

# Master en sciences de l'ingénieur industriel - électromécanique Finalité automatique

<b>HELHa Campus Mons</b> 159 Chaussée de Binche 7000 MONS		
Tél : +32 (0) 65 40 41 46	Fax : +32 (0) 65 40 41 56	Mail : tech.mons@helha.be

## 1. Identification de l'Unité d'Enseignement

UE ME516 COP Automatique III			
Ancien Code	TEMA2M16	Caractère	Obligatoire
Nouveau Code	MIAM2160		
Bloc	2M	Quadrimestre(s)	Q1
Crédits ECTS	10 C	Volume horaire	120 h
Coordonnées des responsables et des intervenants dans l'UE	<b>Sophie BOURDON</b> (bourdons@helha.be) <b>Adrien POURBAIX</b> (pourbaixa@helha.be) <b>Jean-Baptiste COULAUD</b> (coulaudjb@helha.be) <b>Julien VACHAUDEZ</b> (vachaudezj@helha.be)		
Coefficient de pondération	100		
Cycle et niveau du Cadre Francophone de Certification	master / niveau 7 du CFC		
Langue d'enseignement et d'évaluation	Français		

## 2. Présentation

### Introduction

Cette unité d'enseignement fait partie de la formation d'ingénieur industriel en électromécanique, filière automatique.

Elle a pour but d'aborder les concepts suivants :

- Régulation numérique
- Régulation HVAC
- Régulation avancée
- Traitement numérique du signal

### Contribution au profil d'enseignement (cf. référentiel de compétences)

Cette Unité d'Enseignement contribue au développement des compétences et capacités suivantes :

#### Compétence 1 **Identifier, conceptualiser et résoudre des problèmes complexes**

- 1.1 Intégrer les savoirs scientifiques et technologiques afin de faire face à la diversité et à la complexité des problèmes rencontrés
- 1.4 Modéliser, calculer et dimensionner des systèmes
- 1.5 Sélectionner et exploiter les logiciels et outils conceptuels les plus appropriés pour résoudre une tâche spécifique

#### Compétence 2 **Concevoir et gérer des projets de recherche appliquée**

- 2.2 Réaliser des simulations, modéliser des phénomènes afin d'approfondir les études et la recherche sur des sujets technologiques ou scientifiques
- 2.3 Mener des études expérimentales, en évaluer les résultats et en tirer des conclusions

#### Compétence 7 **Communiquer face à un public de spécialistes ou de non-spécialistes, dans des contextes nationaux et internationaux**

- 7.1 Maîtriser les méthodes et les moyens de communication en les adaptant aux contextes et aux publics

#### Compétence 8 **S'engager dans une démarche de développement professionnel**

- 8.1 Réaliser une veille technologique dans sa sphère d'expertise
- 8.5 Actualiser ses connaissances et s'engager dans les formations complémentaires adéquates

### Acquis d'apprentissage visés

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "**Régulation numérique**", l'étudiant sera capable :

- d'établir, à partir d'un énoncé, le schéma fonctionnel d'une boucle de régulation numérique
- de décrire, à partir d'un schéma fonctionnel, les différentes parties d'une boucle de régulation numérique
- de choisir, à partir d'un cahier des charges, un régulateur numérique adéquat et d'en calculer les paramètres
- d'utiliser le logiciel Matlab pour simuler le comportement d'une boucle de régulation numérique

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "**Régulation HVAC**", l'étudiant sera capable :

- d'analyser une description fonctionnelle et un diagramme P&ID des processus de régulation des unités suivantes : centrale de traitement de l'air, chaufferie, cogénération, centrale de production de froid, régulation terminale de zone ;
- de traduire cette description fonctionnelle en liste d'entrée/sortie pour le dimensionnement et l'implémentation du processus de régulation thermique ainsi qu'en une topologie réseau ;
- de choisir les capteurs, actionneurs et automates de régulation en vue de la mise en oeuvre de la régulation.
- d'évaluer la performance énergétique des régulations selon la norme EN15232

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "**Régulation avancée**", l'étudiant sera capable :

- d'appréhender un modèle non linéaire
- de caractériser sa stabilité, contrôlabilité, ...

