



**INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS**



IP PARIS

Télécom paris

D3 : Évaluation d'un système optique

Communications optiques

Developed by:

Said Agouzal

Fernandes Maciel Edson

Academic year: 2024/2025

Contents

1	Carterisation et Modelisation de laser	1
2	Performance d'un système back-to-back	1
3	Performance d'un système complet avec fibre	2
4	Performance d'un système complet avec fibre en modulation directe	5
5	Étude des solutions pour atteindre 100 km à 10 Gbit/s avec un BER non corrigé inférieur à 10^{-3}	6
5.1	Plusieurs tronçons	6
5.2	Utilisation de la fibre DCF pour la compensation de la dispersion chromatique .	7
5.3	Travailler dans la bande O	7
5.4	Conclusion	8

1 Carterisation et Modelisation de laser

Nous avons commencé par la caractérisation des paramètres de dispersion β_2 et β_3 ainsi que du coefficient d'atténuation α , et nous avons modélisé sous Matlab avec un filtre dans le domaine fréquentiel :

$$H_{CD}(\Delta\omega) = e^{\frac{\alpha L}{2}} e^{-i\left(\frac{\beta_2 \Delta\omega^2}{2} + \frac{\beta_3 \Delta\omega^3}{6}\right)L}$$

avec :

$$\beta_2 = -\frac{D\lambda^2}{2\pi c}, \quad \beta_3 = \frac{S\lambda^4}{4\pi^2 c^2}, \quad \Delta\omega = \omega - \omega_0 = 2\pi\Delta f$$

Les valeurs utilisées sont :

$$\alpha = -0.24 \times 0.23 \times 0.5, \quad \beta_2 = -23.91 \times 10^{-24} \text{ s}^2/\text{km}, \quad \beta_3 = 0.1 \times 10^{-36} \text{ s}^3/\text{km}$$

Et d'après la simulation, nous obtenons le résultat suivant :

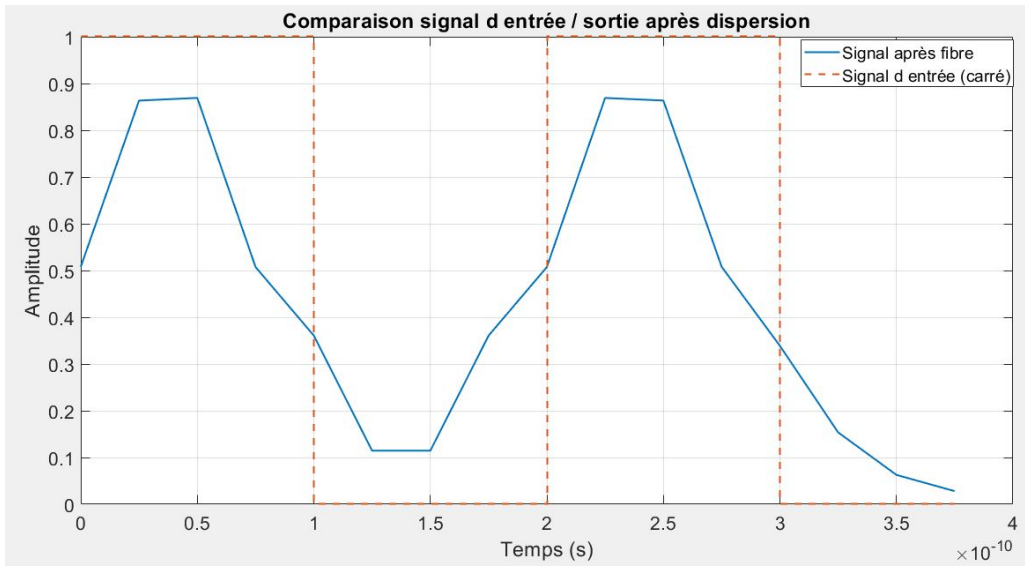


Figure 1: la dispersion et l'atténuation d'un signal sur 20 km à une fréquence de 10 GHz

2 Performance d'un système back-to-back

Nous avons réalisé une détection directe sans propagation dans la fibre pour différents débits, et nous avons obtenu la courbe suivante :

