

PROGRAMME DE KHÔLLES DE LA CLASSE DE PCSI - PHYSIQUE

SEMAINE 26 : du 5 au 9 mai 2025

T1 cours 3/3 : l'énergie interne, une fonction d'état additive et extensive

- définitions de la capacité thermique à volume constant, de capacité thermique à volume constant molaire, de capacité thermique à volume constant massique, connaître les symboles et les unités et savoir montrer que $C_{v,m} = c_v.M$
- Pour un système réel fermé quelconque subissant une transformation ISOCHORE $\Delta U = \int C_v.dT$ et si C_v reste constante dans la gamme de température étudiée : $\Delta U = C_v.\Delta T = C_{v,m}.n.\Delta T = c_v.m.\Delta T$
- Savoir que les GP et les phases condensées incompressibles et indilatables répondent à la première loi de Joule : U_m ne dépend que de T (et donc que U ne dépend que de T et de n) . $\Delta U = \int C_v.dT$ valide même si la transformation n'est PAS isochore pour les systèmes répondant à la 1ere loi de Joule.
- modèle du GP monoatomique** : connaître les expressions de $U = 3/2.nRT$, de $U_m = 3/2.RT$, de $C_v = 3/2.nR$ et de $C_{v,m} = 3/2.R$ soit $\Delta U = 3/2.nR\Delta T$
- modèle du GP diatomique** : connaître les expressions de U , de U_m , de C_v et de $C_{v,m}$ aux températures usuelles : $U = 5/2.nRT$, de $U_m = 5/2.RT$, de $C_v = 5/2.nR$ et de $C_{v,m} = 5/2.R$ soit $\Delta U = 5/2.nR\Delta T$; savoir pourquoi C_v peut prendre 3 valeurs différentes en fonction de la température et connaître les expressions de C_v dans les 3 domaines de température.
- modèle de la phase condensée incompressible et indilatable** : notions de compressibilité et de dilatabilité, Savoir qu'une phase condensée réelle peut être modélisée avec une bonne approximation par une phase condensée idéale.
 - Dans le cas des solides, pour une température supérieure à T_{Debye} , on utilise la loi empirique de Dulong petit : $C_{v,m} \approx 3R$.
 - Eau liquide $c_v \approx 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (donc $C_{v,m} \approx 75 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$) ce qui est une valeur élevée pour un corps pur (bien plus que les gaz et les solides et la plupart des autres liquides) : l'eau est un bon fluide caloporteur

Conclusion : les différentes manières de calculer ΔU :

- à partir de l'expression de la fonction d'état U (ex = $U = 3/2.nRT$ pour un GPM) : $\Delta U = U_f - U_i$
- à partir de $\Delta U = \int C_v.dT$ pour une transformation isochore
- à partir de $\Delta U = \int C_v.dT$ pour une transformation quelconque pour un gaz parfait ou une phase condensée idéale

T1 cours 2/3 : corps purs diphasés en équilibre thermodynamique

Diagramme de phase (P,T) : savoir dessiner un diagramme de phase (P, T) et connaître le vocabulaire associé (point triple, point critique, courbes de changements d'état). Cas particulier de l'eau pour l'allure du diagramme de phase (P, T) (pente de la courbe de fusion de pente négative, à la différence de la plupart des autres corps purs).

notion de pression de vapeur saturante : prédire si un système sera monophasé ou diphasé en fonction de la valeur de P et de T, par simple lecture du diagramme de phase. Si $P(T) < P_{sat}(T)$: phénomène de vaporisation totale de la phase liquide (phase de vapeur sèche) , si $P(T) = P_{sat}(T)$: équilibre diphasé vapeur-liquide. Si $P(T) > P_{sat}(T)$: phase liquide seule.

Cas de l'équilibre liquide-vapeur, diagramme de Clapeyron (P,v) :

- savoir tracer qualitativement sur le diagramme de Clapeyron une isotherme d'Andrews (point de rosée, point d'ébullition, plateau de liquéfaction) , savoir placer les différentes phases.
- savoir que tracer plusieurs isothermes d'andrews permet de faire apparaître la courbe de saturation constituée de la courbe de rosée et de la courbe d'ébullition, savoir placer les différentes phases.
- savoir interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir des isothermes d'Andrews .
- théorème des moments, application au stockage des fluides
- équilibre liquide-vapeur en présence d'une atmosphère inerte (notion de pression partielle), taux d'hygrométrie H de l'atmosphère, etc...

Bloc T2, cours 1/2 : échanges d'énergie, au cours d'une transformation, premier principe, bilans d'énergie basés sur ΔU

E : grandeur conservative ne variant que par échanges avec le milieu extérieur

W et Q : les deux modes de transfert d'énergie entre un système et le milieu extérieur.

1^{er} principe de la thermodynamique : $\Delta E = \Delta U + \Delta E_{p_{macro}} + \Delta E_{c_{macro}} = W + Q$

En PCSI, étude limitée aux systèmes pour lesquels $\Delta E_{p_{macro}} = 0$ donc $\Delta E = \Delta U + \Delta E_{c_{macro}} = W + Q$

si en plus le système est macroscopiquement au repos (valable la plupart du temps) : $\Delta E = \Delta U = W + Q$

Savoir que U est une variable d'état, additive et extensive donc la valeur de ΔU ne dépend que des EI et EF, pas du chemin suivi, à la différence de W et de Q.

