

## **Étude des performances de la DHT-OFDM dans un canal optique IM/DD : application à la transmission d'une image**

**Patrick SOTINDJO<sup>1\*</sup>, Léopold DJOGBE<sup>1</sup>, Antoine VIANOU<sup>1</sup>, Carlos AGOSSOU<sup>1</sup>  
Fréjus SANYA<sup>1,2</sup> et Christelle AUPETIT-BERTHELENOT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>LETIA, EPAC, Université Abomey-Calavi, Bénin 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

<sup>2</sup>XLIM Dpt.C2S2 UMR-CNRS 7252, Université de LIMOGES, 16 Rue Atlantis, 87068 Limoges, France

---

\* Correspondance, courriel : [patstindjo@yahoo.fr](mailto:patstindjo@yahoo.fr)

### **Résumé**

La simplicité des systèmes d'émission et de réception est une priorité de nos jours pour la diminution du coût de déploiement des systèmes de transmission. Dans le cas des systèmes basés sur l'OFDM, des études ont montré que l'utilisation de la DHT en lieu et place de la DFT simplifie la structure de ces systèmes. Le présent document propose un système de transmission optique IM/DD basé sur la DHT-OFDM permettant de transmettre des symboles issus d'une constellation complexe. Ces symboles ont été obtenus à partir d'une image pour mieux apprécier la qualité de la transmission. Les performances du système proposé ont été comparées à celles de la DFT-OFDM en utilisant la DCO. Deux logiciels ont été utilisés en Co-simulation : MATLAB 7.10.0 et OptiSystem 7.0. Le travail a été effectué à un débit de 10 Gb/s. A l'issue des simulations, nous avons constaté que la technique DHT-OFDM présente un TEB inférieur à  $10^{-3}$  pour des distances de fibre (SMF) inférieures ou égales à 100 km et pour un budget optique (BO) de 25 dB. Ces résultats nous ont permis de conclure que cette technique présente de bonnes performances jusqu'à une distance de 100 km. Les performances (TEB) de la DHT-OFDM sont moins intéressantes à celles de la DFT-OFDM mais sa structure a permis de simplifier la complexité du système.

**Mots-clés :** *OFDM, DHT-OFDM, DFT-OFDM, IM/DD, optique.*

### **Abstract**

**Study of performance of DHT-OFDM in IM / DD optical channel : application to the transmission of picture**

This paper reports on the implementation of an IM/DD optical link based on the DHT-OFDM technique. The transmitted symbols were created from a picture to better appreciate the quality of the transmission. The performances of this technique were compared with DFT-OFDM using the DCO. Two software were used in co-simulation : MATLAB 7.10.0 for the implementation of the algorithm and OptiSystem 7.0 for the simulation of the optical link. The work was done at a rate of 10 Gbits/s. After simulations, we found that the DHT-OFDM technique has a BER less than  $10^{-3}$  for fiber (SMF) distances less or equal to 100 km and for a BO equal to 25 dB. These results allowed us to conclude that this technique has good performance for a fiber distance not more than 100 km. The performances (BER) of DHT-OFDM are less attractive in comparison with the DFT-OFDM performances but its structure simplified the complexity of the system.

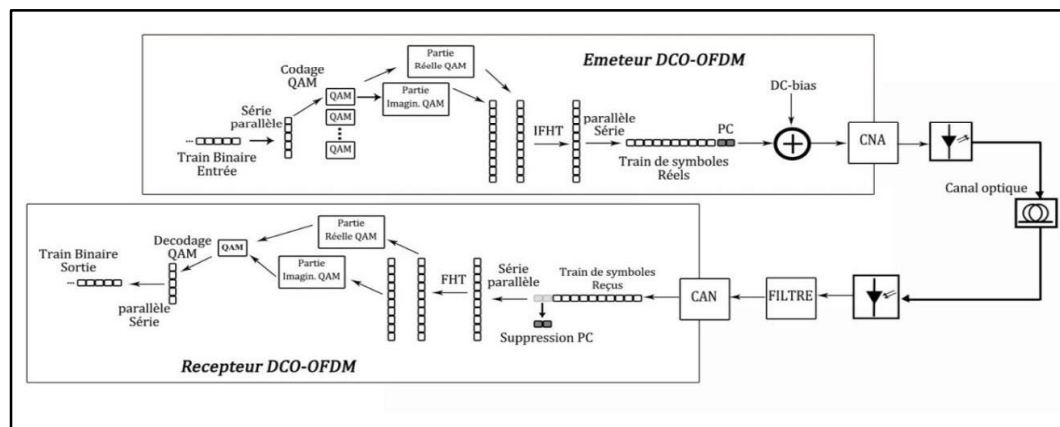
**Keywords :** *OFDM, DHT-OFDM, DFT-OFDM, IM/DD, optic.*

