

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par: *HAMIDOU Khadidja Lamia & GAOUAR Mohammed Badis*

Thème

*Etude d'un système de transmission par fibre optique,
Et la supervision des liaisons optiques de la
DD-T du groupe Sonelgaz.*

Soutenu le 24/09/2020 devant le jury composé de :

M. MERZOUGUI Rachid	PR	Univ. Tlemcen	Président
Mr. MOUSSAOUI Djillali	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur
M. HADJILA Mourad	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr. BRAHIM Faycel	Ing.	Sonelgaz -Tlemcen	Co-Directeur de mémoire

Année Universitaire 2019-2020.





Résumé

La télécommunication a connu une évolution accélérée dans la transmission des données ces derniers temps. C'est grâce à la performance des équipements et l'apparition des nouvelles technologies, tel que les nouvelles techniques de multiplexages et aussi la fibre optique. Le but de ce mémoire est d'étudier un système de transmission par fibre optique et la présentation du réseau de la Sonelgaz et la supervision des liens fibre optique qui font la liaison de la direction de distribution de Tlemcen et les agences commerciales de la wilaya de Tlemcen.

Abstract

Telecommunication has experienced an accelerated evolution lately in the data transmission. It's through performance equipments and the appearance of new technologies, such as new techniques of multiplexing and also the optical fiber. The purpose of this dissertation is to study a system of transmission optics fiber, the presentation of Sonelgaz network and supervision of optics fiber links that make the connection of the distribution department of Tlemcen and the agencies commercial areas of Tlemcen city.





Remerciement

A l'issue de ce modeste travail, Nous remercions « Allah » le tout puissant de nous avoir accordé le courage et la force de le mener à terme.

Ce projet a été effectué à l'entreprise « Sonelgaz » sous la direction de M. Hadjila Mourad maitre conférence A à l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, et le co-directeur M. Brahmi Faycel, ingénieur à l'entreprise Sonelgaz, que nous tenons à leurs exprimer nos sincères gratitudes et remerciements,

Nous tenons à remercier l'équipe du groupe Sonelgaz, pour la sympathie, et la bonne atmosphère, et spécialement Mme. Bouabdallah Rajaa ingénieure à l'entreprise Sonelgaz pour ses précieux conseils, et son aide fourni durant ce travail.

Et aussi l'ensemble du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce mémoire, M. Merzougui Rachid, professeur à l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, et M. Moussaoui Djillali, maitre conférence B.

Et enfin nous présentons nos chaleureux et très sincères remerciements à nos « chers parents » pour leurs



encouragements, leurs soutiens, leurs confiances, et leurs présences durant nos parcours.

Sans oublier toute personne qui a contribué de près ou de loin à ce projet.





Dédicaces

Je dédie ce modeste projet à

Mes parents pour le gout à l'effort qu'ils ont suscité en moi,
et leur amour ce qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui,

Mes sœurs et mon frère, qui ont cru en moi et m'ont
encouragé durant tout mon parcours,

Toute ma famille, mes amis, source d'espoir et de
motivation .

Je dédie cet événement marquant de ma vie
à la mémoire de mes grands-parents partis trop tôt,

J'espère qu'ils apprécieront cet humble geste comme preuve
de reconnaissance de la part de leur petite fille qui prie toujours
pour eux.

Puisse dieu le tout puissant vous accorder son vaste paradis

« Hamidou khadidja Lamia »

Je dédie ce mémoire

A mes parents et à toute ma famille qui
m'ont soutenu tout au long de cette épreuve, et qui
m'ont apporté l'aide nécessaire pour que je
réussisse.

Ainsi qu'à mes amis qui ont contribué à
leur manière à la conclusion de ce travail,

« Gaouar Mohammed Badis »





Sommaire

Résumé	I
Abstract	I
Remerciement	II
Dédicaces	IV
Sommaire	V
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	XI
Liste des acronymes	XII
Introduction générale	1-2

Chapitre I : Chaîne de transmission par fibre optique.

I.1 Introduction	4
I.2 Chaîne de transmission par fibre optique	4
I.2.1 Bloc d'émission	5
I.2.1.1 Les sources lumineuses	5
I.2.1.2 La comparaison entre les LED et LD	7
I.2.2 Les Techniques de multiplexage	8
I.2.3 Les techniques de modulation	9
I.2.3.1 Modulation directe	9



I.2.3.2 La modulation externe -----	10
I.2.3.3 Modulation OOK (on/off keying) -----	11
I.2.4 Bloc de transmission. -----	11

Qu'est-ce qu'une fibre optique ?

I.2.4.1 L'onde électromagnétique. -----	11
I.2.4.2 La fibre optique. -----	15
A- Les types de la fibre -----	15
B- Les principes de fonctionnement de la fibre optique -----	18
C- l'amplificateur optique -----	19
D- Les avantages et les inconvénients de la fibre optique -----	19
I.2.5 Bloc de réception -----	20
I.3 Conclusion -----	23

Chapitre II : interconnexion par fibre optique de la Sonelgaz au réseau télécom GRTE.

II.1 Introduction -----	25
II.2 Présentation de l'entreprise Sonelgaz -----	25
II.3 les organisations -----	26
II.4 Les filiales du groupe Sonelgaz -----	26
II.4.1 Présentation de la société de production de l'électricité « SPE » -----	28
II.4.2 Présentation de la filiale de « GRTE » -----	28
II.4.3 Présentation de ELIT -----	29
II.4.4 Présentation de la société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz « SADEG » -----	29



II.4.4.1 Réseau informatique de la direction de distribution de Tlemcen « DD-Tc »	31
II.4.4.2 Les équipements nécessaires du réseau DD-Tlemcen	31
II. 4.4.3 Réseau LAN DD-Tlemcen	36
II.5 Conclusion	37

Chapitre III : Supervision du réseau fibre optique par support informatique

III.1 Introduction	39
III.2 Présentation de FAN	39
III.2.1 Nagios	39
III.2.2 Description du programme Nagios	40
III.2.3 Installation de Fully Automated Nagios (FAN)	40
III.2.4. Configuration du serveur Nagios	54
III.2.5 La création des hosts	60
III.2.6 La supervision des hosts	62
III.2.6.1 Le dysfonctionnement d'un host	63
III.2.6.2 Résolution d'un problème	65
III.3 Conclusion	69
Conclusion générale	70
Références bibliographiques.	





Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Schéma d'un système de transmission par fibre optique	5
Figure I.2 : Symbole d'une diode	5
Figure I.3 : Schéma représentatif de la diode LED.	6
Figure I.4 : Schéma représentatif de la diode laser.	7
Figure I.5 : La technique de multiplexage.	8
Figure I.6 : Le multiplexage en longueur d'onde WDM.	9
Figure I.7: Principe de la modulation optique directe.	10
Figure I.8: Synoptique de la modulation externe.	10
Figure I.9 : Polarisation d'un OEM.	12
Figure I.10 : Les spectres électromagnétiques et de la lumière visible.	12
Figure I.11 : Schéma représentatif des différents types de rayons.	13
Figure I.12 : Représentation de la réflexion de la lumière.	14
Figure I.13 Schéma représentatif d'un câble fibre optique.	15
Figure I. 14 : Fibre monomode.	16
Figure I.15 : Fibre multimode à saut d'indice et impulsions.	17
Figure I.16 : Fibre à gradient d'indice.	17
Figure I.17 : L'angle d'acceptance.	18
Figure I.18 : L'ouverture numérique d'une fibre optique.	18
Figure I.19 : La partie réception d'une chaîne de transmission optique.	20



Figure I.20 : Schémas représentatifs d'une photodiode. ----- 21

Figure I.21 : Schéma d'une photodiode PIN. ----- 22

Chapitre II

Figure II.1 : Les filiales du groupe Sonelgaz. ----- 26

Figure II.2: Schéma synoptique de liaison entre les filiales principales du groupe Sonelgaz....27

Figure II.3 : Les différentes régions de distribution. ----- 30

Figure II.4 : Interconnexion par fibre optique de la direction de Tlemcen au réseau backbone GRTE ----- 31

Figure II.5 : Schéma de principe d'une liaison fibre optique entre routeur GRTE et extrémité de distribution (SADEG). ----- 32

Figure II.6 : Image réelle d'un SDH (Sagem). ----- 32

Figure II.7 : Les différents types de module SFP. ----- 34

Figure II.8 : Image réelle d'un panneau de brassage. ----- 34

Figure II.9 : Les différents types de connecteurs fibre optique. ----- 35

Figure II.10 : Photo réelle des convertisseurs fo-RS232. ----- 35

Figure II.11 : Schéma synoptique d'interconnexion du réseau LAN «DD Tlemcen ». ----- 36

Chapitre III

Figure III.1 : Les étapes de création de la machine virtuelle. ----- 42

Figure III.2 : La suite des étapes de la création de la machine. ----- 43

Figure III.3 : Insertion de l'image de FAN. ----- 44

Figure III.4 : Page de démarrage de FAN. ----- 45

Figure III.5 : Les étapes de la configuration de FAN. ----- 46

Figure III.6 : L'installation de FAN. ----- 47

Figure III.7 : éteindre la machine. ----- 48

Figure III.8 : Les étapes de la suppression de l'image. ----- 49



Figure III.9 : Page d'accueil nagios. -----	50
Figure III.10 : La configuration de la machine nagios. -----	51
Figure III.11 : Connexion du compte ROOT. -----	53
Figure III.12 : Champ de commande pour la modification des données. -----	54
Figure III.13 : Configuration de l'adresse IP de la carte réseau eth0 -----	55
Figure III.14 : Les données de la machine après modification. -----	56
Figure III.15 : Champ de commande pour accès au fichier objects. -----	56
Figure III.16 : Le contenu du fichier objects. -----	57
Figure III.17 : Les données du switch par défaut. -----	58
Figure III.18 : Les services du switch par défaut. -----	59
Figure III.19 : Les étapes de la création des hosts. -----	60
Figure III.20 : Définition du service de la bande passante pour les hosts. -----	61
Figure III.21 : Page web de supervision de Nagios. -----	62
Figure III.22 : Les détails de l'host. -----	63
Figure III.23 : Le statut des services de l'host. -----	63
Figure III.24 : Page de supervision de Nagios en cas de problème. -----	64
Figure III.25 : Le service de la machine en statut DOWN. -----	65
Figure III.26 : Une photo réelle d'un réflectomètre. -----	65
Figure III.27 : Les Photos réelles du kit de raccordement. -----	66
Figure III.28 : Photos réelles d'une cliveuse. -----	67
Figure III.29 : Photo réelle d'une fusionneuse -----	67
Figure III.30 : Kit pour fusionnement. -----	68
Figure III.31 : Image réelle d'un générateur/ récepteur de la lumière pour fibre optique. -----	68





Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : La comparaison entre les deux diodes.	7
Tableau I.2 : La comparaison des différents types de la fibre.	17
Tableau I.3 : Les avantages et inconvénients de la fibre.	20

Chapitre II

Tableau II.1 Les niveaux de la hiérarchie SDH.	33
Tableau II.2 Caractéristiques du module SFP.	33





Liste des Acronymes

Mux	Multiplexeur.
Demux	Démultiplexeur.
Laser	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
LD	Diode Laser.
LED	Light Emitting Diode.
mW	Milliwatt.
MHZ	Mégahertz.
GHZ	Gigahertz.
Nm	Nanomètre.
Mm	Millimètre.
TDM	Time Division Multiplexing.
CDM	Code Division Multiplexing.
FDM	Frequency Division Multiplexing.
WDM	Wavelength Division Multiplexing.
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing.
D-WDM	Dense Wavelength Division Multiplexing.
U-DWDM	Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing.
ASK	Amplitude Shift Keying.
PSK	Phase Shift Keying.
OOK	On/Off keying.
OEM	Onde Electromagnétique.
LAN	Local Area Network.
WAN	Wide Area Network.
VPN	Virtual Private Network.
ON	Ouverture Numérique.
PDA	PhotoDiode à effet d'Avalanch.



Sonelgaz	Société nationale de l'électricité et du gaz.
EGA	Electricité et Gaz d'Algérie.
SPA	Société par Actions.
GRTE	Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité.
OS	Opérateur Système Electrique.
SPE	Société de Production de l'Electricité.
GRTG	Gestion du Réseau de Transport du Gaz.
CEEG	Société de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz.
SADEG	Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz.
DPE	Direction de Production de l'électricité.
STPE	Système de Production et du Transport de l'électricité.
ELIT	Eldjazair Information Technology.
DD	Direction de Distribution.
DD-T	Direction de Distribution de Tlemcen.
SDH	Synchronous Digital Herarchy.
FO	Fibre Optique.
STM	Synchronous Transport Module.
SFP	Small Form-factor Plugable.
FAN	Fully Automated Nagios.
GPL	Licence Publique Générale.
SNMP	Simple Network Managment Protocol.
SSH	Secure Shell.
SSL	Transport Layer Security.
CD	Disque Compact.
VDI	Virtual Desktop Infrastructure.
ISO	International Organization For Standardization.
CentOS	Community Entreprise Operating System.
URL	Uniform Resource Locator.
IP	Internet Protocol.
PIN	Positive intrinsie négative.





INTRODUCTION GENERALE

La télécommunication a connu une évolution remarquable au fil des années. L'homme trouvait toujours un moyen pour communiquer à distance, il y a ceux qui utilisaient les signaux de fumée, d'autres les tambours, et les torches, et bien plus d'autres techniques pour transmettre des informations, jusqu'à ce que l'ère du développement de l'électricité a vu le jour, d'où l'apparition du câble en cuivre, qui a beaucoup servi, mais le déploiement d'internet à grande échelle nécessitait beaucoup plus de performance pour accompagner l'explosion du numérique, ce qui a poussé les chercheurs à trouver une solution qui assure une bonne transmission de données, avec un débit important d'où l'usage de la fibre optique.

