

## Etude et Analyse d'un Réseau d'Accès Optique Passif (PON)

Abdelkader TEMMAR    Hocine OULD SAADI    Abdelmadjid BOUTALEB    Abdelfettah CHENIKA

Laboratoire de Recherche Appliquée en TIC  
Institut National des Télécommunications et TIC Oran

### **Résumé:**

*Notre travail basé sur des travaux de simulations consiste à étudier et analyser un réseau optique passif (PON) en mode TDM (Time Division Multiplexing) afin de constater ses capacités vis-à-vis des exigences en bande passante et en distance. Ce réseau est orienté vers l'accès au service triple play (voix, données et vidéo).*

*L'objectif de cette étude est de montrer l'efficacité d'un tel système en vue de sa faisabilité et son déploiement sur un réseau d'accès optique optimal qui permettrait aux clients finaux de bénéficier de tous les avantages que peut leur offrir un tel réseau.*

**Mots clés:** FTTX/ TDM / réseau optique/ PON/ GPON / triple play/ fibre optique.

### **Abstract :**

*Our work based on simulations work is to study and analyze a passive optical network (PON) mode TDM (Time Division Multiplexing) to see its capabilities vis-à-vis the bandwidth requirements and distance.*

*This network is oriented to access triple play services (voice, data and video).*

*The objective of this study is to show the effectiveness of such a system to its feasibility and optimal deployment of optical access network that would allow end users to enjoy all the benefits that can offer such a network.*

**Keywords:** FTTX / TDM / optical network / PON / GPON / triple play / fiber.

### **I Introduction :**

Le début de ce millénaire coïncide avec des changements dans les réseaux de télécommunications. Ceci est dû à l'évolution du style de vie et du comportement des utilisateurs et particulièrement en bande passante et à leur exigence en qualité de service. Ainsi, tous ces changements ont conduit à améliorer les caractéristiques des réseaux afin qu'ils puissent faire face aux différents débits et services, dont l'utilisateur principal est demandeur.

Dans un marché des télécommunications en pleine mutation, le réseau d'accès constitue le chaînon manquant au développement, vers les usagers utilisateurs des services à très haut débit. Ceci aujourd'hui mais surtout demain, avec l'expansion explosive de l'Internet.

Dans ce contexte, la refonte des réseaux d'accès n'apparaît plus aujourd'hui comme une alternative, mais constitue une condition essentielle au maintien de l'attractivité numérique des territoires [1].

Globalement, c'est la technologie xDSL (*Digital Subscriber Line*) qui domine actuellement le marché d'accès haut débit. Cependant, même si elle permet, d'ores et déjà aux opérateurs des services Internet d'offrir des débits importants, cette offre reste très inférieure par rapport à ce que peuvent offrir les technologies optiques pour les nouveaux services tel que le "triple-play" (voix, donnée et vidéo) que le réseau ADSL (téléphonique) traditionnel ne permet plus de couvrir.

En effet, avec l'arrivée de la télévision numérique à très haut débit (TNT), l'augmentation des tailles des photos et vidéos numériques d'une part, et le besoin de partage de fichiers de tailles importantes, en des temps records, et d'autre part, le besoin en bande passante, ne cessent de croître de jours en jours [2,3].

Ainsi, le passage à l'optique dans la boucle locale, connue sous le terme générique FTTx (Fiber To The x) où la "variable" x décrivant le point d'aboutissement de la fibre optique dans le réseau d'accès, selon une architecture donnée, répond aux différents besoins de l'utilisateur.

Notre travail s'inscrit dans cette dynamique, et l'originalité de notre approche consiste à étudier et analyser un réseau optique passif (PON) en mode TDM (*Time Division Multiplexing*) afin de constater ses capacités vis-à-vis des exigences en bande passante et en coût de déploiement [5].

Notre objectif à travers cet article est d'élaborer un cahier de charge qui contient toutes les recommandations et les exigences pour un déploiement du réseau d'accès optique optimal qui permettrait aux clients finaux de bénéficier de tous les avantages que peut leur offrir un tel réseau.

## **II. Réseaux d'accès passifs PON (Passive Optic Network) :**

Les technologies PON constituent aujourd'hui une référence en matière de réseaux d'accès très haut débit avec très forte capacité de transport et un minimum d'infrastructures en fibres. Ces technologies utilisent comme infrastructure sous-jacente des fibres optiques passives, car les équipements de la partie intermédiaire de ces réseaux sont inactifs : ils ne sont pas alimentés en électricité et n'embarquent aucune électronique. Ces réseaux permettent un service d'acheminement de flux bidirectionnels et multimédia à très haut débit, jusqu'à l'utilisateur final [3,4].