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "**Traitement numérique du signal**", l'étudiant sera capable :

- Expliquer l'intérêt et les enjeux du traitement numérique du signal
- Manipuler le vocabulaire, les outils et les techniques de base, tant en théorie qu'en pratique
- Réaliser une analyse spectrale correcte (avec Python ou équivalent)
- Concevoir et appliquer un filtrage numérique adapté à un signal physique acquis
- Maîtriser les représentations temporelles et fréquentielles, ainsi que leur interprétation physique
- Effectuer des choix justifiés (fréquence d'échantillonnage, durée d'observation, type de fenêtre)
- Évaluer les conséquences positives et négatives de ces choix sur la qualité des résultats
- Concevoir un filtre numérique à partir de spécifications (avec Python)
- Choisir le type et l'ordre du filtre, le représenter (équation aux récurrences, fonction de transfert, réponse en fréquence)
- Résoudre des problèmes pratiques d'analyse spectrale et de filtrage numérique

### Liens avec d'autres UE

Prérequis pour cette UE : aucun

Corequis pour cette UE : aucun

## 3. Description des activités d'apprentissage

Cette unité d'enseignement comprend l(es) activité(s) d'apprentissage suivante(s) :

TEMA2M16A	Régulation numérique	48 h / 4 C
TEMA2M16B	Régulation HVAC	24 h / 2 C
TEMA2M16C	Régulation avancée	24 h / 2 C
TEMA2M16E	Traitement numérique du signal	24 h / 2 C

Les descriptions détaillées des différentes activités d'apprentissage sont reprises dans les fiches descriptives jointes.

## 4. Modalités d'évaluation

Les 100 points attribués dans cette UE sont répartis entre les différentes activités de la manière suivante :

TEMA2M16A	Régulation numérique	40
TEMA2M16B	Régulation HVAC	20
TEMA2M16C	Régulation avancée	20
TEMA2M16E	Traitement numérique du signal	20

Les formes d'évaluation et les dispositions complémentaires particulières des différentes activités d'apprentissage sont reprises dans les fiches descriptives jointes.

### **Dispositions complémentaires relatives à l'UE**

La cote finale de l'UE sera calculée sur base d'une **moyenne géométrique pondérée**.

Si le nombre de points cumulés en échecs dans les AA de l'UE est supérieur à 3, alors la note de l'UE sera la note de l'AA la plus basse.

La ou les visites d'entreprise éventuelle (s) organisée(s) durant l'année sont également obligatoires pour valider l'UE. En cas d'absence lors d'une visite industrielle, l'UE sera non validée et l'étudiant devra réaliser un travail écrit.

Les épreuves d'évaluation peuvent se faire en présentiel ou en distanciel.

Si l'étudiant fait une note de présence ou s'il ne se présente pas lors d'une évaluation, la note de PR ou PP sera alors attribuée à l'UE.

D'autres modalités d'évaluation peuvent être prévues en fonction du parcours académique de l'étudiant. Celles-ci seront alors consignées dans un contrat didactique spécifique proposé par le responsable de l'UE, validé par la direction ou son délégué et signé par l'étudiant pour accord.

## **5. Cohérence pédagogique**

Dans la filière Automatique, les AA s'articulent autour de trois grands domaines : la régulation, les automates programmables et l'informatique appliquée.

Dans cette UE ont été rassemblées les AA : "Régulation numérique", "Régulation HVAC", "Régulation avancée" et "Traitement numérique du signal", celles-ci sont directement en lien avec le domaine de la Régulation.

De plus, les programmes proposés par la filière Automatique s'inspirent directement des évolutions technologiques actuelles et des besoins du marché.

Référence au RGE

En cas de force majeure, une modification éventuelle en cours d'année peut être faite en accord avec le Directeur adjoint de département, et notifiée par écrit aux étudiants. (article 67 du règlement général des études 2025-2026).

