

Les ondes mécaniques (sons musicaux, ondes sismiques, ...) et les ondes électromagnétiques (lumière visible et invisible) ont des propriétés communes.

1. Diffraction :

La diffraction peut se produire aussi bien sur des ondes mécaniques (ondes sonores, déformations de la surface de l'eau etc) que sur des ondes électromagnétiques.

1.1. Pourquoi un bateau à l'abri dans un port peut-il ressentir l'effet de la houle ?

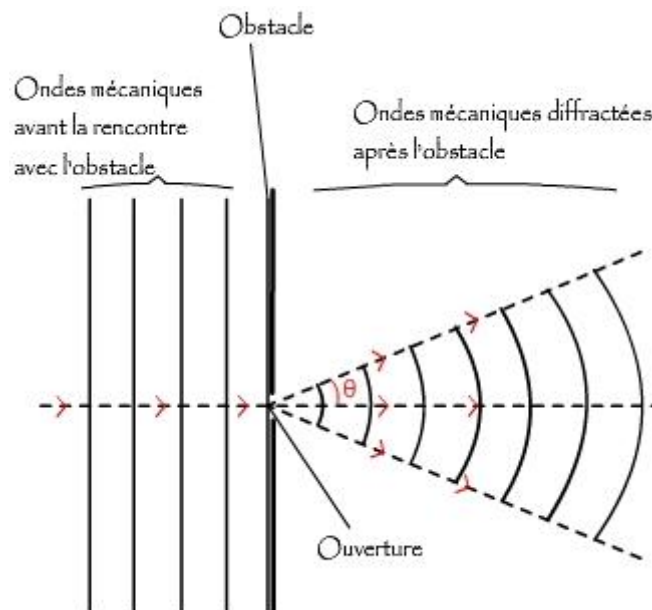


Faire un schéma de la situation.

Proposer une explication.

Modélisation sur la cuve à onde :

Après sa rencontre avec l'obstacle diffractant la direction de propagation de l'onde est modifiée: elle se propage dans différentes directions avec un écart angulaire maximum noté θ par rapport à la direction de propagation initiale.



L'angle θ dépend de la longueur d'onde et de la dimension de l'obstacle. Dans le cas d'une onde mécanique de longueur d'onde λ rencontrant un obstacle avec une ouverture de largeur, il existe la relation suivante:

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Avec λ en mètre (m)
 a en mètre (m)
 θ en radian (rad)

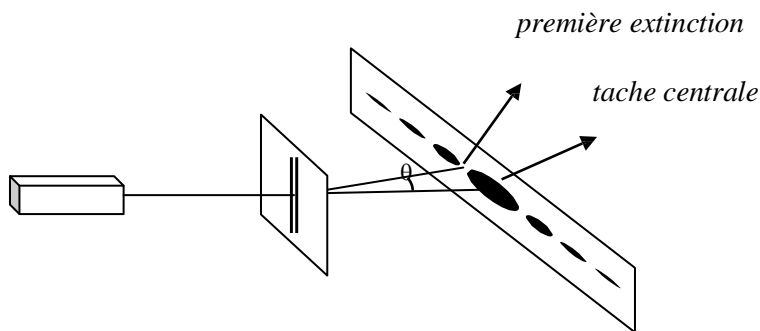
1.2. Quelle est la condition pour qu'une onde soit diffractée ?

La diffraction se produit lorsque:

- l'onde rencontre un obstacle qui peut être un objet matériel (cheveu, poussière, fil etc) ou une ouverture dans une surface (fente, trou etc).

L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la dimension « a » de l'ouverture ou de l'obstacle à la longueur d'onde λ .

Exemple : laser et fente de largeur réglable



Observation : plus la fente est petite et plus la tâche de diffraction est grande.

