

PÉRENNITÉ DES RÉSEAUX OPTIQUES

DOSSIER TECHNIQUE FTTH PON

Évolution vers les réseaux PON à 10 Gbit/s symétriques XGS-PON : quels impacts sur les infrastructures actuelles ?



AVANT-PROPOS

Le Plan France Très Haut Débit (THD), lancé au printemps 2013, représente un investissement total de près de 36 milliards d'euros* publics et privés.

Sa mise en œuvre réussie a permis le développement rapide des services « Très Haut Débit » fondé sur la technologie PON (GPON, E-PON) ; en 2023, après une longue crise sanitaire, la fibre constitue l'infrastructure télécom des prochaines décennies en France et à l'international pour connecter l'ensemble des locaux du territoire national.

Les applications multimédias, les services audiovisuels, la vidéo UHD, les réseaux mobiles 5G, les usages professionnels ont entraîné une augmentation des besoins de débits des usagers qui amène les opérateurs à augmenter le débit de tous les segments du réseau, y compris le réseau d'accès.

En outre, la fermeture programmée de la boucle locale cuivre en 2030 va entraîner une augmentation très importante du nombre d'utilisateurs qui devront être raccordés à la fibre (> **50%**), ce qui risque de générer dans de nombreux cas des réductions de bande passante.

Le passage du GPON au XGS-PON permet de répondre à ces nouveaux défis.

Ce dossier technique FTTH vient enrichir notre collection « Pérennité des réseaux ».

Après un rappel sur la technologie PON, on y aborde, d'une part l'évolution technologique des réseaux GPON vers des réseaux de débit supérieur comme le XGS-PON qui offre un débit de 10 Gbit/s ; d'autre part les adaptations du réseau à effectuer, les impacts et les challenges à relever pour garantir la qualité, les performances et la pérennité de ces réseaux à ces nouveaux débits.

Les évolutions technologiques comme l'augmentation du débit sont aussi à prendre en considération dans la vie du réseau, de son exploitation et sa maintenance ([voir fiche n°6 Vie du Réseau dans notre collection « Pérennité des réseaux »](#))

(* source France Stratégie)

Ce dossier est le fruit d'un travail collectif du groupe de travail « Réseaux PON » réunissant des membres du Cercle CREDO et animé par Jacques POLENI rapporteur de ces travaux. Le Cercle CREDO remercie tous les contributeurs constituant le comité éditorial : Jacques Poléni [Consul-Tel] Claude Richard [Alteis] Vincent Roger-Machart [Cogicom] Marie-Bernadette Piel [Université de Rennes] Eric Gangloff [TelecomSud Paris] Jean-Marie Fromenteau [Corning] Mathieu Husson [Infractive]

Le Cercle CREDO remercie également les représentants des sociétés et organismes suivants pour leur support : Cathy Ducker [Corning] Thierry Jouan [Avicca] Kevin Lengle [Acome] Laure Pamart [Votre Communication] Sophie Perrin [Cercle CREDO]

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	P. 04
---	--------------	-------

2	PON : UNE TECHNOLOGIE PÉRENNE	P. 06
	2-1 LES STANDARDS	
	2-2 LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE	
	2-2.1 LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL TDM	
	2-2.2 LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE WDM	
	2-2.3 MULTIPLEXAGE TEMPOREL ET EN LONGUEUR D'ONDE (TWDM)	

3	AUJOURD'HUI, GPON/EPON ET DEMAIN XGS-PON/10G-EPON (10 GBIT/S SYMÉTRIQUE)	P. 12
	3-1 LES ARCHITECTURES ACTUELLES	
	3-1.1 GPON : L'ARCHITECTURE LA PLUS DÉPLOYÉE	
	3-1.2 EPON : UNE AUTRE ARCHITECTURE	
	3-2 L'ÉVOLUTION VERS LE 10 GBIT/S	
	3-2.1 XGS-PON	
	3-2.2 10G-EPON	
	3-3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES RÉSEAUX PON À 10 GBIT/S	
	3-3.1 LONGUEURS D'ONDE DES RÉSEAUX XGS-PON ET 10G-EPON	
	3-3.2 BUDGET OPTIQUE DES RÉSEAUX GPON ET XGS-PON	
	3-3.3 BUDGET OPTIQUE DES RÉSEAUX EPON ET 10G-EPON	

4	LES IMPACTS DE L'ÉVOLUTION VERS XGS-PON (10 GBIT/S) ET AU-DELÀ	P. 16
	4-1 LES IMPACTS ÉCONOMIQUES	
	4-2 LES IMPACTS SUR LES ÉQUIPEMENTS	
	4-2.1 OLT XGS-PON	
	4-2.2 SFP XGS-PON	
	4-2.3 ONT XGS-PON	
	4-3 LES IMPACTS SUR LE DÉPLOIEMENT	
	4-4 LES IMPACTS SUR LES PERFORMANCES	
	4-4.1 IMPACTS SUR LES BILANS OPTIQUES	
	4-5 LES IMPACTS SUR LES TESTS	
	4-5.1 GÉNÉRALITÉS	
	4-5.2 INSPECTION ET TEST DE CONTINUITÉ	
	4-5.3 MESURE DE LA PUISSANCE OPTIQUE	
	4-5.4 MESURES RÉFLECTOMÉTRIQUES	

	ET APRÈS NGPON2, 25 OU 50GPON ?	P. 28
--	---------------------------------	-------

	DOCUMENTS	P. 31
--	-----------	-------

	GLOSSAIRE	P. 32
--	-----------	-------

L'évolution des réseaux PON va permettre de répondre à l'accroissement des besoins en termes de données, de vidéo, de voix et d'Internet haut débit de ces prochaines années. Les nouveaux services tels que les conférences vidéo, les jeux, le stockage dans le cloud, le télétravail, la télémédecine, le télé-enseignement ont gagné en popularité ces dernières années, renforcés par la crise sanitaire (voir graphique ci-dessous). Cette évolution vers un débit plus élevé et identique tant au niveau ascendant que descendant se retrouve dans la technologie XGS-PON.

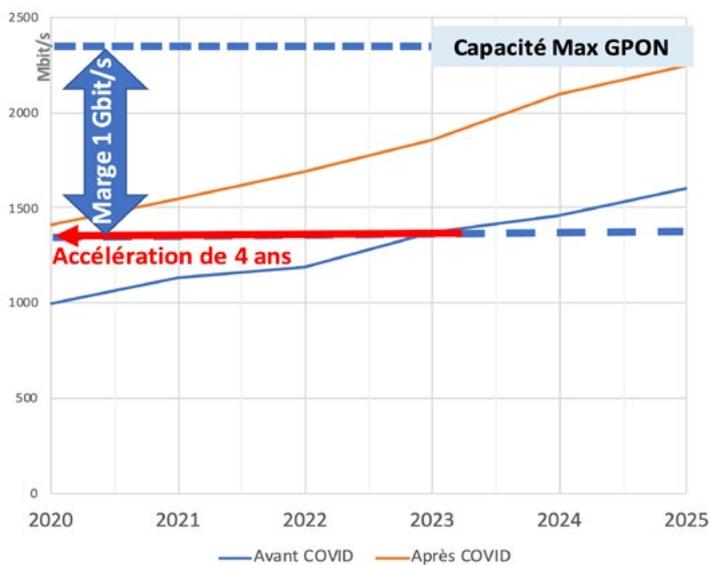


Fig. source FTTH Council. Nokia

Le graphique ci-contre donne une illustration d'une accélération de la consommation de bande passante constatée sur un réseau GPON à 32 abonnés avant et après la crise du Covid.

Cet accroissement nous amène à une réduction de bande passante à 1Gbit/s de la capacité du PON liée aux besoins exposés ci-dessus, et par conséquent à court terme pour certains réseaux à la capacité maximale. D'où le besoin d'évoluer vers des débits supérieurs comme 10 Gbit/s.

D'autres applications, comme les infrastructures mobiles de « fronthaul et de midhaul » 5G, vont venir renforcer les avantages de la norme XGS-PON symétrique en termes de performance et d'efficacité avec une réduction des temps de latence.

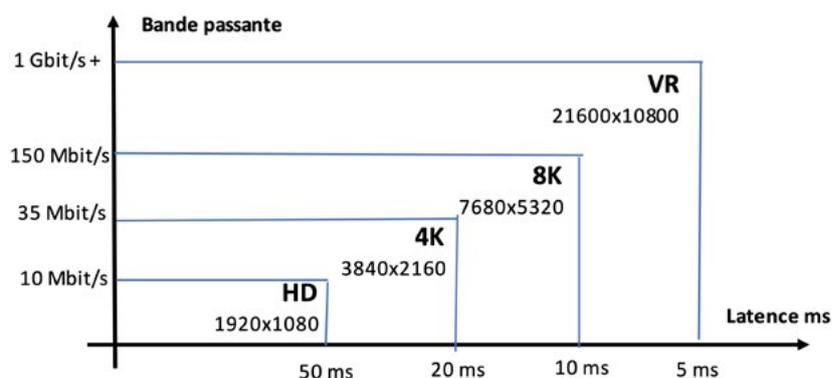


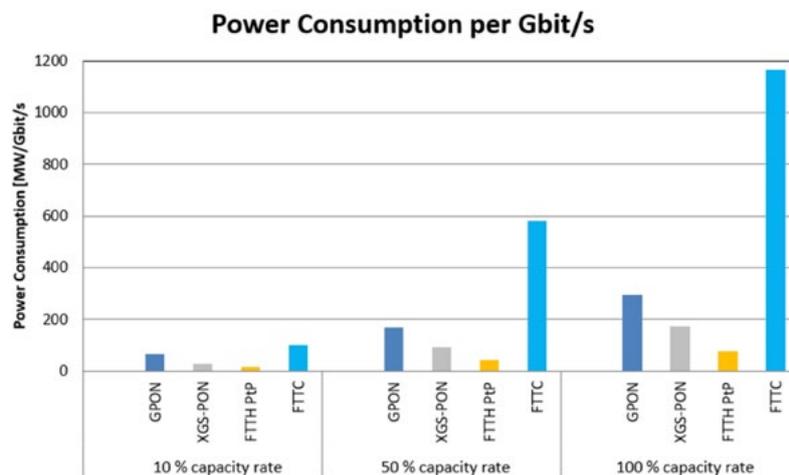
Fig. Augmentation bande passante vidéo en fonction de l'évolution des standards

Les réseaux GPON déployés maintenant depuis près de 15 ans pour les premiers d'entre eux ont prouvé leur valeur du fait de leur évolutivité et de leur compatibilité avec les équipements existants. La norme XGS-PON continue sur cette lancée, et contribue aussi aux enjeux environnementaux. En effet, avec la fin programmée de la boucle locale cuivre, le choix d'une technologie d'accès haut débit a un impact radical sur l'empreinte carbone d'un opérateur. Passer du cuivre à la fibre semble être, par conséquent, une évidence.

En janvier 2023, le rapport du comité d'évaluation Infrastructures numériques et aménagement du territoire présidé par Pierre-Jean Benghozi indiquait : « ... Nous pouvons également avancer que le déploiement de la fibre présente des avantages comparatifs certains en matière d'empreinte environnementale. Par leurs performances technologiques, les réseaux fibre offrent une faible consommation énergétique à volume égal de trafic... ».

Les réseaux d'accès cuivre consomment, en moyenne, environ 35 kWh par abonnement en 2020, contre moins de 10 kWh sur les réseaux fibre, ce qui représente un rapport de près de 1 à 4 ([source ARCEP 2022 « Pour un numérique soutenable »](#)).

