

---

# Techniques spectrométriques

## Spectrométrie d'absorption infrarouge

---

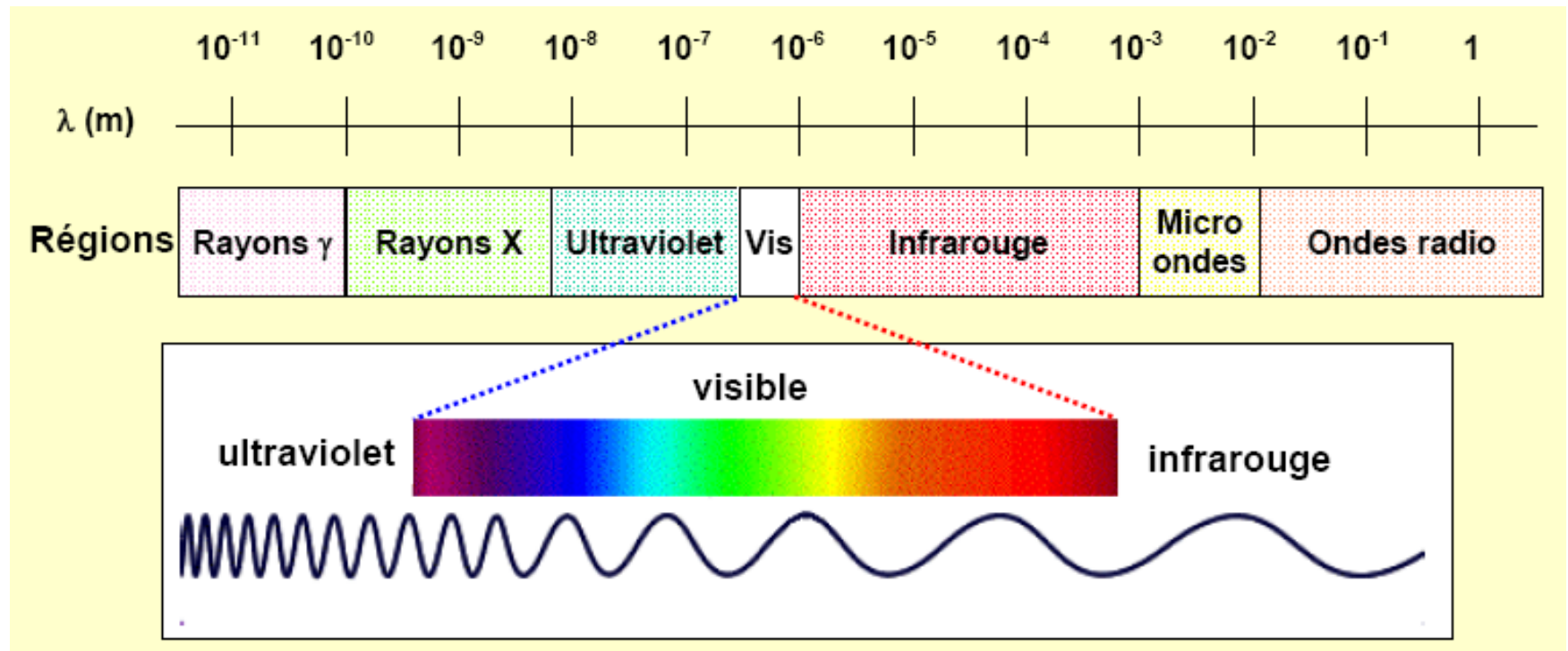
La spectrométrie infrarouge est l'un des outils les plus utilisés pour la caractérisation et l'identification des molécules organiques.

La spectrométrie IR est une méthode de caractérisation rapide et sensible de la plupart des molécules existantes.

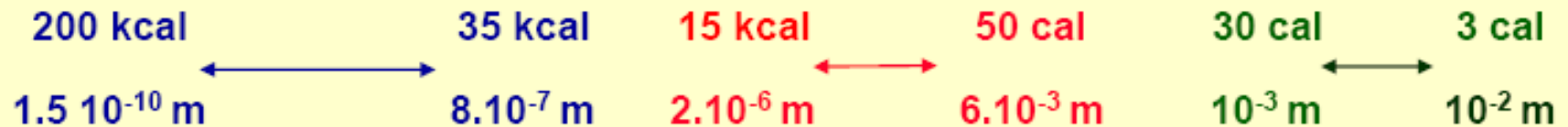
Son utilisation est simple et le coût de son instrumentation en fait un outil accessible à la plupart des laboratoires.

Situation dans le spectre des radiations électromagnétiques.

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad \nu = \frac{c}{\lambda} = c\tilde{\nu} \quad E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = hc\tilde{\nu}$$



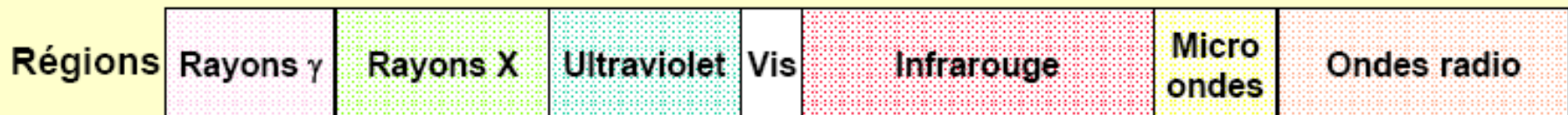
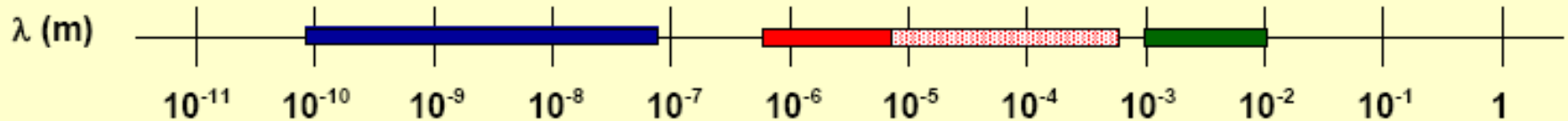
L'énergie du rayonnement IR est suffisante pour produire des changements dans l'énergie de vibration des molécules, mais elle ne peut provoquer des transitions électroniques



Energie de transition électronique ( $E_E$ )

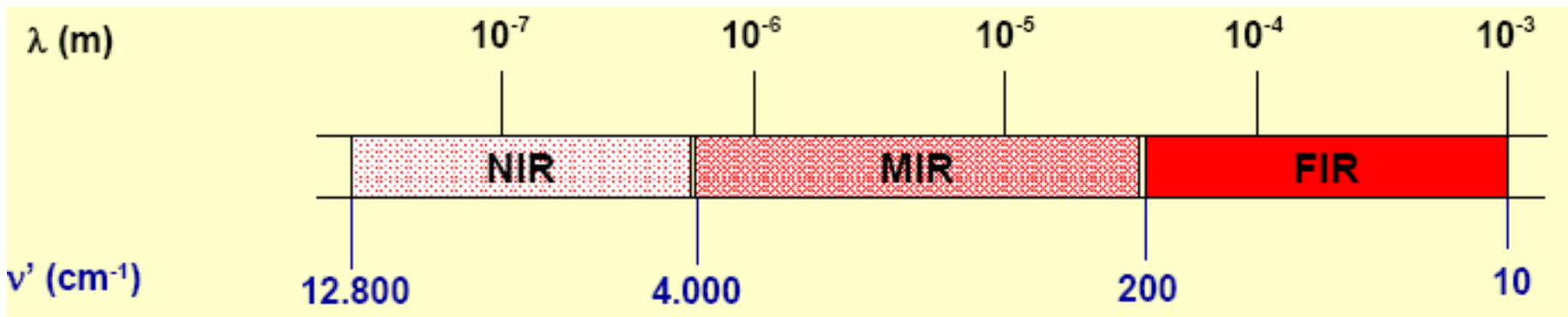
Energie de vibration ( $E_V$ )

Energie de rotation ( $E_R$ )



Le domaine de l'infrarouge correspond à des longueurs d'onde comprises entre  $0,78 \cdot 10^{-6}$  m et  $10^{-3}$  m, que l'on peut diviser en trois régions.

Région		Longueur d'onde $\lambda$ (m)
IR proche	Near IR (NIR)	$0,78 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$
IR moyen	Mid IR (MIR)	$2,5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5}$
IR lointain	Far IR (FIR)	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$



La spectrométrie infrarouge est la mesure de la diminution de l'intensité du rayonnement qui traverse un échantillon en fonction de la longueur d'onde.

Le rayonnement infrarouge dispense suffisamment d'énergie pour stimuler les vibrations moléculaires à des niveaux d'énergie supérieurs.

La spectrométrie infrarouge s'utilise principalement pour l'analyse qualitative d'une molécule en mettant en évidence la présence de liaisons entre les atomes (fonctions et groupements).

La majorité des applications se situe entre 2,5 et 15  $\mu\text{m}$  soit en nombre d'ondes de  $4000\text{ cm}^{-1}$  à  $670\text{ cm}^{-1}$  (IR moyen).

En plus du mouvement de vibration, chaque molécule diatomique possède un mouvement de rotation, d'énergie moindre, qui induit l'existence d'une structure fine des transitions.

Ceci implique une multiplication des raies qui peut devenir une bande si la résolution devient insuffisante.

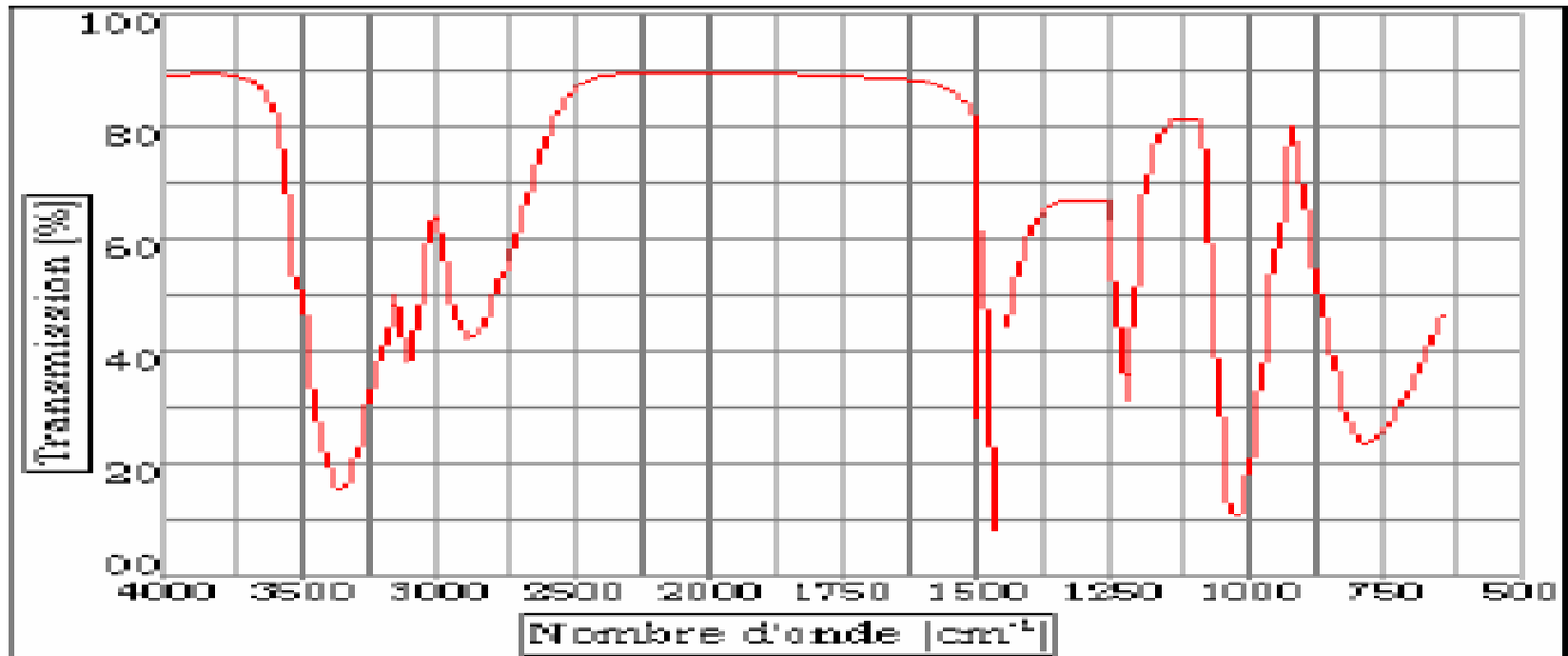
Pour observer cette structure fine, il est nécessaire de travailler en phase gazeuse afin de permettre aux différentes molécules de tourner librement sans changer trop souvent d'état rotationnel lors d'une collision avec une autre molécule

Un spectre infrarouge est traditionnellement présenté en transmission (fraction de l'intensité transmise par rapport à l'intensité incidente) exprimée en pourcentage et l'axe des abscisses en fonction du nombre d'onde (inverse de la longueur d'onde), sur un axe dirigé vers la gauche.

