

MEC1210 THERMODYNAMIQUE

ENSEIGNANT: MARTIN GARIÉPY
BUREAU: JAB-5067
TELEPHONE: (514)340-4711 ext. 7450
COURRIEL: martin.gariepy@polymtl.ca
DISPO: **VENDREDI de 09h30 à 12h30**

SEPTEMBRE 2011

D'après les notes de cours de Pr. Huu Duc Vo



1. Notions de base

Systemes, propriétés, évolution, énergie, travail, chaleur.

2. Premier principe de la thermodynamique (systemes fermés)

Bilan/conservation de l'énergie

3. Propriétés des corps purs, simples et compressibles

4. Premier principe de la thermodynamique (systemes ouverts)

5. Second principe de la thermodynamique

Évolutions réversibles et irréversibles

6. Entropie

Bilan d'entropie, rendement

7. Cycles thermodynamiques communs

Centrales thermiques, réfrigération, turbines à gaz, moteurs à combustion interne (piston).

8. Mélanges non réactifs



➤ Enseignement:

- 3 heures de théorie par semaine (PPS et tableau)
- TD 1 fois par 2 semaines**
- Projet 1 fois par 2 semaines (avec Bruno Detunc)**
- Référence: Y. Çengel, M. Boles et M. Lacroix, "Thermodynamique, une approche pragmatique," Chenelière McGraw-Hill

➤ Évaluation:

- Contrôle périodique (30%)
- 3 Mini contrôles (15%) Durée: 50 minutes
- Travail de TD (10%) (2 TD seront corrigés au hasard)
- Projet (15%)
- Examen final (30%)

➤ Période de Travaux Dirigés

- Résolution de problèmes du chargé de cours au choix des élèves



➤ Évaluations - Suppléments

- ❑ 3 mini-contrôle durant la période magistrale (50 minutes)
- ❑ Travaux dirigés à remettre à la fin de la période – 1 seul sera corrigé et vaut pour 5% de la note finale

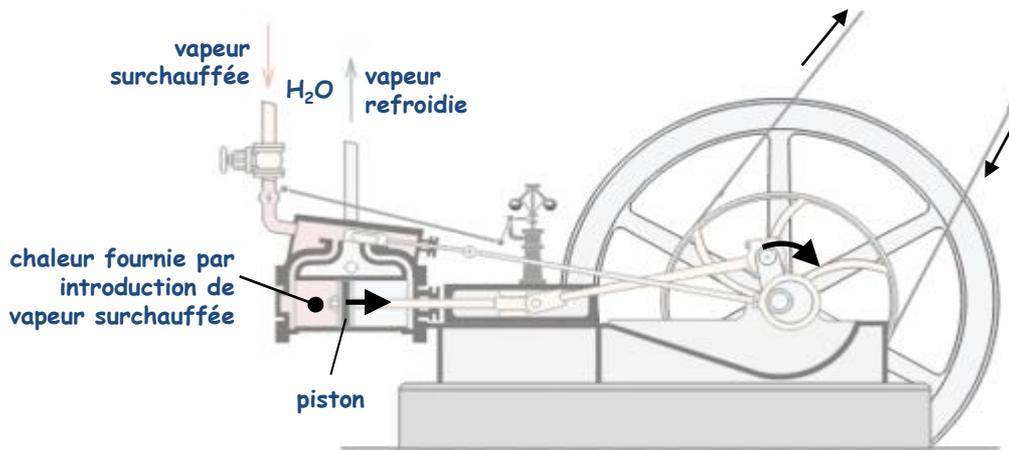
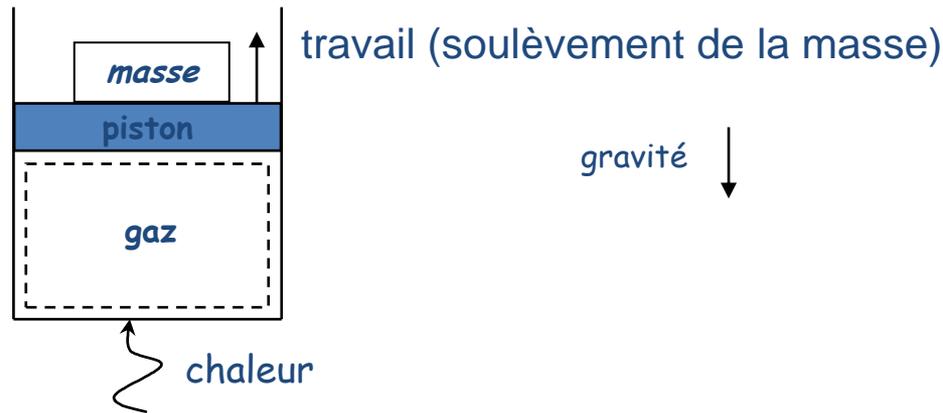


THERMODYNAMIQUE

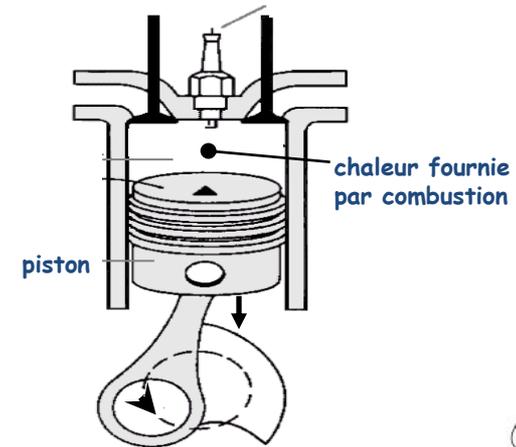
- ❑ Thermodynamique (**Thermo=chaleur**, **Dynamis=mouvement**)
- ❑ Une science pour décrire les processus de transformation de l'énergie et de changement de propriétés de la matière.
- ❑ Un outil d'ingénierie pour étudier les performances des systèmes impliquant **une production et la transformation de l'énergie**.