## 1. Introduction

L'OFDM est une technique de multiplexage très intéressante car elle permet de transiter des informations sur des porteuses orthogonales les unes par rapport aux autres et de ce fait, d'optimiser l'efficacité spectrale sur les lignes de transmission. Pour générer les sous-porteuses orthogonales, deux transformées sont utilisées : la Transformée Inverse de Fourier Discrète et la Transformée Inverse de Hartley Discrète. La première est la plus utilisée car elle présente de meilleures performances en matière de Taux d'Erreur Binaire (TEB) et permet la transmission de symboles issus de constellations complexes même pour des liaisons du type IM/DD [1]. La Transformée Inverse de Hartley Discrète quant à elle séduit par sa simplicité car cette dernière est une transformation réelle. Cet état de chose impose qu'on utilise des symboles issus d'une constellation réelle pour les liaisons du type IM/DD ce qui limite le débit sur les liaisons OFDM basées sur cette transformée. Des recherches sont entreprises pour l'utilisation des symboles complexes dans les liaisons IM/DD basées sur la DHT-OFDM. Plusieurs architectures sont proposées ; les unes plus complexes que les autres [2, 3]. A travers le présent papier, nous proposons une architecture permettant la transmission des symboles complexes en se basant sur la DHT-OFDM. Les performances de cette architecture ont été appréciées pour une liaison optique du type IM/DD. Ces performances ont été comparées à celles d'une liaison optique IM/DD basée sur la DFT-OFDM. Les liaisons réalisées se sont basées sur la DCO pour la garantie de la positivité des symboles à transmettre et la modulation externe a été exploitée pour la transmission des informations.

## 2. Matériel et méthodes

Comme nous l'avons dit précédemment, nous avons proposé une architecture pour la transmission des symboles issus d'une constellation complexe. La **Figure** suivante en retrace les grandes lignes.



**Figure 1 : Synoptique de la liaison réalisée**

Les bits issus de l'image à transmettre sont convertis en symboles QAM. Ces symboles sont regroupés en vecteurs de  $n$  symboles. Chaque symbole QAM est séparé en deux parties : la partie réelle et la partie imaginaire. Chaque vecteur de  $n$  symboles QAM engendre donc deux vecteurs de  $n$  éléments réels ; chacun constitué respectivement de la partie réelle et de la partie imaginaire du vecteur initial. Les vecteurs ainsi obtenus sont envoyés en entrée de l'IDHT l'un à la suite de l'autre. Un préfixe cyclique est ensuite ajouté à chaque vecteur et ces derniers sont remis en série. Une composante continue est ajoutée pour garantir la positivité des différents symboles à transmettre.

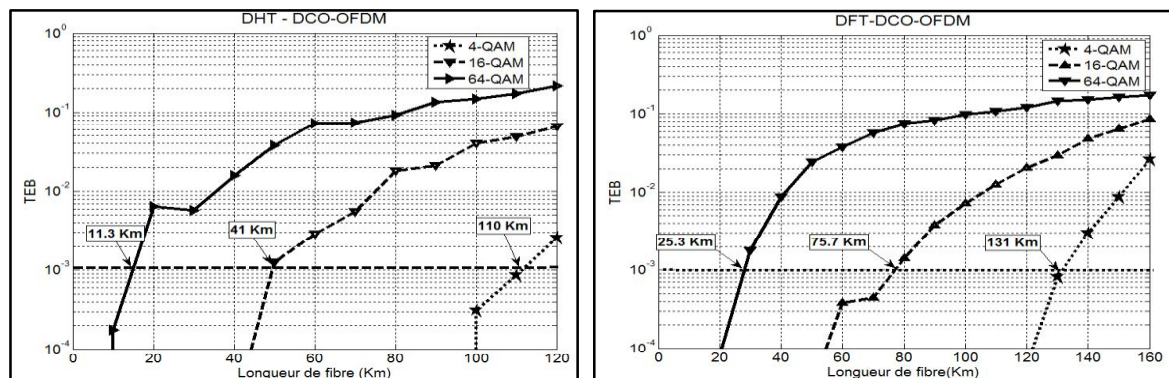
A la réception, les différents symboles reçus sont débarrassés du préfixe cyclique et envoyés par vecteurs de  $N$  symboles aux entrées de la DHT. Une estimation du canal est réalisée de même qu'une égalisation des symboles reçus. Ensuite, les parties réelles et imaginaires des symboles envoyées les unes à la suite des autres à l'émission sont utilisées pour la reconstitution des différents symboles QAM initiaux. La démodulation QAM s'en suit et l'image envoyée est reconstituée. La méthodologie adoptée est une co-simulation entre OptiSystem 7.0 et Matlab 7.10. Le modulateur et le démodulateur ont été implémentés dans Matlab. La qualité de la liaison a été appréciée grâce au calcul du TEB en se basant sur la méthode de Monté Carlo. De même, pour une appréciation qualitative de la transmission, la dégradation visuelle de l'image a été également pour nous un critère d'évaluation de la transmission. La liaison optique a été réalisée dans OptiSystem en se basant sur une modulation externe. Un laser à émission continue a donc été utilisé; couplé avec un modulateur électro-absorbant (EAM). La fibre utilisée est monomode ( $D=16.75$  ps/nm/km,  $\alpha = 0.2$  dB/km). Le **Tableau** suivant présente les paramètres utilisés pour les différents composants.

