

Avis du comité d'experts pour la boucle locale en fibre optique jusqu'à l'abonné constitué par l'Arcep sur l'utilisation des fibres optiques normalisées G.652.D sur le seul segment de transport optique (NRO-PM) des nouveaux réseaux FttH (juillet 2020)

Synthèse :

La fibre G.657.A2 est la fibre recommandée sur l'ensemble de la BLOM du NRO au DTIo / PTO. D'autres types de réseaux utilisent de la fibre G.652.D. Les études menées par le comité d'experts pour la boucle locale en fibre optique jusqu'à l'abonné constitué par l'Arcep, du mois de septembre 2018 au mois de juin 2020, ont démontré que dans un contexte de boucle locale optique mutualisée, l'utilisation de fibres G.652.D conduirait à un système globalement moins robuste.

Son utilisation n'est envisageable qu'en cas de pénurie avérée (i.e. indisponibilité durable et majeure¹) de fibre G.657.A2 et elle doit être limitée au segment de transport NRO – PM de l'opérateur d'infrastructure. De plus, son utilisation doit être conforme aux conditions techniques d'utilisation précisées dans ce document.

¹ Charge à l'Opérateur d'Infrastructure de réunir les éléments/pièces démontrant le caractère d'« indisponibilité durable et majeure » de fibres G.657-A2 sur les marchés d'approvisionnement, qui lui permettront, si nécessaire et ultérieurement, de justifier ses choix.

Organisation du document :

Ce document se voulant complet et didactique, il va aborder les sujets suivants :

- Origine des fibres G.652.D et G.657.A2 ainsi que leurs différences de performances
- Résultats de l'étude menée par le comité d'experts pour la boucle locale en fibre optique jusqu'à l'abonné constitué par l'Arcep
- Conditions d'utilisation de la G.652.D.

Origine des fibres G.652.D et G.657.A2

✓ Aspect normatif et historique

Les fibres optiques utilisées dans les réseaux de télécommunication et de transport de données sont normalisées à l'échelle internationale sous l'égide de plusieurs organismes :

Pour les fibres optiques unimodales, deux organismes sont à l'origine des spécifications :

- l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) – en anglais : *International Telecommunication Union (ITU)*, met à disposition des recommandations sur les systèmes et infrastructures de télécommunications. La série des recommandations ITU-T G.65x porte sur la spécification de fibres optiques en câble et les méthodes de caractérisation associées. Pour chaque recommandation, plusieurs types de fibres (sous-catégories) sont proposées. Ces documents sont disponibles gratuitement sur le site de l'organisation.
- La Commission Electrotechnique Internationale – en anglais : *International Electrotechnical Commission (IEC)*, édite un ensemble de normes afférentes aux spécifications techniques de mesures et de tests des fibres optiques.

La fibre dite SSMF – *Standard Single Mode Fibre* en anglais, possédant un profil d'indice en échelon, a été tout d'abord développée pour la transmission à 1 300 nm (Bande O) en raison de la disponibilité des sources émettant et d'une dispersion chromatique nulle dans cette bande. La fibre a été ensuite utilisée à 1 550 nm en raison des pertes d'atténuation minimales dans cette fenêtre. Cette fibre a été standardisée par l'UIT² à partir de 1984 et est connue sous la recommandation G.652. C'est la fibre qui est aujourd'hui majoritairement utilisée dans les réseaux de télécommunication longue distance, et plus particulièrement la sous-catégorie G.652.D qui présente les meilleures qualités de transmission.

Pour répondre aux contraintes d'installation de la fibre aussi bien à l'extérieur que dans les habitations pour le déploiement des réseaux FTTH – *Fibre To The Home* en anglais, un nouveau type de fibre optique dit « insensible aux courbures » a été développé. Ces fibres sont normalisées par l'UIT depuis 2006 sous la recommandation G.657. L'utilisation de fibres « insensibles à la courbure » est essentielle pour sécuriser les futures évolutions des réseaux optiques passifs pour le FTTH, avec notamment l'emploi à terme des fenêtres de transmission à 1 625 nm/1 650 nm où la sensibilité aux pertes induites par courbure est extrême. Depuis 2016, le domaine d'emploi des fibres optiques de sous-catégories G.657.A1 et G.657.A2 a été modifié pour inclure l'ensemble des applications où les fibres G.652.D sont déjà utilisées, comme par exemple les réseaux de collecte ou les réseaux longues distances.

