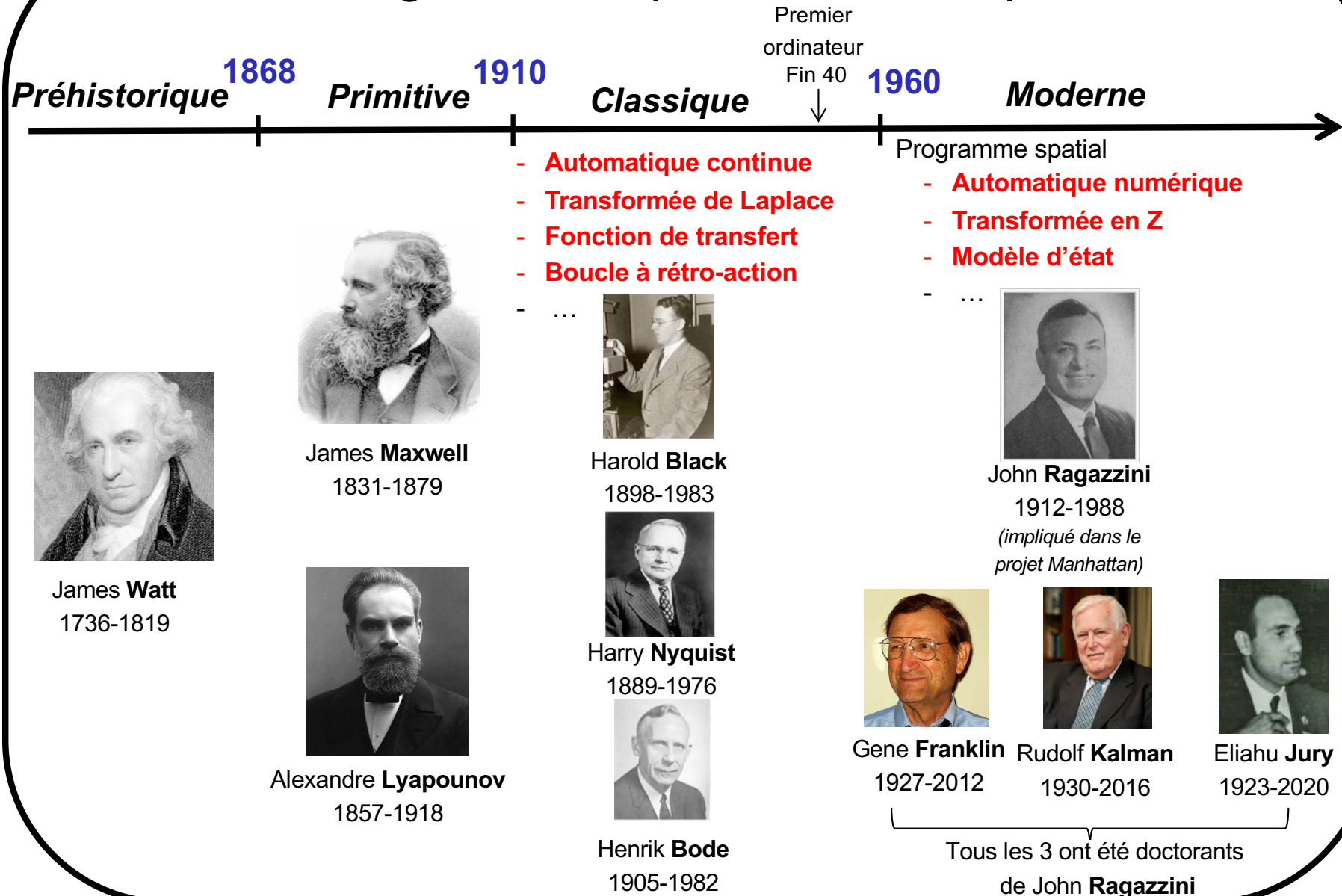


hugues.garnier@univ-lorraine.fr

Version du 1^{er} février 2023

La ligne du temps en Automatique



Deux parties distinctes pour un volume de 36h

- **Automatique numérique**

- 6h de CM

- 8 h de TD

- 4h de TP (*nouveau*)

- **Modèles d'état**



Nouveau !
Dispensé au S7
auparavant

- 5h de CM

- 6h de TD

- 4h de TP (*nouveau*)

Supports de cours en anglais - - - - -

- Intervenant en CM
 - Hugues Garnier

- Intervenants en TD/TP
 - Hugues Garnier
 - Floriane Collin

- Intervenant en CM/TD
 - Gilles Millérioux

- Intervenants en TP
 - Hugues Garnier
 - Floriane Collin

Contrôle des connaissances

- 1 DS1 (2h00) – *Automatique numérique*
 - Jeudi 16 mars 2022 à 8h00
- 1 DS2 (1h00) – *Modèles d'état*
 - Semaine S13
- 1 compte-rendu (CR) de TP
 - A faire en binôme



- Calcul de la note finale d'Automatique

$$\text{Note finale} = 0,5 \text{ DS1 final} + 0,25 \text{ DS2} + 0,25 \text{ TP}$$

Avertissement & Conseil

- ***Avertissement***

- Au risque d'être très vite dépassé, vous devez :
 - relire systématiquement vos notes personnelles et les transparents du cours précédent
 - apprendre les définitions
 - connaître les formules importantes
 - refaire les exercices vus en cours et en TD

