

5.00 crédits	30.0 h + 30.0 h	Q2
--------------	-----------------	----

Enseignants	Papalexandris Miltiadis ;
Langue d'enseignement	Anglais
Lieu du cours	Louvain-la-Neuve
Préalables	Les étudiants doivent avoir maîtrisé les bases de la thermodynamique, telles que couvertes dans les cours LMECA1855 ou LPHYS1343, ainsi que les bases de la mécanique des fluides telles que couvertes dans les cours LMECA1321 ou LPHY1213.
Thèmes abordés	Partant de la théorie cinétique des gaz, d'une part, et de la thermodynamique classique, d'autre part, il s'agit d'élaborer une théorie générale des processus irréversibles. Le cours fera ainsi le point sur les diverses approches de la thermodynamique, depuis la théorie classique de Prigogine et Onsager jusqu'aux théories plus générales développées par (i) Truesdell et Noll, (ii) Jou, Lebon et (iii) Müller
Acquis d'apprentissage	<p><b>A la fin de cette unité d'enseignement, l'étudiant est capable de :</b></p> <p>Eu égard au référentiel AA du programme « Master ingénieur civil mécaniciens », ce cours contribue au développement, à l'acquisition et à l'évaluation des acquis d'apprentissage suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AA1.1, AA1.2, AA1.3</li> <li>• AA2.1, AA2.2, AA2.3</li> <li>• AA3.1, AA3.3</li> <li>• AA5.1, AA5.2, AA5.6</li> <li>• AA6.1, AA6.2, AA6.3, AA6.4</li> </ul> <p>1</p> <p>Plus précisément, au terme du cours, l'étudiant sera capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proposer une approche originale et moderne de la thermodynamique du non-équilibre.</li> <li>• Présenter une description unifiée des processus thermiques, mécaniques, visqueux et électromécaniques en vue de renforcer chez l'étudiant l'esprit de synthèse.</li> </ul> <p>Appliquer la théorie ainsi développée à la modélisation de divers phénomènes de mécanique des fluides et des solides, tant en ingénierie qu'en géophysique.</p>
Modes d'évaluation des acquis des étudiants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• i) xamen. L'examen consistera des exercices. Il sera écrit avec des livres, notes de cours et notes personnelles.</li> <li>• ii) travaux pratiques (3 devoirs).</li> <li>• La note d'examen vaut 70% de la note finale. La note sur chaque devoir compte pour 10% de la note finale. Note final = 0.7 exam + 0.1 TP1 + 0.1 TP2 + 0.1 TP3</li> <li>• Les notes aux TP compte également pour la 2ème session.</li> <li>• On réserve le droit de faire un examen oral de l'étudiant suite à un incident technique et des suspicions de fraudes</li> </ul>
Méthodes d'enseignement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cours magistral</li> <li>• Séances d'exercices</li> <li>• Cours en physique dans l'auditoire.</li> </ul>
Contenu	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rappel de la thermodynamique à l'équilibre: premier principe thermodynamique (principe de conservation de l'énergie), température et entropie absolues, deuxième axiome thermodynamique, relation de Gibbs, équations d'Euler &amp; Duhem, potentiels thermodynamiques et transformées de Legendre, stabilité des états d'équilibre, principes d'évolution, thermochimie.</li> <li>2. Théorie classique de la thermodynamique des processus irréversibles (théorie d'Eckart-Onsager-Prigogine): équilibre local, lois d'évolution et relations constitutives, production d'entropie, flux et forces thermodynamiques, relations réciproques. Applications: équations de Fourier-Navier-Stokes pour des fluides Newtoniens, thermodiffusion.</li> <li>3. Etude des phénomènes thermoélectriques: effet Hall, effets Seebeck et Peltier, effets Nerst et Ettinghausen, chaleur de Thomson.</li> <li>4. Théorie cinétique des gaz. Dérivation de l'équation de Boltzmann, opérateur des collisions. Relations entre les variables macroscopiques et la théorie cinétique. Théorème H de Boltzmann. Invariants des collisions, distributo de Maxwell-Boltzmann and dérivation des lois de bilan hydrodynamiques. Justification de l'hypothèse d'équilibre local. Théorie des fluctuations d'Einstein. Dérivation des relations réciproques d'Onsager-Casimir.</li> </ol>

	<p>5. Introduction à la thermodynamique rationnelle. mémoire matérielle, objectivité, inégalité de Clasius-Duhem, principe d'indifférence de cadre de référence, relations constitutives. Application dans les matériaux thermo-élastiques, comparaison avec la théorie linéaire de Eckart-Onsager-Prigogine. La méthode de Liu des multiplicateurs de Lagrange et des théories étendues.</p> <p>6. États stationnaires: critères de production minimale d'entropie et minimum d'énergie dissipée. Introduction à la théorie de la stabilité. L'instabilité de Rayleigh-Bénard.</p>
Ressources en ligne	<p><a href="https://moodle.uclouvain.be/course/view.php?id=818">https://moodle.uclouvain.be/course/view.php?id=818</a></p>
Bibliographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G. Lebon, D. Jou &amp; J. Casas-Vasquez, <i>Understanding Non-equilibrium Thermodynamics</i>, Springer, 2008. <b>Mandatory</b>, available on the e-books of the library in electronic form.</li> <li>• D. Kondepudi &amp; I. Prigogine, <i>Modern Thermodynamics</i>, Wiley, 1999. <b>Recommended.</b></li> <li>• S.R. De Groot and P. Mazur, <i>Non-equilibrium Thermodynamics</i>, Dover, 1984. <b>Recommended.</b></li> </ul>
Faculté ou entité en charge:	<p>MECA</p>

<b>Programmes / formations proposant cette unité d'enseignement (UE)</b>				
Intitulé du programme	Sigle	Crédits	Prérequis	Acquis d'apprentissage
Master [120] : ingénieur civil mécanicien	MECA2M	5		
Master [120] : ingénieur civil électromécanicien	ELME2M	5		
Master [120] : ingénieur civil en mathématiques appliquées	MAP2M	5		
Master [120] en sciences physiques	PHYS2M	5		