

SEMESTRE 5 – UE FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE

THERMODYNAMIQUE - CM N°1

Gilles PERNOT

gilles.pernot@univ-lorraine.fr

Bureau 404.1 (4^{ème} étage ENSEM)



UE FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE

THERMODYNAMIQUE

INFORMATIONS GÉNÉRALES



0 – INFORMATIONS GÉNÉRALES

Modalités d'examen

☐ UE FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE

60h 5 ECTS

- EC Mécanique des Milieux Continus (C. Laurent) 50%
- EC Thermodynamique (G. Pernot) 50%

EC Thermodynamique (30h)

✓ Test de Novembre (durée 1h) 25%

- documents: non
- calculatrice: oui
- téléphone et montre connectée :non

✓ Examen de Janvier (durée 2h) 75%

- documents: non
- calculatrice: oui
- téléphone et montre connectée :non

(Sauf indications contraires données avant les tests)

0 – INFORMATIONS GÉNÉRALES

Planning des cours magistraux CM (16h), tests, examens

☐ 8 CM de 2 heures:

- 6 CM avec G. PERNOT
- 2 CM avec B. REMY: introduction à la conversion thermoélectrique

☐ 7 séances de TD (1 TD portant sur la thermoélectricité):

- 5 groupes de TD G1A→G1E à voir sur votre ENT
- Intervenants: S. Didierjean, A. Labergue, N. Louvet, G. Pernot, B. Rémy, M. Nkenfack

☐ Evaluations: 1 test en milieu de semestre (Novembre) et l'examen en Janvier

→ Présence obligatoire en (CM) et en TD, appel à chaque séance de TD

0 – INFORMATIONS GÉNÉRALES

Avant de commencer



Les pièges de ce cours...



- ☐ Vous connaissez déjà presque tout !
- ☐ Pas de formalisme mathématique compliqué
- ☐ Nécessité de remettre en question les notions que l'on pense déjà acquises

0 – INFORMATIONS GÉNÉRALES

Les bons réflexes

Cours Magistraux (CM)

- venir en amphi
- lire et travailler les documents complémentaires mis à disposition (ARCHE)
- prendre des notes, travailler à l'écrit

Travaux dirigés (TD)

- relire la partie du CM qui correspond à l'énoncé du TD avant d'essayer de résoudre les exercices
- avoir accès aux documents de cours lors des séances de TD
- participer, être actif

Cours et documents disponibles sur la plateforme ARCHE

<https://arche.univ-lorraine.fr/course/view.php?id=10016>

lisez vos emails @etu.univ-lorraine.fr

UE FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE

THERMODYNAMIQUE

1- UN PEU D'HISTOIRE AVEC DES GRANDS NOMS DE LA THERMODYNAMIQUE



1 – UN PEU D'HISTOIRE...

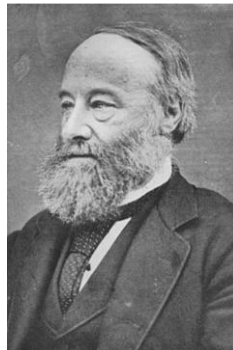
Les pères fondateurs de la Thermodynamique

Nicolas Léonard SADI CARNOT
1796-1832 (36 ans)



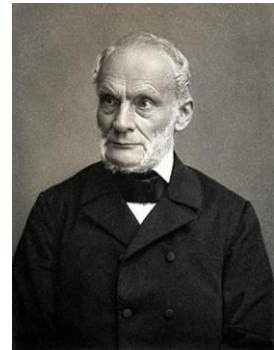
"Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance" (1824)

James Prescott JOULE
1818-1889



Son idée: pouvoir remplacer les machines à vapeur par des moteurs électriques.
Ça vous parle aujourd'hui?

Rudolf Julius Emmanuel CLAUSIUS
1822-1888



Irréversibilité des processus thermiques l'amènent à créer le terme "Entropie". *"Sur diverses formes des équations fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur" (1865)*

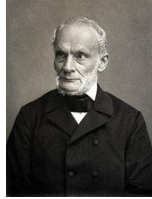
1 – UN PEU D'HISTOIRE...

