



## Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université du Bénin doit être abrégé sous la forme: J. Rech. Sci. Univ. Bénin (Togo). Les sommaires du Journal de la Recherche Scientifique de l'Université du Bénin (Togo) sont indexés dans la base de données francophone IBISCUS.



<http://www.ajol.info/index.php/jrsul>

*ISSN 1727 – 8651*

JOURNAL  
*de la*  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
*de*  
L'UNIVERSITÉ DE LOMÉ



**LOME - TOGO**

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé est  
référéncé dans African Journal on Line (AJOL) [[www.inasp.org/ajol](http://www.inasp.org/ajol)]

**VOLUME 17**  
**(2015)**

**Numéro 1**

## IMPACT D'UNE MODULATION DUALE SUR LES PERFORMANCES D'UNE LIAISON OPTIQUE POINT A POINT IM/DD

### IMPACT OF DUAL MODULATION ON THE PERFORMANCE OF POINT TO POINT IM / DD OPTICAL LINK

SOTINDJO P.\*, DJOGBE L., VIANOU A., AGOSSOU C.

Laboratoire d'Electrotechnique, de Télécommunications et Informatique Appliquée (LETIA),  
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université Abomey-Calavi, Bénin  
01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

(\*) E-mail : [patsotindjo@yahoo.fr](mailto:patsotindjo@yahoo.fr)

(Reçu le 22 Janvier 2015 ; Révisé le 17 Avril 2015 ; Accepté le 25 Avril 2015)

#### RESUME

Le présent document présente la technique de modulation duale Fréquence - Amplitude dans le cas d'une liaison optique du type IM-DD. Ce travail révèle que la modulation duale Fréquence - Amplitude permet de générer un signal à bande latérale unique. Les performances d'une liaison optique IM-DD basée sur cette modulation ont été comparées avec celles d'une liaison optique IM-DD basée sur une modulation externe utilisant un modulateur Electro-Absorbant. Il en ressort que la modulation duale permet de limiter les effets d'évanouissement de fréquence sur les liaisons de type IM-DD dispersif. Le second constat est que cette technique permet une montée en débit appréciable en comparaison avec la modulation externe. En effet, cette modulation duale permet de monter jusqu'à 20 Gbits.s<sup>-1</sup> pour une distance de fibre de 30 km sans utilisation d'aucune technique de compensation.

Mots clés: Modulation Duale, Liaison optique, IM-DD.

#### ABSTRACT

This paper presents the technique of dual modulation (Frequency - Amplitude) in the case of an IM-DD optical link. This work reveals that the dual modulation frequency - Amplitude can generate a single sideband signal. The performance of an optical link IM-DD based on this modulation was compared with performance of an IM-DD optical link based on a modulation using an external Electro-absorbent modulator. It shows that the dual modulation limits the fading effects of frequency on IM-DD channel. Also, this technique increase the data rate in comparison with the external modulation. Indeed, this dual modulation allows a data rate of 20 Gbit.s<sup>-1</sup> over a distance of 30 Km of fiber without using any compensation technique.

Keywords: Dual modulation, optical link, IM-DD

#### INTRODUCTION

La montée en débit dans les réseaux d'accès de nos jours est une nécessité. En effet, plusieurs applications sont développées et nécessitent un débit très important pour leur

fonctionnement.

Le format de modulation OOK couplé avec le codage NRZ est la technique la plus utilisée dans les réseaux d'accès car elle est simple à mettre en œuvre et ses performances sont très intéressantes. Pour sa mise en œuvre, le signal

OOK-NRZ peut être utilisé pour exciter directement un laser (modulation directe) ou bien ce signal est appliqué à un modulateur externe afin de moduler un faisceau optique continu produit par un laser (modulateur externe).

