

Devoir surveillé de Physique N° 02 (Durée 2h)

Partie A. Thermodynamique : Production de diazote liquide

On s'intéresse dans ce problème à évaluer l'énergie dépensée pour produire une masse de 1kg du diazote liquide à partir du diazote gazeux pris dans les conditions ambiantes à la pression $p_1=1$ bar et la température $T_1=290$ K. La figure 1 représente le schéma simplifié du procédé Linde-Hampson pour produire du diazote liquide. Ce procédé fonctionne en régime stationnaire et les variations d'énergie mécanique y sont négligeables.

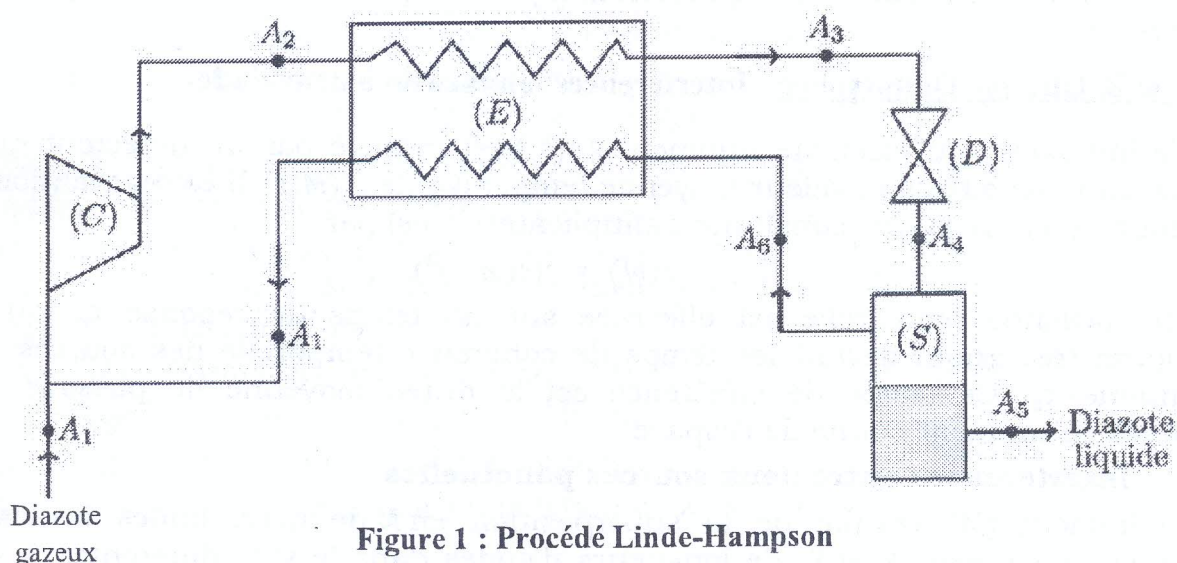


Figure 1 : Procédé Linde-Hampson

Le diazote évolue de manière réversible et isotherme de l'état A_1 ($p_1=1$ bar, $T_1=290$ K) jusqu'à l'état A_2 ($p_2=200$ bar, $T_2=290$ K) dans le compresseur (C). Puis il traverse dans une conduite un échangeur thermique calorifugé (E) où il évolue de manière isobare de l'état A_2 à l'état A_3 ($p_3=200$ bar, T_3) en échangeant de la chaleur avec du diazote qui circule dans une autre conduite en évoluant de l'état A_6 à l'état A_1 .

Le diazote traverse par la suite le détendeur (D) qui consiste à une simple conduite calorifugée comportant un étranglement, où il évolue de manière isenthalpique de l'état A_3 à l'état A_4 ($p_4=1$ bar, $T_4=78$ K, $h_4=h_3$) où il est diphasé avec un titre massique en vapeur x_4 .

Le séparateur (S) a pour seul effet de séparer les fractions x_4 (vapeur) et $1-x_4$ (liquide) du diazote qui y entre dans l'état A_4 ; on récupère aux deux sorties, la fraction $1-x_4$ (liquide) dans l'état A_5 ($p_5=1$ bar, $T_5=78$ K, $x_5=0$) et la fraction x_4 (vapeur) dans l'état A_6 ($p_6=1$ bar, $T_6=78$ K, $x_6=1$).

La fraction x_4 (vapeur) traverse ensuite l'échangeur thermique (E) où elle évolue de l'état A_6 à l'état A_1 en croisant l'autre circulation de diazote qui évolue de l'état A_2 à l'état A_3 .

