

### 2.1.3.3 – Inconvénients large bande par Satellite

Bien qu'ayant contribué sur l'accès à haut débit des zones mal desservies par l'ADSL et des technologies large bande, l'Internet par satellite présente des limites dont les plus répandues sont :

- Le coût élevé : Les connexions internet par satellites sont généralement plus chères que les connexions classiques par la fibre ou que par l'ADSL
- Les temps de latence (le ping : temps de réponse du signal, autrement dit, le temps que met le signal pour faire un aller/retour entre deux points, en l'occurrence, l'abonné et le satellite) qui peut être gênant surtout pour la téléphonie sur IP ou de la visiophonie : On observe un délai lorsqu'il utilise une liaison téléphonique passant par satellite et surtout rend impossible certaines applications nécessitant une synchronisation serrée exemple des jeux en ligne
- Elle est dépendante des aléas de la transmission atmosphérique (sensibilité au brouillard, aux fortes pluies ou aux chutes de neige).

La liaison par satellite à Internet fait partie des solutions "haut débit tout terrain" destinées aux situations géographiquement ou économiquement enclavées, asymétrique basée sur un débit en flux descendant de maximum 1 Mbp et en flux remontant de maximum 256 kbps. Cette solution ne semble pas devoir percer de manière significative dans un avenir proche, mais elle doit être citée comme une alternative aux réseaux de communication terrestres. Elle peut, en outre, être combinée avec une solution classique afin de limiter les coûts. Tout comme la boucle locale radio, cette solution est dépendante des aléas liés à la transmission atmosphérique (sensibilité au brouillard, aux fortes pluies ou aux chutes de neige). Par ailleurs, le débit garanti ne dépasse pas 256 kbps.

## 2.2 -Rappel sur le réseau cellulaire de la quatrième génération : 4G

Le réseau de téléphonie mobile permet le transfert de la voix, de vidéos et de données. En installant une carte réseau WAN de téléphonie mobile, l'utilisateur peut accéder à Internet par le biais du réseau de téléphonie mobile. Les réseaux étendus (WAN) de téléphonie mobile ont des spécificités différentes :

- 1G - Uniquement pour les signaux vocaux analogiques,
- 2G - Signaux vocaux numériques, téléconférences, identification de l'appelant, débit de transfert des données inférieur à 9,6 kbit/s,

- 2,5G - Débit compris entre 30 kbit/s et 90 kbit/s, navigation Web, clips audio et vidéo de courte durée, jeux vidéo, téléchargement d'applications et de sonneries,
- 3G - Débit compris entre 144 kbit/s et 2 Mbit/s, jeux vidéo, diffusion de musique en continu, jeux 3D et navigation Web plus rapide,
- 3,5G - Débit compris entre 384 kbit/s et 14,4 Mbit/s, diffusion de vidéo haute qualité en continu, vidéoconférence haute qualité, voix sur IP.
- 4G - Débit compris entre 5,8 Mbit/s et 672 Mbit/s en mode mobile, jusqu'à 1 Gbit/s en mode fixe, voix sur IP, services de jeu vidéo, diffusion multimédia en continu haute qualité et IPv6.

Parmi toutes ces générations de réseaux mobiles, nous avons choisi de faire un focus sur la 4G car elle est la technologie à déployer dans la section Joal & Thiadiaye.

### **2.2.1 – Fonctionnement & Atouts de la 4G**

La 4G, sous la norme LTE-Advanced, constitue aujourd'hui une véritable révolution puisqu'elle propose une multiplication des débits grâce à deux phénomènes. Le premier consiste à faire circuler les appels vocaux non plus sur le réseau téléphonique, mais directement sur internet (voix sur IP). Ensuite, le réseau 4G recourt au multiplexage (plusieurs types d'information passant par un même canal), ce qui permet d'augmenter la quantité d'information transmise. La 4G se définit ainsi comme le très haut débit mobile. A noter que la norme 4G évolue déjà avec le standard 4G LTE Advanced, communément appelé 4G+ et qui permet d'augmenter encore les débits sur les réseaux mobiles LTE (jusqu'à 300 Mbit/s, 500 Mbit/s, voire plus...). La 4G permet de surfer jusqu'à 10 fois plus vite qu'en 3G+ avec un débit maximum théorique de 75 ou 150 Mbit/s. Avec la 4G, vous surfez en mobilité aussi confortablement que depuis chez vous. Au Sénégal, le réseau 4G est swappé sur les antennes 2G et le support utilisé est la fibre optique.

La 4G permettra de :

- Regarder des vidéos en instantané sans interruption.
- Suivre vos programmes préférés en HD même en déplacement.

- Partager en direct vos photos sur les réseaux sociaux.
- Télécharger des applications instantanément.
- Jouer en réseau sur votre portable comme dans votre salon.
- Rechercher des informations de manière ultra-fluide.

### **2.2.2 – Les Limites de la 4G**

- La couverture 4G consomme beaucoup de ressources batterie. Par conséquent, les utilisateurs de ce réseau doivent avoir des terminaux qui ont un niveau de recharge très élevé sinon ils verront la batterie de leur terminal se vider trop vite,
- Zones couvertes par la 4G/4G+ très limitées. Actuellement au Sénégal la 4G est déployée dans juste quelques zones (pratiquement dans les villes). Par conséquent, les usagers des opérateurs mobiles ne bénéficient pas entièrement des services de la 4G en tout lieu,
- Il faut avoir un mobile ou une tablette compatible 4G ou 4G+ pour capter la couverture. Et ceci entraîne un capex coté utilisateur.

Nous retenons que pour permettre l'accès à Internet et la transmission de données, de nombreuses technologies ont été développées, dont font partie ceux que nous venons d'étudier. Cependant, de toutes ces technologies, le débit et la qualité des services jouant un rôle primordial dans la connexion à l'internet ; Ils s'avèrent être un inconvénient pour ces technologies qui ne peuvent pas fournir le très haut débit. Pour le réseau mobile de la quatrième génération 4G, sa rapidité, sa performance, la forte capacité et le haut débit sont les points forts de ce réseau. Mais malheureusement, son utilisation reste encore limitée due à son coût élevé et l'existence des zones non couvertes. En effet les utilisateurs ont de plus en plus besoin d'une hausse (croissance) des débits et une bonne qualité des services du fait de l'utilisation de certaines applications et de la transmission des données (texte, voix, image, vidéo...). Ainsi la mise en place d'une infrastructure en fibre optique s'avère être une réponse à ces demandes.