Piston et cylindre



moteur à vapeur



moteur à essence



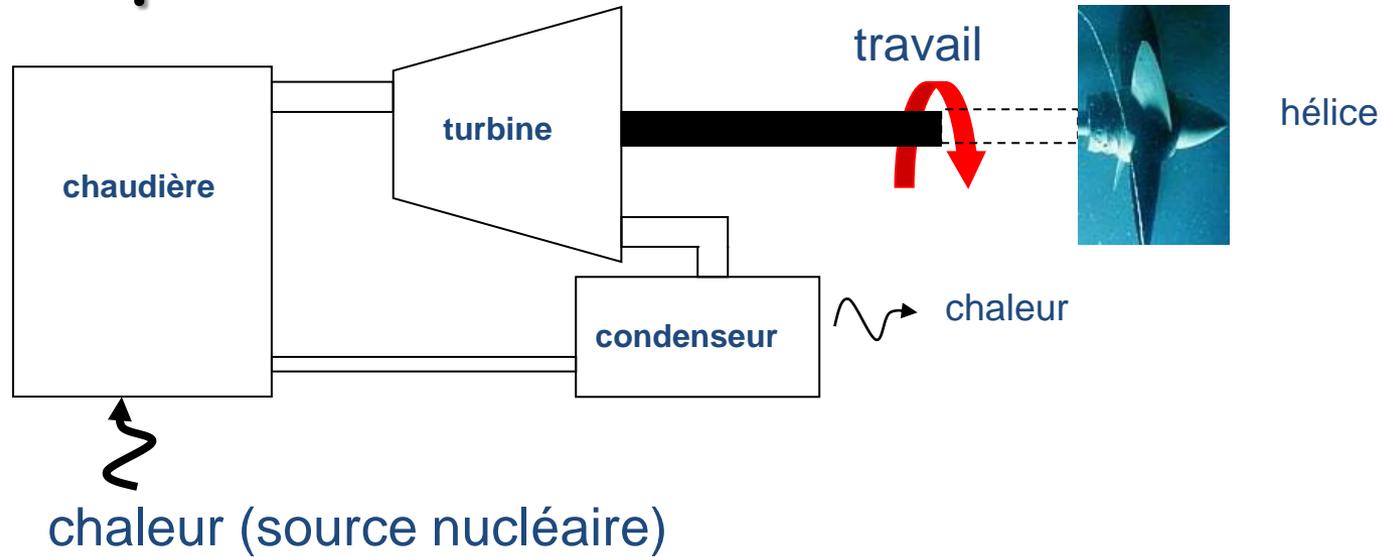
Éclairs



Énergie potentielles vs énergie cinétique



Propulsion navale nucléaire



Approches Macro et Microscopique

- L'approche macroscopique consiste en une description du comportement global d'un système.

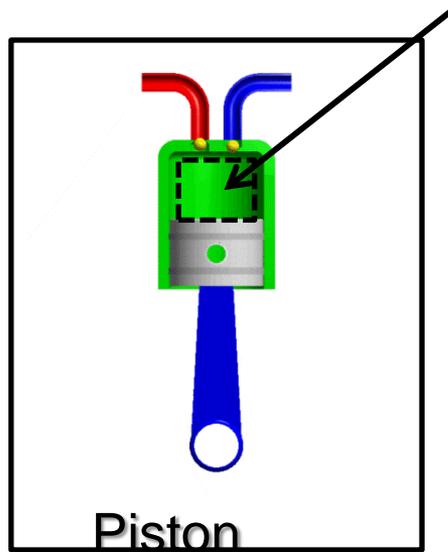
C'est la thermodynamique classique.

- L'approche microscopique consiste en une étude du comportement moyen des particules afin d'obtenir des informations sur le comportement global du système.

C'est la thermodynamique statistique.

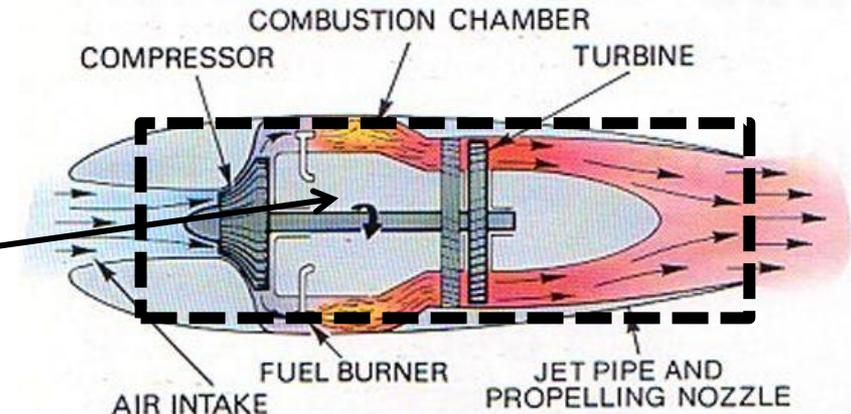


Systeme et volume de controle

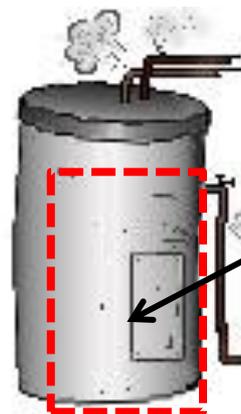


Systeme ferme

Systeme ouvert



Moteur à reaction



Systeme isole

Reservoir d'eau chaude



Variables thermodynamiques: « Propriétés »

