



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 والتكنولوجيا  
Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



# OFFRE DE FORMATION L.M.D. MASTER PROFESSIONNALISANT 2016 - 2017

Etablissement	Faculté / Institut	Département
Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou	Faculté du Génie de la Construction	Génie Mécanique

Domaine	Filière	Spécialité
Sciences et Technologies	Génie mécanique	Energétique <u>Option</u> : Froid, Chauffage et climatisation



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 والتكنولوجيا  
Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



## عرض تكوين ماستر مهني

2017-2016

القسم	الكلية/ المعهد	المؤسسة
الهندسة الميكانيكية	كلية الهندسة البناء	جامعة مولود معمري تيزيوزو

التخصص	الفرع	الميدان
طاقة التبريد التدفئة وتكييف الهواء	هندسة ميكانيكية	علوم وتكنولوجيا

**I – Fiche d'identité du Master**

## 1. Conditions d'accès

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

- Licence en énergétique
- Licence en Mécanique des fluides
- Licence en Mécanique Energétique

## 2. Objectifs de la formation *(compétences visées, connaissances acquises à l'issue de la formation- maximum 20 lignes)*

Les objectifs visés par la formation sont :

- a. Maîtrise des techniques de froid industriel, de chauffage et de climatisation des locaux
- b. Connaissance des logiciels de simulations pour les besoins d'un bureau d'étude dans le domaine de la formation envisagé.

## 3. Profils et compétences visés *(maximum 20 lignes) :*

1. Expertise énergétique des habitations et de différents locaux
2. Etude et installation de chambres froides, de systèmes de climatisation et de conditionnement d'air.

## 4. Potentialités régionales et nationales d'employabilité

Favorable pour l'emploi privé ou public et création de bureaux d'études.

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

**MASTER 1 : Froid, chauffage et climatisation.****Semestre 1**

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	T. Personnel			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF1.1 : Obligatoire</b>									
Transfert de masse	67h30	03h	01h30		03h	05	07	+	+
<b>UEF1.2 : Obligatoire</b>									
Thermique du bâtiment	67h30	03h	01h30		03h	05	07	+	+
<b>UEF1.3 : Obligatoire</b>									
Thermodynamique	67h30	03h	01h30		03h	05	07	+	+
<b>UE transversales</b>									
<b>UET1.1 : Obligatoire</b>									
Méthodes mathématiques	45h	01h30	01h30		03h	04	05	+	+
<b>UE Découvertes</b>									
<b>UED1.1 Obligatoire</b>									
Management	22h30	01h30				02	02		+
Organisation et gestion des entreprises	22h30	01h30				02	02		+
<b>Total Semestre 1</b>	<b>292h30</b>	<b>13h30</b>	<b>06h</b>		<b>12h</b>	<b>23</b>	<b>30</b>		

**Semestre2**

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	T. Personnel			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF2.1 : Obligatoire</b>									
Echangeurs de chaleur	67h30	03h	01h30		03h	05	06	+	+
Transferts de chaleur avec changement de phase	67h30	03h	01h30		03h	05	06		+
<b>UEF2.2 : Obligatoire</b>									
Mécanique des fluides appliquée	90h	03h	01h30	1h30	03h	05	07	+	+
<b>UE transversales</b>									
<b>UET2.1 : Obligatoire</b>									
Méthodes numériques	45h	01h30	01h30		02h	04	04	+	+
Initiation aux logiciels de simulation numérique	45h			03h	01h30	03	04	+	
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM2.1 : Obligatoire</b>									
Techniques de mesures	22h30	01h30			01h30	03	03	+	
<b>Total Semestre 2</b>	<b>337h30</b>	<b>12h</b>	<b>06h</b>	<b>04h30</b>	<b>14h</b>	<b>25</b>	<b>30</b>		

**MASTER 2 : Froid, chauffage et climatisation.****Semestre 3**

Unité d'Enseignement	VHS	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	T. Personnel			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF3.1 : Obligatoire</b>									
Froid industriel et liquéfaction des gaz	90h	03h	01h30	01h30	03h	05	07	+	+
<b>UEF3.2 : Obligatoire</b>									
Capteurs et installations solaires	67h30	03h	01h30		03h	05	06	+	+
<b>UEF3.3 : Obligatoire</b>									
Chauffage et ventilation	67h30	03h	01h30		03h	05	06	+	+
Systemes de conditionnement d'air : Etude et dimensionnement	45h	01h30	01h30		02h	04	05	+	+
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM3.1 : Obligatoire</b>									
Simulation numérique	45h			03h	02h	03	04	+	
<b>UE transversales</b>									
<b>UET3.1 : Obligatoire</b>									
Anglais technique	22h30	01h30			01h	02	02		+
<b>Total Semestre 3</b>	<b>337h30</b>	<b>12h</b>	<b>06h</b>	<b>04h30</b>	<b>14h</b>	<b>24</b>	<b>30</b>		



**UE Découverte (S1, S2 et S3)**

- 1- *Electronique appliquée*
- 2- *Electrotechnique appliquée*
- 3- *Audit énergétique*
- 4- *Energies renouvelables*
- 5- *Maintenance et Sécurité industrielle*
- 6- *Hygiène et sécurité*
- 7- *Aéronautique*
- 8- *Transport*
- 9- *Fiabilité*
- 10- *Management de la qualité*
- 11- *La Conception collaborative*
- 12- *Théorie de résolution des problèmes d'innovation « Méthode TRIZ »*
- 13- *Systèmes et dispositifs hydrauliques et pneumatiques*
- 14- *Autres...*

**Semestre 4**

Le semestre 4 est réservé à la préparation d'un mémoire de Master et un éventuel stage en entreprise. A la fin, l'étudiant soutient publiquement son mémoire devant un jury de soutenance.

Mémoire de fin de cycle	Crédits
Total Semestre 4	30

**Ce tableau est donné à titre indicatif****Evaluation du Projet de Fin de Cycle de Master**

- Valeur scientifique (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 - Fiches d'organisation des unités d'enseignement**  
(Etablir une fiche par UE)

**Libellé de l'UE : UEF1.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option : Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 01**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h00 TD : 01h30 TP : Travail personnel : 03h00
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 07 crédits  Matière 1 : Transfert de masse Crédits : 07 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Examen final
Description des matières	Matière 1 : Transfert de masse

**Libellé de l'UE : UEF1.2**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option : Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 01**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h00 TD : 01h30 TP : Travail personnel : 03h00
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 07 crédits  Matière1 : Thermique du bâtiment Crédits : 07 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1 : Thermique du bâtiment

**Libellé de l'UE : UEF1.3**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option : Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 01**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h00 TD : 01h30 TP : Travail personnel: 03h00
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 07 crédits  Matière 1 : Thermodynamique Crédits : 07 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1 : Thermodynamique

**Libellé de l'UE : UEF2.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 02**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 06h TD : 03h TP : Travail personnel : 06h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 12crédits  Matière 1 : Echangeurs de chaleur Crédits : 06 Coefficient : 05  Matière 2 : Transfert de chaleur avec changement de phase Crédits : 06 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Examen final
Description des matières	Matière 1 : Echangeurs de chaleur  Matière 2 : Transfert de chaleur avec changement de phase

**Libellé de l'UE : UEF2.2**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 02**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h00 TD : 01h30 TP : 01h30 Travail personnel : 03h00
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 07 crédits  Matière 1 : Mécanique des fluides Appliquée Crédits : 07 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1: Mécanique des fluides Appliquée.