## 2.3 -Qualité de services dans les réseaux

### 2.3.1 - Généralités

La qualité de service désigne la capacité du réseau à transporter dans de bonnes conditions les flux issus de différentes applications. Cette notion est introduite pour qualifier et quantifier les besoins des applications et l'offre des fournisseurs de service, ceci dans le but de faire converger ces deux aspects. Pour certains, la QoS s'exprime sous la forme du respect par le réseau des bornes de performance, alors que pour d'autres elle est liée à la disponibilité du réseau et sa capacité de fournir un service continu. Pour d'autres encore, elle permet de différencier le trafic pour un traitement spécial et dépend des ressources disponibles dans le réseau (bandes passantes, tampons de mémoire, etc.).

**Le terme qualité** possède une portée dans plusieurs domaines dans le supérieur aux espérances normales. Les caractéristiques recherchées peuvent inclure des aspects de réduction des pertes de données, des délais induits au minimum et des gigue constantes. Le terme **qualité** peut aussi être considéré comme la faisabilité ou la prédiction. Dans ce cas, la qualité fait allusion à un niveau constant de perte, de délai ou gigue ou de toutes autres propriétés. Le terme **qualité est** aussi utilisé pour référencer des caractéristiques particulières pour spécifier des applications ou des protocoles réseaux.

**Le terme service** est lui aussi ambigu et peut être compris de plusieurs manières. Généralement, on utilise le terme pour décrire les capacités de communication.

Ainsi la QoS dans les réseaux représente l'ensemble des définitions et des méthodes nécessaires à la différenciation des flux et des services, en termes de débit, de délai de bout en bout, de variation de délais ou gigue et de taux de perte des paquets.

Ces paramètres de QoS forment des critères de performance qui peuvent aussi inclure la fiabilité et le temps de réponse. L'élément clé de cette définition est que la combinaison de ces paramètres.

## 2.3.2 -Les Paramètres de la QoS

### 2.3.2.1 -Le débit

Le débit exprime les besoins des usagers en quantité de données émises à travers le réseau par unité de temps. Il est mesuré en bits par seconde. Selon les applications, les exigences en débit varient en valeur et en nature (constante ou variables). Le débit maximal qu'on peut observer entre deux extrémités d'un réseau est souvent appelé "bande passante". Nous avons la relation suivante qui lie le débit à la bande passante :

$$0 \leq \text{Débit} \leq \text{Bande passante}$$

### 2.3.2.2 -Le délai

Le délai de bout en bout représente le temps que mettent les données pour être acheminées d'une source à une destination. Il est composé de deux parties : une partie fixe qui correspond au temps de propagation et une partie variable appelée délai de traitement. Le délai fixe est composé des délais de codage et décodage, de mise en forme des paquets, de transmission et de propagation.

### 2.3.2.3 -La gigue

La gigue ou variation des délais de bout en bout est un phénomène important à analyser. Elle est principalement due aux délais dans les files d'attente des routeurs et constitue la source de nombreux problèmes pour les applications multimédias. Ce phénomène peut transformer un flux périodique en un flux non périodique, perturbant la traversée d'un réseau. La gigue se manifeste sous deux formes :

- **Des agrégations de paquets** : les conséquences sont l'augmentation de la sporadicité du trafic et donc du débit instantané ;
- **Une dispersion de paquets** : cela a notamment un effet sur le dimensionnement de la mémoire au niveau du récepteur qui sert à récupérer le flux d'origine de façon correcte.

### 2.3.2.4 -Les pertes de paquets

Les pertes de paquets sont liées à la sporadicité du trafic et d'attente des routeurs. La perte d'un paquet dont le contenu est sémantiquement important signifie qu'une partie essentielle de l'information sera absente lors de sa réception par le terminal destinataire. Ceci remet en cause

la qualité et l'intégrité du son ou de l'image dans le cas de flux multimédia.

Accès Internet, messagerie, sauvegarde de données, téléphonie, visioconférence... : Avec le tout IP, de nombreux flux cohabitent sur les réseaux informatiques des entreprises. Et ces dernières ne sont pas toujours capables de les gérer séparément afin de s'engager sur la haute disponibilité des applications les plus critiques. Certaines applications, comme la téléphonie IP, demandent peu de bande passante, mais une grande qualité de connexion. A l'inverse, certaines sauvegardes de fichiers sont très gourmandes en bande passante, mais peuvent se faire en tâche de fonds. S'il ne priorise pas les flux, un simple back-up de fichiers peut perturber voire interrompre une conversation téléphonique. Sans une infrastructure réseau adaptée et une priorisation des flux, il est ainsi impossible de s'engager sur une qualité de service (QoS) ou une haute disponibilité de ses services informatiques.

## **2.4 -Etat de l'art sur les solutions d'interconnexion**

### **2.4.1 -Qu'est- ce- qu'un réseau Backbone ?**

Le backbone est le cœur du réseau Internet avec toutes ses lignes de très haut débit qui lient les principaux nœuds du réseau à partir desquels les opérateurs Internet permettent raccorder les liaisons des réseaux des hébergeurs pour transmettre les informations locales dans d'autres pays et continents.

Le backbone est relié aux différents réseaux de collecte des opérateurs mobiles (2G, 3G, 4G, 5G) et fixes (FTTX, boucles locales radio, WIFI ...). Il concentre et transporte ainsi les flux de données entre des réseaux affluents vers le cœur des réseaux des opérateurs de télécommunications mais aussi vers les principaux points d'échange Internet (IXP) et les Datacenter qui héberge les services et les données.

Les backbones existent dans un réseau national, régional et mondial. La vitesse du transfert et la quantité des données qui passent un réseau dorsale varient d'un pays à l'autre.

