et Simulation des Systèmes Multi-Physiques avec MATLAB/Simulink 2020b »

Quatrième édition

Ivan LIEBGOTT

Professeur en CPGE au lycée les Eucalyptus (Nice)

# La modélisation et la simulation multi-physique

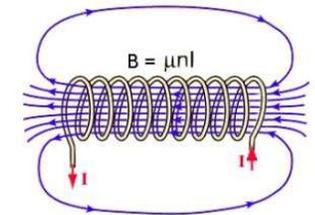
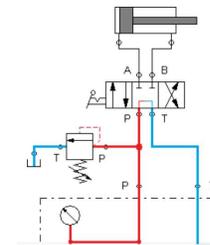
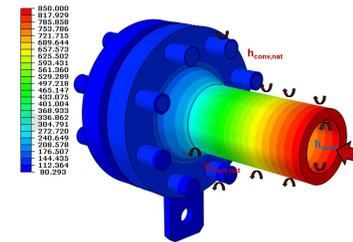
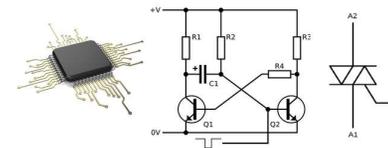
Modéliser et simuler un système complexe pour tenter de reproduire son comportement global et gérer les interactions entre les domaines physiques

La modélisation fait intervenir plusieurs domaines de la physique

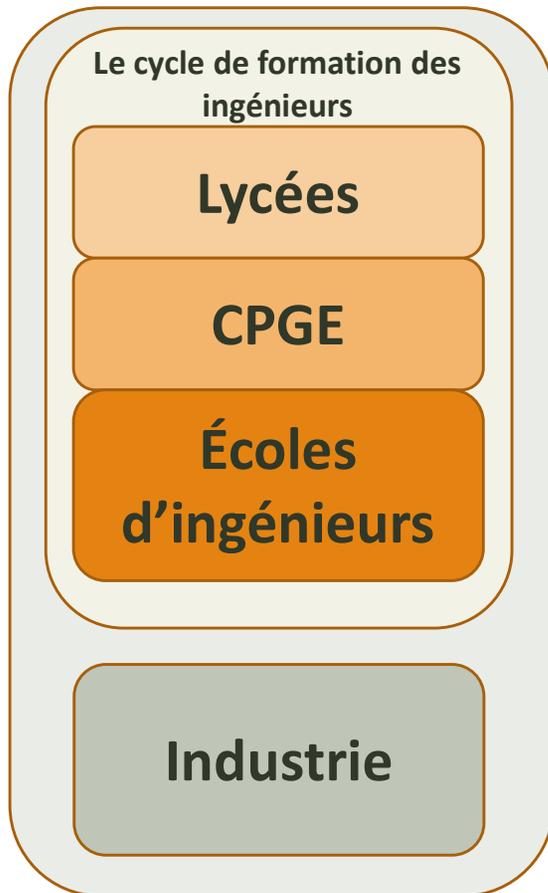
- Mécanique
- Electrique
- Hydraulique
- Thermique
- Magnétique...

Les performances du modèles peuvent être simulées et réglées

- Intégration des algorithmes de contrôle commande (réglages des correcteurs, filtres...)
- Prototypage rapide
- Real Time Testing...

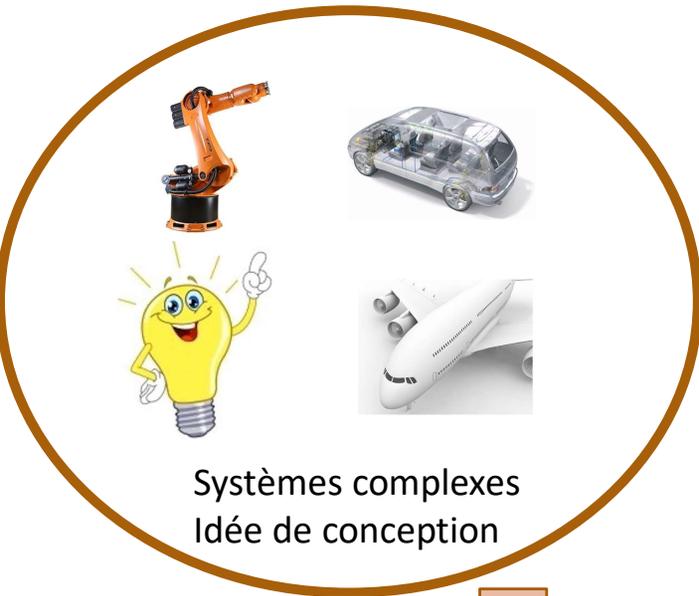


# Les besoins du cycle de formation



**MODELISER LES SYSTÈMES COMPLEXES  
POUR DÉCRIRE ET SIMULER LES  
COMPORTEMENTS**

# La démarche de modélisation multi-physique



Systemes complexes  
Idée de conception



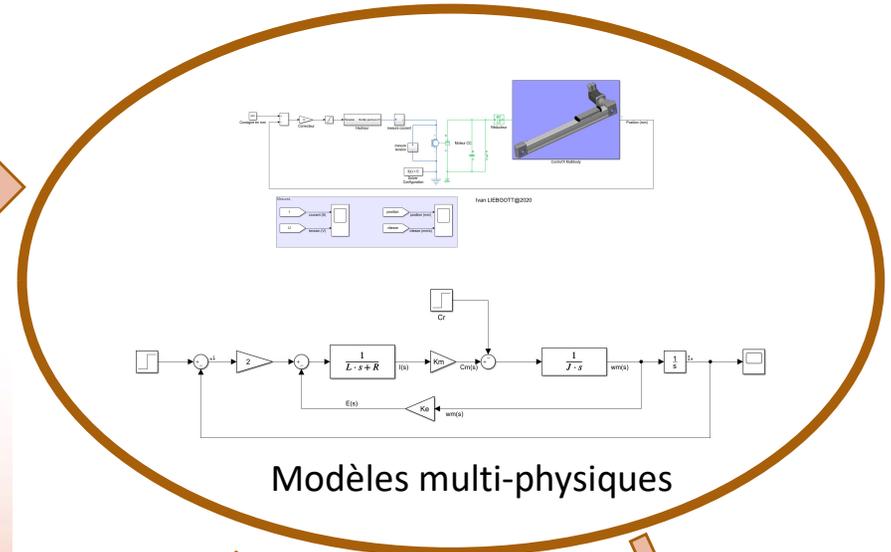
Modélisation et Simulation des Systèmes Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux

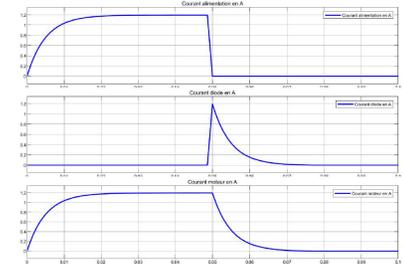
MathWorks Ivan LIEBGOTT

Free ebook



Modèles multi-physiques

Résultats



Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



- MATLAB
- Simulink
- Simscape
  - = domaine électrique
  - = domaine mécanique
  - = domaine thermique
  - = domaine hydraulique
- Stateflow
  - = diagramme d'états
- MATLAB Online
- MATLAB Mobile



Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux



Ivan LIEBGOTT

650 pages  
plus de 180 modèles et  
scripts

# L'idée de départ

- rendre accessible la démarche de modélisation et de simulation des systèmes à tous les utilisateurs (professeurs, étudiants, ingénieurs...)
- partager librement le livre et les modèles associés sans limite ni contrainte avec la communauté des utilisateurs
- permettre aux lecteurs/utilisateurs de participer à l'évolution du livre

Près de 8000 téléchargements du livre et des modèles associés depuis la première édition de l'ouvrage en 2013

2013

Modélisation et simulation des systèmes  
multi-physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2013a)  
pour l'enseignement des  
Sciences Industrielles pour l'Ingénieur



The MathWorks Ivan LIEBGOTT

2015

Modélisation, Simulation et  
Industrialisation  
des systèmes multi-physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2015b)  
pour l'enseignement des  
Sciences Industrielles pour l'Ingénieur



