



AROONA

LIVRE BLANC

Augmenter la bande passante des liens fibrés multimodes

**Comparaison des méthodes
d'offset launch et de center launch**



Les **fibres multimodes** (MMFs pour Multimode Fibers) ont été largement déployées dans les réseaux locaux mais elles **ne permettent pas de satisfaire les besoins croissants en bande passante**. Les responsables réseaux doivent alors repenser leur infrastructure pour en augmenter les capacités de transmission. Une grande majorité des MMFs déployées est ancienne et n'est pas adaptée pour une transition en douceur vers le 10 Gb/s. Il est ainsi **délicat de monter en débit sans modifier l'infrastructure de câblage fibre existante**.

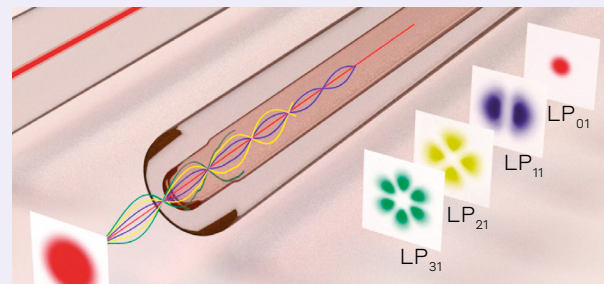
Dans ce document **deux solutions alternatives seront décrites, permettant une transition vers le 10 Gb/s sans nécessiter de recâblage**. Nous nous focaliserons d'abord sur les cordons d'adaptation de mode combinés à des transceivers LRM (Long Reach Multimode) comme défini par le standard IEEE 802.3aq. Nous introduirons ensuite une technologie innovante et passive de mise en forme de faisceau laser récemment développée et présentant de meilleures performances, permettant ainsi d'augmenter les capacités de transmission des fibres multimodes historiques pour effectuer des transmissions hauts débits.

S'affranchir de la limitation en bande passante des MMFs : la piste des conditions d'injection de la lumière dans la fibre

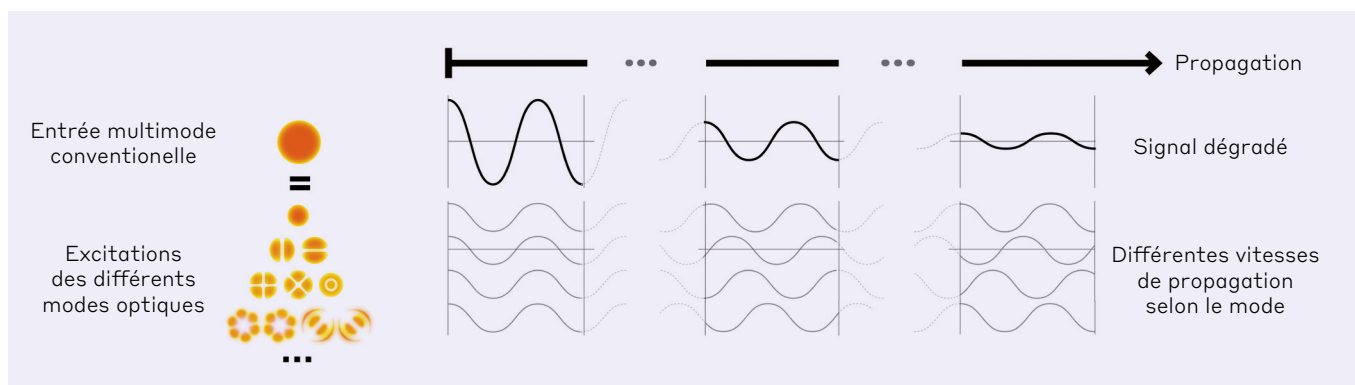
Une fibre multimode présente des limitations de performance qui sont intrinsèques à ses propriétés physiques. Plus spécifiquement, pour les fibres optiques multimodes historiques de type OM1 (62.5/125 μm) et OM2 (50/125 μm), **la dispersion modale limite fortement les transmissions à haut débit**. La dispersion modale est un phénomène de distorsion du signal qui apparaît dans les fibres optiques multimodes. Les différents modes se propageant dans la fibre présentent des vitesses de propagation distinctes, déformant ainsi les impulsions du signal au cours de sa propagation au sein de la fibre.

Revenons sur les propriétés physiques des fibres multimodes afin d'analyser ce phénomène plus en détails. Selon les conditions d'injection de la lumière laser en provenance du transceiver dans la fibre multimode, la lumière est « séparée » en différents rayons appelés « modes ». Chaque mode voyage le long de la fibre en

suivant un chemin optique différent, chaque chemin ayant une longueur distincte des autres. Ainsi, les modes atteignent la sortie de la fibre à des moments distincts. Cet effet de **retard différentiel des modes est appelé DMD pour Differential Mode Delay**.