2. Ondes sinusoidales :

2.1. Acoustique musicale :

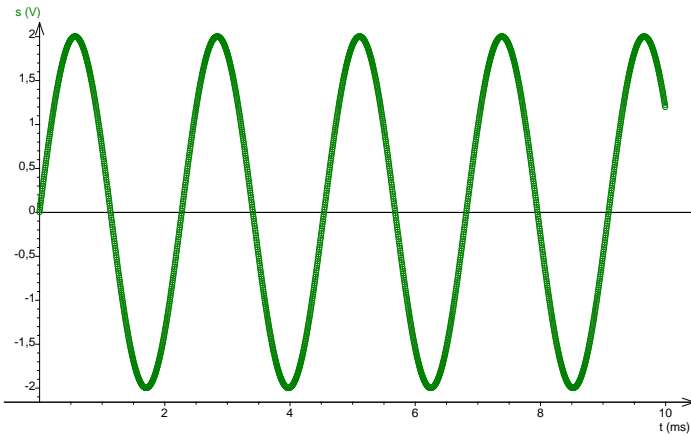
Les fréquences audibles par une oreille dite normale sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz, ces valeurs évoluant d'un individu à l'autre et pour une même personne, avec l'âge. Toutefois, on peut entendre des sons de fréquence très inférieure à 20 Hz* !

Un son musical a trois caractéristiques :

- sa hauteur, caractérisée par sa fréquence f_1 , appelée aussi fréquence fondamentale ;
- son timbre, auquel nos oreilles sont sensibles, qui en font un son plus ou moins harmonieux, caractérisé par l'allure du signal sonore et/ou par son spectre ;
- son intensité, traduisant un son plus ou moins fort, caractérisée par son intensité sonore (I en W/m^2) ou le niveau d'intensité sonore (L en dB), qui est accessible par une mesure au sonomètre.

1. Son pur

L'enregistrement du son pur émis par un diapason conduit à un signal (une tension) d'allure sinusoïdale ; la fréquence de ce signal est la fréquence du son ou sa hauteur.
 L'intensité sonore est liée à l'amplitude du signal.



Spectre de fourrier

1. Intensité sonore

L'intensité sonore est la puissance acoustique reçue par unité de surface ; elle s'exprime donc en $W.m^{-2}$. L'oreille normale perçoit tout changement d'intensité sonore.

Dans le domaine audible, cette intensité sonore évolue entre $I_0 = 1.10^{-12} W.m^{-2}$ (seuil d'audibilité) à environ $25 W.m^{-2}$, c'est-à-dire sur une large étendue. L'utilisation d'une échelle logarithmique permet d'atténuer ces différences : le niveau sonore L (de l'anglais level) est défini par

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad \text{avec } I_0 = 10^{-12} W.m^{-2}$$

L est exprimé en

décibel (dB)

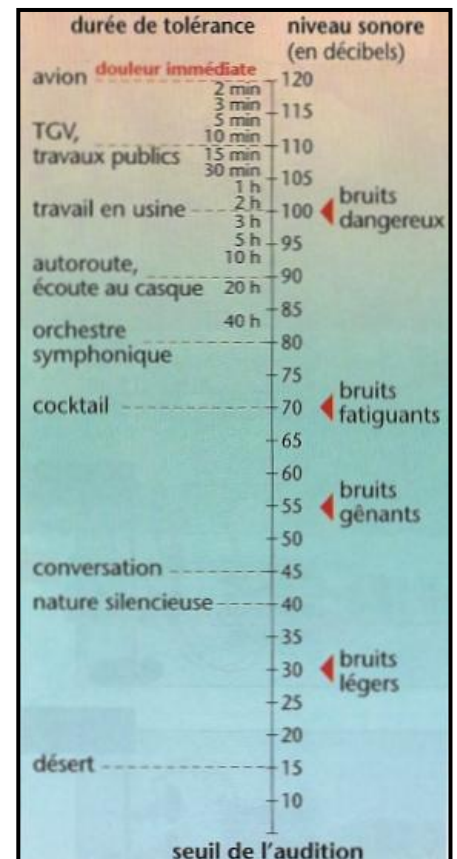
Il en découle que $I = I_0 \cdot 10^{L/10}$

Il est important de faire remarquer que chaque fois que l'intensité sonore est doublée, le niveau d'intensité sonore augmente de 3 dB. C'est important dans le choix d'un appareil électroménager par exemple....

2. Son complexe

Un son complexe, émis par une voix, un instrument, ..., est un signal **périodique** dont l'allure est quelconque (n'est pas sinusoïdale).

