

---

# PROGRAMME INGÉNIEUR

2021-2022

2e année / 3e année

---

Option Disciplinaire

## Systemes Embarqués et Réseaux Electriques

OD C2SYST2E

---

RESPONSABLE DU PROGRAMME

Mohamed Assaad HAMIDA



# 1er Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 73 / 93	12	Tronc commun	ACSEL INFEM METHOD SSDYN	Analyse et commande de systèmes électriques Informatique embarquée Méthodologie de la commande linéaire Simulation des systèmes dynamiques-prototypage rapide
UE 74 / 94	13	Tronc commun	ANCOS CAVAN IDFIL MODEV P1C2SYS	Stratégie de commande non linéaire, drones Commandes Avancées Identification de systèmes et filtrage Modélisation et vérification des systèmes embarqués Projet 1

## 2e Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 103 / 83	14	Tronc commun	CONUM ETERE IMPDI P2C2SYS SYSIT	Conception numérique sur FPGA Noyau d'exécutif temps réel Implantations discrètes de lois de commande Projet 2 Systèmes interconnectés

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

## Analyse et commande de systèmes électriques [ACSEL]

Responsable(s) du cours : Bogdan MARINESCU

### Objectifs

Acquérir les bases du fonctionnement dynamique des systèmes électriques interconnectés. Une vision « système » d'analyse et commande, propre à l'automaticien, est donnée.

Après avoir suivi ce module, les étudiants seront capables de :

- Comprendre et faire l'analyse des principaux phénomènes dynamiques des systèmes électriques
- Résoudre un problème d'asservissement d'un générateur ou du réseau de transport d'électricité
- Utiliser 2 logiciels professionnels d'analyse et simulation des systèmes électriques de grande taille
- Assurer un travail de recherche (Master 2R ou thèse) ou d'ingénierie dans le secteur électrique (thématiques RTE, EDF ou constructeur de matériel comme, par exemple, Alstom, Siemens, ABB)

### Plan de l'enseignement

Contenu du cours :

- Notions de base d'électrotechnique (lois de Kirchoff, calcul de l'écoulement des charges)
- Modélisation des composants de base d'un système électrique (générateurs, lignes de transport, charges)
- Les principales dynamiques : stabilité transitoire, en petits mouvements, en tension
- Les régulations de base (asservissement de la tension, de la fréquence et amortissement des oscillations inter-zones)
- problématiques de raccordement : intervention industrielle (RTE R et D)

Projets intégrés :

- Load-flow ; régulations de base
- Réglages de haut niveau
- Analyse modale et boucles d'amortissement des oscillations inter-zones

### Bibliographie

- P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994.  
 G. Rogers, Power System Oscillations, Kluwer Academic, 2000.  
 M. Ilic, J. Zaborsky, Dynamics and Control of Large Electric Power Systems, Wiley, 2000.  
 P.W. Sauer, M.A. Pai, Power Systems Dynamics and Stability, Prentice Hall, 1998.  
 J. Cladé, Electrotechnique, Eyrolles, 1989.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	18 hrs	2 hrs	11 hrs	0 hrs	1 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

## Informatique embarquée [INFEM]

Responsable(s) du cours : Mikael BRIDAY

### Objectifs

Les systèmes embarqués sont soumis à de nombreuses contraintes et sont en interaction étroite avec des procédés. Certains systèmes embarqués par exemple dans l'avionique ou l'automobile sont particulièrement critiques et avec de fortes contraintes temps réel.

L'objectif de ce cours est d'aborder ces systèmes embarqués à 2 niveaux d'abstraction:

- avec une programmation directe sur carte embarquée;
- en utilisant un système d'exploitation temps réel (RTOS pour real-time operating system) qui offre des services de plus haut niveau;

Dans ce dernier cas, la programmation multi-tâche et les mécanismes de synchronisation entre tâches sont traitées.

### Plan de l'enseignement

Programmation directe sur carte embarquée:

- Représentation de l'information ;
- Structure d'une carte micro-contrôleur;
- Programmation des entrées/sorties parallèles, analogiques ;
- Programmation des compteurs intégrés, d'une PWM ;
- Interruptions (avec les problèmes de synchronisation associés).

