

DS 7 (CCP) (4 heures)

Mécanique, Optique

La calculatrice est **autorisée**

La plus grande importance sera apportée au soin de la copie ainsi qu'à la clarté des raisonnements. Toute réponse, même qualitative, se doit d'être justifiée. Les affirmations, même justes, mais non justifiées ne seront pas prises en compte. Les résultats doivent être **encadrés**.

En cas de non respect de ces consignes, un malus sera attribué à la copie comme indiqué dans les tableaux suivants qui stipulent les critères et les effets sur la note le cas échéant :

Critère	Indicateur
Lisibilité de l'écriture	L'écriture ne ralentit pas la lecture.
Respect de la langue	La copie ne comporte pas de fautes d'orthographe ni de grammaire.
Clarté de l'expression	La pensée du candidat est compréhensible à la première lecture.
Propreté de la copie	La copie comporte peu de ratures, réalisées avec soin et les parties qui ne doivent pas être prises en compte par le correcteur sont clairement et proprement barrées.
Identification des questions	Les différentes parties du sujet sont bien identifiées et les réponses sont numérotées avec le numéro de la question.
Mise en évidence des résultats	Les résultats littéraux et numériques sont clairement mis en évidence.

Nombre de critères non respectés	Palier de Malus	Effet sur la note
0	0	aucun
1–2	1	–3.3%
3–4	2	–6.7%
5–6	3	–10%

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.

Exercice 1 : Caractéristiques d'une lame de verre

L'objectif est de déterminer les caractéristiques d'une lamelle d'épaisseur e et d'indice n par deux méthodes. Ce problème comporte deux parties. La première partie aborde l'étude de la lame de verre. La seconde partie traite d'une méthode interférentielle d'étude.

I – Lame de verre

Une lame transparente est caractérisée par son épaisseur e et l'indice n du milieu qui la compose. On cherche à caractériser ce dioptré dans le cadre de l'optique géométrique.

- Q.1** Donner un ordre de grandeur de l'indice du verre.
- Q.2** Rappeler les relations de Snell-Descartes à la réfraction.
- Q.3** Effectuer un rapide tracé de rayon sur la FIGURE A du document réponse (à gauche) afin de trouver graphiquement la position de A' , image de A par la lame.
- Q.4** Effectuer, de même, un rapide tracé de rayon sur la FIGURE A du document réponse (à droite) avec un point objet A virtuel.
- Q.5** Montrer, par des considérations géométriques, que la relation de conjugaison qui relie A et A' est donnée dans les conditions de Gauss par :

$$\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

II – Approche interférentielle

On désire obtenir les caractéristiques de la lame par une méthode interférentielle. Dans un système interférentiel à deux ondes, on provoque un déphasage entre les ondes parcourant les deux voies de l'interféromètre. Ce déphasage est fonction de la différence de marche δ et de la longueur d'onde λ .

Lorsque l'intensité lumineuse varie en faisant varier λ , on parle de **cannelures** et en faisant varier δ , on parle de **franges**.

Un faisceau de lumière éclaire la lame précédente sous une incidence i quasi-constante et proche de 45° (voir FIGURE 1). Les faces avant et arrière de la lame sont traitées pour obtenir un coefficient de réflexion important.

- Q.6** Mettre en évidence sur la FIGURE B (lame d'air à gauche et lame de verre à droite) du document réponse, la différence de marche géométrique entre les deux rayons issus d'un même rayon d'incidence i et qui interfèrent sur l'écran.
- Q.7** Déterminer la différence de marche géométrique δ_{geo} pour la lame d'air en fonction de n , e et de l'angle d'incidence i .
- Q.8** Dans le cas d'une lame de verre, on obtient (démonstration non demandée) en considérant les différentes réflexions, une différence de marche totale :

$$\delta = \frac{\lambda}{2} + 2e\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$$

Analyser ce résultat pour $n = 1$ et commenter le facteur $\frac{\lambda}{2}$.

