REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée aux
Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2022

الجمهورية التونسية
وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
المناظرات الوطنية للدخول
إلى مراحل تكوين المهندسين
دورة 2022

Concours Technologie
Epreuve de Physique

Date : 06 Juin 2022	**Heure : 8 H00**	**Durée : 4 H**	**Nbre pages : 08**
Barème : Problème 1 : 14 pts ; Problème 2 : 06 pts			

- *L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.*
- *Tout résultat fourni dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par les candidats.*
- *Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.*
- *L'épreuve comporte deux problèmes indépendants.*

Données :

L'espace est rapporté à un référentiel galiléen $\Re(Oxyz)$ de base orthonormée directe $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$. On note $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_\varphi)$ la base des coordonnées sphériques.

- Le vide est caractérisé par sa permittivité électrique $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9}$ F.m^{-1} et sa perméabilité magnétique $\mu_0 = 4\pi\, 10^{-7}$ H.m^{-1}
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3\, 10^8$ m·s^{-1}
- $\cos p . \cos q = \frac{1}{2}\left(\cos(p+q) + \cos(p-q)\right)$
- $\cos a + \cos b = 2\cos\left(\frac{a+b}{2}\right).\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$
- $\int_0^{\pi} \sin^3\theta \, d\theta = \frac{4}{3}$
- On note j le nombre complexe j tel que $j^2 = -1$

Problème 1 :

Première Partie : Haut-parleur électrodynamique

Un haut-parleur électrodynamique, comporte un aimant permanent lié au châssis, créant dans l'entrefer un champ magnétique $\vec{B}$, radial et de norme constante au niveau de la bobine (**Figure 1**). Sa partie mobile, est formée d'une membrane solidaire à une bobine.

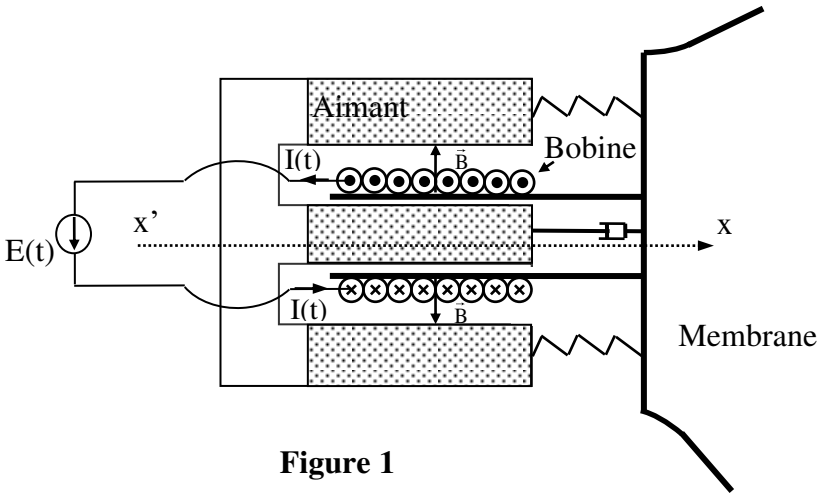


Figure 1

Dans un modèle simplifié, ce haut-parleur est représenté par des rails de Laplace horizontaux, espacés d'une distance ℓ, plongés dans un champ magnétique stationnaire et uniforme $\vec{B} = B\,\vec{u}_z$ (**Figure 2**).

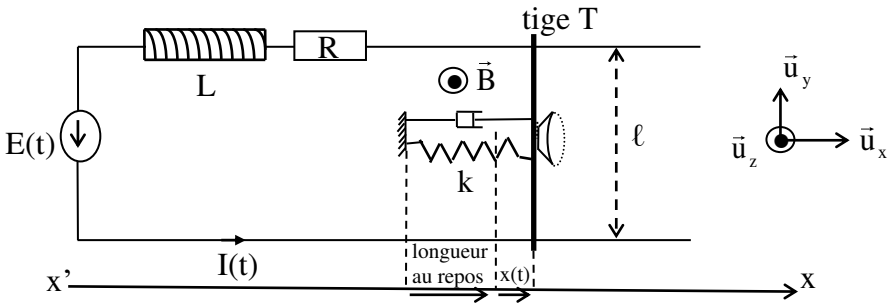


Figure 2

La partie mobile du haut-parleur possède une masse m_0, une résistance R et une inductance L. Ses petits mouvements de translation de vitesse $\vec{v} = v(t)\,\vec{u}_x = \dfrac{dx(t)}{dt}\vec{u}_x$ suivant la direction (x'x) sont représentés par ceux d'une tige T solidaire à une membrane (**figure 2**).
Cette partie mobile du haut-parleur est maintenue par une liaison élastique modélisée par un ressort unique de constante de raideur k. Elle est aussi soumise à une force d'amortissement visqueux $\vec{f}_v = -\alpha\,\vec{v}$, où α est un coefficient positif.

Une tension variable E(t) délivrée par un générateur à basses fréquences, permet de faire circuler un courant d'intensité I(t) dans la tige.

1. Rappeler brièvement le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique.

2. Déterminer l'expression de la résultante des forces de Laplace $\vec{F}_{Lap}$, exercée sur la partie mobile, en fonction de B, I(t) et ℓ.

3. En déduire l'équation mécanique (EM) de ce dispositif liant x(t) et ses dérivées à I(t).

4. Déterminer la force électromotrice $e_B(t)$ induite par le déplacement de la tige en fonction de B, v(t) et ℓ.

5. En déduire l'équation électrique (EE) du dispositif liant I(t) et sa dérivée première à v(t).

La tension délivrée par le générateur est maintenant une tension sinusoïdale s'écrivant en notation complexe $\underline{E}(t) = \underline{U}\, e^{j\omega t}$.

6. Déterminer les deux équations liant les amplitudes complexes $\underline{U}$, $\underline{I}$ et $\underline{V}$ des grandeurs respectives E(t), I(t) et v(t).

7. Sachant que l'impédance complexe $\underline{Z}$ du haut-parleur est définie par $\underline{U} = \underline{Z}\,\underline{I}$, déterminer son expression et montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme $\underline{Z} = \underline{Z}_e + \underline{Z}_m$. Les grandeurs $\underline{Z}_e$ et $\underline{Z}_m$ sont appelées respectivement impédance électrique ($\underline{Z}_e = R + jL\omega$) et impédance motionnelle du haut-parleur dont on donnera l'expression.

8. L'impédance $\underline{Z}_m$ est équivalente à une association en parallèle de trois éléments R_m, C_m et L_m. Exprimer ces éléments en fonction des données.