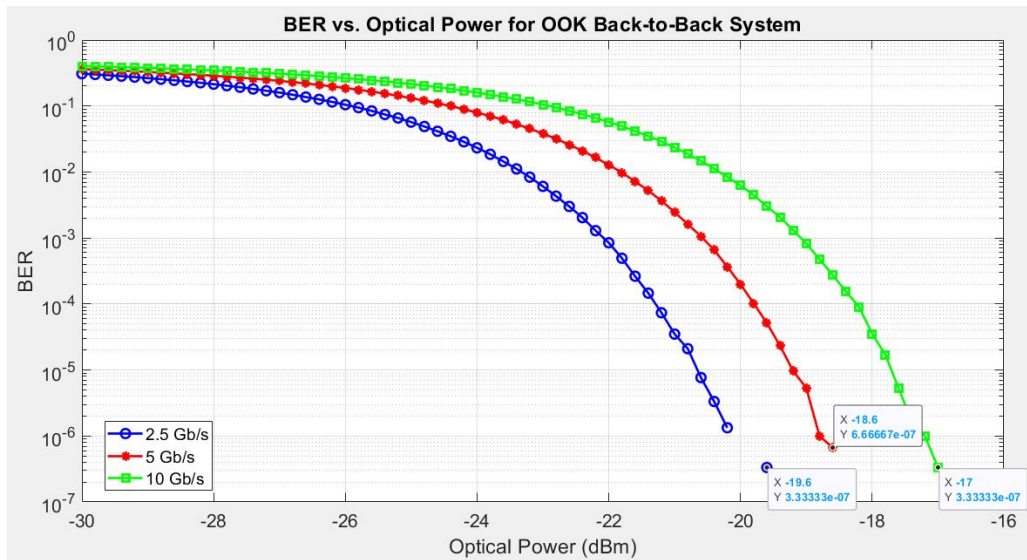


Figure 2: Performance d'un système back-to-back pour différents débits et puissances optiques

- On remarque que pour atteindre de bonnes performances, il n'est pas nécessaire d'utiliser des puissances optiques très élevées.
- On observe également que les performances dépendent fortement du débit, car des débits plus élevés impliquent des temps symbole plus courts, ce qui rend le système plus sensible au bruit (moins d'énergie par symbole). Pour compenser, il faut augmenter la puissance optique au niveau du détecteur afin d'assurer une bonne détection.

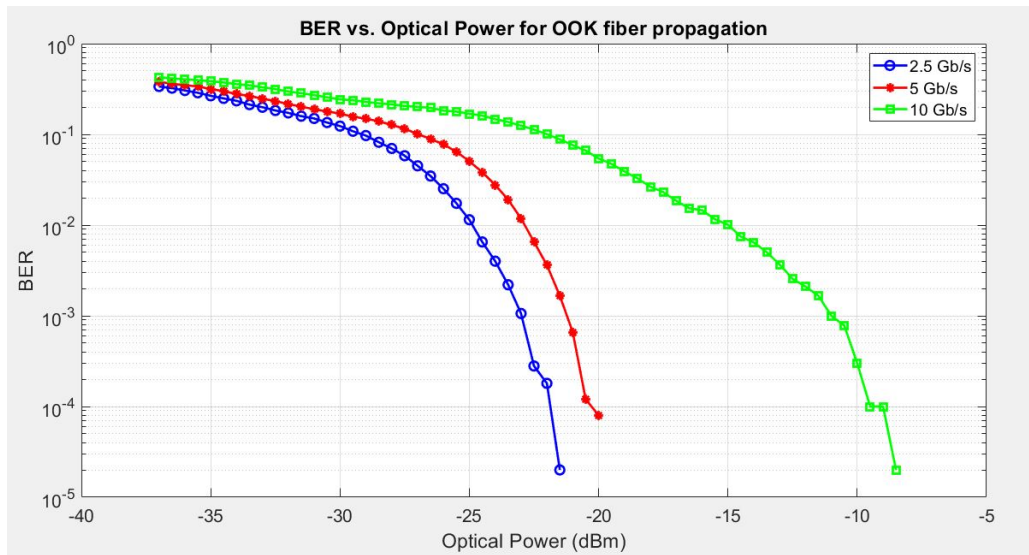
Les mesures suivantes montrent la puissance optique minimale nécessaire pour atteindre chaque performance cible (BER) selon le débit :

Table 1: Puissance optique minimale pour atteindre chaque performance selon le débit

