

TOMOGRAPHIE EN COHERENCE OPTIQUE



Les performances d'un système OCT sont évaluées à partir de la vitesse d'acquisition des images, du rapport signal sur bruit ainsi que de la sensibilité du système. Quelle technique, entre l'OCT temporelle et l'OCT fréquentielle, sera alors la plus performante ?

I-Principe de Fonctionnement

- 1) Présentation et dispositif
- 2) OCT dans le domaine temporel
- 3) OCT dans le domaine spectral

II-Comparaison

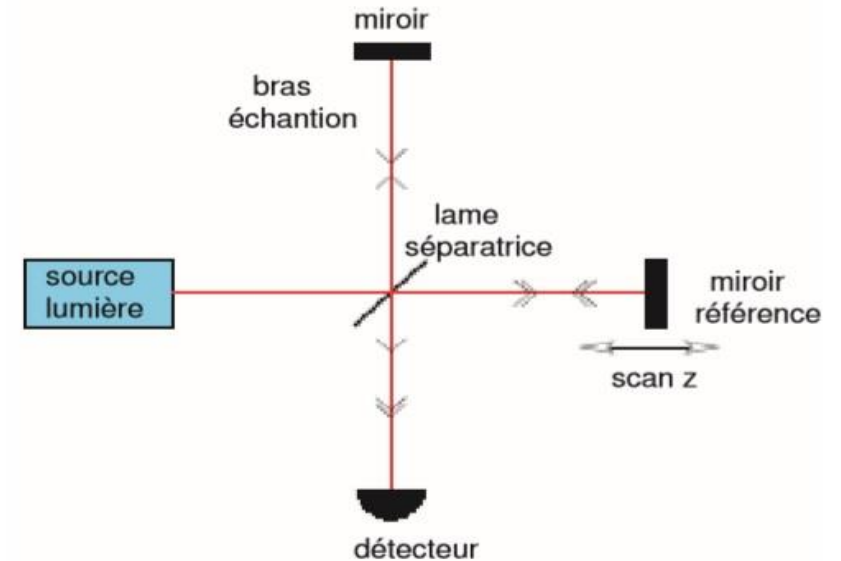
- 1) Vitesse
- 2) Rapport signal sur bruit