Utilisation d'un exécutif temps réel:

- Décomposition fonctionnelle des systèmes embarqués ;
- Architecture logicielle d'un système de pilotage ;
- Implantation synchrone et asynchrone : rôle de l'exécutif ;
- Structure générale d'un exécutif ;
- Primitives de synchronisation, de gestion des événements et du temps ;
- Exemples d'applications Temps Réel.

### Bibliographie

- D. Patterson & J. Hennessy, Computer Organization and Design – ARM Edition, Morgan Kaufmann, 2017
- Les systèmes d'exploitation temps réel - Techniques de l'Ingénieur R5080 et R5082 - J.P. Elloy Y. Trinquet

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	4 hrs	12 hrs	0 hrs	0 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

## Méthodologie de la commande linéaire [METOD]

Responsable(s) du cours : Guy LEBRET

### Objectifs

Proposer une méthodologie de synthèse de lois de commande des systèmes linéaires multivariables, basée sur l'approche d'état, le concept du problème standard.

### Plan de l'enseignement

- Introduction des concepts de l'approche d'état, commandabilité, observabilité, placement de pôles par retour d'état et par retour d'état reconstruit.
- Spécification du problème de commande linéaire multivariable en terme de problème standard
- Description des outils théoriques nécessaires: problème de régulateur avec stabilité interne (PRSI), robustesse par restauration du transfert de boucle.
- Description de la méthodologie et mise en oeuvre dans la cas monovariante (choix de pôles).

### Bibliographie

- Ph. de Larminat, 'Automatique, Commande des Systèmes Linéaires', Hermès  
 Ph. de Larminat, 'Le Contrôle d'Etat Standard', Hermès.  
 K. Zhou, 'Essential on Robust Control', Prentice Hall.  
 G. Leuret, 'Méthodologie de la Commande', Polycopié Centrale de Nantes.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	2 hrs	8 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Simulation des systèmes dynamiques-prototypage rapide [SSDYN]

*Responsable(s) du cours : Franck PLESTAN*

## Objectifs

Cet enseignement a pour objectif principal de présenter les problématiques et les solutions liées à la simulation de systèmes dynamiques. Il s'agit tout d'abord de présenter de manière non exhaustive des algorithmes d'intégration pouvant être utilisés pour la résolution des équations différentielles décrivant le comportement des systèmes. Ensuite, plusieurs solutions logicielles (Matlab/Simulink, AMESIM) sont présentées et mises en oeuvre. Une part importante de cet enseignement est faite par des intervenants issus de chez les éditeurs de logiciels.

## Plan de l'enseignement

- Rappels mathématiques sur les techniques d'intégration numérique
- Initiation aux logiciels de simulations (à travers des séances de travaux pratiques)
  - + Matlab/Simulink
  - + AMESIM

## Bibliographie

- + Matlab documentation, The Mathworks
- + Amesim documentation, LMS / Siemens

## Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	0 hrs	20 hrs	0 hrs	0 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Stratégie de commande non linéaire, drones [ANCOS]

Responsable(s) du cours : Franck PLESTAN

### Objectifs

Contenu du cours: Introduction aux notions essentielles de structure, d'observation et de commande déterministes des Systèmes Dynamiques Non Linéaires. De nombreuses applications illustrent le cours et montrent son applicabilité. De plus, la commande robuste non linéaire est introduite avec les commandes par Mode Glissants et de type Backstepping.

Compétences acquises :

Après avoir suivi ce cours les étudiants seront capables de :

- Comprendre les bases de l'analyse structurelle des systèmes dynamique non linéaires, des conditions nécessaires pour la commande et l'observabilité de ces systèmes.
- Calculer des commandes déterministes non linéaires (linéarisation, découplage) pour la classe des systèmes étudiés.
- Calculer des commandes robustes non linéaires pour la classe des systèmes étudiés.