Principe de propagation multimode



De ce phénomène physique résultent des interférences inter-symboles et l'impossibilité d'interpréter les données transmises, ayant pour conséquence un taux d'erreur binaire dégradé et donc une transmission de mauvaise qualité. Cette distorsion est d'autant plus importante que le débit est élevé. Pour résumer, **la dispersion modale dégrade la largeur de la bande passante d'une fibre optique multimode**. Pour un débit donné, elle réduit la distance qui peut être atteinte de façon fiable entre émetteur et récepteur. Ainsi, une transmission standard sur une fibre multimode avec des transceivers de type **10GBASE-SR** (longueur d'onde de 850 nm) est limitée à une distance de **33 mètres sur une fibre conventionnelle 62.5 µm (OM1) et à 82 mètres sur une fibre conventionnelle 50 µm (OM2)**. Une solution évidente pour s'affranchir de ces limitations en débit et distance dues à la dispersion modale dans les fibres multimodes historiques serait de les remplacer par des fibres multimodes de nouvelle génération ou par des fibres monomodes, qui ne sont pas affectées par la dispersion modale. Cependant, un déploiement de nouvelle fibre peut s'avérer complexe et très onéreux.

Les responsables informatiques et les architectes réseaux disposent désormais du choix entre plusieurs alternatives pour upgrader leur infrastructure de câblage du 100 Mb/s ou 1 Gb/s vers le 10 Gb/s sans avoir à modifier leurs fibres et sont capables de répondre aux besoins toujours plus importants en bande passante. Faisons un tour d'horizon des technologies alternatives au recâblage disponibles sur le marché.

Nous venons de voir que la bande passante des fibres multimodes dépend de la DMD liée à la dispersion modale, selon la façon dont les modes sont excités dans la fibre et leur distribution de puissance.

Ainsi, la capacité de transmission est liée aux conditions d'injection de la lumière dans la fibre. Nous allons tout d'abord étudier **les cordons de « mode conditioning »** qui réduisent l'effet de la dispersion modale, associés à des transceivers monomodes spécifiques de type LRM (Long Reach Multimode). Nous nous concentrerons ensuite sur la technologie MPLC (Multi-Plane Light Conversion ou Conversion Multi-Plan de la Lumière), technologie innovante de mise en forme de la lumière qui permet de **s'affranchir de la dispersion modale au sein des fibres MMFs à l'aide de la solution AROONA** et de transceivers monomodes traditionnels.

Note : Le profile d'indice de réfraction de la fibre a une influence forte sur la vitesse des différents modes de propagation à l'origine de la dispersion modale. Les techniques de transformation du verre ayant évolué, de nouvelles générations de fibres multimodes ont été développées (OMx où x = 1, 2, 3, 4 ou 5), présentant des gradients d'indice différents et ayant ainsi de moindres différences de vitesses de propagation entre les modes. Cela signifie que les nouvelles générations de MMF sont capables de transmettre de plus hauts débits que les fibres de premières générations.

Cordons de « mode conditioning » combinés à une compensation électronique de la dispersion

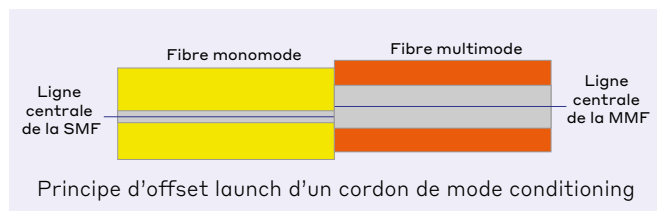
Pour essayer de résoudre le problème de la limitation en bande passante des MMFs, un nouveau type d'interface 10 Gb/s a été développé au sein du standard IEEE 802.3aq. Dénommés **LRM pour Long Reach Multimode**, ces interfaces sont spécifiquement conçues pour assurer la compatibilité avec des fibres OM1 et OM2. Les interfaces LRM transmettent autour d'une longueur d'onde de 1300 nm et permettent une **transmission 10 Gb/s jusqu'à 220 m sur fibre OM1 ou OM2**.

L'augmentation de la distance par le standard 10GBASE-LRM sur des fibres multimodes conventionnelles est rendue possible par une technologie de traitement du signal sophistiquée dans la partie « récepteur » de ces transceivers, appelée **Electronic Dispersion Compensation** (EDC ou Compensation Electronique de la Dispersion). L'EDC se présente sous la forme d'un circuit intégré qui agit comme un filtre complexe d'adaptation continue du signal reçu de la fibre optique. Le but de l'EDC est de supprimer les interférences inter-symboles

créées par la dispersion modale au sein de la MMF et qui rendraient le signal indéchiffrable, augmentant ainsi légèrement la distance maximale atteignable sur ces liens. En tant que composant additionnel, l'EDC implique une augmentation des coûts et des besoins sur la partie réception d'un transceiver, consomme de l'énergie et dissipe de la chaleur. De plus, la technologie EDC présente intrinsèquement des pertes élevées (jusqu'à 66% de l'énergie du signal peut être perdue quand utilisée à la distance maximale de 220m).