Actuellement on vit dans un monde numérique, ou tout domaine fait appel à l'outil informatique. Contrairement à certaines idées, cet outil n'est pas la science de l'ordinateur mais il regroupe trois aires d'activités : la science, la technique et l'industriel. L'informatique sert à traiter les informations de façon automatique.

Et souvent un réseau informatique de taille importante est difficile à maintenir ainsi que la gestion de ces parcs informatiques deviennent alors des enjeux cruciaux, et qu'une panne du réseau peut causer des dégâts. C'est pour cela que les administrateurs réseau font appel à des logiciels de surveillance et de supervision de réseaux. Ils servent à vérifier l'état du réseau ainsi que les machines connectées, en temps réel.

L'objectif de ce mémoire consiste à comprendre le principe de fonctionnement d'une liaison optique, en se basant sur la surveillance de la fibre optique à l'aide du logiciel NAGIOS qui simplifie la tâche en donnant des critères permettant de quantifier la qualité de transmission d'une telle chaîne optique.



Notre projet se divise en deux parties et en trois chapitres, la première partie théorique et la deuxième pratique au sein de l'entreprise Sonelgaz « Société nationale de l'électricité et du gaz » de Tlemcen.

Dans le premier chapitre, nous allons décrire les différents composants qui entrent dans le cadre de la réalisation des liaisons de transmission par fibre optique et un rappel sur les différents types de sources optiques, le principe de quelques formats de modulation ainsi que les principaux éléments constituant le module de réception.

Dans le second chapitre, nous ferons tout d'abord une présentation de la Sonelgaz « Société nationale de l'électricité et du gaz », passant par ses trois filiales principales (qui sont : la production, le transport, et la distribution), et pour finir nous allons présenter le réseau par fibre optique de la filiale de distribution de la wilaya de TLEMEN.

Dans le troisième chapitre, nous allons parler de l'administration et de la maintenance du réseau Sonelgaz-Tlemcen lié par la fibre optique à l'aide d'un outil informatique performant (Le logiciel NAGIOS), servant à la supervision qui se fait à distance et en temps réel, tout en exposant les problèmes rencontrés durant la supervision de ce réseau et leurs solutions.



CHAPITRE I
CHAINE DE TRANSMISSION
PAR FIBRE OPTIQUE



I.1 Introduction

C'est dans la Grèce Antique que l'histoire de la fibre a débuté, les grecs utilisaient la lumière dans les tubes en verre pour la décoration.

La première utilisation scientifique apparaît en 1840 avec Jean-Daniel Colladon et Jacques Babinet qui travaillaient sur la réflexion totale interne. Leur but était de trouver une manière d'arquer la trajectoire de la lumière.

En 1927, Baird et Hansell tentent d'acheminer des images de télévision avec la fibre optique, l'invention fut protégée mais jamais utilisée.

Pour les télécommunications, l'invention du laser a rendu l'exploitation de la fibre possible, et la toute première transmission de données via la fibre est conférée à Charles Kao et Georges Hockman en 1966.

Et c'est à la fin des années 1970 que le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago.

Quand on s'y intéresse on tire que l'histoire de la fibre optique est riche en inventions et l'avènement de la fibre que nous utilisons sera plus tardive.

Dans ce chapitre, nous allons parler sur les concepts généraux d'un système de transmission par fibre optique, les différents composants de ce circuit, et les avantages et les inconvénients de la fibre optique. [1]

I.2 Chaîne de transmission par fibre optique

La transmission optique est la diffusion des informations entre deux extrémités, via un signal lumineux en utilisant un canal lumineux. Tout système optique se base sur trois blocs pour assurer le transfert des données : un bloc d'émission, un bloc de transmission (fibre optique) et enfin un bloc de réception. [2]



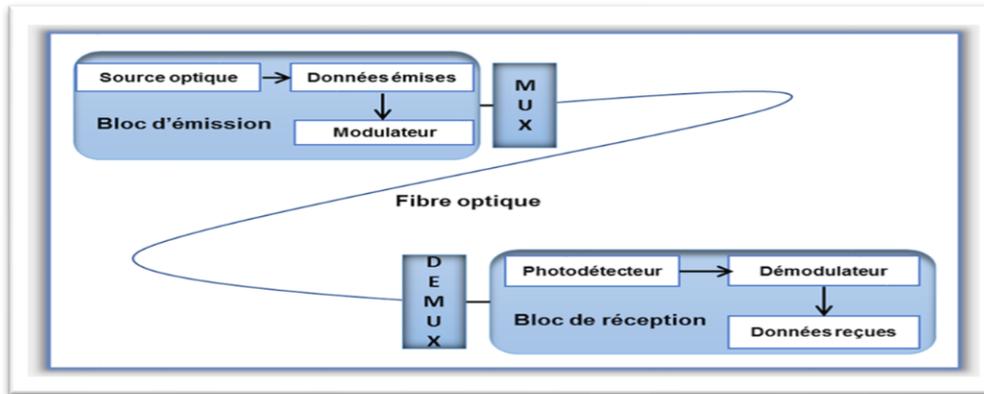


Figure I.1 : Schéma d'un système de transmission par fibre optique.

I.2.1 Bloc d'émission

Ce bloc est constitué d'une source optique et d'un modulateur, son rôle est de délivrer un signal à la fibre optique.

I.2.1.1 Les sources lumineuses

La diode est un dispositif électronique semi-conducteur qui laisse passer le courant dans un seul sens dit direct (anode vers cathode), (figure I.2). Il s'agit d'un composant polarisé c'est à dire possède deux électrodes, la cathode est localisée par un anneau de repérage et l'anode [3,6].

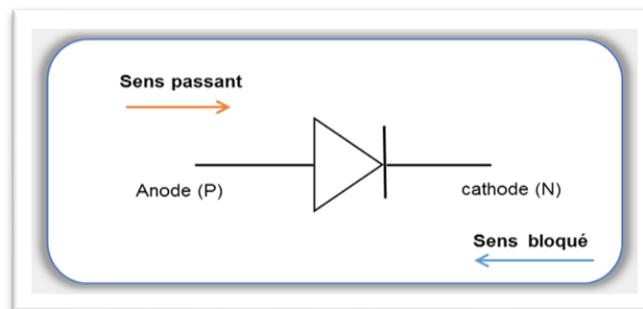


Figure I.2 : Symbole d'une diode.

Il existe une multitude de diodes. Dans le domaine optique, on distingue deux types, les diodes laser **LD** et les diodes électroluminescentes **DEL**, ou en anglais **LED** (light emitting diode).



Diode électroluminescente

Cette diode est une jonction P/N capable d'émettre de la lumière, pour se faire il est important qu'elle soit polarisée en sens direct (comme le montre le symbole dans la figure I.3), et aussi parcourue par un courant électrique. La lumière émise est composée de longueurs d'onde, et le spectre d'émission de ce composant est déterminé par ces longueurs d'onde. [3]

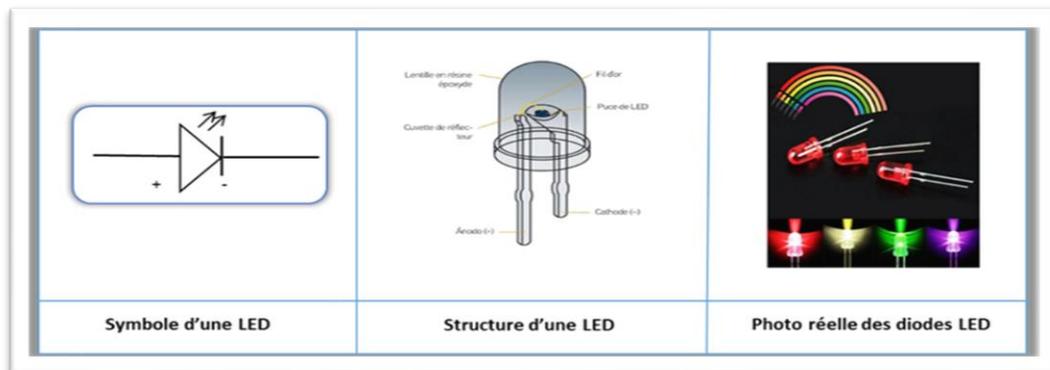


Figure I.3 : Schéma représentatif de la diode LED.

➤ Diode laser

Cette diode est un semi-conducteur utilisé pour la transmission des signaux lumineux à une longue distance. Pour obtenir l'effet laser (acronyme de "amplification de la lumière par émission stimulée de radiation"), il est nécessaire d'avoir suffisamment d'électrons et de photons incidents (excitateurs), pour cela, il faut enfermer cette jonction dans une cavité résonante (voir figure I.4). [3]



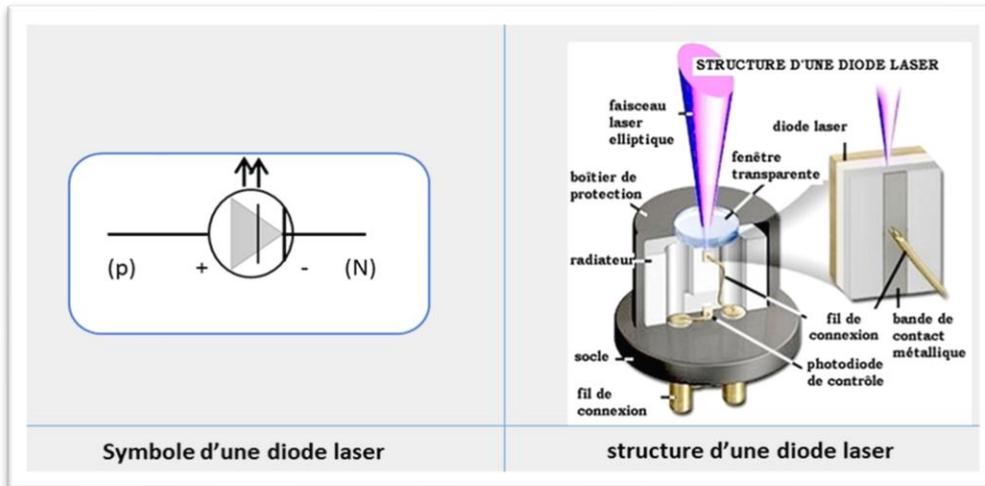


Figure I.4 : Schéma représentatif de la diode laser.

I.2.1.2 La comparaison entre les LED et LD

Les deux diodes sont utilisées comme un émetteur optique, mais les différences se présentent dans le tableau ci-dessous :

	Diode LED	Diode LD
Puissance	Linéairement proportionnel au courant d'entrée (puissance faible)	Proportionnel au courant au-dessus du seuil (puissance élevée)
Largeur du spectre	Large, 25-100 nm (10 – 50 THz)	Etroit, $<10^{-5}$ -5nm (<1 – 2 MHz)
Longueur d'onde disponible	0.66 – 1.65 mm	0.78 – 1.65 mm
Rapidité de modulation	100 MHz	10 GHz
Type de fibre	Multimode	Monomode et multimode
Puissance dans la fibre optique	0.01 mW	0.5 mW
Efficacité de conversion E/O	10 à 20%	30 à 70%
La vitesse	Plus lente	Plus rapide
Refroidissement	Non	Oui
Sécurité	Oui	Non, Il nécessite une sécurité pour les yeux pour $\lambda < 1400\text{nm}$
Durée de vie	Plus long (100 ans environ)	Long (10 ans environ)
Cout	Faible	Modéré à élevé

Tableau I.1 : La comparaison entre les deux diodes. [3]



I.2.2 Les Techniques de multiplexage

C'est la capacité de combiner plusieurs signaux transmis par des émetteurs différents, en une seule voie haute vitesse avec le multiplexeur (MUX).

Les signaux sont ensuite récupérés grâce au démultiplexeur (DEMUX) qui fait l'opération inverse.

La figure suivante représente le principe de fonctionnement de cette technique.

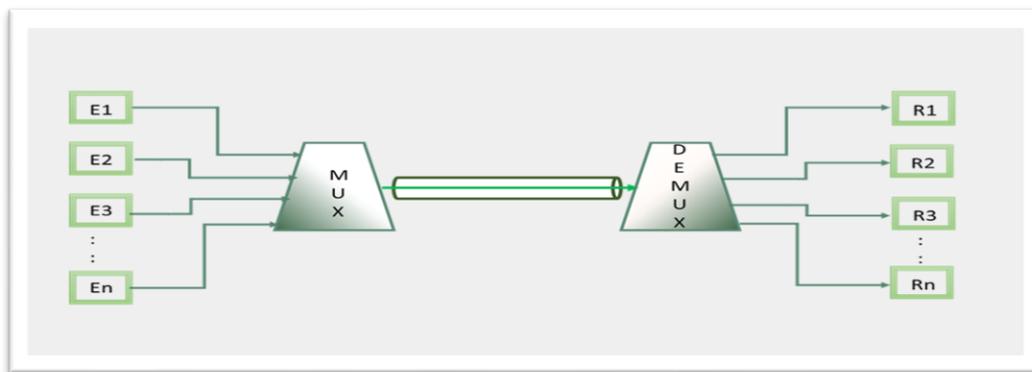


Figure I.5 La technique de multiplexage.