### **2.4.2 -Présentation des solutions d'interconnexion**

Le **maillage de l'infrastructure Internet** est l'ensemble des interconnexions de réseaux utilisées pour l'accès à Internet et aux télécommunications.

L'interconnexion de réseaux ,la liaison physique et logique des réseaux ouverts au public exploités par

le même opérateur ou un opérateur différent , permet à deux réseaux ou plus de communiquer , d'accéder aux services fournis par les opérateurs et offre par conséquent un moyen d'échange d'informations aux équipements terminaux qui y sont connectés. Ainsi l'interconnexion constitue un type particulier d'accès mis en œuvre entre opérateurs de réseaux ouverts au public. La mise en œuvre de cette interconnexion fait appel à une multitude de technologies et de protocoles qui interviennent à différents niveaux.

Cependant L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre, dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de **conductibilités des métaux (paire torsadée, câble coaxial)** ou celles des **ondes électromagnétiques (faisceau hertzien, fibre optique)**.

Dans cette partie, nous allons passer en revue quelques caractéristiques essentiels des supports de transmission sachant que les possibilités de transmission (débit, taux d'erreurs, distance franchissable, ...) dépendent essentiellement des caractéristiques et de l'environnement de celui-ci.

### 2.4.3 -Le câble coaxiale

Le câble coaxial est conçu pour transmettre des signaux de haute fréquence. Il est composé d'un conducteur rond en cuivre et de trois couches d'isolation et de blindage empêchant l'interférence des moteurs, des éclairages et d'autres sources d'EMI. Avec la construction de blindage, le câble coaxial peut supporter les longueurs de câble plus longues entre deux dispositifs (ou sites).

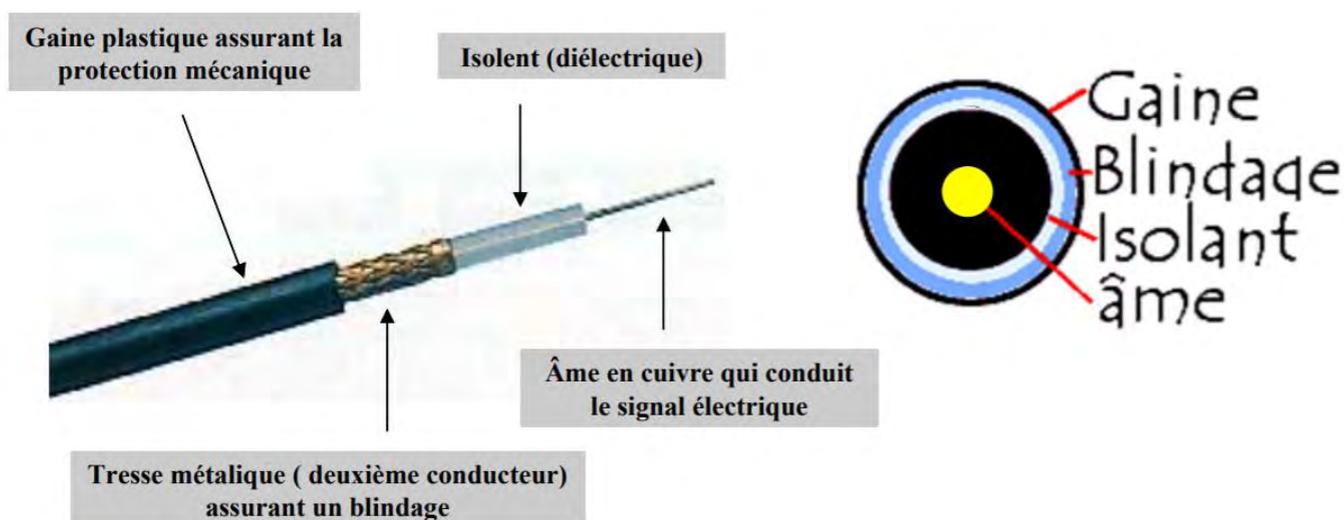


Figure 8: COMPOSANTS D'UN CÂBLE COAXIALE [W7]

- **La gaine** permet de protéger le câble de l'environnement extérieur. Elle est habituellement en caoutchouc (parfois en Chlorure de polyvinyle (PVC), éventuellement en téflon)
- **Le blindage** (enveloppe métallique) entourant les câbles permet de protéger les données transmises sur le support des parasites (autrement appelé bruit) pouvant causer une distorsion des données.
- **L'isolant** entourant la partie centrale est constitué d'un matériau diélectrique permettant d'éviter tout contact avec le blindage, provoquant des interactions électriques (court-circuit).
- **L'âme**, accomplissant la tâche de transport des données, est généralement composée d'un seul brin en cuivre ou de plusieurs brins torsadés.

#### 2.4.3.1 -Les avantages du câble coaxiale

Grâce à son blindage, le câble coaxial peut être utilisé sur des longues distances et à haut débit (contrairement à un câble de type paire torsadée), on le réserve toutefois pour des installations de base.

On distingue habituellement deux types de câbles coaxiaux :

- **Le 10Base2 - câble coaxial fin** (appelé Thinnet, traduisez réseau fin ou encore CheaperNet, traduisez réseau plus économique) : est un câble de fin diamètre (6 mm), de couleur blanche (ou grisâtre) par convention. Très flexible il peut être utilisé dans la majorité des réseaux, en le connectant directement sur la carte réseau. Il permet de transporter un signal sur une distance d'environ 185 mètres sans affaiblissement. Il fait partie de la famille des RG-58 dont l'impédance (la résistance) est de 50 ohms.
- **Le 10Base5 - câble coaxial épais** (en anglais Thicknet ou Thick Ethernet et également appelé Yellow Cable, en raison de sa couleur jaune conventionnelle) : est un câble blindé de plus gros diamètre (12 mm) et de 50 ohms d'impédance. Il a longtemps été utilisé dans les réseaux Ethernet, ce qui lui a valu l'appellation de « Câble Ethernet Standard ». Etant donné que son âme a un plus gros diamètre, la distance susceptible d'être parcourue par les signaux est grande, cela lui permet de transmettre sans affaiblissement des signaux sur une distance atteignant 500 mètres (sans réamplification du signal). Sa bande passante est de 10 Mbps Il est donc employé très souvent comme câble principal (backbone) pour relier des petits réseaux dont les ordinateurs sont connectés avec du Thinnet. Toutefois, étant donné son diamètre il est moins flexible que le Thinnet.

