

Correction de l'épreuve de physique II filière TSI

Concours CNC session 2019

EL FILALI SAID
LYDEX/BENQUERIR

L'AMMONIAC

Partie 1

L'ammoniac est une molécule polaire

1 Dipôle électrostatique

1.1- Les conditions de validité de l'expression de $V_p(M)$ sont :

- ▶ Le dipôle est rigide ($p = cte$).
- ▶ Le point M est très loin de l'origine O (l'approximation dipolaire).

Le potentiel ne dépend pas de φ puisque on'a invariance par rotation autour du vecteur moment dipolaire \vec{P} de l'angle φ .

1.2- La différence entre le potentiel d'un dipôle et d'une charge ponctuelle :

▶ $V(M)$ du dipôle dépend de r et θ par contre celui de la charge ponctuelle dépend uniquement de r .

- ▶ $V(M)$ du dipôle varie en $\frac{1}{r^2}$ par contre celui de la charge ponctuelle varie en $\frac{1}{r}$.

1.3- La relation entre le champ électrostatique $\vec{E}_p(M)$ et le potentiel $V_p(M)$ est :

$$\vec{E}_p(M) = -\overrightarrow{\text{grad}} V_p(M) \iff dV_p(M) = -\vec{E}_p(M) \cdot d\vec{OM}$$

1.4- Les composante du champ $\vec{E}_p(M)$:

$$\vec{E}_p(M) = -\overrightarrow{\text{grad}} V_p(M) \implies \begin{cases} E_r = -\frac{\partial V_p}{\partial r} = \frac{2P \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^3} \\ E_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial V_p}{\partial \theta} = \frac{P \sin \theta}{4\pi\epsilon_0 r^3} \\ E_\varphi = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V_p}{\partial \varphi} = 0 \end{cases}$$

Et donc

$$\beta = \frac{P}{4\pi\epsilon_0} (\text{V m}^2)$$

La composante E_φ est nulle puisque le plan $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$ est un plan de symétrie passant par le point M(et donc \vec{E}_p appartient à ce plan).

1.5-

Définition

Ligne de champ

On appelle ligne de champ des courbes telles que le champ $\vec{E}(M)$ y tangent en chaque point.

C'est à dire l'ensemble des points M tels que :

$$\vec{E}(M) \wedge \overrightarrow{dOM} = \vec{0}$$

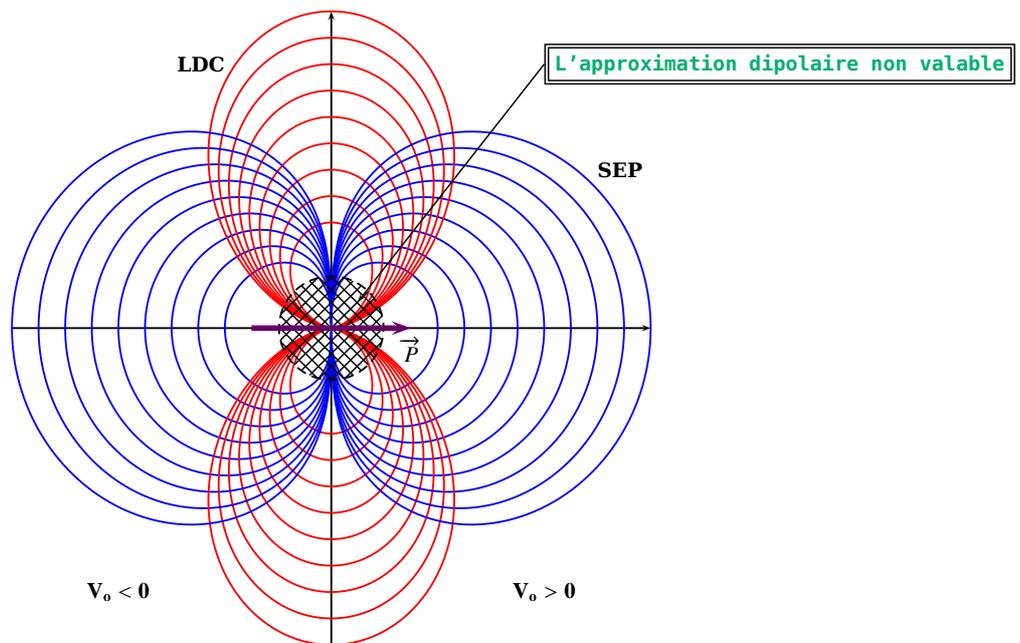
L'équation des lignes de champ :