Une étude du [BREKO](#) en 2020 sur l'Allemagne confirme que les technologies FTTH sont plus durables que les réseaux FTTC (VDSL 2). La figure ci-dessous montre que le FTTH point à point et le XGS-PON sont les meilleures technologies d'accès du point de vue consommation énergétique. Fin 2022 des équipements de lignes (OLT) 100% évolutifs de 1 à 100 Gbit/s et moins énergivores ont été introduits sur le marché.



Source BREKO 2020

Les équipements déployés chez les clients (ONT, box..) ont aussi un impact non négligeable sur la consommation d'énergie et l'empreinte carbone. Le Cercle CREDO aura l'occasion de revenir en détail sur ces aspects dans un prochain dossier technique.

2-1 LES STANDARDS

La technologie PON (Passive Optical Network), en référence à la topologie des réseaux d'accès à fibres optiques composés d'éléments non actifs du point d'origine (tête de réseau) aux points d'extrémités (abonnés ou clients), est apparue dans les années 1990. Elle utilise un réseau d'accès optique bidirectionnel sur une seule fibre. Elle est basée sur des standards fixés par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) et l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Les différenciateurs entre les normes proposées par l'UIT et l'IEEE se situent principalement au niveau de plusieurs enjeux : l'interopérabilité, la migration, l'augmentation du budget optique, le choix des composants optiques, l'adéquation aux besoins opérateurs.

Après les premières générations de PON, les normes ont et continuent d'évoluer, pour répondre aux exigences d'accroissement de la bande passante.

Aujourd'hui des normes à des débits supérieurs 25/50 Gbit/s existent ou sont en cours de définition pour le 100 Gbit/s.

Ci-dessous un aperçu des normes PON actuelles et futures. Il est à noter qu'entre le moment où une norme est publiée, il faut compter entre 8 et 10 ans pour un déploiement effectif sur le terrain.

1 Gbit/s per channel	2,5 Gbit/s per channel	10 Gbit/s per channel	25 Gbit/s per channel	50 Gbit/s per channel
Splitter-based ODN Single channel TDMA systems				
	G-PON G.984.x series	XG-PON (NG-PON1) G.987.x series XGS-PON G.9807.x series		50G PON G.9804.x series
Splitter-based ODN Multi-channel TWDM systems				
		NG-PON2 G.989.x series		Nx50G-PON G.9804.x series
Splitter based ODN Multi-channel WDM Overlay				
NG-PON2 G.989.x series	NG-PON2 G.989.x series	NG-PON2 G.989.x series		
Wavelength multiplexed ODN with logical point to point connections (a.k.a. WDM PON)				
			25GMW-PON G.9802.x series	

Fig. Source ITU - PON Overview: ITU-T Passive Optical Network Solutions

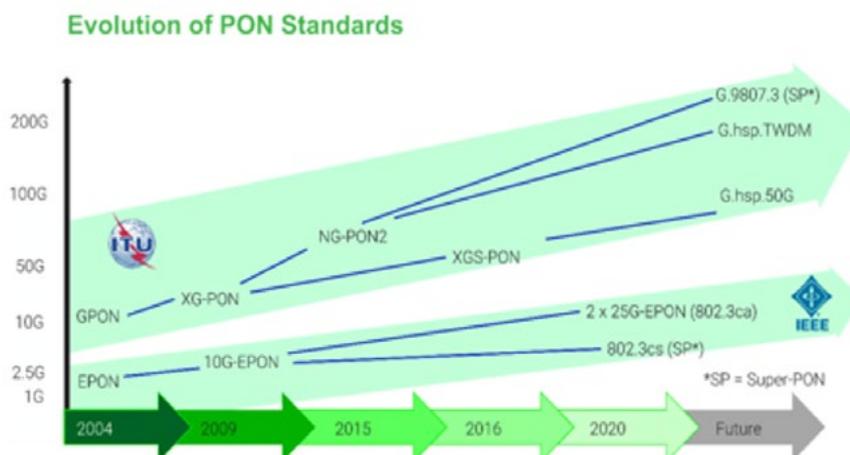


Fig. Source Broadband forum 2021

L'évolution actuelle de la technologie GPON, pour satisfaire ces besoins de bande passante plus élevés, s'appuiera dans un premier temps sur la norme XGS-PON G.9807 (10 Gbit/s symétrique), qui a été établie par l'UIT-T et sur la norme 10G-EPON 802.3 av pour l'IEEE.

Malgré la validation de la norme NG-PON2 en décembre 2014 et révisée en 2019, c'est la norme XGS-PON adoptée en juin 2016 et révisée en octobre 2020 qui se déploie aujourd'hui majoritairement au niveau international.

Les prochaines évolutions ajouteront notamment une dimension de multiplexage en longueur d'onde pour augmenter les débits, avec des technologies de type WDM-PON ou TWDM-PON.

Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques générales des principaux standards PON de l'UIT et de l'IEEE. [↪ Un lien hypertexte pour chaque standard est disponible à la fin de ce document \(page 31\).](#)

Fig. Source ITU	GPON	XGS-PON (sym)	NG-PON2	GE-PON	10GE-PON
Standards	ITU-T G.984	ITU-T G.9807.1	ITU-T G.989	IEEE 802.3 ah	IEEE 802.3 av
DS/US Débits	2,4 / 1,2 Gbits/s	10 / 10 Gbits/s	40 / 10 Gbits/s	1,25 / 1,25 Gbits/s	10 / 10 Gbits/s
Coupleur	jusqu'à 1:64 (128)	jusqu'à 1:128 (256)		jusqu'à 1:64	jusqu'à 1:128
Atténuation max	32 dB	35 dB	35 dB	29 dB	29 dB
Coexistence	N/A	Oui avec GPON		N/A	Oui avec GE-PON

2-2 LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE

Le concept de l'architecture du réseau GPON repose sur le partage temporel d'une seule longueur d'onde entre plusieurs utilisateurs. Comme pour le GPON, les architectures XG-PON et XGS-PON utiliseront un multiplexage temporel (TDM) permettant un débit de 10 Gbit/s en symétrique pour le XGS-PON.

2-2.1 LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL TDM

La technique TDM(A) (Time Division Multiple Access) est une technique basée sur une répartition d'accès temporel. Elle consiste à segmenter le domaine temporel en plusieurs intervalles de temps ou time-slots.

Dans une liaison TDM, tous les ONUs reçoivent chacun le même signal, à savoir la totalité du signal provenant de l'OLT. Chaque ONU sélectionne la partie du signal correspondant à son time-slot (prédéfini). Dans le sens montant, chaque utilisateur se synchronise à l'OLT situé au NRO pour savoir quand transmettre son paquet.

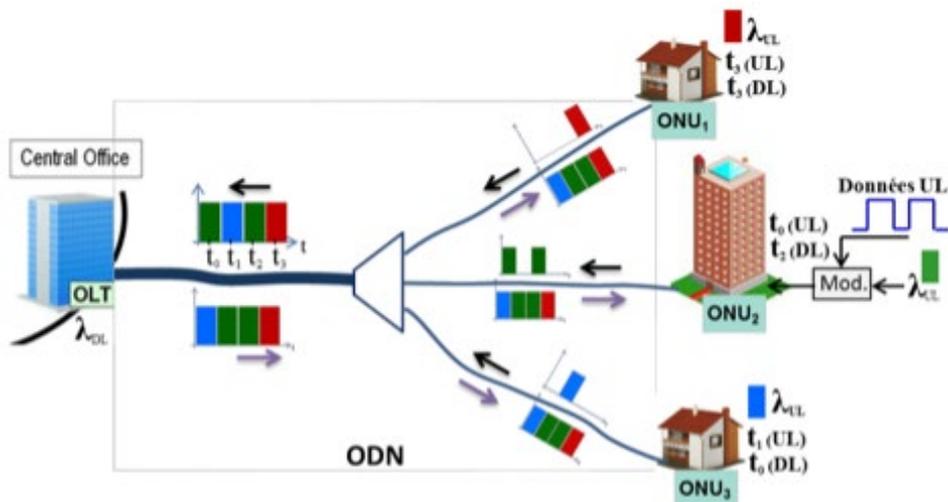


Fig. Source Cercle CREDO

⊕ OLT ¹

L'Optical Line Termination (abrév. OLT), appelé aussi Optical Line Terminal, est l'équipement de terminaison, côté réseau, assurant l'interface avec les fibres dans les réseaux FTTH ; il est connecté à un ou plusieurs réseaux de distribution optique passifs (ODN). L'OLT est généralement situé dans le nœud de raccordement optique (NRO) et peut être considéré comme un DSLAM optique. Un gestionnaire propre à chaque fournisseur permet d'implémenter pour chaque ONT son identification, sa position dans le réseau, la déclaration des services qui lui sont attribués, leur priorité, etc.

Les valeurs typiques d'émission et réception des modules à l'OLT et ONT doivent être conformes à la norme IUT-T G984.2. [13]

⊕ ODN ²

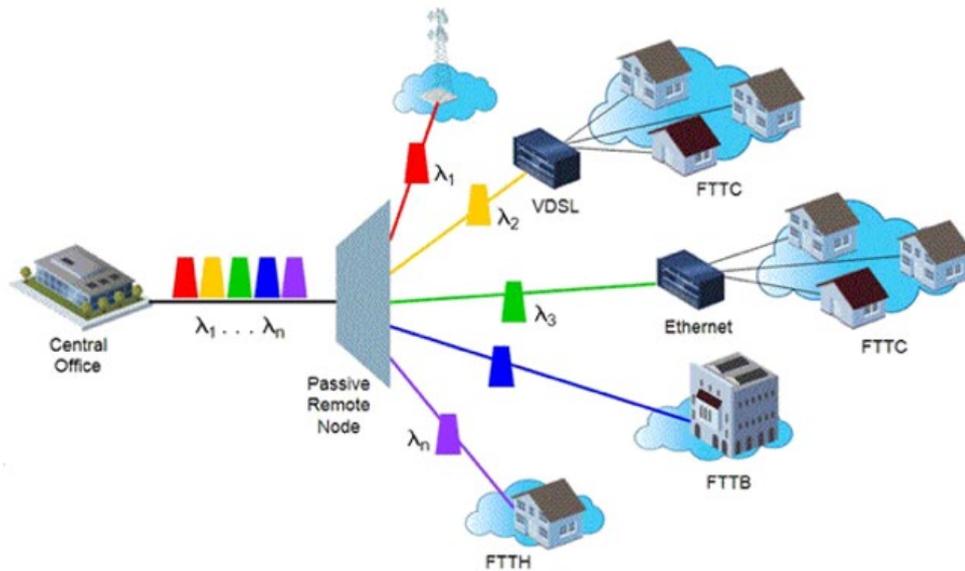
Le terme réseau de distribution optique (ODN) ou Optical Distribution Network fait référence à une architecture de distribution point à multipoint passif s'étendant de l'interface côté utilisateur de l'OLT aux interfaces côté réseau des ONU.

⊕ ONT / ONU ³

La série de Recommandations UIT-T G.987, précise que l'élément de réseau assurant l'interface entre les ressources d'accès de l'utilisateur final et le réseau ODN** est appelé ONU (Optical Network Unit) ou unité de réseau optique, quels qu'en soient le nombre et le type d'interfaces. Historiquement, le terme ONT, ou terminal/terminaison de réseau optique, a été utilisé de manière interchangeable avec ONU ou avec la sémantique particulière d'une ONU qui est utilisée pour la fibre jusqu'au domicile (FTTH) et inclut la fonction de port utilisateur" ou "une unité ONU à abonné unique.

