

# Cours prévisionnels proposés en machines et moteurs

Version provisoire du 6 octobre 08 pour l'année 08-09

Les lieux sont susceptibles de modifications. Ils peuvent être contrôlés sur [http://www.cnam.fr/cep/inscriptions/emploi\\_du\\_temps.htm](http://www.cnam.fr/cep/inscriptions/emploi_du_temps.htm)

## Machines à fluides - ENM101 - 4 crédits

**Public concerné et conditions d'accès**

Public possédant le niveau bac+2 scientifique ou technique (DUT, BTS,...) avec notamment des

connaissances de mathématiques générales, thermodynamique et mécanique des fluides.

### Contenu de la formation Relations générales dans les machines à fluides

#### Machines volumétriques

Principe d'une machine volumétrique (analyse fonctionnelle, fluide véhiculé, courbes caractéristiques, rendements, domaines d'utilisation).

Machines volumétriques à fluide incompressible : - Pompes : à palettes, à pistons oscillants, multipalettes, à anneaux liquides, roots, à engrenages. - Pompes mécaniques sèches. Moteurs hydrauliques.

Machines volumétriques à fluide compressible : compresseurs à pistons alternatifs, à membranes, à palettes,

à lobes, monovis, double vis.

#### Turbomachines

Principes d'une turbomachine (fonctionnement, fluide véhiculé, courbe caractéristique, rendements, similitude, domaines d'utilisation).

Turbomachines à fluide incompressible : pompes et ventilateurs centrifuges et axiaux. Turbines hydrauliques  
Turbomachines à fluide compressible : soufflantes et compresseurs centrifuges et axiaux. Turbines axiales et centripètes.

#### Critères de choix d'une machine à fluide

#### Bibliographie

Michel Pluviose - Machines à fluides - principes et fonctionnement (Ellipses 2002)

#### Horaires et lieux :

1<sup>er</sup> semestre : cours le mercredi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod

Lieu : SD215 Cnam St-Denis, 61 rue du Landy, La Plaine St-Denis, RER B La Plaine-Stade de France

#### Ancien Auditeur

UE issue de l'UV 04427 puis TBM103

## Combustion - ENM102 - 4 crédits

### Public concerné et conditions d'accès

Public possédant un niveau bac+2 scientifique ou technique avec notamment des connaissances de mathématiques générales et thermodynamique.

### Contenu de la formation Introduction

Bases de la combustion  
Structure de la matière, notions de chimie organique, combustibles.  
Réaction chimique de combustion.

### Thermodynamique de la combustion

- premier principe de la thermodynamique, énergie interne et enthalpie de combustion, température de fin de combustion adiabatique, pouvoirs calorifiques, - second principe de la thermodynamique, équilibre chimique, composition à l'équilibre.

### Cinétique de la combustion

loi d'action de masse, mécanisme réactionnel, explosions thermiques, auto-inflammation des hydrocarbures, domaine et délai d'auto-inflammation.

### Flammes

laminaires, turbulentes et de diffusion.  
Stabilité des flammes.  
Ondes de déflagration et de détonation.

### Effets néfastes de la combustion

Lutte contre le feu.

#### Bibliographie

Michel PLUVIOSE Combustion et impact sur l'environnement (polycopié de cours)

#### Horaires et lieux :

1<sup>er</sup> semestre : cours le mardi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod

Lieu : SD412 Cnam St-Denis, 61 rue du Landy, La Plaine St-Denis, RER B La Plaine-Stade de France

#### Ancien Auditeur

UE issue de l'UV 04436 puis TBM104

## Polluants et gaz à effet de serre – véhicules hybrides ENM103 - 4 crédits

### Public concerné et conditions d'accès

Public possédant un niveau bac+2 scientifique ou technique avec notamment des connaissances de thermodynamique. Avoir suivi le cours de combustion ENM102 ou en avoir le niveau.

### Contenu de la formation

**Rappels** sur l'effet de serre et les conséquences des différents polluants (réglementés ou non) sur la santé et l'environnement  
Réglementation et évolutions  
Formation du CO<sub>2</sub>, formation des polluants, monoxyde de carbone, imbrûlés, particules, oxydes d'azote. Théorie radicalaire.

### Les méthodes de réduction des émissions polluantes à la source :

- CO<sub>2</sub> : amélioration du rendement,  
- NOx combustion à faible température et oxycombustion,  
- CO et HC : combustion complète,  
- autres : désulfuration des combustibles...