$M \in LDC \implies \vec{E}(M) \wedge \overrightarrow{dOM} = \vec{0}$ ce qui donne

$$\frac{E_r}{dr} = \frac{1}{r} \frac{E_\theta}{d\theta} \implies \frac{dr}{r} = 2 \frac{\cos \theta}{\sin \theta} d\theta$$

Par intégration on obtient

$$r = r_0 \sin^2 \theta$$



Propriété

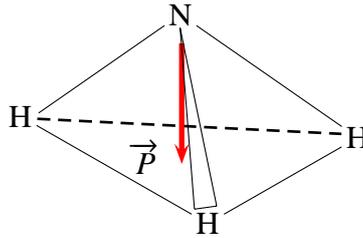
Les Lignes de champs sont perpendiculaires au surfaces équipotentiels.

2 Molécule polaire placée dans un champ uniforme

2.1- Dans la molécule NH_3 , le barycentre des charge négatives est l'ion N^{3-} par contre le barycentre des charges positives est situé dans le plan passant par les trois atomes d'hydrogène.

Comme les deux barycentres sont disjoints alors la molécule d'ammoniac est polaire.

2.2- Représentation :



Puisque dans ce modèle l'atome d'azote porte la charge $(-3e)$ alors les liaisons sont supposées ioniques, et par conséquent chaque atome d'hydrogène porte la charge $(+e)$, d'où le barycentre porte la charge $(q=+3e)$.

2.3- Le module du moment dipolaire : $P = qd \implies P = 3ed$.

La valeur de d :

$$d = \frac{P}{3e} \xrightarrow{\text{A.N}} d = 10,2 \text{ pm}$$

2.4- l'expression de l'énergie potentielle d'interaction de la molécule :

$$\mathcal{E}_p = -\vec{E}_{ext} \cdot \vec{P} \implies \mathcal{E}_p = -E_{ext} \cdot P \cos \alpha$$

Avec $\alpha = \widehat{(\vec{E}_{ext}, \vec{P})}$.

- ▶ Les valeurs extrêmes sont $\pm E_{ext}P$.
- ▶ L'énergie est minimale si $\alpha = 0$ les deux vecteurs sont colinéaires.

Partie 2

Production, stockage et utilisation de l'ammoniac

1 Diagramme d'état

1.1-

Définition

On appelle point triple, le point de coexistence des trois phases
Pour l'ammoniac : $P_T = 0,06 \text{ bar}$; $T_T = 195,2 \text{ K}$

Point triple

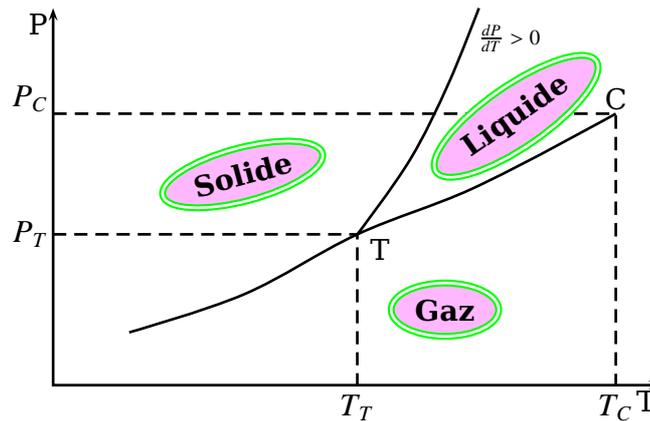
En effet la température T_T est déterminée par l'intersection des deux courbes ($P_s = P_v$) ce qui donne :

$$\ln P_s(T_T) = \ln P_v(T_T) \implies T_T = 195,2 \text{ K}$$

On remplace T_T par sa valeur on obtient :

$$P_T = 0,06 \text{ bar}$$

1.2- Tracé du diagramme de phase :



Point critique, Au delà de T_c on ne peut pas distinguer les phases liquide et vapeur ; on parle de l'état fluide.