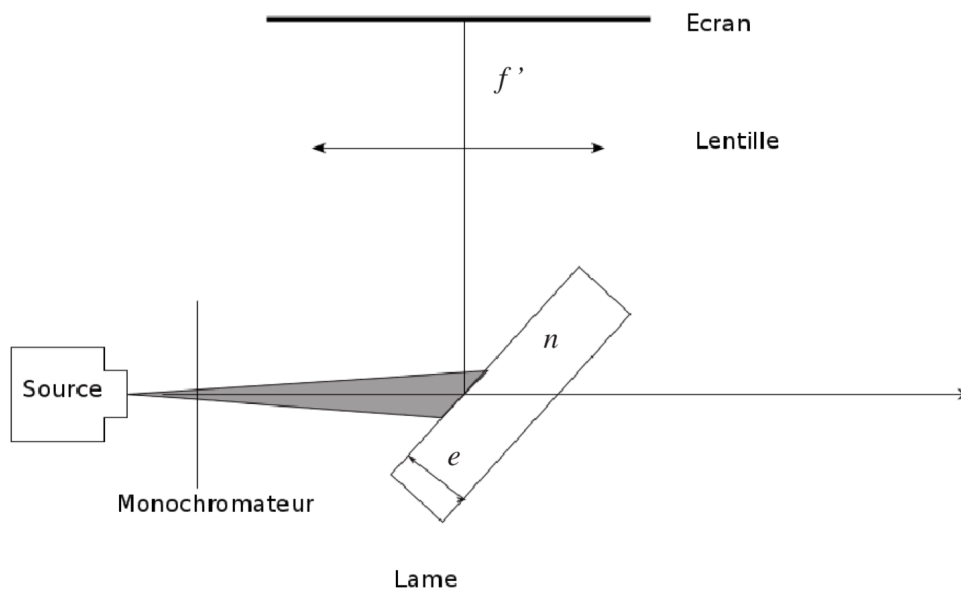


FIGURE 1 – Caractérisation de la lame par mesure interférentielle

Q.9 Donner l'expression de l'éclairement (formule de Fresnel) pour des interférences à deux ondes cohérentes de même amplitude, en justifiant le cadre de son application. À quelles conditions les interférences sont-elles constructives ?

Première expérience : On se place à la longueur d'onde constante $\lambda = 532 \text{ nm}$ et on observe dans le plan focal image de la lentille dont la distance focale image est $f' = 1 \text{ m}$.

Q.10 Quelle est l'allure de la figure d'interférence ? Justifier votre réponse.

Q.11 L'angle d'incidence étant proche de 45° , on pose $i = \frac{\pi}{4} + \alpha$ avec $\alpha \rightarrow 0$. En différenciant l'expression de la différence de marche donnée ci-dessus pour $\lambda = \text{cste}$, déterminer l'expression de la variation élémentaire $d\delta$ de la différence de marche, en fonction de e , n et de la variation élémentaire $d\alpha$.

Q.12 Rappeler ce que représente l'interfrange.

Q.13 Montrer que l'interfrange moyen Δx vérifie la relation $-\frac{2e}{f'} \frac{\Delta x}{\sqrt{n^2 - 0,5}} = \lambda$.

Q.14 En exploitant au mieux la FIGURE C (document réponse) exprimer une première relation entre e et n .

Deuxième expérience : On se place maintenant à incidence constante $i_0 = 45^\circ$ et on fait varier λ à l'aide du monochromateur. On relève alors un spectre cannelé. Les longueurs d'onde éteintes sont notées λ_p .

Q.15 Établir la relation : $2e\sqrt{n^2 - 0,5} = \frac{\lambda_1 \lambda_p}{\lambda_p - \lambda_1} (p - 1)$, λ_1 et λ_p étant respectivement les longueurs d'onde correspondant à la première et à la p -ième cannelure.

Q.16 En exploitant au mieux la FIGURE D (document réponse), trouver une seconde relation entre n et e .