Ces deux techniques de mise en œuvre sont pénalisées par le phénomène de « chirp » (ANFRAY, 2013). En effet, la modulation directe comme la modulation externe s'accompagnent tous deux d'un phénomène de dérive en fréquence appelé « chirp » qui empêche la montée en débit sur les lignes de transmission. Une solution pour lutter contre ce phénomène de « chirp » est l'utilisation d'une modulation duale amplitude - fréquence (ANFRAY, 2013) (FERRUFINO, 2010). L'objectif de ce document est l'étude, l'implémentation et la simulation de la

technique de modulation duale. Une comparaison des performances de cette technique sera faite avec la modulation externe basée sur un modulateur électro-absorbant afin de caractériser cette technique de modulation.

## MATERIEL ET METHODES

### CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL

Pour mettre en œuvre une modulation OOK-NRZ, le faisceau lumineux émis par le laser est modulé en intensité. Les variations rapides de l'intensité de la lumière émise par le laser créent un phénomène d'étalement spectral de la puissance émise par le laser. Ce phénomène s'accroît avec la montée en débit comme l'illustre la figure 1.

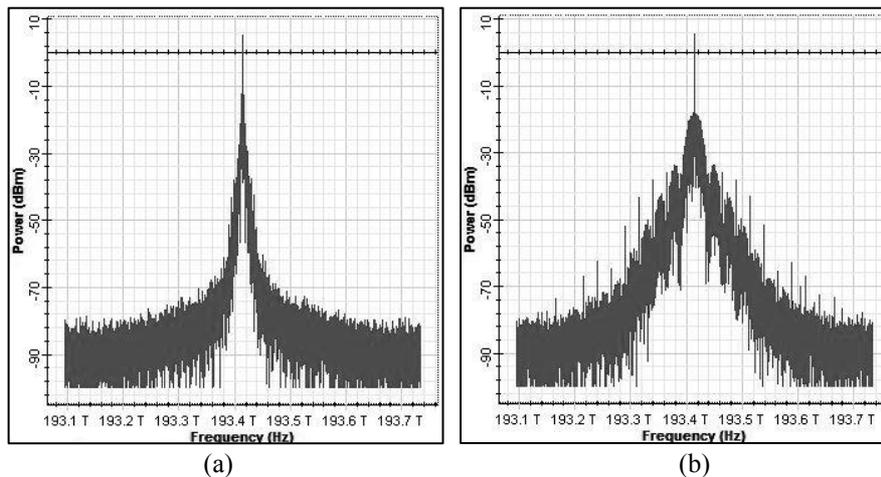


Figure 1 : Spectre d'un signal optique (193.4145 THz) modulé par un EAM à des débits différents (a) 5 Gbits.s<sup>-1</sup>, (b) 25 Gbits.s<sup>-1</sup>

Ce phénomène de dérive en fréquence couplé avec la dispersion chromatique de la fibre crée une dégradation rapide du signal reçu en bout de ligne créant ainsi la nécessité d'utiliser d'autres composants en ligne. En effet, le spectre du signal ainsi obtenu présente deux bandes latérales de part et d'autre de la porteuse (Figure 1). Les composantes fréquentielles des bandes latérales peuvent interférer de façon destructive avec la porteuse provoquant ainsi des évanouissements

fréquentiels et donc une dégradation du signal.

L'idée est donc de générer un signal optique à bande latérale unique qui permettra donc de lutter efficacement contre ces phénomènes. La solution explorée dans ce document pour la génération d'un tel signal est la combinaison d'une modulation d'amplitude et d'une modulation de fréquence suivant des critères bien déterminés. Nous illustrerons mathématiquement cette solution en prenant comme

Impact d'une modulation duale sur les performances d'une liaison optique point à point IM/DD.

signal modulant, un signal sinusoïdal.

Soit  $S_{FM}(t)$  le signal issu de la modulation de fréquence du modulant sinusoïdal de pulsation  $\omega_m$  par la porteuse de pulsation  $\omega_p$  (ANFRAY, 2013).

$$S_{FM}(t) = Ae^{j\omega_p t} e^{j\beta \sin(\omega_m t)}$$

A étant la puissance moyenne de la porteuse et  $\beta$  l'indice de modulation en fréquence.

