



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

اللجنة البيداغوجية الوطنية لميدان العلوم و التكنولوجيا

Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



# MASTER ACADEMIQUE HARMONISE PROGRAMME NATIONAL

## -Mise à jour 2022-

Domaine	Filière	Spécialité
<i>Sciences et Technologies</i>	<i>Electromécanique</i>	<i>Electromécanique</i>



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

اللجنة البيداغوجية الوطنية لميدان العلوم و التكنولوجيا

Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



# مواعمة ماستر أكاديمي

## تحيين 2022

التخصص	الفرع	الميدان
كهروميكانيك	كهروميكانيك	علوم و تكنولوجيا

## **I – Fiche d'identité du Master**

## Conditions d'accès

*(Indiquer les spécialités de licence qui peuvent donner accès au Master)*

Filière	Master harmonisé	Licences ouvrant accès au master	Classement selon la compatibilité de la licence	Coefficient affecté à la licence
<b>Electromécanique</b>	Electromécanique	Electromécanique	<b>1</b>	<b>1.00</b>
		Maintenance Industrielle	<b>2</b>	<b>0.80</b>
		Electrotechnique	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Electronique	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Construction mécanique	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Energétique	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Autres licences du domaine ST	<b>5</b>	<b>0.60</b>

## **II - Fiches d'organisation semestrielles des enseignements de la spécialité**

**Semestre 1 Master : Electromécanique**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Modélisation et simulation des machines électriques	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Electronique de puissance avancée	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Réseaux électriques industriels	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Mécanismes industriels et transmission de puissance	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Machines hydrauliques et pneumatiques	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Modélisation et simulation des machines électriques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Electronique de puissance avancée	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Réseaux électriques industriels	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Mécanismes industriels et transmission de puissance	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Machines hydrauliques et pneumatiques	1	1			1h00	15h00	10h00	100%	
UE Découverte Code : UED 1.1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
UE Transversale Code : UET 1.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Anglais technique et terminologie	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
<b>Total semestre 1</b>		<b>30</b>	<b>17</b>	<b>12h00</b>	<b>6h00</b>	<b>7h00</b>	<b>375h00</b>	<b>375h00</b>		

**Semestre 2 Master : Electromécanique**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.1 Crédits : 8 Coefficients : 4	Commande des machines électriques	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Commande hydraulique et pneumatique	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.2 Crédits : 10 Coefficients : 5	Thermodynamique appliquée	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Mécanique des fluides appliquée	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Diagnostic et surveillance	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
UE Méthodologique Code : UEM 1.2 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Commande des machines électriques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Commande hydraulique et pneumatique	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Thermodynamique appliquée	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	Méthodes numériques appliquées	3	2	1h30		1h00	37h30	37h30	40%	60%
UE Découverte Code : UED 1.2 Crédits : 2 Coefficients : 2	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
UE Transversale Code : UET 1.2 Crédits : 1 Coefficients : 1	Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
<b>Total semestre 2</b>		<b>30</b>	<b>17</b>	<b>13h30</b>	<b>6h00</b>	<b>7h00</b>	<b>375h00</b>	<b>375h00</b>		

**Semestre 3 Master : Electromécanique**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Modélisation et simulation des systèmes électromécaniques	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Techniques de commande avancée	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Microprocesseurs et API	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Organisation et gestion de la maintenance industrielle	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 2.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Modélisation et simulation des systèmes électromécaniques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Techniques de commande avancée	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Microprocesseurs et API	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	Conception Fabrication Assistée par Ordinateur CFAO	3	2	1h30		1h00	37h30	37h30	40%	60%
UE Découverte Code : UED 2.1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
UE Transversale Code : UET 2.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Recherche documentaire et conception de mémoire	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
<b>Total semestre 3</b>		<b>30</b>	<b>17</b>	<b>13h30</b>	<b>6h00</b>	<b>5h30</b>	<b>375h00</b>	<b>375h00</b>		

**UE Découverte (S1, S2 et S3)**

- 1- Capteurs et instrumentation
- 2- Froid et conditionnement d'air
- 3- Exploitation des Energies Renouvelables
- 4- Fiabilité des systèmes
- 5- Machines électriques spéciales
- 6- Sécurité industrielle et habilitation
- 7- Traitement de signal
- 8- Systèmes asservis
- 9- Normes et législations en industrie
- 10- Maintenance et sûreté de fonctionnement
- 11- Informatique industrielle
- 12- Autres...

**Semestre 4**

Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche sanctionné par un mémoire et une soutenance.

	VHS	Coeff	Crédits
Travail Personnel	550	09	18
Stage en entreprise ou dans un laboratoire	100	04	06
Séminaires	50	02	03
Autre (Encadrement)	50	02	03
Total Semestre 4	750	17	30

**Ce tableau est donné à titre indicatif**

**Evaluation du Projet de Fin de Cycle de Master**

- Valeurscientifique (Appréciation du jury) /6
- Rédaction du Mémoire (Appréciation du jury) /4
- Présentation et réponse aux questions (Appréciation du jury) /4
- Appréciation de l'encadreur /3
- Présentation du rapport de stage (Appréciation du jury) /3

### **III - Programme détaillé par matière du semestre S1**

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.1**  
**Matière 1:Modélisation et simulation des machines électriques**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Établir les modèles mathématiques nécessaires pour la modélisation et la simulation des machines électriques. Ces modèles fournissent, pour la machine considérée, les équations instantanées et en régime établi, les performances et les lois de commande.

**Connaissances préalables recommandées:**

L'étudiant devra posséder les connaissances suivantes :

- Circuits électriques triphasés, circuits magnétiques, transformateurs monophasés et triphasés.
- Machines électriques à courant continu et alternatif

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1.Modélisation générale des machines (03semaines)**

Structures des machines,représentation des phénomènes magnétiques, schéma équivalent,force magnétomotrice,perméances,répartition d'induction, flux de bobinages,couplages,flux de dispersion, cas des distributions sinusoïdales, calcul du couple par la méthode des travaux virtuels.

**Chapitre 2.Modélisation des machines pour les régimes dynamiques (03semaines)**

Matrices de transformations, transformation de PARK, utilisation de la méthode pour les calculs de régimes transitoires,choix du repère.

**Chapitre 3.Modélisation et simulation des machines à courant continu (MCC) (03semaines)**

Mise en équations des machines à courant continu, modèle de la machine à courant continu sur les axes d,q, prise en compte des divers types d'excitation dans une MCC, régimes transitoires.

**Chapitre 4.Modélisation et simulation des machines synchrones (03semaines)**

Modélisation et simulation d'une machine synchrone avec et sans amortisseurs, étude de régimes transitoires,expressions du couple, modélisation et simulation d'une machine synchrone à aimants permanents, diagrammes d,q, moteurs à aimants, à réluctance.

**Chapitre 5.Modélisation et simulation des machines asynchrones à cage d'écureuil (03 semaines)**

Modélisation et simulation d'un moteur/génératrice Asynchrone à cage d'écureuil, moteur à rotor bobiné, étude de régimes transitoires,expressions du couple.

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu:40% ; Examen: 60%.

**Références bibliographiques:**

1. P. Barret, "Régimes transitoires des machines tournantes électriques", Edition Eyrolles, 1997. ISBN10 : 2-212-01574-7.
2. M. Kostenko, L. Piotrovski, "Machines électriques, Tome 2 : Machines à courant alternatif ", Edition Moscou.
- 3.J. P. Fanton, "Electrotechnique, Machines et réseaux, génie électrique",EditionEllipses, 2002. ISBN 10 : 2729811133.
4. R Abdessemed, "Modélisation et simulation des machines électriques", Edition Ellipses 2011. ISBN10 : 2-7298-6495-4.

5. J. P. Caron, J.P. Hautier, "Modélisation et commande de la machine asynchrone", Edition Technip 1995. ISBN : 9782710806837.
6. J. Chatelain, "Machines Electriques", T1 & T2, Edition Dunod, 1989.
7. D. Hanselman, "Brushless permanent magnet motor design", Magna physics publishing 2006. ISBN: 1-881855-15-5.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.1**  
**Matière 1:Electronique de puissance avancée**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Permettre à l'étudiant d'approfondir ses connaissances en matière de conversion et de qualité d'énergie et lui donner certaines notions sur les convertisseurs modernes et leur commande.

**Connaissances préalables recommandées:**

L'étudiant devra posséder des bases sur les composants semi-conducteurs de puissance et des connaissances sur les convertisseurs de puissance de base.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Les hacheurs (03 semaines)**  
 Hacheurs non réversibles (hacheur série, hacheur parallèle), hacheur réversible en courant, hacheur réversible en tension, hacheur réversible en courant et en tension.

**Chapitre 2. Techniques de commande des convertisseurs statiques (03 semaines)**  
 Commande pleine onde, MLI triangulaire, modulation calculée, modulation vectorielle, commande par hystérésis ...

**Chapitre 3. Nouvelles topologies des convertisseurs (03 semaines)**  
 Convertisseurs multi-niveaux, convertisseurs multicellulaires, convertisseurs matriciels ...

**Chapitre 4. Qualité d'énergie des convertisseurs statiques (03 semaines)**  
 Introduction au problème de pollution harmonique des réseaux électriques, valeurs des harmoniques et normes, perturbations dues aux harmoniques, propagation des harmoniques, réduction des harmoniques.

**Chapitre 5. Applications des convertisseurs (03 semaines)**  
 Filtrage actif, compensation de l'énergie réactive, correction du facteur de puissance, entraînements électriques à vitesse variable ...

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. G. Segulier, "Les convertisseurs de l'électronique de puissance. Tome 1 : La conversion alternatif-continu", Édition Lavoisier - Tec & Doc 1992.
2. C. Rombaut, G. Segulier, "Les convertisseurs de l'électronique de puissance. Tome 2 : La conversion alternatif-alternatif", Édition Lavoisier - Tec & Doc 1991.
3. R. Bausière, F. Labrique, G. Segulier, "Les convertisseurs de l'électronique de puissance. Tome 3 : La conversion continu-continu", Édition Lavoisier - Tec & Doc 1997.
4. F. Labrique, G. Segulier, R. Bausière, "Les convertisseurs de l'électronique de puissance. Tome 4 : La conversion continu-alternatif", Édition Lavoisier - Tec & Doc 1995.
5. H. Bühler, "Convertisseurs statiques", Édition Presses polytechniques et universitaires romandes 1991.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.1**  
**Matière 1:Réseaux électriques industriels**  
**VHS:22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Cette matière a pour objectif de donner aux étudiants d'abord une vue d'ensemble sur les réseaux électriques industriels (architectures, schémas et plans), puis les informations nécessaires pour évaluer un ouvrage électrique et les principes à respecter pour intervenir sur un ouvrage en toute sécurité.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions de bases sur les réseaux et appareillage électriques.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Généralités (01 semaine)**

Normalisation, domaines des tensions, appareillage, symboles graphiques des schémas.