- Une variable thermodynamique sert à décrire l'état d'un système
- Une propriété est une quantité caractéristique du système. Par exemple : masse, volume, pression,...
- Le *travail* effectué ou le *flux de chaleur* à travers la frontière d'un système ne sont pas des propriétés.



Intensives vs extensives

- Variables intensives: indépendantes de la masse (pression, température, masse volumique).
- Variables extensives: dépendantes de la masse (masse totale, volume, quantité de mouvement).
- Pour savoir si une propriété est intensive ou extensive, il suffit de diviser le système en deux, et voir si la valeur de cette valeur changera

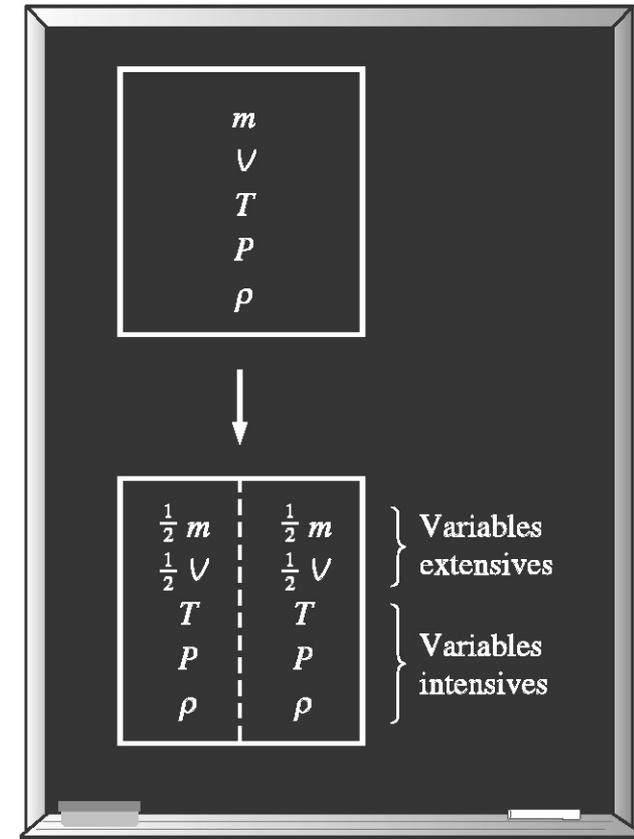


FIGURE 1.15

Différence entre les propriétés intensives et les propriétés extensives.



Évolution

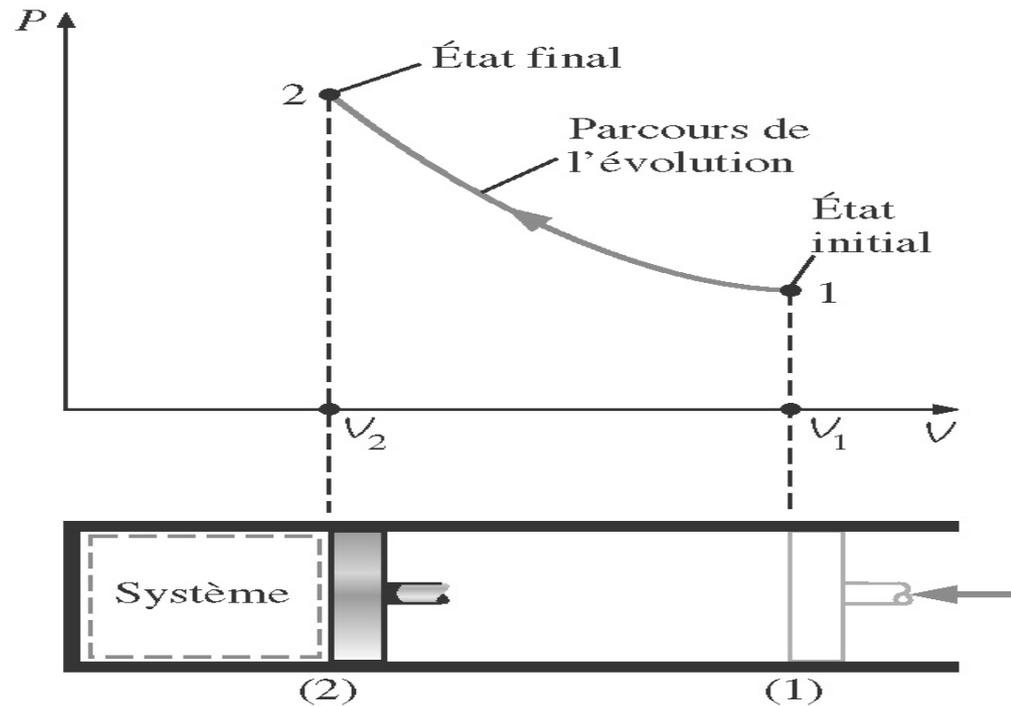
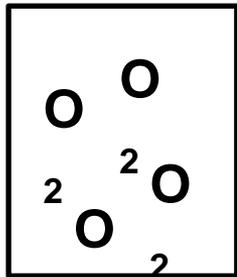


FIGURE 1.23
Évolution de compression dans un diagramme $P-v$.

