

La lumière peut servir pour contrôler la qualité de certains objets qui doivent répondre à des normes précises concernant leurs dimensions ou pour contrôler les microdéformations qu'ils sont susceptibles de subir. L'objectif de cet exercice est d'analyser les documents ci-dessous en vue de la rédaction d'un article de vulgarisation présentant les phénomènes physiques utilisés lors de ces contrôles.

**Documents**

■ **Contrôle d'un diamètre**

Les exigences de certaines industries de haute technologie nécessitent l'utilisation de matériaux aux dimensions très précises.

Afin de mesurer le diamètre  $a$  d'un fil, un laboratoire de métrologie utilise un laser de longueur d'onde  $\lambda = (632,8 \pm 0,1)$  nm. En dirigeant le faisceau vers le fil, le technicien observe, sur un écran placé derrière le fil, une figure analogue à celle obtenue en dirigeant le faisceau vers une fente de même largeur (**doc. 1**).

Il mesure entre le fil et l'écran une distance  $D = (2,345 \pm 0,002)$  m. La tache centrale obtenue sur l'écran a une largeur  $L = (6,98 \pm 0,03)$  cm.



Doc. 1 Figure de diffraction obtenue avec une fente verticale.

■ **Contrôle d'une déformation**

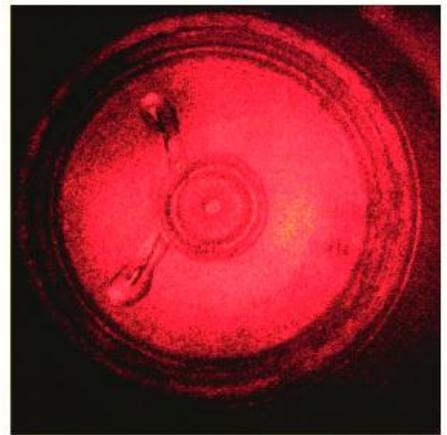
L'holographie est un procédé qui consiste à enregistrer sur un support photosensible la figure d'interférences produite entre une onde de référence et l'onde diffusée par un objet.

Quand on éclaire l'hologramme obtenu avec l'onde de référence, on observe une image virtuelle de l'objet en 3D à l'endroit exact où il se trouvait lors de l'enregistrement.

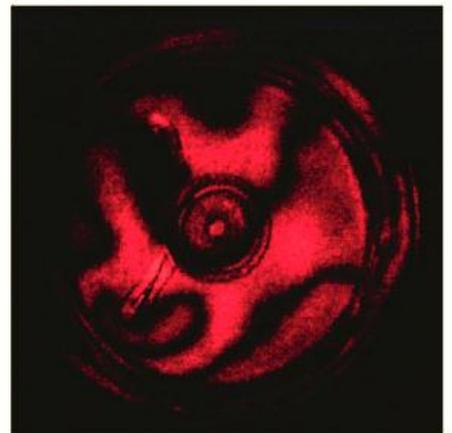
En réalisant l'hologramme d'un objet dans différents états, on peut, par comparaison, détecter des défauts de structures. Prenons l'exemple d'un haut-parleur. Un premier hologramme est enregistré lorsque que le haut-parleur est neuf et immobile (**doc. 2a**). Un second est enregistré sur le même support lorsque le haut-parleur est de nouveau immobile après avoir vibré. Si le haut-parleur s'est déformé, l'hologramme obtenu est légèrement différent.

La superposition de ces deux hologrammes est appelé « hologramme double exposition ». Lorsqu'on éclaire avec une lumière cohérente l'hologramme double exposition, la lumière issue des deux images interfère et forme une nouvelle figure d'interférences caractéristique des modifications subies par le haut-parleur lors de son fonctionnement (**doc. 2b**).

La même technique peut être utilisée pour détecter des vibrations comme celles de la carrosserie d'une voiture à l'arrêt mais avec le moteur en fonctionnement (**doc. 2c**). Dans un tel cas, la durée séparant les deux enregistrements doit être très petite.



Doc. 2a Hologramme simple exposition.



Doc. 2b Hologramme double exposition.



Doc. 2c Hologramme double exposition obtenu avec deux impulsions laser de 30 ns chacune séparées de 200  $\mu$ s.

### ■ Contrôle d'une surface

Une lame d'air d'épaisseur  $e$  (doc. 3a) est comprise entre deux surfaces.