Processus industriels Standards  
Cycle en V  
Model Based Design

MathWorks Ivan LIEBGOTT

2018

Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2018a)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Troisième édition  
Introduction au Model Based Design



- MATLAB
- Simulink
- Simscape
- Simscape Multibody
- Simscape Fluids
- Simscape Electronics
- Stateflow

The MathWorks Ivan LIEBGOTT

2020

Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



- MATLAB
- Simulink
- Simscape
  - = domaine électrique
  - = domaine mécanique
  - = domaine thermique
  - = domaine hydraulique
- Stateflow
  - = diagramme d'états
- MATLAB Online
- MATLAB Mobile

Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux

MathWorks Ivan LIEBGOTT

# La présentation des outils de modélisation

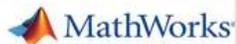
Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



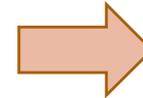
- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - = domaine électrique
  - = domaine mécanique
  - = domaine thermique
  - = domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - = diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



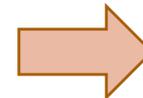
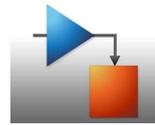
Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux



Ivan LIEBGOTT

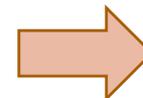
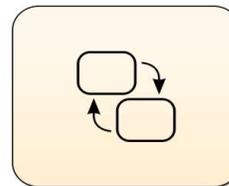


- **Modélisation par composants**
- **Intégration de maquettes 3D**



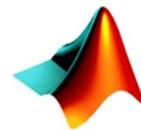
**Schémas blocs**

Simulink



**Diagrammes d'états**

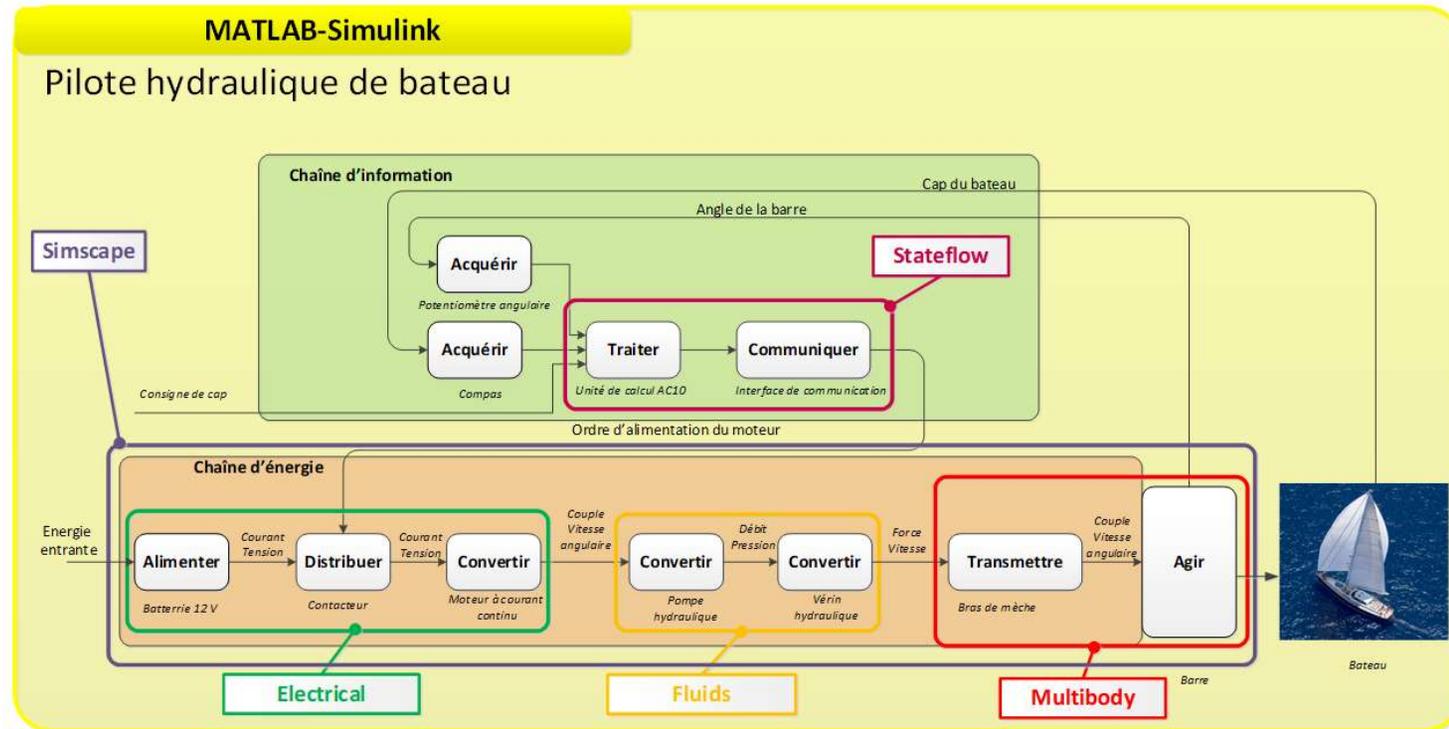
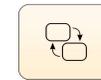
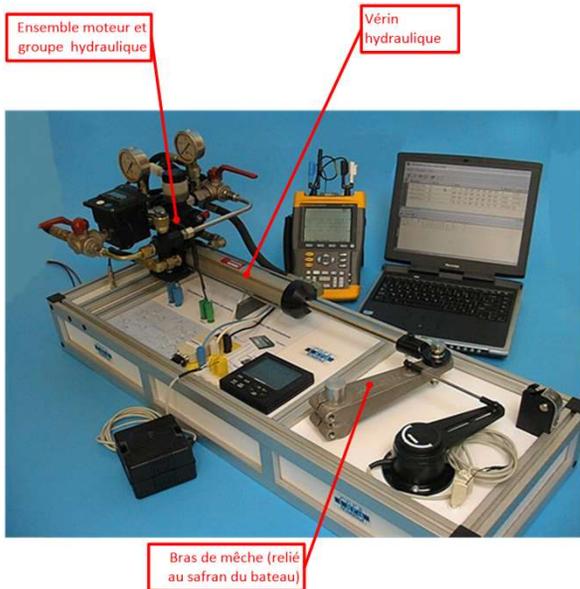
Stateflow