9. En déduire le schéma électrique équivalent du haut-parleur.

10. En utilisant l'équation (EE), établir le bilan de puissance électrique et interpréter ses différents termes.

11. En utilisant l'équation (EM), établir le bilan de puissance mécanique et interpréter ses différents termes.

12. En déduire une relation exprimant le bilan de puissance du dispositif.

13. Déterminer l'expression de la puissance moyenne $<\mathcal{P}_g>$ fournie par le générateur. Conclure.

14. En supposant que l'énergie mécanique moyenne est entièrement transformée en énergie acoustique, préciser le terme correspondant à la puissance utile.
En déduire l'expression du rendement η du haut-parleur.

Deuxième Partie : Modulation et démodulation d'amplitude

La modulation est apparue nécessaire pour transmettre un signal informatif (téléphonique, radio, …) d'un point à un autre (point à point), ou d'un point vers un ensemble de sites distants (multipoints) en adaptant ce signal au canal de transmission par une transposition en hautes fréquences.

15. Donner l'intervalle de fréquences correspondant au domaine audible.

16. Donner un ordre de grandeur de la taille d'une antenne demi-onde, nécessaire à la transmission du signal électrique obtenu par conversion de l'onde sonore.
Justifier alors la nécessité de la modulation.

Modulation d'amplitude

Le signal électrique e(t) (signal informatif de basse fréquence) à transmettre fait varier l'amplitude de l'onde porteuse p(t) (onde haute fréquence).
La tension modulée en amplitude s(t) est obtenue grâce à un multiplieur caractérisé par le coefficient de multiplication k_0 positif (**figure 3**).

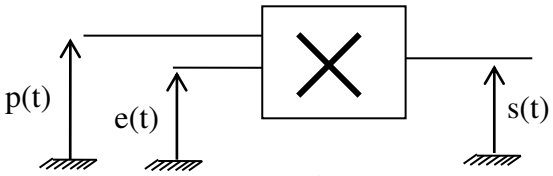


Figure 3

On s'intéresse au cas où le signal informatif est une tension alternative sinusoïdale s'écrivant sous la forme $e(t) = U_0\left(1 + m\cos\left(2\pi f\, t\right)\right)$, m est un réel positif appelé taux de modulation.

La porteuse est un signal sinusoïdal qui s'écrit : $p(t) = U_p \cos\left(2\pi f_p\, t\right)$, avec $f_p >> f$.

17. Montrer que le signal modulé s'écrit sous la forme :

$$s(t) = S_0\left[1 + m\cos\left(2\pi f\, t\right)\right]\cos(2\pi f_p\, t)$$

où S_0 est une constante à exprimer en fonction des données.

18. Exprimer le taux de modulation m en fonction des valeurs maximale s_{max} et minimale s_{min} de l'amplitude de $s(t)$.

19. Représenter l'allure du signal modulé s(t) dans les deux cas : $m < 1$ et $m > 1$.

20. Représenter le spectre de s(t).

Démodulation par détection d'enveloppe

Le signal modulé transmis par voie hertzienne est capté par l'antenne de la chaîne de réception. La démodulation est l'opération qui consiste à récupérer le signal d'origine e(t) qui contient l'information.
Un simple circuit électronique composé d'une diode idéale D, d'une capacité C et d'une résistance R_d, permet de récupérer l'information transmise contenue dans l'enveloppe (**figure 4**).

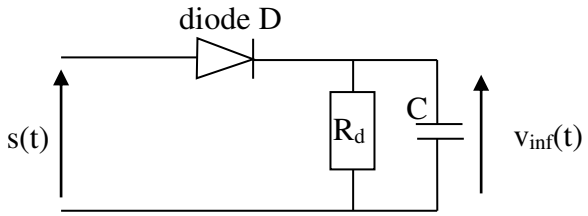


Figure 4

21. Expliquer qu'une détection d'enveloppe permet de restituer le signal informatif e(t).
Ceci est-il toujours possible ? Justifier votre réponse.

22. En faisant un raisonnement qualitatif selon l'état passant ou bloqué de la diode, établir une inégalité liant $\tau = R_d C$ et $T_p = \dfrac{1}{f_p}$ permettant d'obtenir en sortie la tension approchée $v_{inf}(t) \simeq V_0\left[1 + m\cos\left(2\pi f\, t\right)\right]$.

23. On suppose que la diode se trouve à l'état passant. Déterminer l'expression de l'intensité $i_D(t)$ traversant la diode en fonction de $v_{inf}(t)$ et $\frac{dv_{inf}(t)}{dt}$.

24. En déduire que l'intensité traversant la diode peut être mise sous la forme :

$$i_D(t) = \frac{V_0}{R_d}\left[1 + g\cos\left(2\pi f\, t + \phi\right)\right] \text{ avec } g > 0.$$

Expliciter g en fonction de m, τ et $\omega = 2\pi f$.

Exprimer $\tan\phi$ en fonction de τ et ω.

25. Lorsque la diode est passante, l'intensité du courant ne peut être que strictement positive. On se place dans le cas où $m < 1$.

Déduire que la constante de temps $\tau = R_d C$ du filtre doit être inférieure à une certaine valeur que l'on exprimera en fonction de m et ω.

26. En déduire la double inégalité vérifiée par τ. Commenter ce résultat lorsque m se rapproche de 1.

Démodulation par détection synchrone

Pour ce mode de démodulation, il est nécessaire de disposer d'un oscillateur local synchrone avec la porteuse délivrant le signal $p'(t) = U'_p \cos(2\pi f_p\, t)$.

La tension u(t) est obtenue à la sortie d'un multiplieur caractérisé par le coefficient de multiplication k_0 positif, en multipliant $p'(t)$ par le signal modulé $s(t)$ (**figure 5**).

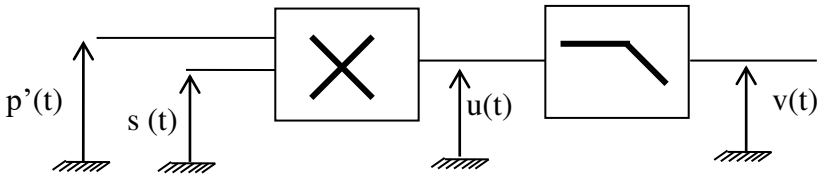


Figure 5

27. Donner l'expression développée de u(t) faisant apparaitre les fréquences présentes.

28. Représenter le spectre de ce signal.

29. Le signal u(t) est appliqué à l'entrée d'un filtre passe – bas.

29.1. Justifier la nature du filtre utilisé.

29.2. Donner l'expression du signal v(t) à la sortie du filtre.

30. Quel avantage présente la démodulation par détection synchrone par rapport à celle par détection d'enveloppe ?

31. Proposer un moyen simple permettant de récupérer un signal de la forme $e'(t) = U'_0 \cos\left(2\pi f\, t\right)$ à partir du signal v(t).