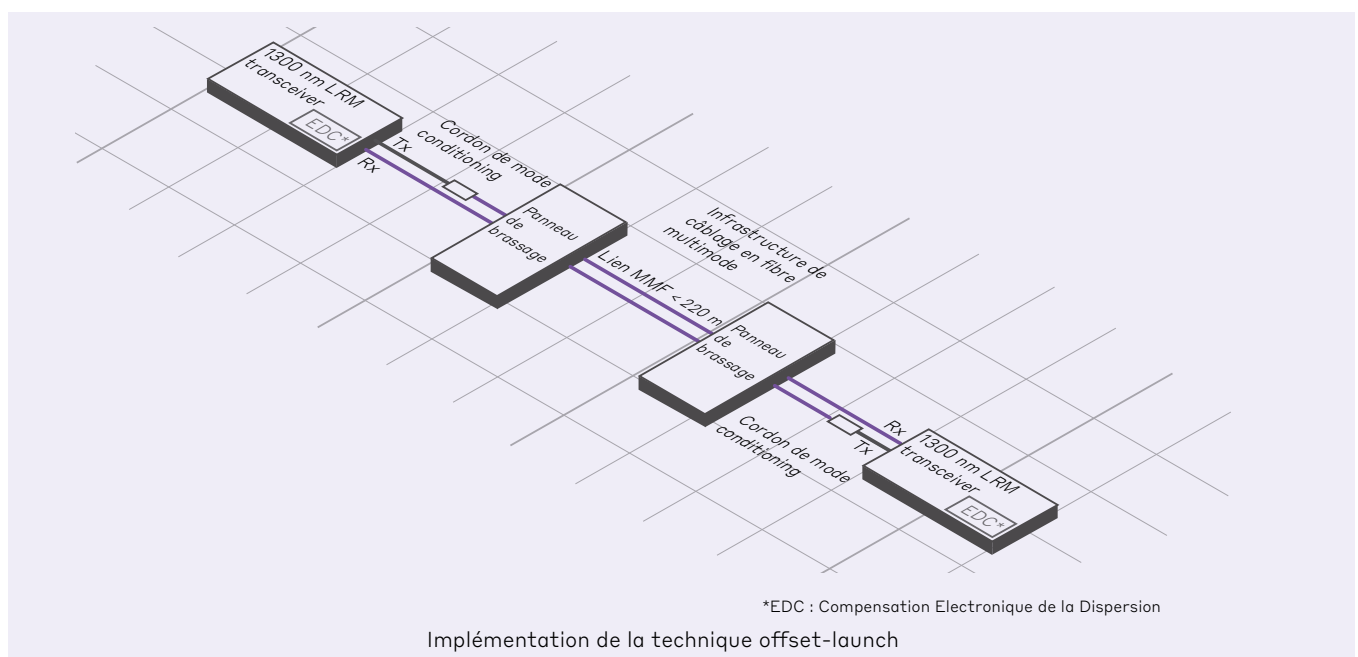
Pour atteindre la distance maximale de 220 m à 10 Gb/s, les transceivers **10GBASE-LRM doivent être utilisés avec des cordons de « mode conditioning »** (MCPC pour Mode Conditioning Patch Cord) aux deux extrémités de la fibre. En effet, le standard repose sur des conditions d'injection de la lumière spécifiques. Le cordon de « mode conditioning » est un composant spécifique qui décale le centre de la fibre monomode du centre de la fibre multimode. Cette technique est appelée « **offset**

launch » (injection décalée). Ainsi, le cordon de « mode conditioning » contrôle partiellement l'injection de la lumière dans la fibre multimode en provenance de la source LRM via une fibre monomode. Plus précisément, ce type de cordon assure une injection qui n'excite que quelques modes au sein du cœur de la fibre multimode, principalement des modes d'ordres élevés. En réduisant le nombre de mode excités **cette technique d'injection décalée réduit l'impact de la dispersion modale** en termes de DMD et d'interférences inter-symboles, permettant ainsi une légère augmentation de la longueur maximale de transmission sur MMF à haut débit. A cause de leur complexité, les cordons de « mode conditioning »



sont plus onéreux que les cordons monomodes classiques. Même si les cordons de « mode conditioning » réduisent le nombre de modes excités et améliorent les chances de conditions opérationnelles favorables, ils excitent tout de même une variété de modes et il n'existe aucune spécification de fibre qui permet d'assurer un niveau de débit minimal pour ce type de conditions d'injection. Ainsi, selon la qualité de la fibre optique, les résultats sont probants ou non, obligeant l'utilisateur à expérimenter sur le terrain avec sa propre fibre.

Malheureusement, la distance maximale de 220 m supportée par les équipements 10GBASE-LRM reste souvent trop courte pour répondre aux besoins des infrastructures de câblage des réseaux LAN, pour lesquelles les longueurs typiques sont supérieures à 300 m. Des études recensant les besoins à 10 Gb/s sur les liens multimodes existants ont montré qu'une distance maximale d'utilisation de 220 m ne permettait d'adresser que 60% des liens multimodes de réseaux locaux.