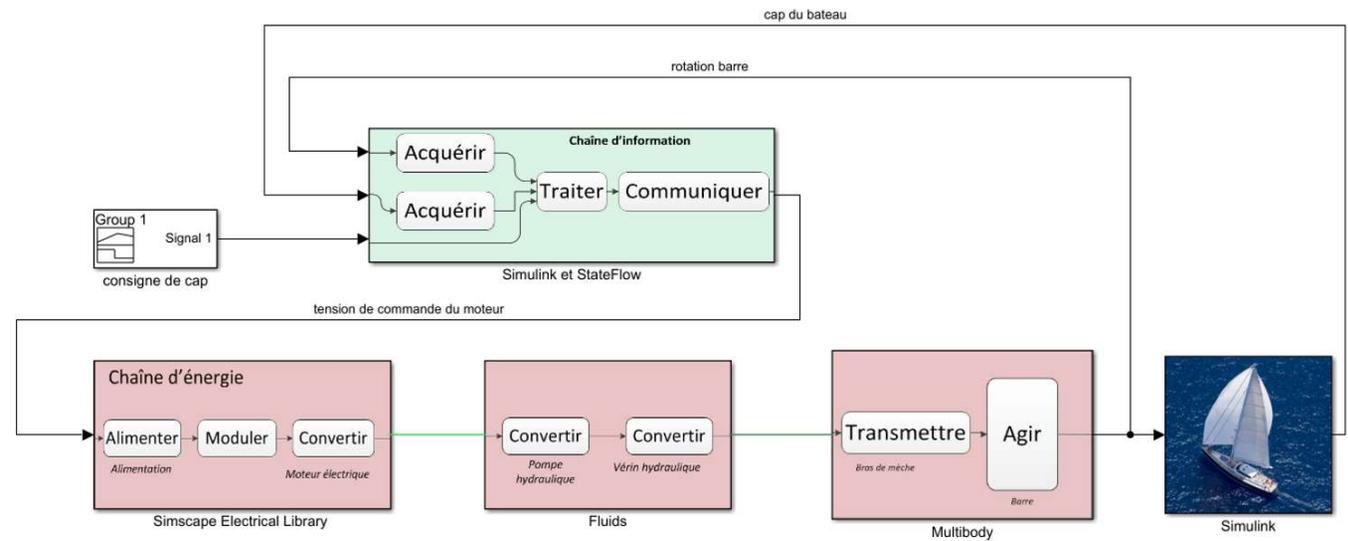
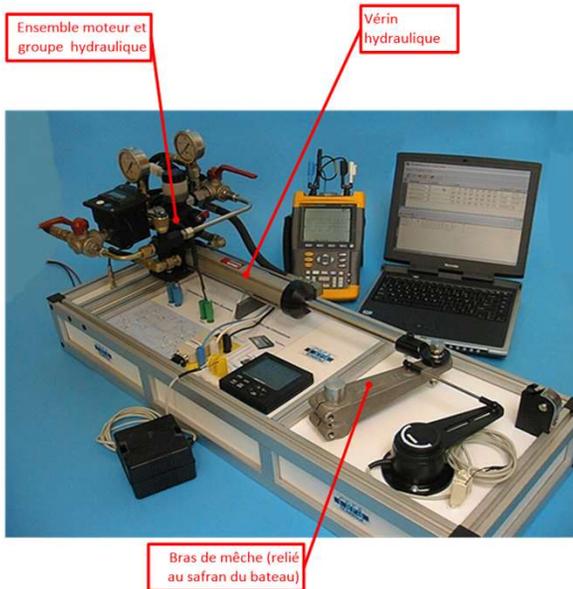
**Code**

MATLAB

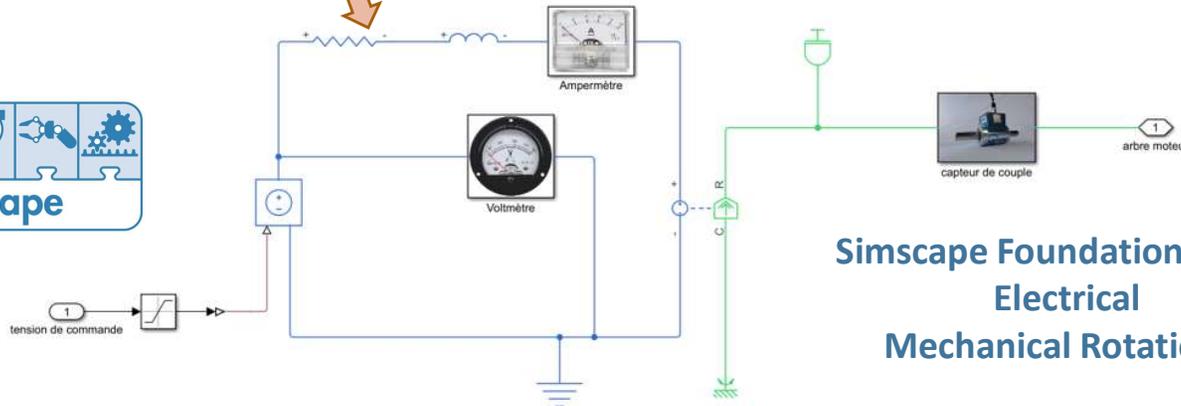
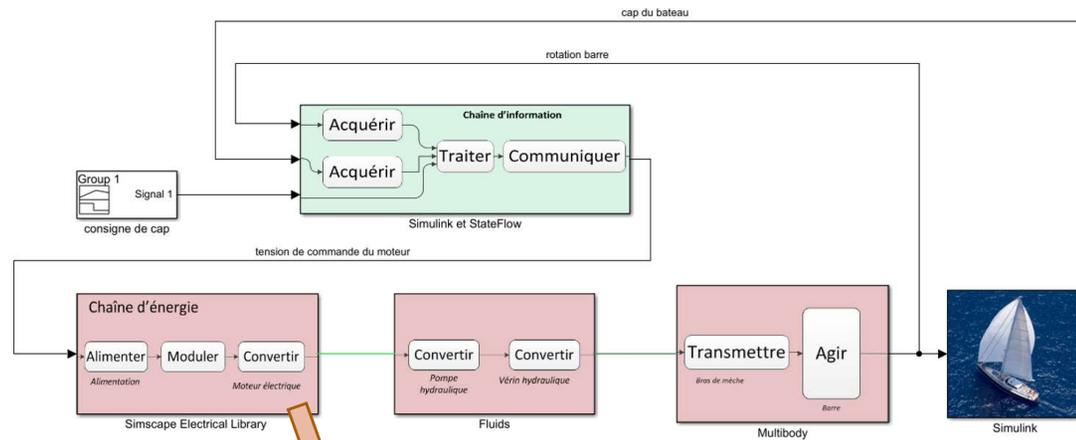
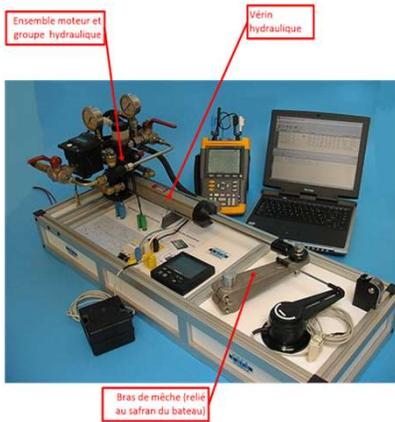
# La stratégie de modélisation : le choix des outils



# La construction du modèle avec MATLAB/Simulink

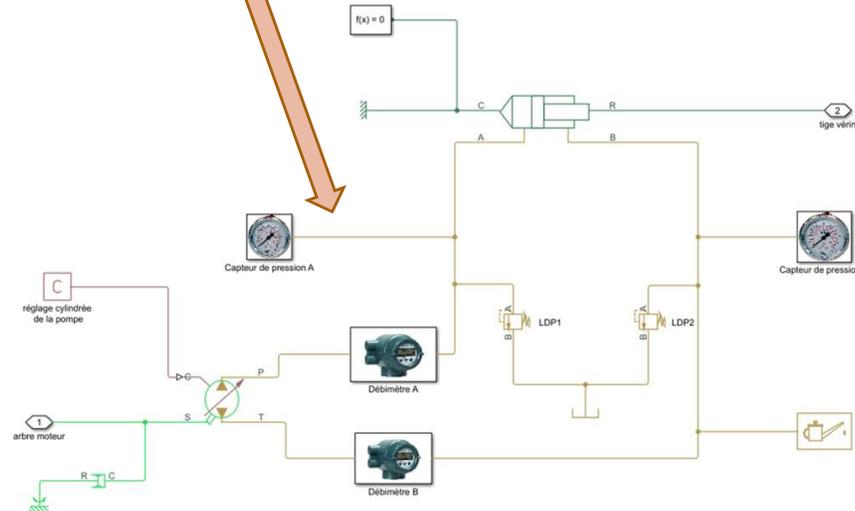
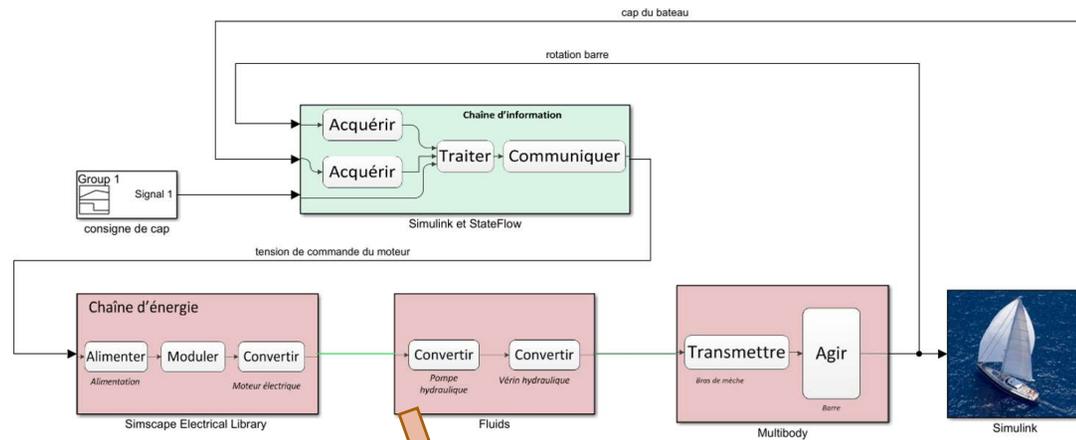
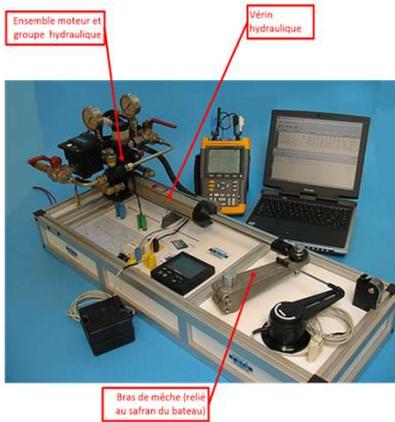


