الجـــــــــــــــــمهـوريـــــة الجـــــــــــزائـريـة الديمـــــقـراطيـة الشـــــــعبيـة

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التـــــــــــــــــــــــــعليـم العـــــالي و البـــــــحث العـــلـمـــي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جـــــــــــــامعة أبي بكـــر بلقـايد – تـلمســـــــــــان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE

# MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Télécommunications Optiques

**Par** : BELGHOMARI Souheyla
BOUAZZA Lynda

## Sujet

**Audit sur les différents réseaux optiques implémentés d'un établissement ou une entreprise et comparaison entre leurs architectures et applications**

Soutenu publiquement, le 13 / 06 / 2024, devant le jury composé de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| M/ CHIKH-BLED Mohammed El- kebir | Professeur | Université de Tlemcen | Président |
| M/ BOUSAHLA Miloud | MCA | Université de Tlemcen | Examinateur |
| M/FETHALLAH Karim | Professeur | Université de Tlemcen | Encadreur |

Année universitaire :2023 /2024

# *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord Dieu le Tout Puissant qui nous a donné la force, le courage et la patience pour réaliser ce travail à son terme.*

*Nous souhaitons également adresser notre gratitude à notre encadreur le professeur karim fethallah, pour sa direction de recherche, son attention et son suivi tout au long de ce travail, ainsi que pour sa disponibilité et son soutien.*

*Nous adressons aussi nos remerciements les plus distingués au monsieur CHIKH-BLED Mohammed El- kebir , Professeur à l'université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen, d'avoir accepté de juger ce travail en présidant le jury , ainsi que monsieur BOUSAHLA Miloud maitre de conférences à l'université de Tlemcen vous nous avez honorés d'accepter de siéger parmi notre jury de mémoire.*

*nous tenons à remercier l'ensemble du personnel du département de télécommunications de l'université pour leur soutien constant et leur assistance tout au long de nos études.*

*Pour finir, Nous remercions également toute personne ayant contribué de Près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicaces 1*

*Je dédie ce projet de fin d'étude aux personnes qui me sont les plus Chères :*

*À mes chers parents, quoi que je fasse ou dise, je ne saurais vous Remercier suffisamment. Je remercie Allah de m'avoir donné des Parents comme vous. Qu'Allah vous protège et vous bénisse.*

*À mon frère Abdenour et à mes deux chères sœurs Fatima et Naima, pour leur soutien moral et leur Encouragement.*

*À mes chers amis avec qui j'ai partagé les meilleurs et les plus Agréables moments tout au long de mon parcours universitaire.*

*À toutes les personnes qui m'ont encouragé, merci d'être toujours là pour moi.*

*Je vous dis merci.*

***Souheyla***

# *Dédicaces 2*

*Avec une profonde gratitude, je dédie ce mémoire à :*

*Papa, tu as été un modèle de persévérance et de*

*détermination, m'inculquant l'importance du travail acharné et de l'intégrité.*

*Mama, ton amour inconditionnel et ton soutien sans*

*faille m'ont donné la force et le courage de poursuivre mes rêves.*

*mes frères NADJIB et ADEL, vous avez toujours été là pour moi, me soutenant dans les moments difficiles et célébrant chaque petite victoire à mes côtés. Votre*

*camaraderie et vos encouragements ont été essentiels à mon succès.*

*mon encadrant, dont l'expertise, la patience et les conseils précieux*

*ont été essentiels à la réalisation de ce travail. Que ce*

*mémoire soit le témoignage de ma reconnaissance pour son accompagnement et son*

*soutien tout au long de ce projet.*

*À ma famille et mes amis, pour leur soutien moral et leur présence*

*réconfortante tout au long de cette aventure académique.*

***Lynda***

# Résumé

La technologie de la fibre optique a permis l'émergence d'une nouvelle génération de réseaux privés et industriels, offrant des bandes passantes bien plus larges, une fiabilité accrue et une couverture géographique étendue. L'OTN, ou "Optical Transport Network", est un système de transmission conçu spécifiquement pour répondre aux besoins des environnements industriels. Basé sur les technologies de fibre optique les plus avancées, l'OTN répond aux exigences de ces environnements. Les réseaux industriels se caractérisent par des besoins de communication variés, incluant la voix, les données et la vidéo. De plus, le secteur industriel privilégie les systèmes qui sont à la fois simples à installer et à utiliser, et qui peuvent fonctionner et évoluer sur des cycles de vie de 10 à 15 ans. Ainsi, l'OTN est parfaitement adapté pour répondre à toutes ces exigences dans ces contextes. Ce projet de fin d'études a été réalisé exclusivement au sein des entreprises SONATRACH Naama et SONELGAZ Tlemcen. Une étude détaillée a été faite sur les différentes technologies de transmission, en particulier la technologie OTN. Le système de gestion OMS propre à l'entreprise a été utilisé pour la configuration pratique du réseau OTN. Nous avons également acquis des connaissances théoriques et pratiques sur le déploiement de réseau de transmission de SONELGAZ. Cette analyse approfondie servira de référence pour l'audit et la comparaison avec d'autres réseaux optiques, contribuant ainsi à l'amélioration continue des infrastructures de transport optique.

**Mots clés** : réseaux de transport, OTN, OMS, fibre optique.

# ملخص

قد سمحت تكنولوجيا الألياف الضوئية بظهور جيل جديد من الشبكات الخاصة والصناعية، مما يوفر نطاقات ترددية أوسع بكثير، وموثوقية أكبر، وتغطية جغرافية موسعة .OTN، أو "شبكة النقل المفتوحة"، هو نظام نقل مصمم خصيصًا لتلبية احتياجات البيئات الصناعية. بناءً على أحدث تقنيات الألياف الضوئية، يلبي OTN متطلبات هذه البيئات. تتميز الشبكات الصناعية باحتياجات اتصالات متنوعة، بما في ذلك الصوت والبيانات والفيديو. تفرض الظروف البيئية الصناعية أيضًا معايير عالية من المتانة على المعدات. بالإضافة إلى ذلك، يفضل القطاع الصناعي الأنظمة التي تكون سهلة التركيب والاستخدام، والتي يمكنها العمل والتطور على مدى دورات حياة تتراوح من 10 إلى 15 عامًا. وهكذا، فإن OTN مناسب تمامًا لتلبية جميع هذه المتطلبات في هذه السياقات.تم إنجاز مشروع نهاية الدراسة هذا حصريا ضمن شركتي سوناطراك نعامة وسونالغاز تلمسان. تم إجراء دراسة تفصيلية حول تقنيات النقل المختلفة، ولا سيما تقنية OTN. تم استخدام نظام إدارة OMS الخاص بالشركة للتكوين العملي لشبكة OTN. اكتسبنا أيضًا المعرفة النظرية والعملية حول نشر شبكة نقل SONELGAZ. سيكون هذا التحليل المتعمق بمثابة مرجع للتدقيق والمقارنة مع الشبكات الضوئية الأخرى، مما يساهم في التحسين المستمر للبنية التحتية للنقل البصري.

**الكلمات المفتاحية**: شبكات النقل، OTN، OMS، الألياف الضوئية.

# Abstract

Fiber optic technology has enabled the emergence of a new generation of private and industrial networks, offering much larger bandwidths, increased reliability, and extended geographical coverage. OTN, or "Open Transport Network," is a transmission system specifically designed to meet the needs of industrial environments. Based on the most advanced fiber optic technologies, OTN meets the requirements of these environments. Industrial networks are characterized by diverse communication needs, including voice, data, and video. Industrial environmental conditions also impose high standards of robustness on equipment. Additionally, the industrial sector prefers systems that are easy to install and use, and that can operate and evolve over life cycles of 10 to 15 years. Thus, OTN is perfectly suited to meet all these requirements in these contexts. This end-of-study project was carried out exclusively within the companies SONATRACH Naama and SONELGAZ Tlemcen. A detailed study was made on the different transmission technologies, in particular OTN technology. The company's own OMS management system was used for the practical configuration of the OTN network. We also acquired theoretical and practical knowledge on the deployment of the SONELGAZ transmission network. This in-depth analysis will serve as a reference for auditing and comparison with other optical networks, contributing to the continuous improvement of optical transport infrastructures.

**Keywords:** transport networks, OTN, OMS, fiber optic.

# Tables des matières

**Tables des matières** ..... **VII**
**Liste des figures** ..... **XI**
**Liste des tableaux** ..... **XIV**
**Liste des abréviations** ..... **XV**
**Introduction générale** ..... **1**
**chapitre I Généralités sur la transmission optique** ..... **3**
I.1 Introduction ..... 3
I.2 Les avantages et les inconvénients de la fibre ..... 3
I.2.1 Avantages ..... 3
I.2.2 Inconvénients ..... 4
I.3 Fibre optique ..... 4
I.3.1 Structure de la fibre optique ..... 4
I.3.2 Types de fibres ..... 5
I.3.3 Lois de Snell-Descartes ..... 6
I.3.4 Caractéristique des fibres ..... 8
I.3.5 Limitation optique ..... 9
I.3.6 Applications des fibres optiques ..... 15
I.4 Raccordement des fibres optiques ..... 15
I.4.1 Connecteurs optiques ..... 15
I.4.2 L'épissure ..... 17
I.5 Principe d'une liaison optique ..... 18
I.6 Émetteur ..... 18
I.7 Récepteur ..... 18
I.8 Émetteur-récepteur SFP ..... 19
I.8.1 Caractéristiques du SFP ..... 19
I.8.2 Les composants internes du SFP ..... 20
I.9 Conclusion ..... 21
**chapitre II Présentation des technologies de transmission optique** ..... **22**
II.1 Introduction ..... 22
II.2 Les Réseaux optiques ..... 22

II.2.1 Structure des réseaux ..... 22
II.2.2 Les types des réseaux ..... 23
II.3 Les réseaux optiques passifs (PON) ..... 24
II.3.1 L'architecture d'un réseau PON ..... 25
II.3.2 Les différents standards d'un réseau PON ..... 26
II.3.3 Avantages et inconvénients d'un réseau PON ..... 27
II.4 Réseaux locaux Ethernet ..... 28
II.4.1 Les avantages et les inconvénients d'Ethernet ..... 28
II.4.2 Structure d'une trame Ethernet ..... 29
II.4.3 Norme Ethernet ..... 30
II.4.4 Le Fast Ethernet ..... 31
II.4.5 Le Gigabit Ethernet ..... 31
II.4.6 Différences entre Fast Ethernet et Gigabit Ethernet ..... 32
II.5 Asynchronous Transfer Mode (ATM) ..... 33
II.5.1 Les principes fondamentaux d'ATM ..... 33
II.5.2 Le réseau ATM ..... 34
II.5.3 Le modèle de référence du protocole ATM ..... 35
II.6 La Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH ..... 37
II.6.1 La trame PDH ..... 37
II.6.2 Multiplexage PDH ..... 38
II.6.3 Limites de la PDH [15] ..... 40
II.7 Systèmes de la hiérarchie SDH/SONET ..... 40
II.7.1 Structure de la trame de base STM-1 ..... 41
II.7.2 Multiplexage SDH ..... 42
II.7.3 Le réseau SDH ..... 44
II.7.4 Avantages et inconvénients de la SDH ..... 46
II.8 Les réseaux de transport optique (OTN) ..... 47
II.9 Conclusion ..... 47
**chapitre III Etude d'un réseau de transmission d'un établissement public ..... 48**
III.1 Introduction ..... 48
III.2 Présentation de l'entreprise SONATRACH ..... 48
III.3 Historique du gazoduc GPDF ..... 48
III.4 La technologie OTN ..... 50

III.4.1 Définition d'OTN ..... 50
III.4.2 Caractéristiques de l'OTN ..... 50
III.4.3 L'interface OTN ..... 51
III.4.4 Structure en couche de l'architecture OTN ..... 53
III.4.5 Principes de multiplexage ..... 55
III.4.6 Technique de multiplexage d'ODU1 vers ODU2 ..... 56
III.4.7 Les nœuds ..... 57
III.4.8 Les différentes cartes utilisées dans le nœud ..... 58
III.4.9 Les liens ..... 59
III.4.10 Comparaison entre SDH/SONET et OTN ..... 60
III.5 Architecture de réseau SONATRACH ..... 61
III.6 Système de gestion OTN (OMS) ..... 62
III.7 Communication entre le réseau OTN et l'OMS ..... 62
III.8 Configuration du réseau OTN par la GUI OMS dans l'OTN-X3M ..... 63
III.8.1 Création d'un réseau gère ..... 63
III.8.2 Création du(s) sous-réseau(x) OTN-X3M ..... 64
III.8.3 Création des nœuds dans le(s) sous-réseau(x) OTN-X3M ..... 64
III.8.4 Création de la carte système dans les nœuds ..... 65
III.8.5 Création des modules d'émetteur-récepteur sur la carte système ..... 66
III.8.6 Création des cartes et des modules d'interface dans les nœuds ..... 66
III.8.7 Création de l'alimentation (une ou deux) dans les nœuds ..... 67
III.8.8 Création des liaisons entre les nœuds ..... 67
III.9 Configuration des services dans l'OMS ..... 68
III.10 Représentation d'arborescence de réseau Sonatrach ..... 69
III.10.1 Indicateurs d'état ..... 70
III.10.2 Symboles fixes ..... 71
III.11 Représentations d'élément de réseau ..... 72
III.11.1 La représentation logique de réseau ..... 72
III.11.2 Onglet Equipement ..... 72
III.11.3 Onglet Services ..... 73
III.12 Surveillance du réseau sonatrach en service ..... 75
III.12.1 Les Evénements ..... 75
III.12.2 Les alarmes ..... 75

III.13 Présentation de l'entreprise SONELGAZ ..... 77
III.13.1 Etude de projet ..... 77
III.13.2 Les travaux du génie civil ..... 78
III.13.3 Travaux de déploiement du câble a fibre optique ..... 84
III.13.4 Travaux de raccordement ..... 85
III.13.5 Les équipements d'extrémité ..... 86
III.13.6 Test et mise en service de la liaison fibre optique ..... 87
III.14 Conclusion ..... 91
**Conclusion générale ..... 92**
**Recommandations ..... 93**
**Bibliographie……. ..... XIX**

# Liste des figures

**Figure I-1 : la fibre optique [6]..... 4**
**Figure I-2 : les diférents types de fibre [1] ..... 6**
**Figure I-3 : la seconde loi de snell- Descartes [1]……...…..7**
**Figure I-4 : la réflexion totale interne [1]…...……..8**
**Figure I-5 : Ouverture numérique d'une fibre optique [1].……..…..8**
**Figure I-6: Les déférentes pertes de connecteur [2]…….12**
**Figure I-7 : Phénomène d'atténuation [3]…….…13**
**Figure I-8 : le phénomène de dispersion [3]……..…….15**
**Figure I-9 : schéma simplifié d'une liaison optique [3]…… …..18**
**Figure I-10: la structure interne du SFP [4]…….....21**
**Figure II-1 : Architecture typique d'un réseau de télécommunication [5] ..... 24**
**Figure II-2 : Schéma un réseau PON [12] ..... 25**
**Figure II-3 : différents architecture utilisé en PON [12] ..... 26**
**Figure II-4 : la trame Ethernet [17] ..... 30**
**Figure II-5 : le format de la cellule ATM [14] ..... 34**
**Figure II-6 :le principe des voies virtuelles [14] ..... 35**
**Figure II-7 : Le modèle de référence du protocole ATM [14] ..... 36**
**Figure II-8 : Structure de la trame E1 [15] ..... 38**
**Figure II-9 : Exemple de Multiplexage temporel en PDH [15] ..... 39**
**Figure II-10 : Structure de la trame de base STM-1 [16] ..... 42**
**Figure II-11 : Les niveaux du multiplexage SDH [16] ..... 43**
**Figure II-12 : Infrastructure du réseau SDH [6] ..... 45**
**Figure II-13 : anneaux SDH [16] ..... 46**
**Figure III-1 : Présentation de la station GPDF ..... 49**
**Figure III-2 : Architecture OTN [17] ..... 50**
**Figure III-3 : Format de la trame synchrone OTN [6] ..... 51**
**Figure III-4 : Structure de la trame OTN [6] ..... 52**
**Figure III-5 : Les overheads de l'OTN [6]. ..... 52**
**Figure III-6 : la hiérarchie OTN [18] ..... 54**
**Figure III-7 : Structure de multiplexage OTN [18]. ..... 56**
**Figure III-8 : l'ODU1 vers l'ODU2 [6]. ..... 57**

**Figure III-9 :Vue d'ensemble schématique d'un nœud (type N22) ..... 57**
**Figure III-10 : le panneau avant de la carte BORA ..... 58**
**Figure III-11 :vue d'ensemble schématique des liaisons OTN ..... 59**
**Figure III-12 :nœud de type N42 ..... 61**
**Figure III-13 : configuration d'un réseau OTN ..... 63**
**Figure III-14 : création d'un réseau ..... 64**
**Figure III-15 :création du sous réseau OTN ..... 64**
**Figure III-16 :création des nœuds ..... 65**
**Figure III-17 :création de la carte BORA ..... 66**
**Figure III-18 :création de module émetteur-récepteur ..... 66**
**Figure III-19 : création de la carte d'interface ..... 67**
**Figure III-20 : création de l'alimentation ..... 67**
**Figure III-21 : création de liaison ..... 68**
**Figure III-22 :création des services ..... 69**
**Figure III-23 : Représentation d'arborescence de réseau ..... 70**
**Figure III-24 : représentation logique de réseau ..... 72**
**Figure III-25 : onglet equipement ..... 73**
**Figure III-26 : onglet services ..... 74**
**Figure III-27 : Les événements ..... 75**
**Figure III-28 : les alarmes. ..... 76**
**Figure III-29 : Architecture de la liaison ..... 77**
**Figure III-30 : tranchée classique ..... 79**
**Figure III-31 : micro tranchée ..... 79**
**Figure III-32 :tube PEHD ..... 80**
**Figure III-33 : grillage de signalisation ..... 80**
**Figure III-34 : les types des chambres ..... 81**
**Figure III-35 :l'installation des chambres ..... 82**
**Figure III-36 : repérage des chambres. ..... 83**
**Figure III-37: Le soufflage de câble ..... 84**
**Figure III-38 : soudeuse ..... 85**
**Figure III-39 : Boites de jonction ..... 86**
**Figure III-40 :panneau de brassage ..... 86**
**Figure III-41 : Jarretières fibre optique ..... 87**
**Figure III-42 : multiplexeur (type SDH Sagem ADR 155 c) ..... 87**

**Figure III-43 : réflectomètres (OTDR)..... 88**

# Liste des tableaux

**Tableau I-1 : la différence entre les connecteurs optiques ..... 15**
**Tableau II-1 : Types des réseaux optiques [7] ..... 23**
**Tableau II-2 :Principales versions d'Ethernet [9] ..... 30**
**Tableau II-3 : principaux systemes SDH/SONET [9] ..... 43**
**Tableau III-1 : Les débits des conteneurs OTN [19]. ..... 55**
**Tableau III-2 :perte de puissance optique mesurée par l'OTDR ..... 90**

# Liste des abréviations

## A :

**AAL** : ATM Adaptation Layer.

**ADM** : Add Drop Multiplexer.

**APC** : Angle Physical Contact.

**APD** : Avalanche Photodiode.

**ATM** : Asynchronous Transfer Mode.

**AUG:** Administrative Unit Group.

## B:

**BORA**: Broadband Optical Ring Adapter.

## C:

**CCITT**: Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy.

**C-n** : Container.

**CS** : Convergence Sublayer.

## D:

**DCF**: Dispersion Compensating Fiber.

**DDM**: Digital Diagnostic Monitoring.

**DEL:** Diode Electroluminescent.

**DFB**: Distributed Feed Back.

**DW**: Digital Wrapper.

**DXC**: Digital Cross Connect.

## F:

**FBG**: Fiber Bragg Gratings.

**FEC**: Forward Error Correction.

**FP**: Fabry Perot.

**FTTH**: Fibre to the Home.

## G:

**GPDF**: Gazoduc Pedro Duran Farrell.

## H:

**HO**: High Order.

## I:

**IP**: Internet Protocol.

**IT**: Intervalle de Temps.

## L:

**LAN**: Local Area Network

**LO**: Low Order

## M:

**MAN**: Metropolitan Area Network.

**MFD**: Mode Field Diameter.

**MSOH**: Multiplex Section Over Head.

**MTS**: Simple Terminal Multiplexer.

## O:

**OCH**: Optical Channel.

**ODU**: Optical Channel Data Unit.

**OLT**: Optical Line Terminal.

**OMS**: Optical Multiplexing Section.

**OMS:** OTN Management System.

**ONT**: Optical Network Terminal.

**OPU**: Optical channel Payload Unit.

**OTM**: Optical Transport Module.

**OTN**: Open Transport Network.

**OTR**: Optical Transceivers.

**OTS**: Optical Transmission Section.

**OTU**: Optical Channel Transport Unit.

## P:

**PC**: Contact physique.

**PDH**: Plesiochronous Digital Hierarchy.

**PIN** : Photodiode à jonction P+ intrinsèque N+.

**PM**: Physical Medium.

**PON**: Passive Optical Network.

## R:

**RSOH**: Regenerator Section Over Head.

**RTC** : Réseau Téléphonique Commuté.

## S :

**SAR**: Segmentation And Reassembly.

**SDH**: Synchronous Digital Hierarchy.

**SFP**: Small Factor Form Pluggable.

**SOH**: Section Over Head.

**SONET**: Synchronous Optical Network.

**STM** : Synchronous Transport Module.

## T :

**TC**: Transmission Convergence.

**TDM**: Time Division Multiplexing.

**TUG**: Tributary Unit Group.

## U :

**UPC** : Ultra Physical Contact.

**UTI-I**: International Telecommunication Union.

## V:

**VC**: Virtual Channels.

**VCI**: Virtual Channel Identifier.

**VC-n**: Virtual Container.

**VCSEL**: Vertical Cavity Surface Emitting Laser.

**VP**: Virtual Paths.

**VPI**: Virtual Path Identifier.

## W:

**WAN**: Wide Area Network.

# Introduction Générale

# Introduction générale

## Contexte

Au fil des années, le rôle des communications est devenu très important. Aujourd'hui, elles sont d'une importance vitale pour assurer le bon fonctionnement de nombreuses organisations et unités opérationnelles. Tout le monde est d'accord sur les avantages de la fibre optique : elle offre une bande passante quasi illimitée sur de longues distances, est relativement facile à installer et est insensible aux interférences électromagnétiques. Ainsi, l'installation de la fibre est perçue comme un investissement sûr.

Cette croissance de la demande a été la source de nombreuses avancées technologiques visant à répondre aux besoins de manière économique. Les premiers réseaux de transport utilisés par les opérateurs télécoms étaient basés sur le multiplexage PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Cependant, ce mode de transmission présentait des inconvénients, notamment l'absence de normalisation par l'UIT-T (C.C.I.T. T), compliquant l'interopérabilité des équipements entre différentes hiérarchies régionales (États-Unis, Europe). De plus, le multiplexage bit à bit de la trame numérique plésiochrone nécessitait un démultiplexage pour accéder aux niveaux inférieurs, limitant ainsi son efficacité.

En réponse à ces limitations, les opérateurs se sont tournés vers le multiplexage synchrone SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et SONET (Synchronous Optical Network). Ces technologies sont devenues la colonne vertébrale des réseaux pendant des décennies, offrant une synchronisation des services qui garantit des délais de transmission constants et prévisibles. Cependant, avec l'augmentation des transmissions de données en mode paquet, les investissements dans les équipements SDH/SONET ont progressivement diminué.

Les origines de l'OTN (Open Transport Network) remontent au début des années 90, lorsque la technologie de transmission SDH/SONET a été introduite dans les réseaux publics. L'OTN a été le premier système à appliquer cette technologie de transmission synchrone à l'industrie. Il est équipé d'un ensemble complet de cartes d'interface permettant aux utilisateurs de connecter facilement tout type d'équipement périphérique traditionnel. Cela fait l'OTN une solution idéale pour combiner divers services (voix, images, données, vidéo, communications multimédias, interconnexion de réseaux locaux Ethernet, mode de transmission ATM) sur un réseau à fibre optique à haut débit, facile à gérer et efficace, quelle que soit la distance.

**Objectifs :**

L'objectif de cette étude est de fournir une compréhension approfondie de l'architecture et de la configuration du réseau de transport optique (OTN) de l'entreprise SONATRACH, en mettant en évidence les mécanismes de gestion et de surveillance nécessaires pour maintenir un réseau performant et fiable. L'étude inclut également une analyse pratique du déploiement du réseau de transmission optique de SONELGAZ Tlemcen.

**Organisation du mémoire :**

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une description générale des transmissions par fibres optiques. Il aborde les différentes pertes qui peuvent survenir dans les liaisons optiques et détaille l'ensemble des composants présents, en expliquant leur fonctionnement.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des principes, du fonctionnement, des évolutions, des avantages et des limitations des technologies de transmission optique.
- Le troisième chapitre est consacré à détailler en profondeur le réseau de transport optique (OTN) de l'entreprise SONATRACH, en montrant les différentes étapes de configuration du réseau et des services via l'outil OMS. Ce chapitre est consacré aussi au déploiement d'un réseau de transmission optique SONALGAZ Tlemcen

# Chapitre I : Généralités sur la transmission optique

# chapitre I Généralités sur la transmission optique

## I.1 Introduction

Aujourd'hui, la fibre optique est omniprésente dans notre société connectée. Elle constitue la base des réseaux de télécommunications mondiaux, permettant la transmission rapide et fiable de données, de voix et de vidéos à travers le monde.

La fibre optique se compose d'un mince filament de verre ou de plastique, appelé le noyau, entouré d'une gaine protectrice. La lumière, sous la forme de signaux optiques, est acheminée à travers le noyau grâce à des principes de réflexion totale interne. Cette technique permet de transmettre des informations sur de longues distances avec une atténuation minimale et une immunité aux interférences électromagnétiques, offrant ainsi des débits de transmission beaucoup plus élevés par rapport aux câbles en cuivre traditionnels.

Historiquement, la fibre optique trouve ses racines dans les recherches menées au cours du XIXe siècle sur la propagation de la lumière et les concepts de réfraction.

En 1970, des avancées majeures ont été réalisées dans la fabrication des fibres optiques, permettant la production des premières fibres à faible perte.

Ce premier chapitre vise à fournir une vue d'ensemble des transmissions par fibres optiques, en mettant en lumière les diverses pertes présentes dans les liaisons de télécommunication optiques.

## I.2 Les avantages et les inconvénients de la fibre

### I.2.1 Avantages

Les fibres optiques offrent de nombreux avantages, notamment :

- **Performances de transmission** : faible atténuation, large bande passante, possibilité de multiplexage de plusieurs signaux et utilisateurs, permettant des systèmes de transmission avec une portée et une capacité supérieure aux câbles conducteurs.
- **Avantages de mise en œuvre** : faible poids, petite taille et grande souplesse.
- **Sécurité électrique** : résistance à la tension supérieure à Celle des fibres de cuivre ou d'acier du même diamètre, flexibilité accrue et résistance aux éléments corrosifs.
- **Sécurité électromagnétique** : insensibilité aux parasites électromagnétiques.

- **Avantage économique** : coût global souvent inférieur à celui des systèmes cuivre, grâce à l'abondance des matières premières utilisées pour fabriquer les fibres optiques.
- **Rentabilité** : durée de vie moyenne de 20 ans pour les réseaux à fibre optique.

### I.2.2 Inconvénients

Les fibres optiques présentent également certains inconvénients, tels que :

- **Coût** : les câbles à fibre optique sont plus coûteux à installer que les câbles en cuivre, bien que leur durée de vie soit généralement plus longue.
- **Transmission** : la transmission du signal dans les câbles à fibre optique nécessite des répétiteurs à certaines distances, mais moins fréquemment que les câbles en cuivre.
- **Fragilité** : les fibres optiques peuvent se casser ou perdre leur transmission si le câble est rayé ou fissuré. Cependant, l'enveloppement des fibres dans une gaine en plastique rend le câble plus difficile à plier sans endommager les fibres.
- **Protection** : les fibres optiques nécessitent un niveau de protection supérieur par rapport aux câbles en cuivre [5].

## I.3 Fibre optique

Une fibre optique est un fil extrêmement fin en verre de silice ou en plastique, qui permet un transport flexible de la lumière d'un point à un autre avec une atténuation minimale, couvrant une vaste gamme de longueurs d'onde [6].

**Figure I-1 : la fibre optique [6]**

### I.3.1 Structure de la fibre optique

Sur le plan physique, une fibre optique est composée de trois parties principales :

- **Le cœur**

Le cœur de la fibre optique est un élément crucial pour assurer une transmission lumineuse efficace. Il constitue la partie centrale de la fibre où les signaux lumineux sont guidés tout au long de son parcours.

- **La gaine**

La gaine de la fibre optique est une composante essentielle qui entoure et protège le cœur de la fibre. Elle joue un rôle crucial dans la transmission efficace de la lumière en fournissant un environnement isolant et de soutien pour le cœur de la fibre.

- **Le revêtement**

Une couche extérieure, souvent constituée de plastique, entoure la gaine pour offrir une protection mécanique et renforcer la fibre. Elle peut également contenir des matériaux anti-rayonnement ultraviolet pour une durabilité accrue. [7]

### I.3.2 Types de fibres

Les fibres optiques peuvent être regroupées en deux catégories principales, à savoir les fibres multimodes et les fibres monomodes, en fonction de leur diamètre et de leur longueur d'onde.

#### *I.3.2.1 Fibre optique Monomode*

Lorsqu'on réduit le diamètre du cœur d'une fibre optique, elle devient monomode, ce qui signifie qu'elle ne permet le passage que d'un seul rayon lumineux. Les fibres monomodes sont principalement utilisées pour les transmissions sur de longues distances. En général, le diamètre du cœur de la fibre est d'environ 8 à 10 µm, tandis que la gaine extérieure mesure environ 125 µm. Grâce à leur caractère monomode, les rayons lumineux se déplacent pratiquement en ligne droite à travers la fibre, ce qui réduit considérablement l'atténuation. L'atténuation dépend de la longueur d'onde utilisée et est typiquement de 0,36 dB/km à 1 300 nm et de 0,2 dB/km à 1 550 nm. Toutefois, pour bénéficier de ces performances, une puissance d'émission élevée est nécessaire. Cela peut être fourni par des diodes lasers, qui sont relativement coûteuses mais fournissent une puissance optique suffisante pour compenser l'atténuation dans les fibres monomodes [1] .

#### *I.3.2.2 Fibre optique Multi mode à saut d'indice*

Ces fibres sont caractérisées par un diamètre de cœur plus important et une grande ouverture numérique, ce qui permet une transmission efficace d'une grande quantité de lumière à travers la fibre optique. Elles sont principalement utilisées pour des transmissions sur de

courtes distances et avec une bande passante limitée. De plus, elles sont généralement moins coûteuses.

