

# DOSSIER TECHNIQUE

## INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON INTERFÉROMÈTRE I.R. IFS28 BRUKER

Comporte les documents suivants :

- |  |                      |
|--|----------------------|
| • Documentation interféromètre Sopra :                   | cadre 1 à cadre 4    |
| • Réglage de l'interféromètre :                          | cadre 5 et cadre 6   |
| • Émittance spectrale d'un corps noir :                  | cadre 7              |
| • Sensibilités spectrales (BPW24 ; Œil ) :               | cadre 8 et cadre 9   |
| • Bandes passantes des filtres :                         | cadre 10 et cadre 11 |
| • Réflectivités de miroirs et transmittances de verres : | cadre 12             |
| • Mode opératoire de confection de pastilles en KBr :    | cadre 13 à cadre 15  |
| • Mode opératoire d'utilisation de la balance :          | cadre 16 à cadre 18  |
| • Documentation Bruker :                                 | paragraphe 6         |

S.T.S. GÉNIE OPTIQUE – OPTION PHOTONIQUE  
Lycée Jean Mermoz – 68300 Saint-Louis – [www.lyceemermoz.com](http://www.lyceemermoz.com)



**MISE EN ŒUVRE D'UN  
SYSTÈME**

Version : 24/08/2006

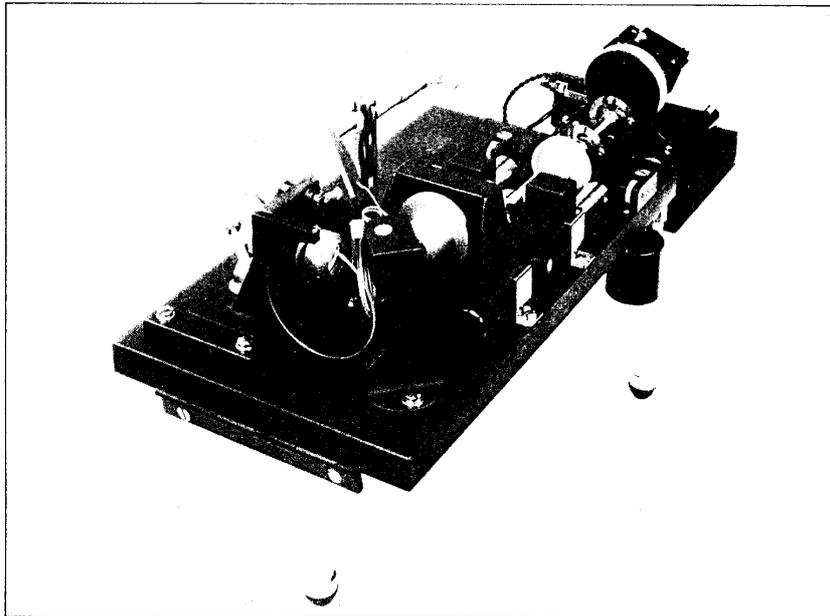
## 1. Interféromètre SOPRA

**SOPRA**

68, rue Pierre Joigneaux F 92270 Bois-Colombes - Tél. : (1) 242.04.47

## INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON

Type Travaux Pratiques  
Modèle Spécial à Moteur  
Type 200



*Interféromètre de Michelson spécial à moteur*

### Performances :

#### Interféromètre modèle travaux pratiques

Expériences d'interférométrie classique à 2 ondes.  
Contrôle de planéité (miroirs, réseaux).  
Contrôle d'homogénéité d'échantillons transparents.  
Mesures d'épaisseurs de grande précision (mécanique, optique).  
Mesures de variations d'indice ou de trajets optiques.

#### Interféromètre modèle spécial à moteur

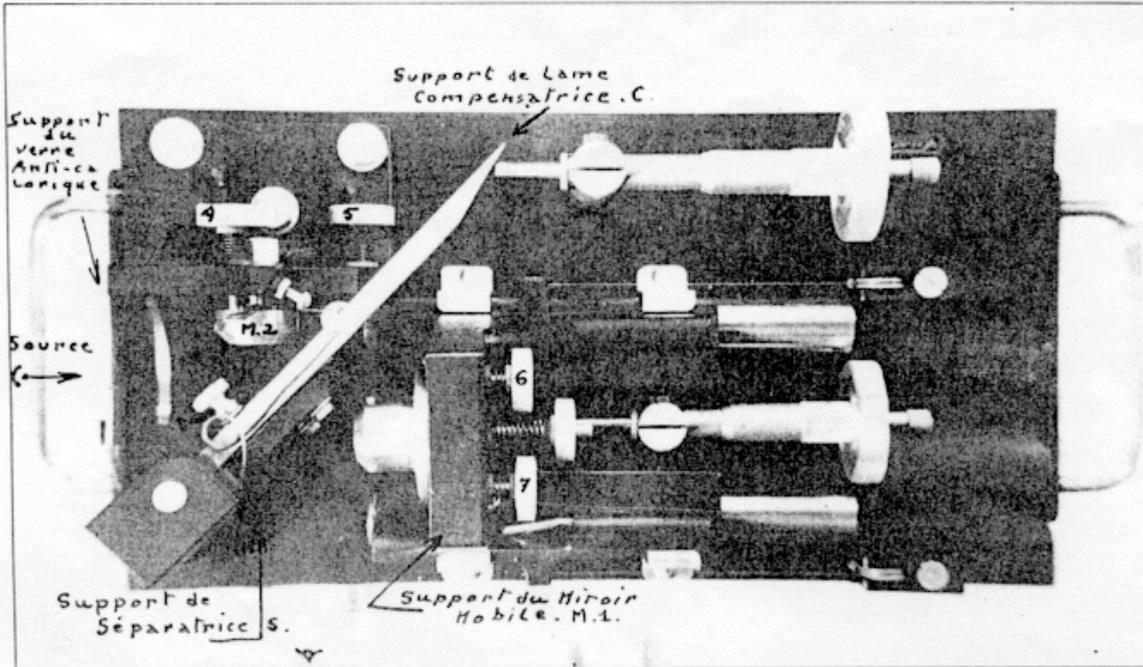
Enregistrement des battements de raies (concordances et discordances).  
Transformée de Fourier d'une source.  
Mesures d'épaisseurs, en mécanique et en optique.  
Mesures de différences de marche (indice, épaisseurs, trajets optiques).  
Détermination de longueur de cohérence.

#### Interféromètre type 200

Interféromètre à bras orthogonaux, longueur variable de 100 jusqu'à 300 mm.  
Différence de marche de 0 à 400 mm.

## UTILISATIONS

### PRINCIPE



*Interféromètre de Michelson type travaux pratiques*

Interférences à deux ondes d'un faisceau divisé spatialement par une lame séparatrice.

Une lame compensatrice, identique à la lame séparatrice permet la compensation absolue des trajets optiques (frange centrale blanche).

Deux miroirs plans munis des réglages fins et grossiers permettent l'observation de franges.

### DOMAINE D'APPLICATION

Enseignement : Expériences de travaux pratiques — Optique  
 — Interférences  
 — Transformée de Fourier.

Métrologie : Mesures dimensionnelles  
 Mesures d'indices  
 Mesures d'épaisseur optique  
 Contrôles d'objectifs, de réseaux, de surfaces optiques.