Il existe plusieurs techniques de multiplexage :

- Le multiplexage temporel (TDM : time division multiplexing).
- Le multiplexage par codage (CDM : code division multiplexing).
- Le multiplexage par répartition en fréquence (FDM : frequency division multiplexing).
- Le multiplexage en longueur d'onde (WDM : Wavelength Division Multiplexing),

WDM est la technique utilisée en communication par fibre optique, où les données transmises sont des longueurs d'onde. (voir figure I.6)

Plusieurs technologies WDM existent (CWDM, WDM, D-WDM, U-DWDM) elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploités dans une fibre, l'espacement entre canaux, les fenêtres spectrales et par le débit. [4]



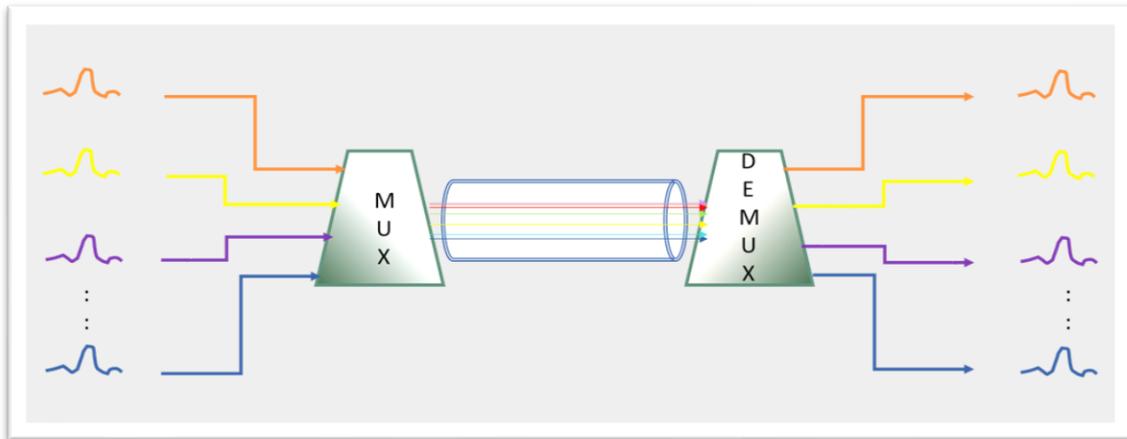


Figure I.6 Le multiplexage en longueur d'onde WDM.

I.2.3 Les techniques de modulation

En télécommunication, pour que le signal transportant une information soit transmis, il doit être adapté au canal de transmission, dans le cas contraire, on doit passer par un processus essentiel qui est la modulation, son rôle est de transformer le signal initial, en une forme adaptée au support de transmission.

La modulation du signal dans un système optique est essentielle, parce qu'elle permet de transformer le signal électrique en un signal lumineux, à l'aide d'un modulateur.

Il existe deux types de modulation : la modulation d'amplitude ASK (amplitude shift keying) et la modulation de phase PSK (phase shift keying), dans notre projet on s'intéresse à la modulation ASK. [4,7]

La modulation d'amplitude comprend trois types différents :

I.2.3.1 Modulation directe

Elle peut être rapprochée à une technique de modulation classique (modulation d'amplitude ou de phase) car la modulation du courant injecté en entrée de la diode se fait directement (voir figure I.7), la puissance optique libérée varie en fonction du courant. Sauf que cette méthode est un inconvénient car cela affecte la fréquence du signal émis et diagramme de rayonnement. [4]

Cette technique est plus simple et moins coûteuse, mais au-delà de 5Gbit/s, on utilise la modulation externe.



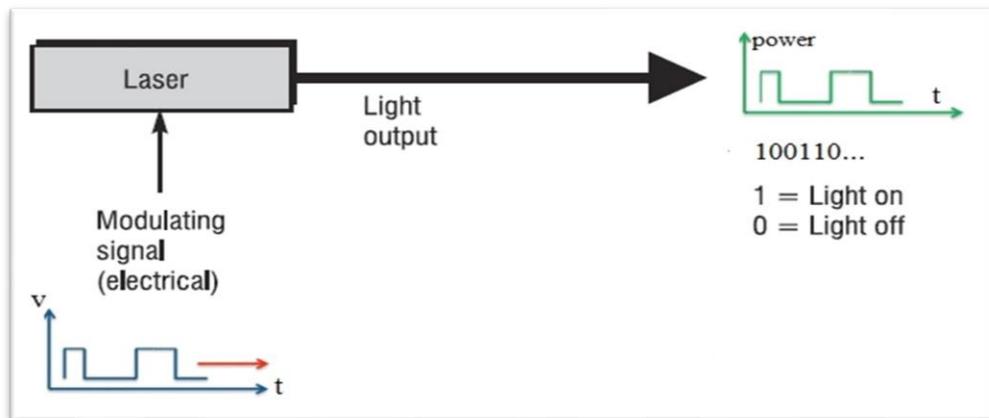


Figure I.7 Principe de la modulation optique directe.

I.2.3.2 La modulation externe

Ici, l'information émise par la source qui est inscrite sur un signal lumineux continu, passe par un circuit optique spécial pour la moduler (ce circuit est montré dans la figure I.8).

De nos jours, ce circuit contient un composant appelé interféromètre de mach-Zehnder, son rôle est de modifier l'indice de réfraction de l'un ou des deux bras de l'interféromètre en y impliquant un champ électrique. Une différence de potentiel induit un déphasage dans les deux bras, avec cette méthode, deux principes physiques peuvent être utilisés, soit la variation de l'absorption soit la variation de l'indice de réfraction [7,8].

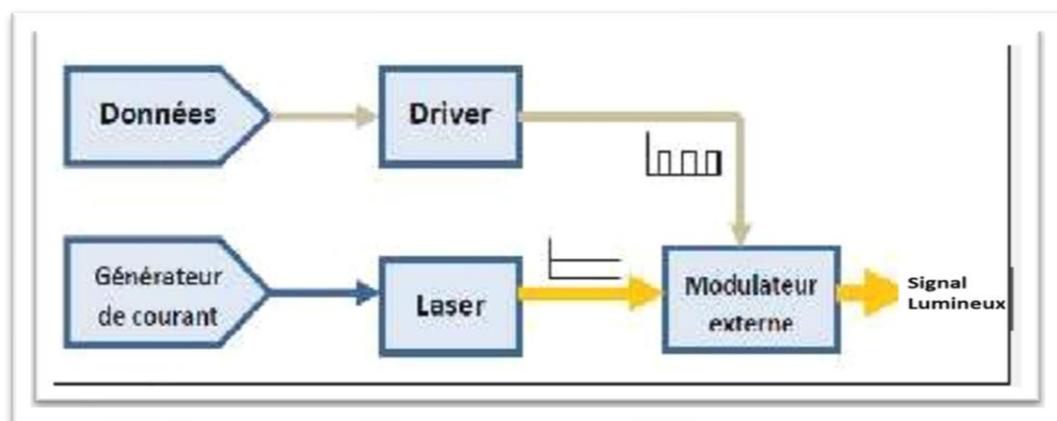


Figure I.8 Synoptique de la modulation externe.



I.2.3.3 Modulation OOK (on/off keying)

Dans cette technique, on utilise un obturateur optique, quand il est fermé la lumière est bloquée, quand il s'ouvre il permet à la lumière de passer à travers la fibre. Ce dispositif affecte la puissance de la lumière émise par la source optique. [4,5]

I.2.4 Bloc de transmission

Ce bloc sert à assurer la liaison entre le bloc émetteur et le bloc de réception. Le moyen de transmission utilisé dans un système optique est la fibre optique.

Nous allons donc présenter toutes les notions de bases d'une fibre optique et ses caractéristiques mais avant tout nous devons se poser une question :

Qu'est-ce qu'une fibre optique ?

La communication via la lumière remonte loin dans l'histoire, avant de parler de la fibre optique nous allons mettre en clair quelques notions de base sur la lumière. [5]

I.2.4.1 L'onde électromagnétique

Elle est constituée de deux champs, un champ électrique E et un champ magnétique B. Ces derniers oscillent à la même fréquence f, et se propagent à une vitesse qui dépend du milieu de propagation. L'onde électromagnétique OEM est polarisée dans la direction du champ E comme le montre la figure I.9. [5,11]

a) Propriétés

- * la période T : c'est le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle
- * la fréquence f : c'est l'inverse de la période T, et c'est la fréquence des deux champs E, B.
- * la vitesse de propagation dans le vide : $c=3.10^8$ m/s {I.1}
- * la longueur d'onde λ : est une grandeur physique correspond à la distance sur laquelle l'onde se propage pendant une durée coïncidant à sa période T [5].

$$\lambda = c/f = c.T \quad \{\text{I.2}\}$$



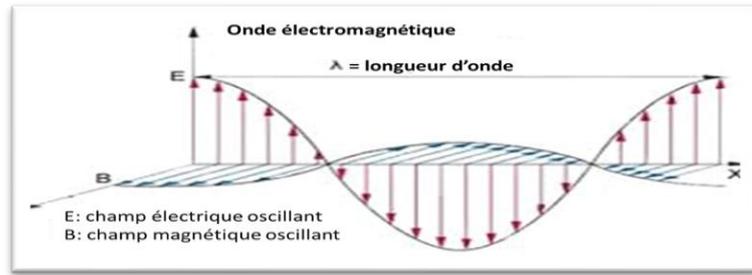


Figure I.9 : Polarisation d'un OEM.

b) Le spectre de la lumière

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence.

La lumière visible représente une petite partie de ce spectre avec une longueur d'onde qui varie entre 380nm et 780 nm.(voir Figure I.10). [5,10]

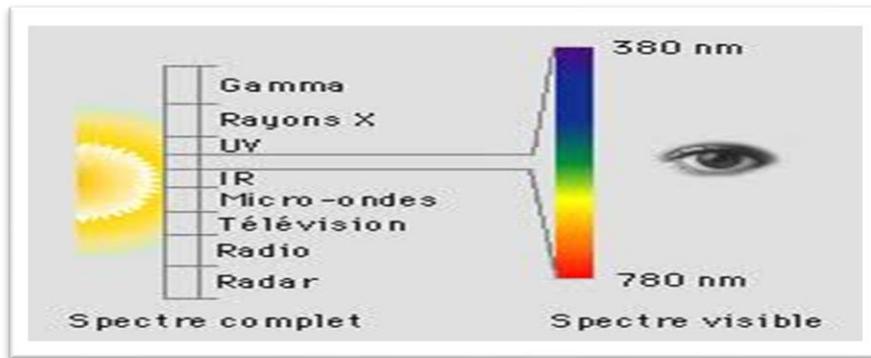


Figure I.10 : Les spectres électromagnétiques et de la lumière visible.

c) L'optique géométrique

- Indice de réfraction n : chaque milieu est caractérisé par 3 paramètres : la permittivité ϵ , la perméabilité μ , et la conductivité σ .

$$n = \sqrt{(\epsilon \cdot \mu)} \quad \{\mathbf{I.3}\}$$

Vitesse de propagation : Cela dépend du milieu dans lequel l'onde se propage.

$$V = c/n \quad (\text{m/s}) \quad \{\mathbf{I.4}\}$$



- Les Phénomènes de propagation

- Transmission : si la lumière traverse le milieu de propagation, on dit qu'il y a une transmission.
- Réflexion : la lumière change de direction (changement total), lorsqu'elle rencontre un autre milieu de propagation.
- Réfraction : lorsque la lumière rencontre un autre milieu on a une légère inclinaison dans le nouveau milieu.
- Diffusion : quand la lumière rencontre un autre milieu dont la dimension est plus petite que la longueur d'onde, on a une dispersion vers toutes les directions.

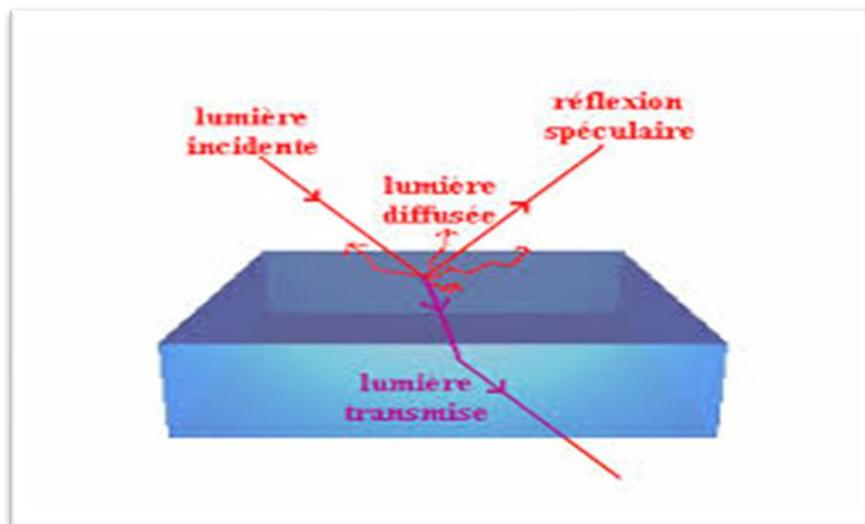


Figure I.11 : Schéma représentatif des différents types de rayons.

- Loi de SNELL-DESCARTES :

Lorsqu'un rayon incident d'un milieu d'indice n_1 rencontre la surface de séparation des deux milieux il apparaît : Un rayon réfracté et transmis, et un rayon réfléchi.[9]

- La direction du rayon réfléchi est donnée par : $i_1 = i_1'$
- Celle du rayon réfracté et transmis est donnée par : $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$ **{I.5}**



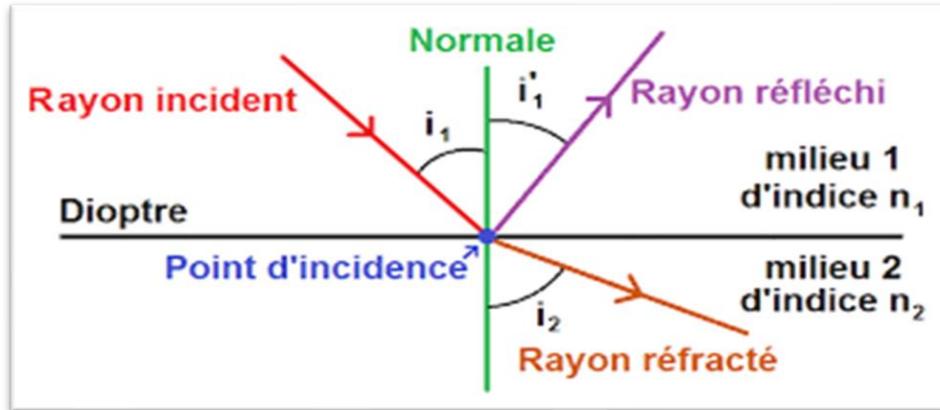


Figure I.12 : Représentation de la réflexion de la lumière.

