

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

SYNTHÈSE

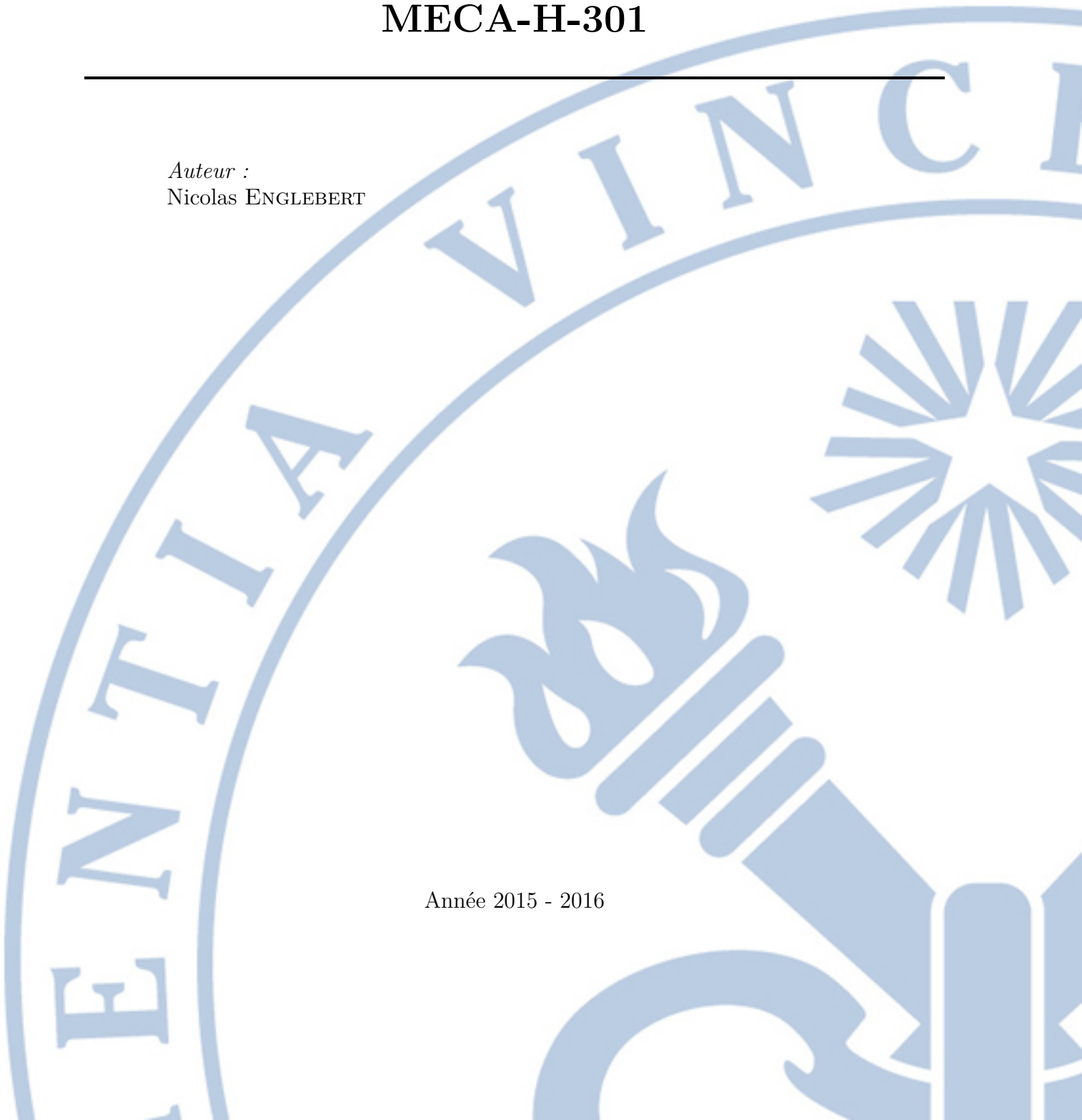
---

# Thermodynamique appliquée MECA-H-301

---

*Auteur :*  
Nicolas ENGLEBERT

Année 2015 - 2016



# Appel à contribution

## Synthèse OpenSource



Ce document est grandement inspiré de l'excellent cours donné par Gérard Degrez à l'EPB (École Polytechnique de Bruxelles), faculté de l'ULB (Université Libre de Bruxelles). Il est écrit par les auteurs susnommés avec l'aide de tous les autres étudiants et votre aide est la bienvenue ! En effet, il y a toujours moyen de l'améliorer surtout que si le cours change, la synthèse doit être changée en conséquence. On peut retrouver le code source à l'adresse suivante

<https://github.com/nenglebert/Syntheses>

Pour contribuer à cette synthèse, il vous suffira de créer un compte sur *Github.com*. De légères modifications (petites coquilles, orthographe, ...) peuvent directement être faites sur le site ! Vous avez vu une petite faute ? Si oui, la corriger de cette façon ne prendra que quelques secondes, une bonne raison de le faire !

Pour de plus longues modifications, il est intéressant de disposer des fichiers : il vous faudra pour cela installer  $\text{\LaTeX}$ , mais aussi *git*. Si cela pose problème, nous sommes évidemment ouverts à des contributeurs envoyant leur changement par mail ou n'importe quel autre moyen.

Le lien donné ci-dessus contient aussi le README contient de plus amples informations, vous êtes invités à le lire si vous voulez faire avancer ce projet !

## Licence Creative Commons

Le contenu de ce document est sous la licence Creative Commons : *Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)*. Celle-ci vous autorise à l'exploiter pleinement, compte- tenu de trois choses :



1. *Attribution* ; si vous utilisez/modifiez ce document vous devez signaler le(s) nom(s) de(s) auteur(s).