Troisième Partie : rayonnement d'une antenne demi-onde

Le signal modulé est utilisé pour alimenter une antenne demi-onde par le courant $i(z,t) = I_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z\right)\cos(\omega t)$, où I_0 est une constante et $\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$. Cette antenne, constituée d'un fil métallique rectiligne de longueur $\frac{\lambda}{2}$, est confondue avec l'axe (Oz) (**Figure 6**).

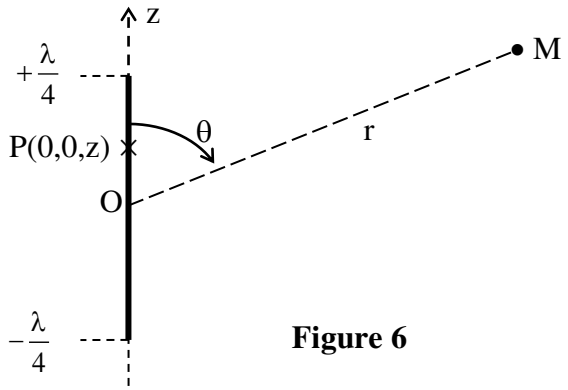


Figure 6

32. Représenter le courant $i(z, t = 0)$ en fonction de z. Commenter.

33. Le champ électrique de l'onde produite par l'antenne demi-onde dans la zone de rayonnement s'écrit :

$$\vec{E}(M,t) = -\frac{I_0}{2\,\pi\,\varepsilon_0\,c}\,\frac{1}{r}\,\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}\,\sin\left(\omega\,t - \frac{2\,\pi}{\lambda}\,r\right)\vec{u}_\theta\,.$$

Déterminer le champ magnétique de cette onde rayonnée.

34. En déduire la moyenne temporelle du vecteur de Poynting $\langle\vec{\Pi}\rangle$.

35. Déterminer la puissance électromagnétique moyenne P_m rayonnée par l'antenne demi-onde à travers une sphère de centre O et de rayon r.

On adoptera l'approximation $\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right) \simeq 0{,}957\sin^2\theta$.

36. La résistance de rayonnement R_r de l'antenne est définie par $P_m = \frac{1}{2}R_r\,I_0^2$. Déterminer l'expression de R_r et Calculer sa valeur.

37. L'antenne demi-onde d'une chaine de réception est connectée à un poste de télévision à l'aide d'un câble coaxial d'impédance caractéristique $Z_c = 75\,\Omega$. Commenter ce choix.

38. La source de l'onde rayonnée est caractérisée par sa directivité $D = 4\,\pi\,r^2\,\frac{\left\|\langle\vec{\Pi}\rangle_{max}\right\|}{P_m}$, où $\langle\vec{\Pi}\rangle_{max}$ est la moyenne temporelle du vecteur de Poynting dans la direction du maximum de rayonnement.

38.1. Calculer la directivité D_a de l'antenne demi-onde étudiée.

38.2. Déterminer la directivité D_p d'un dipôle oscillant placé au point O, de moment dipolaire $\vec{p} = p_0\cos(\omega\,t)\,\vec{u}_z$, rayonnant une onde électromagnétique de champ électrique $\vec{E} = -\frac{p_0\,\omega^2}{4\pi\varepsilon_0\,c^2}\frac{\sin\theta}{r}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}r\right)\vec{u}_\theta$. Commenter.

Problème 2 :

Préliminaires

On considère deux ondes lumineuses monochromatiques de pulsations respectives ω_1 et ω_2, d'amplitudes réelles respectives s_{01} et s_{02}, se propageant dans le vide et décrites, en un point M et à l'instant t, par les vibrations lumineuses suivantes :

$$s_1(M,t) = s_{01}\, cos\left(\omega_1 t - \varphi_1(M)\right) \text{ et } s_2(M,t) = s_{02}\, cos\left(\omega_2 t - \varphi_2(M)\right)$$

On rappelle que l'intensité lumineuse est donnée par la relation $I(M) = \left\langle s^2(M,t)\right\rangle$.

1. Rappeler les conditions nécessaires pour observer le phénomène d'interférence. Comment réaliser expérimentalement ces conditions ?

2. Dans les conditions d'interférence, déterminer la vibration lumineuse $s(M,t)$ résultante de la superposition de deux ondes monochromatiques en un point M à l'instant t.

3. En déduire que l'intensité lumineuse I(M) résultante en M s'écrit :

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\,\cos\varphi(M)$$

où I_1 et I_2 sont les intensités des vibrations prises séparément et $\varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M)$ le déphasage entre les deux ondes considérées.

Tracer la courbe donnant $I(M)$ en fonction de $\varphi(M)$.

4. Définir et donner l'expression du contraste C de la figure d'interférence. Dans quelle situation le contraste est-il maximal ?

Miroirs de Fresnel

Le dispositif interférentiel des miroirs de Fresnel est formé par deux miroirs plans identiques M_1 et M_2 présentant une arête commune Δ passant par O et faisant entre eux un angle α très faible. Il est éclairé par une source S ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde λ_0 dans le vide, placée à la distance $d = SO$ de Δ (**figure 7**).

On note S_1 et S_2 les images de S par rapport à M_1 et M_2 respectivement. On observe les interférences sur un écran perpendiculaire au plan médiateur de $[S_1S_2]$ et placé à la distance $L = OO'$ de Δ.

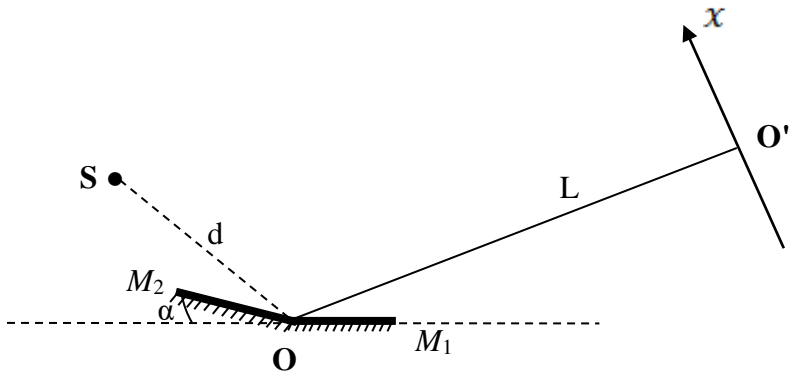


Figure 7 : Miroirs de Fresnel

5. Reproduire la figure 7 sur votre copie et représenter soigneusement le champ d'interférence.

6. S'agit-il d'un dispositif à division d'amplitude ou à division du front d'onde ? Justifier votre réponse.

7. Indiquer et représenter le dispositif interférentiel équivalent à ce système.

8. Etablir la distance $a = S_1S_2$ en fonction de α et d.

9. Etablir la différence de marche $\delta(M)$ entre les deux ondes se superposant en un point M de l'écran en fonction de α, d, x et L ; x étant l'abscisse du point M.

