

Physique A

(4 heures) (14h-18h)

*Les calculatrices ne sont pas autorisées
ni les téléphones cellulaires !!*

Exercice A : Interférences atomiques et moléculaires

Dualité onde-corpuscule et onde de matière

En octobre 1874, le jeune Max Planck s'inscrit à l'université de Munich pour y étudier les sciences exactes, il a alors 16 ans. Quelques années plus tard, Max Planck reçoit le prix Nobel de physique en 1918 « pour avoir fondé la mécanique quantique ».

Dans sa thèse de doctorat soutenue en 1924, Louis de Broglie postulait que toute particule de quantité de mouvement p avait des propriétés ondulatoires et que l'on pouvait lui associer une longueur d'onde donnée par la relation qui porte son nom

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

avec h la constante de Planck.

Depuis, plus de 120 prix Nobel ont été attribués pour des découvertes relatives au monde de la physique quantique ; ceci souligne la vitalité et l'importance de ce domaine de la physique.

Les phénomènes quantiques qui apparaissent à l'échelle microscopique sont parfois difficiles à appréhender car ils ne correspondent pas à notre intuition naturelle fondée sur notre expérience du monde macroscopique. À la base de leur compréhension se trouve l'idée de dualité onde-particule et la notion d'onde de matière.

L'objet de ce problème est d'étudier quelques expériences qui ont mis en évidence ces deux notions :

- interférences d'atomes de néon froid en 1992 ;
- interférences de molécules de fullerènes (molécules composées de 60 atomes de carbone) en 2003.

Partie I - Interférences d'atomes de néon froid

En 1992, une équipe japonaise a réalisé une expérience d'interférences atomiques. Le dispositif expérimental est indiqué sur le **document 4**, annexe documentaire, page 4.

Q17. Comment se manifestent sur l'écran d'observation les caractères corpusculaire d'une part et ondulatoire d'autre part des atomes de néon ?

Q18.

- Calculer à partir des données de l'**annexe**, page 11, la masse m^* d'un atome de néon.
- Déterminer l'expression de la vitesse v_f avec laquelle les atomes de néon atteignent les fentes de Young (on supposera leur vitesse initiale négligeable).
Application numérique.

- c) En déduire la valeur de la longueur d'onde de de Broglie λ associée aux atomes de néon au niveau des fentes de Young. Pourquoi les atomes de néon doivent-ils être traités comme un objet quantique ?
- d) Pourquoi est-il plus difficile de réaliser une telle expérience avec des atomes plutôt qu'avec des électrons ? Pourquoi utilise-t-on des atomes « froids » ?

Q19. Estimer la largeur de la tache de diffraction pour un atome diffracté par une des fentes et comparer à la résolution du MPC (**document 4**).

Sur la **figure 6**, S_1 et S_2 représentent les positions des deux fentes dans le plan d'étude perpendiculaire aux fentes supposées infiniment fines. Soit un point M du plan d'observation repéré par son abscisse x .

L'écran est placé loin des fentes à une distance D grande devant a et $|x|$.

On s'intéresse à l'interférence en M des ondes de matière ayant traversé chacune des deux fentes.

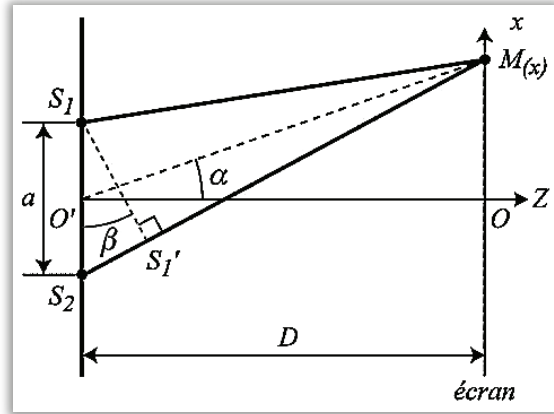


Figure 6 – Schéma simplifié des chemins issus des fentes

Q20.

- a) Montrer que $S_1M \simeq D + \frac{(a - 2x)^2}{8D}$ et $S_2M \simeq D + \frac{(a + 2x)^2}{8D}$ à l'ordre le plus bas non nul en $\frac{2x \pm a}{2D}$.

- b) On suppose que la longueur d'onde de de Broglie λ des atomes de néon reste constante après la traversée des fentes de Young. Déterminer en fonction de λ , D , a et x le déphasage $\Delta\varphi$ entre les ondes interférant au point M .

- c) Déterminer l'expression de l'interfrange théorique i_{th} .

Application numérique.

- d) Estimer la valeur i_{exp} de l'interfrange obtenu expérimentalement à l'aide du **document 5**, annexe documentaire, page 5. Commenter.

Q21. En réalité, le calcul de l'interfrange est beaucoup plus complexe dans les conditions expérimentales citées et une étude plus approfondie donne l'expression suivante pour la même interfrange, notée i'_{th} :

$$i'_{th} = \frac{h}{m^* v_f} \frac{D}{a} 2 \frac{\sqrt{1 + \alpha} - 1}{\alpha} \text{ avec } \alpha = \frac{2gD}{v_f^2}.$$

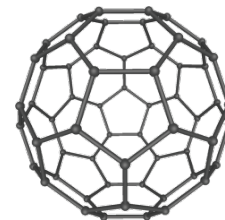
- a) Quelle est la dimension du coefficient α ? Quelles grandeurs compare ce coefficient ?

- b) Calculer i'_{th} et comparer au résultat expérimental.