III-Conclusion

- 1) Synthèse

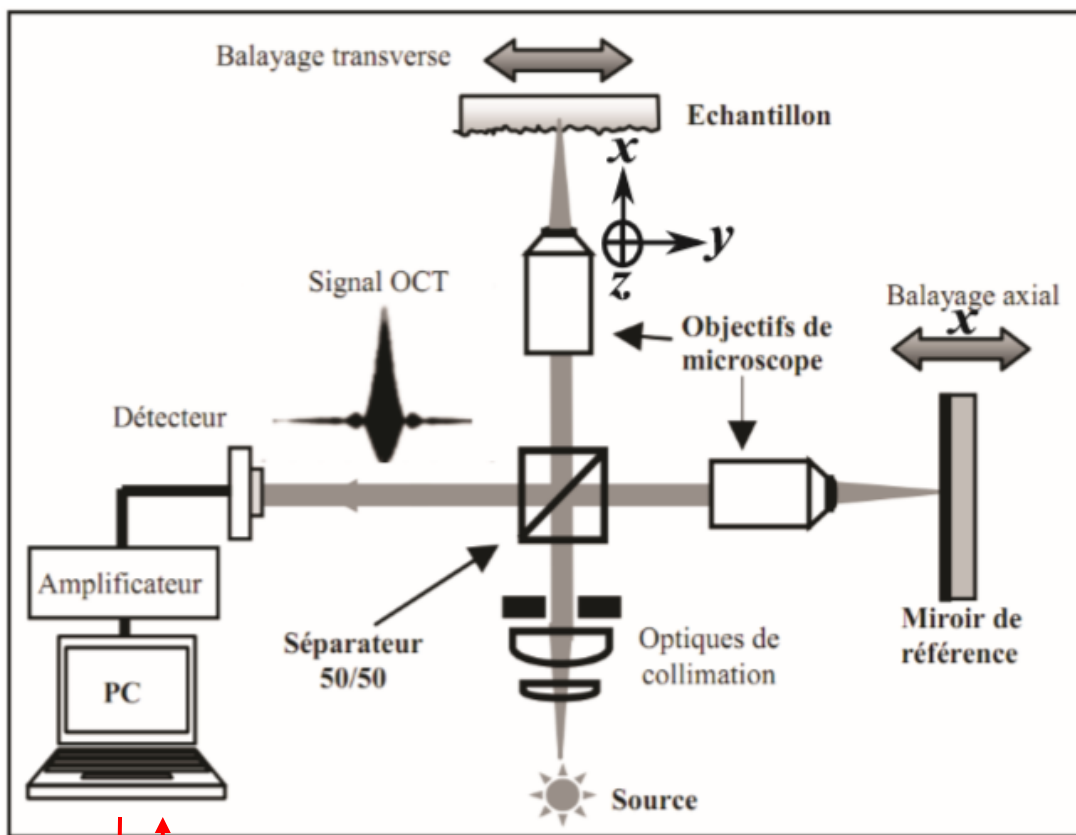
1) Principe de fonctionnement

1) Présentation et dispositif



- L'élément de base de tout dispositif d'OCT est un interféromètre de Michelson, permettant de produire des interférences. La lumière produite par une source est divisée en deux faisceaux : un faisceau de référence envoyé sur le miroir de référence et un faisceau envoyé sur le tissu biologique.

2) OCT DANS LE DOMAINE TEMPOREL



$$E_R(\omega) = E_{R0}(\omega) \exp[i(2k_R(\omega)d_R - \omega t)]$$

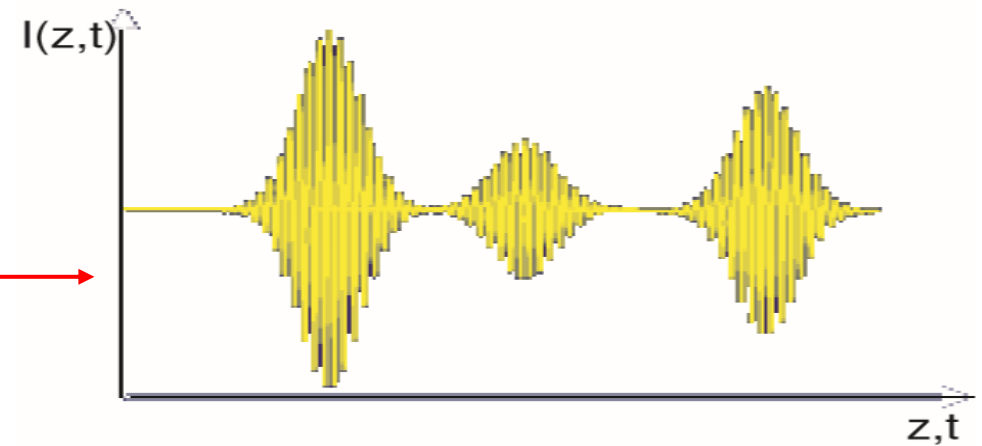
$$E_E(\omega) = E_{E0}(\omega) \exp[i(2k_S(\omega)d_E - \omega t)]$$