**Libellé de l'UE : UEF3.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 03**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h TD : 01h30 TP : 01h30 Travail personnel : 03h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 07crédits Matière 1 : Froid industriel et liquéfaction des gaz Crédits : 07 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu : Examen :
Description des matières	Matière 1 : Froid industriel et liquéfaction des gaz

**Libellé de l'UE : UEF3.2**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 03**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h TD : 01h30 TP Travail personnel : 03h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 06crédits Matière 1 : Capteurs et installations solaires Crédits : 06 Coefficient : 05
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1 : Capteurs et installations solaires

**Libellé de l'UE : UEF3.3**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 03**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 04h30 TD : 01h30 TP : Travail personnel : 05h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 11crédits Matière 1 : Chauffage et ventilation Crédits : 06 Coefficient : 05  Matière 2 : Systèmes de conditionnement d'air Crédits : 05 Coefficient : 04
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1 : Chauffage et ventilation  Matière 2 : Systèmes de conditionnement d'air

**Libellé de l'UE : UEM2.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 02**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : TD : TP : 01h30 Travail personnel : 01h30
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 03crédits Matière 1 : Techniques de mesures Crédits : 03 Coefficient : 03
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu
Description des matières	Matière 1 : Techniques de mesures

**Libellé de l'UE : UEM3.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 03**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : TD : TP : 03h Travail personnel : 02h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 04crédits Matière 1 : Simulation numérique Crédits : 04 Coefficient : 03
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu
Description des matières	Matière 1 : Simulation numérique

**Libellé de l'UE : UET1.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 01**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 01h30 TD : 01h30 TP Travail personnel : 03h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 05 crédits Matière 1 : Méthodes mathématiques Crédits : 05 Coefficient : 04
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1 : Méthodes mathématiques

**Libellé de l'UE : UET2.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 02**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 01h30 TD : 01h30 TP : 03h Travail personnel : 03h30
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 08crédits Matière 1 : Méthodes numériques Crédits : 04 Coefficient : 04  Matière 2 : Initiation aux logiciels de simulation numérique. Crédits : 04 Coefficient : 03
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Contrôle continu Examen
Description des matières	Matière 1 : Méthodes numériques  Matière 2 : Initiation aux logiciels de simulation numérique.



**Libellé de l'UE : UET3.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 03**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 01h30 TD : TP Travail personnel : 01h
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 02crédits Matière 1 : Anglais technique Crédits : 02 Coefficient : 02
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Examen
Description des matières	Matière 1 : Anglais technique

**Libellé de l'UE : UED1.1**  
**Filière : Génie mécanique**  
**Spécialité : Energétique ; Option Froid, chauffage et climatisation**  
**Semestre : 01**

Répartition du volume horaire global de l'UE et de ses matières	Cours : 03h00 TD : TP : Travail personnel :
Crédits et coefficients affectés à l'UE et à ses matières	UE : 04crédits Matière 1 : Management Crédits : 02 Coefficient : 02  Matière 2 : Organisation et Gestion des Entreprises Crédits : 02 Coefficient : 02
Mode d'évaluation (continu ou examen)	Examen
Description des matières	Matière 1 : Management Matière 2: Organisation et Gestion des Entreprises

**IV - Programme détaillé par matière**  
(1 fiche détaillée par matière)

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 1****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF1.1****Matière : Transfert de Masse****VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)****Crédits : 7****Coefficient : 5****Objectifs de l'enseignement :**

A travers ce module il sera question d'apprendre à effectuer des bilans massiques dans différents milieux et à évaluer les flux massiques.

Par ailleurs, l'échange couplé de chaleur et de masse à l'interphase liquide-vapeur permettra le calcul des tours de refroidissement d'eau.

**Connaissances préalables recommandées :**

Développements mathématiques – Couches limites dynamique et thermique – Transferts de chaleur par conduction et convection – équilibres liquide-vapeur.

**Contenu de la matière :****Chapitre 1 : Définitions****(02 semaines)**

- 1- Concentration moléculaire
- 2- Concentration et fraction massiques
- 3- Concentration et fraction molaires
- 4- Masse molaire d'un mélange
- 5- Pression partielle
- 6- Fraction massique de la vapeur d'eau dans l'air
- 7- Humidité absolue de l'air humide.

**Chapitre 2 : Diffusion moléculaire dans les solides****(02 semaines)**

- 1- Loi de Fick
- 2- Diffusion en régime permanent à travers :
  - 2.1- une paroi plane
  - 2.2- une couche cylindrique
  - 2.3- des couches multiples
- 3- Diffusion dans un solide semi infini
- 4- Diffusion dans un milieu poreux

**Chapitre 3 : Diffusion à l'interphase****(01 semaine)**

- 1- Diffusion à l'interphase solide-gaz : Solubilité et perméabilité.
- 2- Diffusion à l'interphase liquide-gaz : Loi d'Henry et constante d'Henry.

**Chapitre 4 : Diffusion moléculaire dans des gaz stationnaires (02 semaines)**

- 1- Expression du flux de diffusion
- 2- Problème de Stefan
- 3- Evaporation d'une gouttelette

**Chapitre 5 : Transfert de masse par convection (03 semaines)**

- 1- Théorie des faibles taux de transferts de masse.
- 2- Similitude avec le transfert de chaleur par convection.

**Chapitre 6 : Transferts couplés de chaleur et de masse (01 semaines)**

**Chapitre 7 : Tours de refroidissement d'eau (04 semaines)**

- 1- Cas où l'équilibre thermique est établi entre l'eau à température constante et l'air.
- 2- Cas où l'équilibre thermique est établi entre l'air à température constante et l'eau.
- 3- Calcul d'une tour de refroidissement d'eau.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 00% ; Examen : 100%.