Les pères fondateurs de la Thermodynamique

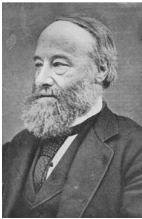
Nicolas Léonard
SADI CARNOT
1796-1832 (36 ans)



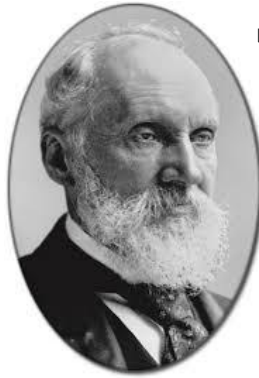
Rudolf Julius Emmanuel
CLAUSIUS
1822-1888



James Prescott **JOULE**
1818-1889



William **THOMSON (Lord KELVIN)**
1824-1907



- ❑ Il introduit la notion de Zéro Absolu (base du 3ème principe de la Thermodynamique) et travaille, avec Joule, à l'établissement **d'une échelle universelle de température.**
- ❑ Dans le Système international, l'unité de la température porte son nom: le **degré Kelvin.**
- ❑ Il unifie les effets Seebeck et Peltier et découvre l'effet Thomson qui sont à la base de la thermoélectricité

1 – UN PEU D'HISTOIRE...

Les pères fondateurs de la Thermodynamique

Edme **MARIOTTE** (1620-1684)



Robert **BOYLE** (1627-1691)



Louis Joseph **GAY-LUSSAC** (1778-1850)



Emile **CLAPEYRON** (1799-1864)



Et il y en a bien d'autres: Laplace, Mayer, Helmholtz, Dulong, Petit...

UE FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE

THERMODYNAMIQUE

OBJETS ET CONTEXTE DE LA THERMODYNAMIQUE



2 – OBJETS ET CONTEXTE DE LA THERMODYNAMIQUE

Objets de la Thermodynamique

« THERMO » $\Rightarrow$ CHALEUR/CHAUD

« DYNAMIS » $\Rightarrow$ FORCE/PUISSANCE

- ❖ Traite les problèmes de **conservation** et de **conversion** des différentes formes d'énergie
- ❖ Donne des principes généraux et des outils pour prédire:
 - le comportement des systèmes physiques
 - les échanges d'énergie
 - les conséquences sur l'état de la matière

UE FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE

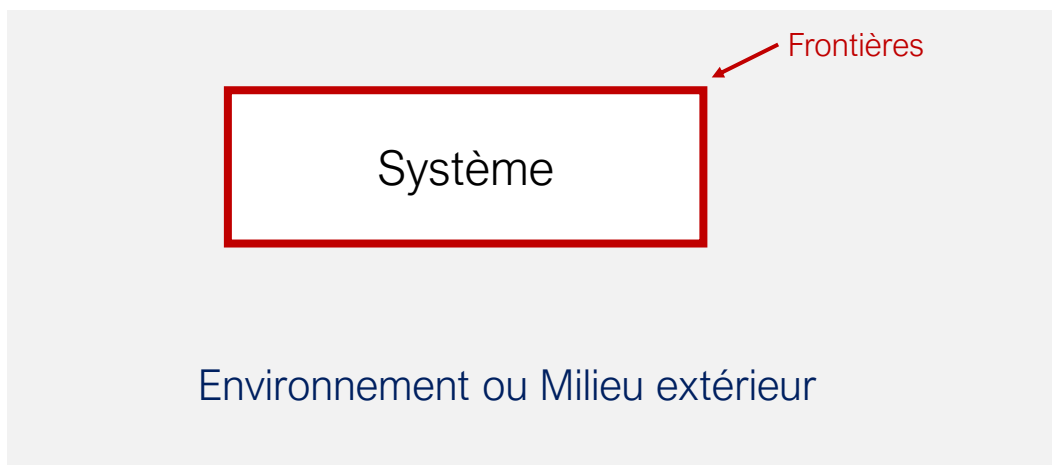
THERMODYNAMIQUE

RAPPELS DES DÉFINITIONS



3 – DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Système, Frontières et Environnement