2-2.2 LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE WDM

Le multiplexage en longueur d'onde WDM permet à chaque client de se voir attribuer une longueur d'onde spécifique. Dans l'architecture WDM PON, les ONTs peuvent fonctionner à différentes longueurs d'onde, ce qui permet d'atteindre un débit élevé de transmission.



La capacité totale de la bande passante du réseau est basée sur les longueurs d'onde multiplexées sur la fibre. Ces signaux optiques sont ensuite séparés (ou démultiplexés) sur des fibres différentes. Dans le sens descendant, l'OLT émet toutes les longueurs d'onde sur la même fibre partagée. Dans le cas de l'utilisation d'un coupleur dans le point de répartition appelé « Passive Remote Node (RN) », ce composant divise la puissance et distribue l'ensemble des longueurs d'ondes vers chaque foyer connecté.

Dans le sens montant, les ONTs renvoient des longueurs d'onde différentes vers l'OLT.

On rencontre deux principales variantes du **WDM** : le **DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexing) et le **CWDM** (Coarse Wavelength Division Multiplexing). Ces 2 variantes sont définies dans les recommandations ITU-T G.694.1 (DWDM) et G.694.2 (CWDM).

- Le **Dense WDM** (DWDM) utilise 40 longueurs d'ondes faiblement espacées (0,8 nm) voire 80 longueurs d'ondes (espacées de 0,4 nm), et elles sont localisées dans la gamme de longueur d'onde située entre 1529 nm et 1564 nm (bande C) comme le montre le graphe ci-dessous.

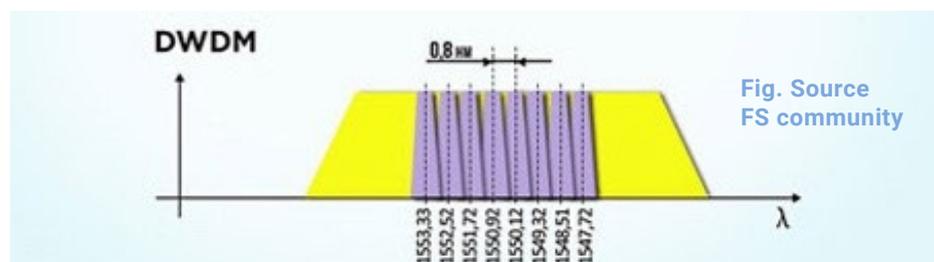
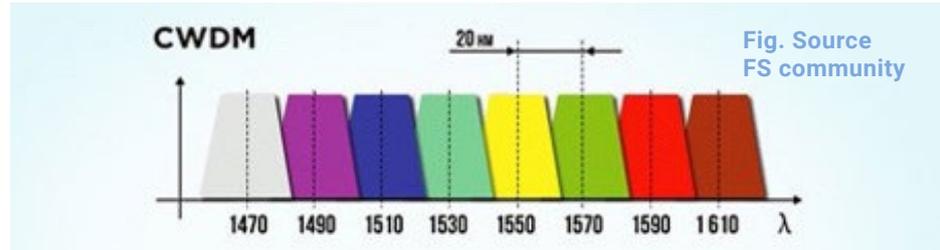


Fig. Source FS community

- Le **Coarse WDM** (CWDM) utilise quant à lui 18 longueurs d'ondes espacées de 20 nm allant de 1271 nm à 1611 nm comme le montre le graphe ci-dessous.



2-2.3 MULTIPLEXAGE TEMPOREL ET EN LONGUEUR D'ONDE (TWDM)

Pour augmenter la bande passante allouée à chaque utilisateur, la combinaison entre le multiplexage temporel et le multiplexage en longueur d'onde dans la même architecture représente une des solutions futures pour la nouvelle génération du réseau d'accès. On parle alors d'un multiplexage TWDM illustré par la figure ci-dessous.

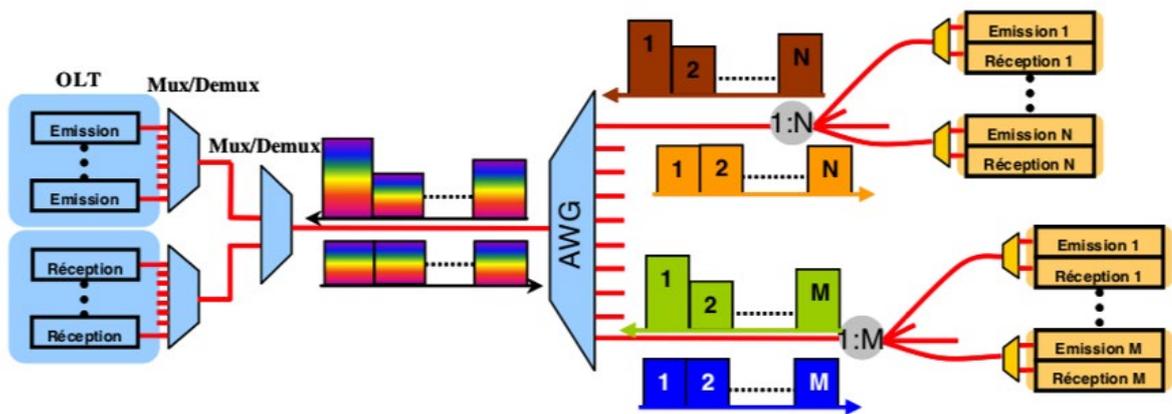


Fig. Source Orange (F.S.)

La technologie de réseau optique passif à multiplexage temporel et en longueur d'onde (TWDM-PON) est la solution retenue pour mettre en œuvre NG-PON2, la technologie d'accès fibre de nouvelle génération.

TWDM permet une bande passante plus élevée (jusqu'à 10 Gbit/s pour tout utilisateur avec un total de 40 Gbit/s) avec une flexibilité optimale par rapport à la bande passante par utilisateur, la gestion de la fibre, la convergence des services et le partage des ressources.

LES 4 AVANTAGES D'UN RÉSEAU PON

→ UNE CONSOMMATION D'ÉNERGIE EFFICACE

Le déploiement d'un réseau PON offre de nombreux avantages. Le principal avantage tient à l'absence d'alimentation (P : passif) nécessaire pour faire fonctionner le réseau d'accès. Seuls la source et les récepteurs terminaux du signal ayant besoin d'être alimentés, cela réduit les besoins en énergie, en maintenance ainsi que les risques de pannes.

→ UNE INFRASTRUCTURE SIMPLIFIÉE ET UNE MISE À JOUR FACILITÉE

L'architecture passive ne nécessite pas de locaux techniques ou d'infrastructures de refroidissement. À mesure que la technologie évolue, seuls les appareils terminaux (OLT, ONT/ONU) ont besoin d'être mis à jour ou remplacés. La fibre optique et les coupleurs restent les mêmes.

→ UNE UTILISATION EFFICACE DE L'INFRASTRUCTURE

Tous les opérateurs se doivent d'exploiter au maximum les infrastructures nouvelles ou existantes et d'élargir leur capacité de service sur la base d'une empreinte réseau existante. Les différentes normes PON, associées à des services tels que le signal vidéo RF, peuvent coexister sur le même réseau PON afin d'offrir des services multiples et variés (Triple Play : Internet, Téléphonie, Télévision) et ainsi, d'optimiser la bande passante sur une même fibre optique.

→ UNE MAINTENANCE FACILITÉE

Les boucles locales cuivre, actuellement remplacées par des réseaux PON, sont particulièrement vulnérables au bruit et aux interférences électromagnétiques. Les réseaux PON sont à l'abri de telles interférences et préservent l'intégrité du signal sur les distances prévues.

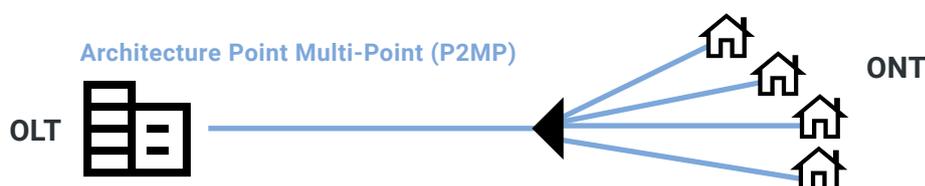


Ce dossier technique présente plus en détail l'évolution des réseaux à 10 Gbit/s en technologie XGS-PON. Elle s'inscrit complètement dans la **collection des fiches « Pérennité des réseaux »** déjà éditées par le Cercle CREDO. L'évolution de la bande passante des réseaux FTTH actuellement déployés est aussi un paramètre à prendre en compte par les collectivités dans leur stratégie d'exploitation et de vie des réseaux.

3-1 LES ARCHITECTURES ACTUELLES

3-1.1 GPON : L'ARCHITECTURE LA PLUS DÉPLOYÉE

La norme UIT-T définissant le GPON (Giga PON) est la série G.984.x. Les réseaux **GPON** sont basés sur une architecture à base de multiplexage temporel (TDM* voir ci-dessus). Les longueurs d'onde (λ) utilisées sont le 1310 nm en remontant et le 1490 nm en descendant. La longueur d'onde de 1550 nm est aussi utilisée sur les réseaux câblés pour la vidéo. L'architecture GPON est basée principalement sur une architecture point multipoint (P2MP).



Sur les architectures P2MP, il pourra y avoir selon les cas, sur une même fibre jusqu'à 64 abonnés (voire 128 en fonction du coupleur ou splitter). 64 abonnés qui devront se partager une bande passante mutualisée de 2,5 Gbit/s en débit descendant et 1,2 Gbit/s en débit montant. C'est donc le débit théorique maximum qu'un abonné peut avoir s'il est le seul à utiliser la bande passante, ce qui est peu probable. A contrario, si les 64 clients téléchargent un contenu en même temps, chacun aura un débit maximum d'environ 40 Mbit/s. Aujourd'hui, la technologie GPON reste la technologie la plus utilisée par les opérateurs qui proposent des offres fibre. Les meilleurs contrats GPON actuels permettent aux abonnés d'avoir des offres avec un débit maximum jusqu'à 2 Gbit/s en réception et 600 Mbit/s en émission.

3-1.2 EPON : UNE AUTRE ARCHITECTURE

L'Ethernet PON, ou EPON, est une norme de l'IEEE pour les réseaux optiques passif, dérivée de l'environnement Ethernet. Elle a été développée pour fournir une compatibilité homogène avec les équipements Ethernet. Basée sur la norme IEEE 802.3, l'EPON n'a besoin d'aucun protocole d'encapsulation pour se connecter aux réseaux basés sur Ethernet. Cela s'applique au transfert des données dans le sens ascendant aussi bien que descendant. EPON est aussi basée sur une architecture P2MP (Point Multipoint).

La norme EPON utilise le protocole Ethernet et le protocole « MPCP Multi-Point Control Protocol » avec un débit symétrique de 1,24 Gbit/s dans les deux sens. EPON est compatible avec les autres normes Ethernet. Comme pour le GPON, le débit est partagé entre plusieurs utilisateurs dans la limite de 32 (64) abonnés. Le débit instantané par abonné pourra aller jusqu'à 100 Mbit/s.

3-2 L'ÉVOLUTION VERS LE 10 GBIT/S

Comme pour les standards PON à 1 Gbit/s, on va retrouver pour le 10 Gbit/s une norme par organisme de standardisation : XGS-PON pour l'UIT et 10G-EPON pour l'IEEE.

