

---

# PROGRAMME INGÉNIEUR

2025-2026

2e année / 3e année

---

## Option Disciplinaire Production et Gestion d'Energie

OD ENERG

---

RESPONSABLE DU PROGRAMME

Jean-François HETET



# 1er Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 73	12	Tronc commun	COMBU THCYM THERM TUMAC	Combustion et émissions polluantes en énergétique Thermodynamique des cycles moteurs Thermodynamique appliquée à l'énergétique Turbomachines pour la production d'énergie
UE 74	13	Tronc commun	ECONV EDCAR P1ENERG SOLAR TSCGE	Energies conventionnelles Energies décarbonées Projet 1 Captation solaire Transport-stockage-conversion-gestion de l'énergie

# 2e Semestre

---

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 83	14	Tronc commun	BCAUE GCLIM P2ENERG THBATE TPENE	Bilan carbone et audit énergétique Génie climatique Projet 2 Thermique du bâtiment Travaux pratiques

## Combustion et émissions polluantes en énergétique [COMBU]

Responsable(s) du cours : Alain MAIBOOM

### Objectifs

Cet enseignement a pour objectifs :

- D'apporter les connaissances fondamentales sur la combustion et la formation des émissions polluantes.
- De présenter les aspects techniques de la combustion dans les systèmes énergétiques (moteur à combustion interne, turbine à gaz, chaudière, poêle biomasse) et les moyens de réduire à la source les émissions de polluants.

### Plan de l'enseignement

Dans une première partie de cours, les aspects fondamentaux de la combustion sont présentés, selon le plan suivant :

- Introduction du phénomène de la combustion et exemples d'application
- Etat initial et final : thermodynamique, équilibre chimique
- Cinétique chimique
- Equations gouvernant la combustion
- Mécanismes de l'auto-inflammation
- Flamme de pré-mélange
- Flamme de diffusion laminaire (fraction de mélange Z)
- Introduction à la combustion turbulente

Dans une seconde partie, les aspects techniques des chambres de combustion, la formation des polluants et leur réduction sont présentés. Des exercices permettent de mettre en application les différentes parties de ce cours. Cette seconde partie se décompose comme suit :

- Les chambres de combustion dans les moteurs à combustion interne (allumage commandé et par compression) : systèmes d'injection (directe, indirecte, multi-injection), dosage, contrôle de la charge, formation des particules, NO<sub>x</sub>, CO, imbrûlés et moyens de les réduire à la source (notion de compromis).
- Les chambres de combustion des turbines à gaz : systèmes d'injection, combustions de pré-mélange et diffusive, éléments de conception des chambres de combustion, contrôle des polluants.
- Les différents carburants, en particulier les carburants de synthèse (hydrogène, NH<sub>3</sub>, méthanol,...) et leurs usages dans les machines thermiques.
- La combustion de la biomasse : présentation qualitative des brûleurs (poêle, chaudière biomasse), bilan CO<sub>2</sub>.

### Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- Poinot & Veynante, Theoretical and Numerical Combustion
- <http://elearning.cerfacs.fr/combustion/index.php>

## Compétences auxquelles forme cet enseignement

---

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

## Compétences observées via cet enseignement

---

Aucune compétence observée

## Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

---

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

## Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

---

Ce cours traite en CM et TD du développement durable, en particulier : combustion efficace, carburants alternatifs dont carburants décarbonés, réduction des émissions de polluants atmosphériques.

## Évaluation

---

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.25)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.75)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	10 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Thermodynamique des cycles moteurs [THCYM]

Responsable(s) du cours : Georges SALAMEH

### Pré-requis

thermodynamique  
mécanique des fluides  
énergétique

### Objectifs

Cet enseignement a pour objectifs :

- D'apporter les connaissances de base en moteurs à combustion interne à piston, appréhendés principalement d'un point de vue énergétique.
- De caractériser les cycles et le fonctionnement des Turbines à Gaz et des cycles à vapeur condensable utilisés en production d'électricité.

