

## MEC1210 THERMODYNAMIQUE

ENSEIGNANT: MARTIN GARIÉPY  
BUREAU: JAB-5067  
TELEPHONE: (514)340-4711 ext. 7450  
COURRIEL: martin.gariepy@polymtl.ca

SEPTEMBRE 2011

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



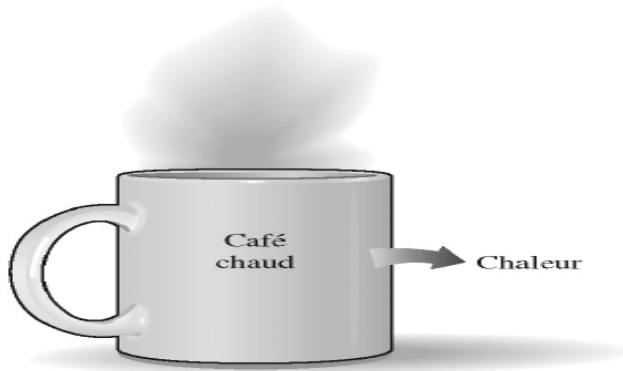
## Chapitre 6: Second principe de la thermodynamique

### □ OBJECTIFS

- Formuler la deuxième loi de la thermodynamique selon les énoncés de Clausius et Kelvin-Planck.
- Décrire les évolutions réversibles et irréversibles
- Décrire le cycle de Carnot.
- Recourir à la deuxième loi en vue définir une échelle de température thermodynamique.

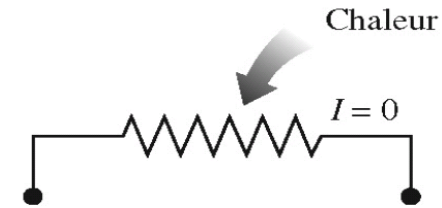


## 2<sup>ème</sup> loi de la thermodynamique



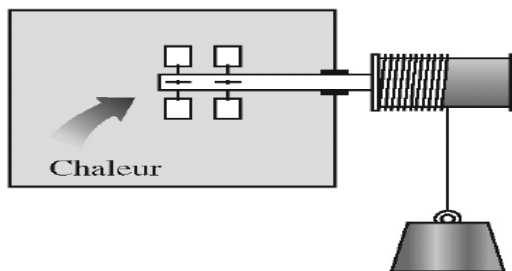
**FIGURE 6.1**

La tasse de café chaud ne se réchauffe pas dans un environnement plus froid.



**FIGURE 6.2**

Transmettre de la chaleur au fil ne restitue pas le courant électrique.



**FIGURE 6.3**

Transmettre de la chaleur à l'agitateur ne le fait pas tourner.



## Utilité du second principe

- **Prédire le sens d'une évolution.**
- Comme toutes les lois de la science, la 2<sup>ème</sup> loi de la thermodynamique repose sur l'observation expérimentale.
- Déterminer le meilleur rendement possible de cycles, machines et systèmes.
- Déterminer quantitativement les irréversibilités qui réduisent le rendement.
- Établir les conditions d'équilibre d'un système.



## Définitions

### □ Réservoir thermique:

Corps pouvant céder ou absorber de la chaleur sans voir sa température varier.

- Exemple: un océan
- Exemple: Pièce d'une maison comparée à une radio

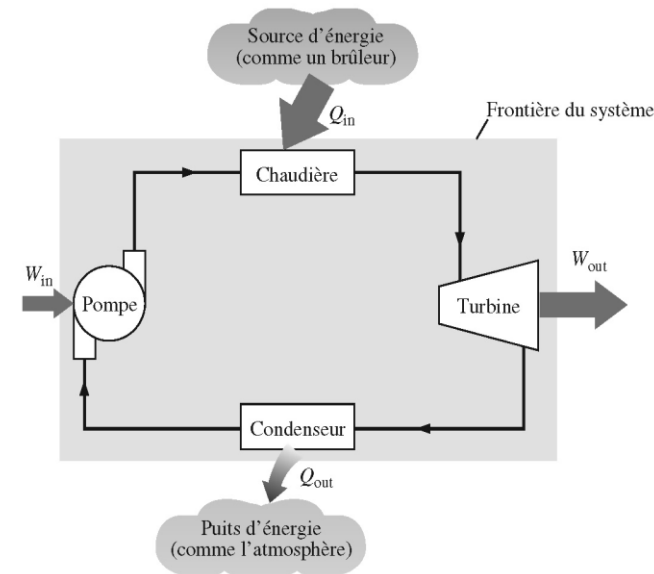
### □ Machine thermique

Système convertissant la chaleur en travail. Cette chaleur est fournie au système à l'aide d'un fluide moteur.

