



L'influence des paramètres de la photodiode PIN sur la qualité d'une liaison optique comportant un amplificateur optique

TEMMAR.Abelkader
Institut des Télécommunications d'Oran
Route d'Es-Sénia Oran 31000
Email : a_temmar@hotmail.com

Résumé :

L'objectif de cet article est d'analyser, sur une étude basée sur des simulations, la contribution de la photodiode dans l'amélioration de la qualité d'un système de transmission par fibre optique. Cette qualité sera évaluée par le rapport signal sur bruit à la sortie du photorécepteur (photodiode PIN). Ce rapport sera déterminé par une première simulation sans amplificateur, puis une deuxième qui tient compte de l'amplificateur représenté par son gain G. Une analyse comparative permettra de mettre en évidence l'importance à optimiser les paramètres de la photodiode pour une meilleure qualité du système.

Mots clés :

Amplificateur optique, fibre dopée, photodiode PIN, système de transmission, signal sur bruit (s/b), gain

Abstract :

The purpose of this paper, is to show, on the basis of a systematic implementation technic, the contribution of optical amplifier in doped fibers an optical fiber transmission system. Such performances will be assessed by the signal to noise ratio outside the photodetector(photodiode). The signal to noise ratio is determined by means of a first implementation without amplifier, then by a second implementation with amplifier. A comparative analysis permits us to express the importance of ab photodiode PIN in optical transmission system.

Keys word:

Optical amplifier, doped fiber, photodiode PIN, transmission system, signal to noise s/b), gain

I) Introduction :

Depuis quelques années (fin 1980), les télécommunications optiques connaissent une véritable révolution grâce à l'introduction du multiplexage en longueurs d'onde (WDM). En effet ceci est lié à la demande croissante de forts débits lié au déchaînement de l'Interne et au développement de nouveaux services exigeant des grandes bandes passantes.

Le multiplexage a atteint son essor grâce à la maturité technologique de certains composants optiques, et en particulier l'amplificateur optique.

Les amplificateurs optiques, basés sur un mécanisme de transfert de puissance entre une pompe optique et le signal dans une fibre dopée à erbium, ont permis de contrôler sans conversion optoélectronique la puissance des signaux transmis et de compenser les pertes subies lors de la transmission.

L'utilisation de ces amplificateurs avec le multiplexage en longueur d'onde (WDM), va conduire à de profondes transformations des techniques et de l'architecture du réseau.

L'amplification optique va favoriser le multiplexage par un meilleur contrôle des pertes

induites, mais surtout procurer un avantage économique décisif par sa capacité à amplifier l'ensemble des N longueurs d'ondes d'un multiplex sans distorsion du signal utile.

De ce fait, en technique WDM un seul amplificateur optique se substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne [1].

Dans cette étude, basée sur des simulations avec le logiciel Comsis [2], nous vérifions tout d'abord l'importance de l'amplificateur optique dans l'amélioration du rapport signal sur bruit d'un système optique.

Puis nous analyserons l'effet des paramètres de la photodiode PIN, qui reste un composant essentiel dans une liaison optique comportant un amplificateur optique

II) Système de transmission à amplificateur optique :

Dans notre étude, nous considérons un système simple composé du laser (émetteur de lumière), du canal de transmission (fibre optique), d'un amplificateur optique et d'une photodiode PIN (photodétecteur) figure 1.

L'influence des paramètres de la photodiode PIN sur la qualité d'une liaison

L'amplificateur, dans ce cas est considéré comme un préamplificateur optique, c'est à dire est situé juste avant la photodiode.

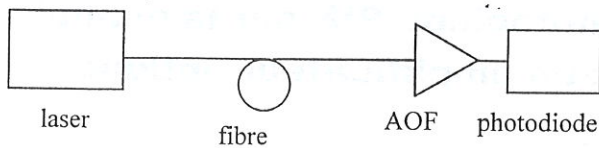


Fig.1 : Schéma d'un système de transmission à amplificateur optique

III) Rapport signal sur bruit du système en fonction de la puissance d'entrée:

III-1) Sans amplificateur optique AOF:

Ce rapport s/b peut être défini par le rapport de la puissance moyenne du signal incident sur la puissance moyenne du bruit [3], [4], soit:

$$\frac{s}{b} = \frac{[S.P]^2}{2.e.S.P.B} \quad (1)$$

- S : sensibilité de la photodiode (A/W)
- P : puissance incidente (W)
- e : charge de l'électron
- B : largeur de bande (Hz)

Dans cette étude, nous tenons compte de l'effet du courant d'obscurité I_{ob} de la photodiode, et la relation (1) devient :

$$\frac{s}{b} = \frac{[S.P]^2}{2.(e.S.P + I_{ob})B} \quad (2)$$

La simulation de ce rapport en fonction de la puissance du signal P est donnée par la figure (1a) suivante. Pour des puissances P inférieures à 40dBm environ c'est le bruit thermique qui est dominant et pour des P supérieures à 40dBm c'est le bruit quantique qui est dominant.