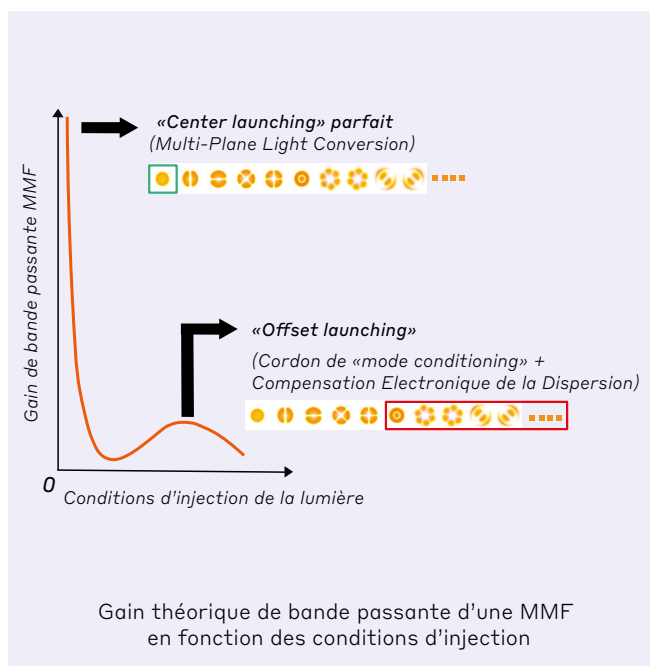


Une approche plus efficace des conditions d'injection

De nombreuses études ont été effectuées au sein des groupes de travail du standard 802.3aq (<http://www.ieee802.org/3/aa/public/>) et l'une d'elles s'est concentrée sur la plage de décalage d'injection nécessaire pour maximiser l'augmentation en bande passante. Les résultats théoriques montrent un gain significatif sur une gamme de décalage entre 15 et 20 μm , gamme de décalage actuellement visée lors de la fabrication des cordons de « mode conditioning ».

Cependant, **cette gamme de décalage correspond à un maximum secondaire du gain en bande passante, le gain maximum étant atteint pour un décalage nul.** La technique d'injection à décalage nul est appelée « **center launch** » (injection centrée). Cela signifie que la meilleure technique consisterait à créer un composant permettant une injection parfaitement centrée, n'excitant que le mode fondamental central au sein de la fibre multimode. Ainsi la propagation de la lumière dans la fibre multimode ne subirait plus de dispersion modale puisqu'un seul mode s'y propagerait : une sorte de transmission quasi-monomode sur une fibre multimode. **En réduisant le nombre de modes excités à 1, la technique d'injection centrée fait tendre l'impact de la dispersion modale vers zéro** en termes de DMD et d'interférences inter-symboles, permettant ainsi d'augmenter drastiquement

la longueur maximale de transmission haut débit sur fibre multimode.



Une technologie passive d'injection centrée

Une technique pour s'affranchir de la dispersion modale est de transmettre l'information sur un unique mode le long de la fibre multimode. En excitant correctement un seul mode spatial de la fibre, le couplage du signal à d'autres groupes de modes (et donc à différentes vitesses de propagation) est négligeable, et **le mode spatial peut être utilisé comme un canal indépendant de transmission à haut débit, avec les mêmes propriétés de transmission qu'une fibre monomode.**

La technologie **MPLC** (Multi-Plane Light Conversion ou Conversion Multi-Plan de la Lumière) brevetée par Cailabs permet une mise en forme flexible et complète de la lumière présentant des pertes très faibles à travers une succession de profils de phase, similaires à des lentilles optiques très complexes. La technologie MPLC met en forme un rayon laser (lumière en provenance d'un transceiver) de telle façon que les différents modes au sein de la fibre optique multimode sont excités de façon indépendante. Aujourd'hui, la technologie MPLC est la technique de mise en forme de la lumière et de multiplexage spatial la plus flexible et la plus efficace du marché, permettant à tous les

modes d'une fibre multimode d'être adressés de façon précise et indépendante. Cette caractéristique s'adapte notamment aux besoins des équipes R&D télécom qui développent les réseaux de télécommunication du futur, basés sur le multiplexage spatial.

(Pour comprendre comment le MPLC a aidé à transmettre 1000 Tb/s sur une seule fibre, voir cet article <https://blog.cailabs.com/comment-atteindre-10-pb/s-dans-une-seule-fibre-optique>)

Comme expliqué précédemment, la clé du problème de la limitation en bande passante des fibres multimodes déployées dans les réseaux locaux est l'excitation modale précise grâce à des conditions d'injection spécifiques qui permettent de s'affranchir du problème de la dispersion modale. **La plateforme technologique MPLC est utilisée, à travers la gamme de produits AROONA, comme moyen d'augmentation de la capacité de transmission des fibres multimodes existantes en réalisant une injection centrée de la lumière dans les fibres historiques. En s'affranchissant des limitations en débit et en longueur, des dizaines de**

Gb/s peuvent être transmis sur plusieurs kilomètres d'une infrastructure multimode existante. La gamme AROONA est composée de solutions adaptées à tout type de topologie réseau, permettant une évolution progressive et flexible du réseau optique historique. La gamme est compatible avec tout type de fibre multimode, 62.5/125 μm et 50/125 μm (OM1 à OM5).