1.3- L'expression du volume molaire :

► pour un gaz parfait :

$$v_g = \frac{V}{n} \implies v_g = \frac{RT}{P}$$

► Comparaison : L'eau comme exemple

► L'eau vapeur comme gaz parfait à P^0 et $100\text{ }^\circ\text{C}$: $v_{\text{eau},g} = 22,4\text{ L mol}^{-1}$

► L'eau liquide à P^0 et $100\text{ }^\circ\text{C}$: $v_{\text{eau},\ell} = 18 \cdot 10^{-3}\text{ L mol}^{-1}$

On justifie bien que :

$$v_{\text{eau},g} \gg v_{\text{eau},\ell}$$

1.4- L'expression de l'enthalpie standard **molaire** (à préciser dans l'énoncé) $\Delta_{c \rightarrow g} H^0(T)$:

On applique la formule de Clapeyron :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta_{c \rightarrow g} H^0}{T(v_g - v_c)} \implies \Delta_{c \rightarrow g} H^0 = T(v_g - v_c) \frac{dP}{dT}$$

Comme $v_g \gg v_c$ alors $v_g - v_c \simeq v_g \implies v_g = \frac{RT}{P}$; par conséquent :

$$\Delta_{c \rightarrow g} H^0 = RT^2 \frac{d \ln P}{dT}$$

1.5- Application numérique :

► pour la sublimation :

$$\frac{d \ln P_s}{dT} = \frac{3754}{T^2} \implies \Delta_{\text{sub}} H^0 = 31,21\text{ kJ mol}^{-1}$$

► pour la vaporisation :

$$\frac{d \ln P_v}{dT} = \frac{3063}{T^2} \implies \Delta_{\text{vap}} H^0 = 25,46\text{ kJ mol}^{-1}$$

► pour la sublimation :

Sachant que au voisinage du point triple on a :

$$\Delta_{sub}H^o + \Delta_{vap}H^o + \Delta_{fus}H^o = 0 \implies \Delta_{fus}H^o = -56,67 \text{ kJ mol}^{-1}$$

2 Production et stockage de l'ammoniac

2.1-

2.1.1- Les grandeurs thermodynamiques :

► w_u : le travail massique utile, représente le travail de toutes les forces sauf les forces pressantes.

► q : la chaleur massique échangée entre le système et le milieu extérieur.

2.1.2- Dans les conditions de la détente le premier principe en système ouvert s'écrit :

$$\Delta h = w_u + q$$

2.2- Détente isenthalpique.

2.2.1- Les conditions sont :

► $w_u = 0$: absence de toutes pièces mobiles dans la vanne.

► $q = 0$: la vanne est calorifugée(pas d'échange thermique avec le milieu extérieur).

2.2.2- Voir diagramme :

Pour le point A :

$$T_1 = 423K \quad ; \quad P_1 = 75 \text{ bars}$$

2.2.3- La température T_2 à la sortie du gaz.

Pour le point B : $h_A = h_B$; $P_2 = 25 \text{ bars}$ donc , d'après le diagramme :

$$T_2 = 100^\circ\text{C}$$

2.3-

2.3.1- L'emplacement du point C (Voir courbe)