### *I.3.2.3 Fibre optique Multi mode à gradient d'indice*

Les fibres optiques de ce type se distinguent par un cœur ayant un indice de réfraction variable qui augmente progressivement de $n1$ à l'interface entre la gaine et le cœur, jusqu'à atteindre $n2$ au centre de la fibre. Elles sont couramment utilisées pour des transmissions sur des distances moyennes et offrent une bande passante allant de moyenne à élever. [7]

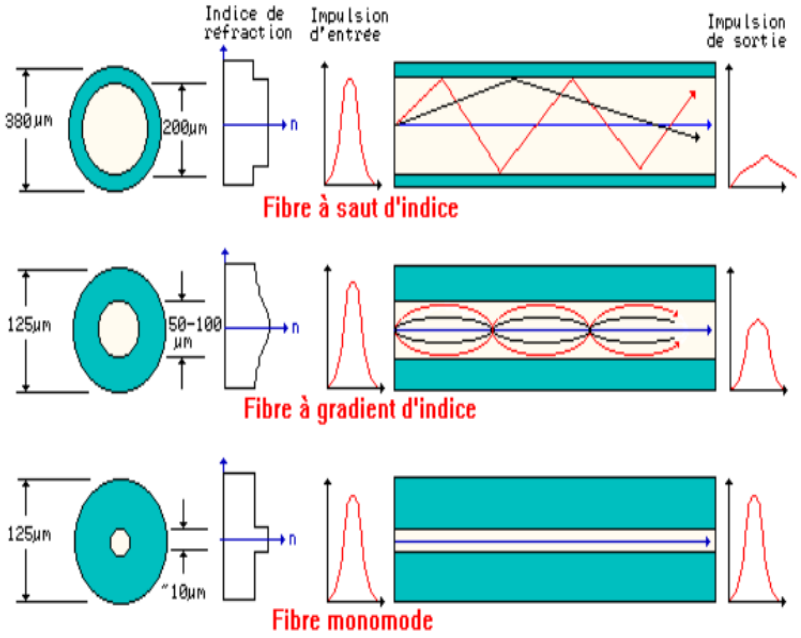



**Figure I-2 : les diférents types de fibre [1]**

## I.3.3 Lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes décrivent la réfraction de la lumière. Selon la première loi de Snell-Descartes, les rayons réfléchi et réfracté se situent dans le même plan que le plan d'incidence. Le plan d'incidence est défini comme le plan contenant à la fois le rayon incident et la droite perpendiculaire au dioptre au point d'incidence.

### *I.3.3.1 La réflexion*

La deuxième loi de Snell-Descartes stipule que le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la droite normale au dioptre. Cela peut être exprimé par l'équation :

$i'1 = i1$, où $i'1$ représente l'angle du rayon réfléchi et $i1$ représente l'angle du rayon incident.

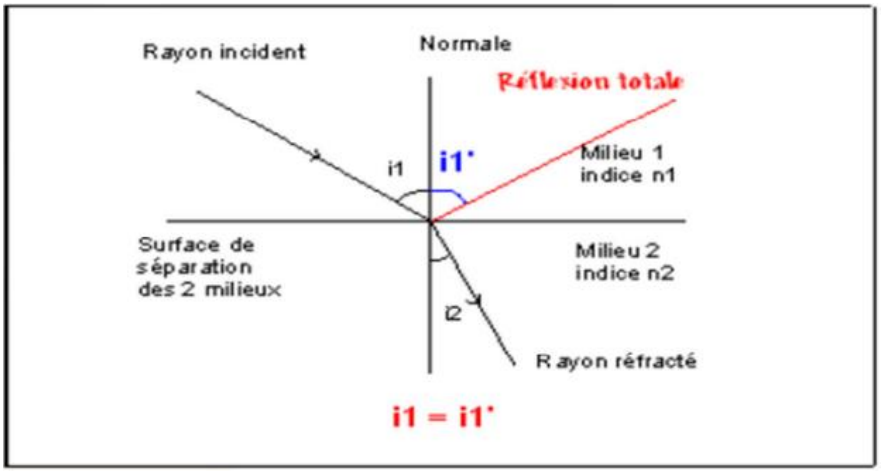



**Figure I-3 : la seconde loi de snell- Descartes [1]**

### *I.3.3.2 La réfraction*

La deuxième loi de Snell-Descartes énonce que lorsqu'un rayon lumineux traverse un dioptre, il est réfracté avec un angle i2 tel que n1 sin (i1) = n2 sin (i2)**, où** n1 représente l'indice de réfraction du milieu d'incidence, i1 est l'angle d'incidence, n2 est l'indice de réfraction du milieu de réfraction, et i2 est l'angle de réfraction [1].

### *I.3.3.3 Réfraction limite et réflexion totale*

En ce qui concerne la réfraction limite, lorsque le milieu d'incidence est le moins réfringent, l'angle de réfraction est nécessairement inférieur à une certaine valeur, correspondant à une incidence rasante.

Pour ce qui est de la réflexion totale, lorsque le milieu d'incidence est le plus réfringent, il existe un angle d'incidence limite au-delà duquel il n'y a plus de lumière réfractée. À cet angle, il se produit une réflexion totale. [1]

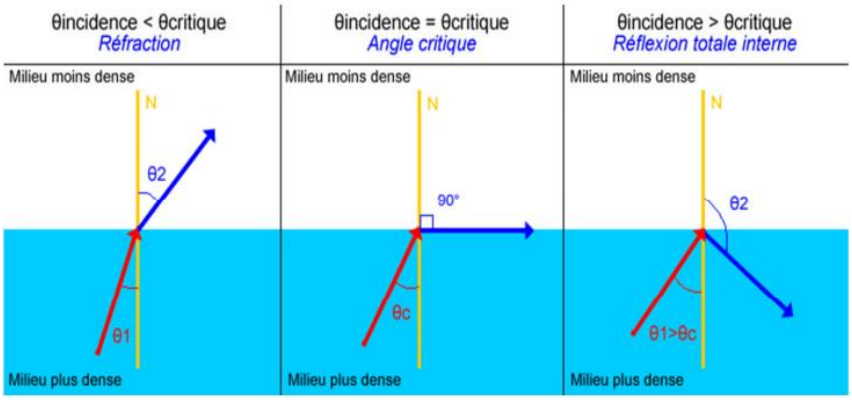



**Figure I-4 : la réflexion totale interne [1]**

## I.3.4 Caractéristique des fibres

### *I.3.4.1 Ouverture numérique*

L'angle limite d'acceptation de la lumière par le guide est une mesure de sa capacité à capturer la lumière provenant d'une source à sa section frontale. Cet angle est directement lié à l'ouverture du cône d'acceptante des rayons lumineux critiques, qui permettent une réflexion totale. Comme illustré dans l'image ci-dessous [1] :

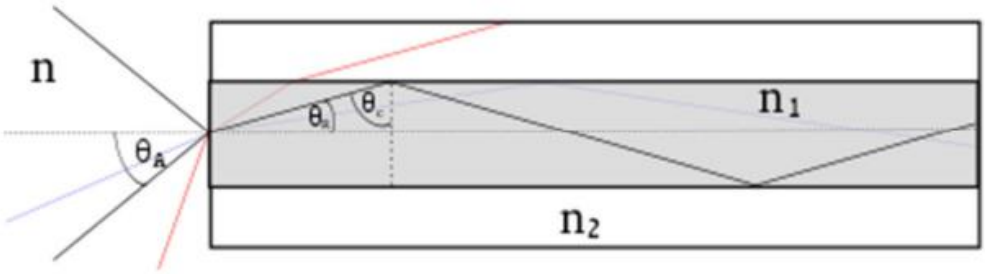



**Figure I-5 : Ouverture numérique d'une fibre optique [1]**

L'ouverture numérique (ON) correspond au sinus de l'angle $\theta_A$ maximal formé entre l'axe de la fibre et le rayon optique le plus incliné que la fibre peut guidée.

Voici la formule de l'ouverture numérique **:**

$$ON = \sin \theta_{A\,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

### *I.3.4.2 La bande passante*

La bande passante d'une fibre optique représente la quantité d'informations qui peut être transmise sur cette fibre pendant un intervalle de temps donné. Elle est généralement mesurée en bits par seconde (bps). La bande passante peut également faire référence à la plage de fréquences utilisables sur un support, exprimée en hertz (Hz) [8].

### *I.3.4.3 Diamètre de Champ de Mode (Mode Field Diameter (MFD))*

Le diamètre de champ de mode (MFD) d'une fibre optique est une mesure qui indique la taille du faisceau lumineux se propageant à travers la fibre, permettant d'évaluer sa qualité et son efficacité de transmission. En substance, le MFD correspond à la taille du faisceau lumineux là où l'intensité lumineuse est réduite à $1/e^2$ (environ 13,5 %) de son maximum, représentant ainsi la taille effective du faisceau dans la fibre.

Pour les fibres monomodes, le MFD se situe généralement entre 9 et 10 µm, étant conçues pour guider un seul mode de propagation, favorisant ainsi une transmission à longue distance avec une dispersion minimale. En revanche, pour les fibres multimodes, le MFD peut varier en fonction de l'ouverture numérique (ON) et de la longueur d'onde utilisée. Dans les cas où plusieurs modes peuvent être guidés par le cœur de la fibre, notamment lorsque la longueur d'onde est inférieure à celle de coupure de la fibre, le MFD peut fluctuer. Dans des fibres très multimodes où de nombreux modes sont présents, le MFD peut ne pas être un indicateur pertinent pour décrire le profil d'intensité lumineuse.

La valeur du MFD donnée par le fabricant Thorlabs en utilisant la loi de Marcuse.

$$MFD = 2a(0.65 + \frac{1.619}{V^{\frac{3}{2}}} + \frac{2.879}{V^6})$$

Avant de calculer le MFD, il faut d'abord trouver la valeur de la fréquence de normalisation (V) selon l'équation suivante :

$$V = \frac{2\pi\,.\,\mathrm{a}\,.\,\mathrm{ON}}{\lambda_0} = \frac{2\pi\,.\,\mathrm{a}}{\lambda_0}\sqrt{\mathrm{n}_1^2 - \mathrm{n}_2^2}$$

Avec :

a : le rayon du cœur de la fibre optique qui égal à la moitié du diamètre c'est-à-dire 9 µm divisée par 2, donc a= 4.5 µm.

ON : ouverture numérique qui égale à 0.14.

$\lambda_0$ : Longueur d'onde qui égale à 1550 nm.

### I.3.5 Limitation optique

La fibre optique comme tout autre support de transmission, est sujette à des phénomènes physiques qui entraînent la dégradation du signal optique pendant sa propagation. Ces phénomènes incluent :

- Atténuation du signal optique : Cela limite la distance de transmission du signal, car plus la distance parcourue est grande, plus le signal optique s'affaiblit. Cela peut nécessiter l'utilisation de dispositifs tels que des amplificateurs optiques pour compenser l'affaiblissement et étendre la portée du signal.

- Dispersion du signal optique : Cela limite la bande passante effective de la fibre optique, car la dispersion peut rendre difficile la distinction précise entre les différentes parties du signal. Pour compenser ces effets, des technologies comme la DCF (Dispersion-Compensating Fiber) et les FBG (Fiber Bragg Gratings) sont utilisées dans les systèmes de transmission optique à fibre.

### *I.3.5.1 Atténuation*

L'atténuation est le phénomène de diminution de la puissance lumineuse lorsqu'elle se propage à travers une fibre. Ce phénomène est couramment exprimé en décibels, une unité logarithmique standard utilisée pour quantifier les pertes ou gains, en comparant généralement les puissances d'entrée et de sortie d'une ligne de transmission [3]. L'atténuation s'exprime alors selon :

$$\mathrm{Att_{tot}(dB)} = 10\log\frac{P_{in}}{P_{out}}$$

Où : $$Att_{tot}(dB) = \mathrm{P_{in}(dBm)} - \mathrm{P_{out}(dBm)}$$

DBm : Unité logarithmique référencée à un milliwatt (mW)

La conversion de dBm en mW : $\mathrm{P(mW)} = 1(mW) \times 10^{\frac{P(dBm)}{10}}$

Lorsque l'on injecte une puissance lumineuse Pin dans une fibre, sa diminution progressive suit une loi exponentielle décrite par la relation suivante :

$$\mathrm{P(x)} = P_{in} * e^{-\alpha x} \quad \text{(Watt)}$$

Avec :

$\alpha$ : Atténuation linéique.

I.3.5.1.1 Origine de l'atténuation dans la fibre

*I.3.5.1.1.1 Causes intrinsèques :* dépendent de la nature physico chimique de la fibre optique

1. **L'absorption moléculaire :** Il s'agit de l'absorption d'énergie lumineuse par les molécules présentes dans la fibre.

Les pertes par absorption sont dues :

- Aux impuretés qui restent incluses dans la silice

- À l'absorption dans l'ultraviolet ($\lambda$ <0.4µm), négligeable pour $\lambda$>400nm
- À l'absorption infrarouge ($\lambda$ >2µm)
    - Pour $\lambda$ > 1450 nm : Pertes négligeables.
    - À 1550 nm : Environ 0,01 à 0,02 dB/km.
    - À 1800 nm : Environ 1 dB/km.
    - À 2160 nm : Environ 100 dB/km.

2. **Diffusion :** La diffusion est un phénomène tendant à réfléchir la lumière dans toutes les directions, y compris donc dans le sens opposé à la transmission. Les pertes par diffusion sont de plusieurs types distincts [2] :

a. **La diffusion de Rayleigh** : Elle est due à l'interaction de la lumière avec les variations locales de l'indice de réfraction du matériau constituant la fibre optique. Ces variations sont causées par des changements de densité ou de composition qui se produisent lors de la solidification du matériau.

b. **La diffusion due aux micro-courbures et aux micro-défauts de la fibre** : Ces pertes sont principalement dues aux imperfections des techniques de fabrication de la fibre optique. Elles sont causées par des irrégularités de l'interface entre le cœur et la gaine de la fibre, telles que la non-concentricité du cœur ou la présence de particules de silice mal vérifiées.

*I.3.5.1.1.2 Causes extrinsèques :* dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composants.

1. **Les pertes par macro-courbures** : Elles sont générées par des contraintes ou des positions imposées à la fibre, ce qui entraîne localement des rayons de courbure inférieurs à quelques centimètres. Dans les zones de macro-courbures, il y a un risque pour un rayon lumineux de ne plus satisfaire la condition de réflexion totale, ce qui se traduit par une perte de puissance par simple réfraction [8].
2. **Pertes dues aux raccordements** : Dans une liaison à fibre optique, les fibres sont généralement utilisées par tronçons de longueur finie qui sont raccordés les uns aux autres. Chaque raccordement entre deux tronçons peut entraîner une perte de puissance. Les pertes dues aux raccordements peuvent être causées par divers facteurs tels que le désalignement axial et angulaire entre les fibres, les polissages des férules, les différences de diamètres des cœurs des fibres, les différences d'ouvertures numériques

(ON), le désalignement longitudinal, les différents MFD, ainsi que les réflexions de Fresnel (qui se produisent lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre). [2]

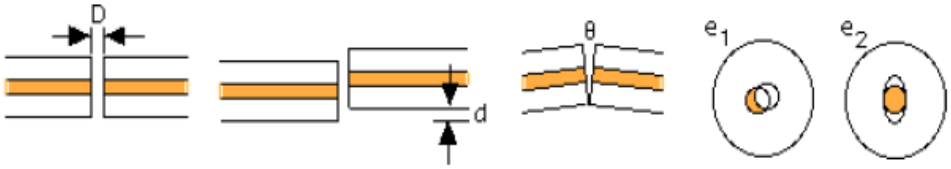



**Figure I-6: Les déférentes pertes de connecteur [2]**

I.3.5.1.2 Atténuation totale d'une liaison optique

L'Atténuation totale d'une liaison réelle tient compte de l'ensemble de pertes introduites par la silice, les raccordements, …etc.

$$Att_{tot}(dB) = \alpha_{lin}\ (dB/km) * L(Km) + \sum \alpha_{ép}(dB) + \sum \alpha_{con}(dB)$$

Avec :

$\alpha_{lin}$: Perte linéique de la fibre.

$\alpha_{ép}$: Perte épissure.

$\alpha_{con}$: Perte connecteur.

I.3.5.1.3 Atténuation linéique de liaison optique

S'exprime par unité de longueur : dB/Km

$$\mathrm{Att_{lin}\,(dB/km)} = \frac{\mathrm{Att_{tot}\,(dB)}}{L(km)}$$

$L$: Longueur de la fibre en Km

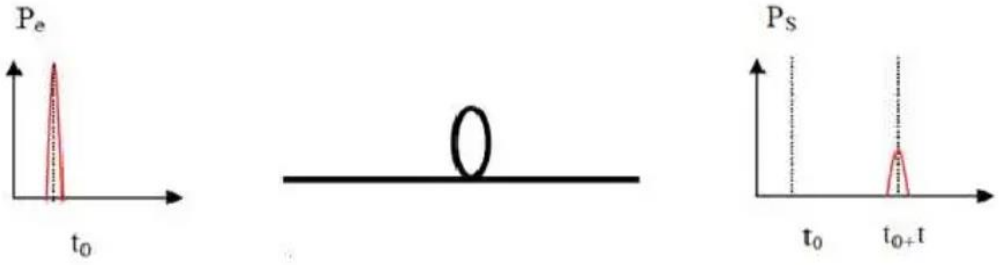



**Figure I-7 : Phénomène d'atténuation** [3]

### *I.3.5.2 Dispersion*

La dispersion est un phénomène qui se produit lors de la propagation d'une impulsion lumineuse le long d'une fibre optique, et qui entraîne son élargissement. Elle peut avoir un impact significatif sur la qualité du signal transmis sur de longues distances ou à des débits élevés. Il existe deux types principaux de dispersion :

I.3.5.2.1 La dispersion chromatique

La dispersion chromatique se réfère au fait que le temps nécessaire à un signal pour parcourir une unité de longueur (L) dépend de la longueur d'onde (λ). En d'autres termes, différentes longueurs d'onde ne se propagent pas exactement à la même vitesse. Cela introduit des distorsions dans le signal transmis à l'extrémité de la fibre. La dispersion chromatique est une combinaison de deux types de dispersion : la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde.

1. La dispersion du matériau est causée par la dépendance de l'indice de réfraction du matériau en fonction de la longueur d'onde. Par exemple, dans le cas de la silice, l'indice de réfraction diminue avec l'augmentation de la longueur d'onde.

La dispersion du matériau est définie par la relation :

$$D_m = -\frac{\lambda}{c}\frac{dn^2}{d\lambda^2}$$ On le donne généralement en [(Ps / nm.km)]

Avec :

λ : Longueur d'onde

n : indice de cœur

c : vitesse de la lumière

2. La dispersion du guide d'onde est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Elle est causée par le fait que la répartition de la lumière du mode fondamental sur le cœur de la fibre dépend de la longueur d'onde.

Le paramètre de dispersion du guide est défini par la relation :

$$D_g = -\frac{n_1}{c}\frac{\Delta}{\lambda}V\frac{d(Vb)^2}{dV^2}$$ On le donne généralement en [(Ps / nm.km)]

Avec $V\frac{d(Vb)^2}{dV^2} \approx 0.08 + 0.5439(2.834 - V^2)$ et $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

V : La fréquence spatiale normalisée

Δ: Différence relative d'indice.

La dispersion totale est la somme des dispersions dues au matériau et à la dispersion du guide d'onde. Elle s'exprime alors selon :

$$D_{ch} = \mathrm{D_m} + \mathrm{D_g}$$

I.3.5.2.2 La dispersion modale

La dispersion modale se produit dans les fibres optiques multimodes lorsque plusieurs modes de propagation se propagent le long de trajectoires distinctes.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartit entre ces différents modes qui se propagent à travers le cœur.

En raison des différences de chemin optique, chaque mode a une vitesse de propagation légèrement différente, ce qui entraîne des retards différents entre les rayons composant le signal lumineux. Lorsque le signal est converti en signal électrique à l'aide d'un convertisseur optique-électrique, ces retards provoquent une distorsion du signal électrique.

Les fibres à gradient d'indice sont utilisées pour minimiser la dispersion modale en évitant les trajets triangulaires et en réduisant le retard entre les différents modes. L'équation de dispersion modale s'écrit Comme suit :

1. Pour les fibres Multi modes à gradient d'indice :

$$D_m = \frac{\mathrm{nc}}{8\times \mathrm{c}} \times \Delta^2 \qquad (ps/km)$$

2. Pour les fibres Multi modes à saut d'indice :

$$D_m = \frac{nc}{c} \times \Delta \qquad (ps/km)$$

Avec :

Δ: Différence relative d'indice.

$nc$ : L'indice du cœur.

c : vitesse de la lumière

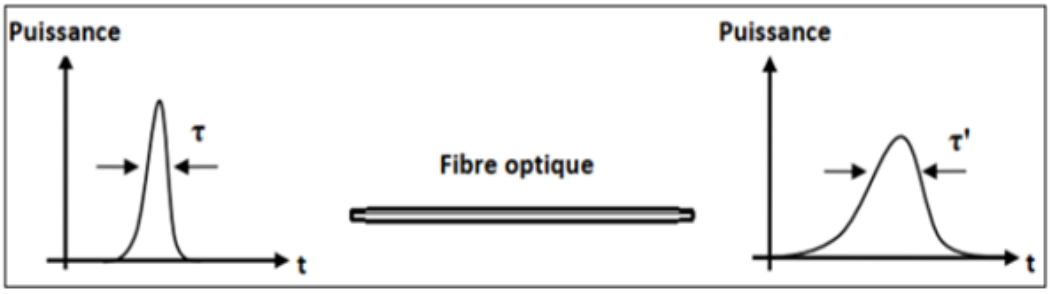



**Figure I-8 : le phénomène de dispersion [3]**

### I.3.6 Applications des fibres optiques

Les fibres optiques ont de nombreuses applications, notamment dans [3] :

- Les transmissions à haut débit (données, téléphonie, télévision).
- Les réseaux de télécommunications nationaux et internationaux.
- Les réseaux locaux en environnements bruyants.
- les applications vidéo.
- Les capteurs à fibre optique.
- Les applications médicales et l'Internet à haut débit.

## I.4 Raccordement des fibres optiques

Pour connecter plusieurs rouleaux de fibre optique sur de longues distances, il est crucial d'établir des liaisons ou connexions entre eux. Deux méthodes principales sont utilisées à cet effet [2] :

- Utilisation de connecteurs
- Réalisation d'épissures entre les fibres

### I.4.1 Connecteurs optiques

Un connecteur de fibre optique joue un rôle essentiel dans la connexion et la déconnexion régulières des câbles optiques, que ce soit entre eux ou entre un câble optique et un appareil. Généralement, un connecteur est constitué de deux fiches et d'un raccord, également appelé adaptateur.

Les connecteurs optiques les plus couramment utilisés dans les applications FTTH et les réseaux de communications sont connus par les acronymes SC, LC, FC et ST.

**Tableau I-1 : la différence entre les connecteurs optiques**

| | **Signification** | **Développé par** | **Utilisation** | **Utilisé pour les fibres** | **Caractéristique optique** | **Diamètre de la ferrule** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FC** | Ferrule connector (connecteur à ferrule) | Nippon Telephone & Telegraph | Utilisés dans des systèmes en mouvement dans des instruments de mesures (comme les OTDR) | Fibre monomode | Perte d'insertion de 0,3 dB en moyenne | 2,5 mm |
| **ST** | Straight Tip (traction droite) | Aux USA par AT&T | Utilisé dans les environnements professionnels comme les réseaux d'entreprises et les applications militaires | Fibre multimode | Atténuation moyenne de 0,3 dB | 2,5 mm |
| **LC** | Lucent Connector ou Little Connector | Lucent Technologies et mis à disposition en 1997 | Utilisé pour améliorer la densité des points de raccordement en façade et pour le FTTH | Fibre monomode | Atténuation moyenne de 0,1 dB | 1,25 mm |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **SC** | Connector de Suscribor (Connecteur d'abonné) ou de Square Connector (Connecteur carré) | Nippon Telegraph & Téléphone | Utilisé en FTTH, réseau télécom | Fibres monomode et multimode | Atténuation moyenne de 0,25dB. | 2,5 mm |

En ce qui concerne les termes PC/UPC/APC, ils décrivent le type de polissage appliqué à la terminaison optique (férule), ce qui permet le transfert de l'impulsion optique à travers les deux fibres optiques.

- PC (Contact physique) : La finition de la férule est soigneusement polie afin de créer une surface convexe. Cette pratique favorise un contact optimal entre les connecteurs à joindre, ce qui se traduit par des niveaux de perte de retour compris entre -30 et -40 dB.
- UPC (Ultra Physical Contact) : Présentant une configuration similaire aux férules PC, cette variante permet de réduire la perte de retour dans une plage allant de -40 à -55 dB grâce à une courbure plus prononcée de la surface convexe.
- APC (Angle Physical Contact) : La finition de la férule adopte une forme convexe polie et inclinée à 8 degrés, ce qui entraîne une amélioration significative du retour de perte, atteignant des niveaux de -60 dB. Cette caractéristique autorise l'usage de sources optiques plus puissantes et leur intégration dans des réseaux FTTH multi-abonnés. De plus, avec des coûts de production constamment en baisse, la terminaison APC est devenue la plus prédominante. [9]

### I.4.2 L'épissure

Cette procédure implique le raccordement direct des deux fibres par soudure, en alignant précisément les deux cœurs de fibre. Cela est réalisé à l'aide d'un équipement spécifique connu sous le nom de « soudeuse ou épisseuse ». [2]

## I.5 Principe d'une liaison optique

Une liaison optique comprend un émetteur optique modulé en direct ou en externe par le signal à transmettre, connecté à une fibre optique qui peut être composée de plusieurs segments reliés ensemble, éventuellement avec des répéteurs optoélectroniques ou des amplificateurs optiques selon le type de réseau. Des éléments tels que des coupleurs, des multiplexeurs ou d'autres fonctions optiques peuvent être présents. À l'extrémité de la liaison se trouve le récepteur. [2]

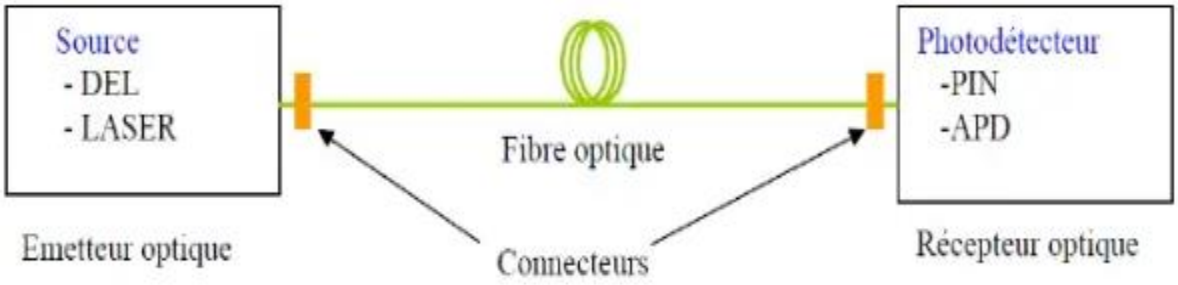



**Figure I-9 : schéma simplifié d'une liaison optique [3]**

## I.6 Émetteur

L'émetteur a pour rôle de convertir le signal d'entrée en signal optique et de l'injecter dans la fibre optique. Il peut être constitué d'une diode électroluminescente (DEL) ou d'une diode laser.

Les DEL sont des sources incohérentes utilisées pour les systèmes de transmission à bande passante limitée, tandis que les diodes laser sont des sources cohérentes privilégiées pour les transmissions à longue distance, grâce à leur faible largeur spectrale. Les lasers FP (Fabry-Pérot), DFB (distributed feedback) et VCSEL (vertical-cavity surface-emitting laser) sont les types de lasers les plus couramment utilisés.

## I.7 Récepteur

Le récepteur, généralement une photodiode, joue le rôle de convertir la puissance optique reçue en puissance électrique, permettant ainsi de récupérer le signal d'entrée à la sortie. Les types couramment utilisés de photodiodes sont la photodiode PIN et la photodiode avalanche (APD).

## I.8 Émetteur-récepteur SFP

SFP (Small Factor Form Pluggable), est un dispositif optoélectronique. Il convertit les signaux électriques (RZ, NRZ) en signaux optiques et vice versa. Ce SFP n'effectue pas de modulation externe, ce qui signifie qu'il n'utilise pas de laser comme porteuse indépendante. Il utilise une modulation directe (interne), ou le courant des impulsions module le laser dans la partie émettrice et une photodiode reconvertit la lumière en courant dans la partie réceptrice.

### I.8.1 Caractéristiques du SFP

Le module SFP est disponible en plusieurs types, classés selon différentes normes et classifications. Le choix d'un émetteur-récepteur SFP dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de transmission, la portée optique requise pour le réseau, la présence de la fonction DDM et le débit de transmission désiré.

#### *I.8.1.1 Débit*

Les modules SFP offrent des taux de transmission allant de 100 Mbps jusqu'à 4 Gbps ou plus.

#### *I.8.1.2 Distance et longueur d'onde de fonctionnement*

Il existe des modules SFP monomode et multi mode, adaptés en fonction du type de câble utilisé, ce qui permet aux utilisateurs de choisir le module approprié en fonction de la distance à couvrir.

- Les modules SFP monomode fonctionnent principalement avec des longueurs d'onde de 1310 nm et 1550 nm, et peuvent atteindre des distances allant de 2 à 120 km.
- Les modules SFP multi mode fonctionnent avec des longueurs d'onde de 850 nm et 1300 nm, et permettent des distances de transmission allant jusqu'à 500 m.

Types de modules SFP courants :

- SR (Short Range) : fonctionne à 850 nm, pour des distances maximales de 300 m.
- LR (Long Range) : fonctionne à 1310 nm, pour des distances allant jusqu'à 10 km.
- LRM (Long Range Multimode) : fonctionne à 850 nm et 1310 nm, pour des distances de transmission jusqu'à 0,22 km.
- ER (Extended Range) : fonctionne à 1550 nm, pour des distances allant jusqu'à 40 km.
- ZR (ZRange) : fonctionne à 1550 nm, pour des distances allant jusqu'à 80 km.

#### *I.8.1.3 Type de transmission (Simplex / Duplex)*

Les modules SFP traditionnels utilisent deux fibres optiques, une pour l'émission et une pour la réception des données. Cependant, la technologie Bidirectionnelle permet de transmettre et de recevoir des données via une seule fibre optique, simplifiant ainsi le système de câblage, augmentant la capacité du réseau et réduisant les coûts. Les paires de longueurs d'onde Bidirectionnelle les plus couramment utilisées sont 1310 nm/1550 nm, 1310 nm/1490 nm et 1510 nm/1590 nm. Il est important d'utiliser des modules SFP duplex de même longueur d'onde des deux côtés de la connexion. [10]

#### *I.8.1.4 DDM (Digital Diagnostic Monitoring)*

Il s'agit d'une technologie intégrée aux modules optiques SFP, permettant aux utilisateurs de surveiller en temps réel divers paramètres tels que la puissance de sortie optique, la puissance d'entrée optique, la température, le courant de polarisation du laser et la tension d'alimentation de l'émetteur-récepteur. L'interface DDM offre également la possibilité d'isoler et de prédire les défauts éventuels. [11]

### I.8.2 Les composants internes du SFP

Les émetteurs-récepteurs optiques sont des composants essentiels des systèmes de communication optique. Les trois principaux sous-ensembles optiques à l'intérieur des émetteurs-récepteurs sont les suivants [4]:

#### *I.8.2.1 Sous-ensemble optique d'émetteur (TOSA)*

Le TOSA est responsable de la conversion du signal électrique en signal optique. Il comprend une diode laser qui émet la lumière optique, une interface optique pour coupler la lumière dans la fibre optique, une photodiode de contrôle pour surveiller la puissance optique et une interface électrique pour la connexion à l'équipement de communication.

#### *I.8.2.2 Sous-ensemble optique de récepteur (ROSA)*

Le ROSA est chargé de recevoir le signal optique provenant de l'extrémité opposée de la liaison et de le convertir en signal électrique. Il comprend une photodiode qui convertit la lumière optique en signal électrique, un boîtier pour protéger les composants optiques et une interface électrique pour la connexion à l'équipement de communication. Certains ROSA peuvent également inclure un amplificateur TIA (Trans Impedance Amplifier) pour améliorer la sensibilité de réception du signal optique.

