

Réseau optique passif (PON)

Apprenez tout ce qu'il y a à savoir sur les réseaux optiques passifs : les différents types de réseaux PON, les diverses applications des réseaux PON, leurs avantages, l'architecture PON, et bien plus encore !

Qu'est-ce qu'un réseau optique passif (Passive Optical Network, PON) ?

Un réseau optique passif (PON) est un réseau de fibre optique utilisant une topologie point à multipoint et des coupleurs optiques pour générer des données à partir d'un point de transmission unique vers de multiples terminaisons d'utilisateurs. Le terme « passif », dans ce contexte, fait référence au fait que la fibre et des composants de couplage/combinaison ne sont pas alimentés.

Contrairement à ce qui se passe dans un réseau optique actif, l'alimentation en électricité n'est nécessaire qu'au niveau des points d'envoi et de réception. C'est pourquoi les réseaux PON sont extrêmement efficaces du point de vue des coûts opérationnels. Les réseaux optiques passifs sont utilisés pour transmettre des signaux dans le sens ascendant et le sens descendant simultanément, vers et depuis les terminaisons d'utilisateurs.

Composants et appareils pour réseaux optiques passifs

La fibre optique et les coupleurs constituent les éléments véritablement « passifs » des réseaux PON, car ils n'exigent aucune alimentation électrique. Les coupleurs optiques ne sont pas sélectifs en longueur d'onde. Ils divisent simplement toutes les longueurs d'onde optiques dans le sens descendant et bien sûr, la division d'un signal optique implique une perte d'énergie qui dépend du nombre de divisions subies par le signal. Les coupleurs n'exigent pas d'actions de refroidissement ou de maintenance continue, par ailleurs inhérentes aux composants des réseaux actifs (tels que les amplificateurs optiques) ; ils peuvent donc fonctionner pendant des décennies si l'on n'y touche pas. En plus de ces composants passifs, des appareils terminaux actifs sont nécessaires afin de créer un réseau PON complet.

Le terminal de ligne optique (Optical Line Terminal, OLT) constitue le point de départ de tout réseau optique passif. Il est connecté à un commutateur central via des connecteurs Ethernet enfichables. La fonction première de l'OLT est de convertir, d'encadrer et de transmettre des signaux pour le réseau PON, puis de coordonner le multiplexage du terminal de réseau optique (Optical Network Terminal, ONT) pour la transmission ascendante partagée. Les appareils de l'utilisateur final sont parfois qualifiés d'unités de réseau optique (Optical Network Unit, ONU). Il s'agit d'une simple différence de terminologie entre les deux principaux organismes de normalisation : ONT pour l'ITU-T et ONU pour l'IEEE. Ces deux termes sont, dans les faits, interchangeable, mais on utilise l'un ou l'autre en fonction du service PON et de la norme utilisée (voir ci-dessous).

L'ONT est l'appareil alimenté du réseau optique passif situé à l'extrémité (utilisateur) opposée du réseau. Il comprend des ports Ethernet pour appareils domestiques ou pour la connectivité réseau.