Jouer un la 4 à la guitare enregistrer faire le spectre

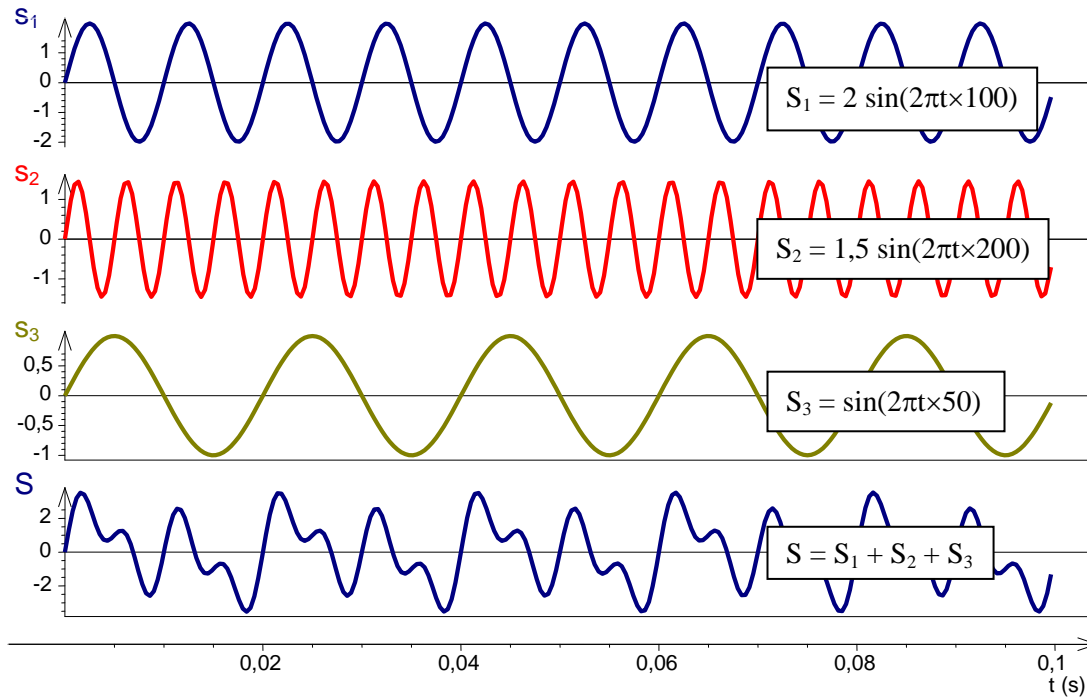


Fourier a montré que toute fonction **périodique** de fréquence f_1 est la somme de fonctions sinusoïdales de fréquence f_1, f_2, f_3, \dots , multiples de f_1 .

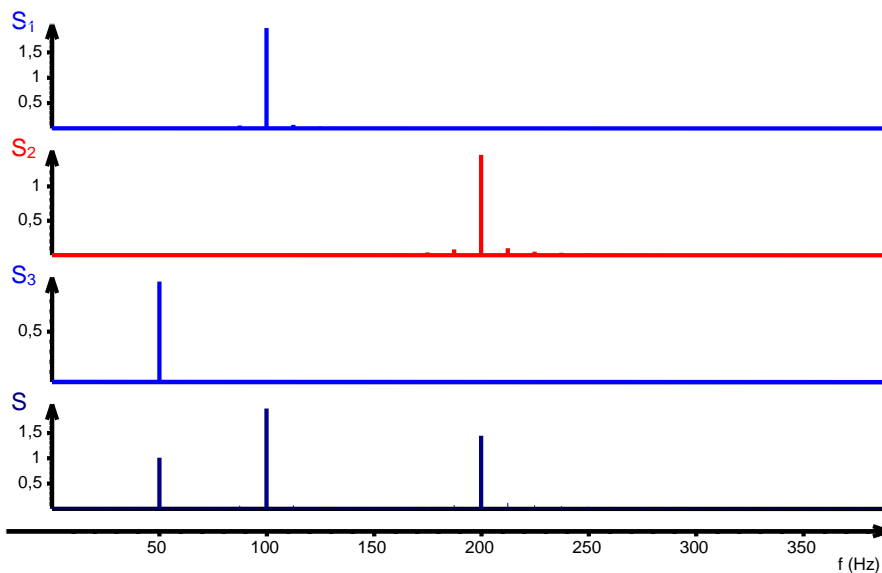
Des logiciels permettent de réaliser une transformée de Fourier c'est-à-dire une décomposition d'un signal périodique en somme de sinusoïdes ; le résultat apparaît sous forme d'un spectre, c'est-à-dire d'un graphe « amplitude en fonction de la fréquence ». Chaque sinusoïde est représentée par un pic dont l'abscisse est la fréquence.