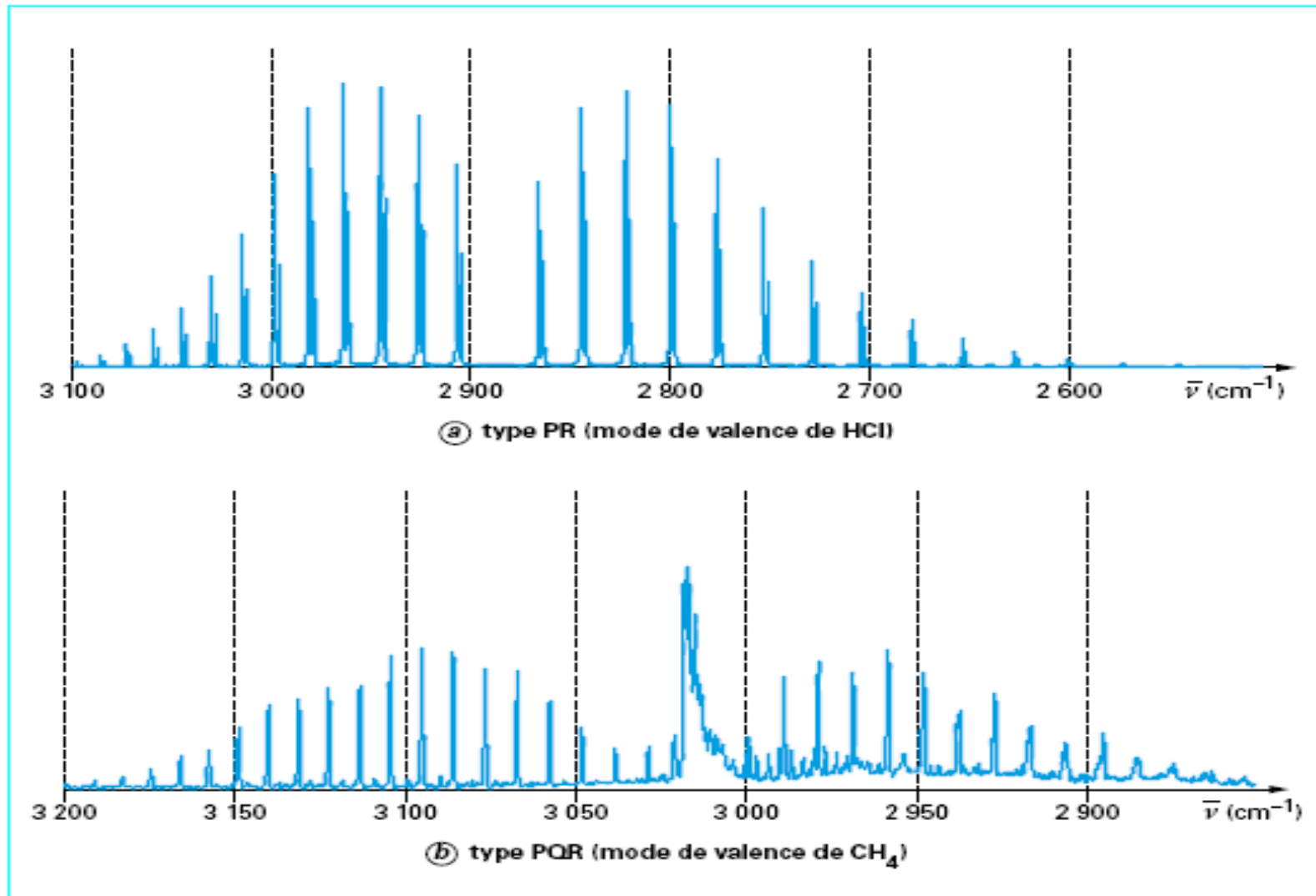
La loi de Beer-Lambert ( $A = f[C]$ ) est vérifiée en infrarouge, ce qui en fait une méthode d'analyse quantitative.



## Spectre IR d'un composé en solution



## Spectre IR d'un composé en phase gazeuse



### Modes de vibrations moléculaires

Lorsque une molécule absorbe de l'énergie sous la forme d'un rayonnement IR, l'amplitude des vibrations des liaisons moléculaires augmente, le retour à l'état normal libère de la chaleur.

Plusieurs modes de vibrations sont possibles pour un groupe d'atomes donné. A chacun correspond une fréquence caractéristique.

Ces modes fondamentaux sont responsables des principales bandes d'absorption.

## Modes de vibrations moléculaires

L'absorption du rayonnement IR par les composés organiques correspond à deux types principaux de vibrations

vibration de valence ou d'élongation

vibration de déformation angulaire

### Modes de vibrations moléculaires

Une vibration de valence (d'allongement ou d'élongation) est un mouvement des atomes le long de l'axe de la liaison.

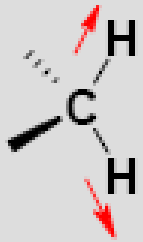
Ce mouvement implique une variation de la distance interatomique.

Les vibrations de valence sont représentés par «  $\nu$  ».

Ces vibrations se situent dans la région du spectre allant de 4000 à 1000  $\text{cm}^{-1}$ .

## Modes de vibrations moléculaires

## Vibrations de valence (stretching)

Symétrique ( $\nu_s$ )

$$\nu_s = 2850 \text{ cm}^{-1} \quad \nu_s = 3652 \text{ cm}^{-1}$$

les deux atomes d'hydrogène se rapprochent et s'éloignent de l'atome central en concordance de phase

Asymétrique ( $\nu_{as}$ )

$$\nu_{as} = 2930 \text{ cm}^{-1}$$



$$\nu_{as} = 3756 \text{ cm}^{-1}$$

les deux atomes d'hydrogène se rapprochent et s'éloignent de l'atome central en discordance de phase

## Modes de vibrations moléculaires

symétrique ( $\nu_s$ ) : vibration avec conservation de la symétrie moléculaire.

asymétrique ( $\nu_{as}$ ): vibration avec perte d'un ou plusieurs éléments de symétrie de la molécule exige plus d'énergie.

$$\sigma(\nu_{as}) > \sigma(\nu_s)$$

### Modes de vibrations moléculaires

Une vibration de déformation est un mouvement des atomes en dehors de l'axe de la liaison.

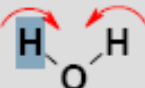
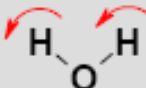
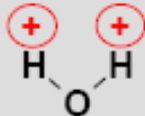
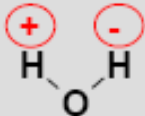
Lors de ce mouvement, la distance interatomique reste constante.

Elles peuvent se réaliser dans le plan ou perpendiculairement au plan.

Les vibrations de déformation sont représentés par «  $\delta$  ».



## Modes de vibrations moléculaires

Vibrations de déformation (bending)			
Dans le plan		Perpendiculaire au plan	
Cisaillement ( $\delta$ ) (scissoring)	Rotation plane ( $\rho$ ) (rocking)	Balancement ( $\varpi$ ) (wagging)	Torsion ( $\tau$ ) (twisting)
 <p><math>\delta = 1596 \text{ cm}^{-1}</math></p>	 <p><math>\rho = \text{variable}</math></p>	 <p><math>\varpi = \text{variable}</math></p>	 <p><math>\tau = 3756 \text{ cm}^{-1}</math></p>

modification  
de  
l'angle de liaison

pas modification  
de  
l'angle de liaison

déplacement  
simultané des  
deux atomes  
hors du plan

déplacement  
simultané des  
deux atomes  
de chaque côté  
du plan

## Modes de vibrations moléculaires

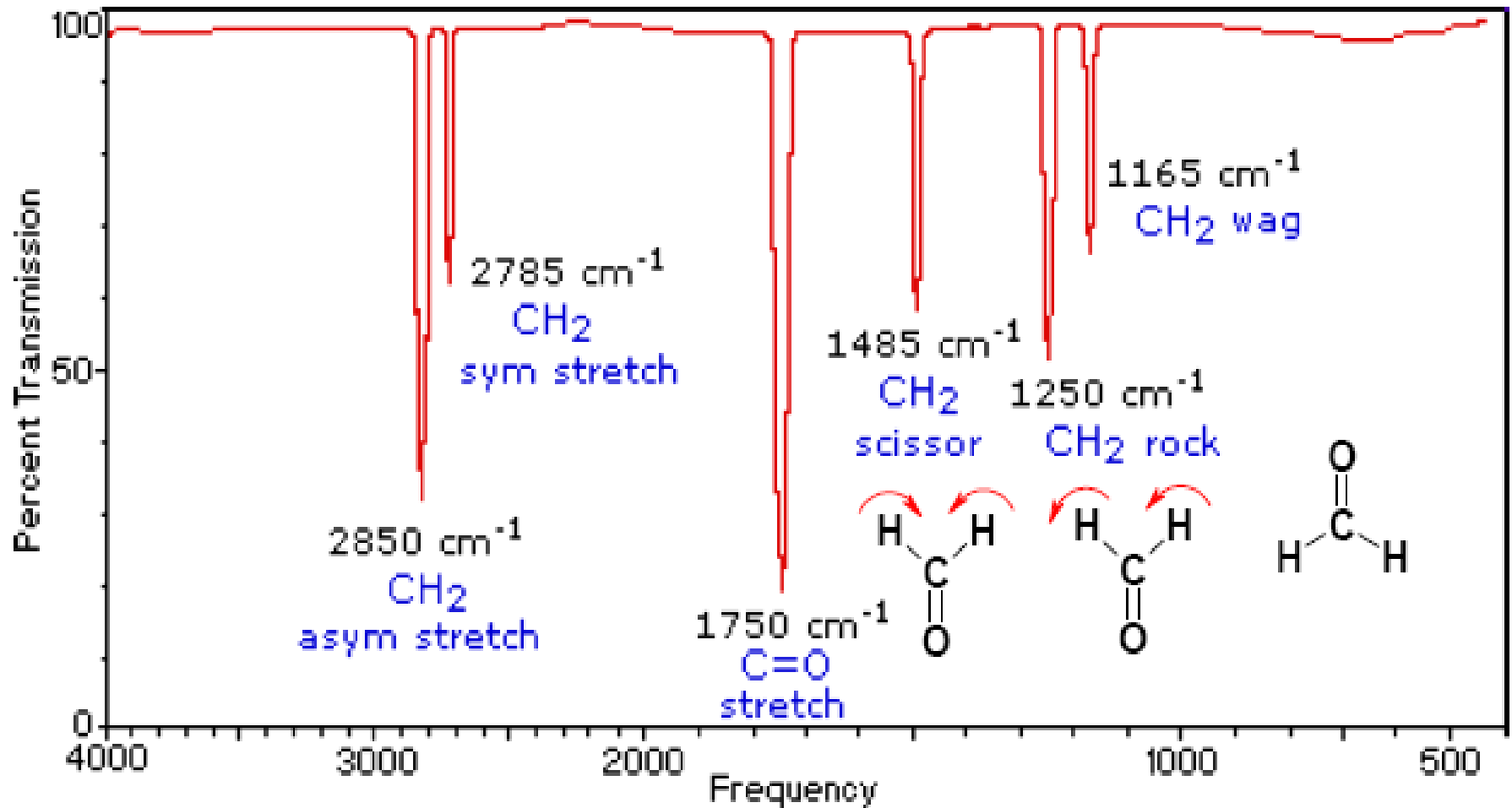
Les vibrations de déformations sont d'intensité plus faible que celle des vibrations de valence

Elles sont nombreuses et beaucoup plus sensibles à l'environnement car elles ont besoin pour se produire d'un volume plus important et risquent donc d'être entravées par la présence d'atomes voisins.

Ces vibrations constituent la région du spectre dite «empreinte digitale» (1000 à 600  $\text{cm}^{-1}$ ).

Elles sont souvent difficiles à attribuer.

