

Fiche méthodo n°4 : Interférences sur les lames minces

La partie sur les interférences sur lames minces n'est pas une partie facile du cours, c'est une partie qui a tendance à tomber en QCM, et c'est une partie sur laquelle je me suis légèrement embrouillée durant la tut'entrée. Donc voici une fiche méthodo, afin que vous puissiez aborder sereinement les QCM sur cette partie, qui me permet également de faire mes ptites errata (je les signalerai).

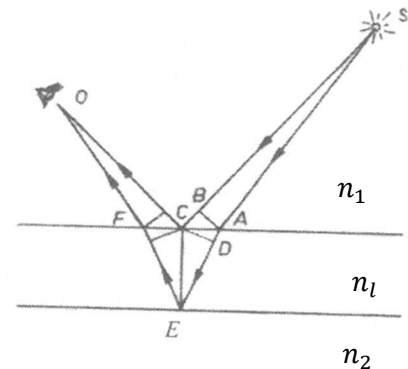
Cette fiche sera découpée en 4 grandes parties. Une partie de rappel, deux parties sur les différents cas étudiés en cours, et une partie pour corriger les QCMs proposés avec une méthode de résolution à chaque fois très détaillée.

Sur ce, c'est parti pour la fiche !

I. Rappels sur les interférences sur lames minces

On a ce type d'interférences lorsqu'on a **deux milieux d'indices optiques identiques ou différents**, et qu'on dépose une couche mince d'un matériau d'indice optique donné, afin de créer des interférences soit constructives, soit destructives.

Les interférences sont **constructives** lorsque la différence de marche est proportionnelle à une longueur d'onde, et elles sont **destructives** lorsque la différence de marche est proportionnelle à une longueur d'onde et demi. Mathématiquement ça nous donne :



- Dans le cas des interférences constructives :

$$\delta = k\lambda$$

- Dans le cas des interférences destructives :

$$\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

δ : différence de marche
 k : nombre entier positif quelconque
 λ : la longueur d'onde utilisée

C'est tout pour cette première partie, qui allait très vite, je voulais juste poser les bases de la différence de marche et vous remettre en tête les deux formules à connaître +++ pour cette notion. Nous allons donc pouvoir passer à la partie suivante.

II. Interférences dans le cas où les indices optiques de la lame et en-dessous sont identiques

A. Formule de base à connaître

Nous sommes donc dans le cas où $n = n_2$.

Il y a alors une nouvelle manière d'écrire la différence de marche, qui est admise :

💡 Premier erratum par rapport à ce qui a été dit à la TTR : **l'indice optique utilisé est celui de la LAME MINCE** pas du milieu inf +++++

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

δ = différence de marche
 e = épaisseur de la lame
 λ = longueur d'onde

B. Interférences constructives

Dans le cas des interférences constructives, nous avons donc :

$$\delta = k\lambda = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

Donc :

$$2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

Maintenant, on va isoler e parce que j'en ai envie (en vrai, c'est la variable que le prof isole et c'est celle qui est le plus souvent demandée) :

$$2ne = k\lambda - \frac{\lambda}{2}$$

Pour simplifier le calcul, on prend $k = 1$, mais n'oubliez pas que k peut prendre différentes valeurs +++

$$2ne = \lambda - \frac{\lambda}{2}$$

$$2ne = \frac{\lambda}{2}$$

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

La formule trouvée est dans le cas où $k = 1$ je le dis et je le répète, ce sera différent si k est différent de 1, et il faudra refaire une partie du raisonnement +++ (je vous laisse le faire pour que vous réfléchissiez un peu dessus 😊 (*petit indice, c'est moins facile que ça en a l'air*))

C. Interférences destructives

Dans le cas des interférences destructives nous avons :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

Donc :

$$2ne + \frac{\lambda}{2} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

Encore une fois, on isole e :

$$2ne = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda - \frac{\lambda}{2}$$

On prend encore une fois $k = 1$ ce qui nous donne :

$$2ne = \lambda + \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2}$$

$$2ne = \lambda$$

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$

Ici, une fois de plus, il ne faut pas oublier que k peut prendre différentes valeurs, donc encore une fois il faut voir ce que ça donne lorsqu'on remplace k par d'autres valeurs 😊

D. QCM d'application

Petit QCM time, parce qu'ici seul l'entraînement vous permettra de bien intégrer le mécanisme +++

QCM : Soit des interférences dans une bulle de savon. On considèrera que l'indice optique de l'eau savonneuse composant la bulle est $n = 1,4$. On considèrera l'intérieur de la bulle avec un indice optique $n = 1,4$. Pour quelles épaisseurs de la bulle y aura-t-il des irisations, à savoir des interférences constructives ? On donne $\lambda = 700 \text{ nm}$.