### *I.8.2.3 Sous-ensemble optique bidirectionnel (BOSA)*

Le BOSA est utilisé dans les émetteurs-récepteurs bidirectionnels. Il combine les fonctions du TOSA et du ROSA, ainsi qu'un filtre WDM (Wavelength Division Multiplexing). Le filtre WDM permet de séparer les longueurs d'onde en deux canaux distincts, permettant ainsi la transmission et la réception sur un seul brin de fibre optique.

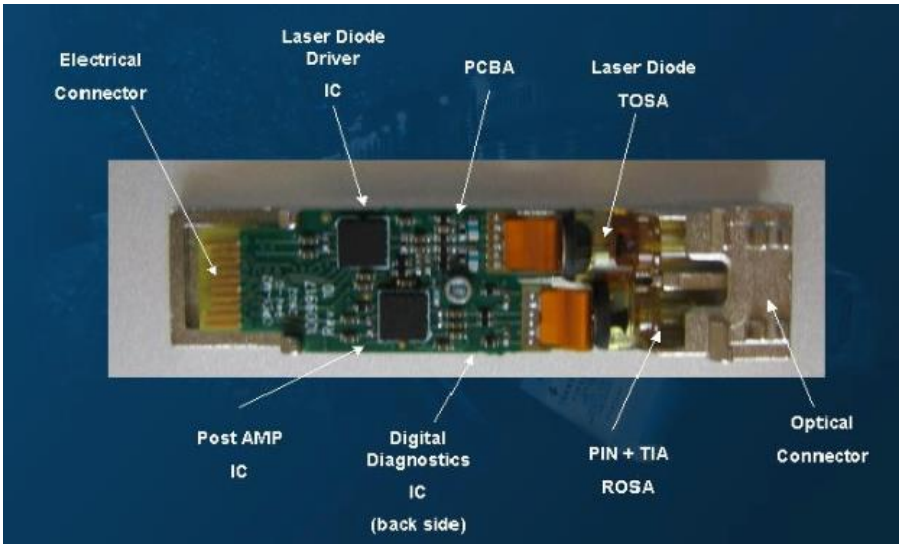



**Figure I-10 : la structure interne du SFP [4]**

## I.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les caractéristiques d'une liaison optique, explorant ses diverses structures et applications. Nous avons également fourni un rappel sur les différents types de sources lumineuses, de fibres optiques, de connecteurs optiques et de photodétecteurs, ainsi que les caractéristiques et composants internes principaux du SFP.

# Chapitre II : Présentation des technologies de transmission optique

# chapitre II Présentation des technologies de transmission optique

## II.1 Introduction

La croissance exponentielle du trafic Internet, alimentée par les services multimédias et les interconnexions des réseaux locaux et étendus, a engendré une transformation technologique majeure des réseaux de transport. Cette transformation vise à répondre à la demande croissante en bande passante en augmentant la capacité des réseaux terrestres en fibre optique, permettant ainsi des débits de plusieurs gigabits sur une seule fibre. Dans cet environnement dynamique des télécommunications, la transmission efficace et fiable des données demeure un élément essentiel. Les avancées technologiques ont donné naissance à une diversité de technologies de transmission telles que les réseaux PON, Ethernet, ATM, PDH, SDH et OTN, chacune offrant des caractéristiques spécifiques, des avantages et des applications uniques.

Ce chapitre explore en profondeur ces technologies, mettant en lumière leurs principes de fonctionnement, leur évolution historique, leurs cas d'utilisation prédominants et leurs implications dans les réseaux modernes.

## II.2 Les Réseaux optiques

### II.2.1 Structure des réseaux

Un réseau est un ensemble d'appareils connectés entre eux via des moyens physiques tels que des câbles ou des fibres optiques, ou via des ondes hertziennes, dans le but d'échanger des données conformément à des protocoles définis. Si la connexion est physique, le réseau est qualifié de fixe, tandis que s'il est établi via des ondes hertziennes, on parle de réseau sans fil. Les réseaux se distinguent les uns des autres en fonction du nombre d'éléments qui les composent, de leur disposition géographique et des protocoles qu'ils utilisent [2].

En général, on distingue trois types de réseaux fixes : le réseau local (LAN), le réseau métropolitain (MAN) et le réseau longue distance (WAN). Voici un résumé des caractéristiques de ces trois types de réseaux fixes dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-1 : Types des réseaux optiques [2]**

| | Réseau LAN | Réseau MAN | Réseau WAN |
|---|---|---|---|
| Nombre d'éléments | Un ensemble d'équipements, appartenant à une même société. | Interconnecté plusieurs LANs. | Interconnecté plusieurs LANs ou MANs. |
| Dispersion géographique | Les machines sont situées sur un pré mètre géographiquement restrient. | Réseaux LANs géographiquement proches. | Très grandes distances. |
| Protocoles utilisés | Ethernet, Token Ring, FDDI, etc. | FDDI, ATM, SDH, etc. | SDH, SONET, WDM, etc. |

## II.2.2 Les types des réseaux

### *II.2.2.1 Les réseaux longue distance*

- Ils couvrent des distances allant jusqu'à 1000 km.
- La transmission se fait généralement sur fibre optique, avec une longueur d'onde de 1.55 µm et des débits de 2.5, 10 voire 40 Gbit/s.
- L'utilisation d'amplificateurs et de régénérateurs permet d'augmenter la portée de transmission. [5]

### *II.2.2.2 Les réseaux métropolitains*

- Aussi appelés réseaux intermédiaires, ils se composent d'anneaux d'une circonférence de 80 à 150 km et comportent généralement 6 à 8 nœuds.
- Ces réseaux doivent supporter une variété de formats, de protocoles et de débits de transmission.
- Ils sont souvent équipés de cartes transpondeuses multi-débit, offrant des débits allant de 100 Mbit/s jusqu'à 10 Gbit/s. [5]

### *II.2.2.3 Les réseaux locaux*

- Situés entre les réseaux métropolitains et les terminaux des abonnés, ils couvrent des distances de 2 à 50 km.

- Typiquement, les réseaux locaux optiques combinent une partie en fibre optique avec une partie en conducteur métallique qui s'étend jusqu'au terminal de l'abonné.
- Différentes configurations, regroupées sous le terme FTTx, sont définies pour connecter les utilisateurs à la fibre optique. [5]

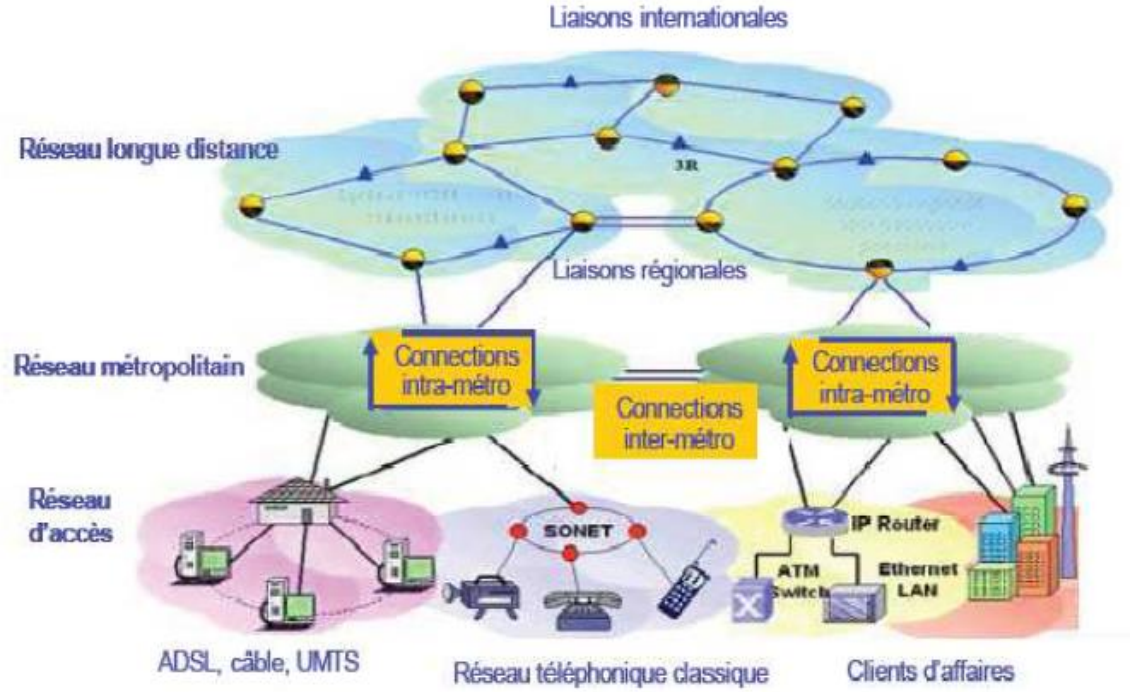



**Figure II-1 :** Architecture typique d'un réseau de télécommunication **[5]**

## II.3 Les réseaux optiques passifs (PON)

Un réseau optique passif (PON) est un système de communication à base de fibres optiques qui utilise une configuration point à multipoint et des coupleurs optiques pour acheminer des données d'un point d'émission unique vers plusieurs utilisateurs. Dans ce contexte, le terme "passif" signifie que la fibre et les composants de couplage/combinaison ne nécessitent pas d'alimentation électrique.

Contrairement aux réseaux optiques actifs, les réseaux PON n'ont besoin d'alimentation électrique qu'au niveau des points d'émission et de réception. Cette caractéristique rend les réseaux PON très efficaces en termes de coûts opérationnels. Ils permettent la transmission simultanée de signaux montants et descendants entre les points d'émission et de réception et les terminaisons utilisateurs.[5]

### II.3.1 L'architecture d'un réseau PON

L'architecture PON facilite le partage d'une fibre optique sur une longue étendue du réseau, puis sa division en plusieurs fibres sur des distances plus courtes pour desservir divers abonnés. Dans la réalité, les équipements actifs au niveau du NRO (OLT - Terminal de Ligne Optique) sont équipés de ports PON qui émettent/reçoivent des flux vers/de plusieurs terminaux d'abonnés (ou ONT - Terminal de Réseau Optique) via une seule fibre optique. Des coupleurs optiques (dispositifs passifs compacts logés dans des boîtiers d'épissurage) installés le long du trajet permettent de séparer le signal en aval et de le regrouper en amont.[6]

La figure II-2 présente l'architecture d'un réseau PON, qui est similaire à celle d'un réseau point à multipoint

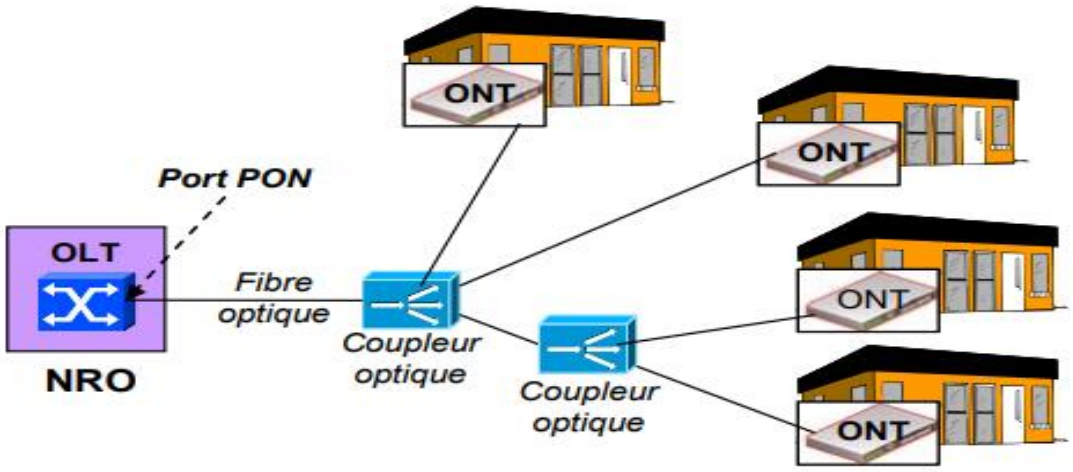



**Figure II-2 : Schéma un réseau PON [12]**

Les architectures PON peuvent être configurées de différentes manières, telles que l'option en étoile (où chaque port PON de l'OLT est relié à un coupleur desservant plusieurs ONT), en arborescence (en utilisant des cascades de coupleurs permettant à un coupleur de desservir plusieurs sous-branches) et/ou en bus (avec une sérialisation des coupleurs). Habituellement, l'architecture en arborescence est préférée, avec souvent deux niveaux de coupleurs optiques. Par exemple, un coupleur peut être positionné au niveau du NRO ou d'un sous-répartiteur optique, tandis qu'un deuxième coupleur peut être installé aussi près que possible des abonnés (par exemple, dans l'immeuble desservi).[6]

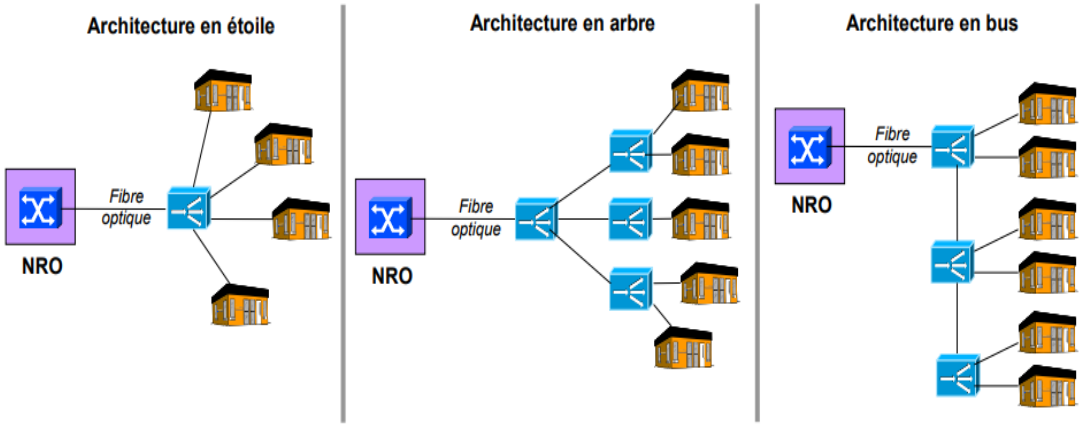



**Figure II-3 : différents architecture utilisé en PON [12]**

### II.3.2 Les différents standards d'un réseau PON

Les standards qui définissent les différentes normes d'un réseau PON sont généralement classés comme suit :

#### *II.3.2.1 La norme A-PON (ATM-PON)*

La spécification A-PON (ATM-PON) intègre les principes des réseaux PON avec le protocole ATM. Elle offre un débit de 155/622 Mbit/s (en direction descendante) et de 155 Mbit/s (en direction montante) pour jusqu'à 32 abonnés. Toutefois, cette solution se révèle complexe et coûteuse. De plus, elle ne prend pas en charge la diffusion de services vidéo. Le débit est limité et la synchronisation des horloges peut présenter des défis.

#### *II.3.2.2 La norme B-PON (Broadband PON)*

La norme B-PON (Broadband PON), une évolution de la norme APON, représente une technologie modifiée pour permettre la diffusion de contenu vidéo. Elle intègre le WDM et offre une allocation dynamique de la bande passante. Cette technologie permet la transmission simultanée de la voix et des données sur une même fibre, en réservant des fréquences pour la télévision numérique et analogique (overlay wavelength). Les débits possibles avec le BPON peuvent atteindre 1 Gbit/s en sens descendant et 622 Mbit/s en sens montant, cependant, il est plus courant d'utiliser des débits de 622 Mbit/s en descente et 155 Mbit/s en montée.

#### *II.3.2.3 La norme E-PON (Ethernet PON)*

La norme E-PON (Ethernet PON) utilise une méthode de transmission basée sur des paquets Ethernet. Contrairement à l'APON, cette technologie permet l'envoi de paquets de longueur variable pouvant atteindre 1 518 octets, tandis que l'APON exige l'utilisation de paquets ATM de 48 octets (avec 5 octets de contrôle supplémentaires). Conformément au

protocole Ethernet, chaque paquet descendant est adressé à une unité d'abonné spécifique, mais est diffusé à toutes les unités d'abonnés. Seule l'unité d'abonné destinataire le traite, tandis que les autres l'ignorent. Le débit maximal est de 1,25 Gbit/s symétrique, et chaque sens de transmission utilise une longueur d'onde distincte, avec une capacité de desserte pouvant aller jusqu'à 32 abonnés par équipement terminal optique (OLT).

#### *II.3.2.4 La norme G-PON (Gigabit PON)*

La norme G-PON (Gigabit PON) utilise le multiplexage temporel comme méthode principale de transmission. Elle utilise une longueur d'onde distincte pour le sens montant et le sens descendant. Comparé au BPON, le GPON se distingue par sa capacité à transporter des paquets et des trames Ethernet de longueurs variables. En termes de débit, le GPON offre une plage allant de 1,2 à 2,4 Gbit/s (avec un débit asymétrique). De plus, il autorise des distances de déploiement plus étendues, pouvant aller jusqu'à 60 km, avec une limite de 20 km entre les ONT. Enfin, le GPON permet la connexion de jusqu'à 64 lignes sortantes à partir d'un coupleur optique (splitter). [12]

### II.3.3 Avantages et inconvénients d'un réseau PON

#### *II.3.3.1 Avantages*

- Coût réduit : L'utilisation d'une architecture point à multipoint permet de réduire les coûts d'infrastructure en partageant un seul câble à fibre optique entre plusieurs utilisateurs finaux.
- Économie d'énergie : Les réseaux PON nécessitent moins d'équipements électriques, ce qui entraîne une consommation d'énergie réduite par rapport à d'autres architectures réseau
- Débit élevé : Les réseaux PON peuvent fournir des débits élevés allant jusqu'à plusieurs gigabits par seconde, assurant une transmission rapide des données.
- Fiabilité : Conçus pour minimiser les points de défaillance, les réseaux PON sont généralement plus fiables que d'autres architectures réseau.
- Évolutivité : Les réseaux PON sont évolutifs, permettant une mise à niveau aisée pour prendre en charge plus d'utilisateurs ou des débits plus élevés.[7]

#### *II.3.3.2 Inconvénients*

- Latence : Les réseaux PON peuvent présenter une latence plus élevée que d'autres architectures, ce qui peut être problématique pour certaines applications sensibles à la latence comme les jeux en ligne ou les appels vidéo en temps réel.

- Limitation de la distance : La portée des réseaux PON est limitée, ce qui signifie que la distance entre l'OLT et l'utilisateur final doit rester relativement courte.
- Dépendance à l'alimentation électrique : Bien que les répartiteurs PON soient passifs, les réseaux PON nécessitent toujours une alimentation électrique à la source et à la destination pour fonctionner.
- Complexité de l'installation : La mise en place d'un réseau PON peut être plus complexe que d'autres architectures en raison de la nécessité de diviser et de combiner les signaux optiques. [8]

## II.4 Réseaux locaux Ethernet

Ethernet est une technologie de réseau utilisée pour connecter des logiciels et des composants matériels dans les réseaux câblés. Elle facilite l'échange de données entre différents appareils tels que des ordinateurs, des imprimantes et des serveurs. Les appareils dans un réseau Ethernet utilisent le protocole IEEE 802.3 pour établir des connexions et transférer des paquets de données. Ethernet a été développé chez Xerox dans les années 1970 et a été standardisé dans les années 1980, ce qui a entraîné son adoption généralisée par différents fabricants. Cette technologie a joué un rôle important dans la révolution de l'informatique professionnelle. Aujourd'hui, la norme IEEE 802.3 est largement utilisée dans divers environnements tels que les bureaux, les foyers, les conteneurs et les transports. Les vitesses de transmission Ethernet ont considérablement augmenté au fil du temps, passant de 3 mégabits par seconde à des débits allant jusqu'à 1 000 mégabits par seconde grâce aux protocoles actuels. Les réseaux Ethernet étaient à l'origine limités à un seul bâtiment, mais l'utilisation de la fibre optique permet maintenant de couvrir des distances allant jusqu'à 10 kilomètres. Ethernet est devenu la norme dominante pour les réseaux locaux (LAN), surpassant de nombreux concurrents, et il est largement utilisé dans l'industrie pour les applications de communication en temps réel.

### II.4.1 Les avantages et les inconvénients d'Ethernet

#### *II.4.1.1 Avantages*

- Il offre une compatibilité facile avec tous les réseaux locaux (LAN).
- Les coûts associés à Ethernet sont relativement bas.
- Il présente une résistance générale au bruit.
- La vitesse et la qualité de transfert des données via Ethernet sont excellentes.
- Il offre des possibilités d'accréditation et de sécurité des données grâce à l'utilisation de pare-feux courants.

#### *II.4.1.2 Inconvénients*

- Ethernet est plus adapté aux réseaux de taille réduite et aux distances plus courtes.
- Il limite la mobilité des utilisateurs.
- L'utilisation de câbles plus longs peut entraîner des interférences électromagnétiques.
- Les performances d'Ethernet sont moins optimales pour les applications en temps réel ou interactives.
- Les vitesses de transmission diminuent à mesure que le nombre d'appareils connectés augmente.
- Les récepteurs ne signalent pas la réception des paquets de données, ce qui complique le processus de dépannage lorsqu'il faut localiser un câble ou un nœud spécifique à l'origine du problème.[9]

### II.4.2 Structure d'une trame Ethernet

Une trame Ethernet est composée de plusieurs parties et est utilisée pour transporter des données entre les périphériques connectés à un réseau Ethernet.

- **Préambule et délimiteur de début de trame** : Une trame Ethernet commence par un préambule de sept octets suivis d'un délimiteur de début de trame. Le préambule permet aux récepteurs de synchroniser leur horloge avec l'émetteur, tandis que le délimiteur de début de trame marque le début de la trame réelle.
- **Adresse MAC de destination :** La trame Ethernet contient l'adresse MAC de destination en tant que premier champ de l'en-tête Ethernet.
- **Adresse MAC source** : L'en-tête Ethernet contient également l'adresse MAC source, qui indique l'origine de la trame.
- **Type d'Ether** : Le champ EtherType est utilisé pour indiquer la taille de la charge utile en octets ou pour indiquer le protocole encapsulé dans la trame.
- **Tag VLAN (optionnel)** : Si présent, un tag VLAN est un champ de quatre octets qui indique l'appartenance à un réseau local virtuel (VLAN) et la priorité.
- **Charge utile** : La charge utile est le champ variable de la trame qui contient les données réelles à transmettre.
- **Séquence de contrôle de trame (FCS)** : La FCS est une séquence de quatre octets utilisés pour détecter toute corruption des données pendant la transmission de la trame.

**Figure II-4 : la trame Ethernet [17]**

### II.4.3 Norme Ethernet

**Tableau II-2 :Principales versions d'Ethernet [13]**

| Norme Ethernet | Description | Vitesse | Câblage | Année de publication |
|---|---|---|---|---|
| 802.3 | 10Base5 | 10 Mbit/s | Câble coaxial | 1983 |
| 802.3a | 10Base2 | 10 Mbit/s | Câble coaxial | 1988 |
| 802.3i | 10Base-T | 10 Mbit/s | Paire torsadée | 1990 |
| 802.3j | 10Base-FL | 10 Mbit/s | Fibre optique | 1992 |
| 802.3u | 100Base-TX<br>100Base-FX<br>100Base-SX | 100 Mbit/s | Paire torsadée, Fibre optique | 1995 |
| 802.3z | 1000Base-SX<br>1000Base-LX | 1 Gbit/s | Fibre optique | 1998 |
| 802.3ab | 1000Base-T | 1 Gbit/s | Paire torsadée | 1999 |
| 802.3ae | 10GBase-SR<br>10GBase-SW<br>10GBase-LR<br>10GBase-LW<br>10GBase-ER<br>10GBase-EW<br>10GBase-LX4 | 10 Gbit/s | Fibre optique | 2002 |
| 802.an | 10GBase-T | 10 Gbit/s | Paire torsadée | 2006 |

### II.4.4 Le Fast Ethernet

Le Fast Ethernet est une évolution de la technologie Ethernet, introduite sur le marché en 1995. Il a considérablement augmenté la vitesse de transmission des données de 10 Mbps à 100 Mbps grâce à l'utilisation de paires torsadées et quatre cœurs de ligne pour les transmissions et les réceptions. En plus de cette amélioration de vitesse, le Fast Ethernet prend en charge la transmission en duplex intégral, permettant ainsi l'envoi et la réception simultanés de données. Cela renforce les capacités de transfert de données d'Ethernet et facilite les échanges d'informations. Initialement connu sous le nom de 802u, le Fast Ethernet repose entièrement sur la norme Ethernet 10-Base-T et en est le successeur. Sa popularité est attribuée à sa facilité d'implémentation, de gestion et de maintenance. De plus, il est rétro compatible, ce qui signifie qu'il peut fonctionner avec des équipements Ethernet existants. Le Fast Ethernet offre une vitesse de transmission de données de 100 Mbps, soit dix fois plus rapide que son prédécesseur. Il existe trois variantes de Fast Ethernet : le 100Base-T4, le 100Base-Tx et le 100Base-Fx.[10]

Il existe trois variantes principales du Fast Ethernet :

- 100Base-T4 : Cette variante utilise quatre paires de fils torsadés pour la transmission des données et peut prendre en charge des distances allant jusqu'à 100 mètres. Cependant, cette variante est désormais obsolète.
- 100Base-Tx : Cette variante utilise deux paires de fils torsadés pour la transmission des données et prend également en charge des distances allant jusqu'à 100 mètres. C'est la variante la plus couramment utilisée dans les réseaux locaux. Elle offre une vitesse de transmission de 100 Mbit/s.
- 100Base-Fx : Cette variante utilise des câbles à fibre optique pour la transmission des données, ce qui permet des distances de transmission plus longues, atteignant plusieurs kilomètres. Elle offre également une vitesse de transmission de 100 Mbit/s.[11]

### II.4.5 Le Gigabit Ethernet

Le Gigabit Ethernet, comme son nom l'indique, offre des vitesses de transmission plus élevées, atteignant jusqu'à 1 Gbps ou 1000 Mbps, soit jusqu'à dix fois plus rapide que le Fast Ethernet. Introduit sur le marché en 1999, le Gigabit Ethernet a gagné en popularité avec l'essor d'Internet. Il utilise le format de trame 803.2 et prend en charge les modes half-duplex et full-duplex. Pour la transmission des données, il utilise quatre paires torsadées, permettant ainsi une communication bidirectionnelle sur chaque paire.

Le Gigabit Ethernet a été développé dans le but de fournir des taux de transmission plus élevés tout en étant compatible avec l'équipement réseau existant. Il offre aux utilisateurs un réseau plus avancé et plus rapide par rapport au Fast Ethernet traditionnel. Il est également compatible avec la plupart des systèmes d'exploitation et des périphériques prenant en charge Internet.

Le Gigabit Ethernet permet des transferts de données plus rapides, améliorant ainsi la vitesse de transmission et offrant aux utilisateurs la possibilité de profiter du streaming à des débits de bande passante élevés sans nécessiter de périphériques externes supplémentaires.

L'introduction du Gigabit Ethernet s'est accompagnée du support de la norme IEEE 802.3-2008. Aujourd'hui, différentes normes physiques sont utilisées, telles que le câble à paire torsadée 1000BASE-T, la fibre optique 1000BASE-X et le câble en cuivre blindé 1000BASE-CX. Ces normes utilisent le système d'encodage 8b/10b, augmentant ainsi le débit effectif de 25%, passant de 1000 Mbit/s à 1250 Mbit/s.[12]

En plus des normes physiques précédemment mentionnées (1000BASE-T, 1000BASE-X et 1000BASE-CX), le Gigabit Ethernet utilise d'autres normes pour la transmission de données à des vitesses de 1 Gbps. Voici quelques exemples de ces normes supplémentaires :

- La norme 1000BASE-SX utilise des fibres optiques multimode pour des transmissions sur de courtes distances, généralement jusqu'à plusieurs centaines de mètres. Elle utilise des longueurs d'onde spécifiques pour la transmission des données.
- La norme 1000BASE-LX utilise des fibres optiques monomode pour des transmissions sur de plus longues distances, allant jusqu'à plusieurs kilomètres. Elle aussi utilise des longueurs d'onde spécifiques pour la transmission des données.
- La norme 1000BASE-LH est similaire à la norme 1000BASE-LX, mais elle permet des distances de transmission encore plus étendues, allant jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres.
- La norme 1000BASE-ZX est une extension de la norme 1000BASE-LH et permet des distances encore plus grandes, pouvant atteindre jusqu'à 100 kilomètres.[9]

### II.4.6 Différences entre Fast Ethernet et Gigabit Ethernet

Il y a plusieurs différences importantes entre Fast Ethernet et Gigabit Ethernet.

- Fast Ethernet offre un débit de données allant jusqu'à 100 Mbps, tandis que Gigabit Ethernet peut atteindre une vitesse allant jusqu'à 1 Gbps.

- En termes de performances, Gigabit Ethernet présente un avantage majeur : il réduit considérablement les délais par rapport à Fast Ethernet. Cela signifie que les transferts de données sont plus rapides et plus efficaces avec Gigabit Ethernet.
- La configuration de Fast Ethernet est plus simple que celle de Gigabit Ethernet. Cela signifie qu'il est généralement plus facile et plus rapide de mettre en place un réseau utilisant Fast Ethernet.
- En ce qui concerne la distance couverte, Fast Ethernet peut s'étendre sur une distance de plus de 10 km. En revanche, Gigabit Ethernet offre une portée plus étendue, pouvant atteindre jusqu'à 70 km.
- En termes de temps de propagation aller-retour. Avec Fast Ethernet, ce temps varie de 100 à 500 bits, tandis qu'avec Gigabit Ethernet, il est de l'ordre de 4000 bits.[13]

## II.5 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

Le futur Réseau Numérique à Intégration de Services Large Bande (RNIS-LB ou BISDN en anglais pour Broadband Integrated Services Digital Network) va être capable de prendre en charge une vaste gamme de services incluant l'audio, la vidéo et le transfert de données. Pour ce réseau, le Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique (CCITT, aujourd'hui UIT-T) a choisi le mode de transfert asynchrone (ATM). Né au début des années 80, l'ATM est un mode de transfert très flexible qui ne fixe pas un débit constant pour les informations.

Les principaux objectifs de l'ATM sont de s'adapter aux débits les plus élevés rendus possibles par la technologie et de servir de support à des applications pouvant avoir des contraintes temporelles strictes. Il peut traiter tous les types de données, qu'ils soient isochrones (comme le son et l'image) ou asynchrones (comme les données). L'ATM offre une large gamme de débits aux utilisateurs, allant de quelques kilobits par seconde à plusieurs centaines de mégabits par seconde (155 et 622 Mbit/s, voire 2,5 Gbit/s dans le futur pour les débits normalisés). [14]

### II.5.1 Les principes fondamentaux d'ATM

Le réseau ATM a choisi le mode paquet comme protocole de transfert en raison de sa capacité à résoudre les problèmes liés à l'incertitude et à la variété des débits demandés par les utilisateurs. Contrairement au multiplexage temporel synchrone et à la commutation de circuits, le mode paquet utilise des techniques de multiplexage asynchrone par répartition de temps.

Dans ce mode, l'information est découpée en paquets appelés "cellules" qui ont une structure fixe et courte de 53 octets (48 octets de données et 5 octets d'en-tête). Cette taille fixe permet d'améliorer la capacité de traitement des nœuds de commutation en permettant un traitement parallèle des cellules et réduit le temps nécessaire à la mise en paquet.