3-2.1 XGS-PON

Le standard XGS-PON est basé sur la norme XGS-PON de la Recommandation UIT-T G.9807.1. Le « **X** » de XGS représente le nombre **10** et le « **S** » signifie **symétrique**.

XGS-PON = réseau symétrique 10 Gigabit PON.

La version **XG-PON** antérieure, non symétrique, est, quant à elle, limitée à 2,5 Gbit/s dans le sens remontant. Elle a déjà commencé à être déployée par un opérateur en France.

Les mêmes composants d'émetteur-récepteur optique pour les réseaux XG-PON peuvent être réutilisés pour les réseaux XGS-PON.

Les opérateurs nationaux ont déjà des expérimentations en cours sur le XGS-PON.

3-2.2 10G-EPON

Le standard 10G-EPON est basé sur la norme IEEE 802.3av (2009) qui définit deux modes de couche physique :

- Le premier est le standard 10G-EPON basé sur la norme IEEE 802.3av (2009) qui définit deux modes de couche physique.
- Le second est le 10/1G-EPON asymétrique. La transmission en amont est identique à celle du 1G-EPON existant.

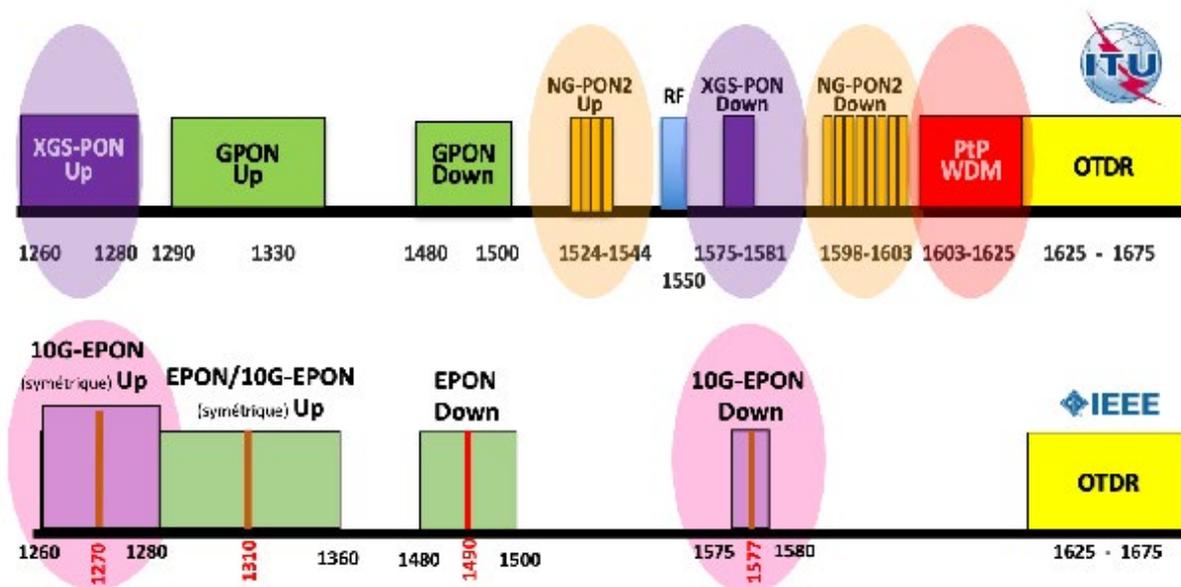
Les réseaux actuellement déployés sont en mode asymétrique et au fur et à mesure que le service et la technologie se développeront, ils passeront en mode symétrique.

3-3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES RÉSEAUX PON À 10 GBIT/S

3-3.1 LONGUEURS D'ONDE DES RÉSEAUX XGS-PON ET 10G-EPON

Même si les conventions de la technologie XGS-PON restent les mêmes que pour la norme GPON en ce qui concerne l'infrastructure physique fibre et le formatage des données, les longueurs d'onde pour XGS-PON et 10G-EPON diffèrent de celles des autres normes, telles que GPON et NG-PON2.

Le XGS-PON fonctionne avec une **longueur d'onde descendante de 1 577 nm et une longueur d'onde ascendante de 1 270 nm.**



Le 10G-EPON fonctionne également avec une **longueur d'onde descendante de 1 577 nm et une longueur d'onde ascendante de 1 270 nm.**

Le XGS-PON étant une variante du XG-PON, ces deux normes fonctionnent aussi aux mêmes longueurs d'onde ascendante et descendante. Il s'agit du seul cas de réutilisation de ces longueurs d'onde.

A noter que la fenêtre de transmission PON globale (entre 1 260 nm et 1 625 nm) peut simultanément prendre en charge les normes GPON, XGS-PON et NG-PON2 sur le même réseau de fibre optique.

3-3.2 BUDGET OPTIQUE DES RÉSEAUX GPON ET XGS-PON

Pour chaque technologie PON, plusieurs classes de budget optique sont définies pour les deux longueurs d'onde. Le budget optique doit être pris en compte pour l'ingénierie du réseau.

La technologie GPON définit 3 classes de budget optique : B+, C+, D (IUT-T G.984.2). Il est à noter que les budgets sont applicables aux 2 longueurs d'onde utilisées (1490 et 1310 nm).

Affaiblissement (OPL)	B +	C +	D
Minimum Optical loss	13 dB	17 dB	20 dB
Maximal Optical loss	28 dB	32 dB	35 dB

Fig. Source ITU-T G.984.2 (amendement 201908)

Pour la technologie XGS PON, l'IUT-T G.9807.1 définit 4 classes de budget optiques N1, N2, E1 et E2. Voir tableau page suivante :

Affaiblissement (OPL)	Longueurs d'onde optionnelles		Longueurs d'onde de base			
	Classe B+	Classe C+	Classe N1	Classe N2	Classe E1	Classe E2
Minimum Optical loss	13 dB	17 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
Maximal Optical loss	28 dB	32 dB	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB

Fig. Source ITU-T G.9807.1 Table B.6.1 – Classes for optical path loss (OPL)

3-3.3 BUDGET OPTIQUE DES RÉSEAUX EPON ET 10G-EPON

Ci-dessous les budgets optiques suivant les classes pour les technologies EPON et 10 G-EPON.

Affaiblissement (OPL)	PX-10	PX-20	PX-30	PX-40
EPON (Maximum OPL)	21 dB (DS)	26 dB	29 dB	33 dB
	23 dB (US)			
10G / 1 Gbit/s (Maximum OPL)	PRX-10	PRX-20	PRX-30	PRX-40
	20 dB	24 dB	29 dB	33 dB
10Gbit/s EPON (Maximum OPL)	PR-10	PR-20	PR-30	PR-40
	20 dB	24 dB	29 dB	33 dB

Les impacts d'une évolution des réseaux GPON actuels vers des réseaux XGS-PON à 10Gbit/s où à des débits supérieurs dans le futur (25, 50 voire 100 Gbit/s) sont multiples : économiques, techniques (équipements, déploiement), tests et performances et environnementaux.

4-1 LES IMPACTS ÉCONOMIQUES

Pour chaque évolution de réseau (extension, dévoiement, technologique..), les opérateurs doivent prendre en compte les investissements nécessaires (CapEx) à celle-ci, ainsi que les impacts sur les coûts d'exploitation (Opex) sur plusieurs années afin d'en juger la rentabilité. Il est donc essentiel de bien prendre en compte ces aspects économiques lors du choix des matériels. Les évolutions en débit à 10 Gbit/s permettront de répondre dans la plupart des cas à cette dynamique d'optimisation des coûts tant matériels que des coûts d'exploitation.

La topologie des nouveaux réseaux PON (XGS-PON...) est toujours basée sur une architecture P2MP (Point to Multipoint).

La transformation d'une topologie GPON vers XGS-PON permet en général de maximiser l'utilisation de l'infrastructure existante. En effet, seuls les équipements d'extrémité vont évoluer.

Néanmoins, pour certaines configurations, compte-tenu de la réduction de la longueur maximum à 13 km pour le XGS-PON au lieu de 16 km pour le GPON (voir § 4.4.1), l'impact sur le CapEx ne sera pas à négliger.

Il est à noter que les dernières générations d'OLT permettront d'accueillir des modules permettant d'évoluer vers des topologies jusqu'à 100 Gbit/s. Ces nouvelles solutions pourront aussi voir leur composante logicielle être virtualisée. Les réseaux d'accès définis par logiciel aideront les opérateurs à réaliser l'évolution des réseaux basés sur le matériel vers des plates-formes définies par logiciel en virtualisant une grande partie des fonctionnalités.

Cela permettra encore d'optimiser les dépenses d'investissement.

4-2 LES IMPACTS SUR LES ÉQUIPEMENTS

Seuls les équipements d'extrémité vont changer, ce qui permet une évolution rapide avec un minimum de perturbations.

4-2.1 OLT XGS-PON

Pour toutes les normes PON, y compris la norme XGS-PON, le point de départ est l'Optical Line Terminal (OLT¹) installé dans le nœud de répartition optique (NRO) des opérateurs. L'OLT est un équipement actif (alimenté) utilisé pour convertir et transmettre des données vers les équipements de terminaisons du réseau optique (ONT³). L'OLT diffuse les mêmes données sur tous les ONT du réseau grâce aux coupleurs optiques descendants passifs. Chaque ONT reconnaît les données qui lui sont destinées.

L'OLT est composé d'un châssis et de plusieurs cartes. Aujourd'hui ce sont des cartes GPON à plusieurs ports. Pour le XGS-PON, ce sera de nouvelles cartes, ou plus généralement des cartes mixtes ou combo (GPON/XGS-PON) compatibles avec les châssis en place.



Fig. OLT – Source Nokia

4-2.2 SFP XGS-PON

Le SFP (Small Form-factor Pluggable ou transceiver) est un émetteur-récepteur remplaçable à chaud (en service) connecté à un port d'une carte XGS-PON qui convertit les signaux électriques en signaux optiques à la longueur d'onde souhaitée, et inversement. Les SFP utilisés pour faciliter la transmission XGS-PON sont conçus de façon à prendre en charge des débits de 1 à 10 Gbit/s (GPON et XGS-PON), et aussi les signaux ascendants Tx et descendants Rx via l'utilisation de coupleurs WDM internes. Malgré leur format compact, les SFP XGS-PON utilisent des composants électroniques avancés pour stabiliser la puissance de sortie lors de la transmission ascendante.

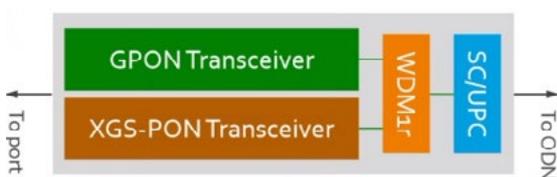


Fig. SFP GPON / XGS-PON



Fig. SFP GPON / XGS-PON VAONX

4-2.3 ONT XGS-PON

En utilisant un coupleur optique ou plusieurs en cascade, la longueur d'onde descendante de l'OLT est diffusée suivant les ingénieries vers 64 ou 128 ONT au maximum. L'ONT est aussi appelée ONU³.



Fig. ONT XGS-PON Iskratel

De récentes innovations dans la conception des boîtiers, des éléments optiques et des puces ont réduit le prix des ONT 10G pour le rapprocher de celui des ONT/ONU 1G. Les économies d'échelle continueront à favoriser la rentabilité au fur et à mesure de l'accélération des déploiements XGS-PON. Une flexibilité accrue a également été intégrée dans les ONT XGS-PON de nouvelle génération.