**Chapitre 2. Réseaux électriques industriels (02 semaines)**

Structure générale d'un réseau industriel, postes de livraisons, tableaux généraux et tableaux divisionnaires, alimentation de secours, alimentation sans interruption, Exemples de réseaux industriels.

**Chapitre 3. Ouvrages électriques industriels (Installations et tableaux) (03 semaines)**

Domaines des tensions, environnement, structures et canalisations, installations électriques de puissances, d'éclairages et spéciales, problèmes généraux aux installations (perturbations et qualité d'énergie).

**Chapitre 4. Mise à la terre et sécurité dans une installation (03 semaines)**

Origine des régimes du neutre, utilité des mises à la terre, conducteurs PE et PEN, mise à la terre des postes de transformation.

**Chapitre 5. Calculs des installations (03 semaines)**

Section minimale d'une canalisation, chute de tension, courants de court-circuit, échauffement dans les armoires électriques.

**Chapitre 6. Câblage et maintenance (03 semaines)**

Techniques de maintien des fils (goulotte, torons, peignes), observations, mesures, contrôle.

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100 %.

**Références bibliographiques:**

1. J. M. Broust, "Appareillages et installations électriques industriels : conception, coordination, mise en œuvre et maintenance", Dunod, Paris 2008.
- 2.C.Prévé et R. Jeannot, "Guide de conception des réseaux électriques industriels", Schneider Electric, n° 6883 427/A 1997.
- 3.D.Fedullo, T.Gallauziaux, "Le grand livre de l'électricité", Ed Broché, Eyrolles 2009.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.2**  
**Matière 1:Mécanismes industriels et transmission de puissance**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Développer chez l'étudiant les concepts de concevoir et de réaliser un moyen de transmission du mouvement de certains mécanismes et organes de machines (roulement, réducteurs, etc..).

**Connaissances préalables recommandées:**

L'étudiant devra posséder les connaissances suivantes :

- Mécanique appliquée.
- Fabrication mécanique.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1.généralités (02 semaines)**

Normalisation, liaisons cinématiques entre pièces mécaniques.

**Chapitre 2. Réalisation de liaisons (02 semaines)**

Fonctions à réaliser et caractérisation des fonctions, assemblages démontables, assemblages permanents.

**Chapitre 3. Guidage en rotation (03 semaines)**

Fonctions à réaliser et caractérisation des fonctions, paliers lisses, guidage par interposition de roulements, paliers hydrostatiques et hydrodynamiques.

**Chapitre 4. Guidage en translation (03 semaines)**

Fonction à réaliser et caractérisation des fonctions, guidage par contact direct, guidage par interposition d'éléments roulants, fonction étanchéité et protection des liaisons

**Chapitre 5. Organes de transmissions du mouvement et de puissance (05 semaines)**

Accouplements, embrayages, frein, transmission par engrenages, transmission par courroie, étude et dimensionnement d'appareils industriels (réducteur, treuil, pont roulant).

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

**Références bibliographiques:**

1. E. Francis, "Construction mécanique: transmission de puissance", Tome 1, ISBN: 2-10-049125-12006.
2. E. Francis, "Construction mécanique: transmission de puissance", Tome 2, ISBN: 2-10-049750-22006.
3. E. Francis, "Construction mécanique: transmission de puissance", Tome 3, ISBN: 2-10-049749-32006.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.2**  
**Matière 1:Machines hydrauliques et pneumatiques**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

L'objectif du programme a pour but de familiariser l'étudiant avec les différents types de machines hydrauliques et pneumatiques. Les notions d'aérodynamique et de thermodynamique sont appliquées afin d'établir la modélisation et la compréhension de l'écoulement dans une turbomachine et pour développer des éléments de base pour la conception et la sélection de ces machines.

### **Connaissances préalables recommandées:**

L'étudiant devra posséder les connaissances suivantes :

- Mécanique des fluides,
- Thermodynamique appliqué

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1. Introduction**

**(03 semaines)**

Classification générale des machines hydrauliques et pneumatiques selon le sens de l'écoulement, aspects historiques, machines opérant avec des écoulements en régime incompressibles et machines fonctionnant avec des écoulements en régime compressible, configuration machines hydrauliques et pneumatiques, turbomachines axiales, radiales et mixtes, machines hydrauliques et machines thermiques.

#### **Chapitre 2. Théorie unidimensionnelle machines hydrauliques et pneumatiques (05 semaines)**

Hypothèse de calcul, révision de concepts de base de la dynamique et du transfert énergétique d'un fluide en mouvement, quantité de mouvement (principe d'action et réaction), travail d'une roue (équation d'Euler, application aux machines hydrauliques et pneumatiques qui opèrent avec des fluides compressibles et incompressibles), transformation de l'énergie cinétique en travail mécanique, transformation d'énergie thermique en énergie cinétique (Application aux machines thermiques des lois fondamentales de la thermodynamique), définitions de rendement.

#### **Chapitre 3. Machines hydrauliques et pneumatiques axiales et radiales**

**(04 semaines)**

Triangle des vitesses, le triangle normal, caractérisation des triangles de vitesse (coefficient de charge, coefficient de débit, degré de réaction), machines hydrauliques et pneumatiques radiales (transfert d'énergie), le facteur de glissement, l'inclinaison des pales, les compresseurs et les pompes centrifuges, nombres adimensionnels (similitude des régimes de fonctionnement, courbes caractéristiques, vitesse spécifique et diamètre spécifique).

#### **Chapitre 4. Turbines hydrauliques**

**(03 semaines)**

Turbines Pelton, Francis et Kaplan.

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

### **Références bibliographiques:**

1. J. Faisandeur, "Mécanismes hydrauliques et pneumatiques", Dunod 2006.
2. "Industrial hydraulic Systems, an introduction", Englewoodcliffs(new jersey), Prentice hall 1988.
3. R. Affouard, J. Diez, "Les installations hydrauliques conception et réalisation pratique", Paris, entreprise moderne d'édition 1972.

4. S. L.Dixon, "Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery", Fourth edition, Butterworth-Heinemann, Woburn, MA, USA 1998, ISBN 0-7506-7059-2.
5. H.Cohen, ,G.F.C.Rogers, H.I.H.Saravanamuttoo, "Gas Turbine Theory", Fourth edition, Longman group, Harlow, UK 1996, ISBN 0-582-23632-0.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEM1.1**  
**Matière 1:TP Modélisation et simulation des machines électriques**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Compléter, consolider et vérifier les connaissances déjà acquises dans le cours.

**Connaissances préalables recommandées:**

Bonne maîtrise de l'outil informatique et du logiciel MATLAB-SIMULINK.

**Contenu de la matière:**

**TP1.Initiation au logiciel MATLAB-SIMULINK**

**TP2.Modélisation et simulation des machines à courant continu (MCC)**

Modélisation et simulation d'une machine à courant continu à excitation séparée/shunt.

**TP3.Modélisation et simulation des machines Synchrones**

Modélisation et simulation d'une machine synchrone avec et sans amortisseurs.

**TP 4.Modélisation et simulation d'une machine Synchrone à aimants permanents**

**TP5.Modélisation et simulation des machines Asynchrones à cage d'écureuil**

Modélisation et simulation d'un moteur Asynchrone à cage d'écureuil.

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu:100 % .

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEM1.1**  
**Matière 1:TP Electronique de puissance avancée**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Compléter, consolider et vérifier les connaissances déjà acquises dans le cours.

**Connaissances préalables recommandées :**

Composants semi-conducteurs de puissance et convertisseurs de puissance de base.

**Contenu de la matière :**

**TP 1. Hacheur 1 quadrant et 4 quadrants**

**TP 2. MLI triangulo-sinusoïdale d'un onduleur de tension**

**TP 3. MLI vectorielle d'un onduleur de tension**

**TP 4. Simulation d'un convertisseur multiniveaux**

**TP 5. Simulation d'un convertisseur multicellulaire**

**TP6. Simulation d'un convertisseur matriciel**

**TP7. Correction du facteur de puissance**

**Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 100%

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEM1.1**  
**Matière 1:TP Réseaux électriques industriels**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Cette matière a pour objectif d'amener les étudiants à connaître les principaux indicateurs de la qualité d'énergie dans une installation industrielle, et d'être capables à évaluer cette qualité.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions de bases sur les réseaux, les machines, signaux.

**Contenu de la matière:**

**TP 1. Les récepteurs et leurs contraintes d'alimentation**

Perturbations dans un réseau industriel (origines et évaluations), effets des perturbations sur les moteurs, effets sur l'éclairage (évaluations).

**TP 2. Compensation de l'énergie réactive**

Intérêt de la compensation, détermination de la puissance de compensation, emplacement et choix de matériel de compensation.

**TP 3. Les harmoniques dans un réseau industriel**

Sources d'harmoniques, effets sur l'appareillage et les récepteurs, moyens de se prémunir contre leurs effets (filtrage, confinement, source à faible impédances,...).

**TP 4. Dimensionnement d'une installation industrielle**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 % .

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:1**

**Unité d'enseignement: UEM1.1**

**Matière 1:TP Mécanismes industriels et transmission de puissance**

**VHS:22h30 (TP: 1h30)**

**Crédits:2**

**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Compléter, consolider et vérifier les connaissances déjà acquises dans le cours.

**Connaissances préalables recommandées:**

Mécanique appliquée et fabrication mécanique.

**Contenu de la matière:**

**TP 1.Liaisons encastrement réducteur**

**TP 2.Alignements des accouplements**

**TP 3.Réglages de roulements**

**TP 4.Contrôle géométriques de rotor**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 % .

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UEM1.1**  
**Matière 1:TP Machines hydrauliques et pneumatiques**  
**VHS:15h00 (TP: 1h00)**  
**Crédits:1**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

L'objectif est de développer chez l'étudiant les moyens qui lui permettront d'analyser les circuits hydrauliques et pneumatiques.

**Connaissances préalables recommandées:**

Thermodynamique et MDF.

**Contenu de la matière:**

**TP 1. Etude d'un venturi**

**TP 2. Essai d'une pompe centrifuge et phénomène de Cavitation**

**TP 3. Turbines hydraulique**

**TP 4. Essai d'une machine à fluide compressible**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 % .

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre : 1**

**Unité d'enseignement : UED 1.1**

**Matière 1 : Panier au choix**

**VHS : 22h30 (cours : 1h30)**

**Crédits : 1**

**Coefficient : 1**

**Semestre : 1**

**Unité d'enseignement : UED 1.1**

**Matière 2: Panier au choix**

**VHS : 22h30 (cours : 1h30)**

**Crédits : 1**

**Coefficient : 1**

**Semestre : 1**  
**Unité d'enseignement : UET 1.1**  
**Matière : Anglais technique et terminologie**  
**VHS : 22h30 (cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Initier l'étudiant au vocabulaire technique. Renforcer ses connaissances de la langue. L'aider à comprendre et à synthétiser un document technique. Lui permettre de comprendre une conversation en anglais tenue dans un cadre scientifique.

