



## Définition :

L'interféromètre de Michelson est principalement constitué des éléments suivants

- une lame plane semi-réfléchissante dite « séparatrice » ( $S_P$ ) ;
- Deux miroirs plans  $M_1$  et  $M_2$  ;
- parfois une lame compensatrice.

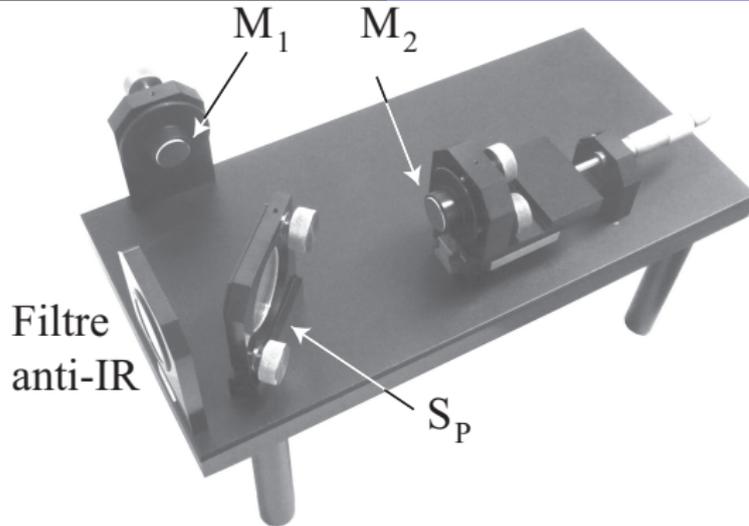


Figure – Interféromètre de Michelson pour TP.



## Définition :

On parle d'interféromètre à **division d'amplitude** (à opposer au dispositif des fentes d'Young qui est un interféromètre à division du front d'onde).

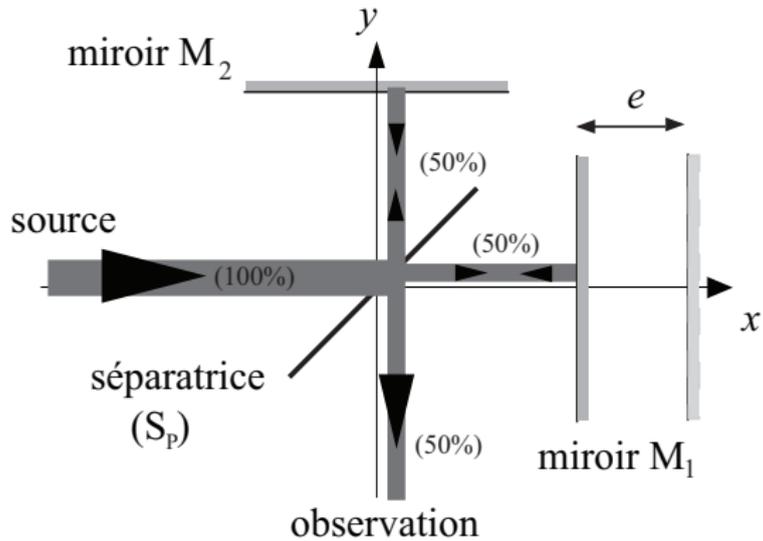


Figure – Principe de l'interféromètre de Michelson.

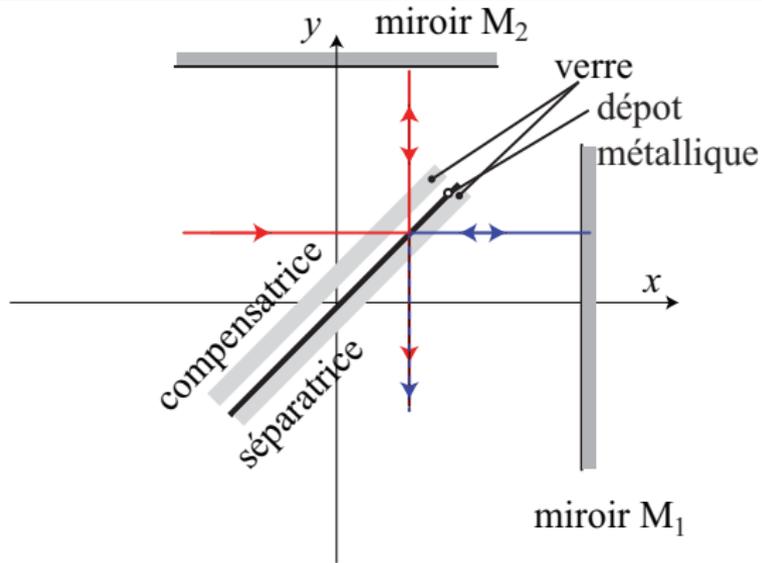
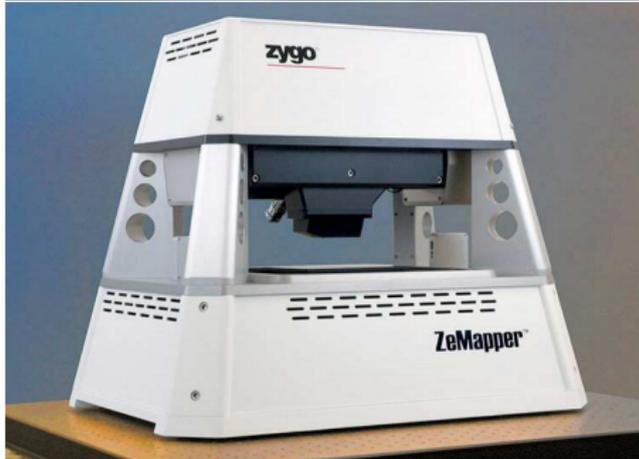
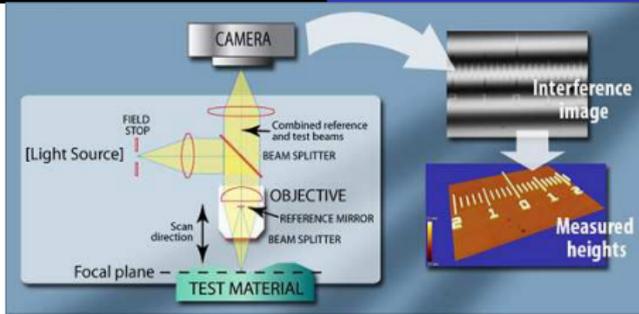


Figure – Principe de l'interféromètre de la lame compensatrice.