² Union Internationale des Télécommunications

✓ Différences de performances

L'utilisation de la fibre optique dans les réseaux d'accès impose des contraintes supplémentaires à la fibre et au câble. En raison de la très forte densité de fibres, de la présence de nombreux points de raccordement et d'un espace disponible relativement contraint et souvent sinueux (i.e. nombreuses courbures), les contraintes de mise en œuvre et d'installation des câbles à fibres optiques dans les réseaux d'accès ont naturellement nécessité de nouveaux types de fibres présentant des performances de tenue à la courbure améliorées par rapport à la fibre G.652.

En pratique, une fibre standard G.652.D n'est pas utilisable pour le câblage en intérieur en raison de sa sensibilité aux faibles rayons de courbure, phénomène qui se traduit par l'augmentation des pertes optiques aux grandes longueurs d'onde de fait de la « fuite » d'une partie de la puissance optique en dehors du cœur optique comme illustré dans le Figure 1. Ce mécanisme de « fuites » est appelé pertes par macro-courbure. Le niveau de perte dépend du type de fibre, du rayon de courbure appliqué et est fonction de la longueur d'onde (voir Figure 2). Plus la longueur d'onde est grande et/ou le rayon de courbure est petit, plus la perte induite sera élevée.

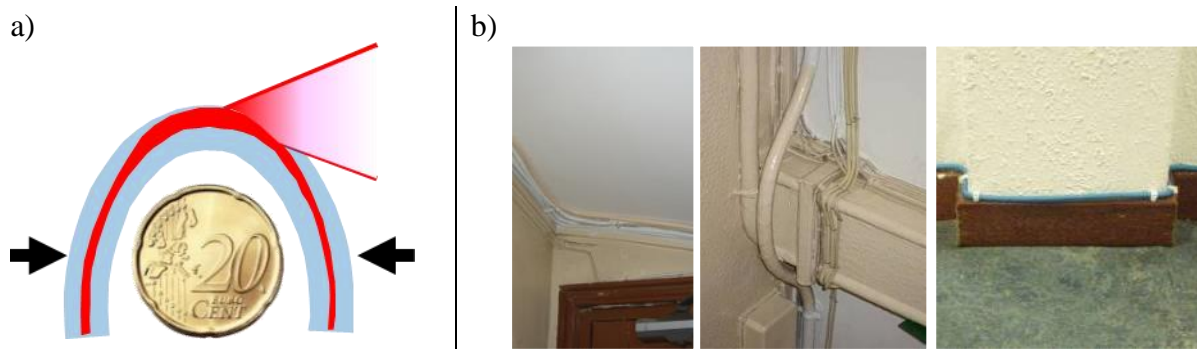


Figure 1 : a) illustration du mécanisme de pertes induites par macro-courbure mettant en œuvre des rayons de courbures supérieurs au millimètre : plus le rayon de courbure est petit, plus la puissance optique s'échappant de la fibre est importante. b) exemples de cheminement de câbles à l'intérieur des bâtiments



Figure 2 : Exemples de pertes induites par macro-courbures à 1550nm pour deux échantillons de fibres G.652.D et G.657.A2 en considérant deux tours complets autour d'un crayon à papier.

Afin d'encadrer les niveaux de performance attendus, la recommandation G.657 a été créée. Elle contient deux catégories (A et B) et plusieurs sous-catégories (A1, A2, B2 et B3), permettant de spécifier des performances optiques de tenue à la courbure de l'ordre de 10 (A1), 100 (A2 et B2) et 300 (B3) fois supérieures à celle d'une fibre G.652.D.