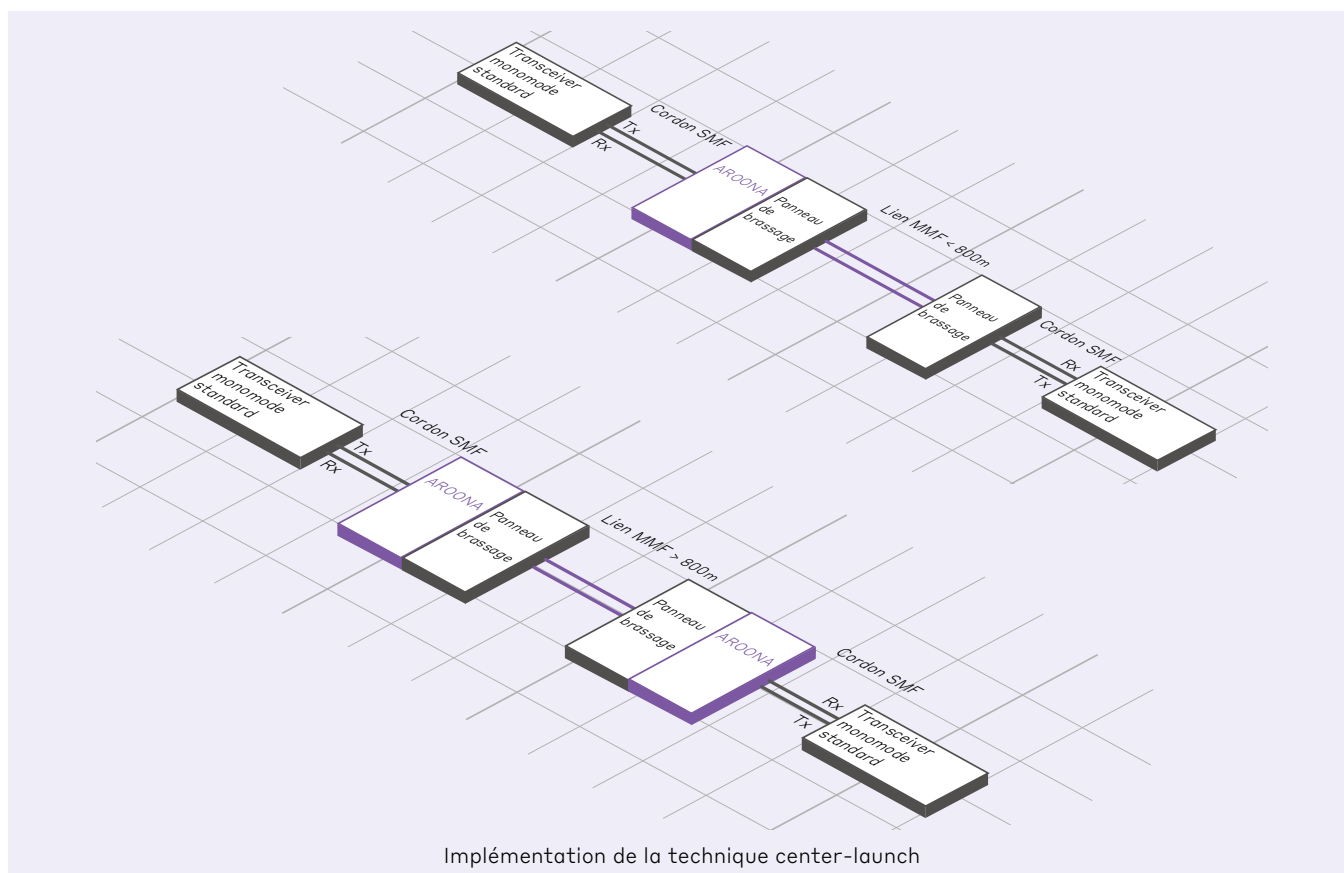
De plus, ces solutions étant composées uniquement d'éléments optiques, elles sont **passives** (pas de supervision, pas de consommation d'énergie) et agissent au niveau de la couche physique, les rendant **transparentes au protocole de communication et au format de modulation utilisés**. L'EDC ou d'autres systèmes complexes de traitement du signal ne sont pas nécessaires au niveau du récepteur ; des systèmes de détection classique, comme une détection directe, sont suffisantes. Cette technique est **transparente à la longueur d'onde** et peut être utilisée en bande O (autour de 1310 nm) ou en bande C (autour de 1550 nm) à l'aide de transceivers monomodes standards à 1 Gb/s, 10 Gb/s ou plus. Les pertes intrinsèques d'un tel adaptateur modal sont inférieures à 2 dB et n'ajoute pas de pénalité de puissance de transmission. En prenant en compte les pertes linéiques des fibres optiques plus faibles aux longueurs d'onde des bandes O et C et la meilleure sensibilité des transceivers monomodes standards,

le budget optique global du lien reste suffisant pour permettre des transmissions sur de longues distances, répondant ainsi aux besoins de tous types de réseaux locaux présentant des fibres multimodes historiques et des besoins d'upgrade de leur infrastructure.

Pour un lien à 10 Gb/s de longueur inférieure à 800m, l'adaptateur modal à injection centrée AROONA est installé à une seule extrémité de la paire de fibre optique. Sur le site distant, le cordon optique existant entre le panneau de distribution et l'équipement actif est simplement remplacé par un cordon monomode puisque la transmission sur la fibre multimode est désormais quasi-monomode. A l'émission, AROONA agit comme un injecteur centré parfait alors qu'il agit comme un filtre modal parfait sur le récepteur, ne conservant que l'information transmise sur le mode fondamental.

Pour un lien de longueur supérieure à 800 m, un adaptateur modal AROONA est requis aux deux extrémités du lien fibré pour assurer une adaptation modale optimale.