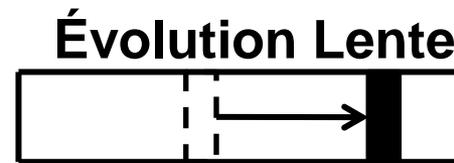


Quelques évolutions

- ÉVOLUTION ISOTHERME
- ÉVOLUTION ISOBARE
- ÉVOLUTION ISOCHORE



Température augmente
Pression diminue
Volume constant
ÉVOLUTION ISOCHORE



Évolution Lente
Pression diminue
Volume augmente
Température constante
ÉVOLUTION ISOTHERME



État

Substance peut exister dans des états différents définis par des variables macroscopiques observables: température, pression, densité.

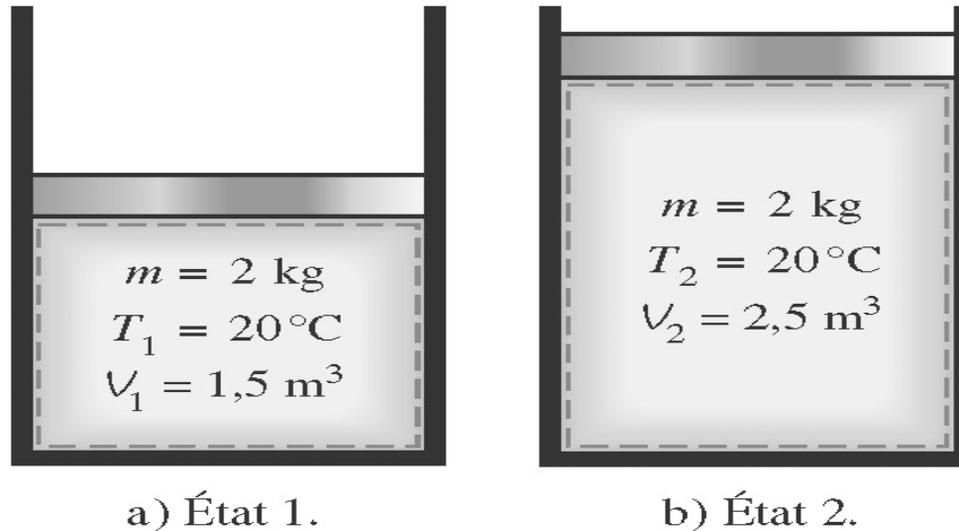
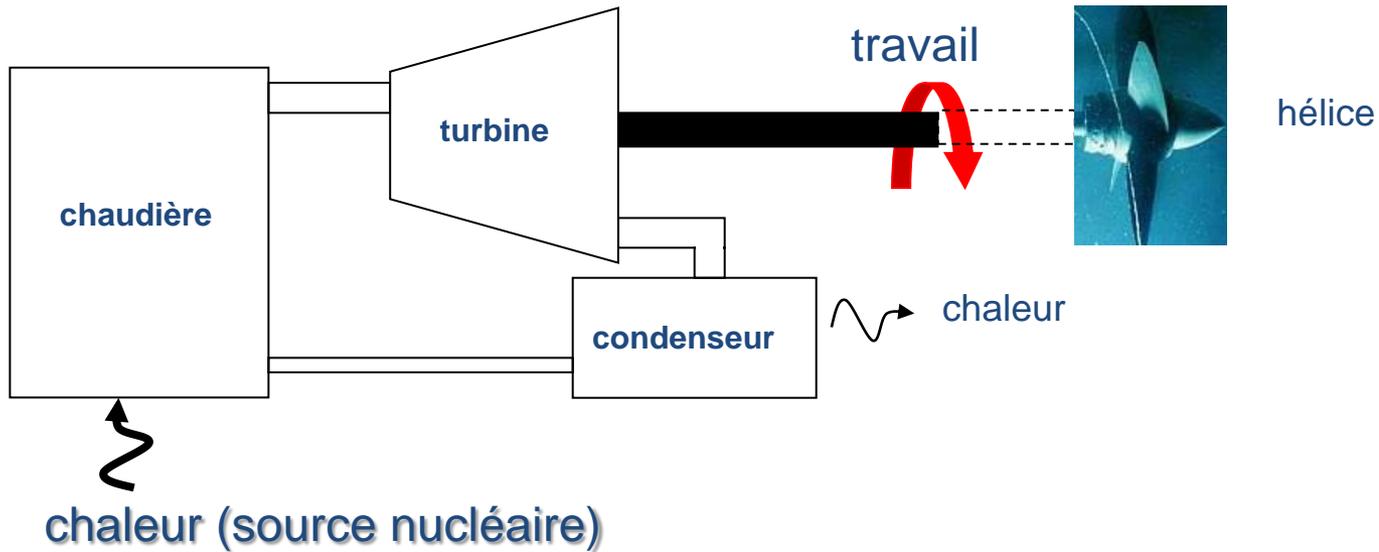


FIGURE 1.18

Systeme dans deux états différents.