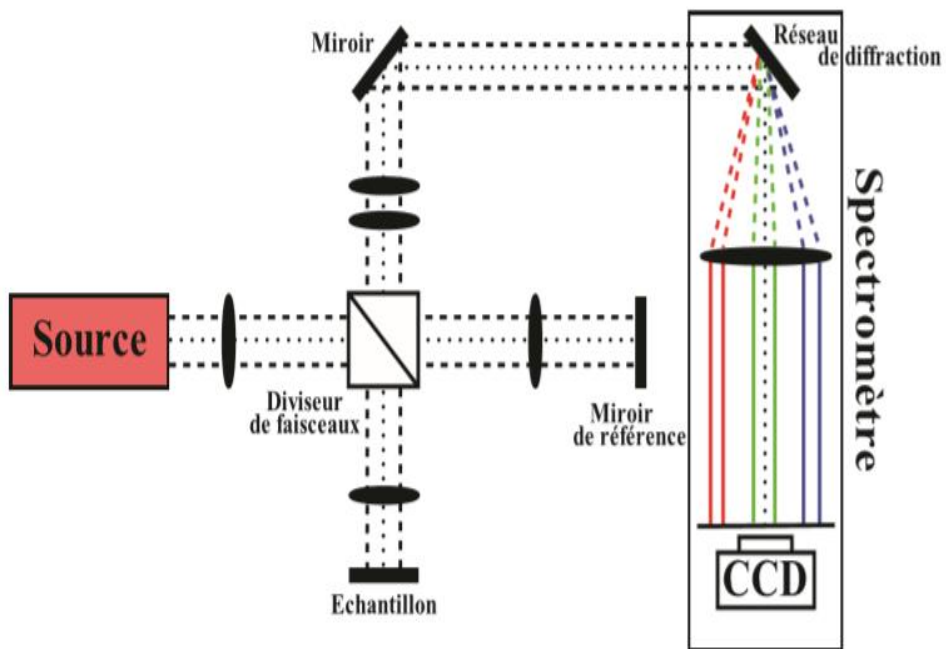
$$I(\omega) = |E_R(\omega) + E_E(\omega)|^2$$

$$= E_{R0}(\omega)^2 + E_{E0}(\omega)^2 + 2 \operatorname{Re}\{E_{R0}(\omega) E_{E0}^*(\omega) \exp[-2i(k_R(\omega)d_R - k_E(\omega)d_E)]\}$$

Terme d'interférence



3) OCT DANS LE DOMAINE DE FOURIER

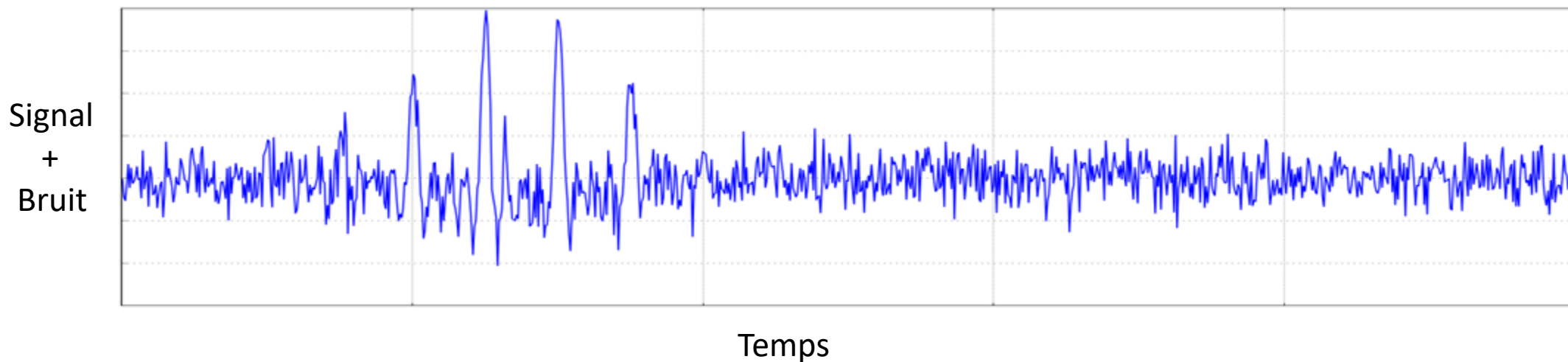


$$I(\omega) = 1/4 |s(\omega)|^2 |H(\omega)|^2 + 1/4 |s(\omega)|^2 + 1/2 |s(\omega)|^2 \Re[H(\omega) \exp(-i\Delta\phi)]$$