- Exemple: centrale thermique

### □ **Caractéristiques:**

- Reçoit de la chaleur d'une source chaude
- Convertit une partie de chaleur en travail
- Rejette de la chaleur restante dans un réservoir de basse T.
- Elle décrit un cycle



## Rendement thermique $\eta_{th}$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

- $\eta_{th} \leq 1$
- Rendement thermique d'une voiture: 25%
- 75% restant est dissipé en chaleur (pollution et réchauffement climatique)
- Rendement d'un moteur diesel: 40%
- Rendement d'une turbine à gaz moderne: 60%



## Exemple p. 243

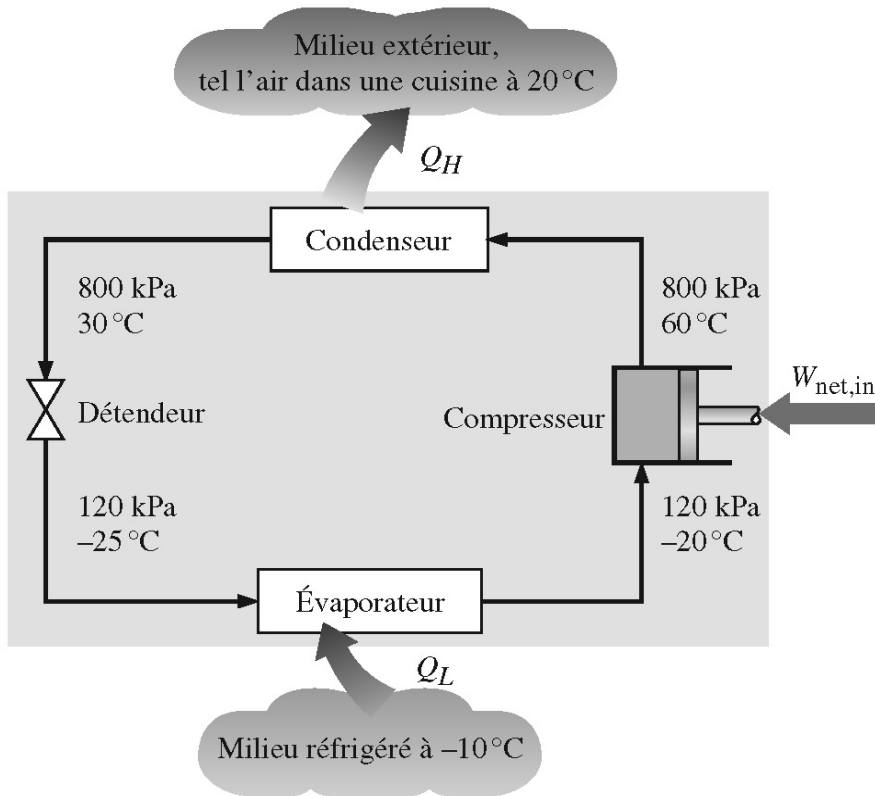
Une fournaise transmet une puissance thermique de 80 MW à une machine thermique. La machine thermique rejette 50 MW dans la rivière à proximité. Déterminez la puissance nette produite par la machine thermique ainsi que son rendement thermique.

## Exemple no.2 p.243

Le rendement thermique du moteur à essence d'une voiture est de 24 %. La puissance du moteur est de 140 cv ( $1 \text{ cv} = 0.7457 \text{ kW}$ ). Déterminez le débit d'essence consommé si le pouvoir calorifique de l'essence est de 48 000 KJ/kg.