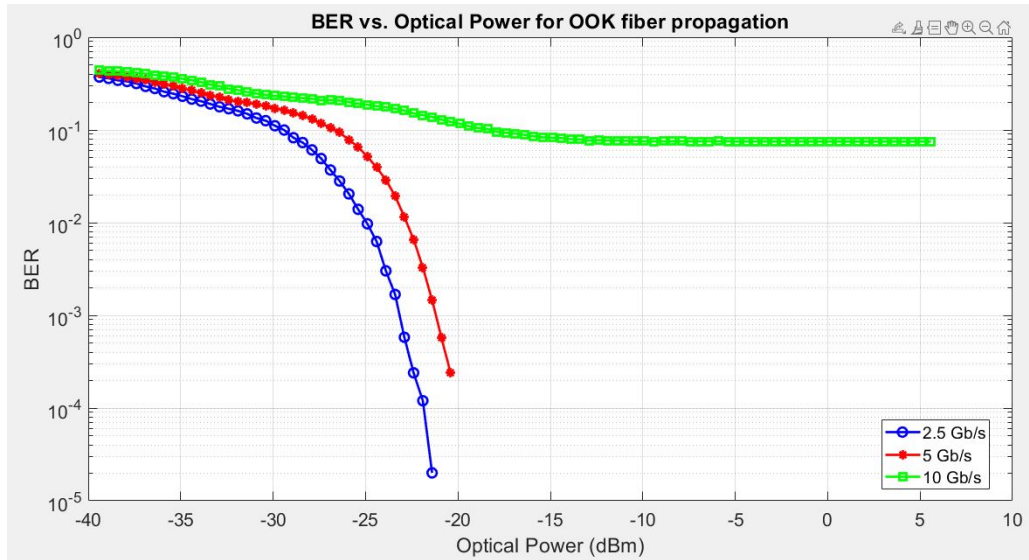
D_b (GHz)	$P_{BER=10^{-3}}$ (dBm)	$P_{BER=10^{-6}}$ (dBm)
2.5	-22	-19.6
5	-20.4	-18.6
10	-19	-17

3 Performance d'un système complet avec fibre

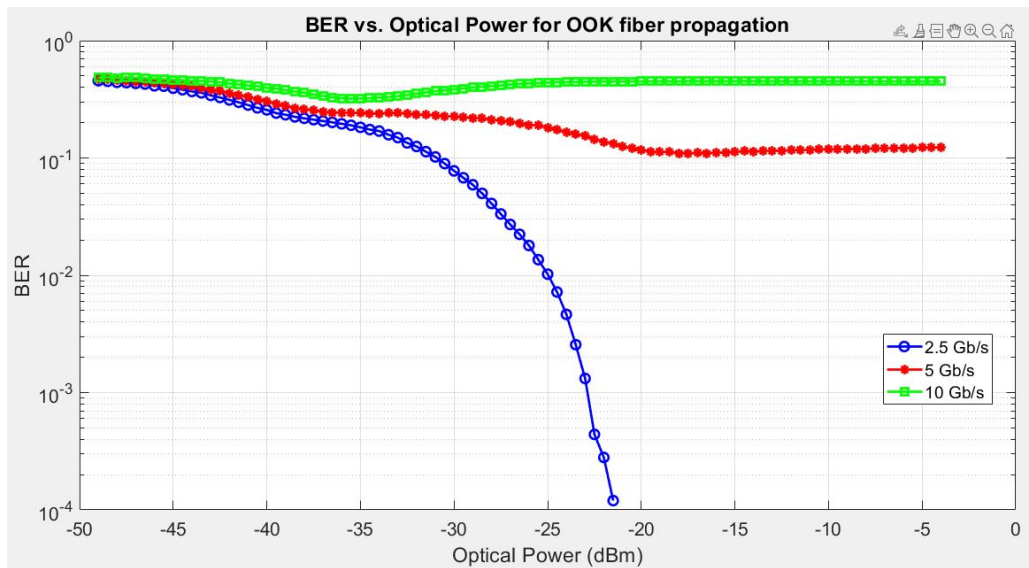
Nous avons ajouté une fibre de longueur L entre l'émetteur et le récepteur afin d'étudier l'effet de la dispersion et de l'atténuation sur la détection. Pour cela, nous avons relevé la courbe du BER en fonction de la puissance optique à l'entrée de l'émetteur :