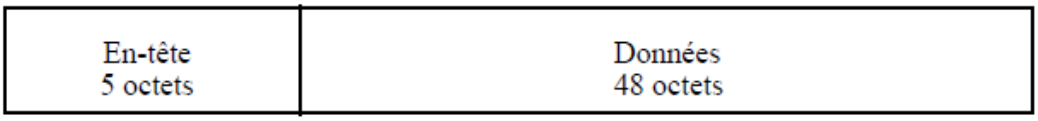



**Figure II-5 : le format de la cellule ATM [14]**

La cellule ATM a un format spécifique et son en-tête contient un identificateur de voie logique, qui est composé d'un chemin virtuel et d'une voie virtuelle. Cela permet d'acheminer individuellement chaque cellule sur sa voie logique spécifique. Cela implique que la communication ATM est à la base en mode connecté. Il est donc possible de multiplexer différents flux d'informations sur un même support. [14]

### II.5.2 Le réseau ATM

Le réseau ATM est composé d'un ensemble de commutateurs interconnectés, formant un maillage physique quelconque, et reliés entre eux par des liens série unidirectionnels.

Étant donné que ATM est un protocole en mode connecté, chaque cellule ATM contient un identificateur de connexion dans son en-tête, ce qui permet d'acheminer les informations à travers le réseau. Cet identificateur de connexion associe explicitement une cellule à une voie virtuelle sur un lien physique. Il est composé de deux parties : le VPI (Virtual Path Identifier) et le VCI (Virtual Channel Identifier). Ces deux informations sont utilisées pour multiplexer, démultiplexeur et acheminer la cellule à travers le réseau. Cependant, il est important de noter que le VPI et le VCI ne sont pas des adresses, mais plutôt des étiquettes attribuées à une connexion spécifique sur chaque segment entre deux nœuds du réseau lors de l'établissement de la connexion. Les VP (Virtual Paths) sont utilisés pour regrouper les VC (Virtual Channel). Bien que les cellules ATM soient commutées tout au long de leur trajet dans le réseau, l'ordre des cellules sur un chemin virtuel donné n'est pas modifié entre la source et la destination. [14]

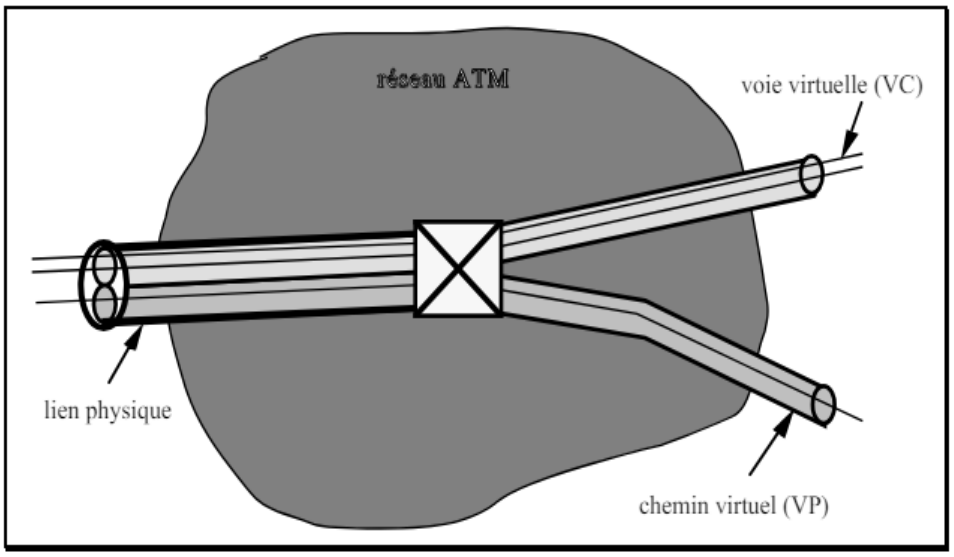



**Figure II-6 :le principe des voies virtuelles [14]**

### II.5.3 Le modèle de référence du protocole ATM

Le modèle de référence du protocole ATM est basé sur les principes de communication en couches de la Recommandation X.200 du CCITT (Modèle de référence pour l'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) pour les applications). Ce modèle de référence se compose de trois plans : le plan usager, le plan contrôle et le plan de gestion [14].

#### *II.5.3.1 Plan usager*

Le plan usager est constitué de couches qui assurent le transfert du flux d'informations de l'utilisateur.

#### *II.5.3.2 Plan Contrôle*

Ce plan est responsable des fonctions de signalisation nécessaires pour établir, superviser et libérer les connexions et les communications. Il est également structuré en couches.

#### *II.5.3.3 Plan de Gestion*

Le plan de gestion exécute deux types de fonctions. D'une part, il assure la coordination entre tous les plans du réseau ATM. D'autre part, il gère les opérations de maintenance et d'exploitation spécifiques à chaque couche du modèle de référence.

Le modèle de référence du protocole ATM comprend trois couches principales :

### *II.5.3.4 Couche Physique*

La couche physique gère l'émission et la réception des cellules ATM. Elle se compose de deux sous-couches :

- La sous-couche de support physique (PM) qui gère la transmission des bits sur le réseau en fonction du médium utilisé
- La sous-couche de convergence de transmission (TC) qui transforme le flux de bits en cellules valides utilisées par la couche ATM. Cette sous-couche gère des fonctions telles que la génération de cellules, la récupération des données, la délimitation des cellules, la vérification du code d'erreur, et la gestion du débit des cellules (insertion de cellules vides lorsque c'est nécessaire).

La couche physique accepte de nombreux systèmes de transmission tels que la hiérarchie digitale synchrone (SDH), SONET ou le transfert basé sur des cellules.

### *II.5.3.5 Couche ATM*

La couche ATM est indépendante du support physique utilisé et se concentre sur les fonctions liées au traitement des en-têtes des cellules ATM. Elle assure le multiplexage et le démultiplexage des cellules pour différentes connexions, le contrôle des paramètres de l'en-tête, l'aiguillage des cellules dans les commutateurs en fonction des indicateurs de connexion VPI et VCI, ainsi que le mécanisme de contrôle de flux au niveau de l'interface utilisateur-réseau.

### *II.5.3.6 Couche d'Adaptation à ATM (AAL)*

La couche d'Adaptation à ATM (AAL) est responsable de garantir la qualité de service requise pour les informations transportées. Elle se divise en deux sous-couches : la sous-couche de segmentation et réassemblage (SAR) qui se charge de découper les unités de données en cellules ATM lors de l'envoi et de les reconstituer lors de la réception, et la sous-couche de convergence (CS) qui dépend du service requis.

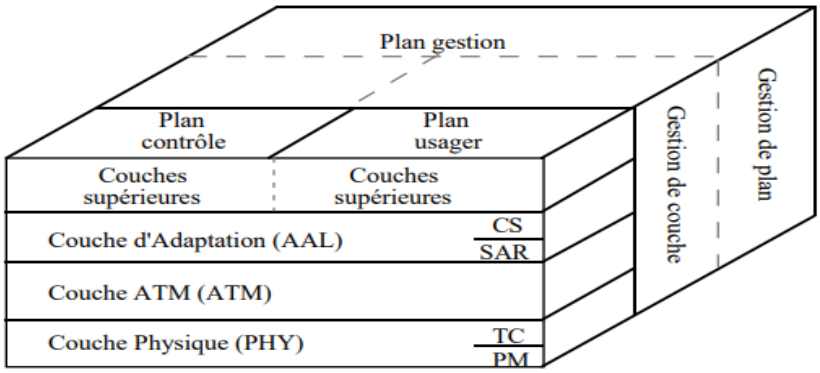



**Figure II-7 : Le modèle de référence du protocole ATM [14]**

## II.6 La Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH

La PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) a été largement utilisée comme infrastructure pour les réseaux de transport jusqu'aux années 1990. Elle a été mise en place en parallèle avec la numérisation du réseau RTC (Réseau Téléphonique Commuté, connu sous le nom de POTS en Amérique), principalement pour répondre aux besoins de la téléphonie. Les réseaux PDH ont été développés à une époque où les connexions point à point étaient prédominantes. La trame de base utilisée dans la PDH est connue sous le nom de MIC E1 (Européen, 1er Niveau), Elle est utilisée pour la transmission de 30 voies de données ainsi que deux voies annexes appelées voies d'information par multiplexage temporel [15].

### II.6.1 La trame PDH

Pour transmettre un signal analogique sur un support de transmission, il doit d'abord être converti en format binaire à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (CAN). La technique couramment utilisée est la modulation par impulsion codée (MIC). Cette méthode consiste à échantillonner le signal analogique à intervalles réguliers, quantifier chaque échantillon en utilisant une résolution de 8 bits, puis coder l'amplitude quantifiée en binaire pour la transmission.

L'échantillonnage du signal respecte la règle de Shannon, qui stipule que la fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois plus élevée que la fréquence maximale du signal à transmettre. Pour une communication téléphonique, la fréquence maximale requise est de 4 kHz. Ainsi, le signal est échantillonné à une fréquence de 8 kHz (toutes les 125 µs), et chaque échantillon est codé sur 8 bits. Cela signifie qu'une conversation téléphonique implique le transfert de 8 bits toutes les 125 µs, ce qui équivaut à un débit de 64 kb/s.

Pour multiplexer plusieurs voies téléphoniques simultanément sur un même circuit, une trame MIC E1 est utilisée. En Europe, cette trame permet de multiplexer 30 canaux de parole avec signalisation et synchronisation sur un support à 2,048 Mbps (32x64 kb/s) [16].

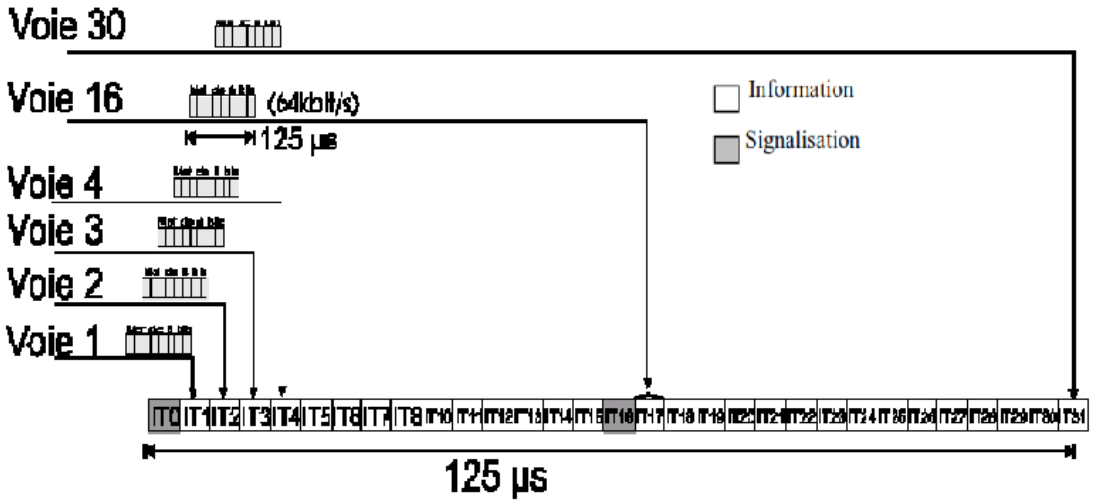



**Figure II-8 : Structure de la trame E1 [15]**

- La durée d'échantillon d'une voie est de 3,9µs, cette durée est appelée : intervalle de Temps (IT) ou bien time slot.

- IT0 : Il s'agit de l'intervalle de temps de verrouillage de trame, également appelé intervalle de synchronisation.
- IT1, IT2, IT3, ..., IT15, IT17, ..., IT31 : les intervalles de temps des voies de communication.
- IT16 : Cet intervalle de temps est réservé à la signalisation des voies.

Pour acheminer plusieurs flux à 2 Mbps d'un point à un autre, ils sont multiplexés par groupes de quatre, ce qui donne un débit de 8 Mbps. Ce processus peut être répété pour former des canaux à 34 Mbps, 140 Mbps et finalement 565 Mbps.

Aux États-Unis et au Japon, les hiérarchies de transmission sont similaires à celles d'autres pays, mais elles peuvent être moins régulières. Le multiplexage de base est appelé DS-1 et a un débit de 1,544 Mbps pour 30 voies. Les autres niveaux de multiplexage comprennent DS-2 à 6,312 Mbps (120 voies) et DS-3 à 32,064 Mbps (Japon) ou 44,736 Mbps (Amérique du Nord).

## II.6.2 Multiplexage PDH

### *II.6.2.1 Le multiplexage temporel TDM*

Le multiplexage temporel TDM est une technique qui consiste à allouer périodiquement et de manière constante des intervalles de temps sur une ligne pour différentes voies. Cette méthode est utilisée pour les signaux numériques, où les éléments des messages de chaque voie

sont stockés sous forme de bits ou de caractères dans des mémoires tampons, puis transmis séquentiellement sur la voie composite. Ces éléments sont ensuite regroupés pour former des trames multiplexées.

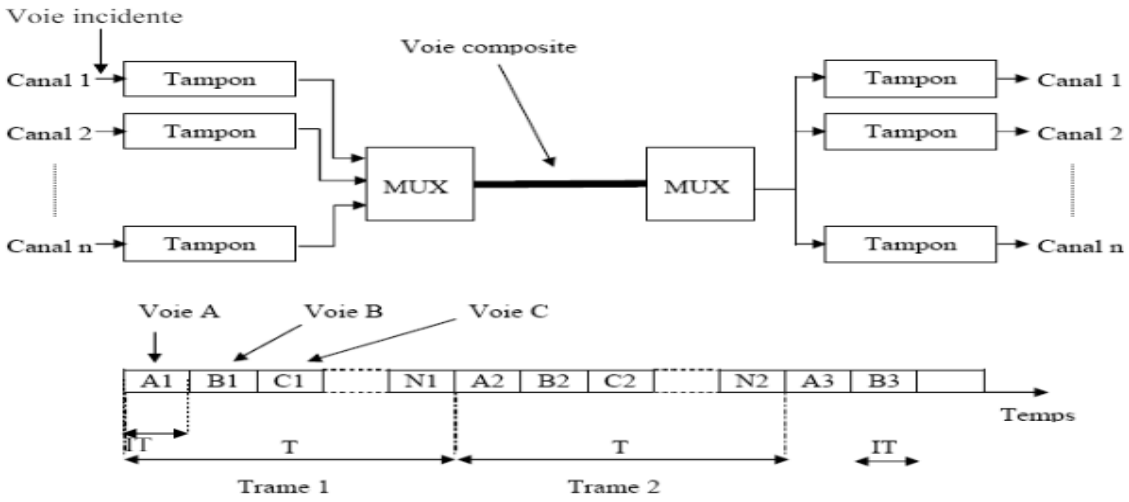



**Figure II-9 : Exemple de Multiplexage temporel en PDH [15]**

### *II.6.2.2 Multiplexage bit à bit*

Le multiplexage bit à bit consiste à insérer un bit de chaque voie (représenté par Ak, Bk, ... Nk) dans une trame élémentaire. Chaque trame reçoit donc un bit de chaque canal avec une durée identique. Bien que le bit Nk soit retardé par rapport au bit Ak, ce décalage est négligeable. La resynchronisation est possible grâce à l'utilisation de tampons.

### *II.6.2.3 Le multiplexage octet par octet*

Le multiplexage octet par octet fonctionne de la même manière que le multiplexage bit par bit, mais avec l'insertion d'un octet de chaque canal entrant. Les informations Ak, ... Nk de chaque trame sont donc composées de 8 bits.

### *II.6.2.4 Le multiplexage à insertion-extraction*

Le multiplexage à insertion-extraction permet d'extraire ou d'insérer des flux déjà multiplexés. Il comprend un circuit de démultiplexage pour extraire les flux entrants, des entrées et sorties de flux à insérer ou à extraire, ainsi qu'un multiplexeur pour reconstituer un flux principal de même débit.

### II.6.3 Limites de la PDH [15]

- ✓ Le multiplexage dans le PDH se fait bit par bit, ce qui signifie que l'accès aux niveaux inférieurs nécessite un démultiplexage.
- ✓ Le PDH n'est pas normalisé au niveau du CCITT, ce qui signifie qu'il n'est pas possible d'interconnecter deux hiérarchies différentes.
- ✓ En raison du plésiochronisme des sources, la technique de multiplexage dans le PDH est complexe.
- ✓ Les trames PDH ne contiennent pas d'octets réservés à des fins d'exploitation.
- ✓ Le PDH ne permet pas une interopérabilité à haut débit entre les continents, car les débits sont différents.
- ✓ Le PDH est une technique de transmission point à point, ce qui signifie qu'il n'est pas optimisé pour les réseaux organisés en anneau. Cela limite la disponibilité des services et la résilience du réseau.
- ✓ Le PDH ne prévoit pas l'existence de canaux de gestion dédiés, ce qui limite la centralisation de l'exploitation d'un réseau national.
- ✓ Le PDH présente une faible standardisation en termes de gestion et d'interfaces optiques.

## II.7 Systèmes de la hiérarchie SDH/SONET

La SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est une technologie de transmission synchrone sur fibre optique qui présente de nombreux avantages en termes de débit, de fiabilité, de sécurisation et de supervision à distance du réseau.

Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT en novembre 1988 à Melbourne (G.707, G.708 et G.709). Elles définissent les débits, la structure de trame et les procédés de multiplexage utilisés dans la SDH.

La SDH est principalement utilisée dans les couches 1 et 2 du modèle OSI. Cette technologie permet de regrouper différents types de services et débits dans une même trame, facilitant ainsi la gestion et l'acheminement des données à travers le réseau.

Aux États-Unis, les systèmes de transmission sont définis par le standard SONET (Synchronous Optical Network), qui a été normalisé par l'ANSI avant la normalisation de la SDH par l'UIT. Par conséquent, il existe une divergence dans la numérotation des échelons entre la SDH et le SONET. Le premier échelon SONET, à 52 Mbit/s (utilisé uniquement en Amérique du Nord) ne correspond pas au premier échelon de la SDH. Ensuite, au STM-n correspond oc-3n.

### II.7.1 Structure de la trame de base STM-1

La trame de base STM-1 (Synchronous Transport Module 1) est la structure fondamentale utilisée dans le système de la SDH pour le transport des données. Voici les caractéristiques de la trame STM-1 [16]:

- **Taille :** La trame STM-1 est composée de 2430 octets, organisés en 9 rangées et 270 colonnes. Les 9 premiers octets constituent la zone de supervision de la SDH, qui contient des informations de gestion du réseau. Les 261 octets suivants représentent la zone d'informations à transmettre, également appelée capacité utile.
- **Durée :** La trame STM-1 a une durée de 125 microsecondes, ce qui correspond à la synchronisation sur une fréquence de 8 kHz, qui est une contrainte vocale.

La trame STM-1 comprend également les éléments suivants :

- **La capacité utile :** Qui est l'information utile.
- **Sur débit de section (SOH : Section Over Head) :** Il s'agit d'une zone réservée à des informations d'exploitation. Le SOH et les pointeurs occupent les 9 premières colonnes de chaque trame, soit 81 octets. Cela signifie qu'il reste 150,34 Mbit/s de capacité utile pour transmettre les informations.

Le SOH est divisé en deux niveaux de gestion, à savoir le RSOH (Regenerator Section Over Head) et le MSOH (Multiplex Section Over Head). Le RSOH est dédié à la communication avec et entre les régénérateurs, facilitant la gestion de la couche de section de régénération. Le MSOH, quant à lui, est destiné à la communication avec et entre les multiplexeurs, permettant ainsi la gestion de la couche de section de multiplexage.

- **Les pointeurs (PTR) :** Les pointeurs sont des informations contenues dans la trame qui indiquent la position réelle du début de la charge utile dans la trame. Ils permettent de retrouver et d'extraire correctement les données utiles lors de la réception de la trame.

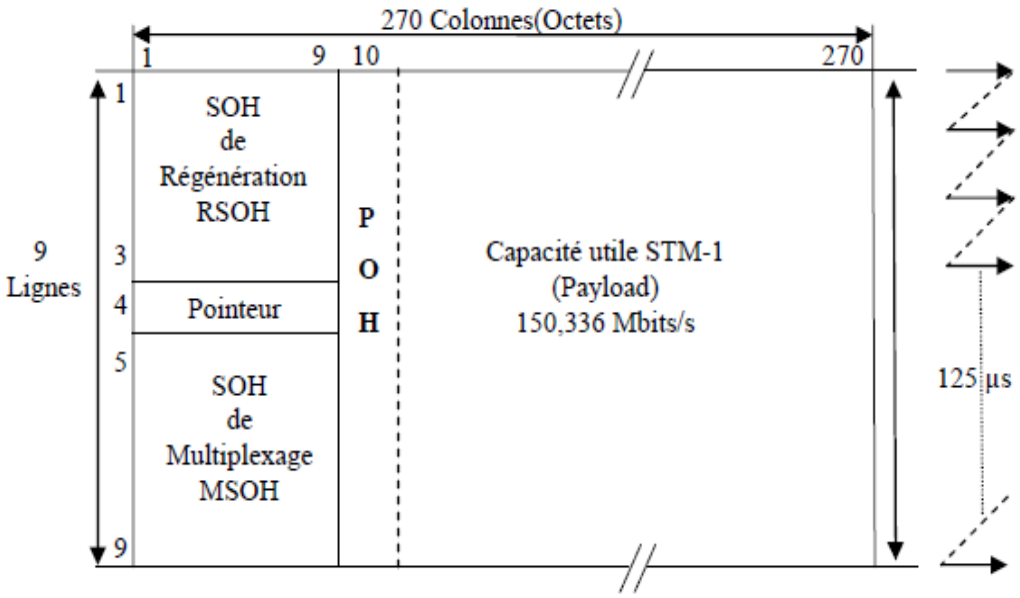



**Figure II-10 : Structure de la trame de base STM-1** [16]

### II.7.2 Multiplexage SDH

L'objectif du multiplexage dans le SDH est de regrouper les flux de données provenant de divers services (IP/MPLS, ATM, Ethernet, PDH, etc.) dans des modules de transport STM avant leur transmission dans le réseau. Le multiplexage se fait en deux niveaux : un premier niveau de multiplexage d'ordre inférieur (Low Order, LO) suivi d'un second niveau d'ordre supérieur (High Order, HO)

Voici les différentes entités impliquées dans le multiplexage SDH :

- **Conteneur (C-n)** : Les signaux à transporter sont segmentés en petits blocs appelés conteneurs. Chaque conteneur contient un paquet de données utiles (payload) qui arrive à un débit spécifique pendant une durée de 125 µs, ainsi que des octets de bourrage pour ajuster le débit au format de la trame.
- **Conteneur Virtuel (VC-n)** : Le conteneur est transporté à travers le réseau SDH en suivant un chemin entre le point d'entrée et le point de sortie. Pour gérer le conteneur et son chemin de manière indépendante de son contenu, des bits de gestion appelés POH (Path Overhead) sont ajoutés au conteneur, formant ainsi un conteneur virtuel (VC).
- **Tributary Unit (TU)** : Pour localiser un VC dans une trame SDH sans le placer toujours à la même position, un pointeur est utilisé pour indiquer l'adresse relative du VC par rapport au début de la trame. Le pointeur et le VC ensemble forment une Tributary Unit (TU). Cette entité concerne uniquement les VC d'ordre inférieur (VC-m).

- **Groupe d'Unité d'Affluent (TUG)** : Le groupe d'unité d'affluent est une structure virtuelle qui représente le multiplexage des TU-m. Il permet de regrouper des TU pour les assembler en une entité de dimension supérieure.
- **Unité Administrative (AU)** : Dans le niveau supérieur HO, les Unités administratives sont l'équivalent des Tributary Units dans le niveau inférieur LO. Les VC-HO flottent à l'intérieur des AU, ce qui nécessite l'utilisation de pointeurs pour les localiser. Ces pointeurs sont associés au processus de justification du VC.
- **Groupe d'Unité Administrative (AUG)** : Le groupe d'unité administrative est une structure virtuelle qui représente l'information ou la charge utile de la trame STM-1.

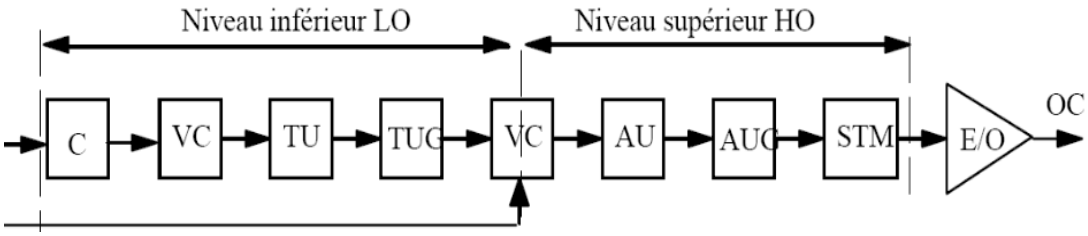



**Figure II-11 : Les niveaux du multiplexage SDH [16]**

À partir du STM-1, la norme SDH prévoit la création de trames de niveau N (STM-N) avec des débits supérieurs. Ces débits sont illustrés dans le tableau II-3.

**Tableau II-3 : principaux systemes SDH/SONET [13]**

| Nom SDH | Nom SONET | Nombre de canaux | Débit (Mbit/s) | Longueur d'onde (nm) | Fibre optique | Distances max (km) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OC-1 | 672 | 51.8 | 1310 | Multimode | 2 |
| STM-1 | OC-3 | 2016 | 155.52 | 1310/1550 | Multi/monomode | 2/15/60 |
| STM-4 | OC-12 | 8064 | 622.08 | 1310/1550 | Monomode standard | 15/60 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| STM-16 | OC-48 | 33256 | 2488.32 | 1550 | Monomode standard/dispersion décalé | 60/120 |
| STM-64 | OC-192 | 129024 | 9953.28 | 1550 | Monomode a dispersion décalé | 60 |
| STM-256 | OC-768 | 516096 | 39813.12 | 1550 | Monomode a dispersion décalé et très faible PMD | ? |

### II.7.3 Le réseau SDH

#### *II.7.3.1 Les équipements du réseau SDH*

Pour répondre aux besoins de transmission de signaux physiochrones ainsi que d'intégration de nouvelles technologies telles que le transport de cellules ATM et les paquets IP, un réseau SDH doit utiliser les éléments réseau suivants [17] :

##### II.7.3.1.1 Les multiplexeurs SDH

Les multiplexeurs SDH sont des équipements utilisés pour charger et extraire des signaux provenant de différents clients dans des trames STM-n. Il existe deux types de multiplexeurs :

##### *II.7.3.1.1.1 Multiplexeur d'Insertion/Extraction (MIE)*

Les MIE, également appelés ADM (Add Drop Multiplexer), permettent d'insérer et d'extraire des signaux de bas débit (2 à 155 Mbit/s) le long d'un circuit à haut débit STM-n. Ils utilisent une matrice pour réaliser des connexions sur les canaux. Ces équipements sont utilisés dans des architectures en ligne ou en anneaux. Cependant, l'inconvénient majeur des MIE est le nombre limité d'accès à 2 Mbit/s au niveau du châssis, alors que ce débit est le plus demandé. C'est pourquoi l'on utilise des MTS.

##### *II.7.3.1.1.2 Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS)*

Le MTS permet le multiplexage de signaux d'affluents PDH pour former une trame STM-1 ou N signaux SDH pour former une trame STM-4 ou STM-16. Il est utilisé pour configurer des réseaux linéaires, plutôt que des réseaux en anneaux. Il existe deux configurations en point à point possibles : la première relie deux MTS, tandis que la seconde

relie un MTS à un MIE qui est lui-même en anneau. La première configuration est utilisée pour créer une boucle optique STM-1 avec deux sites différents. La seconde solution est la plus couramment utilisée par les opérateurs de réseau, car l'avantage du MTS est son grand nombre d'entrées/sorties de signaux à 2 Mbit/s, qui sont souvent utilisés pour la connexion des autocommutateurs publics entre eux et pour desservir des baies d'abonnés éloignées de l'autocommutateur où l'anneau optique ne passe pas.

II.7.3.1.2 Les brasseurs (DXC - Digital Cross-Connect)

Les brasseurs sont des éléments complexes du réseau. Un commutateur DXC peut remplir le rôle d'un ADM et permet d'insérer des signaux PDH dans des conteneurs virtuels, ainsi que de commuter ces conteneurs. Généralement, les brasseurs sont utilisés pour interconnecter plusieurs ADM entre eux, facilitant ainsi la gestion et la commutation des flux de données.

II.7.3.1.3 Les régénérateurs

Ils sont chargés de régénérer le signal optique dans le réseau. Ces équipements permettent d'augmenter la distance entre deux sites en effectuant une régénération numérique du signal. Contrairement à une régénération analogique, les régénérateurs extraient le RSOH de la trame, l'analysent, puis insèrent un nouveau RSOH sans modifier le reste de la trame. Les bits du signal sont remis en forme, réamplifiés et resynchronisés. Les seuls changements effectués concernent généralement les informations suivantes : le taux d'erreur (B1), les données de l'exploitant (E1 et F1) et le transport de la gestion (D1, D2 et D3).

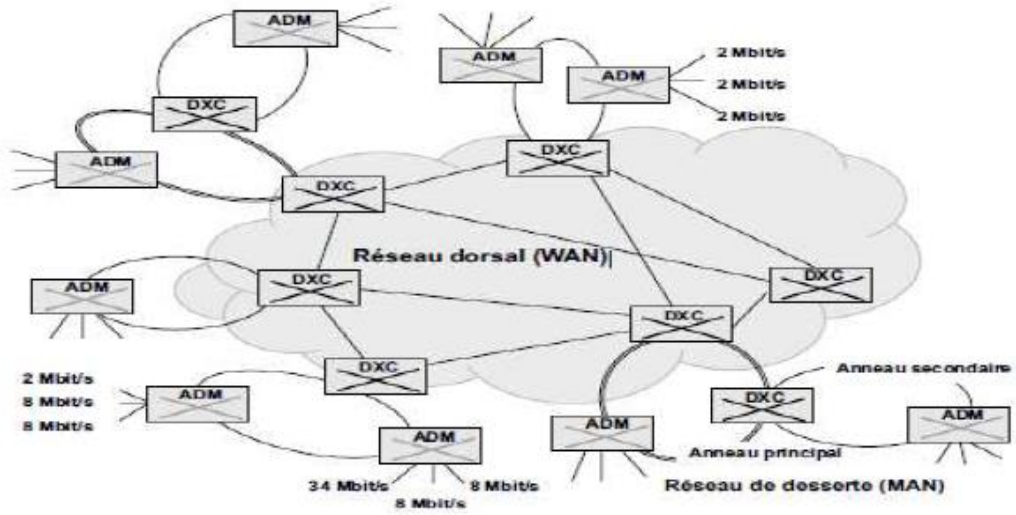



**Figure II-12 : Infrastructure du réseau SDH [6]**

### *II.7.3.2 Anneaux SDH*

La SDH offre plus que simplement un protocole de transmission point à point. Elle permet également la mise en place d'architectures multipoint en anneau, ce qui permet une sécurisation du réseau. Le schéma le plus simple est un anneau à deux fibres, où la fibre principale transporte le trafic dans une direction unidirectionnelle, tandis que la seconde fibre agit comme une fibre de secours. Lorsque la sécurisation est activée en cas de panne d'interface ou de coupure de fibre, le signal est acheminé en sens inverse.