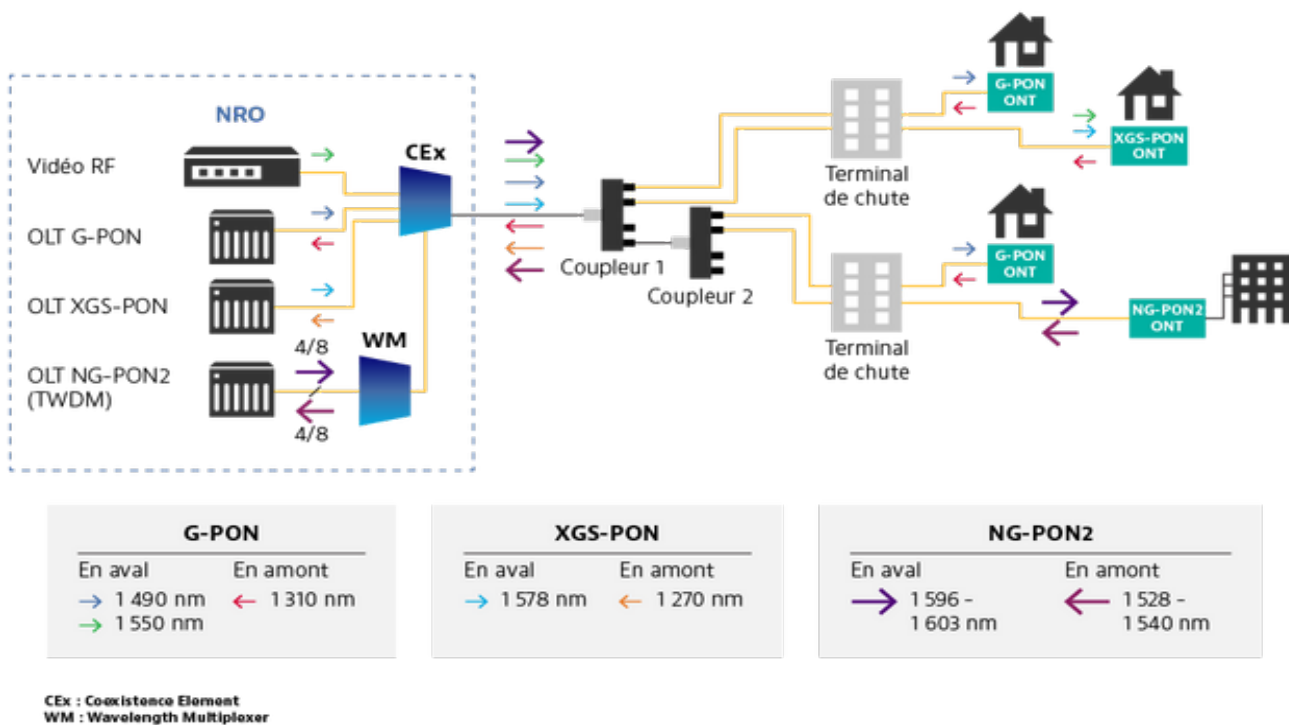
Architecture de réseau optique passif

Les réseaux PON adoptent une architecture point à multipoint (P2MP) qui utilise des coupleurs optiques pour diviser le signal descendant d'un OLT unique en de multiples voies descendantes vers les utilisateurs finaux. Ces mêmes coupleurs combinent les multiples voies de signaux ascendants depuis les utilisateurs finaux jusqu'au même OLT.

L'architecture point à multipoint a été sélectionnée en tant qu'architecture PON la plus viable pour les réseaux d'accès optique, car elle associe l'efficacité inhérente au partage de la fibre optique à une faible consommation d'énergie. Cette architecture a été standardisée en 1998 par la norme ATM-PON G.983.1.

Aujourd'hui, la norme ITU-T G.984 pour G-PON a supplanté la norme ATM, car le mode de transfert asynchrone (Asynchronous Transfer Mode, ATM) n'est plus utilisé.

Un réseau PON débute par le terminal de ligne optique (OLT) qui est placé sur le site source du fournisseur de service, généralement connu sous le nom de Bureau central ou local, ou parfois appelé « point d'échange » ou « tête de réseau ». À partir de là, le câble d'alimentation de la fibre optique (ou système d'alimentation à fibre optique) est acheminé vers un coupleur passif, avec une fibre de secours le cas échéant. Les fibres optiques de distribution sont ensuite connectées du coupleur à un terminal de chute, lequel peut être situé dans une armoire extérieure ou dans un solide boîtier monté dans un fossé, sur un poteau téléphonique ou même sur le côté d'un bâtiment. Les fibres de chute fournissent ensuite la connexion finale individuelle depuis le port de terminal de chute jusqu'à l'ONT/ONU de l'utilisateur final. Dans certains cas, plusieurs coupleurs en série sont utilisés. On parle alors d'architecture de coupleur en cascade.