- Incidence critique

Lorsque la lumière arrive sur la surface de séparation de l'air avec le second milieu, elle est déviée.

- Si $n_1 < n_2$

$i_1 > i_2$, dans ce cas le rayon réfracté se rapproche de la normale.

- Si $n_1 > n_2$

$i_1 < i_2$ donc le rayon s'éloigne de la normale

- Si $n_1 < n_2$

Si on augmente l'angle i_1 , l'angle de réfraction i_2 augmente jusqu'à la valeur $\pi/2$

$i_1 > i_{lim}$ le rayon est réfléchi on a $i_1 = i_r$, on a une réflexion totale, avec l'angle limite :

$$\sin(i_{lim}) = n_2 / n_1 \quad \{\mathbf{I.6}\}$$

i_1 : angle d'incidence.

i_2 : angle réfracté.

i_{lim} : angle limite.

i_1' : l'angle de réflexion. [5,10,11]



I.2.4.2 La fibre optique

La fibre optique désigne le support qui assure la transmission des données sous forme d'un faisceau lumineux dans un fil de verre.

Un câble fibre optique contient plusieurs fibres de verre, et chacune est un fil très fin d'un matériau étiré (verre de silice ou synthétique). Ce câble est constitué d'un milieu diélectrique appelé le cœur, ce dernier est recouvert d'une gaine avec un indice de réfraction inférieur à celui du cœur, cette gaine est couverte d'un isolant (plastique) appelé revêtement (voir figure I.13). [13,15]

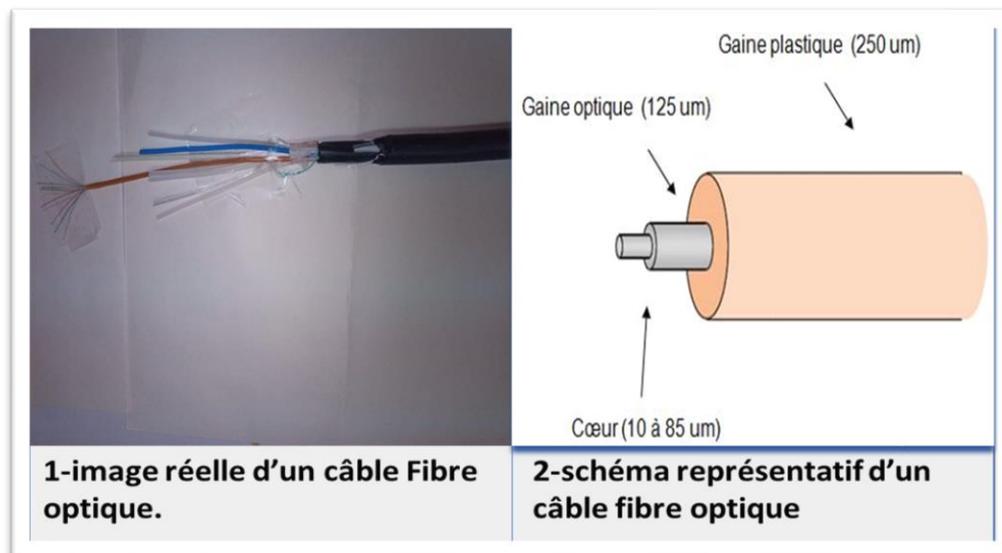


Figure I.13 Schéma représentatif d'un câble fibre optique.

A- Les types de la fibre

Il existe deux types de fibre [10,11,12]

- Fibre à saut d'indice : ce type n'est presque plus utilisé de nos jours.

$$n(x) = \begin{cases} n_1 & \text{si } x < a \\ n_2 & \text{si } x \geq b \end{cases} \quad \{\text{I.7}\}$$

a : diamètre du cœur.

b : diamètre de la gaine.



- Fibre monomode :

Parmi ses caractéristiques, le cœur très fin, dans le but que la propagation des signaux soit directe, la dispersion du signal est quasiment nulle, les rayons suivent un seul trajet.

Ce type est essentiellement utilisé pour les grandes distances (supérieur à 1Km), à débit important (environ 100 Gbits/km), et nécessite peu de nœuds de raccordement. [12,16]

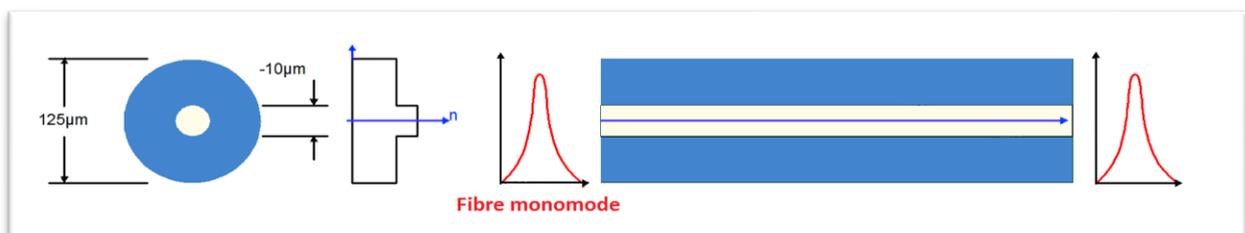


Figure I.14 : Fibre monomode.

- Fibre multimode

Plusieurs modes de propagation coexistent, les faisceaux lumineux peuvent suivre des chemins différents suivant l'angle de réfraction. A l'arrivée, les rayons franchissent l'extrémité à des instants différents avec une certaine dispersion du signal.

Ce type est utilisé pour les courtes distances (centaine de mètres) et un débit plus faible (1Gbits/km environ), elle est utilisée pour les réseaux privés. [12,16]

- Fibre multimode à saut d'indice

C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux LAN. Cette fibre possède un cœur très large dont le diamètre du cœur varie entre 100 μm et 200 μm, dans lequel on peut avoir plusieurs modes de propagation de la lumière, et celui de la gaine varie de 150 μm à 250 μm, et l'atténuation du signal est très importante. [12,16]



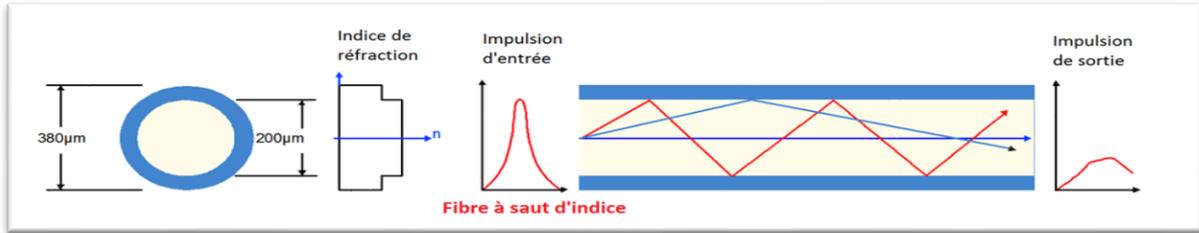


Figure I.15 : Fibre multimode à saut d'indice et impulsions.

- Fibre à gradient d'indice

Dans ce cas il n'y a pas de différence entre l'indice de réfraction entre cœur et la gaine le diamètre diminue progressivement vers l'extérieur. Le diamètre de la gaine est de 150 μm et celui du cœur est de 50-100 μm, constitué de plusieurs couches avec un indice de réfraction de densités multiples qui influent sur la direction des rayons. [12,13] Leur indice est :

$$n(x) = \left\{ n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{x}{a}\right)^\alpha} \text{ si } x < a ; n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \text{ si } x \geq a \right\} \quad \{\text{I.8}\}$$

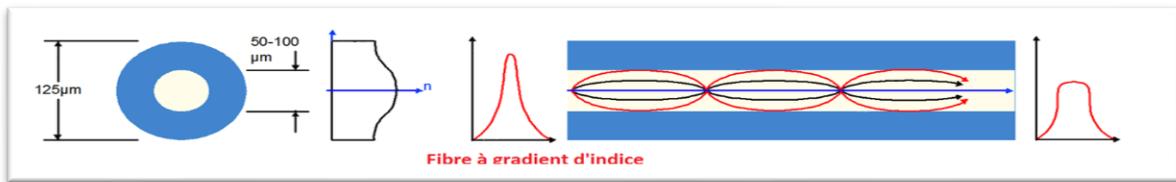


Figure I.16 : Fibre à gradient d'indice.

Types de fibre		avantages	Inconvénients	Applications
Fibre Monomode		- Bande passante importante - Très faible atténuation - Très faible dispersion	- Cout très élevé	- Grandes distances
Fibre MULTIMODE	À saut D'indice	- Large ouverture numérique - Connexion facile - Cout faible - Facilité de mise en œuvre	- Pertes - dispersion - Distorsion du signal	- Courtes distance - Réseaux LAN
	À gradient D'indice	- Bande passante raisonnable - Bonne qualité de transmission	- Difficile à mettre en œuvre	- Moyennes et courte distances

Tableau I.2 La comparaison des différents types de la fibre.



B- Les principes de fonctionnement de la fibre optique

La transmission dans la fibre optique est faite par réflexion successive du rayon sur la surface cœur gaine. Et pour se faire il faut que $i_1 > i_c$ (angle critique).

Cette condition impose un angle appelé angle d'acceptance θ_{ac} , à l'entrée de la fibre dans lequel tout rayon injecté se propage par réflexion totale. [15,16]

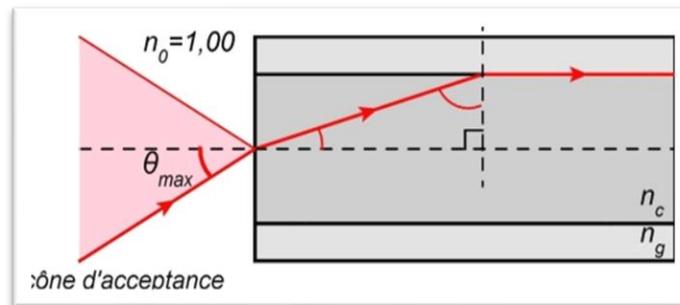


Figure I.17 : l'angle d'acceptance.

- L'ouverture numérique ON :

Elle caractérise le cône d'acceptance de la fibre, une condition imposée à l'entrée de la fibre, un rayon provenant de ce cône sera guidé dans le cas contraire il ne sera pas guidé.

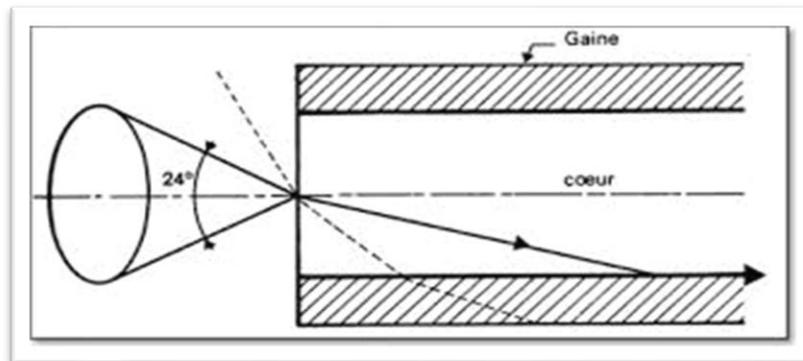


Figure I.18 : L'ouverture numérique d'une fibre optique.

$$ON = n_0 \sin \theta_{ac} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \{\mathbf{I.9}\}$$

n_0 : indice du milieu extérieur

θ_{ac} : angle d'acceptance

$$ON = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{avec} \quad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \quad \{\mathbf{I.10}\}$$



- Les effets linéaires

On a trois phénomènes qui peuvent exister :

➤ Dispersion :

Les données sont souvent transportées sous forme numérique (présence de la lumière = 1 et l'absence de la lumière = 0). On peut perdre l'information si les impulsions à la sortie sont élargies par rapport à celles à l'entrées si l'élargissement est important.

➤ Atténuation :

Dans une transmission par fibre optique à grande distance, le signal s'atténue et cette perte intervient au niveau de la fibre et les extrémités (connecteurs). Pour éviter ce phénomène, il faut que l'intensité dépasse un certain seuil.

➤ Pertes :

C'est un phénomène qui fait diminuer l'énergie de la lumière lors de :

* La diffusion

* La transmission

* Guidage

* Raccordement

* L'absorption par la fibre.

C- l'amplificateur optique

Après avoir parcouru une certaine distance le signal lumineux s'affaiblie, pour éviter cela on utilise un amplificateur optique, ce dernier est un dispositif électronique qui sert à régénérer le signal lumineux émis.

D- Les avantages et les inconvénients de la fibre optique

Le tableau I.3 représente les avantages et les inconvénients de la fibre optique [12]:



Les avantages	Les inconvénients
Une grande bande passante	Le câble ne peut être utilisé qu'au sol
Une vitesse plus élevée	Il faut une source d'émission de haute puissance
Quantité d'informations transmises par câble importante	Fragilité et plus vulnérable aux dommages
Cout moins cher par rapport au fil de cuivre et la longueur du câble	Le câble ne doit pas dépasser une certaine longueur
Légère et fine	Utilisé des répéteurs pour éviter l'atténuation du signal
Capacité de charge élevée	-
Immunité au bruit	-
Moins de perte	-
Cycle de vie plus long	-
Absence de diaphonie et de rayonnement	-
Isolation électrique	-
Resistance aux températures et aux produits corrosifs	-

Tableau I.3 : Les avantages et inconvénients de la fibre.