## CARACTERISTIQUES

### I - INTERFEROMETRE DE MICHELSON TRAVAUX PRATIQUES OU SPECIAL A MOTEUR

#### I.1. Interféromètre de Michelson travaux pratiques

Interféromètre à bras orthogonaux.

1 Miroir « fixe » Ø 20 mm, pouvant reculer de 20 mm pour augmenter la différence de marche, muni de réglages fins.

1 Miroir mobile monté sur glissières de grande précision, muni de réglages grossiers. Course de 50 mm à commande manuelle par butée micrométrique (précision du pointé : 5 µm).

Rappel du chariot par ressorts.

1 lame séparatrice Ø 50 mm, fixe à 45°, avec dépôt métallique.

1 lame compensatrice identique à la lame séparatrice munie de réglages suivant 2 directions (orientation par butée micrométrique dans une direction).

Planéité des éléments optiques :  $\lambda/20$ .

Champ 20 mm.

Hauteur d'axe : 265 mm.

Encombrement : 410 x 225 x 310 mm.

Poids : 25 kg.

#### I.2. Interféromètre de Michelson spécial à moteur

Interféromètre de Michelson type travaux pratiques muni d'un entraînement automatique du miroir mobile par embrayage magnétique.

Défilement de 3 franges environ à la seconde, dans le visible.

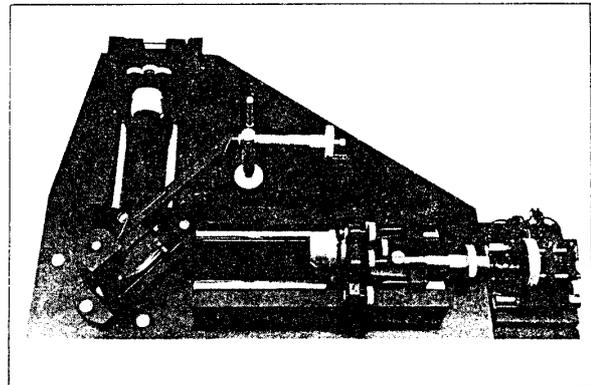
Débrayage instantané possible de l'entraînement.

Moteur électrique synchrone démultiplié à 2 sens de marche et inverseur de fin de course.

Course : 50 mm.

### II - INTERFEROMETRE DE MICHELSON TYPE 200

*Interféromètre de Michelson type 200  
(Avec système d'entraînement)*



1 Miroir « fixe » Ø 40 mm, pouvant reculer de 200 mm pour augmenter la différence de marche, muni de réglages fins.

1 Miroir mobile Ø 40 mm, monté sur glissières de grande précision, muni de réglages fins et grossiers. Course totale de 200 mm à commande manuelle par butée micrométrique et rallonges.

1 lame séparatrice Ø 90 mm fixe à 45° identique à la compensatrice avec dépôt métallique.

1 lame compensatrice munie de réglages fins suivant 2 directions (orientation par butée micrométrique dans une direction).

Planéité des éléments optiques :  $\lambda/20$ .

Champ 40 mm.

Hauteur d'axe : 370 mm.

Encombrement : 680 x 500 x 440 mm.

Poids : 40 kg.

## ACCESSOIRES

### Système d'entraînement

Par moteur démultiplié synchrone à 2 sens de marche et inverseur de fin de course, vitesse de défilement : 3 franges environ dans le visible, chaque seconde.

Embrayage magnétique et débrayage immédiats.

### Détecteur

Banc d'optique équipé de :

1 Lentille de projection pour observer les anneaux à l'infini dans son plan focal.

1 Diaphragme diamètre 1 mm de sélection angulaire dans le plan focal de Fourier.

1 Détecteur : cellule photoélectrique silicium (0,38 à 1 micron) et un amplificateur opérationnel.

1 Boîte d'alimentation basse tension.

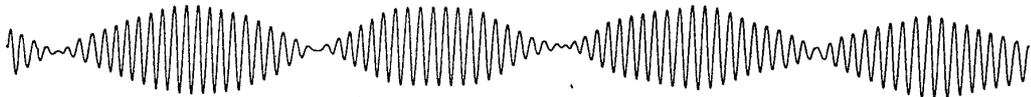
Réglage du gain et du zéro.

Sortie adaptée à l'enregistreur.

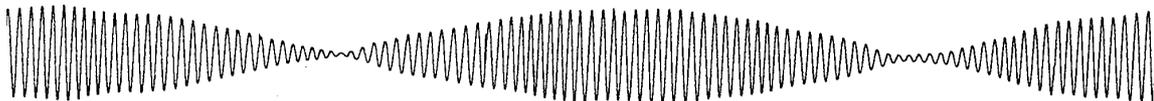
### Enregistreur graphique

Appareil directement adapté à notre détecteur.

Inscription sur bande de papier.



Cs



Rb

**GARANTIE TOTALE sur tous les appareils**

cadre 4.

## 2. Réglage de l'interféromètre

### 2.1. Réglage grossier

En éclairage ambiant, observer en se plaçant hors de l'axe les images  $M'_1$  (par transmission) et  $M'_2$  (par réflexion) de  $M_1$  et  $M_2$  à travers Cp et Sp (fig.1 du cadre 5). Pour reconnaître cette dernière, déplacer à la main le chariot support de  $M_1$  et observer le déplacement correspondant de  $M'_1$ . Faire coïncider au maximum ces images en agissant sur  $P_1$ .

**$M_1$  et  $M_2$  sont alors à peu près à la même distance de Sp.**

Utiliser une source éloignée de lumière blanche S, diaphragmée par un iris I pour éclairer Cp (fig. 2 du cadre 5).

Observer les images multiples de I données par transmission à travers Sp et Cp ou par réflexion sur Cp et Sp. Faire coïncider le maximum de ces images en agissant sur  $C_1$  et  $P_2$ .

**Cp et Sp sont alors grossièrement parallèles.**

A l'aide de S, éclairer un écran dépoli D situé environ à 1 m de l'interféromètre. Placer contre D un objet fin opaque et observer sur l'axe les images multiples qu'en donnent  $M_1$  et  $M_2$  à travers Cp et Sp, (fig.3 du cadre 5).

S'assurer que les extrémités coniques des vis  $V_3$  et  $V_4$  (vis de réglage fin) dépassent à mi-course le support de  $M_2$ . Faire coïncider ces images en agissant sur  $V_1$  et  $V_2$  (vis de réglage grossier).

**$M'_1$  et  $M'_2$  sont alors à peu près parallèles.**

Remplacer S par une lampe à vapeur de sodium. Rapprocher la lampe et le dépoli D de façon à gagner en luminosité et observer à travers Cp et Sp sur l'axe.

**Il apparaît des franges. Attention, celles-ci peuvent être très serrées.**

### 2.2. Réglage fin

En agissant sur  $V_1$  et  $V_2$  augmenter l'interfrange : les franges deviennent plus courbes.

Agir sur  $V_1$  et  $V_2$  pour :

- Obtenir des anneaux centrés dans le champ de vision.
- Augmenter le contraste des anneaux.
- Que les anneaux ne défilent plus lorsque l'œil (placé très près de l'interféromètre) se déplace dans le champ, de haut en bas et de droite à gauche. Affiner le réglage au moyen de  $V_3$  et  $V_4$ .

