Semestre 1

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	Mécanique des fluides approfondie	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Machines thermiques	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Transfert de chaleur et de masse approfondi	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Méthodes numériques approfondies	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	Instrumentation et mesures	4	2	1h30		1h30	45h00	55h00	40%	60%
	TP Méthodes numériques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP machines thermiques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP MDF	1	1			1h00	15h00	10h00	100%	
UE Découverte Code : UED 1.1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Panier au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Panier 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%
Total semestre 1		**30**	**17**	**13h30**	**6h00**	**5h30**	**375h00**	**375h00**		

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEF 1.1.1
Matière : Mécanique des fluides approfondie
VHS: 67 h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)
Crédits : 6
Coefficient : 3

Objectifs de l'enseignement :

Le but de la matière est de développer les connaissances de base de l'étudiant. La spécialité énergétique est étroitement liée à la phénoménologie des écoulements visqueux et turbulents observés dans les systèmes énergétiques, leur compréhension et analyse sont indispensables. L'imprégnation de l'étudiant des lois et modèles physiques et mathématiques de ces écoulements souvent complexes est un des fondamentaux de la spécialité dans l'acquisition d'un enseignement consistant nécessaire pour la recherche.

Connaissances préalables recommandées :

Base de Mécanique des fluides
Les mathématiques
Les méthodes numériques

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : **Dynamique des fluides et équations de transport** : description du mouvement, tenseurs, dérivée particulaire, transport d'un volume infinitésimal, bilan de masse, de quantité de mouvement et d'énergie, fluides visqueux, équations de Navier-Stokes, éléments de rhéologie… **(4 semaines)**

Chapitre 2 : **Fluide parfait et ses applications** : écoulements potentiels, ondes d'interfaces … **(2 semaines)**

Chapitre 3 : **Dynamique des fluides réels** : écoulement unidirectionnels, écoulement de Stokes, écoulement à faible vitesse, à faible nombre de Reynolds, lubrification hydrodynamique… **(3 semaines)**

Chapitre 4 : **Couches limites** : développement de la couche limite, solutions approchées, équation de Van Karman,… **(2 semaines)**

Chapitre 5 : **Ecoulements turbulents** : champ moyen et fluctuations, équations de Reynolds, modèle de Boussinesq, modèle de la longueur de mélange de Prandtl, échelles de turbulence, modèles de turbulence K-ε, K-ω, SST… **(4 semaines)**

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques :

1- *Inge L. Ryhming, Dynamique des fluides, Presse Polytechniques et Universitaire Romandes.*
2- *P. Chassaing, Turbulence en mécanique des fluides, CEPADUES– Editions*
3- *R. Comolet, Mécanique expérimentale des fluides, Tome II, dynamique des fluides réels, turbomachines, Editions Masson, 1982.*
4- *T. C. Papanastasiou, G. C. Georgiou and A. N. Alexandrou, Viscous fluid flow, CRC Press LLC, 2000.*
5- *Adil Ridha, Cours de Dynamique des fluides réels, M1 Mathématiques et applications : spécialité Mécanique, Université de Caen, 2009.*
6- *R. W. Fox, A. T. Mc Donald and P. J. Pritchard, Introduction to fluid mechanics, sixth edition, Wiley and sons editor, 2003*
7- *Hermann Schlichting, Boundary layer theory, McGraw Hill book Company.*
8- *W.P. Graebel, Advenced fluid mechanics, Academic Press 2007.*
9- *H. Tennekes and J. L. Lumeley, A first course in turbulence, The MIT Press 1972*

Semestre : 1

Unité d'enseignement : UEF 1.1.1
Matière : Machines thermiques
VHS : 45h (cours : 01h30, TD : 01h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

Cet enseignement participe à l'acquisition de connaissances essentielles aux étudiants de master énergétique. Les étudiants obtiendront les fondamentaux pour comprendre et analyser le fonctionnement de différents types de machines thermiques.