Toutes les données concernant les différents états du diazote seront extraites du diagrammes (T,s) ci-joint (à rendre avec les feuilles de la composition) où la pression est donnée en bar, la température en kelvin, l'entropie massique en $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et l'enthalpie massique en kJ.kg^{-1} . À chaque utilisation du diagramme, il est demandé de justifier la réponse.

- 1- Placer les points représentatifs des états A_1 et A_2 sur le diagramme (T,s) et en extraire les valeurs de h_1 , h_2 , s_1 , s_2 . En écrivant les deux principes de la thermodynamique pour un système ouvert en évolution réversible et isotherme dans le compresseur (C), en déduire le travail w_u fourni par le compresseur et la

chaleur q fournie par le thermostat lors du transfert de 1 kg de diazote dans le compresseur. Le diazote est-il assimilable à un gaz parfait au cours de l'évolution A_1 vers A_2 ?

2- En considérant le système fermé (Σ^*) constitué du diazote contenu à l'instant t dans l'échangeur thermique (E) et des masses δm_2 et $\delta m_6 = x_4 \delta m_2$ qui vont y entrer à l'instant t et des masses δm_3 et δm_1 qui vont y quitter à l'instant $t+dt$, établir les bilans de masse et d'énergie de l'échangeur thermique (E) en régime stationnaire. En déduire la relation suivante : $h_3 - h_2 + x_4(h_1 - h_6) = 0$.

3- En faisant les bilans enthalpique et entropique du séparateurs (S), exprimer s_4 en fonction de s_5 , s_6 et x_4 et h_4 en fonction de h_5 , h_6 et x_4 . En utilisant la relation établie à la question 2/, en déduire que :

$$x_4 = \frac{h_2 - h_5}{h_1 - h_5}.$$

4- Placer les points représentatifs des états A_5 , A_6 , A_4 et A_3 sur le même diagramme (T, s) et en déduire les valeurs de h_5 et h_6 .

5- Déduire des questions précédentes les valeurs de x_4 , h_4 et s_4 . Placer l'état A_3 sur le diagramme et en déduire la valeur de la température T_3 , la comparer avec les valeurs de T_2 et T_6 et commenter. Comparer s_3 et s_4 ; que représente la quantité : $s_4 - s_3$, commenter.

6- Calculer la masse de diazote liquide recueillie par heure pour une machine dont la puissance est égale à $P = 100 \text{ kW}$.

Partie B. Optique Ondulatoire : Interférences lumineuses à deux ondes

L'éclairement (ou intensité lumineuse) $I(M)$ est mesuré par un détecteur quadratique placé en M sensible à la valeur moyenne temporelle de $s^2(M, t)$. Il est conventionnellement défini au point M (à une constante multiplicative près) par :

$$I(M) = \langle s^2(M, t) \rangle.$$

Cette moyenne temporelle est effectuée sur un temps de réponse τ_m du détecteur toujours très grand devant les temps de cohérence temporelle des sources supposées identiques τ_c . Ce temps de cohérence est la durée moyenne de passage des trains d'ondes en un point donné de l'espace.

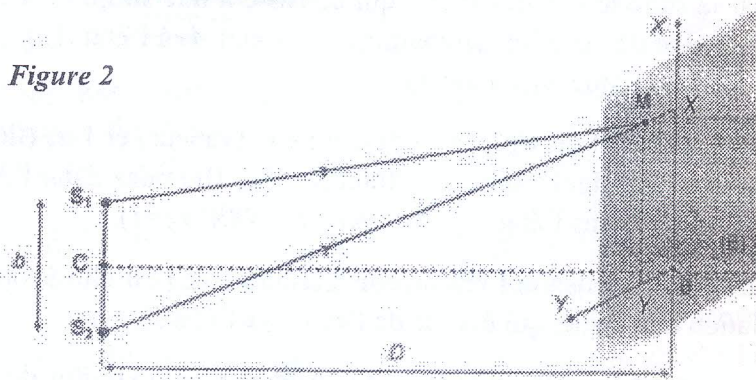
I. Interférences entre deux sources ponctuelles

L'éclairement $I(M)$ résulte de la superposition en M de deux ondes issues de deux sources ponctuelles S_1 et S_2 de longueurs d'ondes dans le vide différentes λ_1 et λ_2 . Elles sont notées respectivement :

$$s_1(M, t) = a_1 \cos[\omega_1 t - \phi_1(M, t)] \quad \text{et} \quad s_2(M, t) = a_2 \cos[\omega_2 t - \phi_2(M, t)]$$

L'écran l'observation (E) est placé à une distance D du plan des sources et de façon parallèle à la droite ($S_1 S_2$) (figure 2).