**Connaissances préalables recommandées:**

Vocabulaire et grammaire de base en anglais

**Contenu de la matière:**

- Compréhension écrite : Lecture et analyse de textes relatifs à la spécialité.
- Compréhension orale : A partir de documents vidéo authentiques de vulgarisation scientifiques, prise de notes, résumé et présentation du document.
- Expression orale : Exposé d'un sujet scientifique ou technique, élaboration et échange de messages oraux (idées et données), Communication téléphonique, Expression gestuelle.
- Expression écrite : Extraction des idées d'un document scientifique, Ecriture d'un message scientifique, Echange d'information par écrit, rédaction de CV, lettres de demandes de stages ou d'emplois.

**Recommandation: Il est vivement recommandé au responsable de la matière de présenter et expliquer à la fin de chaque séance (au plus) une dizaine de mots techniques de la spécialité dans les trois langues (si possible) anglais, français et arabe.**

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100%.

**Références bibliographiques:**

1. P.T. Danison, Guide pratique pour rédiger en anglais: usages et règles, conseils pratiques, Editions d'Organisation 2007
2. A. Chamberlain, R. Steele, Guide pratique de la communication: anglais, Didier 1992
3. R. Ernst, Dictionnaire des techniques et sciences appliquées: français-anglais, Dunod 2002.
4. J. Comfort, S. Hick, and A. Savage, Basic Technical English, Oxford University Press, 1980
5. E. H. Glendinning and N. Glendinning, Oxford English for Electrical and Mechanical Engineering, Oxford University Press 1995
6. T. N. Huckin, and A. L. Olsen, Technical writing and professional communication for nonnative speakers of English, Mc Graw-Hill 1991
7. J. Orasanu, Reading Comprehension from Research to Practice, Erlbaum Associates 1986

### **III - Programme détaillé par matière du semestre S2**

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.1**  
**Matière 1:Commande des machines électriques**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Permettre à l'étudiant d'acquérir des connaissances dans le domaine de l'alimentation électronique et en commande des machines électriques les plus utilisées.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions d'asservissements et régulation ; Machines électriques et convertisseurs statiques.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1.Introduction (02semaines)**

- Propriétés électromécaniques des machines électriques
- Intérêt de la vitesse variable
- Variateurs de vitesse et leurs structures (pour les machines à courant continu et alternatif)

**Chapitre 2. Commande des machines à courant continu (02semaines)**

- Description mathématique des machines à courant continu (différents modes d'excitation)
- Caractéristiques naturelles et artificielles des machines à courant continu
- Réglage de la vitesse des moteurs à courant continu (Commande par tension d'induit, Commande par variation de flux magnétique)
- Freinage des machines à courant continu

**Chapitre 3.Commande des machines asynchrones (07semaines)**

- Modélisation de la machine asynchrone en vue de sa commande (caractéristique couple-vitesse, fonctionnement à fréquence et tension variables, modèles dynamique de la machine dans le repère biphasé)
- Principes, intérêt et méthodes de réglage de vitesse des machines asynchrones :
  - Commande électronique et alimentation par convertisseurs statiques des machines asynchrones
  - Commande scalaire (principe, modèle et loi de commande)
  - Commande vectorielle FOC (principe du contrôle vectoriel, orientation de flux rotorique ou statorique, expression de la commande)
  - Commande direct de couple DTC (stratégie de la commande, commande en couple, commande en puissance)

**Chapitre 4.Commande des machines synchrones (04semaines)**

- Types, structure et fonctionnement des machines synchrones
- Démarrage et autopilotage des machines synchrones
- Modélisation mathématique en vue de la commande d'une machine synchrone (machine synchrone à aimant permanent ou autres)
- Association machine-convertisseur et commande vectorielle

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. Notes du cours
2. Entraînements électriques à vitesse variable; Jean Bonal, Guy Séguier, 1998
3. Commande électronique des moteurs électriques; Michel Pinard; Dunod, 2004

4. Commandes des systèmes électriques ; Loron Luc, Lavoisier, 2004
5. Modélisation et commande de la machine asynchrone, J.P.Hautier et J.P.Caron, Technip, 1995
6. Electrotechnique Theodore WILDI De BEOCK UNIVERSITE.

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.1**  
**Matière 1:Commande hydraulique et pneumatique**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Permettre à l'étudiant d'acquérir des connaissances sur la conception, le fonctionnement et le calcul des éléments intervenants dans les systèmes automatisés industriels basés sur les énergies hydraulique et pneumatique.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Circuits logiques, mécanique des fluides, machine hydrauliques et pneumatiques.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1. Energies hydraulique et pneumatique dans la chaîne fonctionnelle d'un système (02semaines)**

- Définitions des énergies hydraulique et pneumatique
- Stockage et alimentation en énergie: systèmes d'alimentation, systèmes de stockage, systèmes de conditionnement (filtres, déshydrateurs, lubrificateurs), systèmes de sécurité (régulateur de débit), systèmes de mesure
- Types des convertisseurs d'énergie (types des vérins, des pompes ...)
- Distributeurs (modulateurs) d'énergie (présentation, types et désignation des distributeurs)
- Schématisation conventionnelles des éléments hydrauliques et pneumatiques

#### **Chapitre 2. Les circuits d'hydraulique industrielle (05semaines)**

- Description générale
- Schématisation de circuit hydraulique
- Centrale hydraulique (Constitution)
- Les pompes volumétriques et ces grandeurs associées (calculs des cylindrée, des débits, des puissances, des rendements et du couple d'entraînement, 'exemple de calcul')
- Les récepteurs hydrauliques: Les vérins (dimensionnement, pression, section, vitesse, rendement et puissance), Les moteurs hydrauliques (définition, types et calculs, 'exemple de calcul')
- Les appareils de protection et de régulation (clapets, limiteurs et réducteurs de pression et de débit, valves ...)
- Les huiles, caractéristiques et choix

#### **Chapitre 3. Les circuits d'automatismes pneumatiques (04semaines)**

- Description
- Constitution et schématisation d'une installation d'air comprimé (éléments de production de l'air comprimé, les vérins pneumatiques, les raccords, les modules de conditionnement de l'air comprimé)
- Les symboles pneumatiques
- Exemples de circuits

#### **Chapitre 4. Les systèmes automatisés de production (SAP) (04semaines)**

- Définition et exemple de système automatisé.
- Description d'un système automatisé:
  - Parties opérative: constitution, exemples de capteurs, exemples d'actionneurs (électriques, hydraulique et pneumatiques)
  - Parties commande: constitution, mode de commande direct (boucle fermée), mode de commande avec compte-rendu d'exécution (ou boucle fermée)

- Interface homme/machine

- L'automate programmable industriel (API): principes, périphérie de l'API, conception modulaire de l'API (modules TOR, modules de communication)
- Outils de représentation: par GRAFCET (définition, normes du GRAFCET et éléments graphiques de base, exemples) ou par organigramme de programmation.

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. J. Faisandeur, "Mécanismes hydrauliques et pneumatiques", Dunod 2006.
2. S. Moreno, "Pneumatiques dans les systèmes automatisés", Eyrolle 2001.
3. "Industrial hydraulic Systems, an introduction", Englewood cliffs (new jersey), Prentice hall 1988.
4. R. Affouard, J. Diez, "Les installations hydrauliques conception et réalisation pratique", Paris, entreprise moderne d'édition 1972.

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.2**  
**Matière 1:Thermodynamique appliquée**  
**VHS:22h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Rappeler chez l'étudiant les concepts fondamentaux de la thermodynamique, interprétation physique des notions fondamentales de la thermodynamique afin de comprendre les cycles thermodynamiques en tant que système de conversion d'énergie.

**Connaissances préalables recommandées:**

Lois générales de la thermodynamique de base et de la mécanique des fluides acquises au cours du cursus de la licence.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Principes de la thermodynamique (02 semaines)**

- Le premier principe et la définition de l'énergie interne dans un système fermé
- Le second principe et la notion du rendement dans un cycle
- Les gaz parfaits (L'équation d'état des gaz parfaits, Les coefficients d'expansion et de compressibilité, Détermination analytique de L'entropie et de l'enthalpie)
- Changement de phase

**Chapitre 2.Cycles réels des machines thermiques motrices à vapeur (03 semaines)**

- Cycle de Carnot
- Cycle de Rankine
- Cycle de resurchauffe
- Cycle de régénération (soutirage)
- Réchauffeurs à mélange et à surface
- Centrale thermique à deux fluides moteurs
- Fluide idéal d'une centrale thermique à vapeur

**Chapitre 3. Cycles théoriques des moteurs à combustion interne (03 semaines)**

- Cycle de Carnot
- Cycle de Otto
- Cycle de Diesel
- Cycle mixte
- Cycles réels

**Chapitre 4.Cycles théoriques des turbines à gaz (04 semaines)**

- Cycle de Brayton o Cycle de Stirling
- Cycle d'Ericsson
- Cycle de la turbine à gaz munie d'un régénérateur
- Compression étagée avec refroidissement intermédiaire
- Détente étagée avec resurchauffe intermédiaire
- Cycle théorique de la propulsion par jet, statoréacteur et turboréacteur
- Cycle de Brayton inversé, cycle de réfrigération

**Chapitre 5. Echangeurs de chaleur (03 semaines)**

- Classification des échangeurs de chaleur
- Méthode de conception des échangeurs de chaleur
- Calcul des échangeurs de chaleur

- Corrélations de la convection forcée dans les échangeurs de chaleur
- Puissance de pompage et perte de charge dans les échangeurs de chaleur
- Condenseurs et évaporateurs

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. Thermodynamique et Energétique, Lucien BOREL
2. Systèmes Energétiques, Renaud GICQUEL
3. Thermodynamique appliquée à l'Energétique, Francis-Emile MEUNIER
4. Thermodynamique Appliquée, Van-Wylen

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.2**  
**Matière 1:Mécanique des fluides appliquée**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

### Objectifs de l'enseignement:

Les objectifs de l'enseignement sont de permettre une compréhension opérationnelle des concepts essentiels de la mécanique des fluides et de maîtriser la théorie derrière les différents écoulements afin de résoudre des problèmes sur des études de cas d'intérêt pratique.

