



Semaine du lundi 28 avril 2025

Sommaire

I Premier principe de la thermodynamique	1
II Champ magnétostatique	4

Au programme cette semaine :

I Premier principe de la thermodynamique

1. Evolutions et transformations d'un système en thermodynamique

(a) vocabulaire

|| **Capacité exigible :** Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.

(b) bilan d'une grandeur extensive

2. Premier principe de la thermodynamique

(a) énergie interne

(b) énoncé du premier principe

(c) formulation pour un système fermé

|| **À retenir :** Pour un système fermé étudié entre deux états d'équilibre thermodynamique (voir figures 1 et 2) :

$$\Delta(U + \Delta E_C) = U_B - U_A + E_{C,B} - E_{C,A} = W_{A \rightarrow B} + Q_{A \rightarrow B}$$

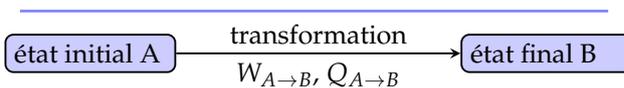


FIGURE 1

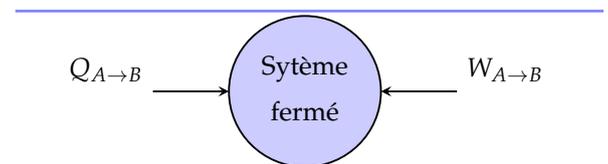


FIGURE 2

|| **Capacité exigible :** Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail et transfert thermique.

|| **Capacité exigible :** Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.

|| Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.

|| **À retenir :** Pour un système fermé étudié entre deux états d'équilibre thermodynamique et **macroscopiquement au repos** : $\Delta(U) = U_B - U_A = W_{A \rightarrow B} + Q_{A \rightarrow B}$.

(d) propriété de l'énergie interne

(e) formulation différentielle du premier principe

|| **À retenir :** Pour une transformation infinitésimale d'un système fermé, le premier principe s'écrit :

$$U(t + dt) - U(t) + E_C(t + dt) - E_C(t) = d(U + E_C) = \delta W + \delta Q$$

|| **Capacité exigible :** Utiliser le premier principe de la thermodynamique entre deux états voisins.

|| **Remarque importante :** On veillera, à ce propos, au plus grand soin entre les notations « d » (variation élémentaire) et « δ » (grandeur infinitésimale mais qui n'est pas une variation).

3. Travail des forces de pression

- (a) pression atmosphérique
- (b) pression extérieure

|| **Capacité exigible :** Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.

Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.

Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.

|| Citer et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.

- (c) travail élémentaire des forces de pression

|| **À retenir :** Pour un système soumis à une pression extérieure P_{ext} dont le volume varie de dV , le travail élémentaire des forces de pression s'exprime par :

$$\delta W = -P_{\text{ext}}dV$$

|| **Capacité exigible :** Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare.

Évaluer un travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.

- (d) cas d'une transformation finie
- (e) cas d'une transformation quasi-statique
- (f) interprétation géométrique du travail des forces pressantes
- (g) interprétation de l'enthalpie H

|| **Capacité exigible :** Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.

Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.

Exprimer l'enthalpie $H(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.

Justifier que l'enthalpie H d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T .

|| Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.

|| **Exercice :** On souhaite chauffer un demi-litre d'eau entre 10°C jusqu'à ébullition (100°C). On dispose d'une bouilloire électrique d'une puissance de $\mathcal{P} = 1500\text{ W}$. Donner un ordre de grandeur de la durée de la transformation.

|| **Réponse :** L'énergie nécessaire à l'opération est : $Q \approx \Delta U \approx \Delta H = m c_{\text{eau}} \Delta T \approx 0,5 \times 4180 \times 90 \approx 188\text{ kJ}$. La durée l'opération est de l'ordre de $\Delta t = \frac{Q}{\mathcal{P}} \approx 125\text{ s} \approx 2\text{ min}$.

4. Transferts thermiques

|| **Capacité thermique :** Calculer le transfert thermique sur un chemin donné connaissant le travail et la variation de l'énergie interne.

- (a) type de transfert de chaleur

|| **Capacité exigible :** Transferts thermiques. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.

Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement. Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.

- (b) capacités thermiques

(c) cas du gaz parfait

(d) cas d'une phase condensée

|| **Capacité exigible :** Exploiter la propriété $U = U(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.

5. Applications du premier principe au gaz parfait

(a) loi de joule

|| **Capacité exigible :** Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température.