Figure 2



1. Exprimer l'éclairement $I(M)$ en fonction des intensités I_1 et I_2 de chacune des ondes, de leurs pulsations respectives ω_1 et ω_2 , et du déphasage $\phi_{12}(M, t) = \phi_1(M, t) - \phi_2(M, t)$ de l'onde issue de S_2 par rapport à l'onde issue de S_1 . Identifier le terme d'interférence.

2. À quelle condition, relative au terme d'interférence, observe-t-on des interférences lumineuses en M ? Les ondes sont alors dites cohérentes. Que vaut l'éclairement $I(M)$ pour des ondes incohérentes ? Qualifier cet état.

3. Est-il possible d'observer des interférences entre deux sources de pulsations différentes ? Justifier votre réponse.

4. Quel phénomène observe-t-on lorsque les deux sources admettent des longueurs d'onde très proches ?

L'éclairement $I(M)$ résulte maintenant de la superposition en M de deux ondes issues de deux sources ponctuelles S_1 et S_2 de même longueur d'onde λ . Elles sont notées respectivement :

$$s_1(M, t) = a_1 \cos[\omega t - \phi_1(M, t)] \quad \text{et} \quad s_2(M, t) = a_2 \cos[\omega t - \phi_2(M, t)]$$

5. Déterminer le déphasage $\varphi_{12}(M, t) = \phi_1(M, t) - \phi_2(M, t)$ en fonction de la longueur d'onde λ dans le vide, de la différence de chemin optique notée $\Delta_{12}(M) = (S_2M) - (S_1M)$, et des phases θ_1 et θ_2 des signaux émis aux points sources S_1 et S_2 . Pourquoi le déphasage $\varphi_{12}(M, t)$ ne dépend-il pas du temps ?

Le contraste (ou visibilité) du phénomène d'interférences est défini par :

$$C = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})}$$

Pour des ondes lumineuses parfaitement cohérentes, l'évolution de l'éclairement $I(M)$ est définie en fonction du déphasage $\varphi_{12}(M)$ par :

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_{12}(M)).$$

6. Comment réalise-t-on de telles sources ? Quel est l'éclairement $I(M)$ au point M en fonction de la différence de marche $\Delta_{12}(M) = (S_2M) - (S_1M)$, de λ_0 et Ψ ?

7. Démontrer l'expression approchée de la différence de marche $\Delta_{12}(M)$. En déduire l'éclairement $I(X)$ au point M de l'écran en fonction de X , λ_0 , D , I_1 et I_2 . Quelle est la forme des franges d'interférences observées ?

8. Définir l'ordre d'interférence $p(M)$ au point M . Préciser en le justifiant $p(M)$ lorsque :

- La frange d'interférence en M est brillante.
- La frange d'interférence en M est sombre.

9. Définir et exprimer l'interfrange en fonction de λ_0 , b et D .

L'écran (E) est maintenant placé perpendiculairement à la droite (S_1S_2) en B , supposé être le centre de l'écran (figure 3). Il est situé à une distance D du point milieu entre les deux sources. Un point du plan d'observation est défini par :

10. Démontrer l'expression approchée de la différence de marche :

11. Exprimer l'éclairement au point de l'écran en fonction de θ , b , λ_0 et I_0 . Puis, le reformuler en fonction de ρ , D , b , λ_0 et I_0 .

12. Justifier la forme des franges d'interférences obtenues. L'ordre d'interférence est-il croissant ou décroissant à partir du centre ? Justifier la réponse.

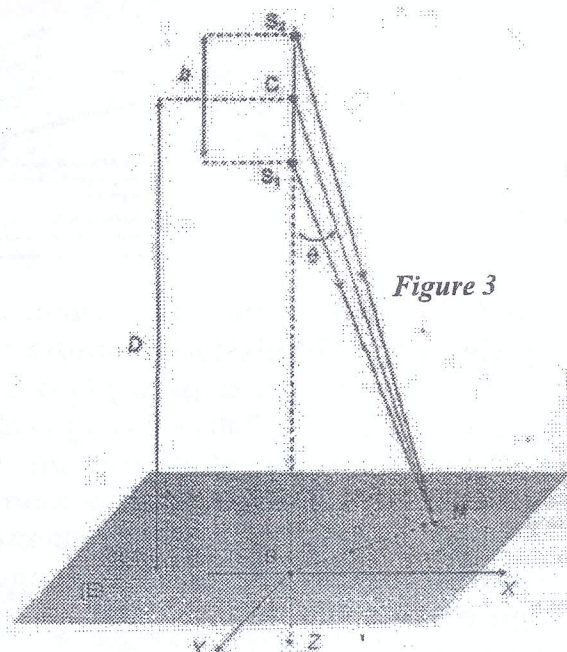


Figure 3

II. Application miroir de Lloyd

13. Ce dispositif (figure 4) est constitué d'un miroir plan éclairé par une source ponctuelle S . S'agit-il d'un dispositif à division du front d'onde ou à division d'amplitude ? Quelle est la conséquence sur les intensités I_1 et I_2 des faisceaux issus des sources secondaires S_1 et S_2 ?