10. Pour $I_1 = I_2 = I_0$, déterminer l'intensité lumineuse $I(x)$ au point M.

11. Déterminer l'interfrange i et la largeur approximative h du champ d'interférence.
En déduire une estimation du nombre de franges brillantes N observées sur l'écran.
Calculer i, h et N.
On donne : $\lambda_0 = 500\,\text{nm}$, $d = 0{,}5\,\text{m}$, $L = 2{,}5\,\text{m}$ et $\alpha = 6.10^{-3}\,\text{rad}$.

12. Le dispositif est à présent éclairé par une lampe à vapeur de sodium qui émet essentiellement deux radiations de même intensité notée I_0 et de longueurs d'ondes très proches $\lambda_1 = 589{,}0\,\text{nm}$ et $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda = 589{,}6\,\text{nm}$ (doublet jaune) avec $\Delta\lambda << \lambda_1$.
On note $\lambda_m = \dfrac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ et on fera l'approximation $\lambda_1\lambda_2 \simeq \lambda_m^2$.

12.1. Montrer que l'intensité lumineuse résultante en un point M de l'écran peut se mettre sous la forme :

$$I(x) = 4I_0\left[1 + V(x)\cos\left(\frac{4\pi\alpha d}{\lambda_m(d+L)}x\right)\right]$$

où $V(x)$ est une fonction à expliciter.

12.2. Que représente $V(x)$?

12.3. Déterminer le contraste de la figure d'interférence.

12.4. Tracer le graphe de $I(x)$. Décrire le phénomène observé.

12.5. Déterminer la position de la première annulation du contraste. Conclure.

12.6. Proposer un dispositif interférentiel permettant de mesurer expérimentalement $\Delta\lambda$.

13. La source S émet maintenant de la lumière blanche comportant toutes les radiations de longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 800 nm.

13.1. Décrire les franges observées sur l'écran.

13.2. On place parallèlement aux franges, la fente d'entrée d'un spectroscope, supposée très fine, à une distance $x = 1{,}5\,\text{mm}$ de la frange centrale.
Décrire l'aspect du spectre obtenu.
Déterminer les longueurs d'onde des radiations éteintes de ce spectre.

Fin de l'Epreuve

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles de Formation d'Ingénieurs

Session 2022

الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المناظرات الوطنية للدخول

إلى مراحل تكوين المهندسين

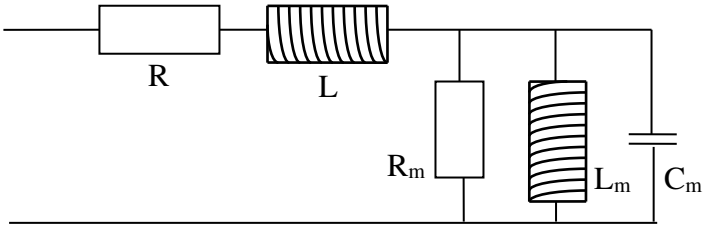
دورة 2022

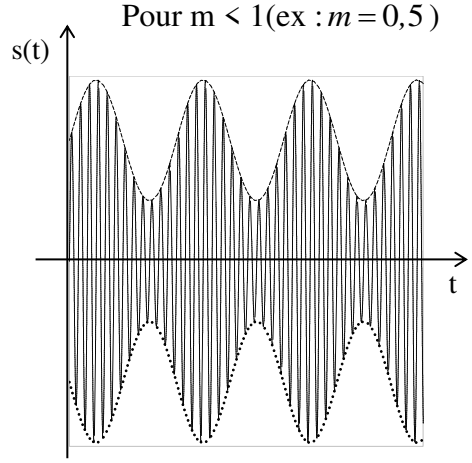
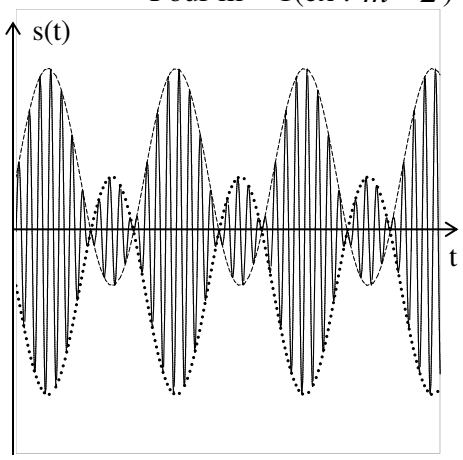
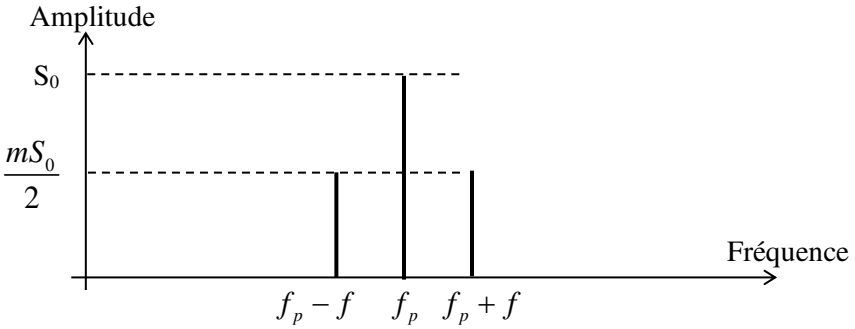
Concours Technologie