4-3 LES IMPACTS SUR LE DÉPLOIEMENT

Plusieurs scénarios de déploiement ou migration pourront être envisagés suivant les impératifs techniques et commerciaux. Quatre scénarios sont présentés dans ce dossier :

- Celui du « green field » ou nouveau déploiement,
- Celui qui met en œuvre un élément de co-existence : multiplexeur WDM,
- Celui qui intègre le composant WDM directement sur les cartes : carte « Combo »,
- Le dernier est celui appelé échange.

Les scénarios co-existence et Combo sont ceux actuellement retenus par le Comité d'experts fibre du régulateur (voir §7 du document ARCEP). La co-existence est assurée uniquement entre normes/recommandations d'un même organisme (UIT-T ou IEEE).

→ Scénario de déploiement "green field"

Ce scénario concerne principalement les nouveaux déploiements dans les zones non encore raccordées ou en remplacement de l'infrastructure cuivre par exemple au profit d'une bande passante plus élevée.

→ Scénario co-existence

Ce scénario fait référence à un déploiement dans lequel un système PON a déjà été déployé et où les opérateurs de réseau décident de tirer parti de cette infrastructure de fibre existante pour offrir des services de transport à débit plus élevé, en utilisant XGS-PON. Certains abonnés sur un système Gigabit PON ou XGPON existant peuvent nécessiter une mise à niveau vers un tel service avec un niveau de vitesse plus élevé et l'opérateur de réseau peut donc choisir de migrer ces abonnés vers le système XGS-PON, tandis que d'autres abonnés resteront sur les Gigabits PON ou XGPON. Ce scénario met en œuvre un élément de co-existence WDM pour multiplexer les deux technologies.

À un moment donné, certains opérateurs de réseau pourront éventuellement effectuer une "migration forcée" de Gigabit PON vers XGS-PON lorsque le nombre d'abonnés Gigabit PON deviendra faible. L'ajout de cet élément de coexistence aura un impact sur le bilan optique de la liaison d'environ 1 dB.

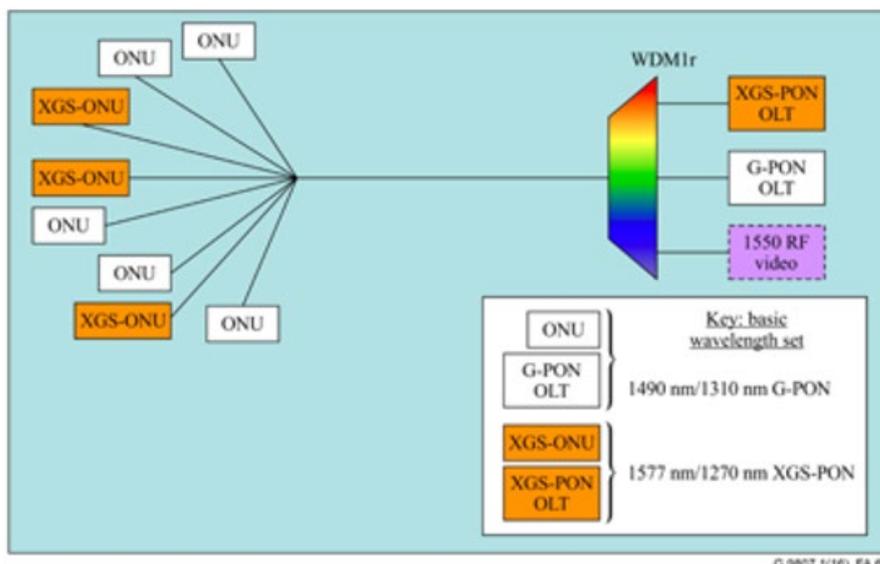


Fig. Source ITU

→ Scénario Combo

Ce scénario ressemble au scénario précédent, sauf que le composant est directement intégré sur la carte OLT. Cette combinaison avec le XGS-PON permet de cohabiter sur le même réseau de fibre optique que la norme GPON sans nécessiter de gros changements dans l'architecture passive (ajout d'un WDM) tout en offrant des débits supérieurs. Elle constitue une option d'expansion logique et économique. Seuls les équipements d'extrémités seront dédiés XGS-PON à savoir les cartes OLT XGS-PON et l'ONT 10G.

C'est le scénario qui présente le meilleur compromis technico-économique, mais comme pour le scénario co-existence une perte de bilan optique liée au composant WDM.

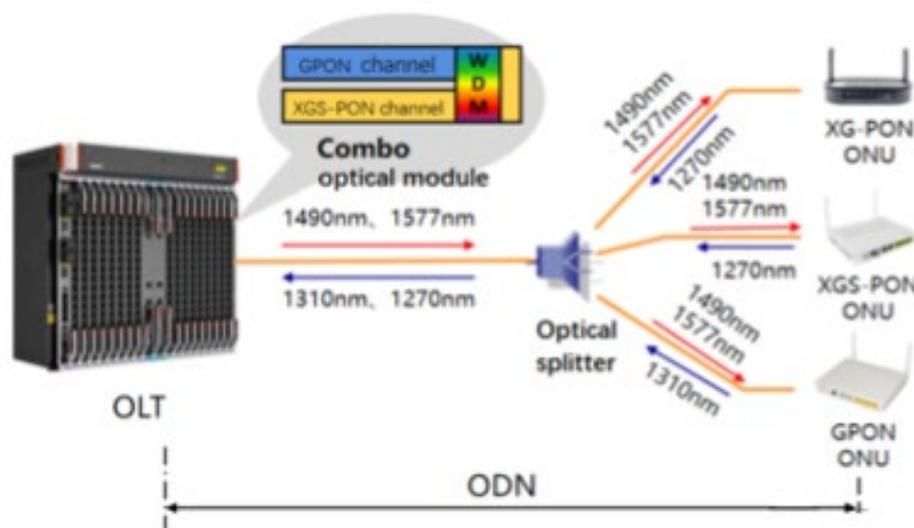
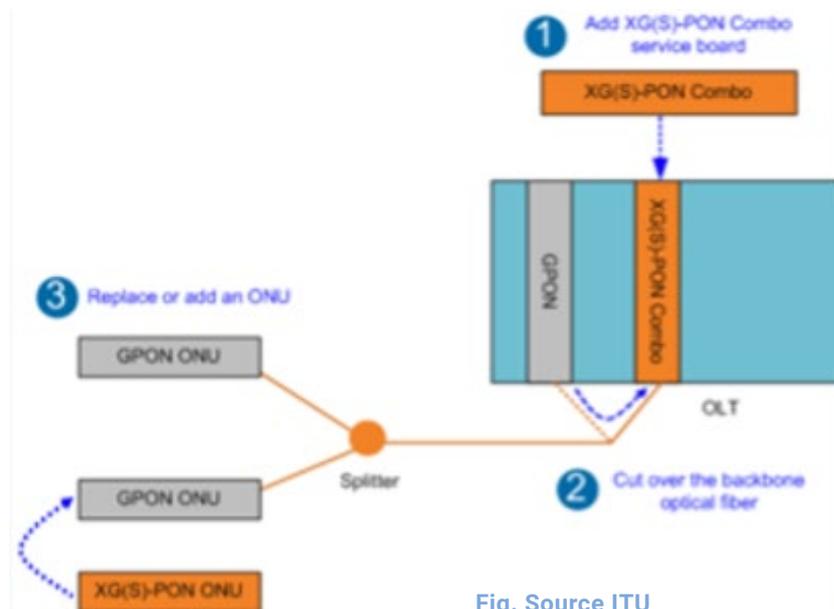


Fig. Le module optique combo intègre un module GPON, XGS-PON et un coupleur WDM. Source Fiber mall

→ Scénario échange

Dans un scénario de migration légèrement différent du Combo, un opérateur réseau peut souhaiter remplacer complètement un PON Gigabit existant par un XGS-PON. Dans ce cas, il serait toujours logique de basculer un client Gigabit PON vers XGS-PON en même temps et ainsi de mettre à jour les clients, un par un.



4-4 LES IMPACTS SUR LES PERFORMANCES

Les impacts performances, principalement celles du bilan optique méritent toute l'attention et le contrôle pendant cette phase de Vie du Réseau.

En effet, le budget optique comptabilise la perte ou l'atténuation optique possible entre un émetteur (OLT) et les récepteurs (ONT) reliés par des composants optiques passifs tels que fibres, coupleurs, connecteurs, ou encore multiplexeurs. Cette notion de budget optique prend de l'importance pour les réseaux PON, car elle constitue la principale limite dans la réalisation d'architecture sur des réseaux longs par exemple.

4-4.1 IMPACT SUR LES BILANS OPTIQUES

Si les nouveaux réseaux PON permettront d'avoir des débits bien supérieurs aux débits GPON actuels, un impact lié au bilan optique sera à prévoir dans l'ingénierie des migrations / évolutions de ces réseaux.

→ Impact affaiblissement optique câbles optiques

Comme pour les réseaux GPON, l'infrastructure physique des nouveaux réseaux PON s'appuie sur les mêmes câbles fibres optiques généralement de type G 657-A2 (une mixité G 652D et G 657-A2 peut aussi être rencontrée sur certains réseaux - **voir document ARCEP**) : même type de câbles, mêmes caractéristiques, même connectique passive de raccordement.

Les aspects qualité et pérennité des réseaux FTTH actuels font l'objet de beaucoup d'attention. Les câbles optiques seront utilisés pendant plusieurs décennies. La garantie des performances pourra être affectée dans le temps en fonction des conditions environnementales (froid, chaleur, humidité, vent, gel...), d'utilisation (aérienne, souterraine ou mixte), de pose (étirement, écrasement, contrainte, courbures...) et de vieillissement.

Un impact plus ou moins critique sur la disponibilité des services pendant toute la vie du réseau en découlera.

Les atténuations optiques typiques de la fibre G 657-A2 aux différentes longueurs d'onde sont reprises dans le tableau ci-dessous. A noter que le comité expert fibre de l'ARCEP a fixé un niveau d'exigence d'atténuation pour les câbles G-657.A2, supérieur aux recommandations IUT-T.

Longueur d'onde (nm)	1260	1310	1534,5	1578	1625
Atténuation linéique max typique (dB/km) ARCEP	0,42	0,35	0,25	0,25	0,26
Atténuation linéique max norme (dB/km) ITU-T G 657-A2	0,47	0,4	0,3	0,4	0,4

Fig. Source ARCEP v10



Il conviendra, de s'assurer que les câbles fibres optiques G 657-A2 déployés initialement pour les architectures GPON sont bien conformes aux normes en vigueur et qu'ils présentent bien des valeurs d'atténuation conformes aux valeurs définies dans le tableau. Cette validation permettra de détecter d'éventuelles contraintes sur les câbles (macro / micro-courbures).

Les technologies PON de nouvelle génération telles que le XGS-PON ont aujourd'hui un budget optique (suivant les classes) techniquement (élément de co-existence) plus limité (§ 2.6), impactant les performances notamment de distance entre le NRO et l'abonné (DTIO). En effet, les pertes optiques sont légèrement plus importantes aux longueurs d'onde du XGS-PON par rapport à celles du GPON pour un même taux de couplage.

Les évaluations des pertes optiques de bout en bout devront prendre en compte les affaiblissements de tous les éléments : affaiblissement linéique de la fibre et des éléments passifs (épissures, connecteurs, coupleurs).

De plus, il faudra tenir compte du scénario de déploiement retenu : green field, co-existence ou « Combo », ou échange.