(b) transformations isothermes et quasi-statique

(c) transformations adiabatiques et quasi-statiques

(d) cycle de Carnot

(e) détente de Joule et Gay-Lussac

II Champ magnétostatique

1. Vrais vecteurs et pseudo-vecteurs

- (a) Vrais vecteurs
- (b) pseudo-vecteurs

2. Distribution de courant

- (a) distribution discrète de charge en mouvement
- (b) distribution continue et volumique
- (c) distribution continue et surfacique
- (d) distribution continue et linéique
- (e) Invariance et symétrie pour une distribution de charge

|| **Capacité exigible :** Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

- (f) champ à flux conservatif

|| **Capacité exigible :** Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources.

|| **Capacité exigible :** Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue.

- (g) propriétés de \vec{j} en régime permanent
- (h) champ magnétique créé à partir d'aimants ou de courant

3. Structure du champ magnétique

- (a) symétrie des distributions de courants et champ magnétique
- (b) topographie du champ magnétique

|| **À retenir :** On retiendra quelques idées simples :

- le champ magnétique est un champ à flux conservatif. Une des conséquences est que l'évasement des lignes de champs est associé à une diminution de B (zone de champ faible). À l'inverse, si les lignes de champ se concentrent alors B augmente (zone de champ intense).
- les lignes de champ sont en accord avec les symétries et invariances des courants.
- les lignes de champ magnétique ont tendance à tourner autour des courants selon la règle de la main droite.

- (c) champ créé par un spire (voir figures 3 et 4)
- (d) champ créé par les bobines de Helmholtz (voir figures 5 et 6)

|| **Capacité exigible :** Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.

|| **Capacité exigible :** Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

|| **Capacité exigible :** Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.

4. Théorème d'Ampère

|| **Capacité exigible (PC et PSI) :** Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère.

- (a) cylindre parcouru par un courant uniformément réparti (voir figure 7)

|| **Capacité exigible (PC) :** Déterminer le champ créé par un câble rectiligne infini.

- (b) plan infini parcouru par des courants surfaciques (voir figures 8 et 9)
- (c) enroulement torique de courant (voir figure 10 et 11)

|| **Capacité exigible (PSI) :** Établir l'expression du champ magnétique créé par un fil épais et infini, par un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul, et par une bobine torique.

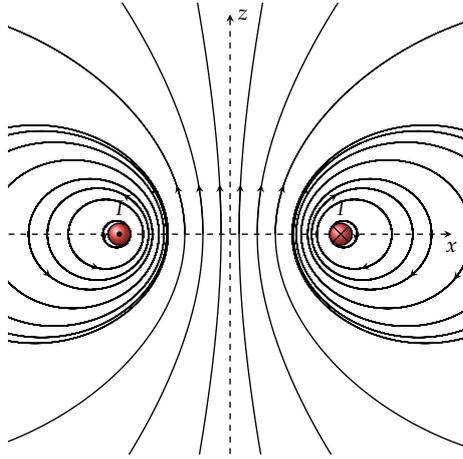


FIGURE 3 – Carte de champ pour une spire circulaire parcourue par un courant I . On s'est placé dans un plan contenant l'axe (Oz).

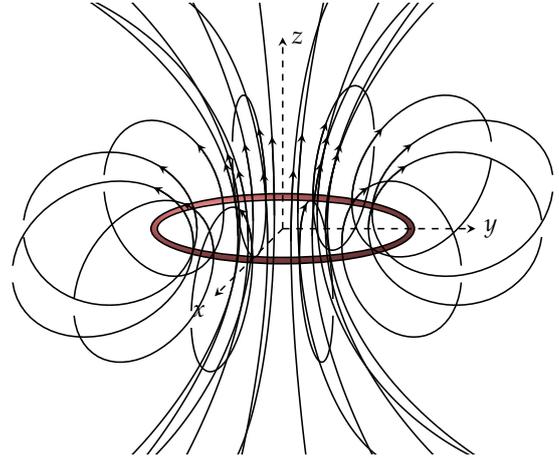


FIGURE 4 – Carte de champ pour une spire circulaire parcourue par un courant I .