Dans un autre schéma, une paire de fibres assure un trafic bidirectionnel normal, avec une fibre de secours dédiée dans chaque direction pour acheminer la sécurisation par le même arc et dans le même sens. Ce concept peut être étendu à 2(n+1) fibres pour une sécurisation 1:n, où une paire de fibres de secours peut sécuriser n paires de fibres de trafic. Par exemple, si le conduit majeur A-D est complètement coupé, la restauration du trafic A-D peut être effectuée en utilisant le conduit mineur B-C. [13]

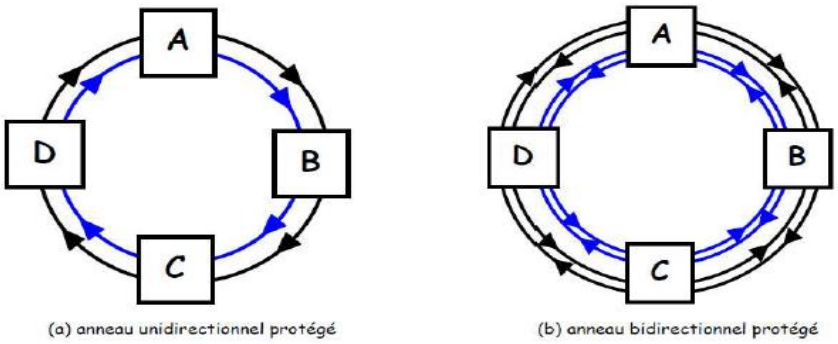



**Figure II-13 : anneaux SDH [16]**

## II.7.4 Avantages et inconvénients de la SDH

### *II.7.4.1 Avantages*

- Le SDH offre un débit plus élevé que le PDH.
- Il facilite l'exploitation et la maintenance grâce à des débits réservés à ces fonctions.
- Il permet une évolution vers des débits plus élevés en utilisant le multiplexage synchrone de l'entité de base.
- Il offre une flexibilité accrue pour l'accès aux flux à bas débit sans nécessité de décomposer tout le signal à haut débit.
- Il facilite l'interconnexion de systèmes à haut débit grâce à la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes.

- Il propose des architectures de réseau assurant une résilience contre les défauts de ligne ou d'équipement.
- Les équipements SDH sont modulaires, ce qui les rend plus adaptés aux progrès technologiques par rapport aux équipements plésiochrones.

#### *II.7.4.2 Inconvénients*

- Le coût des équipements SDH reste encore très élevé, ce qui peut constituer un obstacle à leur adoption.

## II.8 Les réseaux de transport optique (OTN)

L'OTN (Open Transport Network) est un système de transmission sur fibre optique ouvert. Son architecture repose sur des nœuds dotés de multiples interfaces physiques, permettant la création de réseaux industriels intégrant des communications variées telles que la voix, la vidéo, l'audio et les données. La transmission de ces informations est transparente dans le réseau, ce qui offre automatiquement une sécurité et une haute disponibilité, même dans des environnements difficiles. L'OTN représente la solution idéale pour les environnements mixtes que l'on retrouve dans divers réseaux étendus, comme ceux des transports en commun (métros, autoroutes), des mines, des aéroports, ainsi que dans les industries telles que le pétrole, le gaz, l'eau, la distribution d'électricité, la pétrochimie et la chimie. [6]

## II.9 Conclusion

Le SDH corrige les principaux inconvénients du PDH et prend en charge des débits très élevés. Il assure la transmission dans une même trame de services de types et débits variés (voix, images, communications multimédias, interconnexion de réseaux locaux Ethernet, mode de transmission ATM). L'interface prédominante pour les hauts débits, depuis de nombreuses années, est SONET/SDH, qui offre à la fois des vitesses de transmission élevées et une sécurisation de l'interface. Une autre solution, l'OTN, cherche à établir une interface universelle pour accéder à un réseau de fibre optique. Dans ce chapitre, nous avons abordé l'OTN de manière générale, et dans le chapitre suivant, cette technologie sera présentée en détail.

# Chapitre III : Etude d’un réseau de transmission d’un établissement public

# chapitre III Etude d'un réseau de transmission d'un établissement public

## III.1 Introduction

Ce projet de fin d'études de Master a été réalisé exclusivement à l'Entreprise SONATRACH, située à Naama, au service Transport par canalisation GPDF et a l'entreprise SONELGAZ Tlemcen. Durant ces stages pratiques, nous avons acquis de nombreuses connaissances pratiques et des informations importantes sur le travail effectué au sein de ces entreprises, notamment dans les domaines suivants : configuration des éléments de réseau OTN (par exemple, un nœud, une carte, etc.), configuration des services, surveillance du réseau par le système de gestion OMS, la détection des erreurs à l'aide d'indicateurs visuels tels que les LED ou encore par l'affichage alphanumérique localisé sur la carte BORA, et le déploiement du réseau de transmission optique .

## III.2 Présentation de l'entreprise SONATRACH

Sonatrach, acronyme de « Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures s.p.a », est une entreprise publique algérienne qui joue un rôle crucial dans l'industrie pétrolière. Fondée le 31 décembre 1963, elle est un pilier de l'économie nationale, intervenant dans l'exploration, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Sonatrach est également active dans la pétrochimie, la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables, le dessalement d'eau de mer et l'exploitation minière. Son importance dépasse les frontières nationales, participant à l'intégration nationale et au développement économique et social de l'Algérie.

## III.3 Historique du gazoduc GPDF

Le gazoduc GPDF, autrement connu sous le nom de Gazoduc Maghreb-Europe (GME), a une histoire marquée par l'amitié entre l'Algérie et l'Espagne. Le tronçon algérien de ce gazoduc a été nommé en hommage à Pedro Duran Farell, un industriel et humaniste espagnol, décédé le 11 juillet 1999 à Barcelone. Farrell a été un fervent partisan de ce projet dès les années 60, contribuant à l'introduction du gaz en Espagne et à la construction du gazoduc reliant Hassi-R'mel en Algérie à l'Espagne via le détroit de Gibraltar. Sa vision a été guidée par un profond amour pour l'histoire et la préhistoire, faisant de lui un acteur clé dans le développement de cette infrastructure énergétique majeure entre les deux pays.

La section algérienne GPDF comprend une canalisation de 48 pouces de diamètre, acheminant du gaz naturel depuis le terminal de départ existant à Hassi R'mel jusqu'au terminal d'arrivée situé à la frontière marocaine. Des équipements sont installés pour faciliter la circulation du gaz et mesurer son débit.

Les composants du GPDF sont les suivants :

- Une canalisation principale de 48 pouces de diamètre, s'étendant sur 521 kilomètres.
- Des équipements au terminal de départ, intégrés au centre national de distribution de gaz (CNDG) à Hassi R'mel, comprenant des dispositifs de raccordement, de régulation de pression, de comptage du gaz et une installation pour la gare de racleur de départ.
- Des équipements au terminal d'arrivée, comprenant la gare de racleur d'arrivée, des installations pour la filtration et la régulation de pression, le comptage du gaz, une salle de contrôle et des systèmes utilitaires.
- 22 postes de sectionnement.
- 01 station de compression.
- 04 postes de coupure.
- Redresseurs pour protection cathodique.

Toutes les opérations du gazoduc sont centralisées dans la salle de contrôle située au terminal d'arrivée, où se trouve également le centre de télémesure du gazoduc.

**Figure III-1 : Présentation de la station GPDF**

## III.4 La technologie OTN

### III.4.1 Définition d'OTN

**Open** : Réseau à couverture universelle capable de gérer toutes les interfaces existantes. Tout type d'application peut être intégré dans un réseau ouvert.

**Transport** : Ce réseau facilite le transport de divers types de communications que l'on trouve couramment dans notre environnement, comme la téléphonie (numérique et analogique), les données, les vidéos et Ethernet (LAN, Gigabit Ethernet), de manière transparente sur une seule fibre, sans aucune interférence.

**Network** : Un réseau de transmission par fibre optique, conçu pour répondre aux défis futurs, sur des distances pratiquement illimitées. [6]

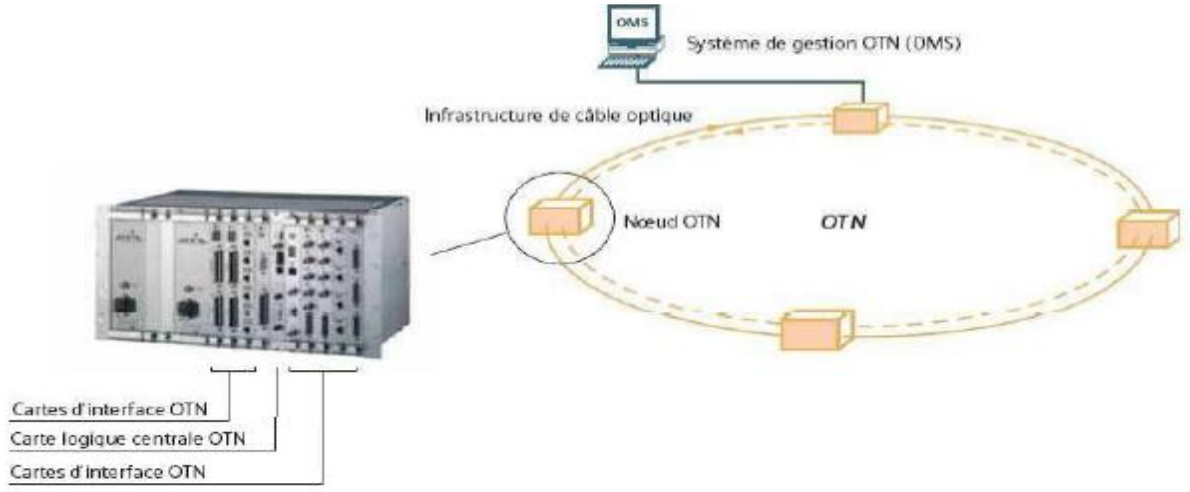



**Figure III-2 : Architecture OTN [17]**

### III.4.2 Caractéristiques de l'OTN

- Fiabilité du réseau maximale
- Réagir automatiquement en cas de défaillance d'une liaison optique, en basculant vers l'anneau secondaire ou en bouclant.
- Nœuds universels capables de générer des trames de référence pour synchroniser le réseau. En cas de défaillance d'un nœud principal, un autre nœud prend automatiquement sa fonction.
- Démarrage automatique en cas de panne de courant, grâce à la reconfiguration de l'anneau ou au bouclage d'un nœud, déclenchant ainsi le redémarrage automatique du réseau.

- Accès direct et garantie de la bande passante : L'OTN assure un accès direct au réseau à tout moment, avec la garantie de trafic en temps réel et de trafic Ethernet basé sur les paquets.
- Le réseau OTN permet de couvrir de très grandes distances (jusqu'à 1 000 km ou plus).
- Diversité des cartes d'interface.
- Détection rapide des erreurs : Les erreurs sont détectées soit par le système de gestion OMS, soit par des indicateurs visuels tels que les LED, ou encore par un affichage alphanumérique localisé sur la carte BORA.

### III.4.3 L'interface OTN

La norme SONET/SDH a été initialement introduite pour transporter la voix téléphonique et a nécessité des ajustements considérables pour pouvoir acheminer des trames et des paquets IP, ATM ou autres. Le successeur de SONET/SDH, normalisé par l'ITU-T au début de l'année 2002, est connu sous le nom d'OTN (Optical Transport Network). Conçue pour transporter des paquets sur des liaisons de 2,5, 10, 40 et 100 Gbit/s, la norme OTN est définie par la recommandation G.709 [6].

La trame OTN doit être capable de transporter tous les types de trames de manière transparente, sans nécessiter de modifications. Elle est constituée principalement de trois parties :

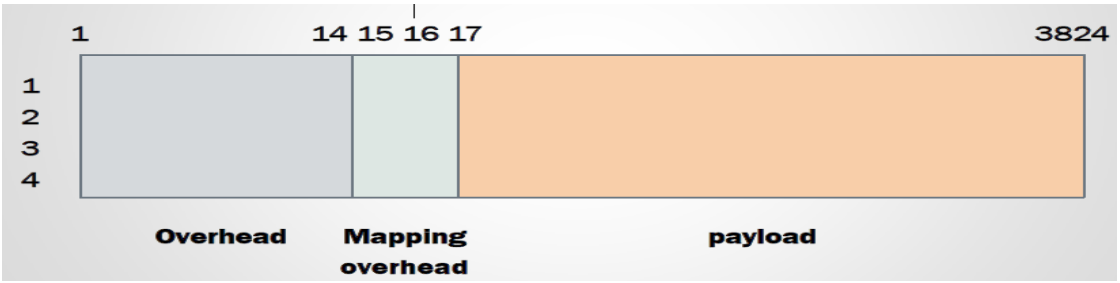



**Figure III-3 : Format de la trame synchrone OTN** [6]

1. **Payload** : Il s'agit de la charge utile qui contient les données du client.
2. **Mapping Overhead** : Cette section se réfère aux informations supplémentaires ajoutées à une trame pour faciliter sa transmission et son interprétation.
3. **Overhead** : Cette partie contient diverses informations de gestion, de contrôle et de supervision nécessaires au fonctionnement efficace du réseau.

La trame OTN est généralement appelée "trame OTU" (Optical Transport Unit Frame), La trame OTN en détail est illustrée dans la figure III-4.

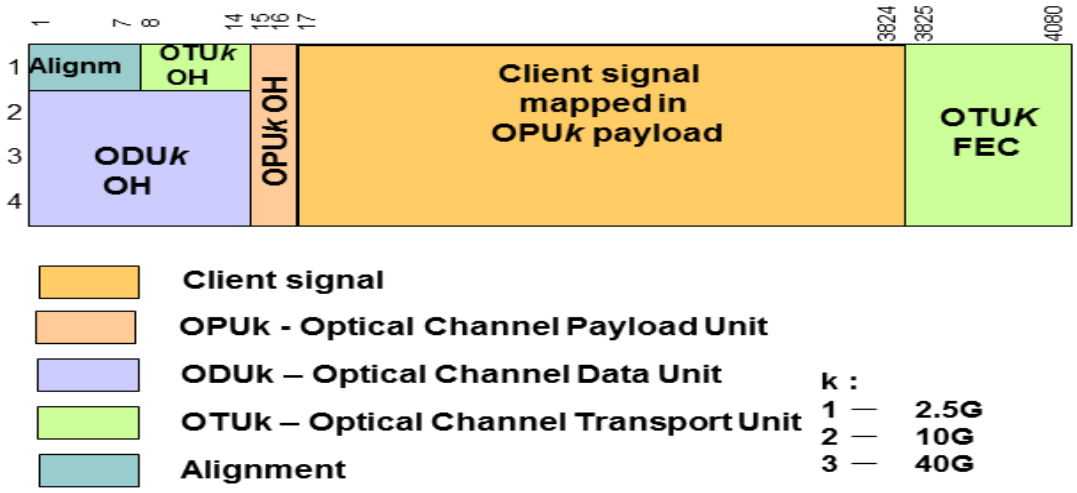



**Figure III-4 : Structure de la trame OTN [6]**

- Le K dans OTUK, ODUK, et OPUK correspond au nombre de trames.
- Toutes les trames OTU (OTU1, OTU2, OTU3, OTU4) ont la même taille de 4 * 4080 = 16 320 octets.

Dans la trame OTN, on trouve les en-têtes OPU, ODU, et OTU, qui constituent un ensemble d'en-têtes de couche électrique. Avec l'ajout de FEC pour le contrôle et la gestion, cela permet une gestion efficace des transmissions.

**Les sur débits électriques** :

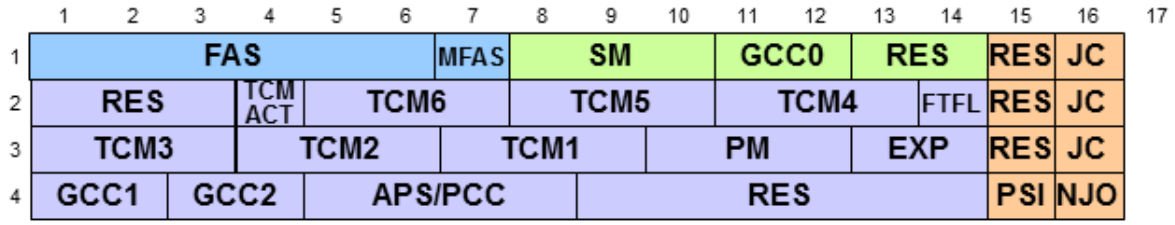



**Figure III-5 : Les overheads de l'OTN [6].**

Dans les en-têtes ODUk OH :

- TCMACT : Surveillance de la connexion en tandem.
- TCM i : Surveillance de la connexion en tandem I.

- FTFL : Canal de signalement du type de défaut et de localisation du défaut.
- PM : Surveillance du chemin.
- EXP : Expérimental.
- GCC1/2 : Canal de communication générale 1/2.
- APS/PCC : Canal de coordination de commutation automatique de protection / Canal de contrôle de communication de protection.

Dans les en-têtes Alignement OH :

- FAS : Octets de synchronisation de trame.
- MFAS : Octets de synchronisation de trame multiple.

Dans les en-têtes OTUk OH :

- SM : Surveillance de la section.
- GCC0 : Canal de communication générale 0.
- RES : Réservé pour une normalisation internationale future.

Dans les en-têtes OPUk OH :

- PSI : Identifiant de structure de charge utile.
- JC : Contrôle et justification.
- NJO : Opportunité de justification négative.

### III.4.4 Structure en couche de l'architecture OTN

L'interface OTN est composée de plusieurs niveaux. En partant de la fibre optique, on trouve les couches suivantes :

**Unité de charge utile optique (OPUk)** : Elle représente l'interface entre le signal client et le réseau OTN. Composée du trafic client et d'un en-tête, elle permet d'adapter le débit du signal client au débit de charge utile de l'unité OPUk. Les capacités OPUk sont définies pour k = 1, 2, 3, 4.

**Unité de données optique (ODUk)** : Similaire au conteneur VC-n dans le standard SDH, elle représente le conteneur numérique de données. Elle contient la charge utile OPUk et un en-tête avec des informations de suivi de connexion tandem (TCM), nécessaires lorsque le signal client traverse les infrastructures de plusieurs opérateurs.

**Unité de transport optique (OTUk)** : Equivalent à la trame STM-N dans le standard SDH, elle représente la trame de transport dans les réseaux OTN. Composée de la charge utile ODUk et d'un en-tête avec des informations de début de trame et de correction d'erreur FEC, elle est disponible en capacités nominales de 2,5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps et 100 Gbps pour k = 1, 2, 3, 4. La trame OTU est aussi appelée "enveloppe numérique" (digital wrapper), car elle encapsule toutes les informations numériques avant la conversion optique.

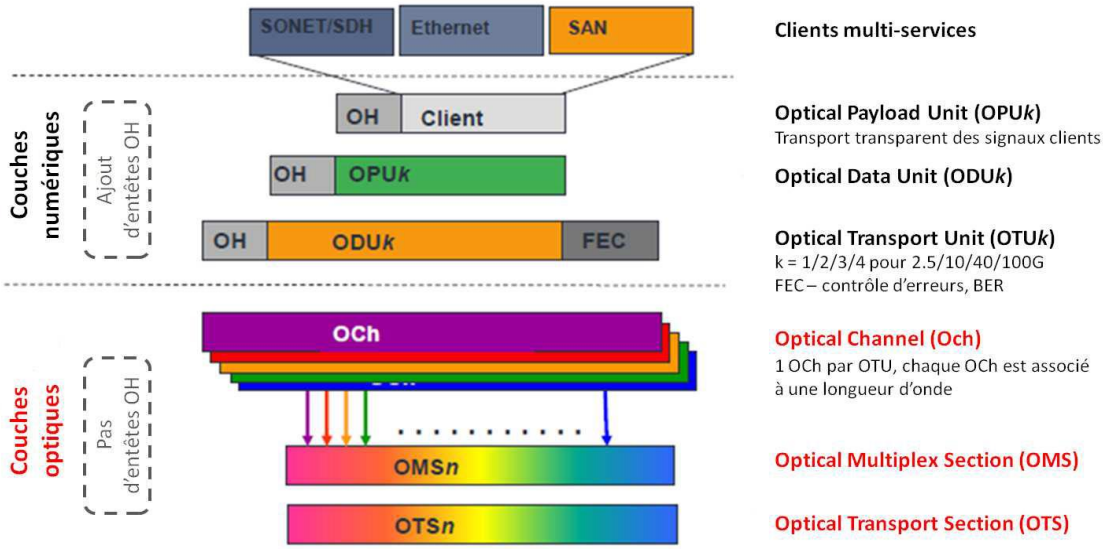



**Figure III-6 : la hiérarchie OTN [18]**

**Canal optique (OCh)** : Obtenu par la conversion électro-optique de la trame OTUk, chaque OCh, transportant un OTUk, est associé à une longueur d'onde de la grille ITU (International Télécommunication Union).

**Section de multiplex optique (OMS)** : Elle assure la combinaison de multiples longueurs d'onde (canaux OCh) sur une même fibre optique. Chaque canal correspond à une longueur d'onde ITU. Les extrémités d'une section OMS sont généralement des multiplexeurs terminaux, des multiplexeurs d'insertion-extraction OADM ou des brassages OXC.

**Section de transport optique (OTS)** : Elle garantit le transport de multiples longueurs d'onde sur le même support physique (fibre optique). L'en-tête OTS, ainsi que les en-têtes des autres couches optiques OMS et OCh, sont transportés par un canal de supervision optique (OSC) occupant une longueur d'onde en dehors de la grille ITU.

### III.4.5 Principes de multiplexage

En s'appuyant sur une architecture en couches, l'OTN définit une structure de multiplexage flexible utilisant la notion de conteneurs et basée sur la technique de multiplexage temporel TDM. Le multiplexage de signaux clients à faible débit dans des signaux à haut débit permet la création de conteneurs plus grands, maximisant ainsi l'utilisation de la capacité des canaux optiques (longueurs d'onde). Le conteneur ODU-0 constitue l'unité de base dans la structure de multiplexage OTN. Les débits des différents conteneurs OTN sont présentés dans le Tableau III-1 :

**Table III-1 : Les débits des conteneurs OTN [18].**

| Conteneur OTN | Débit nominal |
|---|---|
| ODU-0 | 1, 25 Gbps |
| ODU-1 | 2, 5 Gbps |
| ODU-2/ODU-2e | 10 Gbps |
| ODU-3 | 40 Gbps |
| ODU-4 | 100 Gbps |
| ODU-Flex | N x 1, 25 Gbps |

Contrairement au multiplexage SDH, qui manipule des conteneurs granulaires de l'ordre du Mbps (VC-12/3/4), le multiplexage OTN gère des conteneurs granulaires de l'ordre du Gbps. Il existe également des conteneurs flexibles capables de s'adapter à n'importe quel débit de signal client. En effet, lorsqu'un signal client ne correspond pas exactement à un ODUk standardisé (ODU-0/1/2/3/4), il peut être mappé dans plusieurs slots de 1,25 Gbps dans le domaine ODU, formant ainsi un conteneur appelé ODU-Flex. Cette technique élimine la possibilité d'avoir des conteneurs ODUk sous-utilisés et évite toute perte significative de bande passante. Le concept d'ODU-Flex est principalement mis en place pour supporter les futurs signaux clients dont les débits sont encore inconnus.

La Figure III-7 illustre les différentes possibilités de multiplexage des conteneurs ODUk dans la hiérarchie OTN. Par exemple, il est possible de multiplexer deux ODU0 dans un ODU1, quatre ODU1 dans un ODU2, quatre ODU2 dans un ODU3, deux ODU3 dans un ODU4, ou encore quatre-vingts ODU0 dans un ODU4, etc.

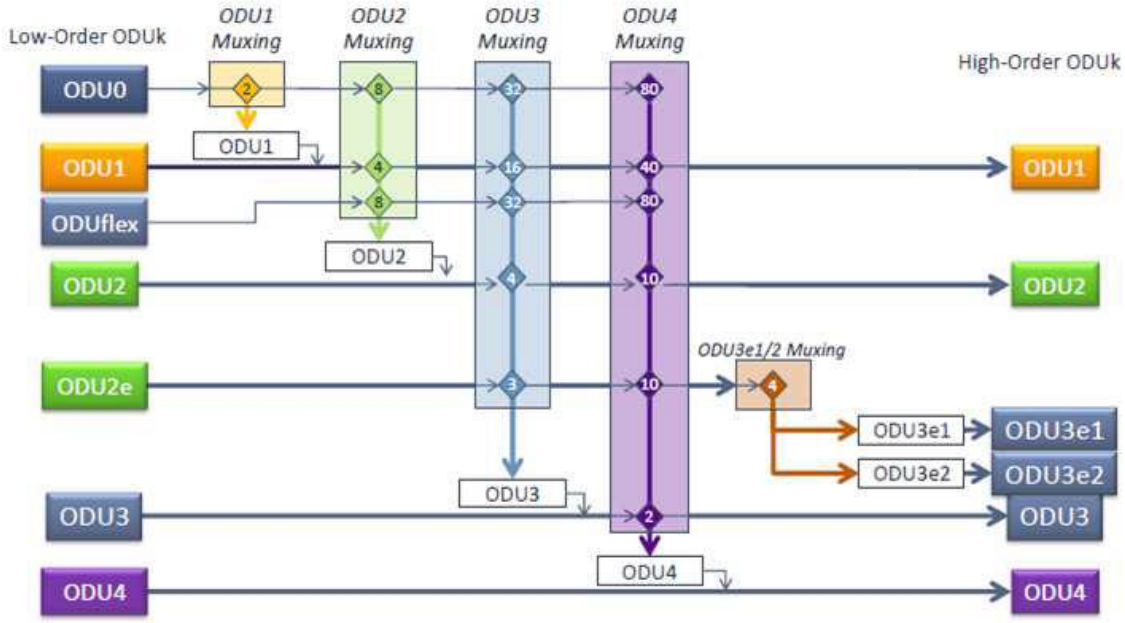



**Figure III-7 : Structure de multiplexage OTN [18].**

### III.4.6 Technique de multiplexage d'ODU1 vers ODU2

L'ODU1 s'adapte à la synchronisation d'horloge de l'ODU2 par mappage asynchrone. Comme le montre la structure de trame sur la figure III-8, quatre ODU1, après adaptation, sont multiplexés dans la zone de charge utile de l'OPU2. Ensuite, l'ODU2 est ajouté et mappé à l'OTU2, cadre d'alignement des frais généraux et la zone FEC sont ajoutés à l'OTU2 pour former les signaux d'OTU2 transmis par l'OTM. Un cadre d'ODU1 traversera plusieurs frontières de trame ODU2. La taille de trame d'ODU1 et ODU2 est la même, avec une charge utile de 3808 colonnes [6].

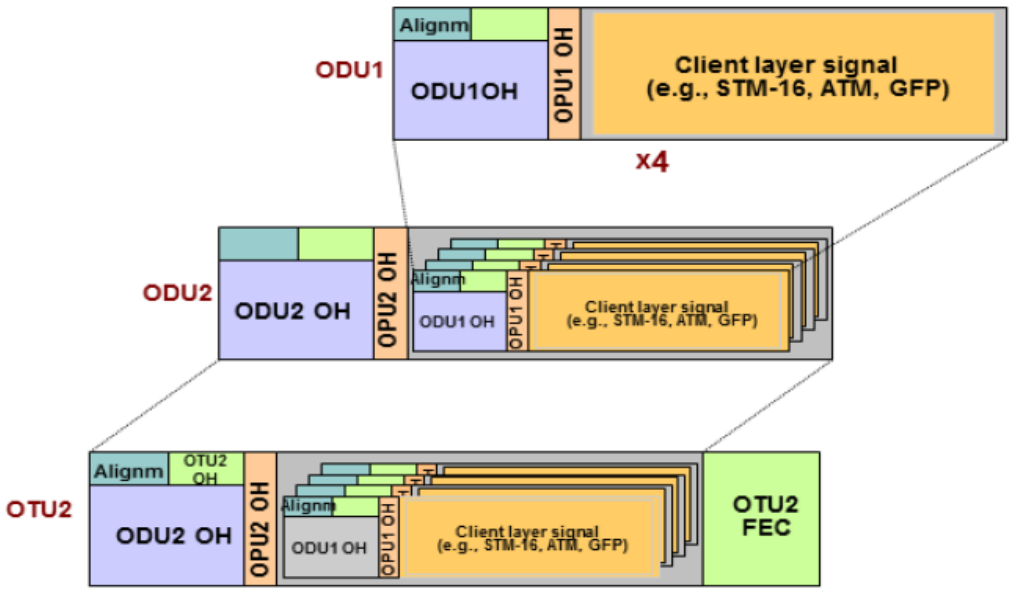



**Figure III-8 : l'ODU1 vers l'ODU2 [6].**

### III.4.7 Les nœuds

Un nœud représente un point d'accès dans le réseau OTN permettant l'extraction ou l'ajout de données dans le sous-réseau. Cette fonctionnalité est rendue possible grâce à la compatibilité avec divers protocoles d'interface tels que RS232, Ethernet, etc., qui peuvent être gérés par une ou plusieurs cartes d'interface présentes sur chaque nœud.

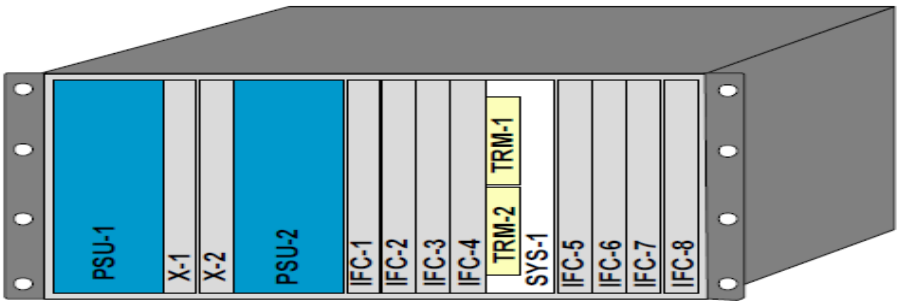



**Figure III-9 :Vue d'ensemble schématique d'un nœud (type N22)**

- **IFC** est une position de carte d'interface
- **SYS** est la carte système
- **TRM** est un module d'émetteur-récepteur
- **PSU** est l'alimentation.
- **X** est une position de carte auxiliaire.

### III.4.8 Les différentes cartes utilisées dans le nœud

#### *III.4.8.1 La carte BORA (carte logique commune)*

La carte BORA, abréviation de "Broadband Optical Ring Adapter", est une composante centrale qui met en œuvre la technique de multiplexage par répartition dans le temps (TDM). Elle est chargée de recevoir les informations et de les diriger vers les cartes d'interfaces appropriées, ainsi que de les transmettre vers les modules émetteur/récepteur optiques. En outre, elle intègre des algorithmes pour diverses fonctions système telles que la reconfiguration et la synchronisation [17].

Cette carte est également équipée d'une mémoire RAM qui conserve en permanence les liaisons programmées, assurant ainsi une protection contre les pannes de courant.

Le panneau avant de la BORA comprend :

**Des indications LED** : Les LED présentes sur le panneau avant de la carte réseau sont : R, T, CALL, Ma, Mi, SDH, BER, et SY.

La couleur des LED indique différents états. Par exemple, la LED BER s'allume lorsqu'une erreur de bit, telle qu'une erreur CRC dans la trame OTN, est détectée. La LED BER reste allumée pendant au moins 100 ms pour chaque erreur. Une LED éteinte indique une période sans erreur de 100 ms.