Les câbles coaxiaux sont très utilisés de nos jours. En effet, on les retrouve :

- Dans les télécommunications,
- Pour la radio ou la télévision,
- En informatique, dans les réseaux Ethernet,
- Dans les réseaux câblés urbains,
- Dans les câbles sous-marins,
- Dans le domaine médical et militaire,
- Etc.

Grace à ces caractéristiques et ces hautes performances, les câbles coaxiaux :

- Permettent de recevoir et transmettre les signaux numériques et analogiques sans risques de parasites (imperméables aux interférences)
- Sont peu encombrant
- Résistent à d'importants changements de température,
- Souple, mais tenace,
- Robuste face au temps

#### **2.4.3.2 -Les Limites du câble coaxiale**

Le câble coaxial est une technologie difficile à déployer à cause de son poids, de sa rigidité et de sa connectique particulière.

Le long du câble coaxial, une partie des informations transmises est perdue ou atténuée. On remarque notamment avec la connexion Internet via le câble coaxial que, plus la fréquence de transmission des informations est élevée, plus les pertes sont énormes.

Le câble coaxial est conçu pour prévenir les interférences, toutefois dans un environnement où le bruit électrique est fort, il peut se poser des problèmes. La fiabilité des données est en jeu avec cette problématique.

Aussi, le fait que le câble coaxial soit un conducteur de courant électrique, les installations faites avec ce type de câble sont largement vulnérables aux dégâts de la foudre.

Nous retenons que le câble coaxial est très utilisé pour relier les antennes TV de type râteau ou les paraboles satellite à un boîtier décodeur ou à un téléviseur. Il sert également aux réseaux câblés pour acheminer la télévision ou Internet, mais aussi en connectique pour les équipements audio et vidéo. Depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle, le câble coaxial est remplacé par la fibre optique, en particulier pour les liaisons qui excèdent un (1) kilomètre.

#### 2.4.4 -les Faisceaux hertziens

On appelle faisceaux hertziens les supports de transmission entre deux point fixes utilisant les ondes radioélectriques de fréquence élevée pour établir des fréquences point à point. A l'exception de quelques systèmes fonctionnant dans les bandes 70-80 MHz et 400-470 MHz, les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 2GHz. On peut classer les faisceaux hertziens en deux catégories :

##### ✚ Les faisceaux hertziens analogiques :

Ils sont utilisés principalement pour transmettre :

- Des multiplex analogiques de téléphonie (pouvant comporter du télex ou des transmissions de données à faible et moyenne vitesse) dont la capacité va de quelques voies téléphoniques à 2700voies téléphoniques ;
- Des images de télévision et de voies de son qui leur sont associées ;

##### ✚ Les faisceaux hertziens numériques :

Ils acheminent principalement :

- Des multiples numériques de téléphonie, dont le débit va de 2Mbits/s à 140Mbits/s ;
- Des transmissions de données à grande vitesse ;
- Du visiophone et de la télévision codée ;

Si la distance entre les deux points à relier est trop grande ou si des obstacles empêchent les antennes situées en ces deux points d'être en visibilité l'une de l'autre, il faut établir une liaison en plusieurs bonds en utilisant des stations relais (Cas du réseau existant entre les villes de Joal et Thiadiaye) :

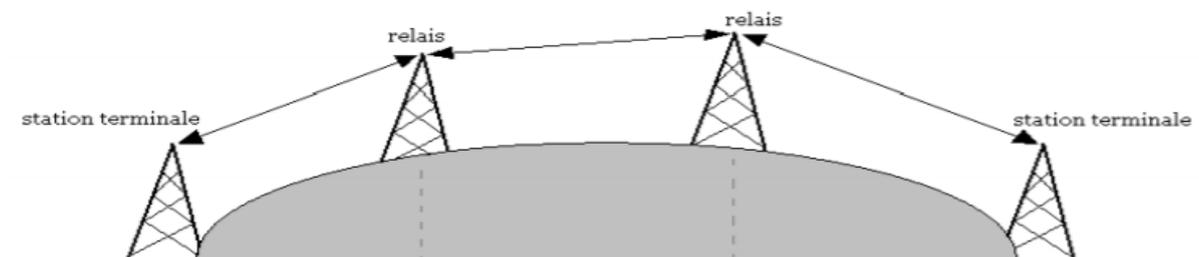


Figure 9: ARCHITECTURE D'UN FAISCEAU HERTZIEN (RELAI)

#### 2.4.4.1 -Le Fonctionnement d'une interconnexion par Faisceaux Hertziens

Le faisceau hertzien est une onde radio très Haut Débit émise depuis un relais habituellement installé au sommet d'un relief. Des liens opérateur arrivent jusqu'à ce relais qui est chargé de retransmettre le débit en sans-fil vers les utilisateurs à des distances de plusieurs kilomètres. Chaque utilisateur doit être équipé d'une parabole fixée à un mât, orientée vers le relais.

Techniquement, l'antenne est alimentée par une grosse fibre optique de plusieurs dizaines de Gbits, et le signal transformé en onde hertzienne. Cette onde est diffusée via l'antenne hertzienne et est relayée à l'antenne suivante en vue directe, c'est-à-dire que les antennes se voient, c'est ce qu'on appelle « du point à point ».

Chaque antenne se situe entre environ 20 et 30 kms. La distance du signal entre chaque antenne est appelée un « bond ». C'est le bond que vous recevez directement via l'antenne extérieure installée sur votre toit (ou tout autre point sur site d'une hauteur minimale de 12 m). Les débits obtenus sont élevés mais dépendants des conditions atmosphériques et des éventuels obstacles qui peuvent survenir le long du parcours du faisceau (arbres ...).