Les réseaux PON ont fait l'objet de procédures de normalisation au niveau international par les principaux organismes de normalisation : l'ITU (*International Telecommunication Union*), le FSAN (*Full Service Access Network*) et l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

### **II.1 Architecture d'un réseau PON :**

Un réseau PON donné par la figure 1 comporte un nœud de distribution central, sur lequel sont connectées des sources multiples de services (vidéo, Internet et téléphonie classique). Ce nœud, localisé au NA (nœud d'accès), est lui même interconnecté, via la fibre optique, aux utilisateurs.

Les trois principaux éléments constitutifs du PON sont :

- Au niveau du central, un équipement actif, qui envoie et reçoit les signaux lumineux porteurs des données. Cet équipement est appelé communément OLT pour « Optical Line Termination » ou « Terminaison de Ligne Optique ».

- Au niveau d'abonné, un équipement actif qui assure la connexion du réseau sur les interfaces spécifiques de ce dernier (RJ45 cuivre pour le PC sur Internet, connecteur coaxial pour la télévision, RJ11 cuivre pour le téléphone analogique, ...). Cet équipement est appelé communément ONU ou ONT pour « Optical Network Unit», « Optical Network Terminal» ou « Terminaison de Réseau Optique ».
- Des composants passifs ou actifs, installés sur le cheminement de la fibre optique entre l'OLT et les ONU. Ils ont pour rôle de partager le signal optique pour la voie dite descendante (de l'OLT vers les ONUs) et de recomposer le signal à partir des multiples signaux remontants dans l'autre sens (des ONUs vers l'OLT). Ces équipements sont appelés communément « splitter » ou « routeur ».

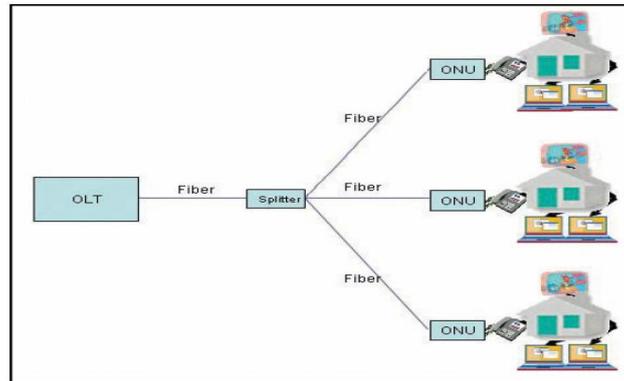


Fig.1 : Schéma d'un réseau PON

## II.2 Principe de fonctionnement d'un réseau PON:

Pour la **voie descendante** (figure 2.1), on utilise une longueur d'onde porteuse de 1,49 ou 1,55 $\mu\text{m}$  avec transmission de toutes les données aux différents utilisateurs. Le choix de cette longueur d'onde est dû au fait qu'elle permet un plus grand débit et un budget en puissance plus efficace.

Les données envoyées par l'OLT sont étiquetées en fonction de leur destinataire. Tous les ONT reçoivent toutes les données mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné. Le débit instantané du PON est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent des données. Si un seul abonné télécharge, il peut disposer de tout le débit maximum autorisé par le PON (sauf limitation mise en place par l'opérateur, par choix commercial ou technique vis à vis de son réseau de collecte).

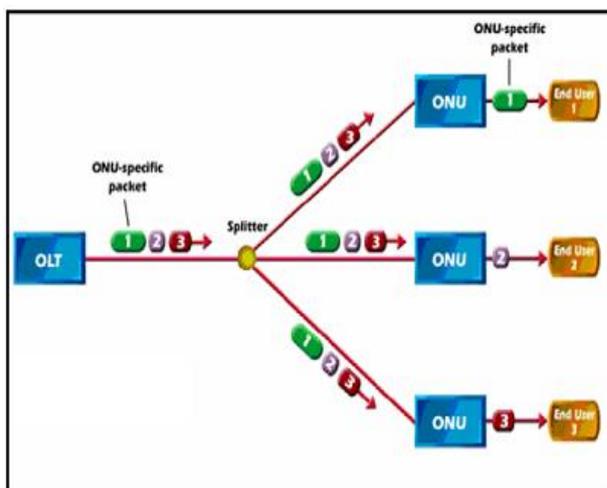


Fig.2.1 : Trafic descendant dans un PON.