50 μm

| State       | Axis        | Size          | Width    | Height   | Points   |          |          |
|-------------|-------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Arizona     | Arizona.com | 277.2 μm      | 58.09 μm | 28.30 μm | 22.46 mm | 22.46 mm | 18837526 |
| Description |             | Attached (88) |          |          |          |          |          |

Figure – ZeMapper, un profilomètre optique. Reconstruction de l'image d'une pièce américaine par interférométrie.

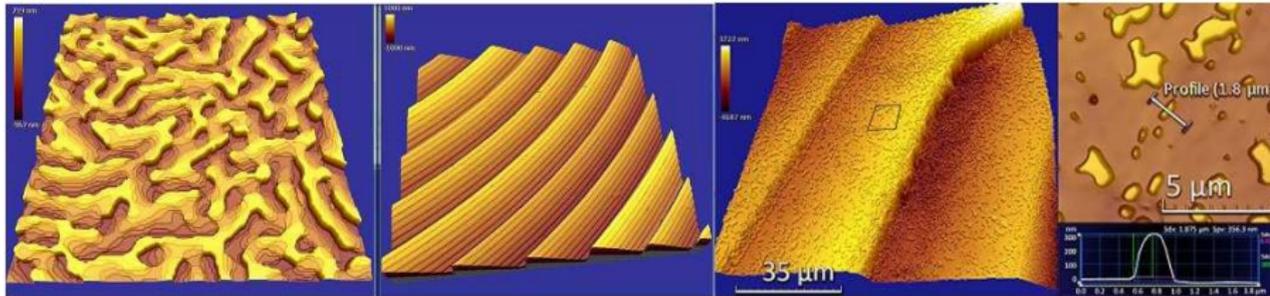
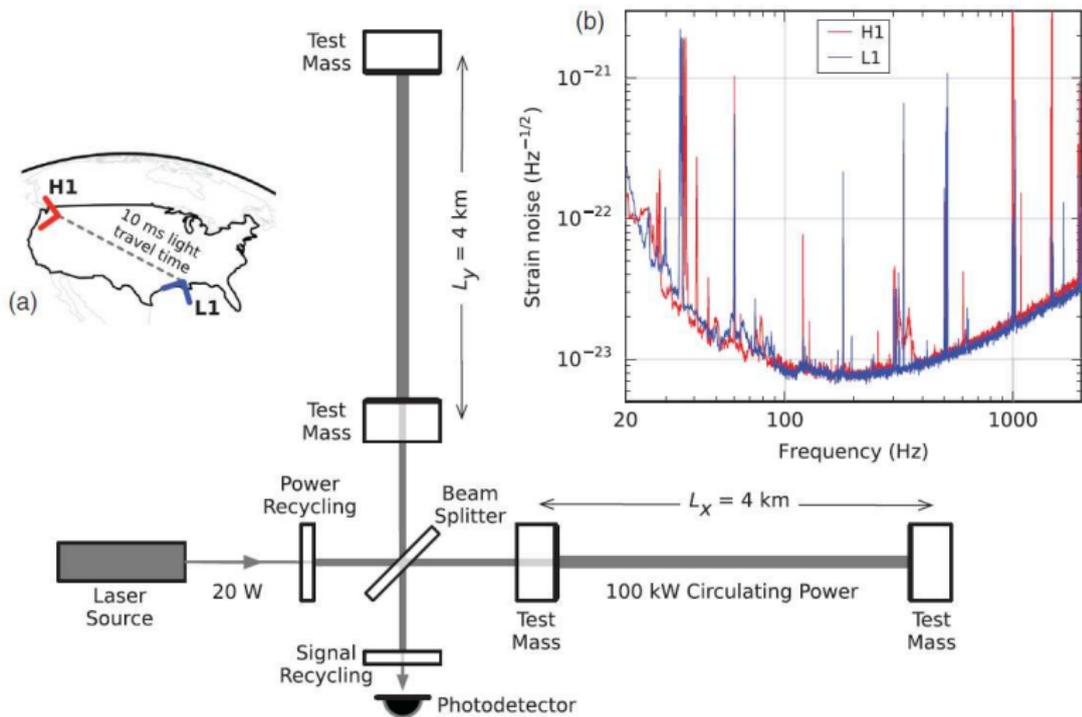


Figure – A  $95 \times 95 \mu\text{m}$  map of a bio-film of *shewanella onoidensis* MR-1 bacteria on a cleaved calcite surface (the calcite cleavage terraces can also be seen) shows an isolated single bacteria on the zoomed-up section and in the profile (top; map courtesy of Everett Salas and Andreas Luttge, Department of Earth Science, Rice University)



Figure – Interféromètre européen (VIRGO) et américain (LIGO) pour la détection d'ondes gravitationnelles.



**Figure** – Simplified diagram of an Advanced LIGO detector (not to scale). A gravitational wave propagating orthogonally to the detector plane and linearly polarized parallel to the 4-km optical cavities will have the effect of lengthening one 4-km arm and shortening the other during one half-cycle of the wave ; these length changes are reversed during the other half-cycle. The output photodetector records these differential cavity length variations. While a detector's directional response is maximal for this case, it is still significant for most other angles of incidence or polarizations (gravitational waves propagate freely through the Earth). Inset (a) : Location and orientation of the LIGO detectors at Hanford, WA (H1) and Livingston, LA (L1). Inset (b) : The instrument noise for each detector near the time of the signal detection ; this is an amplitude spectral density, expressed in terms of equivalent gravitational-wave strain amplitude. The sensitivity is limited by photon shot noise at frequencies above 150 Hz, and by a superposition of other noise sources at lower frequencies. Abbot et al. PRL 2016