**Tableau 1 : Paramètre des composants optiques**

Paramètres	Valeurs
<b>Laser</b>	
Puissance d'émission	12 dBm
Fréquence de fonctionnement	193.1THz
<b>EAM</b>	
Indice de modulation	0.95
<b>Photodiode PIN</b>	
Sensibilité	0.9A/W
Courant d'obscurité	1nA
Bruit Thermique	1e-22 W/Hz

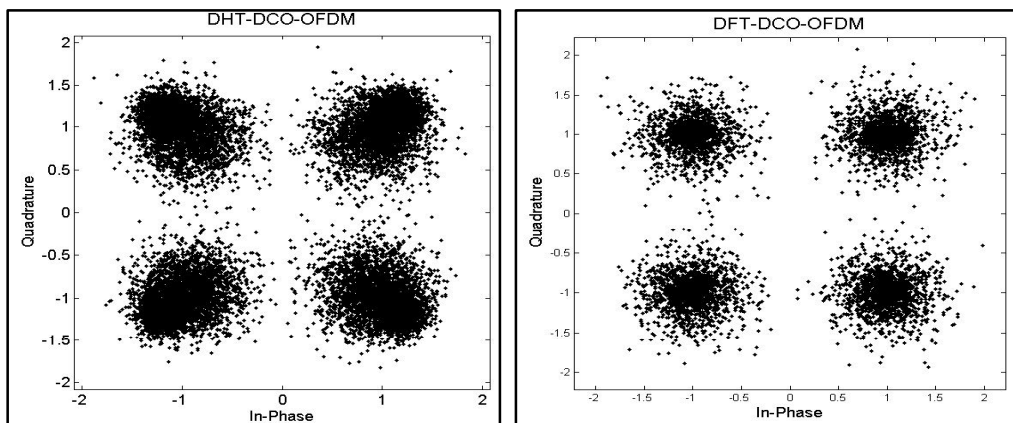
### 3. Résultats

L'objectif de ce travail est d'apprécier les performances de la DHT-OFDM basée sur l'algorithme proposé. La liaison a été mise en place et simulée à 10 Gbits/s, pour 64 sous-porteuses, pour un préfixe cyclique de 1/16, pour 256 symboles OFDM et pour des tailles de constellation différentes. Une fois la liaison mise en place, nous avons évalué le TEB en fonction de la longueur de fibre pour un budget optique de 25 dB. Dans un souci de comparaison entre la DHT-OFDM et la DFT-OFDM, cette même liaison a été reprise en se basant sur la DFT-OFDM. Les résultats sont présentés à la **Figure** suivante.



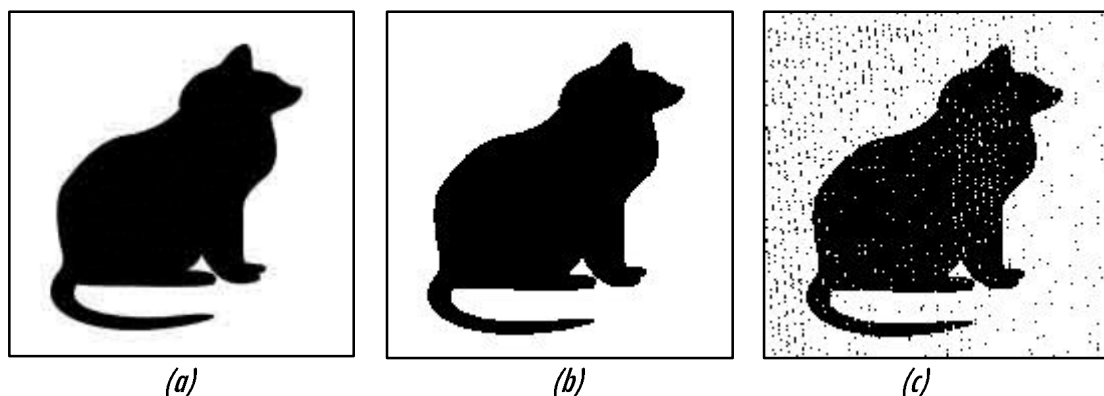
**Figure 2 : Taux d'erreur binaire en fonction de la longueur de fibre**

Nous avons également apprécié les liaisons en observant les constellations à 100 Km de fibre pour la 4 QAM. La **Figure** suivante présente ces constellations.