Pour la **voie montante** (figure 2.2), on utilise une longueur d'onde à 1,31µm avec des débits moins importants et des équipements moins coûteux (laser Pérot Fabry). Les utilisateurs sont multiplexés temporellement au niveau du diviseur.

Le coupleur étant passif, et les ONT émettant tous dans la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT parvenaient simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT. On utilise donc un partage du "temps de parole".

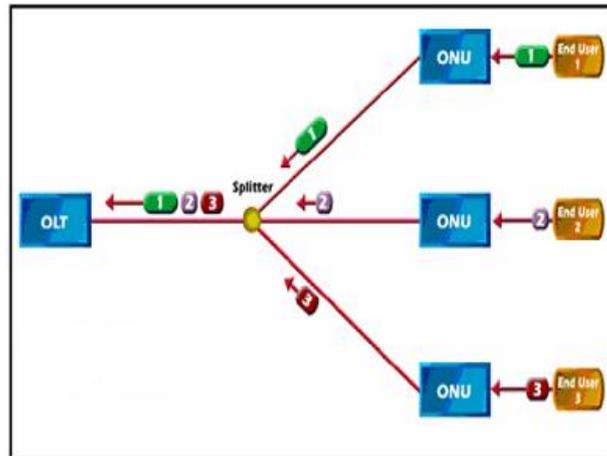


Fig.2.2 : Trafic montant dans un PON.

### II.3 Les classes des PONs :

Une principale préoccupation des diverses caractéristiques de PON est de prescrire les gammes d'atténuation qui sont autorisées entre l'émetteur optique et le récepteur aux distances de transmission de 10 et 20 kilomètres. La recommandation G.983.1 d'ITU-T définit trois classes de performance suivant les grandeurs d'atténuations [8, 9, 10] données par le tableau 1.

Paramètres	Classe A	Classe B	Classe C
Pertes minimums	5 dB	10 dB	15 dB
Pertes maximums	20 dB	25 dB	30 dB

Tab. 1: Classes de performances

Le tableau 2 montre les plus longues distances de transmission permises pour différentes classes sous des conditions idéales suivant le type de splitter et les atténuations causée.

Pour une longueur d'onde de 1550 nm, on considère une atténuation de 0.25 dB/km et pour une longueur d'onde de 1310 nm, on considère une atténuation de 0.35 dB/km.

Type de Splitter	Pertes du Splitter (dB)	Distance par classe (Km)		
		Classe A	Classe B	Classe C
1 : 16	14	13	33	53
1 : 32	17	2	22	42
1 : 64	20	0	11	31

Tab.2 : Portées permises pour les trois classes.

Source: Gerd Keiser, « *FTTX Concepts and Applications* », IEEE PRESS, 2006

### III. Travaux de simulation :

#### III.1 Introduction :

Nos travaux de simulations sont réalisés avec le logiciel scientifique Optsim de Rsof, logiciel de conception, de simulation et d'optimisation des systèmes de télécommunications par fibre optique.

Le réseau à simuler est un réseau GPON typique avec les services triple play

Les services du triple play sont considérés comme suit :

- Le service voix (téléphone) est représenté comme un service VoP, (Voix over IP), protocole à commutation de paquets
- Le service Internet haute vitesse est représenté par des liaisons de données différentes avec un débit de 1,25 à 10 Gbit/s en aval.
- Le service vidéo est représenté comme une sous-porteuse 16 QAM (Modulation d'amplitude en quadrature multiplexé).

L'optimisation de la bande passante dans le GPON est obtenue par le multiplexage en longueur d'onde WDM en attribuant la gamme 1480-1500nm pour les composants des données et la voix et la gamme 1550-1560nm pour la composante vidéo [6, 7].

#### III.2 Schéma du réseau à simuler :

Afin d'analyser les performances du réseau en mesurant le taux d'erreur binaire et le diagramme de l'œil, on fera varier la distance de la liaison (L=10km, 15km, 20km) et le débit binaire entrant (D = 622.5Mbits/s, 1.25Gbits/s, 2.48Gbits/s).