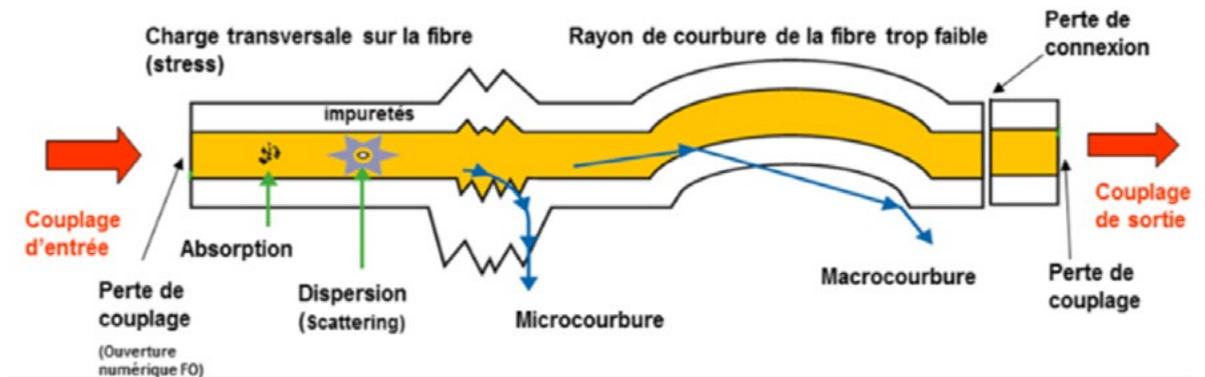
Par exemple, dans le cas d'un scénario Combo, l'ARCEP indique une réduction de la longueur de la boucle locale par rapport au GPON de l'ordre de 3 km pour un taux de couplage de 1/32. (voir §7 document ARCEP)

En cas de mixité de fibre telle que décrite ci-dessus entre la partie transport et la partie distribution, cette distance sera encore réduite.

→ Impacts liés aux contraintes (macro et micro-courbures) des câbles

Les macro-courbures d'une fibre sont des contraintes à prendre aussi en compte pour les nouvelles générations de PON, en raison de l'atténuation optique associée à la courbure de la fibre et plus particulièrement dans la partie terminale des installations.

La fibre G 657-A2 présente l'avantage d'accepter des rayons de courbures largement inférieurs à la fibre de type G-652D. La fibre G 657-A2 accepte des rayons de courbure jusqu'à 7,5 mm. Parfois, ces rayons ne sont pas respectés entraînant une dégradation des performances.



La norme NF EN 60793-1-47 précise les atténuations maximums des macro-courbures à 1550 nm et 1625 nm et en fonction des rayons de courbures.

Fig. Norme NF EN 60793-1-47

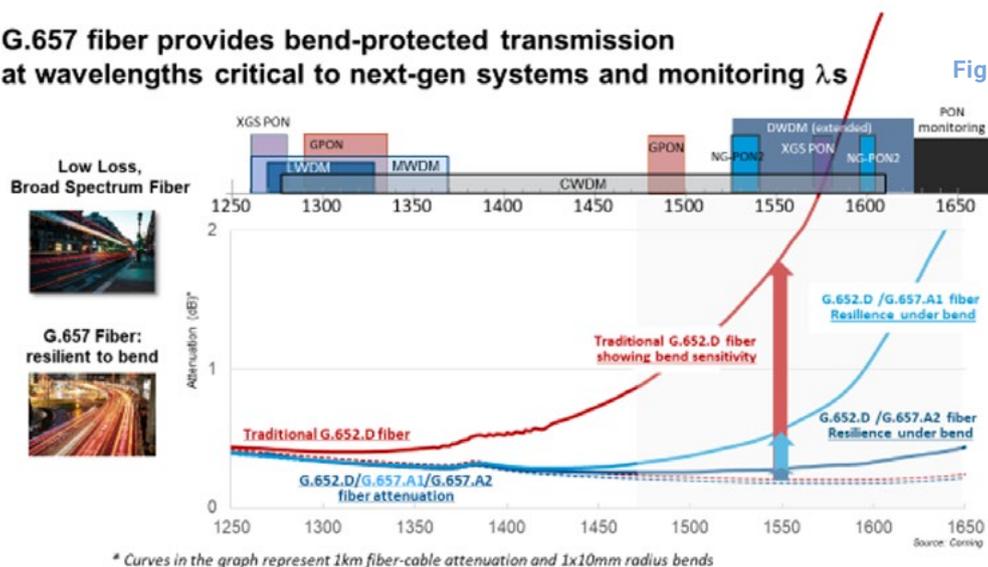
Perte par macro-courbures	ITU-T G.657.A1		ITU-T G.657.A2		
	15 mm	10 mm	15 mm	10 mm	7,5 mm
Courbure	15 mm	10 mm	15 mm	10 mm	7,5 mm
Nombre de tours	10	1	10	1	1
Atténuation max à 550 nm	0,25	0,75	0,03	0,1	0,5
Atténuation max à 1625 nm	1,0	1,5	0,1	0,2	1,0

Les courbes ci-dessous représentent l'atténuation spectrale d'un kilomètre de fibre câblée de types G.652.D conventionnelle, G.657.A1 et G.657.A2 et soumise à une courbure de 1 tour de 10 mm de rayon (ou 4 courbures à 90° de 10 mm de rayon).

Elles montrent l'importance et l'impact des contraintes en courbure suivant les technologies PON déployées et les types de fibres en câbles. Elles montrent aussi que les pertes pour une courbure donnée augmentent avec la longueur d'onde du signal.

G.657 fiber provides bend-protected transmission at wavelengths critical to next-gen systems and monitoring λs

Fig. Source Corning



* Curves in the graph represent 1km fiber-cable attenuation and 1x10mm radius bends

Une courbure de 1 tour de 10 mm de rayon affecte peu l'atténuation de la fibre G.657.A2 à la longueur d'onde descendante de 1490 nm du GPON. Quand le réseau passe de la technologie GPON à XGS-PON, l'atténuation de la fibre G.657.A2 à la longueur d'onde descendante de 1577 nm du XGS-PON augmente d'une valeur entre 0,1 dB et 0,2 dB sous la contrainte d'une même courbure de 1 tour de 10 mm de rayon.

L'atténuation augmentera entre environ 0,5 dB et 1,0 dB si le rayon de courbure passe à 7,5 mm. La partie terminale du réseau FTTH étant déployée par de nombreux acteurs, il est nécessaire de s'assurer que le câblage intérieur est réalisé selon les règles de l'art afin de limiter les pertes dues aux macro-courbures.



Ce qu'il faut retenir ici, c'est qu'il faut, d'ores et déjà, accorder une attention particulière aux installations des réseaux GPON. Celles-ci prendront à terme en charge les futures générations de PON utilisant des longueurs d'ondes plus élevées et donc plus sensibles aux contraintes qui impacteront les bilans optiques et les performances des réseaux.

4-5 LES IMPACTS SUR LES TESTS

4-5.1 GÉNÉRALITÉS

La construction de réseaux PON fiables impose d'effectuer des contrôles et des tests rigoureux pour veiller à ce qu'ils soient construits conformément aux plans et qu'ils respectent les budgets optiques exigés pour une exploitation efficace. Ils ont été décrits et détaillés dans les **fiches 4A** et **4B Recette des réseaux optiques** de la collection "Pérennité des réseaux du Cercle CREDO. Un récapitulatif des principaux tests est repris dans la figure ci-dessous.

INSPECTION	CONTINUITÉ	PUISSANCE	LOCALISATION	ATTÉNUATION	SPECIFIQUES
SONDE D'INSPECTION Connecteurs Jarretières Kit de nettoyage	STYLO VFL Courte distance jusqu'à 7 km P= 2 mW Laser classe 2 / 2M IDENTIFICATION OTDR Pour distance > 7 km	PHOTOMETRE Appelé aussi radiometre Mesure large bande	REFLECTOMETRE 850 / 1300 nm FO MM 1310 / 1550 nm FO MONO OTDR (50 dB dynamique) pour réseaux longue distance LOGICIELS Traitement des courbes OTDR, rapports....	ENSEMBLE TEST D'INSERTION Réseaux de transport et d'accès: source optique large bande et photomètre Réseaux longue distance: source et mesureur forte puissance avec modulation	TESTEUR PON Mesure sélective, en mode transparence, PON ID, alien ORL AUTOMATISATION

Fig. Source Consul-Tel / Cercle CREDO

En pratique on retrouvera les mêmes tests de la fiche en référence qu'il est recommandé d'effectuer.



- Des changements importants au niveau de certaines mesures sont à noter :
- Pour la mesure d'atténuation optique car les longueurs d'onde de trafic sont différentes, exigeant des équipements spécifiques pour effectuer les tests (voir 4.5.3)
 - Pour les mesures d'atténuation et réflectométriques pour les contraintes telles que les macro-courbures (voir 4.5.4)

4-5.2 INSPECTION ET TEST DE CONTINUITÉ

Comme pour les réseaux GPON, **l'importance de l'inspection de la propreté et du nettoyage** des connecteurs sera un critère de qualité et de pérennité des réseaux à 10 Gbit/s. La présence de contaminants sur l'extrémité d'un connecteur aura un impact sur la diffusion de la lumière, qui se traduira par la présence de rétro-réflexions importantes et d'atténuations en plus du risque d'endommager l'extrémité du connecteur de façon permanente.

L'inspection des connecteurs est basée sur le standard défini par l'IEC 61300-3-35.



Fig. Source VIAVI Solutions

Pour vérifier la **continuité de la route optique**, les équipements de test sont les mêmes. Attention à toujours bien utiliser des stylos optiques de puissance maximum 5 mW.

➔ voir fiche <https://www.cercle-credo.com/test-de-continuite-quelle-puissance-pour-les-stylos-vfl-2020-09-22>

4-5.3 MESURE DE LA PUISSANCE OPTIQUE

L'évolution des réseaux PON a nécessité des améliorations des outils de mesure de puissance PON. Les outils traditionnels de tests de la fibre optique, notamment les photomètres large bande et les sources optique utilisés sur les réseaux GPON, seront soumis pour les réseaux XGS-PON à certaines limitations.

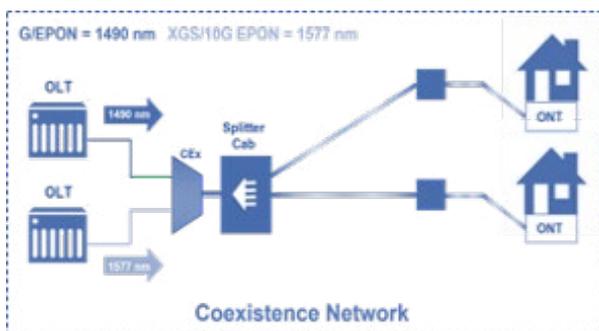


Les photomètres classiques dits à « large bande » ne peuvent pas être utilisés pour mesurer le niveau de puissance optique descendante si plus d'une longueur d'onde optique est présente. Les valeurs mesurées seront fausses. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des photomètres dits sélectifs.

Cela sera dû au fait, que plusieurs services PON coexistent sur le même réseau PON, ou/et qu'un signal vidéo RF est superposé (diffusé) sur le même réseau PON (GPON et XGS-PON). Les longueurs d'onde **descendantes sont diffusées en continu**, ce qui facilitera leur mesure en utilisant un mesureur sélectif pour séparer les longueurs d'onde.