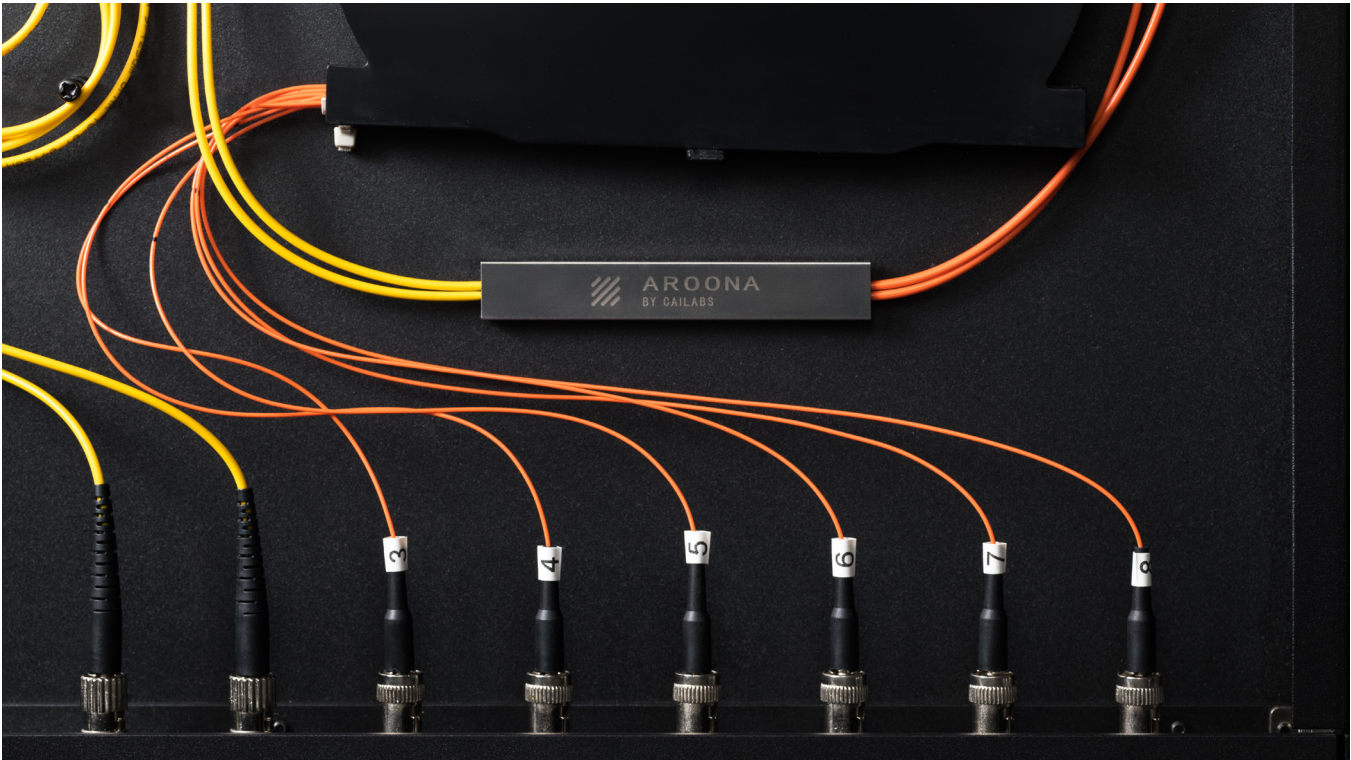
Cette solution d'injection centrée **AROONA rend également les fibres multimodes compatibles avec les technologies de multiplexage en longueur d'onde monomodes (WDM pour Wavelength Division Multiplexing), permettant une augmentation flexible et graduelle des capacités du réseau vers le très haut débit, pérennisant ainsi l'infrastructure fibrée.**



Pour résumer, les deux techniques présentées dans ce document permettent au client d'augmenter la bande passante au sein de son réseau local sans besoin de travaux de recâblage onéreux. Il vous revient de choisir quelle technologie répond le mieux à vos besoins.

TYPE DE MMF	OM1	OM2	OM3	OM4
Avec transceiver standard MM	< 33 m	< 82 m	< 300 m	< 400 m
Avec transceiver LRM+ MCPC	< 220 m	< 220 m	N.A.	N.A.
Avec transceiver standard SM + AROONA	< 10000 m	< 10000 m	< 10000 m	< 10000 m

Les alternatives d'upgrade de fibre multimode et la distance maximum supportée à 10 Gb/s

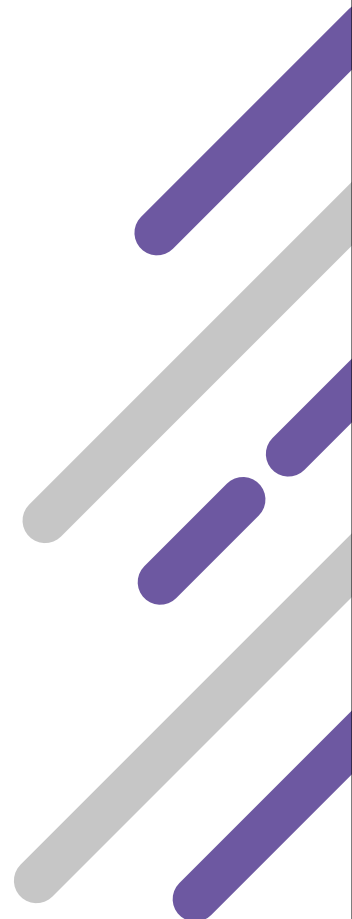


Module compact



AROONA

Etudes de cas



AROONA participe à la transition numérique des armées



La problématique du client

La DIRISI change actuellement en profondeur ses pratiques numériques. Toutefois, les réseaux locaux militaires majoritairement câblés en fibre multimode OM1 sont vieillissants. Les infrastructures de câblage sont donc en plein cœur de cette transition numérique et doivent désormais transporter des débits allant jusqu'à 10 Gb/s pour supporter ces nouveaux services numériques.