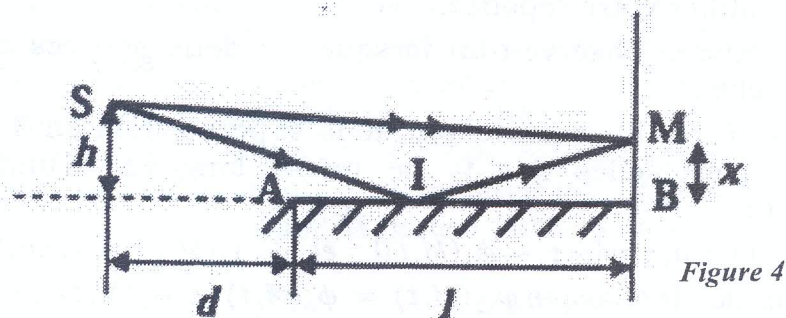


Figure 4

14. Positionner les sources secondaires S_1 et S_2 dans ce dispositif interférentiel et délimiter le champ d'interférences dans le plan de la figure 4.

Contrairement au rayon direct, le rayon réfléchi subit, lors de la réflexion, un déphasage supplémentaire de π .

15. Déterminer la différence de marche optique $\delta(M)$ et l'ordre d'interférence $p(M)$ au point M ($BM = x$) en fonction de λ, h, d, l et x .

16. En déduire l'expression de l'intensité lumineuse $I(x)$ en M . Quelle est la forme des franges obtenues ? Déterminer la position et la nature de la frange centrale.

17. Exprimer l'interfrange i et en déduire le nombre N de franges que l'on peut observer sur l'écran en fonction de λ, h, l et d .

Application numérique : Calculer i et N_b , nombre de franges brillantes, sachant que :

$$\lambda = 632,8 \text{ nm}, h = 1 \text{ mm}, l = 30 \text{ cm} \text{ et } d = 50 \text{ cm}.$$

18. Application : Un bateau en mer à 10 km de la côte veut capter une émission radio FM de fréquence 100 MHz. Le faisceau parallèle, provenant de l'émetteur situé sur la côte, se réfléchit en partie sur la mer et le dispositif s'identifie à celui du miroir de Lloyd (figure 5).

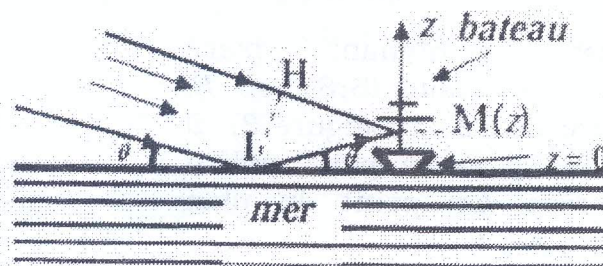


Figure 5

18.1. Lorsque la mer est calme, celle-ci se comporte comme un miroir parfait : pour quelle raison l'émission de radio est-elle mal perçue quand l'émetteur est situé à une hauteur de 10 m et la perception bien meilleure quand celui-ci se trouve sur une colline à une hauteur de 700 m ? On justifiera la réponse en calculant l'interfrange i' au niveau du bateau qui fait office d'écran. Ce calcul nécessite celui de la différence de marche géométrique $\Delta' = 2z \sin \theta$ (à démontrer), de la différence de marche optique δ' , de l'ordre d'interférence $p'(z)$ et éventuellement celui de l'intensité vibratoire $I'(z)$. L'interfrange i' s'exprimera en fonction de la longueur d'onde émettrice λ' et de l'angle θ indiqué sur la figure 4.

18.2. Par mer agitée, celle-ci se comporte comme un miroir imparfait : la vibration propagée par le faisceau parallèle est perpendiculaire au plan d'incidence avec un facteur de réflexion du miroir imparfait $R = 80\%$. Exprimer, en fonction de I'_1 (intensité du faisceau directe) I'_2 (intensité du faisceau réfléchi) puis en fonction de R , le contraste. Calculer C .

**SUITE**

Coller ici votre
code à barre

Diagramme Entropique du diazote (A rendre avec le cahier de composition)