**Références bibliographiques :**

1. F. Kreith. Transmission de la chaleur et thermodynamique. Masson,1967
2. F. Kreith, R. F. Boehm. Heat and Mass Transfer. Mechanical engineering handbook. Ed. Franck Kreith Boca Raton: crc Press LLC,1999.
3. R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. Transport phenomena John Wiley,1966.
4. J. F. Sacadura. Initiation aux transferts Thermiques. Technique et documentation,1978.
5. F. P. Incropera and D. P. De Witt. Introduction to heat transfert. 4<sup>th</sup> ed. New York John Wiley, 2002.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 1****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF1.2****Matière : Thermique du bâtiment****VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)****Crédits : 7****Coefficient : 5****Objectifs de l'enseignement :**

Permettre à l'étudiant d'acquérir les bases scientifiques nécessaires pour comprendre la thermique appliquée au bâtiment :

- Comprendre les phénomènes de transferts thermiques dans le bâtiment.
- Savoir réaliser un bilan thermique du bâtiment et évaluer les besoins en chauffage.
- Analyser les solutions pour limiter les besoins énergétiques du bâtiment.

**Connaissances préalables recommandées :**

- Thermodynamique
- Transferts thermiques.

**Contenu de la matière :****Chapitre 1 : Généralités sur le transfert de chaleur (03 semaines)**

## 1.1. Notions de base.

- Notion de chaleur, Notion de température, Flux de chaleur, Puissance thermique, Chaleur massique, Chaleur sensible, Chaleur volumique, Chaleur latente.

## 1.2. Les trois modes de transfert de chaleur.

- Conduction (Loi de Fourier, Flux de chaleur par conduction)
- Convection (Convection naturelle, convection forcée, flux de chaleur par convection)
- Rayonnement (le rayonnement solaire, le rayonnement thermique, émittance, corps noir, effet de serre)

**Chapitre 2 : Transferts de chaleur dans les bâtiments (régime statique) (04 semaines)**

## 2.1 La résistance thermique d'une paroi « R »

- Paroi homogène
- Résistance thermique d'échange superficiel interne et externe (Rsi et Rse)
- Paroi constituée par un matériau non homogène
- Cas général
- Résistance thermique des couches d'air
- La lame d'air dans le double vitrage
- L'isolation thermique et les isolants thermiques.

## 2.2 Le coefficient de transmission thermique " U "

**Chapitre 3 : Les déperditions thermiques d'un bâtiment (03 semaines)**

## 3.1. Les déperditions par transmission

- Les déperditions surfaciques par les parois opaques, parois vitrées, (coefficient U), transmission
- Les déperditions linéiques et les déperditions ponctuelles (les ponts thermique).

## 3.2. Les déperditions par renouvellement d'air

## 3.3. Calcul du coefficient d'échange global volumique (G : W/m3)

**Chapitre 4 : Evaluation des besoins en chauffage****(02 semaines)**

- 4.1 Les gains solaires
- 4.2 Les gains internes
- 4.3 Degrés jours, degrés jours unifiés
- 4.4 Evaluation des besoins en chauffage

**Chapitre 5 : L'air humide et la condensation de vapeur****(03 semaines)**

## 5.1 Généralités sur l'air humide et les grandeurs hygrométriques

- La pression partielle de vapeur
- L'humidité spécifique
- L'humidité relative
- L'enthalpie spécifique
- La température de rosée
- La température "sèche" et température "humide"

## 5.2 La condensation de vapeur dans le bâtiment

- La condensation de surface
- La condensation interne par diffusion de vapeur
- La condensation interne par transport de vapeur par convection
- La résistance à la diffusion de vapeur d'une paroi.
- Les effets néfastes de la condensation : sur le confort thermique, sur les matériaux

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu : Examen : 100%**Références bibliographiques :**

1. Thierry Gallauziaux et David Fedullo. Le grand livre de l'isolation. Editions Eyrolles 2009. 61, bd Saint Germain, 75 240 Paris Cedex 05.
2. Alain Liébard et André De Herde. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. Editeur Observ'ER (Observatoire des Energies Renouvelables) 2005. 146, rue de l'université 75007 Paris.
3. Edward Mazria. Le guide de la maison solaire passive. Traduction française et adaptation par Pierre Bazan. Editions Parenthèses 2006.
4. S. Belakhowsky. Déperditions calorifiques et isolation thermique des habitations. Editions Technique et vulgarisation 1978. 21, rue Claude-Bernard, 75005 Paris.
5. A. Bondil et J. Hrabovsky. Isolation Thermique. Tome 1 : Le règlement de construction. L'isolation thermique et l'aération des bâtiments d'habitation. Tome 2 : L'isolation thermique et la ventilation des bâtiments autres que d'habitation. Constructions neuves. Editions Eyrolles 1979. Editions Eyrolles 2009. 61, bd Saint Germain, 75 240 Paris Cedex 05.
6. Claude-Alain Roulet. Energétique du bâtiment, Volume 1 : Interactions entre le climat et le bâtiment. Energétique du bâtiment, Volume 2 : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global. Editions Presses Polytechniques Romandes, Centre Midi. 1987. 1015 Lausanne, Suisse.
7. Document Technique Réglementaire (D.T.R. C 3-2). Réglementation thermique des bâtiments d'habitation. Règles de calcul des déperditions calorifiques. Fascicule 1.
- 8 F. Kreith. Transmission de chaleur et thermodynamique. Masson 1967.
- 9 J.F. SACADURA- Initiation aux transferts thermiques. 1993 Technique et Documentation 11 rue Lavoisier 75008 Paris.
- 10 MAC ADAMS (W.H.). - Transmission de la chaleur. Éd. Dunod, Paris (1961).

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 1****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF1.3****Matière : Thermodynamique****VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)****Crédits : 7****Coefficient : 5****Objectifs de l'enseignement :**

Maitrise des bilans énergétique, entropique et exergétique en vue de l'amélioration des systèmes thermodynamiques réels. Approcher au mieux le comportement des fluides réels.

**Connaissances préalables recommandées :**

Thermodynamique, conversion d'énergie

**Contenu de la matière :****Chapitre1. Rappels (03 semaines)**

Les bilans de masse, d'énergie et d'entropie, le bilan exergétique.  
Application aux systèmes ouverts, systèmes fermés cycliques.

**Chapitre2. Fonctions et relations thermodynamiques (02 semaines)**

Fonction enthalpie, fonction énergie libre, fonction enthalpie libre.  
Relations de Clapeyron.  
Relations de Maxwell.

**Chapitre3. Les fluides réels. (03 semaines)**

Isothermes d'un fluide réel, représentation de Clapeyron, représentation d'Amagat ; le facteur de compressibilité.

Modèle de Vander Waals, autres équations d'état, équation d'état d'un liquide.  
Expression de l'énergie interne, de l'enthalpie, de l'entropie d'un gaz réel.