**On obtient des anneaux dont le centre est sur l'axe.**

Ces anneaux sont des franges circulaires d'interférence ; on dit qu'elles sont «localisées à l'infini». On peut donc les projeter et les observer dans le plan focal d'une lentille convergente.

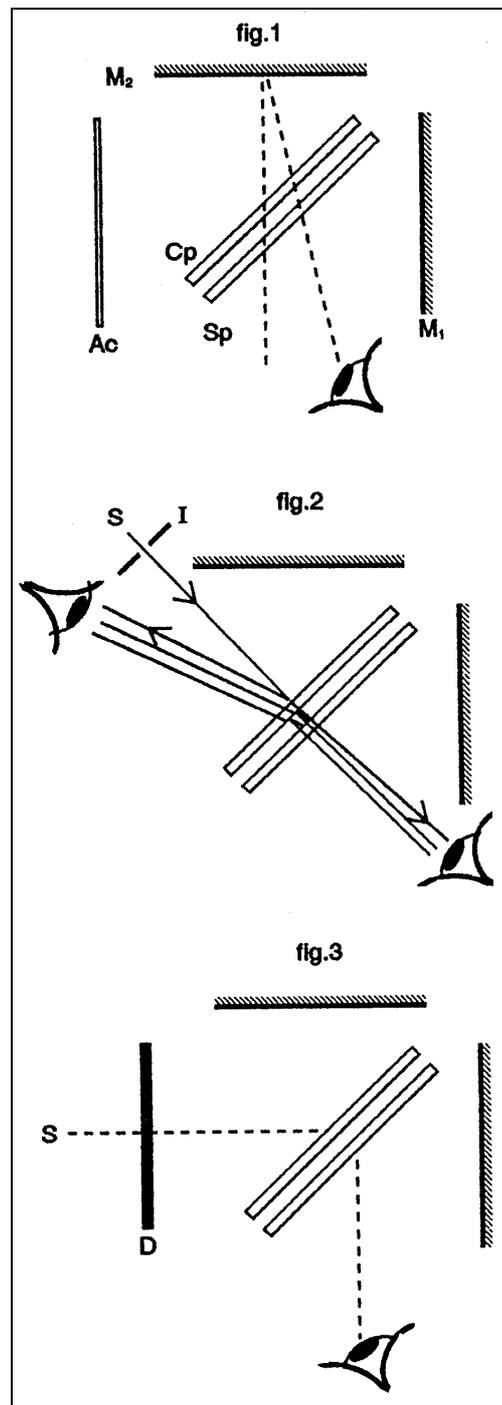
Enlever le dépoli. Introduire à sa place un condenseur (voir cadre 6) .Optimiser les positions de S et C pour envoyer un maximum de lumière dans la direction de l'écran E. Une lentille L ( $f = 500$  mm) permet d'observer les anneaux sur un écran E placé dans le plan focal de L.

Agir sur  $P_1$  pour augmenter le diamètre des anneaux en les recentrant éventuellement au moyen de  $V_3$  et  $V_4$ .

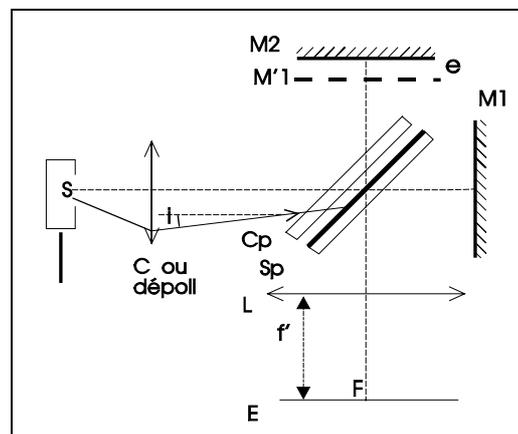
S'arrêter dans la position où les anneaux ont un diamètre maximum.

**La différence de marche  $\delta$  entre les deux trajets est alors voisine de zéro.**

On a déterminé grossièrement l'ordre 0. Repérer alors l'indication de la vis micrométrique  $P_1$  pour retrouver rapidement cette position par la suite.

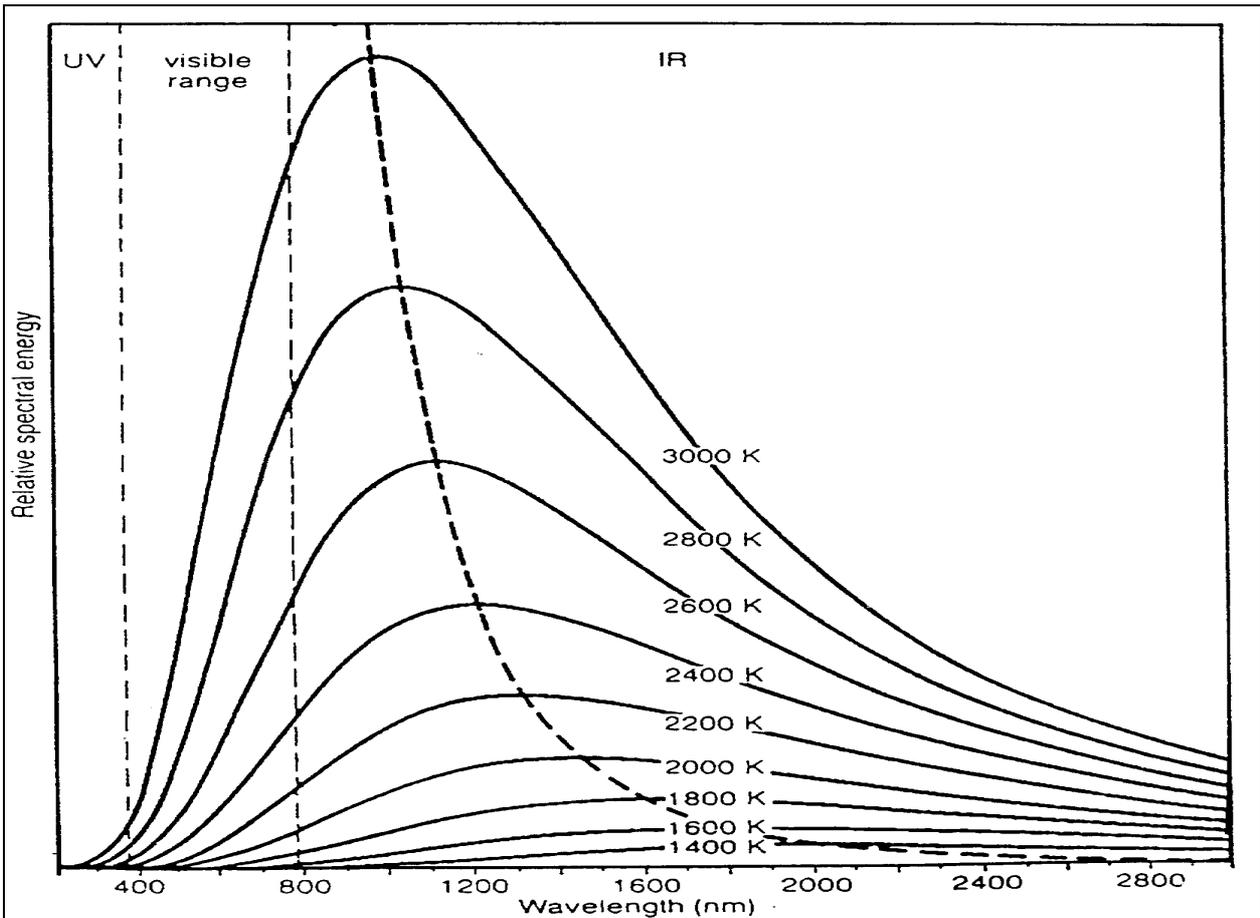


cadre 5 : Réglage.