Les signaux transmis via le système d'alimentation à fibre optique peuvent être divisés pour fournir des services à un maximum de 128 utilisateurs, avec un ONU ou ONT, en convertissant les signaux et en fournissant ainsi un accès à Internet aux utilisateurs. On nomme rapport de division ou coefficient de fractionnement le nombre de fois où le signal OLT descendant est divisé ou fractionné avant d'atteindre l'utilisateur final (par exemple, 1:32 ou 1:64).

Dans les configurations plus complexes, où des vidéos RF sont diffusées en parallèle aux services de données PON ou lorsque des services PON supplémentaires coexistent sur le même réseau PON, des multiplexeurs passifs sont utilisés au niveau du bureau central/local afin de faire fusionner la longueur d'onde du signal vidéo et les longueurs d'onde des services PON supplémentaires sur le système d'alimentation à fibre optique OLT sortant.

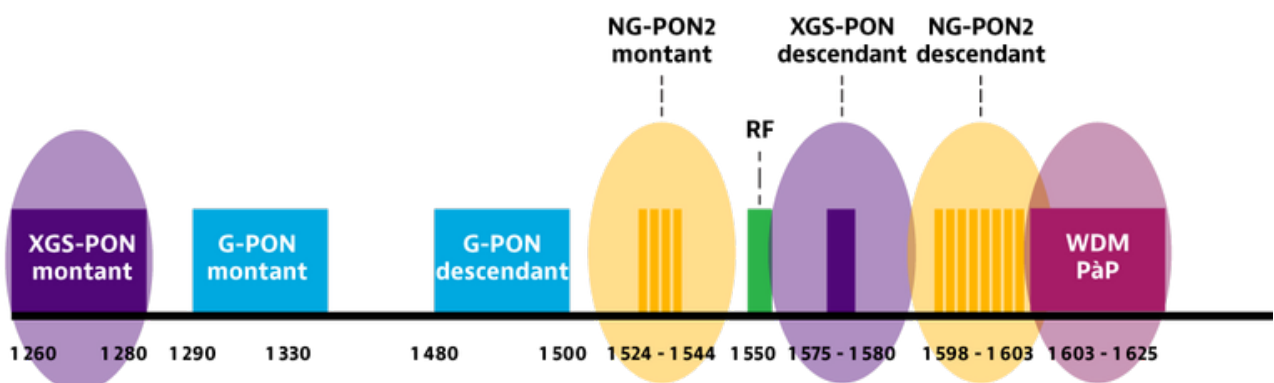
Fonctionnement d'un réseau optique passif

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (Wave Division Multiplexing, WDM), une innovation inhérente au fonctionnement des réseaux PON, est utilisé pour séparer les flux de données en fonction la longueur d'onde (couleur) du laser. Une longueur d'onde peut être utilisée pour transmettre les données descendantes alors qu'une autre transportera les données ascendantes. Ces longueurs d'onde dédiées varient en fonction de la norme PON utilisée et peuvent être présentes simultanément sur une même fibre optique.

Le multiplexage par répartition dans le temps (Time Division Multiple Access, TDMA) est une autre technologie utilisée pour attribuer une longueur d'onde ascendante à chaque utilisateur final pour une période donnée. Cela est géré par l'OLT, ce qui évite les collisions longueur d'onde/données au niveau des coupleurs PON ou de l'OLT dues au fait que de multiples ONT/ONU transmettent simultanément des données ascendantes. Cette technologie est également appelée transmission en mode rafale pour signaux PON ascendants.

Types de services PON

Depuis son lancement dans les années 1990, la technologie PON n'a cessé d'évoluer et de nombreuses versions de la topologie des réseaux PON ont pris forme. Les normes PON d'origine, APON et BPON, ont petit à petit laissé la place à la bande passante et aux avantages globaux, en termes de performance, des versions plus récentes.