Les fibres de la catégorie A peuvent être utilisées dans les bandes optiques O, E, S, C et L, c'est-à-dire de 1 260 nm à 1 625 nm. Cette catégorie est, qui plus est, conforme à la recommandation G.652.D et en possède les mêmes caractéristiques de transmission et d'interconnexion. Les deux sous-catégories A1 et A2 ont été introduites pour distinguer les fibres dont les performances sont

respectivement garanties jusqu'à des rayons de courbure de 10 mm (G.657.A1) ou 7,5 mm (G.657.A2).

Les fibres de la catégorie B ne sont pas entièrement conformes à la recommandation G.652.D et leur usage est recommandé seulement en bout de réseau sur quelques centaines de mètres. Deux sous-catégories ont été définies aux rayons de courbure de 7,5 mm (G.657.B2) et de 5 mm (G.657.B3).

La Figure 3 reprend les performances de macro-courbures décrites ci-dessus pour les sous-catégories de fibre de la recommandation G.657 en comparaison avec la fibre G652D.

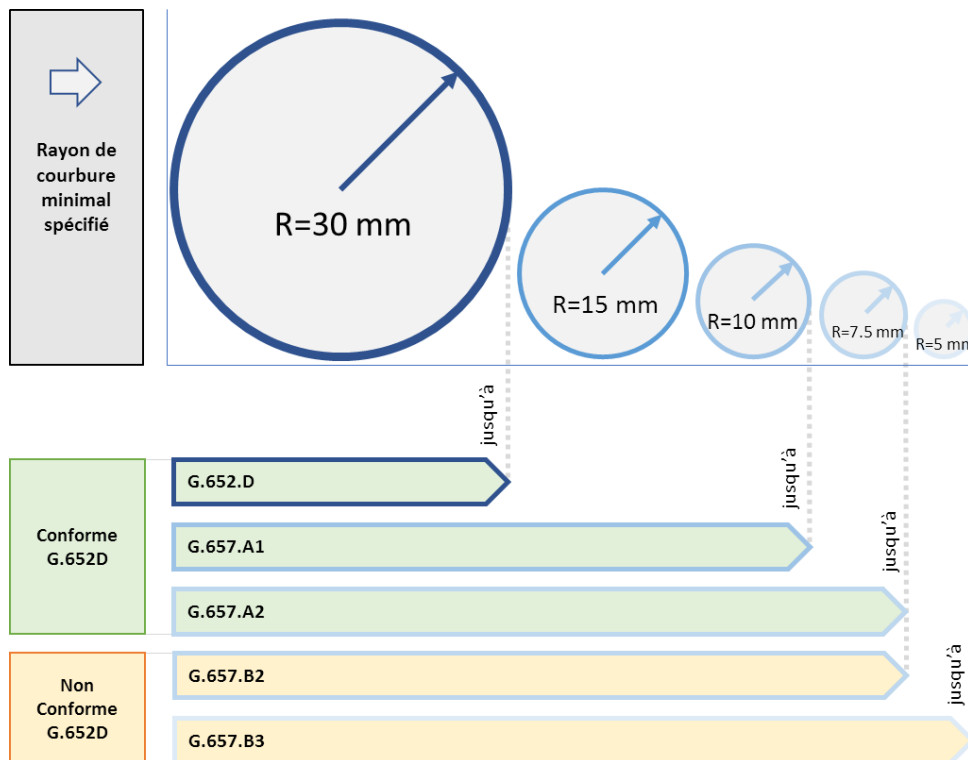


Figure 3 : Aperçu des performances de tenue en macro-courbures des sous-catégories de fibres de la recommandation G.657 par rapport à la fibre G.652.D.