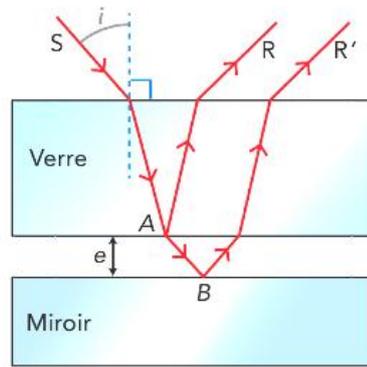
La surface supérieure est la base d'une lame de verre parfaitement plane et transparente appelée étalon. La surface inférieure est celle d'un miroir dont on souhaite vérifier la planéité.

Un rayon lumineux  $S$  arrivant sur la lame de verre sous un angle d'incidence  $i$  très petit (doc. 3a), parvient sur la lame d'air en  $A$ , où il subit une réflexion partielle lors du passage du verre dans l'air. Il donne alors naissance à un rayon réfléchi  $R$ .

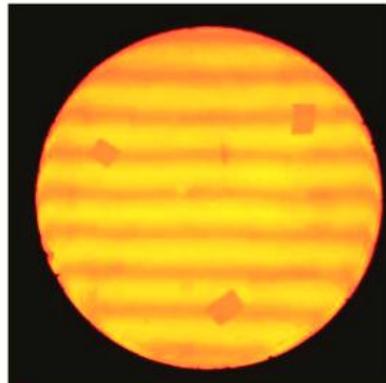
Le rayon réfracté en  $A$  parvient ensuite sur le miroir en  $B$  où il subit une réflexion en donnant naissance à un rayon  $R'$ . Ces deux rayons  $R$  et  $R'$  peuvent interférer.

Pour une différence de marche égale à  $\left(\frac{\lambda}{2} + k \cdot \lambda\right)$ , avec  $k$  entier, les interférences sont destructives. Dans le cas particulier où les faces de la lame d'air font entre elles un angle très petit, on a un coin d'air (doc. 3b).

Si pour l'épaisseur  $e_1$  les interférences sont destructives, à chaque fois que l'épaisseur du coin d'air augmente de  $\frac{\lambda}{2}$  on voit une nouvelle frange sombre puisque la

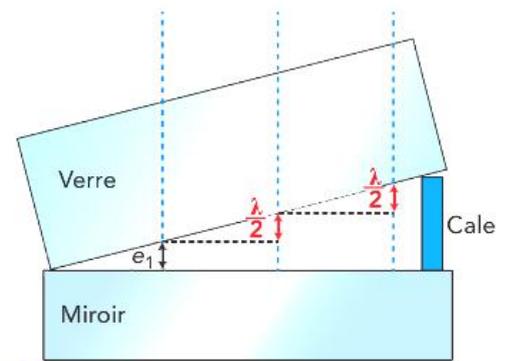


Doc. 3a

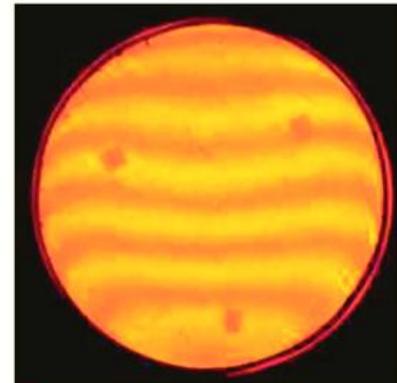


Doc. 3c Franges obtenues avec un miroir plan de bonne qualité.

distance parcourue lors de l'aller-retour entre les deux surfaces est augmentée de  $\lambda$ . On peut observer des franges rectilignes alternativement sombres et brillantes si le miroir est plan (doc. 3c).



Doc. 3b



Doc. 3d Franges obtenues avec un miroir de surface « ondulée ».

En présence de défauts de planéité du miroir, on observe une déformation des franges par rapport à la ligne droite (doc. 3d).

## Questions

1. Rédiger une courte introduction expliquant ce qu'est le contrôle de qualité.

### 2. Diamètre d'un fil

a. Nommer le phénomène physique utilisé pour le contrôle du diamètre d'un fil (doc. 1).

Dans quelle condition peut-on l'observer?

b. En utilisant les données du premier texte et les propriétés du phénomène évoqué à la question 2a, calculer le diamètre  $a$  du fil et l'incertitude sur cette valeur. Illustrer les propos par des schémas.

### 3. Défauts de structure

a. Quand dit-on que des sources de lumière sont cohérentes?

b. Pourquoi les faisceaux lumineux issus des deux images holographiques peuvent-ils interférer?

c. Interpréter les zones noires observées sur le document 2b.