## Modes de vibrations moléculaires



## Niveaux d'énergie moléculaires

L'énergie d'une molécule est quantifiée (à l'exception de  $E_c$ ) et est la somme, en première approximation, de :

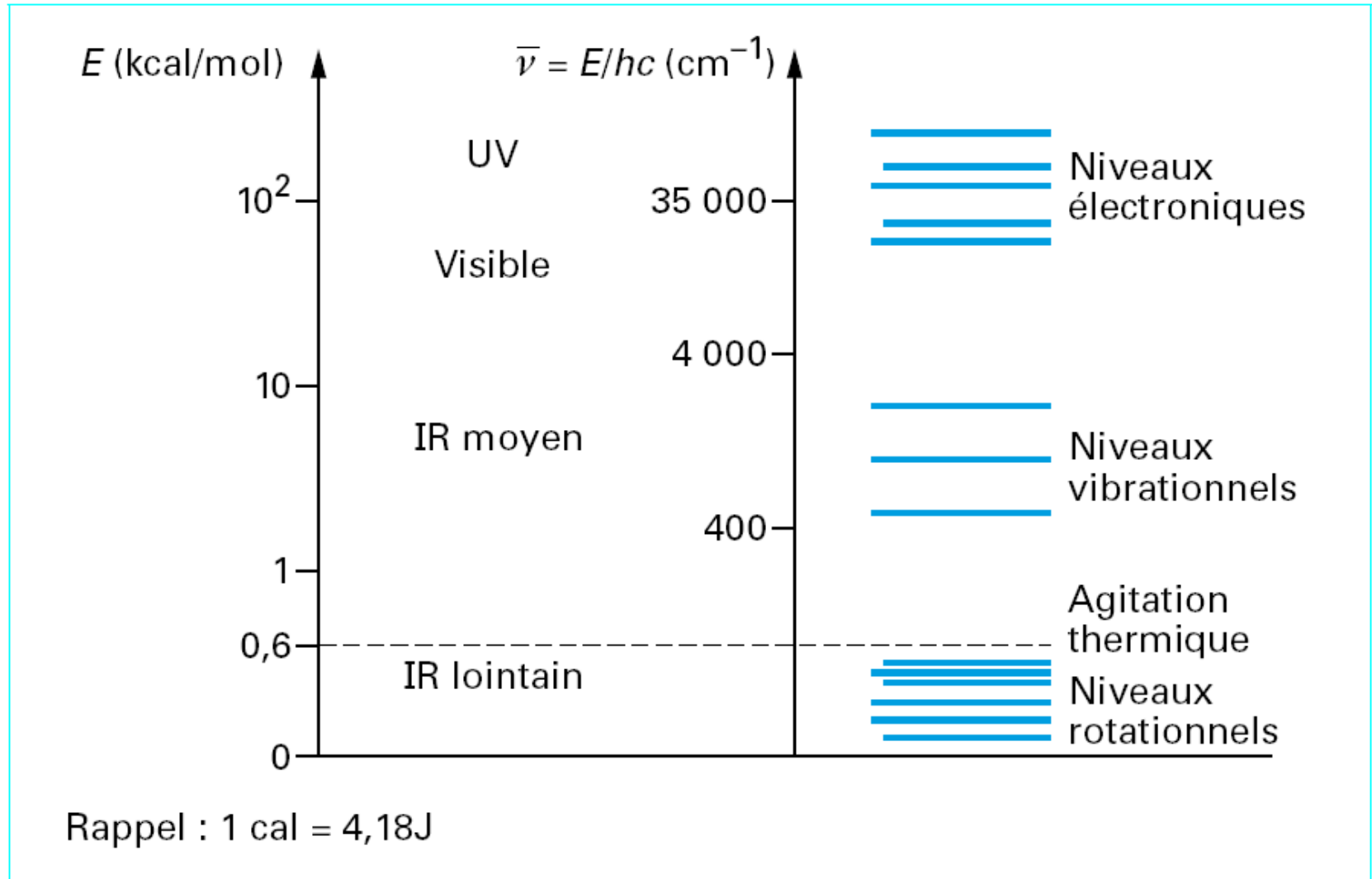
Energie des électrons  $E_e$

Energie vibrationnelle des noyaux  $E_v$

Energie de rotation de la molécule  $E_r$

$$E = E_e + E_v + E_r$$

## Niveaux d'énergie moléculaires



### Energie vibrationnelle

Due aux vibrations des noyaux de la molécule.

Dépend de leur masse et de leur arrangement (type de liaison).

Modélisation d'une molécule diatomique par l'oscillateur harmonique mécanique.

## Oscillateur harmonique mécanique

L'élongation  $x$  d'un oscillateur harmonique est proportionnelle à la force exercée  $F$ .

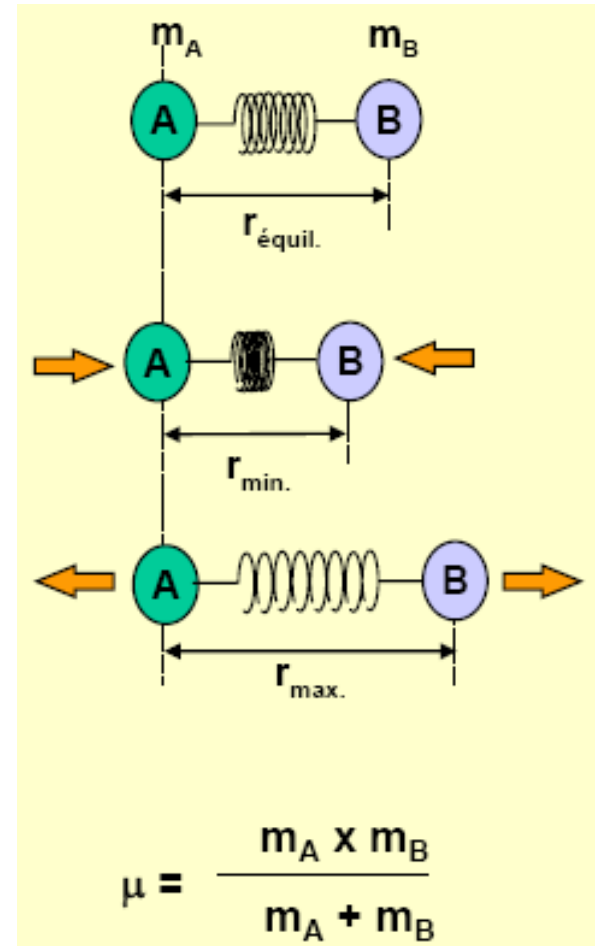
$$F = - k.x \quad (k \text{ constante de rappel})$$

## Oscillateur harmonique mécanique

La fréquence vibration dépend de la masse des atomes ( $m_A$  et  $m_B$ ) et de la force de leur liaison (constante de raideur du modèle mécanique).

Loi de Hooke

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$





## Limites de l'oscillateur harmonique mécanique

Le modèle classique de l'oscillateur harmonique pour étudier la vibration de valence d'une molécule diatomique ne permet pas d'expliquer complètement certains phénomènes.

Un rayonnement infrarouge d'énergie suffisante peut conduire à la dissociation d'une molécule diatomique.

Une meilleure description est obtenue en utilisant un oscillateur non harmonique.

## Absorption d'énergie

Les modèles classiques (oscillateurs harmonique ou non harmonique) ne peuvent rendre compte du fait que l'absorption de l'énergie au niveau moléculaire se fait de manière discrète (par quanta).

Les niveaux de vibration d'une molécule sont quantifiés.

$$E_v = (v + \frac{1}{2})h\nu_0 \quad v = \text{nombre quantique de vibration}$$

ou en tenant compte de l'anharmonicité de vibration :

$$E_v = (v + \frac{1}{2})h\nu_0 - (v + \frac{1}{2})^2\chi_e h\nu_0 \quad \chi_e = \text{cste d'anharmonicité}$$

## Absorption d'énergie

Les atomes liés pouvant effectuer des rotations, il faut rajouter un terme prenant en compte l'énergie de rotation quantifiée.

Pour un rotateur diatomique :

$$E_r = B'J(J + 1)$$

$B'$  = cste rotationnelle

$J$  = nb quantique de rotation

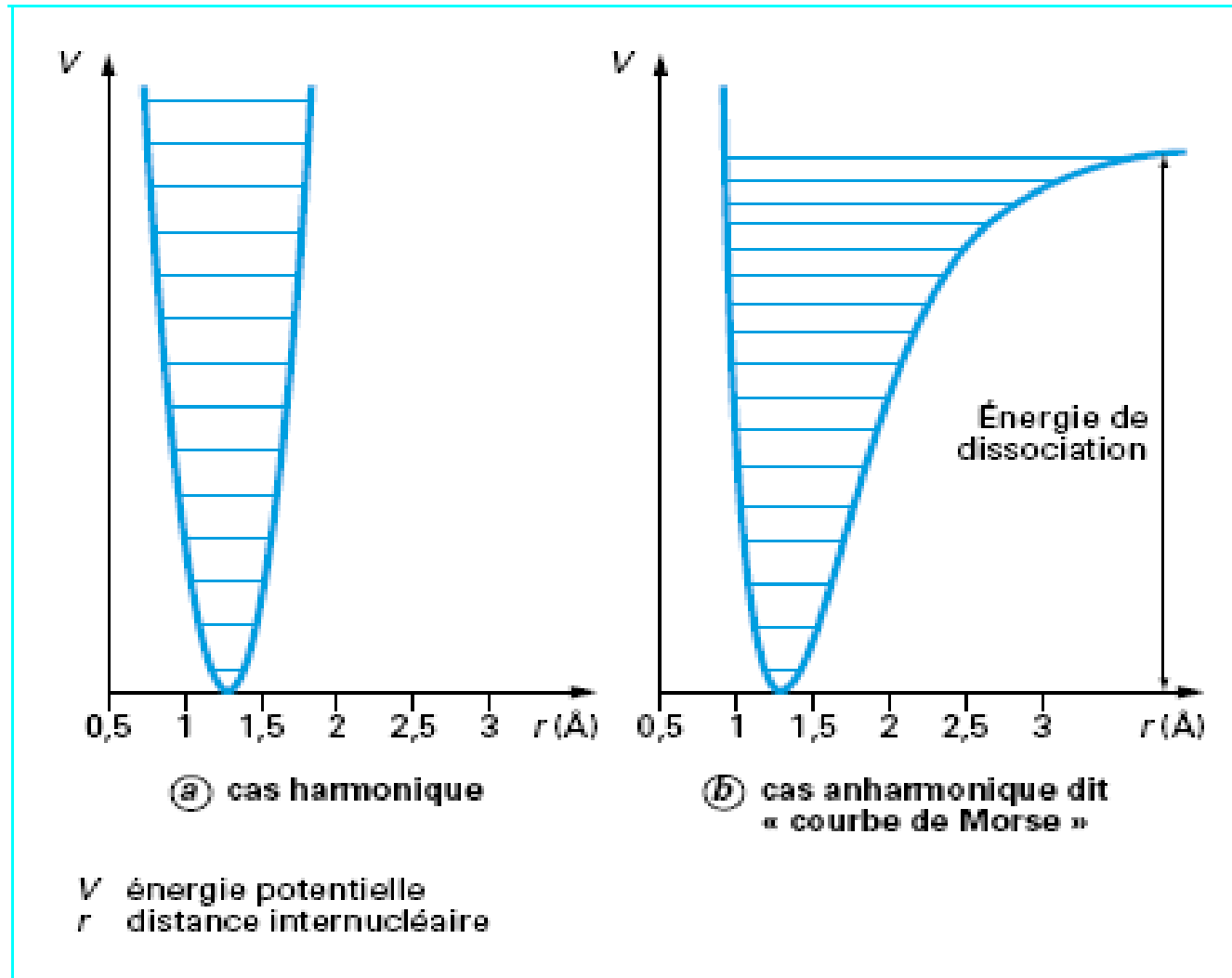
$B' = h^2/(8\pi^2\mu r^2)$   $h$  = cste de Plank,  $\mu$  = masse réduite,  $r$  = distance interatomique

ou en tenant compte de la non-rigidité du rotateur :

$$E_r = B'J(J + 1) - DJ^2(J + 1)^2$$

$D$  = cste  $\ll B'$  27

## Niveaux d'énergie



### Absorption d'énergie

Les transitions entre niveaux roto-vibrationnels peuvent être induites par l'absorption d'un rayonnement à condition que son énergie soit exactement égale à la différence d'énergie  $\Delta E$  entre les niveaux considérés.

Les seules transitions possibles sont celles pour lesquelles le nombre quantique de vibration «v» varie d'une unité.

Pour qu'il y ait absorption, en plus des règles quantiques, il faut qu'il y ait interaction avec le vecteur électromagnétique de la lumière incidente.

Cette interaction n'est possible que si la vibration induit une variation dans le moment dipolaire de la liaison.

## Spectromètres d'absorption IR

Systemes dispersifs ou à onde continue

Systemes à transformée de Fourier

Constituants :

- source
- analyseur
- porte-échantillon
- détecteur

## Sources

Solides portés à haute température et rayonnant par incandescence (spectre d'émission continu).

Céramiques :  $T = 1000 \text{ K}$   
 $\Delta\sigma = 5000 \text{ à } 300 \text{ cm}^{-1}$

Globalar (SiC) :  $T = 800 \text{ K}$   
 $\Delta\sigma = 4500 \text{ à } 300 \text{ cm}^{-1}$

$T = 1200 \text{ K}$   
 $\Delta\sigma = 8000 \text{ à } 50 \text{ cm}^{-1}$

## Détecteurs

Thermiques : sensibles à la chaleur dégagée par l'absorption de photons sur une cible noircie.

DTGS (Deuterated TriGlycide Sulfate) ou  $\text{LiTaO}_3$   
pyroélectrique

*T ambiante, modérément sensible et rapide*

Quantiques : sensibles directement aux photons.

MCT (Mercury Cadmium Telluride) ou In-Sb  
effet photovoltaïque

*T  $N_2$  liquide, très rapide*

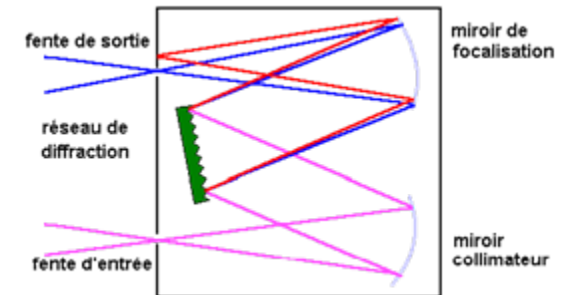


## Analyseurs

Destinés à extraire l'information  $A = f(\nu)$

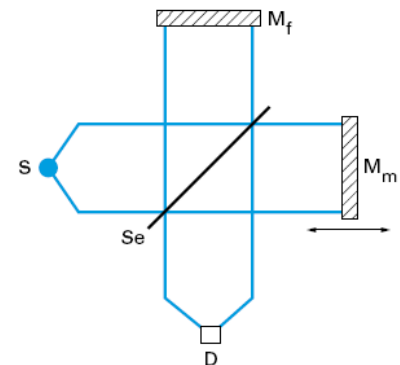
Monochromateurs :

spectromètres dispersifs  
à balayage ou à onde continue.