Connaissances préalables recommandées :

Thermodynamique

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Rappel de thermodynamique technique (2 semaines)

- Notions de variables d'états, équations d'états des gaz parfaits
- Premier principe de la thermodynamique
- Deuxième principe de la thermodynamique

Chapitre 2 : Machines à cycles récepteurs (3semaines)

- Compresseurs (compresseurs alternatifs :compression monoétagée et multiétagée, rendements)
- Machines frigorifiques
- Pompe à chaleur

Chapitre 3 : Cycles Idéaux des Moteurs à combustion interne (2 semaines)

- Cycle à allumage commandé
- Cycle Diesel
- Cycle mixte

Chapitre 4 :Turbine à gaz et turboréacteur (3 semaines)

- Cycle de base,
- Autres cycles,
- Critères de performance et rendements

Chapitre 5 : Turbine à vapeur (3 semaines)

- Cycle de Rankine sans et avec surchauffe
- Cycle de Hirn
- Cycles à soutirage

Chapitre 6 : Autres types de moteurs (2 semaines)

- Moteurs Stirling
- Moteur Ericsson
- Moteur à air comprimé

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques :

1. *Thermodynamique technique, volumes 1,2 et 3, Maurice Bailly- Bordas Paris –Montréal 1971.*
2. *Machines thermiques, EmilianKoller, collection technique et ingénierie Dunod, 2005*
3. *Thermodynamique des systèmes fluides et des machines thermiques :Principes, modèles et applications, FOHR Jean-Paul, Lavoisier 2010*

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEF 1.1.2
Matière : Transfert de chaleur et de masse approfondi
VHS : 45h (cours : 01h30, TD : 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :
Maîtriser les notions de base des trois modes de transfert thermique
Savoir écrire un bilan et construire un modèle élémentaire

Connaissances préalables recommandées :
Formation en mathématiques et physique ou mécanique
Connaissances en thermodynamique appliquée

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Conduction (4 semaines)

- Loi de Fourier et loi de Fourier généralisées, tenseur des conductivités thermiques, conductivités thermiques, diffusivités thermiques et effusivités.
- Equation de la conduction (EC), conditions aux limites linéaires et exemples de conditions non linéaires.
- Solutions en transitoire à une dimension : Utiliser l'analyse de Fourier et la transformation de Laplace.
- Les ailettes longitudinales et transversales, montrer l'établissement des équations dans les deux cas.
- Proposer quelques solutions
- Opportunité d'emploi et optimisation.
- Les profils les plus courants (Rectangulaires, trapézoïdales).

Chapitre 2 : Transfert de chaleur par rayonnement (5 semaines)

- Lois et définitions en transfert radiatif. La loi de Planck, la loi de Kirchhoff, la formule de Bouguer.
- Les propriétés radiatives des surfaces. Echanges entre surfaces séparées par un milieu transparent.
- Loi de Beer. Propriétés radiatives des gaz (MST). Propriétés radiatives des particules. Etablissement de l'équation de transfert radiatif (ETR).
- Quelques solutions approchées de l'ETR simplifiée.

Chapitre 3 : Convection (3 semaines)

- Rappels d'analyse dimensionnelle, utilité des nombres sans dimension.
- Couches limites mécanique et thermique, méthodes intégrales.
- Equations de la convection, modélisation d'un problème de convection.
- Solutions de quelques problèmes de convection. Convection forcée dans un cylindre. Convection naturelle sur une plaque plane verticale et dans une cavité rectangulaire.

Chapitre 4 : Transferts thermiques lors des changements de phases (2 semaines)

- Condensation sur une plaque plane verticale et sur un cylindre horizontale, théorie du film de Nusselt. Utilisation pratique des corrélations.
- Ebullition des substances pures, principaux paramètres intervenant lors de l'ébullition. Evaluation des taux de transfert dans ce mode et erreurs inhérentes.

