

Programme de thermodynamique de prépas BCPST

PREMIERE ANNEE

Formation expérimentale :

Mesurer une température.

Mettre en œuvre un capteur de température : thermomètre, thermocouple, thermistance, ou capteur infrarouge. Choisir le capteur en fonction de ses caractéristiques (linéarité, sensibilité, gamme de fonctionnement, temps de réponse), et du type de mesures à effectuer.

Effectuer des bilans d'énergie.

Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.

Contenu :

Présentation

Signaux physiques, bilans et transports : les phénomènes de transport déterminent l'évolution temporelle et spatiale de grandeurs physiques

Cet enseignement a pour but d'initier les étudiants aux concepts très généraux décrivant des systèmes en interaction avec le monde extérieur, par échange ou transport, en évitant tout développement théorique excessif. Il apparaît alors qualitativement que les grandeurs physiques ou signaux dépendent de variables de temps et/ou d'espace, et l'illustration en est donnée dans la continuité du programme de terminale. L'approche transversale des phénomènes de transport vise à mettre en évidence des analogies et à dégager les notions communes de flux, de différence de potentiel, de stock et de résistance. L'étude de circuits électriques simples sert de support, facilement mis en œuvre expérimentalement, à l'illustration de ces notions. Les exemples traités se rapportent aux circuits en régime continu et au régime transitoire du premier ordre, dont le circuit RC constitue le modèle. Des notions de base sur la mesure électrique et sur l'oscilloscope sont nécessaires à l'illustration expérimentale du régime transitoire, mais elles ne sont pas destinées à être étudiées pour elles-mêmes ; seuls les modes de fonctionnement usuels de l'oscilloscope sont présentés.

2. Bilan macroscopique Volume de contrôle et surface de contrôle. Grandeur intensive et grandeur extensive. Bilan de charge, de matière, d'énergie : Flux de charge, de matière et d'énergie. Équation de bilan avec ou sans création. Loi des nœuds.	 Délimiter un système. Reconnaître un système isolé, fermé, ouvert. Définir l'intensité du courant électrique comme débit de charges. Établir un bilan macroscopique.
3. Transport Relation entre flux et différence de potentiel. Transport linéaire : résistance électrique, thermique. Association de résistances en série et en parallèle.	 Relier un flux de charge, de chaleur, de matière à une différence, respectivement, de potentiel électrique, de température, de composition. Interpréter le sens du transport. Remplacer une association série ou parallèle de plusieurs résistances par une résistance équivalente.

Transport thermique et de transport de matière en régime stationnaire.	Faire l'analogie entre le transport thermique ou le transport de matière d'une part et le transport de charges d'autre part.
--	--

Thermodynamique

L'enseignement de thermodynamique fait suite à celui consacré aux échanges et aux transports. A partir d'une description des états de la matière et des transformations qu'elle subit, il formalise les échanges d'énergie et contribue à les évaluer. Cet enseignement s'organise en deux parties distinctes. La première, dispensée au premier semestre, est consacrée à la description des états de la matière et des paramètres qui la caractérise. La seconde, dispensée au second semestre, propose, d'une part, une présentation plus étoffée du premier principe dont l'introduction a déjà été réalisée en classe de terminale, et d'autre part formalise les notions d'irréversibilité et de réversibilité à l'aide du second principe. Afin de limiter l'utilisation de fonctions de plusieurs variables, les deux principes sont appliqués en première année aux transformations thermodynamiques de phases condensées et aux machines thermiques. C'est l'occasion de réaliser des bilans macroscopiques sur des systèmes modèles. L'objectif est là de dégager le concept de rendement et de sensibiliser l'étudiant à l'impact énergétique d'un dispositif domestique ou industriel.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. États de la matière</p> <p>Phases condensées et phases gazeuses.</p> <p>Notion de température absolue.</p> <p>Modèle du gaz parfait. Mélange idéal de gaz parfaits. Fraction molaire et pression partielle.</p> <p>Gaz réel.</p>	<p>Identifier le caractère peu compressible et peu dilatable des phases condensées. Comparer les ordres de grandeurs caractéristiques des gaz et des phases condensées. Utiliser les échelles de température absolue et de température Celsius.</p> <p>Utiliser l'équation d'état du gaz parfait. Représenter les isothermes en coordonnées de Clapeyron. Interpréter qualitativement le modèle du gaz parfait, sa pression et sa température à l'échelle moléculaire.</p> <p>Faire le lien avec les interactions de faible énergie.</p>