I.2.5 Bloc de réception

Dans cette étape on est chargé de convertir le signal lumineux en un signal électrique. Pour cela il faut passer par trois étapes (blocs), comme le montre la figure suivante :

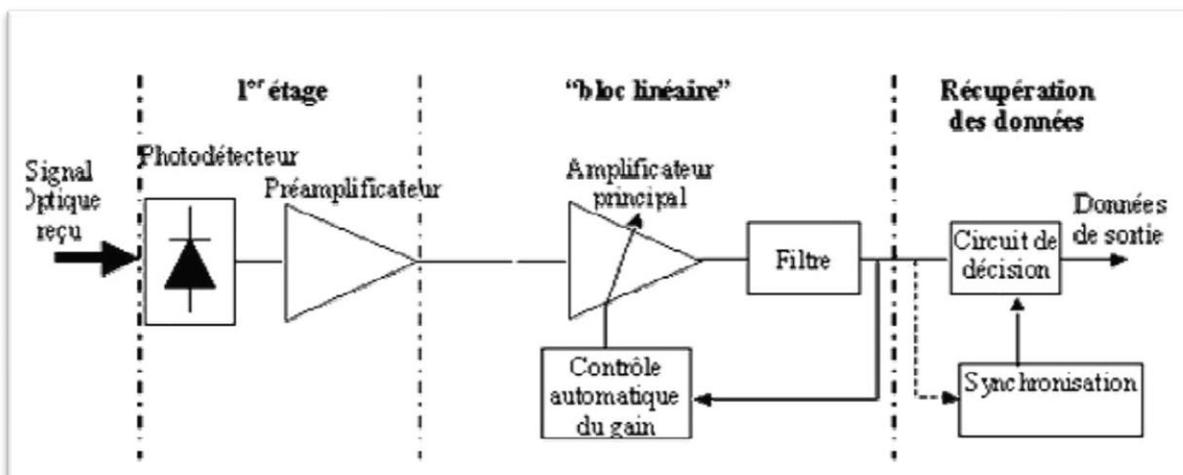


Figure I.19 : La partie réception d'une chaîne de transmission optique.



I.2.3.1. 1^{er} étage

Il est constitué de :

- Photodétecteur

C'est un dispositif qui assure la conversion du signal optique en un signal électrique.

- Préamplificateur

Il rend le photon courant généré assez puissant malgré le faible signal.

- Photo diode PN

C'est une jonction polarisée en inverse ayant la capacité d'absorber les photons lumineux, et les transformer en un signal électrique.

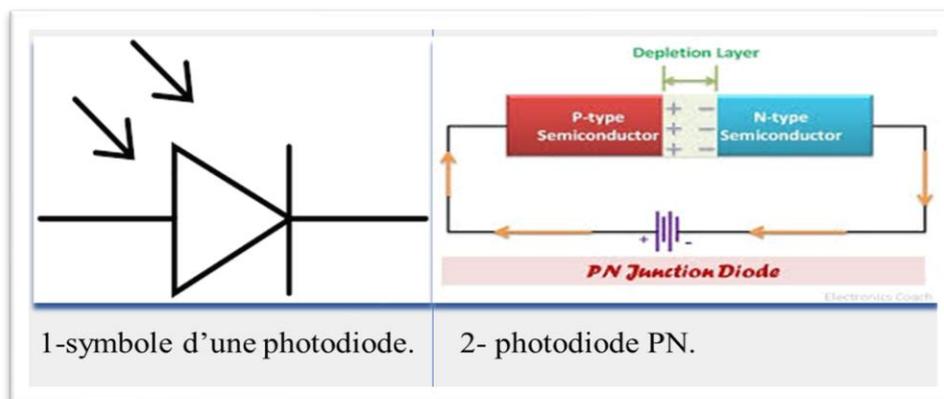


Figure I.20 Schémas représentatifs d'une photodiode.

- Photodiode PIN

C'est une jonction PN intercalée par une couche intrinsèque I, pour augmenter le courant électrique générer et diminuer le dopage de N.



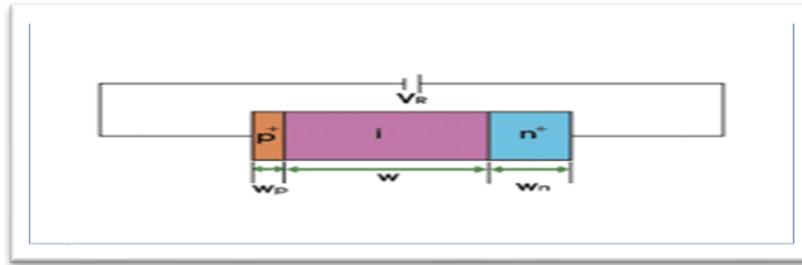


Figure I.21 Schéma d'une photodiode PIN.

➤ Photodiode à effet d'avalanche PDA

C'est une jonction PN polarisée en inverse, d'une manière à ce que la tension de polarisation soit proche à celle du claquage du dispositif, en créant un champ électrique important.

I.2.3.2. 2^{ème} étage

Le bloc linéaire contient :

➤ L'amplification électrique

Malgré la présence d'un préamplificateur le courant émis reste assez faible. Il est nécessaire d'utiliser un amplificateur en sortie du photorécepteur qui est un système électronique servant à faire augmenter l'intensité du signal tout en restant dans le domaine optique, son rôle est :

- De booster le signal optique avant son atténuation, inséré à un intervalle précis, il est constitué d'un récepteur, un support électronique et d'un émetteur.

➤ Circuit de filtrage

Il faut filtrer le signal numérique dans une bande pour minimiser le bruit à la sortie du récepteur.

➤ Un contrôleur automatique de gain.

I.2.3.3. 3^{ème} étage

Récupération des données :



- Synchronisation
- Circuit de décision

C'est un circuit qui assure au récepteur une parfaite qualité d'informations, grâce à une mise en forme du signal.

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu les trois blocs d'une chaîne de transmission optique, ayant présenté l'essentiel sur chaque bloc et ses éléments, cela nous a permis d'avoir toute information pour la réalisation d'une liaison par fibre optique.

On a vu aussi les différents types de la fibre et leurs caractéristiques, on a présenté les différents phénomènes et les événements qui réagissent sur la propagation de la lumière et la fibre et qui influent sur la transmission du signal.

Sur la transmission du signal. Le chapitre suivant sera consacré à la présentation du groupe SONELGAZ.



CHAPITRE II
INTERCONNEXION PAR FIBRE
OPTIQUE DE LA SONELGAZ AU
RÉSEAU TÉLÉCOM GRTE.



II.1 Introduction

Le groupe Sonelgaz (société nationale de l'électricité et du gaz) est l'opérateur fournisseur de l'électricité et du gaz en Algérie. Le groupe est constitué de plusieurs filiales parmi elles, la filiale GRTE. Cette dernière est une filiale de transport des énergies et notamment la fibre optique.

Cette partie a pour objectif de présenter le fonctionnement du groupe Sonelgaz, et le réseau haut débit fourni par GRTE.

Avec la nouvelle technologie, le transport de l'information se fait simultanément grâce aux larges voies de transmission. La télécom est un outil stratégique et indispensable pour les entreprises. Il s'agit d'améliorer la puissance des infrastructures en fibre optique, tout en utilisant des techniques conçues pour les hauts débits, hautement normalisées au plan international. Cette technique assure un transport maîtrisé compétitif et sécurisé, c'est la technique SDH (synchronous digital hierarchy en français la hiérarchie numérique synchrone).

II.2 Présentation de l'entreprise Sonelgaz [16] [17] [18] [19] [20] [21]

SONELGAZ est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies en Algérie. C'est un groupe industriel énergétique algérien, spécialisé dans la production, la distribution et la commercialisation des énergies électrique et gazière. Depuis 2019 l'entreprise est dirigée par le président-directeur général BOULAKHRAS Chafer [17].

Cet opérateur a été créé le 28 juillet 1969, en remplacement de l'entité précédente électricité et gaz d'Algérie (EGA), et on lui a donné le privilège de la distribution et de la vente de gaz naturel dans le pays, de même pour la production, la distribution, l'importation, et l'exportation d'électricité. En 2002, le décret présidentiel no 02-195, la convertit en une société par actions SPA entièrement détenue par l'État [17].

La loi n 2-01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations introduit l'ouverture progressive du marché électrique et impose la séparation des activités de Transport, Production, Distribution et règlemente l'accès des Tiers au réseau [17,18].



II.3 Organisations

Sonelgaz est organisé en groupe constitué de 39 filiales et 5 sociétés en exerçant des métiers de bases parmi ces filiales :

OS : opérateur système électrique.

SPE : société de production de l'électricité.

GRTE : gestion du réseau de transport de l'électricité.

GRTG : gestion du réseau de transport gaz.

CEEG : société de l'engineering de l'électricité et du gaz.

SADEG : société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz. [17]

II.4 Filiales du groupe Sonelgaz

Sonelgaz se divise en trois filiales principales, une filiale de production, une filiale de transport et une autre grande filiale de distribution.



Figure II.1 Les filiales du groupe Sonelgaz.

La figure II.2 représente les trois grandes filiales de la Sonelgaz :



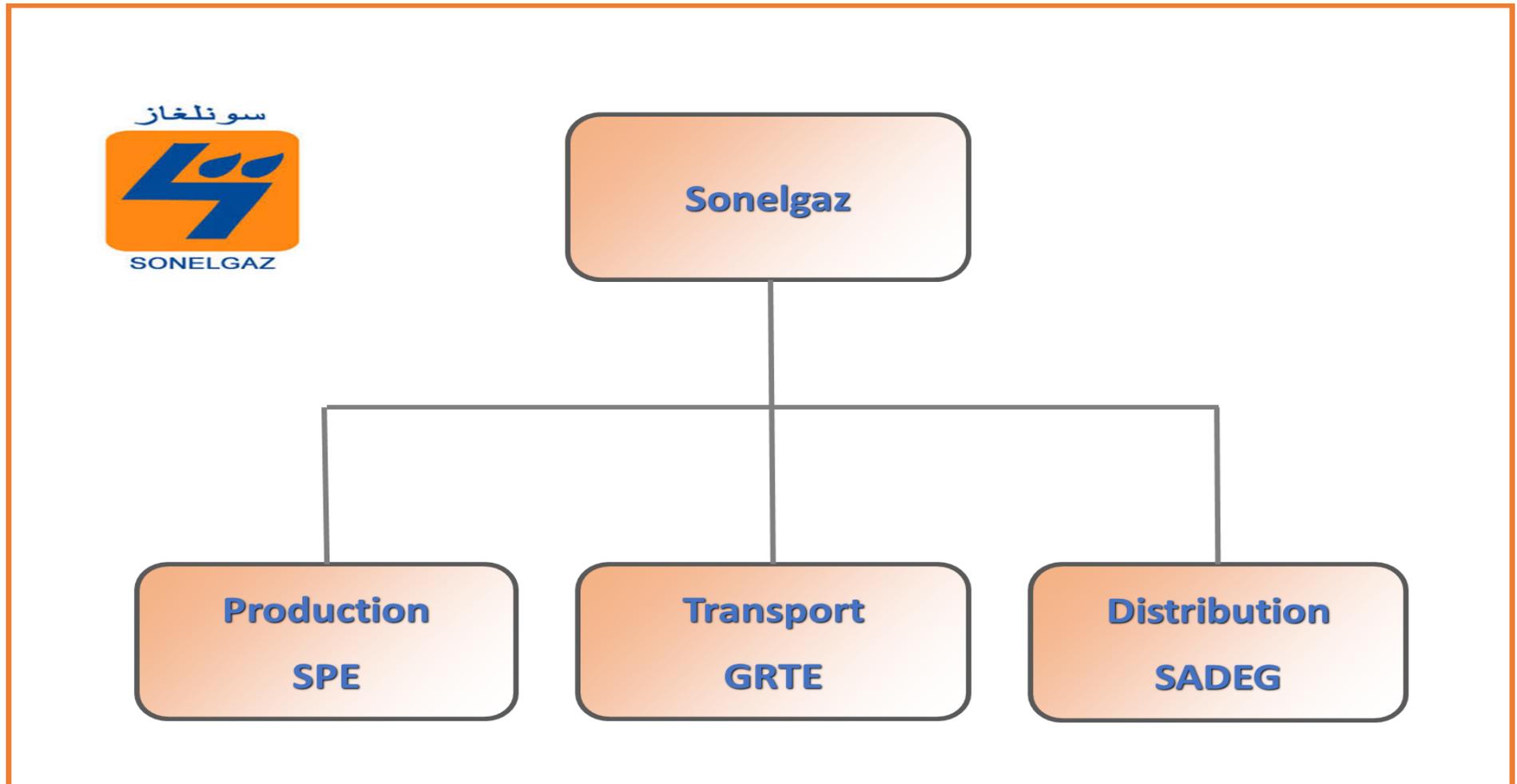


Figure II.2 Schéma synoptique de liaison entre les filiales principales du groupe Sonelgaz.



II.4.1 Présentation de la société de production de l'électricité « SPE »

Cette filiale est chargée de la production de l'électricité à l'échelle national et la commercialisation pour la filiale de transport de l'électricité.

