

constituée d'une lame demi-onde et un cube séparateur de polarisation. Ce système permet d'ajuster le rapport d'intensité entre les deux faisceaux.

- Le premier faisceau (1) appelé faisceau de référence est renvoyé directement dans la photodiode à l'aide d'un miroir M1, on note E_1 son amplitude au niveau de la photodiode

$$E_1(t) = E_{01} \cos(2\pi\nu t + \phi_L(t)) \quad (1)$$

où $\phi_L(t)$ est le bruit de phase du laser à l'instant t .

- Le faisceau (2) traverse un modulateur acousto-optique excité par une onde radiofréquence de fréquence ν_{RF} . Le faisceau diffracté à l'ordre 1 est mis en forme à l'aide de deux lentilles et injecté dans une fibre optique. A la sortie de la fibre, ce faisceau est rétro-injecté dans la fibre par le miroir M2 et revient dans le modulateur acousto-optique. Le faisceau diffracté à l'ordre 1 au retour, est alors superposé avec le faisceau incident.

On note E_2 l'amplitude de ce faisceau au niveau de la photodiode

$$\vec{E}_2(t) = \vec{E}_{02} \cos(2\pi(\nu + 2\nu_{RF})t + \phi_f(t) + \phi_L(t - 2\tau)) \quad (2)$$

avec

- $\phi_f(t)$: la phase accumulée dans la fibre optique.
- $\phi_L(t - 2\tau)$: le bruit de phase du laser.
- τ le temps que met l'onde laser pour parcourir la fibre optique.

Un polariseur (P) permet de mélanger les deux faisceaux (1) et (2), ainsi l'amplitude totale de l'onde lumineuse au niveau du détecteur est :

$$E_D(t) = E_{2/P}(t) + E_{1/P}(t) \quad (3)$$

Le détecteur est sensible à la moyenne temporelle de la valeur quadratique du champs qui représente le terme énergétique.

$$E_D^2 = |E_{1/P} + E_{2/P}|^2 \quad (4)$$

Pour simplifier on suppose que $E_{01/P} = E_{02/P} = E_0$

$$\begin{aligned} E_D^2 &= E_0^2 \cos^2(2\pi\nu t + \phi_L(t)) \\ &+ E_0^2 \cos^2(2\pi(\nu + 2\nu_{RF})t + \phi_f(t) + \phi_L(t - 2\tau)) \\ &+ E_0^2 \cos(4\pi(\nu + \nu_{RF})t + \phi_f(t) + \phi_L(t - 2\tau) + \phi_L(t)) \\ &+ E_0^2 \cos(4\pi\nu_{RF}t + \phi_f(t) + (\phi_L(t - 2\tau) - \phi_L(t))) \end{aligned} \quad (5)$$

Le détecteur utilisé possède une bande passante de l'ordre de quelques GHz, nous ne mesurons que la composante du signal à la fréquence de battement $2\nu_{RF}$. Ce signal porte aussi la signature du bruit de phase ϕ_f :

$$S_{batt} = S_0 \cos(4\pi\nu_{RF}t + \phi_f(t) + \Phi_L(t)) \quad (6)$$

où S_0 est l'amplitude maximale du signal de battement et

$$\Phi_L(t) = \phi_L(t - 2\tau) - \phi_L(t) \quad (7)$$

$\Phi_L(t)$ est le bruit de phase du laser imprimé sur le signal de battement.

Le montage optique permet ainsi d'imprimer les différents bruits de phase accumulés par l'onde laser sur le signal de battement de fréquence obtenue en faisant interférer le faisceau rétro-réfléchi dans la fibre et le faisceau laser local (référence) .

2.1 Étude du montage Optique

- Mesurer la puissance du faisceau laser à l'entrée du modulateur acousto-optique et celle du faisceau diffracté dans l'ordre 1. Vous devez optimiser la puissance dans l'ordre 1 à l'aide des vis du support du modulateur. Calculer l'efficacité de diffraction (rapport entre la puissance diffracté dans l'ordre 1 et la puissance du laser incident). On s'attend à une efficacité autour du 80%.
- A l'aide des deux miroirs à l'entrée de la fibre optique, optimiser le couplage dans celle-ci. Mesurer le taux de couplage (rapport entre la puissance en sortie de fibre et la puissance injectée).
- Placer le "puissance-mètre" devant la photodiode, occulter le faisceau (1) de référence. Optimiser la puissance du faisceau laser qui fait un aller-retour à l'aide des vis du support du miroir M2, et en ajustant la lame quart d'onde placée à la sortie de la fibre. Noter la valeur de la puissance mesurée.
- Visualiser alors le signal obtenu à la sortie de la photodiode sur l'analyseur de spectre. Expliquez l'allure du signal.
- Visualiser ce même signal sur l'oscilloscope. Mesurer son amplitude crête à crête.

