



INTRODUCTION A STATEFLOW[®] R2019b

*A mettre entre toutes les mains, entre celles
des curieux et celles de ceux qui s'y
intéressent...*

**Modélisation & Simulation des
Systèmes à Evènements
Discrets (et Continus).**

Ph. Hautcoeur

Novembre 2019



« De même qu'il faut apprendre à apprendre individuellement, il faut apprendre à apprendre collectivement, il faut créer les conditions où on peut apprendre les uns des autres... »



François TADDEI présente son livre « Apprendre au XXIe siècle » publié chez Calmann-Lévy.

<https://www.youtube.com/watch?v=BhunNczVNaA>

Cet ouvrage revisite entièrement la version précédente publiée en 2014 (Version R2013a de la suite Matlab® Simulink®) et téléchargeable sur la plateforme « File Exchange » de Mathworks®.

<http://bit.ly/IntroStateflow>



Cette nouvelle édition s’articule de manière similaire à la précédente et reprend les principales évolutions depuis la version R2013b de la suite Matlab® Simulink®. Ce manuel a donc pour objectif de présenter les fonctionnalités de base de l’outil illustrées par des exemples simples.

Les fichiers associés à la plupart des exemples développés dans ce cadre sont téléchargeables avec ce document sur la plateforme « File Exchange » de Mathworks®.

Puisse cet ouvrage contribuer, modestement, à la construction d’une société apprenante...



Philippe Hautcoeur

Professeur de Sciences Industrielles de l’Ingénieur
Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles - PSI
Lycée Clemenceau à Nantes

Ce document évolue grâce à votre concours.

>>>> [contact : philippe.hautcoeur@ac-nantes.fr](mailto:philippe.hautcoeur@ac-nantes.fr)

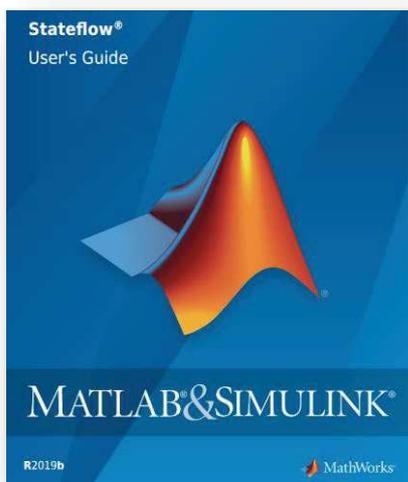
A celles et ceux qui m'ont accompagné dans ce projet.



(BY NC SA) Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions:

Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale..

Avant-propos...



Stateflow® est un module développé par la société américaine **MathWorks®** qui permet la simulation de machines d'état.

Une machine d'état comporte un nombre fini d'états. Elle modélise le comportement de systèmes qui passent d'un état à un autre en réponse à des évènements. On parle alors de systèmes à évènements discrets.

Comme son nom l'indique, ce module permet de tracer des diagrammes d'état (« State Chart ») et des diagrammes de flux (« Flow Chart »).

Stateflow® est intégré à **Matlab®** et **Simulink®**. Les modèles construits pourront par conséquent comporter des blocs des différentes « toolboxes » de Simulink et/ou appeler des **fonctions Matlab** et/ou des **fonctions Simulink** comme nous le verrons. Ainsi le modèle global d'un système complexe pourra comporter des **modèles linéaires continus** construits avec Simulink sous la forme de schéma-blocs, des **machines à état** construites avec Stateflow® ou encore des **modèles acausaux** réalisés en utilisant **Simscape®**.

Aussi Stateflow® permet de simuler le comportement de **systèmes hybrides** c'est-à-dire à évènements **discrets et continus**. C'est par exemple le cas d'une balle qui rebondit sur le sol. En effet son déplacement dans l'air est continu alors qu'à chaque rebond, considéré comme un évènement, sa trajectoire est modifiée. C'est encore le cas si un robot doit éviter un obstacle présent sur sa trajectoire.

Une connaissance approfondie de Matlab® et Simulink® n'est pas indispensable pour commencer à travailler avec Stateflow®. Dans la plupart des exemples traités avec la version **R2019b**, les chemins menant aux composants des bibliothèques Simulink® utilisées sont précisés.

Après avoir présenté les différents outils et quelques applications, nous verrons comment, dans le cadre d'une démarche Model Based Design, implémenter un programme réalisé avec Stateflow® vers une cible telle que la brique **LEGO® Mindstorms EV3**.