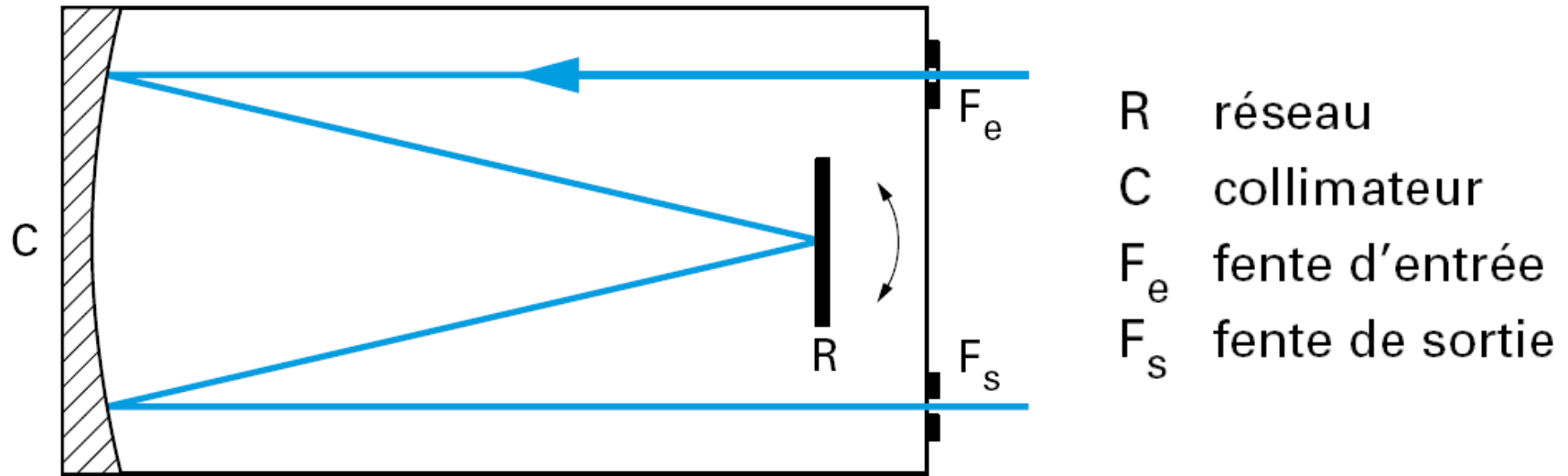
Interféromètres :

spectromètres à  
transformée de Fourier

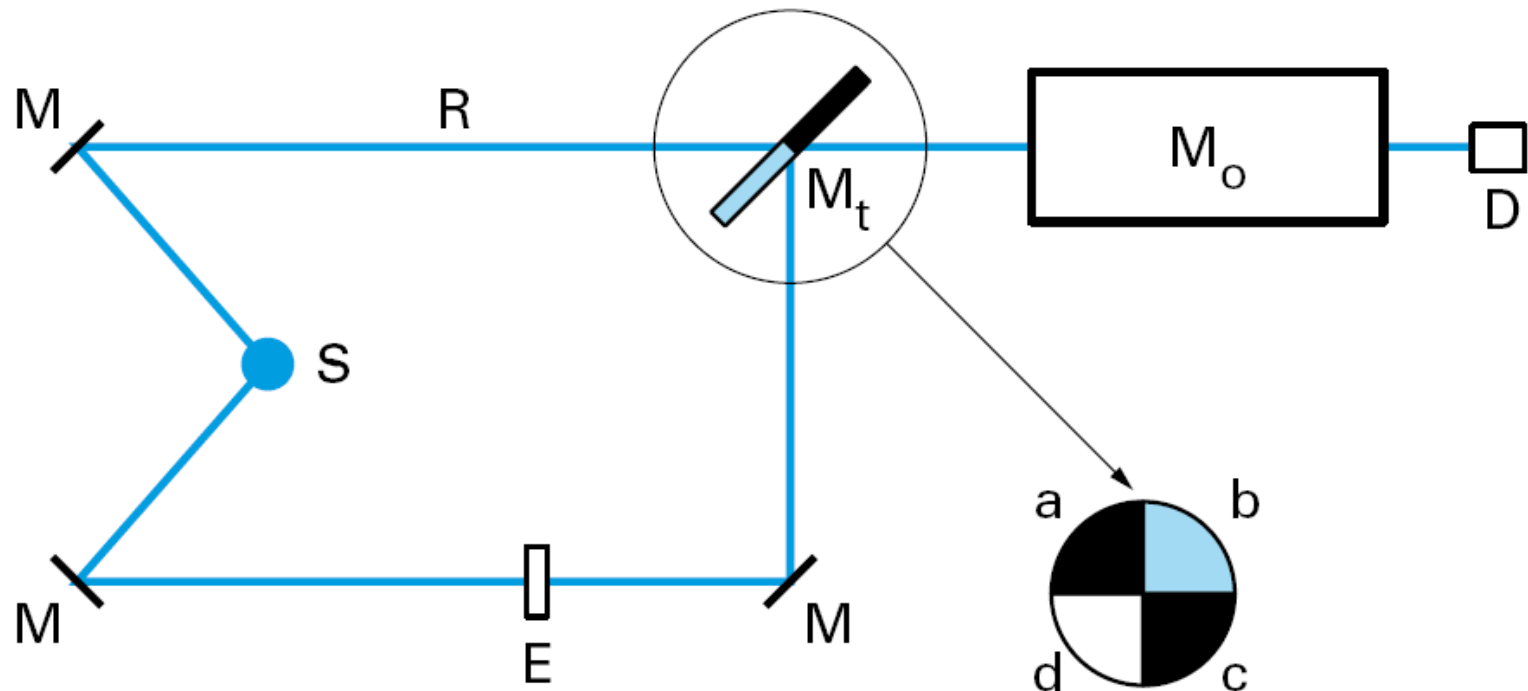


## Monochromateur

Constitué d'un réseau par réflexion (système dispersif), d'un miroir collimateur et de fentes d'entrée et de sortie réglables.



## Spectromètre à balayage « double faisceau »



- |   |             |       |                |       |  |
|---|-------------|-------|----------------|-------|--|
| S | source      | $M_o$ | monochromateur | $M_t$ | miroir tournant<br>(a, c : secteurs opaques,<br>b : miroir, d : secteur transparent) |
| E | échantillon | D     | détecteur      |       |  |
| R | référence   | M     | miroir         |       |  |

## Spectromètre à balayage « double faisceau »

Ce montage donne directement le spectre de l'échantillon corrigé du fond d'absorption, par la mesure en alternance, pour chaque longueur d'onde, du rapport des intensités transmises suivant deux parcours optiques distincts mais très semblables entre eux, dont l'un sert de voie de référence et l'autre de voie de mesure.

Le rayonnement de la source est dédoublé par un jeu de miroirs. Pour chaque intervalle de longueur d'onde, défini par le monochromateur, le flux ayant suivi alternativement chacune des deux voies, par effet d'un miroir tournant au rythme d'une dizaine de fois par seconde, arrive sur le détecteur.

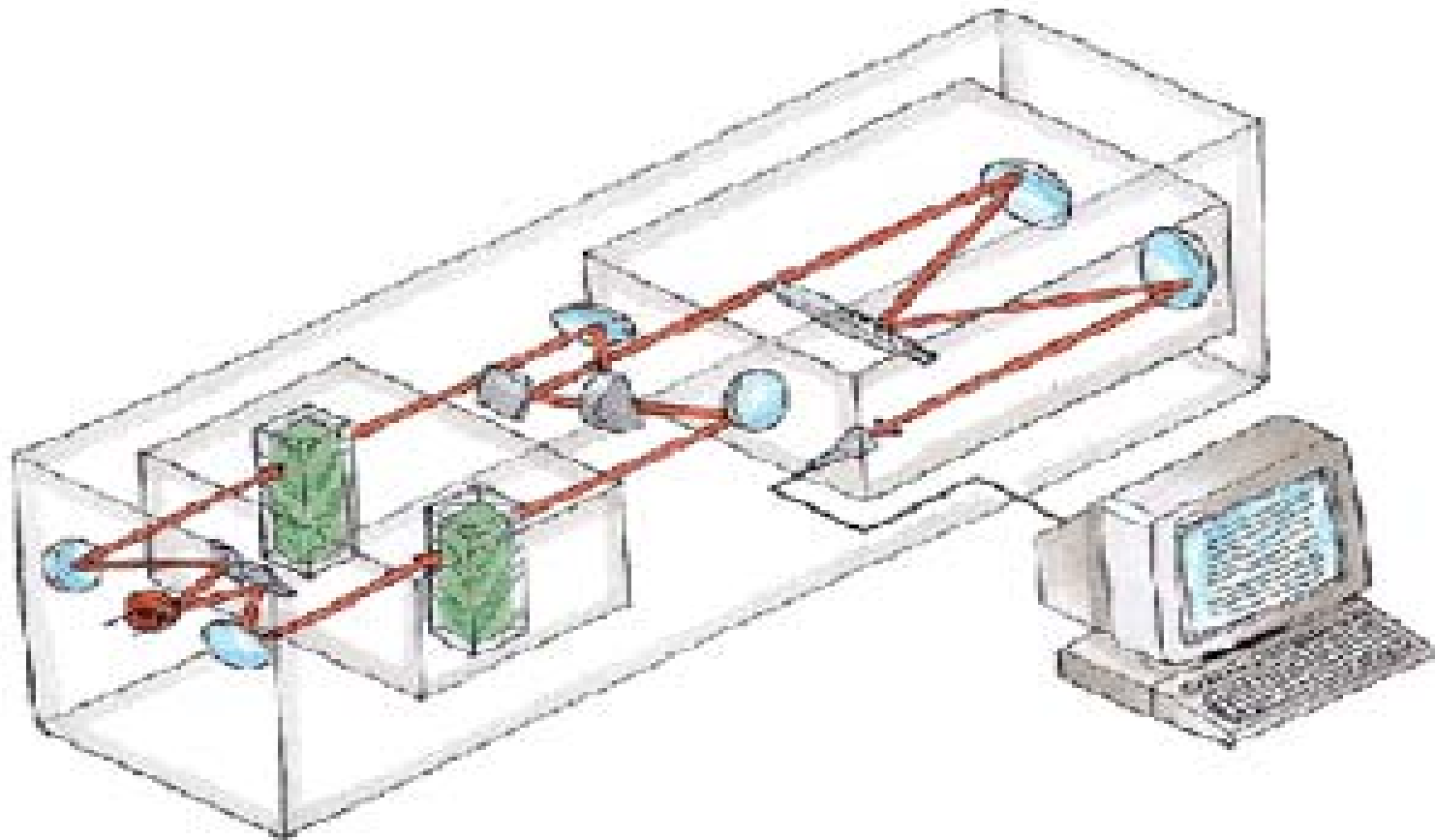
## Spectromètre à balayage « double faisceau »

La comparaison des deux signaux obtenus dans un court laps de temps est directement convertie en transmittance.