### Plan de l'enseignement

Concernant les moteurs à piston, on présentera successivement : une perspective historique; les principes généraux ; quelques éléments de technologie et les différents types de moteurs ; les grandeurs caractéristiques : géométrie, performances, rendements ; les applications, l'hybridation et la récupération d'énergie ; l'alimentation en air et l'échappement ; la suralimentation; la dépollution ; le refroidissement, la lubrification et les frottements.

Pour les turbines à gaz et à vapeur, l'enseignement porte essentiellement sur la description et l'exploitation des cycles thermodynamiques (Carnot et Joule pour les TAG, Rankine, Hirn avec et sans resurchauffe, soutirages et cycles supercritiques pour les TAV). L'accent est mis sur la prise en compte des cycles réels (irréversibilités, pertes de charge) et les moyens d'augmenter les performances (cycles combinés et cogénération).

Des exercices d'application sont prévus, sur l'évaluation des performances et du rendement énergétique.

NB : L'alimentation en carburant et la combustion dans ces différentes machines thermiques seront abordées dans le module Combustion. Les aspects les plus fondamentaux des écoulements gazeux et des turbomachines seront traités dans des modules spécifiques (Dynamique des gaz, Turbomachines)

### Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

J.B Heywood, Internal Combustion Engines Fundamentals, Mac Graw Hill, 2011

W.W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, 2003

## Compétences auxquelles forme cet enseignement

---

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

## Compétences observées via cet enseignement

---

Aucune compétence observée

## Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

---

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

## Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

---

l'enseignement forme les étudiants sur les principes thermodynamiques du fonctionnement des centrale électriques à vapeur condensable qui peut être une des sources d'énergie les moins carbonées.

## Évaluation

---

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	26 hrs	4 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Thermodynamique appliquée à l'énergétique [THERM]

Responsable(s) du cours : Pascal CHESSE

### Objectifs

L'objectif de ce cours est de bien comprendre les notions d'énergétique pouvant être utiles à tout ingénieur amené à travailler dans le domaine de la production et de la gestion de l'énergie .

### Plan de l'enseignement

Une première partie de ce cours consiste à présenter une introduction à la prise en compte du rayonnement thermique. Dans une deuxième partie, les notions de transferts thermiques nécessaires à tout ingénieur seront présentées, tout en les appliquant à un système réel. Pour répondre à ce besoin, les phénomènes de conduction et de convection seront présentés. Suite à cela, une analyse thermique dans un calcul d'échangeur permettra de définir la notion de différence logarithmique moyenne de température et de nombre d'unités de transfert. Enfin une étude de cas sur un échangeur sera réalisée. Suite à cela, la notion d'exergie sera présentée. Celle-ci permet de calculer avec une grande précision les dissipations d'énergie se produisant dans un processus industriel, du fait des irréversibilités. Un bilan détaillé des performances énergétiques de chaque sous ensemble d'un processus global est donc effectué. Cette notion sera mise en application sur plusieurs cas concrets (compresseur, turbine, échangeur). Le cours sera suivi d'une série d'exercices d'application en lien avec la production et la gestion de l'énergie.

### Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Michel FEIDT , Energétique - concepts et applications, Dunod Ed. (2006)  
Lucien BOREL et Daniel FAVRAT - thermodynamique et énergétique : de l'énergie à l'exergie, Presses polytechniques et universitaires romandes (2005)  
Richard E. SONNTAG, Claus BORGNAKKE et Gordon J. VAN WYLEN - fundamentals of thrmodynamics, Ed. Wyley & Sons (1998)  
Renaud GICQUEL - systèmes énergétiques (3 tomes), presses des Mines Paris Tech (2009)

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

La thermodynamique est une notion essentielle dans la production d'énergie propre et la propulsion décarbonée

## Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.25)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.75)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	8 hrs	22 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

# Turbomachines pour la production d'énergie [TUMAC]

Responsable(s) du cours : Pascal CHESSE

### Objectifs

L'objectif de ce cours est de d'expliquer le fonctionnement des turbomachines à fluide incompressible (pompe, turbine hydraulique) et à fluide compressible (turbine, compresseur) et de leurs applications dans le domaine de la production l'énergie.