**Figure 3 :** Constellation DHT-DCO-OFDM et DFT-DCO-OFDM - 4QAM - 100 km

Afin de toujours apprécier la qualité de la transmission, nous avons transmis à travers la liaison une image noir et blanc et avons visualisé l'image reçue en bout de chaîne. Nous montrons à la **Figure** suivante l'image envoyée, l'image reçue avec la DFT-OFDM puis avec la DHT-OFDM au bout de 120 km de fibre



**Figure 4 :** (a) Image envoyée (b) Image reçue DFT-OFDM - 120 km (c) Image reçue DHT-OFDM - 120 km

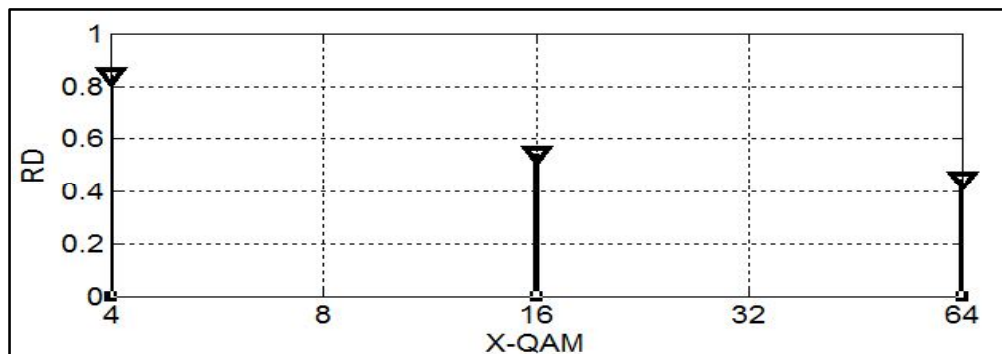
#### 4. Discussion

Le tout premier constat est le fait que l'algorithme proposé permet de réaliser des liaisons opérationnelles. En effet, avec les symboles 4-QAM, le TEB est inférieur à  $10^{-3}$  jusqu'à une distance de fibre de 110 km (**Figure 2**). Toutefois, les performances de la DHT-OFDM sont moins intéressantes que celles de la DFT-OFDM. En effet, pour toutes les tailles de constellation QAM, le TEB de la liaison basée sur la DFT-OFDM est plus petit que celui de la liaison basée sur la DHT-OFDM pour une même distance de fibre (**Figure 2**). Toujours en nous basant sur la **Figure 2**, nous avons également évalué l'impact de l'augmentation de la taille de la constellation QAM sur les performances de nos liaisons. En effet, pour la 4-QAM, les distances atteintes par les deux variantes (DHT-OFDM et DFT-OFDM) sont relativement proches. En augmentant la taille de la QAM (16-QAM et 64-QAM), on remarque que ces distances s'éloignent de plus en plus.

Pour apprécier quantitativement ce phénomène, nous avons défini un facteur d'appréciation qu'on a nommé « Rapport Distance (RD) ».

$$RD = \frac{\text{Distance DHT-OFDM}_{TEB=10^{-3}}^{x-QAM}}{\text{Distance DFT-OFDM}_{TEB=10^{-3}}^{x-QAM}} \quad (1)$$

RD est donc fonction de la taille de la constellation (x-QAM). Nous avons donc calculé le RD pour les trois tailles de constellation de la **Figure 2**. Les résultats sont représentés à la **Figure** suivante.