- c) Montrer que si $\alpha \ll 1$, on retrouve l'expression de la **question Q20.c)**. Commenter une telle approximation et indiquer la raison de la correction de l'interfrange.

Partie III - Interférences de molécules de fullerène

En 1999, des chercheurs de l'Université de Vienne montrent que la dualité onde-particule s'applique également à des macromolécules telles que le fullerène C_{60} . La description est donnée dans le **document 8**, annexe documentaire, page 8.



Le réseau utilisé est un réseau de fentes fines dont les caractéristiques sont données par la **figure 10, document 8**. On désire retrouver tout d'abord la condition d'interférences constructives, aussi appelée formule des réseaux.

Soit le cas général de rayons lumineux arrivant depuis la source S avec une incidence θ_0 sur le réseau et émergeant avec un angle θ vers un point M de l'écran repéré par son abscisse x . On suppose que le point M est infiniment éloigné et on se place dans un milieu d'indice $n = 1$.

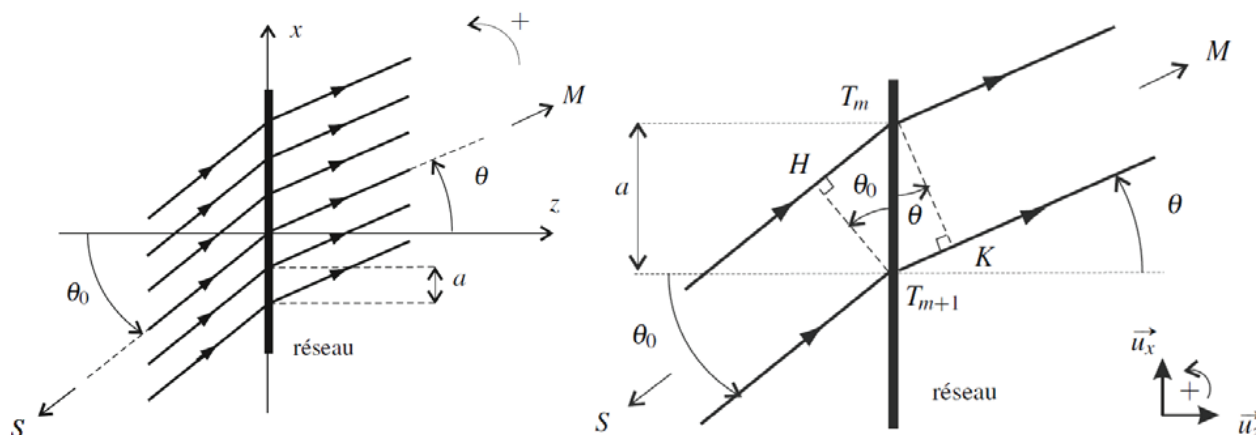


Figure 13 - Diffraction par un réseau (gauche) et calcul de la différence de marche (droite)

- Q30.** À l'aide de la **figure 13**, déterminer la différence de marche $\delta = (ST_{m+1}M) - (ST_mM)$ entre deux ondes passant par deux fentes consécutives T_m et T_{m+1} . En déduire la formule fondamentale des réseaux

$$\sin \theta_k - \sin \theta_0 = k \frac{\lambda}{a}$$

avec k un entier relatif appelé ordre de diffraction.

Pour une onde monochromatique, la représentation de l'intensité relative en fonction de la différence de phase φ entre deux rayons d'un réseau de N fentes est la suivante :

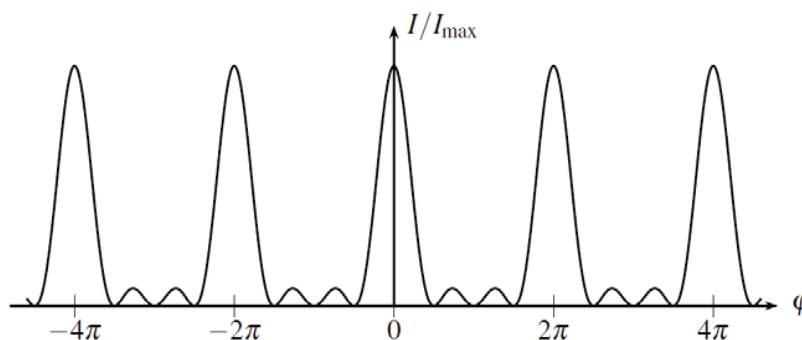


Figure 14 - Représentation de l'intensité relative pour $N = 4$

- Q31.** Comment évolue cette figure lorsque le nombre de fentes N augmente ?

- Q32.** Montrer qu'en incidence normale, la distance entre deux pics adjacents d'intensité maximale est donnée par

$$\Delta x = \frac{\lambda D}{a}$$

avec x l'abscisse du détecteur (on supposera $x \ll D$).

- Q33.** Déterminer la masse des molécules de fullerène puis la longueur d'onde moyenne de de Broglie λ_m d'une molécule à l'aide de la **figure 11, document 8**.

- Q34.** En déduire la valeur de Δx et comparer aux résultats de l'expérience.