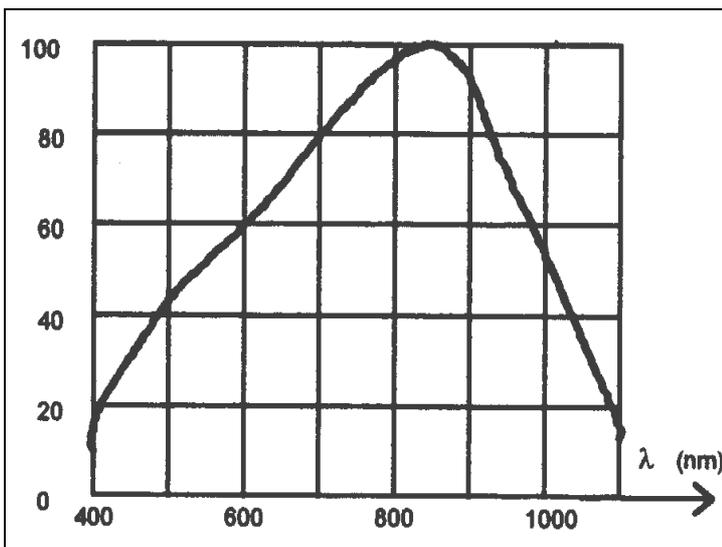


cadre 6 : Franges localisées à l'infini.

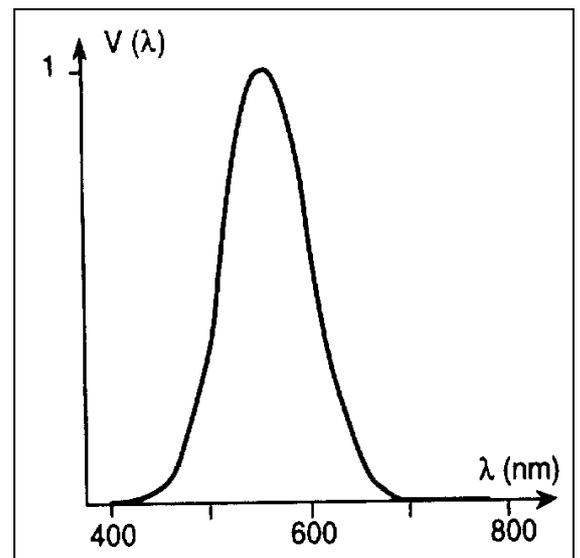
3. Courbes



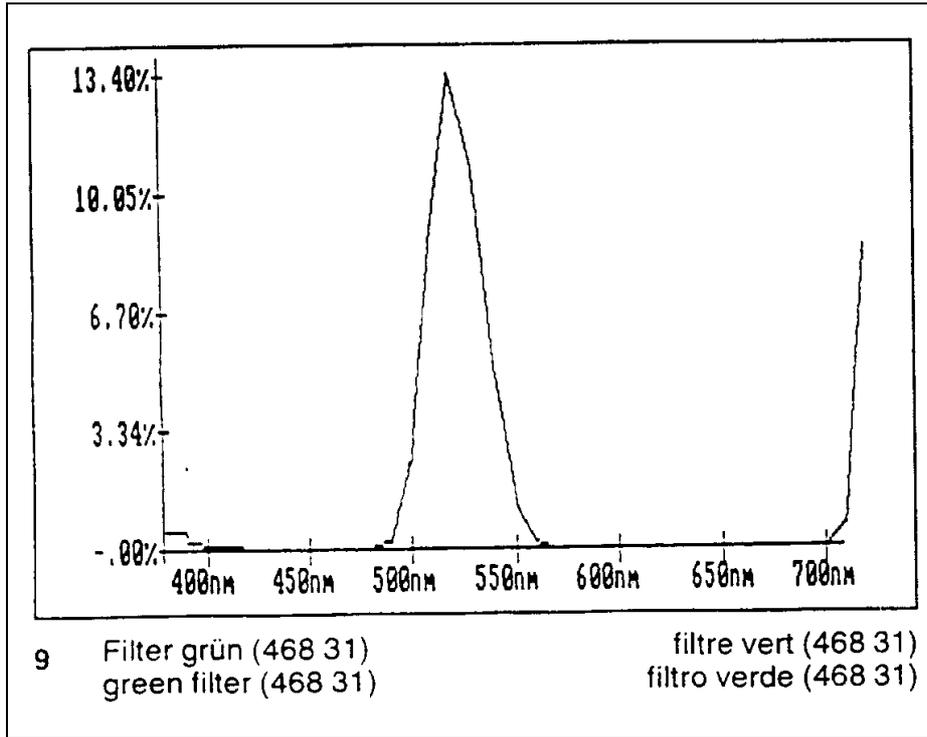
cadre 7 : Une lampe à filament de tungstène se comporte comme un corps noir ( $T \sim 2400^\circ\text{K}$ ).



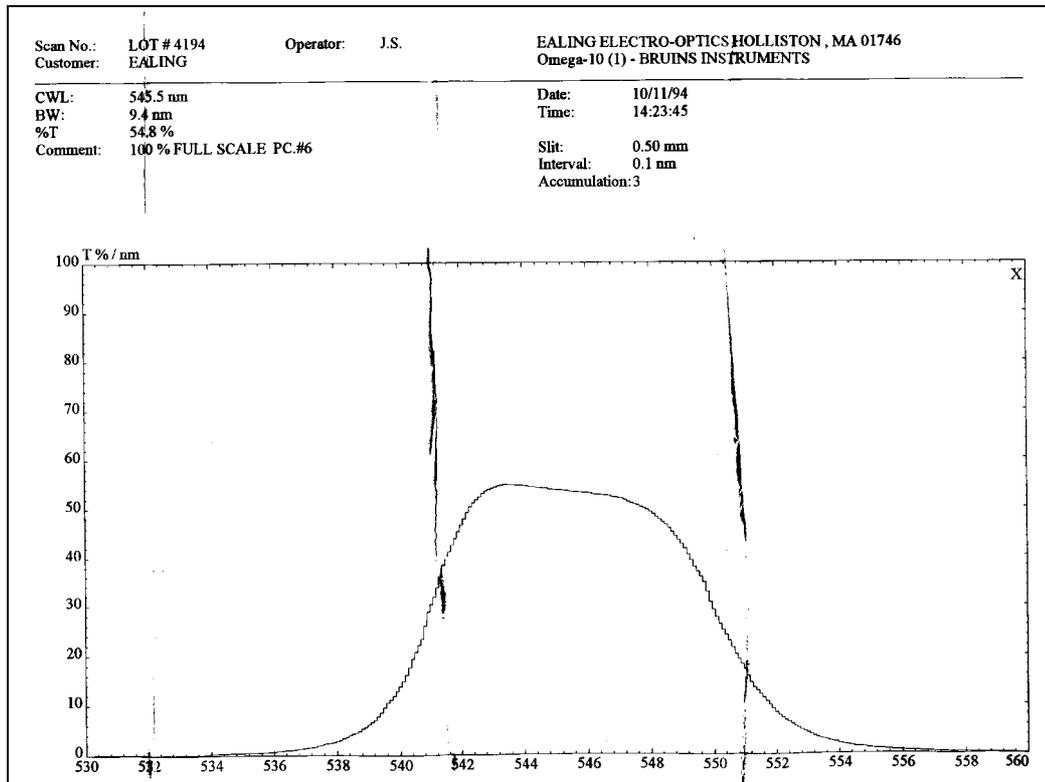
cadre 8 : Sensibilité spectrale relative (en %) d'une diode au silicium (BPW34).