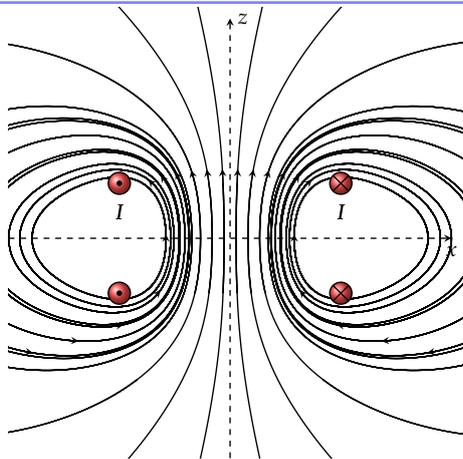


FIGURE 5 – Carte de champ pour le dispositif des bobines de Helmholtz.

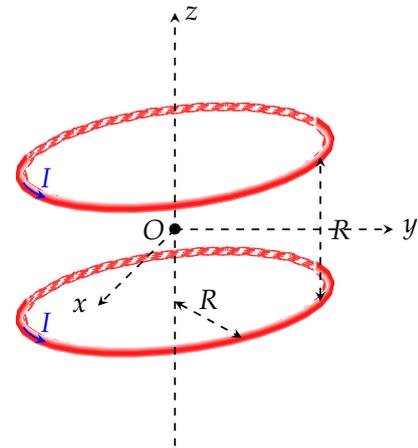


FIGURE 6 – Bobines de Helmholtz.

(d) solénoïde infini (voir figure 12)

Capacité exigible (PC) : Établir et citer l'expression du champ à l'intérieur d'un solénoïde long, la nullité du champ extérieur étant admise.

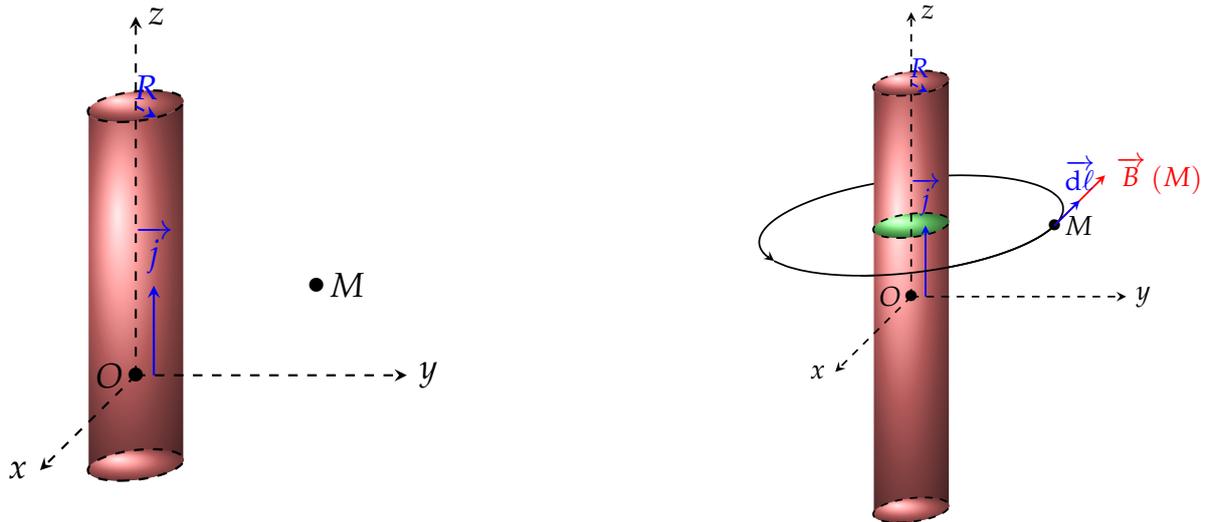


FIGURE 7 – À gauche, fil infini de rayon R . Contour d'Ampère dans les cas où $r > R$ (à droite).

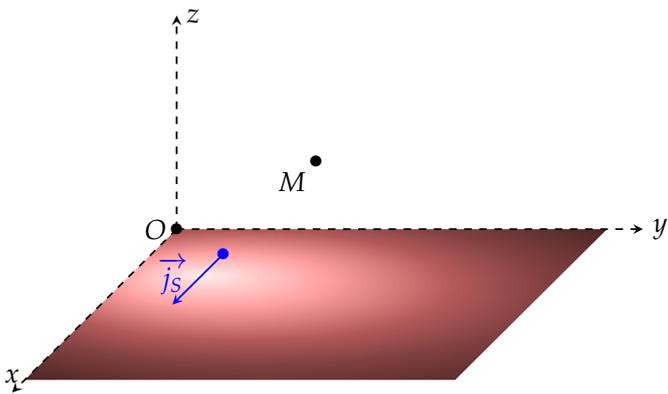


FIGURE 8 – Plan infini parcouru par des courants surfaciques.