## Réfrigérateur



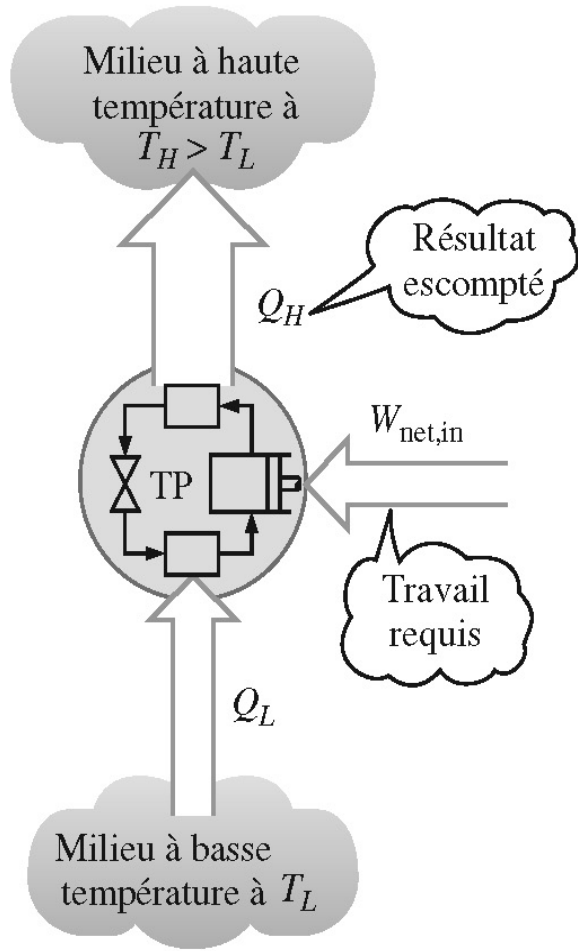
Coefficient de performance d'un réfrigérateur:

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{in}} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$





## Thermopompe



Coefficient de performance d'une thermopompe:

$$COP_{TP} = \frac{Q_H}{W_{in}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$



## Exemple p.247

On maintient le milieu intérieur d'un réfrigérateur à  $4^{\circ}\text{C}$  en y retirant une puissance thermique de  $360\text{ kJ/min}$ . Si la puissance d'alimentation requise du réfrigérateur est de  $2\text{ kW}$ , déterminez le coefficient de performance du réfrigérateur ainsi que la puissance thermique rejetée dans la cuisine.

## Exemple no.2 p.248

Une thermopompe est employée pour chauffer une maison et maintenir la température intérieure à  $20^{\circ}\text{C}$ . Lorsque la température extérieure est de  $-2^{\circ}\text{C}$ , on estime que la puissance thermique perdue par la maison est de  $80\ 000\text{ kJ/h}$  et le coefficient de performance de la thermopompe est de  $2.5$ . Déterminez la puissance consommée par la thermopompe et la puissance extraite de l'air extérieur.



## Deuxième loi de la thermodynamique

### □ ENONCÉ DE CLAUSIUS

*Il est impossible de concevoir une machine décrivant un cycle qui n'aurait d'autre effet que de transmettre de la chaleur d'un milieu à basse température vers un milieu à haute température.*