cadre 9 : Sensibilité de l'œil en vision diurne.



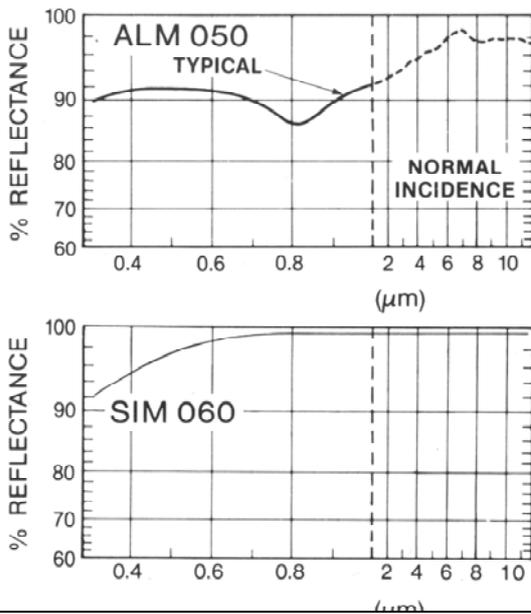
cadre 10 : Filtre coloré vert.



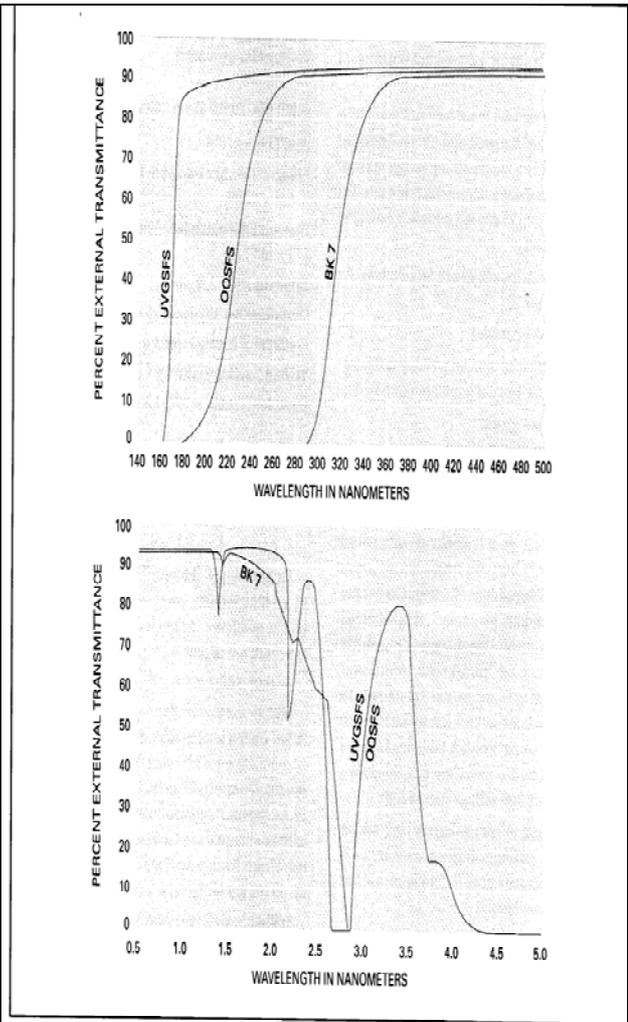
cadre 11 : Transmission du filtre interférentiel Ealing réf. 03FIM006.

Il existe 4 types de matière déposée :

Aluminium	(ALM) UV, VIS, NIR	réflexion garantie 86 % (MIL-M-13508C)
Argent	(SIM) IR proche	réflexion > 99 %
Cuivre	(COM) IR proche forte puissance	réflexion $\lambda$ 800 nm 96 % (MIL-M-13508 C)
Or	(GOM) IR proche à lointain forte puissance	réflexion IR > 97 %

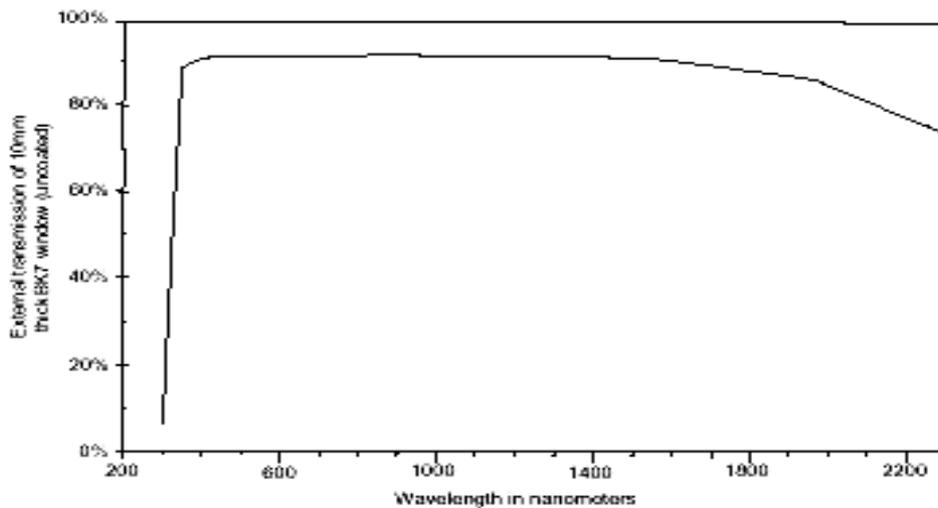


(a)



COMPARISON OF UNCOATED EXTERNAL TRANSMITTANCES for ultraviolet grade synthetic fused silica (UVGSFS), optical quality synthetic fused silica (OQSFS) and a common optical glass (BK 7), all of 10 mm thickness.

(b)



(c)

cadre 12 : Réfléctivité de l'aluminium et de l'argent en couches minces pour miroirs (a).

Transmittance de verres optiques pour lentilles (b) et (c).

#### 4. Mode opératoire pour la confection des pastilles en KBr



cadre 13 : Inventaire des pièces.