## Application aux turbines à gaz

Rappel du fonctionnement d'une turbine à gaz.  
Chambres de combustion faibles émissions  
Combustion catalytique  
Combustion en pré-mélange pauvre  
Technique RQL (Rich burn quick Quench Lean burn),  
Injection d'eau  
Architecture de la chambre  
Post-traitement, réduction catalytique sélective

## Cas des moteurs alternatifs

Rappel du fonctionnement d'un moteur alternatif.

Moyens pour réduire la consommation et les émissions  
Combustion dans les moteurs à allumage commandé : homogène et stratifiée, pauvre et stoechiométrique  
Combustion dans les moteurs diesel : hétérogène, EGR  
Technologies des systèmes d'injection

Catalyse d'échappement, catalyse d'oxydation, catalyse trifonctionnelle, traitement des particules et des oxydes d'azote  
**Véhicules hybrides** comme moyen de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>  
Architectures série et parallèle  
Moteur thermique - machine électrique - onduleur - convertisseur - survolteur - batterie  
Fonctionnement de la chaîne de traction hybride  
**Electricité dans les transports**

#### Horaires et lieux :

2<sup>nd</sup> semestre : cours le mardi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod.

Lieu : amphi G. Planté Cnam 2 rue Conté puis SD215 Cnam St-Denis, 61 rue du Landy, La Plaine St-Denis, RER B La Plaine-Stade de France

## **Biocarburants et énergies alternatives ENM104 - 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Public bac+2 scientifique ou technique ayant notamment des connaissances de thermodynamique et de préférence ayant suivi les UE ENM101 (ex TBM103) machines à fluides et ENM102 (ex TBM104) combustion.

### **Contenu de la formation**

Contexte énergétique et environnemental  
Eoliennes  
Géothermie et cycles ORC (Organic Rankine Cycle) pour récupération des calories à basse température  
Turbines hydrauliques  
Solaire haute température  
Piles à combustible  
Gazéification de la biomasse (gazogène et biodigesteur)  
Biocombustible, biocarburant (alcool, huile végétales, ester)  
Carburants alternatifs, hydrogène.

**Horaires et lieux :**  
Fermé cette année

## **Energétique TP- ENM105 - 4 crédits**

**Public concerné et conditions d'accès**  
avoir suivi les UE de thermodynamique B0, thermique B1, machines hydrauliques et thermiques B0, moteurs à combustion interne B0

### **Contenu de la formation**

Courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge, validation des lois de similitude.  
Mesure de la charge requise à l'aspiration d'une pompe par différentes méthodes d'essais de cavitation.  
Influence de la prérotation sur les performances d'un ventilateur centrifuge, courbes caractéristiques, similitude.  
Détermination, en variable réduites, du champ d'un compresseur centrifuge.  
Etude et mesure des variations de viscosité en fonction de la température.  
Performances d'un moteur en régime stabilisé.  
Air humide.

Utilisation des analogies électriques pour la simulation des champs thermiques bidimensionnels.  
Utilisation d'un logiciel de dimensionnement des échangeurs tube-calandre.  
Radiométrie infrarouge.  
Changement de phase liquide-vapeur. Mécanismes d'ébullition.  
Machine de production d'eau glacée.  
Echangeurs : calcul de coefficients d'échange.  
Machines frigorifiques centrale de traitement d'air

### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 04445 puis TBM105

### **Horaires et lieux :**

2nd semestre : cours le samedi en laboratoires.

## **Optimisation énergétique des machines et moteurs ENM106 - 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Public bac+2 scientifique ou technique ayant notamment des connaissances de thermodynamique et de préférence ayant suivi les UE ENM101 (ex TBM103) machines à fluides et ENM102 (ex TBM104) combustion

### **Contenu de la formation**

**Analyse énergétique et exergétique :** bilan d'installations énergétiques suivant les premier et deuxième principe de la thermodynamique  
**Analyse économique des investissements énergétiques :** actualisation, durée de vie, amortissement, temps de retour, critère de rentabilité)  
**Analyse du cycle de vie :** impact sur l'environnement des installations énergétiques du « berceau à la tombe » ou « du puits à la roue » - quelques exemples – méthodologie d'une ACV  
**Etude de cas :** exemple de fixation des prix de l'énergie dans le cas d'une installation de cogénération - impact de la réglementation

**Horaires et lieux :**

2nd semestre : cours le vendredi de 18h15 à 21h30.  
Ouvert en fod.  
Lieu : 39.3.47 Cnam 2 rue Conté.

## **Modélisation en machines et moteurs ENM107 - 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Public bac+2 scientifique ou technique ayant notamment des connaissances de thermodynamique et mécanique des fluides et de préférence ayant suivi les UE ENM101 (ex TBM103) machines à fluides et ENM108 (ex TBM106) ingénierie des turbomachines.