Le guide de l'utilisateur complet de Stateflow® est téléchargeable sur le site de MathWorks® :

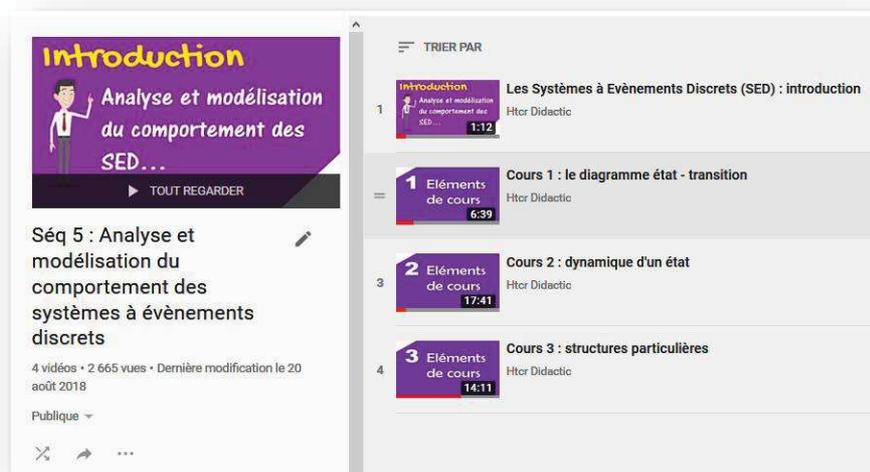
http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/stateflow/sf_ug.pdf



Aussi, ce document peut être un outil complémentaire à la formation en ligne (en anglais) proposée par **MathWorks® : Stateflow Onramp** à laquelle on accède à partir de la page de démarrage de **Simulink®** (Simulink Start Page) en lançant d'abord **Matlab®** puis **Simulink®** :



Enfin, pour appréhender le fonctionnement d'une machine d'état, vous pouvez vous rendre sur ma chaîne YouTube et visualiser la playlist consacrée à l'analyse et la modélisation du comportement des systèmes à événements discrets en général, et au diagramme d'état SysML en particulier : <http://bit.ly/StmDiagram>



Avant-propos...	5
Chapitre 1 - Pour bien commencer...	11
1.1- Préparation et présentation de l'interface	11
A propos de la préparation...	11
A propos de l'interface Simulink®...	13
Chapitre 2 - SysML State Machine vs Stateflow®...	19
Chapitre 3 - Proposition de méthodologie ...	24
Chapitre 4 - Le « Chart »...	27
A propos du fonctionnement de la machine d'état...	29
4.1- State...	30
4.1.1 - « Label » et mots clé d'un état	30
A propos des transitions et des évènements...	31
4.1.2 - « Label » d'une transition	32
4.1.3 - Cas particuliers de la transition réflexive et de la transition interne	33
4.1.4 - Prise en compte de l'activité d'un état dans une transition	34
4.1.5 - Les évènements extérieurs	34
A propos des opérateurs temporels...	41
L'opérateur « after » :	42
L'opérateur « before » :	42
L'opérateur « at » :	42
L'opérateur « every » :	43
L'opérateur « temporalCount » :	43
A propos des super-états ou états composites ...	44
Décomposition exclusive (OR) ou parallèle (AND) des états composites	44
Utilisation d'un « Subchart »	45
4.2- Default Transition	46
4.3- Junction	47
A propos des « Flow Charts »...	51
4.4- History junction	57
4.5- Box	62
4.6- Simulink Based state	63
4.7- Simulink Function	66
4.8- Graphical function	72
4.9 MATLAB Function	84
4.10 Truth table	93
Chapitre 5 - D'autres exemples d'application du « Chart »...	101
5.1- Initialisation D'un axe lineaire	101
5.2- Pilotage d'une plateforme omnidirectionnelle	107

5.3- Traitement des informations délivrées par un Codeur SinCos	113
<i>Chapitre 6 - Le « Sequence Viewer »...</i>	122
<i>Chapitre 7 - La « State Transition Table »...</i>	126
7.1- Exemple du codeur incrémental	131
<i>Chapitre 8 - La « Truth Table »...</i>	137
8.1- Exemple de la commande d'un pont roulant	138
<i>Chapitre 9 - Le « Dashboard » Simulink®...</i>	148
9.1 Exemple du moteur à courant continu	148
<i>Chapitre 10 - Stateflow et Simscape Multibody® (Model in the Loop)...</i>	155
<i>Chapitre 11 - Le prototypage (Hardware In the Loop)...</i>	169
11.1 - le kit Lego® mindstorms EV3 Education	169
11.2 - Lego mindstorms EV3 et Simulink®	170
11.3 - La plateforme FifiBot	173
11.3.1 Rappel du cahier des charges et choix technologiques	173
11.3.2 Présentation de la structure de la plateforme FifiBot	173
11.3.3 Présentation des éléments de la bibliothèque Simulink®	175
11.3.4 Préparation de l'environnement HIL	176
<i>Pour conclure...</i>	179