

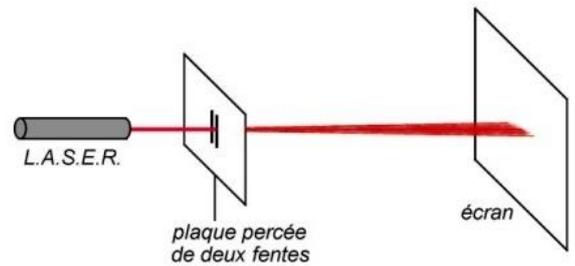
INTERFÉRENCES DES ONDES

De part leur nature, les ondes (mécaniques et électromagnétiques) ont la propriété d'être diffractées et d'interférer dans certaines conditions. Les applications sont nombreuses : lecture optique d'un CD, casques anti-bruit, irisation des bulles de savon, hologrammes, traitement antireflet . . .

1) INTERFÉRENCES DES ONDES LUMINEUSES :

1.1) MISE EN ÉVIDENCE DU PHÉNOMÈNE :

A partir du montage ci-contre, on fait passer un faisceau LASER à travers une fente suffisamment fine ($60\mu\text{m}$ de largeur) pour que l'on puisse observer sa diffraction sur un écran. On remplace ensuite la fente par deux fentes fines ($60\mu\text{m}$ de largeur chacune) espacées d'une largeur de $200\mu\text{m}$.



Q1. Schématiser ce que vous observez dans les cadres ci-dessous :

<div style="border: 1px solid black; width: 90%; margin: 0 auto; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 5px;">Figure observée sur l'écran dans le cas où le faisceau traverse une seule fente</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 90%; margin: 0 auto; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 5px;">Figure observée sur l'écran dans le cas où le faisceau traverse deux fentes</p>
--	--

Q2. La figure obtenue à partir des deux fentes est appelée figure d'interférences. Pourquoi est-elle inattendue ?

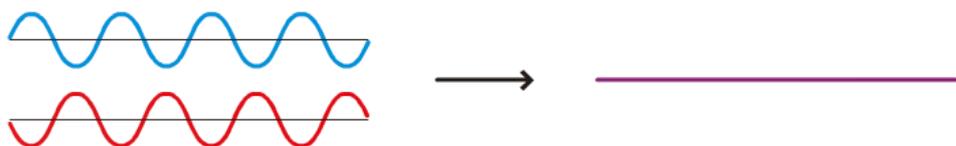
1.2) COMMENT EXPLIQUER LE PHÉNOMÈNE DES INTERFÉRENCES ?

Une onde monochromatique peut être modélisée par une fonction sinusoïdale. Lorsque deux ondes monochromatiques de même longueur d'onde se superposent, deux situations extrêmes peuvent se rencontrer :

- si les creux et les crêtes coïncident, les ondes se renforcent. Elles sont **en phase** et on parle d'**interférences constructives** :



- si les creux de l'une coïncident avec les crêtes de l'autre, les ondes s'annulent. Elles sont en **opposition de phase** et on parle d'**interférences destructives** :



Q3. Les ondes qui se superposent dans l'expérience 1.1. ont-elles la même longueur d'onde ? Pourquoi ?

Q4. A l'aide de l'animation « interprétation des interférences », proposer une explication à la présence de franges sombres et de franges lumineuses sur l'écran.

Q5. Montrer que les interférences sont constructives lorsque les ondes sont décalées d'une distance $k \times \lambda$ (k entier) et qu'elles sont destructives lorsque les ondes sont décalées d'une distance $(k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ (k entier) .

2) APPLICATIONS :

2.1) LE CASQUE ANTI-BRUIT :

Pour se protéger du bruit, on peut utiliser des matériaux poreux isolants phoniques. On peut également « détruire le bruit par le bruit » : c'est le principe des casques antibruit. Comment fonctionnent-ils ?

Lire le document 1 (annexe) puis répondre aux questions suivantes . . .

Q6. Expliquer en quelques lignes qu'on puisse « détruire le bruit par le bruit ».