### Plan de l'enseignement

- Introduction aux outils mathématiques pour l'Automatique des Systèmes Non linéaires
- Analyse structurelle, commandabilité, observabilité.
- Commande mono et multivariable : linéarisation par bouclage, découplage.
- Introduction aux observateurs des systèmes non linéaires.
- Observateurs par linéarisation modulo injection non linéaire de sortie et d'entrée
- Introduction à la Commande robuste : Modes glissants d'ordre un et deux et de type Backstepping.

Travaux pratiques:

- Commande d'un engin volant à décollage vertical

### Bibliographie

- "Nonlinear Control Systems-3rd edition", A. Isidori, Springer, New York, 1996.
- "Nonlinear systems", Hassan K. Khalil, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- "Sliding mode control and observation", Y. Shtessel, C. Edwards, L. Fridman, A. Levant, Springer, New York, 2016.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.2)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.8)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	2 hrs	8 hrs	0 hrs	2 hrs



## Commandes Avancées [CAVAN]

Responsable(s) du cours : Bogdan MARINESCU

### Objectifs

Donner des moyens d'analyse et commande pour des systèmes complexes ayant plusieurs entrées/sorties et un grand nombre de variables d'état. A la suite des notions de base des formalismes d'état et des fonctions de transfert acquises précédemment, ce cours présente des techniques plus avancées permettant la prise en compte optimale des objectifs des cahiers de charges habituels de l'industrie : poursuite des références, rejet des perturbations, amortissement des oscillations, compensation de l'effet des retards de transmission des données.

Des techniques d'analyse seront également présentées à deux niveaux/buts : pour faciliter la commande mais aussi d'une manière plus générale pour la modélisation, simulation et connaissance des systèmes dynamiques. Ainsi, l'élève découvrira comment réduire les modèles dynamiques complexes, analyser la structure d'un système, choisir ses entrées et distinguer plusieurs représentations d'un même système dynamique donné dans sa forme la plus générale.

En plus des exemples scolaires, 2 applications du domaine électrique seront discutées afin de donner une vision réaliste de la mise en oeuvre de ces techniques de commande et analyse dans un vrai contexte industriel.

### Plan de l'enseignement

Commande optimale  
 - principe de l'optimum  
 - commande linéaire quadratique (LQ)  
 - commande  $H_2$ ,  $H_\infty$   
 - commande prédictive

Analyse  
 - représentation intrinsèque/générale d'un système dynamique  
 - propriétés de structure  
 - réduction de modèle  
 projets intégrés, exercices dirigés

### Bibliographie

Commande optimale  
 F.L. Lewis, V.L. Syrmos, «Optimal Control», 2nd edition 1995 Wiley.  
 J.M. Dion, D. Popescu, Commande optimale - conceptions optimisées des systèmes, Diderot 1996

Commande prédictive standard  
 P. Boucher, D. Dumur, La commande prédictive - avancées et perspectives, Hermes-Lavoisier 2006  
 J. Richalet, Pratique de la commande prédictive standard, Hermes 1993.

$H_2$ ,  $H_\infty$ , LQ, réduction de modèles  
 S. Skogestad, I. Postlethwaite, Multivariable Feedback Control - Analysis and Design, 2nd edition Wiley 2005.  
 K. Zhou, J.C. Doyle, K. Glover, Robust and Optimal Control, Prentice-Hall 1996.  
 K. Zhou, J.C. Doyle, Essential of Robust Control, Prentice Hall 1998.

Analyse systèmes généralisés  
 H. Bourles, Linear Systems, Wiley 2010  
 H. Bourlès, B. Marinescu, Linear Time-Varying Systems, Algebraic-Analytic Approach, LNCIS Springer 2011

## Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	2 hrs	8 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Identification de systèmes et filtrage [IDFIL]

Responsable(s) du cours : Said MOUSSAOUI

### Objectifs

Le filtrage linéaire est une opération basique en traitement du signal pour éliminer une composante indésirable. La première partie de ce cours se focalise sur les techniques de caractérisation et de synthèse de filtres linéaires ainsi que leur application pratique.