La distribution de vitesses donnée en **figure 11** nous incite à modéliser la source S de molécules C_{60} comme une source d'ondes de de Broglie à spectre étendue :

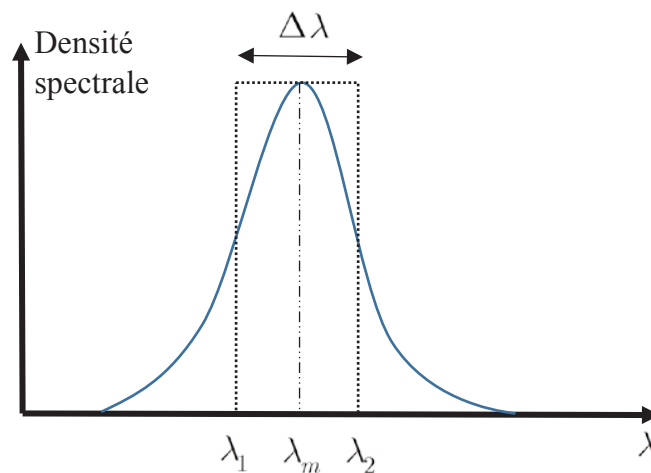


Figure 15 - Modélisation du spectre de la source de molécules de fullerène

On pose $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ la largeur à mi-hauteur et λ_m la longueur d'onde moyenne du spectre de la source.

- Q35.** Estimer $\Delta \lambda$ à partir de la **figure 11**. Quelle est la conséquence d'un élargissement spectral de la source sur la représentation de l'intensité relative donnée dans la **figure 14**.

- Q36.** À l'aide d'un critère semi-quantitatif sur l'ordre d'interférences $p(M)$, montrer que le contraste de la figure reste bon si la différence de marche $\delta(M)$ obéit à l'inégalité suivante

$$\delta(M) \leq l_C$$

où l'on exprimera l_C en fonction de λ_m et $\Delta \lambda$. Comment appelle-t-on cette grandeur ?

- Q37.** En déduire une condition sur la position du détecteur x pour que le contraste reste bon. Evaluer numériquement cette condition et comparer avec la **figure 12, document 8**.

- Q38.** Interpréter la dernière phrase du **document 8** :

« La température du faisceau incident joue un rôle important dans la diffraction. Si elle est trop élevée, les molécules de fullerène perdent leur cohérence : les interférences sont alors détruites ».

Annexe

Données

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Constante de Planck réduite : $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,1 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$

Masse d'un électron : $m_e = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$

Charge élémentaire : $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$

Masse molaire du néon : $M(\text{Ne}) = 20 \text{ g.mol}^{-1}$

Masse molaire du carbone : $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$

Formulaire mathématique

$$(1 + \varepsilon)^\alpha \simeq 1 + \alpha\varepsilon \text{ si } |\varepsilon| \ll 1$$

$$2\sin^2 x = 1 - \cos(2x)$$

Document 4 - Fentes de Young atomiques

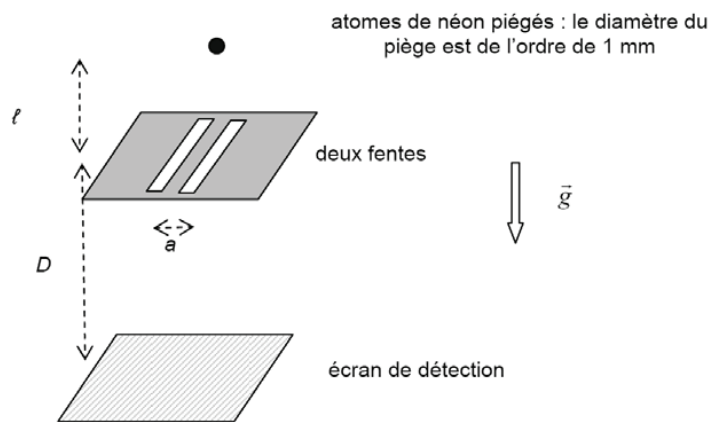


Figure 5 - Schéma du dispositif d'interférences avec des atomes de néon

Ce dispositif utilise des atomes de néon piégés et refroidis par laser à une température de 2,5 mK de manière à minimiser leur agitation thermique moyenne (à température ambiante, des atomes de néon dans l'air possèdent une vitesse typique de l'ordre de 600 m.s^{-1} due à l'agitation thermique). L'utilisation d'atomes légers et refroidis permet de disposer de valeurs de longueur d'onde de de Broglie plus élevées.

Lorsque ces atomes quittent le piège, ils tombent dans le champ de pesanteur et sont alors en chute libre. Le piège est situé à une hauteur $\ell = 76 \text{ mm}$ au-dessus de deux fentes d'Young de largeur $b = 2,0 \text{ }\mu\text{m}$ séparées de la distance $a = 6,0 \text{ }\mu\text{m}$.

Un écran MPC (Microchannel Plate Detector) situé à la distance $D = 113 \text{ mm}$ de la double fente détecte les atomes de néon avec une résolution de l'ordre de $20 \text{ }\mu\text{m}$.

Source : Ministère de l'Éducation Nationale (DGESCO - IGEN)
Dualité onde-particule (Juillet 2012)

Document 5 - Résultats expérimentaux

La figure d'interférences obtenue en libérant les atomes du piège est constituée d'environ 6 000 impacts atomiques. L'allure de la figure obtenue est très similaire à celle obtenue lors des expériences d'interférences photon par photon.

Chaque impact est clairement identifié, attestant du caractère corpusculaire des entités détectées : les atomes ne se « scindent » pas.

L'ensemble des impacts dessine des franges d'interférences, caractéristiques d'un comportement ondulatoire. La prédiction de l'impact est de nature probabiliste, la particule est décrite par une fonction d'onde.

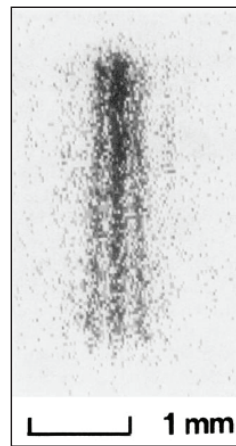


Figure 7 - Figure d'interférences

Source : Fujio Shimizu et al., double-slit interference with ultracold metastable neon atoms, Physical Review (1992)

Document 8 - Diffraction des molécules de fullerène

La production d'un faisceau incident de C_{60} s'effectue par sublimation à des températures entre 626,85 °C et 726,85 °C.