2. *Non Commercial* ; interdiction de tirer un profit commercial de l'œuvre sans autorisation de l'auteur
3. *Share alike* ; partage de l'œuvre, avec obligation de rediffuser selon la même licence ou une licence similaire

Si vous voulez en savoir plus sur cette licence :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

**Merci !**



# Chapter 1

## Introduction

### 1.2 Concepts et définitions

#### 1.2.1 Système thermodynamique et volume de contrôle

La première chose à savoir est qu'il faut définir la *frontière du système*, délimitant un *volume de contrôle*. Tout l'au delà de la frontière est le *milieu extérieur*.

La frontière définit types de systèmes

1. **Fermé** ; si la frontière est imperméable (la matière ne peut la traverser)
2. **Isolé** ; Si la frontière est imperméable et s'il n'y a aucun échange avec le milieu extérieur.
3. **Ouvert** ; Si la frontière est traversée par un débit de masse.

Par exemple, l'**image ci-contre** est un système ouvert car l'air rentre et sort (par les *sections d'entrée et de sortie*) (même si tout le système n'est pas traversé). On remarque que la frontière traverse même ici l'arbre du moteur (pas d'échange de chaleur, mais d'énergie).

#### 1.2.2 Points de vue macroscopique et microscopique

Nous allons utiliser le point de vue macroscopique en ne s'intéressant qu'aux manifestations globales de l'ensemble des atomes. L'intérêt du macro est que l'on peut caractériser un système avec des senseurs (thermomètre, ...). Pour adopter ce point de vue, il est nécessaire de travailler avec un "grand" nombre de molécules ( $\approx 10^9$  atomes de gaz tiennent dans  $10^{-11} \text{ cm}^3$ ). Dans ces conditions, on peut décrire la matière comme un *milieu continu* : si on choisit un point et que l'on se déplace,  $p$  et  $T$  vont varier de façon continue.