La température du stockage T_s , d'après le diagramme :

$$T_2 = 58^\circ\text{C}$$

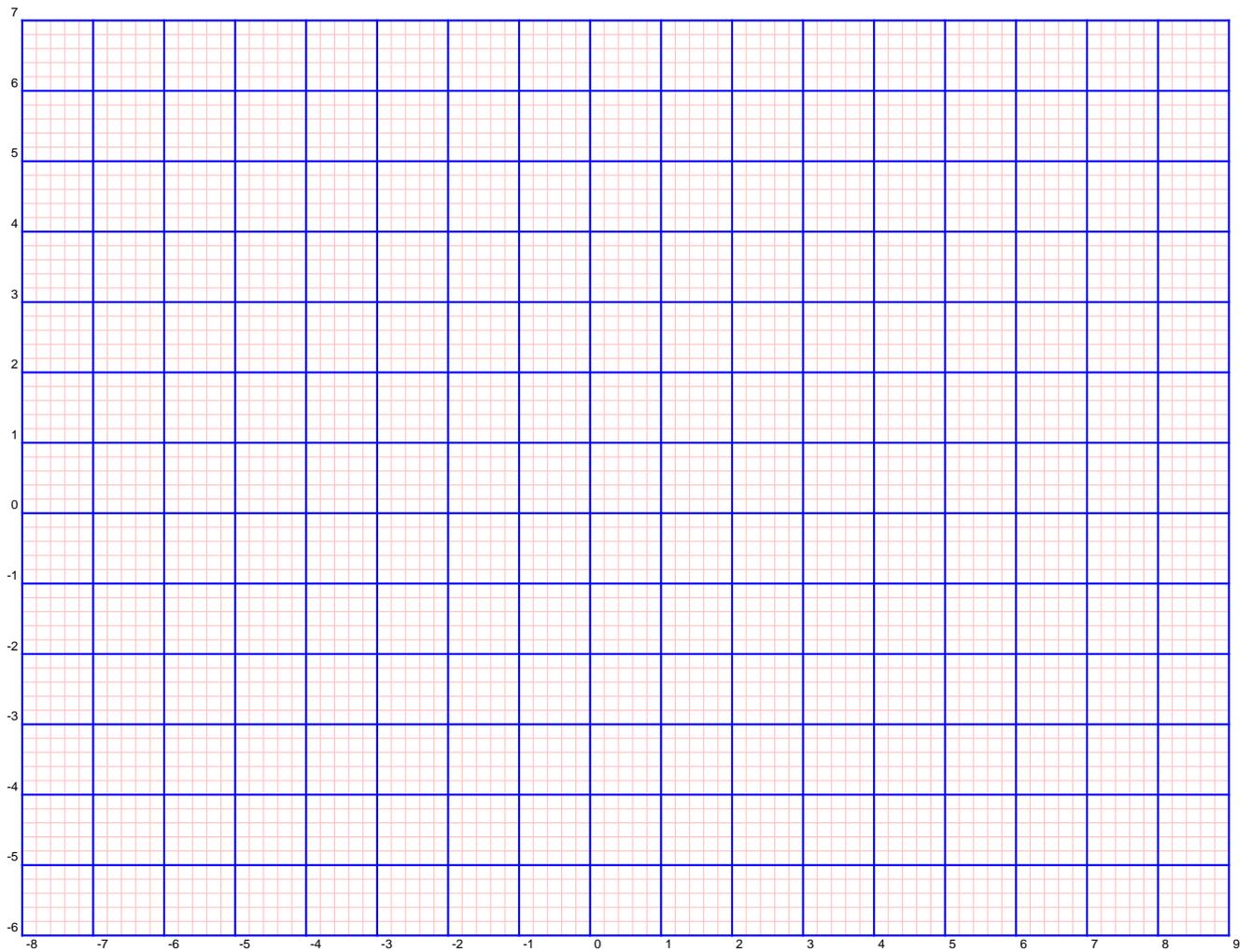
2.3.2- Calcul de la chaleur q cédée par kilogramme :

Absence de pièces mobiles, donc :

$$q = h_C - h_B$$

D'après le diagramme :

$$h_B = 1760 \text{ kJ kg}^{-1}; h_C = 660 \text{ kJ kg}^{-1} \implies q = -1100 \text{ kJ kg}^{-1}$$



2.4-**2.4.1-** Détermination de la relation :

* Puisque l'écoulement est isentropique alors $q = 0$.

* La conduite n'est pas inclinée donc $z = cte$.