En développant en série entière le second terme exponentiel et en posant  $\beta \ll 1$  (cas d'une modulation de fréquence à bande étroite ;  $\beta < 0.2$ ), on a :

$$S_{FM}(t) = Ae^{j\omega_p t} (1 + j\beta \sin(\omega_m t))$$

En appliquant une modulation d'amplitude avec pour porteuse  $S_{FM}(t)$  et pour modulant le même signal que pour la modulation de fréquence, on obtient le signal  $S_{FM+AM}(t)$  :

$$S_{AM+FM}(t) = Ae^{j\omega_p t} (1 + j\beta \sin(\omega_m t))(1 + j\beta \cos(\omega_m t))$$

Avec  $m$  étant l'indice de modulation

d'amplitude.

En posant  $\beta = m$  et en mettant sous forme exponentielle  $\sin(\omega_m t)$  et  $\cos(\omega_m t)$  ; on obtient l'approximation suivante :

$$S_{AM+FM}(t) = Ae^{j\omega_p t} (1 + \beta e^{j\omega_m t})$$

$S_{AM+FM}(t)$  ne comporte donc qu'une seule bande latérale car toutes les composantes fréquentielles du signal sont supérieures ou égales à la fréquence de la porteuse. C'est donc sur ce principe que ce travail a été effectué. Pour évaluer les performances par simulation d'un tel signal, nous avons mis en place deux émetteurs.

Le premier est basé sur une modulation externe (présente moins de chirp en comparaison avec la modulation directe) basée sur un Modulateur Electro-Absorbant (EAM). Le signal modulant est un signal OOK-NRZ.

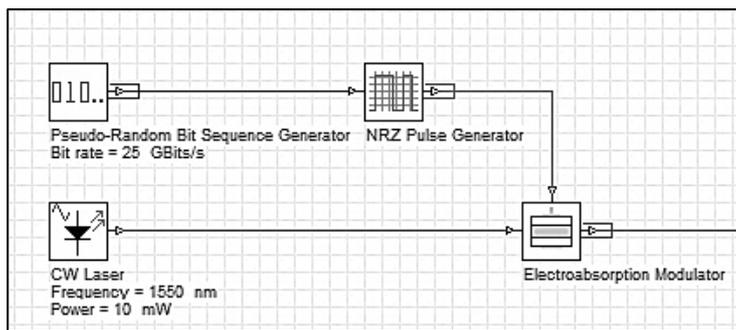


Figure 2 : Emetteur basé sur une modulation externe

Le second met en jeu un laser émettant de façon continue, un modulateur d'amplitude et un modulateur de fréquence. Ces deux

modulateurs ont tous deux le même signal modulant OOK-NRZ.

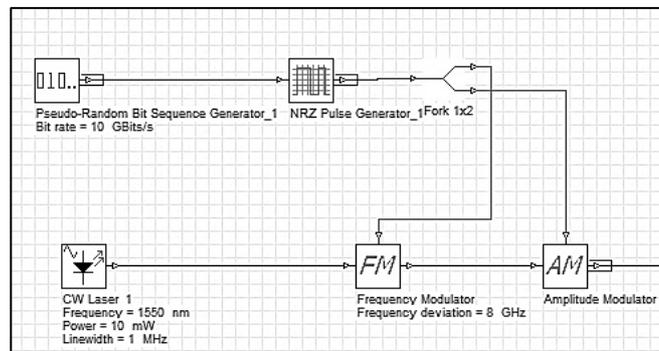


Figure 3 : Emetteur basé sur la modulation duale

Ces émetteurs sont connectés chacun à une fibre SMF et le signal est détecté en bout de ligne par un photodétecteur.

grâce au facteur de qualité de la liaison.

**OUTIL DE SIMULATION ET CRITERES D'EVALUATION**

Les différentes liaisons ont été mises en place et simulées grâce au logiciel OptiSystem 7.0. Ces liaisons ont été évaluées et confrontées

**PRESENTATION DES RESULTATS**

L'émetteur basé sur la modulation duale a été mise en place pour générer un signal à bande latérale unique. Le premier résultat à présenter est donc le spectre du signal généré par cet émetteur.