- A) 125 nm
- B) 175 nm
- C) 325 nm
- D) 375 nm
- E) 425 nm

III. Interférences dans le cas où l'indice optique n_2 est supérieur à l'indice optique de la lame

A. Formule de base à connaître

Nous sommes dans le cas où $n_2 > n$

Il y a encore une fois une nouvelle manière d'écrire la différence de marche :

$$\delta = 2ne$$

💡 Ici encore, **l'indice optique utilisé est celui de la LAME MINCE** pas du milieu inf +++++

B. Interférences constructives

Nous allons fonctionner comme pour le premier cas :

$$\delta = k\lambda = 2ne$$

Donc :

$$2ne = k\lambda$$

Comme toujours depuis le début de la fiche, on isole e (attention, comme dit plus haut, c'est souvent cette valeur qui est demandée, mais quelques fois, ça peut changer 😊) :

$$e = \frac{k\lambda}{2n}$$

On prend $k = 1$:

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$

N'oubliez pas de modifier k si besoin en QCM (notamment si on vous demande plusieurs valeurs, ou même simplement par acquis de conscience, il se pourrait que ça tombe au tutorat un jour 😊)

C. Interférences destructives

Cette fois-ci, nous allons avoir :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda = 2ne$$

D'où :

$$2ne = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

Encore une fois on va isoler e en prenant cette fois $k = 0$:

$$2ne = \frac{\lambda}{2}$$

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

!/!\!\!\ Ici je vous mets un méga gros ATTENTION !/!\!\!

En effet, si vous vous souvenez du cours de la TTR, vous vous souvenez sans doute que les formules étaient les mêmes dans les deux cas, mais « inversées ». C'est toujours le cas, il y a toujours des risques de piège. Et je ne dis pas ça pour rigoler. Il y a déjà eu un QCM du concours particulièrement tordu, qui demandait d'utiliser les deux formules du cours +++

D. QCM d'application

Encore une fois, voici un petit QCM pour vous permettre de vous exercer un chouïa. Faites-les sérieusement s'il vous plaît, en vrai ils ne sont pas si compliqués que ça, mais ils vous permettent de manipuler les formules +++

QCM : On souhaite appliquer une couche de fluorure de magnésium sur des verres de lunettes pour créer une couche anti-reflet. L'indice optique des verres est $n_2 = 1,5$ et l'indice optique du fluorure de magnésium est $n = 1,38$. Pour une lumière de longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$, quelles épaisseurs sont possibles pour en effet obtenir des interférences destructives ?

Aide au calcul : $\frac{550}{1,38} \approx 400$

- A) 100 nm
- B) 200 nm
- C) 300 nm
- D) 400 nm
- E) 500 nm

IV. Correction des QCMs proposés

Premier QCM :

QCM : Soit des interférences dans une bulle de savon. On considèrera que l'indice optique de l'eau savonneuse composant la bulle est $n = 1,4$. On considèrera l'intérieur de la bulle avec un indice optique $n = 1,4$. Pour quelles épaisseurs de la bulle y aura-t-il des irisations, à savoir des **interférences constructives** ? On donne $\lambda = 700 \text{ nm}$.

A) 125 nm

B) 175 nm

C) 325 nm

D) 375 nm

E) 425 nm

Ici, j'ai mis en valeurs les informations les plus importantes de l'énoncé.

Ici on dit que l'indice optique de la lame mince est égal à celui en-dessous de la lame mince.

Ensuite, on veut des **interférences constructives**.

Avec ces deux informations, on peut en déduire qu'il faut utiliser la formule $e = \frac{\lambda}{4n}$

Mais ATTENTION ! on demandait également **plusieurs épaisseurs** !! Il fallait donc faire varier k , qui fait varier notre équation de manière assez bizarre ! (Vous pensiez réellement que j'allais vous dire que je vous laissais inclure k dans l'équation sans vérifier que vous l'aviez bien fait ? Me prenez-vous pour une débutante ? 😊)

Nous allons donc maintenant faire varier k ensemble (en plus comme ça vous pouvez vérifier si ce que vous avez fait est juste). Reprenons à $2ne = k\lambda - \frac{\lambda}{2}$:

$$\begin{aligned} 2ne &= \frac{2k\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} \\ 2ne &= \frac{(2k-1)\lambda}{2} \\ e &= \frac{(2k-1)\lambda}{4n} \end{aligned}$$