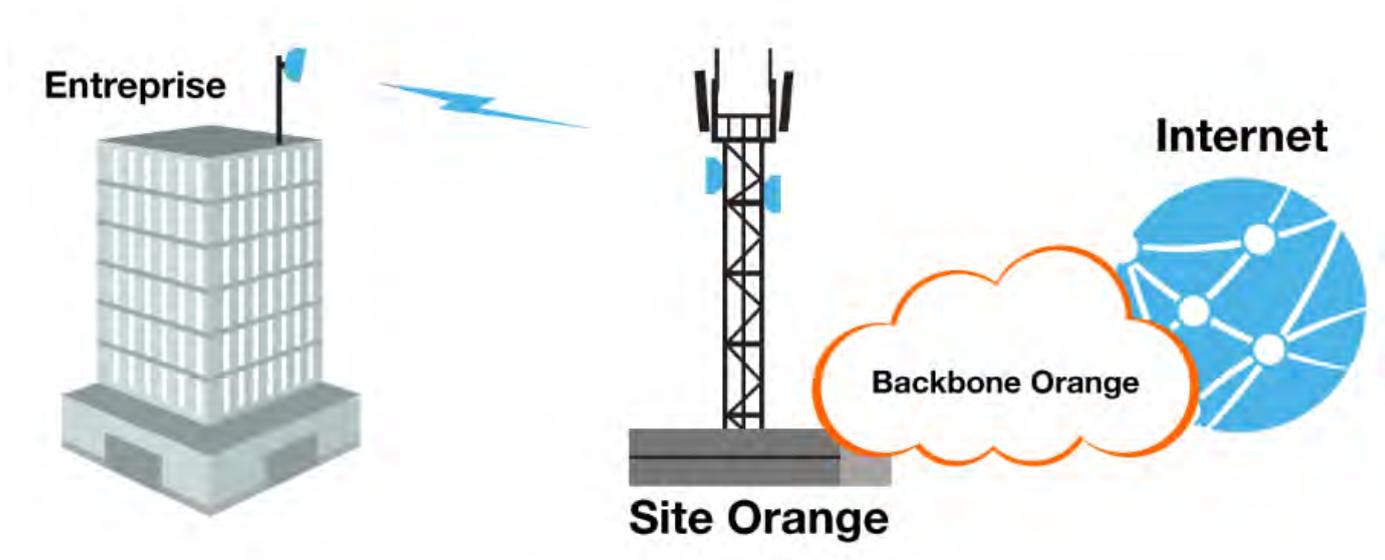


Figure 10: FONCTIONNEMENT D'UNE LIAISON HERTZIENNE [W5]

#### 2.4.4.2 -Les avantages d'un Faisceaux Hertziens

La technologie du faisceau hertzien (FH) permet de limiter l'enveloppe budgétaire allouée à la construction d'un réseau de communication relié à Internet, contrairement à la fibre optique. Le faisceau hertzien est une technologie économique et facile de mise en place. Le faisceau hertzien ne demande pas de travaux de grande ampleur, les coûts d'installation d'un faisceau hertzien sont en moyenne dix fois moins élevés que ceux utilisés dans le cadre de l'installation de la fibre optique.

De plus, il présente l'avantage d'être une technologie :

- Sans fil et robuste ;
- Très haut débit - jusqu'à 2 Gbits/s ;
- Avec une transmission de tous les types de flux (voix, data, vidéo) ;
- Travaux moins coûteux - meilleur rapport qualité/prix par rapport à la fibre ;
- Facile Installation, rapide et évolutif : 4 à 5 jours pour installer la liaison hertzienne ;
- Offrant une connexion pour tous - au sein de zones topographiques difficiles et éloignées

#### **2.4.4.3 -Les Inconvénients d'un Faisceau Hertzien**

De nombreux opérateurs proposent un service de mise en place de faisceau hertzien, notamment **Orange**. Cependant cette technologie présente des inconvénients, ceux des moyens radio à savoir :

- Les ondes sont sensibles aux masquages et obstacles tels que le relief, la végétation et les bâtiments ;
- Liaison perturbée en cas de fortes intempéries, comme la pluie, la réfractivité de l'atmosphère et aux phénomènes de réflexion ;
- Les paraboles doivent avoir une vue directe ;
- La confidentialité et sa traçabilité - il est possible de pouvoir intercepter une communication car l'information est transmise en "espace libre".

Pour conclusion, le faisceau hertzien est une onde radio et atteint des débits très importants. Il représente une solution d'interconnexion à Très Haut Débit, déployée dans les zones très peu denses (particulièrement les zones rurales) ou en complément de technologies Internet faiblement présentes mais qui peuvent subir plusieurs perturbations naturelles et artificielles.

#### **2.4.5 -La Fibre Optique**

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau large bande par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, la téléphonie, la visioconférence ou les données informatiques.

Entourée d'une gaine protectrice, la fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre

deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'informations. En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clé de la révolution des télécommunications optiques. Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs (température, pression, etc.) et dans l'imagerie.



Figure 11: LA FIBRE OPTIQUE [B1]

### ✚ Constituants de la fibre

Elle est constituée de trois éléments concentriques : le cœur, la gaine protectrice et le revêtement.

- Le cœur : c'est dans cette zone, constituée de verre, que la lumière est guidée et se propage le long de la fibre.
- La gaine : c'est la couche de verre qui entoure le cœur. La composition du verre utilisée est différente de celle du cœur. L'association de ces deux couches permet de confiner la lumière dans le cœur, par réflexion totale de la lumière à l'interface cœur gaine. Son indice de réfraction est légèrement inférieur à celui du cœur.
- Le revêtement : c'est une couche de protection appliquée sur le verre de gaine, il est important que cette couche soit détachable afin de permettre d'effectuer des injections ou des découpages de la lumière, son indice de réfraction est supérieur à celui de la gaine