En 2004, La direction de la production de l'électricité « DPE » filiale du groupe Sonelgaz devient société de production de l'électricité SPE Spa puis en 2009 ils l'ont nommée société Algérienne de production de l'électricité « SPE Spa ».

La production de l'électricité se faisait grâce aux centrales hydrauliques puis l'intégration des centrales thermiques à vapeur, puis les turbines à gaz, et depuis 2018, ils se sont penchés vers les énergies renouvelables, aux normes d'efficacité énergétique et du respect de l'environnement.

Cette filiale répond aux besoins et aux demandes croissantes des abonnés. [17,20]

II.4.2 Présentation de la filiale de « GRTE »

GRTE c'est une filiale du groupe Sonelgaz créée le 1^{er} janvier 2004, chargée de la gestion, l'exploitation, maintenance, et du développement du réseau de transport de l'électricité, pour garantir une capacité appropriée par rapport aux besoins de transit et de réserve [23].

Elle est administrée par un conseil d'administration, présidé par son directeur général, équipée d'une assemblée générale.

La gestion du système production transport d'électricité « SPTE » est assurée par l'Opérateur Système Electrique, une société filiale du groupe Sonelgaz, qui doit veiller en permanence au maintien de l'équilibre offre – demande d'énergie électrique[23].

GRTE assure ses activités à travers des directions centrales et six directions de Régions Transport de l'Electricité : Alger, Centre, Oran, Sétif, Annaba et Hassi Messaoud. Ces régions, à travers 28 services de transport répartis sur le territoire national assurent une maintenance de proximité et la relation directe avec les clients [23,25].



Le réseau de transport est un ensemble d'ouvrages lignes et postes haute tension (60, 90, 150, 220 et 400 kV) équipé d'un réseau de télécommunication pour la surveillance, le contrôle et la télécommande des équipements [24].

Il est constitué d'un réseau interconnecté au nord du pays, avec des interconnexions internationales (Tunisie et Maroc) et d'un réseau isolé au sud.

Les utilisateurs du réseau sont les centrales électriques, les sociétés de distributions de l'électricité et clients HT ainsi que pour les échanges internationaux à travers les interconnexions. GRTE exploite un réseau composé de :

- **30515** km de lignes dont **4497** km en 400 KV

Cette filiale assure le transport de l'électricité et sa commercialisation pour la filiale de distribution, et le réseau haut débit qui tend vers 19 556 km. [18,19,20]

II.4.3 Présentation de ELIT

Eldjazair information Technology est une société algérienne comptant plus de 300 ingénieurs informaticiens, qui répondent aux besoins en systèmes d'information.

Cette société offre des services nécessaires pour mieux gérer les entreprises ayant amorcé le virage technologique gagnant en temps et en productivité, ces services se résument en :

- Messagerie professionnelle.
- Développement des sites web.
- Hébergement de solutions IT.
- Réseaux informatiques.
- Solution de visioconférence.

Cette même société s'en charge du côté gestionnaire et informatique du groupe Sonelgaz [27].

II.4.4 Présentation de la société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz « SADEG »

Comme son nom l'indique c'est une société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz, créée le 22 mai 2017 et met au service de ses clients pas moins de 186 districts d'électricité et de gaz et plus 378 agences commerciales [26].



Les différentes régions de distributions sur le territoire national se présentent dans la figure II.3.

Cette société a pour but de satisfaire aux meilleures conditions de raccordement de l'électricité en moyenne ou en basse tension, et du gaz, accompagner et réaliser les projets de développement conformément aux missions de la société, dans le cadre du programme, tout en sécurisant les infrastructures, d'une part de l'évolution des consommations et d'autre part de la croissance de la production et les accidents. [17,19]

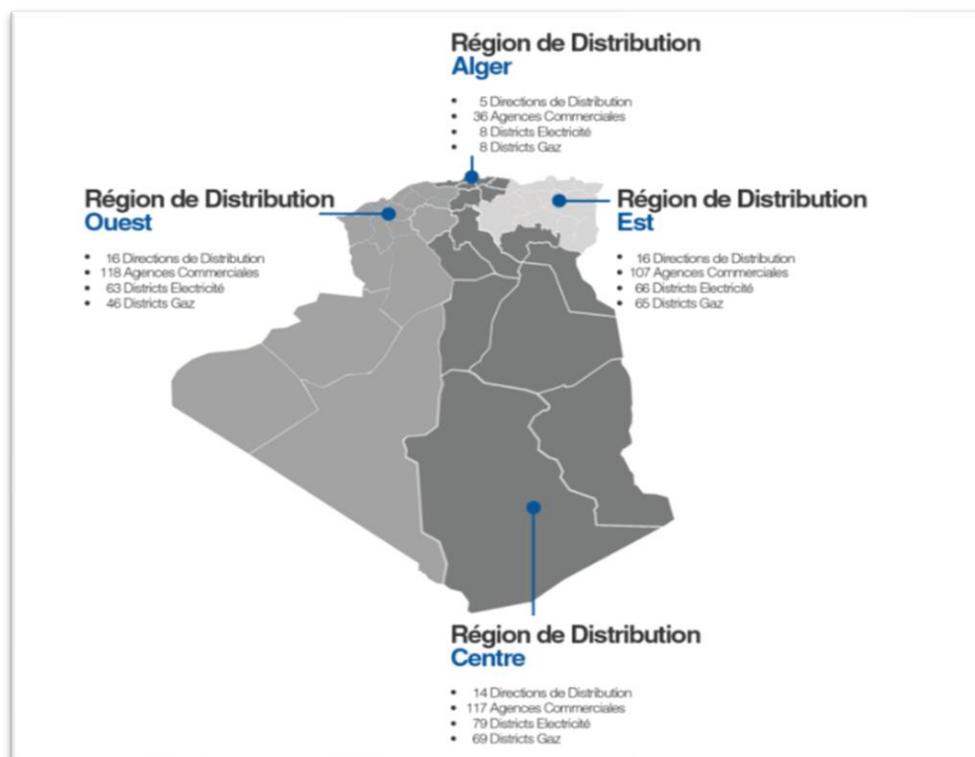


Figure II.3 Les différentes régions de distribution.

Cette filiale a une mission d'adapter le réseau d'aujourd'hui aux nouvelles technologies afin de rester en adéquation permanente avec les besoins des clients.

Comme on peut le voir dans la figure II.4, le réseau de SADEG Tlemcen est lié directement avec GRTE.

La capacité de ce réseau peut varier de 2 Mbit/s jusqu'à 150 Mbit/s.



II.4.4.1 Réseau informatique de la direction de distribution de Tlemcen « DD-Tc »

GRTE assure le transport des énergies jusqu’aux directions de distribution et les postes les plus près des agences commerciales.

La supervision de ces agences se fait par la DD-Tlemcen, en passant par le routeur de GRTE comme le montre la figure II.4.

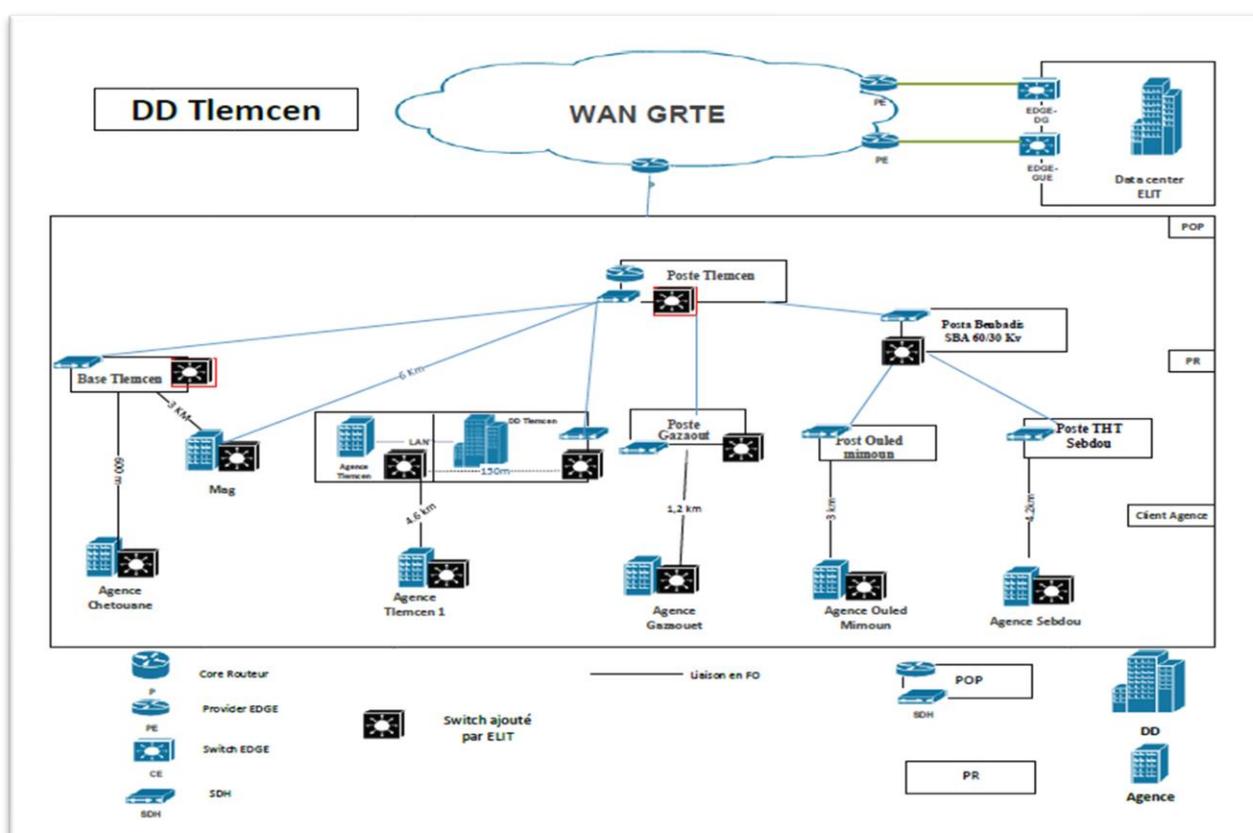


Figure II.4 Interconnexion par fibre optique de la direction de Tlemcen au réseau backbone GRTE.

II.4.4.2 Les équipements nécessaires du réseau DD-Tlemcen

La figure II.5 représente la liaison du réseau de la distribution et GRTE.

Nous allons donc présenter les équipements de ce réseau et leur rôle.



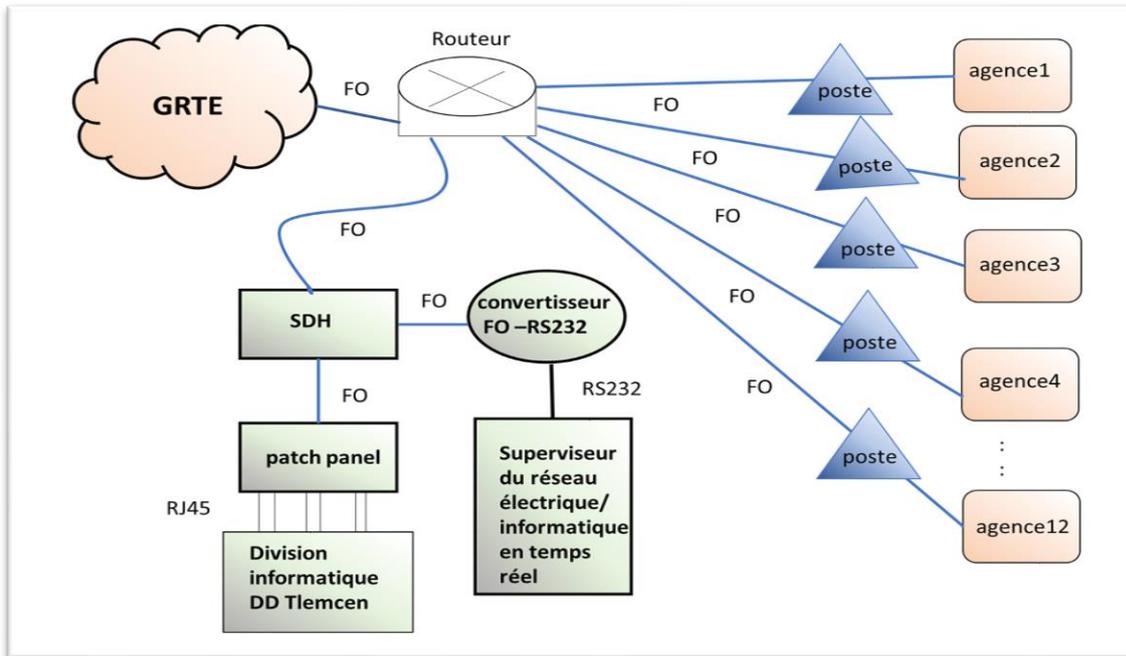


Figure II.5 Schéma de principe d'une liaison fibre optique entre routeur GRTE et extrémité de distribution (SADEG).

- SDH (synchronous digital herarchy)

SDH est un équipement doté des multiplexeurs, et basé sur des protocoles pour la transmission des informations numériques. Il a pour objectif d'assurer une flexibilité d'un système de multiplexage qui se mesure sur la facilité de réorganisation du train avec la possibilité de transporter des débits variés dans ce train.

Cet équipement est utilisé pour la liaison avec son vis-à-vis du poste GRTE.



Figure II.6 Image réelle d'un SDH (Sagem).



Le tableau suivant présente les différents niveaux SDH avec leurs débits et le nombre des voies téléphoniques à 64 Kbits/s

Niveau SDH	Débit (kbit/s)	Nombre de voies téléphoniques
STM- 1	155 520	1 920
STM- 4	622 080	7 680
STM- 16	2 488 320	30 720
STM- 32	9 953 280	122 880

Tableau II.1 Les niveaux de la hiérarchie SDH.