### 4. Les miroirs plans

a. Nommer le phénomène physique utilisé pour contrôler la planéité d'un miroir.

b. Pourquoi observe-t-on une alternance de franges sombres et brillantes?

c. Rappeler les conditions nécessaires à l'observation de ce phénomène.

d. Comment se traduit un défaut de surface avec cette méthode?

Donnée : l'incertitude sur  $a$  est donnée par :

$$U(a) = a \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2}$$

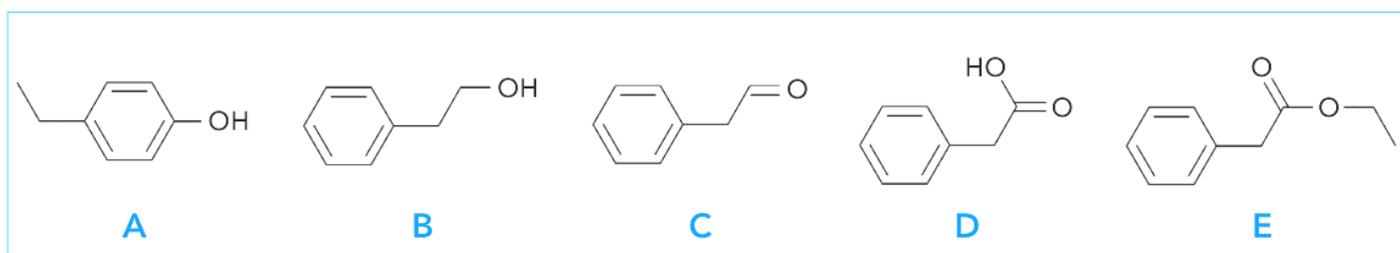
Documents

■ Odeurs, arômes, parfums

Le 4-éthylphénol **A** contribue à donner à certains vins une odeur désagréable, de sueur ou de cuir, détectable dès que sa teneur dépasse  $500 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le 2-phényléthanol **B** est naturellement présent dans les essences de rose, de géranium et dans certains vins blancs. Le phényléthanal **C** a été mis en évidence dans des céréales, dans le chocolat et dans diverses fleurs.

Des insectes l'utilisent pour communiquer. L'acide phényléthanoïque **D** est un solide qui présente une odeur florale et sucrée; un de ses dérivés le phényléthanoate d'éthyle **E** participe à l'arôme du miel. Bien que présents dans de nombreuses substances naturelles, ces composés sont synthétisés industriellement.

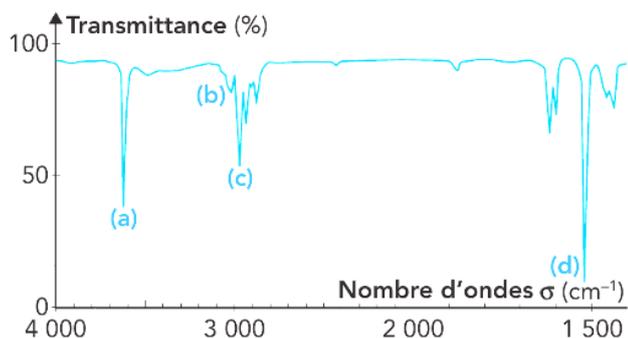


■ Analyses spectrales

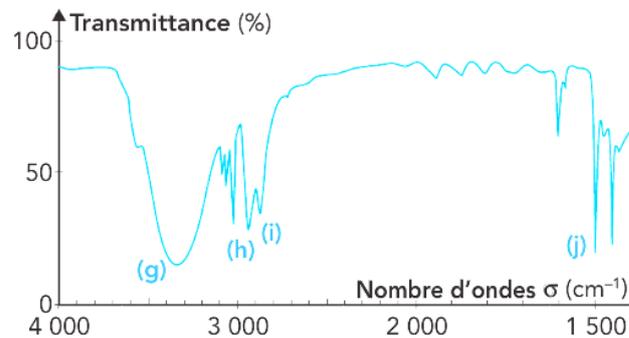
Les documents 1 et 2 donnent respectivement des extraits des spectres infrarouge des composés **A** et **B**.

Le spectre du composé **A** a été obtenu à partir d'une solution diluée de **A** dans le tétrachloro-méthane  $\text{CCl}_4$  alors que celui du composé **B** l'a été à partir d'un film de **B** pur à l'état liquide.