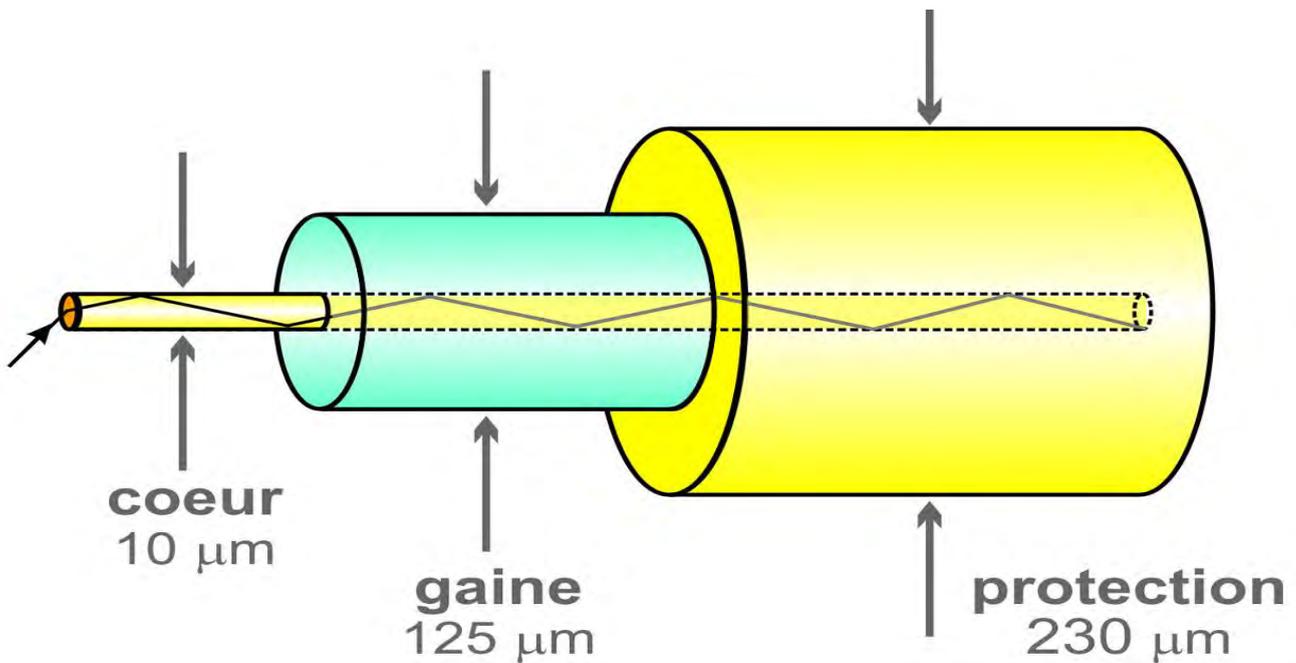


Figure 12: COMPOSANTS DE LA FIBRE OPTIQUE [B1]

### ✚ Les types de Fibre

Dans la spécialité des télécommunications, il y a deux types de fibres optiques utilisées :

- Les fibres monomodes.
- Les fibres multimodes

La différence entre ces deux types de fibres optiques est la dimension du cœur, où il est de 10μm pour les fibres monomodes et de 50 μm pour les fibres multimodes.

**Les fibres monomodes** : ont un diamètre de cœur (10 microns), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. L'onde se propage alors sans réflexion et il n'y a pas de dispersion modale. Le petit diamètre du cœur des fibres monomodes nécessite une grande puissance d'émission qui est délivrée par des diodes laser :

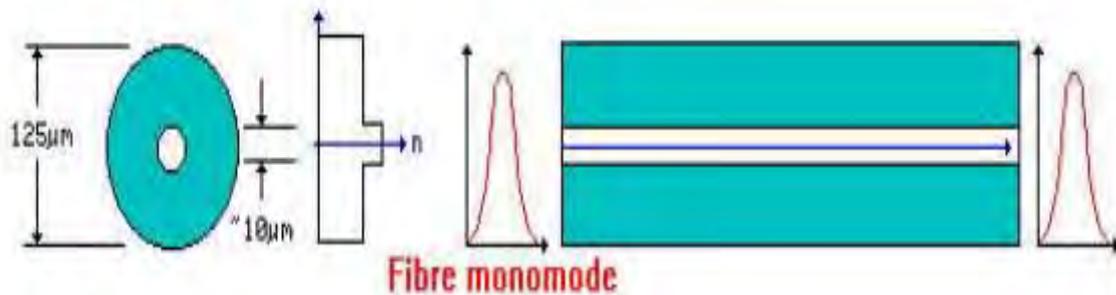


Figure 13: LA FIBRE MONOMODE [B2]

**Les fibres multimodes :** ont un diamètre de cœur important (de 50 à 85 microns). Un rayon lumineux pénétrant dans le cœur de la fibre, à l'une de ses extrémités, se propage longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le verre de cœur et le verre de gaine. Plusieurs modes (chemins optiques) se propagent dans ce type de fibre optique. Selon les différents chemins empruntés par les rayons, ils arrivent avec des temps différents. Ce qui provoque une forte dispersion du signal lumineux, due à la multiplication des modes de propagations (dispersion modale). Parmi les fibres multimodes, on distingue les **fibres à saut d'indice (débit limité à 50 Mb/s)** et les **fibres à gradient d'indice (débit limité à 1 Gb/s)**.

- **Fibres multimodes à saut d'indice :** Dans ce type de fibre l'indice de réfraction reste constant dans tout le cœur de la fibre, et à l'interface gaine cœur il décroît brusquement en effectuant un saut d'indice dans la gaine. Facile à mettre en œuvre à faible coût, elle présente cependant des pertes et distorsions du signal important.