### Connaissances préalables recommandées:

- Mécanique rationnelle
- Les principes de la thermodynamique

### Contenu de la matière:

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| <p><b>Chapitre 1. Rappels</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viscosité des fluides</li> <li>- Fluides Newtoniens et non newtoniens</li> <li>- L'équation d'état des gaz parfaits</li> </ul>  | <p><b>(01 semaine)</b></p>  |
| <p><b>Chapitre 2. Cinématique des Fluides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Champs de vitesse</li> <li>- Les différents types d'écoulement à 1D, 2D et 3D</li> <li>- La trajectoire et les lignes et le tubes de courant</li> <li>- Equation des lignes de courant</li> <li>- L'accélération et la notion de dérivée substantielle</li> </ul>   | <p><b>(04 semaines)</b></p> |
| <p><b>Chapitre 3. Dynamique des Fluides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude d'un écoulement selon Lagrange</li> <li>- Etude d'écoulement selon Euler</li> <li>- Théorème de Reynolds</li> <li>- Dédution des équations de conservation:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservation de masse (Equation de continuité)</li> <li>- Conservation de quantité de mouvement (Equation de Navier Stockes)</li> <li>- Conservation d'énergie (Premier principe de la thermodynamique)</li> </ul> </li> </ul> | <p><b>(04 semaines)</b></p> |
| <p><b>Chapitre 4. Application des trois Equations de conservation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equation de Bernoulli pour le fluides parfait et réel</li> <li>- Application de l'équation de Bernoulli</li> </ul>  | <p><b>(03 semaines)</b></p> |
| <p><b>Chapitre 5. Bilans d'énergies</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecoulements unidimensionnels. Bilan d'énergie mécanique.</li> <li>- Estimation des pertes de charges régulières et singulière.</li> <li>- Exemple d'application</li> </ul>  | <p><b>(03 semaines)</b></p> |

### Mode d'évaluation:

Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. Notes du cours.
2. R. Benhamouda, "Notions de Mécanique des Fluides".
3. S. Amirouche, J. Luc Battaglia, "Mécanique des Fluides Cours et Exercices corrigés".
5. Polycopiés, "Exercices Résolus avec cours en Mécanique des fluides".

**Semestre :2**  
**Unité d'enseignement : UEF 1.2.2**  
**Matière 1:Diagnostic et surveillance**  
**VHS:22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Transmettre à l'étudiant les concepts de base de diagnostiquer les défauts, de surveiller les installations et les systèmes électromécaniques.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Des connaissances dans des matières : schéma et appareillage électrique, maintenance des systèmes électromécaniques, fiabilité et sûreté de fonctionnement, machines électriques.

### **Contenu de la matière:**

#### **Partie 1 : Surveillance**

**(07 semaines)**

##### **Chapitre 1. Analyse des modes de défaillances**

Généralité sur les défaillances, Identification de la défaillance ; Constatation de la défaillance. Analyse fonctionnelle ; Analyse qualitative ; Analyse quantitative

##### **Chapitre 2. Techniques de surveillances**

Systématique ; Conditionnelle ; Prévisionnelle ; Surveillance par les vibrations, ultrason, l'analyse des huiles, bruit, thermique.

##### **Chapitre 3. Surveillance de l'état de fonctionnement d'une machine**

Reconnaitances des pannes ; Etablissement des alarmes ; Surveillances des défauts de machines (roulements, paliers, poulies, engrenages...).

#### **Partie 2. Diagnostic**

**(08 semaines)**

##### **Chapitre 1. Outils d'analyse du système**

Analyse fonctionnelle de type SADT et FAST (schémas blocs, chaîne fonctionnelle, équations logiques, chronogramme).

##### **Chapitre 2. Démarche globale de localisation d'une défaillance**

Phases de l'identification de la chaîne défaillante ; Identification de l'élément défaillant ; Questionnaire autodiagnostic

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

### **Références bibliographiques:**

1. J. LouiFeron, "Diagnostic maintenance, disponibilité des machines tournantes", Edition Masson, 1995.
2. J. Morel, "Vibration des machines et diagnostic de leur état mécanique", Edition Eyrolles, 1991.
3. G. Zwingelstein, "Diagnostic des défaillances: théorie et pratique pour les systèmes industriels", Traité des Nouvelles Technologies de la série Diagnostic et Maintenance, Editions Hermes, Paris 1995.
4. R. Isermann, "Fault Diagnosis of Machines via Parameter Estimation and Knowledge Processing", Tutorial Paper, Automatica, Vol. 29, No. 4, pp. 815-835, 1993.
5. J. N. Chatain, "Diagnostic par systèmes experts", Editions Hermes, Paris 1993.
6. R. Toscano, "Commande et Diagnostic des Systèmes Dynamiques", Série Technosup, Editions Ellipses, Paris 2005.

7. A.Boulenger et C.Pachaud, Aide-mémoire Surveillance des machines par analyse des vibrations, Dunod, Paris 2009.
8. M.Ghozlane, Techniques de Surveillance des Machines Tournantes, Tome 1 : Analyse Vibratoire, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Radès, édition 2013.
9. M.Ghozlane, Techniques de Surveillance des Machines Tournantes, Tome 1 : Tome 2 : Analyse des huiles industrielles, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Radès, édition 2013.
10. D.AUGEIX, Analyse vibratoire des machines tournantes, techniques de l'ingénieur BM5145, 10 janv. 2001.
11. D.PAJANI, LAUDAIRE, Thermographie - Technologies et applications, techniques d'ingénieur R2741, 10 mars 2013.

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEM1.2**  
**Matière 1:TP Commande des machines électriques**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Savoir modéliser et appliquer les techniques de commandes étudiées sur des machines électriques. Vérifier le comportement dynamique des systèmes commandés (machines avec boucles de commande). Implémentation et calcul des régulateurs PID.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions d'asservissements et régulation; modélisation et théories de commande des machines électriques.

**Contenu de la matière:**

<b>TP1. Commande d'une machine a courant continu</b>	<b>(01 séance)</b>
<b>TP2. Commande scalaire (tension/fréquence) de la machine asynchrone</b>	<b>(02 séances)</b>
<b>TP3. Commande vectorielle (FOC) de la machine asynchrone</b>	<b>(03 séances)</b>
<b>TP4. Commande directe du couple (DTC) de la machine asynchrone</b>	<b>(03 séances)</b>
<b>TP5. Commandes vectorielle d'une machine synchrone (exp : MSAP)</b>	<b>(03 séances)</b>

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %.

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEM1.2**  
**Matière 1:TP Commande hydraulique et pneumatique**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Savoir choisir et dimensionner des éléments intervenants dans les circuits industriels hydrauliques ou pneumatique afin de réaliser des simples schémas à commandes manuelle ou automatique.

**Connaissances préalables recommandées:**

cours de la matière commande hydraulique et pneumatique.

**Contenu de la matière:**

**TP1.Réalisation d'une commande manuelle (bouton-poussoir) d'un vérin à simple effet  
(pneumatique ou hydraulique) (02 séances)**

**TP2. Réalisation d'une commande manuelle (bouton-poussoir) d'un vérin à double effet  
(pneumatique ou hydraulique) (02 séances)**

**TP3.Réalisation d'une commande automatique (cycle répété) d'un vérin à double effet  
(pneumatique ou hydraulique) en utilisant un capteur de fin de cours (03 séances)**

**TP4.Réalisation d'une commande automatique (cycle programmé sur l'automate) d'un vérin à  
double effet (pneumatique ou hydraulique) en utilisant un capteur de fin de cours (03 séances)**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %.

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEM1.2**  
**Matière 1:TP Thermodynamique appliquée**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Compléter, consolider et vérifier les connaissances déjà acquises dans le cours de la matière Thermodynamique appliquée.

**Connaissances préalables recommandées:**

Bonne maîtrise des matières : Thermodynamique, Transfert thermique.

**Contenu de la matière:**

**TP1. Détermination de l'indice polytropique "n" de compression**

**TP2. Détermination du rendement global de l'installation de compression**

**TP3. Changement d'état d'un corps pur**

**TP4. Détermination de l'indice adiabatique de l'air**

**TP5. Changement d'état d'un système binaire**

**TP6. Vérification de l'équation d'état des gaz parfaits**

**TP7. Mesure de la pression de vapeur saturante de l'eau**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %.

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEM1.2**  
**Matière 1:Méthodes numériques appliquées**  
**VHS:37h30 (Cours: 1h00, TP: 1h00)**  
**Crédits:3**  
**Coefficient:2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

La matière méthodes numériques appliquées a pour but de donner les connaissances de base nécessaires à la compréhension et la mise en œuvre des algorithmes les plus couramment utilisés pour la résolution des problèmes rencontrés lors du traitement des systèmes industriels.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Mathématique, notions de base de l'analyse numérique, maîtrise de l'environnement MATLAB.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre I. Rappels de quelques méthodes numériques (04 semaines)**

- Résolution des systèmes d'équations linéaires et non linéaires par les méthodes itératives (Méthode de Jacobi, Méthode de Gauss-Seidel, Méthode de Newton Raphson)
- Interpolation et approximation (Méthode de Lagrange, Méthode des différences divisées)
- Intégration numérique (Méthode des Trapèzes, Méthode de Simpson, Méthode composite des Trapèzes, Méthode composite de Simpson)
- Résolution des équations différentielles ordinaires (Méthode d'Euler, Méthode de Runge-Kutta, Méthode d'Adams)

#### **Chapitre II. Résolution des équations aux dérivées partielles (06 semaines)**

- Classifications des équations aux dérivées partielles et des conditions aux limites
- Méthode des différences finies
- Méthode des éléments finis

#### **Chapitre III. Techniques d'optimisation (05 semaines)**

- Définition et formulation
- Types d'optimisation
- Algorithmes d'optimisation
- Optimisation sans contraintes (Méthodes déterministes, Méthodes stochastiques)
- Traitement des contraintes (Méthodes de transformation, Méthodes directes)

### **Travaux pratiques:**

- Initiation à l'environnement MATLAB
- Calcul des intégrales par les méthodes: Trapèze, Simpson et générale
- Résolution des équations différentielles ordinaires par les méthodes: Euler, Runge-Kutta
- Interpolation et approximation par la méthode de Lagrange
- Résolution des systèmes d'équations linéaires et non-linéaires par les méthodes: Jacobi ; Gauss-Seidel ; Newton-Raphson
- Résolution des équations aux dérivées partielles par la méthode des différences finies
- Résolution des équations aux dérivées partielles par la méthode des éléments finis
- Minimisation d'une fonction à plusieurs variables sans contrainte par les méthodes: Gradient, Gradient conjugué, Quasi-Newton
- Minimisation d'une fonction à plusieurs variables avec contraintes par les méthodes: Gradient projeté et Lagrange-Newton

**Remarque:** Les 3 premières séances peuvent être effectuées comme travail personnel

**Mode d'évaluation:**

Control continu : 40% ; Examen : 60%.