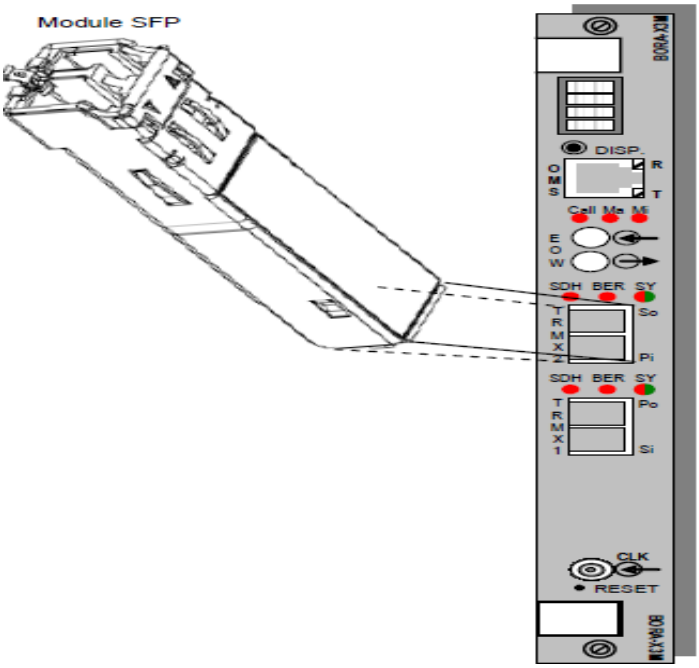



**Figure III-10 : le panneau avant de la carte BORA**

**Un affichage alphanumérique** : L'affichage alphanumérique à 4 caractères affiche diverses données concernant le fonctionnement et les réglages du nœud.

**Des connecteurs** :

- Un connecteur RJ45
- Deux jacks de 3,5 mm (un pour le microphone et l'autre pour le casque)

- Deux connecteurs optiques LC duplex
- Un connecteur SMB de 50Ω pour le raccordement d'un signal d'horloge TTL externe

#### *III.4.8.2 Les cartes d'interface*

L'infrastructure OTN fournit plusieurs cartes d'interface pour divers besoins :

- Réseaux LAN : Les cartes d'interface OTN permettent la connectivité aux réseaux locaux (LAN), comme Ethernet standard ou Fast Ethernet
- Téléphonie : Les cartes d'interface Univoice sont prévues pour connecter les téléphones analogiques à la centrale téléphonique (PABX) via l'OTN. Elles permettent d'établir des connexions vocales virtuelles point à point entre des cartes installées dans différentes localités.
- Transport de données
- Applications vidéo
- Installations de sonorisation

### III.4.9 Les liens

Le réseau OTN fonctionne avec des liaisons doubles par fibres optiques entre ses nœuds. Ces connexions optiques forment deux anneaux qui tournent en sens inverse. En temps normal, un anneau est actif, transportant les données, tandis que l'autre reste en mode de secours (standby).

Les connexions physiques vers les OTR (émetteurs-récepteurs optiques) des nœuds sont organisées de manière spécifique. L'OTR-1 se connecte au nœud suivant, tandis que l'OTR-2 communique avec le nœud précédent. Les termes "suivant" et "précédent" font référence à la direction de la transmission des données sur l'anneau primaire [17].

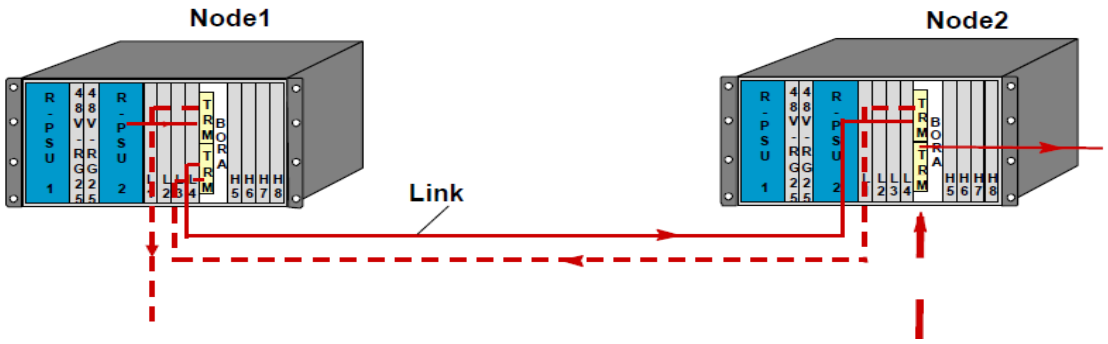



**Figure III-11 :vue d'ensemble schématique des liaisons OTN**

### III.4.10 Comparaison entre SDH/SONET et OTN

1. **Trafic** :

- SDH/SONET est optimisé pour le transport de données synchrones, telles que la voix et les données, à un débit constant. Cependant, il n'est pas bien adapté à la transmission de données asynchrones ou de paquets IP.
- OTN est conçu pour être plus flexible et prendre en charge plusieurs types de trafic, y compris les données synchrones et asynchrones ainsi que les paquets IP. Cela en fait une solution de transmission plus polyvalente, capable de répondre aux divers besoins des applications de télécommunications.

2. **Capacité :**

- SDH/SONET fournit des niveaux de vitesse de transmission standardisés allant d'un débit relativement faible à plusieurs gigabits par seconde. Cependant, sa capacité et son échelle de transmission sont limitées.
- OTN offre une architecture hautement évolutive capable de supporter des débits de données bien plus élevés que ceux de SDH/SONET. Il peut transmettre des données à des débits de plusieurs gigabits par seconde, voire plus, augmentant ainsi considérablement la capacité de transmission.

3. **Fiabilité :**

- SDH/SONET intègre des mécanismes de protection et de récupération pour assurer la fiabilité du réseau en cas d'interruptions ou de pannes. Cependant, la commutation de protection peut être relativement lente.
- OTN combine également des mécanismes de protection et de récupération pour garantir la fiabilité du réseau, mais avec des temps de commutation plus rapides et de meilleures capacités de récupération en cas de panne.

4. **Flexibilité :**

- SDH/SONET est moins flexible pour la prise en charge des services et protocoles de données émergents, comme les paquets IP.
- Grâce à sa flexibilité et à sa compatibilité avec les protocoles de données modernes, OTN est mieux adapté au transport d'une variété de services, y compris les données IP. Il peut être utilisé comme une infrastructure de transport efficace pour les réseaux IP/MPLS.

## III.5 Architecture de réseau SONATRACH

L'architecture globale comprend un réseau multiservices en anneau interconnectant les SC, les PS, le CA AT et le TD CNDG. Les liaisons entre les sites sont établies via des fibres optiques constituées d'un ensemble de fibres optiques monomode .

Ce réseau sera basé sur la technologie OTN X3M2500, qui repose sur une couche de transmission en multiplexage d'intervalle de temps TDM. Le X3M2500 est choisi en combinaison avec le pipeline GPDF.

La topologie logique consiste en un double anneau en boucle plate, avec un saut de site de 45 nœuds X3M, offrant une capacité de 2,5 Gbps. Ce double anneau est couplé à un anneau central collecteur X3M composé de 2 nœuds et offrant une capacité de 10 Gbps.

Ce réseau servira de support pour les informations suivantes :

- Téléphonie.
- SCADA.
- Radio d'exploitation.
- Sonorisation.

Le système de transmission du pipeline GPDF sera composé des nœuds suivants :

- **Nœuds N42 :** Utilisé dans les PC, TA, CNDG (TD)

**Figure III-12 :nœud de type N42**

- **Nœuds N415 :** Utilisé dans les PS

Les différentes cartes des nœuds utilisés :

- NSM : Module de support de nœud.
- PSU 18-60 Vcc : Module d'alimentation pour les nœuds N42 et N415.
- Bora 2500-X3M et Bora 10G-X3M-ULM2500 : Carte de processeur central qui contient toutes les données du réseau.
- ET100 : Carte d'interface Ethernet.
- 12LVOI-P et 12LVOI-T : Générateur de courant de sonnerie 48V/25Hz.
- UNIVO avec modules enfichables 2LVOI-T et 2W/4WVOI-E&M.
- SO-P (6 voies) et SO-T (3 voies).
- E1 de 4 ports et E1 de 24 ports.
- RSXMM (RS232 – RS422) : Cartes de transport de données.

## III.6 Système de gestion OTN (OMS)

Un système de gestion efficace est essentiel dans un réseau en expansion, devenant de plus en plus complexe. L'OTN Management System (OMS) permet l'administration des configurations, allant d'un simple anneau à des réseaux composés de multiples anneaux OTN interconnectés via des modules ULM, par utilisateur.

**Serveur OMS** : Le serveur OMS est connecté au matériel OTN et assure toute la communication avec celui-ci. Il intègre une base de données contenant des informations sur les équipements et les services présents dans le réseau. Toutes les données sont transmises au client OMS par le serveur.

**Client OMS :** Le client OMS est l'interface utilisateur du système (OMS GUI). Il fonctionne en collaboration avec le serveur OMS pour présenter de manière conviviale les informations à l'opérateur réseau.

Les principales fonctionnalités de l'OMS comprennent la gestion du matériel, la gestion des connexions, la gestion de la base de données, une interface utilisateur graphique, la surveillance et la signalisation des erreurs, ainsi que la consignation des événements réseau.

## III.7 Communication entre le réseau OTN et l'OMS

La communication entre l'OMS et le réseau OTN est établie via une connexion Ethernet utilisant un connecteur femelle RJ45 blindé avec paire torsadée. Cette connexion fonctionne selon la norme BASE-T Ethernet 10/100 Mbps, assure l'accès au canal de communication Ethernet dans l'anneau et/ou au microprocesseur.

## III.8 Configuration du réseau OTN par la GUI OMS dans l'OTN-X3M

Avant de pouvoir configurer des éléments de réseau dans la base de données OMS, il est nécessaire qu'un réseau soit déjà établi.

Les éléments de réseau peuvent être créés à partir du menu de configuration en haut de l'environnement de travail d'OMS. Pour créer un réseau, nous devons d'abord cliquer sur "Create", puis sur "Network". Pour créer un sous-réseau, nous cliquons sur "Subnetwork". Pour créer un nouveau nœud, nous cliquons sur "Node". Pour créer une carte (système, carte d'interface normale, carte auxiliaire), nous sélectionnons "Card". Pour créer un module d'émetteur-récepteur, nous cliquons sur "Module". Pour créer un service (VOICE, ET100...), nous cliquons sur "Service"

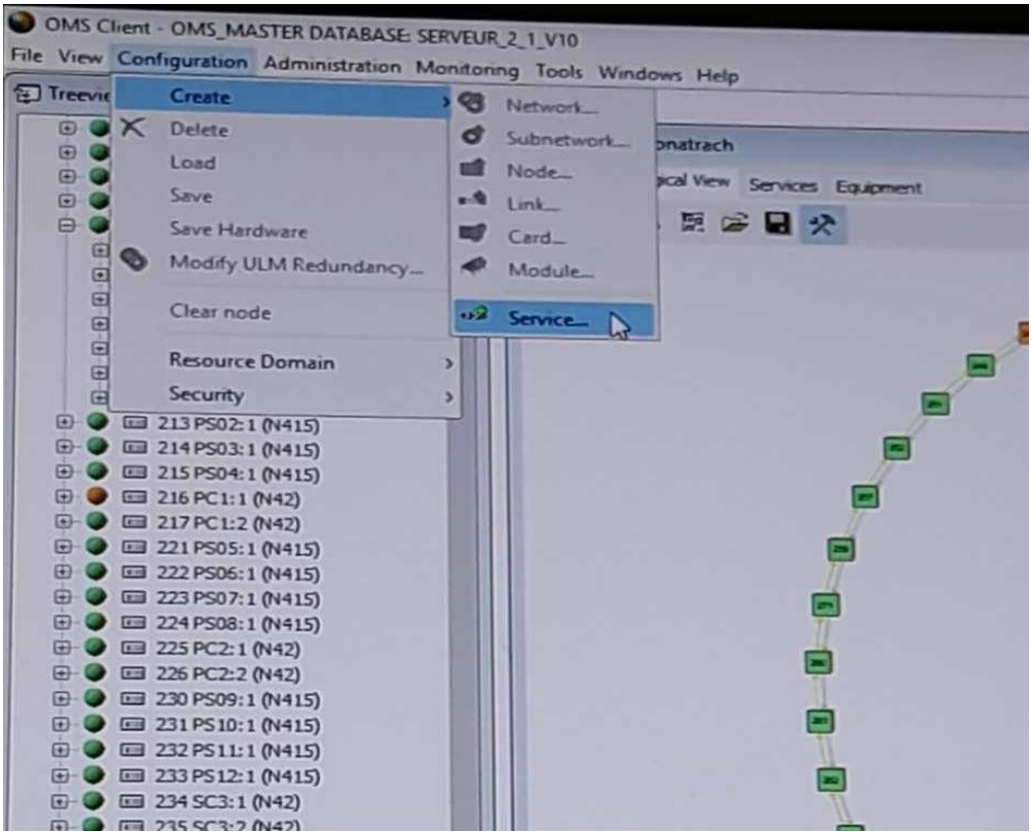



**Figure III-13 : configuration d'un réseau OTN**

### III.8.1 Création d'un réseau gère

Dans la fenêtre " create network ", nous saisissons un nom (obligatoire) et un fournisseur de services (optionnel) pour le réseau.

Le fournisseur de services réseau est l'administrateur du réseau géré.

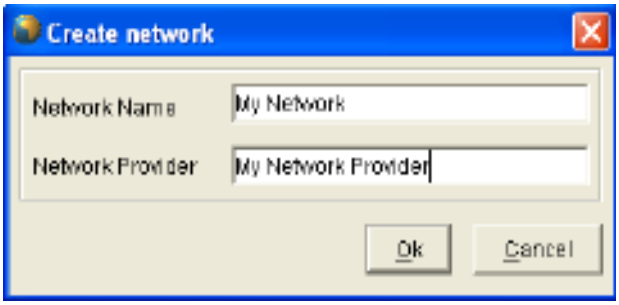



**Figure III-14 : création d'un réseau**

### III.8.2 Création du(s) sous-réseau(x) OTN-X3M

Une fenêtre intitulée " create subnetwork " s'ouvre. Nous y saisissons un nom (obligatoire) ainsi qu'un fournisseur de services (optionnel), en plus de spécifier un type de sous-réseau. Ensuite, nous cliquons sur le bouton "Détecter" pour rechercher le numéro de l'anneau dans l'OTN-X3M.

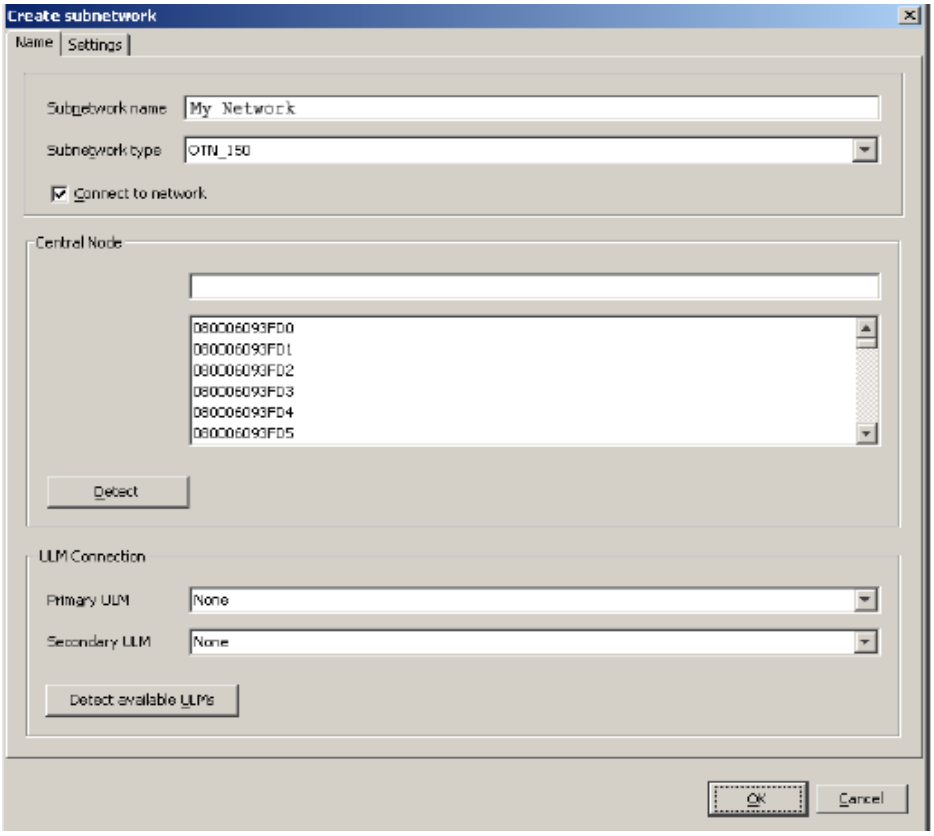



**Figure III-15 :création du sous réseau OTN**

### III.8.3 Création des nœuds dans le(s) sous-réseau(x) OTN-X3M

Dans un sous-réseau OTN, la capacité maximale varie selon le type : 250 nœuds pour OTN-Classic, 8999 pour OTN-X3M, et 9999 pour OTN_ETS_EXTERNAL. Chaque nœud dans le

sous-réseau OTN est identifié par un numéro unique allant de 1 à 250 pour OTN-Classic, et de 1 à 8999 pour OTN-X3M, ainsi qu'un nom unique.

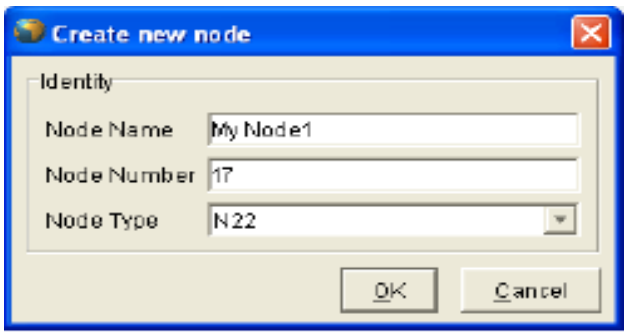
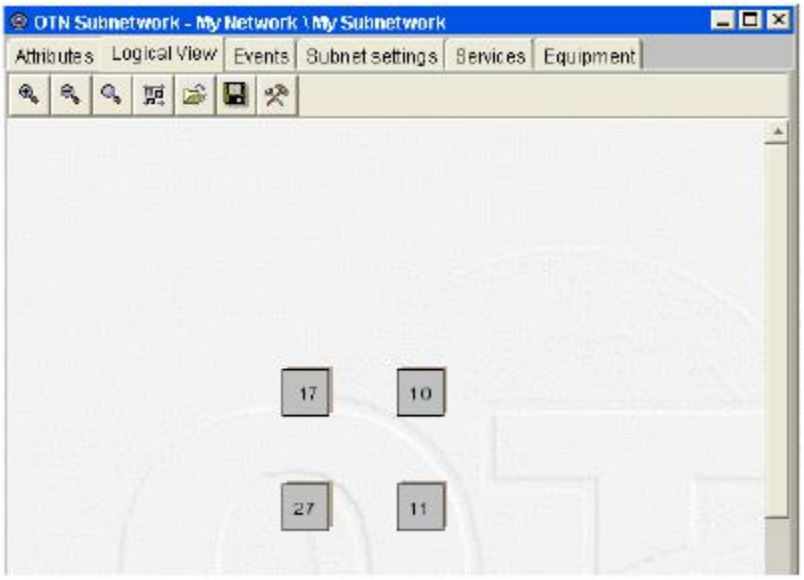



**Figure III-16 :création des nœuds**

Après la création de quelques nœuds, la représentation peut être la suivante (les nœuds ne sont pas encore reliés) :




Si nous travaillons hors ligne, tous les nœuds créés sont affichés en gris. Si nous travaillons en ligne, le nœud est coloré en vert, rouge ou orange. Le vert indique un nœud fonctionnant correctement, tandis que le rouge ou l'orange indique des problèmes.

### III.8.4 Création de la carte système dans les nœuds

Nous sélectionnons la position et le type de carte dans la liste déroulante et cliquons sur OK pour confirmer.

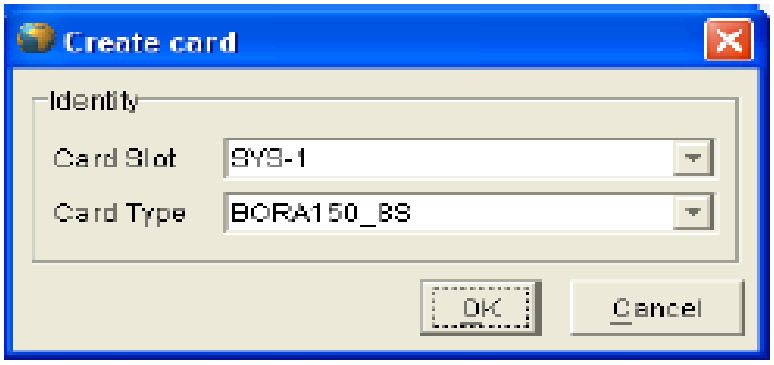



**Figure III-17 :création de la carte BORA**

### III.8.5 Création des modules d'émetteur-récepteur sur la carte système

De la même manière, nous accédons à la fenêtre "Create module". Nous sélectionnons la position du module dans la liste déroulante des positions de module (TRM-1 ou TRM-2) et le type de module dans la liste déroulante des types de modules.

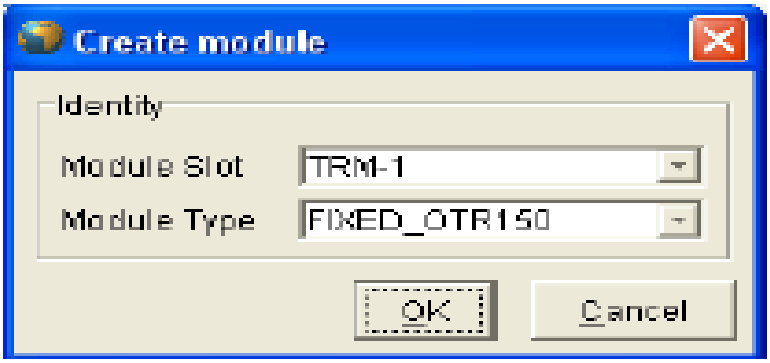



**Figure III-18 :création de module émetteur-récepteur**

### III.8.6 Création des cartes et des modules d'interface dans les nœuds

Nous accédons à la fenêtre "Create card". Nous sélectionnons la position de la carte et le type de carte dans la liste déroulante des types de cartes. Ensuite, nous cliquons sur OK pour confirmer ou sur Cancel pour arrêter l'opération.

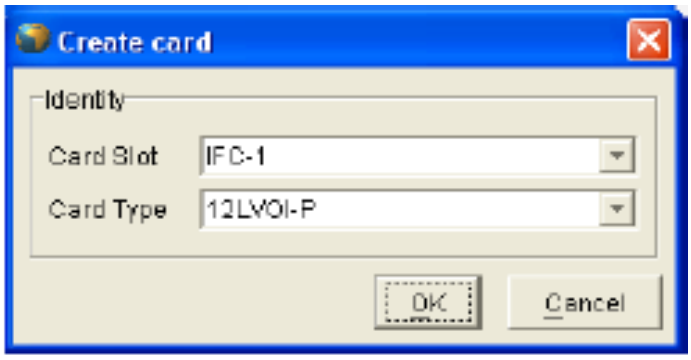



**Figure III-19 : création de la carte d'interface**

### III.8.7 Création de l'alimentation (une ou deux) dans les nœuds

Dans la fenêtre 'Create card', nous sélectionnons PSU1 ou PSU2 dans la liste déroulante des positions de carte, puis nous choisissons le type de carte dans la liste déroulante des types de cartes

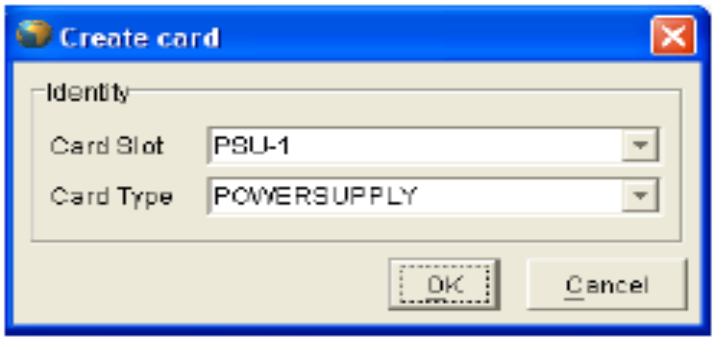



**Figure III-20 : création de l'alimentation**

### III.8.8 Création des liaisons entre les nœuds

Les liaisons peuvent être créées manuellement ou automatiquement.

**Création de liaison manuelle :**

Dans la fenêtre " create links ", la partie gauche représente la source de l'anneau primaire et le point de terminaison de l'anneau secondaire. La partie droite, quant à elle, représente la source de l'anneau secondaire et le point de terminaison de l'anneau primaire.

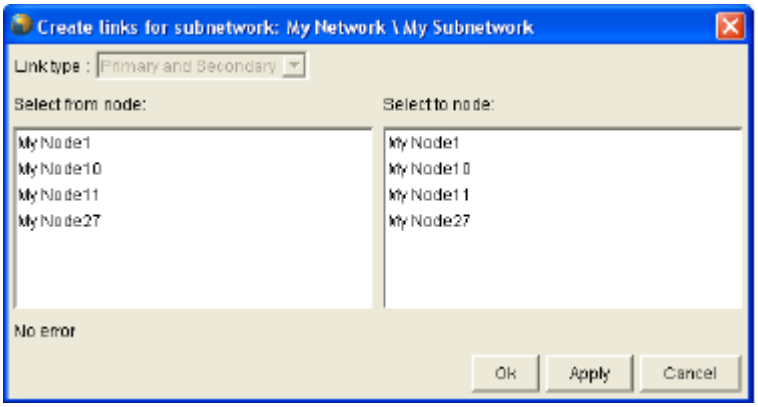
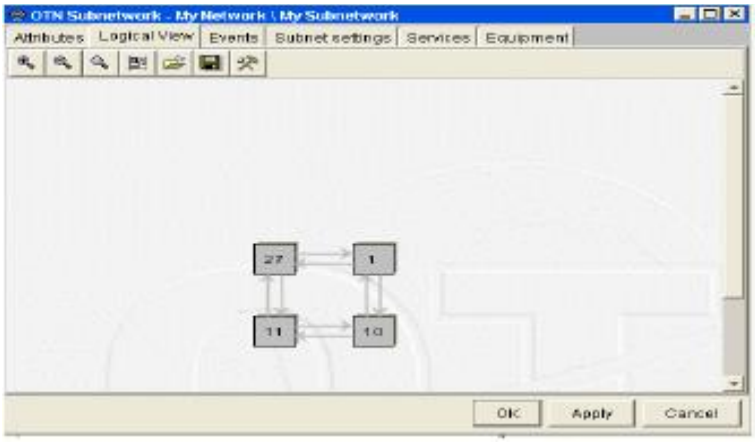



**Figure III-21 : création de liaison**

Pour créer des liaisons, nous sélectionnons les deux nœuds de terminaison, tels que Nœud 10 (From node) et Nœud 11 (To node). Nous répétons cette étape pour chaque paire de nœuds jusqu'à ce que tous les nœuds soient reliés entre eux.

Si toutes les connexions sont correctement configurées, le message "No error" s'affiche en bas de la fenêtre.




Une fois le réseau opérationnel, l'OMS est capable de détecter instantanément la présence d'un nœud ou d'une carte d'interface nouvellement ajouté(e) dans le réseau existant. Cette détection se matérialise par l'apparition du nœud ou de la carte d'interface dans la représentation arborescente de l'OMS, quelques secondes seulement après l'ajout de l'élément au réseau.

## III.9 Configuration des services dans l'OMS

Un service OTN désigne une connexion qui utilise l'infrastructure du réseau OTN. Ces services sont variés et incluent notamment la transmission de voix, de données et de vidéo. Pour

accéder au réseau OTN, les services sont acheminés à travers les ports disponibles sur une carte d'interface dans un nœud, puis ils quittent le réseau via les ports d'une carte d'interface située dans un autre nœud ou plusieurs nœuds.

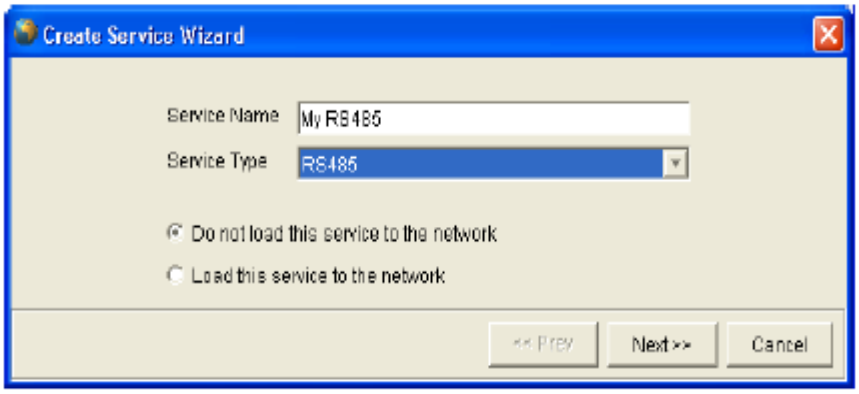



**Figure III-22 :création des services**

## III.10 Représentation d'arborescence de réseau Sonatrach

La représentation arborescente facilite la navigation rapide à travers la structure du réseau et permet une localisation efficace des erreurs. Elle affiche tous les éléments de réseau configurés, qu'ils soient présents ou non, ainsi que les éléments non configurés détectés, depuis le réseau géré jusqu'aux ports. Cependant, les liaisons et les services ne sont pas inclus dans cette représentation arborescente du réseau.

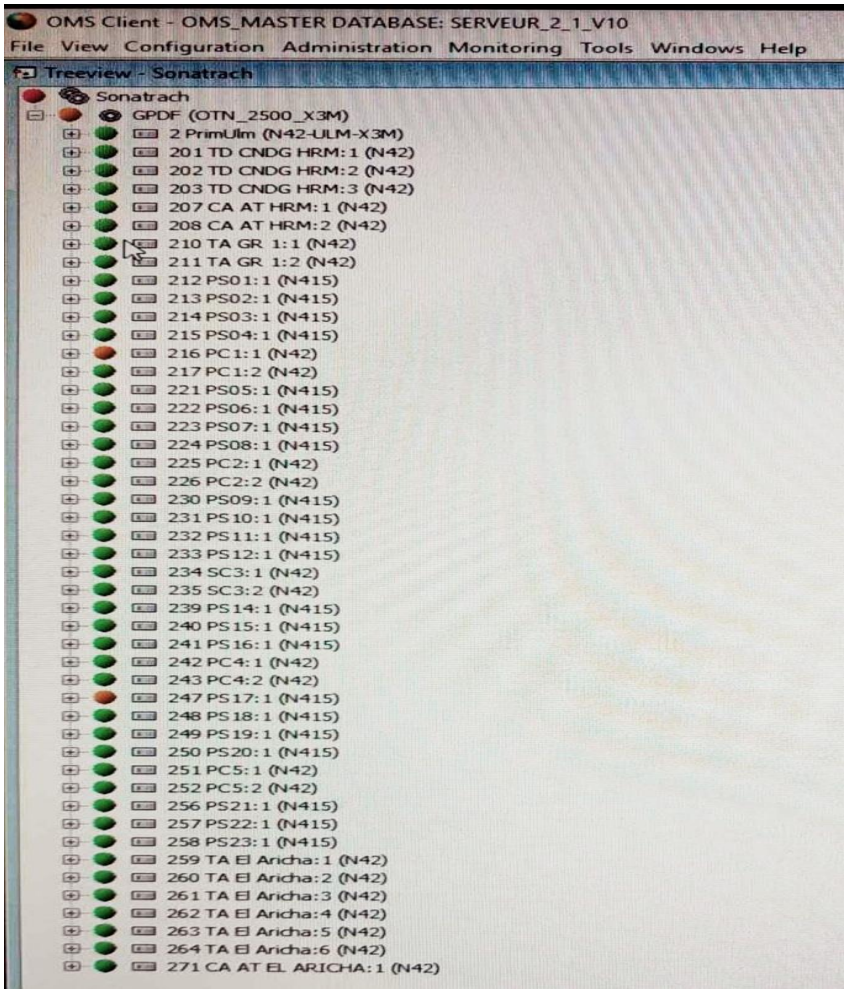



**Figure III-23 : Représentation d'arborescence de réseau**

### III.10.1 Indicateurs d'état

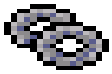
| Symbole | Description |
|---|---|
| | (Standard : gris) L'état de l'élément de réseau est inconnu. Nous travaillons hors ligne ou l'élément de réseau n'est pas présent. |
| | (Standard : vert) L'élément de réseau et les éléments sous-jacents sont en service. |
| | (Standard : rouge) L'élément de réseau ou l'un de ses composants sous-jacents présente une ou plusieurs alarmes majeures actives. |

| | |
|---|---|
| | (Standard : orange) L'élément de réseau ou l'un de ses composants sous-jacents présente une ou plusieurs alarmes mineures actives. |

### III.10.2 Symboles fixes

La table suivante comporte les symboles fixes qui représentent les éléments de réseau dans la représentation d'arborescence de réseau/domaine de ressource.