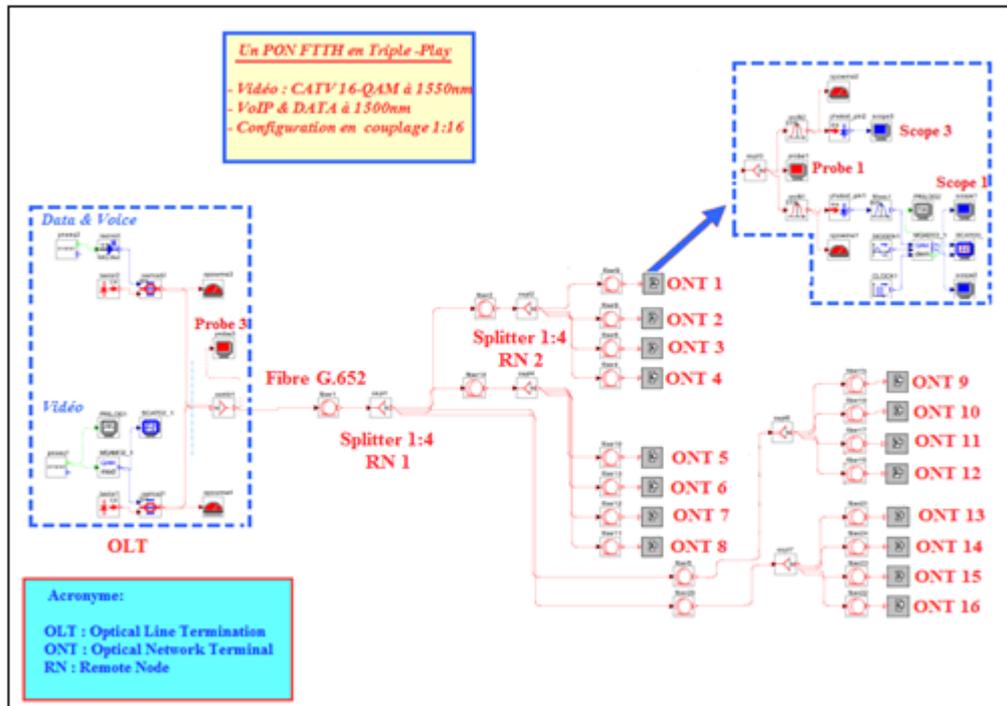


Fig.3 : Schéma du réseau à simuler.

### III.3 Résultats et interprétation :

Les résultats présentés concernent un seul ONT (un abonné), les mêmes résultats sont enregistrés pour les autres ONT.

#### III.3.1 Signal et puissance d'émission :

Le spectre optique du signal d'émission regroupant données, voix et vidéo relevé au niveau de la sortie de l'OLT est donné par la figure 4 avec une puissance  $W_{in}=25\text{dB}$

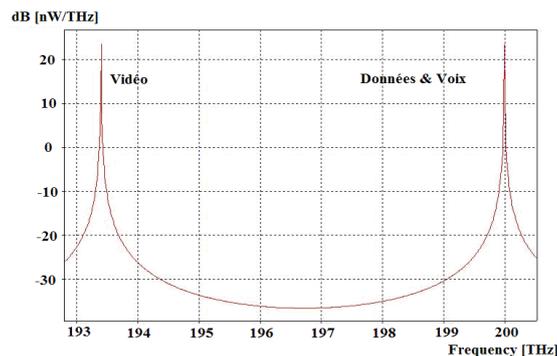


Fig.4 : Signal total à la sortie de l'OLT.

#### III.3.2 Mesure de la qualité du réseau à débit fixe =1,25Gb/s :

Les graphes du signal total reçu et relevé au niveau de l'ONT pour les différentes portées sont donnés par la figure 5.