**Références bibliographiques:**

1. A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri, "Méthodes Numériques, Algorithmes, analyse et applications", Ouvrage de l'édition Springer-Verlag, 2007.
2. S. Nicaise, "Analyse numérique et équations aux dérivées partielles : Cours et problèmes résolus", Ouvrage de l'édition Dunod, 2000.
3. J. L. Merrien, "Analyse numérique avec Matlab : Exercices et problèmes", Edition Dunod, 2007.
4. G. Allaire, "Analyse Numérique et Optimisation", Edition de l'école polytechnique, 2012.
5. S. S. Rao, "Optimization: Theory and Applications", Wiley-Eastern Limited, 1984.

**Semestre : 2**  
**Unité d'enseignement : UED 2.1**  
**Matière 3 : panier au choix**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 2**  
**Unité d'enseignement : UED2.1**  
**Matière 4 : panier au choix**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 2**

**Unité d'enseignement : UET 1.2**

**Matière : Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité.**

**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**

**Crédit : 1**

**Coefficient : 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Développer la sensibilisation des étudiants au respect des principes éthiques et des règles qui régissent la vie à l'université et dans le monde du travail. Les sensibiliser au respect et à la valorisation de la propriété intellectuelle. Leur expliquer les risques des maux moraux telle que la corruption et à la manière de les combattre, les alerter sur les enjeux éthiques que soulèvent les nouvelles technologies et le développement durable.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Ethique et déontologie (les fondements)

### **Contenu de la matière :**

#### **A. Respect des règles d'éthique et d'intégrité,**

**1. Rappel sur la Charte de l'éthique et de la déontologie du MESRS :** Intégrité et honnêteté. Liberté académique. Respect mutuel. Exigence de vérité scientifique, Objectivité et esprit critique. Équité. Droits et obligations de l'étudiant, de l'enseignant, du personnel administratif et technique,

#### **2. Recherche intègre et responsable**

- Respect des principes de l'éthique dans l'enseignement et la recherche
- Responsabilités dans le travail d'équipe : Égalité professionnelle de traitement. Conduite contre les discriminations. La recherche de l'intérêt général. Conduites inappropriées dans le cadre du travail collectif
- Adopter une conduite responsable et combattre les dérives : Adopter une conduite responsable dans la recherche. Fraude scientifique. Conduite contre la fraude. Le plagiat (définition du plagiat, différentes formes de plagiat, procédures pour éviter le plagiat involontaire, détection du plagiat, sanctions contre les plagiaires, ...). Falsification et fabrication de données.

#### **3. Éthique et déontologie dans le monde du travail :**

Confidentialité juridique en entreprise. Fidélité à l'entreprise. Responsabilité au sein de l'entreprise, Conflits d'intérêt. Intégrité (corruption dans le travail, ses formes, ses conséquences, modes de lutte et sanctions contre la corruption)

#### **B- Propriété intellectuelle**

##### **I- Fondamentaux de la propriété intellectuelle**

- 1- Propriété industrielle. Propriété littéraire et artistique.
- 2- Règles de citation des références (ouvrages, articles scientifiques, communications dans un congrès, thèses, mémoires, ...)

##### **II- Droit d'auteur**

### 1. Droit d'auteur dans l'environnement numérique

Introduction. Droit d'auteur des bases de données, droit d'auteur des logiciels. Cas spécifique des logiciels libres.

### 2. Droit d'auteur dans l'internet et le commerce électronique

Droit des noms de domaine. Propriété intellectuelle sur internet. Droit du site de commerce électronique. Propriété intellectuelle et réseaux sociaux.

### 3. Brevet

Définition. Droits dans un brevet. Utilité d'un brevet. La brevetabilité. Demande de brevet en Algérie et dans le monde.

## III- Protection et valorisation de la propriété intellectuelle

Comment protéger la propriété intellectuelle. Violation des droits et outil juridique. Valorisation de la propriété intellectuelle. Protection de la propriété intellectuelle en Algérie.

## C. Ethique, développement durable et nouvelles technologies

- Lien entre éthique et développement durable, économie d'énergie, bioéthique et nouvelles technologies (intelligence artificielle, progrès scientifique, Humanoïdes, Robots, drones,

### Mode d'évaluation :

Examen : 100 %

### Références bibliographiques:

1. Charte d'éthique et de déontologie universitaires, [https://www.mesrs.dz/documents/12221/26200/Charte+fran\\_ais+d\\_f.pdf/50d6de61-aabd-4829-84b3-8302b790bdce](https://www.mesrs.dz/documents/12221/26200/Charte+fran_ais+d_f.pdf/50d6de61-aabd-4829-84b3-8302b790bdce)
2. Arrêtés N°933 du 28 Juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat
3. L'abc du droit d'auteur, organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)
4. E. Prairat, De la déontologie enseignante. Paris, PUF, 2009.
5. Racine L., Legault G. A., Bégin, L., Éthique et ingénierie, Montréal, McGraw Hill, 1991.
6. Siroux, D., Déontologie : Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale, Paris, Quadrige, 2004, p. 474-477.
7. Medina Y., La déontologie, ce qui va changer dans l'entreprise, éditions d'Organisation, 2003.
8. Didier Ch., Penser l'éthique des ingénieurs, Presses Universitaires de France, 2008.
9. Gavarini L. et Ottavi D., Éditorial. de l'éthique professionnelle en formation et en recherche, Recherche et formation, 52 | 2006, 5-11.
10. Caré C., Morale, éthique, déontologie. Administration et éducation, 2e trimestre 2002, n°94.
11. Jacquet-Francillon, François. Notion : déontologie professionnelle. Le télémaque, mai 2000, n° 17
12. Carr, D. Professionalism and Ethics in Teaching. New York, NY Routledge. 2000.
13. Galloux, J.C., Droit de la propriété industrielle. Dalloz 2003.
14. Wagret F. et J-M., Brevet d'invention, marques et propriété industrielle. PUF 2001
15. Dekermadec, Y., Innover grâce au brevet: une révolution avec internet. Insep 1999
16. AEUTBM. L'ingénieur au cœur de l'innovation. Université de technologie Belfort-Montbéliard
17. Fanny Rinck et Léda Mansour, littératie à l'ère du numérique : le copier-coller chez les étudiants, Université grenoble 3 et Université paris-Ouest Nanterre la défense Nanterre, France
18. Didier DUGUEST IEMN, Citer ses sources, IAE Nantes 2008
19. Les logiciels de détection de similitudes : une solution au plagiat électronique? Rapport du Groupe de travail sur le plagiat électronique présenté au Sous-comité sur la pédagogie et les TIC de la CREPUQ

20. EmanuelaChiriac, Monique Filiatrault et André Régimbald, Guide de l'étudiant: l'intégrité intellectuelle plagiat, tricherie et fraude... les éviter et, surtout, comment bien citer ses sources, 2014.
21. Publication de l'université de Montréal, Stratégies de prévention du plagiat, Intégrité, fraude et plagiat, 2010.
22. Pierrick Malissard, La propriété intellectuelle : origine et évolution, 2010.
23. Le site de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle [www.wipo.int](http://www.wipo.int)
24. <http://www.app.asso.fr/>

### **III - Programme détaillé par matière du semestre S3**

**Semestre:3**

**Unité d'enseignement: UEF 2.1.1**

**Matière 1:Modélisation et simulation des systèmes électromécaniques**

**VHS:67h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)**

**Crédits:6**

**Coefficient:3**

**Objectifs de l'enseignement:**

Permettre de développer chez l'étudiant la méthodologie d'établir les éléments d'un modèle physique pour divers systèmes électromécaniques.

**Connaissances préalables recommandées:**

Mathématiques appliquées, systèmes électromécaniques.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Propriétés dynamiques de la machine à courant continu (01 semaine)**

- Modèles directs et inverses
- Modèle causal de la machine à courant continu

**Chapitre 2. Modèles dynamiques des machines synchrones (02 semaines)**

- Généralités sur les structures et les modèles
- Transformation de Concordia et modèle diphasé équivalent
- Transformation de Park ;
- Équations de Park des machines synchrones
- Analyse des modèles en régime stationnaire
- Modèles en vue de la commande

**Chapitre 3. Extension de la transformation de Park aux moteurs synchrones à distribution de champs non sinusoïdaux (02 semaines)**

- Application de la transformation de Park aux machines à distribution de flux non sinusoïdale
- Extension de Park pour les machines à entrefer constant
- Analogies avec les techniques de linéarisation par retour d'état
- Interprétation de la transformation de Park à partir des courbes isocouples
- Mise en œuvre de la commande vectorielle étendue

**Chapitre 4. Modélisation de l'association convertisseurs-machines (02 semaines)**

- Rappels sur le fonctionnement d'un onduleur triphasé de tension
- Les différents types de commande de MLI
- Modélisation vectorielle de la commande MLI
- Commande vectorielle classique
- Commande sinus-triangle

**Chapitre 5. Modélisation dynamique des machines asynchrones (02 semaines)**

- Modélisation d'une machine asynchrone diphasée
- Modélisation d'une machine asynchrone triphasée
- Propriétés dynamiques de la machine asynchrone
- Modèles dynamiques liés aux commandes

**Chapitre 6. Modélisation statique des machines asynchrones en vue de leurs commandes scalaires. (02**

- semaines)-** Modélisation en régime permanent sinusoïdal
- Modèle aux fuites magnétiques totalisées au stator
  - Modèle aux fuites magnétiques totalisées au rotor

- Commande scalaire en couple

### **Chapitre 7. Extension de la transformation de Park aux machines asynchrones en régime saturé (02 semaines)**

- Inductances en régime saturé
- Influence de la saturation sur les inductances
- Modèle de Park étendu

### **Chapitre 8. Modélisation des convertisseurs électromagnétiques (02 semaines)**

- Transformateur de puissance
- Modèle Mathématique des Transformateurs de Puissance
- Transformateurs Spéciaux et Micro transformateurs
- Modèle Mathématique et Simulation

#### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

#### **Références bibliographiques:**

1. Notes du cours
2. Modélisation et méthodes mathématiques, Yves Cherruault, Ed. Eyrolles, 1998
3. Modélisation et simulation pour l'analyse et l'optimisation des systèmes industriels, Dolgui Alexandre, Ed. Lavoisier, 2004
4. Modélisation et simulation : Informatique, mathématiques, sciences pour l'ingénieur, biologie, biochimie, Cegielski Patrick, Ed. L'harmattan, 1998
5. Modélisation et commande de la machine asynchrone, J.P.Hautier et J.P.Caron, Ed. Technip, 1995

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.1**  
**Matière 2:Techniques de commande avancée**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Présenter à l'étudiant une synthèse utilitaire sur les différents modèles graphiques et analytiques des commandes avancées des systèmes nécessaires à la compréhension des divers aspects de leurs fonctionnement, de comprendre le formalisme des techniques d'identification.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Modèles dynamiques des machines électriques.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1. Commande optimale(03 semaines)**

- Introduction à la commande dans l'espace d'état
- Formulation du problème de commande et critère d'optimalité
- Commande optimale des systèmes linéaires stationnaires ou non stationnaires avec critère quadratique ; LQ (à horizon infini et à horizon fini), LQG.