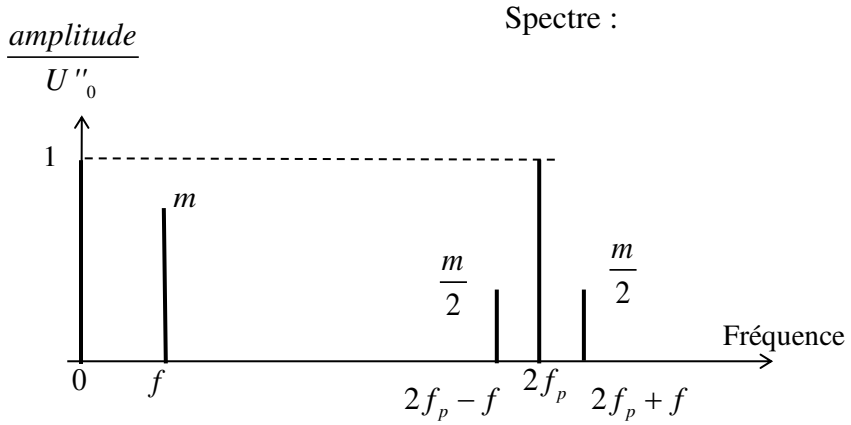
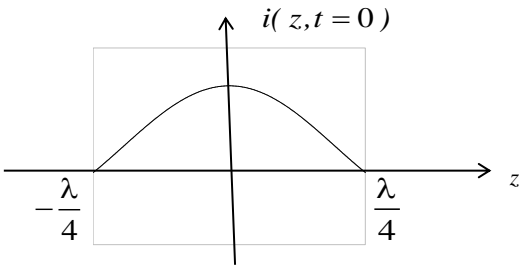
Corrigé de l'épreuve de Physique

Problème 1 (70 / 100) :

Question		Barème
1.	La bobine, parcourue par un courant I(t) et plongée dans un champ magnétique, est soumise à la force de Laplace. Au cours de son mouvement elle entraine avec elle la membrane dont elle est solidaire. Le mouvement de cette membrane dans l'air engendre de faibles variations de pression et génère ainsi une onde sonore. Le dispositif joue le rôle d'un haut parleur.	**1**
2.	$d\vec{F}_L = I(t)d\vec{\ell} \wedge B\vec{u}_z = I(t)Bd\ell\ \vec{u}_x \Rightarrow \vec{F}_L = B\ell I(t)\ \vec{u}_x$	**1,5**
3.	RFD projetée selon Ox : $m_0 \dfrac{d^2x}{dt^2} + \alpha \dfrac{dx}{dt} + kx = B\ell I(t)$ **(EM)**	**1,5**
4.	fem : $e_B = -\dfrac{d\phi_B}{dt} \Rightarrow e_B = -B\ell v(t)$; $v(t) = \dfrac{dx(t)}{dt}$	**1,5**
5.	Loi des mailles : $E(t) = L\dfrac{dI(t)}{dt} + RI(t) + B\ell v(t)$ **(EE)**	**1,5**
6.	A partir de (EM) : $\underline{V}\left[\alpha + j\left(m_0\,\omega - \dfrac{k}{\omega}\right)\right] = B\ell\underline{I}$ A partir de (EE) : $\underline{U} = (R + jL\omega)\underline{I} + B\ell\underline{V}$	**1** **+** **1**
7.	$\underline{U} = \underline{Z}\underline{I} \Rightarrow \underline{Z} = R + jL\omega + \dfrac{\ell^2B^2}{\alpha + j\left(m_0\,\omega - \dfrac{k}{\omega}\right)}$ $\underline{Z} = \underline{Z}_e + \underline{Z}_m$, avec $\underline{Z}_e = R + jL\omega$ et $\underline{Z}_m = \dfrac{\ell^2B^2}{\alpha + j\left(m_0\,\omega - \dfrac{k}{\omega}\right)}$	**2** **1**
8.	$\dfrac{1}{\underline{Z}_m} = \dfrac{\alpha}{\ell^2B^2} + j\dfrac{m_0\,\omega}{\ell^2B^2} + \dfrac{k}{j\ell^2B^2\omega} = \dfrac{1}{R_m} + jC_m\omega + \dfrac{1}{jL_m\omega}$ avec $R_m = \dfrac{\ell^2B^2}{\alpha}$; $C_m = \dfrac{m_0}{\ell^2B^2}$ et $L_m = \dfrac{\ell^2B^2}{k}$	**1** **0,5** **0,5** **0,5**