**Chapitre4. Equilibres diphasiques d'un corps purs (03 semaines)**

Généralités sur les transitions de phase, états de la matière, différents changements d'état, variance.

Equilibre liquide-vapeur  
Diagramme (P, v), diagramme (T, s), étude du point critique, chaleur latente de changement d'état. Formule de Clapeyron.  
Echange thermique dans la zone diphasique.  
Energie interne, enthalpie, entropie d'une vapeur saturée.

**Chapitre5. Détentes des gaz réels. (04 semaines)**

Détente isoénergétique (Joule et Gay-Lussac)  
Détente isenthalpique (Joule et Kelvin), Coefficient de Joule-Kelvin, température d'inversion, courbe d'inversion.

Détente isentropique  
Application : Rappel sur les principaux systèmes de liquéfaction des gaz et de réfrigération cryogénique.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40%. Examen : 60%

**Références bibliographiques:**

1. Michal J.Moran , Howard N.Shapiro , Fundamentals of Engineering Thermodynamics, fifth edition,Wiley.
2. José-Phillipe Pérez, Thermodynamique, Fondements et applications, 3<sup>eme</sup> édition, Masson sciences, Dunod, 2001
3. G.J. Van Wylen, R.E. Sonntag, Thermodynamique appliquée, Edition de Renouveau Pédagogique, Inc, 1981
4. M. Feidt, Énergétique, concepts et application, science sup, Dunod, 2006
5. R. Kling, Thermodynamique générale et applications, deuxième édition, Technip ,1980
6. A. Lallemand, Génie Énergétique, Technosup, ellipses, 2011
7. T.M. Flynn, Cryogenic engineering, second édition, Marcel Dekker, 2005



**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 1****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Transversale UET1.1****Matière : Méthodes Mathématiques****VHS : 45h 00 (Cours : 1h30, TD : 1h30)****Crédits : 5****Coefficient : 4**

**Objectifs de l'enseignement :** Présenter des méthodes mathématiques adaptées aux intérêts des étudiants leurs permettant de maîtriser des concepts et des techniques pour les appliquer efficacement dans des contextes professionnels variés.

**Connaissances préalables recommandées :** Mathématiques III et IV (programme S3 et S4 deuxième année Licence)

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 :** Transformation de Fourier et ses propriétés – Exemples fondamentaux – Transformation inverse – Applications à la résolution des équations différentielles. **(03 semaines)**

**Chapitre 2 :** Transformation de Laplace et ses propriétés – Exemples fondamentaux – Transformation inverse – Application à la résolution des équations différentielles **(3 semaines)**

**Chapitre 3 :** Fonctions holomorphes – Eléments sur la théorie des résidus - Exemples de calculs d'intégrales - Fonctions harmoniques - Transformations conformes – Applications aux écoulements plans. **(04 semaines)**

**Chapitre 4 :** Introduction aux équations aux dérivées partielles du premier et second ordre. Equation de Laplace – Equation de la chaleur – Equation de transport. **(05 semaines)**

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

**Références bibliographiques :**

1. Laurent di Menza. *Analyse numériques des équations aux dérivées partielles*
2. A.P.S. Selvaduri. *Partial differential equations in mechanics* – Vol 1 et 2
3. Carl. M. Bender, Steven A. Orszag. *Advanced mathematical methods for scientists and engineers.*
4. Paul W. Berg, James L. McGregor. *Elementary partial differential equations.* Holden-Day-, Inc 1964 San Francisco

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation**

**Semestre : 1**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Découverte UED1.1**

**Matière : Organisation et gestion des entreprises**

**VHS : 21h 00 (Cours : 1h30)**

**Crédits : 2**

**Coefficient : 2**

**Objectifs de l'enseignement :**

Initiation à la gestion d'une entreprise

**Connaissances préalables recommandées :**

**Contenu de la matière :**

**Initiation à l'entreprise et à son environnement**

- L'entreprise cellule économique : ses relations avec les autres cellules économiques et le marché.
- Typologie : types, dimensions, formes juridiques, les groupes, les multinationales, structure de l'entreprise
- Fonction de production, formalisation et gestion financière.
- 

**Comptabilité**

- La méthode et les mécanismes comptables, création de comptes, jeu des comptes, contrôle des comptes, balance
- Analyse comptable, plan comptable de l'entreprise
- Analyse de situation, bilan, compte de bilan, compte de gestion et de résultats
- Notion et rôle de l'amortissement
- Détermination des résultats, tableau des résultats ; le fond de roulement et sa dynamique
- Notion de structure financière, le tableau de financement
- Notion de fiscalité, impôt direct et indirect, TVA.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation**

**Semestre : 1**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Découverte UED1.1**

**Matière : Management**

**VHS : 21h 00 (Cours : 1h30)**

**Crédits : 2**

**Coefficient : 2**

**Objectifs de l'enseignement :**

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 : Système managérial**

**Chapitre 2 : Système décisionnel**

**Chapitre 3 : Système de planification**

**Chapitre 4 : Gestion des stocks**

**Chapitre 5 : Gestion des projets**

**Chapitre 6 : Marketing**

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 2****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF2.1****Matière : Echangeurs de chaleur****VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)****Crédits : 6****Coefficient : 5**

**Objectifs de l'enseignement** : Ce cours permettra à l'étudiant de s'exercer sur le calcul et le dimensionnement des échangeurs de chaleur. Cours essentiel et utile dans l'industrie agroalimentaire ou industrie pétrochimique.

**Connaissances préalables recommandées** : Cours de Transferts Thermiques, Thermodynamique.

**Contenu de la matière :****Chapitre I. – Caractéristiques géométriques des échangeurs (02 semaines)**

Généralités sur les échangeurs de chaleur

I.1. Échangeurs à fluides séparés : *Échangeurs tubulaires, Échangeurs à plaques*)

I.2. Les échangeurs à contact direct

I.3. Disposition des écoulements : circulation co-courant, circulation contre- courant, circulation à courant croisé.

I.4. Structure des échangeurs : *Échangeurs à modules, Échangeurs à passes*

I.5. Données nécessaires pour le calcul d'un échangeur

**Chapitre II : Évaluation des performances thermiques d'un échangeur (04 semaines)**

II.1. Distribution de température dans un échangeur « bi-tube »

II.2. Étude thermique d'un échangeur bi-tube (surface d'échange thermique, flux de chaleur échangé, distribution des températures des deux fluides)

- Cas d'un échange co-courant

- Cas d'un échange contre-courant

II.3. Méthode de la différence logarithmique moyenne des températures (DTLM)

II.4. Évaluation du coefficient d'échange global  $U$  ( $W/m^2K$ )**Chapitre III : Efficacité d'un échangeur (04 semaines)**

III.1. Définition

III.2. Calcul de l'efficacité

III.3. Méthode du nombre d'unités de transfert NUT

III.4. Échangeurs à courant croisé

III.5. Échangeurs à plaques

**Chapitre IV. Les échangeurs à faisceaux et calandre (03 semaines)**

IV.1. Généralités

IV.2. Échangeurs 1-N

IV.3. Échangeurs 1-2

IV.4. Échangeurs 2-4

IV.5. Pincement et croisement de températures

**Chapitre V. Les réseaux d'échangeurs**

**(02 semaines)**

V. 1. Généralités sur l'assemblage et hypothèses de calcul

V. 2. Montage en ligne en série sur les deux fluides

V. 3. Montage en série sur un fluide et en parallèle sur l'autre

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu : 0% ; Examen : 100%.