III-2) Avec l'amplificateur optique AOF :

En présence de l'amplificateur optique défini par son gain G, la relation (2) devient :

$$\frac{s}{b} = \frac{[S.P.G]^2}{2.(e.S.P.G + I_{ob})B} \quad (3)$$

Ce rapport en fonction de la puissance du signal est illustré par la figure (1b).

Pour des puissances supérieures à 40 dBm, nous constatons que le rapport reste pratiquement constant à 100dBm

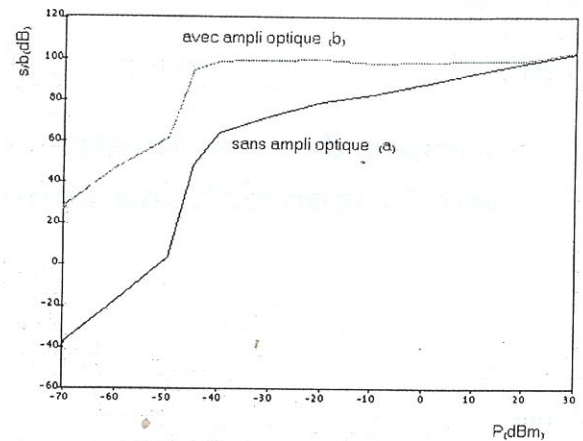


Fig.(2) : Variation du rapport signal sur bruit en fonction de la puissance du signal
(a) sans l'amplificateur optique
(b) avec l'amplificateur optique

IV-) Effet du courant d'obscurité de la photodiode sur le rapport s/b:

Plusieurs auteurs [3],[4],[5] dans leur calcul du rapport signal sur bruit d'un système, considèrent le courant d'obscurité de la photodiode PIN comme négligeable. Dans cette étude, nous voulons vérifier la validité de cette hypothèse. L'évolution du rapport signal sur bruit en fonction du courant d'obscurité (donné par la relation 3) est bien montré sur la figure 3

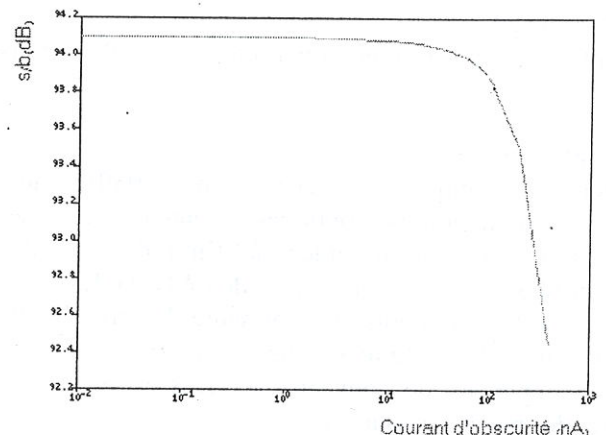


Fig.(3) : Le rapport signal sur bruit en fonction du courant d'obscurité de la photodiode

L'interprétation de cette courbe permet en effet de dire que pour des faibles courants d'obscurités (<à 40nA), le rapport s/b reste pratiquement constant et égal à 94dB ; au delà de 40nA, le rapport commence à diminuer. Ce qui nous permis de dire que ce courant, pour des valeurs très faibles, doit être stable. En particulier s'il y a une variation de température, car on sait que ce courant dépend de la température selon la relation 4, [6][7].

$$I_{ob}(T) \approx \exp -E_g/KT \quad (4)$$

E_g : énergie de la bande interdite du matériau semiconducteur

K : constante de Boltzman

T : température en Kelvin

V-) Effet de la sensibilité de la photodiode sur le rapport s/b :

La sensibilité d'une photodiode est définie par le rapport S (exprimé en A/W) du photocourant I_{ph} recueilli à la puissance optique qu'elle reçoit P_L , en fonction de la longueur d'onde λ , [8] [9]:

$$S(\lambda) = \frac{I_{ph}(\lambda)}{P_L(\lambda)} \quad (5)$$

La sensibilité augmente avec la longueur d'onde jusqu'à une valeur où elle est maximale, puis chute brusquement à l'approche de la longueur d'onde critique λ_c , donnée par la relation 6, [10]:

$$\lambda_c = \frac{h \cdot c}{E_g} \quad (6)$$

h , constante de Planck

c , vitesse de la lumière

E_g , énergie de la bande interdite du matériau

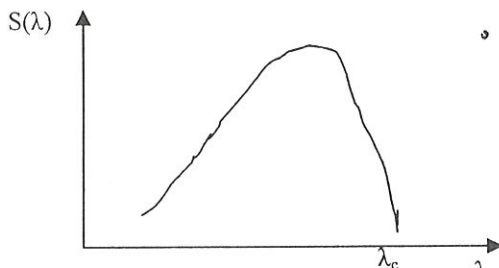


Fig.(4) : Variation de la sensibilité de la photodiode en fonction de la longueur d'onde

L'évolution du rapport s/b en fonction de la sensibilité obtenue par simulation est illustrée par la figure 5.