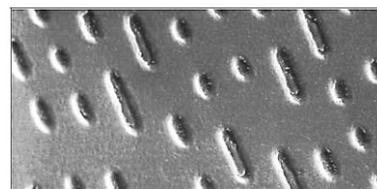
Q7. A quelle variation d'intensité correspond une atténuation de 30dB ?

2.2) LECTURE OPTIQUE D'UN CD :

Le compact disc (CD) est un disque constitué d'une succession de trous et de bosses :

Comment peut-on stocker et lire les informations contenues dans un CD ?

Lire le document 2 (annexe) puis répondre aux questions suivantes . . .



surface d'un CD vue au microscope

Q8. La longueur d'onde d'une onde dépend-t-elle du milieu de propagation ?

Q9. Vérifier que la profondeur d'un creux est de l'ordre de $\lambda/4$.

Q10. Montrer que lors de la réflexion du faisceau dans un creux, il se crée un déphasage de $\lambda/2$.

Q11. En déduire pourquoi il y a des interférences destructives au passage d'un creux à un plat.

Q12. A quelle limite fait-on face lorsqu'on veut augmenter la capacité de stockage d'un CD ? Comment y remédier ?

Q13. Pourquoi la profondeur des creux est-elle plus petite lorsqu'on passe du CD au DVD, puis au Blu-ray ?

2.3) COMPRENDRE L'IRISATION DES BULLES DE SAVON :

Pourquoi les bulles de savons sont-elles multicolores ? Il s'agit encore une fois d'un phénomène interférentiel . . .

Lire le document 3 (annexe) puis répondre aux questions suivantes . . .

Q14. Pourquoi le rayon incident est-il dévié (réfléchi et réfracté) ?

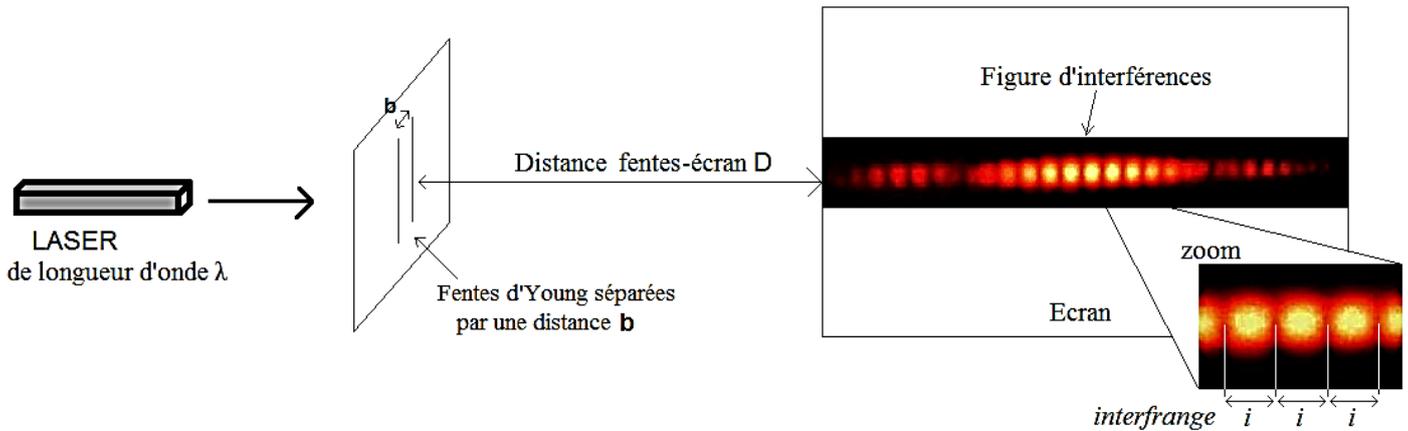
Q15. Quelle caractéristique de la membrane permet aux interférences d'être destructives ? Pourquoi ?

Q16. Comment peut-on expliquer que les couleurs varient au cours du temps ?