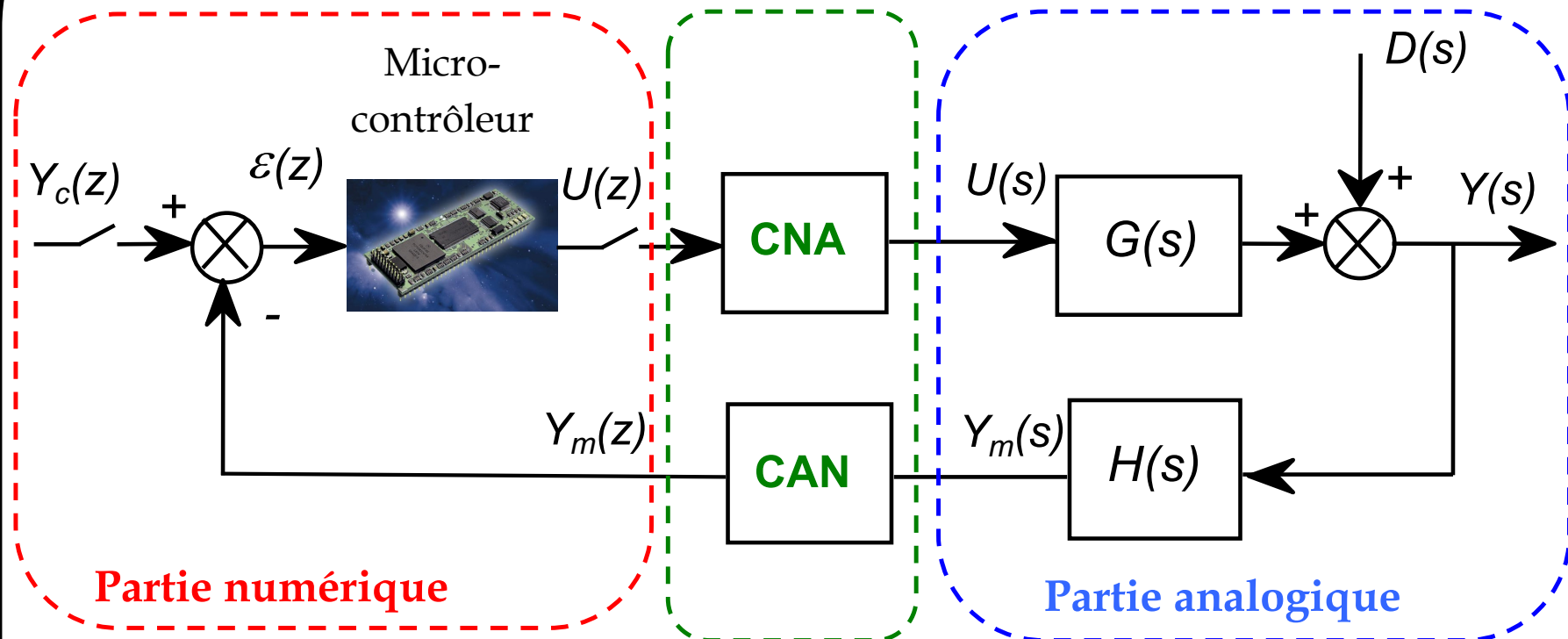
- ***Conseil***

- vous constituer un résumé personnel au fur et à mesure des séances de cours

- ***Interdiction***

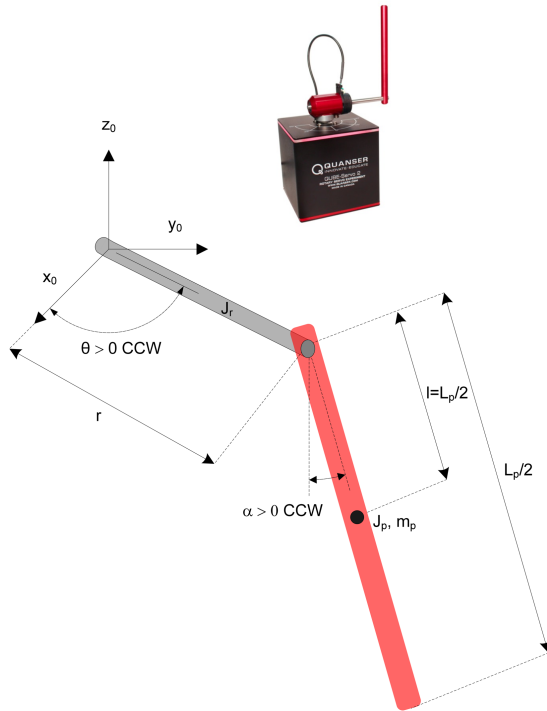
- Il est interdit d'utiliser votre PC, tablette ou téléphone portable durant le cours !

Première partie : Automatique numérique plus adaptée à l'implantation actuelle des contrôleurs



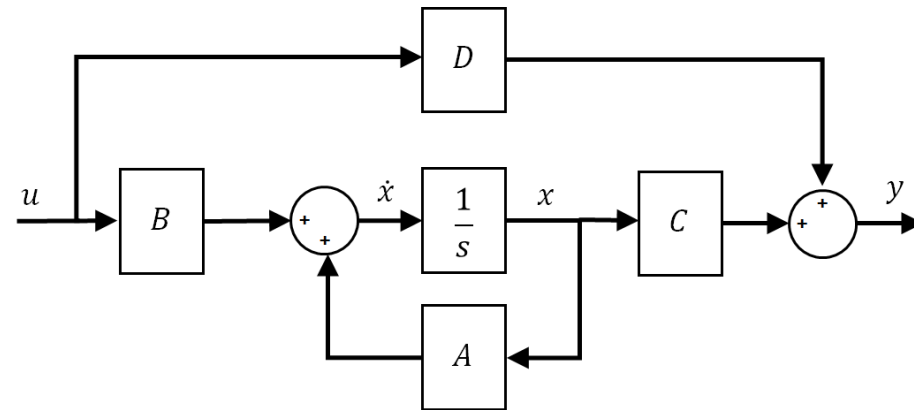
- Besoin de blocs pour faire *dialoguer* les parties analogique et numérique : **CAN** et **CNA**
- Nouvel outil mathématique pour faire l'analyse : *la transformée en Z*
- Le correcteur PID est implanté de manière numérique : méthode de discrétisation

Deuxième partie : Modèles d'état mieux adaptés pour le contrôle de systèmes complexes



$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J_t} (m_p^2 l^2 r g \alpha - J_p b_r \dot{\theta} + m_p l r b_p \dot{\alpha} + J_p \tau)$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{J_t} (-m_p g l J_r \alpha + m_p l r b_r \dot{\theta} - J_p b_p \dot{\alpha} - m_p r l \tau).$$