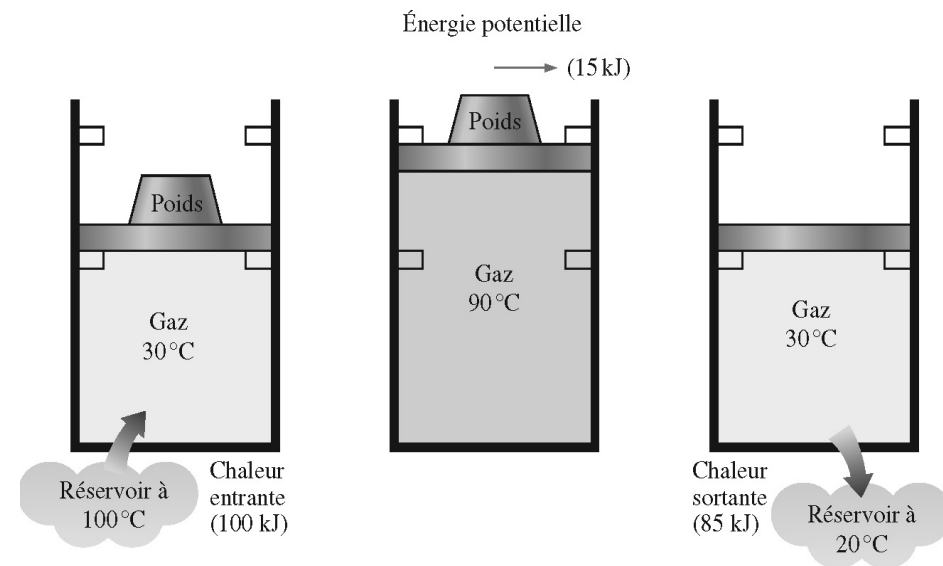
### □ ENONCÉ DE KELVIN-PLANCK

*Il est impossible de concevoir une machine décrivant un cycle qui n'aurait d'autre effet que de produire un travail et d'échanger de la chaleur avec un seul réservoir thermique.*



## Énoncé de Kelvin-Planck

- Physiquement: on ne peut convertir 100% de la chaleur en travail  
( $\eta_{th} < 1.0$ )



## Exemple

100 kJ de chaleur sont transmis d'un réservoir à 100°C au gaz dans le piston. 85 kJ servent à augmenter la température du gaz de 30°C à 90°C et 15 kJ servent à soulever la masse. Est-il possible de récupérer les 85 kJ de chaleur du gaz à 90°C en les transmettant au réservoir à 100°C?



## Évolution réversible

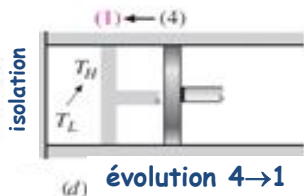
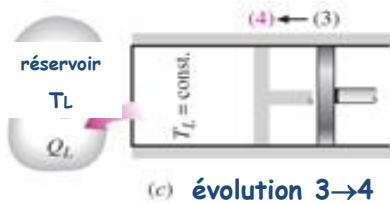
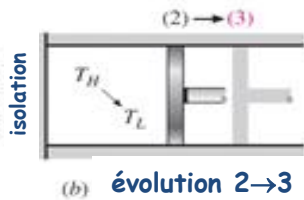
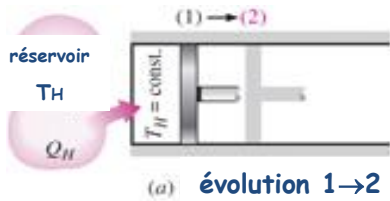
- Une évolution est réversible lorsque le système et l'environnement peuvent revenir à leur état initial à la fin *sans apport de  $Q$  ou  $W$  de l'extérieur*.
- Toutes les évolutions sont irréversibles.
- Une évolution réversible est l'idéalisation de l'évolution
- Frottement, la détente non contrôlée, le transfert de chaleur spontané

## Évolution irréversible

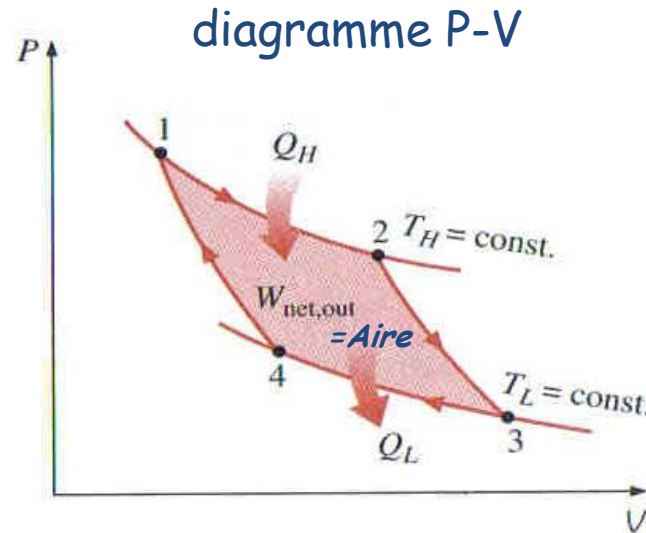
- Une évolution est irréversible lorsque le système et l'environnement ne peuvent pas revenir à leur état initial à la fin
- Exemple: un piston peut revenir à sa position initiale mais la température de la paroi demeurera élevée après le retour à la position initiale du au frottement . Éventuellement, la paroi retournera à la température initiale mais avec un transfert de chaleur vers l'extérieur
- Un café qui a refroidit ne peut revenir chaud par lui-même