Une simulation pour mieux voir :

SIGNAUX TEMPORELS



SPECTRES



On retrouve dans S , signal somme, les fréquences des trois signaux ajoutés. Attention : si l'amplitude est conservée, c'est parce qu'il n'y a pas de déphasage entre les trois signaux.

2.2. Spectre de la lumière :

Laser lumière monochromatique : une seule raie

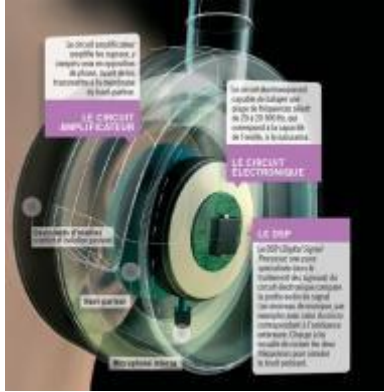
Lumière blanche lumière polychromatique plusieurs fréquences

3. Interférences :

3.1. Le casque anti bruit

Les casques à système d'atténuation de bruit se multiplient sur le marché. Leur but : réduire les nuisances sonores pour mieux profiter de sa musique et préserver son ouïe. Gros plan.

Source: Rémi Langlet L'Ordinateur Individuel-SVM



Le bruit n'est pas un ami, loin s'en faut ! Au-delà de la gêne sonore, il constitue une source de stress qui se traduit par de la fatigue, une perte de concentration ou encore de l'irritabilité. Supporté de façon constante, il provoque même une détérioration de l'ouïe. Les casques dotés d'un système antibruit actif ne répondent donc pas à un phénomène de mode, mais à un besoin réel de réduire certaines pollutions sonores afin de gagner en confort et en santé. Dans les transports urbains ou en avion, ils permettent ainsi de masquer le bruit des moteurs, des réacteurs ou encore de la climatisation, sans avoir à augmenter le volume du casque.

Les recherches pour atténuer les bruits ambiants ne datent pas d'hier. Déjà en 1933, l'Américain Paul Lueg expliquait comment annuler des sons dans des tuyaux (en ajoutant exactement le même son, mais en opposition de phase) et il fut le premier à obtenir un brevet sur le contrôle actif du bruit. Chez Bose, le spécialiste des produits audio, les recherches ont débuté dans les années 1970. A l'époque, le fondateur de la société, le docteur Amar Bose, n'appréciait guère les nuisances sonores lorsqu'il effectuait des vols transatlantiques. Il est vrai que des volumes compris entre 60 et

90 dB sont particulièrement difficiles à supporter pour l'oreille humaine.

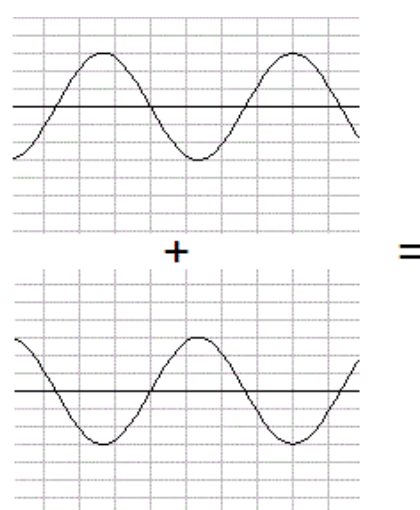
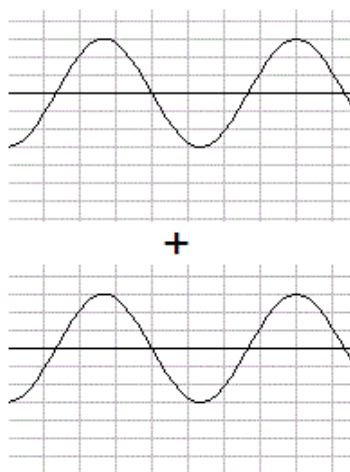
Principe d'interférences

Quelques années plus tard, en 1986, un casque Bose à réduction de bruit est utilisé lors d'un tour du monde sans escale en avion léger (The Voyager) pour éviter aux pilotes une perte de l'ordre de 30 % de leurs capacités auditives. La technologie trouve un débouché naturel dans l'aviation civile et militaire. S'agissant du grand public, les Etats-Unis drainent le marché, les gens voyageant souvent en avion. En Europe, il demeure plus confidentiel. Ce qui n'empêche pas les spécialistes du monde audio de s'intéresser de près à la question, qu'il s'agisse de Sennheiser, de Bose, de Shure, d'Harman Kardon, de Sony, de Creative ou encore de Denon...