Chapitre 5 : Transfert de masse (1 semaine)

- Equation de diffusion, loi de Fick
- Transfert simultané de chaleur et de mass
- Mécanisme de diffusion massique
- Diffusion convective

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques :

1. *H. S. Carslaw, Introduction to the mathematical theory of the conduction of heat in solids, Mc Millan and Co ed., 1921, , 2nd edition.*
2. *H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, Conduction of heat in solids, 2nd edition, Clarendon press ed.,1959*
3. *Latif Jiji, Heat Conduction, Jaico Publishing House, 2003.*
4. *Ozisik, M. N., 1980, Conduction Heat Transfer, John Wiley and Sons, New York.*
5. *Gebhart, Heat transfer, Mc Graw Hill editor, 1971*

A. *B. De Vriendt, La transmission de la chaleur, Tome 2, Introduction au rayonnement thermique, Gaetan Morin, 1983*

6. *Bejan, A. D. Kraus, Heat transfer handbook, John Wiley Editor, 2003*
7. *Vedat S. Arpaci, Conduction Heat transfer, 1966 by Addison-Wesley publishing.*
8. *R. Ghez, A Primer of Diffusion, John Wiley and Sons Editor, 1988, 2nd edition*
9. *Chandrasekhar, radiative transfer, Dover publication, 1960*
10. *M. F. Modest, Radiative heat transfer, Academic Press, 3nd edition, 2012*
11. *M. Quinn Brewster, Thermal radiative transfer and properties, Wiley Inter-science Publication, 1992*
12. *Hottel, H. C, and A. F. Sarofim, Radiative Transfer, McGraw-Hill, New York, 1967*
13. *R. Siegel and J. R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, 5th Edition, Ed. Taylor and Francis, 2010.*
14. *M. Necati Osizik, Radiative transfer and interactions with conduction and convection, Ed. J. Wiley and Sons*
15. *R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot,Transport phenomena, Wiley editor, 1960*
16. *Rjucsh K. Kundu, I. M. Cohen, Fluid Mechanics, 2nd Edition, Academic Press, 2002*
17. *D. P. Kesseler and R. A. Greenkorn, Momentum, Heat, and Mass transfer: Fundamentals, M. Dekker, 1999.*
18. *Kreith, F.; Boehm, R.F. et al., Heat and Mass Transfer, Mechanical Engineering Handbook Ed. Frank Kreith, CRC Press LLC, 1999.*
19. *H. D. Baehr and K. Stephan, Heat and Mass transfer, 2nd revised edition, Springer Verlag editor, 2006.*

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEF 1.1.2
Matière : Méthodes numériques approfondies
VHS : 45h (cours : 01h30, TD : 01h30)
Crédits : 4
Semestre : 2

Objectifs de l'enseignement :
Apprendre des techniques numériques nouvelles permettant de résoudre les différentes équations apparaissant en énergétique (mécanique des fluides, thermique, …). L'accent sera mis sur la résolution des équations différentielles et aux dérivées partielles

Connaissances préalables recommandées :
Le cours de Mécanique des fluides MDF2 (L3)
Les mathématiques
Les méthodes numériques (licence)

Contenu de la matière :
Chapitre 1 : **Equations du 1er ordre**, développement en série de Taylor, Méthode d'Euler et propagation de l'erreur, Méthodes de Runge-Kutta et appréciation des erreurs, systèmes d'EDO, méthodes à pas multiples, méthode de prédiction-correction. Application aux équations de couches limites écoulement et convection forcées et naturelle sur plaques planes **(3 semaines)**

Chapitre 2 : **Méthodes des différences finies** : Exposé de la méthode. Résolution d'un problème de conduction en 2D, stationnaire, représentant une équation elliptique. Solution directe et solution itérative du système obtenu. Méthodes à pas multiples et techniques de stationnarisation de Douglas-Rachford, optimisation de la convergence **(3 semaines)**