<p>3. Changements d'état du corps pur</p> <p>Diagramme de phases en coordonnées (T,P) ; point critique et point triple. Pression de vapeur saturante.</p> <p>Variance.</p> <p>Changement d'état liquide-vapeur ; diagramme</p>	<p>Approche documentaire : illustrer des applications des changements d'état dans les domaines biologiques, géologiques ou dans l'industrie.</p> <p>Interpréter le diagramme (P,V) selon la</p>
---	--

<p>(P,V) ; isothermes.</p> <p>Titre en vapeur. Théorème des moments.</p>	<p>variance.</p> <p>Interpréter qualitativement le palier de température associé au changement d'état isobare</p> <p>Calculer à partir d'un diagramme la composition d'un mélange liquide-vapeur à l'équilibre.</p>
--	---

<p>4. Équilibre et transformations thermodynamiques d'un système fermé</p> <p>Équilibre thermodynamique.</p> <p>Transformations thermodynamiques.</p> <p>Réversibilité d'une transformation.</p> <p>Travail et transfert thermique ; puissance mécanique et puissance thermique. Thermostat.</p>	<p>Interpréter les conditions d'équilibre thermique et mécanique.</p> <p>Maitriser le vocabulaire usuel : isotherme, isobare, isochore, monobare, monotherme, adiabatique.</p> <p>Déterminer l'état d'équilibre final à partir des contraintes imposées par le milieu extérieur. Dégager les critères de réversibilité d'une transformation.</p> <p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p>
---	--

<p>5. Premier principe de la thermodynamique en système fermé</p> <p>Contributions à l'énergie d'un système : énergie interne, énergie cinétique macroscopique et énergie potentielle macroscopique.</p> <p>Énergie interne molaire et massique d'une phase condensée Capacité thermique à volume constant.</p> <p>Premier principe en système fermé : $\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_c = Q + W$</p> <p>Calorimétrie.</p>	<p>Relier l'énergie interne à la température pour une phase condensée.</p> <p>Formuler le premier principe en termes de puissance et sous forme d'un bilan élémentaire.</p> <p>Réaliser un bilan à partir d'une expérience de calorimétrie.</p>
--	--

<p>6. Second principe de la thermodynamique en système fermé</p> <p>Entropie ; entropie massique et entropie molaire.</p> <p>Second principe en système fermé ; entropie d'échange ; entropie créée : $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créé}}$</p>	<p>Interpréter qualitativement l'entropie.</p> <p>Relier la création d'entropie au caractère réversible ou irréversible de la transformation.</p>
---	---

<p>Identité thermodynamique. Entropie molaire et massique d'une phase condensée.</p>	<p>Relier l'entropie à la température pour une phase condensée. Exprimer et calculer une entropie d'échange et une entropie de création pour une transformation simple.</p>
<p>7. Machines thermiques</p> <p>Machines dithermes réversibles et irréversibles.</p> <p>Moteur thermique, rendement, théorème de Carnot. Efficacité, principe d'une pompe à chaleur et d'un appareil frigorifique.</p>	<p>Distinguer les sources réelles et les sources idéales. Analyser le fonctionnement d'une machine ditherme sur un diagramme (T,S). Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p>Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies 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. Relier les concepts aux dispositifs d'usage courant.</p>

SECONDE ANNEE

Méthodes expérimentales

<p>2. Thermodynamique</p> <p>Enthalpie de changement d'état.</p>	<p>Mettre en œuvre une méthode calorimétrique pour déterminer une enthalpie de changement d'état.</p>
---	---

L'enseignement de thermodynamique de deuxième année reprend et développe les notions de thermodynamique physique et chimique étudiées en première année. L'enthalpie libre G , considérée comme une fonction de la température, de la pression et des quantités de matière, est introduite pour l'étude des transformations physiques et chimiques à pression et température constantes. L'étude des diagrammes binaires porte sur des diagrammes isobares ; ceux-ci seront fournis ou construits à partir de données expérimentales.