### **Contenu de la formation**

Rappels de mathématiques, Fluides compressibles  
Ecoulements instationnaires  
Méthode des caractéristiques  
**Outils mathématiques et de modélisation** (thermooptim-mathlab...)  
**Principes fondamentaux des méthodes numériques**  
Approche développeur et utilisateur  
Prise en compte des équations aux dérivées partielles  
Discrétisation des équations (volumes finis – éléments finis)  
Résolution du système algébrique matriciel  
Analyse de la convergence et de la stabilité  
**Méthodologie pratique de résolution d'un problème de CFD**  
Utilisation du code  
Positionnement et analyse du problème  
Prise en compte de la géométrie et réalisation du maillage  
Choix des conditions aux limites  
Mise en place des modèles et des schémas de discrétisation  
Analyse de la solution  
**Présentation du code de calcul Fluent**  
**Etude de cas**

### **Horaires et lieux :**

2nd semestre : cours le samedi de 9h à 12h. Ouvert en fod  
Lieu : 39.3.47, Cnam 2 rue Conté, Paris

## **Ingénierie des turbomachines – ENM108 – 4 crédits**

**Public concerné et conditions d'accès**  
Public possédant le niveau bac+2 scientifique ou technique (DUT, BTS,...) avec notamment des connaissances de mécanique des fluides, mécanique, résistance des matériaux et ayant de préférence suivi l'UE ENM101 (ex TBM103) machines à fluides.

### **Contenu de la formation**

**Introduction**  
Normalisation - Eléments de mécanique du solide et des fluides en vue des applications aux machines. Notions sur la théorie de l'élasticité.  
**Aspects aérodynamiques et énergétiques de la conception des machines et de leurs circuits récepteurs**  
Conception du circuit des machines - Conception des aubages des turbomachines - Méthodes de calcul numérique appliquées aux écoulements dans les machines et les circuits associés - Bruit des machines - Conception des paliers, butées, garnitures - Transmission de la puissance - Robinetterie.  
**Aspects structures de la conception et de la construction des machines et de leurs circuits récepteurs**  
Problèmes mécaniques et thermiques de leur construction - Technologie et construction des corps, rotors et aubages - Caractéristiques des matériaux pour turbomachines - Limitation en fatigue - Contraintes mécaniques et thermiques des les corps - Contraintes dans les pales - Contraintes dans les disques - Vibrations des aubages - Vitesses critiques des arbres - Equilibrage dynamique des pièces tournantes - Méthodes de calcul numérique appliquées aux structures dans les machines et leurs circuits.  
**Interactions fluide structure dans les machines et leurs circuits récepteurs**

### **Bibliographie**

Michel PLUVIOSE Ingénierie des turbomachines (Ellipses 2003)

#### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 04454 puis TBM106

#### **Horaires et lieux :**

Fermé cette année.  
Cours ouvert un an sur deux au second semestre les mercredis, en fod et en présentiel.

### **Conception des moteurs alternatifs - ENM109 – 4 crédits**

#### **Public concerné et conditions d'accès**

Public ayant le niveau bac+2 (DUT, BTS...) dans les spécialités génie thermique et énergie, avec notamment des connaissances en résistance des matériaux et thermique.

#### **Contenu de la formation Mécanique du moteur alternatif**

Cinématique du moteur alternatif : bielle manivelle ; distribution.  
Dynamique du moteur alternatif : équilibrage ; vibrations de torsion ; vibrations de structure.

#### **Technologie du moteur**

Culasse - Piston - Chemise.  
Vilebrequin - Coussinet - Bielle.

#### **Transferts thermiques et refroidissement**

#### **La lubrification**

#### **Le refroidissement**

#### **Adaptation du moteur à la machine entraînée**

#### **Bibliographie**

G. DESCOMBES

#### **Ancien auditeur**

UE issue de l'UV 14923 puis TBM108

#### **Horaires et lieux :**

2nd semestre : cours le lundi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod.  
Cours ouvert un an sur deux.  
Lieu : SD215 Cnam St-Denis, 61 rue du Landy, La Plaine St-Denis, RER B La Plaine-Stade de France

### **Conversion d'énergie par turbomachines – ENM110 – 4 ects**

#### **Public concerné et conditions d'accès**

Public bac+2 scientifique ou technique ayant notamment des connaissances de thermodynamique et le niveau

de l'UE de machines à fluides ENM101 (ex TBM103)

#### **Contenu de la formation Vue générale sur l'énergie Machines multicellulaires**

Pompes multicellulaires - Turbines et compresseurs multicellulaires - Calcul d'une machine multicellulaire - Fonctionnement aux charges partielles.