Cycle



Équilibre thermodynamique

- État stable où les variables thermodynamiques du système **ne varient pas avec le temps** (Équilibre mécanique, chimique, thermique, électrique, nucléaire, etc.)
 - Moteur d'une voiture roulant à vitesse constante sur autoroute.
 - Café ou bière à la température de la pièce.
 - Ordinateur fonctionnant en régime établi.



Équilibre thermodynamique

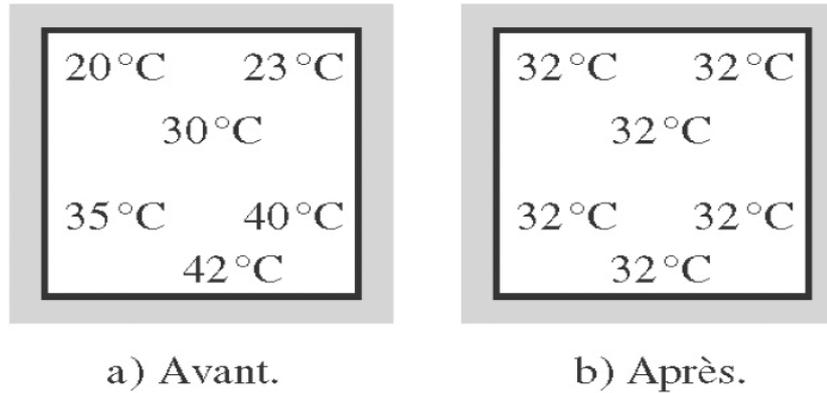


FIGURE 1.20

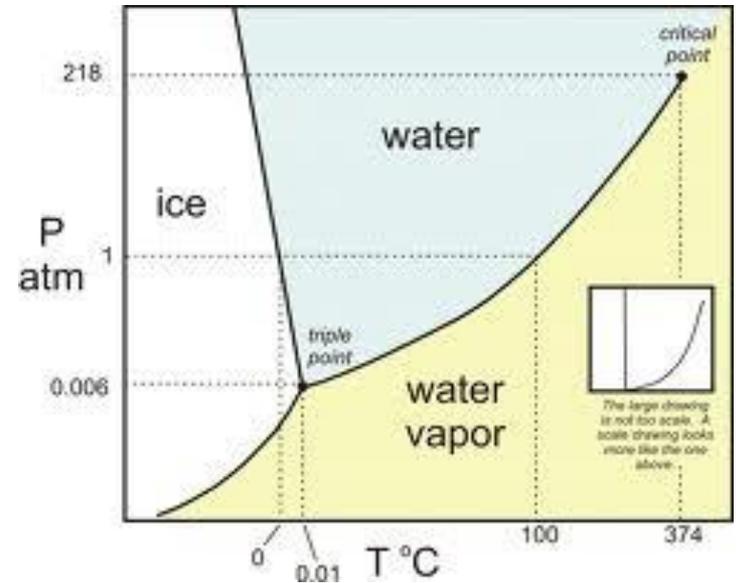
Systeme fermé atteignant l'équilibre thermique.



Phases

Une substance peut être soit:

- Liquide
- Solide
- Gaseuze
- Ou une combinaison quelconque



Substance pure

- C'est une substance dont la composition chimique est **uniforme et constante**.
- Elle peut exister en deux phases, mais qui doivent avoir la même composition. Par exemple, la vapeur d'eau et l'eau liquide.
- Un mélange de gaz peut être considéré comme une substance pure si ses composantes ne produisent pas de réactions chimiques.

exemples:

- Air est composé d'azote (78%) et d'oxygène (21%) mais est non réactif.



SYSTÈME D'UNITÉS

Système International d'Unités (SI):

- ❑ **Unités primaires:** unités pour mesurer des quantités fondamentales:
 - masse, [Kg]
 - longueur, [m]
 - temps, [s]
 - température, [K]
 - courant électrique, ampère: [A]
 - luminosité, candela, [cd]
 - quantité de matière, mole, [mol]

- ❑ **Unités secondaires:** unités pour mesurer des quantités dérivées:
 - volume [m³]
 - vitesse [m/s]
 - force, [N]=[kg · m/s²]
 - énergie, [J]=[N · m]
 - etc...

- ❑ **préfixes:** pico [p] (10⁻¹²), nano [n] (10⁻⁹), micro [μ] (10⁻⁶),
milli [m] (10⁻³), kilo [k] (10³), mega [M] (10⁶),
giga [G] (10⁹), tera [T] (10¹²)



SYSTÈME D'UNITÉS

Système Impérial (EES: English Engineering System):

Systeme d'origine britannique, utilisé aux États-Unis, **mais encore en pratique dans beaucoup d'industries en Amérique du Nord.**

- livre-masse [lbm]
- pied [ft]
- seconde [s]
- degré Rankine [R]
- Livre-force [lbf] (force): 1 lbf est la force exercée par 1 lbm sous la gravité terrestre de 32.174 ft/s^2
- British thermal unit (Btu) (travail/énergie) 1 Btu est l'énergie requise pour augmenter la température de 1 lbm d'eau à 68°F de 1°F .
- Horsepower [hp]
- Etc...