Il faut également noter qu'il existe un autre mécanisme de pertes induites par courbure correspondant à la présence de perturbations submillimétriques le long de la fibre. Ces perturbations sont causées par la présence de nombreux points de contact le long d'une fibre avec les autres fibres présentes dans le câble ou bien avec les parois des éléments constitutifs du câble. Ce type de mécanisme est appelé perte induite par micro-courbures. Le phénomène se manifeste par un accroissement des pertes optiques aux grandes longueurs d'ondes (bandes optiques C, L et U). Il a été démontré que les fibres G.657.A2 présentent intrinsèquement une meilleure résilience à ce type de phénomènes que les fibres G.652.D. Cela permet l'emploi des fibres G.657.A2 dans des structures de câbles plus serrées et caractérisées par une densité de fibres accrue. À la différence des pertes induites par macro-courbures, les pertes induites par micro-courbures ne font pas l'objet de spécifications de performance dans les documents UIT ou IEC mais sont caractérisées suivant des tests normalisés par l'IEC. Ces normes de tests permettent de connaître les caractéristiques des produits proposés sur le marché.

✓ **Conclusion**

La fibre G.657.A2 représente une évolution technique encadrée par des normes et recommandations. Elle est particulièrement adaptée aux exigences techniques et de déploiement des réseaux FTTH. Compte tenu de ses performances en termes de robustesse vis-à-vis des pertes induites par courbures (macro- et micro-courbures), cette fibre permet de sécuriser les niveaux de pertes sur l'ensemble du spectre disponible (de 1 260 nm à 1 650 nm) et de réduire les coûts d'installation, d'opération et de maintenance.

Résultats de l'étude menée par le comité d'experts pour la boucle locale en fibre optique jusqu'à l'abonné constitué par l'Arcep

✓ Introduction

En 2018, 2019 et 2020, le comité d'experts pour la boucle locale en fibre optique jusqu'à l'abonné constitué par l'Arcep a mené une étude sur les possibilités d'utilisation de la fibre G.652.D dans le segment transport de la BLOM en lieu et place de la fibre G.657.A2. Le schéma de référence considéré est celui de la figure suivante. Les conclusions des groupes de travail sont résumées dans les sous-parties suivantes.