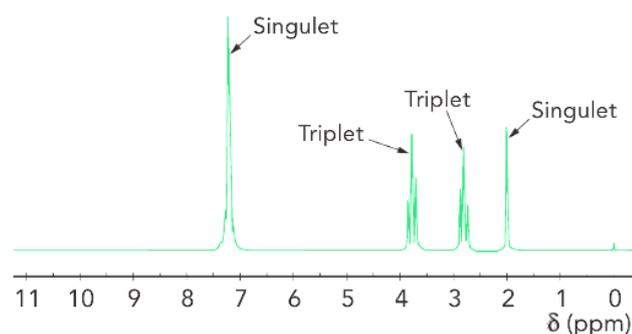
Les documents 3 et 4 donnent les spectres de RMN des composés **A** et **B**.



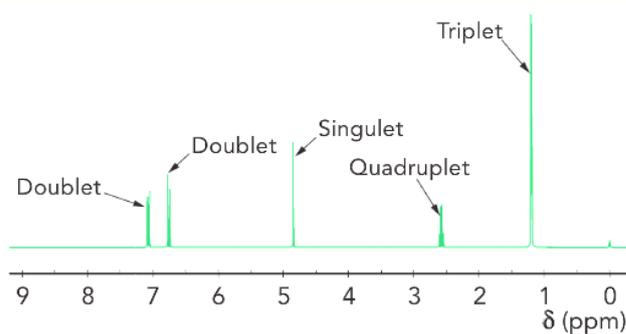
Doc. 1



Doc. 2



Doc. 3



Doc. 4

■ Synthèses organiques

- L'oxydation d'un alcool primaire donne principalement un aldéhyde lorsque l'oxydant est en défaut et un acide carboxylique lorsque l'oxydant est en excès.
- L'oxydation d'un alcool secondaire donne une cétone.
- En faisant réagir, en milieu acide, le composé **D** avec de l'éthanol, on obtient le composé **E** et un composé **G** non organique.

## Questions

1. a. Déterminer les formules brutes de **A** et **B**. Conclure.  
b. Justifier pourquoi, contrairement à **A**, le composé **B** est un alcool.  
c. Identifier les groupes caractéristiques et les fonctions des composés **C**, **D** et **E**.
2. a. À l'aide du *tableau I*, attribuer les bandes d'absorption, notées **a**, **b**, **c**, **d**, **g**, **h**, **i** et **j**, aux liaisons présentes dans les molécules de **A** et **B**.  
b. Les nombres d'ondes et la forme des signaux **a** et **g** sont différents. Expliquer pourquoi.
3. La dégustation d'un vin blanc conduit à envisager la présence de traces des composés **A** et **B**.  
a. Quelles sont les bandes d'absorption caractéristiques des constituants majoritaires du vin ?  
b. Indiquer alors, pour quelle raison le spectre infrarouge de ce vin ne permettrait pas de vérifier la présence des composés **A** et **B** dans ce vin ?
4. a. À partir de l'analyse des multiplicités de quelques signaux, attribuer les spectres de RMN des *documents 3* et *4* aux composés **A** et **B**.  
b. Représenter la formule semi-développée de **B**.
- c. En justifiant la réponse, associer à chaque groupe d'atomes d'hydrogène équivalents du composé **B**, leur signal dans le spectre de RMN.
5. On réalise l'oxydation du composé **B** à l'aide d'un oxydant introduit en défaut.  
a. Quel produit obtient-on principalement ?  
b. Justifier que le tracé d'un spectre infrarouge du produit obtenu, après extraction du mélange réactionnel et purification, est une technique tout à fait appropriée pour vérifier sa pureté.
6. On réalise à présent l'oxydation du composé **B** à l'aide d'un oxydant introduit en excès.  
a. Quel produit obtient-on alors principalement ?  
b. Justifier que le tracé d'un spectre de RMN du produit obtenu est alors une technique plus appropriée pour vérifier sa pureté que le tracé de son spectre infrarouge.
7. a. Identifier **G**, puis écrire l'équation de la réaction conduisant à **E** à partir de **D** et de l'éthanol.  
b. Le composé **E** est extrait du mélange réactionnel, puis purifié. Quelle technique spectroscopique paraît la plus indiquée pour vérifier la pureté du produit et éventuellement les fonctions présentes dans l'impureté ?

## Questions

Données :

- Le vin est un mélange principalement constitué d'eau et d'éthanol.