**Références bibliographiques :**

- 1 F. Kreith. Transmission de chaleur et thermodynamique. Masson 1967.
- 2 J.F. SACADURA- Initiation aux transferts thermiques. 1993 Technique et Documentation 11 rue Lavoisier 75008 Paris.
- 3 MAC ADAMS (W.H.). - Transmission de la chaleur. Éd. Dunod, Paris (1961).
- 4 Jacques PADET, ÉCHANGEURS THERMIQUES, Méthodes globales de calcul. Ed. Masson, 1994.
- 5 André BONTEMPS. Échangeurs de chaleur - Définitions et principes généraux. Techniques de l'Ingénieur. Doc BE 9 515, 2014.
- 6 Zoé MINVIELLE. Échangeurs de chaleur - Description. Techniques de l'Ingénieur. Doc BE 9 516, 2014.
- 7 André BONTEMPS. Échangeurs de chaleur - Dimensionnement thermique. Techniques de l'Ingénieur. Doc B 2 342, 1994.
- 8 André BONTEMPS. Échangeurs de chaleur - Intensification des échanges thermiques. Doc B 2 343, 1994.
- 9 André BONTEMPS. Échangeurs de chaleur - Problèmes de fonctionnement. Doc B2 344, 1995.
- 10 Alain BRICARD. Échangeurs de chaleur à contact direct. Doc BE 9 565, 1999.
- 11 TEMA. - Standard of the Tubular Exchanger Manufacturer Association, 6e éd. (1978).
- 12 LEONTIEV (A.). - Théorie des échanges de chaleur et de masse. Éd. MIR, Moscou, édition originale de 1979, traduction française de 1985.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation**

**Semestre : 2**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF2.1**

**Matière : Transfert de chaleur avec changement de phase**

**VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)**

**Crédits : 6**

**Coefficient : 5**

**Objectifs de l'enseignement :**

Définition des grandeurs intervenant en écoulement diphasique.  
 Evaluation du transfert de chaleur lors de l'ébullition ou de la condensation  
 Etude du phénomène de givrage-dégivrage.

**Connaissances préalables recommandées :**

Thermodynamique et transfert de chaleur

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 : Notions fondamentales (02semaines)**

- Grandeurs caractéristiques d'un écoulement diphasique : débit massique spécifique, vitesse réelle, vitesse surfacique, température de saturation, surchauffe, sous refroidissement, titre thermodynamique, titre réel, titre volumique, fraction de vide, glissement.

**Chapitre 2 : Ebullition (05semaines)**

- Ebullition en vase clos - Ebullition en convection forcée à l'intérieur d'un tube chauffant.
  - Evaluation du transfert de chaleur lors de l'ébullition pour les différents régimes de transfert de chaleur. - Relations simplifiées de transfert de chaleur pour l'eau en ébullition. - résumé et informations concernant le design.

**Chapitre 3 : Condensation (05semaines)**

- Introduction - Condensation en film sur une plaque. - Condensation à l'extérieur des tubes horizontaux. - Nombre de condensation. - Condensation à l'intérieur des tubes horizontaux.

**Chapitre 4 : Givrage (3 semaines)**

Introduction - congélation des corps purs. - Fusion des corps purs. - Quelques solutions approximées pour des géométries à coordonnées cartésiennes, cylindriques. - Estimation du temps de congélation et de décongélation.

**Mode d'évaluation :** Examen final : 100%.

**Références bibliographiques :**

1. Holman J. P. "Heat Transfer", Holman, J. P. (Jack Philip) 10th ed McGraw-Hill series in mechanical engineering,
2. Collier, J.G. and Thome, J.R. "Convective Boiling and Condensation". Oxford University Press, New York, 1994
3. Delhaye, J. M., "Transferts de chaleur associés à l'ébullition ou à la condensation des corps purs sur des parois" dans Techniques de l'ingénieur, volume B 11, 1995
4. L Kreith, F.; Boehm, R.F.; et. al. "Heat and Mass Transfer *Mechanical Engineering Handbook* Ed. Frank Kreith Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
5. Yao, L.S. and Prusa, J. Melting and freezing, in *Advances in Heat Transfer*, Vol. 19, J.P.Hartnett and T.F. Irvine, Eds., Academic Press, San Diego, 1-95 1989.
6. Alexiades, V. and Solomon, A.D. *Mathematical Modelling of Melting and Freezing Processes*, Hemisphere Publishing, Washington, D.C. 1989.
7. Goodman, T.R. Application of integral methods to transient nonlinear heat transfer, in *Advances in Heat Transfer*, Vol. 1, T.F. Irvine and J.P. Hartnett, Eds., Academic Press, San Diego, 51-122 1964.
8. Alexiades, V. and Solomon, A.D. *Mathematical Modelling of Melting and Freezing Processes*, Hemisphere Publishing, Washington, D.C 1993.
9. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Cooling and freezing times of foods, in *Fundamentals*, ASHRAE, Atlanta, GA, chap. 29. 1993.
10. Cleland, D.J., Cleland, A.C., and Earle, R.L. "Prediction of freezing and thawing times for multidimensional shapes by simple formulae": Part 1, regular shapes; Part 2, irregular shapes. *Int. J. Refrig.*, 10, 156-166; 234-240 1987.
11. Dille, J.F. and Lior, N. "The evaluation of simple analytical solutions for the prediction of freeze up time, freezing, and melting". *Proc. 8th International Heat Transfer Conf.*, 4, 1727-1732, San Francisco. 1986.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 2****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF2.2****Matière : Mécanique de fluides appliquée****VHS : 90h 00 (Cours : 3h00, TD: 1h30, TP: 1h30)****Crédits : 7****Coefficient : 5****Objectifs de l'enseignement :**

Maitrise des écoulements et des pertes de charges associées afin de dimensionner tout type d'installation à circulation de fluide incompressible.

Détermination des efforts dans le cas des écoulements externes.

**Connaissances préalables recommandées :**

Mécanique des Fluides 1 et 2 (Programme de licence énergétique)

Outils mathématiques.