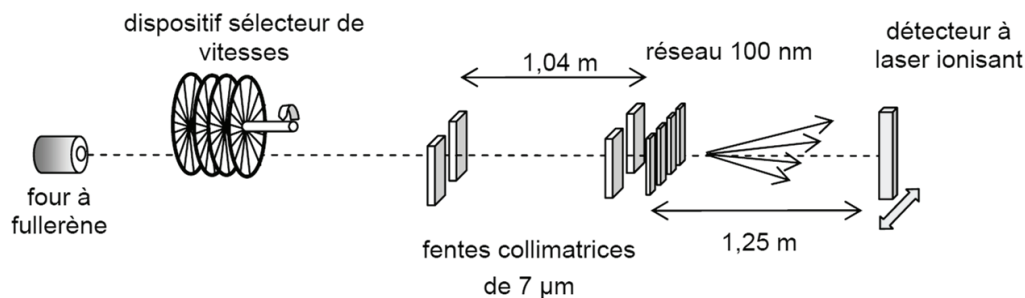


Figure 10 - Dispositif expérimental de la diffraction du fullerène

La distribution de vitesse des molécules de C_{60} en sortie du four est donnée par le graphique ci-contre :

Après diffraction sur le réseau de pas $a = 100$ nm (grille de SiN_x contenant des fentes de 50 nm de large espacées de 100 nm), les molécules de C_{60} se déposent sur un écran bidimensionnel placé à une distance $D = 1,25$ m.

Leurs distributions spatiale et quantitative s'obtiennent en balayant l'écran avec un faisceau laser visible. L'absorption de la lumière ionise les molécules de C_{60} qui sont alors accélérées par l'application d'une tension électrique vers une électrode, où elles provoquent l'émission d'électrons qui constituent le signal détecté.

La figure ci-contre montre l'allure de la figure d'interférence observée :

La température du faisceau incident joue un rôle important dans la diffraction. Si elle est trop élevée, les molécules de fullerène perdent leur cohérence : les interférences sont alors détruites.

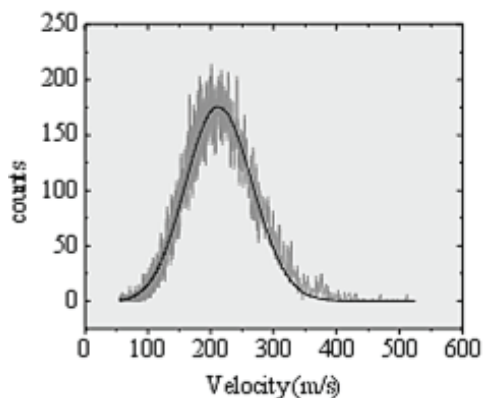


Figure 11 - Distribution des vitesses des molécules de fullerène à la sortie du four

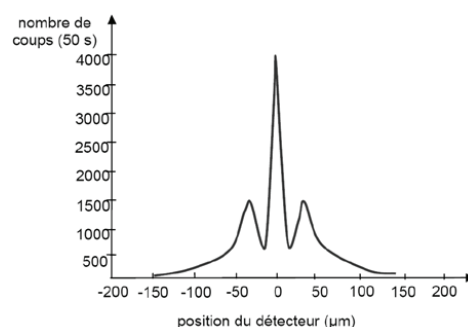


Figure 12 - Figure d'interférences obtenue sur un temps d'acquisition de 50 s

Source : Am. J. Phys., Quantum interference experiments with large molecules, avril 2003

Exercice B : Réalisation analogique d'une MLI

Partie A : Exemple d'utilisation des semi-conducteurs : la MLI

MLI : Modulation de largeurs d'impulsion

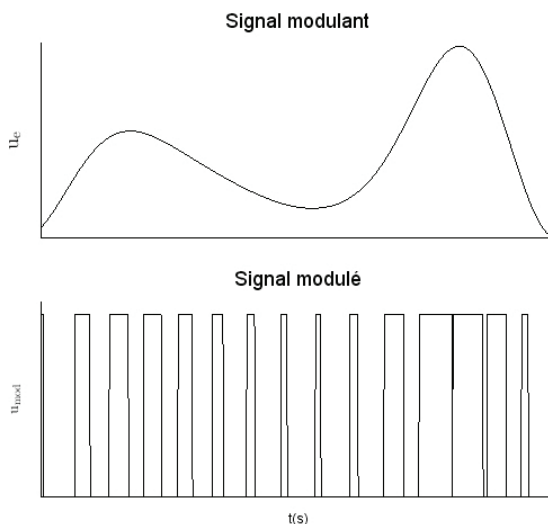


Figure A.1

Le principe consiste à générer des impulsions électroniques à intervalles régulières mais dont la largeur temporelle va dépendre d'un signal « modulant ». C'est la valeur de tension de ce signal qui va déterminer la largeur de l'impulsion (cf. Figure A.1).

A.1 - Modulation de largeur d'impulsion : réalisation analogique

On considère le montage de la figure Figure A.2 mettant en jeu un ALI supposé idéal auquel on applique :

- un signal modulant $u_e(t)$
- une tension « dent de scie » $u_{scie}(t)$ de période T dont l'allure temporelle est représentée Figure A.3.