La deuxième partie du cours est consacrée aux techniques de modélisation expérimentale de systèmes en utilisant des modèles linéaires. Le cours donne un aperçu détaillé de toute la chaîne de l'identification allant de l'acquisition de signaux à la validation des modèles.

### Plan de l'enseignement

#### 1. Filtrage linéaire

- Principe du filtrage linéaire
- Caractérisation fréquentielle des filtres
- Synthèse de filtres analogiques
- Synthèse de filtres numériques (RIF, RII)

#### 2. Identification de systèmes linéaires

- Méthodologie de l'identification d'un système
- Méthodes d'identification non paramétrique
- Revue des différents modèles paramétriques en temps-discret (ARX, ARMAX, OE)
- Techniques d'estimation des paramètres (moindres carrés, variable instrumentale, optimisation non-linéaire, maximum de vraisemblance)
- Identification de modèles en temps-continu

#### 3. Applications

- Filtrage de signaux audio
- Utilisation de la boîte à outils System Identification
- Identification d'un système électromécanique

### Bibliographie

- L. Ljung, System identification, Theory for the user, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1987  
 T. Soderstrom and P. Stoica, System identification, Prentice Hall, 1989  
 H. Garnier and L. Wang, Identification of continuous-time models from sampled data, Springer, 2008  
 H. Kwakernaak and R. Sivan, Modern signals and systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1991

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	4 hrs	10 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Modélisation et vérification des systèmes embarqués [MODEV]

Responsable(s) du cours : Olivier Henri ROUX

### Objectifs

Les systèmes embarqués sont soumis à de nombreuses contraintes et certains sont en interaction étroite avec des procédés dangereux ou interviennent dans des processus de décisions impactant des vies humaines. Le développement de tels systèmes doit offrir des garanties de bon fonctionnement et de bon rétablissement en cas de défaillance d'une partie interne ou d'un environnement non prévu. Les modèles et méthodes formelles permettent de garantir des propriétés de sûreté de fonctionnement et ainsi d'augmenter le degré de confiance en ces systèmes, Certains systèmes embarqués par exemple dans l'avionique ou l'automobile sont particulièrement critiques et avec de fortes contraintes temps réel. Ce cours a pour but de présenter les modèles et méthodes de vérifications formelles allant de modèles discrets (automates finis) à des modèles permettant de prendre en compte le temps.

### Plan de l'enseignement

Introduction : Comprendre et savoir utiliser les méthodes de vérification formelle des systèmes embarqués critiques tels que les systèmes avioniques.

Contenu du cours :

- 1) La vérification des systèmes discrets (automates finis, réseaux de Petri)
- 2) Les modèles temporisés : Les méthodes symboliques de vérification.
- 3) Les modèles paramétrés : La synthèse de paramètres

Travaux pratiques: Utilisation des outils UPPAAL et ROMEIO

### Bibliographie

Claude Jard and Olivier H. Roux, editors. Communicating Embedded Systems - Software and Design. ISTE Publishing / John Wiley, October 2009. ISBN:978-1-8482-1143-8.

Claude Jard and Olivier H. Roux, editors. Approches formelles des systèmes embarqués communicants. Traité IC2. Hermes Lavoisier, 2008. ISBN: 978-2-7462-1942-7.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.2)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.8)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	2 hrs	8 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Projet 1 [P1C2SYS]

Responsable(s) du cours : Mohamed Assaad HAMIDA

### Objectifs

Dans le cadre d'une option disciplinaire, 80 heures sont réservées à la réalisation de projets:

- 32 heures sont réalisées pendant la période fin novembre-fin janvier (2e bloc d'enseignement d'option) : projet1.
- 48 heures sont réalisées pendant la période début février-fin mars (3e bloc d'enseignement d'option) : projet2.

Ces projets se font en binômes.

Chaque binôme peut réaliser un projet unique de 80h avec une évaluation intermédiaire au bout des 32 premières heures, sous forme d'un rapport (ou d'une mini-soutenance), ou deux projets distincts de 32 et 48 heures respectivement (un projet unique est cependant privilégié par les encadreurs). Une soutenance finale permet d'évaluer le projet complet.