**Contenu de la matière :****Chapitre 1 : Rappel des équations générales de la dynamique des fluides (2 semaines)****Chapitre 2 : Complément de cinématique des fluides (03 semaines)**

Écoulements à potentiels des vitesses, Méthode complexe, Écoulements élémentaires, Superposition des écoulements, Écoulements avec circulation et sans circulation, Formules de Blasius, Transformations conformes.

**Chapitre 3 : Dynamique des fluides visqueux incompressibles (02 semaines)**

Solutions exactes des équations de Navier-Stokes : Écoulements de Poiseuille, Écoulement de Couette, Calcul du frottement.

Applications : Mesure de la viscosité, Lubrification hydrodynamique

**Chapitre 4 : Écoulement dans les conduites – Pertes de charge linéaires (03 semaines)**

Écoulements laminaires et turbulents, Longueur d'établissement, rugosité, Régime lisse, Régime rugueux, vitesse de frottement, Profils de vitesse, Réduction de frottement hydrodynamique.

Application aux calculs pratiques des conduites, Réseaux de conduites.

Coup de bélier

**Chapitre 5 : Pertes de charges singulières (02 semaines)**

Étude des pertes de charge introduites par diverses singularités : Élargissement, Rétrécissement, Diaphragme, Vanne...

Application aux mesures de débit.

**Chapitre 6 : Écoulements autour de corps solides. Notions d'aérodynamique (02 semaines)**

Définitions, Portance, Trainée, Incidence géométrique, Incidence aérodynamique, Coefficients de trainée des corps usuels, Méthode de Betz, Distribution de la pression, décollement de la couche limite, Dispositifs hypersustentateurs.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

**Références bibliographiques :**



1. **I. L. RYHMING**, *Dynamique des fluides*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1985
2. **R. COMOLET**, *Mécanique expérimentale des fluides*, T 2 et T 3, Ed Masson
3. **F. M. WHITE**, *Fluid mechanics*, Ed. McGraw-Hill
4. **R. OUZIAUX, J. PERRIER**, *Mécanique des fluides appliquée*, Edition Dunod
5. **I. PARASCHIVOIU, M. PRUD'HOMME, L. ROBILLARD, P. VASSEUR**, *Mécanique des fluides*, Presses internationales Polytechniques
6. **E.A. BRUN, A. MARTINOT-LAGARDE, J. MATHIEU**, *Mécanique des fluides*, Tomes I et II, Ed. Dunod
7. Sites internet

**Semestre : 2**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Transversale UET2.1**

**Matière : Méthodes Numériques**

**VHS : 45h 00 (Cours : 1h30, TD : 1h30)**

**Crédits : 4**

**Coefficient : 4**

**Objectifs de l'enseignement :**

Résoudre numériquement les problèmes de mécanique des fluides et de transfert de chaleur en procédant à une discrétisation des équations gouvernantes moyennant les différentes méthodes numériques existantes (différences finies, volumes finis, éléments finis...etc).

**Connaissances préalables recommandées :**

Mathématique, Analyse numérique, Mécanique des fluides, transfert de chaleur.

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 : Généralités sur les équations aux dérivées partielles (02 semaines)**

- Définitions
- Classification
  - EDP de nature parabolique
  - EDP de nature elliptique
  - EDP de nature hyperbolique
- Conditions aux limites

**Chapitre 2 : Méthode des différences finies (04 semaines)**

- Introduction
- Développements en séries de Taylor
  - Approximation des dérivées d'ordre supérieur
  - Approximation de la dérivée mixte
- Ajustement polynomial
- Méthode des différences finies pour les problèmes instationnaires
  - Schémas explicites
  - Schémas implicites
- Concept de stabilité d'un schéma

**Chapitre 3 : Méthode des volumes finis (05 semaines)**

- Introduction
- Méthode des volumes finis pour la diffusion stationnaire monodimensionnelle
  - Génération du maillage
  - Discrétisation
  - Détermination du coefficient de diffusion aux interfaces du volume de contrôle
  - Traitement du terme source
- Méthode des volumes finis pour les problèmes de diffusion bidimensionnelle
- Méthode des volumes finis pour les problèmes de diffusion tridimensionnelle
- Méthode des volumes finis pour les problèmes de convection-diffusion

- Equation de convection-diffusion stationnaire unidimensionnelle
- Schéma de différentiation centré
- Schéma de différentiation amont (upwind)
- Schéma de différentiation hybride
- Schéma de différentiation quadratique amont (Quick)
- Schéma de différentiation en loi de puissance
- Algorithmes de résolution du couplage vitesse-pression (Simple, Simpler, Simplec et Piso)

#### Chapitre 4 : Méthode des éléments finis

(04 semaines)

- Introduction
- Fonctions de forme d'un élément
  - Élément linéaire unidimensionnel
  - Élément quadratique unidimensionnel
  - Éléments triangulaires linéaires bidimensionnels
  - Éléments quadratiques triangulaires
  - Éléments quadrilatéraux bidimensionnels
  - Éléments iso paramétriques
- Méthode intégrale (Méthode de Ritz)
- Méthode variationnelle (Méthode de Rayleigh-Ritz)
- Méthode des résidus pondérés
- Méthode de Galerkin par éléments finis

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

#### Références bibliographiques :

1. A. W. Date, *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, 2005.
2. K. A. Hoffmann and S. T. Chiang, *Computational fluid dynamics*, Volume1, 4<sup>th</sup> edition, Engineering Education System, 2000.
3. S. V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, Hemisphere, 1980.
4. H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Longman Scientific & Technical, England, 1995.
5. J. H. Forziger and M. Peric, *Computational Method for Fluid Dynamics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2002.
6. R. W. Lewis, P. Nithiarasu and K. N. Seetharamu, *Fundamentals of the finite element method for heat and fluid flow*, Ed. J. Wiley & Sons, 2004.
7. J. J. Connor and C. A. Brebbia, *Finite element techniques for fluid flow*, Ed. Newnes-Butterworths, 1976.