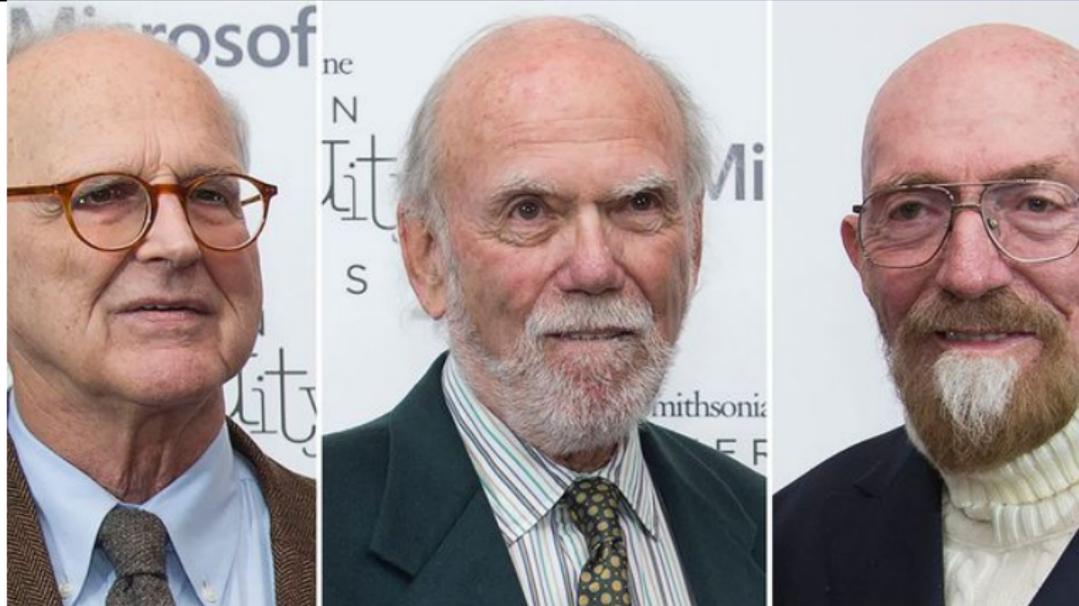


Figure – Prix Nobel 2017 Rainer Weiss, Kip S. Thorne et Barry C. Barish.



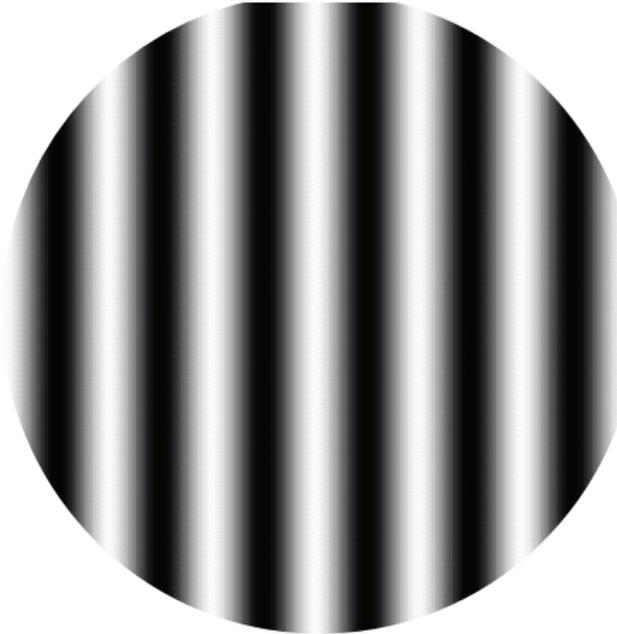
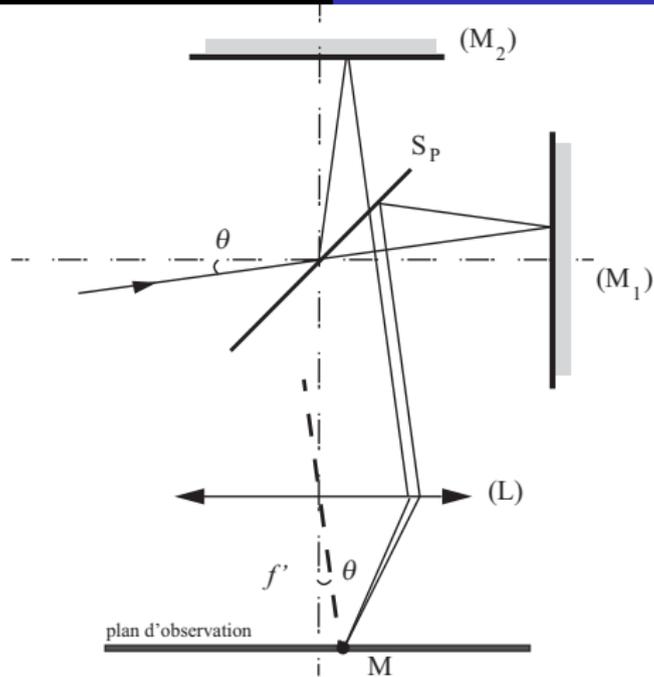


Figure – Franges d'égalé inclinaison (anneaux) et d'égalé épaisseur (franges rectilignes)