- Module SFP (small form-factor plugable)

SFP (Small form-factor plugable), c'est un module émetteur-récepteur compact, insérable. Utilisé dans les réseaux de télécommunication et informatiques, cette interface permet d'interconnecter l'interface de la carte mère d'un équipement à une fibre optique ou un câble cuivré.

Câble	Type Du câble	Types de SFP	La longueur d'onde (nm)	La distance	câble	Type du SFP	débit	catégorie
F I B R E O P T I Q U E	Fibre multimode	SX	850	550 m	C A B L E C U I V R É	10 BASE-T	10 Mbit/s	3 (2paires)
		LX	1 310	10 km		100 BASE-T	100 Mbit/s	5 (2paires)
	Fibre monomode	EX	1 310	40 km		1000 BASE-T	1 Gbit/s	5 (4 paires)
		ZX	1 550	80 km		1000 BASE-TX	1Gbit/s	6 (4 paires)
		EZX	1 550	120 km		-	-	-
BX	1 490/ 1 310	10 km	-	-	-			

Tableau II.2 Caractéristiques du module SFP.





Figure II.7 Les différents types de module SFP.

- Patch panel

Panneau de brassage à fibre optique sert à interconnecter les ports des équipements de réseau et de téléphonie aux arrivées des câbles réseau.

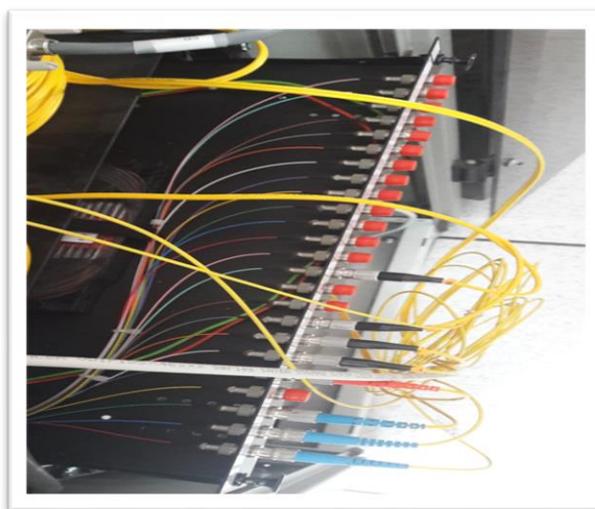


Figure II.8 Image réelle d'un panneau de brassage.

- Les différents connecteurs fibre optique

Les connecteurs sont des dispositifs normalisés mis à l'extrémité d'une fibre optique qui permettent d'interconnecter les câbles fibre optique aux équipements terminaux.





Figure II.9 Les différents types de connecteurs fibre optique.

- **Convertisseur fibre optique-RS232**

Un convertisseur est un dispositif électronique qui sert à convertir le signal d'un type à un autre. Dans notre cas, le convertisseur utilisé convertit le signal lumineux en un signal électrique.



Figure II.10 Photo réelle des convertisseurs fo-RS232.

- **Supervision SCADA**

Grace à la liaison fibre optique issue du SDH (Sagem), et en passant par un convertisseur FO-RS232, ils ont pu superviser et visualiser des postes HT/MT et THT connectant au logiciel SCADA.



II. 4.4.3 Réseau LAN DD-Tlemcen

Le réseaux LAN de la direction de distribution de Tlemcen regroupe toutes les agences commerciales de la wilaya de Tlemcen.

Ces agences sont toutes liées avec la DD-Tlemcen par un réseau internet (VPN), par fibre optique, et d'autres par les deux pour la redondance comme le montre la figure II.11 .

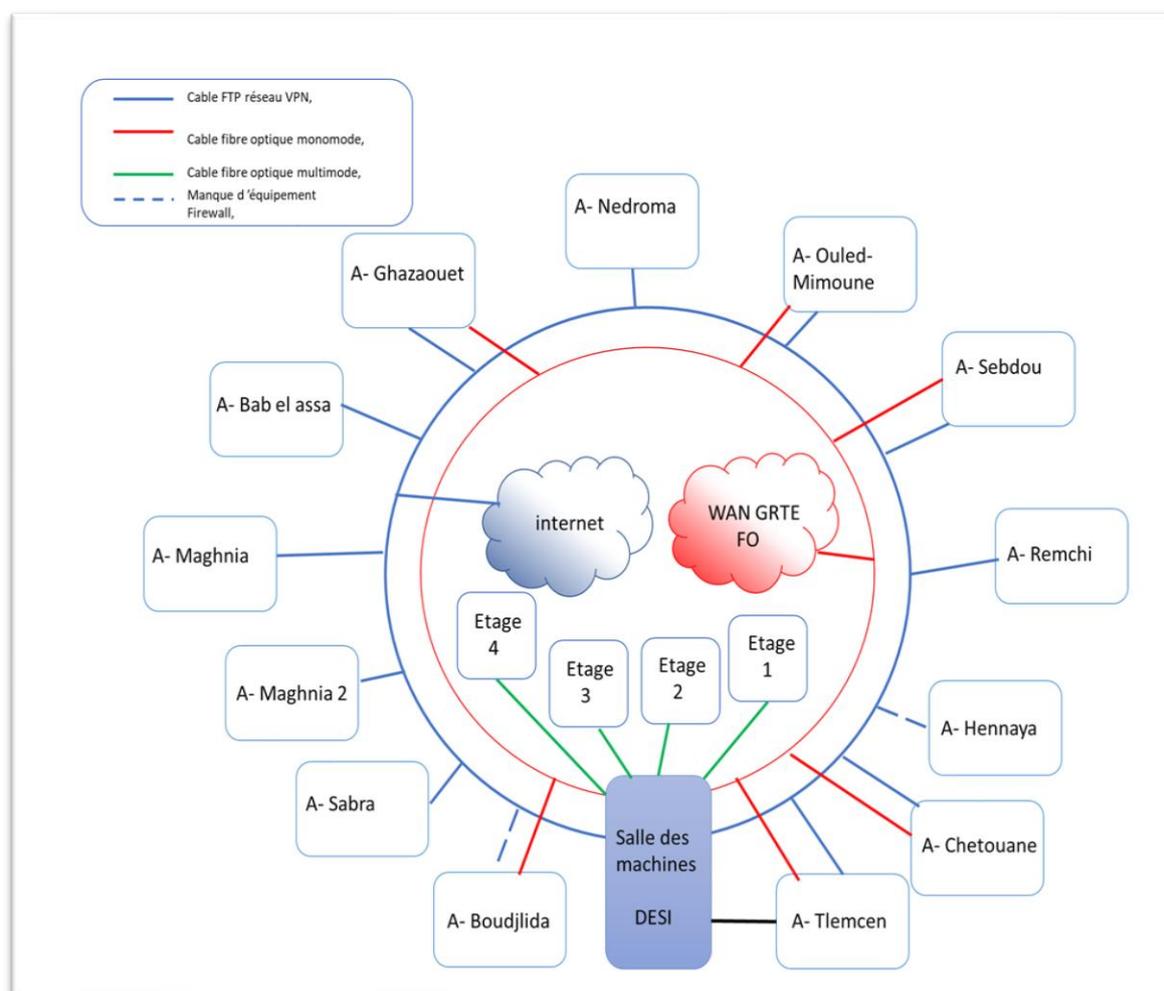


Figure II.11 Schéma synoptique d'interconnexion du réseau LAN «DD Tlemcen».



II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'entreprise Sonelgaz avec ses filiales principales et le rôle de chacune. Suite à notre stage à la DD-Tlemcen, on a pu connaître les différentes étapes de liaisons et les équipements reliant deux structures en ce qui concerne la direction avec le point backbone GRTE et les agences commerciales avec leurs points nœuds, qui est le service informatique de la direction.

Dans le prochain chapitre, nous allons nous familiariser avec l'outil utilisé pour la supervision du réseau par fibre optique.



CHAPITRE III
SUPERVISION DU RÉSEAU
FIBRE OPTIQUE PAR SUPPORT
INFORMATIQUE



III.1 Introduction

Un logiciel est une chaîne d'instructions successives, exécutables. Un logiciel est créé selon la demande d'un client, en suivant une démarche planifiée et logique pour obtenir un produit de qualité dans les meilleurs délais.

Les logiciels peuvent être payants comme ils peuvent être gratuits, en ce qui concerne notre travail, nous avons choisi l'outil « Nagios ».

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'outil utilisé récemment par la direction de distribution de Tlemcen pour la supervision des équipements tout en révélant son fonctionnement serveur-client en virtuel, et les problèmes qu'on pourra rencontrer.

III.2 Présentation de FAN

FAN, cet outil a pour but de fournir une distribution linux basée sur CentOS.

L'avantage est de permettre une mise en place d'un serveur de supervision très rapidement sans avoir besoin d'une configuration. [28]

III.2.1 Nagios

C'est une application libre (distribution sous licence GPL) qui permet de gérer la supervision du système, et du réseau. Grâce à celui-ci, on pourra avoir une interface web pour la visualisation des résultats et gérer les plugins qui nous permettent de définir l'état de nos équipements et nos services. [28]

Nagios est un programme modulaire qui se décompose en trois parties :

- a- Le moteur d'application :** il planifie les tâches de surveillance.
- b- L'interface web :** donne un aperçu du système d'information et des éventuelles anomalies.
- c- Les plug-ins :** plusieurs mini programmes (100 mini programmes environ) qui peuvent être configurés selon les besoins des utilisateurs en matière de surveillance de chaque service ou ressource disponible sur tous les ordinateurs ou réseau dispositifs du système d'information.



III.2.2 Description du programme Nagios

- Surveillance des services réseau.
- Surveillance des ressources du serveur.
- Interface avec SNMP.
- Surveillance à distance peut utiliser SSH ou un tunnel SSL.
- Les plug-ins sont écrits dans les langages de programmation les mieux adaptés à leurs tâches.
- La vérification des services est effectuée en parallèle.
- Possibilité de création une hiérarchie de réseau afin de pouvoir différencier un inaccessible et un serveur en panne.
- La notification d'alerte est configurable via les plug-ins.
- Les alertes sont reconnues par les administrateurs.
- Gestion de l'escalade des alertes.
- Contrôle de la visibilité.

III.2.3 Installation de Fully Automated Nagios (FAN)

L'installation de FAN est similaire à l'installation d'un CentOS standard. C'est rapide et intuitif.

Tout d'abord il faut installer une machine virtuelle (VirtualBox).

- démarrer sur le CD d'installation.
- Exécuter VirtualBox.
- Nouvelle : nom : nagios

Type : linux

Version : Ubuntu (64-bit)



- Taille de la mémoire : 2Mo ou plus.
- Disque dur : créer un disque virtuel maintenant.
- Type de fichier du disque dur : VDI.
- Stockage sur disque dur physique : dynamique alloué.
- Emplacement du fichier et taille : 10Go.
- Démarrer.
- Choisir le disque de démarrage.

Démarrer (aller sur dossier pour exécuter l'image FAN-2.4x86_64.

Les étapes se présentent dans les figures suivantes :



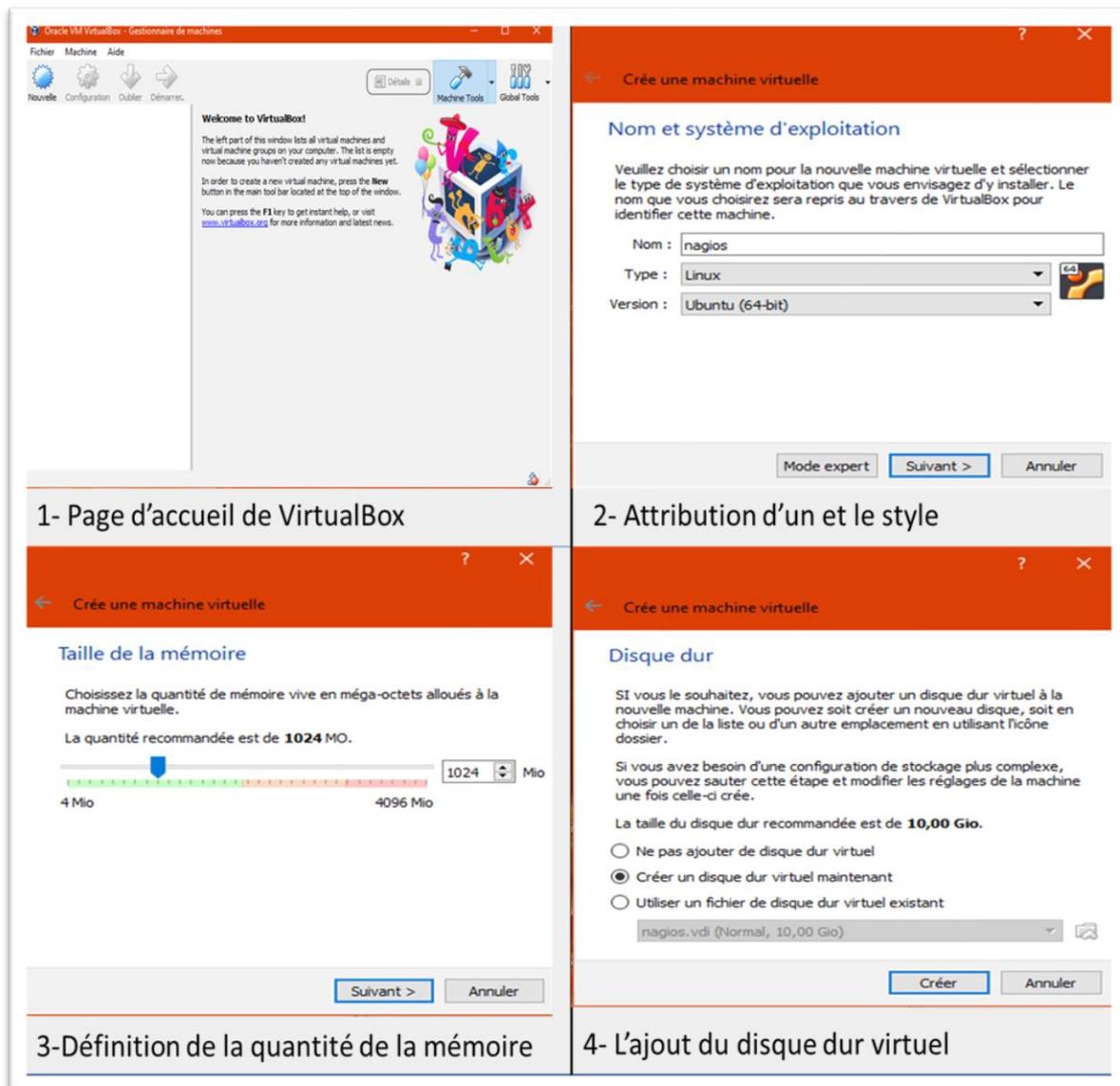


Figure III.1 Les étapes de création de la machine virtuelle.