3) MODÉLISATION :

La figure d'interférences est caractérisée par l'**interfrange i**, c'est-à-dire la distance séparant les milieux de deux franges sombres consécutives (ou bien de deux franges brillantes consécutives) :



3.1) RECHERCHE D'UNE FORMULE :

Parmi les relations suivantes, laquelle est possible ?

- 1) $i = \frac{\lambda \cdot b}{D}$ 2) $i = \frac{b}{D}$ 3) $i = \frac{\lambda}{D \cdot b}$ 4) $i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$ 5) $i = \lambda \cdot D \cdot b$ 6) $i = \frac{D \cdot b}{\lambda}$

Pour répondre à cette question, vous suivrez la démarche suivante :

- **analyser** (éliminer d'abord les relations qui ne sont pas homogènes du point de vue des unités ; proposer ensuite un protocole expérimental permettant de tester qualitativement les relations restantes)
- **réaliser** (mise en œuvre de votre protocole expérimental)
- **valider** (réponse à la question)

Evaluation des compétences Communiquer	Appeler le professeur pour lui présenter la synthèse de vos recherches <small>Critères de réussite : expliquez pourquoi vous avez retenu ou éliminé des relations, rédiger votre protocole et décrire vos observations, conclure</small>			
	A	B	C	D

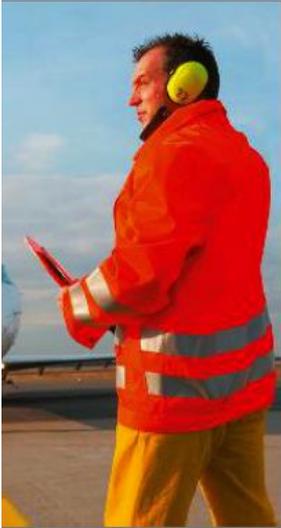
3.2) VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE D'UNE RELATION DE PROPORTIONNALITÉ :

Imaginer puis réaliser un protocole (à partir du matériel présent sur votre paillasse) permettant de montrer que **i** est inversement proportionnel à **b**.

Evaluation des compétences Analyser Réaliser	Appeler le professeur pour lui présenter le protocole expérimental proposé <small>Critères de réussite : rédiger votre protocole, reproduire le graphe obtenu, conclure</small>			
	A	B	C	D
	A	B	C	D

Pour les plus rapides : Prendre une photo de la figure d'interférence grâce à la caméra placée derrière l'écran (cf fiche d'utilisation du logiciel oVisio) puis mesurer l'interfrange i avec le logiciel Salsa J (cf fiche d'utilisation).

Document 1 : Le casque antibruit

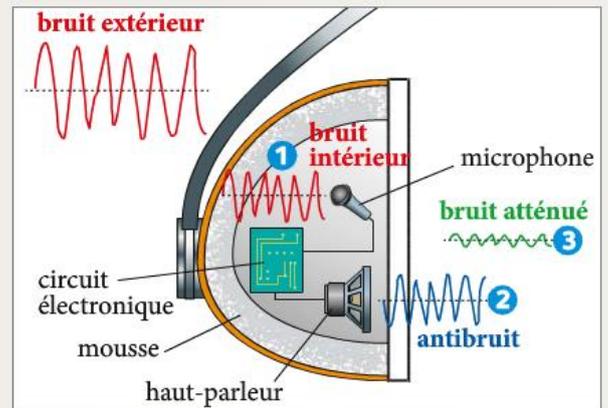


Pour réduire le bruit par le port d'un casque, la première solution consiste à utiliser les propriétés acoustiques des matériaux fibreux ou poreux (fibres, mousses). Malheureusement, ces matériaux ne sont efficaces qu'à partir de 600 Hz environ. Pour augmenter l'efficacité des casques, on ajoute depuis quelques années à ce système passif, un système actif. Grâce à l'évolution des filtres et des systèmes numériques, on a pu mettre à profit l'idée de l'ingénieur allemand Paul Lueg en 1933 : ajouter au son exactement le même son, mais en « opposition de phase », comme le montrent les courbes ① et ② de la figure 1.