Q1. Rappeler les caractéristiques d'un Amplificateur Linéaire Intégré idéal.

Q2. L'ALI fonctionne-t-il en régime linéaire ou en régime saturé ? Quelle fonction réalise un tel montage ?

La tension $u_{scie}(t)$ est une tension dite « dent de scie » (cf. Figure A.3). On note T la période de cette tension et U_{max} la tension maximale atteinte par $u_{scie}(t)$.

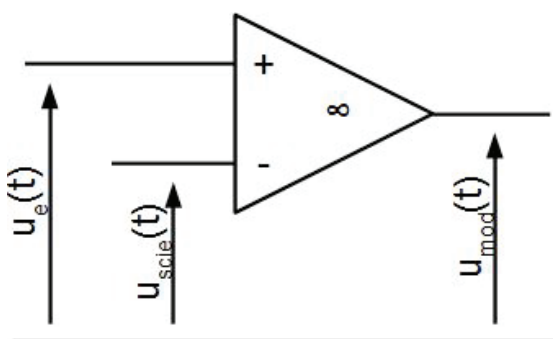


Figure A.2

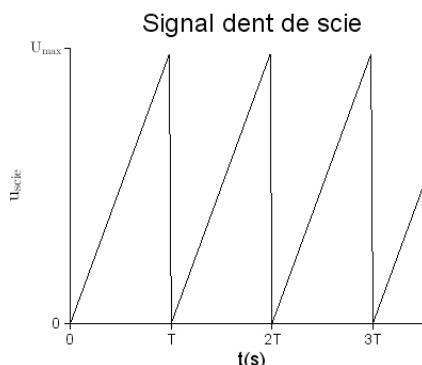


Figure A.3

Q3. Déterminer la pente a des rampes de la tension $u_{scie}(t)$ en fonction de T et U_{max} .

Q4. On considère un signal modulant continu : $u_e(t) = U_0$. Déterminer, les durées τ_+ et τ_- , correspondant respectivement aux temps passés en saturation haute et en saturation basse durant une période T en fonction de U_0 , U_{max} et T . Représenter graphiquement le signal $u_{mod}(t)$ en sortie de l'ALI entre $t=0$ et $t=3T$.

Q5. Que se passe-t-il si $U_0 > U_{max}$?

Q6. On considère maintenant comme signal modulant $u_e(t)$ un signal sinusoïdal de période $T_e = 5T$, de valeur basse 0 et de valeur haute U_{max} (atteinte pour $t=0$). On prendra $f_e = \frac{1}{T_e} = 1\text{kHz}$, la fréquence du signal modulant.

Q6.a. Donner l'équation horaire de $u_e(t)$.

Q6.b. Représenter le spectre de $u_e(t)$.

Q6.c. On a représenté en Annexe (Partie C : - A RENDRE AVEC LA COPIE) le signal $u_e(t)$ (Figure C.1) sur une période. Représenter sur le même graphique les signaux $u_{scie}(t)$ et $u_{mod}(t)$. On note V_{sat} la tension de saturation positive de l'ALI. On prendra pour le tracé graphique : $V_{sat} = U_{max}/2$

Q6.d. On réalise expérimentalement la modulation de largeur d'impulsion. Pour savoir comment obtenir le signal modulant à partir du signal modulé (démodulation), on observe le spectre du signal. Celui-ci est donné Figure A.4 - l'échelle des amplitudes est arbitraire. Proposer, en le justifiant, le type de filtre permettant de démoduler le signal $u_{mod}(t)$.

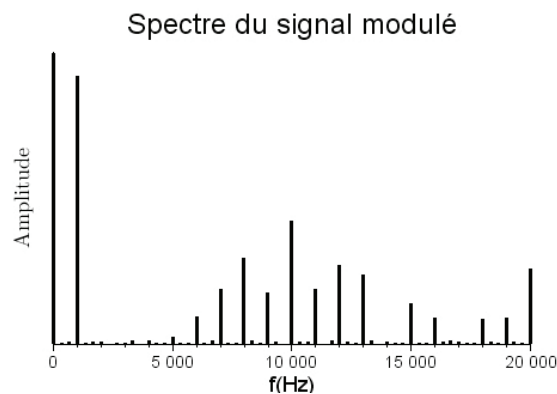


Figure A.4

A.2 - Réalisation d'un signal « dent de scie »

Le principe de cette modulation est basé sur l'utilisation d'un signal dent de scie. On se propose ici d'étudier une façon de créer un tel signal. On considère le montage suivant (les ALI sont supposés idéaux) :

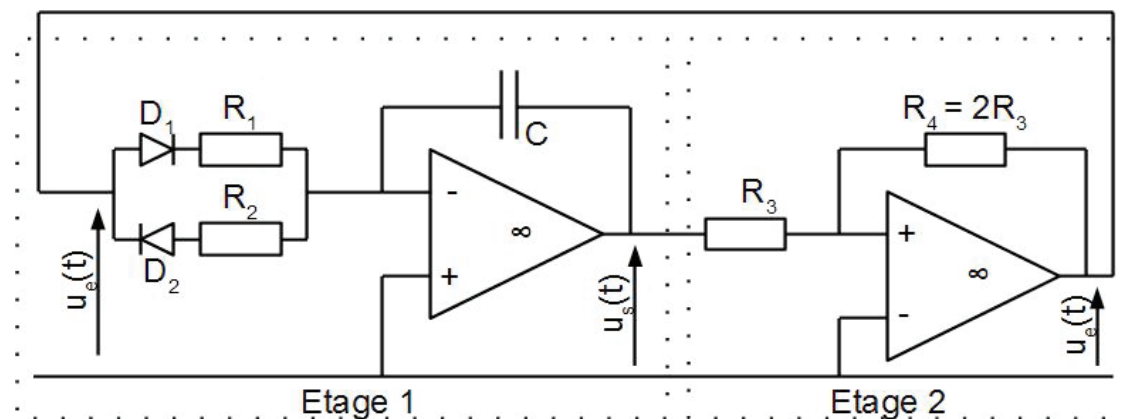


Figure A.5 :

Q7. Rappeler les ordres de grandeurs des impédances d'entrée et de sortie réelles d'un ALI.