Pour l'étude des équilibres chimiques et des déplacements d'équilibre, plusieurs outils sont introduits : affinité chimique, quotient réactionnel, enthalpie libre de réaction, l'étudiant devant rester libre de travailler avec l'outil qu'il maîtrise le mieux.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Travail des forces pressantes</p> <p>Forces pressantes.</p> <p>Travail des forces pressantes.</p>	<p>Établir un bilan de forces exercées sur la paroi d'un piston mobile. Interpréter la condition d'équilibre mécanique.</p> <p>Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné (monobare, isobare, isotherme d'un gaz parfait). Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
<p>2. Description des systèmes fermés de composition constante</p> <p>Energie interne d'un fluide compressible. Détente de Joule - Gay-Lussac.</p> <p>Première loi de Joule. Enthalpie. Deuxième loi de Joule. Capacités thermiques dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable. Relation de Mayer.</p> <p>Identités thermodynamiques sur les fonctions U et H.</p>	<p>Relier qualitativement la variation de température lors d'une détente de Joule - Gay-Lussac aux propriétés d'un gaz.</p> <p>Exprimer la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie sous une forme différentielle ou finie. Utiliser les grandeurs molaires et massiques. Exploiter l'extensivité de l'énergie interne et de l'enthalpie. Déterminer un transfert thermique à partir de la variation de la fonction d'état la plus adaptée.</p> <p>Établir l'expression d'une variation d'entropie dans le système de coordonnées le plus adapté. Démontrer et utiliser la loi de Laplace.</p>
<p>3. Description des systèmes fermés de composition variable</p> <p>Enthalpie libre ; potentiel chimique. Identité thermodynamique sur la fonction G.</p> <p>Relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Potentiel thermodynamique.</p>	<p>Relier les grandeurs V, S et μ aux dérivées partielles de $G(T,P,n)$.</p> <p>Démontrer la relation de Gibbs-Helmholtz.</p> <p>Interpréter l'influence d'une variation de pression ou de température sur le potentiel chimique.</p> <p>Relier la variation de l'enthalpie libre et la création d'entropie lors d'une transformation spontanée à T et P constantes. Établir un critère d'évolution et un critère</p>

<p>Identité d'Euler.</p> <p>Activité d'un constituant.</p>	<p>d'équilibre à partir de l'évolution de G.</p> <p>Exprimer le lien entre l'enthalpie libre d'un mélange et les potentiels chimiques des constituants.</p> <p>Définir l'activité d'un constituant dans un mélange idéal.</p> <p>Exprimer et utiliser le potentiel chimique d'un constituant dans un mélange idéal (phase condensée, gaz) et dans une solution diluée.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter d'applications, au laboratoire, dans l'industrie ou dans le vivant, de l'influence de la pression sur le potentiel chimique.</p>
<p>4. Changements d'état d'un corps pur ou d'un mélange</p> <p>Condition d'équilibre d'un corps pur sous deux phases. Enthalpie de changement d'état. Entropie de changement d'état.</p> <p>Calorimétrie.</p> <p>Construction et lecture de diagrammes d'équilibre de systèmes binaires. Diagramme liquide-vapeur isobare avec miscibilité totale à l'état liquide ; azéotrope. Diagramme liquide-vapeur isobare avec miscibilité nulle à l'état liquide ; hétéroazéotrope. Diagramme solide-liquide isobare avec miscibilité totale à l'état solide. Diagramme solide-liquide isobare avec miscibilité nulle à l'état solide ; eutectique.</p> <p>Théorème des moments.</p>	<p>Interpréter la condition d'équilibre par une égalité de potentiels chimiques.</p> <p>Relier, pour un équilibre entre deux phases, les grandeurs H, S et V aux grandeurs massiques ou molaires associées et au titre en vapeur.</p> <p>Utiliser la relation entre les entropies molaires (massiques) et les enthalpies molaires (massiques) de changement d'état.</p> <p>Réaliser un bilan enthalpique dans le cas d'un changement d'état.</p> <p>Réaliser des mesures calorimétriques à l'aide d'une méthode électrique ou par mélange.</p> <p>Exploiter un faisceau de courbes d'analyse thermique pour établir l'allure d'un diagramme binaire.</p> <p>Attribuer les différentes zones du diagramme</p> <p>Calculer et commenter la valeur de la variance en un point du diagramme</p> <p>Repérer un point azéotropique ou hétéroazéotropique. Repérer un point eutectique.</p> <p>Expliquer une technique de séparation des constituants d'un mélange à l'aide d'un diagramme binaire isobare (distillation fractionnée, hydrodistillation, entraînement à la vapeur, distillation hétéroazéotropique).</p> <p>Déterminer la composition d'un système en un point donné du diagramme.</p> <p>Mettre en œuvre l'extraction d'un constituant dans un mélange à l'aide d'un</p>