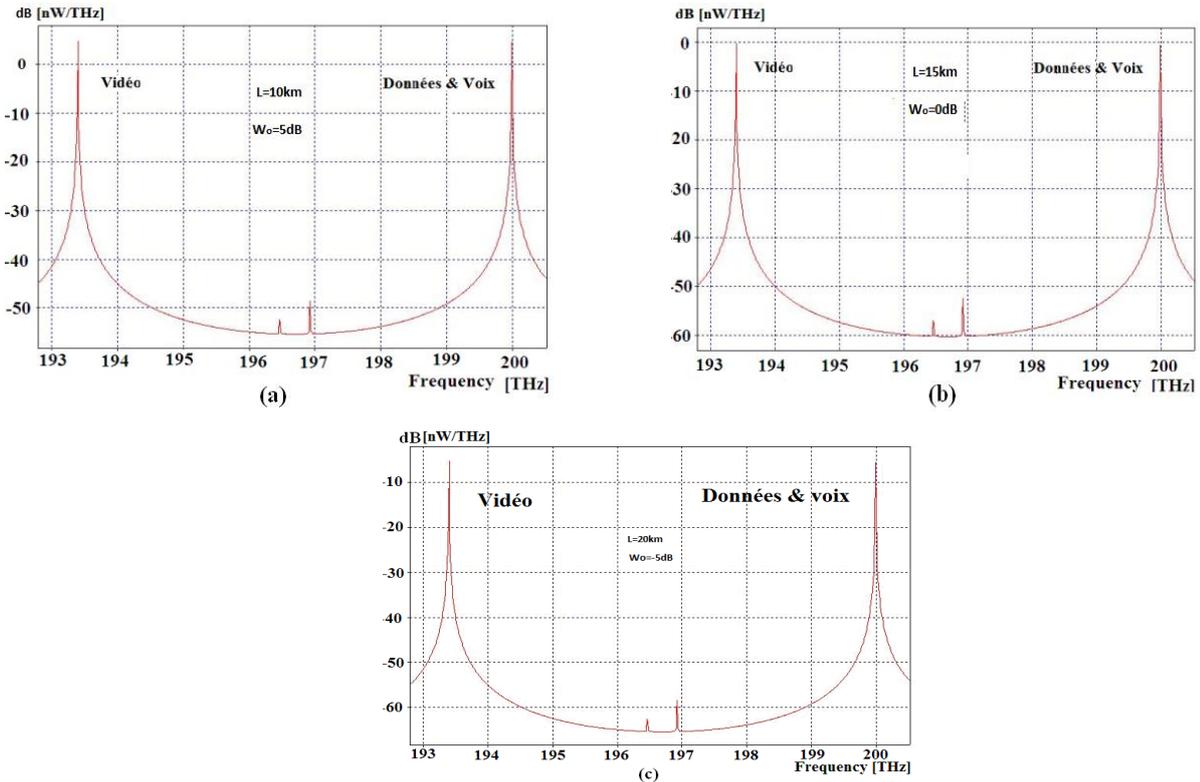


Fig.5 : Relevé des signaux reçus pour les trois portées.  
 (a) L= 10 km, (b) L= 15 km, (c) L= 20 km.

Les sauts au alentour de la fréquence 197 THz sont dûs à la non-linéarité de la fibre FWM mélange entre les longueurs d'onde.

Les graphes du diagramme de l'œil pour les données et la voix relevés à la réception sont donnés par la figure 6.