##### 4.1. Inventaire des pièces

Le moule à pastilles est composé des pièces suivantes, voir *cadre 13* :

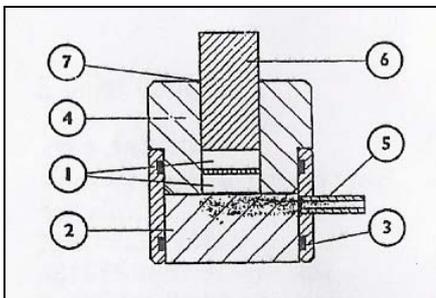
- Deux pastilles (1) en acier inoxydable à faces polies, en contact avec la pastille en KBr à fabriquer ;
- Corps cylindrique (2) ;
- Joints toriques (3) et (7) ;
- Matrice cylindrique (4) ;
- Embout pour pompe à vide (5), non utilisé ;
- Piston (6) ;
- Cylindre d'extraction (8) en matière plastique translucide.

##### 4.2. Précautions d'utilisation

Les pièces doivent toujours être parfaitement propres et sèches. Les faces polies sont à nettoyer avec de l'alcool et un chiffon doux, en aucun cas avec un produit abrasif.

##### 4.3. Pesée des produits

Consulter le mode d'utilisation de la balance page suivante.

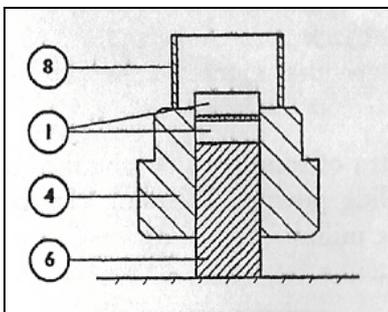


cadre 14 : Position compression.

- Préparer l'échantillon à analyser en le broyant le cas échéant pour le réduire en poudre à l'aide d'un pilon.
- Plier le papier de pesée en deux suivant la diagonale.
- Le peser. Masse approximative : \_\_\_\_\_.
- Ajouter 2 à 4 mg d'échantillon.
- Ajouter 300 mg de KBr.
- Mélanger l'échantillon à analyser au KBr de façon homogène.

##### 4.4. Remplissage du moule

- Assembler les parties (2) et (4) du moule.
- Y introduire une des pastilles (1), face polie vers le haut. Attention : la pastille doit rentrer librement, ne jamais pousser ou forcer. Il suffit de bien l'orienter.
- Y introduire la poudre échantillon + KBr préparée ci-dessus.
- Recouvrir avec la deuxième pastille (1), face polie vers le bas.
- Y introduire le piston (6).



cadre 15 : Position éjection.

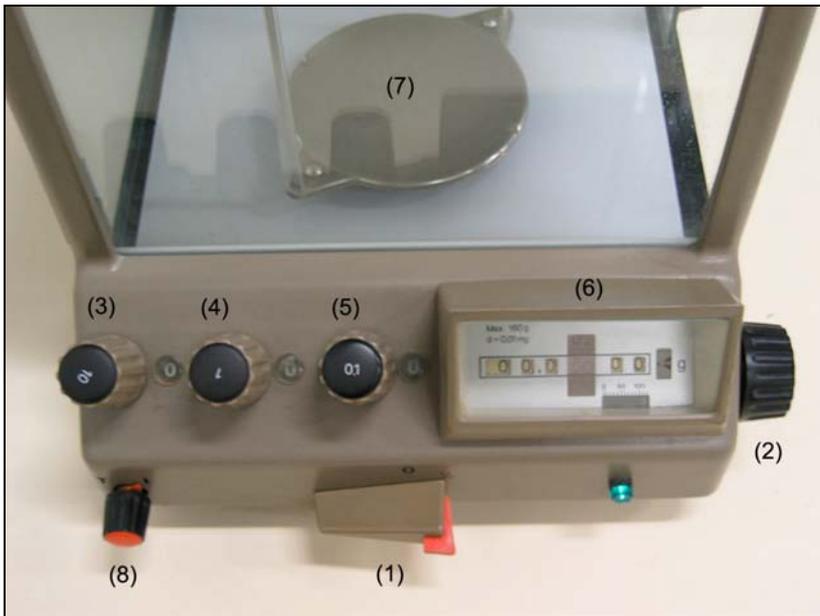
##### 4.5. Passage sous la presse

- Emmener votre moule dans le laboratoire de génie mécanique.
- La placer sous la presse et appliquer sur le piston (6) un effort maximum de  $8 \cdot 10^4$  N ou 8 tonnes pendant une à deux minutes.

Ne jamais dépasser cette charge maximale.

##### 4.6. Éjection de la pastille

- Enlever le corps cylindrique (2).
- Retourner le moule et le placer sous la presse comme indiqué *cadre 15*.
- Placer le cylindre d'extraction (8).
- Ejecter la pastille et arrêter de pomper dès que la pastille de KBr apparaît.
- Récupérer la pastille et nettoyer le moule avec un chiffon doux imbibé d'alcool.



## 5. Mode opératoire d'utilisation de la balance

### 5.1. Précautions d'utilisation

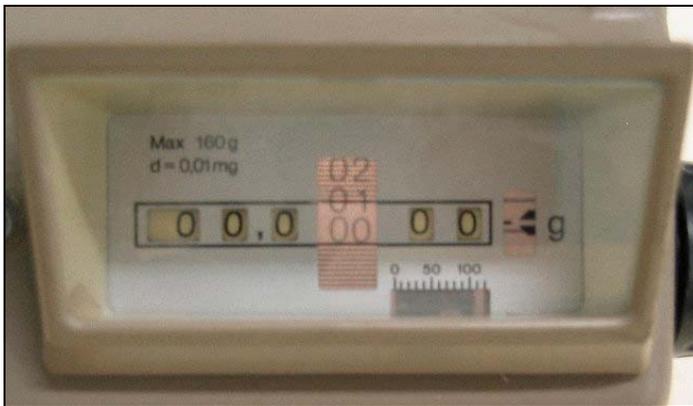
La très grande précision de cette balance (10 µg) nécessite les précautions suivantes :

- Ne pas la déplacer, même de quelques cm.
- En fin de pesée, remettre le sélecteur (1) en position verticale 0.
- Le plateau (7) ne doit jamais être touché avec les doigts ou décroché si le levier (1) n'est pas en position verticale 0.
- Charge maxi : 160 g.

### 5.2. Réglage du zéro

- Mettre le sélecteur (1) en position verticale 0.
- Vérifier que le plateau (7) est vide.
- Vérifier que le bouton (8) est sur la position I.

cadre 16.



cadre 17 : Détail de l'afficheur (6).

- Positionner les boutons moletés (3), (4) et (5) sur la position 0.
- Tourner le bouton (2) pour mettre les 2 derniers chiffres de l'afficheur sur 00.
- Abaisser le sélecteur (1) en position horizontale.
- Au bout de quelques secondes, l'afficheur (6) doit afficher **00,0 00 00 g** comme indiqué *cadre 17*.
- Si ce n'est pas le cas, tourner légèrement le bouton (9) (voir *cadre 18*) pour un réglage gros et le bouton (10) pour un réglage fin de telle manière à amener le trait noir entre les deux index à gauche du g, voir *cadre 17*.
- Remettre le sélecteur (1) en position verticale.