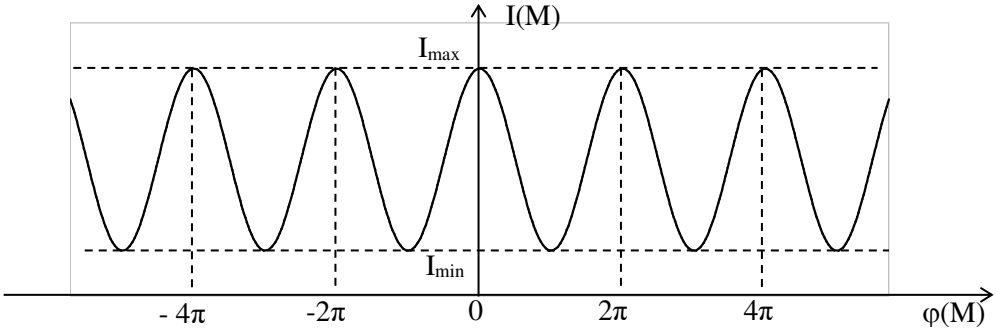
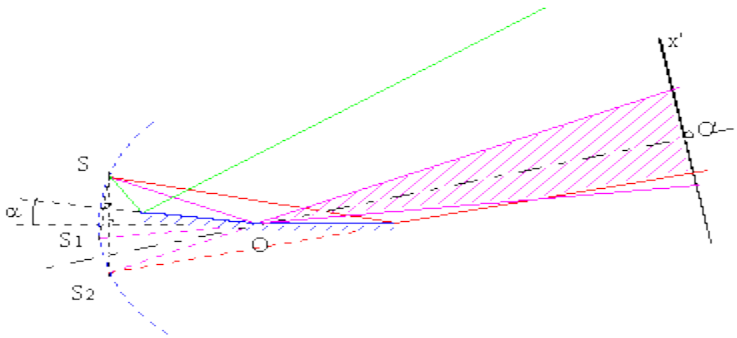
9.	Schéma électrique équivalent du haut-parleur :  	**1,5**
10.	(EE) $\Rightarrow$ $E(t)I(t) = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}LI^2(t)\right) + RI^2(t) + B\ell I(t)v(t)$ $E(t)I(t)$: puissance instantanée délivrée par le générateur $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}LI^2(t)\right) = \frac{d}{dt}\left(W_{mag}\right)$: puissance instantanée emmagasinée par la bobine $RI^2(t)$: puissance instantanée dissipée par effet Joule $B\ell I(t)v(t) = \vec{F}_L.\vec{v} = -e_B I(t)$: puissance instantanée de la force de Laplace	**1** **0,5** **0,5** **0,5** **0,5**
11.	(EM) $\Rightarrow$ $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}m_0v^2 + \frac{1}{2}kx^2\right) + \alpha v^2(t) = B\ell I(t)v(t)$ $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}m_0v^2\right) = \frac{dE_c}{dt}$: puissance cinétique instantanée $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}kx^2\right) = \frac{dE_{pe}}{dt}$: puissance élastique instantanée $\alpha v^2(t)$: puissance instantanée dissipée par la force d'amortissement fluide $B\ell I(t)v(t) = \vec{F}_L.\vec{v}$: puissance instantanée de la force de Laplace	**1** **0,5** **0,5** **0,5** **0,5**
12.	Bilan de puissance : $E(t)I(t) = \frac{dW_{mag}}{dt} + \frac{dE_c}{dt} + \frac{dE_{pe}}{dt} + RI^2(t) + \alpha v^2(t)$, qu'on peut écrire sous la forme $E(t)I(t) = \frac{dW_{hp}}{dt} + RI^2(t) + \alpha v^2(t)$, avec $W_{hp} = W_{mag} + E_c + E_{pe}$ l'énergie du haut-parleur.	**1,5**
13.	En régime sinusoïdal de période T on a $W_{hp}(t_0+T) = W_{hp}(t_0)$, d'où $<\mathcal{P}_g> = <E(t).I(t)> = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T}\left(\frac{dW_{hp}}{dt} + RI^2 + \alpha v^2\right)dt$ $\Rightarrow <\mathcal{P}_g> = R<I^2> + \alpha <v^2>$ La puissance électrique moyenne fournie par le générateur au haut parleur sert à compenser les pertes.	**2** **0,5**
14.	Puissance utile permettant de générer une onde sonore $\mathcal{P}_u = \alpha <v^2>$ Le rendement est $\eta = \frac{\mathcal{P}_u}{\langle \mathcal{P}_g \rangle} = \frac{\alpha\langle v^2\rangle}{\langle \mathcal{P}_g \rangle} = 1 - \frac{R\langle I^2\rangle}{\langle \mathcal{P}_g \rangle}$	**0,5** **1**
15.	Fréquences du domaine audible : $f \in [20Hz, 20kHz]$	**1**
16.	On a : $\frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f}$, ce qui donne $\frac{\lambda}{2} \in [7,5km, 7500km]$ Ces dimensions ne sont pas réalisables en pratique. Il est donc nécessaire de moduler ces signaux par transposition en hautes fréquences.	**1,5** **1**
17.	$s(t) = k_0 e(t) p(t) = S_0\left[1 + m\cos(2\pi ft)\right]\cos(2\pi f_p t)$, $S_0 = k_0 U_0 U_p$	**1+0,5**

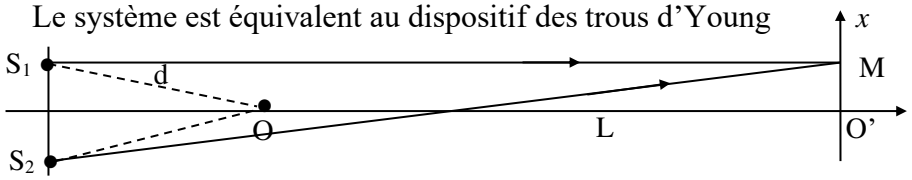
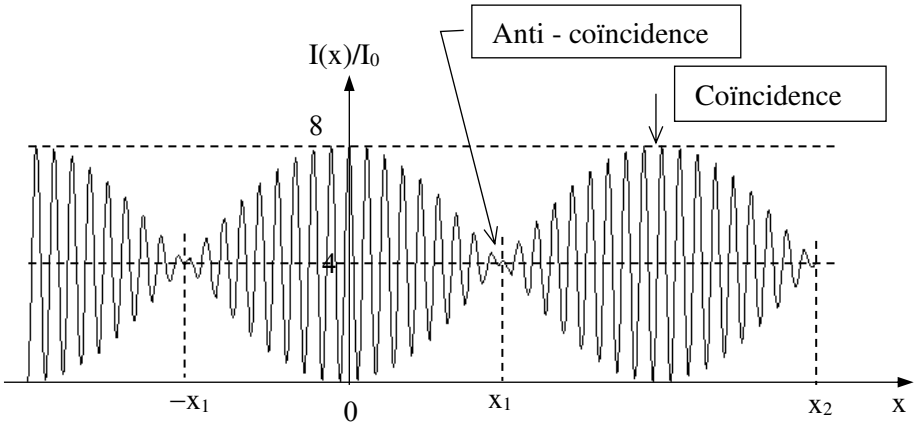
18.	$s_{max} = S_0\left(1+m\right)$, $s_{min} = S_0\left(1-m\right)$, soit $m = \dfrac{s_{max} - s_{min}}{s_{max} + s_{min}}$	**1,5**
19.	Pour m < 1(ex : $m = 0{,}5$)  Pour m > 1(ex : $m = 2$) 	**1 + 1**
20.	$s(t) = S_0\left[\cos(2\pi f_p\, t) + \dfrac{\mathrm{m}}{2}\cos\left(2\pi(f_p - f)\,\mathrm{t}\right) + \dfrac{\mathrm{m}}{2}\cos\left(2\pi(f_p + f)\,\mathrm{t}\right)\right]$ Spectre : 	**1,5** **1**
21.	L'amplitude du signal modulé varie au rythme de la basse fréquence du signal informatif e(t). La détection d'enveloppe permet de récupérer cette amplitude sous forme d'un signal proportionnel à e(t). Comme la diode, supposée idéale, bloque la partie négative du signal modulé, cette détection n'est valable que si $m < 1$.	**1** **0,5**
22.	A chaque alternance positive de s(t), la diode est passante et le condensateur se charge sous la tension $\mathrm{v}_{inf}(t) = s(t)$. Lorsque s(t) devient inférieuur à $\mathrm{v}_{\mathrm{inf}}(\mathrm{t})$, la diode se bloque et le condensateur se décharge dans la résistance avec une constante de temps $\tau = R_d C$ jusqu'à la crête suivante. La démodulation est correcte si la décharge est plus lente que l'évolution du signal porteur : $\tau = R_d C >> T_p$. Le signal approché obtenu est $\mathrm{v}_{\mathrm{inf}}(t) \simeq V_0\left[1 + \mathrm{m}\cos\left(2\pi f\,\mathrm{t}\right)\right]$	**1** **1**
23.	Diode passante : la loi des nœuds s'écrit $i_D = i_{R_d} + i_C = \dfrac{\mathrm{v}_{inf}(t)}{R_d} + C\dfrac{d\,\mathrm{v}_{inf}(t)}{dt}$	**1,5**
24.	En prenant $\mathrm{v}_{\mathrm{inf}}(t) \simeq V_0\left[1 + \mathrm{m}\cos\left(2\pi f\,\mathrm{t}\right)\right]$ on aura : $i_D = \dfrac{V_0}{R_d}\left[1 + m\cos\left(2\pi f\,\mathrm{t}\right) - m2\pi f\, R_d C\sin\left(2\pi f\,\mathrm{t}\right)\right]$	