Les sujets peuvent être proposés par les intervenants de l'option, par des industriels en contact avec les intervenants de l'option, par les étudiants en contacts avec des industriels.

### Plan de l'enseignement

Exemples de sujets réalisés:

Projet proposé par des étudiants en contact avec l'association des « Machines de L'Iles ».

Projet en partenariat avec la société QIVIVO (régulation de chauffage d'une maison).

Projet associé à un contrat STX : Pilotage des voiles d'un paquebot hybride Voiles-Diesel.

Projets liés à la Chaire RTE : Analyse des dynamiques d'un générateur électrique couplé à un réseau de transport d'énergie électrique.

Commande de pendules inverses motorisés (de type Segway) : application sur deux prototype de l'option NXTway de lego Mindstorm, le Balanduino.

Commande robuste d'un hélicoptère à 3DDL soumis à du vent : application sur un prototype de l'IRCCyN.

Commande d'une picobrasserie à l'aide d'un micro contrôleur de type Arduino.

### Bibliographie

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	1	0 hrs	0 hrs	0 hrs	32 hrs	0 hrs

# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

## Conception numérique sur FPGA [CONUM]

Responsable(s) du cours : Olivier Henri ROUX

### Objectifs

Objectifs :

- Maîtriser les spécificités et caractéristiques des approches synchrones
- Etre capable de mettre en œuvre un système synchrone et le programmer avec différents langages dont IE VHDL

Moyens :

- Etude des systèmes logiques synchrones vs asynchrones
- Etude des architectures matérielles et du langage VHDL.
- Travaux pratiques sur cible FPGA pour le contrôle d'une partie opérative non simulée

### Plan de l'enseignement

- 1) Architectures matérielles synchrones
- 2) VHDL et FPGA

### Bibliographie

<https://en.wikipedia.org/wiki/VHDL>

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	8 hrs	4 hrs	20 hrs	0 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

**Noyau d'exécutif temps réel [ETERE]***Responsable(s) du cours : Jean-Luc BECHENNEC***Objectifs**

L'objectif du cours est de comprendre le fonctionnement des systèmes d'exploitation temps-réel compatibles OSEK-VDX et AUTOSAR. Ces deux standards sont employés pour la conception des calculateurs embarqués dans les véhicules automobiles. Les connaissances apportées en cours sont ensuite mises en œuvre sur des cartes embarquées via le développement de petites applications destinées à explorer toutes les facettes du système d'exploitation.

**Plan de l'enseignement**

Présentation des concepts fondamentaux d'un OS embarqué temps-réel :

- Contexte d'exécution et changement de contexte
- Ordonnancement
- Synchronisation
- Communication

Présentation du fonctionnement et de l'API des OS compatibles OSEK-VDX et AUTOSAR et mise en œuvre :

- Gestion des tâches
- Gestion des événements
- Mise en œuvre de tâches périodiques avec les alarmes
- Exclusion mutuelle et protocole PCP
- communication inter-tâches
- tables d'ordonnancement.

**Bibliographie**

Spécification OSEK-VDX : <http://trampolinebin.rts-software.org/os223.pdf>

Spécification AUTOSAR : <http://www.autosar.org>

**Évaluation**

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	8 hrs	22 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

**Implantations discrètes de lois de commande [IMPDI]***Responsable(s) du cours : Guy LEBRET***Objectifs**

Lors de la synthèse d'une loi de commande continue, analogique, on ne tient pas compte, entre autres, de l'échantillonnage et/ou de la reconstruction des signaux. Ce cours a pour objectif de décrire les spécificités des lois de commande numériques et donc des aménagements à apporter pour la synthèse et la mise en œuvre de lois de commande par ordinateur, micro contrôleurs, des systèmes dynamiques. Des travaux pratiques permettront une mise en œuvre numérique de PID.