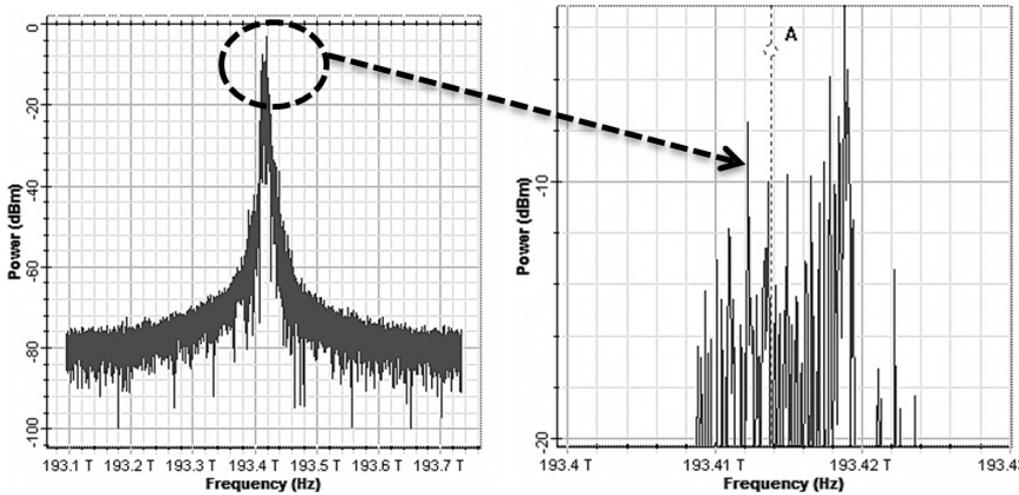


Figure 4 : Spectre du signal généré à bande latérale unique

L'axe A matérialise la fréquence de la porteuse.

La mise en place des différentes liaisons a nécessité le paramétrage des différents composants. Le tableau I récapitule l'ensemble de ces paramètres.

Tableau I : Paramètres des liaisons

Emetteur basé sur la modulation Externe		Emetteur basé sur la modulation duale	
Paramètres	Valeurs	Paramètres	Valeurs
<b>Codeur NRZ</b>			
Temps de montée	0.25	Temps de montée	0.25
Temps de descente	0.25	Temps de descente	0.25
<b>Laser à émission continue</b>			
Fréquence	1550 nm (193.41 THz)	Fréquence	1550 nm (193.41 THz)
Puissance	10 mW	Puissance	10 mW
Largeur spectrale	1MHz	Largeur spectrale	1MHz
<b>Modulateur Electro-Absorbant</b>		<b>Modulateur de fréquence</b>	
Indice de modulation	0.99	Déviation en fréquence	8 GHz
Facteur de chirp	0	<b>Modulateur d'amplitude</b>	
		Indice de modulation	0.8
<b>Fibre optique</b>			

Impact d'une modulation duale sur les performances d'une liaison optique point à point IM/DD.

Longueur d'onde	1550 nm	Longueur d'onde	1550 nm
Atténuation	0.2dB.km <sup>-1</sup>	Atténuation	0.2 dB.km <sup>-1</sup>
Dispersion chromatique	17ps.nm <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup>	Dispersion chromatique	17ps.nm <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup>

Une fois les liaisons mises en place, l'objectif a été d'observer le facteur de qualité de chacune des liaisons en fonction de la longueur de fibre à un débit de 10 Gbits.s<sup>-1</sup>. Une attention

particulière a été portée sur les variations des courbes décrivant le facteur de qualité afin d'appréhender les effets d'évanouissement du signal à certaines distances de fibre.