Q.17 Comment peut-on en déduire e et n ? Aucun calcul n'est demandé.

Exercice 2 : Aspects mécaniques de la sécurité routière

Dans tout le problème, on considérera que l'accélération de pesanteur vaut $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On rappelle la constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

I – Distance nécessaire pour s'arrêter sur une ligne droite horizontale

La sécurité routière insiste fortement sur le respect de distances minimales entre les véhicules afin qu'en cas d'incident imprévu, tout véhicule puisse s'arrêter sans danger.

Les distances de sécurité

D'après le site de l'Association de Prévention Routière <http://www.preventionroutiere.asso.fr>

Sur autoroute, près des deux tiers des conducteurs ne respectent pas la distance de sécurité entre leur voiture et le véhicule qui les précède. Garder ses distances avec le véhicule que l'on suit est pourtant le meilleur moyen d'éviter une collision ou pire un carambolage.

La distance d'arrêt d'un véhicule correspond à la distance parcourue pendant le temps de réaction de son conducteur à laquelle s'ajoute la distance de freinage.

- Temps de réaction noté t_R : on évalue à une seconde le temps minimum nécessaire pour que le conducteur réagisse en cas d'incident ou d'apparition d'un obstacle et ce, dans les meilleures conditions. Pendant ce temps-là, le véhicule continue sa course. Ce n'est qu'une fois l'information assimilée que le conducteur commence vraiment à freiner.
- Distance de freinage : sa longueur varie en fonction de la vitesse du véhicule, de l'efficacité du système de freinage, de la pente, ...

Le Code de la Route a fixé une règle claire : l'intervalle de sécurité à ménager entre vous et le véhicule qui vous précède est au moins la distance que vous parcourrez en 2 secondes. Plus votre vitesse est élevée, plus cette distance doit être grande.

Pour les véhicules lourds (PTAC > 3,5 t) ou ceux dont la longueur dépasse 7 mètres, les ensembles de véhicules (voiture + caravane) et les camping-cars, cette distance est d'au moins 50 mètres.

Comment évaluer la bonne distance de sécurité ? Prenez un point de repère visuel sur le bord de la route comme un arbre ou un panneau de signalisation. Une fois que le véhicule qui vous précède est passé à sa hauteur, comptez 2 secondes. Si votre véhicule passe ce repère avant ce délai, vous êtes trop près.

Autre astuce : sur autoroute, les lignes délimitant la bande d'arrêt d'urgence mesurent 39 mètres et sont espacées entre elles de 13 mètres. A $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, vous devez au moins laisser un intervalle de 2 traits soit environ 90 mètres pour arrêter votre véhicule sans percuter celui qui vous précède.

On considère un véhicule roulant sur une route rectiligne horizontale Ox à la vitesse v_0 prise égale pour l'instant à $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ avec un mouvement uniforme. On notera $\vec{e}_x$ le vecteur unitaire de l'axe Ox dans le sens du déplacement, voir FIGURE 2.

On prendra l'origine des temps à l'instant où un obstacle a surgi et celle de l'espace à la position initiale (pour $t = 0$). Pour les applications numériques, on prendra $t_R = 1,0 \text{ s}$.

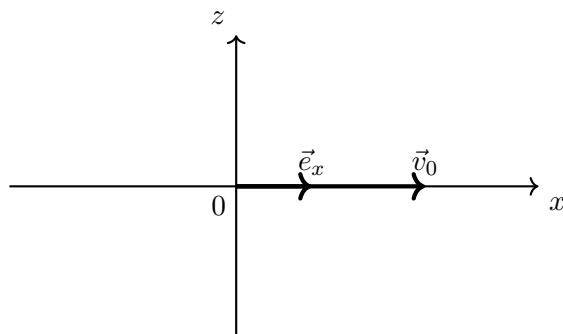


FIGURE 2 – Véhicule sur une route horizontale.

