

---

# La PSBT Optique : Un candidat sérieux pour augmenter le débit sur les installations existantes.

**Farouk Khecib, Olivier Latry, Mohamed Ketata**

*IUT de Rouen, Université de Rouen  
Département Génie Électrique et Informatique Industrielle  
rue Thomas Becket 76821 Mont Saint Aignan*

*farouk.khecib@etu.univ-rouen.fr, olivier.latry@univ-rouen.fr*

**Section de rattachement : 63**

**Secteur : Secondaire**

---

**RÉSUMÉ.** *L'objet de ce travail est d'étudier et de tester divers formats de modulations pour obtenir un fonctionnement optimal des systèmes de transmissions optiques à un débit de 40 Gbits/s par canal. Il est possible de concevoir de nouveaux systèmes pour un bon fonctionnement à ce débit, mais il est plus intéressant d'intégrer ces systèmes à 40 Gbits/s dans les liens actuellement en service à 10 Gbits/s. Cette solution a l'avantage de réduire les coûts de développements et d'installations de nouveaux liens. Comme l'aspect incontournable de la migration de technologies au sein d'un réseau optique est la réutilisation du lien déjà installé, il est évident que la recherche soit orientée vers un certains nombres de formats de modulation adaptés aux architectures à 10 Gbits/s et transportant du 40 Gbits/s. La PSBT (Phase Shaped Binary Transmission) tout optique a été proposée comme le format clé répondant à ces nouvelles exigences.*

**MOTS CLÉS :** Formats de Modulation, On-Off Keying, Differential Phase Shift Keying, Phase Shaped Binary Transmission, WDM Wavelength Division multiplexing, systèmes de transmissions optiques mixtes 10/40 Gbit/s.

## **0.1 Introduction**

Aujourd'hui, les liens optiques de transmissions utilisent le plus souvent un débit à 10 Gbits/s, mais suite à l'arrivée sur le marché de nouvelles technologies nécessitant plus de débit (accès haut débit, TV numérique haute définition..) la demande en débit ne cesse de croître. Pour améliorer les systèmes actuels et offrir des performances optimales, la recherche dans les laboratoires s'oriente de plus en plus vers l'amélioration des liens transportant les données sur des distances de plus en

plus grandes. Cela passe par une amélioration de la couche physique, mais aussi l'optimisation des formats de modulation afin d'augmenter le débit binaire.

Il est très judicieux de mettre en forme les signaux optiques à 40 Gbits/s pour que ceux-ci puissent être transmis sur des grilles WDM/DWDM fonctionnant à 10 Gbits/s. L'utilisation du multiplexage consiste à rapprocher dans le domaine spectral les canaux les uns des autres pour transporter plus d'informations dans une même bande spectrale. Cette réduction de l'espacement inter-canal a pour effet une dégradation de la propagation du signal dans la fibre (augmentation du BER) dû à l'interférence inter-symbole (ISI) qui est assez nuisible notamment sur les formats de modulation d'amplitude OOK (On-Off Keying). Le format de modulation "PSBT optique" à l'avantage d'avoir une périodicité du filtre FSR qui est égal à l'espace inter-canal en DWDM, et un spectre optique à 40 Gbits/s réduit en taille qui lui permette d'être transmis à la place d'un canal 10 Gbits/s, augmentant ainsi la capacité du lien sans la moindre modification ou changement de fibre.

## 0.2 Présentation des formats de modulation

Les systèmes de communications optiques ont principalement utilisé le format de modulation d'amplitude On-Off Keying en le combinant avec NRZ (Non-Return to Zero) ou bien avec RZ (Return-to-Zero). La popularité de ce format de modulation est dû à sa simplicité de mise en œuvre. En effet, pour générer ce format, on a besoin d'un seul modulateur d'amplitude. A la réception une simple photodiode suffit pour la détection. Récemment, plusieurs formats de modulations ont fait leurs apparitions, suite aux limitations que présente le format d'amplitude face aux effets linéaires et non linéaires et à la demande d'augmentation de débit ainsi que des distances de transmissions. Parmi ces nouveaux formats de modulations, une technique plus avancée pour atteindre des très longues distances est de coder l'information en exploitant la phase du signal optique, cette technique est plus connue sous le nom de DPSK (Differential Phase Shift Keying). Cette technique de modulation est bien plus complexe à mettre en œuvre, mais néanmoins plusieurs études ont montré que la DPSK présente une très nette amélioration de la sensibilité du récepteur de 3 dB par rapport à la modulation d'amplitude. Elle présente également une très grande robustesse face aux effets non linéaires de la fibre, ainsi que la possibilité de transmettre sur des distances plus longues avec la même qualité. Plusieurs autres types de formats de modulation ont fait leur apparition afin de réduire l'impact des phénomènes altérant la propagation. Parmi les plus prometteurs, il existe un format de type duobinaire mélangeant le format d'amplitude et de phase. Celui-ci a été développé et breveté par Alcatel sous le nom de PSBT (Phase Shaped Binary Transmission) [1].