2.2 Chaîne de contrôle de fréquence

La chaîne de fréquence qui permet d'extraire le signal d'erreur qui porte la signature du bruit de phase est décrite sur la figure 2. Le signal de battement utile récupéré en sortie de la photodiode rapide est ensuite amplifié

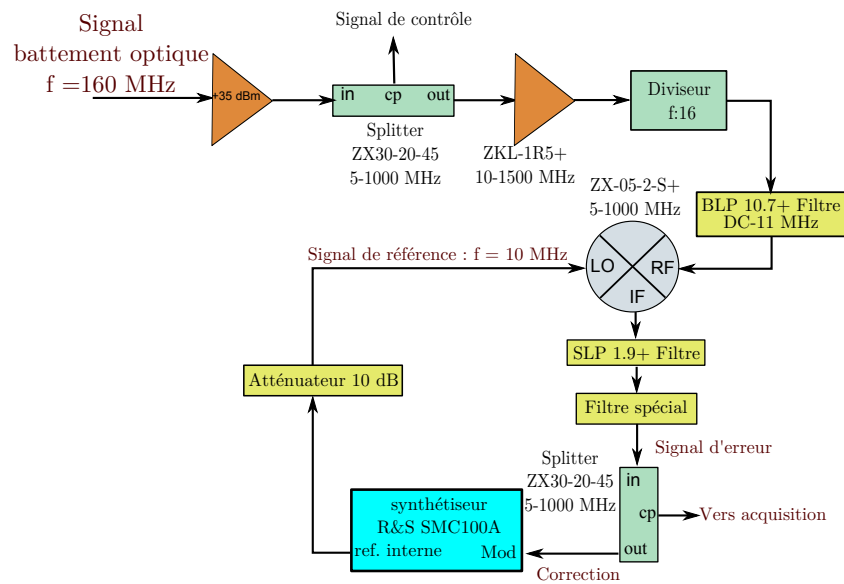


Figure 2: Schéma de la chaîne de fréquence .

à l'aide de deux amplificateurs en cascade. Un coupleur RF inséré entre les deux amplificateurs permet de prélever une partie du signal de battement pour visualiser et contrôler ainsi le bon fonctionnement du montage optique. L'autre sortie du coupleur est envoyée à l'entrée d'un diviseur de fréquence (1/16). Le signal en sortie du diviseur est filtré puis mélangé à un signal de référence à 10 MHz (signal de référence interne du synthétiseur de fréquence qui pilote le modulateur acousto-optique). Le signal en sortie du mélangeur de fréquence porte la signature du bruit de phase. Après un filtrage adéquat, ce signal sera injecté à l'entrée modulation externe du synthétiseur de fréquence ce qui permet de réaliser une correction.

- Pourquoi faut-il utiliser un diviseur de fréquence ?
- Dans un premier temps on se propose de calibrer le bruit de phase à la sortie de la chaîne de fréquence. Pour cela régler la fréquence du synthétiseur Rohde & Schwarz à 80,800 MHz. Visualiser le signal d'erreur

en sortie du boîtier de la chaîne de fréquence. Calculer sa fréquence. En utilisant ce signal, donner le facteur de conversion phase-tension de sortie qui sera exprimé en V/rad.

- Régler la fréquence du synthétiseur à 80.000 MHz, envoyer simultanément le signal d'erreur sur l'entrée modulation externe du synthétiseur de fréquence et à l'entrée AIO de la carte d'acquisition.
- Lancer le programme d'acquisition des données "TP-fibre-LUMMEX" en suivant la procédure décrite ci-dessous dans la rubrique "informations utiles", introduire les paramètres d'acquisitions donnés dans cette même rubrique.
- Vérifier que le bouton modulation externe du synthétiseur de fréquence est désactivé. Enregistrer le signal "d'erreur" et calculer sa densité spectrale de puissance (DSP), enregistrer les courbes obtenues.
- Activer le bouton modulation externe. Enregistrer le signal "d'erreur" et calculer sa densité spectrale de puissance (DSP), enregistrer les courbes obtenues.
- En comparant les deux DSP, donner le taux de rejection du bruit obtenu après correction, conclure.

Informations utiles :

- Pour ouvrir le programme qui permet l'acquisition des données et le calcul de la densité spectrale de puissance, ouvrir la fenêtre d'éditeur PythonXY, aller vers le dossier `.\ bureau\ TPfibre\ gui` ensuite taper `"execfile('Tp-fibre-LMMEX.py')"`.
- Les paramètres d'acquisition sont : la fréquence d'échantillonnage est de 10 000 échantillons/s et le nombre de point est de 1000 000, ce qui correspond à une durée d'acquisition de 100 s.

3 Annexe : liste du matériel utilisé

3.0.1 Montage optique

- Diode laser en cavité étendue (780 nm) et alimentation de courant + contrôleur de température.
- Modulateur acousto-optique.
- 1 cube polariseur.
- 5 miroirs hautement réfléchissant à 780 nm.
- 3 lentilles de focales respectives 30 cm, 20 cm et 5 cm.
- 1 lame demi-onde ($\lambda/2$).
- 2 lames quart d'onde ($\lambda/4$)
- 1 polariseur
- 1 photodiode rapide montée sur un T-de polarisation.
- 1 Fibre de 10 m

3.0.2 Chaîne de fréquence

- Synthétiseur de fréquence Rohde & Schwarz SMC100A
- Amplificateur 35 dB.
- 2 x Splitter Mini-circuit ZX30-20-4S+ (5-1000 MHz) qui permettent de prélever 10%.
- Amplificateur Mini-circuit ZKL-1R5+ (10-1500 MHz) (30 dB)
- Diviseur de fréquence (:16) Analog-Devices ; Eval-ADF4007
- Filtre passe bas, Mini-circuit BLP 10.7 (DC-11 MHz)
- Mélangeur de fréquence, Mini-circuit ZX05-2S+ (5-1000 MHz)
- Atténuateur 10 dB, Mini-circuit HAT-10+ (DC-2 GHz)

- Filtre spécial
- Analyseur de spectre
- Oscilloscope Tektronik TDS3014B
- Carte d'acquisition National Instrument
- Micro-ordinateur doté d'un programme python pour l'acquisition et l'analyse des données