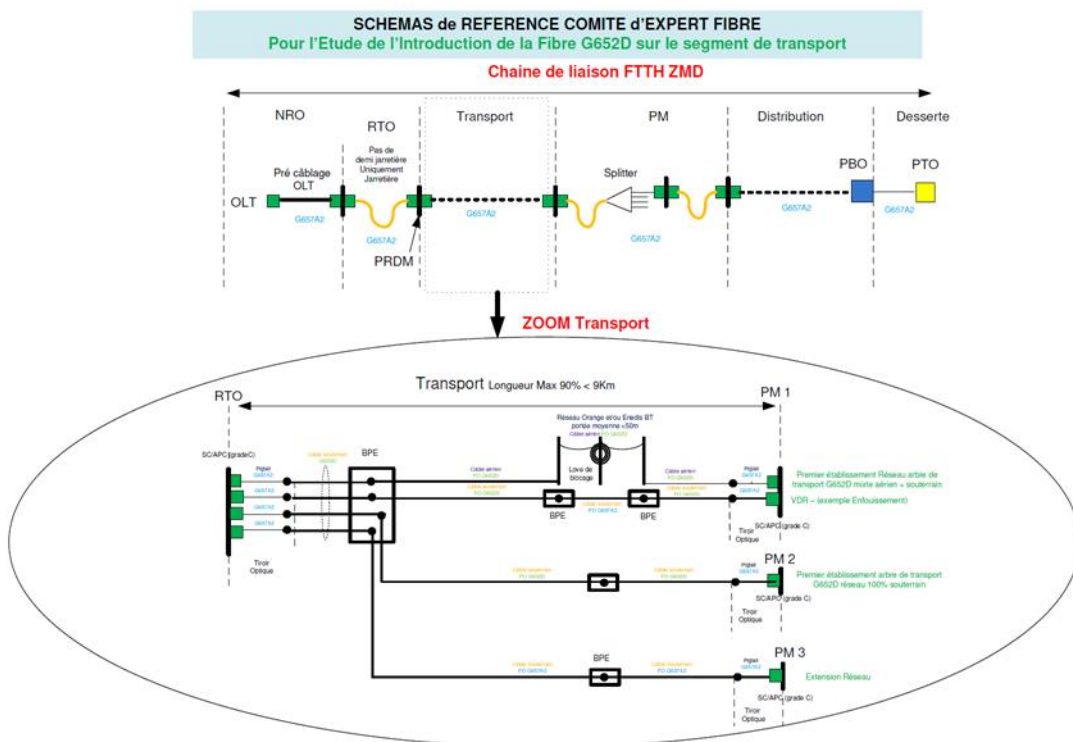


Figure 4 : schéma de référence utilisé dans le cadre des travaux

Impact aux interfaces entre fibres optiques

Des contributions atténuatrices supplémentaires sont à prévoir dans le cadre d'une mixité de fibres optiques :

- Une contribution atténuatrice de 0,14 dB liée aux différences de diamètre de mode des fibres optiques lors de la construction du réseau
- Une contribution atténuatrice de 0,5 dB liée à la vie du réseau (1 réparation et 2 nouveaux tronçons).

Ces plus-values seront à prendre en considération dans le bilan optique.

✓ **Impact sur les contenants & accessoires**

L'utilisation de la G.652.D requiert la sélection de matériels respectant un rayon de courbure de 30 mm et la réalisation d'une analyse réflectométrique (OTDR) à 1 625 nm.

✓ **Résultats de l'étude selon le domaine d'emploi**

Emploi en aérien :

- Courte portée (<80 m) : Les études menées ont montré que la substitution par de la fibre G.652.D conduit à des incréments potentiels d'atténuations incompatibles avec le maintien de la qualité de service lors d'évènements climatiques sévères et à un système globalement moins robuste.
- Moyenne et longue portée (> 80 m) : Les moyennes et longues portées correspondent à des cas d'utilisation très peu fréquents et très spécifiques qui demandent une étude particulière à mener par l'Opérateur d'Infrastructure (ou son bureau d'étude) en relation avec son fournisseur de câbles et d'accessoires d'armement, afin de déterminer le *design* de câble et le type de fibre le plus adapté.

Emploi en souterrain :

- Lorsque les conditions normales d'utilisation sont susceptibles d'être dépassées (affaissement de GC, pression par une racine, mauvaise mise œuvre de boîtier, ...) la substitution par de la fibre G.652.D conduit à des incréments potentiels d'atténuations importants. Le système est globalement moins robuste.
- L'utilisation de la fibre G.652.D doit être réservée aux câbles conventionnels, selon l'XP C 93-850-3-25 (donc, en particulier, à l'exclusion des micro-câbles) utilisés dans un génie civil conventionnel (tranchée traditionnelle, tranchée mécanisée, pour des tubes PVC ou PEHD de diamètre minimal de 33mm).
- Une marge supplémentaire de 0,5 dB doit être prise en compte dans le bilan optique.

✓ **Conclusion sur les règles opérationnelles de mise en œuvre**

Le déploiement doit être homogène (même type de fibre) pour une liaison RTO-PM.

✓ **Impact sur les bilans optiques et les portées**

Sur la base du schéma de référence présenté ci-dessus et des hypothèses de pertes d'insertions retenues par le comité expert fibres optiques (cf. annexe 6 du document : Recueil de spécifications fonctionnelles et techniques sur les réseaux en fibre optique jusqu'à l'abonné en dehors des zones très denses), les études montrent qu'il est nécessaire de limiter les BLOM ayant recours à de la G.652.D en transport :

- à 16 km pour les technologies actuelles.
- à 13,5 km pour les futures technologies.