### 5.3. Pesée

- Positionner l'échantillon sur le plateau, le sélecteur (1) étant en position verticale 0.

Pour les charges supérieures à 1 g, les boutons (3) et (4) doivent être tournés avant de mettre le sélecteur (1) en position horizontale.

- Tourner les boutons (3) et (4) pour sélectionner les grammes et dizaines de grammes.
- Abaisser le levier (1).

Les flèches visibles dans l'afficheur 0-100 donnent une indication précise : ➔ il faut retirer des poids, ➜ il faut ajouter des poids.

- Tourner ensuite le bouton (5) pour ajouter ou retirer 0,1 g à chaque fois.
- Tourner les boutons (3), (4) et (5) pour faire apparaître l'échelle lumineuse des mg. **Rappel** : Pour tourner les boutons (3) et (4) il faut d'abord remettre le sélecteur (1) en position verticale.
- Pour affiner la pesée au delà du mg, il faut tourner la molette (2) jusqu'à placer un trait noir entre les



cadre 18 : Réglage du zéro.

deux index.

- Il suffit de lire la pesée et de remettre le sélecteur (1) en position verticale pour retirer l'échantillon.

## 6. DOCUMENTATION BRUKER

### 6.1. Advantages of FTIR spectroscopy

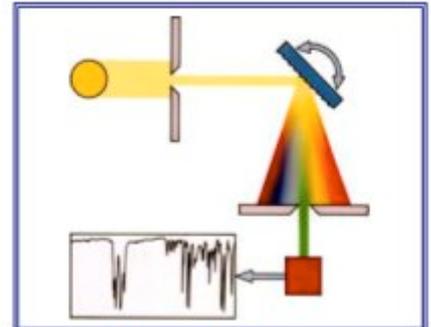
1) The sampling interval of the interferogram,  $\Delta x$ , is the distance between zero-crossings of the HeNe laser interferogram, and is therefore precisely determined by the laser wavelength. Since the point spacing in the resulting spectrum,  $\Delta \nu$ , is inversely proportional to  $\Delta x$ , FT-IR spectrometers have an intrinsically highly precise wavenumber scale (typically a few hundredths of a wavenumber). This advantage of FT spectrometers is known as **CONNES' advantage**.

2) The **JAQUINOT advantage** arises from the fact that the circular apertures used in FTIR spectrometers has a larger area than the slits used in grating spectrometers, thus enabling higher throughput of radiation.

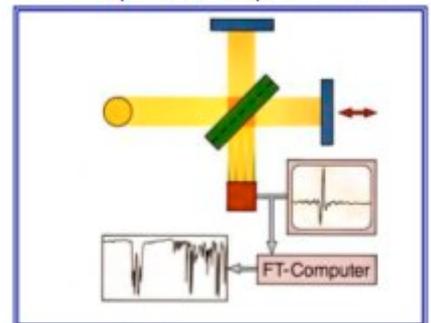
3) In grating spectrometers the spectrum  $S(\nu)$  is measured directly by recording the intensity at successive, narrow, wavelength ranges. In FT-IR spectrometers all wavelengths from the IR source impinge simultaneously on the detector. This leads to the multiplex, or **FELGETT'S, advantage**.

The combination of the Jaquinot and Fellgett advantages means that the signal-to-noise ratio of an FT spectrometer can be more than 10 times that of a dispersive spectrometer.

#### IR spectrometer principle



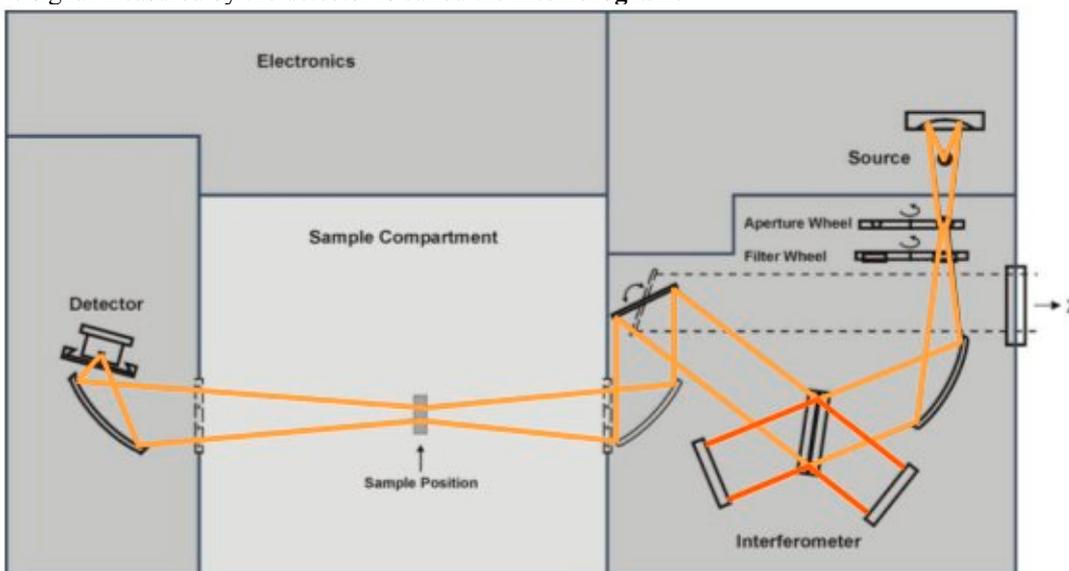
Dispersive IR spectrometer



FT-IR spectrometer

### 6.2. The working principle of an FT-IR spectrometer

Infrared light emitted from a **source** (e.g. a SiC glower) is directed into an **interferometer**, which modulates the light. After the interferometer the light passes through the **sample compartment** (and also the sample) and is then focused onto the **detector**. The signal measured by the detector is called the **interferogram**.

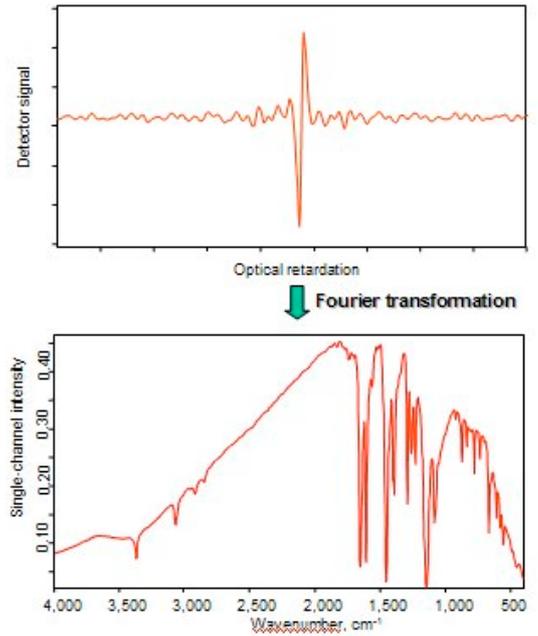


General FT-IR spectrometer layout

### 6.3. Transmission spectrum

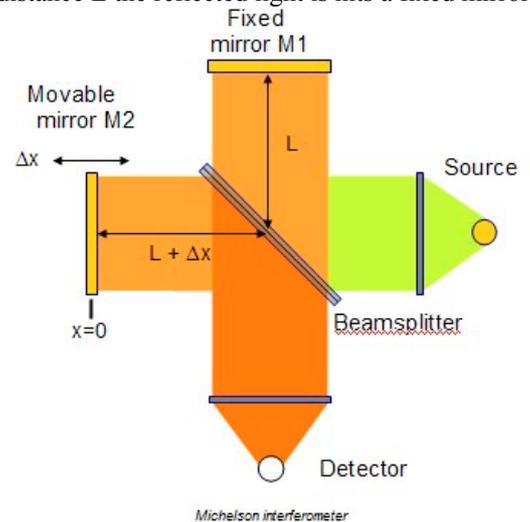
To calculate a transmission spectrum the following steps need to be performed :