Le bruit peut être considéré comme une somme de sons purs. L'air oscille sous l'effet de ces ondes sonores, c'est-à-dire que sa pression augmente puis diminue régulièrement. Dans le casque actif, on ajoute au bruit ① un second signal ② de telle sorte que la surpression de l'air due au bruit coïncide avec la dépression due au son ajouté : le signal ② est alors en opposition de phase avec le bruit ①, et la pression globale est quasiment constante. Le bruit ③ qui parvient à l'oreille est alors atténué.

Les systèmes antibruit des casques reposent sur des composants électroniques. Dans les oreillettes, de minuscules microphones ont pour fonction de capter le bruit venant de l'extérieur. Un circuit électronique se charge d'analyser les sons perçus par le microphone afin de déterminer le bruit indésirable et de générer un signal en opposition de phase.

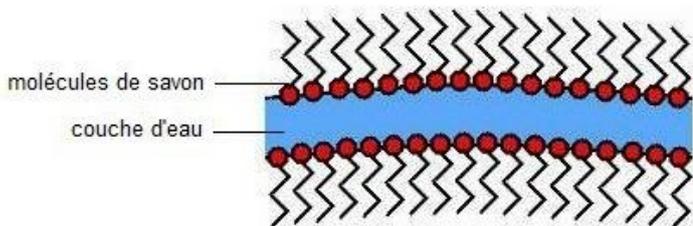
Le temps de calcul nécessaire pour créer l'onde antibruit et sa transduction (transfert vers la membrane du haut-parleur) posent certaines limites qui font que les systèmes actuels réduisent considérablement le bruit (environ 25 à 30 dB) sans le supprimer totalement.



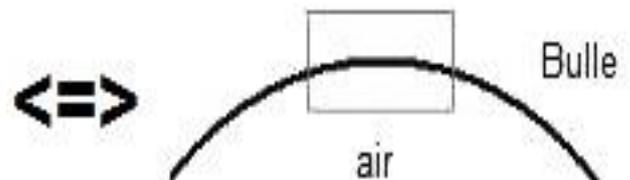
1 Intérieur d'un casque antibruit actif de chantier.

Document 3 : Irisation des bulles de savon

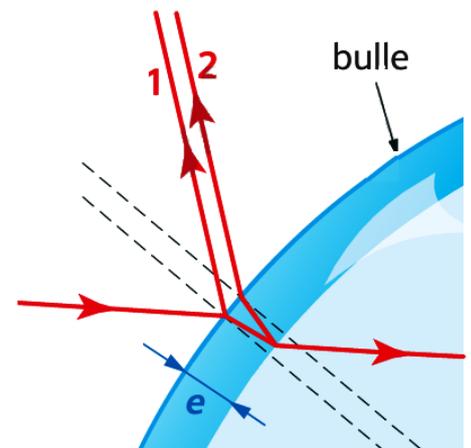
Une bulle de savon correspond à une fine membrane d'eau savonneuse entourant un volume d'air. La membrane est composée d'une mince couche d'eau maintenue entre deux monocouches de molécules de savon :



Agencement des molécules dans un film de savon



Lorsqu'un rayon de lumière blanche arrive en incidence sur la surface d'une bulle, une partie est transmise par la membrane et subit une réfraction, une autre partie subit des réflexions sur les deux faces extérieure (rayon 1) et intérieure (rayon 2) de la membrane. Les rayons 1 et 2 étant issus de la même source, ils peuvent interférer. Pour certaines longueurs d'ondes, l'interférence est destructive et la lumière réfléchie n'est plus blanche mais colorée.