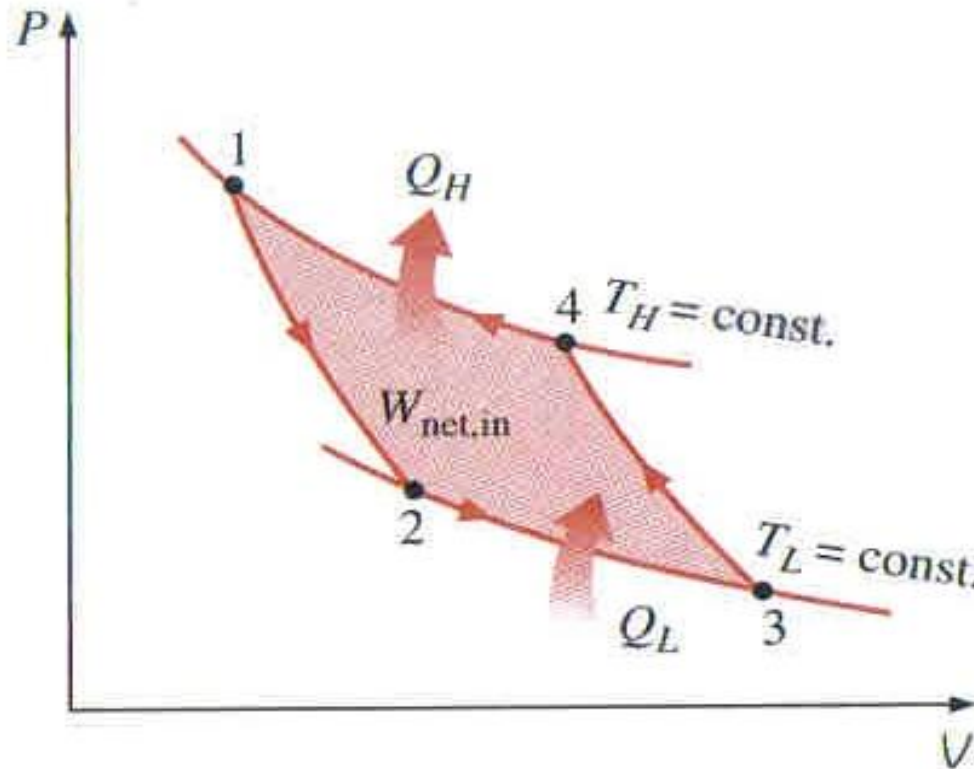
## Cycle de Carnot



Cycle de production d'énergie composé de quatre évolutions *réversibles* pour décrire un moteur thermique optimal (cycle idéal).



## Cycle de Carnot inversé (cycle de réfrigération optimal)



## Principes de Carnot

- Il est impossible de réaliser une machine thermique qui fonctionnerait entre deux réservoirs thermiques donnés et qui serait plus efficace qu'une machine réversible fonctionnant entre ces deux mêmes réservoirs;
- Toutes les machines qui décrivent un cycle de Carnot entre deux réservoirs thermiques donnés ont le même rendement
- **Déroger à un de ces deux principes signifie transgresser la deuxième loi de la thermodynamique**





## Échelle de Température Kelvin

- ❑ C'est une conséquence du principe suivant: *Toutes les machines qui décrivent un cycle de Carnot entre deux réservoirs thermiques donnés ont le même rendement*
- ❑ En d'autres mots, le rapport des transferts de chaleur entre les deux réservoirs doit être proportionnel au rapport des températures des deux réservoirs:

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H}$$

- ❑ Ceci permet de définir l'échelle de température thermodynamique, l'échelle KELVIN ou le point triple de l'eau est défini à 273,16 K



## Machine de Carnot

- Une machine de Carnot est un système fonctionnant sous le cycle de Carnot;
- Selon le principe de Carnot, cette machine doit présenter le meilleur rendement possible entre deux réservoirs thermiques à des températures différentes
- Selon l'échelle de température Kelvin, on a donc que le rendement d'un cycle réversible (donc rendement maximal) est donné par:

$$\eta_{th,rév} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

- Exemple: Une machine fonctionnant entre un réservoir à 1000 K et un autre à 200 K aura donc un rendement maximal de 80%
- Réalisez que ce qui affecte le rendement est l'écart de température entre les réservoirs !