G-PON

Les réseaux PON à connexion Gigabit, ou G-PON, développés par l'ITU-T, utilisent des protocoles basés sur IP et sont reconnus pour leur incroyable flexibilité vis-à-vis des types de trafic et des applications « Triple Play » (Internet, téléphonie, télévision). La méthode d'encapsulation G-PON générique est capable de combiner des données IP, Ethernet, VoIP et de bien d'autres types encore.

Aujourd'hui, la technologie G-PON est considérée de facto comme la norme PON, avec des réseaux couvrant des distances de 20 à 40 km en fonction du rapport de division adopté, par rapport à la fibre optique monomode. La longueur d'onde descendante est configurée à 1 490 nm et la longueur d'onde ascendante à 1 310 nm, avec un débit descendant de 2,4 Gbit/s et un débit ascendant de 1,2 Gbit/s.

E-PON

L'Ethernet PON, ou E-PON, est une autre norme de l'IEEE pour les réseaux optiques passifs. Elle a été développée pour fournir une compatibilité homogène avec les appareils Ethernet. Basée sur la norme IEEE 802.3, l'E-PON n'a besoin d'aucun protocole d'encapsulation ou de conversion supplémentaire pour se connecter aux réseaux basés sur Ethernet. Cela s'applique au transfert des données ascendant aussi bien que descendant. L'E-PON conventionnel peut prendre en charge des débits ascendant et descendant symétriques pouvant atteindre 1,25 Gbit/s. Tout comme les réseaux G-PON, les réseaux E-PON peuvent s'étendre sur 20 à 40 km (distance qui dépend une fois encore du rapport de division) et utilisent des longueurs d'onde similaires de 1 310 nm dans le sens ascendant et de 1 490 nm dans le sens descendant. Cela est dû au fait que les technologies E-PON et G-PON ne peuvent pas être déployées sur le même réseau PON.

10G-E-PON

La toute dernière norme, appelée 10G-E-PON, augmente les vitesses jusqu'à des débits ascendant et descendant symétriques de 10 Gbit/s. De plus, elle fonctionne à différentes longueurs d'onde sur les réseaux E-PON (1 577 nm dans le sens descendant et 1 270 nm dans le sens ascendant), ce qui permet d'utiliser le même réseau PON pour les normes E-PON et 10G-E-PON simultanément. Ce mécanisme permet une mise à niveau uniforme du service et augmente la capacité des réseaux PON existants.

XG(S)PON

La version 10G du G-PON se nomme XG-PON. Ce nouveau protocole prend en charge un débit descendant de 10 Gbit/s et un débit ascendant de 2,5 Gbit/s. Bien que les conventions relatives à la fibre optique physique et au formatage des données soient identiques à celles du G-PON initial, les longueurs d'onde ont changé, tout comme pour la norme 10G-E-PON, et sont désormais de 1 577 nm dans le sens descendant et de 1 270 nm dans le sens ascendant. Une fois encore, cet ajustement permet à un même réseau PON d'être utilisé pour le G-PON et le XG-PON simultanément. La version améliorée de la norme XG-PON, le XGS-PON, utilise les mêmes longueurs d'onde que le XG-PON et fournit des débits ascendant et descendant symétriques de 10 Gbit/s.