(a) 50 km



(b) 60 km



(c) 100 km

Figure 3: Perfs d'un système avec fibre pour différentes longueurs, débits et puissances optiques

- Pour chaque débit, on observe une distance maximale au-delà de laquelle, même en maintenant la puissance constante (comme en back-to-back), les performances restent très dégradées.
- Augmenter la puissance optique à l'entrée du détecteur ne suffit pas à compenser cette dégradation : le problème ne vient pas seulement de la puissance, mais également de la dispersion chromatique, qui provoque un étalement temporel des symboles $\Delta\tau$ (qui augmente lorsque le débit augmente) et génère des interférences inter-symboles.
- L'impact de la dispersion dépend du débit D_b , car le temps-symbole $T_s = 1/D_b$ diminue lorsque le débit augmente. Si l'étalement $\Delta\tau$ devient comparable ou supérieur à T_s , le détecteur à seuil se trompe entre les niveaux logiques « 1 » et « 0 ».

On définit :

$$\Delta\tau = L \cdot D \cdot 2 \cdot D_b \cdot \frac{c}{f^2}$$

avec

$$D = 18.76 \frac{\text{ps}}{\text{nm} \cdot \text{km}}$$

Déterminer dans la fibre optique lab.

Table 2: Étalement d'un symbole pour différents débits et distances autour de 193 THz

D_b (GHz)	Distance (km)	T_s (ps)	$\Delta\tau$ (ps)
Distance 50 km			
2.5	50	400	18.87
5	50	200	37.75
10	50	100	75.5
Distance 60 km			
2.5	60	400	22.65
5	60	200	45.3
10	60	100	90.6
Distance 100 km			
2.5	100	400	37.75
5	100	200	75.5
10	100	100	151

donc on peut estimer que par exemple que les performances de 2.5 Ghz vont dégrader à 300 km à cause de l'étalement.

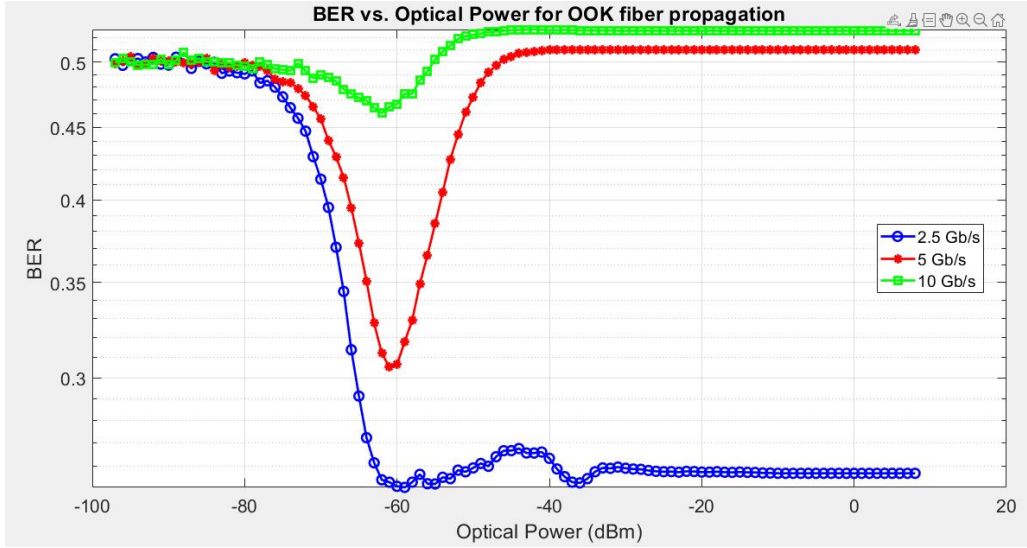
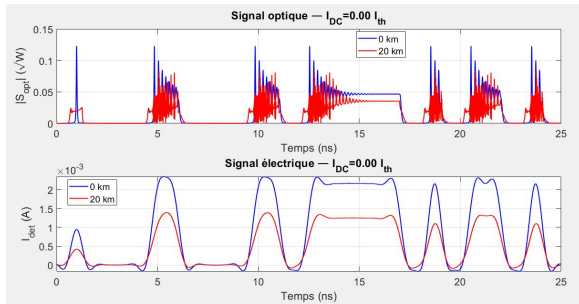