Leurs procédés technologiques d'atténuation de bruit prennent diverses appellations, *Active Noise Cancellation* chez Creative, *Acoustic Noise Cancelling* chez Bose ou encore *NoiseGard* chez Sennheiser. Cela étant, toutes reposent sur un principe physique similaire. Un signal sonore peut être annulé par superposition du même signal, en inversion (ou en opposition) de phase. Autrement dit, quand on fait interférer deux ondes sonores, le bruit initial et celui créé en opposition de phase, on obtient du silence. En fait, la surpression de l'air due au bruit coïncide avec la dépression due au son ajouté et réciproquement. Le morceau de musique que l'on écoute ou le silence auquel on aspire n'en sont que meilleurs.

Questions :

1. Sur quel principe fonctionne un casque anti bruit actif ?
2. Quels sont les éléments nécessaires à sa réalisation ?
3. Compléter les schémas suivants et donner un titre à chacun.



4. Optique

3.2. Lumière+Lumière= ?

En optique on peut de la même façon observer
lumière + lumière = lumière
et sous certaines conditions :
lumière + lumière = obscurité.

Nous avons vu que lorsque l'on éclaire une fente fine en lumière LASER, on obtient une figure de diffraction (« 1 slit » ci-dessous).

Mais lorsque l'on éclaire **deux fentes fines proches** en lumière LASER, on obtient une **figure d'interférences** (« 2 slit » ci-dessous) où l'on observe une alternance de **franges** colorées et sombres.

Pour interférer, deux ondes doivent avoir la **même fréquence**.



3.3. Explication du phénomène d'interférences

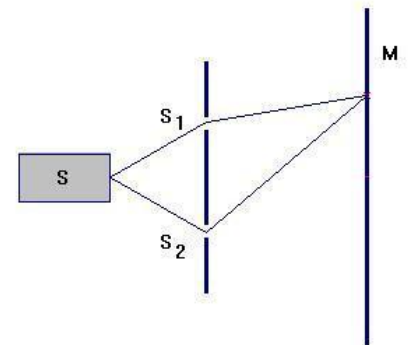
Deux ondes, issues de sources secondaires S_1 et S_2 cohérentes, interfèrent au point M.

Ces deux sources ont un déphasage constant issu qui dépend :

- du déphasage entre les sources ;
- de la durée de leur trajet respectif.

Le déphasage observé au point M dépend donc de la **différence de marche δ** de ces ondes.

Pour les interférences obtenues avec des fentes d'Young, la différence de marche $\delta = S_2M - S_1M$. C'est une distance (voir ci-contre).



- On observe des **interférences constructives** quand $\delta = k\lambda$.

-
-

- On observe des **interférences destructives** quand

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

$$\left(\begin{array}{c} | \\ 2 \\ | \end{array} \right)$$

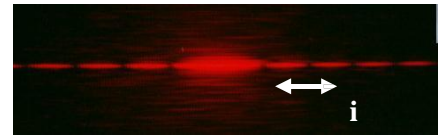
k est un nombre entier relatif appelé « ordre d'interférences ».

On appelle **interfrange**, notée i , est la **distance séparant deux franges brillantes** (ou deux franges sombres) **consécutives**.

On peut démontrer qu'alors :

- a est la distance entre séparant les fentes.
- D est la distance entre les fentes et l'écran
- λ est la longueur d'onde des sources lumineuses monochromatiques.

C'est par la mesure expérimentale de l'interfrange que l'on peut en déduire la longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée.

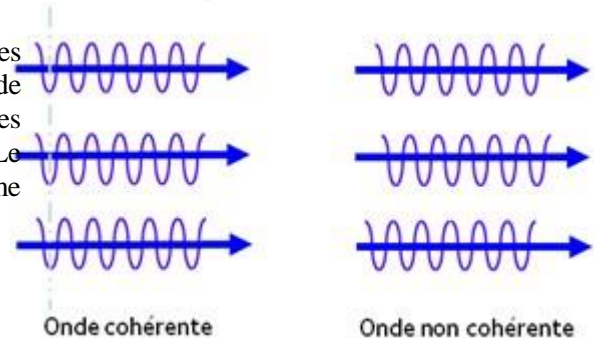


3.4. Nécessité de sources cohérentes

Une figure d'interférences est stable dans le temps si les interférences constructives et destructives se produisent respectivement aux mêmes points. Pour cela, les ondes doivent avoir la **même fréquence**.