# Master en sciences de l'ingénieur industriel - électromécanique Finalité automatique

**HELHa Campus Mons** 159 Chaussée de Binche 7000 MONS

Tél : +32 (0) 65 40 41 46

Fax : +32 (0) 65 40 41 56

Mail : tech.mons@helha.be

## 1. Identification de l'activité d'apprentissage

Régulation numérique			
Ancien Code	9_TEMA2M16A	Caractère	Obligatoire
Nouveau Code	MIAM2161		
Bloc	2M	Quadrimestre(s)	Q1
Crédits ECTS	4 C	Volume horaire	48 h
Coordonnées du Titulaire de l'activité et des intervenants	<b>Sophie BOURDON</b> (bourdons@helha.be)		
Coefficient de pondération	40		
Langue d'enseignement et d'évaluation	Français		

## 2. Présentation

### Introduction

Cette activité d'apprentissage fait partie de la formation d'ingénieur industriel en électromécanique, filière automatique.

Elle a pour but d'aborder les concepts suivants : Régulation Numérique

### Objectifs / Acquis d'apprentissage

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "Régulation numérique", l'étudiant sera capable :

- d'établir, à partir d'un énoncé, le schéma fonctionnel d'une boucle de régulation numérique
- de décrire, à partir d'un schéma fonctionnel, les différentes parties d'une boucle de régulation numérique
- de choisir, à partir d'un cahier des charges, un régulateur numérique adéquat et d'en calculer les paramètres d'utiliser le logiciel Matlab pour simuler le comportement d'une boucle de régulation numérique

## 3. Description des activités d'apprentissage

### Contenu

Pour la partie "Régulation numérique", les concepts et théories suivantes seront abordées :

- Structure des systèmes numériques
- Etude des convertisseurs (CAN et CNA)
- Echantillonnage et théorème de Shannon
- Equation de récurrence et transformée en z
- Régulateurs numériques.

### Démarches d'apprentissage

Pour la partie "Régulation numérique": exposés théoriques en alternance avec de nombreux exercices

### Dispositifs d'aide à la réussite

Pour la partie "Régulation numérique": mise à disposition des corrections des exercices proposés au cours

### Sources et références

Néant

### Supports en ligne

Les supports en ligne et indispensables pour acquérir les compétences requises sont :

Mise à disposition des supports de théorie et d'exercices sur la plateforme ConnectED

## 4. Modalités d'évaluation

### Principe

Pour la partie "Régulation numérique", l'évaluation se fait sur base d'une **interrogation durant la mini-session** portant sur la théorie, les exercices et les projets Matlab

### Pondérations

	Q1		Q2		Q3	
	Modalités	%	Modalités	%	Modalités	%
production journalière						
Période d'évaluation					Exe	100

Exe = Examen écrit

La pondération de cette activité d'apprentissage au sein de l'UE dont elle fait partie vaut 40

### Dispositions complémentaires

Néant

Référence au RGE

En cas de force majeure, une modification éventuelle en cours d'année peut être faite en accord avec le Directeur de département, et notifiée par écrit aux étudiants. (article 67 du règlement général des études 2025-2026).

# Master en sciences de l'ingénieur industriel - électromécanique Finalité automatique

**HELHa Campus Mons** 159 Chaussée de Binche 7000 MONS  
Tél : +32 (0) 65 40 41 46 Fax : +32 (0) 65 40 41 56 Mail : tech.mons@helha.be

## 1. Identification de l'activité d'apprentissage

Régulation HVAC			
Ancien Code	9_TEMA2M16B	Caractère	Obligatoire
Nouveau Code	MIAM2162		
Bloc	2M	Quadrimestre(s)	Q1
Crédits ECTS	2 C	Volume horaire	24 h
Coordonnées du Titulaire de l'activité et des intervenants	<b>Adrien POURBAIX</b> (pourbaixa@helha.be)		
Coefficient de pondération	20		
Langue d'enseignement et d'évaluation	Français		

## 2. Présentation

### Introduction

Cette activité d'apprentissage s'inscrit dans le cadre de la formation d'ingénieur industriel en électromécanique, orientation automatique, énergie et techniques spéciales.

Elle a pour objectif d'aborder les principes de la régulation appliquée aux systèmes HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), en mettant l'accent sur les spécificités techniques et les enjeux liés au confort, à l'efficacité énergétique et à la gestion automatisée des installations.