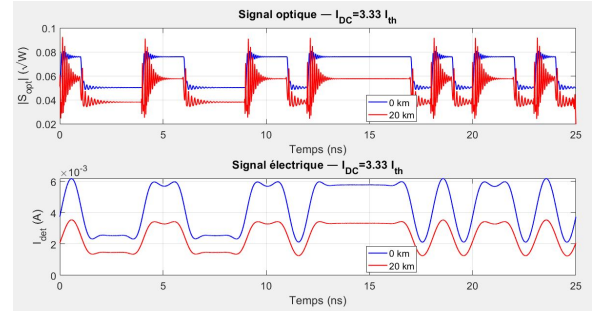
Figure 4: Perfs d'un système avec fibre pour différents débits et puissances optiques à 300 km

4 Performance d'un système complet avec fibre en modulation directe

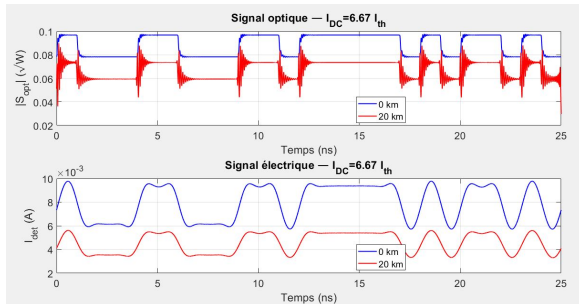
Dans cette partie, nous analysons la réponse du photodétecteur à un signal de 1 GHz, à la fois en configuration *back-to-back* (sans fibre) et après 20 km de fibre, pour différents courants d'offset. Le contraste est maintenu fixe à $[0; 3 \times I_{th}]$. Les simulations ont donné les résultats suivants :



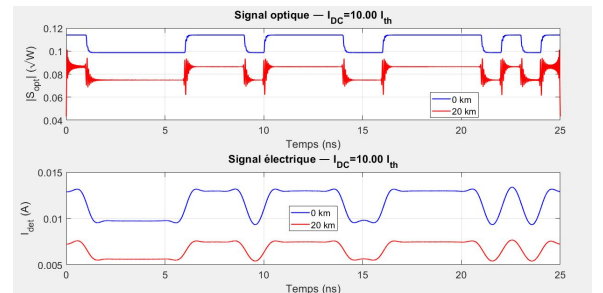
(a) Offset = 0



(b) Offset = $3.33 \times I_{th}$



(c) Offset = $6.67 \times I_{th}$



(d) Offset = $10 \times I_{th}$

Figure 5: Signal optique et électrique pour 0 km et 20 km de fibre, à différents courants d'offset

- On observe l'apparition de *chirp*, qui est lié aux phénomènes suivants : lorsque l'on applique un courant de bias + modulation au laser (passant de 0 à une valeur supérieure

au courant seuil I_{th}), la photonique met un certain temps à s'amorcer, d'où la présence de pics souvent supérieurs à leur valeur d'état permanent.

- Ensuite apparaissent des oscillations de relaxation amorties : la puissance dépasse puis décroît en oscillant avant de se stabiliser. Pour de petits courants de bias (I_{DC}), l'amplitude de ces oscillations est grande et le temps de stabilisation est long ; passer brutalement de 0 à une valeur $3I_{th}$ est très brutal. À des courants de bias plus élevés, le laser démarre plus vite, les oscillations sont plus faibles et plus rapidement amorties, donnant des impulsions plus carrées.
- Cette distorsion fréquentielle n'affecte pas directement le photodétecteur. Cependant, elle entraîne un étalement spectral : les pics élevés en fréquence s'étalent plus que le signal d'origine. On remarque ainsi que les parasites s'étendent sur la longueur du symbole, interfèrent avec les autres symboles, créant du bruit et atténuant l'énergie utile des symboles qui diminue les performances de système.

5 Étude des solutions pour atteindre 100 km à 10 Gbit/s avec un BER non corrigé inférieur à 10^{-3}

Pour cette partie, on étudie deux solutions qui nous permettent d'atteindre 100 km avec un BER non corrigé inférieur à 10^{-3} .