La solution AROONA

La solution AROONA-STAR de Cailabs permet une capacité de 10 Gb/s sur des fibres multimodes existantes. Avec un seul équipement installé en cœur de réseau, elle permet d'upgrader plusieurs liaisons multimodes allant vers des sites distants différents, évitant la multiplication des travaux de recâblage sur les sites militaires.

Les bénéfices de la solution

- **40 liens indépendants** à 10 Gb/s entre 19 bâtiments distants
- **Enormes économies** par rapport à un recâblage du site
- **5 jours** pour installer **14 unités AROONA-STAR**

Au cœur de la transformation numérique des armées

La direction interarmées des réseaux d'infrastructure et des systèmes d'informations de la défense (DIRISI) est un service interarmées assurant le rôle d'opérateur unique des systèmes d'information de la Défense. Ses responsabilités couvrent notamment les infrastructures réseaux et la sécurité des systèmes d'information.

La DIRISI s'efforce d'offrir à ses usagers les meilleurs outils et services.

En interrogeant les besoins des utilisateurs, la notion de montée en débit est revenue régulièrement, démontrant un réel besoin aux seins des réseaux locaux et de l'intranet du Ministère des Armées (INTRADEF). Le constat est sans appel, la transformation numérique de l'armée est nécessaire pour assurer la combinaison de l'ultra-mobilité et de la transmission massive de données.

Les sciences de l'information et de la communication (SIC) représentent un véritable levier opérationnel ainsi qu'un

remarquable amplificateur de performance pour l'armée française. Dans le cadre de divers projets de modernisation, la DIRISI doit veiller plus particulièrement à soutenir une dynamique de modernisation permanente, avec une logique de maîtrise de bout en bout et de pérennisation, des SIC d'infrastructure. C'est dans ce contexte que se sont déroulées les déploiements de la solution AROONA.

"Cette installation de la solution AROONA, réalisée rapidement et sans contrainte, m'a permis de mesurer une nette amélioration en terme de fluidité réseau, en particulier pour les navigations INTRADEF et nos applications métiers"

"Le réseau fonctionne plus rapidement !"

Militaires



Des sites militaires étendus présentant de nombreux défis pour la mise à niveau des infrastructures de câblage



La DIRISI mène depuis 2016 des expérimentations terrains pour tester les capacités des technologies optiques innovantes contenues dans la solution AROONA qui multiplie par 100 le débit d'une fibre optique multimode.

Un déploiement complet a été réalisé en novembre 2018, avec une remise à niveau de l'infrastructure de câblage optique multimode de la base, réalisée en 5 jours. Sur ce site, 19 bâtiments distants ont été identifiés pour bénéficier de cette augmentation de débit à 10 Gb/s. Au total, 14 AROONA-STAR ont été déployés sur l'ensemble de la base afin d'augmenter la bande passante de 40 liaisons optiques multimodes comprises entre 600m et 1850m. L'utilisation de la solution AROONA a également permis de supprimer des équipements actifs intermédiaires qui étaient sources de coûts et de pannes. Les utilisateurs de ce régiment d'hélicoptères de combat ont pu constater immédiatement les effets bénéfiques de cette installation.

Aux vues de la topologie du site et de l'indisponibilité des fourreaux de câbles, la solution traditionnelle de recâblage aurait entraîné une complexité et un coût élevé, notamment liés à un besoin de génie civil. L'utilisation de la solution AROONA a permis une économie financière significative. Ce projet,

conduit en mode agile à partir d'une initiative de la direction locale, illustre les nouveaux outils que la DIRISI propose dans le cadre de sa transformation : une innovation efficace, simple d'installation et d'utilisation, et qui répond aux attentes des utilisateurs. Le partenariat DIRISI-Cailabs a notamment été présenté en novembre 2018 lors du Forum National Innovation Défense.

Après des évaluations de la technologie, des phases d'expérimentation concluantes et des retours d'expériences positifs, le ministère des Armées et la DIRISI vont poursuivre leur démarche de transformation numérique en proposant l'utilisation de la solution innovante AROONA pour pérenniser les infrastructures de câblage des réseaux militaires.



Solution AROONA labellisée par
le ministère français des Armées

AROONA permet le déploiement du haut débit sur le campus de Georgia Tech



La problématique du client

L'université de Georgia Tech souhaite répondre à la demande croissante de bande passante des maisons de fraternités réparties sur le campus. L'infrastructure de câblage existante est constituée de fibre multimodes OM1 d'ancienne génération ne permettant pas une montée en débit à 10 Gb/s sans déploiement de nouvelles fibres avec toutes les contraintes associées.

La solution AROONA

La solution AROONA-STAR de Cailabs permet de transmettre des débits de 10 Gb/s sur les longues fibres multimodes existantes. Avec un seul équipement installé au cœur de réseau, cela permet une mise à niveau de plusieurs liens multimodes vers les bâtiments distants, évitant ainsi toute opération complémentaire de câblage.