### Plan de l'enseignement

Dans un premier temps, les relations générales décrivant le fonctionnement d'une turbomachine et la classification de ces machines seront présentées. Après présentation du théorème d'Euler, le tracé et le fonctionnement d'une pompe centrifuge seront détaillés : roue, diffuseur, volute. La notion de rendement de ces machines sera également abordée et les phénomènes de cavitation présentés. Les coefficients de Rateau seront détaillés. La deuxième partie du cours sera consacrée aux turbomachines à fluide compressible. Le cas d'un compresseur centrifuge sera traité en détail ainsi que les relations de similitude.

Le cours sera suivi d'une série d'exercices d'application en lien avec le domaine de la production d'énergie, puis d'une conférence sur les éoliennes.

### Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

M. SEDILLE, Turbomachines hydrauliques et thermiques, Tomes 1,2,3, Masson Paris  
M. PLUVIOSE, Turbomachines, Vuibert Ed.

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Les turbomachines sont un élément essentiel dans la production d'énergie propre et la propulsion décarbonée

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.25)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.75)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	8 hrs	22 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Energies conventionnelles [ECONV]

*Responsable(s) du cours : Jean-François HETET*

### Objectifs

Présenter un aperçu large des différentes énergies conventionnelles

### Plan de l'enseignement

Première partie (16h) : intervention de M. Postaire (ingénieur spécialiste du nucléaire) : généralités sur la physique nucléaire, aspects techniques et pilotage d'un coeur de réacteur nucléaire pour la production d'électricité.

Deuxième partie (10h) : cours sous forme de présentations :

Sujet 1 : Le pétrole

Historique de la consommation. Situation mondiale actuelle (production, consommation, ressources). Prix. Perspectives. Pétrole de schiste

Sujet 2 : Le gaz

Historique de la consommation. Situation mondiale actuelle (production, consommation, ressources). Prix. Perspectives. Gaz de schiste

Sujet 3 : Le charbon

Historique de la consommation. Situation mondiale actuelle (production, consommation, ressources). Prix. Perspectives

Sujet 4 : Les crises pétrolières

Historique des crises depuis 1900. Origines et particularités des crises de 1973, 1979, 1986. Considérations géopolitiques. Conséquences économiques au niveau mondial. Perspectives

Sujet 5 : L'énergie hydraulique

Principes de fonctionnement. Différents types de barrages. Perspectives

Sujet 6 : La géothermie

Principes de fonctionnement. Ressources et réalisations. Perspectives

Sujet 7 : Le solaire à concentration

Principes de fonctionnement. Réalisations. Perspectives

Sujet 8 : La biomasse (hors agrocarburants)

Les sources. Les différentes filières. Méthanisation. Perspectives

Sujet 9 : Les agrocarburants

Modes de production. Impact environnemental. Bilan du puits à la roue.

Sujet 10 : Consommation énergétique du futur (monde et France)

Récapitulation des ressources énergétiques mondiales actuelles, sous toutes les formes. Estimations de consommation jusqu'en 2020 (scénario CME). Problèmes posés à long terme par la consommation énergétique et solutions envisageables. Perspectives pour les années 2100.

Sujet 11 : Les économies d'énergie dans le monde et en France

L'énergie grise. Maîtrise de l'énergie et certificats d'économies d'énergie. Performance énergétique. Recyclage et valorisation

des déchets (verre, papier, plastiques...). Exemples de réalisations

Sujet 12 : Captation et stockage du CO2  
Les différentes méthodes de captage. Stockage sous-

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

---

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

---

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

---

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

---

Ce cours propose une introduction aux différents moyens de produire de l'énergie

### Évaluation

---

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	30 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Energies décarbonées [EDCAR]

*Responsable(s) du cours : Jean-François HETET*

### Objectifs

Présenter un aperçu des énergies décarbonées

### Plan de l'enseignement

Première partie (4h) : intervention de Mme AUBRUN (Professeur - Centrale NANTES) : énergie éolienne

Deuxième partie (12h) : intervention de M. Joubert (Professeur - IMN) : pile à combustible - hydrogène

Troisième partie (4h) : intervention de M. Babarit (LHEEA) : énergies marines renouvelables - systèmes houlomoteurs