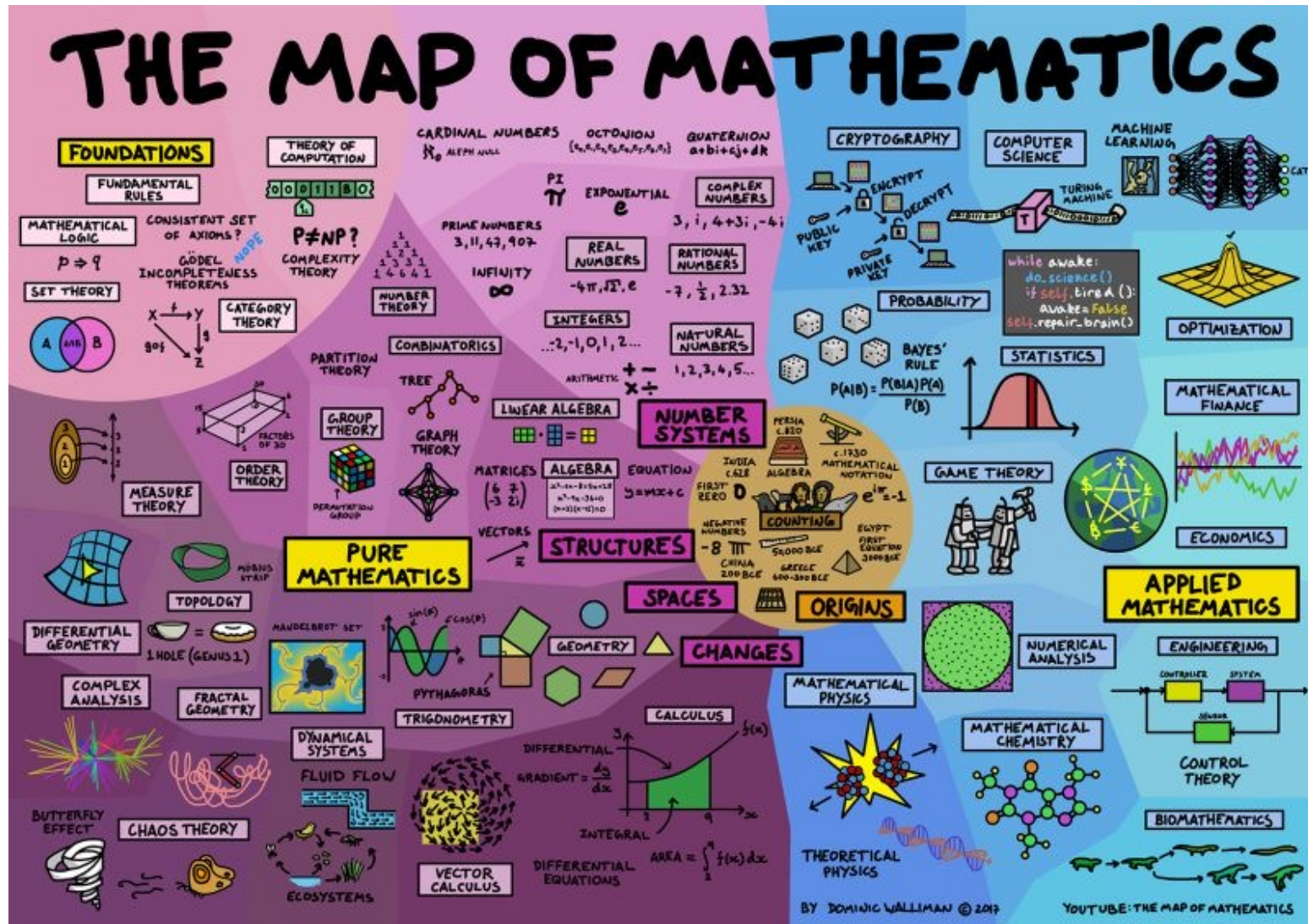


$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

Le vecteur d'état $x = \begin{bmatrix} \theta & \alpha & \dot{\theta} & \dot{\alpha} \end{bmatrix}^T$

Les deux sorties
à contrôler $y = \begin{bmatrix} \theta & \alpha \end{bmatrix}^T$

Cherchez Charlie euh... Cherchez Control theory



[illegible]

Site web pour le cours

- w3.cran.univ-lorraine.fr/hugues.garnier/?q=content/teaching

[Home](#)
[Biography](#)
[Research](#)
[Publications](#)
[Contsid](#)
[Collaborations](#)
[Teaching](#)
[Links](#)
[Sporting diversion](#)
[My account](#)
[Log out](#)





Hugues Garnier

Navigation

[Add content](#)

Teaching

[View](#)
[Edit](#)

Teaching activities

Since 2018, I am head of the 3-year engineering programme (see [pdf](#)) in *Computer Science, Control Engineering, Robotics, IT Networks (IA2R)* at [Polytech Nancy](#).

I teach the following courses:

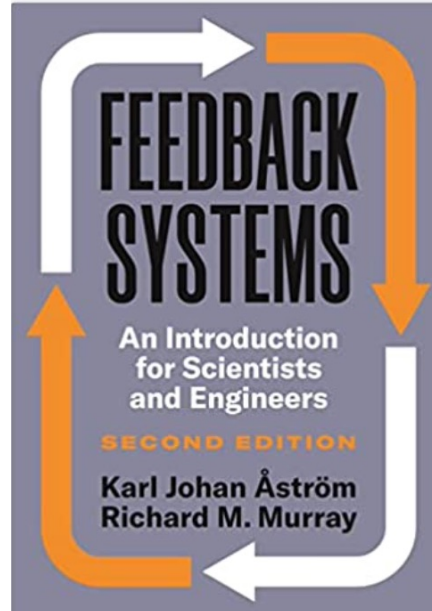
Automatique S6 (3A IA2R)

- Transparents de cours
 - [Régulation numérique - Intro](#)
 - [Transformée en Z](#)
 - [Table de Transformées en z](#)
 - [Convertisseurs & Bloqueurs](#)
 - [Systèmes échantillonnés](#)
 - [Systèmes discrets](#)
 - [Synthèse de correcteurs numériques](#)
 - [Correcteurs PID numériques](#)
- [Travaux dirigés](#)
- Travaux pratiques
- Informations pour le DS final
 - Documents autorisés : une feuille A4 recto-verso personnelle
- Feedback about the course from the students
 - [Evaluation 3A 2021-2022](#)

Ouvrages conseillés

Feedback Systems

An Introduction for Scientists and Engineers, *K.J. Astrom & R. Murray 2021*



pdf version of the book available

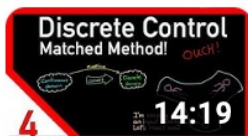
http://www.cds.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/fbs-public_24Jul2020.pdf

Voir aussi l'ouvrage dédié à l'automatique numérique

- K.J. Åström, B. Wittenmark, *Computer-controlled systems: theory and design* (3rd Ed.), Dover Publications, 2011

Autres ressources vidéos

Discrete control by *Brian Douglas*

1		Discrete control #1: Introduction and overview Brian Douglas
2		Discrete control #2: Discretize! Going from continuous to Brian Douglas
3		Discrete control #3: Designing for the zero-order hold Brian Douglas
4		Discrete control #4: Discretize with the matched method Brian Douglas
5		Discrete control #5: The bilinear transform Brian Douglas
6		Discrete control #6: z-plane warping and the bilinear

Autres ressources vidéos

Digital control by *Peter Corke*

ENB448/ENN580 part2:: Digital Control

Introduction & motivation

Peter Corke

Digital Control
×

Peter Corke - 1/5
 ↔
⌵
⋮



ENB458 lecture 1: Introduction to digital control

Peter Corke

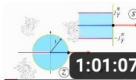
58:18



ENB458 lecture 2: Laplace transform to difference equation

Peter Corke

58:35



ENB458 lecture 3: Welcome to the z-plane

Peter Corke

1:01:07



ENB458: sampling time, aliasing and discrete-time state-space...

Peter Corke

1:08:43



ENB458 lecture 5: creating a digital controller

Peter Corke

53:50

Ressources vidéos conseillées pour la partie modèles d'état

Matlab Tech Talks with *Brian Douglas* *State Space Models*

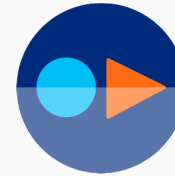
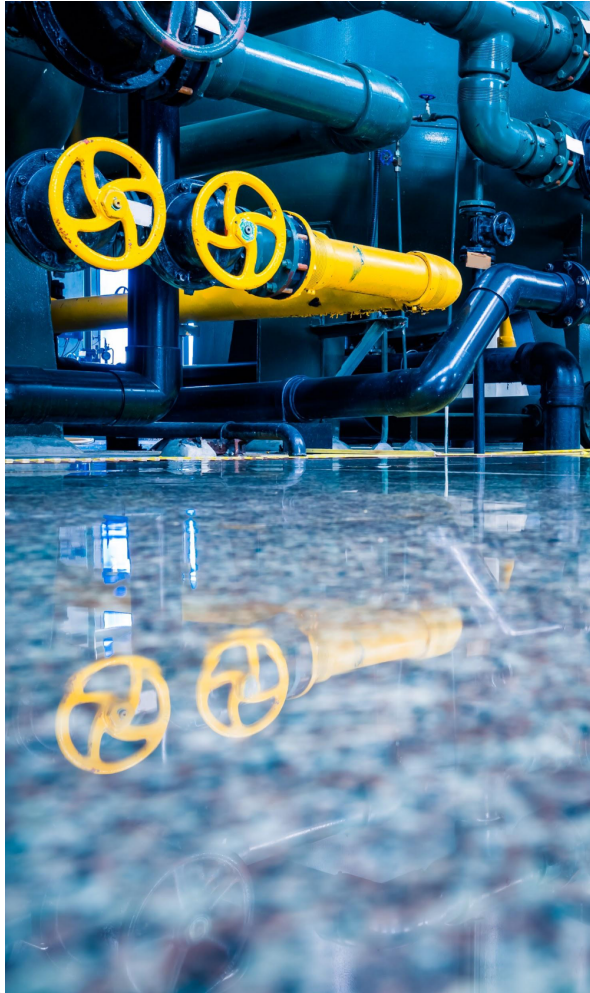
The screenshot shows a YouTube interface. The main video player displays the title "MATLAB Tech Talks with Brian Douglas" in a stylized font. Below the title, the video title "Introduction to State-Space Equations | State Space, Part 1" is visible. The video progress bar shows 0:35 / 14:11. To the right of the video player, a playlist titled "State Space" is displayed, containing four videos:

- 1. Introduction to State-Space Equations | State Space, Part 1 (14:12)
- 2. What is Pole Placement (Full State Feedback) | State Space, Part 2 (14:55)
- 3. A Conceptual Approach to Controllability and Observability... (13:30)
- 4. What Is Linear Quadratic Regulator (LQR) Optimal Control... (17:24)

At the bottom of the playlist, there are tabs for "Tout", "De la série", "Équations", and "Leçons".