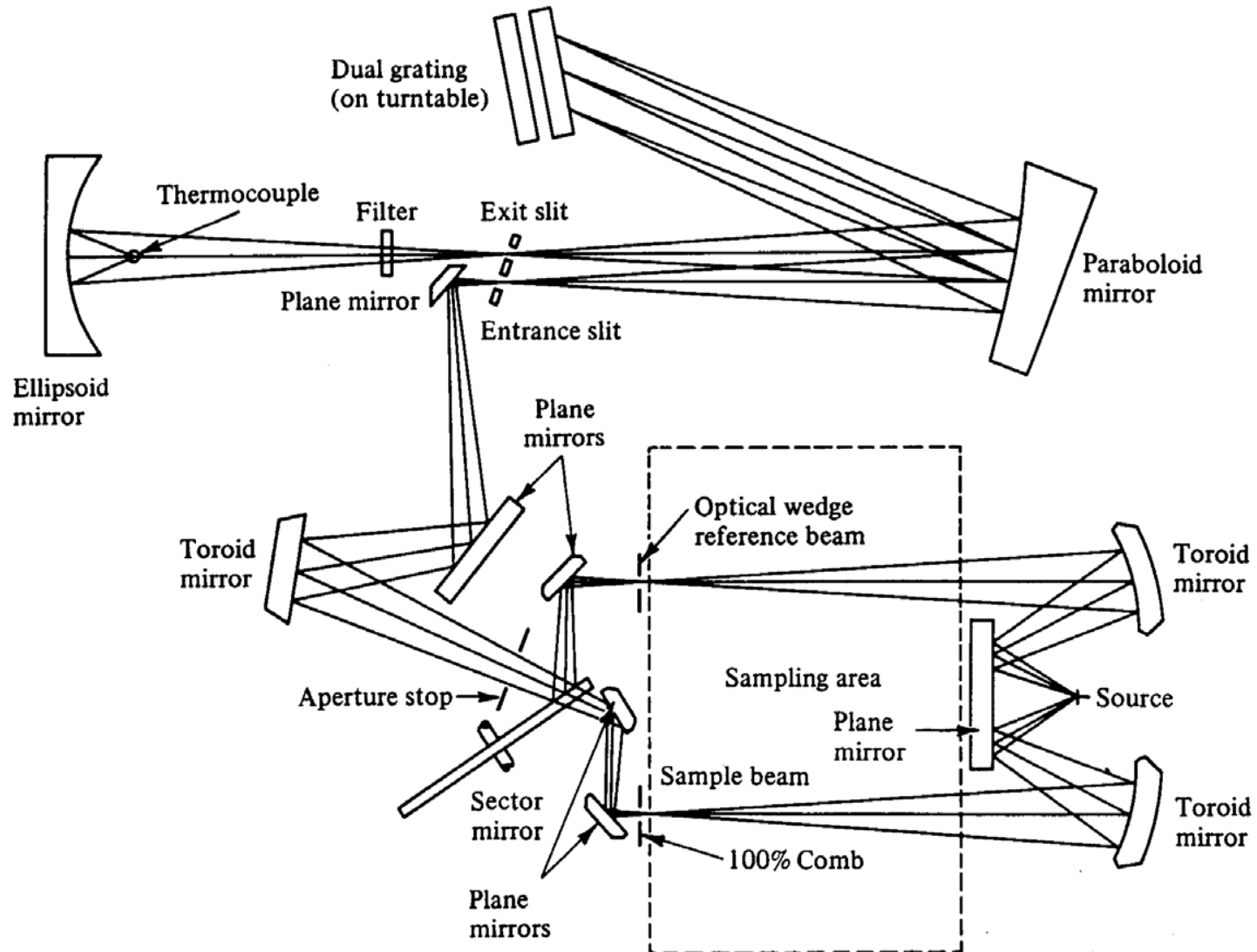
Le spectre est enregistré en quelques minutes, compte tenu des contraintes diverses (rotation du réseau, temps de réponse du détecteur) et de l'étendue de la plage spectrale.

Le détecteur ne reçoit qu'une très faible énergie à la fois, le monochromateur ne laissant passer qu'un intervalle très étroit de longueur d'onde (la largeur des fentes jouant sur la résolution).

## Spectromètre à balayage « double faisceau »



## Spectromètre à balayage « double faisceau »



## Interféromètre de Michelson

Constituants :

2 miroirs plans perpendiculaires, un mobile et un fixe

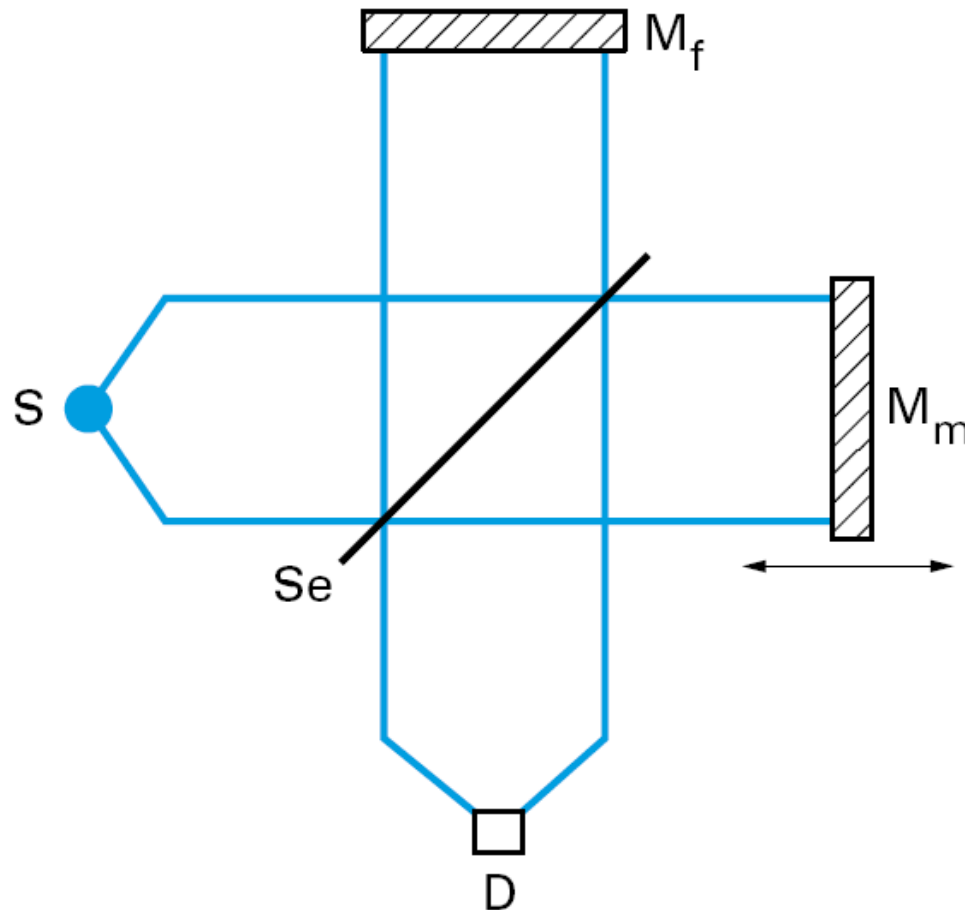
2 lames à faces parallèles identiques inclinées à  $45^\circ$  sur l'axe sur l'axe de propagation.

séparatrice: formée d'un film Ge déposé sur une lame de KBr, réfléchit et transmet 50% du flux incident.

compensatrice: pour une différence de marche nulle entre les deux faisceaux lorsque les longueurs de bras sont identiques.

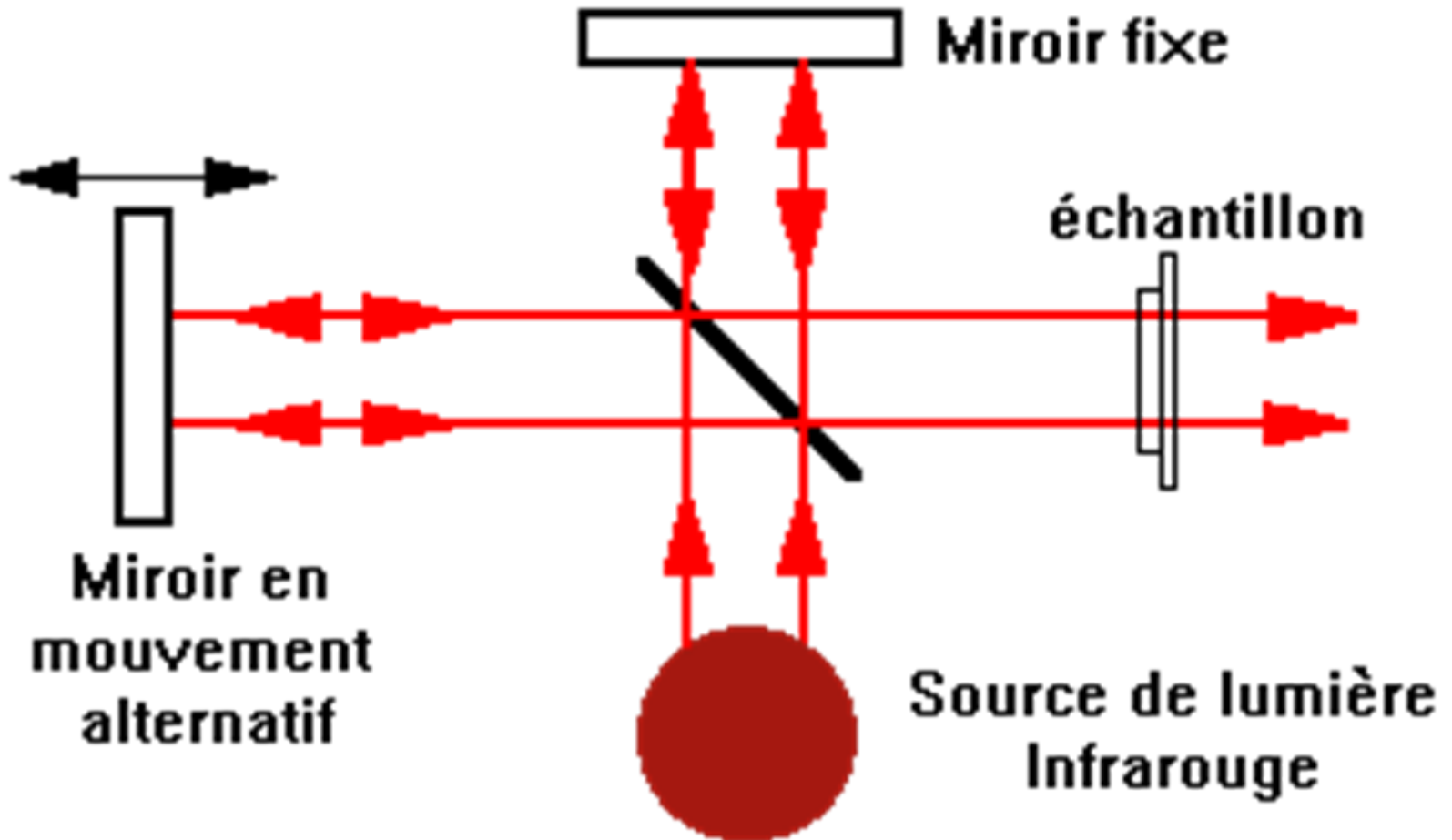


## Interféromètre de Michelson

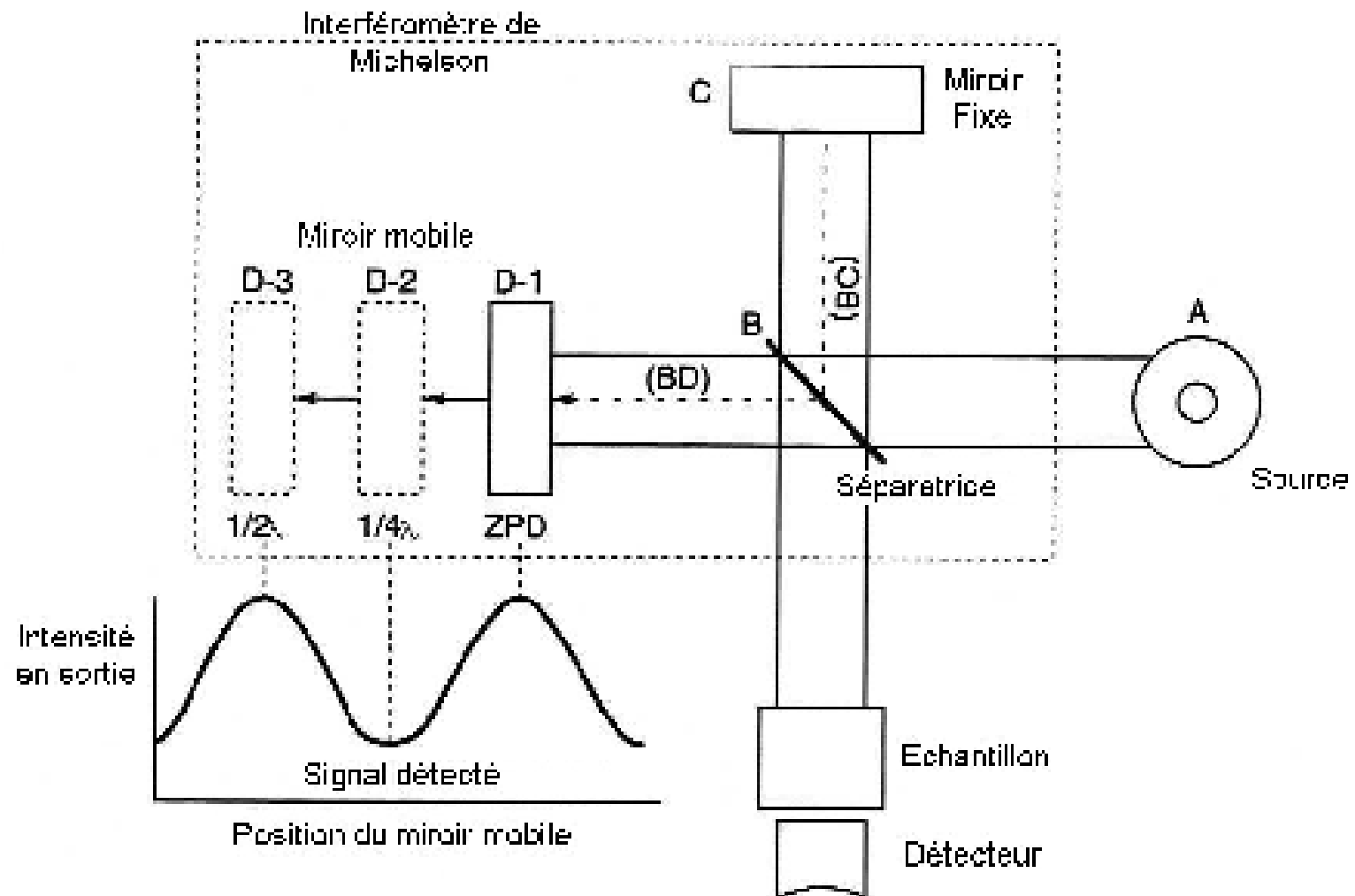


- S source
- D détecteur
- Se séparatrice
- M<sub>f</sub> miroir fixe
- M<sub>m</sub> miroir mobile

## Interféromètre de Michelson



## Interféromètre de Michelson



## Interféromètre de Michelson

Fonctionnement :

Un faisceau parallèle de radiations issu de la source est dédoublé par la séparatrice en un faisceau transmis d'intensité  $I_m$  vers le miroir mobile  $M_m$  et un faisceau d'intensité  $I_r$  vers le miroir fixe  $M_f$ .

