

B2-Thermo-1 **Description microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre**

- Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. Libre parcours moyen.
Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité. Connaître quelques ordres de grandeur de libres parcours moyens.
- Description des caractères généraux de la distribution des vitesses moléculaires d'un gaz (homogénéité et isotropie).
Vitesse quadratique moyenne.
Pression cinétique.
Utiliser un modèle unidirectionnel avec une distribution discrète de vitesse pour montrer que la pression est proportionnelle à la masse des particules, à la densité particulaire et à la vitesse quadratique moyenne au carré.
- Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c = 3/2kT$.
Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
- Système thermodynamique.
Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
- État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression.
Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique
- Pression, température, volume, équation d'état.
- Grandeur extensive, grandeur intensive.
Déduire une température d'une condition d'équilibre d'une phase thermique.
- Définition cinétique de la pression et de la température.
- Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.
Connaître quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.

Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.

- Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas d'un gaz parfait.
Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température.
Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Citer l'expression de l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique.
- Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.
Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible indilatable.
- Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.
Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
- Du gaz réel au gaz parfait.
Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.
- Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P, T) .
Analyser un diagramme de phase expérimental (P, T) .
Positionner les phases dans le diagramme (P, T) .
- Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v) , titre en vapeur.
Positionner les phases dans le diagramme (P, v) .
Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.
Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v) .
Expliquer la problématique du stockage des fluides.
- Équilibre liquide-vapeur de l'eau en présence d'une atmosphère inerte.

Utiliser la notion de pression partielle pour adapter les connaissances sur l'équilibre liquide-vapeur d'un corps pur au cas de l'évaporation en présence d'une atmosphère inerte.

B2-Thermo-2 Énergie échangée

- Transformation thermodynamique subie par un système.
Définir le système.
Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.
Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.
- Travail des forces de pression.
Calculer le 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
- Transformations isochore, monobare.
- Transfert thermique.
Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.
- Transformation adiabatique.
- Thermostat, transformations monotherme et isotherme.
Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.
Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.

B2-Thermo-3 Premier principe. Bilans énergétiques

- Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = W + Q$.
Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir le travail W et le transfert thermique Q .
Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.
Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.
Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU .
- Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.
Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.
Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T .
Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare en équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.
Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau.
- Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.
Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant compte des transitions de phases.

B2-Thermo-4 Le deuxième principe. Bilans d'entropie

- Énoncé du deuxième principe.

- Fonction d'état entropie, entropie échangée, entropie créée :

$$\Delta S = S_{ech} + S_{cree} \text{ avec } S_{ech} = \sum_i \frac{Q_i}{T_{Si}}$$

Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique.

Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.

- Variation d'entropie d'un système.

Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.

Exploiter l'extensivité de l'entropie.

- Entropie du gaz parfait, loi de Laplace.

Connaître la loi de Laplace et ses conditions d'application.

- Entropie d'une phase condensée indilatable et incompressible.

- Cas particulier de la transition de phase.

Connaître et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T\Delta s_{12}(T)$.

B2-Thermo-5 Les machines thermiques

- Bilan énergétique, application du premier principe.
- Bilan entropique, application du deuxième principe.
- Machines cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.
Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.
Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.
Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergie échangées au cours d'un cycle.
Justifier et utiliser le théorème de Carnot.

Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.

Expliquer le principe de cogénération

2-Thermo1 Systèmes ouverts en régime stationnaire

- Transformation infinitésimale,
- Premier principe sous forme infinitésimale,
- Second principe sous forme infinitésimale,
- Débit massique, définition,
- Passage d'un système ouvert à un système fermé, bilan,
- Premier principe pour un système ouvert,
- Diagramme entropique (T, s) ,
- Diagramme du frigoriste (p, h) .
- Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.
Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T, s) et (P, h) .

2-Thermo2 Diffusion de particules

- Vecteur densité de flux de particules $\vec{j}_N$.
Exprimer le nombre de particules traversant une surface en utilisant le vecteur $\vec{j}_N$.
- Bilans de particules
Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules.

Établir une équation traduisant un bilan local dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes.

Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.

- Loi de Fick

Utiliser la loi de Fick.

Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles

- Régimes stationnaires

Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne

- Équation de diffusion en l'absence de sources internes

Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne.

Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie.

Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.

- Approche microscopique du phénomène de diffusion

Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne.

2-Thermo3 Diffusion thermique

- Vecteur densité de flux thermique $\vec{j}_Q$.

Exprimer le flux thermique traversant une surface en utilisant le vecteur $\vec{j}_Q$.

- Premier principe de la thermodynamique

Utiliser le premier principe dans le cas d'un milieu solide pour établir une équation locale dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes.

Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.

- Loi de Fourier

Utiliser la loi de Fourier.

Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.

- Régimes stationnaires

Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne

- Résistance thermique

Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique.

Exprimer une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel en géométrie cartésienne. Utiliser des associations de résistances thermiques.

- Équation de diffusion en l'absence de sources internes

Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne.

Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie.

Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.

Utiliser la relation de Newton $\delta Q = h(T_s - T_a)dSdt$ fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.

2-Thermo4 Rayonnement thermique

- Approche descriptive du rayonnement du corps noir

Loi de Wien, loi de Stefan.

Effet de serre. Albédo.

Utiliser les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan.

Analyser quantitativement l'effet de serre en s'appuyant sur un bilan énergétique dans le cadre d'un modèle à une couche.