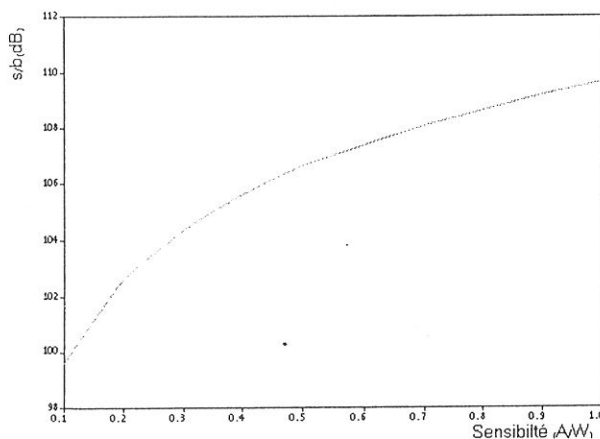


Fig.(5) : Rapport signal sur bruit en fonction de la sensibilité de la photodiode PIN

Cette figure montre bien que le rapport s/b dépend beaucoup de la sensibilité de la photodiode, comme

le montre la relation 3, et il doit être maintenu à sa plus grande valeur d'où une optimisation des paramètres internes de la photodiode PIN

CONCLUSION :

Cette étude, basée sur des simulations, permet de relever les points suivants :

- La présence d'un amplificateur optique de gain G augmente le rapport signal sur bruit du système et améliore ses performances, ce qui conforme avec les théories développées par [11],[12],[13].

- Le rapport signal sur bruit dépend peu du courant d'obscurité en faibles valeurs, et pour cela il faut choisir la photodiode PIN à matériau permettant le plus faible courant d'obscurité tels que les matériaux III-V (GaInAs...) donnant des courants inférieurs au nanoAmpère.

- Par contre, le rapport s/b dépend énormément de la sensibilité et plus celle-ci est grande, plus le rapport est meilleur. Dans ce cas aussi, il faut bien choisir la photodiode, car on sait que la sensibilité est un paramètre qui dépend des caractéristiques géométriques du photodétecteur (profondeur et extension de la jonction de la photodiode) ainsi que de la nature du matériau employé (coefficient d'absorption, longueur de diffusion..).

REFERENCES :

- [1] Vandamme P., Joindot M., Gosselin S. L'optique et les réseaux de transport Actes de conférences, France Télécom Momento n°19 Juin 2002
- [2] Logiciel Comsis de la société IPSIS France
- [3]. Joindot I. et M Les Télécommunications Optiques, Dunod 1996
- [4] Agrawal G.P. Fiber Optic Communication Systems. Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, 1992
- [5] Kazovsky L., Benedetto S., Willner A. Optical Fiber Communication Systems, Ed Artech House 1996
- [6] Buchali F., Behrendt R., Heymann G. InGaAs/InP- Photodiodes with dark current limited by generation-recombination Electronics letters vol.27 N°3, 1991
- [7] Kim O.K., Dutt B.V., McCoy R.J., Zuber J.R.

A Low Dark-Current, Planar InGaAs p-I-n
Photodiode with a Quaternary InGaAsP Cap Layer
IEEE Journal Of Quantum Electronics Vol. QE-21
n°2, 1985

[8] Temmar A.
Photodiode Métal-semiconducteur-Métal (MSM)
AlInAs/GaInAs pour transmission sur fibre optique.
Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6, Mai
1992

[9] Halley P.
Systèmes à fibres optiques, Eyrolles, 1985

[10] Lecoy P.
Technologie des Télécoms, Hermès 1995

[11].Giles C.R., Desurvire E.
Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers
Journal Of Lightwave Technology, V.LT-9,N°2,
p271, 1991

[12].Saleh A.A.M, Jopson R.M., Evankow J.D.,
Aspell J.
Modeling of Gain in Erbium-Doped Fiber
Amplifiers
IEEE Photonics Technology Letters. Vol n°2, p.
714, October 1990

[13] Georges T. Delevaque E.
Analytic Modeling of High-Gain Erbium-Doped
Fiber Amplifier
Optics Letters, Vol.17 n°16, pp.1113-1115, August
1992