Le contenu est structuré en trois modules complémentaires :

1. Module HVAC : présentation des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation, leurs composants et leur fonctionnement ;
2. Module Control : étude des boucles de régulation, capteurs, actionneurs, et stratégies de commande adaptées aux installations HVAC ;
3. Module Application pratique : mise en œuvre concrète des concepts à travers des études de cas, des simulations ou des travaux pratiques.

### Objectifs / Acquis d'apprentissage

Au terme de cette unité d'enseignement, **pour le module HVAC**, l'étudiant sera capable :

- D'expliquer le fonctionnement des composants principaux d'une installation HVAC (vannes, CTA, sondes, ...) et leurs impacts sur la régulation d'un système dans son ensemble.

Au terme de cette unité d'enseignement, **pour le module control**, l'étudiant sera capable :

- d'analyser une description fonctionnelle et un diagramme P&ID des processus de régulation des composants principaux d'une installation HVAC ;
- Mettre en œuvre des boucles de régulation HVAC simples ;
- de traduire cette description fonctionnelle en liste d'entrée/sortie pour le dimensionnement et l'implémentation du processus de régulation thermique ainsi qu'en une topologie réseau ;

Au terme de cette unité d'enseignement, pour le module "**application pratique**", l'étudiant sera capable :

- De sélectionner et positionner correctement des capteurs et actionneurs;
- Sélectionner des cartes d'entrées/sorties;
- D'analyser un schéma de principe hydraulique;
- De rédiger une analyse fonctionnelle à partir de ce schéma.

### 3. Description des activités d'apprentissage

#### Contenu

##### Pour le module HVAC :

- Les principes de fonctionnement des composants principaux présents dans une installations HVAC ainsi que leurs impacts sur la régulation du système dans son ensemble;
- L'explication des certifications BREEAM et WELL.

##### Pour le module control:

- Les principes de régulation appliqués au domaine HVAC, identification en boucle ouverte et dimensionnement de régulateurs;
- Les capteurs spécifiques au domaine de l'HVAC;
- Les protocoles de communication rencontrés dans le domaine de l'HVAC;
- Les différents types de contrôleurs;
- Des exercices de simulation de contrôle simple dans le domaine HVAC.

##### Pour le module "**application pratique**" :

- Applications pratiques des notions appréhendées dans les modules précédents.

#### Démarches d'apprentissage

Pour le **module HVAC**, 2h de cours théoriques plénières.

Pour le **module control**, 14h

Pour le **module "application pratique"**, 2\*4h de travail de groupe assistées par l'enseignant.

#### Dispositifs d'aide à la réussite

#### Sources et références

<https://www.grundfos.com/be/fr>

[https://www.belimo.com/us/en\\_US/](https://www.belimo.com/us/en_US/)

<https://www.mitsubishi-electric.co.nz/>

<https://www.trox.fr/>

<https://energieplus-lesite.be/>

<https://wilo.com/fr/fr/>

<https://www.imi-hydronic.com/>

<https://bregroup.com/>

<https://www.vma.be/fr>

Desmons, Jean. Régulation en génie climatique, Froid - Climatisation - Chauffage. 3e édition. Dunod, 2016.

Flament, Jean-Baptiste Bouvenot & Bernard. Génie climatique et énergétique, Régulation des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation. Théorie et problèmes d'application résolus. Editions Eyrolles, 2019.

### Supports en ligne

Les supports en ligne et indispensables pour acquérir les compétences requises sont :

Différents supports de cours disponible sur ConnectED

## 4. Modalités d'évaluation

### Principe

En première session :

**Le module control** sera évalué sur base de questions orales posés individuellement lors du dernier cours.

**Le module "application pratique"** sera évalué sur base d'un rapport de projet à remettre par groupe à une date convenue par l'enseignant.

La note du module de control sera pondérée à 1/3 tandis que la note du module "application pratique" sera pondérée à 2/3

En seconde session :

Les modules HVAC, control et "application pratique" seront évalués sur base de la réalisation individuelle d'une présentation orale de 10min d'un sujet fourni par les enseignants responsables de ces 3 modules.