	<p>montage approprié.</p> <p>Approche documentaire : illustrer l'intérêt des diagrammes binaires dans le domaine des sciences de la Terre ou du génie des procédés agroindustriels.</p>
<p>5. Thermodynamique chimique</p> <p>Grandeur de réaction. Etat standard. Enthalpie standard de réaction et entropie standard de réaction. Enthalpie standard de formation, entropie standard absolue. Loi de Hess.</p> <p>Premier principe appliqué à la réaction chimique. Variation d'enthalpie du système, mesures calorimétriques.</p> <p>Affinité chimique. Critère d'évolution, critère d'équilibre dans le cas d'un système chimique dont l'évolution spontanée est modélisée par une seule réaction à T et P constants.</p> <p>Enthalpie libre standard de réaction dans le cadre de l'approximation d'Ellingham. Constante thermodynamique d'équilibre : relation de Van't Hoff.</p> <p>Variance : nombre de degrés de liberté d'un système à l'équilibre.</p> <p>Lois de déplacement des équilibres chimiques.</p>	<p>Déterminer l'enthalpie standard et l'entropie standard de réaction à l'aide de données thermodynamiques. Interpréter le signe de l'enthalpie standard de réaction. Prévoir le signe de l'entropie standard de réaction.</p> <p>Réaliser des bilans enthalpiques pour calculer un transfert thermique ou une variation de température au cours d'une réaction.</p> <p>Relier l'affinité chimique et l'enthalpie libre de réaction. Relier l'affinité chimique à la constante thermodynamique d'équilibre et au quotient réactionnel. Relier le sens d'évolution d'un système chimique au signe de l'affinité chimique. Identifier, en utilisant l'affinité ou la comparaison de la constante thermodynamique d'équilibre et le quotient réactionnel, si le système à l'état final se trouve dans une situation d'équilibre chimique ou hors-équilibre chimique.</p> <p>Calculer la constante thermodynamique d'équilibre à partir des grandeurs standard de réaction. Modéliser l'évolution de la constante thermodynamique d'équilibre avec la température dans le cadre de l'approximation d'Ellingham.</p> <p>Interpréter la valeur d'une variance. Identifier un système de variance nulle ou monovariant.</p> <p>Utiliser l'affinité chimique ou la comparaison du quotient de réaction et de la constante thermodynamique d'équilibre pour interpréter l'influence d'une variation de température, de pression sur un système chimique initialement à l'équilibre.</p>

II. Phénomènes de transport

Cette partie présente le cadre conceptuel et des applications pratiques des phénomènes de transport. Différents modes de transport sont envisagés : transport de matière ou d'énergie dans un milieu au repos (conduction électrique, thermique, diffusion de matière) et transport convectif de masse et d'énergie. Leur étude se limite au cas du régime permanent.

