

## Description du module

# Thermodynamique avancée

**Généralités****Nombres de crédits ECTS**

3

**Sigle du module**

TSM\_AdvTherm

**Version**

26.7.2016

**Responsable du module**

Prof. Dr. Timothy Griffin

**Langue**

	Lausanne	Berne	Zurich
Enseignement	<input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/> E
Documentation	<input checked="" type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/> E
Questions d'examen	<input checked="" type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F	<input checked="" type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/> E

**Catégorie du module**

- Bases théoriques élargies - FTP
- Approfondissement technique et scientifique - TSM
- Modules de savoirs contextuels - CM

**Périodes**

- 2 périodes d'enseignement frontal et une période d'exercice par semaine
- 2 périodes d'enseignement frontal par semaine

**Brève description /Explication des objectifs et du contenu du module en quelques phrases**

Dans la partie A, le module revient sur les bases de l'ingénierie thermodynamique (les bilans d'énergie, d'entropie et de masse, les propriétés des fluides et les principaux cycles thermodynamiques) et élargit les connaissances pour aborder les fluides réels, les équilibres entre phases et les équilibres chimiques, la stabilité des systèmes, et les processus de transformation chimique.

Ensuite, au cours de la partie B, les étudiants apprennent à établir des connexions entre des formules thermodynamiques détaillées et des systèmes thermodynamiques complets. Les outils fondamentaux de thermodynamique seront utilisés (équilibre des grandeurs conservatives) pour modéliser tout système thermodynamique complexe. Des exemples choisis viendront illustrer l'utilité de la thermodynamique dans différents domaines d'application pratiques.

**Objectifs, contenu et méthodes****Objectifs d'apprentissage et compétences visées****Partie A:**

La réalisation des principaux objectifs de la partie A est liée à l'acquisition des compétences suivantes:

- Être capable de mettre en évidence et de résoudre des bilans énergétiques et entropiques pour des systèmes thermodynamiques ouverts et fermés.
- Être en mesure de déterminer les propriétés de gaz et de mélanges gazeux non idéaux en utilisant la théorie des états correspondants et/ou une équation d'état cubique.
- Comprendre l'énergie libre de Gibbs et le potentiel chimique et être capable de calculer les conditions d'équilibre thermique, entre phases et chimique.

**Partie B:**

- Approfondir la compréhension de certains domaines de la partie A en appliquant les connaissances acquises en termes de modélisation de systèmes dynamiques (p. ex.: systèmes à réaction chimique, processus de nivellement irréversibles)
- Se forger une idée de la complexité des méthodes modernes de résolution des problèmes d'équilibre (méthode des multiplicateurs de Lagrange)
- Comprendre les exemples montrant comment la thermodynamique avancée s'applique dans la pratique (modélisation de processus thermo-chimiques complexes, p. ex. gazéification du bois, diagramme d'Ellingham, analyse des cycles

thermodynamiques)

- Appliquer des équilibres de masse et d'énergie au sein des systèmes à réaction chimique, p ex. pour calculer les températures de flamme/réaction adiabatiques.

#### Contenu du module avec pondération des contenus d'enseignement

##### Partie A:

La partie A commence par une révision des principes fondamentaux, les équations de conservation de masse, d'énergie et d'entropie ainsi que leur application. Les principaux cycles thermodynamiques sont analysés et une introduction à l'énergie libre de Gibbs est soumise aux étudiants. Les corrélations entre les variables thermodynamiques sont présentées et utilisées comme bases pour calculer les déviations d'un gaz par rapport au comportement idéal, à l'aide d'une équation cubique d'état. La nécessité d'utiliser des grandeurs molaires partielles pour décrire des mélanges réels est présentée et le potentiel chimique est introduit. Les conditions de l'équilibre entre phases et de l'équilibre chimique sont dérivées et ensuite utilisées dans des systèmes simples.

Des problèmes en lien avec les sujets abordés sont distribués chaque semaine aux étudiants et les solutions sont discutées en cours.

##### Partie B:

La partie B commence par une révision et une consolidation de thèmes choisis de la partie A passant par une mise en pratique des connaissances acquises via la modélisation de systèmes thermodynamiques. L'introduction et l'utilisation d'une méthodologie de Dynamique des Systèmes basée sur le logiciel Berkeley Madonna, pour modéliser des systèmes interactifs (p. ex. réaction chimique, nivellements irréversibles) ont une double finalité :

- Les étudiants visualisent les interdépendances
- Les étudiants peuvent connecter des formules détaillées à une vue d'ensemble du système à grande échelle.

Au fur et à mesure de la progression dans la partie B, des exemples tirés de la pratique sont présentés :

- La structure des solveurs modernes d'équilibres thermodynamiques dans le contexte de la modélisation de processus thermo-chimiques complexes (p. ex. la gazéification du bois)
- Le diagramme d'Ellingham, son rapport avec le contenu d'apprentissage et son vaste champ d'application au sein de la métallurgie
- L'analyse des processus de base et plus avancés (p. ex.: le cycle Diesel, le cycle de Stirling)

Les fondements thermodynamiques de l'ingénierie de la réaction chimique (transferts thermiques et de masse dans les réacteurs tubulaires, températures de réaction et d'inflammation) sont également abordés.

#### Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

Cours avec discussion, dérivations interactives au tableau, à l'appui de diapositives PPT, présentations de problèmes chaque semaine avec solutions. Au cours de la partie A, certains exercices seront résolus en utilisant Matlab et/ou le logiciel Mathcad. (Le logiciel Mathcad sera fourni). Au cours de la partie B, les exercices nécessitent le logiciel de dynamique des systèmes Berkeley Madonna. Versions d'essai (suffisantes pour le cours) disponibles gratuitement en ligne.

#### Connaissances et compétences prérequis

Avoir suivi avec succès le cours de niveau Bachelor en Thermodynamique de base

#### Bibliographie

Sandler, S.I.(1940). Chemical and Engineering Thermodynamics, *Thermodynamique chimique et ingénierie thermodynamique*, 1989, ISBN 978-0-471-66174-0

Dunn I.J., et., al. (2003). Annexe: Using the Berkeley Madonna Language, in Biological Reaction Engineering: Dynamic Modelling Fundamentals with Simulation Examples. *Utilisation du langage Berkeley Madonna dans l'ingénierie de réaction biologique: les fondements de la modélisation dynamique à l'aide d'exemples de simulation*. 2003,

Doi: 10.1002/3527603050.app1

Boiger, G., (2014). System Dynamic modeling approach for resolving the thermo-chemistry of wood gasification. *Approche de modélisation de la dynamique systémique pour résoudre la thermo-chimie de la gazéification du bois*. Int. J. Mult. Ph. 2015

#### Mode d'évaluation

##### Conditions d'admission aux examens de fin de module (tests exigés)

néant

##### Examen écrit de fin de module

Durée de l'examen: 120 minutes

Moyens autorisés: Notes et présentations de cours imprimées, manuels de cours