3 – DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Variables d'état

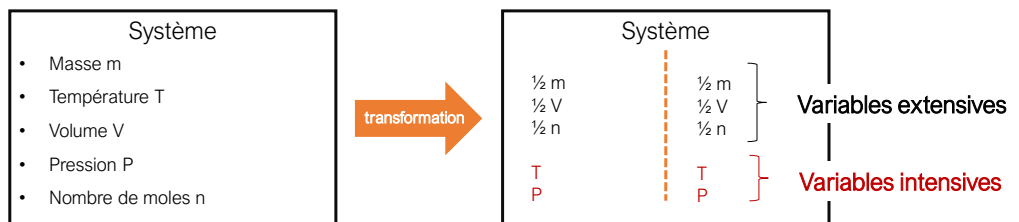
- ❑ On utilise des GRANDEURS PHYSIQUES à l'échelle MACROSCOPIQUE pour décrire le système étudié, ces grandeurs sont appelées:

VARIABLES D'ÉTAT
ou PARAMÈTRES D'ÉTAT

- ❑ Les variables d'état constituent l'ensemble des grandeurs physiques nécessaires et suffisantes pour caractériser complètement un système à un instant donné.

3 – DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Variables intensives ou extensives



- ❑ **VARIABLES EXTENSIVES:** quantités qui sont proportionnelles à la taille du système
ex: volume (V), masse (m), charge électrique (q), quantité de matière (n)...
- ❑ **VARIABLES INTENSIVES:** quantités qui ne dépendent pas de la quantité de matière, c.-à-d. qui peuvent varier d'un point à l'autre du système.
ex: pression (P), température (T), force (F), différence de potentiel (U)...

3 –DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

États d'un système

- ❑ L'**ÉTAT** d'un système est donné par l'ensemble des valeurs des variables d'état associées au système
ex: pour un gaz, le triplet de valeurs $P = 10^5 \text{ Pa}$; $V = 10^{-3} \text{ m}^3$; $T = 298 \text{ K}$ correspond à un *état* du système
- ❑ L'état d'**ÉQUILIBRE THERMODYNAMIQUE** correspond à l'état pour lequel les variables ont une valeur bien définie et **CONSTANTE au cours du temps**.

3 –DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Equation d'état

- ❖ A l'**équilibre thermodynamique**, le système possède des propriétés **identifiables** et **reproductibles** susceptibles d'être décrites de façon **précise et mathématique**.

Il existe une **EQUATION D'ÉTAT** qui lie les variables d'état $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$:

$$f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots) = 0$$

- chaque système possède sa propre équation d'état.
- l'équation d'état d'un système est déduite d'observations expérimentales ou de considérations théoriques.

3 – DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Equation d'état et variables d'état

❖ Pour un gaz (T, V, P)

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T dP + \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dT$$

$$dT = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V dP + \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P dV$$

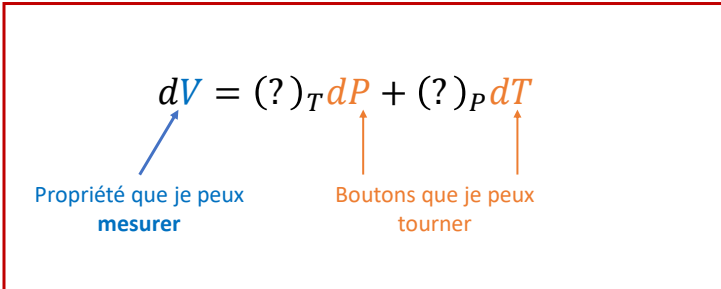
$$dP = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T dV$$

3 – DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Variables d'état – variations infinitésimales

❖ Pour un gaz (T, V, P)

$$dV = (?)_T dP + (?)_P dT$$



Propriété que je peux mesurer

Boutons que je peux tourner

3 –DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Equation d'état d'un gaz parfait

$$PV = nRT$$

Volume en m³
 1 m³ = 1000 L

Constante des gaz parfaits
 8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹

Température en Kelvin (K)
 0 °C = 273,15 K

Pression en Pascal
 1 Bar = 10⁵ Pa
 1 atm = 101325 Pa
 1 Torr = 1 mmHg = 133,322 Pa

Nombre de mole en ...mole

3 –DÉFINITIONS DES NOTIONS ESSENTIELLES

Le gaz de Van Der Waals

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v - b) = RT$$