#### **Chapitre 2. Commande adaptative (03 semaines)**

- Principe de la commande adaptative
- Les différentes techniques de commande adaptative
- Synthèse dequelque lois de commande adaptative (Commande adaptative directe avec modèle de référence MRAS, commande adaptative à régulateur auto-ajustable ...)

#### **Chapitre 3. Commande par régulateur RST**

**(03 semaines)**

- Principes des régulateurs RST
- Structure des régulateurs RST, présentation des différents polynômes
- Synthèses des régulateurs RST

#### **Chapitre 4. Commande robuste (03 semaines)**

- Analyse des systèmes bouclés multivariables, matrice de transfert etvaleur singulière
- Généralisation du critère de Nyquist, fonction de sensibilité
- Analyse de robustesse et méthode de résolution

#### **Chapitre 5. Commande prédictive (03 semaines)**

- Principe de la commande prédictive
- Modèle de prédiction
- Synthèse du régulateur polynomial RST équivalent et choix des paramètres de réglage

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

### **Références bibliographiques:**

1. Notes du cours
2. Représentation d'état pour la modélisation et la commande des systèmes, Luc JAULIN, Ed. Lavoisier, 2005
3. Commande des systèmes : Conception, identification et mise en œuvre, I. D. LANDAU. Ed. Hermès-Lavoisier, 2002
4. Commande Adaptative : Aspects Pratiques Et Théoriques, I. D. Landau, L. Dugard, Ed. Masson, 1986

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**  
**Matière 1:Microprocesseurs et API**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Connaître le fonctionnement et la mise en œuvre des Microprocesseurs et des Automates Programmables Industriels (API) en vue de développer des circuits de commande.

**Connaissances préalables recommandées:**

Logiques combinatoire et séquentielle, automatismes.

**Contenu de la matière:**

**Partie 1. Microprocesseurs(07 semaines)**

- Architecture
- Microprocesseurs à usage général
- Processeurs de traitement numérique du signal DSP
- Microcontrôleurs
- Mémoires
- Dispositifs d'entrées/sorties
- Modes d'échanges d'informations
- Microcontrôleurs
- Processeurs de traitement numérique du signal
- Programmation
- Exemples de processeurs disponibles sur le marché

**Partie 2. Automates Programmables Industriels (API)(08 semaines)**

- Architecture des API : Organisation, entrée-sortie, mémoire, Bus.
- Choix et câblages des API : caractéristiques, environnement, Evaluation
- Logiciels de programmation des API : GRAFCE, Langages de base, de calcul et séquentiel,
- Applications : Automatisations des ascenseurs, des pompes, des systèmes de ventilation, des compresseurs, des mécanismes de transport continu, des machines outils.

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. Notes du cours
2. Progressez avec les microcontrôleurs PIC, Gérard Samblancat, Ed. Dunod, 2006
3. Programmation en C des PIC, Christian Tavernier, Ed. Dunod, 2006
4. Microcontrôleurs AVR : Description et mise en oeuvre, Christian Tavernier, Ed. Dunod, 2009
5. Advanced PIC microcontroller projects in C, Dogan Ibrahim, Ed. Elsevier, 2008
6. Microcontrollers in C, T. V. Sickle, Ed. LLH Publishing, 2001

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**  
**Matière 2:Organisation et gestion de la maintenance industrielle**  
**VHS:45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits:4**  
**Coefficient:2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Transmettre à l'étudiant les concepts de base de la maintenance, son rôle, l'organisation et la gestion de la maintenance.

**Connaissances préalables recommandées:**

Probabilité et statistique.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Politique et organisation de la maintenance(02 semaines)**

- Objectif, mission, évolutions
- Responsabilités de la fonction maintenance
- Organisation, fonctions de la maintenance

**Chapitre 2. Les différents types de maintenance(03 semaines)**

- Corrective
- Préventive
- Systématique
- Conditionnelle
- Prédictive
- Amélioration

**Chapitre 3. La gestion des moyens**

**(02 semaines)**

- Humains
- Techniques
- Procédures

**Chapitre 4. Les outils de la maintenance(04 semaines)**

- Documentation
- Gestion du stock et approvisionnement
- Bon de travail
- Entretien préventif et visites d'inspection
- Planification
- Tableaux de bord
- Disponibilité et fiabilité des équipements

**Chapitre 5. L'environnement de la maintenance(04 semaines)**

- Protection de l'environnement, sécurité des personnes, contrôle des installations
- Gestion technique centralisée, système intégré de production
- Gestion de l'énergie et des fluides

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. Notes du cours

2. Pratique de la maintenance préventive, Jean Henq, Ed. Dunod, 2005
3. Pratique de la maintenance industrielle, Raymond Magnan, Ed. Dunod, 2003
4. Maintenance industrielle, Yves Lavina, Ed. Fonction de l'entreprise, 2005

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEM2.1**  
**Matière 1:TP Modélisation et simulation des systèmes électromécaniques**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Savoir simuler par l'application des techniques de modélisation étudiées sur des systèmes électromécaniques. Simuler le comportement de l'association convertisseur-machine.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions d'asservissements et régulation; modélisation et théories de commande des machines électriques.

**Contenu de la matière:**

- |  |             |
|--|-------------|
| TP 1. Simulation des moteurs à courant continu(01 séance)              |             |
| TP 2. Simulation de l'association convertisseur moteur à CC(01 séance) |             |
| TP 3. Simulation des moteurs synchrones                                | (01 séance) |
| TP 4. Simulation de l'association convertisseur-moteur synchrone       | (01 séance) |
| TP 5. Simulation des moteurs asynchrones                               | (01 séance) |
| TP 6. Simulation de l'association convertisseur-moteur asynchrone      | (01 séance) |

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %.

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEM2.1**  
**Matière 2:TP Techniques de commande avancée**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

L'étudiant pourra d'une part faire une bonne analyse théorique des différentes méthodes de commande existantes et pratique d'autre part, par la simulation, des techniques avancées appliquées aux moteurs électriques.

**Connaissances préalables recommandées:**

Cours de la matière techniques de commande avancée.

**Contenu de la matière:**

**TP1. Commande par retour d'état d'un moteur électrique(02 séances)**

**TP2. Simulation d'une commande adaptative à modèle de référence (02 séances)**

**TP3. Simulation d'une commande RST (02 séances)**

**TP4. Simulation d'une commande robuste ou prédictive (02 séances)**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %.

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEM2.1**  
**Matière 3:TP Microprocesseurs et API**  
**VHS:22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits:2**  
**Coefficient:1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Connaitre la programmation en assembleur. Connaitre le principe et les étapes d'exécution de chaque instruction. Connaitre l'utilisation des interfaces d'E/S et les interruptions. Utilisation des automates programmables industriels (API).

**Connaissances préalables recommandées:**

Automatismes industriels, algorithmique, langages de programmation.

**Contenu de la matière:**

**TP1. Prise en main d'un environnement de programmation sur  $\mu$ -processeur (01 séance)**

**TP2. Programmation des opérations arithmétiques et logiques dans un  $\mu$ -processeur (01 séance)**

**TP4. Gestion de la mémoire du  $\mu$ -processeur (01 séance)**

**TP5. Programmation des API en langage assembleur (01 séance)**

**TP6. Programmation des API en langage évolué (01 séance)**

**TP7. Programmation des API en Grafcet (01 séance)**

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %.

**Références bibliographiques:**

Notes de cours et Brochures du laboratoire.

**Semestre:3**

**Unité d'enseignement: UEM2.1**

**Matière 4: Conception Fabrication Assistée par Ordinateur CFAO**

**VHS:37h30 (Cours: 1h30, TP: 1h00)**

**Crédits:3**

**Coefficient:2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Il s'agit de perfectionner les connaissances des étudiants dans le domaine de la CFAO. A la fin du semestre, l'étudiant devra acquérir les compétences suivantes :

- Modélisation des pièces de formes complexes (moules, matrices, ...).
- Simulation du processus d'usinage.
- Interprétation et vérification du programme d'usinage généré automatiquement.

Durant les séances de TP, l'étudiant devra maîtriser un logiciel de CFAO pour concevoir des pièces et des assemblages complexes ainsi que pour simuler l'usinage des pièces conçues. Si les moyens existants le permettent, l'étudiant doit passer à l'atelier pour exécuter le programme généré sur une machine outil à commande numérique (MOCN).

### **Connaissances préalables recommandées:**

Mathématiques, dessin industriel, construction mécanique, fabrication mécanique.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1. Généralités (01 Semaine)**

(Définition de la CFAO, processus de développement des produits, éléments d'un système de CAO, éléments d'un système de FAO, logiciels de CFAO).

#### **Chapitre 2. Modélisation des courbes (03 Semaines)**

(Introduction, lissage et interpolation, continuités mathématiques et géométriques, courbes de Bézier, courbes B-spline, courbes NURBS, exemples).

#### **Chapitre 3. Modélisation des surfaces (03 Semaines)**

(Introduction, carreaux de Bézier, continuité, carreaux B-spline, carreaux NURBS, exemples).

#### **Chapitre 4. Modélisation des solides (01 Semaine)**

(Introduction, modélisation par décomposition, opérations booléennes, modélisation par frontières "B-Rep", modélisation par arbre de construction "CSG", formats d'échange).

#### **Chapitre 5. Les MOCN (01 Semaine)**

(Introduction, principaux organes, domaines d'utilisation, axes normalisés, origines, asservissement d'un axe, différentes architectures des MOCN).

#### **Chapitre 6. Programmation ISO (04 Semaines)**

(Introduction, structure d'un programme CN, principales fonctions préparatoires, principales fonctions auxiliaires, paramètres de coupe, cycles prédéfinis, exemples).

#### **Chapitre 7. Génération des trajectoires d'usinage (02 Semaines)**

(Introduction, stratégies d'usinage, pas longitudinal et pas transversal, tolérances, discontinuités et interférences).

**Les séances de TP :** devront avoir lieu dans une salle équipée de micro-ordinateurs sur lesquels est installé soit un logiciel de CFAO, soit un logiciel de CAO et un autre de FAO. Les TP doivent être divisées en deux parties :

#### **Partie CAO : (07 semaines)**

- Réalisation de pièces de formes complexes (utilisation des splines et des outils surfaciques). Sauvegarde sous un format neutre.
- Réalisation d'un assemblage.