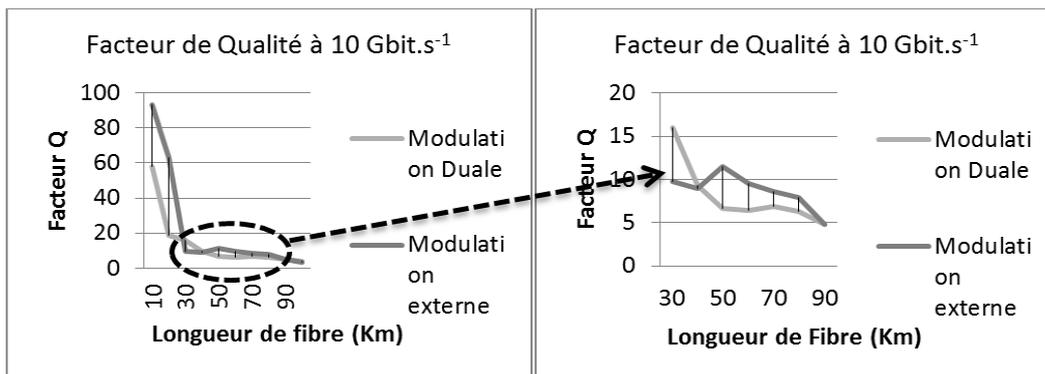


Figure 5 : Facteur de Qualité en fonction de la longueur de fibre pour un débit de 10 Gbit.s<sup>-1</sup>

Après cette étape, l'objectif a été ensuite d'apprécier la variation du facteur de qualité face à la montée en débit. Cette observation a

été faite pour plusieurs longueurs de fibre (10 km, 20 km et 30 km).

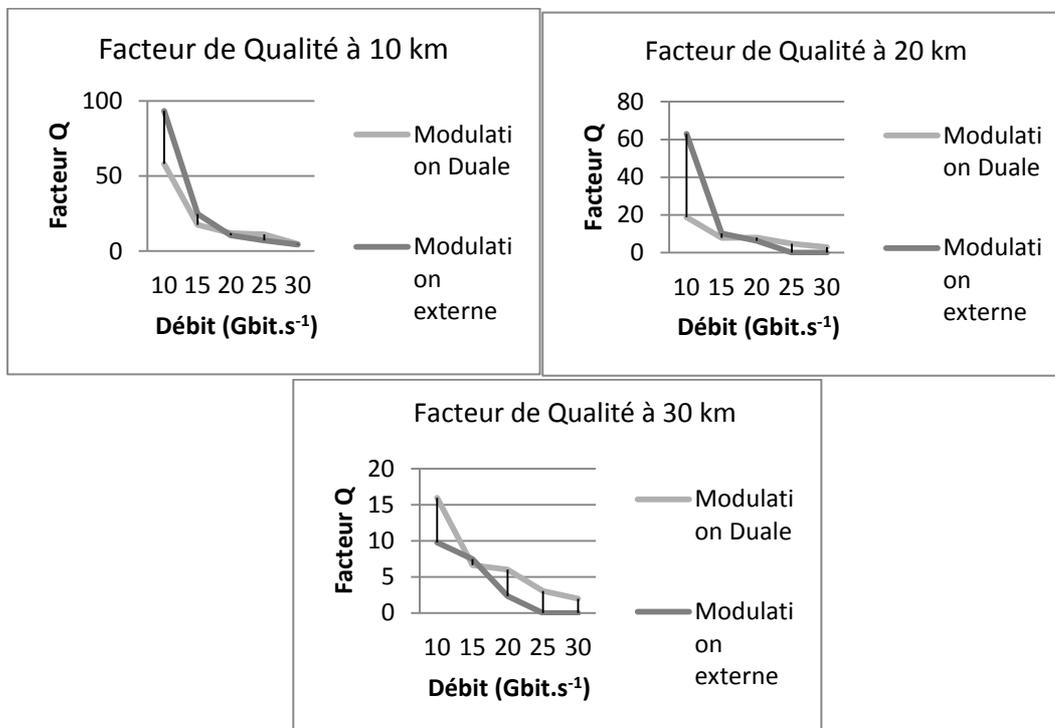


Figure 6 : Facteur de Qualité en fonction du débit pour plusieurs longueurs de fibre

## DISCUSSION

La première analyse effectuée est relative au spectre du signal issu de la modulation duale illustrée par la figure 4. Les composantes spectrales de fréquence supérieure à celle de la porteuse ont une intensité bien supérieure à celles des composantes spectrales de fréquence inférieure à celle de la porteuse. La modulation duale Fréquence - Amplitude nous a donc permis de générer un signal assimilable à un signal à bande latérale unique.