Document 2 : Lecture optique d'un disque compact (CD)

Présentation

Inventé en 1982 par les sociétés Sony et Philips, le CD (Compact Disc) est un disque optique de 12 cm de diamètre et de 1.2 mm d'épaisseur permettant de stocker des informations numériques. Il est constitué de 4 couches :

- un substrat en matière plastique pourvu de creux obtenus par pressage
- une fine pellicule métallique constituant la couche réfléchissante
- une couche de laque acrylique créant un film protecteur pour les données
- une couche en polymère servant de support pour l'étiquette

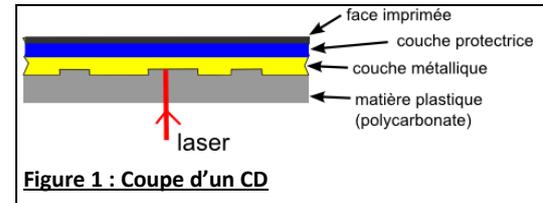


Figure 1 : Coupe d'un CD

Le codage des données

Les données sont gravées sur une piste en forme de spirale qui fait près de 5 km de long, du centre vers l'extérieur. Il faut faire 22188 tours pour parcourir la totalité de la piste (figure 2). La piste physique est constituée d'alvéoles d'une profondeur de $0,12 \mu\text{m}$, d'une largeur de $0,67 \mu\text{m}$ et de longueur variable. On nomme creux le fond de l'alvéole et on nomme plat les espaces entre les alvéoles (figure 3 et 4).

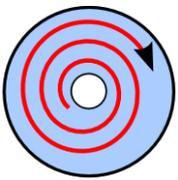


Figure 2

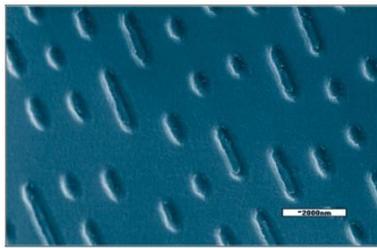


Figure 3 : Photo de la surface d'un CD

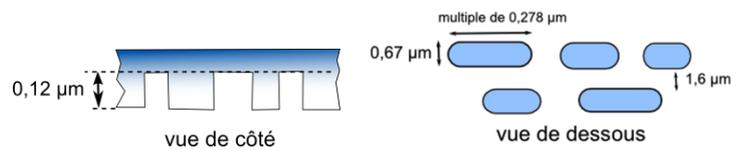


Figure 4 : Creux et Plats d'un CD

Pour coder des données numériques, il faut une série de 0 et de 1. On pourrait penser que les creux représentent les « 1 » et les plats les « 0 » (ou vice-versa) mais la réalité est plus complexe. Tous les creux et plats sont des « 0 » et c'est le passage d'un creux à un plat (ou l'inverse) qui représentera un « 1 ». (figure 5). En pratique, la cellule chargée de lire les données regarde l'état de la surface tous les $0,278 \mu\text{m}$: s'il n'y a pas de transition, elle renvoie un « 0 », sinon elle renvoie un « 1 ». Toutes les 8 lectures (chaque lecture représente un bit), on obtient un octet qui contient l'information contenue sur le CD (texte, musique etc...). Un CD contient environ 700 Mbits. Cela correspond à 74 minutes de musique.

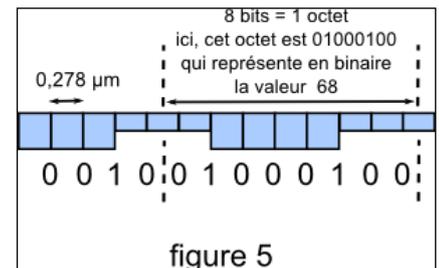


figure 5

Le principe de la lecture des données

Une diode laser émet un faisceau de longueur d'onde λ (780 nm dans l'air et 503nm dans le polycarbonate). Ce faisceau traverse un miroir semi-réfléchissant et va frapper la surface du disque (figure 6). Il se réfléchit et interfère avec lui-même. Lorsque le faisceau se réfléchit sur un creux ou sur un plat, l'interférence est constructive. Entre revanche, lorsque le faisceau se trouve sur le passage d'un creux à un plat, l'interférence est destructive (figure 7). C'est ainsi que la cellule, chargée de convertir les interférences constructives en « 0 » et les interférences destructives en « 1 », convertit l'information gravée sur le CD.