### Pondérations

	Q1		Q2		Q3	
	Modalités	%	Modalités	%	Modalités	%
production journalière						
Période d'évaluation	Prj + Exo	100			Trv	100

Prj = Projet(s), Exo = Examen oral, Trv = Travaux

La pondération de cette activité d'apprentissage au sein de l'UE dont elle fait partie vaut 20

### Dispositions complémentaires

Référence au RGE

En cas de force majeure, une modification éventuelle en cours d'année peut être faite en accord avec le Directeur de département, et notifiée par écrit aux étudiants. (article 67 du règlement général des études 2025-2026).



# Master en sciences de l'ingénieur industriel - électromécanique Finalité automatique

**HELHa Campus Mons** 159 Chaussée de Binche 7000 MONS

Tél : +32 (0) 65 40 41 46

Fax : +32 (0) 65 40 41 56

Mail : tech.mons@helha.be

## 1. Identification de l'activité d'apprentissage

Régulation avancée			
Ancien Code	9_TEMA2M16C	Caractère	Obligatoire
Nouveau Code	MIAM2163		
Bloc	2M	Quadrimestre(s)	Q1
Crédits ECTS	2 C	Volume horaire	24 h
Coordonnées du Titulaire de l'activité et des intervenants	<b>Jean-Baptiste COULAUD</b> (coulaudjb@helha.be)		
Coefficient de pondération	20		
Langue d'enseignement et d'évaluation	Français		

## 2. Présentation

### Introduction

Cette activité d'apprentissage fait partie de la formation d'ingénieur industriel en électromécanique, filière automatique.

Elle a pour but de permettre aux étudiants d'élargir leur horizon sur le panel d'outils existant dans le monde de l'automatique et de la régulation, en particulier concernant les systèmes non linéaires et MIMO.

### Objectifs / Acquis d'apprentissage

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "Régulation avancée", l'étudiant sera capable :

- d'appréhender un modèle non linéaire MIMO,
- de caractériser sa stabilité, contrôlabilité, ...
- d'identifier les méthodes spécifiques que l'on peut envisager pour automatiser sa commande.

## 3. Description des activités d'apprentissage

### Contenu

Pour la partie "Régulation avancée", les concepts et théories suivantes seront abordées :

- Systèmes non linéaires et représentation d'état
- Systèmes MIMO (multiple input multiple output)
- Linéarisation de modèle
- Contrôlabilité - stabilité - robustesse - observabilité
- Planification de trajectoire
- Commande optimale / commande prédictive
- Simulation
- Utilisation de l'IA comme outil de définition de commande

### Démarches d'apprentissage

Pour la partie "Régulation avancée": Prises de rendez-vous possibles en parallèle du cours pour la

préparation des exposés et des projets.

### **Dispositifs d'aide à la réussite**

Néant

### **Sources et références**

Néant

### **Supports en ligne**

Les supports en ligne et indispensables pour acquérir les compétences requises sont :

les supports de théorie et d'exercices sur la plateforme ConnectED

## **4. Modalités d'évaluation**

### **Principe**

L'évaluation se fait sur base

- de présentations/rapports de travaux/programmes et d'articles (individuels ou en groupe)
- d'un examen oral réservé aux étudiants qui auraient échoué lors des présentations

### **Pondérations**

	Q1		Q2		Q3	
	Modalités	%	Modalités	%	Modalités	%
production journalière						
Période d'évaluation						

La pondération de cette activité d'apprentissage au sein de l'UE dont elle fait partie vaut 20

### **Dispositions complémentaires**

En cas de situation particulière (motif légitime, situation sanitaire...) les modes de dispensation des cours et d'évaluation pourraient être adaptés.

Référence au RGE

En cas de force majeure, une modification éventuelle en cours d'année peut être faite en accord avec le Directeur de département, et notifiée par écrit aux étudiants. (article 67 du règlement général des études 2025-2026).