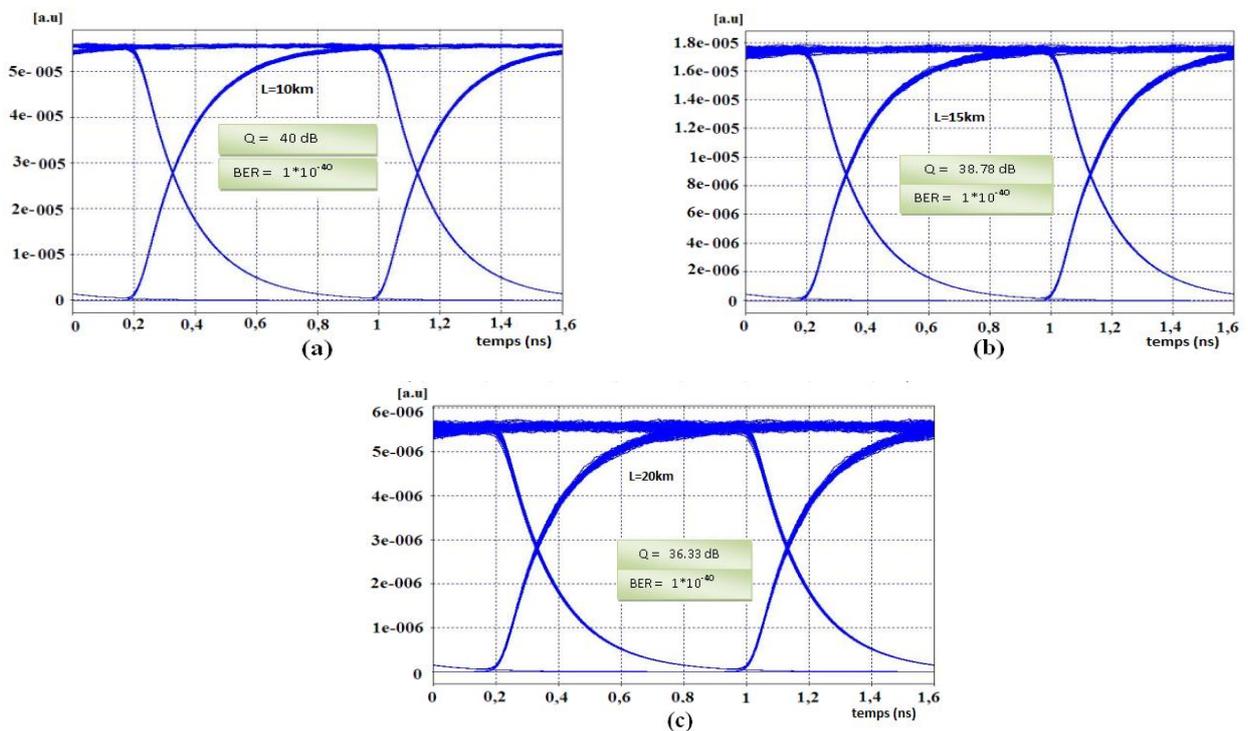


Fig.6 : Diagramme de l'œil pour données et voix pour les trois portées.  
 (a) L= 10 km, (b) L= 15 km, (c) L= 20 km.

Les graphes du diagramme de l'œil pour la vidéo relevés au niveau de l'ONT sont donnés par la figure 7.

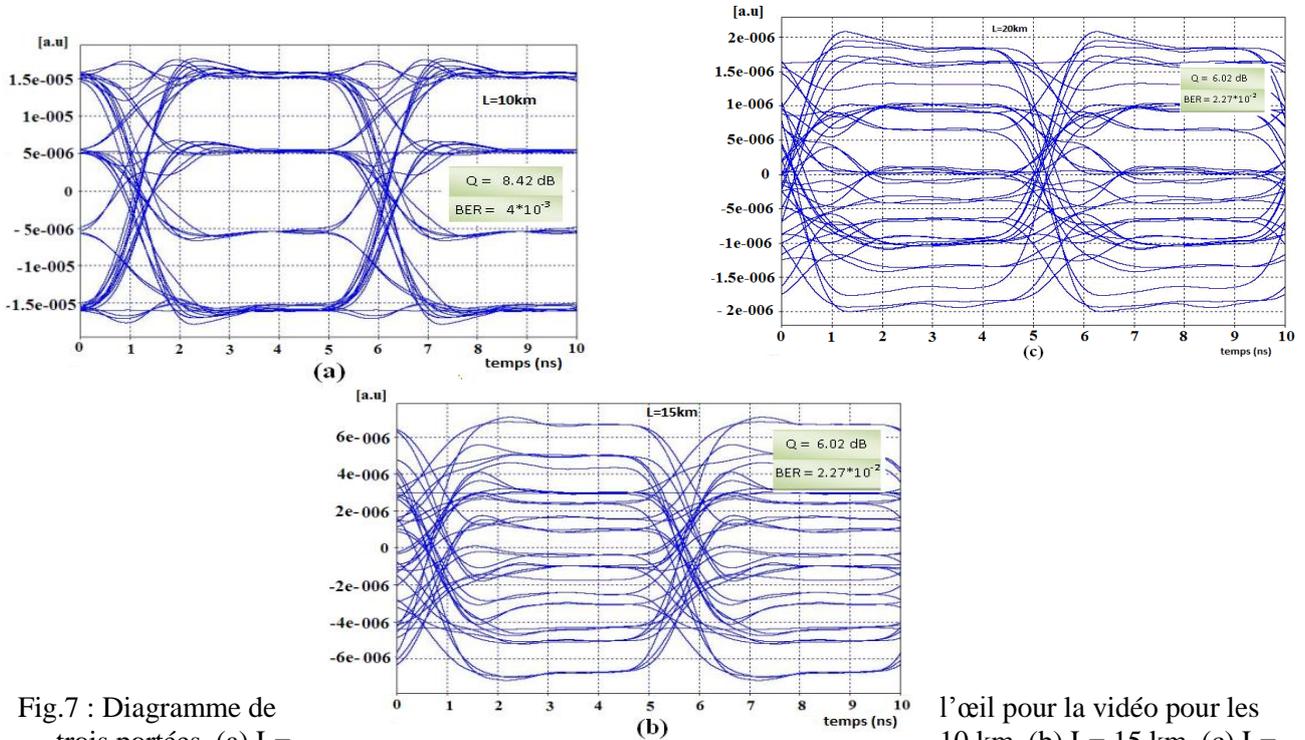


Fig.7 : Diagramme de trois portées. (a) L= 20 km.