	En développant la forme donnée et en identifiant, on trouve $i_D(t)=\frac{V_0}{R_d}\left[1+g\cos\left(2\pi f\,t+\phi\right)\right]$, avec $g=m\sqrt{1+\left(\omega\tau\right)^2}$ et $tan\,\phi=\omega\tau$	**1 + 1**
25.	$m<1$, $i_D>0\Rightarrow g<1$ soit $\tau<\frac{\sqrt{1-m^2}}{m\,\omega}=\frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi m}T$	**1,5**
26.	On déduit que : $T_p<<\tau<\frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi m}T$ Lorsque $m\to 1$, $\frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi m}T$ devient très faible et réduit pratiquement à néant le choix de $\tau=R_dC$	**1** **1**
27.	$u(t)=k_0p'(t)s(t)=U''_0[1+m\cos(2\pi f\,t)+\cos(4\pi f_p\,t)$ $+\frac{m}{2}\cos(2\pi(2f_p-f)t)+\frac{m}{2}\cos(2\pi(2f_p+f)t)]$, $U''_0=\frac{1}{2}k_0S_0U'_p$	**2**
28.	Spectre :  	**1,5**
29.1.	Le signal informatif est un signal basse fréquence $\Rightarrow$ il peut être récupéré par un filtre passe-bas de fréquence de coupure f_c vérifiant : $f<f_c<<2f_p-f$	**1**
29.2.	$\mathrm{v}(t)=V_0\left[1+\mathrm{m}\cos\left(2\pi f\,\mathrm{t}\right)\right]$, où $V_0=cte$	**1**
30.	Avantage : la démodulation est correcte pour un taux de modulation supérieur ou inférieur à 1	**1**
31.	Un filtre passe haut de fréquence de coupure $f'_c<f$, par exemple un circuit $\left(C',R'\right)$.	**1**
32.	 Il s'agit du mode fondamental du courant pouvant circuler dans l'antenne (ondes stationnaires de courant)	**1** **0,5**
33.	L'onde rayonnée est localement plane : $\vec{B}(\mathrm{M,t})=\frac{\vec{u}_r\wedge\vec{E}(\mathrm{M,t})}{c}=-\frac{I_0}{2\,\pi\,\varepsilon_0\,c^2}\,\frac{1}{r}\,\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}\sin\left(\omega\,t-\frac{2\,\pi}{\lambda}\,r\right)\vec{u}_\varphi$	**1,5**

34.	$\langle\vec{\Pi}\rangle = \left\langle \frac{\vec{E}\wedge\vec{B}}{\mu_0} \right\rangle = \frac{I_0^2}{8\,\pi^2\,\varepsilon_0\,c}\,\frac{1}{r^2}\,\frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin^2\theta}\,\vec{u}_r$	**2**
35.	$P_m = \oiint_{sphère} \langle\vec{\Pi}\rangle.d\vec{S} = \frac{I_0^2}{4\pi\varepsilon_0 c}(0{,}957)^2\int_0^{\pi} sin^3\,\theta\,d\theta = 0{,}305\frac{I_0^2}{\pi\varepsilon_0 c}$	**2**
36.	$P_m = \frac{1}{2}R_r\,I_0^2 \Rightarrow R_r = \frac{0{,}61}{\pi\varepsilon_0 c}$; Application numérique : $R_r = 73{,}2\,\Omega$	**1,5** **0,5**
37.	En affinant le modèle d'émission de l'antenne, on trouve une résistance de rayonnement $R_r \simeq 75\,\Omega = Z_c$. Cette valeur correspond aussi à l'impédance d'entrée du poste de télévision. Il s'agit de réaliser une adaptation d'impédance.	**1**
38.1.	$D_a = 4\,\pi\,r^2\,\frac{\left\lVert\langle\vec{\Pi}\rangle_{\max}\right\rVert}{P_m} = 1{,}64$	**1**
38.2.	Pour un dipôle oscillant on a : $\vec{E} = -\frac{p_0\,\omega^2}{4\,\pi\,\varepsilon_0\,c^2}\frac{\sin\theta}{r}\cos\left(\omega\left(t-\frac{r}{c}\right)\right)\vec{u}_\theta$ donc $\langle\vec{\Pi}\rangle = \frac{\langle E^2\rangle}{\mu_0\,c}\vec{u}_r = \frac{\omega^4\,p_0^2}{32\,\pi^2\,\varepsilon_0\,c^3}\frac{\sin^2\theta}{r^2}\vec{u}_r \Rightarrow \left\lVert\langle\vec{\Pi}\rangle_{\max}\right\rVert = \left\lVert\left\langle\vec{\Pi}(\theta=\frac{\pi}{2})\right\rangle\right\rVert = \frac{\omega^4\,p_0^2}{32\,\pi^2\,\varepsilon_0\,c^3}\frac{1}{r^2}$ et $P_m = \frac{\omega^4\,p_0^2}{32\,\pi^2\,\varepsilon_0\,c^3}\int_0^{\pi}\sin^3\theta\,d\theta\int_0^{2\pi}d\varphi = \frac{\omega^4\,p_0^2}{12\,\pi\,\varepsilon_0\,c^3} \Rightarrow$ $D_p = \frac{4\,\pi\,r^2\,\omega^4\,p_0^2}{32\,\pi^2\,\varepsilon_0\,c^3}\frac{1}{r^2}\frac{12\,\pi\,\varepsilon_0\,c^3}{\omega^4\,p_0^2} = \frac{3}{2} = 1{,}5$ On trouve que $D_a > D_p$: l'antenne demi-onde est plus directive que le dipôle oscillant.	**2** **0,5**

Problème 2 (30 / 100) :