Autres ressources en Automatique

Mobile textbook available from *Quanser*



Experience Controls by Quanser

Experience Controls is a free mobile textbook designed to give you real design intuition and relevant skills in a hands-on way in the control systems engineering space.

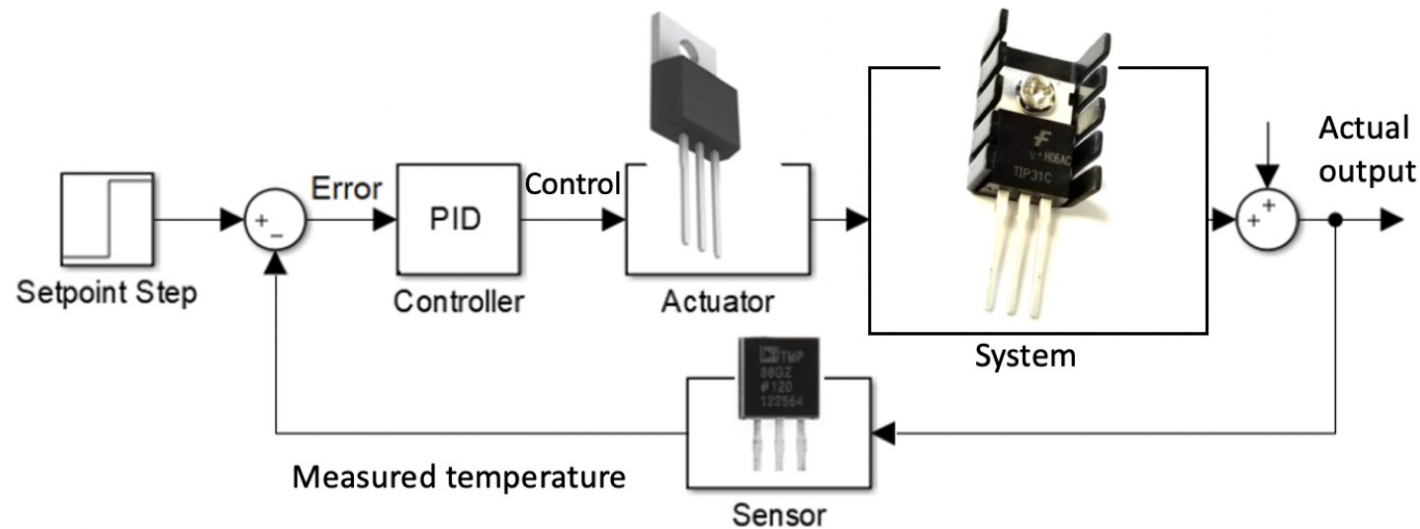
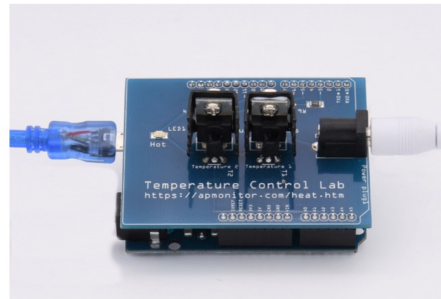
The textbook app includes:

- 50+ lesson modules covering introductory to advanced concepts
- Interactive simulations of industrial-level controls problems
- Mini-lecture podcasts that summarize key takeaways for each chapter, available in-app or in your preferred podcast player
- End-of-chapter review questions to check your understanding