# Master en sciences de l'ingénieur industriel - électromécanique Finalité automatique

**HELHa Campus Mons** 159 Chaussée de Binche 7000 MONS

Tél : +32 (0) 65 40 41 46

Fax : +32 (0) 65 40 41 56

Mail : tech.mons@helha.be

## 1. Identification de l'activité d'apprentissage

Traitement numérique du signal			
Ancien Code	9_TEMA2M16E	Caractère	Obligatoire
Nouveau Code	MIAM2164		
Bloc	2M	Quadrimestre(s)	Q1
Crédits ECTS	2 C	Volume horaire	24 h
Coordonnées du <b>Titulaire</b> de l'activité et des intervenants	<b>Julien VACHAUDEZ</b> (vachaudezj@helha.be)		
Coefficient de pondération	20		
Langue d'enseignement et d'évaluation	Français		

## 2. Présentation

### Introduction

Cette unité d'enseignement a pour objectif d'initier les étudiants aux principes et techniques du traitement numérique du signal et à leur mise en oeuvre sur des signaux réels.

### Objectifs / Acquis d'apprentissage

Au terme de cette unité d'enseignement, pour la partie "Traitement numérique du signal", l'étudiant sera capable de :

- Expliquer l'intérêt et les enjeux du traitement numérique du signal.
- Manipuler le vocabulaire, les outils et les techniques de base, tant en théorie qu'en pratique.
- Réaliser une analyse spectrale correcte (avec Python ou équivalent).
- Concevoir et appliquer un filtrage numérique adapté à un signal physique acquis.
- Maîtriser les représentations temporelles et fréquentielles, ainsi que leur interprétation physique.
- Effectuer des choix justifiés (fréquence d'échantillonnage, durée d'observation, type de fenêtre).
- Évaluer les conséquences positives et négatives de ces choix sur la qualité des résultats.
- Concevoir un filtre numérique à partir de spécifications (avec Python).
- Choisir le type et l'ordre du filtre, le représenter (équation aux récurrences, fonction de transfert, réponse en fréquence).
- Résoudre des problèmes pratiques d'analyse spectrale et de filtrage numérique.

## 3. Description des activités d'apprentissage

### Contenu

A travers l'ensemble des activités d'apprentissage, les concepts et théories suivants seront abordés :

- Introduction au traitement du signal et mise en situation;
- Représentation fréquentielle des signaux analogiques : Séries de Fourier et Transformée de Fourier;
- Représentation fréquentielle de signaux numériques : Transformée de Fourier Rapide (FFT) et mise en oeuvre d'analyse spectrale de signaux réels;
- Éléments de filtrage analogique;
- Filtrage numérique : équations aux récurrences, transformée en z et mise en oeuvre pratique de filtrage numérique de signaux réels;
- Applications;

### Démarches d'apprentissage

Approche combinant les outils mathématiques et leurs conséquences pratiques lors d'exposés magistraux.  
Travail individuel en laboratoires (sur PC) visant à intégrer les outils théoriques et à les utiliser concrètement dans des cas académiques et pratiques.

### Dispositifs d'aide à la réussite

L'enseignant est disponible et répond aux questions sur rendez-vous.

### Sources et références

Cottet F., "Traitement du signal", Dunod, 2017

Mitra S, "Digital Signal Processing : A computer based approach", McGraw Hill Edt, 1998.

### Supports en ligne

Les supports en ligne et indispensables pour acquérir les compétences requises sont :

Slides du cours disponibles sur la plateforme ConnectED.

## 4. Modalités d'évaluation

### Principe

L'évaluation de ce cours repose sur la réalisation d'un projet en traitement numérique du signal, dans lequel l'étudiant devra analyser un signal réel, appliquer les techniques vues au cours (analyse spectrale, filtrage, conception d'outils numériques) et présenter les résultats de manière argumentée et critique.

### Pondérations

	Q1		Q2		Q3	
	Modalités	%	Modalités	%	Modalités	%
production journalière						
Période d'évaluation	Prj	100			Prj	100

Prj = Projet(s)

La pondération de cette activité d'apprentissage au sein de l'UE dont elle fait partie vaut 20

### Dispositions complémentaires

D'autres modalités d'évaluation peuvent être prévues en fonction du parcours académique de l'étudiant. Celles-ci seront alors consignées dans un contrat didactique spécifique proposé par le responsable de l'UE, validé par la direction ou son délégué et signé par l'étudiant pour accord.

Référence au RGE

En cas de force majeure, une modification éventuelle en cours d'année peut être faite en accord avec le Directeur de département, et notifiée par écrit aux étudiants. (article 67 du règlement général des études 2025-2026).