**Plan de l'enseignement**

- Spécificité de l'échantillonnage et de la reconstruction des convertisseurs Analogique-Digitaux et Digitaux-Analogiques. Choix de la période d'échantillonnage.
- Rappels sur la transformée en Z et les transferts en Z des systèmes linéaires.
- Du système continu à la boucle fermée numérique.
- Synthèse de lois de commande par numérisation de lois de commande analogique.
- Synthèse directe de lois de commande pour les systèmes discrets.
- TP sur maquettes pédagogiques utilisant Matlab/Simulink.

**Bibliographie**

Roland Longchamp, Commande Numérique des systèmes dynamiques - méthode de base (tome1)', Presse polytechnique et universitaires Romandes. 2010 (3e édition).

**Évaluation**

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.6)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.4)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	15 hrs	0 hrs	16 hrs	0 hrs	1 hrs



# INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

## Projet 2 [P2C2SYS]

Responsable(s) du cours : Mohamed Assaad HAMIDA

### Objectifs

Dans le cadre d'une option disciplinaire, 80 heures sont réservées à la réalisation de projets.

- 32 heures sont réalisées pendant la période fin novembre-fin janvier (2e bloc d'enseignement d'option) : projet1.
- 48 heures sont réalisées pendant la période début février-fin mars (3e bloc d'enseignement d'option) : projet2.

Ces projets se font en binômes.

Chaque binôme peut réaliser un projet unique de 80h avec une évaluation intermédiaire au bout des 32 premières heures, sous forme d'un rapport (ou d'une mini-soutenance), ou deux projets distincts de 32 et 48 heures respectivement (un projet unique est cependant privilégié par les encadreurs). Une soutenance finale permet d'évaluer le projet complet.

Les sujets peuvent être proposés par les intervenants de l'option, par des industriels en contact avec les intervenants de l'option, par les étudiants en contacts avec des industriels.

### Plan de l'enseignement

Exemples de sujets réalisés:

- Projet proposé par des étudiants en contact avec l'association des « Machines de L'Iles ».
- Projet en partenariat avec la société QIVIVO (régulation de chauffage d'une maison).
- Projet associé à un contrat STX : Pilotage des voiles d'un paquebot hybride Voiles-Diesel.
- Projets liés à la Chaire RTE : Analyse des dynamiques d'un générateur électrique couplé à un réseau de transport d'énergie électrique.
- Commande de pendules inverses motorisés (de type Segway) : application sur deux prototype de l'option NXTway de lego Mindstorm, le Balanduino.
- Commande robuste d'un hélicoptère à 3DDL soumis à du vent : application sur un prototype de l'IRCCyN.
- Commande d'une picobrasserie à l'aide d'un micro contrôleur de type Arduino.

### Bibliographie

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	2	0 hrs	0 hrs	0 hrs	48 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD C2SYST2E

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

**Systèmes interconnectés [SYSIT]**

Responsable(s) du cours : Mikael BRIDAY

**Objectifs**

Comprendre comment effectuer des échanges de données entre micro-contrôleurs : liaison série asynchrone, bus I2C, SPI et CAN, Ethernet, Wifi, liaison radio.

Le cours et les TP s'appuient sur des cartes Adafruit Feather M0 Wifi et Teensy 3.6, programmées via l'IDE Arduino.

**Plan de l'enseignement**

Le point sur les systèmes de type Arduino  
Liaison série asynchrone  
Le bus I2C  
Le bus SPI  
Les lignes de transmission  
Somme de contrôle  
Le réseau CAN (Controller Area Network)  
La pile de protocoles TCP / IP  
Liaison Wifi  
Liaison Radio

**Bibliographie**

SPI : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://fr.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface)  
I2C : <https://fr.wikipedia.org/wiki/I2C>  
CAN : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bus\\_de\\_données\\_CAN](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bus_de_données_CAN)  
UART : <https://fr.wikipedia.org/wiki/UART>  
Ethernet : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ethernet>  
Wifi : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

**Évaluation**

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	0 hrs	22 hrs	0 hrs	0 hrs