**Semestre : 2**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Transversale UET2.1**

**Matière : Initiation aux logiciels de simulation numérique**

**VHS : 45h 00 (TP : 3h00)**

**Crédits : 04**

**Coefficient : 03**

**Objectifs de l'enseignement :** Initiation aux simulations numériques

**Connaissances préalables recommandées :** Méthodes Numériques, Dessin technique,

**Contenu de la matière :**

TP 1 : Présentation de quelques outils de la CAO.	(03H/S)
TP2 : Commandes pour la construction des géométries.	(03H/S)
TP3 : Construction des géométries 2D.	(03H/S)
TP4 : Construction des géométries 3D.	(03H/S)
TP5 : Importation de la géométrie et nettoyage de la CAO.	(03H/S)
TP6 : Techniques de génération de maillages.	(03H/S)
TP7 : Exportation du maillage vers un code de CFD	(03H/S)
TP8 : - Introduction aux codes de calcul CFD.	(03H/S)

**Mode d'évaluation :** Comptes rendus des TP

**Références bibliographiques :**

1. Manuels et tutoriels des logiciels utilisés.
2. Mémoires de fin d'études.
3. Sites internet.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation**

**Semestre : 2**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Transversale UEM2.1**

**Matière : Techniques de mesures**

**VHS : 22h 30 (Cours : 1h30)**

**Crédits : 3**

**Coefficient : 3**

**Objectifs de l'enseignement** : Apprendre la technologie et les principes de fonctionnement des différents capteurs industriels.

**Connaissances préalables recommandées** : Résistance des matériaux, électrotechnique, mathématiques.

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 : Introduction générale aux différents types de capteurs industriels.**

- Les capteurs actifs
- Les capteurs passifs
- La chaîne de mesure
- Les facteurs d'influence
- L'incertitude de mesure

**Chapitre 2 :**

- Les capteurs de forces et les capteurs de déformations à jauges d'extensométrie
- Les capteurs de position
- Les capteurs piézoélectriques
- Etalonnage des capteurs
- La compensation en température des capteurs

**Chapitre 3 :**

- Les capteurs de pression et les capteurs de débit
- Les différents types de capteurs de température
  - . Les thermocouples
  - . Les sondes thermométriques à résistance de platine

**Chapitre 4 :**

- Mesure de proximité par capteur inductif ou capacitif
- Mesure de température par pyrométrie optique
- Mesure de déplacements par méthodes optiques
- Mesure de vitesse par effet Doppler ou par stroboscopie

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu : 100%.

**Références bibliographiques**

1. Fraden J. 2003 Handbook of Modern Sensors, Springer
  2. Frank R. 2000 Understanding Smart Sensors, Artech
  3. Encyclopédie vishay micromesure d'analyse expérimentale des contraintes.
  4. Doebelin E.O. 2003 Measurement Systems, McGraw-Hill
  5. Dunn W.C. 2005 Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control, Artech House.
  6. Principles of electrical measurement, S Tumanski Warsaw University of Technology.
  7. Warsaw, Poland, published in 2006 by CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
  8. Dally J.W., Riley W.F., McConnell K.G. 1993 Instrumentation for Engineering Measurements, John Wiley & Sons.
  9. Boyes W. 2002 Instrumentation Reference Book, Butterworth-Heinemann
- Brignel J. White N. 1996 Intelligent Sensor System, IOP Publ.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 3****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF3.1****Matière : Froid industriel et liquéfaction des gaz****VHS: 90h00 (Cours: 3h00, TD: 1h30, TP 1h30)****Crédits : 7****Coefficient : 5****Objectifs de l'enseignement :**

Étude des systèmes de production du froid et de liquéfaction des gaz, initiation aux logiciels de calcul

**Connaissances préalables recommandées :**

Notion sur la thermodynamique, transfert thermique, transfert de masse et mécanique des fluides, dynamique des gaz

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 :** (02 semaines)  
Fluides frigorigènes, propriétés, désignations et caractéristiques

**Chapitre 2 :** Rappels de thermodynamique (06 semaines)  
(Bilans de masse, d'énergie, d'entropie et de l'exergie) sur les organes de la machine frigorifique monoétagée à compression de vapeur, - présentation et étude de la machine à absorption et à éjection (présentation des logiciels de calcul pour les machine frigo a compression de vapeur - solkane, colprop...-). Méthodes de dégivrage

**Chapitre 3 :** application du froid (chambre froide ou installation de rafraichissement + démonstration sur un logiciel de calcul) (01 semaines)

**Chapitre 4 :** production de très basse température et liquéfaction des gaz, bilan de masse, d'entropie, d'énergie et d'exergie sur les principaux organes d'une installation, étude et présentation des cycles de liquéfaction (cycle de Linde, cycle de Claude, cycle de Kapitza, cycle en cascade, ...) (05 semaines)

**Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 50% (10% présence+10% participation en cours et en TD+30% projet de cours) ; Examen : 50%.

**Références bibliographiques :**

Commenté [Cc1]:

1. Claus Borgnakke Richard E. Sonntag, *Fundamentals of classical thermodynamics*, Ed. J. Wiley & Sons, 2013
2. *Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Sons 2006
3. Francis Meunier, Paul Rivet, Marie-France Terrier. *Froid industriel*. Dunod 2010
4. Robert T. Balmer, *Modern Engineering Thermodynamics*. Elsevier Inc. 2011
5. Ibrahim Dincer, Mehmet Kanoglu. *REFRIGERATION SYSTEMS AND APPLICATIONS*. John Wiley & Sons, 2010
6. Yunus Cengel, Boles. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 8th Edition amazon 2014
7. Barron, Randall F. *Cryogenic Systems*. Oxford University Press, 1985
8. Klaus D. Timmerhaus and Richard P. Reed. *CRYOGENIC ENGINEERING*. Springer 2007



**Master : Froid, Chauffage et Climatisation****Semestre : 3****Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF3.2****Matière : Capteurs et Installations Solaires****VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)****Crédits : 6****Coefficient : 5****Objectifs de l'enseignement :**

Calcul de la ressource solaire et application pour le dimensionnement des installations solaires à basse température comme dans le chauffage domestique, la production d'eau chaude sanitaire, la distillation ou le séchage.

**Connaissances préalables recommandées :**

Les lois du rayonnement thermique et les lois de transfert thermique en rayonnement, convection et conduction.

**Contenu de la matière :****Chapitre 1 : Evaluation du gisement solaire (05 semaines)**

- Rayonnement solaire hors atmosphère (le système solaire, l'énergie solaire)
- L'atmosphère et le rayonnement solaire (composition de la troposphère, l'atténuation du rayonnement solaire, la notion d'albédo, échanges d'énergie entre la terre et l'atmosphère)
- Réception du rayonnement solaire (position du soleil, diagramme solaire, éclairement, irradiation solaire).

**Chapitre 2 : Les capteurs solaires plans et à concentration (04 semaines)**

- Les capteurs plans : absorbeur, fluide caloporteur, couverture transparente, isolant
- Rendement d'un capteur plan : bilan énergétique, influence de la température de l'absorbeur, influence de la température d'entrée du fluide caloporteur.
- Les capteurs à concentration : concentrateur parabolique, concentrateur sphérique, concentrateur cylindro-parabolique, les centrales solaires.