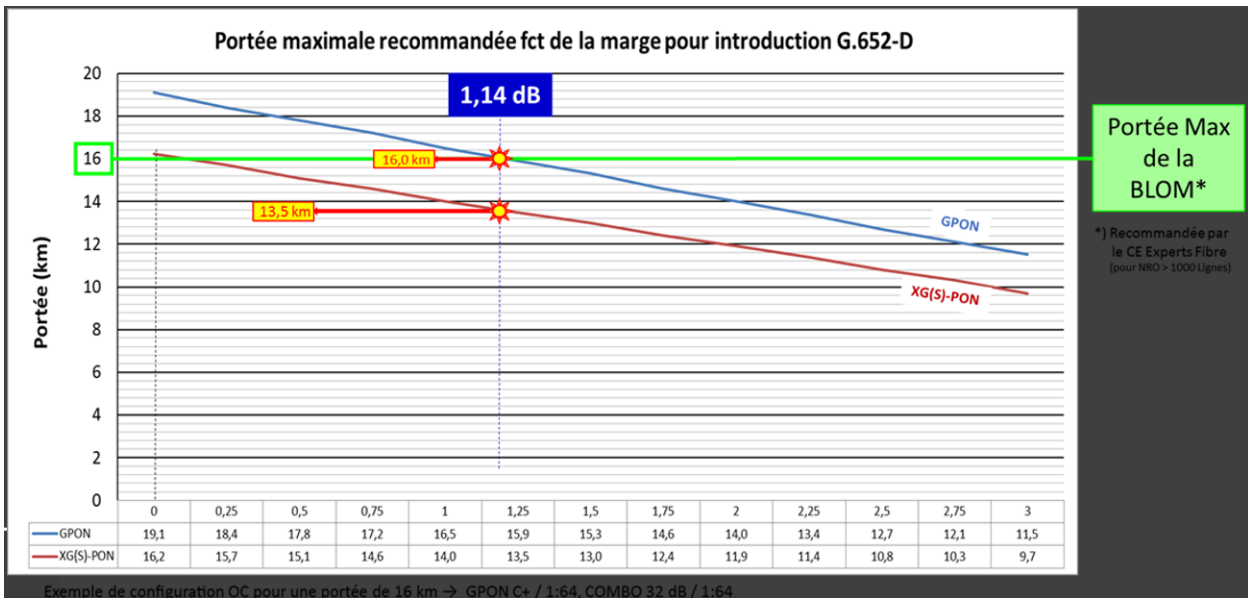


Figure 4 : Portées maximales calculées pour deux technologies

Selon les hypothèses atténuatrices spécifiques du recueil pré-cité

Conditions d'utilisation de la fibre G.652.D dans le réseau de transport de la Boucle Locale Optique Mutualisée

Si des conditions de pénurie avérée (i.e. indisponibilité durable et majeure³) de fibre G.657.A2 l'impose, les fibres G.652.D peuvent être utilisées dans le segment transport RTO ↔ PM de l'Opérateur Infrastructure dans les limites et conditions techniques suivantes :

- Concernant les câbles :
 - Exclusion des câbles FTTH aériens courte portée (< 80 m)
 - Exclusion des micro-câbles pour micro-conduite
- Concernant les accessoires
 - Avec des organiseurs et cassettes d'épissurage adaptés aux matériels mis en œuvre (respect de la limite du rayon de courbure de 30 mm)
- Applicables à l'infrastructure :
 - Génie civil conventionnel (tranchée traditionnelle, tranchée mécanisée, pour des tubes PVC ou PEHD de diamètre minimal de 33 mm) uniquement
- Impactant le budget optique :
 - Une atténuation supplémentaire de 1,14 dB se doit d'être prise en compte dans les ingénieries
- Imposant des recettes complémentaires :
 - Analyse réflectométrique à 1 625 nm.
- De nécessité de traçabilité :
 - Traçage dans les outils SIG de l'Opérateur d'Infrastructure et communiquée aux Opérateurs Commerciaux

³ Charge à l'Opérateur d'Infrastructure de réunir les éléments/pièces démontrant le caractère d'« indisponibilité durable et majeure » de fibres G.657-A2 sur les marchés d'approvisionnement, qui lui permettront, si nécessaire et ultérieurement, de justifier ses choix.