Q8. Expliquer brièvement pourquoi on peut commencer par étudier les deux étages 1 et 2 représentés sur le schéma séparément.

Q9. On considère l'étage 1. On admet que :

- Quand le signal $u_e(t)$ est positif, la diode D_2 est assimilable à un interrupteur ouvert et la diode D_1 à un fil.
- Quand le signal $u_e(t)$ est négatif, la diode D_2 est assimilable à un fil et la diode D_1 à un interrupteur ouvert.

Q9.a. Déterminer l'équation différentielle qui relie $u_s(t)$ et $u_e(t)$ quand $u_e(t)$ est positive. Comment appelle-t-on un tel montage ?

Q9.b. Déterminer l'équation différentielle qui relie $u_s(t)$ et $u_e(t)$ quand $u_e(t)$ est négative.

Q10. On considère maintenant l'étage 2.

Q10.a. Expliquer pourquoi on sait que l'ALI de l'étage 2 va fonctionner en régime de saturation.

Q10.b. On suppose que la sortie est en saturation haute $u_e = V_{sat}$. Déterminer les gammes de valeurs possibles pour u_s .

Q10.c. On suppose que la sortie est en saturation basse $u_e = -V_{sat}$. Déterminer les gammes de valeurs possibles pour u_s .

Q10.d. Représenter la caractéristique de transfert $u_e(u_s)$. Comment appelle-t-on un tel montage ?

On considère maintenant le montage entier. Il n'y a pas de « tension d'entrée » et la tension de sortie est la tension $u_s(t)$.

Q11. On suppose que, à $t=0$, l'étage 2 vient de basculer en saturation haute $u_e = V_{sat}$.

Q11.a. Déterminer $u_s(t=0)$ puis l'équation littérale horaire de $u_s(t)$ pour $t > 0$

Q11.b. Déterminer la date t_1 à laquelle l'étage 2 va basculer en saturation basse. On note Δt_{haut} la durée pendant laquelle l'étage 2 est en saturation haute. Expliciter littéralement Δt_{haut}

Q12. A $t=t_1$, l'étage 2 vient donc de basculer en saturation basse.

Q12.a. Déterminer l'expression littérale de $u_s(t)$ pour $t > t_1$

Q12.b. Déterminer la date t_2 à laquelle l'étage 2 va basculer à nouveau en saturation haute. On note Δt_{bas} , la durée pendant laquelle l'étage 2 est en saturation basse. Déterminer littéralement Δt_{bas} et la période T du signal $u_s(t)$.

Q13. Représenter sur le graphique Figure C.2 fourni dans l'Annexe (Partie C : - A RENDRE AVEC LA COPIE) les signaux $u_s(t)$ et $u_e(t)$ en supposant $\Delta t_{bas} = 19 \Delta t_{haut}$

Q14. On veut créer un signal dent de scie de fréquence $f=1\text{MHz}$. On choisit $C=10\text{ pF}$. De plus, pour que le signal ressemble le plus au signal dent de scie de la Figure A.2, on fixe $\Delta t_{bas} = 19 \Delta t_{haut}$. Déterminer les valeurs de R_1 et R_2 en fonction de C et f . Faire l'application numérique.

Exercice C : Puissance et efforts subis par un avion en vol

I.A – Pourquoi un avion vole-t-il ?

L'élément essentiel au fonctionnement d'un avion en dehors du système de propulsion qui assure sa mise en mouvement dans l'air sont les ailes dont le profil particulier permet d'assurer la sustentation dans l'air.

La **figure 1** représente un schéma simplifié du profil d'une aile d'avion. Le segment de droite Σ qui joint le bord d'attaque au bord de fuite est appelé corde de profil. L'angle i entre ce segment et la trajectoire de l'avion est appelé incidence. L'air immobile attaqué par une aile se déplaçant à la vitesse $\vec{v}$ se sépare en deux parties : l'une longe la partie supérieure de l'aile appelée extrados, l'autre la partie inférieure, l'intrados.

L'air est supposé incompressible, de masse volumique ρ . On admettra que les lois générales de la mécanique des fluides, en particulier la relation de Bernoulli, établies dans le cadre des écoulements laminaires stationnaires dans une conduite, sont applicables à l'étude de l'écoulement de l'air autour du profil d'une aile d'avion.

L'écoulement de l'air autour du profil d'une aile d'avion est représenté sur la **figure 2**. Il permet de visualiser l'allure des lignes de courant lors d'un écoulement à faible incidence et à forte incidence.