Mais ce n'est pas suffisant : l'expérience montre que des interférences ne peuvent pas se produire si elles sont issues de deux sources indépendantes. En effet, elles seraient déphasées (leurs maxima ne se produisent pas en même temps). Le déphasage changerait en permanence. Donc il en serait de même pour la figure d'interférences.

Voir ci-contre.



Bilan :

Une **figure d'interférences** stable s'obtient avec des **ondes de même fréquence** et présentant un **déphasage constant**. On parle d'**ondes cohérentes** (émises par des sources secondaires provenant d'une même source unique).

3.5. Interférences en lumière blanche

Eclairées en **lumière blanche**, les *couches minces* font apparaître des **couleurs interférentielles** (ou **irisations**).

Les ondes lumineuses réfléchies sur les parois interne et externe peuvent interférer.

Chaque radiation de longueur d'onde λ donne sa propre figure d'interférences. Au final, on observe, par superposition, différentes zones colorées.

Expérience de démonstration de la bulle de savon

On peut voir les irisations sur les bulles de savon à l'œil nu mais c'est plus spectaculaire si on les projette. L'image obtenue par réflexion est moins lumineuse mais beaucoup plus contrastée.

a) Protocole

Pour le savon, mélanger : 8 volumes d'eau, 1 volume de glycérine et 1 volume de liquide vaisselle. Utiliser la « lanterne » avec un faisceau condensé par une lentille de 10 cm. Observation à l'aide d'une lentille de 30 cm.