- An interferogram measured without any sample in the optical path is Fourier transformed. This results in the single-channel reference spectrum  $R(\nu)$ .
- A second interferogram, measured with the sample in the optical path, is Fourier transformed. This results in the single-channel sample spectrum  $S(\nu)$ .  $S(\nu)$  looks similar to the reference spectrum, but shows less intensity at those wavenumbers where the sample absorbs radiation.



### 6.4. Michelson Interferometer

The **interferometer** is the heart of an FT-IR spectrometer. The collimated light from the infrared source impinges on a **beamsplitter**, which ideally transmits 50% of the light and reflects the remaining part. Having traveled the distance  $L$  the reflected light is hits a fixed mirror  $M1$ , where it is reflected and hits the beamsplitter again after a total path length of  $2L$ . The transmitted part of the beam is directed to a **movable mirror**  $M2$ . As this mirror moves back and forth around  $L$  by a distance  $Dx$ , the total path length is  $2(L + Dx)$ . The light returning from the two mirrors is recombined at the beamsplitter, with the two beams having a difference in path length of  $2Dx$ . The beams are spatially coherent and **interfere** with each other when recombined



### 6.5. Separation of spectral ranges

The mid-infrared, or MIR, is the spectral range from 4,000 to 400 cm<sup>-1</sup> wavenumbers. In this range fundamental vibrations are typically excited. In contrast, in the ‘near-infrared’, or NIR, spectral range, which covers the range from 12,500 to 4,000 cm<sup>-1</sup> wavenumbers, overtones and combination vibrations are excited. The far infrared’, or FIR, spectral range is between 400 and about 5 cm<sup>-1</sup> wavenumbers. This range covers the vibrational frequencies of both backbone vibrations of large molecules, as well as fundamental vibrations of molecules that include heavy atoms (e.g. inorganic or organometallic compounds).



The electromagnetic spectrum

Visible light and infrared light are two types of electromagnetic radiation, but with different wavelengths, or frequencies. In general, electromagnetic radiation is defined by the wavelength  $\lambda$  or the linear frequency  $\nu$ . The **wavelength** is the distance between two maxima on a sinusoidal wave.

The **frequency** is the number of wavelengths per unit time. Since all electromagnetic waves travel at the speed of light, the frequency corresponding to a given wavelength can be calculated as:

$$\nu = c/\lambda$$

According to the Plank’s Radiation Law, the frequency of electromagnetic radiation is proportional to its **energy**.

$$E = h \cdot \nu$$

$$\text{En consequence : } E = 1,24/\lambda \text{ (with } \lambda \text{ in } \mu\text{m} \text{ and } E \text{ in eV)}$$

In infrared spectroscopy **wavenumber** is used to describe the electromagnetic radiation. Wavenumber is the number of wavelengths per unit distance. For a wavelength  $\lambda$  in microns, the wavenumber, in cm<sup>-1</sup>, is given by

$$= 10000/\lambda$$

### 6.6. Fourier Transformation

Since the development of the first spectrophotometers in the beginning of 20th century a rapid technological development has taken place. The first-generation spectrometers were all dispersive. Initially, the dispersive elements were prisms, and later on they changed over to gratings. In the mid 1960s IR spectroscopy witnessed a revival due to the advent of spectrometers that utilized the Fourier transform (FT-IR). These second-generation spectrometers, with an integrated Michelson interferometer, provided some significant advantages compared to dispersive spectrometers. Today, almost every spectrometer used in mid-infrared spectroscopy is of the Fourier transform type. This is the reason why only FT-IR technology will be described in the following. Bruker Optics has specialized in the field of FT-IR spectroscopy since 1974, and is one of the leading manufacturers of FT-IR, FT-NIR and FT-Raman spectrometers throughout the world. The spectrometers are developed for analytical chemistry, life science, process, and many other fields.

Infrared spectroscopy is an extremely efficient analytical method due to modest operating expenditure. The analytical results are provided within a short period of time without the need of extensive sample preparation. In particular, infrared spectroscopy provides data which can be evaluated by quantity as well as by quality. The following will describe the qualitative and quantitative evaluation of acquired spectra.

- Qualitative evaluation of spectra
  1. Identify an unknown substance
  2. Check the identification of a known substance
- Quantitative evaluation of spectra

### 6.7. Transmission spectrum

To calculate the transmission spectrum the following steps need to be performed:

- an interferogram measured without any sample in the optical path is Fourier transformed. This results in the so-called single-channel reference spectrum  $S(\nu)$ .
- A second interferogram, measured with the sample in the optical path, is Fourier transformed. This results in the single-channel sample spectrum  $S(\nu)$ .  $S(\nu)$  looks similar to the reference spectrum, but shows less intensity at those wavenumbers where the sample absorbs radiation.

The final transmission spectrum  $T(\nu)$  is obtained by dividing the sample spectrum by the reference spectrum:

$$T(\nu) = S(\nu)/R(\nu)$$

### 6.8. Quantitative evaluation of spectra

The basic principle for quantitative evaluation in optical spectroscopy as well as in IR spectroscopy is the **Bouguer-Lambert-Beer Law** which had already been defined in 1852. Quantitative determinations by means of IR spectroscopy are preferably performed in solution. **Transmission T** of a sample is defined as:

$$T = I / I_0$$

$I_0$  is the intensity of the incident light beam,  $I$  is the intensity of the light beam leaving the sample. The percentage transmission (%T) is  $100 \cdot T$ . When traversing the measurement cell, the light intensity decreases exponentially:

$$I = I_0 \cdot \exp(-2.303\epsilon \cdot c \cdot b)$$

Where  $\epsilon$  is the **molar absorption coefficient** (in  $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ),  $c$  is the sample **concentration** (in  $mol \cdot L^{-1}$ ) and  $b$  the **thickness** of the measurement cell (in cm). The absorption coefficient  $\epsilon$  is a value which depends on either the wavelength or the wavenumber, which is typical for the compound analyzed. From the equation above, it follows that:

$$\log(I / I_0) = -\epsilon \cdot c \cdot b, \text{ or:}$$

$$A = \log(I_0 / I) = \epsilon \cdot c \cdot b$$

where  $A$  is the **absorbance**. Because of the **Bouguer-Lambert-Beer Law**, the relationship between **absorbance** and **concentration** of the absorbing substance is a **linear** function.