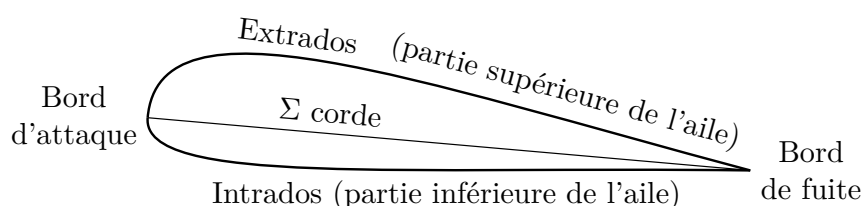


Figure 1 Profil d'une aile d'avion

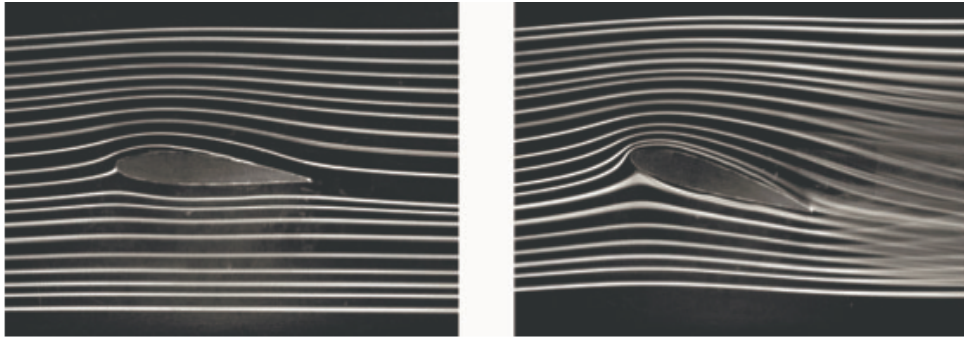


Figure 2 Lignes de courant autour du profil d'une aile d'avion¹

I.A.1) En exploitant la **figure 2**, comparer qualitativement le module v de la vitesse du fluide aux points situés au voisinage de l'intrados et de l'extrados.

I.A.2) Écrire la relation de Bernoulli le long d'une ligne de courant sur l'extrados. Faire de même le long d'une ligne de courant sur l'intrados.

I.A.3) Après avoir justifié que les effets de la pesanteur peuvent être négligés, déduire des relations établies précédemment que l'écoulement de l'air entraîne l'existence de forces aérodynamiques qui permettent d'expliquer la sustentation de l'aile d'avion.

I.B – Mécanique du vol d'un avion

On étudie différentes phases du vol d'un avion, en l'absence de vent, dans le référentiel terrestre ($\mathcal{R}$) supposé galiléen auquel on associe un système d'axes cartésien dont (Oz) constitue la verticale ascendante.

La trajectoire et la configuration de vol de l'avion dans l'espace sont définis à l'aide de trois angles orientés représentés **figure 3** :

- la pente p , angle de l'horizontale vers la trajectoire de l'avion ;
- l'assiette A , angle de l'horizontale vers l'axe longitudinal de l'avion ;
- l'incidence i , angle de la trajectoire de l'avion vers son axe longitudinal.

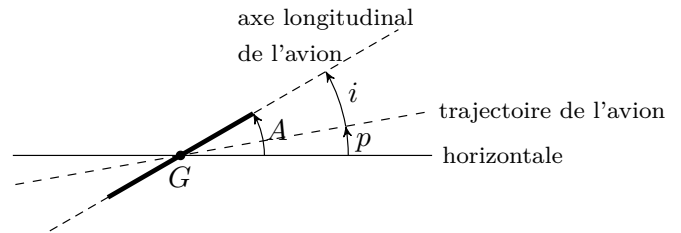


Figure 3

Pour simplifier l'étude, on ne s'intéresse qu'au mouvement

du centre d'inertie G de l'avion, de masse $m = 2,3 \times 10^3$ kg, soumis aux forces suivantes :

- son poids $\vec{P}$;
 - la force de traction $\vec{F}_m$ de l'hélice, entraînée par le moteur, dont la direction est celle de l'axe longitudinal de l'avion ;
 - la résultante des forces aérodynamiques, contenue dans le plan de symétrie de l'avion, décomposée en portance $\vec{F}_p$ et traînée $\vec{F}_t$:
 - la portance, perpendiculaire à la trajectoire de l'avion, de norme $F_p = \frac{1}{2}\rho S v^2 C_p$;
 - la traînée, de même direction que la trajectoire mais s'opposant au mouvement de l'avion, de norme $F_t = \frac{1}{2}\rho S v^2 C_t$;
- où $\rho = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ est la masse volumique de l'air supposée constante et égale à celle mesurée au niveau de la mer, $S = 220 \text{ m}^2$ est l'aire de la surface des ailes de l'avion projetée sur le plan horizontal et v est la vitesse de l'avion par rapport à l'air.

L'intensité du champ de pesanteur supposé uniforme est $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Les coefficients sans dimension C_p et C_t ne dépendent que de l'incidence i . Pour une incidence nulle ($i = 0^\circ$), ces coefficients vérifient :

$$C_p = 0,24 \quad \text{et} \quad C_t = 0,008$$

Lors de l'étude du mouvement de l'avion dans différentes configurations, on évalue les efforts mécaniques subis par la structure en déterminant le facteur de charge η défini comme le rapport de la norme de la portance sur la norme du poids.

Compte tenu de la résistance des matériaux, la conception mécanique de la structure impose une borne supérieure $\eta_{\max}$ au facteur de charge de l'ordre de 2.

I.B.1) Vol en montée

Après avoir quitté le sol, l'avion est animé d'un mouvement rectiligne uniforme en montée avec une pente p à incidence nulle $i = 0$. Le pilote impose au moteur de l'avion une puissance constante $\mathcal{P}_m$.