Les bénéfices de la solution

- **Facilite la mise à niveau de l'infrastructure de câblage optique multimode**
- **35 liens OM1 indépendants** entre 400 et 1 100m à 10 Gb/s avec un seul équipement au cœur de réseau
- **Grosses économies financières et de temps d'installation** par rapport à un déploiement de nouvelles fibres optiques

Demande croissante de bande passante dans les fraternités

Le Georgia Institute of Technology, connu aussi sous le nom de Georgia Tech, est une université de recherche mixte publique, et située à Atlanta, aux États-Unis. Georgia Tech a acquis sa réputation grâce à ses programmes scientifiques figurant parmi les meilleurs du monde.

Cette université s'efforce de fournir une connexion haut débit aux maisons de fraternités présentes sur le campus afin d'offrir une qualité de services à ses étudiants. Au sein du campus, les différentes fraternités sont reliées au cœur de réseau par des fibres multimodes OM1 déployées il y a de nombreuses années. Ces fibres multimodes comprises entre 400 m et 1 100 m ne permettent pas de transmettre un débit de 10 Gb/s. Les études de recâblage ont montré un coût exorbitant pour répondre à

cette problématique. Très accés sur l'innovation technologique, l'université de Georgia Tech s'est naturellement orientée vers la gamme AROONA pour transporter du haut débit en utilisant ses liens multimodes existants.

"Les 6 AROONA-STAR que nous avons achetés sont installés. Toutes les maisons de fraternité sont alimentées en 10 Gb/s. Merci pour votre aide ! C'est plutôt cool d'avoir installé une technologie magique et de la voir fonctionner si bien !"

Robert Toledano

Ingénieur réseau
Institut de Technologie de Géorgie
Atlanta, Géorgie, USA

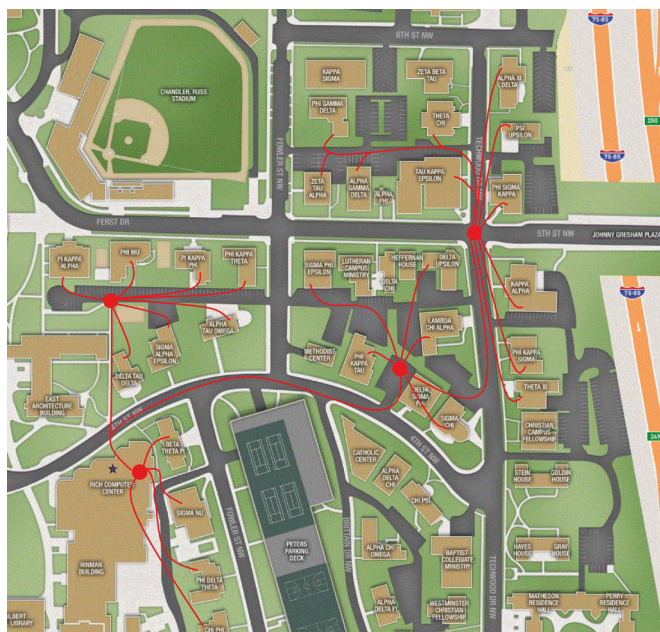
Eviter la complexité d'un redéploiement

Les responsables du réseau de cette université ont été séduits par la solution innovante AROONA lors d'une rencontre avec Cailabs sur le salon BICSI Winter à Orlando. En offrant une capacité de 10+Gb/s, la solution passive AROONA-STAR a permis la modernisation début 2018 de 5 liaisons multimodes existantes allant jusque 800 m. Après quelques mois de mise en production, 5 AROONA-STAR ont été déployés fin 2018 pour finaliser l'upgrade de l'infrastructure de câblage réseau de ce campus.

Un autre lien de 1 100 m en fibre OM1 a également bénéficié d'une augmentation de bande passante avec le nouveau module compact AROONA-STAR.

Une preuve de la garantie de la proposition de valeur AROONA et de sa facilité d'implémentation.

"C'était une option nettement moins complexe et moins coûteuse", explique R. Toledano, "les coûts du projet ont été divisés par cinq par rapport à un nouveau déploiement fibre."



- OM1 (62.5/125µm) lien MMF
- ★ Coeur de réseau avec AROONA STAR installés



Baie réseau client intégrant les panneaux de distribution des fibres multimodes OM1 existantes et les équipements AROONA-STAR permettant d'augmenter leur bande passante.



Module compact AROONA-STAR 2 fibres installé dans un rack de distribution existant pour augmenter la bande passante d'une seule paire de fibres multimodes.

Exploitez pleinement le potentiel des fibres optiques

Cailabs fournit des solutions innovantes pour augmenter la capacité des fibres optiques.

Nous développons et produisons une large gamme de composants de mise en forme de la lumière grâce à notre technologie brevetée, efficace et flexible : la Conversion Multi-Plan de la Lumière

(MPLC pour Multi-Plane Light Conversion).

Des équipementiers et opérateurs télécoms internationaux, tels que Nokia, Cisco, Huawei, Tellabs et KDDI, font confiance à nos produits pour améliorer l'infrastructure réseau d'aujourd'hui et créer les réseaux de demain.



Avec Cailabs, profitez au maximum de vos fibres optiques.

Pour plus d'informations, contactez :
aroona@cailabs.com

cailabs

SHAPING THE LIGHT

CAILABS

38 boulevard Albert 1er
35200 Rennes, France

www.cailabs.com
aroona@cailabs.com

 **@CAILabs**