- Q.1** Rappeler la définition d'un mouvement rectiligne puis d'un mouvement uniforme.
- Q.2** Lorsqu'un obstacle sur la voie apparaît au conducteur, la première phase du mouvement vers l'immobilisation correspond au temps de réaction t_R . Que peut-on dire de la nature du mouvement au cours de cette phase ? En déduire l'expression de la vitesse au cours du temps pour cette phase.
- Q.3** La seconde correspond au freinage proprement dit. Par souci de simplification, on considère que le freinage consiste à imposer une décélération a_0 constante. Si on suppose que $a_0 > 0$, donner l'expression du vecteur accélération au cours du temps puis celle du vecteur vitesse.
- Q.4** En déduire la position $x(t)$ du véhicule en fonction du temps.
- Q.5** Déterminer l'instant t_1 pour lequel le véhicule s'arrête. En déduire la distance d'arrêt d_a en fonction de v_0 , a_0 et t_R .
- Q.6** Exprimer puis calculer la valeur minimale de la décélération permettant d'utiliser les lignes de la bande d'arrêt d'urgence pour évaluer la distance de sécurité c'est-à-dire pour que la distance d'arrêt soit inférieure à la distance D des deux lignes de la bande d'arrêt d'urgence.
- Q.7** Pour une valeur de décélération $a_0 = 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, comparer les temps d'arrêt et les distances d'arrêt pour des vitesses respectivement de 90 et $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Les résultats sont-ils logiques ?
- Q.8** Pour déterminer la validité de la règle préconisée par le Code de la Route de maintenir une distance par rapport au véhicule devant soi correspondant à la distance parcourue en $2,0 \text{ s}$, calculer la décélération a_2 qui permettrait un arrêt du véhicule à l'instant $t_2 = 2,0 \text{ s}$. Retrouve-t-on la même distance d'arrêt qu'avec la technique précédente pour une vitesse initiale de $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$? Que peut-on en conclure ?

II – Influence de l'état de la route sur la distance d'arrêt

On considère dans un premier temps que la route est en béton, rectiligne, horizontale et sèche. Le véhicule de masse $m = 1000 \text{ kg}$ est assimilé à un point matériel.

- Q.9** En admettant que l'ensemble des forces de frottements qui s'exercent sur le véhicule (action du conducteur sur la pédale de frein, action de l'air, ...) se traduisent par une unique force de freinage $\vec{f}$ colinéaire au déplacement et s'opposant à son déplacement, établir un bilan des forces s'exerçant sur le véhicule. Recopier et compléter la FIGURE 2 en représentant ces forces.
- Q.10** Déterminer la réaction normale de la route supposée horizontale.

Quelques coefficients de frottement dynamique

matériaux	coefficient de frottement dynamique λ
acier sur glace	0,050
acier sur acier	0,40
verre sur verre	0,40
pneu sur béton sec	0,70
pneu sur béton mouillé	0,50
semelle de cuir sur bois	0,20
semelle de cuir sur tapis	0,50

- Q.11** Rappeler les lois de frottement de Coulomb-Amontons. On notera $\vec{N}$ et $\vec{T}$ respectivement les composantes normale et tangentielle de la réaction en notant λ le coefficient de frottement dynamique qu'on suppose égal au coefficient de frottement statique.
- Q.12** Dans le cas où il y a glissement par exemple lors d'un freinage où les roues se bloquent, déterminer la force de frottement exercée par la route sur le véhicule.
- Q.13** Exprimer la norme de la force de freinage si le véhicule subit une décélération de norme $a_0 = 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Comparer les forces de freinage et de frottement.
- Q.14** Toujours dans cette situation de glissement en bloquant les roues, calculer l'énergie dépensée pour arrêter un véhicule roulant initialement à une vitesse de $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
- Q.15** Pour garder le contact du véhicule sur la route, il ne doit pas y avoir glissement. Établir l'inégalité que doit vérifier la force de freinage en l'absence de glissement.
- Q.16** En comparant les valeurs limites sur béton sec et béton mouillé, conclure sur l'influence de l'état de la route sur le freinage.
- Q.17** On s'intéresse à la situation où le véhicule aborde une descente sur une route inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale. Exprimer la réaction normale dans ce cas.
- Q.18** Établir la nouvelle inégalité que doit vérifier la force de freinage en descente en l'absence de glissement.