Ce type de format consiste en une modulation mixte d'amplitude et de phase obtenue de manière optique au moyen d'un signal DPSK filtré par un interféromètre de Mach-Zehnder (MZI). L'avantage de ce type de format de modulation semble être prometteur en vue de garantir une bonne compatibilité avec l'espacement des canaux à 100 GHz pour les WDM et à 50 GHz pour les DWDM. Ceci est dû à son spectre très réduit, sa grande tolérance à la dispersion chromatique

(CD) ce qui se traduit par une augmentation de la distance de transmission, et une bonne résistance à la dispersion modale (PMD).

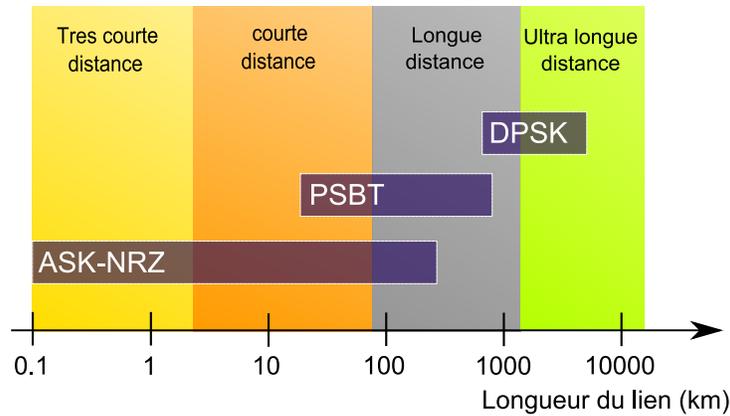


FIGURE 1 – Utilisation des différents formats de modulations à 40 Gbits/s.

La figure (1) est un aperçu sur les distances que peuvent atteindre certains formats de modulation à un débit de 40 Gbits/s. Nous remarquons que la PSBT est moins bonne que la DPSK pour les ultra-longues distances mais le principal avantage qu’offre ce format réside dans sa simplicité. Ce format rends possible la migration vers les hauts débits avec un changement mineur de l’émetteur et une photodiode classique plus rapide en détection sans pour autant changer les lignes de transmissions et les fibres. Ceci garantis une migration en douceur de l’infrastructure de transmission vers les 40 Gbits/s, à moindre coût financier.

### 0.3 Description du schéma expérimental

Le multiplexage en longueurs d’ondes WDM à permis une augmentation significative de la capacité des systèmes de transmissions optique. Le principe du multiplexage en longueur d’onde consiste à moduler en parallèle plusieurs sources lasers émettant à différentes longueurs d’ondes plus ou moins rapprochées. Dans notre cas, les longueurs d’ondes se situent dans la bande C entre 1549.31 nm et 1552.52 nm. On les multiplexe, dans la même fibre optique au moyen d’un multiplexeur AWG (Arrayed Waveguide Grating). Grâce à ce multiplexage, nous avons envoyé sur la même fibre deux formats différents, un OOK et une PSBT ou bien DPSK et PSBT. La PSBT optique simulée est composée de transmetteur (Tx), d’un interleaver simulant l’utilisation de la grille WDM, d’une accumulation de dispersion chromatique pure (CD) (fibre dispersive idéale)

et un filtre passe bande optique (OPBF) de 1.1 nm comme illustré sur la figure (2). Les autres canaux sont des OOKs ou bien des DPSKs. Le dispositif de la simulation est détaillé dans [2] dans le cas d'une transmission monocanal.

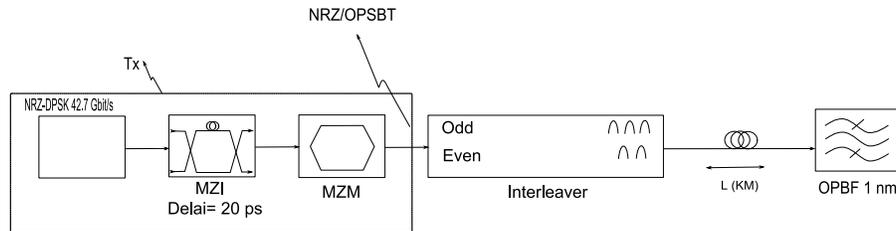


FIGURE 2 – Système de transmission du format PSBT à 40 Gbits/s.