* Absence de pièce mobile donc $w_u = 0$.

Conséquence : Dans la conduite, le premier principe s'écrit :

$$h(x) - h_o = \frac{1}{2}(c_o^2 - c^2(x))$$

2.4.2- L'expression de Δh en fonction de $T(x)$:

Le gaz est parfait donc :

$$h(x) - h_o = c_p(T(x) - T_o)$$

Avec c_p la capacité massique à pression constante de l'ammoniac.

2.4.3- Relation de laplace :

$$\text{on a : } dH = TdS + VdP = C_p dT \implies dS = C_p \frac{dT}{T} - nR \frac{dP}{P}$$

Comme : $C_p = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$ alors :

$$dS = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \frac{dT}{T} - nR \frac{dP}{P} = 0$$

par intégration on obtient :

$$\gamma \frac{dT}{T} + (1 - \gamma) \frac{dP}{P} = 0 \implies T^\gamma P^{1-\gamma} = cte$$

2.4.4- L'expression de $c(x)$:

$$\text{On a : } h(x) - h_o = \frac{1}{2}(c_o^2 - c^2(x)) \implies c(x) = \sqrt{2(h_o - h(x))}$$

$$\text{Comme : } h(x) - h_o = c_p(T(x) - T_o) \text{ et } C_p = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \implies c_p = \frac{R\gamma}{M(\gamma - 1)} \text{ donc :}$$

$$c(x) = \sqrt{\frac{2R\gamma}{M(\gamma - 1)}(T_o - T(x))}$$

Et puisque :

$$T = T_o \left(\frac{P_o}{P}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \implies T = T_o \theta^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Il en résulte que :

$$c(x) = \sqrt{\frac{2RT_o\gamma}{M(\gamma - 1)}[1 - \theta^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}]}$$

2.4.5- Expression de la relation entre $D_m, \rho(x), c(x)$ et $S(x)$:

$$\text{On a : } D_m = \frac{dm}{dt} \implies D_m = \rho(x)S(x) \frac{dx}{dt}$$

et comme $c(x) = \frac{dx}{dt}$ alors :

$$D_m = \rho(x)S(x)c(x)$$

2.4.6- Expression de $\rho(x)$ en fonction de $T(x)$ et $P(x)$:

Le gaz est parfait donc :

$$\rho(x) = \frac{MP(x)}{RT(x)}$$

2.4.7- Montrons l'expression du débit :

On remplace chaque termes par son expression on obtient :

$$D_m = \rho(x)S(x)c(x) \implies D_m = S * \frac{MP(x)}{RT(x)} * \sqrt{\frac{2RT_o\gamma}{M(\gamma-1)}[1 - \theta^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}]}$$

On remarque que :

$$\frac{P(x)}{T(x)} = \frac{P_o}{T_o}\theta^{\frac{1}{\gamma}}$$

Ce qui permet d'écrire :

$$D_m = S \left(P_o \sqrt{\frac{2\gamma M}{(\gamma-1)RT_o}} \right) \theta^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \theta^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

Par conséquent :

$$k_1 = P_o \sqrt{\frac{2\gamma M}{(\gamma-1)RT_o}}$$

2.4.8- L'expression de P_c :

En régime permanent on a : $D_m = cte$ donc

2.5-

2.5.1- Les volumes massiques à 293 K :

► v_ℓ volume massique de la phase liquide :

$$v_\ell = \frac{1}{\rho_\ell} \xrightarrow{\text{A.N}} v_\ell = 1,39 \text{ L kg}^{-1}$$

► v_g volume massique de la phase gazeuse :

$$v_g = \frac{RT}{MP_s} \xrightarrow{\text{A.N}} v_g = 166,6 \text{ L kg}^{-1}$$

2.5.2-

2.5.3-

2.5.4-

2.5.5-

2.5.6-

2.5.7-

3 Application : étude d'un système réfrigérant de l'ammoniac

3.1-

3.2-

3.3-

3.4-

3.5-

3.6-

3.7- L'efficacité de la machine :

$$e =$$