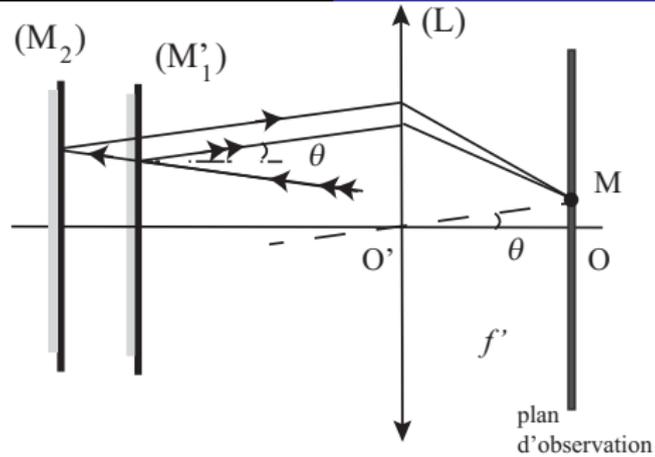
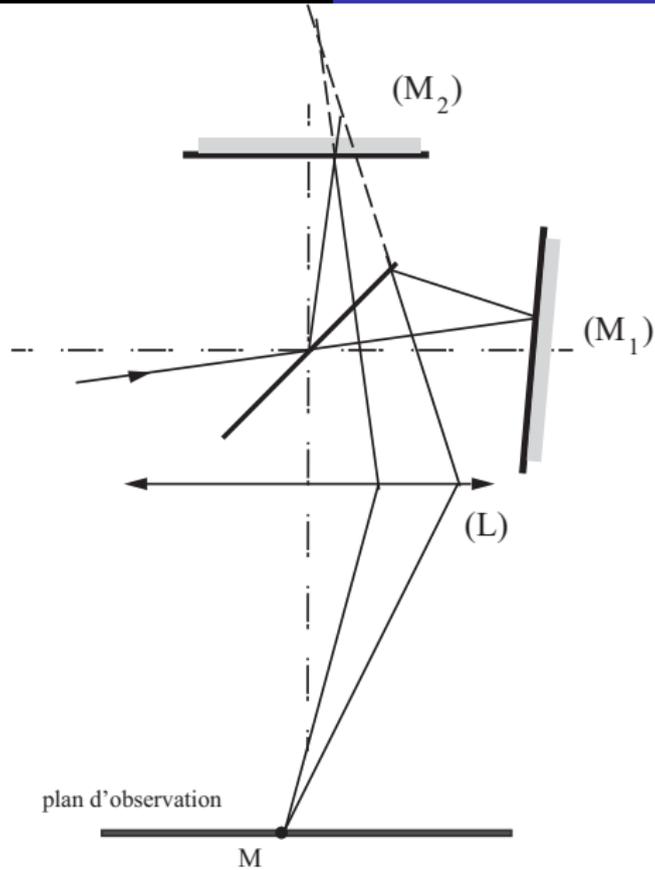


Figure – Tracé des rayons en lame d'air, complet et simplifié.



## Figure – Tracé des rayons en coin d'air

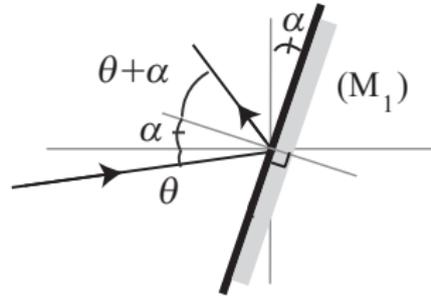


Figure – Rotation par miroir incliné

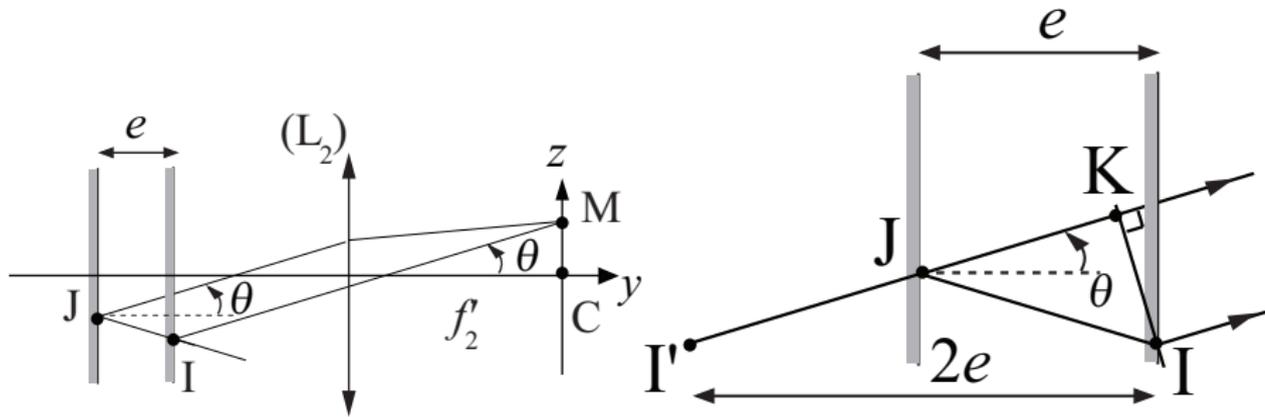


Figure – Rayons interférant au point  $M$ .

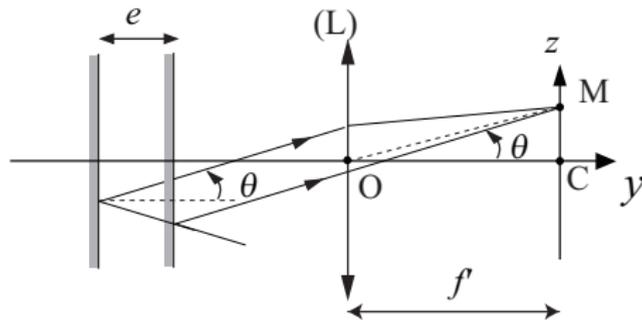


Figure – Rayon des anneaux et différence de marche.