#### **Turbomachines à gaz industrielles et aéronautiques Turbomachines à vapeur**

Cycle des turbines à vapeur - Centrales à combustible fossile - Centrales nucléaires - Evolution de la puissance unitaire des groupes - Turbine à condensation et à soutirage - Organes de réglage - Condensation de la vapeur.  
**Cycles combinés, cogénération**  
**Régulation des machines**  
Diagramme général d'un système de régulation.  
Régulation des turbines à vapeur et application à la régulation des turbines à vapeur et des turbines à gaz.

#### **Bibliographie**

Michel PLUVIOSE Conversion d'énergie par turbomachines (Ellipses 2004)

#### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 14905 puis TBM107

#### **Horaires et lieux :**

2nd semestre : cours le mercredi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod.  
Cours ouvert un an sur deux.  
Lieu : 9.B0.15 Cnam 292 rue St-Martin, Paris.

### **Fonctionnement des moteurs alternatifs – ENM111 – 4 crédits**

#### **Public concerné et conditions d'accès**

Public bac+2 scientifique ou technique ayant le niveau des UE de machines à fluides TBM103, combustion et impact sur l'environnement TBM104, thermodynamique générale.

#### **Contenu de la formation Définitions**

Moteur à combustion interne.  
Pression Moyenne Effective et puissance d'un moteur thermique. Rendement.  
Charges mécaniques et

charges thermiques.

#### **Principes de fonctionnement**

Alimentation en comburant.  
Alimentation en carburant.  
Déroulement de la combustion.  
Evacuation des produits de combustion.

#### **Cycle moteur**

Cycles théoriques et cycles réels.

#### **Alimentation en air et expulsion des gaz**

Calages de came.  
Dynamique des fluides et acoustique des moteurs  
Suralimentation.

#### **Bibliographie**

G. DESCOMBES  
Polycopiés CNAM.

#### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 14932 puis TBM109

#### **Horaires et lieux :**

Fermé cette année.  
Cours ouvert un an sur deux au second semestre les lundis en présentiel et en fod.

### **Information et communication pour l'ingénieur en énergétique – ENM112 – 4 crédits**

#### **Public concerné et conditions d'accès**

#### **Contenu de la formation**

Entraînement à la soutenance orale au cours d'exposés.  
Recherche documentaire sur un sujet technique. Réalisation d'une bibliographie donnant lieu à une synthèse documentaire présentée sous forme écrite (document de 20 pages environ) et orale (exposé de 30 minutes).

#### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 14950 puis TBM112

#### **Horaires et lieux :**

Au 2<sup>nd</sup> semestre, dates définies ultérieurement.

### **Monitoring et maintenance des turbines à gaz et turboréacteurs – ENM113 – 4 crédits**

#### **Public concerné et conditions d'accès**

Avoir suivi au moins l'une des deux UE suivantes : ENM108 (ex TBM106) Ingénierie des turbomachines, ENM110 (ex TBM107) conversion d'énergie par turbomachines.

#### **Contenu de la formation**

Conduite d'une installation  
Fiabilité - défaillances  
Enjeux de la maintenance (techniques, économiques, humains - de sécurité, environnementaux)  
Optimisation de la conduite d'une installation

#### **Types de maintenances :**

Maintenance corrective  
Maintenance préventive  
Maintenance prédictive  
Les méthodes d'analyse (OMF...)

#### **Opérations de maintenance**

Aspects techniques et de planification

#### **Méthodes et moyens de surveillance et d'expertise - indicateurs de performances**

Analyse vibratoire  
Analyse des huiles  
Contrôle non destructif  
Thermographie infrarouge  
Surveillance des performances mécaniques, énergétiques et environnementales  
Diagnostic de l'état réel

#### **Maintenance aéronautique et maintenance industrielle**

#### **Etude de cas**

#### **Horaires et lieux :**

2<sup>nd</sup> semestre : cours le jeudi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod.  
Lieu : 33.2.11, Cnam de rue Conté, Paris.

## **Contrôle moteur et stratégies optimisées de dépollution - ENM114 - 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Avoir suivi au moins l'une des deux UE suivantes : ENM109 (ex TBM108) Conception des moteurs alternatifs, ENM111 (ex TBM109) fonctionnement des moteurs alternatifs.

### **Contenu de la formation**

Rappel sur la formation des polluants

Nouvelles motorisations : moteurs à cylindrée réduite (« downsizing ») suralimentations

injection haute pression nouveaux modes de combustion, distribution variable...