Rappels - TP 1 Automatique S5

Régulation TOR et PID de température du TCLab

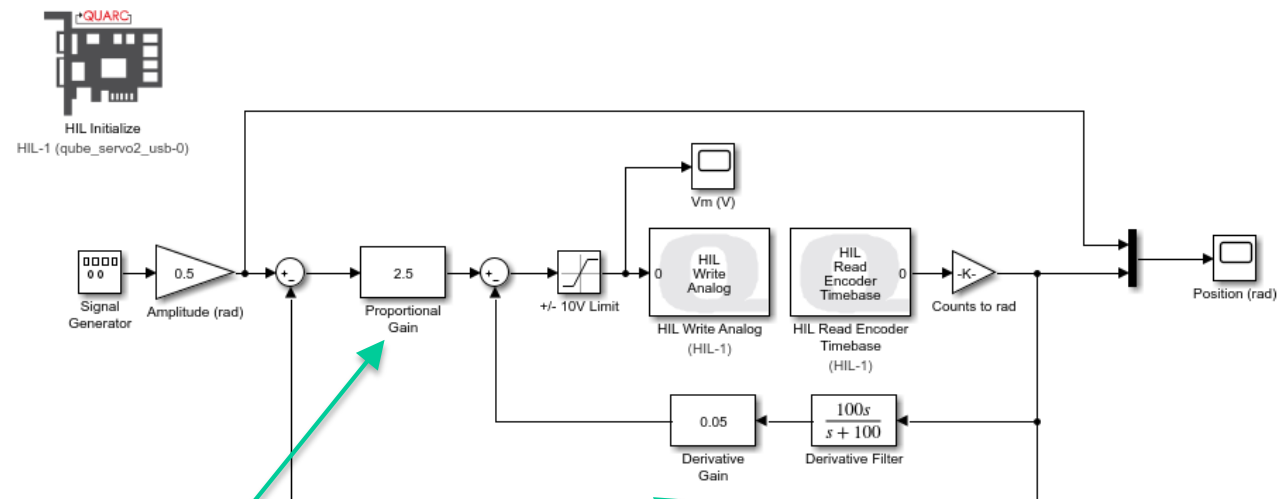


Rappels - TP 2 Automatique S5

Contrôle PID de la position angulaire du QUBE-servo 2



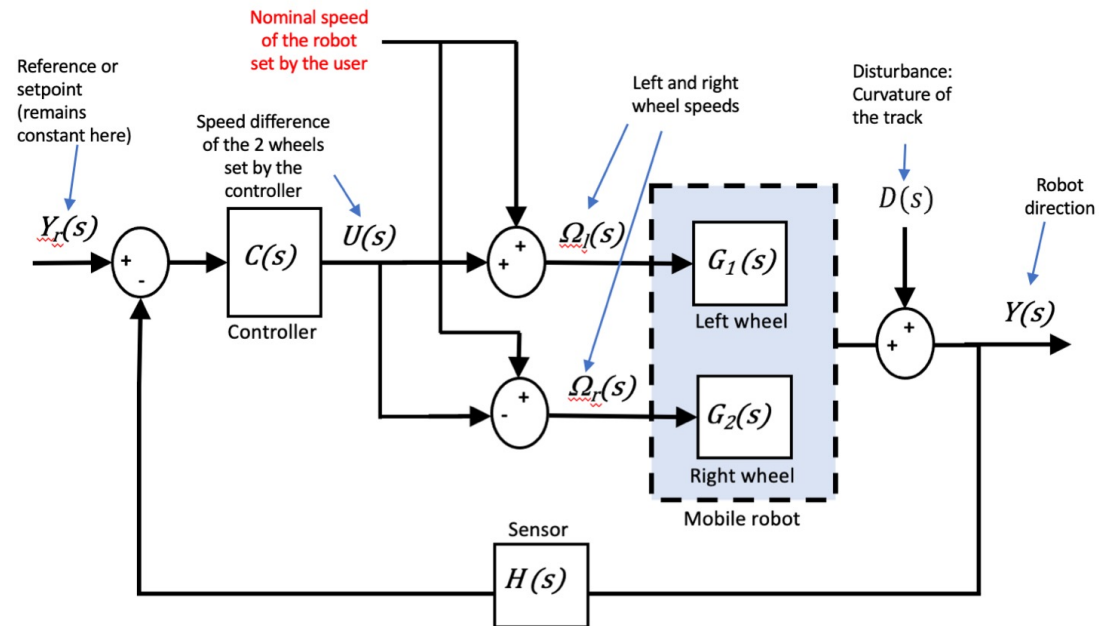
Le QUBE-Servo 2



Correcteur
PD

Rappels - TP 3 Automatique S5

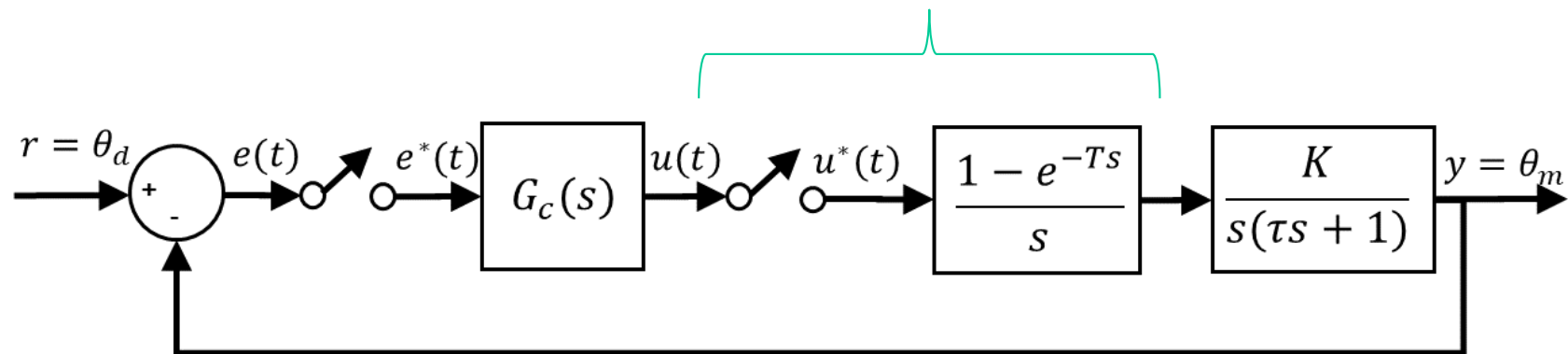
Robot 3pi+ suiveur de ligne



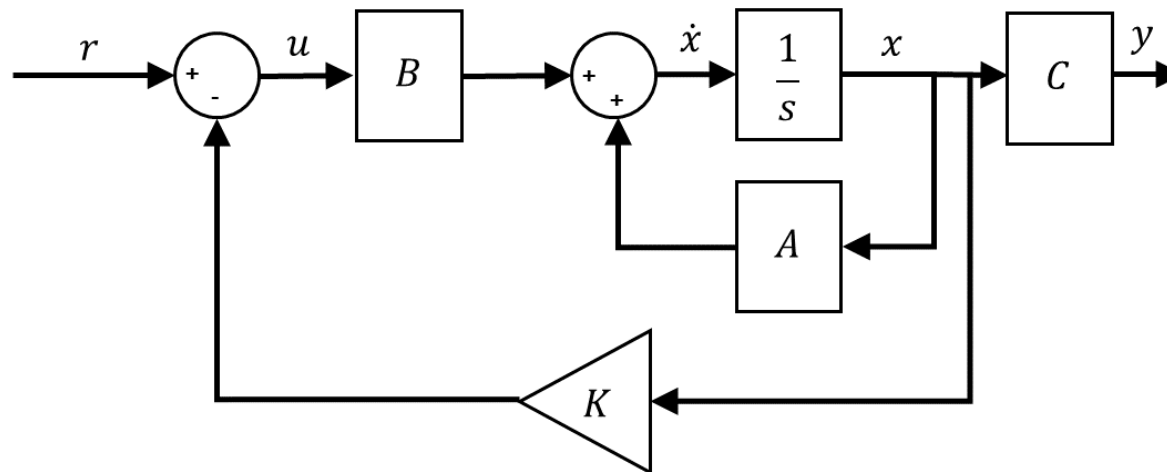
TP 1 S6 – Régulation de vitesse ou de position par PID numérique du QUBE-servo 2



Modélisation de l'opération d'échantillonnage/blocage



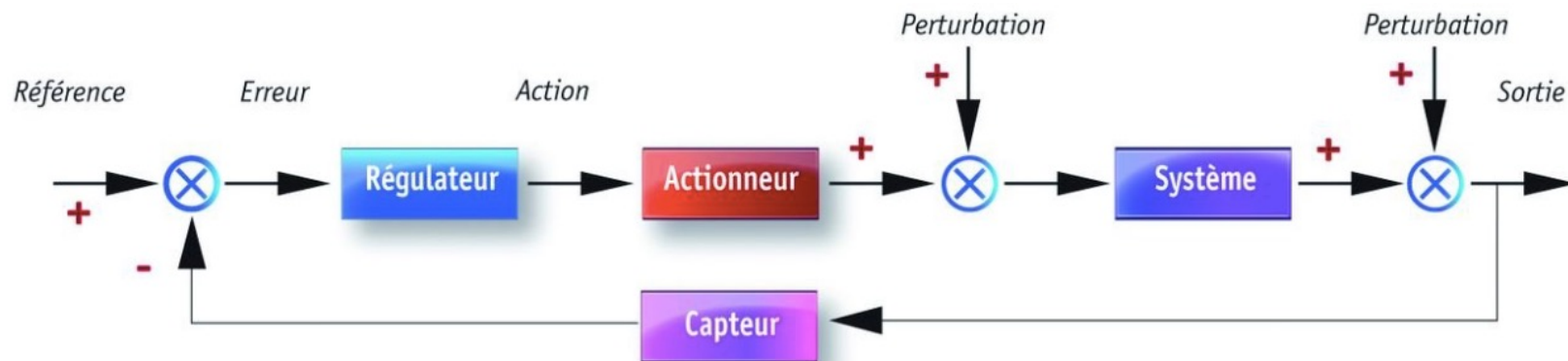
TP 2 – Stabilisation par retour d'état du pendule inversé rotatif