• • • FIN • • •

Annexe du DS 7 (CCP)
(À détacher et à rendre avec la copie)

Q.3 et **Q.4**

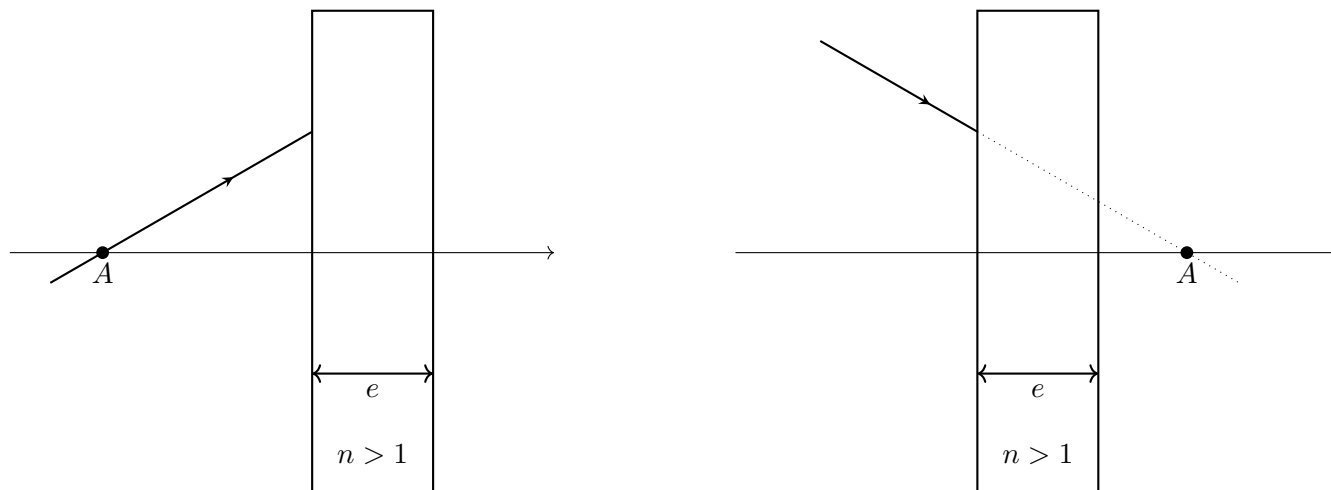


FIGURE A – Tracé de rayons

Q.6

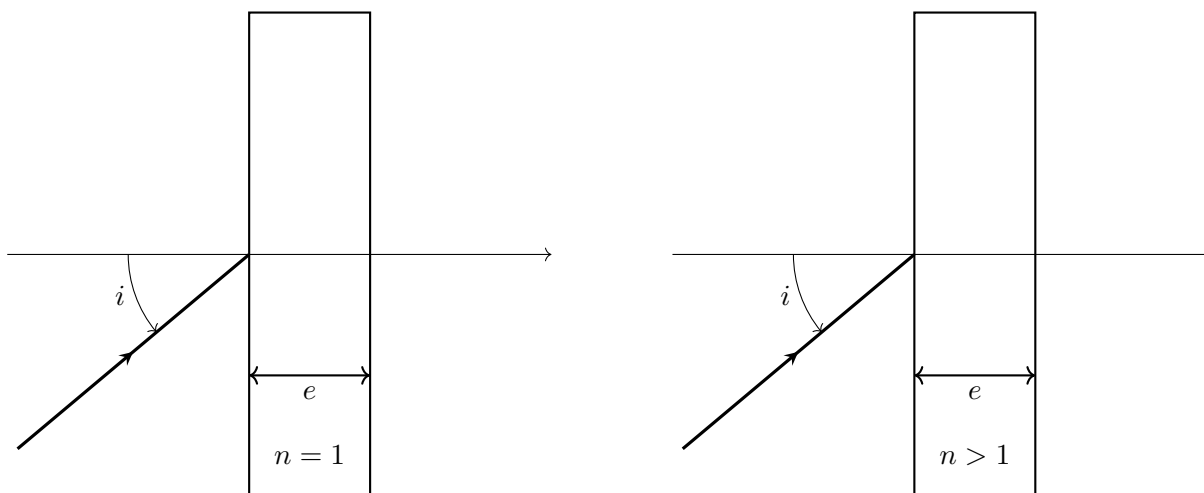