# La décomposition du modèle



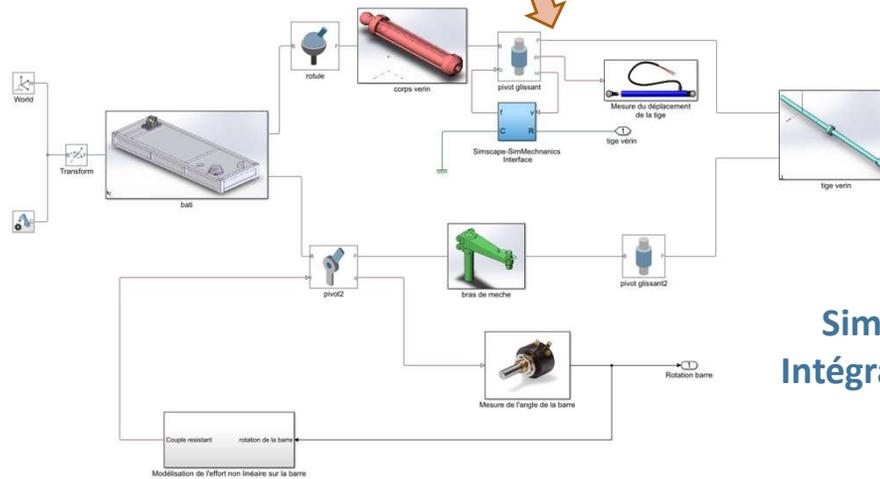
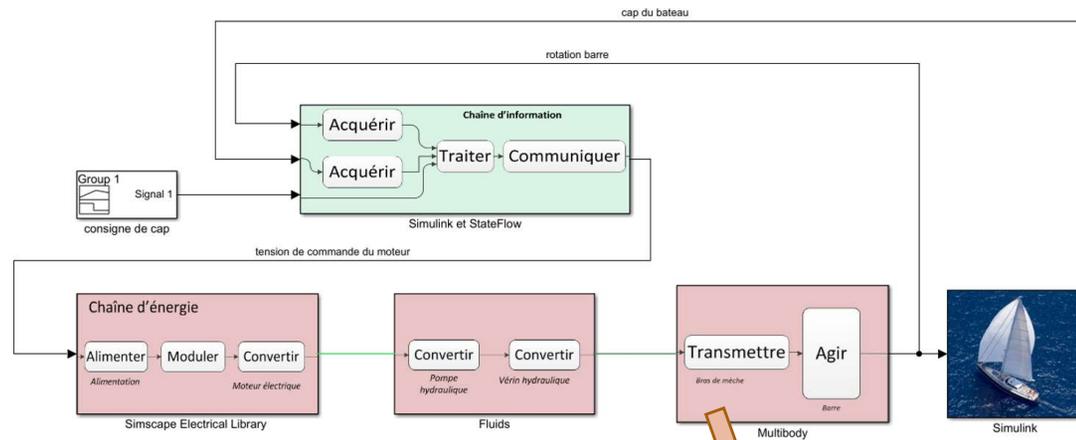
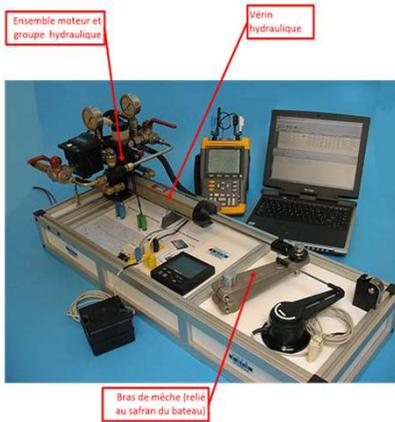
**Simscape Foundation library**  
**Electrical**  
**Mechanical Rotational**

# La décomposition du modèle



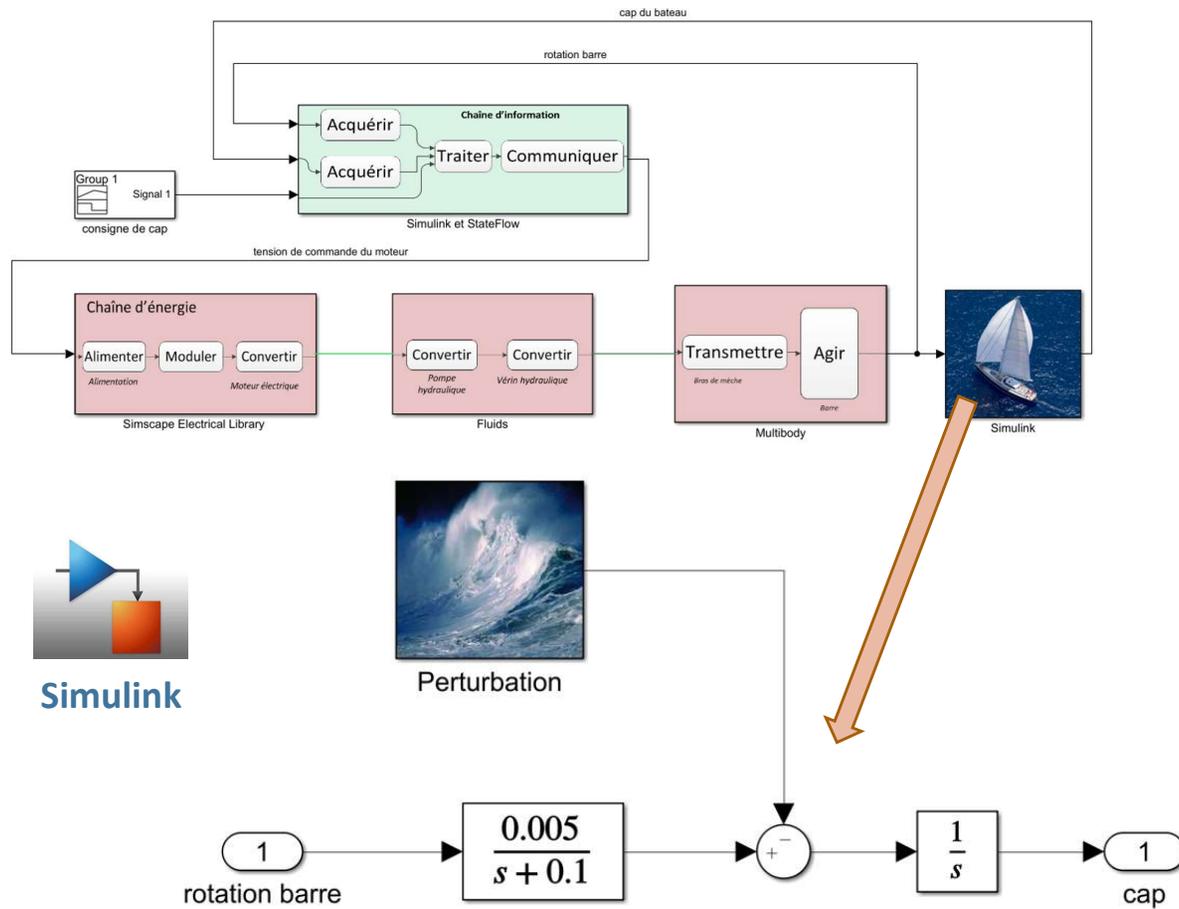
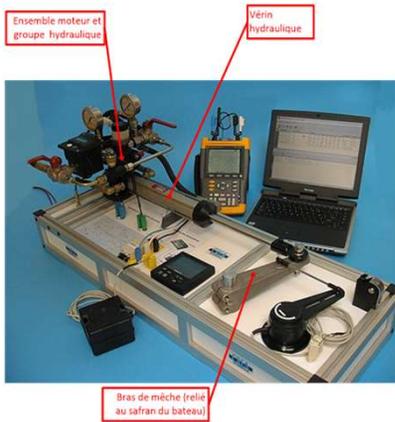
**Simscape Foundation library**  
**Hydraulic**  
**Mechanical Translational and rotational**