Pour simuler des longues distances de fibres, on utilise une boucle de récirculation de tronçons de fibre. Notre boucle de simulation est composée de quartes (dix) tronçons de 60.74 km de fibre donnant un total de 242 (600) km. Chaque tronçon comporte (4(10)x50km) de fibre SMF suivi d'un amplificateur EDFA (Erbium Dopped Fiber Amplifier), de fibre DCF de longueur (4(10)x10.47km) pour la compensation de la dispersion chromatique de la fibre SMF, suivi encore par un deuxième EDFA avec un facteur de bruit (NF, Noise Figure) égal à 6 dB. Le gain de l'EDFA est fixé pour compenser les pertes dans chaque tronçon et pour garder un niveau de puissance constant à l'entrée de la fibre DCF afin de réduire les effets non linéaire, la dispersion chromatique et diaphonie (crosstalk). Au niveau du récepteur, la détection d'intensité est effectuée par une photodiode PIN suivie par un filtre de Bessel de 5<sup>ème</sup> ordre de bande passante 0.75 R (R est le débit binaire). D'autre part, pour la bonne détection de la PSBT avant la photodiode PIN, nous introduisons un filtre passe bande optique de 1 nm pour limiter les bruits. Pour évaluer la qualité de la transmission, les données reçues sont comparées avec une séquence PRBS de  $2^7 - 1$  (Pseudo Randon Binary Sequence) initiale. Le taux d'erreur binaire BER est mesuré par un analyseur de BER (BER analyzer) connecté directement au filtre passe bas de Bessel.

#### 0.4 Résultats et Discussions

Pour une transmission sur cinq canaux WDM c'est à dire à un espacement entre canaux de 100 Ghz dans la bande C à un débit binaire égal à 10 Gbits/s, nous avons réussi à optimiser la transmission sur un lien optique et augmenter de ce fait le facteur Q. Nous avons effectué plusieurs simulations sur le même lien de transmission optique. Premièrement, nous avons simulé un système WDM constitué uniquement de formats de modulation d'amplitude OOK à 10 Gbits/s pour une distance de 240 km (600 km). Les résultats de la simulation nous donne des facteurs Q entre 8.01 et 12.73 (7.70 et 9.1). Chaque canal a pratiquement le même diagramme de l'œil

et les valeurs de Q sont proches. Nous constatons une légère dégradation du canal central par rapport aux autres canaux ; ceci est dû à l'élargissement des spectres des autres canaux et à l'effet d'interférence.

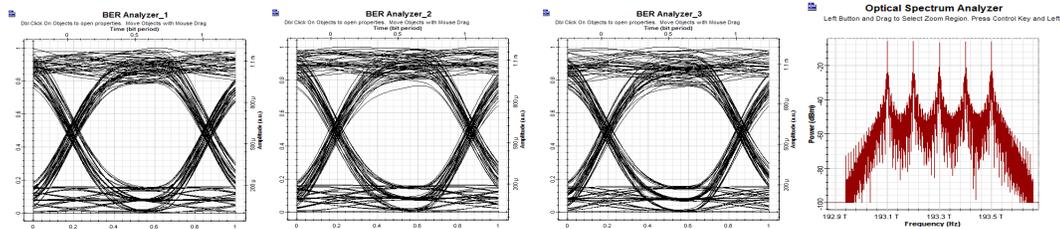


FIGURE 3 – Diagramme de l'oeil simulation OOK

Ensuite, nous insérons le format PSBT avec un débit de 40 Gbits/s au milieu des canaux OOK à 10 Gbits/s. Le même lien optique et la même puissance des lasers sont utilisées pour cette transmission. Les résultats obtenus par simulation donnent un facteur Q entre 14.5 et 19.20 (8.58 et 13.92). Cette nette amélioration du facteur Q est due à la bonne répartition du spectre de la PSBT, spectre réduit par rapport à celui de la OOK. Il y'a moins de perturbation sur les canaux adjacents.