Chapitre 3 : **Equations paraboliques** : Cas de la conduction instationnaire (ou diffusion de masse) 1D : Schémas explicite purs, schémas implicites purs et schémas de Crank-Nicholson. Cas 2D : Méthodes à deux niveaux de temps, ADE, ADI de Peaceman-Racheford **(2 semaines)**

Chapitre 4 : **Equations hyperboliques** : Méthode des caractéristiques. Equation de Burger, ondes sonores dans un fluide **(2 semaines)**

Chapitre 5 : Etude des erreurs conséquentes à ces types de schémas : Consistance, stabilité, convergence, dissipation et dispersion **(2 semaines)**

Chapitre 6 : **Méthode des volumes finis** : Avantages et inconvénients vis-à-vis des différences finies. Application à la MDF (Algorithmes SIMPLE, SIMPLER, SIMPLEQ , QUICK, TEAMKE pour le turbulent). Comment choisir ? **(3 semaines)**

Mode d'évaluation :
Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques :

1. *F. Jedrzejewski, Introduction aux méthodes numériques, Deuxième édition, Springer- Verlag, France, Paris 2005.*
2. *W. H. Press, S. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, Numerical recipes in Fortran, Cambridge University press, 1995.*
3. *B. Carnahan, H. A. Luther and J. O. Wilkes, Applied numerical methods, R. Krieger publisher, 1990.*
4. *F. S. Acton, Numerical methods that work, The mathematical association of America, 1990.*
5. *Joe D. Hoffman, Numerical Methods for Engineers and Scientists 2nd Edition, Marcel Dekker, editor, 2001.*

6. *N. Boumahrat et Gourdin, Méthodes numériques, OPU, 1980.*
7. *J. D. Faires and R. L. Burden, Numerical methods, Brooks Cole 3rd edition, 2002*
8. *Oliver Aberth, Introduction to Precise Numerical Methods, Elsevier editor, 2007.*
9. *Rao V. Dukkipati, Numerical methods, Publishing for one world, 2010*
10. *M. N. Ozisik, "Finite Difference Methods in Heat Transfer"; Mechanical and Aerospace Engineering Department North Carolina State University*
11. *H.K. Versteeg et W. Malalasekera, An introduction to computational fluid dynamics. The Finite volume method, Longman scientific & technical, London, 1995.*
12. *Zienkiewic, Numerical methods in heat transfer, Mc Graw Hill editor, 1988.*
13. *J. C. Tannehill, D. A. Anderson and R. H. Plercher, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfert, second edition, Taylor and Francis editor, 1997.*
14. *H. Lomax,T. H. Pulliam and David W. Zingg, Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 1999*
15. *S.V. Patankar, Numerical heat transfer and fluid flow, McGrawHill, Hemisphere, Washington, D.C, 1980.*
16. *H.K. Versteeg et W. Malalasekera, An introduction to computational fluid dynamics. The Finite volume method, Longman scientific & technical, London, 1995.*

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.1
Matière : Instrumentation et mesures
VHS : 45h (cours : 01h30, TP : 01h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

L'étudiant va apprendre les principes d'Instrumentation et Régulation (Métrologie Contrôle des procédés, Grandeurs physiques, capteur passif, actif, intégré, Caractéristiques, Transmetteur et les normes et Schéma fonctionnel.

Travaux pratiques (suivant les capacités techniques de l'établissement)

Connaissances préalables recommandées :
Mécanique générale, électricité, Eléments de base de l'électronique.