- Faire un schéma de la configuration de vol en y représentant les forces.
- Déterminer la relation vectorielle qui lie les forces s'exerçant sur l'avion puis projeter cette relation sur l'axe longitudinal de l'avion et sur l'axe qui lui est perpendiculaire.
- En déduire que la relation liant la vitesse v de l'avion à l'assiette A s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{2mg \cos A}{\rho S C_p}}$$

- Exprimer la puissance du moteur en fonction de $\|\vec{F}_m\|$ et v .

On admet que la relation entre l'assiette A et la puissance $\mathcal{P}_m$ du moteur s'écrit :

$$\mathcal{P}_m = \mathcal{P}_{m0}(\cos A + f_0 \sin A)\sqrt{\cos A} \quad \text{avec} \quad f_0 = \frac{C_p}{C_t} \quad \text{et} \quad \mathcal{P}_{m0} = mg \frac{C_t}{C_p} \sqrt{\frac{2mg}{\rho S C_p}}$$

Vérifier par analyse dimensionnelle la cohérence de l'expression de $\mathcal{P}_{m0}$ puis calculer numériquement f_0 et $\mathcal{P}_{m0}$.

Le pilote impose une puissance du moteur égale à sa valeur maximale $\mathcal{P}_m = \mathcal{P}_{\max} = 50 \text{ kW}$.

- Déterminer une expression approchée de $\mathcal{P}_m$ à l'aide d'un développement limité, sachant que l'assiette ne dépasse généralement pas 10° . En déduire la valeur numérique de l'assiette A .

Le candidat devra discuter de la validité du modèle retenu.

- Déterminer la relation liant la vitesse ascensionnelle v_z de l'avion à l'assiette A . Calculer sa valeur numérique.
- Déterminer l'expression du facteur de charge η en montée en fonction de l'assiette A . Commenter le résultat.

I.B.2) Vol en virage

L'avion effectue maintenant un virage circulaire en palier ($p = 0^\circ$), avec une incidence nulle ($i = 0^\circ$) et à vitesse v constante. Pour réaliser ce virage, le pilote incline l'avion d'un angle ϕ (le plan moyen des ailes est incliné de ϕ par rapport au plan horizontal).

- Déterminer la relation vectorielle qui lie les forces s'exerçant sur l'avion.
- L'avion étant incliné pour effectuer le virage, faire le schéma de la configuration de vol en vue arrière en y représentant les forces.
- Exprimer le rayon R du virage en fonction de la vitesse v de l'avion, de l'angle d'inclinaison ϕ et de g .
- Déterminer l'expression du facteur de charge η en fonction de ϕ .
- Sachant que la conception structurale de l'avion impose une borne supérieure au facteur de charge $\eta_{\max}$, déterminer l'expression du rayon minimal du virage que le pilote peut faire prendre à l'avion en toute sécurité.

Fin de l'énoncé

DANS CE CADRE
NE RIEN ÉCRIRE

Académie :	Session :	Modèle EN.
Examen ou Concours :	Série* :	
Spécialité/option :	Repère de l'épreuve :	
Épreuve/sous-épreuve :		
NOM : (en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)		
Prénoms :	N° du candidat	
Né(e) le	(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)	

133

Exercice B : Réalisation analogique d'une MLI

Partie C : ANNEXESA RENDRE AVEC LA COPIE

C.1 - Modulation de largeur d'impulsion – Question Q6.c.

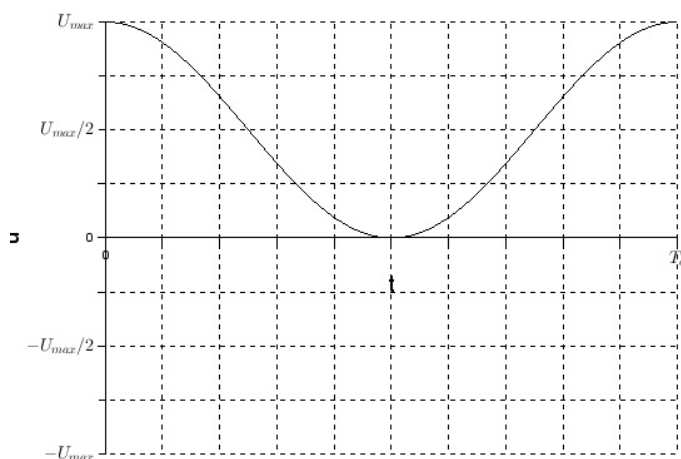


Figure C.1 : Chronogramme du signal $u_e(t)$ sur une période.

C.2 - Création d'un signal dent de scie – Question Q13.

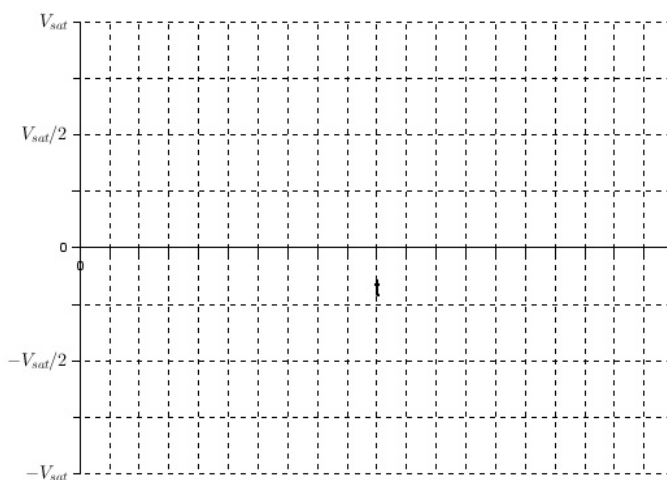


Figure C.2 : Chronogramme à compléter : on fera apparaître les grandeurs Δt_{haut} et Δt_{bas} .