NG-PON2

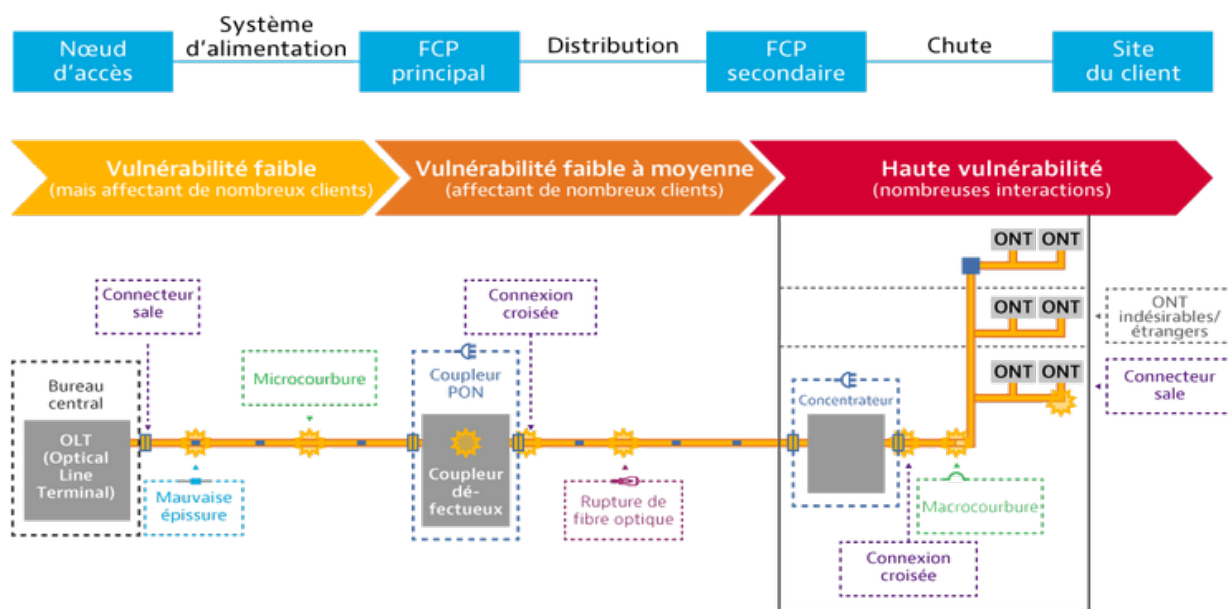
Au-delà du XG(S), on trouve la norme NG-PON2 qui utilise un multiplexage (WDM) avec de multiples longueurs d'onde de 10G, aussi bien dans le sens ascendant que dans le sens descendant, afin de fournir un débit de service symétrique de 40 Gbit/s. Le NG-PON2 utilise lui aussi des longueurs d'onde différentes de celles des normes G-PON et XG/XGS-PON, ce qui permet aux trois normes de coexister sur un même réseau PON.

Alors que les exigences en termes de débit continuent d'augmenter année après année, les normes XG-PON, XGS-PON et NG-PON2 vont fournir une voie de mise à niveau qui devrait s'avérer particulièrement bénéfique pour les grandes configurations à nombreux locataires ou les configurations d'entreprises clientes, ainsi que dans le cadre des réseaux 5G sans fil.

Signal vidéo RF

Les signaux de télévision RF (analogiques ou numériques) peuvent être diffusés sur un réseau PON en étant modulés sur une longueur d'onde optique unique, en général de 1 550 nm. C'est ce qu'on appelle le signal vidéo RF.

Vulnérabilité élevée aux ruptures au niveau de la ligne d'alimentation ou de l'OLT



Avantages des réseaux optiques passifs

Une consommation d'énergie efficace

Le déploiement d'un réseau PON offre de nombreux avantages inhérents. Le principal avantage tient à l'absence d'alimentation nécessaire pour faire fonctionner le réseau d'accès. Étant donné que seuls la source et les récepteurs terminaux du signal ont besoin d'être alimentés, le système possède moins de composants électriques, ce qui réduit les besoins de maintenance ainsi que les risques de pannes.

Une infrastructure simplifiée et des mises à niveau facilitées

L'architecture passive supprime également la nécessité de disposer de locaux techniques, d'infrastructures de refroidissement ou d'injecteurs électroniques. 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 la fréquence radio sur verre (RFoG) ou 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 réseaux cuivre, actuellement remplacés par des réseaux PON, sont particulièrement vulnérables au bruit et aux interférences électromagnétiques. Puisque les réseaux PON sont des réseaux optiques, ils sont à l'abri de telles interférences et préservent bien l'intégrité du signal sur les distances prévues. Dans un réseau PON, il faut avant tout s'assurer que les dispositifs actifs (ONT, ONU et OLT) gèrent correctement les délais et la transmission du signal, et que les composants passifs n'entraînent pas trop de perte de signal (atténuation optique). Ces pertes sont aisément identifiables et il est également très facile de déterminer leur cause à partir des éléments du PON, ce qui facilite la maintenance et le dépannage de ces réseaux.