Le chemin physique remontant d'un réseau PON est partagé, et utilise une approche de multiplexage temporel (TDM), ce qui produit un trafic ascendant par impulsions. De plus, l'ONT des abonnés ne répondra et ne transmettra que des signaux ascendants que s'il a d'abord reçu la longueur d'onde descendante. Mesurer la puissance ascendante exige donc un outil capable de prendre en charge les mesures en **mode rafale (ou burst)** et le fonctionnement en **mode traversant**.

Pour rappel, un mesureur de puissance optique large bande agrège en une seule valeur la puissance de plusieurs longueurs d'onde et **il n'est pas possible d'avoir la puissance réelle par longueur d'onde**. Un mesureur de puissance sélectif accordé sur chaque longueur d'onde (λ), permet de donner la puissance pour chaque λ de chaque PON.



Des mesureurs de puissance PON nouvelle génération sont déjà disponibles.

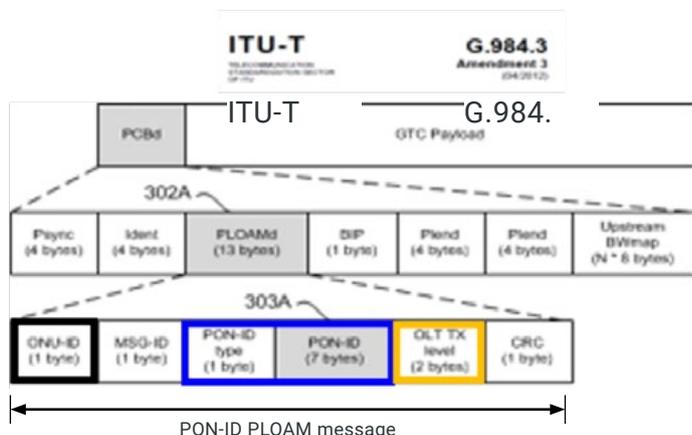
Fig. Mesureurs PON nouvelle génération
Source Exfo, VIAVI Solutions



Un autre challenge avec la coexistence de réseaux PON sera celui de s'assurer que l'ONT est bien connecté au bon port de l'OLT.

Une autre amélioration a été apportée au mesureur de puissance PON avec la capacité à détecter et décrypter le PON-ID (identifiant du port de l'OLT).

PON-ID est une trame G/XGS-PON transportant des informations spécifiques au PON dans le sens descendant. C'est un élément clé pour confirmer que l'utilisateur est connecté au bon port OLT. Il fournit entre autres la classe de l'ODN, une indication du niveau optique transmis par l'OLT.



Les **photomètres PON** sont des outils polyvalents, utiles pour déterminer si les puissances ascendante et descendante sont conformes aux attentes, et si les affaiblissements optiques dépassent les limites du système ou s'ils sont acceptables conformément à la norme. Étant donné que l'utilisation de différentes longueurs d'onde de transmission est un constituant clé de la technologie XGS-PON, **un équipement dit sélectif ou photomètre PON d'insertion** capable de filtrer et de sélectionner les longueurs d'onde appropriées sera indispensable. Certains sont même dotés d'un mode traversant, adapté à l'activation de service de réseau en direct ou en maintenance.

4-5.4 MESURES RÉFLECTOMÉTRIQUES

La description détaillée des mesures réflectométriques est présentée dans la [fiche 4B Recette des réseaux optiques](#) de la collection "Pérennité des réseaux" du Cercle CREDO.

Pour rappel il est recommandé pour la partie transport (NRO – PMZ) d'effectuer des mesures réflectométriques bidirectionnelles au NRO aux 2 longueurs d'onde 1310nm et 1550nm en bouclant à l'aide d'une bobine amorce G-657A2 <= 1000m.

Pour la liaison PMZ-PB, deux cas pourront se présenter pendant la vie du réseau :

→ **PON non activé** : mesures réflectométriques dans un seul sens au PMZ et de préférence aux 2 longueurs d'onde 1310nm et 1550nm pour la détection de contraintes).

→ **PON activé** : mesures réflectométriques à 1625 nm dans un seul sens avec une bobine amorce.

* **ATTENTION** - La validation des événements tels que connecteurs ou épissures sur la partie distribution ne peut se faire généralement qu'en unidirectionnel (car pas de connecteur en extrémité). On peut notamment trouver des pertes sur-estimées ou des gains apparents, s'il y a une différence de diamètre de mode entre fibres.

→ voir document Sycabel §4 - https://www.sycabel.com/upload/docs/application/pdf/2022-10/dtfo6_2022-12.pdf

ET APRÈS... NG-PON2, 25 OU 50G-PON ?

Les normes PON sont en constante évolution, et certains pays déploient des expérimentations à **25/50 G-PON**. L'opérateur Proximus en Belgique a déployé à Anvers en 2021 la première connexion au monde à 25 Gbit/s. Une vingtaine d'expérimentations étaient en cours mi-2022 en Europe (Deutsche Telekom, TIM, KPN, Openreach...) en Amérique du Nord (AT&T, Bell, Frontier..) et en Asie (team, Chorus..). (Source BBWF 2022)

L'UIT et l'IEEE travaillent en permanence sur la définition de nouvelles normes, ou la mise à jour des normes déjà en vigueur.

→ UIT

- G-9802.1 : norme WDM-PON pour usage "fronthaul" 5G. 10/25/50 Gbit/s avec optiques colorées
- G-9804.1 & 2 : 50G-PON
- G-9807.3 : Super PON (S-PON) avec des portées de 40 km, symétrique 10 Gbit/s ou 10 G/2,5 Gbit/s, multiplexage TWDM, coupleur 1/64, 16 λ

→ IEEE

- 802.3ca : 25/50G. Le standard est compatible avec E-PON et 10G-EPON

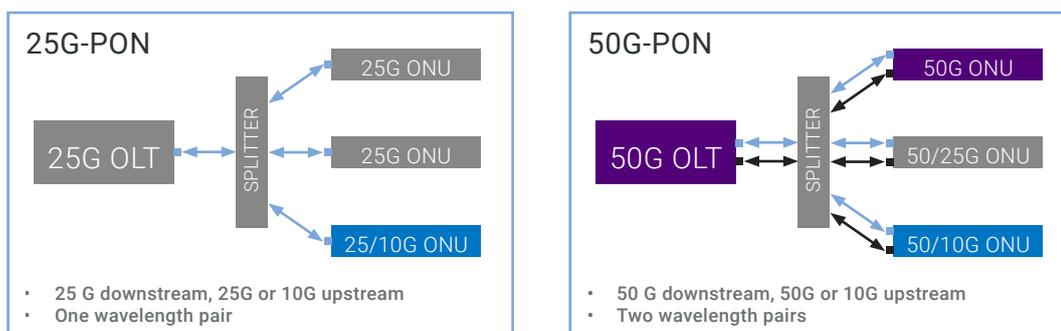


Fig. Source IEEE

- 802.3cs : Super PON (SP) comme ITU avec multiplexage TWDM

La norme NG-PON2 devrait être l'étape logique suivante pour les besoins résidentiels et pour répondre à l'augmentation des capacités des services et des réseaux. La croissance exponentielle des besoins en débit verra vraisemblablement, dans la prochaine décennie, une évolution vers des débits plus élevés.

Il est à noter qu'avec l'augmentation des débits, d'autres paramètres techniques seront à considérer comme la dispersion chromatique (CD).

La norme NG-PON2, bien qu'elle ait un réel potentiel d'amélioration, présente quelques défis inhérents. Elle utilise le multiplexage temporel et le multiplexage par répartition en longueur d'onde (TWDM) pour permettre le passage simultané de quatre transmissions de plus de 10 Gbit/s, voire plus, sur une même fibre optique, pour une capacité symétrique totale de 40 Gbit/s. Cette technologie diffère considérablement du XGS-PON qui, tout comme les versions GPON qui l'ont précédée, fonctionne sur la base de longueurs d'onde ascendantes et descendantes spécifiques. Bien que le potentiel en bande passante de la norme NG-PON2 soit intéressant, elle nécessite l'utilisation de différents SFP ou "transceivers" optiques accordables sur chaque longueur d'onde (λ) ou multi lambdas (λ) aux deux extrémités de la liaison.

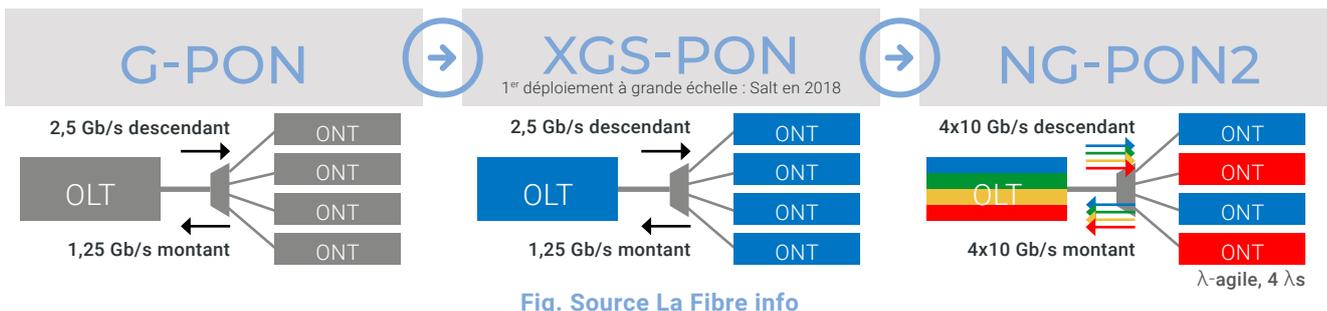


Fig. Source La Fibre info

L'utilisation du TWDM permet de varier les capacités en longueur d'onde des réseaux NG-PON2. Les gammes de longueurs d'onde ascendantes et descendantes allouées par la norme NG-PON2 ne chevauchent pas les longueurs d'onde propres aux normes XGS-PON ou GPON. Cette distinction permet de superposer le service NG-PON2 sur des installations GPON ou XGS-PON existantes. Les normes NG-PON2 et XGS-PON utilisent des longueurs d'onde descendantes plus hautes (>1550 nm), qui sont aussi plus sensibles aux pertes de puissance à cause de l'atténuation des macro-courbures de la fibre optique.

La contrainte en courbure affectera les longueurs d'ondes montantes de 1524-1544 nm et celles descendantes de 1596-1603 nm du NG-PON2 en mode de multiplexage TWDM PON ainsi que celles montantes et descendantes de 1603-1625 nm pour le mode de multiplexage P2P WDM PON.

Pour assurer cette capacité de migration en douceur, la superposition via la technologie WDM conformément à l'allocation de longueur d'onde optique décrite dans [UIT-T G.984.5] doit être mise en œuvre dans toutes les équipements ONU. Le choix restera bien sûr, à l'opérateur d'utiliser cette capacité ou plutôt d'exécuter un remplacement complet des dispositifs actifs PON dès le début d'un processus de mise à niveau.