Quatrième partie (4h) : intervention de M. BITTAN (EDF) : gestion du risque dans l'énergie nucléaire

Cinquième partie (4h) : intervention de M. MARTINETTI (Nantes Métropole) : les réseaux de chaleur

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Cet enseignement introduit des méthodes novatrices pour une production d'énergie durable et décarbonée

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	30 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Projet 1 [P1ENERG]

*Responsable(s) du cours : Jean-François HETET*

### Objectifs

S'investir sur un projet de groupe (2/3 personnes) en lien avec l'énergétique

### Plan de l'enseignement

exemples de projets:

Conception, fabrication et expérimentation d'un capteur solaire thermique à air

Etude expérimentale autour d'une maquette d'éolienne

Etude du stockage inter saisonnier de chaleur

Etude du solaire à concentration

Intégration des prévisions météorologiques au système de pilotage de l'énergie du prototype du Solar Décathlon

Etude d'un système de cogénération et cycles combinés

Etude d'un système ETM (énergie thermique des mers)

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - Intermédiaire
  - Compétent

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Etude de cas toute en lien avec la production et l'utilisation de l'énergie dans des conditions durables et décarbonées

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	1	0 hrs	0 hrs	0 hrs	32 hrs	0 hrs

# INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

## Captation solaire [SOLAR]

Responsable(s) du cours : Ernesto MURA

### Objectifs

Comprendre et maîtriser les concepts détaillés de la captation solaire et de tous les systèmes de conversion d'énergie solaire. Les étudiants devront maîtriser les équations fondamentales et les grands ordres de grandeurs, savoir faire des calculs de "coin de table" pour analyser rapidement une solution tout en développant un sens critique aiguisé.

### Plan de l'enseignement

- 1 - Captation solaire
- 2 - Solaire thermique
- 3 - Solaire à concentration
- 4 - Solaire passif
- 5 - Solaire photovoltaïque

### Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

J. Bernard, Energie Solaire Calculs & Optimisation Génie Energétique Niveau B, 2e édition. Paris: Ellipses Marketing, 2011.  
J.-P. Oliva et S. Courgey, La conception bioclimatique: Des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation. terre vivante, 2006.  
« Le capteur solaire à eau chaude », Energie+. <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16760> (consulté le janv. 24, 2019).  
Syndicat des énergies renouvelables, « Principe de fonctionnement du solaire thermodynamique », 2012.  
W. Weiss et M. Spörk-Dür, « Solar Heat Worldwide », IEA Solar Heating & Cooling Programme, 2020. Consulté le: oct. 13, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>.

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Égalité entre les sexes / Énergie propre et d'un coût abordable

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Former aujourd'hui aux énergies solaires pour construire un avenir durable et responsable.

### Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	10 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

# Transport-stockage-conversion-gestion de l'énergie [TSCGE]

*Responsable(s) du cours : Jean-François HETET*

### Objectifs

Présenter les problématiques liées à la gestion de l'énergie, son transport, et son stockage

### Plan de l'enseignement

Première partie (8h) : intervention de M. GAUBICHER (IMN-CNRS) : les différentes formes de stockage de l'énergie avec un focus sur les batteries

Deuxième partie (6h) : intervention de M. Dedieu (H2V) : transport de gaz

Troisième partie (16h) : intervention d'une équipe pédagogique RTE sur le transport de l'électricité ( réseaux, dispatching, smart grids,...)

Visite du centre RTE de dispatching d'électricité de l'Ouest (la Chapelle-sur-Erdre)

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Cet enseignement introduit des méthodes novatrices pour une production d'énergie durable et décarbonée ainsi que les solutions de transport

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	32 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

# Bilan carbone et audit énergétique [BCAUE]

Responsable(s) du cours : Jean-François HETET

### Objectifs

Ce module dispense des outils nécessaires à l'ingénieur dans le cadre de la validation d'un choix de conception ou de re-conception d'un produit, d'un système, d'un procédé, en intégrant les aspects environnementaux : le bilan carbone et l'analyse du cycle de vie.