**Figure 5 :** RD en fonction de la taille de la constellation QAM

Nous constatons que le RD diminue avec la taille de la QAM ; on en déduit que les performances de la DHT-OFDM se dégradent plus vite que celles de la DFT-OFDM lorsqu'on augmente la taille de la constellation. De même, en comparant les constellations des symboles reçus pour la DHT-OFDM et la DFT-OFDM (**Figure 3**), les symboles de la DFT-OFDM sont moins dispersés que ceux de la DHT-OFDM. Enfin, en observant la dégradation de l'image transmise à travers les deux liaisons à une distance de fibre de 120 km (**Figure 4**), la liaison DFT-OFDM est de meilleure qualité que la liaison basée sur la DHT-OFDM. Ces constats confirment les résultats obtenus dans la littérature. En matière de débit utile, la DFT-OFDM et la DHT-OFDM s'équivalent pour le système proposé. En effet, pour la transmission d'un symbole QAM, les deux techniques engendrent deux symboles qui passent sur la liaison. Pour la DFT-OFDM, cette duplication provient de la symétrie hermitienne alors que pour la DHT-OFDM, elle provient de la séparation de la partie réelle et de la partie imaginaire des symboles à transmettre. Pour ce qui est de la complexité d'implémentation, nous avons le système proposé qui réduit de moitié la complexité en référence au nombre de multiplications réelles et au nombre d'additions réelles que nécessitent la FHT et FFT. En effet, la FFT nécessitent  $N \log_2 N - 3N + 4$  multiplications réelles et  $3N \log_2 N - \frac{5N}{2} + 4$  additions réelles. Pour la FHT, nous avons  $(N \log_2 N - 3N + 4)/2$  multiplications réelles et  $(3N \log_2 N - 3N + 4)/2$  additions réelles (Ji Zhou, 2014). Nous en avons conclu que cette technique diminue de moitié la complexité d'implémentation.

## 5. Conclusion

Le présent travail présente une liaison optique IM/DD basée sur la DHT-OFDM. La particularité de ce travail est la proposition d'un algorithme qui permet de transmettre des symboles QAM à travers une telle liaison. Les performances de cette liaison ont donc été évaluées pour un débit de 10 Gbits/s et nous avons constaté que pour la 4-QAM, la liaison était bonne jusqu'à une distance de fibre de 110 km avec un budget optique de 25 dB. Les performances de cette liaison ont été confrontées à celles de la DFT-OFDM.

Nous avons constaté que les performances (TEB en fonction de la distance de fibre) de la DFT-OFDM sont meilleures en comparaison avec la DHT-OFDM. En matière de débit utile, les deux techniques s'équivalent. Toutefois, en matière de complexité d'implémentation, la DHT-OFDM est meilleure que la DFT-OFDM.

### Références

- [1] - PATRICK SOTINDJO et LÉOPOLD DJOGBE, Comparative study of multiplexing technics DHT-OFDM and DFT-OFDM for IM/DD optical link [Revue] // *International Journal of Computer and Information Technology*, (2014) pp 553 - 556.
- [2] - CHIN-KUO JAO, SYU-SIANG LONG et MUH-TIAN SHIUE, On the DHT-based Multicarrier Tranceiver over Multipath Fading Channel [Revue] // *IEEE*, (2009) pp 1662 - 1666.
- [3] - JI ZHOU et al. A Cost-Effective and Efficient Scheme for Optical OFDM in Short-Range IM/DD Systems [Revue] // *Photonics Technology Letters, IEEE*, (2014) pp 1372 - 1374.
- [4] - ARMSTRONG JEAN, Comparison of Asymmetrically Clipped Optical OFDM and DC-Biased Optical OFDM in AWGN [Revue] // *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, (2008) 343 - 345.
- [5] - CHIN-KUO JAO, SYU-SIANG LONG, MUH-TIAN SHIUE, DHT-Based OFDM System for Passband Transmission Over Frequency-Selective Channel [Revue] // *IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS*, (2010) pp 699 - 702.
- [6] - MAX FREJUS SANYA et al., Evaluation De L'impact Des Techniques Aco et Dco Sur Les Performances D'une Liaison Ofdm Sur La Fibre Pour Les Reseaux D'accès Pon De Nouvelle Generation [Conférence] // *Journées Nationales de l'Optique Guidée. - France : [s.n.]*, 2012.
- [7] - SHAFIK RISHAD AHMED et al. On The Error Vector Magnitude As A Performance Metric And Comparative Analysis [Revue] // *IEEE-ICET, 2nd International Conference on Emerging Technologies*, (2006) pp 27 - 31.
- [8] - VINAY KUMAR SINGH SHILPI GUPTA, UPENA D. DALAL, Performance Comparison of Discrete Hartley Transform (DHT) and Fast Fourier Transform (FFT) OFDM System in AWGN Channel [Revue] // *International Journal of Computer Applications*, (2013) pp 1 - 4.
- [9] - ZAKARIASEMBIRING M SYAHRUDDIN, Performance Analysis of Discrete Hartley Transform Based [Revue] // *IEEE, Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation*, (2012) pp 674 - 679.