Contenu de la matière :

Chapitre1 : Introduction **(1 semaines)**
Chapitre2 : Différents types de mesures **(3 semaines)**
- 2.1 Mesures des grandeurs acoustiques et vibratoires
- 2.2 Mesures des grandeurs hydrauliques et pneumatiques
- 2.3 Mesures des grandeurs mécaniques
- 2.4 Mesure des grandeurs thermiques
- 2.5 Mesure des grandeurs dimensionnelles
- 2.6 Mesure des grandeurs électriques
- 2.7 Mesure des grandeurs optiques
- 2.8 Mesure des volume, masse, temps

Chapitre3 : Contrôle non destructif **(1 semaines)**
Chapitre4 : Organisation, méthodes et techniques de mesure **(2 semaines)**
Chapitre5 : Etalonnage **(1 semaines)**
Chapitre6 : Traitement du signal **(3 semaines)**
Chapitre7 : Traitement des Données **(2 semaines)**
Chapitre8 : Initiation aux plans d'expérience **(2 semaines)**

Mode d'évaluation :
Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques :

1. *"Mesures physiques et instrumentation: Analyse statistique et spectrale des mesures, capteurs », Barchiesi, Dominique, Paris, Ellipse, 2003.*
2. *« Les capteurs en instrumentation industrielle », Asch, Georges, Paris, Dunod, 1999.*
3. R.J. Goldstein, "Fluid Mechanics Measurements", 1983.

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.1
Matière : TP Méthodes numérique
VHS : 22h30 (TP : 01h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

L'étudiant aura les compétences nécessaires pour modéliser numériquement des phénomènes physiques dans le domaine de l'énergétique. La modélisation est basée sur des méthodes de discrétisation numérique en vue d'une meilleure compréhension des phénomènes d'écoulements de fluide couplés à des transferts de chaleur et de masse

Connaissances préalables recommandées :

MDF, thermodynamique et méthodes numériques.

Contenu de la matière :

Programmation des méthodes de résolution des EDP en utilisant MATLAB ou Fortran

- Problèmes de diffusion et rayonnement
- Problèmes de convection-diffusion
- Calcul de champ d'écoulement
- Autres Applications dans le domaine des systèmes énergétiques

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 100%.

Références bibliographiques :

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.1
Matière : TP Machines thermiques
VHS : 22h30 (TP : 01h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :
Les étudiants obtiendront les fondamentaux pour comprendre et analyser pratiquement le fonctionnement de différents types de machines thermiques.

Connaissances préalables recommandées :
MDF, thermodynamique, machines thermiques.

Contenu de la matière : selon le matériel existant

1. Turbines et pompes hydrauliques
2. Turbine à vapeur et centrale thermique à flamme
3. Turbine à gaz et turbomoteurs
4. Moteurs à combustion externe : moteur de Stirling
5. Moteurs à combustion interne
6. Pompe à chaleur
7. Machines frigorifiques
8. Echangeurs de chaleur monophasiques
9. Générateurs de vapeur
10. l'analyse exergétique

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 100%.

Références bibliographiques :

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.1
Matière : TP MDF
VHS : 15h00 (TP : 01h00)
Crédits : 1
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :
Étude des pertes de charge en régime laminaire et turbulent, identification du nombre de Reynolds de transition, Mise en évidence d'une perte singulière. Comparaison des lois de pertes obtenues avec celles de la bibliographie. Descriptions des principaux organes hydrauliques: vannes, débitmètres, pompes. Sensibilisation à la régulation. Bilan globaux d'énergie et calcul de rendement d'un réseau.

Connaissances préalables recommandées :
MDF, thermodynamique méthodes numériques.

Contenu de la matière : selon le matériel existant
Illustrer pratiquement les connaissances acquises dans le cours de Mécanique des fluides.

1. Mesure de débit
2. viscosité
3. Etude Du Centre De Poussée
4. Statique Des Fluides
5. écoulement autour d'un obstacle
6. Impulsion d'un jet
7. Pertes de charge et profils de vitesse
8. Etude de l'influence du champ de pression sur un palier hydrodynamique
9. Effet de l'inclinaison d'un patin plan sur la distribution de la pression

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 100%.

Références bibliographiques :

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*