## Exemple 6.39 p.268

Soit un réfrigérateur domestique dont le coefficient de performance est de 1.2. le réfrigérateur extrait de la chaleur du milieu réfrigéré au taux de 60kJ/min.

Déterminez :

- a) La puissance électrique consommée par le réfrigérateur
- b) La puissance thermique évacuée dans la cuisine

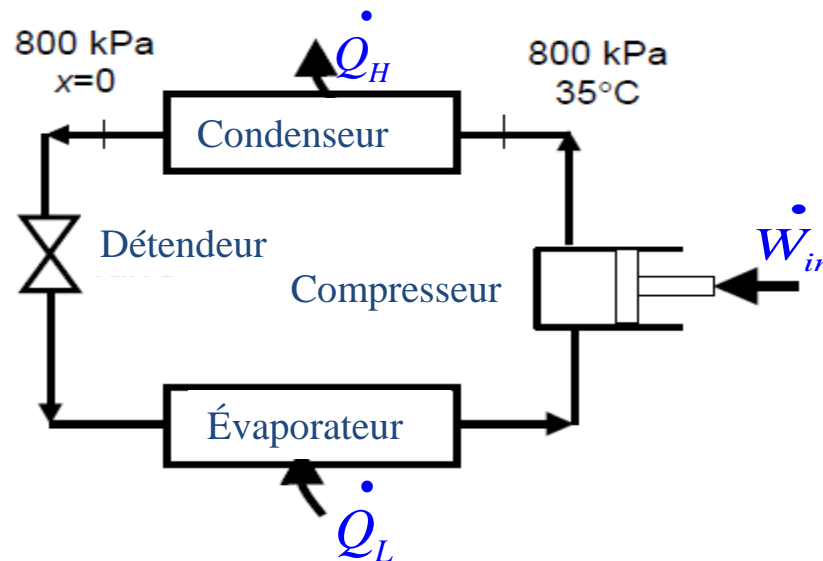


## Exemple 6.48 p.269

Le réfrigérant R-134a pénètre dans le condenseur d'une thermopompe domestique à 800kPa et à 35°C avec un débit de 0.018kg/s et en ressort sous forme de liquide saturé à 800kPa. Le compresseur de la thermopompe consomme une puissance électrique de 1.2kW.

Déterminez :

- Le COP de la thermopompe
- Le taux auquel la chaleur est extraite de l'air extérieur



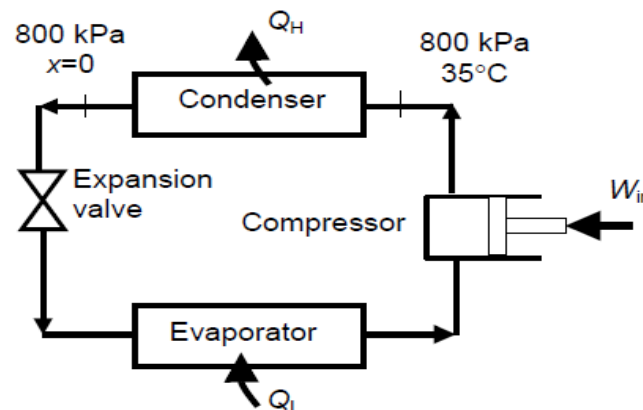
## Exercices 6.49 p. 269

Le réfrigérant R-134a pénètre dans le serpentin de l'évaporateur situé dans un congélateur domestique à 120kPa avec un titre de 20% et en ressort à 120kPa et à  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Déterminez :

- Le débit massique du fluide frigorigène
- Le taux auquel la chaleur est rejetée dans la cuisine .

Le compresseur consomme 450W, et le COP du réfrigérateur est de 1.2



## LECTURE SECTION DU LIVRE

Sections 6.1 à 6.9 du livre, «THERMODYNAMIQUE, une approche pragmatique», Y.A. Çengel, M.A. Boles et M. Lacroix, Chenelière-McGraw-Hill, 2008.