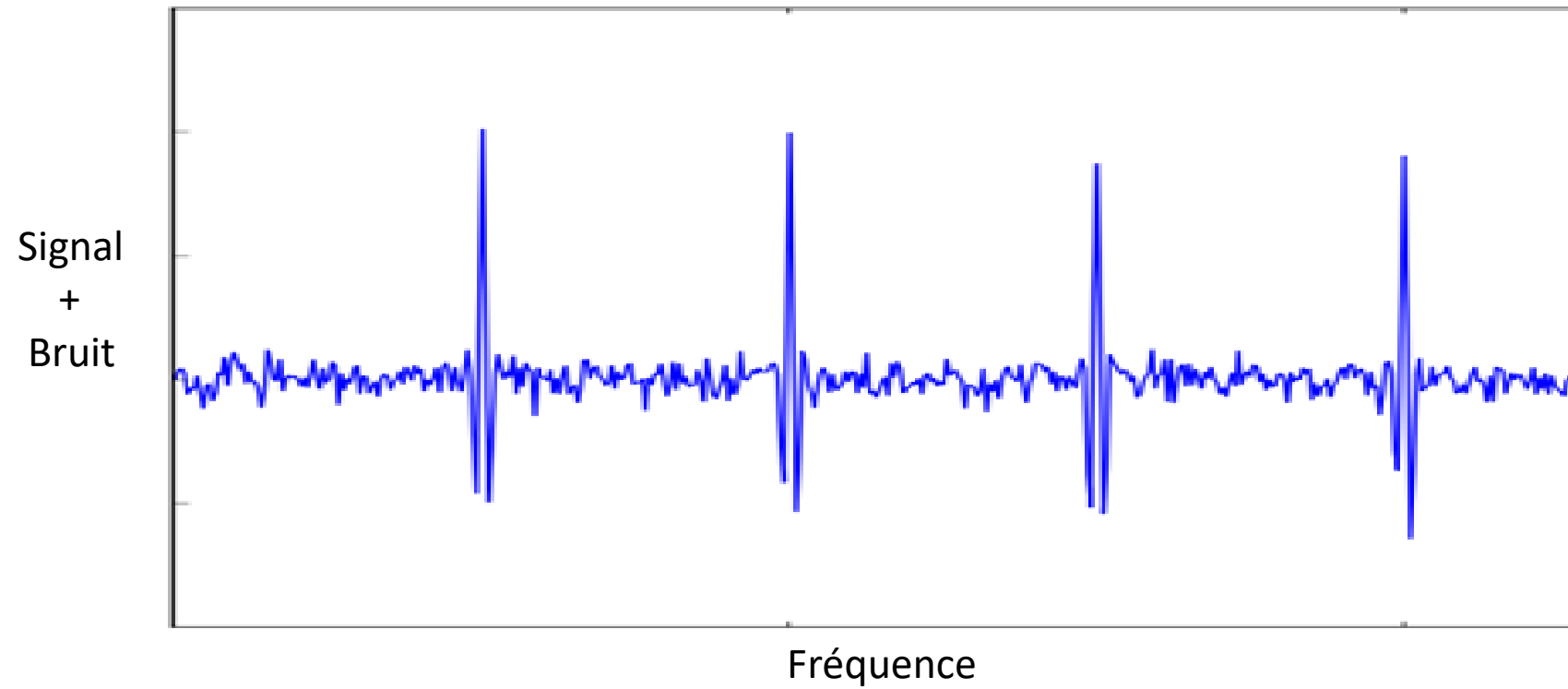
Avec $\Delta\phi = \frac{2n\omega_0}{c} \Delta l$

En posant $\Delta l = 0$,

$$I(\omega) = \frac{1}{4} |s(\omega)|^2 (|H(\omega)| + 1)^2$$



Transformée de Fourier suivant la méthode
« Fast Fourier Transform »