1.	• Les deux sources doivent être synchrones $\omega_1 = \omega_2$. • Les deux sources doivent être mutuellement cohérentes càd que le déphasage entre les deux sources doit être constant au cours du temps en un point M. Pour réaliser expérimentalement ces conditions, on réalise deux sources secondaires à partir d'une même source primaire en utilisant un dispositif interférentiel et on veille à ce que la différence de marche δ n'excède pas la longueur typique de cohérence temporelle de la source.	**0,5** **0,5** **1**
2.	$s(M,t) = s_1(M,t) + s_2(M,t)$ $= s_{01}\cos(\omega t - \varphi_1(M)) + s_{02}\cos(\omega t - \varphi_2(M))$	**0,5**
3.	$s^2(M,t) = S_{01}^2\left(\cos\left(\omega t - \varphi_1(M)\right)\right)^2 + S_{02}^2\left(\cos\left(\omega t - \varphi_2(M)\right)\right)^2 +$ $2s_{01}s_{02}\cos\left(\omega t - \varphi_1(M)\right)\cos\left(\omega t - \varphi_2(M)\right)$ $\cos(\omega t - \varphi_1(M))\cos(\omega t - \varphi_2(M)) = \frac{1}{2}\left[\cos\left(2\omega t - (\varphi_1(M) + \varphi_2(M))\right)\right] + \cos\left((\varphi_2(M) - \varphi_1(M))\right)$ $I(M) = \langle s^2(M,t)\rangle = \frac{S_{01}^2}{2} + \frac{S_{02}^2}{2} + S_{01}S_{02}\cos\left((\varphi_2(M) - \varphi_1(M))\right)$ $I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\varphi(M)$ avec $\varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M)$  	**1** **1**
4.	Le contraste est défini par : $C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{(I_1 + I_2)}$ Le contraste est maximal pour $I_1 = I_2 = I_0 \Rightarrow C = 1$.	**0,5+0,5** **0,5**
5.	Champ d'interférence : la zone hachurée représente le champ d'interférence  	**1,5**
6.	Il s'agit d'un système à division du front d'onde. Les deux ondes qui interfèrent au point M sont issues de deux faisceaux différents provenant de la même source primaire.	**0,5+1**

7.	Le système est équivalent au dispositif des trous d'Young  S_1 et S_2 sont deux sources secondaires synchrones et mutuellement cohérentes.	**0,5** **0,5** **0,5**
8.	Par construction S, S_1 et S_2 sont sur un même cercle de centre O. $OS_1=OS_2=OS=d$. De plus, l'angle $\widehat{S_1SS_2} = \alpha$. Le théorème de l'angle au centre donne : $\widehat{S_1OS_2} = 2\alpha$. Ainsi, la distance a est donnée par : $\frac{a}{2} = d \tan \alpha$. Comme α est très faible, on peut écrire $a = 2\, d\, \alpha$	**1**
9.	$\delta(M) = \frac{a\,x}{L+d} = \frac{2\,\alpha\,d\,x}{L+d}$ (démonstration)	**1**
10.	$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\varphi(M)$ avec $\varphi(M) = \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} = \frac{2\,\pi\,\alpha\,d\,x}{\lambda_0(L+d)}$ $I(x) = 2I_0\left[1 + \cos\left(\frac{4\pi\,\alpha\,d\,x}{\lambda_0(d+L)}\right)\right]$	**1**
11.	$i = \frac{\lambda_0(d+L)}{2\,\alpha\,d}$; $h = 2\alpha L$; $N = 2E\left(\frac{h}{2i}\right) + 1$ AN: $i = 0.25\,mm$, $h = 3cm$; $N = 121$.	**0,5x6**
12.1.	$I_1(x) = 2I_0\left[1 + \cos\left(\frac{4\pi\,\alpha\,d\,x}{\lambda_1(d+L)}\right)\right]$ $I_2(x) = 2I_0\left[1 + \cos\left(\frac{4\pi\,\alpha\,d\,x}{\lambda_2(d+L)}\right)\right]$ Les deux radiations sont incohérentes entre elles => $I(x) = I_1(x) + I_2(x)$ $I(x) = 4I_0\left[1 + \cos\left(\frac{\pi\,\delta\,\Delta\lambda}{\lambda_m^2}\right)\cos\left(\frac{2\,\pi\,\delta}{\lambda_m}\right)\right]$. C'est de la forme : $I(x) = 4I_0\left[1 + V(x)\cos\left(\frac{4\,\pi\,\alpha\,d\,x}{\lambda_m(d+L)}\right)\right]$ avec $V(x) = \cos\left(\frac{\pi\,\delta\,\Delta\lambda}{\lambda_m^2}\right)$.	**0,5** **0,5** **0,5** **1** **0,5**
12.2.	$V(x)$ représente le facteur de visibilité.	**1**
12.3.	$I_{max} = 4I_0\,(1 + \lvert V(x)\rvert)$ et $I_{min} = 4I_0\,(1 - \lvert V(x)\rvert)$ $\Rightarrow$ $C = \lvert V(x)\rvert$	**1**
12.4.	On observe des oscillations périodiques entre une coïncidence et une anti-coïncidence : c'est le phénomène de battement.  On observe un brouillage périodique.	**0,5** **1** **0,5**

12.5.	$C = \left\lvert \cos\left(\frac{\pi\,\delta\,\Delta\lambda}{\lambda_m^2}\right)\right\rvert = 0 \Rightarrow x_1 = \frac{(d+L)}{4\,\alpha\,d\,\Delta\lambda}\lambda_m^2$ $x_1 = 14.47\ cm$ $x_1 \gg h/2 \Rightarrow$ On ne peut pas observer le phénomène de battement.	**0,5+0,5** **0,5+0,5**
12.6.	En pratique, on peut déterminer $\Delta\lambda$ en utilisant le Michelson, Fabry-Pérot.	**1**
13.1.	$\forall\ \lambda$, on a en $x = 0$, une frange brillante blanche. Pour x proche de zéro, on observe des franges irisées. Plus loin, on a un brouillage de la figure d'interférence. C'est le blanc d'ordre supérieur.	**1**
13.2.	Le spectre est cannelé $\Rightarrow$ Il y a des radiations absentes (les cannelures). Une radiation éteinte $\delta = p\lambda$ avec p demi-entier. $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 \Rightarrow \frac{2\,\alpha\,d\,x}{\lambda_2(L+d)} \leq p \leq \frac{2\,\alpha\,d\,x}{\lambda_1(L+d)} \Rightarrow 3.75 \leq p \leq 7.5$, soit $p_1 = 4.5 => \lambda_{p_1} = 666.6\ nm$ $p_2 = 5.5 => \lambda_{p_2} = 545.4\ nm$ $p_3 = 6.5 => \lambda_{p_3} = 461.5\ nm$ $p_4 = 7.5 => \lambda_{p_4} = 400\ nm$	**0,5** **0,5** **0,5** **0,5** **0,5**