Ces deux faisceaux, réfléchis repassent par la séparatrice et en émergent avec des amplitudes identiques en interférant.

Le faisceau résultant traverse l'échantillon et est recueilli par le détecteur qui en mesure l'intensité globale.

## Interféromètre de Michelson

Fonctionnement :

Si les deux miroirs sont à égale distance de la séparatrice, les deux faisceaux suivent des chemins optiques identiques et émergent en phase.

Si le miroir mobile est translaté d'une distance  $x$ , le chemin optique correspondant augmente de  $2x$ , entraînant un déphasage des deux faisceaux.

## Interféromètre de Michelson

Fonctionnement :

Le signal transmis au cours du temps par le détecteur est traduit sous forme d'un interférogramme :  $I = f(\delta)$

$\delta = vt$  : différence de trajet optique entre les deux voies  
( $v$  vitesse déplacement du miroir mobile).

$$I(\delta) = I(\tilde{\nu}) [1 + \cos(2\pi\tilde{\nu}\delta)]$$

$$I(\delta) = I(\tilde{\nu}) + I(\tilde{\nu})\cos(2\pi\tilde{\nu}\delta) = I(\tilde{\nu}) + V(\delta)$$

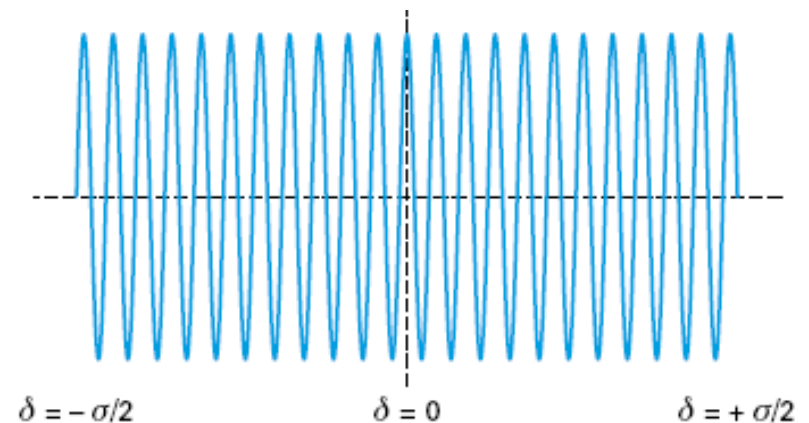
intensité du flux  
Indépendante de  $\delta$

intensité du flux  
modulée

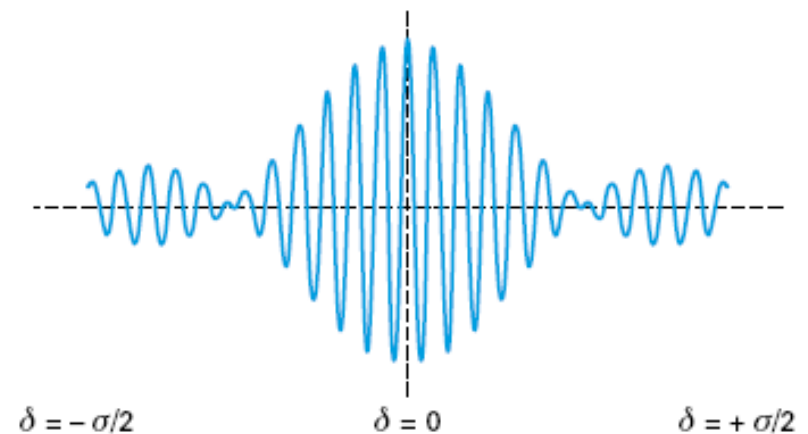
## Interféromètre de Michelson

Fonctionnement :

Interférogramme  
de source monochromatique  
= fonction cosinus



Interférogramme  
de source polychromatique  
= somme de cosinus



## Interféromètre de Michelson

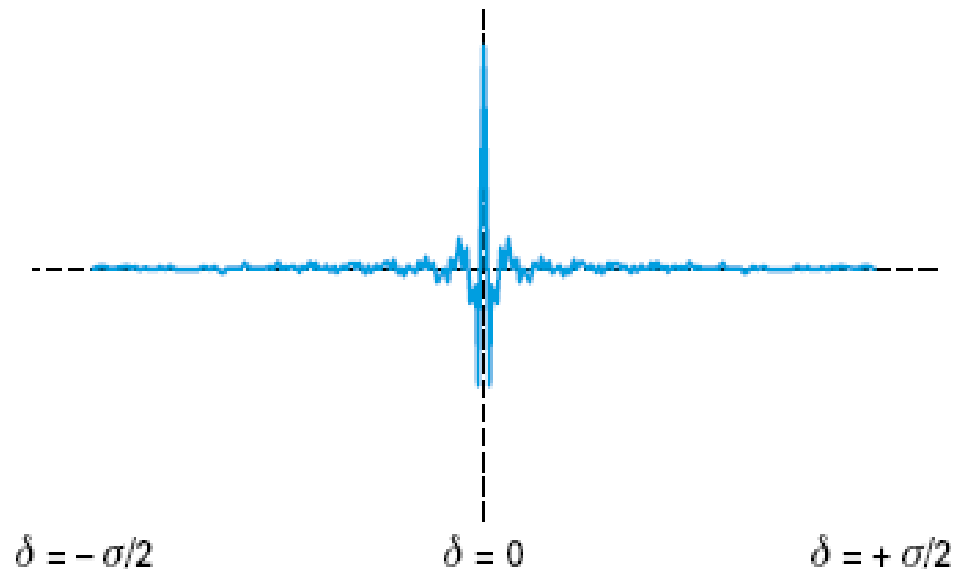
Fonctionnement :

Pour une source  
continue hypothétique,

$$-\infty < \tilde{\nu} < +\infty$$

le signal s'écrit :

$$V(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\tilde{\nu}) \cos(2\pi\tilde{\nu}\delta) d\tilde{\nu}$$



**Attention : les fréquences négatives n'ont pas de sens physique**<sup>48</sup>



## Interféromètre de Michelson

Fonctionnement :

Le signal  $I(\tilde{\nu})$  qui fournit le spectre est extrait de l'interférogramme par la transformée de Fourier de  $V(\delta)$

$$I(\tilde{\nu}) = \int_{-\infty}^{+\infty} V(\delta) \cos(2\pi\tilde{\nu}\delta) d\delta$$

Tout point de l'interférogramme contient des informations sur toutes les fréquences du spectre.

## Interféromètre de Michelson

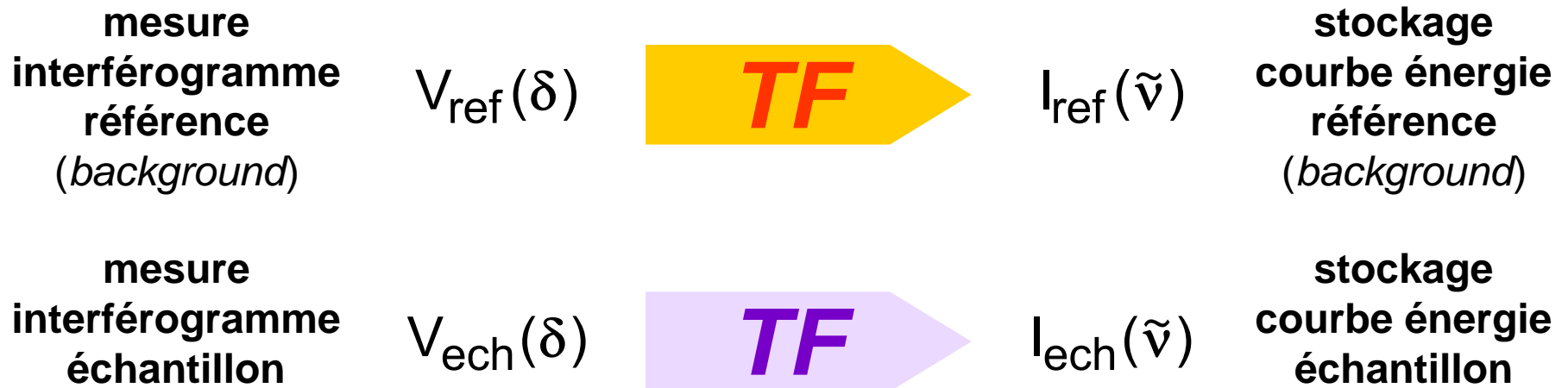
Fonctionnement :

Pendant le déplacement du miroir, l'interférogramme est collecté sous forme de milliers de points de mesure.

Chacune de ces valeurs correspond formellement au second membre de l'équation linéaire précédente  $I(\delta)$  dont les inconnues sont les amplitudes de toutes les longueurs d'onde (supposées en nombre fini) présentes dans le signal à analyser.

## Spectre d'absorption

Equivalent spectre «double faisceau» calculé par le rapport de deux spectres simple faisceau.



calcul  
point par point

$$\frac{I_{\text{ech}}(\tilde{\nu})}{I_{\text{ref}}(\tilde{\nu})}$$

## Spectre d'absorption

Enregistrements successifs

⇒ grande stabilité

source

détecteur

environnement



*fonctionnement continu*

*purge N<sub>2</sub> appareil*

## Contrôle et mesure de $\delta$

Faisceaux issus de la séparatrice parfaitement colinéaires.

Contrôle du déplacement du miroir mobile par mesure des franges d'interférence d'un faisceau laser He-Ne éclairant la séparatrice.

Les franges d'interférence laser servent également à définir le pas d'échantillonnage.

Repérage de l'origine (position de  $M_m$  telle que  $\delta = 0$ ) sur le point central de l'interférogramme IR.

*DMN (différence de marche nulle) ou ZPD (zero path difference)*

## Résolution et pas de calcul du spectre

Le spectre calculé à partir de l'interférogramme pour une raie monochromatique est une bande de largeur finie, car l'interférogramme  $V(\delta)$  (fonction cos infiniment longue) est limité par le domaine physique de déplacement du miroir mobile ( $-\sigma < \delta < +\sigma$ ) et non au domaine d'intégration du calcul de la TF ( $-\infty < \delta < +\infty$ ).

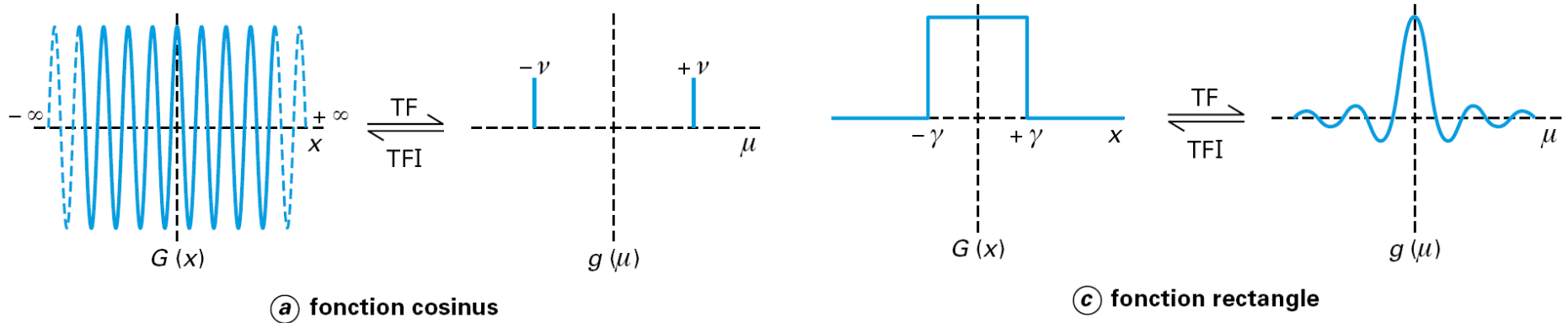
Equivaut à la multiplication de l'interférogramme «théorique» par une fonction rectangle  $R(\delta)$  égale à :

1 pour ( $-\sigma < \delta < +\sigma$ ) et 0 ailleurs

⇒ Signal expérimental :  $V'(\delta) = V(\delta) \cdot R(\delta)$

## Résolution et pas de calcul du spectre

⇒ Signal expérimental :  $V'(\delta) = V(\delta) \cdot R(\delta)$



## Résolution et pas de calcul du spectre

D'après le théorème de convolution :

$$V'(\delta) = V(\delta) \cdot R(\delta)$$



$$I'(\tilde{\nu}) = I(\tilde{\nu}) \otimes \text{sinc}\left(\frac{1}{\sigma}\right)$$