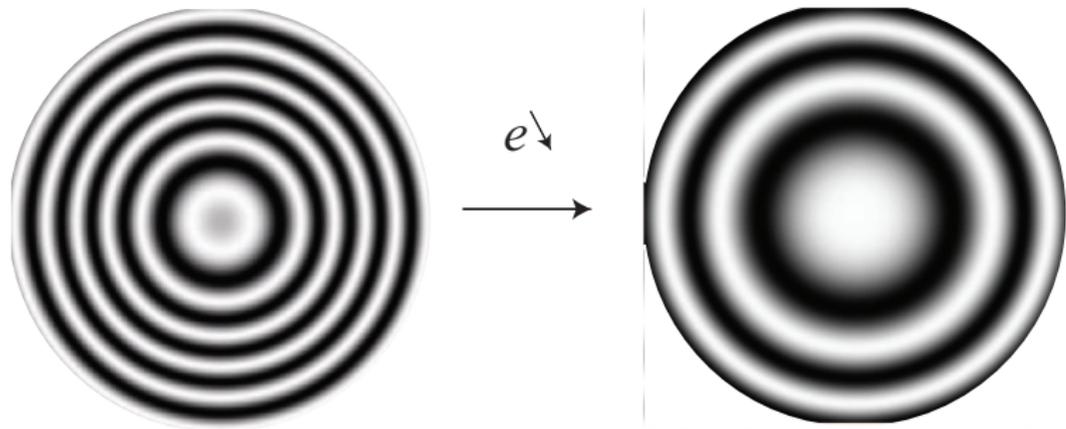


Figure – Evolution de la figure lorsque  $e$  diminue, source de lumière monochromatique.

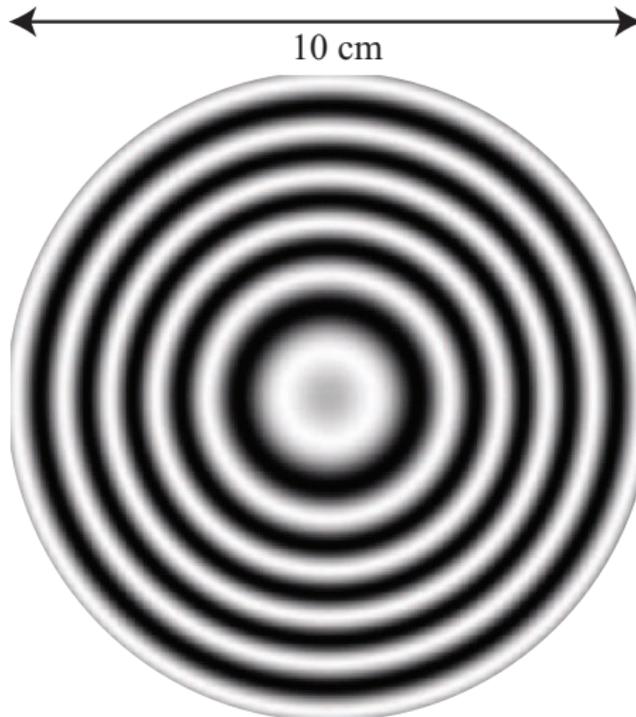


## Définition :

Lorsque  $e \rightarrow 0$ ,  $\rho_k \rightarrow \infty$ , l'éclairement sur l'écran est uniforme, on observe une **teinte plate**, l'interféromètre est réglé au **contact optique**. Toutes les ondes interfèrent constructivement.

## Exemple 1

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air d'épaisseur  $e$  et éclairée par une source étendue monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 639 \text{ nm}$ . L'image est projetée par une lentille convergente de distance focale  $f' = 1,0 \text{ m}$ .



1 - Effectuer un schéma du montage où l'interféromètre de Mi-

chelson est représenté de façon simplifiée.

2 - Démontrer l'expression de la différence marche.

3 - Justifier que la figure sur l'écran est constituée d'anneaux concentriques.

4 - À l'aide de la figure, mesurer le rayon des deux premiers anneaux brillants. En déduire l'écart  $e$  entre les miroirs.

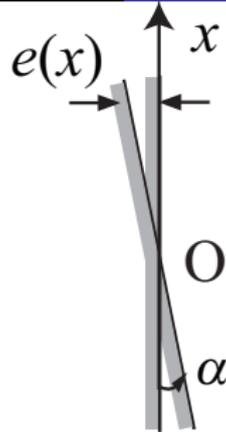


Figure – Représentation du coin d'air.

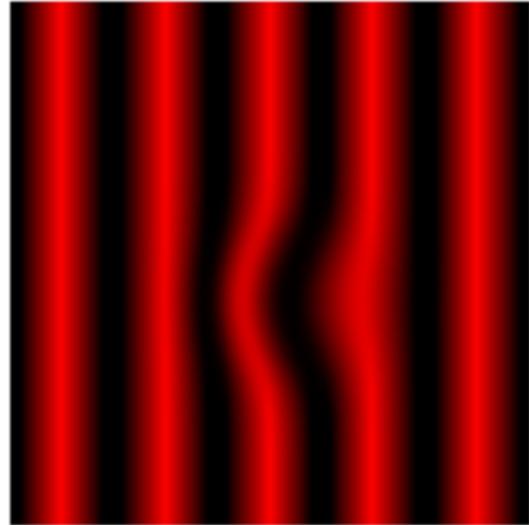
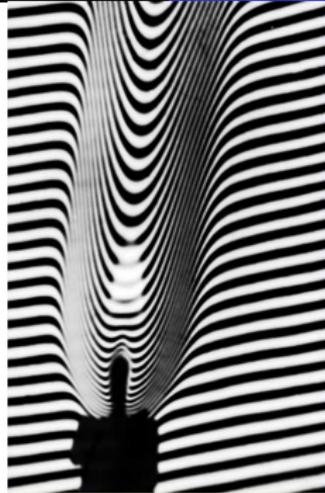


Figure – Figures obtenues avec des défauts présents sur un des miroirs.



**Figure** – Expérience et photographie de Maurice Françon et de son équipe ; collection d'enseignement du Laboratoire d'Optique des Solides de l'Université de Paris VII.