# La décomposition du modèle

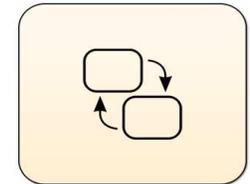
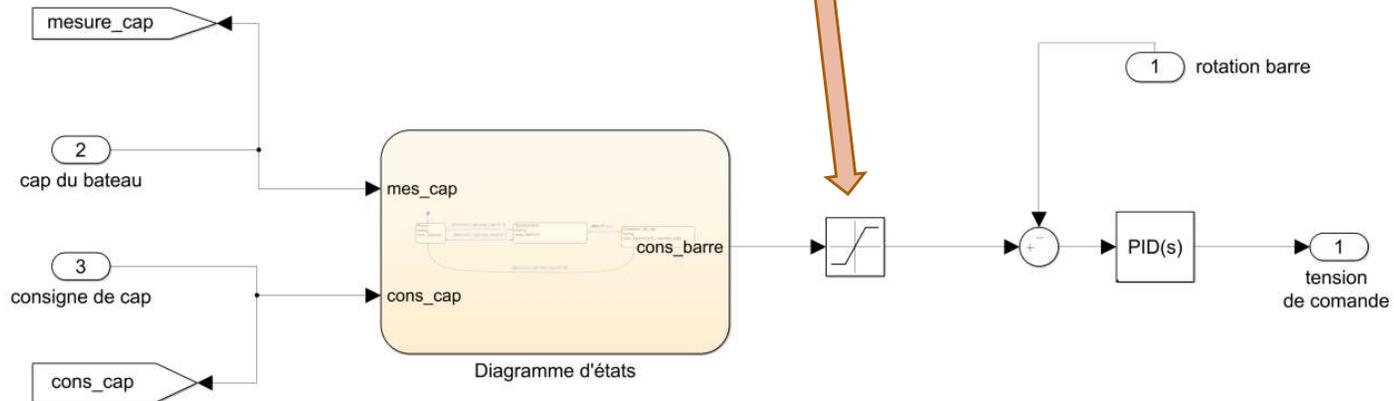
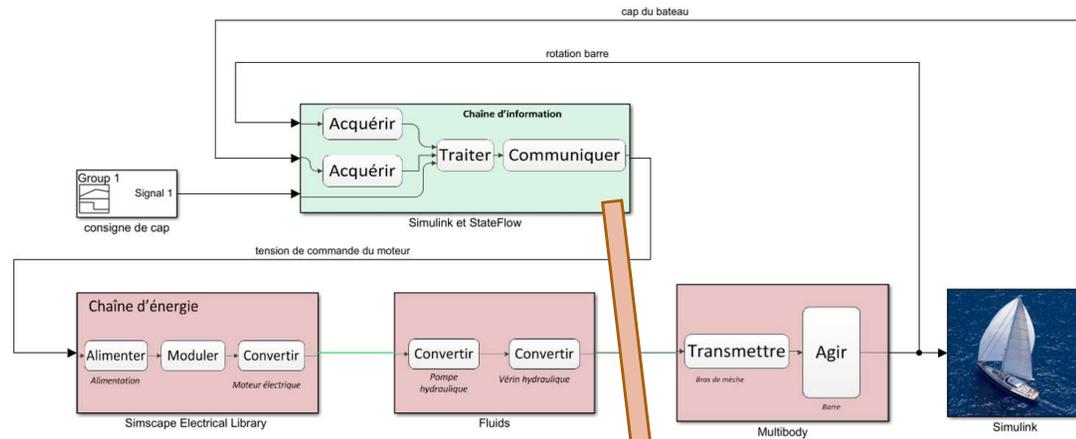
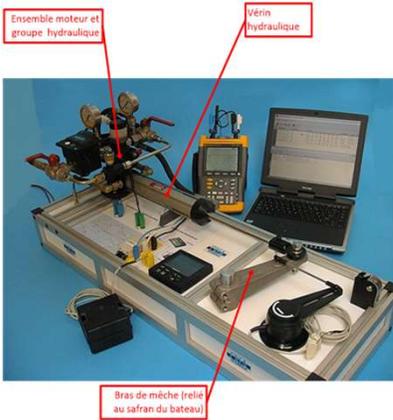


**Simscape Multibody**  
Intégration de maquettes  
CAO 3D

# La décomposition du modèle



# La décomposition du modèle

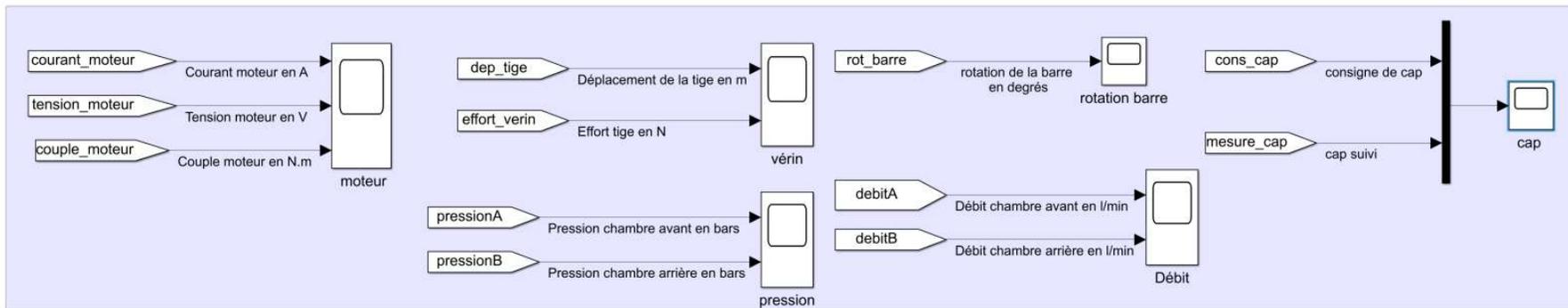
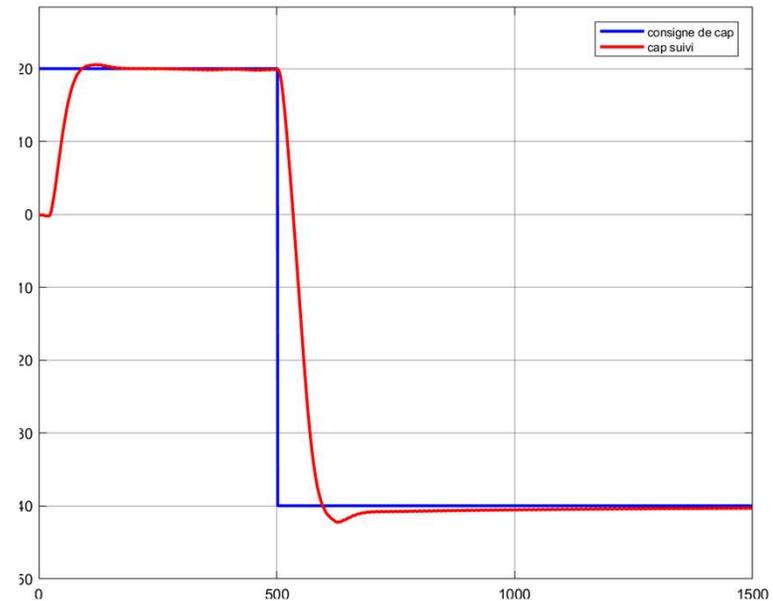
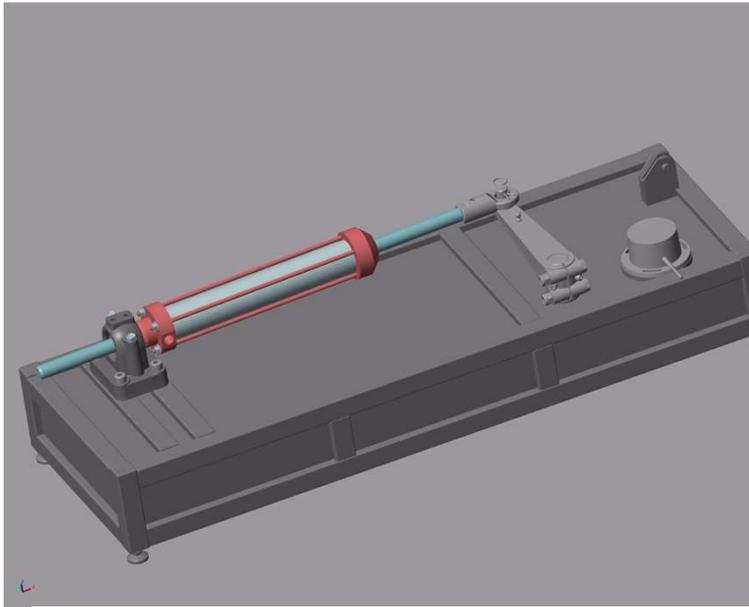