Masse volumique et volume spécifique

i) volume spécifique: $v = \frac{V}{M}$ $[v] = \frac{[m^3]}{[kg]} = \frac{[ft^3]}{[lbm]}$
SI *EES*

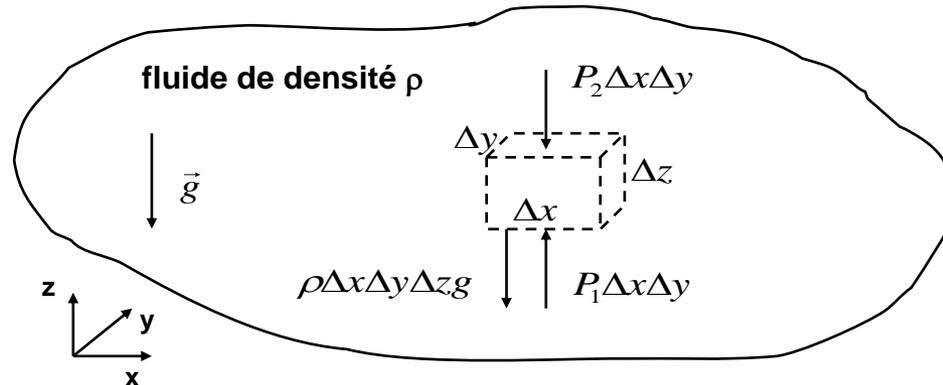
ii) masse volumique (densité) (ρ): $\rho = \frac{M}{V}$ $[\rho] = \frac{[kg]}{[m^3]} = \frac{[lbm]}{[ft^3]}$
SI *EES*



Pression

Définition

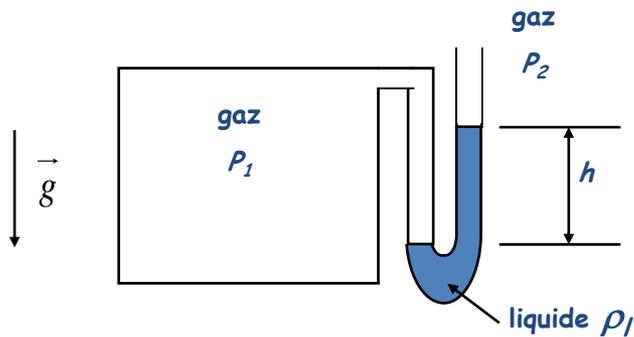
force par unité d'aire exercée par un fluide sur une surface, normale (perpendiculaire) à la surface



La machine hydraulique de Blaise Pascal (1646)