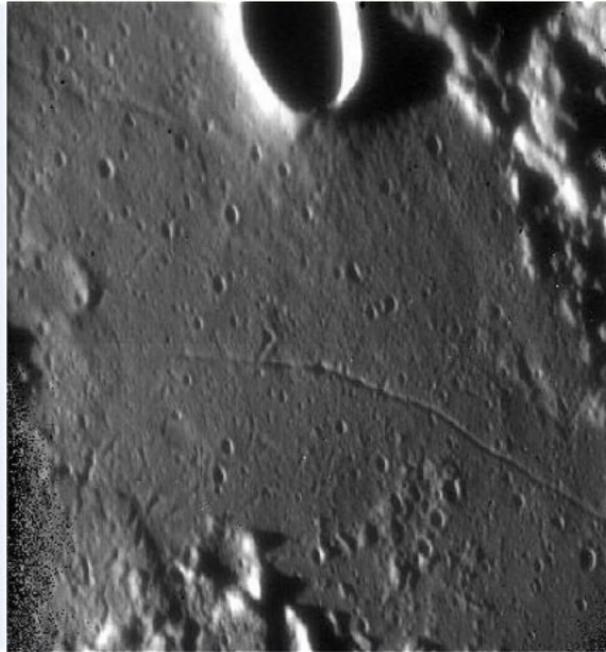
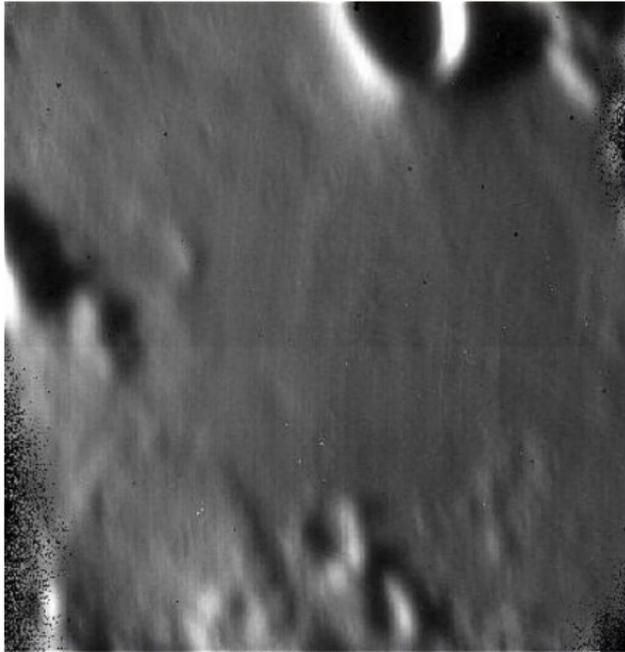




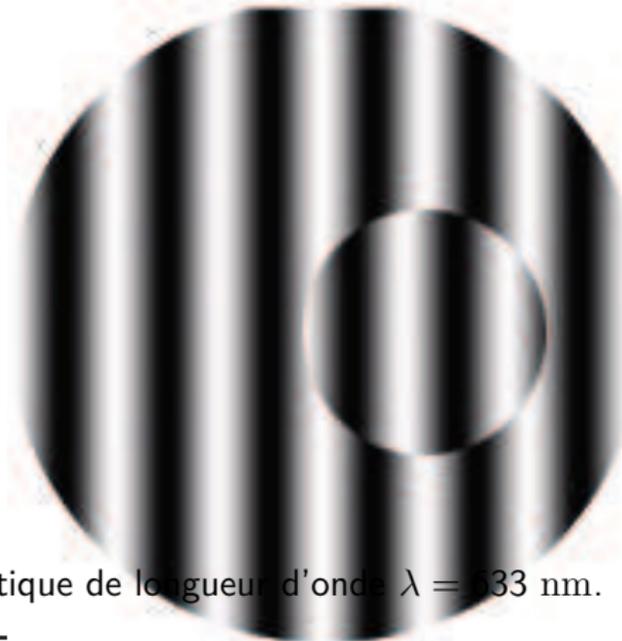
Figure – Amélioration d'un cliché de la surface de la Lune par grâce à l'optique adaptative sur le VLT au Chili ( d'après <https://lesia.obspm.fr/>)

## Exemple 2

Un interféromètre de Michelson est réglé pour observer les franges du coin d'air. Il est éclairé par une source étendue à l'infinie. La figure d'interférences est projetée sur un écran à l'aide d'une lentille de distance focale  $f' = 20$  cm ; la distance entre la lentille et l'écran est  $D = 1,30$  m. La lumière est monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 633$  nm.

*D'après Oral CCP 16*

3 cm



- 1 - Représenter le dispositif expérimental et faire le tracé de deux rayons qui interfèrent. Où sont localisées les franges d'interférences ?
- 2 - Exprimer puis calculer l'angle  $\alpha$  entre les miroirs ?
- 3 - Expliquer la présence d'un défaut sur l'un des miroirs et déterminer son épaisseur et son diamètre.

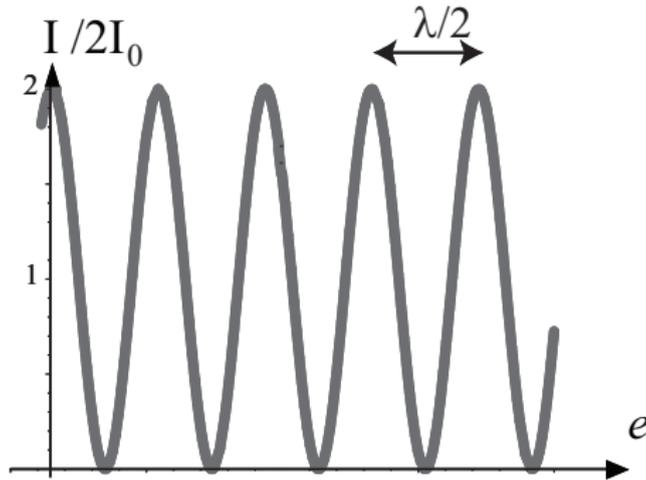


Figure – Evolution de l'intensité lumineuse lorsque  $e$  augmente, source de lumière monochromatique.

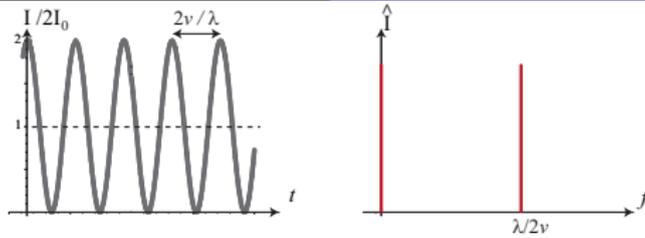


Figure – Spectroscopie par transformée de Fourier.