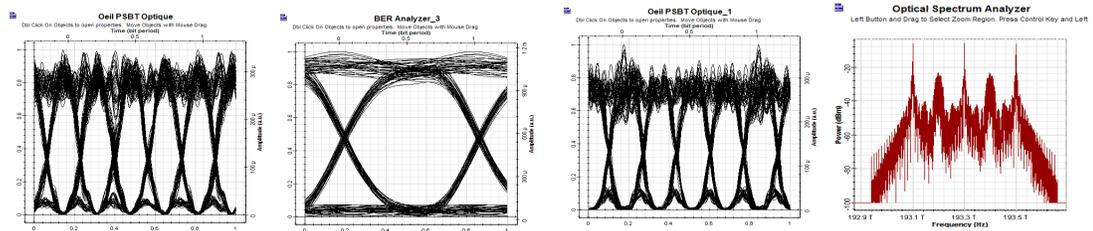


FIGURE 4 – Diagramme de l'oeil simulation OOK/PSBT

Nous remarquons même une augmentation du facteur Q de l'OOK par rapport à la simulation précédente, puisque il passe de 9.1 à 19.2 (minimum de 6 pour un BER de  $10^{-9}$ ). Dans la dernière étape de simulation, nous insérons un autre format de modulation DPSK à 40 Gbits/s au milieu de canaux OOK à 10 Gbits/s. Ces simulations sont effectuées pour servir comme un moyen de comparaison entre les deux performances de chacun des formats PSBT/DPSK à 40 Gbits/s au milieu des canaux OOK pour les longues distances notamment. Comme pour les précédentes simulations, le lien optique et les puissances des lasers restent inchangés.

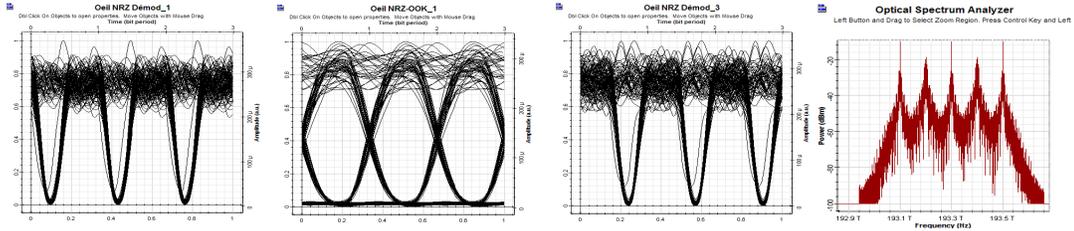


FIGURE 5 – Diagramme de l'oeil simulation OOK/DPSK

Les résultats obtenus montrent que le facteur Q est entre 9.17 et 13.16 (7.76 et 13.7), nous remarquons une légère diminution du facteur Q par rapport à la performance de la PSBT. Même si le format DPSK est préconisé pour les ultra longues distances à des débits élevés tel que 40 Gbits/s, il affiche ici une performance moindre que celle de la PSBT dans un système WDM de cinq canaux. Cette mauvaise performance affichée par le format DPSK est due à son spectre qui est très large en le comparant à celui de la PSBT. Son spectre déborde sur les canaux adjacents, créant ainsi des interférences et de la perte du signal. Comme illustré sur la figure (1), la PSBT est très bonne dans la gamme des longues distances dû à son spectre très réduit, en conséquence, les canaux adjacents au format PSBT sont moins affectés par les interférences inter symbole (ISI), ce qui donne à ce format un rôle très important dans les réseaux métropolitains et pourquoi pas dans les réseaux sous marins à l'échelle d'une mer comme la méditerranée par exemple.

## 0.5 Conclusion

Les résultats obtenus montrent une alternative prometteuse pour améliorer un lien de transmission optique existant en utilisant un format robuste et étroit comme la PSBT. La question qui se pose est la suivante : Est ce que le format duobinaire PSBT (Phase Shaped Binary Transmission) est un bon candidat pour les longues distances pour éviter de remplacer les installations déjà existantes et garder la même puissance des lasers ? Nous montrons ici différents résultats de simulations d'un lien WDM. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque la PSBT à 40 Gbits/s est mise entre des canaux OOK à 10 Gbits/s. Si nous comparons ces résultats à ceux que présente le format OOK à 10 Gbits/s ou la DPSK à 40 Gbits/s, ces deux derniers formats présentent des performances moins bonnes que celle de la PSBT. Le format PSBT à 40 Gbits/s avec les mêmes puissances lasers présente une bonne solution pour les longues distances avec un meilleur facteur Q.

## 0.6 Références

[1] Penninckx D, Chbat M, Pierre L et al. "The phased-shaped binary transmission (PSBT) : A New technique to transmit far beyond the chromatic dispersion limit", IEEE Photonics Technology Letters Volume : 9 Issue : 2 Pages : 259-261 Published : FEB 1997

[2] F. Khecib, O. Latry, P. Dherbecourt, M. Ketata "Upgraded optical link by mixing STM-16 and STM-64 with OOK and PSBT in WDM system" in N.Calloas, editor, WMSCI 2008, Volume V, pages 263-268 Orlando, July 2008.

[3] G.Ducournau, O.Latry, M. Ketata " La PSBT Optique surmodulée pour les communications optiques mixtes 10 Gbit/s-40 Gbit/s", JNOG 2006 à Metz, Novembre 2006.