Synthèse du correcteur par la méthode
du placement de pôles

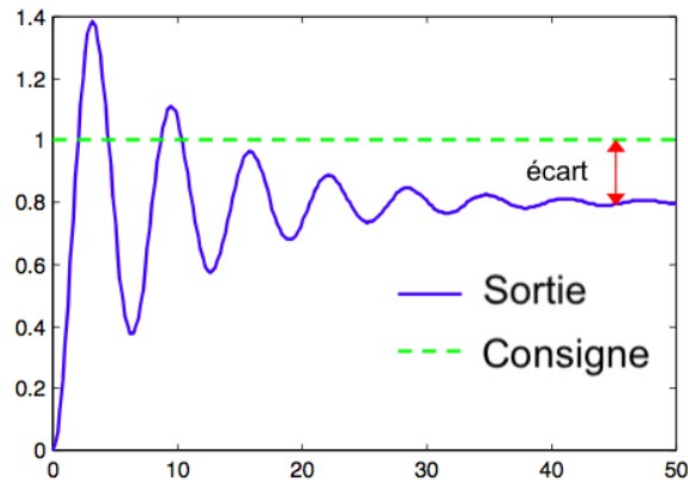
Rappels - Principe des systèmes de contrôle

- Concevoir un système de contrôle revient à insérer :
 - *une boucle de contre-réaction (feedback)*
 - *un organe de commande : le correcteur ou régulateur*



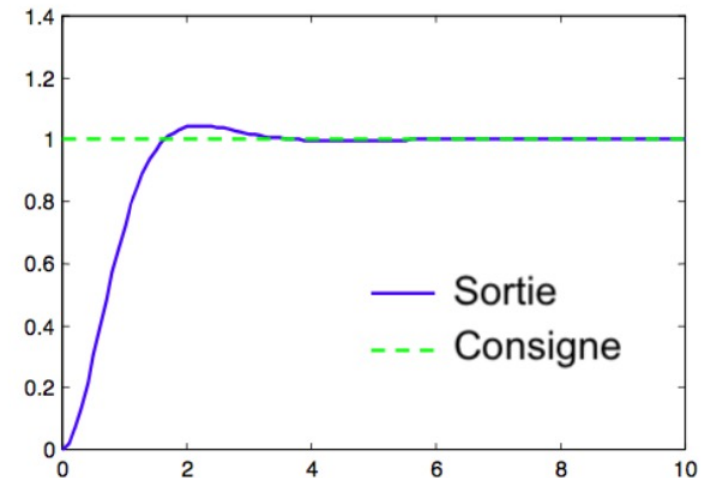
Objectifs d'une commande en boucle fermée

Système à commander



- Réponse mal amortie
- Ecart avec l'entrée en régime établi

Comportement désiré



- Réponse bien amortie
- Erreur statique nulle

Pour modifier le comportement du système : insertion d'une boucle de rétro-action et d'un correcteur