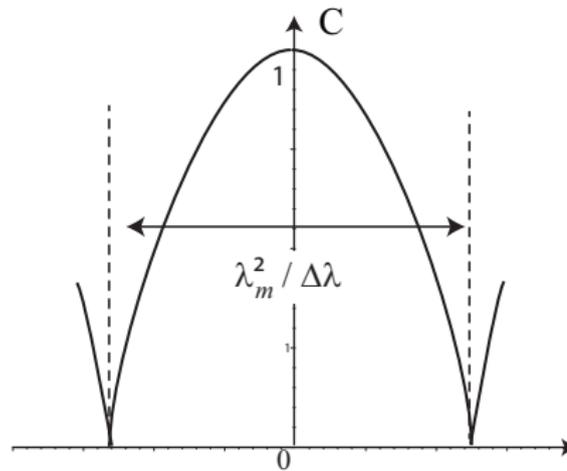
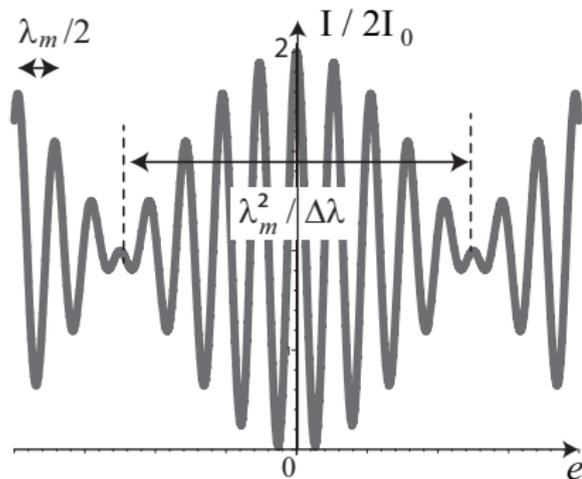


Figure – Evolution de l'intensité lumineuse lorsque  $e$  augmente, source de lumière avec deux longueurs d'onde.  $\Delta\lambda = \lambda_m/10$

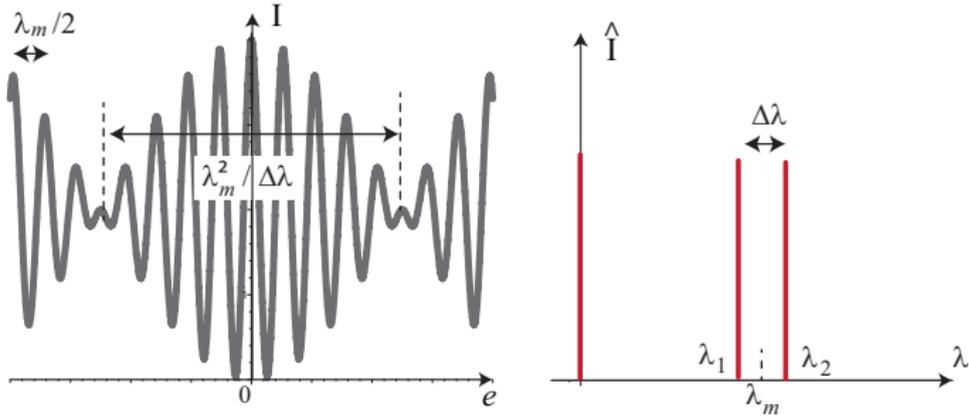
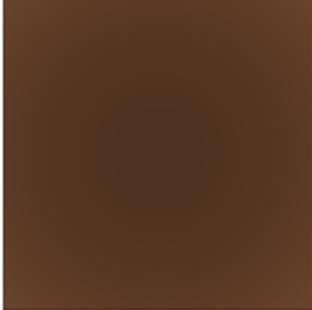
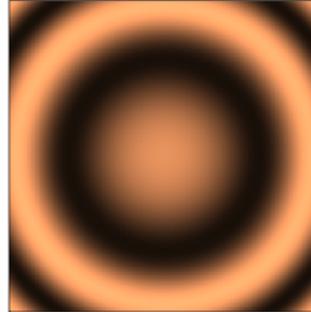


Figure – Spectroscopie par transformée de Fourier.

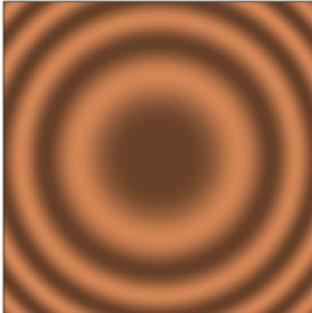
épaisseur : 0.00 mm,  $p_1 = 3.3$ ,  $p_2 = 3.3$



épaisseur : 0.06 mm,  $p_1 = 184.8$ ,  $p_2 = 184.7$



épaisseur : 0.12 mm,  $p_1 = 386.5$ ,  $p_2 = 386.1$



épaisseur : 0.18 mm,  $p_1 = 588.2$ ,  $p_2 = 587.6$

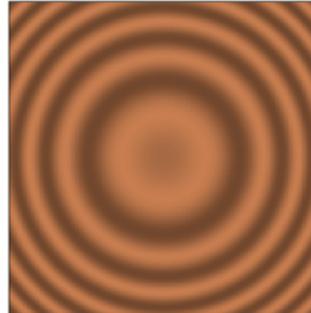
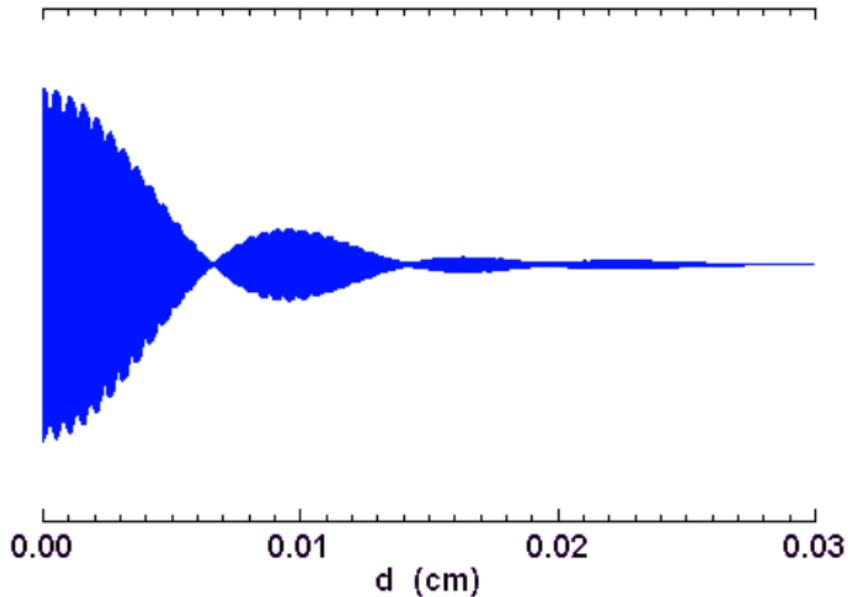