Est d'abord étudié le transport par conduction dans un milieu immobile ; le flux de charges, de chaleur ou de matière est conditionné par une différence de potentiel électrique, de température ou de concentration. La conduction électrique pourra être illustrée par des transferts de charge en milieu biologique ou en conductimétrie.

Les analogies entre les transports par conduction sont systématiquement exploitées : la notion de résistance thermique est introduite par analogie avec la résistance électrique. De même, l'étude du transport de matière par diffusion est conduite en parallèle avec les approches précédentes, les équations de transport y sont établies par analogie avec la conduction thermique.

Est ensuite abordé le transport de masse et d'énergie par convection. Le bilan d'énergie sur un système ouvert est effectué uniquement pour un régime permanent. Il permet de modéliser les échanges d'énergie dans un élément d'une machine thermique.

Notions	Capacités exigibles
<p>1. Flux d'une grandeur extensive</p> <p>Vecteur densité de courant (ou densité de flux). Flux.</p>	<p>Utiliser les expressions des surfaces usuelles (cylindre, disque, sphère). Choisir, en fonction de la symétrie du transport, la surface appropriée à la détermination d'un flux. Exprimer le flux dans le cas de symétries simples (axiales, radiales cylindrique et sphérique).</p>
<p>2. Conduction électrique</p> <p>Conduction électrique. Loi d'Ohm locale. Résistance électrique.</p>	<p>Exprimer la résistance électrique d'un conducteur dans le cas d'un transport de vecteur densité de courant uniforme.</p>
<p>3. Conduction thermique</p> <p>Conduction thermique. Résistance thermique.</p> <p>Loi de Fourier.</p> <p>Diffusivité thermique.</p>	<p>Réaliser une analogie entre la conduction électrique et la conduction thermique. Interpréter une association de résistances thermiques. Établir, dans le cas d'un transport unidirectionnel, un bilan local d'énergie, avec source volumique ou avec échange à travers la paroi. Exprimer le temps caractéristique d'un régime transitoire par analyse dimensionnelle. Établir un bilan global d'énergie dans le cas d'un transport radial cylindrique ou sphérique en régime permanent. Exprimer le champ de température en régime permanent, après avoir proposé des critères plausibles de continuité ou de non divergence.</p>

<p>4. Diffusion de matière</p> <p>Transferts de masse par convection ou diffusion.</p> <p>Loi de Fick.</p>	<p>Citer les deux modes de transfert de masse.</p> <p>Interpréter le transport par diffusion à l'aide du potentiel chimique.</p> <p>Procéder par analogie lors de la réalisation de bilans local ou global entre les phénomènes de conduction thermique et de diffusion de matière, les capacités exigibles étant identiques.</p>
<p>5. Transport de masse et d'énergie par convection</p> <p>Débit massique</p> <p>Bilan global de masse sur un système ouvert.</p>	<p>Justifier le caractère conservatif d'un flux de masse en régime permanent.</p>

<p>Bilan d'énergie en régime permanent sur un système ouvert.</p> <p>Travail utile.</p> <p>Machines thermiques.</p>	<p>Établir un débit volumique à partir d'un débit massique dans le cas d'un écoulement incompressible.</p> <p>Savoir que le flux convectif d'une grandeur est le produit du débit massique par la grandeur massique correspondante.</p> <p>Formuler le premier principe sur un système ouvert sous forme d'un bilan élémentaire et en termes de puissance.</p> <p>Appliquer le premier principe en système ouvert et en régime permanent à des éléments simples d'une machine thermique : échangeur thermique, compresseur, détenteur isenthalpique, mélangeur.</p> <p>Réaliser un bilan local sur un échangeur thermique monodimensionnel.</p> <p>Estimer à partir des différents éléments d'une machine pris séparément le travail utile et le transfert thermique en termes de puissances ou de grandeurs massiques.</p> <p>Établir le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique.</p>
---	--