Etapes de conception d'une commande en boucle fermée

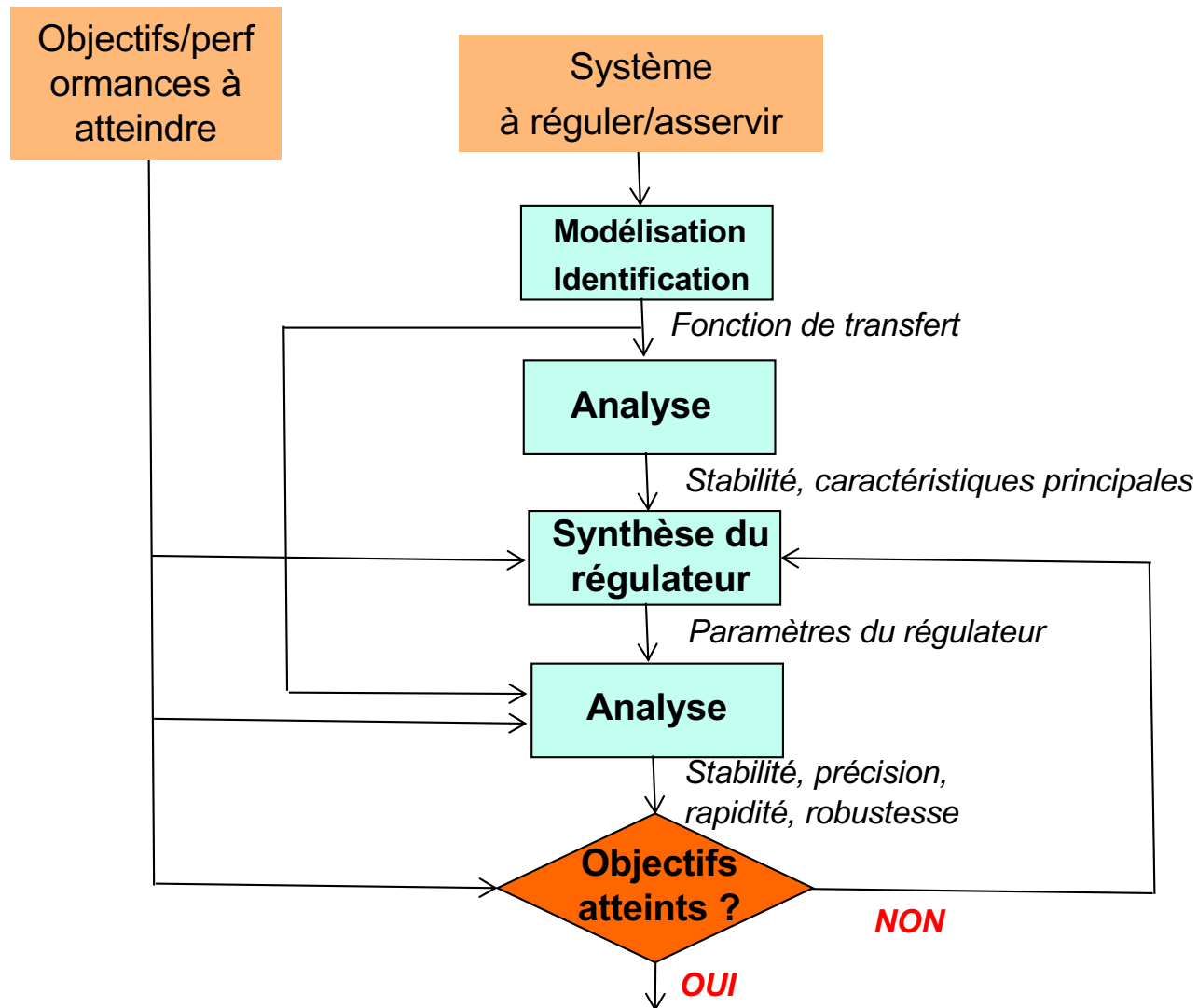


Schéma de régulation continue

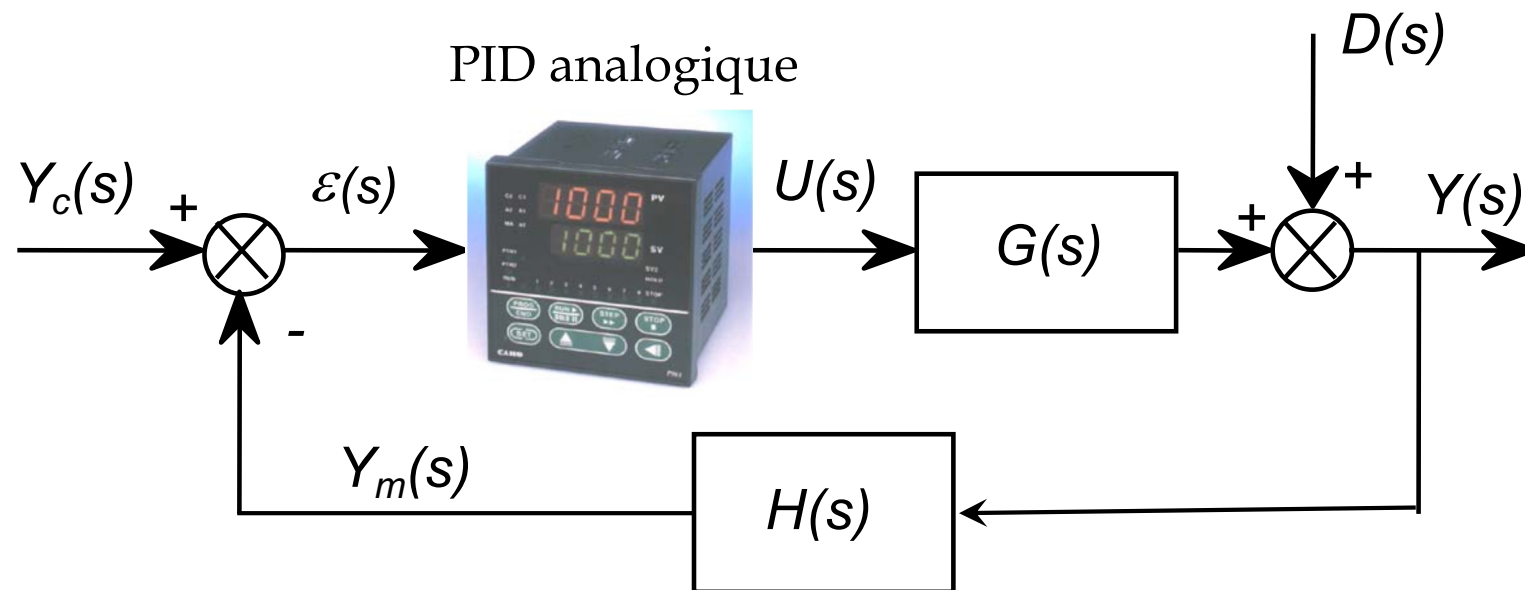
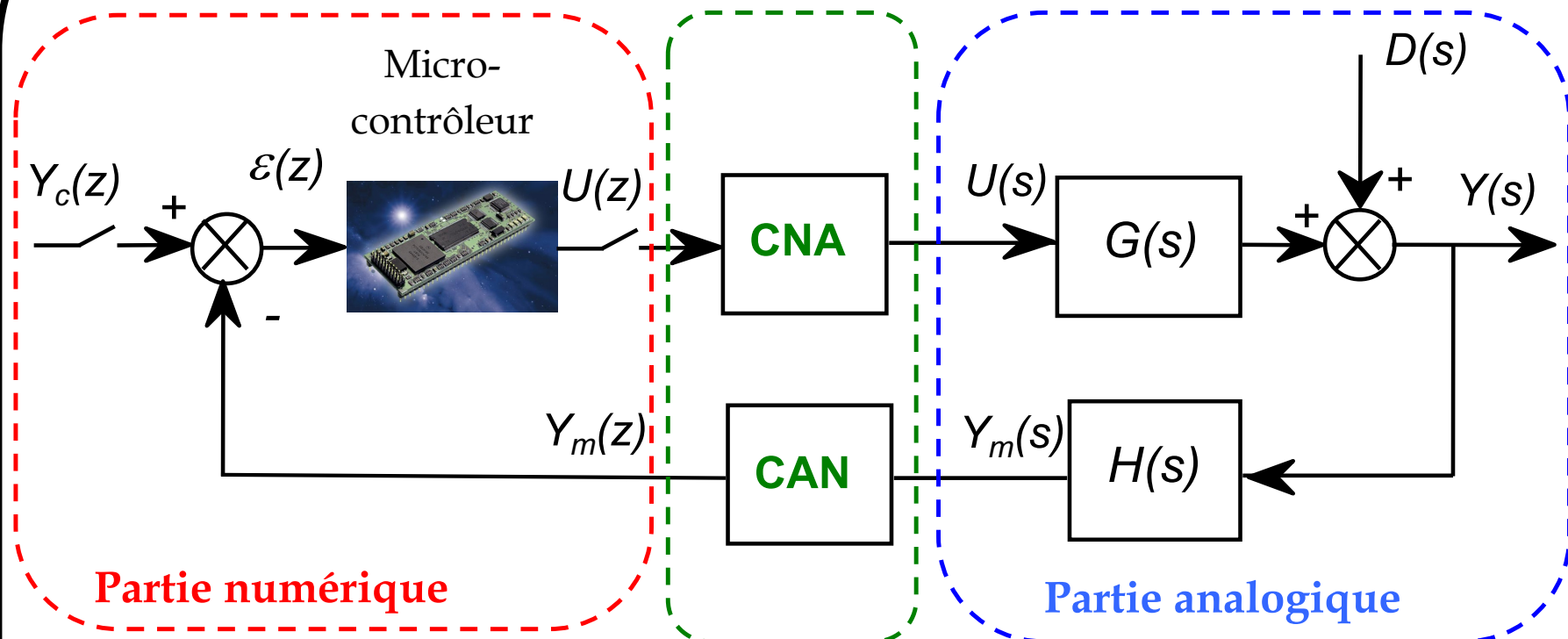
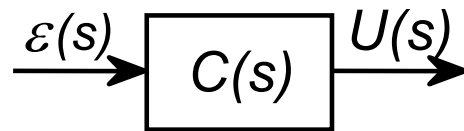


Schéma de régulation numérique



- Avantages : coût faible, rapidité, précision élevée, insensibilité aux bruits, facilité d'implantation et souplesse par rapport aux modifications
- Besoin de blocs pour faire *dialoguer* les parties analogique et numérique : **CAN** et **CNA**

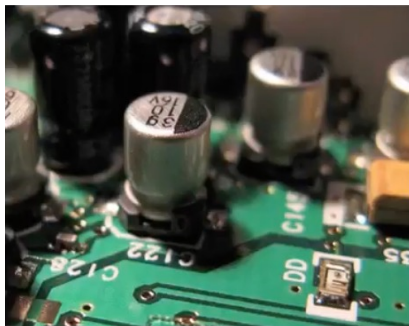
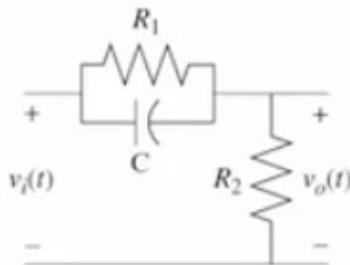
Technologie des régulateurs analogique/numérique