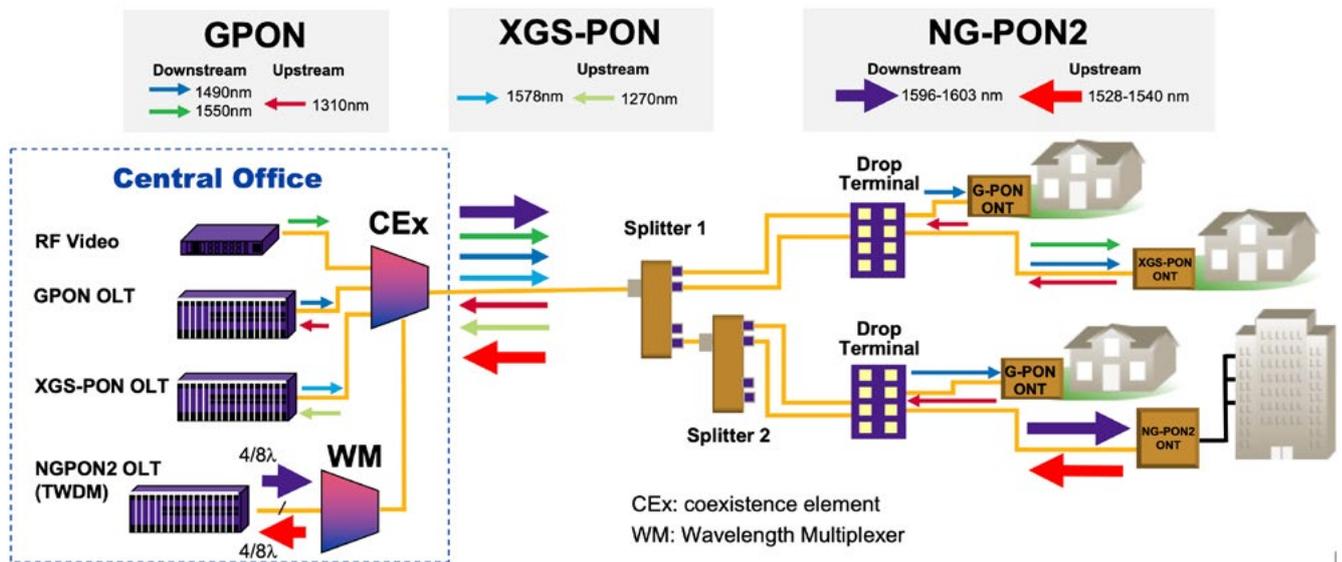
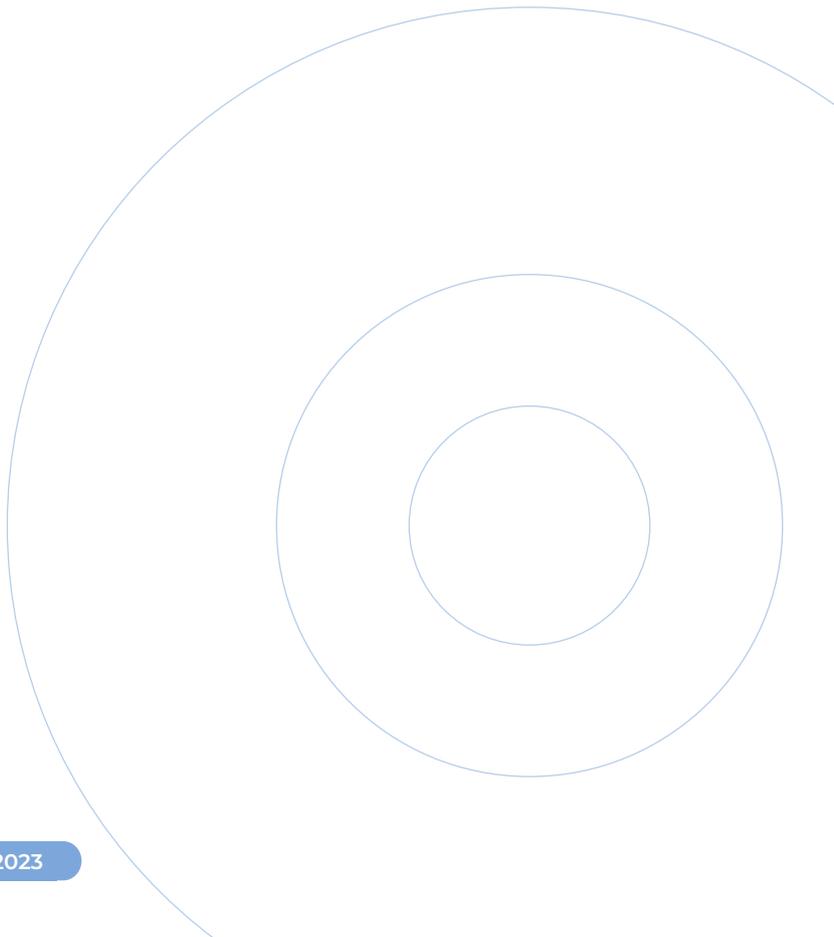


Fig. Cohabitation technologies PON (source Viavi Solutions)

La figure ci-dessus visualise une architecture PON multi-technologies (GPON, XGS-PON, NG-PON2). On remarque bien que l'architecture physique n'est pas modifiée. Seuls les équipements au NRO et chez les abonnés seront à adapter en fonction de la technologie retenue.

Le déploiement d'un réseau NG-PON2 pourra encore accroître la bande passante, si les exigences plus strictes en matière de perte optique et de réglage des émetteurs/récepteurs sont respectées. Des tests complémentaires seront aussi à effectuer au regard de la technologie (WDM) et des longueurs d'onde différentes des autres technologies.



DOCUMENTS

→ LES STANDARDS PON

Vous trouverez ci-dessous un récapitulatif à jour des différentes normes sur les standards PON. Ils sont formatés en document d'une page avec graphique et courte explication.

- **G.657** : Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable (itu.int)
- **PON Overview** : ITU-T Passive Optical Network Solutions
- **G.984** : Gigabit Passive Optical Networks
- **G.984.5 Amendment** : Gigabit Passive Optical Networks: Enhancement band and PON Coexistence
- **G.987** : 10-Gigabit Passive Optical Networks
- **G.9807** : 10-Gigabit Symmetric Passive Optical Networks
- **G.989** : NGPON2 Passive Optical Networks
- **G.988** : ONU Management and Configuration Interface
- **G.986** : 1 Gbit/s point-to-point optical access system and G.9806: Higher-speed bidirectional point-to-point
- **G.9802** : Multiple-Wavelength Passive Optical Networks
- **G.9803** : Radio over fibre systems
- **G.9804** : HSP: Higher Speed Passive Optical Networks
- **G.9805** : Coexistence of Passive Optical Network Systems
- **G.Suppl.45** : Optical access systems power conservation
- **G.Suppl.49** : Rogue optical network unit (ONU) considerations
- **G.Suppl.66** : 5G wireless fronthaul in a PON context
- **G.Suppl.71** : Cooperative Dynamic Bandwidth Allocation
- **G.Suppl.74** : Network Slicing in a Passive Optical Network
- **G.Suppl.75** : 5G small cell backhaul/midhaul over TDM-PON

→ SPÉCIFICATIONS ARCEP

- https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/dossiers/fibre/CE_recueil_specification_ZMD_V10.pdf
- <https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1676588147/reprise/dossiers/fibre/avis-CE-utilisation-G652D-sur-transport.pdf>
- https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/dossiers/fibre/20120213-cefibre_schemas_glossaire_FttH.pdf

→ SPÉCIFICATIONS SYCABEL

- https://www.sycabel.com/upload/docs/application/pdf/2022-12/dtfo_1_2_3_4_5_6.pdf

GLOSSAIRE

A-PON ATM-PON • Asynchronous Transfer Mode

BPE • Boîtier de protection d'épissure

B-PON • Broadband Passive Optical Network (PON large bande)

CD • Chromatic Dispersion. Dispersion chromatique

CPE • Customer premises equipment

CRC • Contrôle de redondance cyclique

CO / Cex • Central office / Central exchange

DBA • Dynamic band allocation

DL • Downstream ou Downlink

DWDM • Dense Wavelength Division Multiplexing
(Multiplexage en longueur d'onde)

EMS • Element Management System

E-PON • Ethernet Passive Optical Network

FEC • Forward Error Correction

F-SAN • Full service access network

FTTE • Fiber to the Enterprise

FTTP • Fiber to the Distribution Point

Fiber to the x • **B** – building, business • **H** – home
• **C** – cabinet, curb • **O** – office

GMII • Gigabit media independant interface

GPON • Gigabit-capable Passive Optical Network

IEEE • Institute of Electrical and Electronics Engineers

Lambda (λ) • Longueur d'onde

LLID • Logical link ID

MAC • Media access control

MDU • Management Data Unit

MPCP • Multi-Point Control Protocol

MUX • Multiplexer

NGPON2 • Next Generation Passive Optical Network 2

NRO • Noeud de raccordement optique

NT • Network Termination

OAM • Operation, Administration and Maintenance

OAN • Optical Access Network

ODN • Optical Distribution Network

OLT • Optical Line Terminal

ONT • Optical Network Terminal

ONU • Optical Network Unit

ORL • Optical return loss

OSA • Optical spectrum analyzer (Analyseur de spectre optique)

OTDR • Optical Time Domain Reflectometer (Réflectomètre optique)

OTN • Optical Transport Network

PBO • Point de branchement optique

PCS • Physical coding sublayer

P2P • Point to Point

P2MP • Point to Multipoint

PLI • Payload length indicator

PM • Point de mutualisation

PMA • Physical medium attachment

PMD • Physical medium dependant

PMD • Polarization mode dispersion (Dispersion modale de polarisation)

PON • Passive optical network

PON ID • Passive optical network identifiant

PTO • Prise terminale optique

RIP • Réseau initiative publique

RS • Reed Solomon

SC/APC • Standard connector / Angled Physical Contact

SFP • Small Form Factor ou transceiver

SMF • Single mode fiber (Fibre monomode)

SP • Super PON

TC • Transmission convergence layer

TDM • Time Division Multiplexing

TDMA • Time Division Multiple Access

THD • Très haut débit

TWDM • Time and Wavelength Division Multiplexing

UIT • Union internationale des télécommunications (ITU)

UP • Upstream ou Uplink

VFL • Visual Faults locator (Localisateur visuel de défauts)

WDM • Wavelength Division Multiplexing (Multiplexage longueur d'onde)

WDM PON • PON Wavelength Division Multiplexing

XGMII • 10 Gigabit media independant in terface

XGS-PON • 10-Gigabit capable Symmetric Passive Optical Network

XGPON • 10-Gigabit Passive Optical Network



L'ASSOCIATION DES MÉTIERS ET DES EXPERTISES
POUR LE TRÈS HAUT DÉBIT



Association interprofessionnelle active depuis 1993, le Cercle CREDO regroupe et fédère l'ensemble des métiers et expertises de la technologie fibre optique, des réseaux à Très Haut Débit et des usages du numérique.

Les travaux des experts du Cercle CREDO (près de 80 membres) avec l'implication des 10 partenaires, portent sur des infrastructures neutres, mutualisées et essentielles pour l'intérêt général : réseaux optiques des Opérateurs d'Importance Vitale (transports, énergie, sécurité,) réseaux FTTH déployés dans le cadre du Plan France très Haut Débit et nouveaux réseaux (5G, datacenters, IoT,...).

NOS MISSIONS

- > **PROMOUVOIR** le rôle et l'utilisation de la fibre optique dans les infrastructures et les réseaux.
- > **DÉFINIR** des spécifications techniques et émettre des recommandations.
- > **ACCOMPAGNER** et susciter l'apparition des innovations liées à la fibre optique et au Très Haut Débit.
- > **ENCOURAGER** les échanges et partages d'information entre les acteurs de la filière.

CREDO

contact@cercle-credo.com
www.cercle-credo.com

17 rue de l'Amiral Hamelin
75016 Paris

Scannez
et découvrez !



Pour scanner, téléchargez l'app Unitag
gratuite sur unitag.io/app