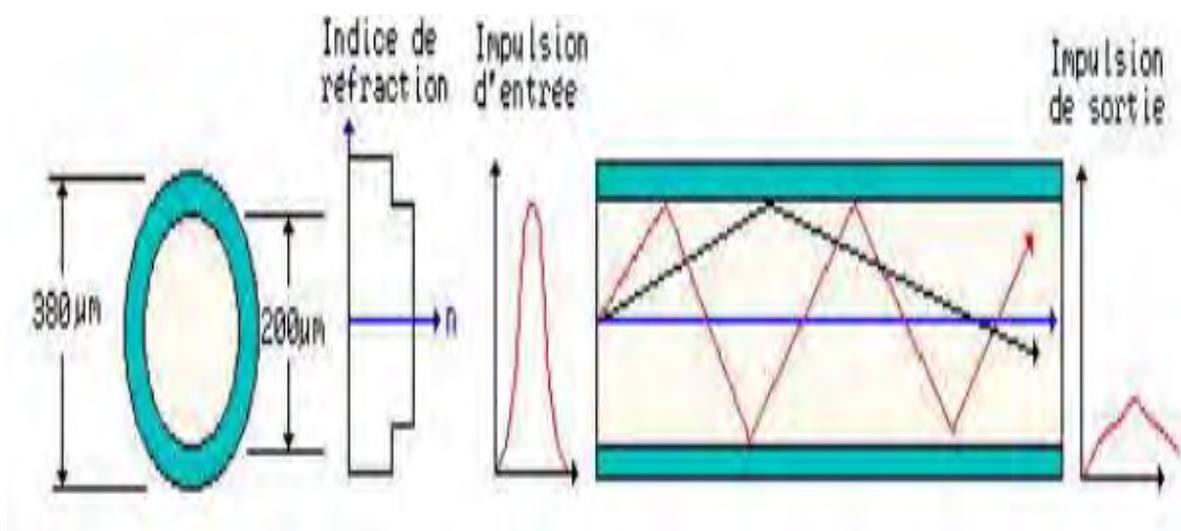


Figure 14: FIBRE MULTIMODE A SAUT D'INDICE [B2]

- **Fibres multimodes à gradient d'indice** : utilisée dans les réseaux locaux c'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagations coexistant. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine. Cependant le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs de couches de matières ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé. Ces différentes couches de silice de densité multiples influent sur la direction des rayons lumineux qui ont une forme elliptique.

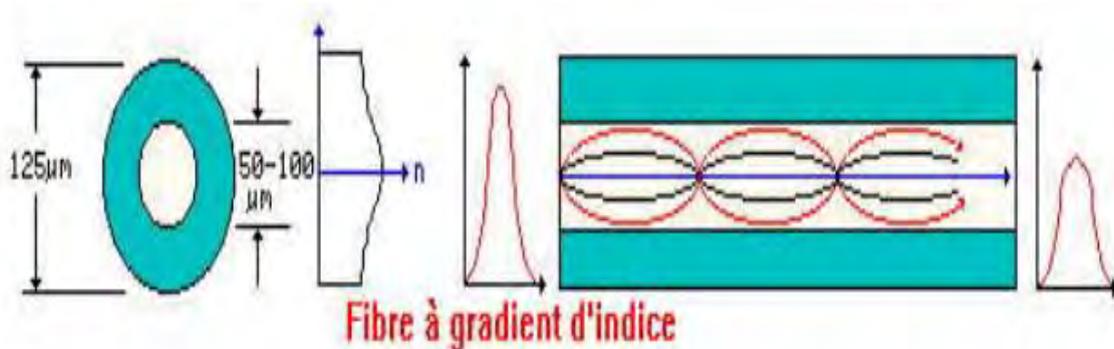


Figure 15: FIBRE MULTIMODE A GRADIENT D'INDICE [B2]

#### ✚ Caractéristiques de la fibre optique

- **Atténuation et longueur d'onde** : La lumière, lorsqu'elle se propage le long de la fibre, s'atténue progressivement. Cette atténuation s'exprime par une valeur en dB/km (décibel par kilomètre). Cette atténuation dépend de la longueur d'onde ( $\lambda$ ), c'est à dire de la couleur (fréquence) de la lumière.
- **La bande passante** : C'est une mesure de la capacité de transport de données d'une fibre optique. Par exemple, une fibre peut avoir une bande passante de 400 MHz.km (mégahertz kilomètre). Cela signifie qu'elle peut transporter 400MHz sur 1 km. Elle dépend du type de fibre, la fibre monomode permet d'avoir un débit d'informations beaucoup plus important que la multimode.
  - **Cas monomode** : Une information se propage dans la fibre suivant un seul mode, donc elle n'est pas déformée. On peut donc rapprocher beaucoup plus les informations c'est-à-dire obtenir un débit bien plus important.
  - **Cas multimode** : Une information se propage dans la fibre suivant n modes, ce qui la déforme, comme si elle se dédoublait n fois. Si les informations arrivent trop rapprochées, elles risquent alors de se mélanger, et ne sont pas récupérables à la sortie de la fibre. Il faut donc les espacer suffisamment, c'est à dire limiter le débit.

## ✚ Liaison à fibre Optique

Généralement un système de transmission optique est constitué de :

- ✓ Un Emetteur est une source lumineuse. Il peut être une diode laser ou une diode électroluminescente qui va convertir le signal électrique en un signal lumineux qui va se propager dans la fibre avec une certaine dispersion et une certaine atténuation.
- ✓ Un support de transmission qui est la fibre optique qui sera choisie selon le type de l'application voulue.
- ✓ Un Récepteur qui est constitué d'une photo détectrice qui va convertir le signal lumineux à la sortie de la fibre en a signal électrique.

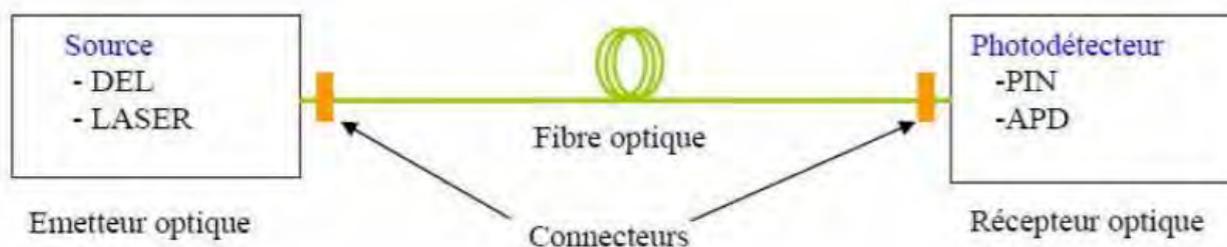


Figure 16: SYSTEME DE TRANSMISSION OPTIQUE [B2]

