

<b>Intitulé de l'Unité d'Enseignement</b>		<b>Code de l'UE</b>	5AExx
<b>Rédacteurs (principaux, 3 maxi) de l'UE</b>			
Nom, Prénom, qualité	Philippe GUIBERT Prof de l'UPMC	Georges DESCOMBES Prof du CNAM	
Laboratoire ou équipe de recherche	Institut d'Alembert Equipe Fluides Réactifs et turbulence UPMC paris	Directeur du laboratoire LGP2ES Laboratoire du Génie des procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé	
Adresse	4 Place Jussieu 75005 Paris	Conservatoire National des Arts et Métiers Energétique-Turbomachines Case 2D3P20 292 rue Saint Martin 75141 Paris	
Téléphone :	01 30 85 48 63	01.40.27.21.60	
e-mail:	philippe.guibert@upmc.fr	georges.descombes@cnam.fr	

#### Descriptif de l'UE

Volumes horaires globaux (CM + TD + TP)	39 h CM + 15h TD = 54 h
Nombre de crédits de l'UE	<b>6 ECTS</b>
Spécialité où l'UE est proposée	Energétique et Environnement
Semestre où l'enseignement est proposé	S3
Effectifs prévus	120

#### a) Objectifs de l'Unité d'Enseignement :

La théorie de l'exergie a pour objet de développer une méthode d'analyse intégrée qui englobe les deux premiers principes de la thermodynamique, et permet ainsi de tenir compte à la fois des quantités d'énergie mises en jeu et de leur qualité. Son intérêt est qu'elle fournit un cadre tout à fait rigoureux pour quantifier la qualité des transformations

thermodynamiques d'un système quelconque, ouvert ou fermé, en régime dynamique ou non. Cette approche n'exclue pas l'analyse énergétique classique. Le cours va s'attacher à traduire de façon plus exacte les notions d'efficacité et de rendement, d'étendre les principes de conservation de l'énergie, entropique à l'exergie, et de proposer une démarche pour aboutir à la conception optimale d'un processus ou d'un système de conversion d'énergie. La qualité de l'énergie différencie ainsi 1 kWh d'électricité ou de 1 kWh de chaleur, ou bien 1 kWh de chaleur à température ambiante et 1 kWh de chaleur à très haute température.

Ces différences trouvent une expression thermodynamique soit à travers l'entropie, soit à travers l'exergie dont l'avantage sur l'entropie est de s'exprimer en unité énergétique (J, Wh, cal). Associer l'exergie et l'énergie produit une analyse nettement plus riche qu'une simple analyse énergétique. L'exergie considère de plus qu'un système thermodynamique interagit avec son environnement (conditions thermodynamiques de référence) et que l'état de l'environnement conditionne les performances du système étudié.

#### b) Contenu de l'Unité d'Enseignement :

##### Chapitre 1. Cycle de conférences et état des lieux sur l'énergie et son utilisation

Un ensemble de conférences est proposé afin de compléter les connaissances dans le domaine de la conversion d'énergie mais aussi ceux des aspects connexes liés à l'économie de l'énergie, à l'évolution du climat, au stockage et à sa disponibilité. L'idée propagée lors de ces conférences est d'exploiter les énergies dans une vision « durable ». Des ruptures sont nécessaires, des changements de comportement aussi, afin de permettre une plus grande maîtrise de la

consommation énergétique mondiale au regard de son type de production. Une présentation des défis auxquels nous sommes confrontés (climat, développement, ressources), des scénarios pour l'avenir énergétique de la planète sont proposés et analysés. Les contraintes fortes que sont la menace du réchauffement climatique et l'accès aux ressources énergétiques conduisent à envisager un scénario de transition vers une société consommant moins d'énergies fossiles (charbon et hydrocarbures). Dans cette hypothèse, il s'agit d'examiner les ruptures énergétiques possibles : secteurs majeurs où faire des efforts? Aller vers des ruptures scientifiques et techniques (dans les domaines des énergies renouvelables, du stockage de l'électricité, du nucléaire, etc.) et comment accélérer le processus ?

La liste des conférences suivantes n'est pas exhaustive mais donne une palette thématique de ce qui est habituellement présenté. Les thèmes traités évoluent chaque année en fonction de l'actualité.