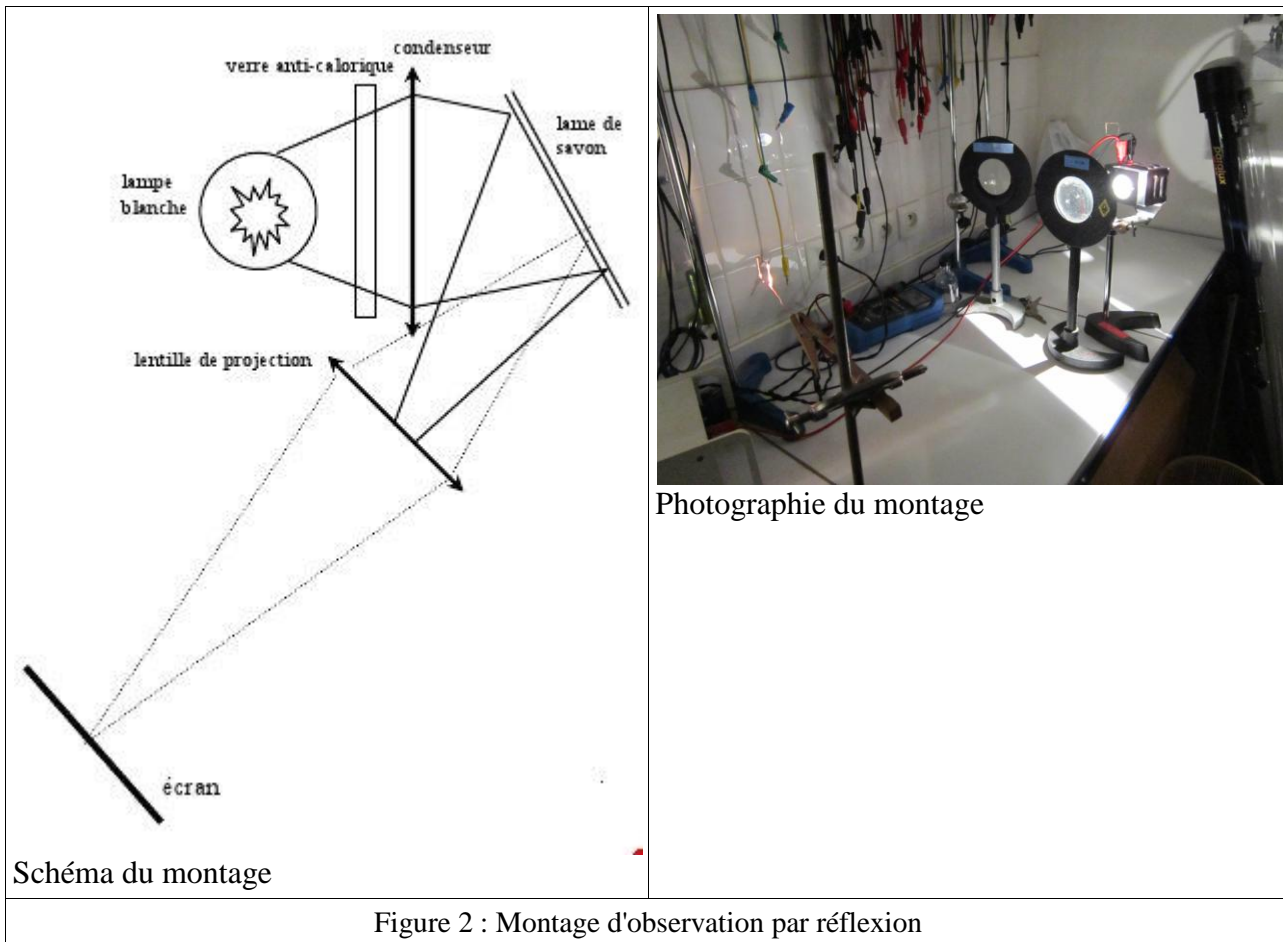


Figure 2 : Montage d'observation par réflexion

b) Images

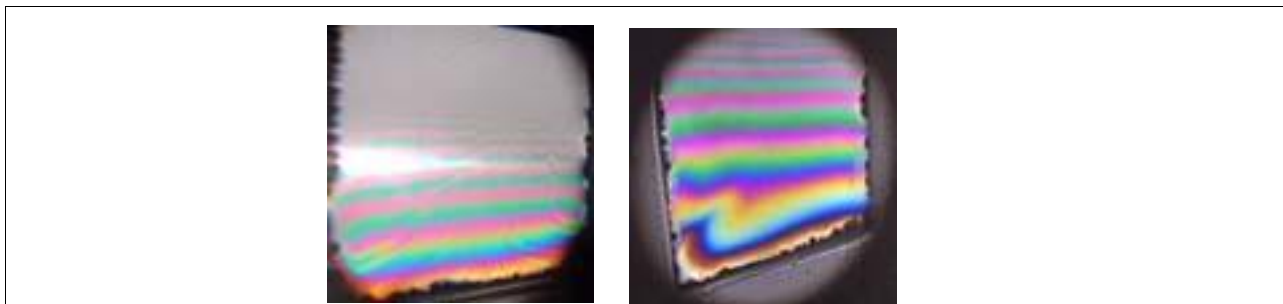


Figure 3 : Photographies des interférences par une bulle de savon, observation par réflexion.

c) Interprétation

Lorsqu'on observe la lumière réfléchi sur une simple lame (ou bulle) de savon, des franges colorées apparaissent. Ceci est dû aux interférences entre les deux types de faisceaux lumineux réfléchis par la lame : le faisceau (1) réfléchi au niveau de la première interface - air / savon - et celui (2) réfléchi au niveau de la seconde interface - savon / air. La différence de marche dépend de l'épaisseur de la bulle qui n'est pas uniforme pour cette raison on parle de franges d'égale épaisseur.

Le second faisceau parcourt une distance plus importante que le premier, car il effectue un aller-retour dans la lame.

Ceci produit un déphasage par rapport au premier faisceau. L'intensité de l'onde résultante dépend à la fois de la longueur d'onde de la lumière et de l'épaisseur optique locale de la lame. La différence de marche est égale à $\delta \approx 2ne(z)$ Le déphasage entre les deux faisceaux est : $\Delta\phi = 2\pi\lambda \times \delta + \pi \approx 4\pi ne(z) / \lambda + \pi$ sous incidence faible ($\cos(\theta r) \approx 1$)

(le déphasage supplémentaire de π est dû au fait que le coefficient de réflexion est négatif pour le premier faisceau, se réfléchissant à l'interface air / savon, alors qu'il est positif pour le second, se réfléchissant à l'interface savon / air)