l'œil pour la vidéo pour les 10 km, (b) L= 15 km, (c) L=

### III.3.3 Interprétation des résultats :

Le tableau 3 résume les résultats obtenus :

Distance (Km)	Atténuation ( $W_{in}-W_{out}$ ) (dB)	Qualité du signal			
		Voix & Donnés		Vidéo	
		Q (dB)	BER	Q (dB)	BER
10	20	40	$10^{-40}$	8.42	$4 \times 10^{-3}$
15	25	38.78	$10^{-40}$	6.02	$2.3 \times 10^{-2}$
20	30	36.33	$10^{-40}$	6.02	$2.3 \times 10^{-2}$

Tab.3 : Résumé des résultats de mesure en fonction de la portée.

On relève que l'atténuation augmente avec l'augmentation de la portée et ceci est dû aux pertes de la fibre. Les valeurs de l'atténuation sont bien dans la marge spécifiée par la recommandation l'ITU-T (voir II.3), quant à la dernière, elle à la limite de la marge autorisée, donc la distance maximum pour les GPON est de 20Km au maximum.

La qualité du signal des données et la voix reste satisfaisante et varie peu en fonction de la distance. Pour le cas du signal vidéo, le taux d'erreur binaire (BER) et le facteur de qualité Q sont dégradés pour les différentes valeurs de la distance.

La transmission du signal vidéo ne devrait pas se faire avec de telles valeurs, pour remédier à ce problème, on propose de changer de type de modulation et mettre des filtres plus performants.

### III.3.4 Mesure de la qualité du réseau pour débit variable:

La portée étant fixée à 15 Km et le débit est variable avec 622,5Mbits/s; 1,25 Gbits/s et 2,48 Gbits/s.

Les graphes du diagramme de l'œil des données et la voix relevés au niveau du l'OLT sont données par la figure 8.