- Détermination des caractéristiques de masse des pièces et des assemblages.
- Réalisation d'empreintes de moules et de matrices.
- Simulation statique (calcul rapide des contraintes et des déformations).
- Mise en plan des pièces et des assemblages (cartouche, nomenclature, annotations).
- Simulation cinématique et dynamique (Position, vitesse, accélération, trajectoire, force, couple, puissance).

### **Partie FAO : (08 semaines)**

Simulation de l'usinage des pièces en suivant les étapes suivantes :

- Modélisation de la pièce finie (ou ouverture de celle-ci, si elle est déjà conçue).
- Modélisation du brut (ou ouverture de celui-ci, s'il est déjà conçu).
- Choix du type d'usinage (tournage, usinage prismatique, usinage surfacique, ...).
- Choix de la machine (tour horizontal, tour vertical, fraiseuse 3 axes, fraiseuse 5 axes, ...).
- Sélection du référentiel.
- Sélection de la pièce finie et du brut.
- Choix d'un plan de sécurité.
- Choix du type d'usinage (ébauche, usinage de poche, surfaçage, contournage, suivi de courbes, balayage, perçage, dressage, chariotage, ...).
- Choix des surfaces à usiner (dans le cas du tournage, ça sera des génératrices).
- Choix de l'outil.
- Détermination des conditions de coupes (vitesses de coupe et d'avance).
- Choix de la stratégie d'usinage (Zig-zag, aller-retour, aller simple, ...).
- Choix des passes axiale et radiale (éventuellement).
- Réglages des macros d'approche et de retraite.
- Exécution de la simulation (génération des trajectoires d'outil).
- Visualisation de la vidéo générée.
- Détermination des temps d'usinage.
- Choix du post-processeur.
- Génération du programme d'usinage en G-code.
- Lecture et vérification du programme généré.

Pour la partie FAO, il faut commencer par des pièces de formes simples (prismatique et cylindrique) afin d'expérimenter l'effet de la variation des différents paramètres choisis (variation des conditions de coupe, des stratégies d'usinage, des outils de coupe, des passes radiale et axiale, des macros d'approche et de retraite, ...); la vérification du programme d'usinage généré sera aussi plus facile. Par la suite, des pièces de formes complexes peuvent alors être traitées sans difficultés. Si les moyens disponibles le permettent, il serait très bénéfique d'exécuter le programme généré sur une MOCN.

Le temps alloué étant très limité, une grande partie du travail devra être réalisé par les étudiants en dehors des heures de TP.

### **Mode d'évaluation:**

Control continu : 40% ; Examen : 60%.

### **Références bibliographiques:**

1. JEAN-CLAUDE LEON, "Modélisation et construction de surfaces pour la CFAO",
2. Ed. Hermès, Paris, 1991.
3. GERALD FARIN, "Curves and Surfaces for CAGD", Ed. Academic Press, 2002.
4. M. HOSAKA, "Modelling of Curves and Surfaces in CAD/CAM", Ed. Springer Verlag, 1992.
5. DAVID F. ROGERS, "An Introduction to NURBS with Historical Perspective", Ed. Academic Press, 2001.
6. KUNWOO LEE, "Principles of CAD/CAM/CAE systems", Ed. Addison Wesley, 1999.
7. IBRAHIM ZEID, "Mastering CAD/CAM", Ed. McGraw-Hill, 2004.

8. MILTIADIS A. BOBOULOS, "CAD-CAM & Rapid Prototyping Application Evaluation", Ed. Ventus Publishing Aps, 2010.
9. ALAIN BERNARD, "Fabrication assistée par ordinateur", Ed. Lavoisier Hermès-science, Paris, 2003.
10. PETER SMID, "CNC Programming Handbook", Ed. Industrial Press Inc., 2007.
11. JEAN VERGNAS, "Exploitation des machines-outils à commande numérique", Ed. Pyc, 1985.
12. CLAUDE HAZARD, "La commande numérique des machines-outils", Ed. Foucher, 1984.
13. CLAUDE MARTY, CLAUDE CASSAGNES, PHILIPPE MARIN, "La pratique de la commande numérique des machines-outils", Ed. Tec & Doc, 1993.
14. A. CORNAND, F. KOLB, "Usinage et commande numérique", Ed. Foucher, 1987.
15. P. GONZALEZ, "La commande numérique par ordinateur : tournage, fraisage, centrage", Ed. Casteilla, Paris, 1993.
16. Documentation du logiciel CATIA, "Catia Lathe Machining", "Catia Prismatic Machining", "Catia Advanced Machining".

**Semestre : 3**  
**Unité d'enseignement : UED 2.1**  
**Matière 5 : panier au choix**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 3**  
**Unité d'enseignement : UED2.1**  
**Matière6 : panier au choix**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 3**

**Unité d'enseignement : UET2.1**

**Matière : Recherche documentaire et conception de mémoire**

**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**

**Crédit : 1**

**Coefficient : 1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Donner à l'étudiant les outils nécessaires afin de rechercher l'information utile pour mieux l'exploiter dans son projet de fin d'études. L'aider à franchir les différentes étapes menant à la rédaction d'un document scientifique. Lui signifier l'importance de la communication et lui apprendre à présenter de manière rigoureuse et pédagogique le travail effectué.

**Connaissances préalables recommandées :**

Méthodologie de la rédaction, Méthodologie de la présentation.

**Contenu de la matière:**

**Partie I- : Recherche documentaire :**

**Chapitre I-1 : Définition du sujet**

**(02 Semaines)**

- Intitulé du sujet
- Liste des mots clés concernant le sujet
- Rassembler l'information de base (acquisition du vocabulaire spécialisé, signification des termes, définition linguistique)
- Les informations recherchées
- Faire le point sur ses connaissances dans le domaine

**Chapitre I-2 : Sélectionner les sources d'information**

**(02 Semaines)**

- Type de documents (Livres, Thèses, Mémoires, Articles de périodiques, Actes de colloques, Documents audiovisuels...)
- Type de ressources (Bibliothèques, Internet...)
- Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information

**Chapitre I-3 : Localiser les documents**

**(01 Semaine)**

- Les techniques de recherche
- Les opérateurs de recherche

**Chapitre I-4 : Traiter l'information**

**(02 Semaines)**

- Organisation du travail
- Les questions de départ
- Synthèse des documents retenus
- Liens entre différentes parties
- Plan final de la recherche documentaire

**Chapitre I-5 : Présentation de la bibliographie**

**(01 Semaine)**

- Les systèmes de présentation d'une bibliographie (Le système Harvard, Le système Vancouver, Le système mixte...)
- Présentation des documents.
- Citation des sources

## Partie II : Conception de mémoire

### Chapitre II-1 : Plan et étapes du mémoire (02 Semaines)

- Cerner et délimiter le sujet (Résumé)
- Problématique et objectifs du mémoire
- Les autres sections utiles (Les remerciements, La table des abréviations...)
- L'introduction (*La rédaction de l'introduction en dernier lieu*)
- État de la littérature spécialisée
- Formulation des hypothèses
- Méthodologie
- Résultats
- Discussion
- Recommandations
- Conclusion et perspectives
- La table des matières
- La bibliographie
- Les annexes

### Chapitre II- 2 : Techniques et normes de rédaction (02 Semaines)

- La mise en forme. Numérotation des chapitres, des figures et des tableaux.
- La page de garde
- La typographie et la ponctuation
- La rédaction. La langue scientifique : style, grammaire, syntaxe.
- L'orthographe. Amélioration de la compétence linguistique générale sur le plan de la compréhension et de l'expression.
- Sauvegarder, sécuriser, archiver ses données.

### Chapitre II-3 : Atelier : Etude critique d'un manuscrit (01 Semaine)

### Chapitre II-4 : Exposés oraux et soutenances (01 Semaine)

- Comment présenter un Poster
- Comment présenter une communication orale.
- Soutenance d'un mémoire

### Chapitre II-5 : Comment éviter le plagiat ? (01 Semaine)

(Formules, phrases, illustrations, graphiques, données, statistiques,...)

- La citation
- La paraphrase
- Indiquer la référence bibliographique complète

### Mode d'évaluation :

Examen : 100%

### Références bibliographiques :

1. M. Griselin et al., *Guide de la communication écrite, 2e édition, Dunod, 1999.*
2. J.L. Lebrun, *Guide pratique de rédaction scientifique : comment écrire pour le lecteur scientifique international, Les Ulis, EDP Sciences, 2007.*
3. A. Mallender Tanner, *ABC de la rédaction technique : modes d'emploi, notices d'utilisation, aides en ligne, Dunod, 2002.*
4. M. Greuter, *Bien rédiger son mémoire ou son rapport de stage, L'Etudiant, 2007.*
5. M. Boeglin, *lire et rédiger à la fac. Du chaos des idées au texte structuré. L'Etudiant, 2005.*
6. M. Beaud, *l'art de la thèse, Editions Casbah, 1999.*
7. M. Beaud, *l'art de la thèse, La découverte, 2003.*
8. M. Kalika, *Le mémoire de Master, Dunod, 2005.*

**Proposition de quelques matières de découverte**

**Semestre: ..**  
**Unité d'enseignement: UED..**  
**Matière 1:Capteur intelligent**  
**VHS:22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits:1**  
**Coefficient:1**

Objectifs de l'enseignement :

Maitriser le principe de base de fonctionnement d'un capteur, les caractéristiques métrologiques dont il faut tenir compte lors de l'utilisation et le choix d'un capteur ainsi que les différents éléments constitutifs d'une chaîne de mesure.

Connaissances préalables recommandées :

Electricité générale, mesures électriques et électroniques, Capteur et conditionneur et traitement de signal

Contenu de la matière :

Chapitre 1. Généralités et Caractéristiques métrologiques des capteurs (2 semaines)

Rappels sur l'analyse dimensionnelle et calcul d'incertitudes, principes et classification des capteurs, capteurs passifs, capteurs actifs, Etalonnage, sensibilité, linéarité, précision...

Chapitre 2. Introduction aux systèmes intelligents et communicants (2 semaine)

Evolution technologique et besoins industriels, définitions des capteurs intelligents et leurs fonctions, cycle de vie, applications.

Chapitre 3. Les capteurs intelligents dans l'industrie 4.0 (4 semaines)

Industrie 4.0, intégration des smart sensors, rôle des capteurs intelligents

Chapitre 4. Mini-projets sur les capteurs intelligents (ateliers) (4 semaines)

Dans ce chapitre les étudiants réaliseront des mini-projets sur les capteurs intelligents ; capteurs de pollution, position, pression.