Stateflow



Simulink

# La simulation du modèle



# Les chapitres du livre consacrés aux outils

**Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design**



- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - = domaine électrique
  - = domaine mécanique
  - = domaine thermique
  - = domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - = diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



*Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux*



**Ivan LIEBGOTT**

## **Chapitre 1 : Concepts et stratégies en modélisation**

## **Chapitre 2 : Introduction et présentation des outils de modélisation**

## **Chapitre 3 : Stratégie de conception d'un modèle multi-physique**

**Chapitre 4 : Prise en main de Simscape** (modélisation par assemblage de composants dans les domaines électrique, électronique, mécanique, hydraulique, thermique...)

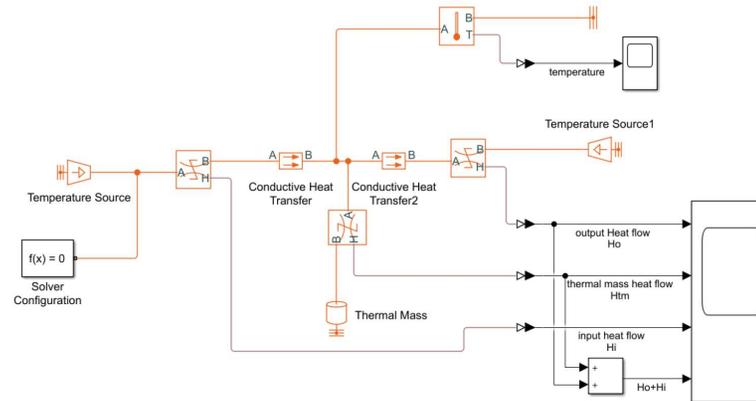
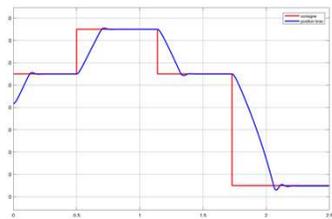
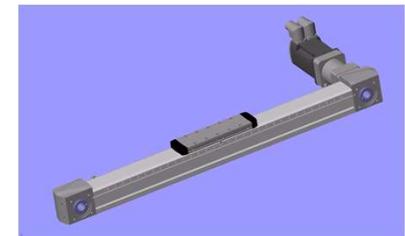
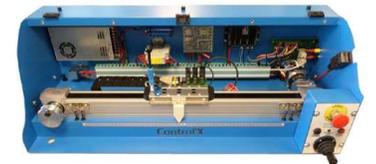
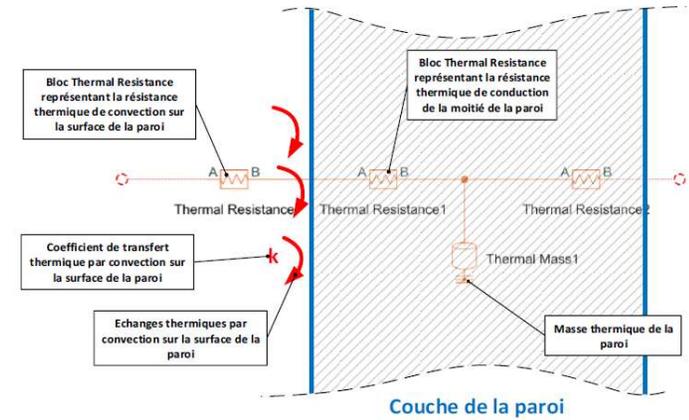
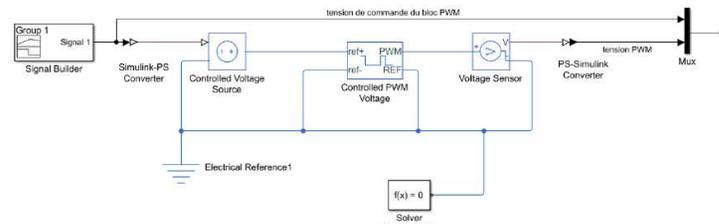
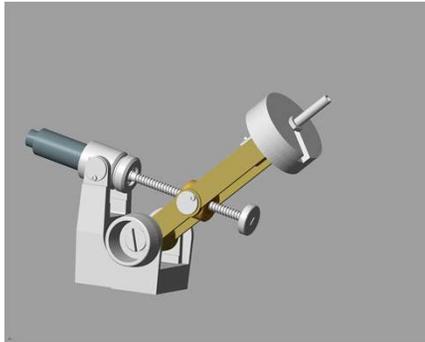
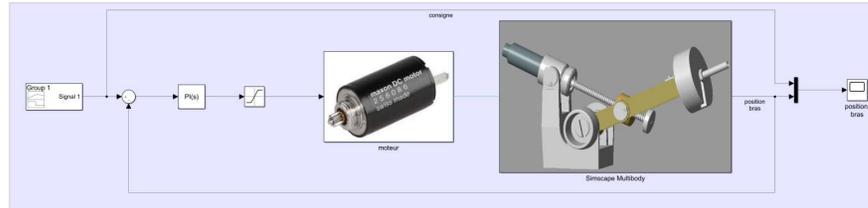
**Chapitre 5 : Prise en main de MATLAB** (les éléments de base du langage MATLAB)

**Chapitre 6 : Prise en main de Simulink** (modélisation par schémas blocs)

**Chapitre 7 : Prise en main de Stateflow** (modélisation de logique de commande par diagrammes d'états)

**Chapitre 8 : Prise en main de Multibody** (intégration de maquette 3D dans les modèles multi-physiques)

# D'autres modèles du livre



# Le Chapitre 1 : Concepts et stratégies en modélisation

Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - = domaine électrique
  - = domaine mécanique
  - = domaine thermique
  - = domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - = diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux



Ivan LIEBGOTT

**Chapitre 1 : Concepts et stratégies en modélisation**

**Chapitre 2 : Introduction et présentation des outils de modélisation**

**Chapitre 3 : Stratégie de conception d'un modèle multi-physique**

**Chapitre 4 : Prise en main de Simscape** (modélisation par assemblage de composants dans les domaines électrique, électronique, mécanique, hydraulique, thermique...)