FIGURE B – Différences de marches

Q.14

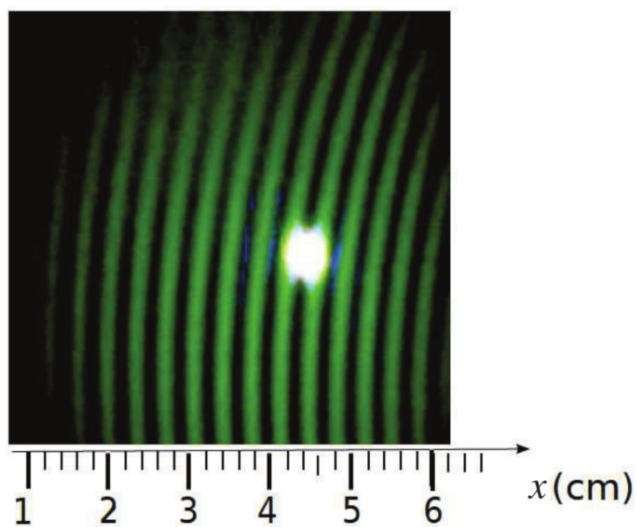


FIGURE C – Figure d'interférence

Q.16

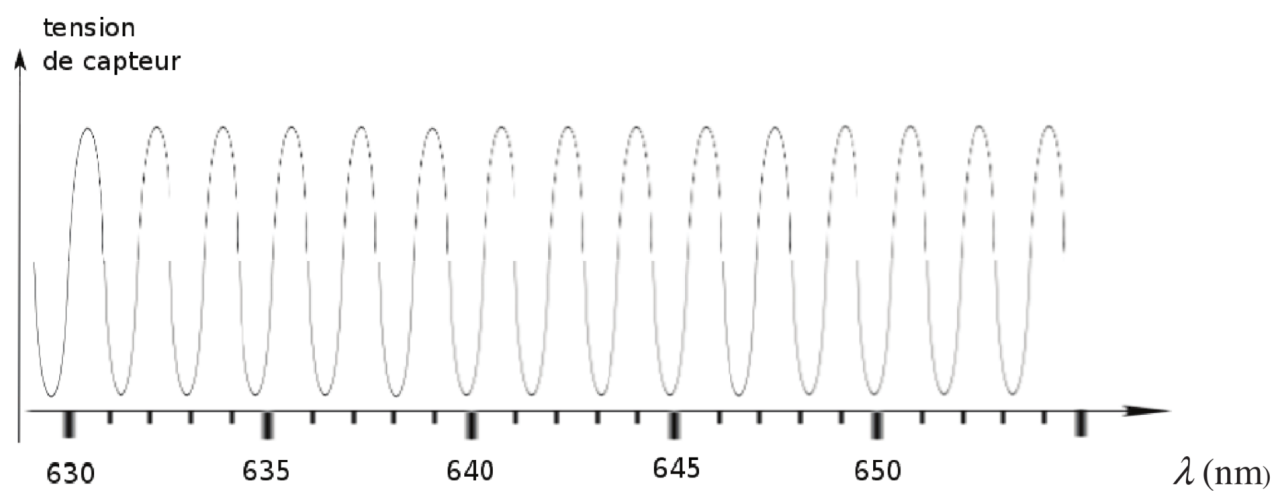


FIGURE D – Spectre cannelé