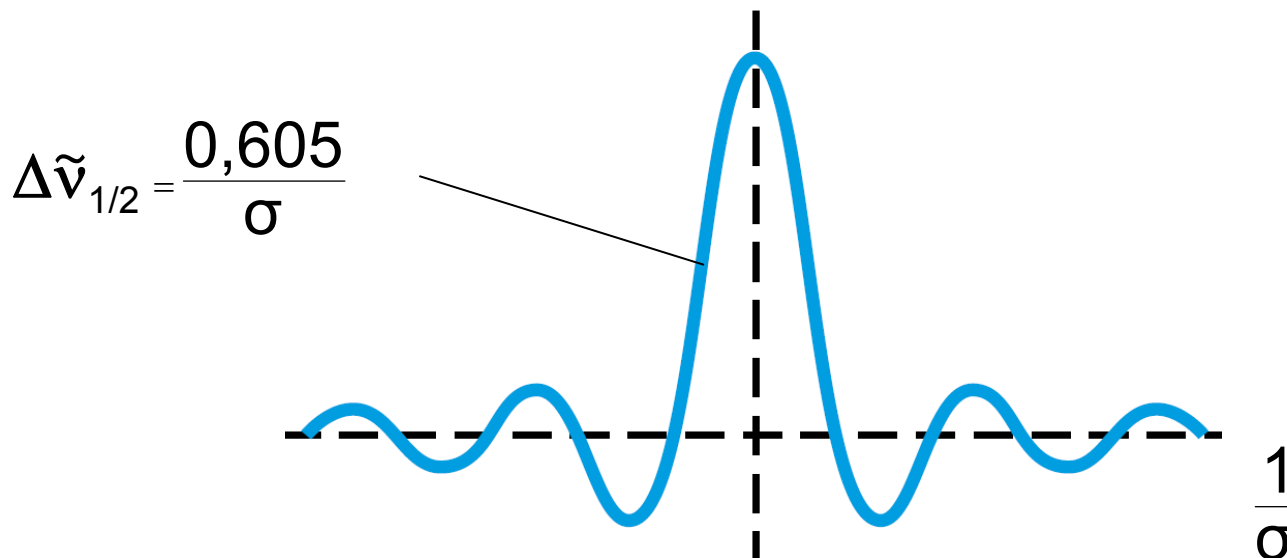
TF de  $V'(\delta) =$  produit de convolution de  $I(\tilde{\nu})$ , TF de  $V(\delta)$  par la fonction  $\text{sinc}(1/\sigma)$ , TF de la fonction rectangle  $R(\delta)$ .



## Résolution et pas de calcul du spectre

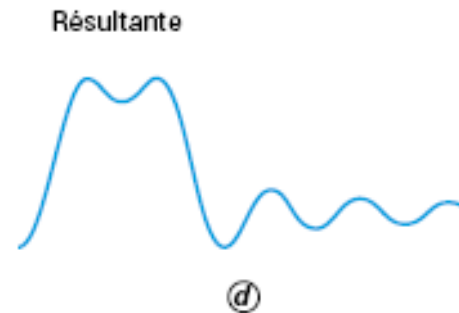
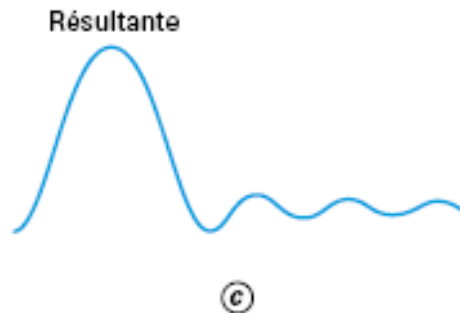
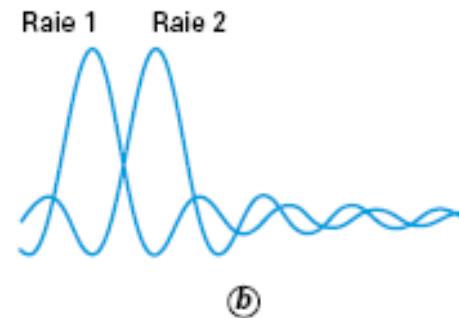
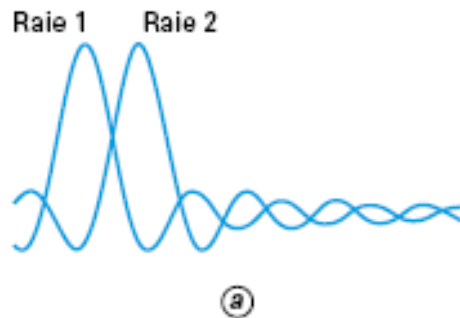
Largeur des raies spectrales calculées dépend du  $\delta_{\max} = \sigma$ , donc d'une limitation physique purement expérimentale.

Une raie infiniment fine présente une largeur à mi-hauteur et des lobes («pieds»), les premières valeurs nulles étant situées à  $1/\sigma$ .



## Résolution et pas de calcul du spectre

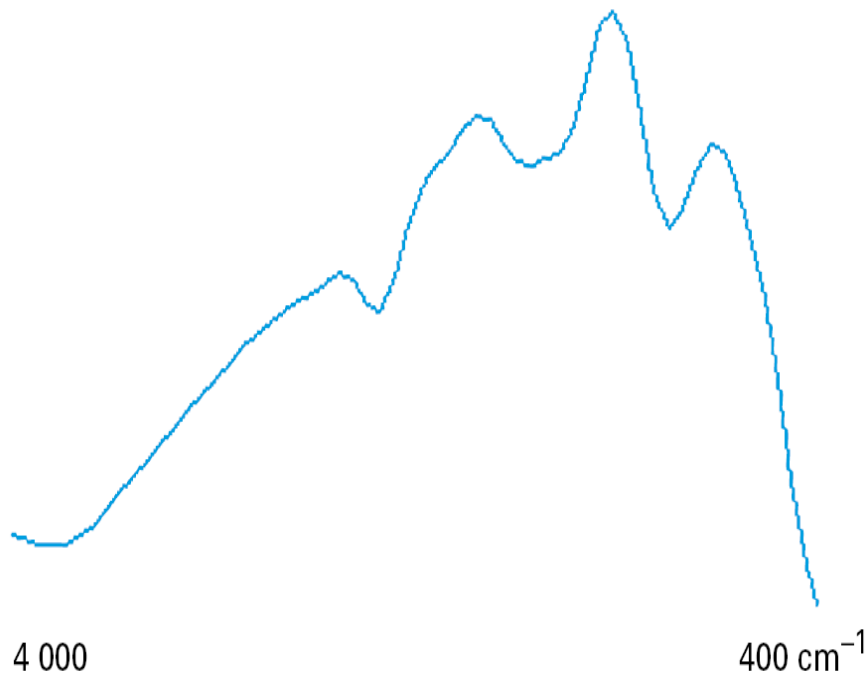
Critère de Rayleigh : 2 raies de même intensité sont séparées si le maximum de l'une correspond au premier minimum de l'autre.



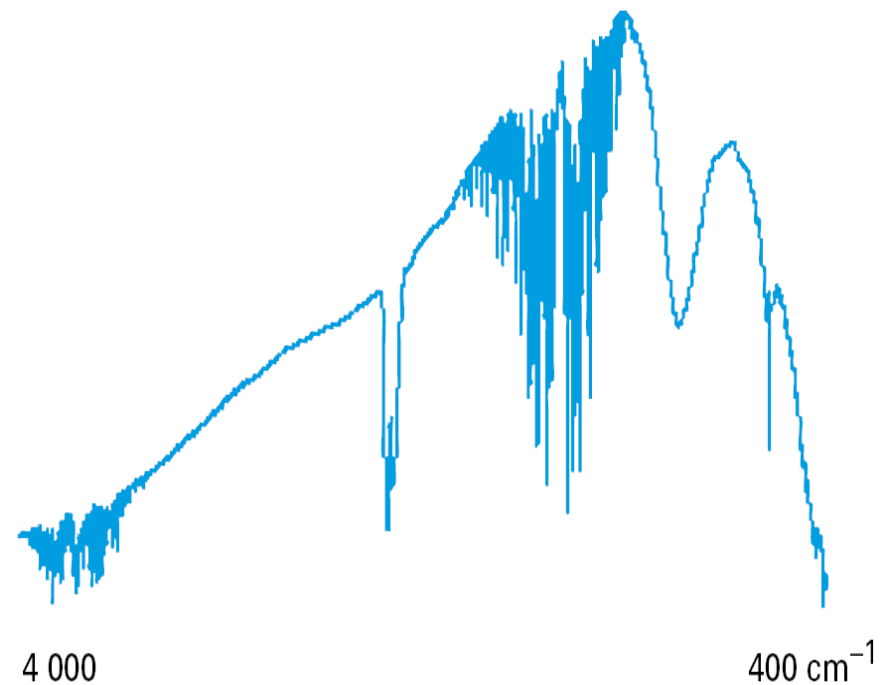
Les figures (c) et (d) sont obtenues en sommant les raies 1 et 2 des figures (a) et (b) respectivement.  
Le critère de Rayleigh est satisfait pour (d) et les raies apparaissent distinctes.  
Le critère de Rayleigh est non satisfait pour (c) et les raies sont confondues.

## Résolution et pas de calcul du spectre

Exemple: spectre de l'air à différentes résolutions



(a) résolution 128 cm<sup>-1</sup>



(c) résolution 2 cm<sup>-1</sup>

## Résolution et pas de calcul du spectre

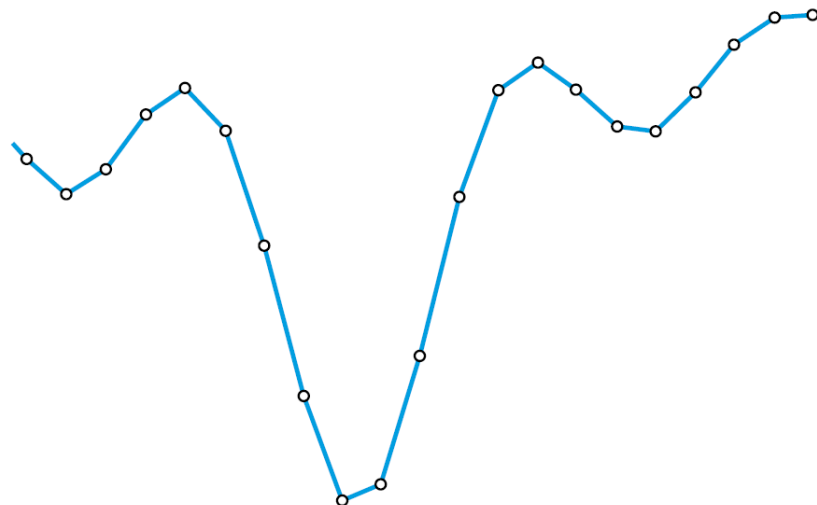
La résolution d'un interféromètre de Michelson est constante sur tout le domaine spectral, car elle ne dépend que de  $\sigma$ , alors que celle du monochromateur dépend de  $\lambda$  par la dispersion.

## Résolution et pas de calcul du spectre

L'algorithme de la TF impose des contraintes sur les bornes du calcul et sur le nombre de points.

⇒ pas de calcul du spectre imposé.

⇒ allure de la courbe spectrale dépend de ce pas.



## Résolution et pas de calcul du spectre

Amélioration de l'allure de la courbe spectrale par :

interpolation quadratique

dans le domaine de fréquence considéré

*peu élégant et lent*

interpolation par TF (*zero-filling*)

augmentation artificielle de la taille de

l'interférogramme (obligatoirement par

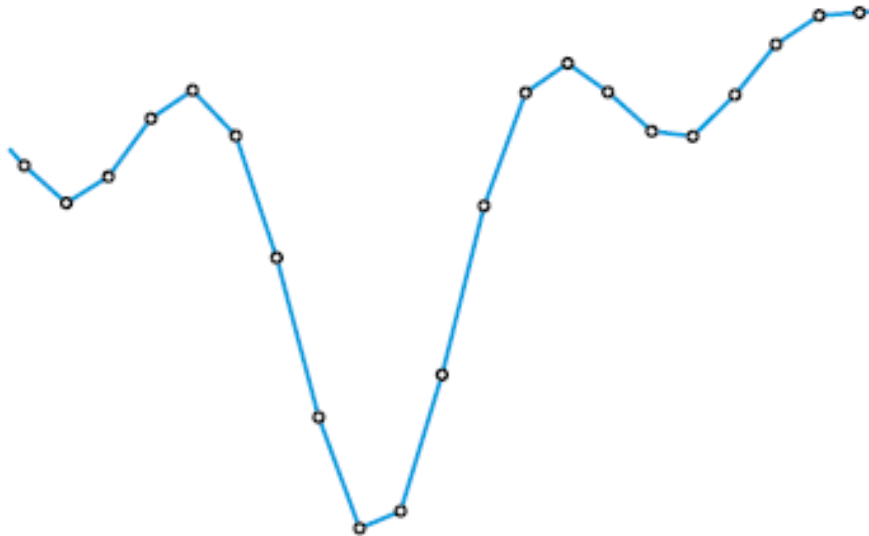
puissance de 2) par ajout de zéros aux

extrémités (où les valeurs sont quasi-nulles)