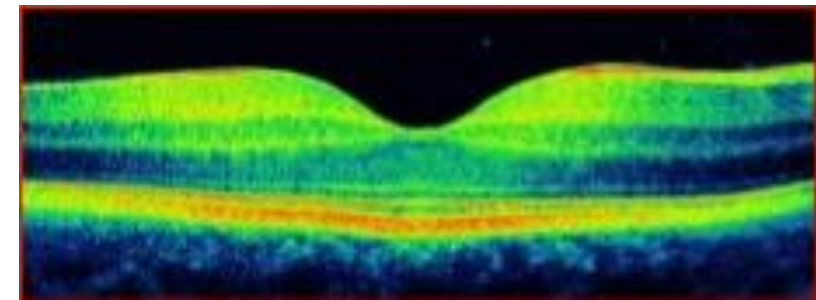
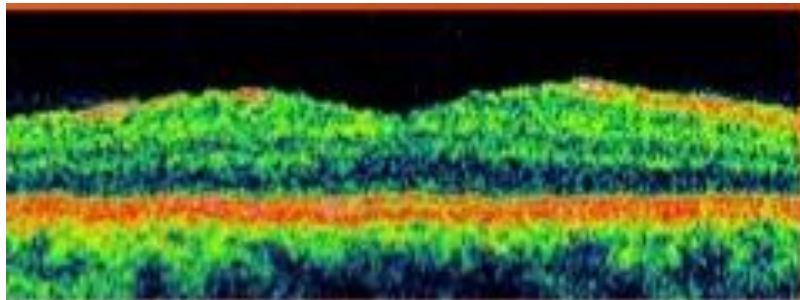


II) Comparaison

1) Vitesse

- L'avantage de cette méthode est qu'il n'est plus nécessaire de déplacer le miroir de référence pour faire une mesure en profondeur. Un gain en temps d'acquisition considérable est ainsi réalisé par rapport aux techniques d'OCT temporelle conventionnelle.

En effet, la FD OCT peut capturer 2000 pixels simultanément alors que la TD OCT ne peut en capturer qu'un seul. Ainsi, lorsque la TD OCT effectue un scan axial, la FD OCT aurait terminé la capture de toute l'image.



2) Rapport signal sur bruit

- Le bruit dans un système OCT est lié à la source lumineuse, aux optiques introduites dans le système et à la détection photoélectrique.
- Le bruit est généralement décrit par l'écart type $\sigma_I = \sqrt{\langle (I - \bar{I})^2 \rangle}$ affectant le photocourant I .
- Les principales sources de bruit qui affectent la détection du signal dans un système OCT sont : le bruit thermique, le bruit de grenaille (shot noise), le bruit de gain (excess photon noise)

Bruit thermique

$$\sigma_{I,T_e}^2 = \frac{4k_B T_e}{R} B$$

k_B : Constante de Boltzman

T_e : Température (en degré Kelvin)

R : La résistance électrique de la résistance de charge du circuit de détection

B : La largeur de bande du circuit électronique en Hertz

Bruit de grenaille (shot noise)

$$\sigma_{I,SN}^2 = 2eBG_\nu P_r$$

$G_\nu = \frac{\eta e}{h\nu_0}$: Réponse du détecteur

P_r : Puissance optique du bras de référence

B : La largeur de bande du circuit électronique en Hertz

Bruit d'intensité

$$\sigma_{I,EPN}^2 = \frac{B}{\Delta\nu_{eff}} \langle I \rangle^2 \quad \text{Où,} \quad \Delta\nu_{eff} = \sqrt{\frac{\pi}{2 \ln 2}} c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2}$$

Largeur de bande effective de la source lumineuse.

Bruit total

Les différentes sources de bruit n'étant pas corrélées, la contribution au bruit total est déterminée par la somme des carrés de l'écart type de tous les bruits existants.

$$\sigma_{I,tot}^2 = \frac{4k_B T_h}{R} B + 2eBG_\nu P_r + \frac{B}{\Delta\nu_{eff}} \langle I \rangle^2$$