Tableau I : bandes d'absorption de quelques liaisons en infrarouge

Liaison	Nombre d'ondes $\sigma$ (cm <sup>-1</sup> )	Intensité	Liaison	Nombre d'ondes $\sigma$ (cm <sup>-1</sup> )	Intensité
O-H <sub>libre</sub>	3580-3650	F; fine	C=O <sub>ester</sub>	1700-1740	F
O-H <sub>lié</sub>	3200-3400	F; large	C=O <sub>aldéh. cétone</sub>	1650-1730	F
C <sub>tri</sub> -H	3000-3100	M	C=O <sub>acide</sub>	1680-1710	F
C <sub>tri</sub> -H <sub>aromat.</sub>	3030-3080	M	C=C <sub>aromat.</sub>	1450-1600	M
C <sub>tét</sub> -H	2800-3000	F	C <sub>tét</sub> -H	1415-1470	F

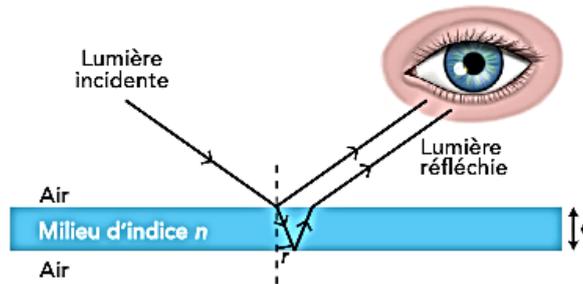
Tableau II : déplacement chimique  $\delta$  (ppm) de quelques protons

Proton	$\delta$ (ppm)	Proton	$\delta$ (ppm)	Proton	$\delta$ (ppm)
CH <sub>3</sub> -C	0,9	Ar-H	7-9	C-CH <sub>2</sub> -O-CO	4,1
CH <sub>3</sub> -C-O	1,4	-CO-OH	8,5-13	C-CH <sub>2</sub> -CO-O	2,2
CH <sub>3</sub> -C-O-CO	1,3	R-OH	0,5-5,5	C-CH <sub>2</sub> -Ar	2,7
R-CO-H	9,9	Ar-OH	4,2-7,1	C-CH <sub>2</sub> -C	1,3
C-CH-Ar	3,0	C-CH <sub>2</sub> -O-H	3,6	C-CH <sub>2</sub> -C <sub>cycle</sub>	1,5

Ar désigne un composé avec un cycle aromatique comme le benzène  ou ses dérivés.

R désigne un radical alkyle et -CO- correspond au groupe C=O

Les couleurs des animaux sont pour la plupart dues à des pigments. Mais, chez certains insectes et certains oiseaux, la production de couleurs provient d'interférences lumineuses. C'est le cas du plumage des colibris. Leurs plumes sont constituées d'un empilement de petites lames transparentes qui réfléchissent la lumière. Pour comprendre le phénomène, une lame de plume sera modélisée par un parallélépipède transparent d'épaisseur  $e$ , d'indice de réfraction  $n$ , placé dans l'air. Le schéma ci-dessous représente cette lame en coupe.



Les deux rayons réfléchis par la lame à faces parallèles se superposent sur la rétine de l'observateur et y interfèrent.

Pour un angle de réfraction  $r$  donné, la différence de marche notée  $\delta$  des rayons dépend de l'épaisseur  $e$  de la lame et de son indice de réfraction  $n$ . Elle est donnée par :

$$\delta = 2 n \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda}{2}$$

Cet indice  $n$  dépend de la longueur d'onde de la radiation.

Parmi toutes les radiations de la lumière solaire, on s'intéresse à celles de longueur d'onde  $\lambda_R = 750$  nm (rouge) et  $\lambda_V = 380$  nm (violet).

On prendra  $e = 0,15 \mu\text{m}$ .

1. Quelle condition doit vérifier la différence de marche pour que les interférences soient constructives? destructives?
2. Pour un angle de réfraction  $r = 20^\circ$ , vérifier par le calcul que les interférences des deux rayons sont constructives pour le rouge ( $n_R = 1,33$ ) et destructives pour le violet ( $n_V = 1,34$ ).
3. La couleur observée correspond à une longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives.  
Pour quel angle de réfraction  $r$  observe-t-on une coloration violette?
4. La couleur observée dépend-elle de l'angle d'incidence? Justifier la réponse. En déduire une méthode expérimentale pour distinguer la nature d'une couleur, pigmentaire ou interférentielle.