5.1 Plusieurs tronçons

La première solution est de découper 100 km en deux tronçons, de faire la détection entre les deux et de renvoyer les symboles dans le deuxième tronçon, puis de faire la détection à la fin :

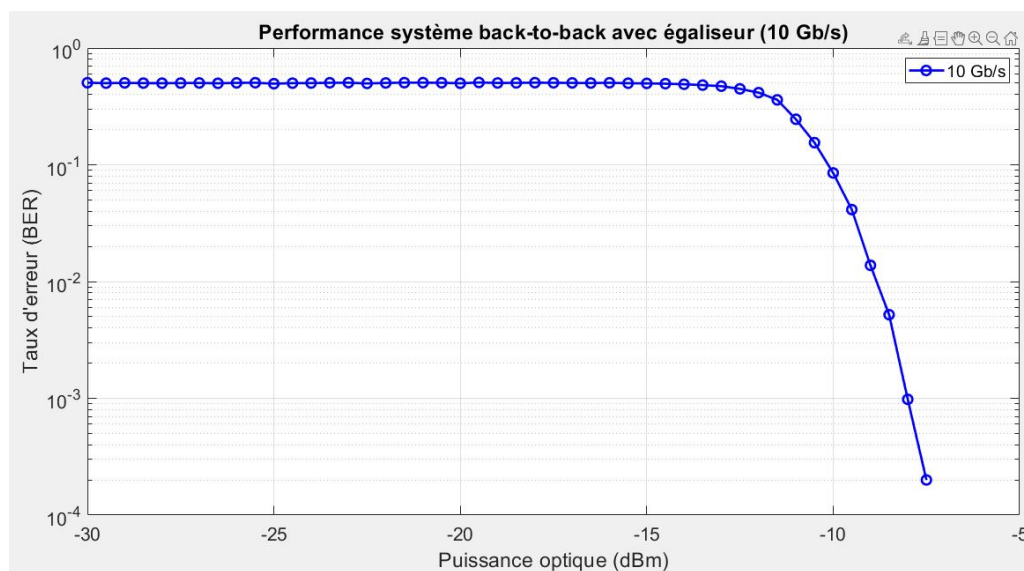


Figure 6: Performances du système pour différents débits et puissances optiques d'émetteur pour 2 tronçons de 50 km

- Cette solution répond bien aux exigences du cahier des charges, mais elle est sous-optimale car elle consomme pas mal de ressources : on a besoin de deux lasers, modulateurs externes et photodétecteurs, ce qui représente un coût important. De plus, elle demande une puissance optique importante pour chaque tronçon : pour notre figure 8, on a besoin de $-7,5$ dBm de puissance optique pour chaque émetteur afin d'atteindre un bon BER.

5.2 Utilisation de la fibre DCF pour la compensation de la dispersion chromatique

Pour cette solution, nous avons ajouté un segment de fibre **DCF** (Dispersion Compensating Fiber) afin d'annuler l'élargissement temporel des impulsions causé par la dispersion chromatique. La longueur nécessaire de fibre **DCF** a été déterminée selon le système suivant :

$$\Delta\tau + \Delta\tau' = 0$$

et

$$D_1 \cdot L_1 + D_2 \cdot L_2 = 0$$

où D_1 et L_1 sont respectivement le coefficient de dispersion et la longueur de la fibre principale, et D_2 et L_2 ceux de la fibre **DCF**.

En résolvant ce système, nous trouvons que la longueur de fibre **DCF** nécessaire est :

$$L_2 = 15,8 \text{ km}$$

et que la longueur de la fibre principale est :

$$L_1 = 84,2 \text{ km}$$

Ce dimensionnement permet d'obtenir une compensation efficace de la dispersion chromatique :