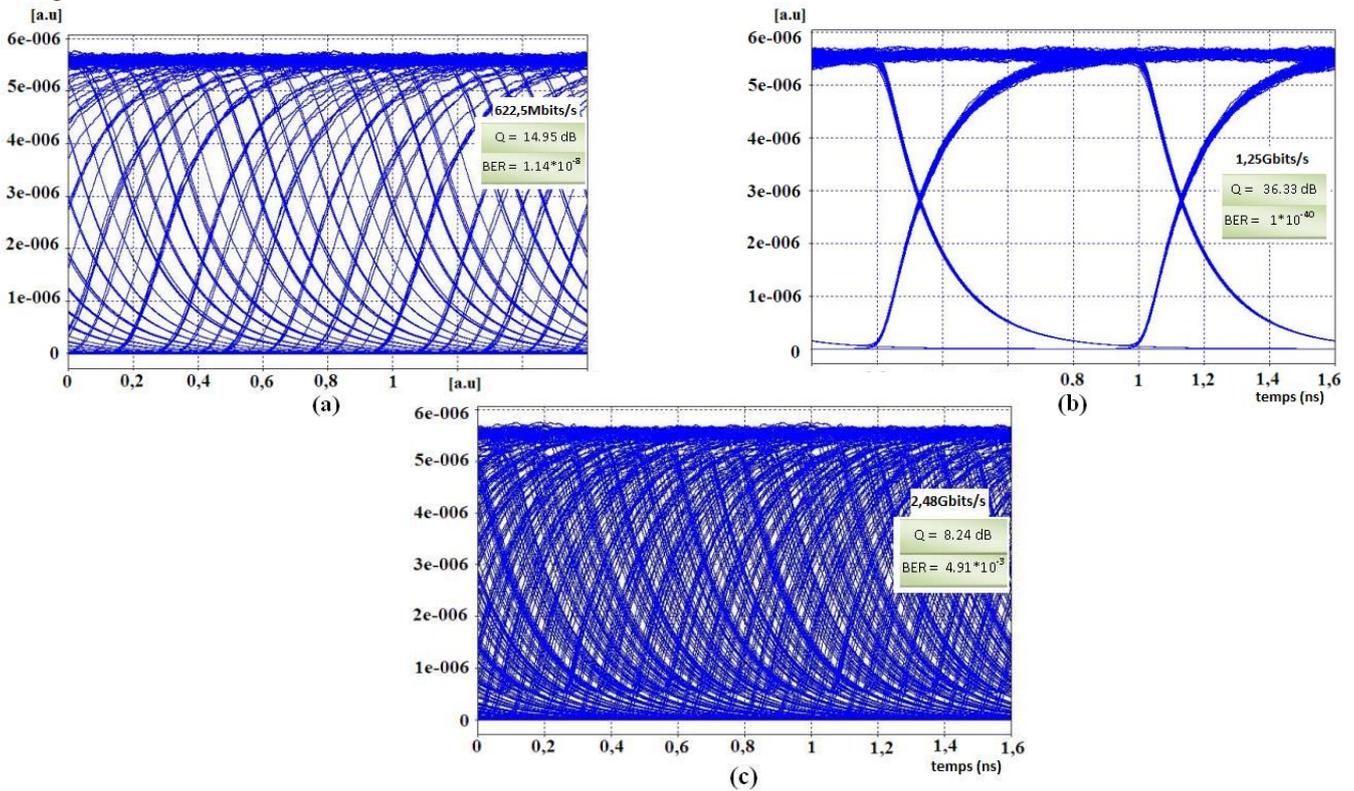


Fig.8 : Diagramme de l'œil pour données et voix pour les trois débits. (a) D= 622Mbps, (b) D=1,25Gbps, (c) D= 2,48Gbps.

### III.3.5 Interprétations des résultats :

Les résultats de cette simulation sont résumés sur le tableau 4.

Débit (Gbits/s)	Diagramme de l'œil	
	Q (dB)	BER
0.622	14.95	$1.14 \cdot 10^{-8}$
1.25	36.33	$10^{-40}$
2.48	8.24	$4.91 \cdot 10^{-3}$

Tab.4 : résumé des mesures en fonction du débit.

On relève dans cette simulation que le facteur de qualité Q et le taux d'erreur BER pour le service voix et données varient en fonction du débit d'entrée.

Pour le débit de 1.25 Gbits/s, le facteur de qualité et le taux d'erreur sont satisfaisants, ce qui est d'ailleurs montré par le digramme de l'œil où l'ouverture est bonne. Par contre, pour les autres débits la qualité du signal est mauvaise

Ceci peut être expliqué par le fait que la technologie GPON est utilisée au alentour du débit de 1.25Gbits/s.

#### **IV Conclusion :**

Les résultats de simulations obtenus en faisant varier la distance de la liaison et le débit binaire entrant, peuvent être utilisés pour optimiser les performances de la conception du système appliqué.

Le réseau PON qu'on peut établir à partir de ses simulations doit avoir les points suivants :

- Pour avoir une atténuation acceptable, le réseau PON doit avoir une distance variable entre 10km et 20km.
- Un débit optimal de transmission au alentour de 1.25 Gbits avec une architecture standard pour garantir une bonne qualité du signal.
- La possibilité d'augmenter le débit doit être accompagnée par le remplacement de l'équipement d'utilisateur, en particulier filtres électriques.

Le réseau PON est une solution efficace et relativement peu coûteuse répondant au problème de partage de la bande passante.

#### **V Bibliographie :**

- [1] Gerd Keiser, "FTTX Concepts and Applications", Wiley-Interscience 2006.
- [2] Josep Prat, Next-Generation FTTH Passive Optical Networks, Springer, 2008.
- [3] Paul E. Green Jr, "Fiber to the home: the new empowerment", wiley-interscience 2006.
- [4] Chinlon Lin, "Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home", A John Wiley & Sons Ltd, 2006 .
- [5] S.H. Shah Newaz, Ángel Cuevas, Jun Kyun Choi "Improving energy saving in time-division multiplexing passive optical networks", IEEE Internet Computing, January/February 2013.
- [6] K. Cho and all, "Self-polarization-stabilization technique for long-reach coherent WDM PON", in Optical Fiber Communication Conference and the National Fiber Optic Engineers Conference, OFC/NFOEC 2010, 2010, pp. 1-3.
- [7] Jongdeog Kim, Chang-Soo Park, "Optical design and analysis of CWDM upstream TWDM PON for NG-PON2" Optical Fiber Technology Volume 19, Issue 3, June 2013, Pages 250–258 [www.elsevier.com/locate/yofte](http://www.elsevier.com/locate/yofte)
- [8] S. Jung, K. Cho, Y. Takushima, and Y. Chung, "Recent progresses in coherent WDM PON technologies", in 12th International Conference on Transparent Optical Networks, ICTON 2010, July 2010, pp. 1-10.
- [9] FTTx Solution White Paper ZTE, [www.zte.com.cn](http://www.zte.com.cn), 2010
- [10] <http://www.jdsu.com/en-us/optical-communications/applications/fttx-pon-networks>