Post-traitement et réduction des émissions à la source

Principes d'optimisation d'un point et d'une zone de fonctionnement moteur

Elaboration d'une loi de commande

Mise au point et calibration Plans d'expériences

Modélisation

### **Horaires et lieux :**

Fermé cette année.

## **Développements avancés dans les machines thermiques – ENM210 – 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Public possédant au minimum le niveau du cycle préparatoire en énergétique et l'UE ingénierie des des turbomachines ENM108 (ex TBM106) ou Conversion d'énergie par des turbomachines ENM110 (ex TBM107).

### **Contenu de la formation**

Turboréacteurs et turbines industrielles

Thermodynamique de la turbine à gaz : grandeurs totales, champ centrifuge, rendement, cycle de la turbine à gaz.

Etudes

particulières des turboréacteurs.

Dimensionnement des entrées d'air et tuyères

Dimensionnement aérodynamique compresseur et turbine

Dimensionnement thermo-

mécanique de la turbine

La réchauffe, les problèmes de thermique et mécanique rotor

Turbopropulseurs,

statoréacteurs et moteurs fusée

Projet de turboréacteur

Utilisation de logiciels

### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 14914 puis TBM210

### **Horaires et lieux :**

1er semestre : cours le samedi de 9h00 à 12h00. Ouvert en fod.

Lieu : 31.3.09, Cnam 2 rue Conté, Paris.

## **Développements avancés dans les moteurs thermiques – ENM211 – 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Public possédant le niveau du cycle préparatoire en énergétique et celui des UE conception des moteurs alternatifs ENM109 (ex TBM108) et Fonctionnement des moteurs alternatifs ENM111 (ex TBM109).

### **Contenu de la formation**

Analyse exergetique et anergétique de la production d'énergie. Similitude des moteurs thermiques.

Moteurs à récupération d'énergie et environnement.

Complément sur la suralimentation

Dynamique des fluides pulsés et remplissage en air d'un moteur à pistons.

Application de la méthode des caractéristiques au calcul des écoulements dans les moteurs. Apprentissage à l'utilisation des codes industriels (GT Power...).

Modélisation thermodynamique des cycles, lois de dégagement de chaleur

Moteurs non conventionnels

### **Bibliographie**

G. DESCOMBES  
Polycopiés CNAM.

### **Ancien Auditeur**

UE issue de l'UV 14941 puis TBM211

### **Horaires et lieux :**

1er semestre : cours le jeudi de 18h15 à 21h30. Ouvert en fod.  
Lieu : SD215 Cnam St-Denis, 61 rue du Landy, La Plaine St-Denis, RER B La Plaine-Stade de France

## **Cogénération et cycles combinés – ENM212 – 4 crédits**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Public possédant au minimum le niveau du cycle préparatoire en énergétique et une UE d'approfondissement parmi les UE de machines ou moteurs (ENM108, ENM109, ENM110, ENM111, ENM113, ENM114, ENM210, ENM211, ENM212).

### **Contenu de la formation**

Analyse entropique de la conversion d'énergie

Optimisation de la conversion énergétique au moyens de cycles performants

Performances énergétiques, impact sur l'environnement, économie

Réduction des émissions de CO2

Turbine à gaz à injection de vapeur (cycle dit STIG - steam injection in gas turbine)

Cogénération

Cycles combinés

Chaudières de récupération (1, 2 et 3 niveaux de pression)

Couplages des cycles série et parallèle

Gazéification du charbon intégrée à des cycles combinés (IGCC - Integrated gasification combined cycle)

Captage et stockage du CO2

Les cycles à oxy-combustion

Couplage au réseau

Moteurs à récupération

d'énergie et environnement.

Suralimentation, cogénération et trigénération.

### **Horaires et lieux :**

1er semestre : cours le samedi de 9h00 à 12h00.

Lieu : SD215 Cnam St-Denis, 61 rue du Landy, La Plaine St-Denis, RER B La Plaine-Stade de France

## **Conversion d'énergie dans les moteurs thermiques et environnement**

### **ENM218 – 8 ects**

### **Public concerné et conditions d'accès**

Ingénieurs généralistes et professionnels certifiés par VAE (validation des acquis de l'expérience)

### **Capacité et compétences acquises**

Certificat de spécialisation en moteurs thermiques (CES)

### **Contenu de la formation**

-Couplage des transferts de masse et d'énergie.

-Optimisation exergetique et systémique.

-Valorisation anergétique et polygénération.

-Acyclisme et contrôle moteur.

### **Horaires et lieux :**

Prendre contact avec Georges Descombes