💡 Et nous avons la deuxième erreur qui s'est glissée dans le cours de la TTR, il ne suffit pas simplement de multiplier par k ! Le calcul est légèrement plus compliqué, donc je vous invite très vivement à bien vérifier, quand vous ferez la ronéo, ou même maintenant, ce que donne la formule en laissant k +++

Donc maintenant, si on remplaçait k par différentes valeurs, on obtenait différents résultats :

Pour $k = 1$, $e = \frac{700}{4 \times 1,4} = 125 \text{ nm}$

Pour $k = 2$, $e = 3 \times 125 = 375 \text{ nm}$ (vous croyiez vraiment que j'allais m'embêter à faire tout le calcul ? C'est un peu une perte de temps ! Ici, comme $k = 2$, du coup on a 3 comme facteur de λ au numérateur, donc il faut juste multiplier la première valeur trouvée par 3)

Pour $k = 3$, $e = 5 \times 125 = 625 \text{ nm}$

Donc le bilan de réponse est **AD**.

Passons au deuxième QCM :

QCM : On souhaite appliquer une couche de fluorure de magnésium sur des verres de lunettes pour créer une couche anti-reflet. L'indice optique des verres est $n_2 = 1,5$ et l'indice optique du fluorure de magnésium est $n = 1,38$. Pour une lumière de longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$, quelles épaisseurs sont possibles pour en effet obtenir des interférences destructives ?

Aide au calcul : $\frac{550}{1,38} \approx 400$

A) 100 nm

B) 200 nm

C) 300 nm

D) 400 nm

E) 500 nm

Ici encore, j'ai mis en valeur les données importantes de l'énoncé :

- ➔ $n_2 > n$
- ➔ On cherche des interférences destructives
- ➔ Il fallait trouver plusieurs épaisseurs

Avec ces infos, on peut donc déduire quelle formule utiliser : $e = \frac{\lambda}{4n}$

En faisant le calcul avec l'aide, on trouvait $e = 100 \text{ nm}$ pour $k = 0$.

Maintenant, voyons ce que ça aurait donné pour $k \neq 0$:

$$\begin{aligned} 2ne &= k\lambda + \frac{\lambda}{2} \\ 2ne &= \frac{2k\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} \\ 2ne &= \frac{(2k+1)\lambda}{2} \\ e &= \frac{(2k+1)\lambda}{4n} \end{aligned}$$

On peut maintenant remplacer k par différentes valeurs :

Pour $k = 1$, on multiplie le résultat initial par 3, soit $e = 300 \text{ nm}$.

Pour $k = 2$, on multiplie le résultat initial par 5, soit $e = 500 \text{ nm}$.

Le bilan de réponse est donc **ACE**

Pour conclure cette fiche, voici un petit récap de comment résoudre les QCMs faisant intervenir les lames minces :

Première étape : extraire les informations de l'énoncé

- ➔ Est-ce qu'on est dans le cas où $n = n_2$ ou $n < n_2$?
- ➔ Les interférences sont-elles constructives ou destructives ?
- ➔ Cherche-t-on une ou plusieurs valeurs ?

Ces trois questions, vous devrez toujours vous les poser pour ces QCMs.

💡 Ici encore **on ne pouvait pas se contenter de multiplier par k** . Je sais que je me répète et que vous allez finir par en avoir marre, mais vraiment, **demandez-vous comment k va faire varier l'équation**, c'est méga ultra important +++

Deuxième étape : jongler avec les formules

- ➔ Déjà, quelle formule vais-je utiliser ?
- ➔ Comment k va-t-il faire varier ma formule ?

Troisième étape : faire le calcul

Là, pas franchement de conseils, simplifiez-vous la vie (=simplifiez vos calculs) +++

Et enfin, place aux dédiiis !!

Alors j'ai pas beaucoup de place, donc je vais faire succinct :

Déjà, dédié à mes fillots pcq vous êtes les bests, arrachez cette année, je vous fais confiance !! Et puis dédié à ma co-marraine aussi, pcq elle est grave cool en vrai (et puis joyeux anniv en avance !)

Dédi aux belles gosses + d'Artagnan pcq vous êtes des filles grave cools !

Dédi à la tuterie, et surtout à ma co-marraine pcq franchement meuf, t'es ouf comme personne !

Et enfin, dédié à Bastien (alias l'écureuil askip), à Marie P, à Elyas et à Hélène, merci beaucoup

Et j'ai encore de la place, so dédié à toi Don, pcq tu m'as inspirée l'année dernière et cette année elle est à toi, dédié à toi Marie G, pcq je t'aime trop, et dédié à toi également Yanis, pcq tu me fais bien trop rigoler.