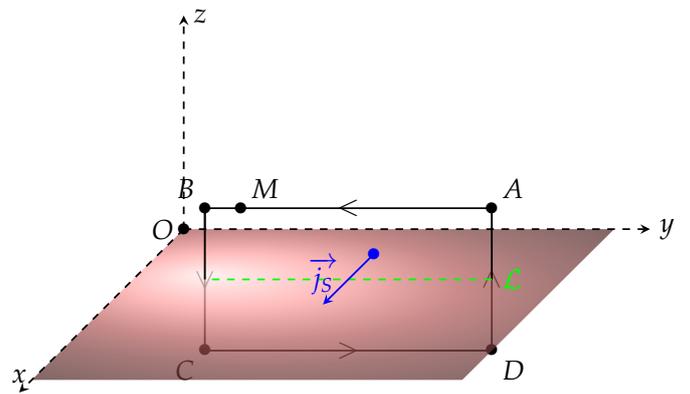


FIGURE 9 – Contour d'Ampère pour le plan infini.

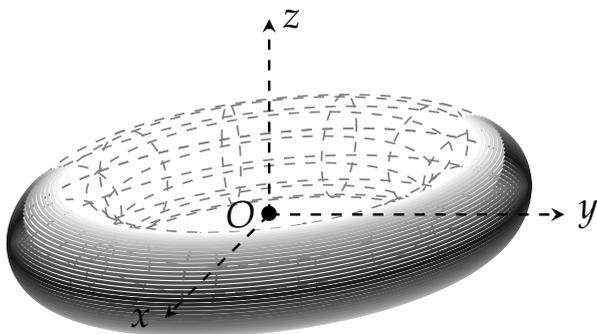


FIGURE 10 – Volume torique à section circulaire.

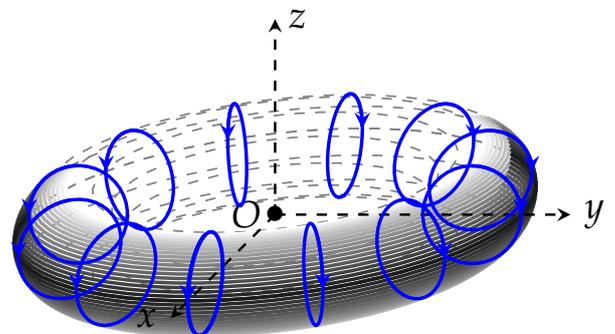


FIGURE 11 – N spires ont été enroulées sur le tore avec des courants orientés dans le même sens.

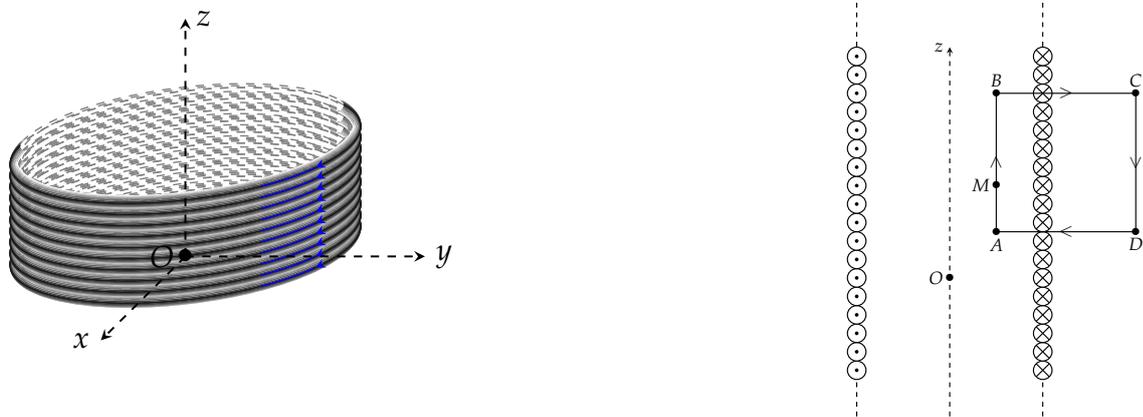


FIGURE 12 – Solénoïde en trois dimensions (à gauche) et en vue en coupe radiale (à droite).