### Plan de l'enseignement

Première partie : bilan carbone :

Le bilan carbone d'un produit ou d'une entité humaine est un outil de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre, permettant de proposer des solutions efficaces de réduction de la consommation d'énergie conventionnelle et d'étudier la vulnérabilité d'une activité économique ou d'une collectivité vis-à-vis de la dépendance aux énergies fossiles.

Deuxième partie : Audit Energétique

L'audit énergétique est devenu obligatoire pour les grandes entreprises. L'objectif est d'identifier les gisements d'économies d'énergie et de mettre en place une politique d'efficacité énergétique. L'impact de l'économie circulaire sur la réduction de la consommation d'énergie primaire sera également abordé.

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable / Villes et communautés durables

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours prépare à des choix énergétiques durables et responsables et décarbonatés

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.5)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.5)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	22 hrs	10 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

### Génie climatique [GCLIM]

Responsable(s) du cours : David CHALET

#### Pré-requis

Thermodynamique et Systèmes Energétiques (ENERG)

#### Objectifs

L'objectif de ce cours consiste à connaître et étudier les différentes solutions techniques permettant de chauffer et de climatiser ou conditionner l'air d'un bâtiment ainsi que les solutions permettant d'obtenir de l'eau chaude sanitaire.

#### Plan de l'enseignement

Dans une première partie, une introduction permettra de présenter les différentes catégories de système de chauffage et de production d'ECS mais également de présenter le rôle de chacun des éléments (générateurs, émetteurs, organes de distribution). Une présentation complète des différents générateurs de chaleur conventionnels sera effectuée (classification des chaudières, les différents types de chaudières au sol, le chauffe-eau, le bouclage d'eau chaude sanitaire et la régulation) sans oublier les générateurs utilisant des énergies renouvelables (géothermie, aérothermie, aquathermie, bois). Les couplages possibles entre les différents systèmes (chauffage et ECS), classiques ou renouvelables, seront présentés. Par la suite, le problème de la distribution en eau sera étudié (composition des différents circuits existants, matériaux, équilibrage hydraulique, choix des émetteurs, régulation). Cette partie s'achèvera par une mise en application sur des exemples concrets et probablement par une visite d'entreprise. Dans une seconde partie, la climatisation et le conditionnement de l'air seront étudiés. Tout d'abord une présentation générale sera effectuée (contrôle de la température ambiante, notion de confort en température et en humidité, humidité de l'air extérieur) puis les propriétés de l'air humide seront étudiées. Ensuite, un calcul des charges sera effectué permettant ainsi de définir les différentes opérations de traitement de l'air nécessaires. L'ensemble des solutions techniques permettant de traiter l'air seront étudiées. Une mise en application sera effectuée par le biais du dimensionnement complet d'une CTA.

#### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

#### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

#### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques / Villes et communautés durables

#### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Cet enseignement permet d'étudier les différentes solutions de chauffage et de climatisation ou conditionnement l'air d'un bâtiment, y compris par l'utilisation d'énergies décarbonés / renouvelables. Ceci est effectué aussi bien au niveau du cours

que des séances de TD, notamment au travers de la mise en application par l'étude de cas concrets et de la visite d'entreprise.

## Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.2)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.8)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	26 hrs	4 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

### Projet 2 [P2ENERG]

*Responsable(s) du cours : Jean-François HETET*

#### Objectifs

S'investir sur un projet de groupe (2/3 personnes) en lien avec l'énergétique

#### Plan de l'enseignement

exemples de projets:

Conception, fabrication et expérimentation d'un capteur solaire thermique à air

Etude et test d'une éolienne terrestre

Etude du stockage inter saisonnier de chaleur

Etude du solaire à concentration

Intégration des prévisions météorologiques au système de pilotage de l'énergie du prototype du Solar Décathlon

Etude thermique d'un logement (calcul en régime permanent et simulation thermique dynamique)

Etude d'un système de cogénération et cycles combinés

Etude d'un système ETM (énergie thermique des mers)

#### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

#### Compétences observées via cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
  - Intermédiaire
  - Compétent
- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - Intermédiaire
  - Compétent
- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
  - Intermédiaire
  - Compétent

#### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures

#### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Etudes de cas toutes en lien avec la production et l'utilisation de l'énergie dans des conditions durables et décarbonées.

## Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	2	0 hrs	0 hrs	0 hrs	48 hrs	0 hrs

## INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

# Thermique du bâtiment [THBATE]

Responsable(s) du cours : Ugo PELAY

### Objectifs

Cet enseignement a pour objectif d'apporter les connaissances fondamentales et pratiques pour l'étude et la conception des enveloppes des bâtiments du point de vue thermique (rénovation et construction neuve).

### Plan de l'enseignement

Ce module présente des outils et méthodes de calculs pour appréhender et dimensionner un bâtiment du point de vue thermique, avec une approche en régime stabilisé (bilan cumulé sur une année), puis une approche dynamique (utilisation d'un logiciel de simulation thermique dynamique).

Dans une première partie, une introduction générale présente quelques généralités, quelques chiffres clés ainsi que le contexte énergétique pour le secteur du bâtiment et introduit la notion de confort thermique. Puis on présente les principales méthodologies de calcul de la « réglementation environnementale RE 2020 », avec l'hypothèse de régime permanent, des déperditions à travers les parois opaques (murs, toiture, sol), à travers les ponts thermiques, à travers les surfaces vitrées, et par renouvellement d'air. Les différentes stratégies d'isolation (par l'intérieur, par l'extérieur, répartie) sont présentées. De même, des stratégies pour réduire les déperditions à travers les ponts thermiques et par renouvellement d'air (VMC double flux) sont abordées.

Dans une deuxième partie, une formation au logiciel Pleiades COMFIE est dispensée. Il permet de réaliser des études thermiques dynamiques devenues indispensables avec la nouvelle réglementation. Il permet notamment d'appréhender les problèmes liés au confort d'été.

### Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- [1] Ministère de la transition écologique, Chiffres clés de l'énergie, Édition 2021.
- [2] ADEME, Climat, Air et Energie - Les chiffres clés, 2018.
- [3] J.-P. Oliva and S. Courgey, La conception bioclimatique: Des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation. terre vivante, 2006.
- [4] ADEME, Le confort d'été - Guide de l'ADEME. 2007.
- [5] Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, Guide RE2020 - Eco-construire pour le confort de tous.
- [6] Guide pratique CSTB: Les ponts thermiques dans le bâtiment - mieux les connaître pour mieux les traiter
- [7] RE 2020 et rénovation énergétique - Guide pratique pour les bâtiments neufs et existants - Maisons et copropriétés - Sénova - Collection Eyrolles Environnement

## Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

## Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

## Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Lutte contre les changements climatiques / Villes et communautés durables

## Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours traite de l'efficacité énergétique comme levier de la transition écologique. Il intègre : - Climat : Réduction de l'empreinte carbone et sobriété (ODD 13). - Santé : Garantie du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur (ODD 3). - Éthique : Lutte contre la précarité énergétique et choix de matériaux à faible impact (ODD 7 & 12).

## Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.3)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.7)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	26 hrs	4 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

# INGÉNIEUR - OD ENERG

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

## Travaux pratiques [TPENE]

Responsable(s) du cours : Vincent BERTHOMÉ

### Objectifs

Appréhender les notions théoriques vues en cours d'énergétique de première année en manipulant divers machines thermiques .

### Plan de l'enseignement

Différents supports pédagogiques sont disponibles :

- Climatisation
- Pompe à chaleur
- Transferts thermiques sur barres
- Capteurs solaires
- Échangeurs de chaleur
- Tuyères
- Mini banc moteur

### Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
  - C2C1 : Représenter et modéliser
    - Intermédiaire
  - C2C2 : Résoudre et arbitrer
    - Intermédiaire

### Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

### Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Bonne santé et bien-être / Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques / Villes et communautés durables

### Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ces travaux pratiques permettent de mettre en application des concepts thermodynamiques et de quantifier les rendements des différents systèmes étudiés et donc de déterminer leurs empreintes carbone.

### Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	0 hrs	0 hrs	32 hrs	0 hrs	0 hrs