Mode d'évaluation:

-Contrôle continu 50 %

-Travail personnel (ateliers) 50 % - Mini-projets sur les capteurs intelligents ; dans cette partie l'étudiant a le choix de choisir un mini projet sur les différents types des capteurs intelligents et de le réaliser suivant les moyens disponibles.

Références bibliographiques:

1. J.Niard, "Mesures électriques", Nathan 1981.
2. J. P. Bentley, "Principles of measurement systems", Pearson education 2005.
3. P. Dassonville, "Les capteurs", Dunod 2013.
4. J. M. Broust, "Appareillages et installations électriques industriels : conception, coordination, mise en oeuvre et maintenance", Dunod, Paris 2008.
5. M.BAYART, Capteurs et actionneurs intelligents, technique de l'ingénieur N°S 7 5202005.
6. George Ash et coll, Les capteurs en instrumentation industriel, Dunod 2010.
7. Karim Bourouni, Exercices de mesures et instrumentation avec quelques corrigés, l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 2011.
8. P. Dassonville, Les capteurs -70 exercices et problèmes corrigés, Dunod 2019.

**Semestre: ..**

**Unité d'enseignement: UED..**  
**Matière 1:Froid et conditionnement d'air**  
**VHS:22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits:1**  
**Coefficient:1**

### **Objectifs de l'enseignement :**

Cette matière permet à l'étudiant : d'acquérir des connaissances dans le domaine de la climatisation et du conditionnement d'air, de maîtriser le principe de base de fonctionnement d'un circuit frigorifique, d'aborder la technologie des installations frigorifiques.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Thermodynamique et transfert de chaleur.

### **Contenu de la matière :**

<b>Chapitre 1. Généralités</b>	<b>(02 semaines)</b>
Notion de confort, réfrigération, humidification.	
<b>Chapitre 2. Circuit frigorifique</b>	<b>(03 semaines)</b>
Constitution, fonctionnement, fluides frigorigènes.	
<b>Chapitre 3. Diagramme enthalpique</b>	<b>(04 semaines)</b>
Définition, cycle frigorifique, application et utilisation du diagramme.	
<b>Chapitre 4. Étude du cas</b>	<b>(04 semaines)</b>
Bilan thermique, dimensionnement d'un circuit frigorifique, détermination des principaux composants.	
<b>Chapitre 5. Humidificateurs d'air</b>	<b>(02 semaines)</b>
Nécessité, applications.	

### **Mode d'évaluation:**

Examen: 100 %.

### **Références bibliographiques:**

1. H. Noack et R. Seidel, "Pratique des installations frigorifiques", Editions PYC 1999.
2. P. Rapin, P. Jacquard, J.Desmons, "Technologie des installations frigorifiques", Editions PYC 2015.
3. J. Bouteloup, M. Le Guay, J.E. Ligen, "Climatisation - Conditionnement d'air", Tome 1: Traitement de l'air, Editions parisiennes (EDIPA) 1996.
4. F. Reinmuth, "Climatisation et conditionnement d'air modernes par l'exemple", Tome 1: Les calculs, Editions PYC Livres, Paris 1999.
5. F. Reinmuth, "Climatisation et conditionnement d'air modernes par l'exemple", Tome 2: Le choix d'un système, Editions PYC Livres, Paris 1999.

**Semestre: ..**  
**UE DécouverteCode: UED ..**

**Matière: Exploitation des énergies renouvelables**

**VHS:22h30 (Cours: 1h30)**

**Crédits:1**

**Coefficient:1**

### **Objectifs de l'enseignement**

Doter les étudiants des bases scientifiques leur permettant d'intégrer la communauté de la recherche scientifique dans le domaine des énergies renouvelables, des batteries et des capteurs associés à des applications d'ingénierie.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Dispositifs et technologies de conversion de l'énergie.

### **Contenu de la matière**

<b>Chapitre 1. Introduction aux énergies renouvelables</b>	<b>(04 semaines)</b>
<b>Chapitre 2. Exploitation de l'énergie solaire</b>	<b>(04 semaines)</b>
<b>Chapitre 3. Exploitation de l'énergie éolienne</b>	<b>(03 semaines)</b>
<b>Chapitre 4. Exploitation d'autres sources renouvelables : hydraulique, géothermique, biomasse ...</b>	<b>(02 semaines)</b>
<b>Chapitre 5. Stockage, pile à combustibles et hydrogène</b>	<b>(02 semaines)</b>

### **Mode d'évaluation :**

Examen:100%.

### **Références bibliographiques:**

1. Sabonnadière Jean Claude. Nouvelles technologies de l'énergie 1: Les énergies renouvelables, Ed. Hermès.
2. Gide Paul. Le grand livre de l'éolien, Ed. Moniteur.
3. A. Labouret. Énergie Solaire photo voltaïque, Ed. Dunod.
4. Viollet Pierre Louis. Histoire de l'énergie hydraulique, Ed. Press ENP Chaussée.
5. Peser Felix A. Installations solaires thermiques: conception et mise en œuvre, Ed. Moniteur.

**Semestre: ..**

**UE Découverte Code: UED ..**

**Matière: Traitement de signal**

**VHS:22h30 (Cours: 1h30)**

**Crédits: 1**

**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Cette matière vise à fournir aux étudiants les outils notions de base sur l'analyse des signaux et spectres dans le but d'utilisation en maintenance et détections des défauts.

**Connaissances préalables recommandées:**

Mathématiques, Algèbre

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 01. Généralités (03 semaines)**

Introduction; Définitions; Classification des signaux; Signaux particuliers; Représentation fréquentielle

**Chapitre 02. Traitement du signal analogique (04 semaines)**

Série de Fourier; Transformée de Fourier; Convolution; Notion de filtrage; Notion de modulation

**Chapitre 03. Numérisation (04 semaines)**

Echantillonnage; Quantification; Codage

**Chapitre 04. Traitement du signal numérique (04 semaines)**

Transformée de Fourier d'un signal discret; Transformée de Fourier discrète; Notion de transformée de Fourier rapide

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100 %.

**Références bibliographiques:**

1. Dominique Placko, « Mesure et instrumentation : Volume 1. De la physique du capteur au signal électrique », Editeur : Hermès - Lavoisier, Octobre 1970.
2. Maïtine Bergouniou, « Mathématiques pour le traitement du signal - Cours et exercices corrigés », SCIENCES SUP - Dunod, 2010.
3. M. Benidir, « Théorie et traitement du signal : Tome 1 - représentation des signaux et des systèmes », Collection: Sciences Sup, Dunod, 2002.

**Semestre: ..**

**UE Transversale Code: UED ..**

**Matière: Sécurité industrielle et habilitation****VHS: 22h30(Cours: 1h30)****Crédits: 1****Coefficient: 1****Objectifs de l'enseignement:**

La matière a pour objectif d'informer le futur master sur la nature des accidents électriques, les méthodes de secours des accidentés électriques et de lui donner les connaissances suffisantes pour lui permettre de dimensionner au mieux les dispositifs de protection du matériel et du personnel intervenant dans l'industrie et autres domaines d'utilisation de ces équipements.

**Connaissances préalables recommandées:**

Réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique.

**Contenu de la matière:**

<b>Chapitre 1. Risques électriques</b>	<b>(03 semaines)</b>
Historique; Normes; Statistiques sur les accidents électriques	
<b>Chapitre 2. Nature des accidents électrique et dangers du courant électrique</b>	<b>(03 semaines)</b>
<b>Chapitre 3. Mesures de protection</b>	<b>(03 semaines)</b>
Protection des personnes et matériels	
<b>Chapitre 4. Mesure de sécurité contre les effets indirects du courant électrique</b>	<b>(04 semaines)</b>
Matières nuisibles; Incendie; Explosions, etc	
<b>Chapitre 5. Mesure de secours et soins</b>	<b>(02 semaines)</b>

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100%.

**Références bibliographiques:**

1. Détection, extinction et plans de consignes, Editions CNPP-France, 15<sup>ème</sup> édition, 2014, 224 pages.
2. Notice de sécurité incendie : mode d'emploi. Editions CSTB-France, 2013, 218 pages.
3. Nichan Margossian, Risques et accidents industriels majeurs, L'usine nouvelle, 2006, Dunod
4. CHOQUET. R. La sécurité électrique. Techniques de prévention. DUNOD.
5. FOLLIOT. D. Les accidents d'origine électrique et leur prévention. MASSON.
6. VILLEMEUR A., « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels », Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France N° 67, Eyrolles, 1988.

**Semestre: ..****UE Découverte Code:UED ..**

**Matière: Informatique Industrielle**

**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**

**Crédits: 1**

**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Cette matière permet aux étudiants de ce master de se familiariser avec le domaine de l'informatique industrielle. Ils acquerront les notions des protocoles de communication.

**Connaissances préalables recommandées:**

Logique combinatoire et séquentielle,  $\mu$ -processeurs et  $\mu$ -contrôleurs, informatique.

**Contenu de la matière:**

<b>Chapitre 1. Introduction à l'informatique industrielle</b>	<b>(02 semaines)</b>
<b>Chapitre 2. Branchement du matériel à un <math>\mu</math>P</b>	<b>(02 semaines)</b>
<b>Chapitre 3. Périphériques et interfaces (Ports, Timers, ...etc)</b>	<b>(04 semaines)</b>
<b>Chapitre 4. Bus de communication série (RS-232, DHCP, MODBUS, I2C)</b>	<b>(05 semaines)</b>
<b>Chapitre 5. Acquisition de données: les périphériques CAN et CNA</b>	<b>(02 semaines)</b>

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100 %.

**Références bibliographiques:**

1. Baudoin, Geneviève & Virolleau, Férial, « Les DSP famille, TMS 320C54X [texte imprimé] : développement d'applications », Paris : Francis Lefebvre, 2000, ISBN : 2100046462.
2. Pinard, Michel, « Les DSP, famille ADSP218x [texte imprimé] : principes et applications », Paris : Francis Lefebvre, 2000, ISBN : 2100043439.
3. Tavernier, Ch., « Les microcontrôleurs PIC : applications », Paris : Francis Lefebvre, 2000, ISBN : 2100059572.
4. Tavernier, Ch., « Les microcontrôleurs PIC : description et mise en œuvre », Paris : Francis Lefebvre, 2004, ISBN : 2100067222.
5. Cazaubon, christian, « Les microcontrôleurs HC11 et leur programmation », Paris : Masson, [s.d], ISBN : 2225855277.
6. Tavernier, Christian, « Les microcontrôleurs AVR : description et mise en œuvre », Paris : Francis Lefebvre, 2001, ISBN : 2100055798.
7. Dumas, Patrick, « Informatique industrielle : 28 problèmes pratiques avec rappel de cours », Paris : Francis Lefebvre, 2004, ISBN : 2100077074.