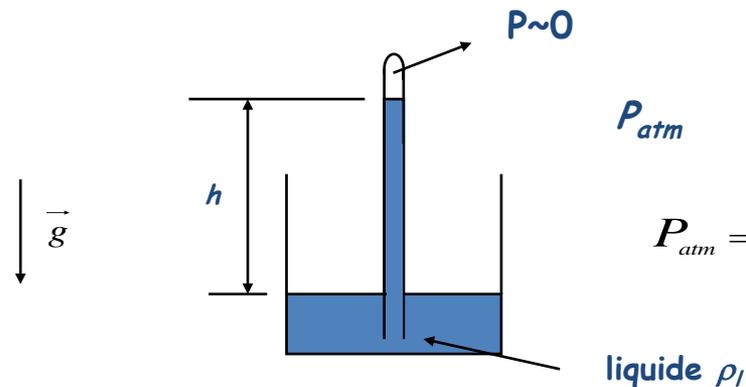


Instruments de mesure de pression



$$P_1 - P_2 = \rho_l g h$$

manomètre



P_{atm}

$$P_{atm} = \rho_l g h$$

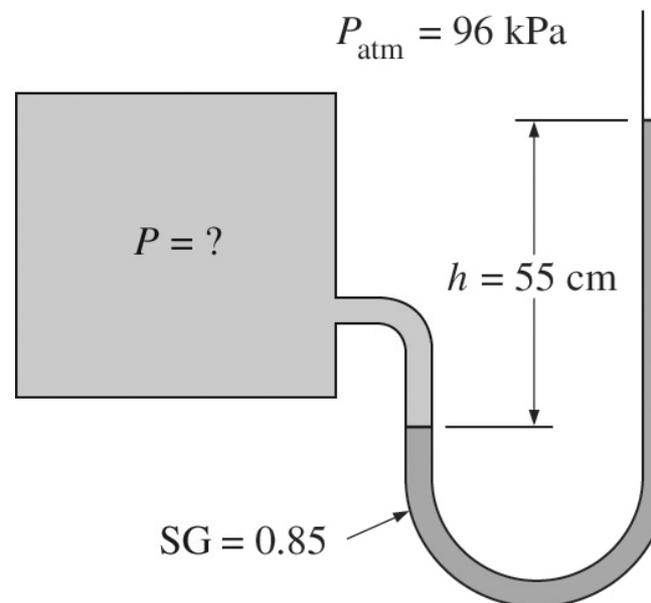
baromètre



Pression

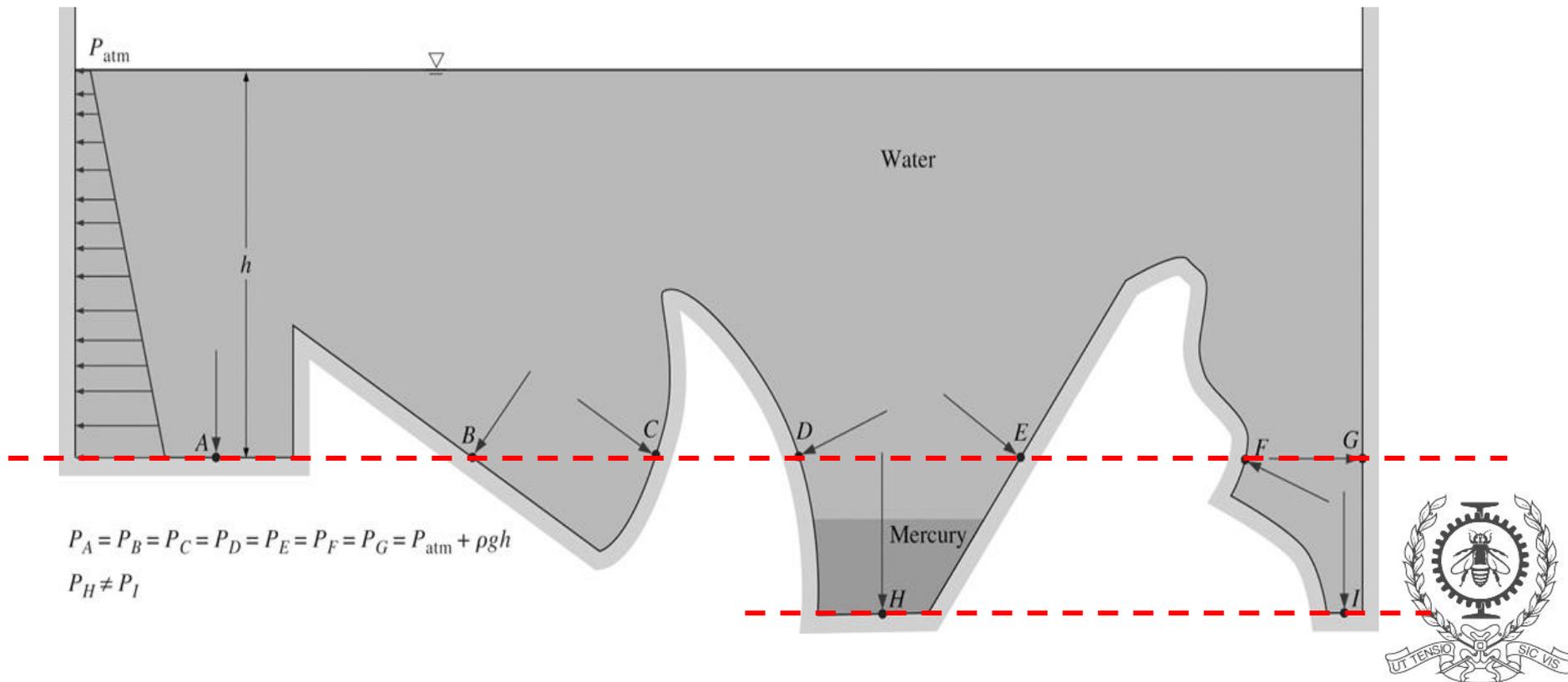
Exemple 1.5 (page 19)

Un manomètre est utilisé pour mesurer la pression dans un réservoir. Le manomètre contient un fluide dont la masse volumique relative est de 0.850, la hauteur h de la colonne est de 55 cm et la pression atmosphérique, de 96 kPa. Quelle est la pression dans le réservoir?