**Chapitre 3 : Applications à basse température de l'énergie solaire :**

- |                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| 1- Chauffage domestique              | (02 semaines) |
| 2- Production d'eau chaude sanitaire | (02 semaines) |
| 3- Distillation solaire              | (01 semaine)  |
| 4- Séchage solaire                   | (01 semaine)  |

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu (2 mini- projets) : 40% ; Examen final : 60%.

**Références bibliographiques :**

1. R. BERNARD, G. MENGUY, M. SCHWARTZ. Le rayonnement solaire. Conversion thermique et applications. 2ème édition. Editions Tec & DocLavoisier, 11 rue Lavoisier, 75008 Paris.
2. Jacques BERNARD. Génie Energétique. Energie Solaire. Calculs et optimisation. Editions Ellipses. 2004. 32, rue Bargue 75740 Paris Cedex 15.

**Semestre : 3**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF3.3**

**Matière : Chauffage et ventilation**

**VHS : 67h 30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)**

**Crédits : 6**

**Coefficient : 5**

**Objectifs de l'enseignement :**

Choix des équipements de chauffage et de climatisation après calcul et dimensionnement.

**Connaissances préalables recommandées :**

Transferts thermiques, dessin bâtiment, matériaux et développement durable.

**Contenu de la matière :**

- |  |                      |
|--|----------------------|
| <b>Chapitre 1 : Notions de transferts thermiques</b>   | <b>(02 semaines)</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définitions :             <ul style="list-style-type: none"> <li>Enoncé de Clausius</li> <li>Echelles de température</li> <li>Propriétés thermo énergétiques</li> </ul> </li> <li>- Modes de transfert de chaleur, coefficient d'échange global (parois : plane, cylindrique et sphérique)</li> </ul> |                      |
| <b>Chapitre 2 : Bilan thermique hivernal</b>   | <b>(02 semaines)</b> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déperditions par transmission</li> <li>- Déperditions par infiltration</li> <li>- Mise en œuvre du BTH</li> </ul>   |                      |
| <b>Chapitre 3 : Chaudières et générateurs de vapeur</b>  | <b>(03semaines)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définitions et classifications</li> <li>- Eléments constitutifs</li> <li>- La combustion et les combustibles</li> <li>- Diagrammes des transformations</li> <li>- Rendement</li> </ul>  |                      |
| <b>Chapitre 4 Calcul des installations de chauffage</b>  | <b>(02semaines)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- A eau chaude</li> <li>- A air traité : par pompe à chaleur et par géothermie</li> </ul>   |                      |
| <b>Chapitre 5 Bilan thermique estival</b>  | <b>(03semaines)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Charge frigorifique d'un local             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Cas d'un local d'habitation</li> <li>. Cas d'une chambre froide</li> </ul> </li> </ul>  |                      |
| <b>Chapitre 6 Installations de rafraîchissement</b>  | <b>(02semaines)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Machine frigorifique et géothermie</li> <li>- Gaines d'air</li> </ul>   |                      |

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

**Références bibliographiques :**

1. H Rietschel et W. Baiss, *Traité de chauffage et de climatisation*, tome2, Ed. Dunod,1987
2. J. Bouteloup, M. Le Guay et J. Ligen, *Climatisation Conditionnement d'air : Production de chaud et de froid*, Ed. Parisiennes 1997.
3. F. Nuber et K. Nuber, *Calcul thermique des chaudières*, Ed. Dunod 1972

**Semestre : 03**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Fondamentale UEF3.3**

**Matière : Systèmes de conditionnement d'air : Etude et dimensionnement**

**VHS : 45h 00 (Cours : 01h30, TD : 1h30)**

**Crédits : 05**

**Coefficient : 04**

**Objectifs de l'enseignement :**

Concevoir et dimensionner les composants d'une installation de traitement d'air et de climatisation à partir des données sur les charges thermohydrriques d'un local (cahier des charges). Evaluer et proposer différentes solutions techniques.

**Connaissances préalables recommandées : Mécanique des fluides, Transferts thermiques, Thermodynamique**

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 : Rappels : Notion de confort, qualité de l'air intérieur et consommation énergétique, notions thermodynamiques, notions psychrométriques.**

**Chapitre 2 : Description d'un système complet de conditionnement d'air.**

**Chapitre 3 : Systèmes de climatisation et de traitement d'air.**

**Chapitre 4 : Dimensionnement d'un réseau aéraulique.**

**Mode d'évaluation : Examen, Mini-projets.**

**Références bibliographiques :**

1. Dimensionnement d'un réseau de ventilation et de Kaster, *Thermodynamique 6ème édition*, Masson 1968
2. R. Kling, *Thermodynamique et application*, Edition Technip.
3. M. DUMINIL; Air humide. Technique de l'ingénieur.
4. Psychometrics, theory and practice. ASHRAE. 1996;
5. Conception des installations de climatisation et de conditionnement d'air. Guide n°10 de l'AICVF. (1999).
6. G. Porcher. Cours de climatisation. Base de calcul des installations de climatisation. 7ème édition.
7. Document Technique Réglementaire. Réglementation thermique de bâtiments d'habitation. Règles de calcul des déperditions calorifiques.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation**

**Semestre : 3**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Transversale UEM3.1**

**Matière : Simulation numérique**

**VHS : 45h 00 (TP : 03h00)**

**Crédits : 04**

**Coefficient : 03**

**Objectifs de l'enseignement :** Simulation des phénomènes de transferts de chaleur et des écoulements de fluides par l'utilisation des codes de calcul CFD.

**Connaissances préalables recommandées :** Initiation à des logiciels, méthodes numériques, MDF, TTH,

**Contenu de la matière :**

**TP 1 : Etude d'un problème de conduction de chaleur. (03H/S)**

**TP2 : Etude de la convection naturelle. (03H/S)**

**TP3 : Chauffage et refroidissement d'un local. (03H/S)**

**TP4 : - Ecoulements dans les conduites. (03H/S)**

**TP5 : - Ecoulements autour d'une plaque plane. (03H/S)**

**Mode d'évaluation :** Comptes rendus des TP.

**Références bibliographiques :**

1. Manuels et tutoriels des codes de calcul utilisés.
2. Mémoires de fin d'études.
3. Sites internet.

**Master : Froid, Chauffage et Climatisation**

**Semestre : 3**

**Unité d'enseignement : Unité d'Enseignement Transversale UET3.1**

**Matière : Anglais technique**

**VHS : 45h 00 (cours : 01h30)**

**Crédits : 02**

**Coefficient : 02**

**Objectifs de l'enseignement :**

Maitrise des termes

**Connaissances préalables recommandées :**

**Contenu de la matière :**

**Mode d'évaluation :** Mini-projets.

**Références bibliographiques :**

1. Tout ouvrage en relation avec la spécialité (écrit en Anglais).
2. Mémoires de fin d'études.
3. Sites internet.