- o Changement climatique, hier, aujourd'hui, demain
- o Analyse climatologique régionale, régime de temps et variabilités (éolien, solaire)
- o Combustion industrielle
- o Combustion dans les turbines à gaz terrestres, maîtrise des émissions et combustibles alternatifs Valorisation
- o Biocarburants : filières et impacts
- o La filière Hydrogène – applications, considérations environnementales et économiques, perspectives
- o Carburants alternatifs aéronautiques
- o Valorisation énergétique des déchets
- o Les défis du transport aérien
- o Propulsion terrestre et biocarburants
- o Optimisation des systèmes de climatisation
- o Énergétique et Eco conception des bâtiments
- o La production pétrolière en mer profondes
- o Couplage et stockage de l'énergie électrique
- o Solaire concentré, émergence d'une filière à haut potentiel
- o Solaire, conception d'un bâtiment basse consommation, comment améliorer les performances énergétique dès la conception.
- o Gestion en réseau de l'énergie et smartgrid

Le chapitre introductif, rapidement traité, présente le contexte général lié à la réglementation des nuisances chimiques induites par le secteur aérien civil. Il est rappelé que cette réglementation est imposée par l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile, la présentation de la vision européenne, dite vision ACARE, vient également compléter ces informations à caractère général. Dans cette partie, les espèces polluantes primaires, minoritaires, réglementées sont identifiées, ainsi que les cycles opérationnels de vol dans le cadre desquels ces normes s'appliquent. L'évolution des normes, attendue pour les années futures, est également présentée. Quelques outils et notions usuelles, inhérentes à une mesure quantitative de l'impact environnemental global (efficacité énergétique) ou particulier, pour un polluant donné (indice d'émission de polluant, inventaire d'émission...) sont également définis. Ces premières informations sont jugées indispensables pour aider à l'identification et à la quantification de l'effort à produire, sur un plan technologique, pour réduire les émissions à sur la partie purement propulsive d'un aéronef, celui-ci venant s'ajouter aux améliorations escomptées portant sur l'aéronef (hors motorisation) ou sur la gestion du trafic aérien.

- o Carburéacteurs aéronautiques et polluants chimiques primaires émis par combustion
- o Règlementation OACI du transport aérien civil - Vision européenne ACARE
- o Evolution du trafic aérien et prévision et contrôle de l'impact environnemental
- o Indices d'émission d'un polluant primaire – élaboration d'inventaires d'émissions
- o Turbomachines propulsives aéronautiques et paramètres clés de fonctionnement
- o Chambre de combustion et réduction de l'impact environnemental du secteur aérien

## Chapitre 2. Rappel des fondamentaux énergétiques

o Energie, propriétés générales des fluides, processus et irréversibilités, entropie...

## Chapitre 3. Concept de l'exergie

o Ecriture du bilan de l'exergie pour un volume de contrôle

o Exergie sous ses différentes formes (travail, chaleur, chimique, enthalpique..)

## Chapitre 4. Applications : analyse énergétique et exergetique

o Analyse exergetique de centrales thermiques, de processus de production de froid, de chaud, turbine à gaz, de moteur thermique, de centrale solaire, de cycle à récupération d'énergie

o Cycles combinés Diesel / turbine et applications aux unités cogénérées. Cogénération et trigénération. Applications domestiques et industrielles. Rendements énergétiques de cogénération et effet de serre.

## Chapitre 5. Exergie et thermoéconomie

### c) Pré-requis :

Connaissance importante de la thermodynamique, de l'énergétique et des machines thermiques

### d) Modalités de contrôle des Connaissances :

Projet 1 (40%) + projet 2 (25%) + E1 (35%)

### e) Références bibliographiques :

R.W.Haywood, Analysis of engineering cycles, Pergamon press, 1967. M.J. Moran, H.N. Shapiro : Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John Wiley,1995. J.H. Horlock, Advanced gas turbine cycles, Pergamon (Elsevier Science), 2003. JP Perez, Thermodynamique, Fondements et applications Masson L Borel, Thermodynamique Et Énergétique, presses polytechniques et universitaires Romande Michel Feidt , Thermodynamique et optimisation énergétique des systèmes et procédés , Tec & Doc (Editions)

### Organisation pédagogique

Enseignements présentsiels	Volume horaire total	Horaire hebdomadaire	Effectif par groupe
Cours	39	4	120
Enseignements dirigés	15	2	120
Travaux pratiques Expérimentaux			