Limites des réseaux optiques passifs

Distance

Malgré leurs nombreux avantages, les réseaux optiques passifs présentent quelques inconvénients potentiels par rapport aux réseaux optiques actifs. La limite de portée d'un réseau PON se situe entre 20 et 40 km, alors qu'un réseau optique actif peut atteindre 100 km.

Accès de test

Vulnérabilité élevée aux ruptures au niveau de la ligne d'alimentation ou de l'OLT

Dans l'architecture P2MP, la ligne d'alimentation et l'OLT desservent de multiples utilisateurs finaux (potentiellement jusqu'à 128). Il y a très peu de redondance et, en cas de coupure accidentelle de la fibre optique ou de défaillance d'un OLT, l'interruption de service peut être longue.

Applications PON

Un PON est parfois présenté comme le « dernier tronçon » entre le fournisseur et l'utilisateur ou entre la fibre optique et le X (FTTX), le « X » pouvant faire référence au domicile (FTTH), au bâtiment (FTTB), aux locaux d'entreprise (FTTP) ou à tout autre emplacement, selon l'endroit où se termine la fibre optique. Jusqu'ici, les réseaux de fibre à l'abonné (FTTH) constituaient la principale application de la norme PON.

L'infrastructure de câblage réduite (sans éléments actifs) et les attributs flexibles de transmission des médias des réseaux optiques passifs en ont fait la solution idéale pour les applications d'Internet domestique, de voix et de vidéo. Au fur et à mesure de l'évolution de la technologie PON, ses applications potentielles se sont elles aussi élargies.

Le déploiement de la 5G continue et les réseaux PON ont découvert une nouvelle application avec le fronthaul 5G. Le fronthaul est la connexion entre le contrôleur de bande de base et la tête radio distante de l'antenne-relais.

Du fait des exigences en termes de bande passante et de latence imposées par la 5G, utiliser des réseaux PON afin de compléter les connexions fronthaul peut réduire le nombre de fibres optiques et améliorer l'efficacité sans compromettre la performance. Tout comme le signal source est divisé entre les utilisateurs pour le FTTH, le signal des unités de bande de base peut être distribué vers plusieurs têtes radio distantes.

Parmi les autres applications adaptées aux réseaux optiques passifs, on peut citer les campus universitaires et les environnements d'entreprises. Pour les applications sur des campus, les réseaux PON offrent des avantages évidents en termes de débit, de consommation d'énergie, de fiabilité, de distances d'accès et, surtout, en termes de coûts d'installation/déploiement et de fonctionnement.

Le PON permet d'intégrer des fonctionnalités propres aux campus telles que la gestion des bâtiments, de la sécurité et des parkings, tout en réduisant la quantité d'équipement, de câbles et de systèmes de gestion dédiés. De même, les complexes d'entreprises de taille moyenne à grande peuvent retirer des bénéfices immédiats de l'implémentation d'un réseau PON, car la réduction des coûts d'installation et de maintenance a un impact direct sur les résultats financiers.

Globalement, les avantages inhérents aux réseaux optiques passifs l'emportent nettement sur ces inconvénients.

À mesure que la technologie PON continue de s'améliorer, les avantages stratégiques et économiques du déploiement des réseaux PON sont de plus en plus convaincants. Parmi les défis auxquels les futures générations de concepteurs seront confrontées figurent notamment l'amélioration de la portée et les rapports de division plus élevés afin de réduire encore plus les dépenses liées aux câbles. Ces améliorations, combinées à des débits atteignant désormais 10 Gbit/s et plus, favoriseront la poursuite du développement des réseaux optiques passifs, notamment dans les villes, universités, hôpitaux et entreprises intelligentes qui dessinent le monde connecté de demain.