**Tableau III-1 : symboles fixes dans la représentation d'arborescence de réseau**

| Symbole | Description |
|---|---|
|  | Réseau géré |
| | Sous-réseau |
| | Nœud |
| | Carte d'interface |
| | Module |
| | Port |
| | Domaine de ressource |
| | Élément de réseau avec uniquement des droits de surveillance ('Monitor'). Ces droits d'accès peuvent être réglés dans l'outil de gestion des utilisateurs. |

## III.11 Représentations d'élément de réseau

Une représentation d'un élément de réseau se compose de plusieurs fenêtres à onglets, chacune montrant différents aspects de cet élément de réseau.

En général, la représentation d'un élément de réseau comprend les onglets suivants :

### III.11.1 La représentation logique de réseau

Cette représentation logique du réseau affiche tous les nœuds des différents sous-réseaux et offre un outil graphique permettant de créer des connexions entre ces nœuds.

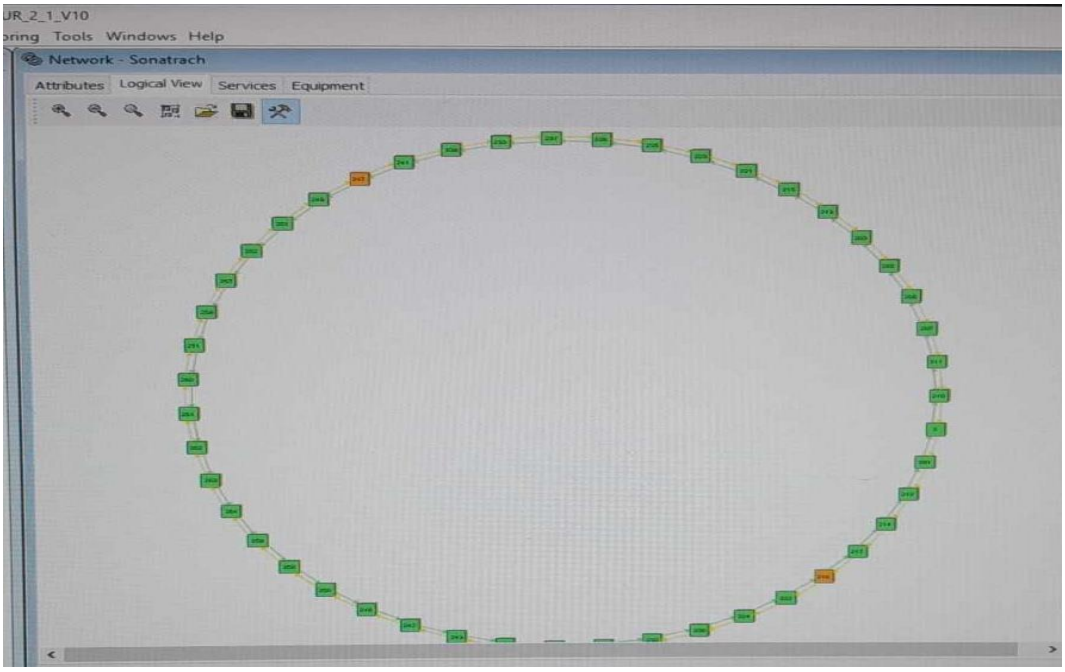



**Figure III-24 : représentation logique de réseau**

### III.11.2 Onglet Equipement

Cet onglet contient une table répertoriant tous les éléments de sous-réseau inclus dans l'élément de réseau. Par exemple, pour un nœud, toutes les cartes configurées y sont affichées.

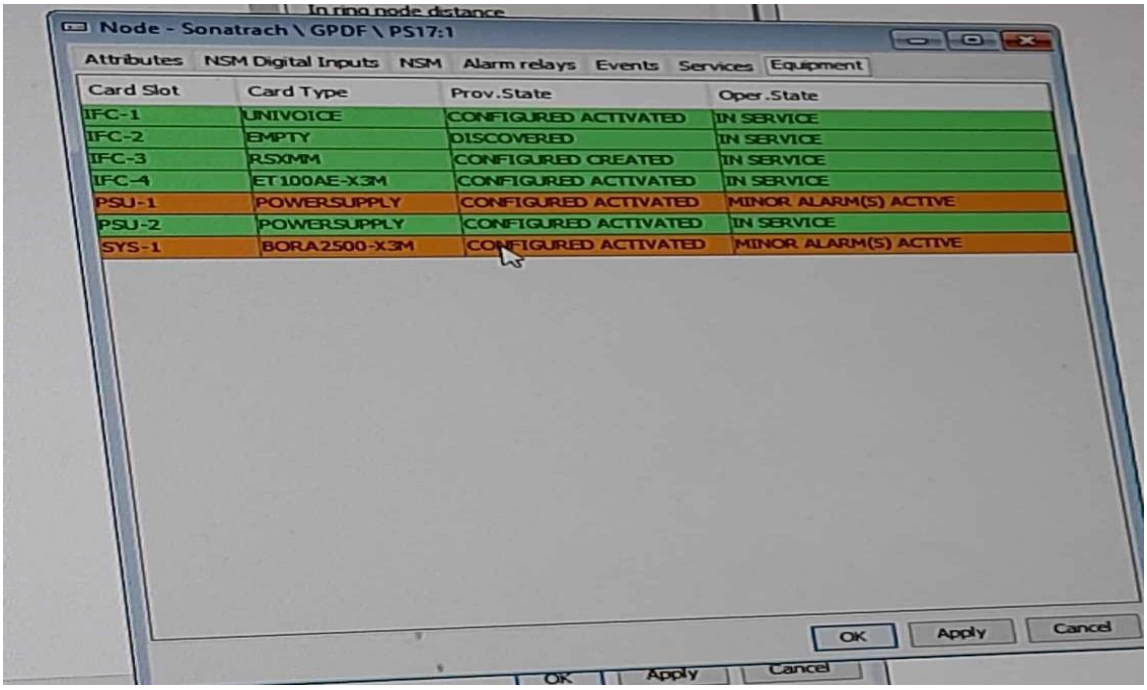



**Figure III-25 : onglet equipement**

**Card Slot**: Il Indique l'emplacement spécifique dans lequel une carte d'interface/système/alimentation/auxiliaire est insérée.

**Card Type**: Il spécifie le type de carte, qu'il s'agisse d'une carte d'interface, de système, d'alimentation ou auxiliaire.

**Prov.State**: Cela indique l'état actuel du provisionnement du réseau OTN. Les valeurs possibles incluent 'DÉCOUVERT', 'CONFIGURÉ CRÉÉ', 'CONFIGURÉ ACTIVÉ'.

**Oper.State:** Cela indique l'état actuel opérationnel du réseau OTN. Les valeurs possibles comprennent ' IN SERVICE', 'MAJOR ALARM(S) ACTIVE', 'MINOR ALARM(S) ACTIVE', 'UNKNOWN'.

### III.11.3 Onglet Services

Cet onglet présente tous les services présents dans le réseau.

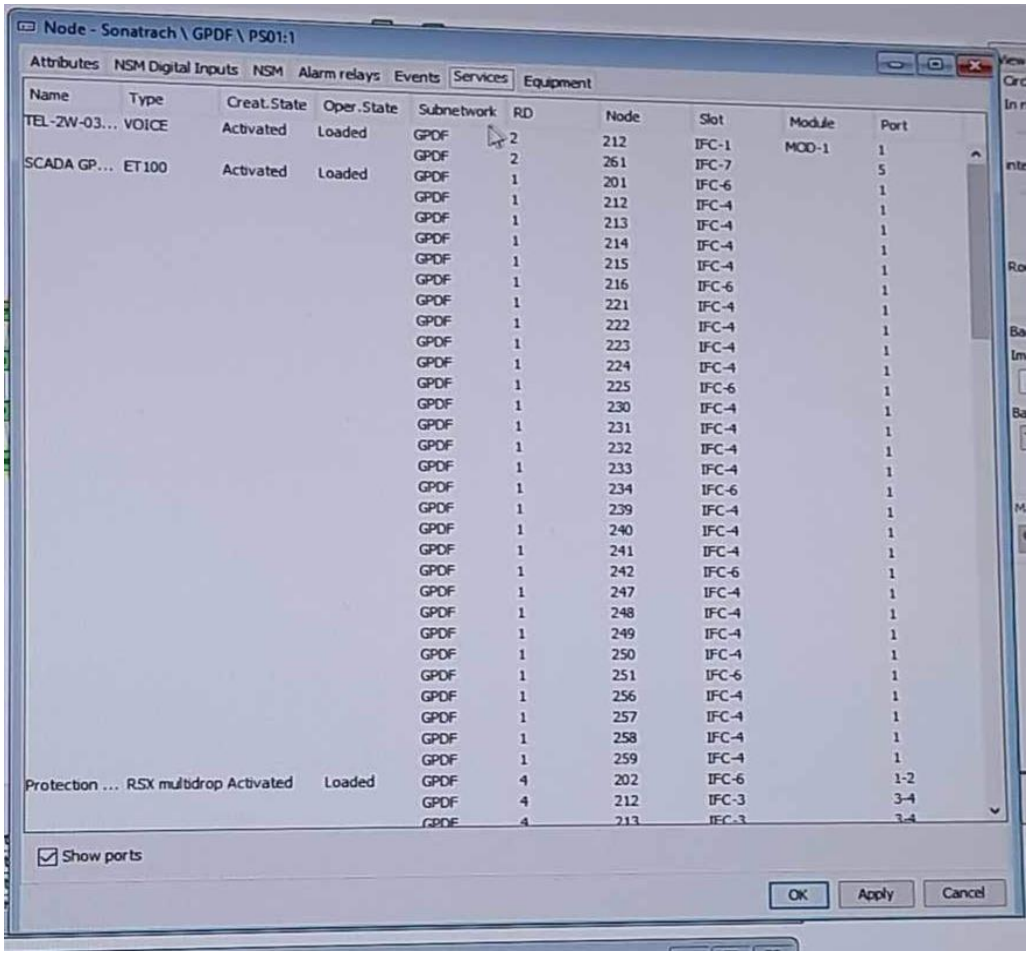



**Figure III-26 : onglet services**

- **Name** : indique le nom du service attribué lors de sa création.
- **Type** : spécifie le type de service, par exemple VOICE, ET100, etc.
- **Creat.State** : montre l'état de création du service, qui peut être en ligne (Activated) dans le réseau OTN/OTN-X3M ou uniquement hors ligne (Reserved) dans la base de données OMS.
- **Oper.State**: indique l'état opérationnel du service. Les valeurs possibles sont : 'Failed', Loaded', 'Not Loaded'.
- **Subnetwork** : indique le sous-réseau où le service est créé.
- **RD** : présente le numéro du domaine de ressource où le service est actif.
- **Node** : indique le nœud où le service est créé.
- **Slot** : montre l'emplacement de la carte d'interface où le service est créé.
- **Module** : indique le module où le service est créé ; 'na' signifie que le module n'est pas encore disponible.
- **Port** : spécifie les ports sur la carte d'interface où le service est créé.

## III.12 Surveillance du réseau sonatrach en service

L'OMS enregistre les événements et les alarmes, qui sont systématiquement rapportés à l'interface graphique utilisateur (GUI) de l'OMS. Cependant, le PC OMS n'est pas toujours connecté au réseau et peut être utilisé à d'autres fins. Lorsqu'il n'est pas connecté, le réseau n'est plus surveillé et les alarmes éventuelles ne sont plus signalées.

Chaque alarme ou événement est associé à un niveau de gravité pour indiquer son importance.

### III.12.1 Les Evénements

Les événements sont enregistrés dans une base de données cyclique. Il existe plusieurs types d'événements, notamment :

- **Événements de configuration** : qui concernent la configuration, tels que la création, la suppression ou la détection de configurations.
- **Événements de service** : qui impliquent des actions sur les services, comme la création, la réservation, l'activation ou la suppression de services.
- **Événements de supervision** : qui comprennent différents scénarios, tels que le déclenchement et la gestion des alarmes, la découverte ou la perte de détection, ainsi que la gestion des alarmes majeures ou mineures actives.

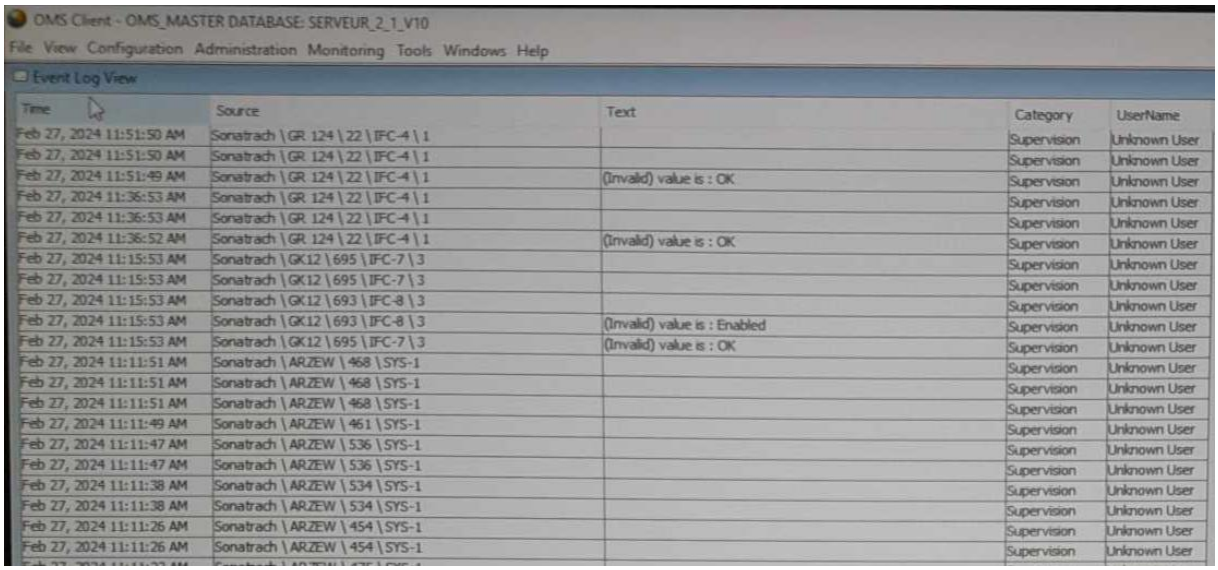


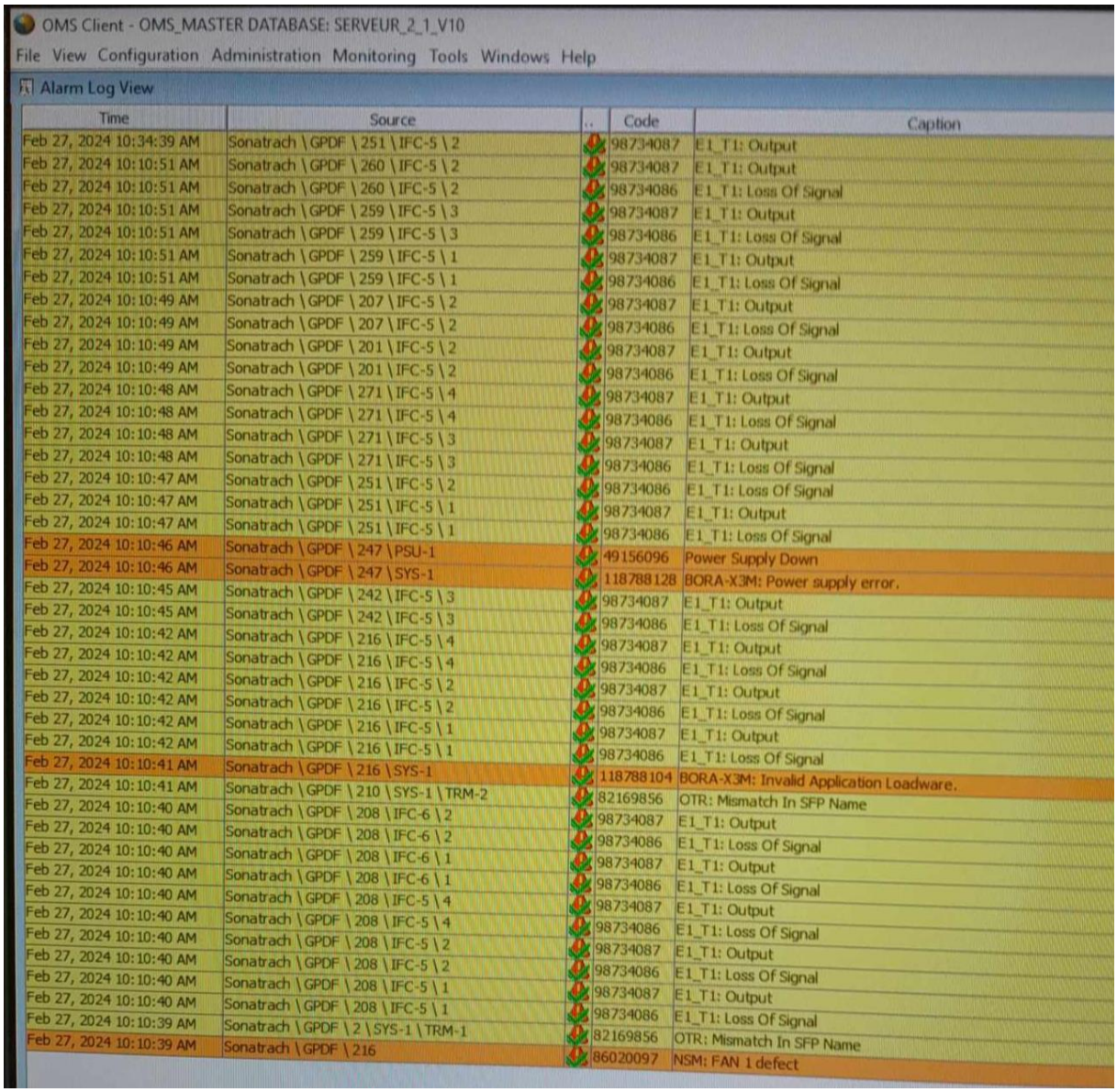

**Figure III-27 : Les événements**

### III.12.2 Les alarmes

Les alarmes ne sont pas conservées de manière permanente dans le système. En cas d'arrêt de l'OMS, toutes les alarmes existantes sont perdues. Si les problèmes à l'origine de ces

alarmes persistent, de nouvelles alarmes seront générées après le redémarrage du système. La liste des alarmes est continuellement mise à jour pour refléter l'état actuel du système.

Ces systèmes d'alarme permettent de surveiller en temps réel l'état du réseau et d'intervenir rapidement en cas de dysfonctionnement, assurant ainsi une disponibilité et une fiabilité optimales.




| Time | Source | .. | Code | Caption |
|---|---|---|---|---|
| Feb 27, 2024 10:34:39 AM | Sonatrach \ GPDF \ 251 \ IFC-5 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:51 AM | Sonatrach \ GPDF \ 260 \ IFC-5 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:51 AM | Sonatrach \ GPDF \ 260 \ IFC-5 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:51 AM | Sonatrach \ GPDF \ 259 \ IFC-5 \ 3 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:51 AM | Sonatrach \ GPDF \ 259 \ IFC-5 \ 3 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:51 AM | Sonatrach \ GPDF \ 259 \ IFC-5 \ 1 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:51 AM | Sonatrach \ GPDF \ 259 \ IFC-5 \ 1 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:49 AM | Sonatrach \ GPDF \ 207 \ IFC-5 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:49 AM | Sonatrach \ GPDF \ 207 \ IFC-5 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:49 AM | Sonatrach \ GPDF \ 201 \ IFC-5 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:49 AM | Sonatrach \ GPDF \ 201 \ IFC-5 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:48 AM | Sonatrach \ GPDF \ 271 \ IFC-5 \ 4 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:48 AM | Sonatrach \ GPDF \ 271 \ IFC-5 \ 4 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:48 AM | Sonatrach \ GPDF \ 271 \ IFC-5 \ 3 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:48 AM | Sonatrach \ GPDF \ 271 \ IFC-5 \ 3 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:47 AM | Sonatrach \ GPDF \ 251 \ IFC-5 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:47 AM | Sonatrach \ GPDF \ 251 \ IFC-5 \ 1 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:47 AM | Sonatrach \ GPDF \ 251 \ IFC-5 \ 1 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:46 AM | Sonatrach \ GPDF \ 247 \ PSU-1 | | 49156096 | Power Supply Down |
| Feb 27, 2024 10:10:46 AM | Sonatrach \ GPDF \ 247 \ SYS-1 | | 118788128 | BORA-X3M: Power supply error. |
| Feb 27, 2024 10:10:45 AM | Sonatrach \ GPDF \ 242 \ IFC-5 \ 3 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:45 AM | Sonatrach \ GPDF \ 242 \ IFC-5 \ 3 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:42 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ IFC-5 \ 4 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:42 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ IFC-5 \ 4 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:42 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ IFC-5 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:42 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ IFC-5 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:42 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ IFC-5 \ 1 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:42 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ IFC-5 \ 1 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:41 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 \ SYS-1 | | 118788104 | BORA-X3M: Invalid Application Loadware. |
| Feb 27, 2024 10:10:41 AM | Sonatrach \ GPDF \ 210 \ SYS-1 \ TRM-2 | | 82169856 | OTR: Mismatch In SFP Name |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-6 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-6 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-6 \ 1 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-6 \ 1 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-5 \ 4 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-5 \ 4 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-5 \ 2 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-5 \ 2 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-5 \ 1 | | 98734087 | E1_T1: Output |
| Feb 27, 2024 10:10:40 AM | Sonatrach \ GPDF \ 208 \ IFC-5 \ 1 | | 98734086 | E1_T1: Loss Of Signal |
| Feb 27, 2024 10:10:39 AM | Sonatrach \ GPDF \ 2 \ SYS-1 \ TRM-1 | | 82169856 | OTR: Mismatch In SFP Name |
| Feb 27, 2024 10:10:39 AM | Sonatrach \ GPDF \ 216 | | 86020097 | NSM: FAN 1 defect |

**Figure III-28 : les alarmes.**

**Sévérité des alarmes :**

Les alarmes sont codées par couleur selon leur niveau de sévérité :

- Rouge : Indique une alarme majeure ou critique.
- Orange : Signale une alarme mineure.
- Jaune : Avertissement, indiquant que l'élément du réseau est toujours opérationnel.

## III.13 Présentation de l'entreprise SONELGAZ

La Société Nationale de l'Électricité et du Gaz (SONELGAZ) a été fondée en 1969, remplaçant ainsi la Société de l'Électricité et du Gaz d'Algérie (E.G.A), créée suite aux lois françaises de nationalisation de 1947.

SONELGAZ a pour mission de fournir à ses abonnés l'énergie électrique et le gaz à travers ses centrales électriques, ses réseaux et ses postes de transformation. Ces énergies sont aujourd'hui indispensables au développement économique, au progrès technique et au bien-être des citoyens algériens. En tant que société nationale, SONELGAZ détient le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz naturel sur l'ensemble du territoire.

### III.13.1 Etude de projet

Ce projet de déploiement du réseau de transmission optique vise à relier et établir une connexion entre l'agence commerciale Remchi et la direction SONELGAZ, tout en fournissant une connectivité à haut débit et fiable.

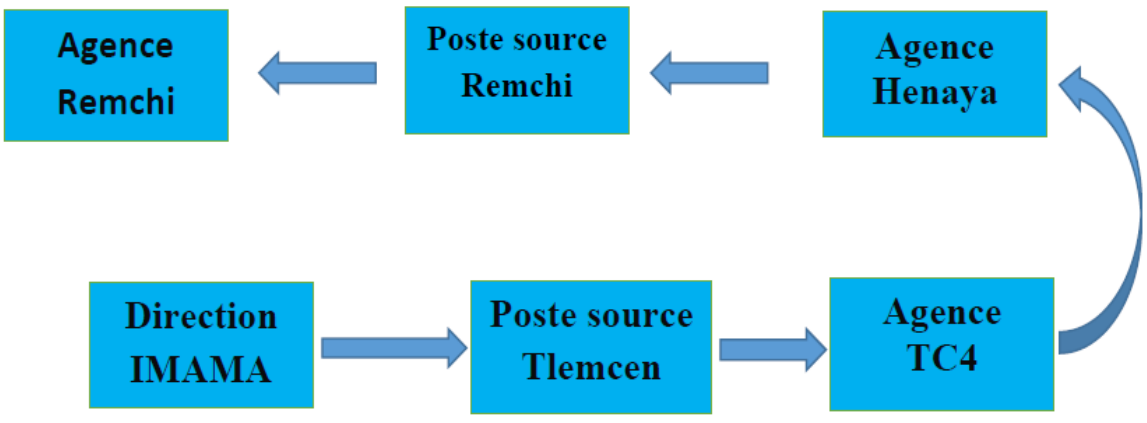



**Figure III-29 : Architecture de la liaison**

Cette section est composée de deux éléments clés :

- **Avis Technique :** Un avis technique constitue une étape essentielle pour vérifier la conformité et la qualité d'un projet de travaux. Il est souvent requis pour obtenir les autorisations et permis nécessaires.
- **Cahier des Charges :** Le cahier des charges, également appelé CDC, est un document élaboré lors de la phase de cadrage d'un projet. Il définit les conditions et les spécifications techniques, juridiques et financières d'un projet, notamment dans le domaine de la fibre optique (génie civil, soufflage, raccordement et tests)

### III.13.2 Les travaux du génie civil

#### *III.13.2.1 Signalisation et sécurisation du chantier*

Lors de la pose de câbles de fibre optique souterrains, la signalisation et la sécurisation du chantier sont essentielles pour garantir la sécurité des travailleurs et du public. Cela comprend :

- La coordination avec les autorités locales.
- L'utilisation de panneaux de signalisation indiquant la nature des travaux en cours.
- La clôture du chantier.
- L'installation d'un bon éclairage.
- Le marquage des zones de danger.
- La formation du personnel.

#### *III.13.2.2 L'ouverture de tranchée*

Il s'agit d'une fouille longitudinale dont les dimensions sont déterminées en fonction de la nature du sol et de l'importance des canalisations et ouvrages à établir. Le tracé doit être conçu de manière à préserver les diverses canalisations présentes dans le sous-sol.

Deux solutions techniques de mise en œuvre sont envisagées pour permettre la réalisation des travaux : la première repose sur des techniques de déploiement traditionnelles couramment utilisées, tandis que la seconde consiste en la création de micro-tranchées spécifiquement dédiées aux réseaux de fibres optiques.

**Technique 1 :** tranchée classique

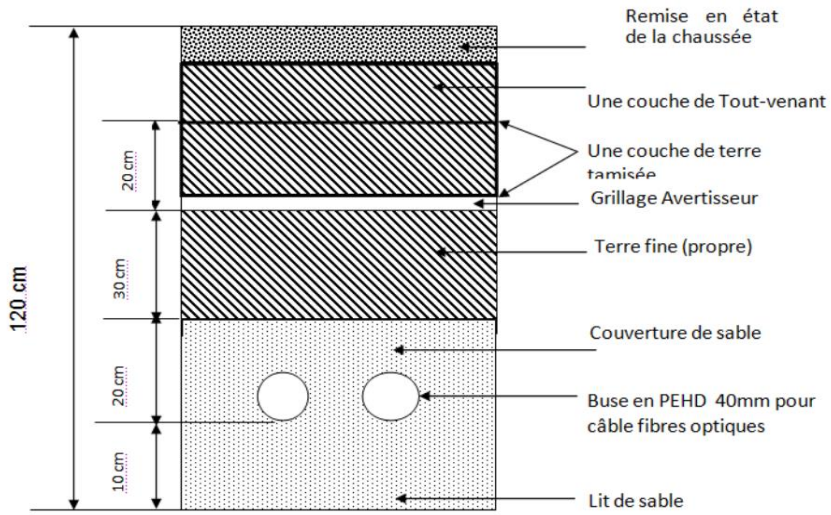



**Figure III-30 : tranchée classique**

**Technique 2** : Micro tranchée

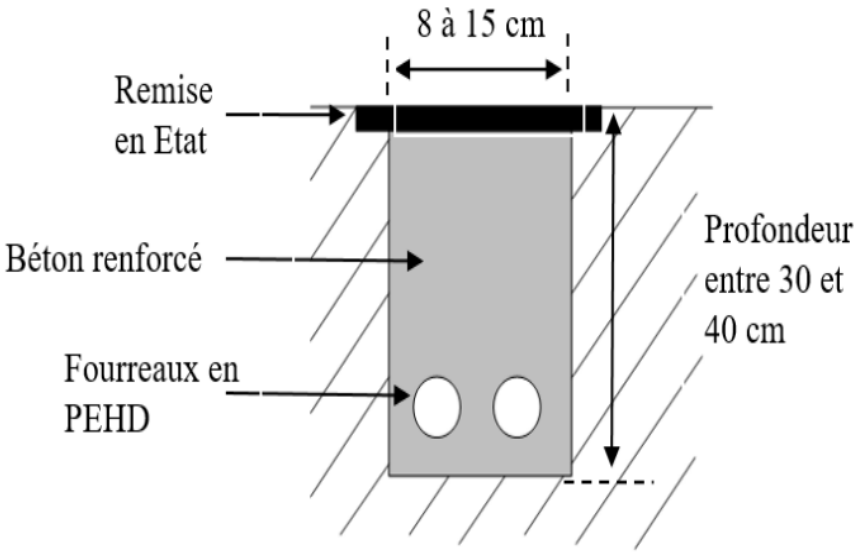



**Figure III-31 : micro tranchée**

***III.13.2.3Mise en place des tubes PEHD***

Les gaines ou fourreaux en PEHD (polyéthylène haute densité) sont fréquemment utilisés pour protéger les câbles de fibre optique. Ces gaines offrent une isolation électrique,

une résistance chimique et une grande durabilité, ce qui en fait un choix courant pour les installations de câblage souterrain.

**Figure III-32 :tube PEHD**

### *III.13.2.4Signalisation*

Un grillage de signalisation vert sera posé à 50 cm au-dessus des tubes en PEHD dans le cas d'une tranchée classique. Ce grillage, également appelé grillage avertisseur, a pour rôle de marquer la présence de réseaux enterrés lors des travaux publics, afin de prévenir tout dommage accidentel. Généralement en plastique et doté de larges mailles, sa couleur verte indique qu'il s'agit d'un réseau de télécommunications enfoui, permettant ainsi aux ouvriers de travailler en toute sécurité.