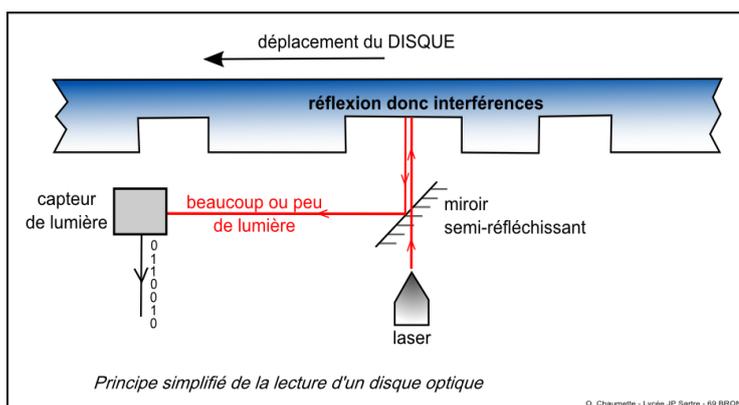


Figure 6

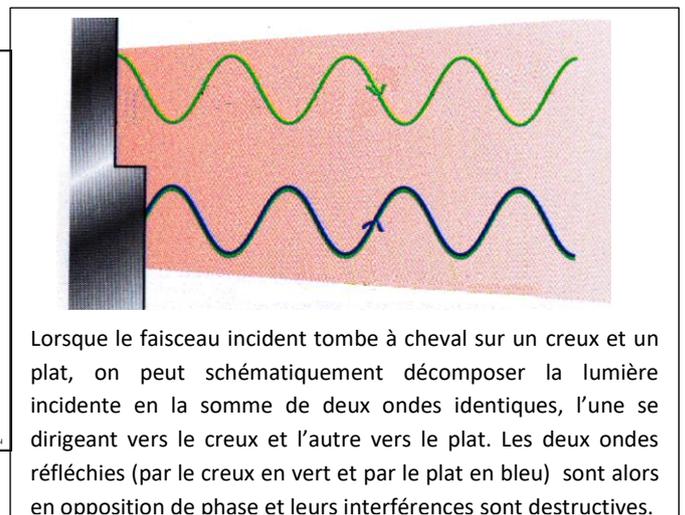
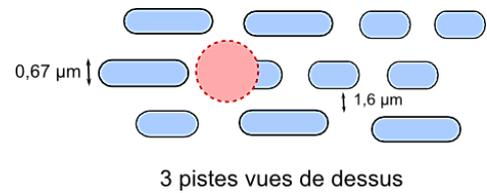
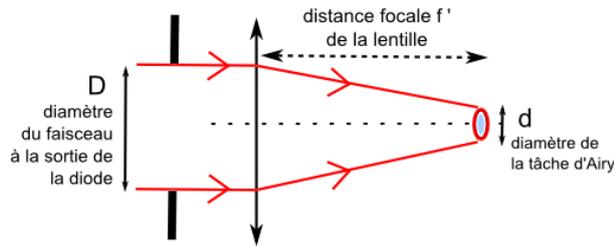


Figure 7

Capacité de stockage

Le bloc optique est constitué d'une diode laser suivie d'une lentille convergente qui a pour rôle de faire converger le faisceau laser. Les diamètres de la diode et de la lentille sont très faibles. Le faisceau subit donc une diffraction et l'image donnée par la lentille n'est pas un point mais une petite tache (appelée tache d'Airy). La taille de cette tache limite le nombre d'informations que peut stocker un CD car il faut que la tache du laser ne lise qu'une piste à la fois :



Pour augmenter la capacité de stockage, c'est-à-dire augmenter le nombre de creux par disque, il faut ainsi modifier la longueur d'onde du laser :

Type de support	CD	DVD	Blu-ray
Longueur d'onde	780 nm	658 nm	405 nm
Capacité	700 Mbits	4,7 Gbits	23 Gbits
Distance entre pistes	$1,6 \mu\text{m}$	$0,74 \mu\text{m}$	$0,4 \mu\text{m}$
Profondeur des creux	$0,12 \mu\text{m}$	$0,10 \mu\text{m}$	$0,06 \mu\text{m}$
Largeur faisceau	$2,1 \mu\text{m}$	$1,2 \mu\text{m}$	$0,6 \mu\text{m}$