**Chapitre 5 : Prise en main de MATLAB** (les éléments de base du langage MATLAB)

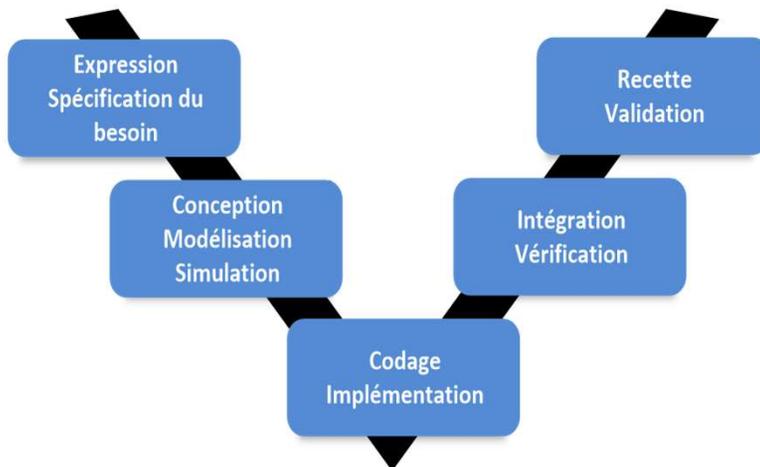
**Chapitre 6 : Prise en main de Simulink** (modélisation par schémas blocs)

**Chapitre 7 : Prise en main de Stateflow** (modélisation de logique de commande par diagrammes d'états)

**Chapitre 8 : Prise en main de Multibody** (intégration de maquette 3D dans les modèles multi-physiques)

# Chapitre 1 : Concepts et stratégies de modélisation

Industrialisation et cycle de conception d'un système



Les différentes approches de modélisation

- White box
- Gray box
- Black box

Comment optimiser un modèle ?

Comment valider un modèle ?

Les étapes du Model Based Design

- Model in the loop
- Software in the loop
- Processor in the loop
- Hardware in the loop

# Les autres chapitres

**Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design**



- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - = domaine électrique
  - = domaine mécanique
  - = domaine thermique
  - = domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - = diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux



**Ivan LIEBGOTT**

**Chapitre 9 : L'identification d'un modèle** (identification d'un modèle à partir de données expérimentales)

**Chapitre 10 : Le contrôle commande avec MATLAB/Simulink** (utilisation des outils avancés de réglage des correcteurs (correcteurs PI, PID, avance de phase, filtre réjecteur...))

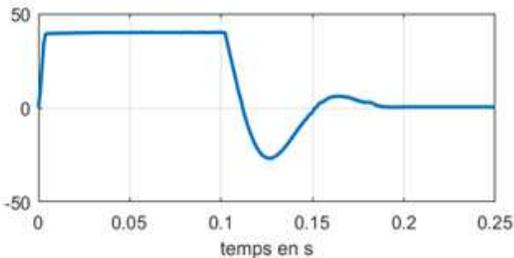
**Chapitre 11 : Ingénierie numérique en langage MATLAB** (les algorithmes utiles pour le projet (dérivation et intégration numérique, filtrage, résolution de  $f(x)=0$ , résolution des équations différentielles, résolution des systèmes d'équations...). De nombreux exemples illustrent l'intérêt de ces algorithmes en phase de projet.

**Chapitre 12 : MATLAB/Simulink online** (permet d'accéder à l'intégralité des fonctions de MATLAB/Simulink à partir d'un navigateur sans avoir à procéder à l'installation du logiciel)

**Chapitre 13 : MATLAB/Mobile** (utilisation de l'application MATLAB Mobile pour utiliser la puissance de calcul de MATLAB sur un smartphone et utiliser son smartphone comme centrale d'acquisition des données issues des capteurs du téléphone)

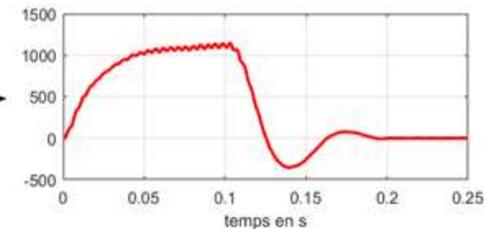
# Chapitre 9 : L'identification d'un modèle

Tension d'alimentation du moteur en V

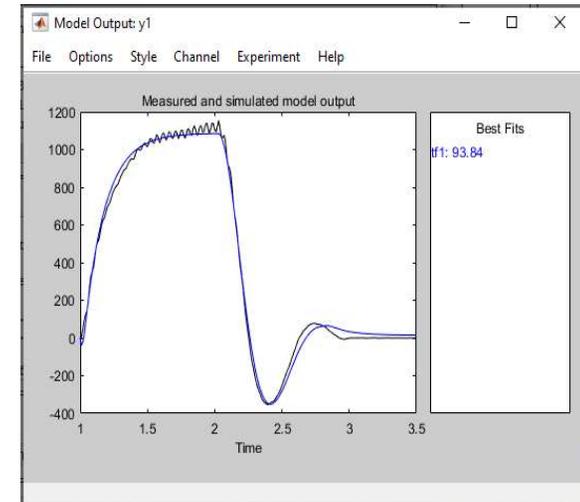


Système réel

Vitesse linéaire de l'axe en mm/s



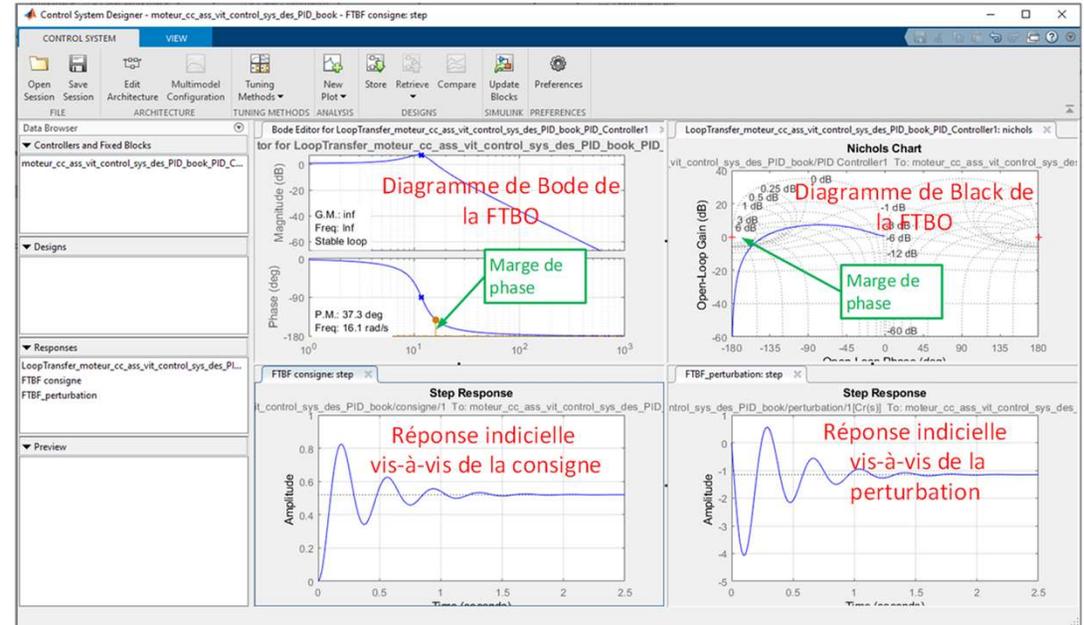
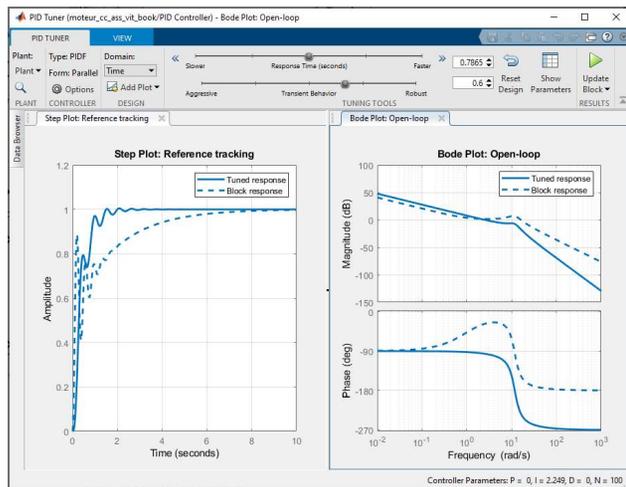
La « toolbox Identification » cherche un modèle mathématique de fonction de transfert qui « fit » l'essai expérimental



# Chapitre 10 : Le contrôle commande avec MATLAB/Simulink

Ce chapitre présente l'ensemble des techniques permettant d'asservir un système et de régler les performances en utilisant les outils avancés de contrôle commande de MATLAB :

- Réglages de correcteurs en utilisant le Control System Designer et l'auto tuning, le réglage manuel
- PI, PID, avance de phase, filtres rejecteurs...