Rapport signal sur bruit

Théorème de Mandel et Wolf

Un seul détecteur

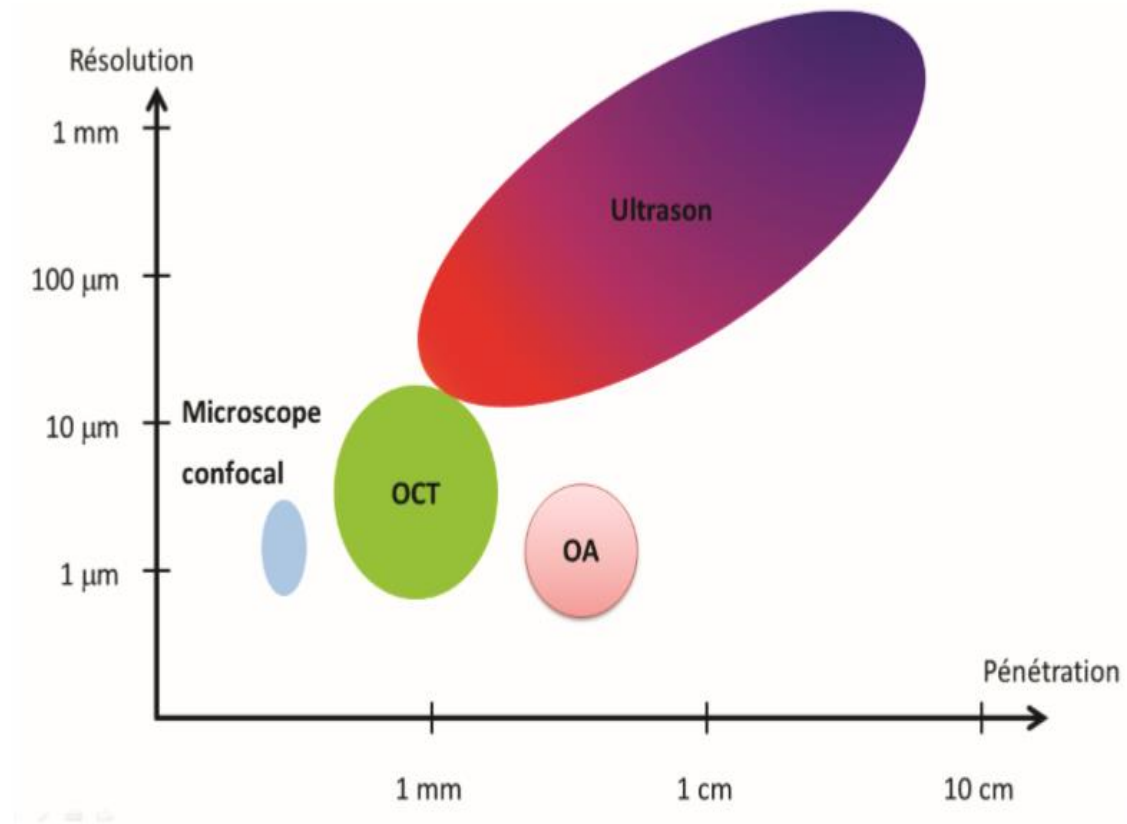
$$\text{SNR}_1 = \frac{\eta \alpha \left[\int_{-\Delta\omega/2}^{\Delta\omega/2} S(\omega) d\omega \right]^2}{E_\nu BW \int_{-\Delta\omega/2}^{\Delta\omega/2} S(\omega) d\omega}$$

- **BW**: Bande passante du signal
- **$\Delta\omega$** : Largeur spectrale de la source
- **$S(\omega)$** : Densité spectrale de la source
- **$E_\nu = hc/\lambda$** : Energie du photon
- **η** : Efficacité quantique
- **α** : Réflectivité de l'échantillon

Deux détecteurs

$$\text{SNR}_2 = \frac{\eta \alpha \left[\int_{-\Delta\omega/2}^0 S(\omega) d\omega + \int_0^{\Delta\omega/2} S(\omega) d\omega \right]^2}{E_\nu [0.5 BW \int_{-\Delta\omega/2}^0 S(\omega) d\omega + 0.5 BW \int_0^{\Delta\omega/2} S(\omega) d\omega]} = 2\text{SNR}_1$$

III) Conclusion



Merci pour votre attention