### 2.4.5.1 -Les Avantages de la fibre Optique

L'interconnexion en fibre optique présente plusieurs avantages :

- **Faible atténuation** : la fibre optique a une atténuation moins importante que les conducteurs électriques, ce qui permet de transmettre des informations sur de plus longues distances en nécessitant moins de répéteurs.
- **Grande bande passante** : la fibre optique permet d'atteindre des capacités de transport bien plus élevées que le cuivre. Les bandes passantes typiques sont de 200 à 600 MHz.km pour des fibres multimodes, et  $> 10$  GHz.km pour des fibres monomodes, comparées à 10 à 25 MHz.km pour des câbles électriques usuels.
- **Insensibilité aux perturbations électromagnétiques** : les fibres optiques sont immunes aux parasites électromagnétiques, et elles-mêmes n'émettent aucune radiation.
- **Liaison non détectable** : les câbles à fibre optique étant dans la plupart des cas totalement diélectriques, ils sont transparents vis à vis de tous types de détecteurs.

- **Isolation électrique** : les fibres optiques permettent d'effectuer des transmissions entre points de potentiels électriques différents, et au voisinage d'installations à haute tension.
- **Taille et poids réduits** : pour faire passer une quantité d'informations équivalente, le volume et la masse de câble à fibre optique à utiliser sont bien moindres qu'en câble électrique.

#### 2.4.5.2 -Les Inconvénients de la fibre Optique

La fibre ne connaît pas beaucoup de points négatifs. La première limite que présente la **fibre optique** par rapport aux autres technologies de connexion, c'est son coût de déploiement et d'installation. C'est d'ailleurs pourquoi elle est présente uniquement dans les régions à forte densité de population. Toutefois, la différence de coût observée lors de l'installation peut être récupérée pendant l'utilisation à cause des énormes avantages de gain de temps, de productivité et de gain de frais d'entretien qu'elle présente.

De plus à cause de sa finesse, la **fibre optique** peut facilement subir des dommages pendant sa conception ou pendant son installation.

D'où son application considérable du côté télécoms, pour la construction des réseaux à grande échelle mais aussi, dans des épines dorsales (backbones).

Ainsi nous retenons que la fibre optique est particulièrement adaptée à la liaison entre répartiteurs (liaison centrale entre plusieurs bâtiments, appelé **backbone**, ou en français *épine dorsale*) car elle permet des connexions sur des longues distances (de quelques kilomètres à 60 km dans le cas de fibre monomode) sans nécessiter de mise à la masse contrairement aux faisceaux hertziens et aux câbles coaxiaux. De plus ce type de câble est très sûr car il est extrêmement difficile de mettre un tel câble sur écoute. Toutefois, malgré sa flexibilité mécanique, ce type de câble ne convient pas pour des connexions dans un réseau local car son installation est problématique et son coût élevé.

### 2.5 -Critères de choix de l'interconnexion

Les supports de transmission ont pour rôle de faire véhiculer les informations téléphoniques entre deux points quelconques distants, et leur bande passante varie en fonction de leur nature.

Les supports de transmission se classent en plusieurs catégories suivant la nature des signaux à transmettre et des systèmes mis en œuvre. Nous en distinguons :

- Le câble coaxial ;
- La fibre optique ;
- Le faisceau hertzien

Les supports de transmission assurent la liaison entre les mobiles, sites cellulaires et le central cellulaire.

Critères/Support	Fibre optique	Faisceau Hertzien	Cable coaxial
<b>Définition</b>	La transmission du signal est sous forme optique (forme lumineuse).	La transmission du signal sous forme d'ondes radioélectriques	La transmission du signal est sous forme électrique.
<b>Composition du câble</b>	Verre et plastiques		Plastique, feuille de métal et fil métallique (généralement en cuivre).
<b>Coût</b>	Très cher	Nul	Moins cher
<b>Bande passante fournie</b>	Très élevé (THZ)	Elevé (GHZ)	Faible (MHZ)
<b>Taux de transmission de données</b>	2 Gbps	1 Gbps	44,736 Mbps
<b>Pertes dans le câble</b>	Dispersion, flexion, absorption et atténuation.	Réflexion multiples, pertes de branchement et des guides d'ondes	Perte résistive, rayonnée et diélectrique.
<b>Sensibilité aux perturbations électromagnétiques</b>	Nulle	Fortes	Faible
<b>Atténuation</b>	Très faible	Variable	Forte
<b>Confidentialité</b>	Elevée	Nul	Faible
<b>Installation du câble</b>	Difficile	Facile	Facile
<b>Applications</b>	Haut et très haut débit longues distances, à forte densité	Haut et très haut débit à faible densité	Réseaux locaux ; réseau téléphonique haut débit

**Tableau 2: ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES TROIS SUPPORTS D'INTERCONNEXION**

Comparée aux autres supports de transmission existants, la fibre présente une atténuation quasiment constante sur une énorme plage de fréquences (plusieurs milliers de gigahertz) et offre ainsi l'avantage de bandes passantes gigantesques, permettant d'envisager aujourd'hui la transmission avec une plus grande sureté et de débits numériques très importants (plusieurs téra-bit/seconde) exigés par la multiplication des services et les besoins accrus de transmission d'images. Très vite également, il est apparu que les systèmes optiques permettaient, par rapport aux systèmes sur câble coaxial et radio de

capacité équivalente, un gain notable sur la distance entre répéteurs-régénérateurs, qui passait de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres.

En conclusion, nous retenons que le backbone, ou dorsale de télécommunication, est le centre névralgique d'un réseau très haut débit. Le backbone utilise les technologies les plus performantes à large bande passante. La fibre optique est depuis les années 90 devenu le socle et le standard de ce segment des réseaux numériques. Ainsi les câbles coaxiaux sont remplacés peu à peu par des fibres optiques, Cependant, des axes de moindre capacité ou dans des zones isolées ou insulaires peuvent encore être opéré en FH (Faisceaux Hertzien point à point).