#### 1.2.3 Variables et états d'une substance

La matière peut se présenter selon différents *états*. Cet état thermodynamique est caractérisé par des *variables d'état* dont la valeur ne dépend que de l'état de la substance. Elles peuvent être

- **Intensives** ; peuvent se définir en tout point d'un système ( $p, T$ ).
- **Extensives** ; ne sont définies que pour un système dans son intégralité ( $m, V$ ).

On peut faire correspondre à une variable extensive une variable intensive massique, volumique ou encore molaire.

Un système uniforme est dit en *équilibre* si les variables restent constantes dans le temps.

### 1.2.4 Transformations et cycles

Lorsque les variables d'état sont modifiées, le système subit un *changement d'état*. La succession d'état est une *transformation* du système.

Considérons l'**exemple du poids sur le piston**. Le système est en équilibre (mécanique). Si l'évolution est suffisamment lente, on peut considérer que le système est en équilibre, les écarts entre l'équilibre et l'état intermédiaire étant infinitésimaux. Ces états sont en *quasi-équilibre*. Si hélas l'échange est trop rapide, lah la thermo.

Notons que si une variable d'état reste constante, on la dénote par le préfixe "iso".

Si au cours d'une transformation, le système retrouve son état initial en passant par une succession d'états intermédiaires distincts on parle de *cycle*. Si l'état final diffère de l'initial, on parle de *transformation ouverte*.

### 1.2.5 Le volume massique

Si le système est uniforme, on note le volume massique

$$v = \frac{V}{m} \quad (1.1)$$

Si le système est non-uniforme, le volume en un point  $P$  est défini par

$$v = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m} \quad (1.2)$$

où  $\delta m$  est la masse contenue dans le volume  $\delta V$  autour de  $P$ . On tend vers  $\delta V'$  et non vers zéro afin de garder nos  $10^9$  éléments et rester dans le cadre d'une vue macroscopique.

Le volume molaire<sup>1</sup> est quant à lui défini par

$$\bar{v} = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta n} \quad (1.3)$$

où  $\delta n$  est le nombre de moles contenue dans  $\delta V$ . La masse volumique,  $\rho$ , est l'inverse du volume massique.

### 1.2.6 La pression

Soit  $P$ , situé sur la surface  $S$  d'un volume contenant un fluide,  $\delta \vec{F}$  la force exercée sur un élément de surface d'aire  $\Delta \mathcal{A}$ . Si le fluide est en repos, cette force est normale et la pression  $p$  du fluide est définie par

$$p = \lim_{\delta \mathcal{A} \rightarrow \delta \mathcal{A}'} \frac{\delta F}{\delta \mathcal{A}} \quad (1.4)$$

Dans un fluide visqueux en mouvement, la force de surface n'est plus que normale. Néanmoins dans ce cours on négligera les effets de viscosités et tous les fluides seront parfaits.

Notons qu'on considère toujours la pression absolue (par rapport au vide). Attention donc aux pressions relatives qui prennent généralement  $P_{atm}$  comme référence : il ne faut pas oublier d'ajouter cette pression de référence à la pression indiquée pour les calculs !

### 1.2.7 Égalité des températures

Deux cors en contacts à températures différentes vont subir une variation de leurs propriétés observables (dimension, résistance électrique, indice de réfraction) jusqu'à atteindre l'*équilibre thermique*.

---

<sup>1</sup>Les grandeurs molaires sont surmontée d'un tiret.

### 1.2.8 Le principe zéro de la thermodynamique

Il s'agit d'un postulat non démontrable par A. Sommerfeld (1956). Deux corps en équilibre thermique avec un troisième sont aussi en équilibre thermique entre eux.

### 1.2.9 Les échelles de température

Le plus simple est de travailler avec des points fixe comme pour l'eau ( $0^\circ$  et  $100^\circ$ ). Il est parfois possible de définir une échelle de température indépendantes des propriétés d'un thermomètre : on parlera d'*échelle de température thermodynamique*.

## Chapter 3

# Propriétés des substances pures