Figure – Michelson en lame d'air, simulation du doublet du sodium.

 **Exemple 3** On considère un interféromètre de Michelson réglé afin d'obtenir des anneaux d'interférence sur un écran placé dans le plan focal d'une lentille convergente. On notera  $d$  la distance entre les deux miroirs de l'interféromètre  $M_1$  et  $M_2$ . Un détecteur ponctuel est placé au centre O du système d'anneaux et délivre un signal électrique proportionnel à l'intensité lumineuse qu'il reçoit. Pour une lampe de longueur d'onde  $\lambda \approx 600$  nm, la figure suivante donne l'intensité lumineuse en fonction de  $e$ .



1 - Quelle serait la figure si la source possédait une largeur spectrale nulle.

2 - En posant deux longueurs d'onde  $\lambda_1$  (au centre du spectre) et  $\lambda_2$  à une extrémité du spectre, déterminer un critère pour que le contraste soit nul.

3 - En supposant  $\lambda_2 - \lambda_1 \ll \lambda_1$ , en déduire la largeur spectrale de la source utilisée. On posera  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$  et  $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$ .

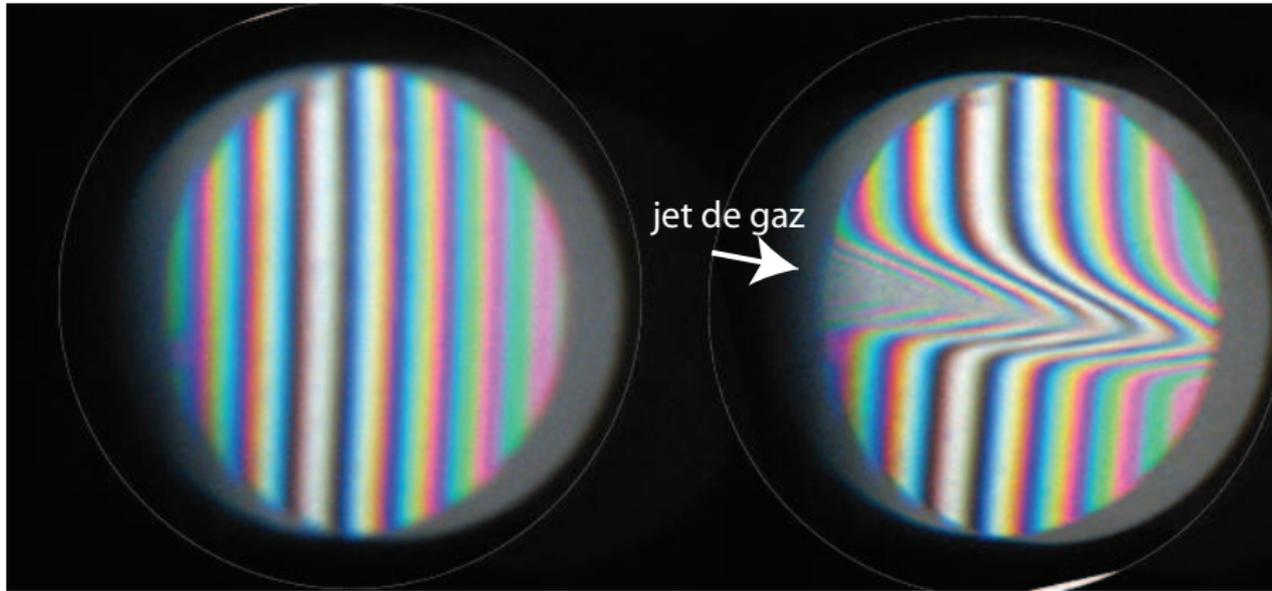


Figure – Michelson réglé en coin d'air et au contact optique en lumière blanche

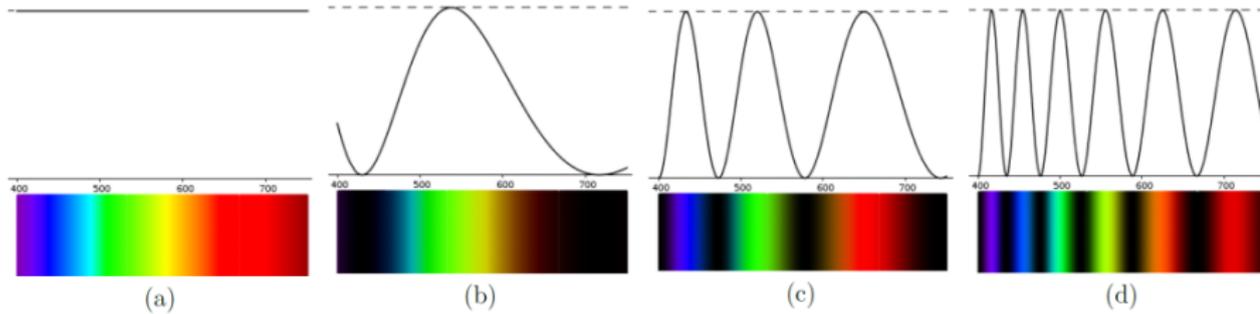


Figure – Spectres en différents points de la figure d'interférence.