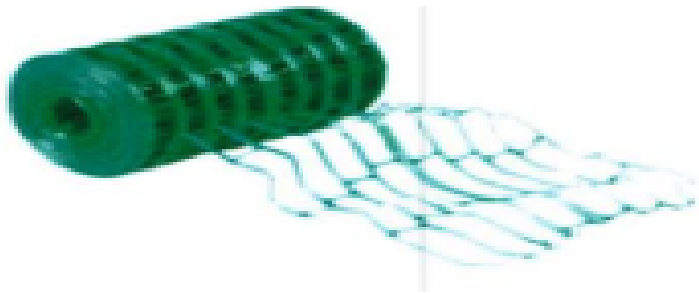


**Figure III-33 : grillage de signalisation**

### *III.13.2.5 Les chambres*

Les chambres sont conçues pour faciliter le tirage ou le raccordement du câble à fibre optique d'un seul tenant, de manière ininterrompue sur toute la longueur de la liaison.

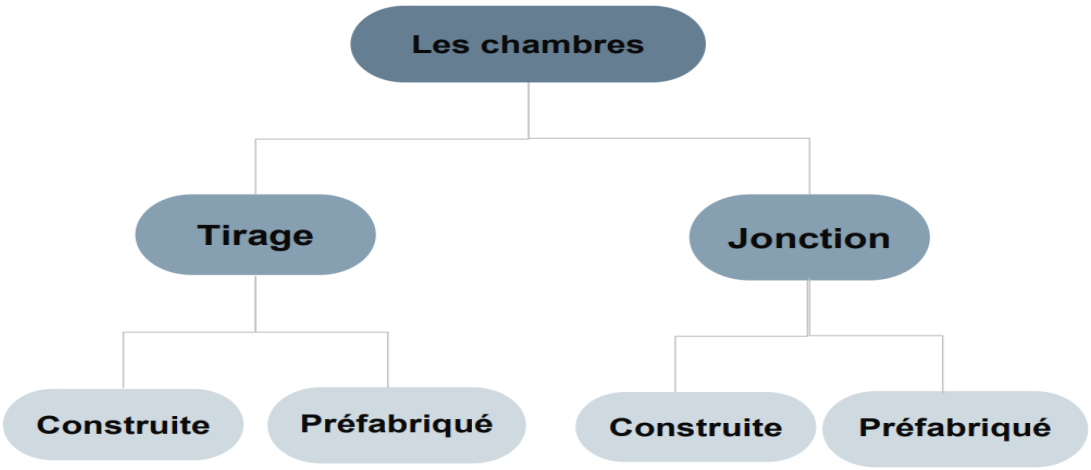



**Figure III-34 : les types des chambres**

## 1. Chambres de tirage

Il est prévu la réalisation d'une chambre de tirage en moyenne, tous les 800 m et à chaque angle. Les tronçons de tubes ainsi posés, d'une chambre de tirage à l'autre, doivent avoir à chaque extrémité un bouchon qui assure leur parfaite étanchéité pour les deux conduites avant la pose du câble fibre Optique. La chambre de tirage doit être équipée par un support de fixation pour le mou du câble Fibre Optique.

- Chambre de tirage construite : Les chambres de tirage en béton armé seront exécutées conformément aux plans d'exécution fournis par le cocontractant.
- Chambre de tirage préfabriquée : Les chambres préfabriquées sont équipées de masques avec pré-trous pré-positionnés pour les fourreaux, elles assurent une rapidité de pose aux entreprises. Ces dernières sont résistantes et indéformable avec le temps.

La pose des chambres préfabriquées se déroule selon les étapes suivantes :

1. Déposer un lit de sable de 10 cm au fond du trou pour assurer une base stable et propre.
2. Centrer la chambre au fond de la fouille en laissant environ 20 cm de sable sur les quatre côtés.
3. Insérer les fourreaux sans joint dans la chambre.
4. Couler du béton à l'extérieur pour fixer les fourreaux dans la tranchée.
5. Remblayer autour de la chambre avec du sable ou des matériaux similaires.

Ces différentes étapes garantissent une installation correcte des chambres préfabriquées

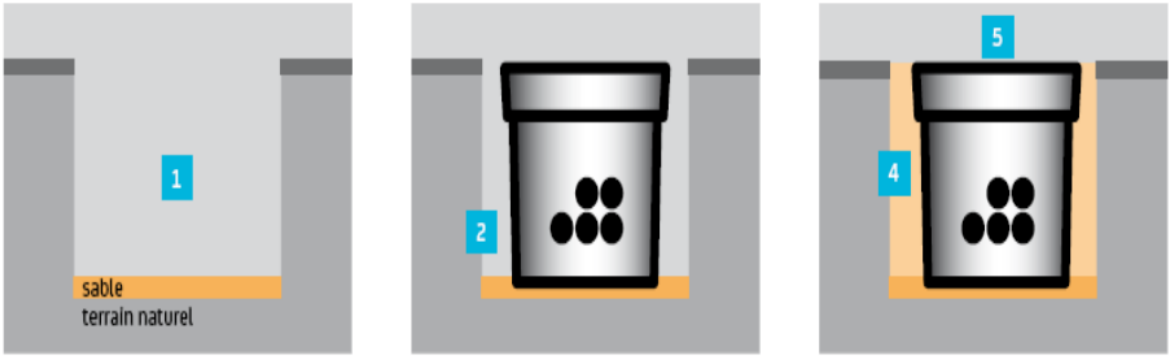



**Figure III-35 :l'installation des chambres**

## 2. Chambres de junction :

Les chambres de jonction en béton armé renforcé sont prévues pour faciliter le raccordement des câbles à fibres optiques afin de garantir la continuité de la liaison. Bien qu'elles soient généralement espacées en moyenne de 5000 mètres, cette distance peut être ajustée selon les besoins. Ces chambres de jonction doivent être construites en utilisant des moules métalliques.

### *III.13.2.6 Remise en état*

Le cocontractant est tenu de remettre la chaussée, trottoir ou espace vert dans l'état où il l'a trouvée, conformément aux dispositions en matière de voirie. La remise en état doit être faite au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

### *III.13.2.7 Repérage des chambres*

Afin de faciliter l'exploitation de l'infrastructure, des étiquettes en tôle inoxydable frappée devront être mise en place dans chaque chambre. Chaque dalle de chambre doit porter le logo. Les coordonnées GPS des chambres doive être mentionnées sur les plans conformes.

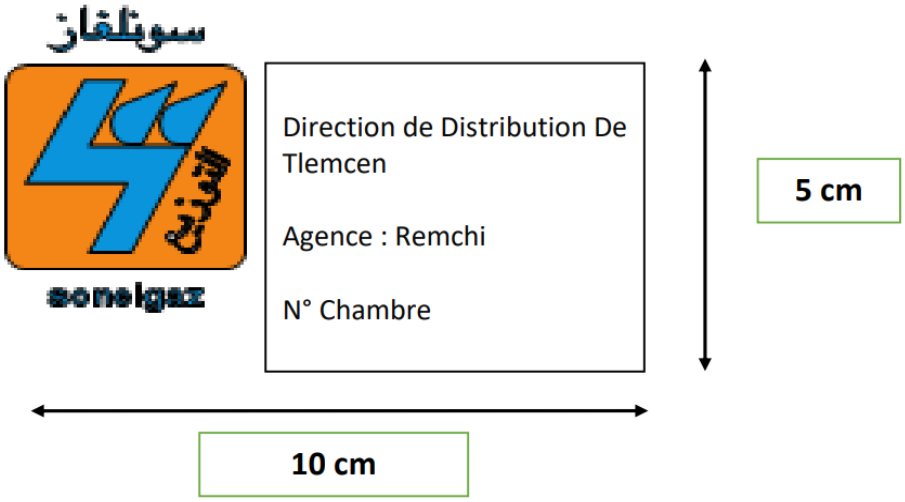



**Figure III-36 : repérage des chambres.**

### *III.13.2.8 Nettoyage et contrôle des fourreaux*

A la fin des travaux de Génie Civil, un contrôle de fourreaux (PEHD) est exécuté. Il permet de vérifier la possibilité du tirage des câbles FO.

- **Quelques images réelles**

### III.13.3 Travaux de déploiement du câble a fibre optique

Le soufflage de câble par air sous pression est un processus d'installation d'un câble, tel qu'un câble à fibre optique, dans un conduit existant à l'aide d'air sous pression. La procédure consiste à attacher une extrémité du câble à une tête de soufflage, qui est ensuite insérée dans une extrémité du conduit. De l'air sous pression est ensuite introduit dans le conduit, poussant le câble à travers le conduit jusqu'à ce qu'il sorte par l'autre extrémité. Cette méthode permet la pose de grandes longueurs de fibres optiques en souterrain, offrant un gain de temps considérable par rapport à la méthode conventionnelle de tirage des câbles

Le cocontractant utilisera l'une des techniques suivantes dans l'ordre ci-dessous :

- Soufflage/portage à l'air
- Soufflage/tirage
- Tirage manuel

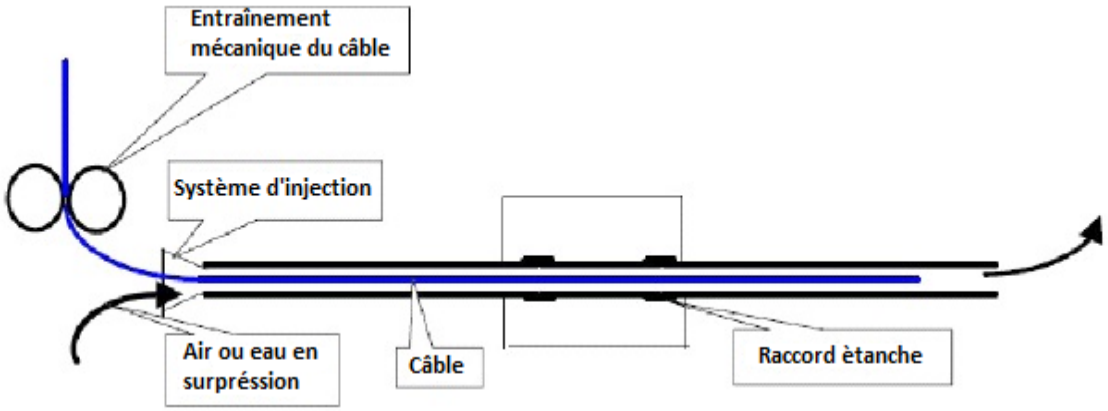



**Figure III-37: Le soufflage de câble**

## III.13.4 Travaux de raccordement

### *III.13.4.1 Épissurage*

Le cocontractant devra prendre toutes les dispositions nécessaires afin que cette opération se déroule dans les meilleures conditions d'hygiène, dans le but d'obtenir le minimum d'atténuation pour chaque fibre lors de l'opération d'épissurage. L'atténuation maximale tolérée pour chaque épissure ne doit pas excéder les 0,05 dB (Valeur affichée par la soudeuse pour chaque épissure réalisée).

**Figure III-38 : soudeuse**

### *III.13.4.2 Boites de jonction*

Les boîtes de jonction sont utilisées pour protéger les épissures et les connexions de fibres optiques. Elles offrent un environnement sûr pour les fibres afin de minimiser la perte de signal et de protéger contre les éléments environnementaux.

**Figure III-39 : Boites de jonction**

## III.13.5 Les équipements d'extrémité

### *III.13.5.1 Panneau de brassage*

Un panneau de brassage est un dispositif utilisé dans les réseaux informatiques pour organiser les connexions des câbles. Cela permet de simplifier la configuration et la maintenance du réseau en regroupent les câbles dans un seul emplacement.

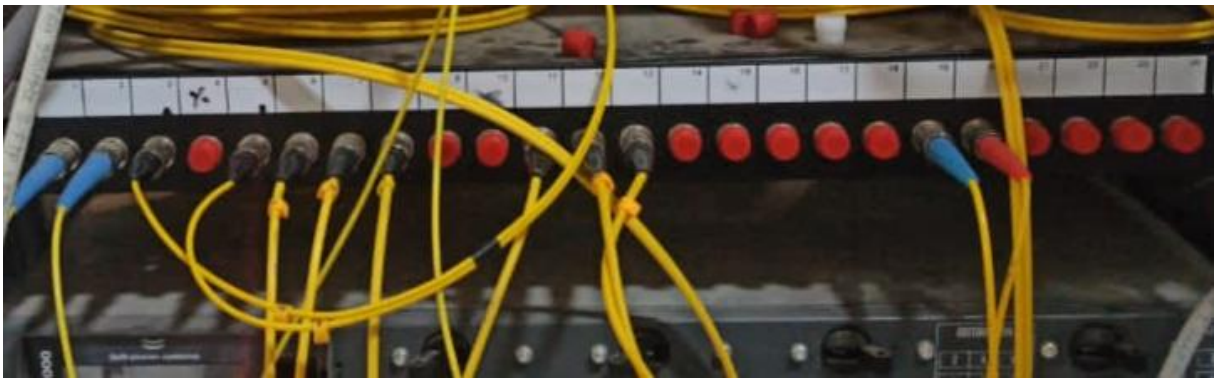


**Figure III-40 :panneau de brassage**

### *III.13.5.2 Jarretières fibre optique*

Sont des cordons fabriqués avec des connecteurs standard, seront utilisés pour réaliser la connexion patch-patch et/ou patch-équipement réseau.

**Figure III-41 : Jarretières fibre optique**

### *III.13.5.3 Le Multiplexeur*

Le multiplexeur joue un rôle crucial dans les réseaux de télécommunications synchrones. Ses principales fonctions comprennent la multiplication temporelle et la gestion des signaux optiques à haut débit. Il permet de combiner plusieurs signaux de données à des débits plus bas en un seul signal à débit plus élevé.

**Figure III-42 : multiplexeur (type SDH Sagem ADR 155 c)**

## III.13.6 Test et mise en service de la liaison fibre optique

- Le calcul du bilan optique d'une liaison se fait généralement à deux langueurs d'ondes (pour la monomode 1310 nm,1550nm).

- Les valeurs pratiques du bilan (pertes de la liaison seront extrait des traces réflectomètres (OTDR)).
- Les tests seront réalisés en deux sens, en amont (A vers B) et en aval (B vers A).
- Afin de valider le brin concerné, la valeur de perte pratique sera comparée au seuil théorique.

**Figure III-43 : réflectomètres (OTDR)**

**Calcul du Bilan optique de la liaison :**

Perte de lien(dB)= perte du câble + perte des connecteurs + perte de épissures

| | 1310 nm | 1550 nm |
|---|---|---|
| Câble F. O | | |
| Longueur physique (Km) (1) | 24.7 | 24.7 |
| Affaiblissement max (dB/km) (2) | 0.36 | 0.22 |

| | | |
|---|---|---|
| Fusion / Epaisseur | | |
| Nombre à l'installation (3) | 10 | 10 |
| Aff Max / épis (dB) (4) | 0.05 | 0.05 |
| Connecteurs (FC) | | |
| Nombre (5) | 6 | 6 |
| Aff Max / Conn(dB) (6) | 0.3 | 0.3 |

**Bilan optique (dB) = (1) *(2) +(3) *(4) + (5) *(6).**

Pour λ=1310 nm

$Att_{tot}$ = (24 ,7*0,36) +(10*0,05) + (6*0,3)

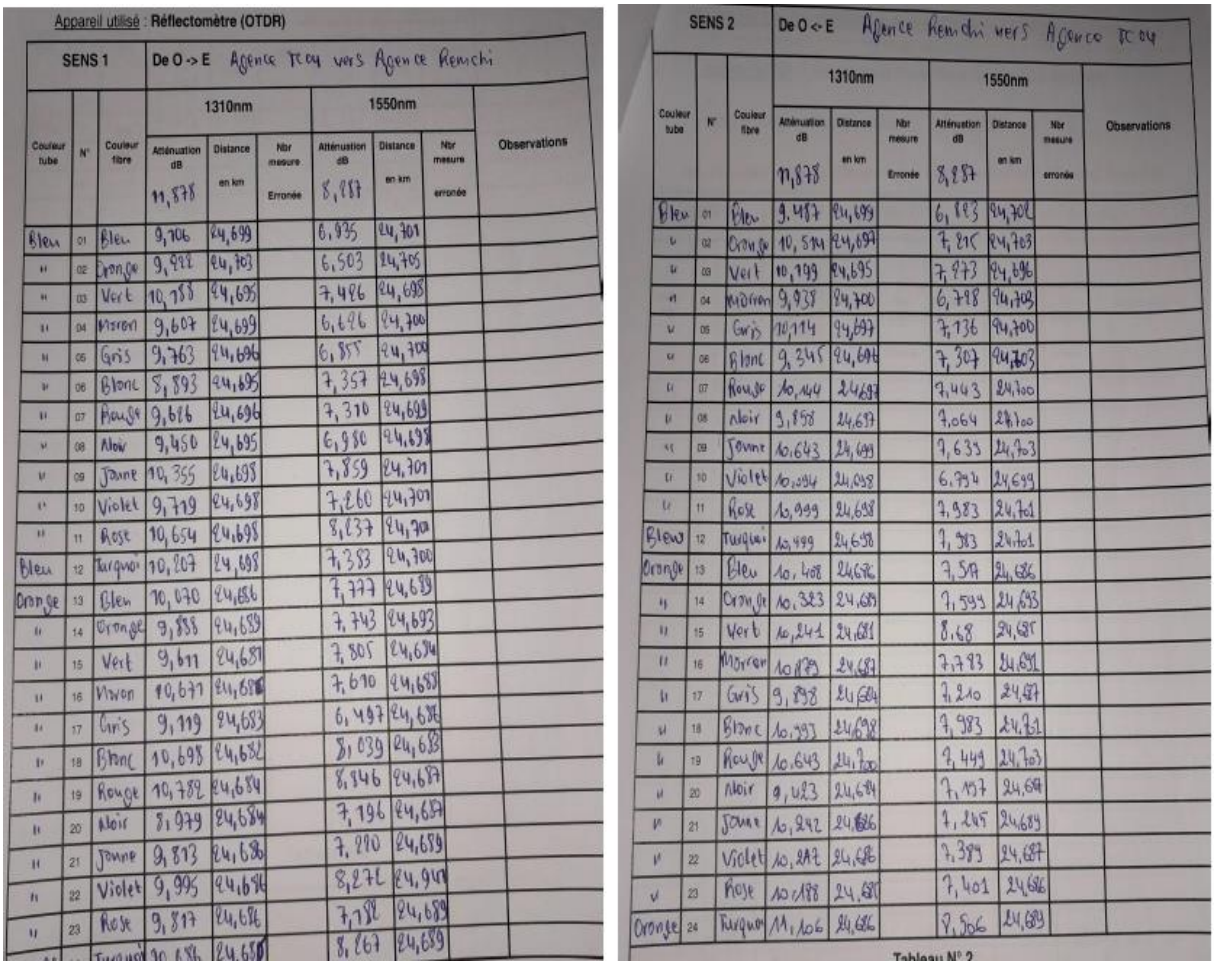
= 11,192dB.

Pour λ=1550 nm

$Att_{tot}$ = (24 ,7*0,22) +(10*0,05) + (6*0,3)

= 7,734 dB.

**Table III-2 : perte de puissance optique mesurée par l'OTDR [source : Direction de distribution SONELGAZ Tlemcen]**



Appareil utilisé : Réflectomètre (OTDR)

| SENS 1 | | | De O -> E Agence TC04 vers Agence Remchi | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1310nm | | | 1550nm | | | |
| Couleur tube | N° | Couleur fibre | Atténuation dB 11,878 | Distance en km | Nbr mesure Erronée | Atténuation dB 8,187 | Distance en km | Nbr mesure erronée | Observations |
| Bleu | 01 | Bleu | 9,706 | 24,699 | | 6,935 | 24,701 | | |
| " | 02 | Orange | 9,992 | 24,703 | | 6,503 | 24,705 | | |
| " | 03 | Vert | 10,188 | 24,695 | | 7,486 | 24,698 | | |
| " | 04 | Marron | 9,607 | 24,699 | | 6,696 | 24,700 | | |
| " | 05 | Gris | 9,763 | 24,696 | | 6,855 | 24,700 | | |
| " | 06 | Blanc | 8,893 | 24,695 | | 7,357 | 24,698 | | |
| " | 07 | Rouge | 9,686 | 24,696 | | 7,370 | 24,699 | | |
| " | 08 | Noir | 9,450 | 24,695 | | 6,980 | 24,698 | | |
| " | 09 | Jaune | 10,355 | 24,698 | | 7,859 | 24,701 | | |
| " | 10 | Violet | 9,779 | 24,698 | | 7,160 | 24,701 | | |
| " | 11 | Rose | 10,654 | 24,698 | | 8,137 | 24,700 | | |
| Bleu | 12 | Turquoi | 10,207 | 24,698 | | 7,383 | 24,700 | | |
| Orange | 13 | Bleu | 10,070 | 24,686 | | 7,777 | 24,689 | | |
| " | 14 | Orange | 9,888 | 24,689 | | 7,743 | 24,693 | | |
| " | 15 | Vert | 9,677 | 24,687 | | 7,805 | 24,694 | | |
| " | 16 | Marron | 10,677 | 24,688 | | 7,670 | 24,688 | | |
| " | 17 | Gris | 9,119 | 24,683 | | 6,497 | 24,686 | | |
| " | 18 | Blanc | 10,698 | 24,682 | | 8,039 | 24,688 | | |
| " | 19 | Rouge | 10,782 | 24,684 | | 8,146 | 24,687 | | |
| " | 20 | Noir | 8,979 | 24,684 | | 7,196 | 24,687 | | |
| " | 21 | Jaune | 9,813 | 24,686 | | 7,990 | 24,689 | | |
| " | 22 | Violet | 9,995 | 24,686 | | 8,276 | 24,949 | | |
| " | 23 | Rose | 9,817 | 24,686 | | 7,782 | 24,689 | | |
| | | | | | | 8,867 | 24,689 | | |



| SENS 2 | | | De O <- E Agence Remchi vers Agence TC 04 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1310nm | | | 1550nm | | | |
| Couleur tube | N° | Couleur fibre | Atténuation dB 11,878 | Distance en km | Nbr mesure Erronée | Atténuation dB 8,187 | Distance en km | Nbr mesure erronée | Observations |
| Bleu | 01 | Bleu | 9,487 | 24,699 | | 6,883 | 24,701 | | |
| " | 02 | Orange | 10,594 | 24,697 | | 7,815 | 24,703 | | |
| " | 03 | Vert | 10,799 | 24,695 | | 7,873 | 24,696 | | |
| " | 04 | Marron | 9,938 | 24,700 | | 6,798 | 24,702 | | |
| " | 05 | Gris | 10,114 | 24,697 | | 7,136 | 24,700 | | |
| " | 06 | Blanc | 9,345 | 24,696 | | 7,307 | 24,703 | | |
| " | 07 | Rouge | 10,144 | 24,697 | | 7,443 | 24,700 | | |
| " | 08 | Noir | 9,858 | 24,697 | | 7,064 | 24,700 | | |
| " | 09 | Jaune | 10,643 | 24,699 | | 7,633 | 24,703 | | |
| " | 10 | Violet | 10,094 | 24,698 | | 6,794 | 24,699 | | |
| " | 11 | Rose | 10,999 | 24,698 | | 7,983 | 24,701 | | |
| Bleu | 12 | Turquoi | 10,999 | 24,698 | | 7,983 | 24,701 | | |
| Orange | 13 | Bleu | 10,408 | 24,686 | | 7,594 | 24,686 | | |
| " | 14 | Orange | 10,383 | 24,688 | | 7,599 | 24,693 | | |
| " | 15 | Vert | 10,241 | 24,681 | | 8,68 | 24,685 | | |
| " | 16 | Marron | 10,893 | 24,687 | | 7,783 | 24,691 | | |
| " | 17 | Gris | 9,898 | 24,684 | | 7,210 | 24,687 | | |
| " | 18 | Blanc | 10,393 | 24,698 | | 7,983 | 24,701 | | |
| " | 19 | Rouge | 10,643 | 24,700 | | 7,449 | 24,703 | | |
| " | 20 | Noir | 9,423 | 24,684 | | 7,197 | 24,694 | | |
| " | 21 | Jaune | 10,242 | 24,686 | | 7,245 | 24,689 | | |
| " | 22 | Violet | 10,247 | 24,686 | | 7,389 | 24,687 | | |
| " | 23 | Rose | 10,188 | 24,687 | | 7,401 | 24,686 | | |
| Orange | 24 | Turquoi | 11,106 | 24,686 | | 8,506 | 24,689 | | |

Tableau N° 2

- Les tests sont effectués pour déterminer les pertes au niveau des fibres optiques (bonnes ou mauvaises) et pour identifier le type de SFP à utiliser avec les équipements actifs, comme le multiplexeur, qui transmet et reçoit le signal en fonction de la distance et de la perte de notre liaison optique. Ils servent également à déterminer quel type d'atténuateur de signal utiliser pour ne pas endommager notre module SFP lors de la réception du signal.
- Les tests seront réalisés sur les panneaux de brassage installés au niveau de TC4 et au niveau du panneau de brassage de l'agence de Remich. Si la valeur mesurée dépasse la valeur théorique, la fibre sera réparée, soit au niveau du panneau de brassage, soit au niveau des épissures soudées dans la boîte de jonction. Il faudra donc retourner sur le terrain pour effectuer la réparation. Dans notre cas, les 24 fibres sont en bon état.

## III.14 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a détaillé le réseau de transport optique (OTN), incluant à la fois des aspects théoriques et pratiques.

Sur le plan théorique, nous avons passé en revue les principes fondamentaux de l'OTN, en expliquant ses composantes essentielles et ses avantages en termes de capacité de transport, de gestion de la bande passante et de résilience. Cette section a permis de poser les bases nécessaires pour comprendre les enjeux et les bénéfices d'une architecture OTN dans un contexte industriel.

Pour la partie pratique, nous avons décrit l'architecture spécifique du réseau OTN de SONATRACH, en mettant en lumière les différents nœuds et cartes utilisés. Grâce au système de gestion OMS, nous avons détaillé les procédures de configuration des éléments et des services du réseau. Enfin, nous avons cité les différentes étapes de déploiement souterrain de réseau de transmission de SONELGAZ.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

La réalisation de ce projet a comporté trois étapes clés qui nous ont amenés aux conclusions suivantes :

Au cours de la première étape, nous avons décrit des généralités sur les fibres optiques, en passant par une structure générale de la fibre optique, les différents types et les caractéristiques, ainsi les avantages et les inconvénients présentés par les fibres optiques, posant ainsi les bases nécessaires pour bien comprendre les technologies de transport optique plus avancées étudiées par la suite.

Le deuxième chapitre, nous avons fait une analyse approfondie des principes, du fonctionnement, des évolutions, des avantages et des limitations des technologies de transport optique. Cette étude détaillée a mis en lumière les progrès constants réalisés dans ce domaine, offrant une compréhension approfondie des solutions techniques sous-tendant le réseau OTN de SONATRACH.

La dernière étape de ce travail et dernier chapitre nous avons fourni une étude de cas approfondie du déploiement et de la configuration du réseau de transport optique (OTN) chez SONATRACH, passant par les différentes étapes de mise en place du réseau.

Dans la deuxième partie de ce dernier chapitre, nous avons concentré notre étude sur l'utilisation de l'outil de gestion OMS pour gérer et configurer l'OTN. Cette analyse détaillée de ces processus opérationnels a permis de compléter la compréhension globale du réseau OTN de SONATRACH. Une étude pratique a été faite aussi sur le déploiement de réseau de transmission optique de SONELGAZ Tlemcen.

# Recommandations

- Le produit OTN est le leader incontesté sur le marché des secteurs du métro et du train léger, des chemins de fer, du pétrole et du gaz, et de l'industrie minière. Par conséquent, il est nécessaire de mener plusieurs recherches futures pour approfondir la connaissance de ce produit. Il est fortement recommandé aux chercheurs et aux scientifiques de clarifier et de développer cette technique afin d'en tirer profit dans nos sociétés algériennes.
- Les universités ont des besoins croissants en termes de bande passante pour supporter les activités de recherche, l'accès aux ressources pédagogiques en ligne, les conférences vidéo, et d'autres applications nécessitant une large capacité de transmission de données. L'OTN répond parfaitement à ces besoins. De plus, il offre une transmission de données extrêmement fiable et stable, ce qui est crucial pour les établissements d'enseignement supérieur
- L'Algérie a un vaste territoire nécessitant une infrastructure de communication capable de couvrir de longues distances avec une fiabilité élevée. L'OTN, grâce à sa capacité à fournir une bande passante quasi illimitée sur de longues distances, est parfaitement adapté à ce besoin.

.

# Bibliographie


[1] A. FATMA, «Effet d'une hétéro-jonction dans une fibre optique Multi-matériau,» Mémoire de fin d'études, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arrerid, 2018.

[2] B. Lydia, «Simulation d'une liaison optique et étude de l'évolution des réseaux de transport d'OTA,» Mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 2018.

[3] B. Smail, «Optimisation des paramètres d'une liaison optique,» Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira – Bejaia, 2013.

[4] L. José, «mynetworkinsights.com,» Contenu des modules SFP – Comprendre TOSA, ROSA, BOSA, 14 novembre 2019. [En ligne]. Available: https://dc.mynetworkinsights.com/author/livin-jose/.

[5] E. A. ARRIBI Meriem, «La technique WDM en télécoms optiques avancées,» MEMOIRE DE FIN D'ETUDES, UNIVERSITÉ MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA, 2016.

[6] S. F. AMIROUCHE HACINA, «ETUDE ET CONFIGURATION DURESEAU DE TRANSPORT DEDONNEE OPTIQUE NG-WDM,» UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2015.

[7] O. K. e. G. A. Degachi Akram, «Réseau de Bragg sur fibre optique : application à la compensation de la dispersion chromatique dans les systèmes de transmission optique haut débit,» MASTER ACADEMIQUE EN Télécommunication, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2020.

[8] K. Y. HALASSA Manal, «Etude Des Réseaux De Bragg Dans Les Fibres Optiques,» Mémoire MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGL, 2020.

[9] «Les types de connecteurs pour fibre optique : Le guide,» 26 Septembre 2019. [En ligne]. Available: https://www.promax.fr/fra/actualites/578/les-types-de-connecteurs-pour-fibre-optique-le-guide/.

[10] Vincent, «Comprendre le transceiver bidirectionnel BiDi,» 05 janvier 2022. [En ligne]. Available: https://community.fs.com/fr/article/a-brief-introduction-of-bidi-sfp-transceiver.html.

[11] «Quelles sont les fonctions DDM, DOM et RGD des modules optiques SFP,» 07 octobre 2022. [En ligne]. Available: https://fr.fibresplitter.com/news/what-are-the-ddm-dom-and-rgd-functions-of-sfp-61782169.html.

[12] H. F. ,. h. Hilem Juba, «ÉTUDE ET SIMULAtiOn d'un RéseAu fttH BAsé SUR LA NORME G-PON,» Projet de fin d'étude, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2020.

[13] p. lecoy, télécoms sur fibres optiques, 11,rue lavoisier 75008 paris: hermes science, 2008.

[14] J.-F. GUILLAUD, «Architectures distribuées temps réel fondées sur ATM,» 1995.

[15] G. K. A. BABGAI RAPHAEL GUIDEKE, «Technologie PDH/SDH,» univesité de yaounde I, 2019.

[16] C. S. S. BOUBRIK NACER, «Etude et Application de la transmission SDH via fibre optique,» Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 2009.

[17] ZEHRAOUIMouloud, «Proposition d'une solution EGPRS pour le système de Télégestion du projet Taksebt,» Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2010.

[18] S. Baraketi, «Ingénierie des réseaux optiques SDH et WDM et étude multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM,» Universite Toulouse III Paul Sabatier, 2015.

[19] C. S. &. N. M. Lakhdar, «Application du multiplexage par division de fréquences,» El-Oued, 2023.

[20] h. f. b. h. hilem juba, «ÉTUDE ET SIMULAtiOn d'un RéseAu fttH BAsé SUR LA NORME,» projet de fin d'etude , Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2020.