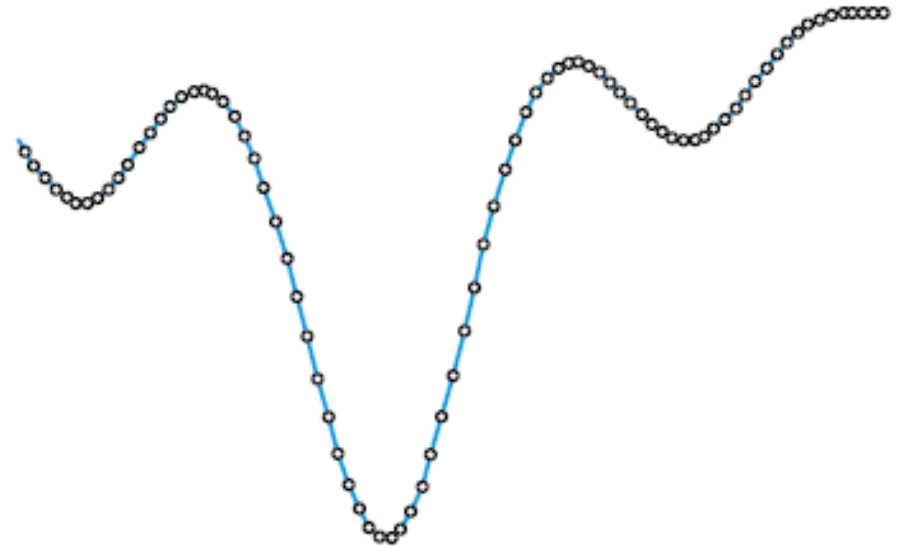
*élégant et plus rapide, mais taille mémoire augmente*

## Résolution et pas de calcul du spectre

Amélioration de l'allure de la courbe spectrale



(a) spectre calculé sans interpolation

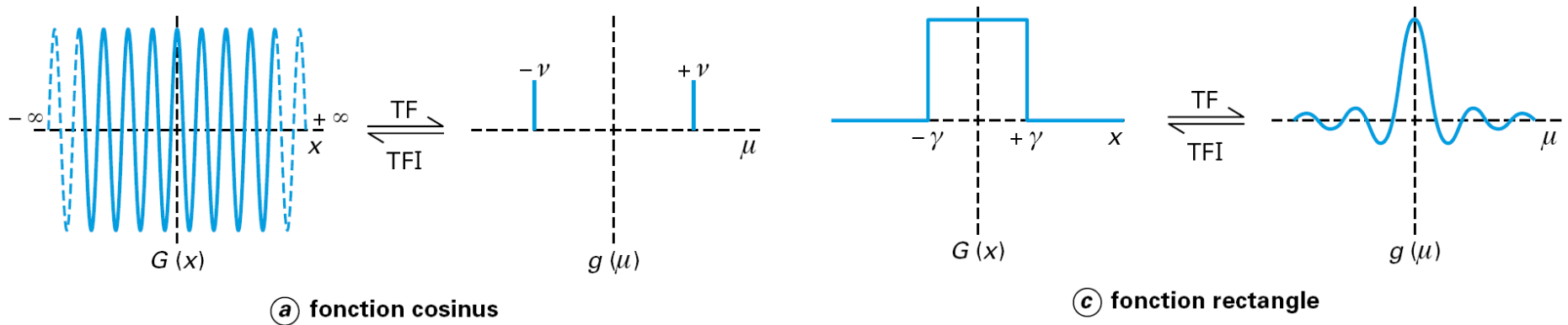


(b) spectre calculé avec interpolation

## Apodisation

Les spectres calculés font apparaître des lobes («pieds») à la base des bandes :


artéfacts numériques dûs à sinc, TF de  $R(\delta)$ .

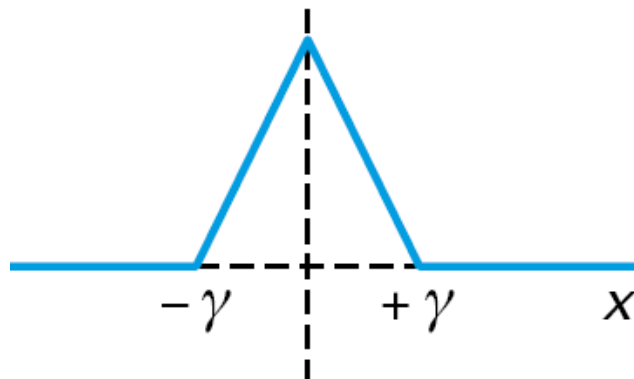




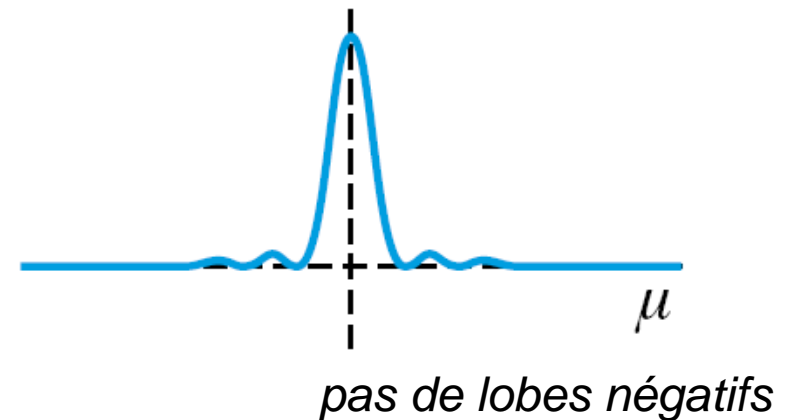
## Apodisation

Remède : fonction de pondération moins drastique que la fonction  $R(\delta)$  et dont la TF est sans lobes.

Ex : fonction triangle  $T(\delta)$    $\text{sinc}^2\left(\frac{1}{\sigma}\right)$



TF  
TFI



Inconvénient : profil élargi (  $\Delta\tilde{\nu}_{1/2} = \frac{0,605}{\sigma}$  )

## Apodisation

L'interférogramme devient :

$$V'(\delta) = V(\delta) \cdot T(\delta)$$

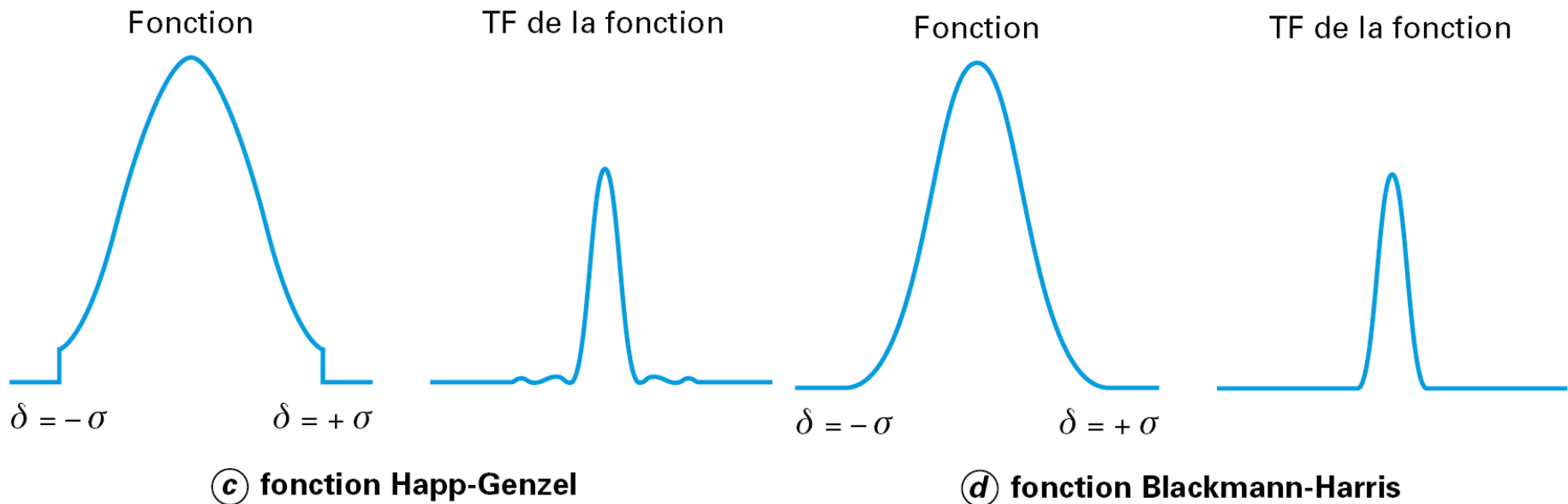


$$I'(\tilde{\nu}) = I(\tilde{\nu}) \otimes \text{sinc}^2\left(\frac{1}{\sigma}\right)$$

⇒ Spectre apodisé.

## Apodisation

Autres fonctions de pondération usuelles :



## Correction de phase

Interférogramme presque toujours asymétrique en raison de :

asymétrie de la séparatrice, la compensatrice ne compense pas pour toutes les fréquences

retard optique variable avec la fréquence

échantillonnage asymétrique par rapport au DMN

retard de phase du détecteur et de l'électronique, rarement le même pour toutes les fréquences

## Correction de phase

Interférogramme comprend presque toujours un terme de phase ( $\delta - \varepsilon$ ).

$$V(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\tilde{\nu}) \cos(2\pi\tilde{\nu}\delta) d\tilde{\nu}$$

devient :

$$V(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\tilde{\nu}) \cos[2\pi\tilde{\nu}(\delta - \varepsilon)] d\tilde{\nu}$$

et fait apparaître un terme sinus dans l'interférogramme.

## Correction de phase

### Méthode de Mertz

Erreur minimisée par une fonction de phase  $F(\tilde{\nu})$  déterminée à partir d'une transformation de Fourier complexe de l'interférogramme et par correction du spectre.

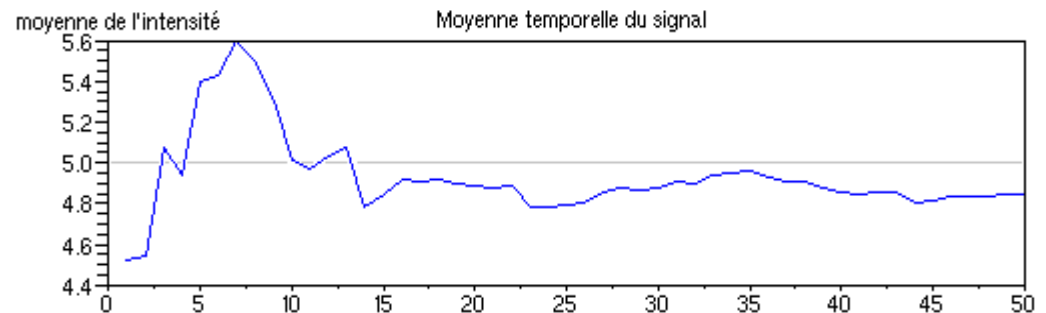
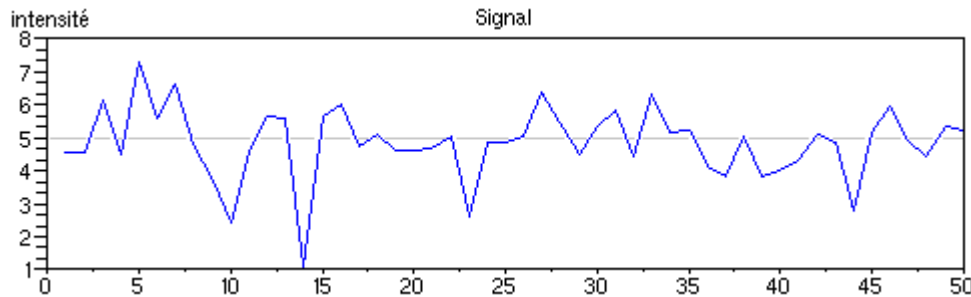
Exige un repérage exact du DMN et un bon rapport S/B.

## Rapport signal sur bruit

Améliorable en augmentant le nombre  $N$  d'interférogrammes coadditionnés.

$$\frac{S}{B} \propto \sqrt{N}$$

(Nyquist)



### Avantage de Fellgett ou multiplexage

	IR-TF	IR-OC
information obtenue sur un ensemble de M éléments spectraux	simultanée	séquentielle
enregistrement à S/B id°	rapide	lent
S/B à temps enregistrement id°	amélioré de $M^{1/2}$	-

*Dernier avantage d'autant plus important que M grand, donc utile pour haute résolution ou domaines spectraux étendus*



## Avantage de Jacquinot ou flux lumineux

	IR-TF	IR-OC
flux lumineux $\Phi$ à 4000 $\text{cm}^{-1}$ à 400 $\text{cm}^{-1}$	300 20	1 1
car ouverture optique	grande	faible

### Avantage de Connes – Précision en $\tilde{\nu}$

Nombres d'ondes calculés par rapport à la fréquence stable et connue précisément du laser de contrôle ( $15802,7 \text{ cm}^{-1}$ )

⇒ reproductibilité meilleure qu'avec IR-OC, car positionnement du réseau par came mécanique.

### Lumière parasite

Tout rayonnement non attendu capté par le détecteur.

En IR-OC, le rayonnement parasite provient du recouvrement des ordres de diffraction.

Phénomène évidemment absent dans un IR-TF.