Bien comprendre les notations différentes pour des calculs sur une transformation élémentaire :

- δW : transfert élémentaire d'énergie par travail d'une force
- δQ : transfert élémentaire d'énergie thermique
- dU : variation élémentaire d'énergie interne.

Attention aux différences de statut : U décrit le système dans un état donné ; W, Q, ΔU correspondent à l'évolution du système d'un état à un autre.

W comprendra le travail des forces de pression (quand le récipient possède une paroi mobile, telle un piston) et le travail des forces autres (exemple : force électrique quand le système possède une résistance chauffante).

Définition des transformations isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme, quasi-statique, adiabatique...

Connaître PAR CŒUR la formule $\delta W_p = -P_{ext}.dV$ avec P_{ext} la pression s'exerçant à la frontière extérieure résultant de toutes les actions extérieures pressantes (pression atmosphérique, poids de la paroi mobile, poids d'un objet posé sur la paroi mobile, force pressante exercée par un opérateur).

Détermination graphique du W_p à l'aide du diagramme de Clapeyron (P,V) ou de Watt (sur le diagramme de watt : $W = -A$ avec A : aire algébrique sous la courbe).

Cas des transformations cycliques : savoir que $\Delta U = 0$, différencier sur un diagramme de Watt/Clapeyron les cycles moteur (sens horaire, $W_{cycle} < 0$) et récepteur (sens trigo, $W_{cycle} > 0$).

Bloc T2, cours 2/2 : bilans d'énergie basés sur l'enthalpie

Connaître et utiliser la formule $H=U+PV$ et donc $\Delta H= \Delta U+\Delta(PV)$

Savoir que **H est une fonction d'état** : ΔH ne dépend que des caractéristiques des EI et EF (et non pas du chemin suivi pour aller de l'EI à l'EF), extensive, additive.

Notion de capacité thermique à pression constante :

Définition : énergie à fournir à un système pour augmenter la température de 1K à pression constante

Traduction mathématique : $dH=C_p.dT$ pour une transformation isobare (ou pour une transformation quelconque d'un GP ou d'une phase condensée idéale en raison de la 2de loi de Joule)

- Pour un système quelconque subissant une transformation isobare ou monobare avec équilibre mécanique à l'EI et l'EF ($P_i=P_f=P_{ext}$) : $\Delta H=\int C_p.dT= C_p.\Delta T$ (si C_p cst).
- Pour un système répondant à la seconde loi de Joule et subissant une transformation quelconque : $\Delta H=\int C_p.dT= C_p.\Delta T$ (si C_p cst).
-
- **Savoir que les GP et les phases condensées incompressibles et indilatables répondent à la seconde loi de Joule : H_m ne dépend que de T (et donc que H ne dépend que de T et de n) .**

coefficient de Laplace (aussi appelé coeff adiabatique) pour un gaz : $\gamma=C_p/C_v$

Cas d'une phase condensée idéale

$$C_p = C_v = C$$

$$\Delta H=\Delta U=C.\Delta T= nC_m.\Delta T=mc.\Delta T \text{ si } C \text{ constant sur l'intervalle de températures } \Delta T.$$

Retenir que $c_{eau \text{ liquide}} = 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Cas du GP :

Savoir démontrer et connaître par cœur la loi de Mayer : pour un GP , $C_p=C_v+nR$

Savoir retrouver à partir de la loi de Mayer que $C_v = nR/(\gamma-1)$ et que $C_p = \gamma nR/(\gamma-1)$

Savoir que pour un GPM : $C_v=3/2.nR$ et en déduire que $C_p= 5/2.nR$

Savoir que pour un GPD (pour les T usuelles) $C_v=5/2.nR$ et en déduire $C_p=7nR/2$

Donc pour un GPM : $\gamma=1,7$ et pour un GPD (pour les T usuelles) : $\gamma=1,4$

A retenir : le 1^{er} principe pour un système fermé, macroscopiquement au repos, s'écrit :

- dans le cas général : $\Delta U=Q + W = Q + W_p + W_{autres}$

- pour une transfo isochore : $\Delta U=Q + W_{autres}$

- pour une transfo soit « isobare » soit « monobare avec équilibre mécanique aux EI et EF: $\Delta H=Q+W_{autres}$

Applications à la calorimétrie :

Dans le calorimètre (enceinte calorifugée) : $\Delta H=0$ (voir méthode des mélanges).

Si le calorimètre contient une résistance chauffante (voir méthode électrique) : $\Delta H=W_{elec}=P.\Delta t$.

Notion de masse en eau du calorimètre.

Enthalpie massique de changement d'état (ou « enthalpie massique de transition de phase » ou « chaleur latente massique ») de la phase I vers la phase II :

$$\Delta h_{I \rightarrow II} (T_{chgt \text{ d'état}}) = \Delta H_{I \rightarrow II}/m = h_{II}(T_{chgt \text{ d'état}}) - h_I(T_{chgt \text{ d'état}}) = L_{I \rightarrow II}(T_{chgt \text{ d'état}})$$

Idée à retenir : lors d'une transformation réelle faisant intervenir des variations de température et des changements d'état, il faut penser à inventer une transformation fictive en plusieurs étapes afin de gérer indépendamment le changement d'état des variations de température.

Note pour les interrogateurs : les transformations incluant un changement d'état seront au programme de khôlle à partir de mercredi seulement.