Les variations du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre à un débit de  $10 \text{ Gbit.s}^{-1}$  (Figure 5) nous révèlent que les performances de la modulation externe sont meilleures que celles de modulation duale dans ces conditions. De même, nous remarquons que jusqu'à une longueur de fibre de 80 km, les deux liaisons présentent de bonnes caractéristiques car les facteurs de qualité sont supérieurs à 6.

En observant la courbe du facteur de qualité de la modulation externe entre 40 km et 50 km (Figure 5), on remarque que le facteur de qualité augmente de 8.9 à 11.4. Cette augmentation assez remarquable pourrait être très surprenante du fait que les performances de la liaison devraient se dégrader avec l'augmentation de la longueur de fibre. Toutefois, on explique cette augmentation par le fait que la réponse impulsionnelle d'un canal IM-DD dispersif est caractérisée par une grande sélectivité en fréquence. Cette sélectivité devient plus prononcée avec l'augmentation de la distance de fibre. Cela veut dire qu'à certaines distances, on peut observer un évanouissement de la fréquence de notre signal ce qui est notre cas au tour de 40 km.

Ce phénomène est moins prononcé au niveau de la modulation duale. Nous en déduisons

donc que la modulation duale nous permet de limiter le phénomène d'évanouissement de fréquence dans un canal IM-DD dispersif. Ce résultat rejoint les résultats présentés dans (ANFRAY, 2013). En effet, en se basant sur la fonction de transfert d'un canal IM/DD dispersif, il a été prouvé dans (ANFRAY, 2013) que la modulation duale fréquence-amplitude permettait de lutter contre le problème d'évanouissement de fréquence. Nous avons donc pu prouver par simulation les résultats prédits par l'expression de la fonction de transfert.

Les variations du facteur de qualité en fonction du débit (Figure 6) nous révèlent que la modulation duale présente de meilleures performances que la modulation externe lorsque le débit augmente. De même, ce constat est de plus en plus prononcé lorsque la longueur de fibre augmente. Nous en déduisons la modulation duale est plus favorable à la montée en débit en comparaison avec la modulation externe. Cette conclusion rejoint celles de (ANFRAY, 2013) et de (FERRUFINO, 2010)

## CONCLUSION

Tout au long de ce travail, nous avons étudié la modulation duale Fréquence – Amplitude et nous avons confronté ses performances avec celles d'une modulation externe. Il en ressort que la modulation duale permet de générer un signal à bande latérale unique. Cet état de chose permet de limiter les phénomènes d'évanouissement de fréquence au niveau du canal IM-DD dispersif. De même, cette technique de modulation présente de meilleures performances que la modulation externe lorsque l'on commence à monter en débit sur la liaison.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ANFRAY T., 2013. *Étude et simulation des potentialités du Dual Electroabsorption Modulated Laser (D-EML) pour la montée en débit dans les futurs réseaux d'accès optique.* Université de Limoges, 188p.
2. BERGER V., 2002. *Principes physiques des lasers à semiconducteurs.* EDP Sciences, DOI 10.1051/bib-sfo:2002056, 27p.
3. FERRUFINO J. M., 2010. « Dual Electroabsorption Modulated Laser ». *Etude et caractérisation d'une nouvelle source optique laser-modulateur intégrés pour les transmissions numériques à haut-débit et les applications Radio-sur-Fibre.* Télécom ParisTech, 205p.
4. KECHAOU K., 2012. *Modélisation et caractérisation de sources optiques pour les réseaux d'accès et métropolitains.* Télécom ParisTech, 263p.
5. YONGGYOO K., SUB H., HODUK J., JICHAI J., 2000. Theoretical and Experimental Study of Large signal Chirp in Electro-Absorption Modulators Integrated DFB Lasers. *Journal of the Korean Physical Society*, 37(6), 828-832.