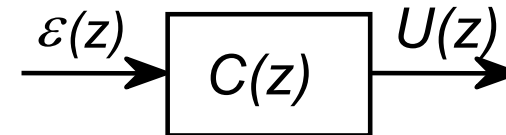
Outil : transformée de Laplace

$$\frac{du(t)}{dt} + 2u(t) = \varepsilon(t)$$

Equation différentielle



Carte électronique



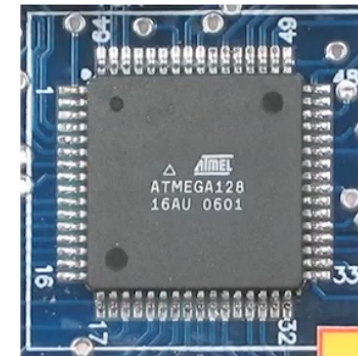
Outil : transformée en z

$$u(k) = 0,8u(k-1) + 0,2\varepsilon(k)$$

Equation aux différences

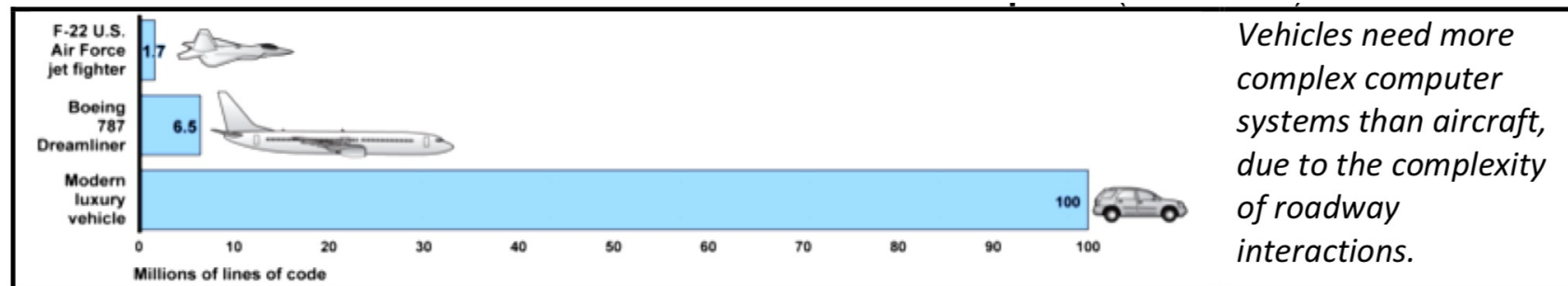
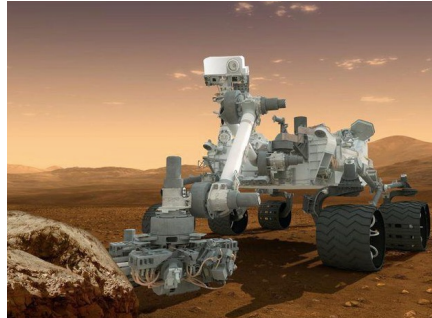
program CruiseControl

```
repeat
  r = getReferenceMeasurement
  y = getSpeedMeasurement
  u = K*(r-y);
  sendCommandToEngine(u)
end
```

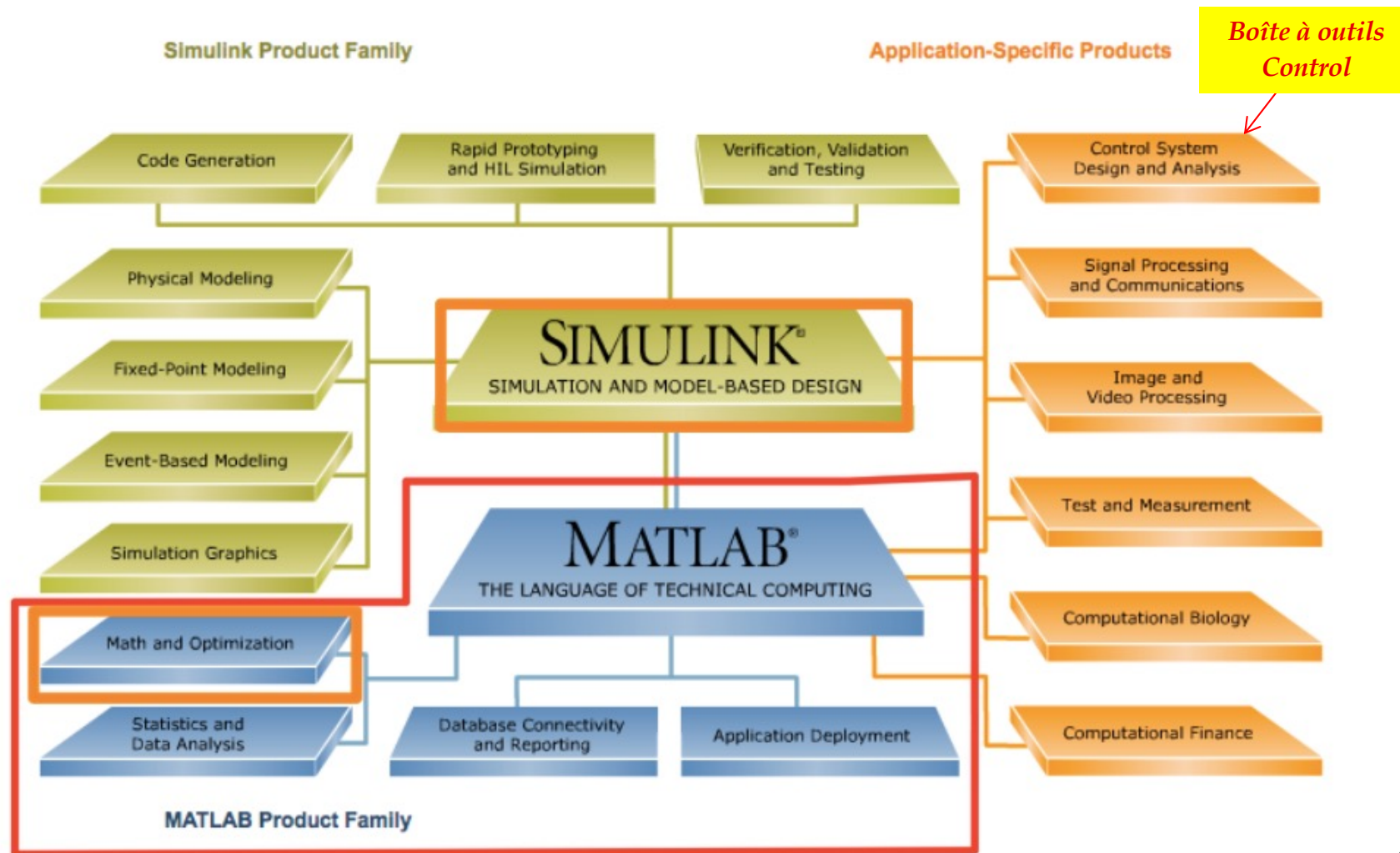


Micro-contrôleur

Applications des algorithmes de contrôle numérique



Exploitation de Matlab/Simulink en TD et TP



www.matlabexpo.com/fr/

Objectifs

- Donner des outils et des méthodes pour :
 - l'analyse des régulations numériques, c'est à dire du problème de l'utilisation, en temps réel, de calculateurs numériques ou micro-contrôleurs afin de commander/piloter des processus physiques
 - la représentation et l'étude des différentes interactions qui apparaissent entre la partie analogique et la partie numérique (CAN/CNA)
 - la synthèse et la mise en œuvre des lois de commande de type PID numérique

Sommaire de la partie Automatique numérique

- I. La transformée en Z
- II. Conversion analogique/numérique
- III. Systèmes échantillonnés
- IV. Systèmes à temps discret
- V. Synthèse de correcteurs numériques