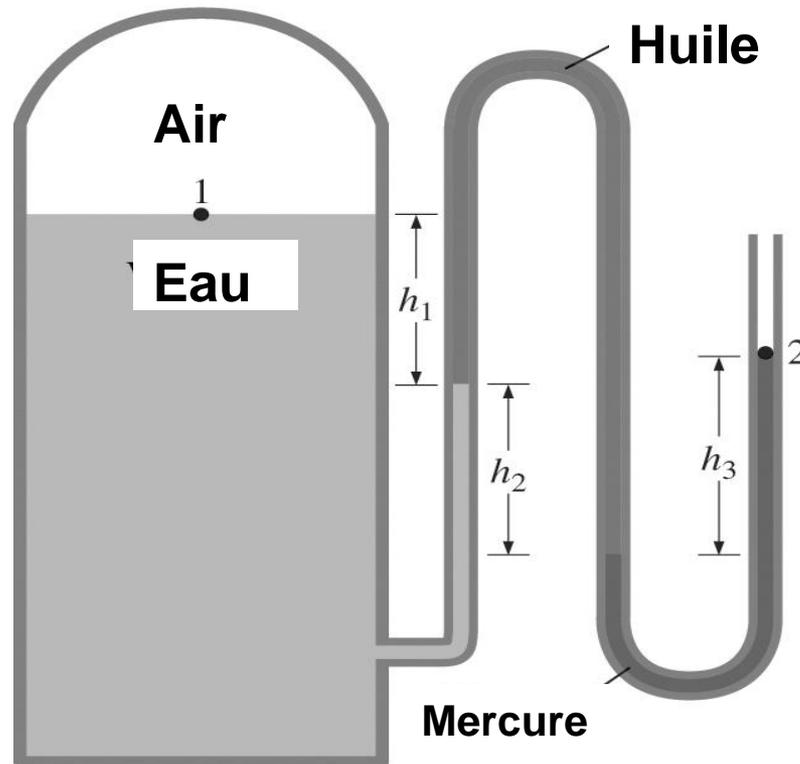
Pression

La pression dans un plan horizontal demeure inchangée quelque soit la géométrie

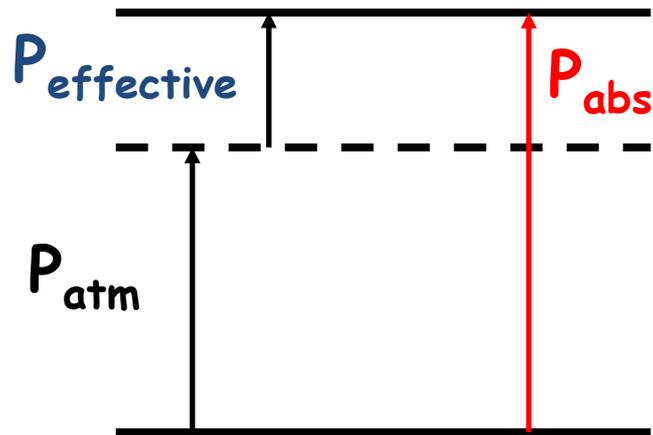


Exemple

Montrer que : $P_1 = P_{atm} - \rho_{eau} g h_1 - \rho_{huile} g h_2 + \rho_{mercure} g h_3$



Pression



$$P_{abs} = P_{atm} + P_{effective}$$

Vide absolue

Lorsque la pression est inférieure à la pression atmosphérique on parle alors de dépression P_{vide} (pour éviter d'avoir une pression négative): $P_{vide} = P_{atm} - P_{abs}$

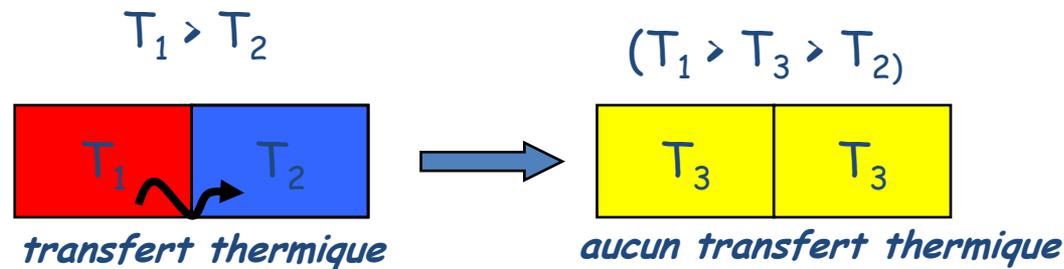
Exemple

La lecture de la jauge à vide d'un réservoir indique une dépression de 40kPa. La pression atmosphérique est autour de 101kPa. Quelle est la pression absolue du réservoir?



Température

- Deux systèmes ont atteint l'équilibre thermique quand il n'y a plus de transfert de chaleur entre eux. **Dans ce cas, ils se trouvent à la même température.**



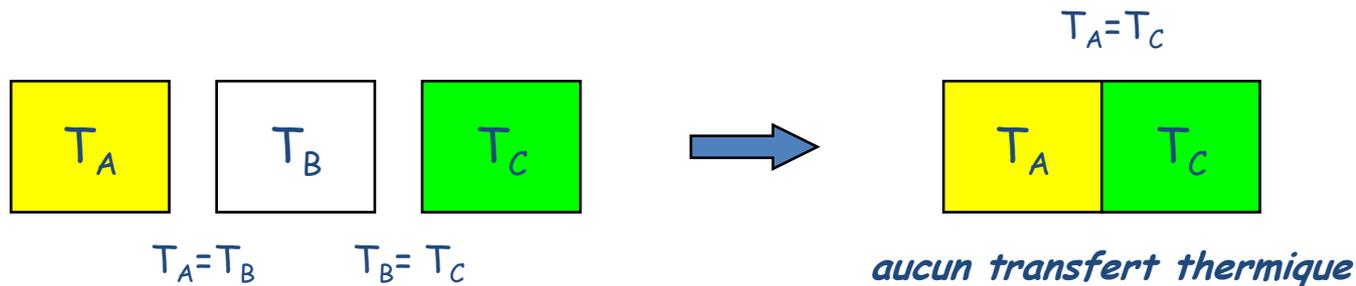
- La température est une mesure de l'énergie thermique



Principe zéro de la thermodynamique

1. Pour chaque système, il existe une propriété qui s'appelle *température*
2. L'égalité de la température est une condition nécessaire et suffisante pour l'*équilibre thermique*, c'est-à-dire aucun transfert thermique

Si deux corps se trouvent à la même température qu'un troisième corps, ils sont eux aussi à la même température



Méthode de résolution de problème

Approche systématique pour résoudre des problèmes en génie en général et en thermodynamique en particulier:

- 1) Résumez le problème dans vos propres mots: pour vous assurer de le comprendre et de savoir ce qui est demandé.
- 2) Faites un schéma physique du système, incluant les informations connues et dessinez les interactions avec l'environnement.
- 3) Écrivez une liste des hypothèses/suppositions que vous allez faire pour simplifier le problème. Justifiez au besoin.
- 4) Définissez le système et y appliquez les principes physiques, utilisant les hypothèses/suppositions en (3) pour les simplifier.
- 5) Obtenir les propriétés manquantes par les équations d'état ou tables (**indiquez la source**)
- 6) Remplacer les valeurs en (2) et (5) dans les équations dérivées en (4) pour calculer la solution. Utiliser le principe d'homogénéité des unités pour vérifier les équations.
- 7) Assurez-vous que les résultats sont raisonnables, et s'ils le permettent, vérifiez certaines des hypothèses



Lectures conseillées

Section 1.1 à 1.12 du livre, «THERMODYNAMIQUE, une approche pragmatique», Y.A. Çengel, M.A. Boles et M. Lacroix, Chenelière-McGraw-Hill, 2008.