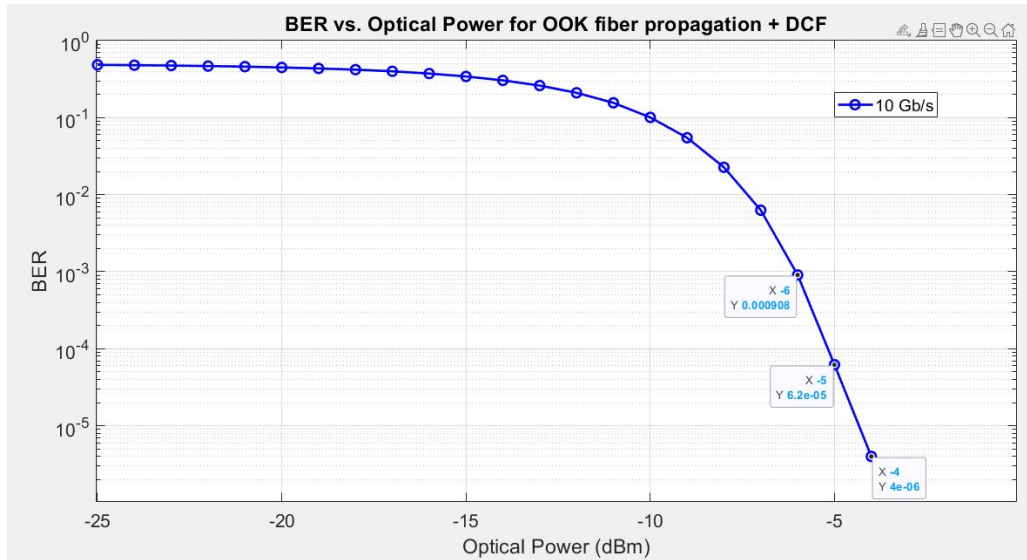


Figure 7: Perfs d'un système avec fibre pour différents débits et puissances optiques à 100 km + DCF

- On remarque que la dispersion est bien corrigée et que les calculs sont correctement réalisés. On observe également que cette solution dépend de la puissance optique à l'émetteur, car la fibre DCF présente une atténuation importante. Cependant, on gagne en termes de ressources car il n'a pas été nécessaire de dupliquer les ressources matérielles.

5.3 Travailler dans la bande O

Pour cette partie, au lieu de travailler à 1550 nm (bande C), on choisit de passer à 1300–1330 nm (bande O) afin d'annuler la dispersion.

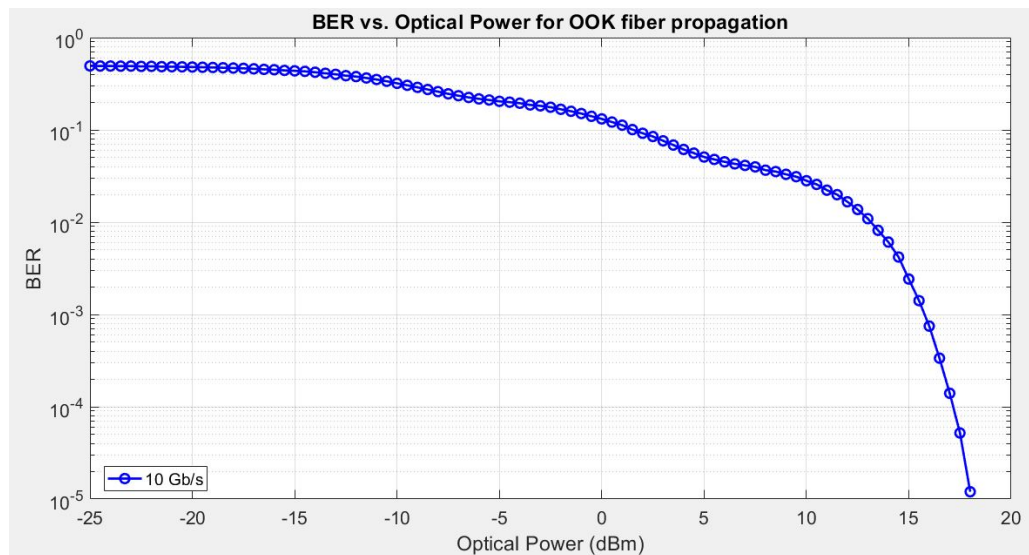


Figure 8: Performances d'un système avec fibre pour différents débits et puissances optiques à 100 km dans la bande O

- On remarque que travailler en bande O nécessite une puissance importante, car le coefficient d'atténuation est très élevé.

5.4 Conclusion

D'après toutes les solutions étudiées, la solution avec fibres DCF (Dispersion Compensating Fiber) est la meilleure, car elle maintient un bon équilibre entre la puissance à l'émetteur et les ressources matérielles nécessaires pour respecter les exigences du cahier des charges.