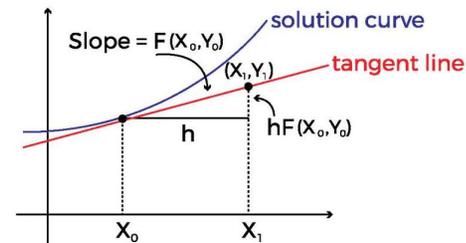
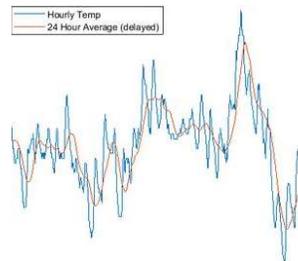
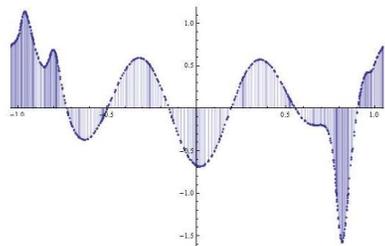


# Chapitre 11 : Ingénierie numérique en langage MATLAB

Ce chapitre présente les algorithmes utiles pour le projet (théorie utilisée et scripts MATLAB associés):

- dérivation et intégration numérique de signaux issus de capteurs
- Filtrage (premier et second ordre, moyenne glissante...)
- résolution de  $f(x)=0$ , (dichotomie, méthode de Newton)
- résolution numériques des équations différentielles (méthode d'Euler)
- résolution des systèmes d'équations (méthode de Gauss)

De nombreux exemples illustrent l'intérêt de ces algorithmes en phase de projet. L'erreur introduite par les méthodes numériques est systématiquement évaluée par comparaison avec le calcul symbolique.



## Gauss Elimination Method

Solve:

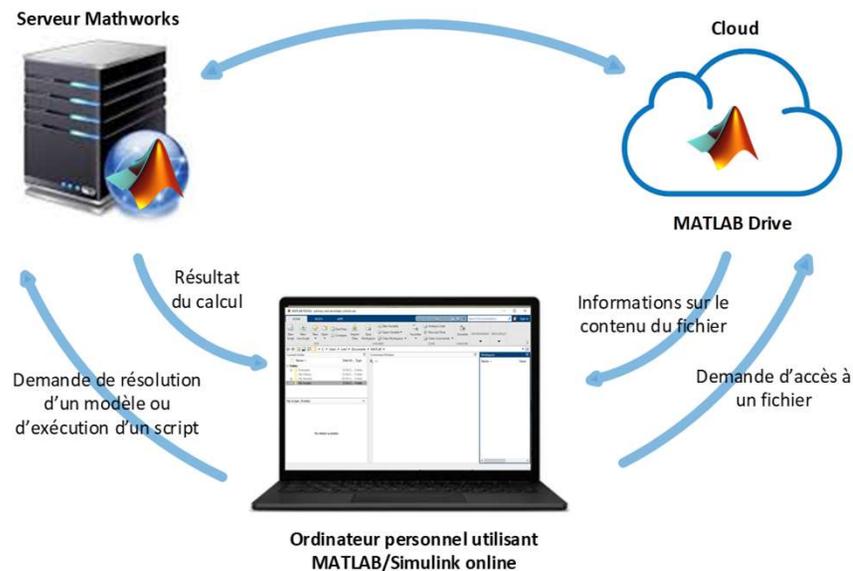
$$\begin{aligned}x + 4y - z &= -5 \\x + y - 6z &= -12 \\3x - y - z &= 4\end{aligned}$$

# Le travail à distance avec les étudiants

## Chapitre 12 : MATLAB/Simulink online

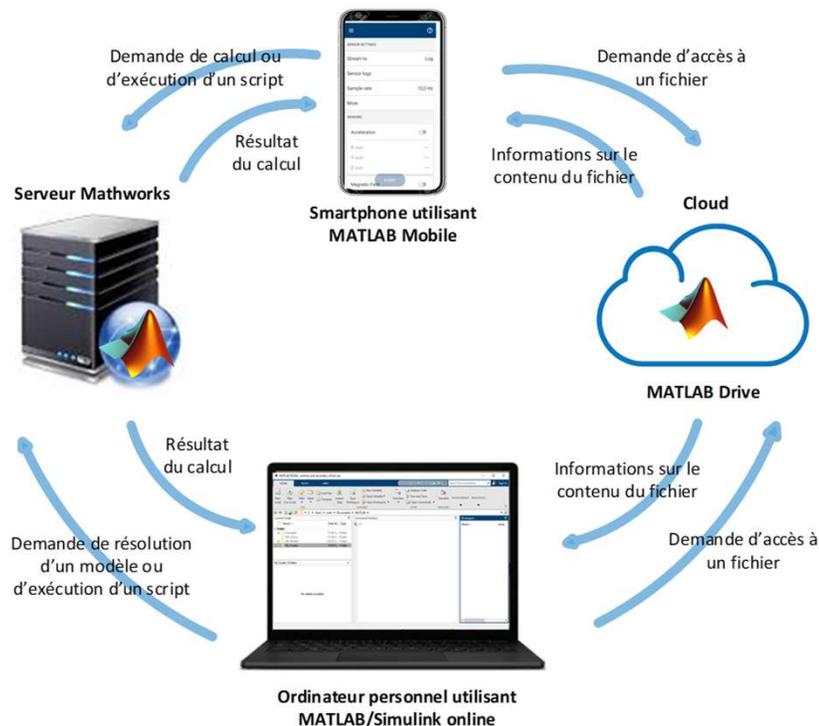
Ce chapitre explique comment installer et utiliser un environnement de travail à distance collaboratif en utilisant:

- MATLAB Online
- MATLAB Drive



Cet environnement permet d'accéder à l'intégralité des fonctions de MATLAB/Simulink à partir d'un navigateur sans avoir à procéder à l'installation du logiciel et de partager très simplement des modèles avec une communauté.

# Chapitre 13 : MATLAB Mobile



Ce chapitre explique comment utiliser MATLAB à partir d'un smartphone en utilisant l'application MATLAB Mobile.

- de profiter de toutes les fonctionnalités de MATLAB pour le calcul scientifique (création de variables, opérations sur les variables, tracés de courbes, calcul symbolique...)
- de monitorer les mesures issues des capteurs du téléphone (accéléromètre, capteur de champ magnétique, capteur d'orientation, gyroscope, capteur de position terrestre...)
- d'exécuter des scripts et de visualiser les résultats

# Pour conclure

Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design



- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - domaine électrique
  - domaine mécanique
  - domaine thermique
  - domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux



Ivan LIEBGOTT

Free ebook

La démarche de modélisation multi-physique est un processus complexe qui devient très simple quand elle est abordée avec une méthode rigoureuse et des outils adaptés

**Modélisation et Simulation des Systèmes  
Multi-Physiques avec  
MATLAB – Simulink (R2020b)  
pour l'étudiant et l'ingénieur  
Quatrième édition  
Introduction au Model Based Design**



- **MATLAB**
- **Simulink**
- **Simscape**
  - domaine électrique
  - domaine mécanique
  - domaine thermique
  - domaine hydraulique
- **Stateflow**
  - diagramme d'états
- **MATLAB Online**
- **MATLAB Mobile**



*Contrôle commande des systèmes asservis, réglage des correcteurs  
Ingénierie numérique en langage MATLAB, les algorithmes fondamentaux*



**Ivan LIEBGOTT**

Merci pour votre  
participation et votre  
attention !

[ivan.liebott@gmail.com](mailto:ivan.liebott@gmail.com)