- Cliquer sur « nouvelle » pour créer une nouvelle machine.
- Nous avons attribué un nom à la machine tout en choisissant le type et la version de la machine.
- Cliquer sur « suivant ».
- Ensuite nous avons cliqué sur « suivant » après avoir défini la taille allouée à la machine virtuelle.



- Nous avons sélectionné « créer un disque dur virtuel » pour ajouter un stockage à la machine virtuelle.

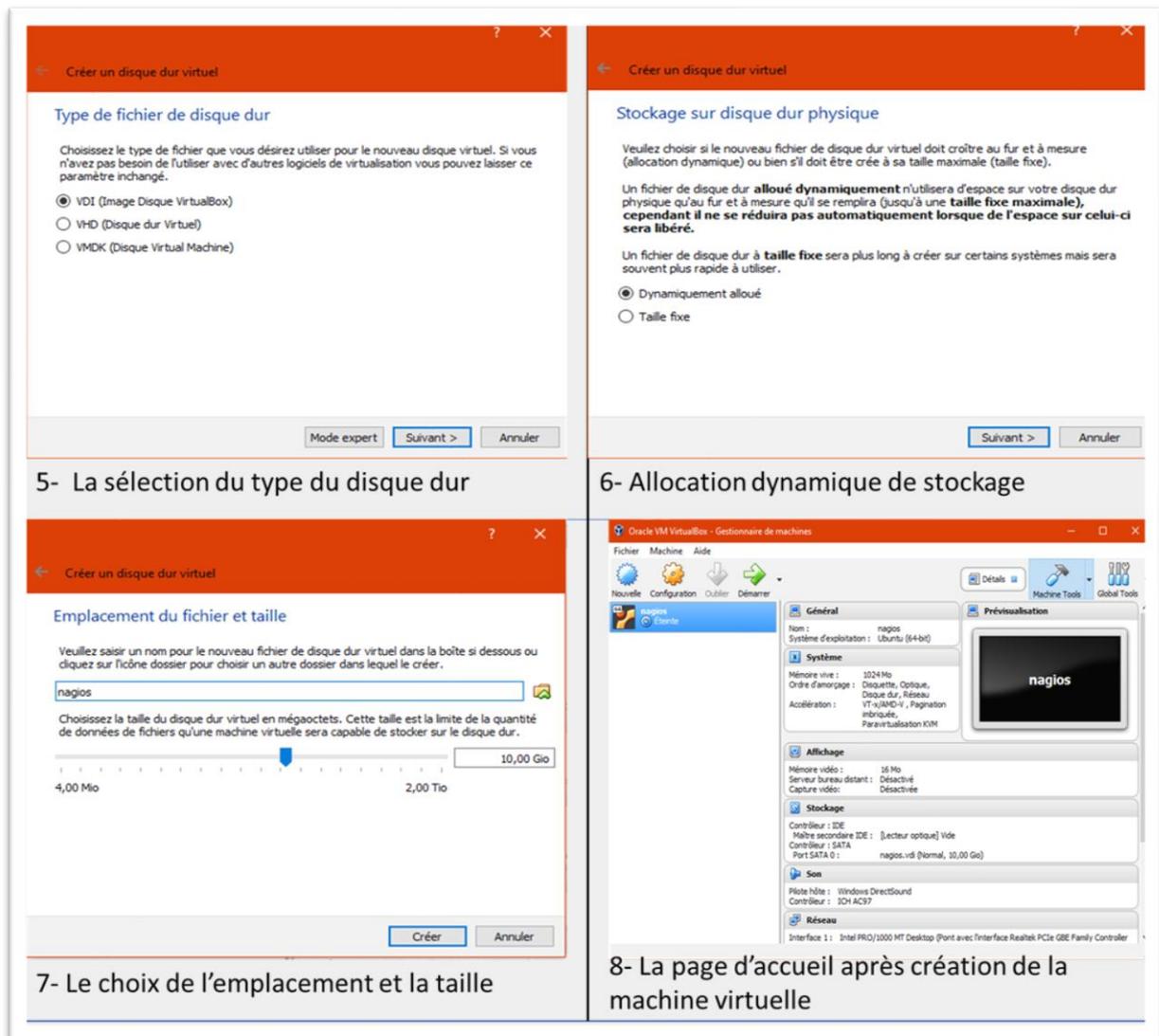


Figure III.2 La suite des étapes de la création de la machine.

- Nous avons défini le type de fichier du disque dur sélectionné précédemment en choisissant un stockage dynamique.
- Nous avons choisi l'emplacement et la taille de données, qu'une machine virtuelle peut stocker sur le disque dur.
- Cliquer sur créer.
- Et enfin on clique sur la machine « nagios » pour la démarrer.



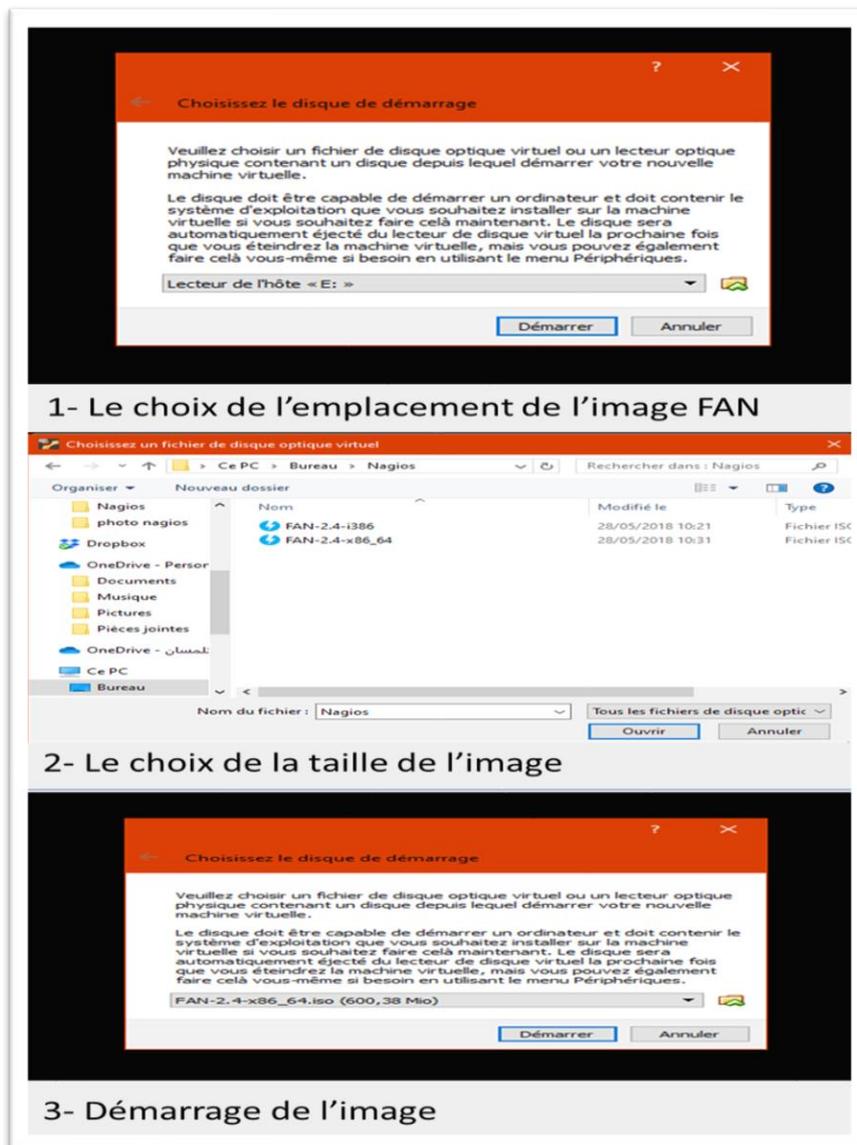


Figure III.3 Insertion de l'image de FAN.

- Chercher l'emplacement de l'image ISO de FAN.
- On choisit la taille qui convient à notre espace mémoire.
- Cliquer sur « démarrer ».





Figure III.4 Page de démarrage de FAN.





Figure III.5 Les étapes de la configuration de FAN.

- Choisir la langue.
- Cliquer sur ok.



- Choisir le type de clavier.
- Choisir le disque et sélectionner l'option de partitionnement.
- Cliquer sur ok.
- Taper suivant.
- Nous avons choisi le faisceau horaire « Afrique/Algérie ».
- Cliquer sur suivant.

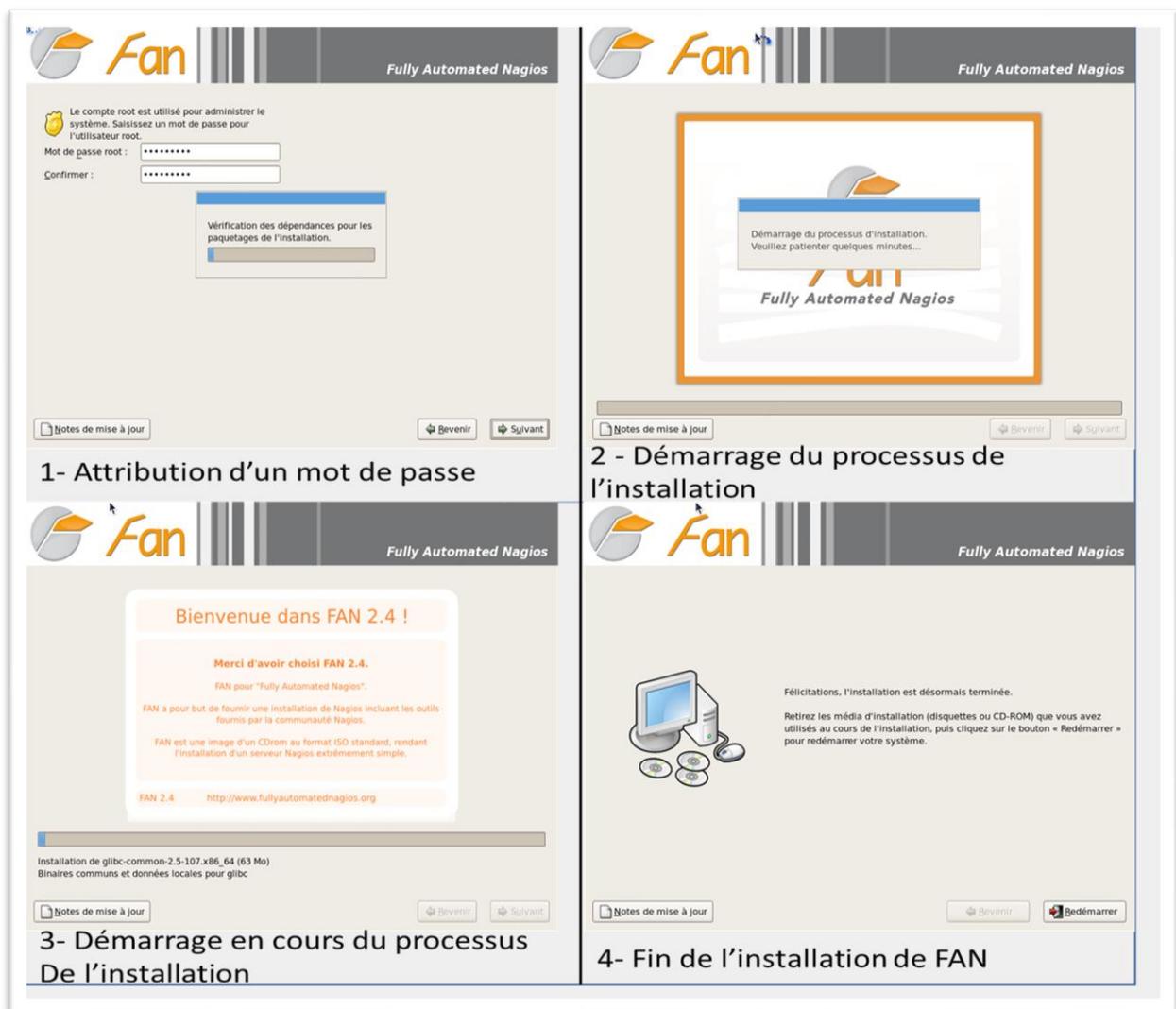


Figure III.6 L'installation de FAN.



Nous avons donné un mot de passe pour le compte root.

- Taper suivant.
- Laisser l'installation se faire.
- Une fois l'installation soit terminée, on clique sur redémarrer.
- Après le chargement, on patiente quelques minutes pour le démarrage du processus d'installation.
- Cliquer sur redémarrer.

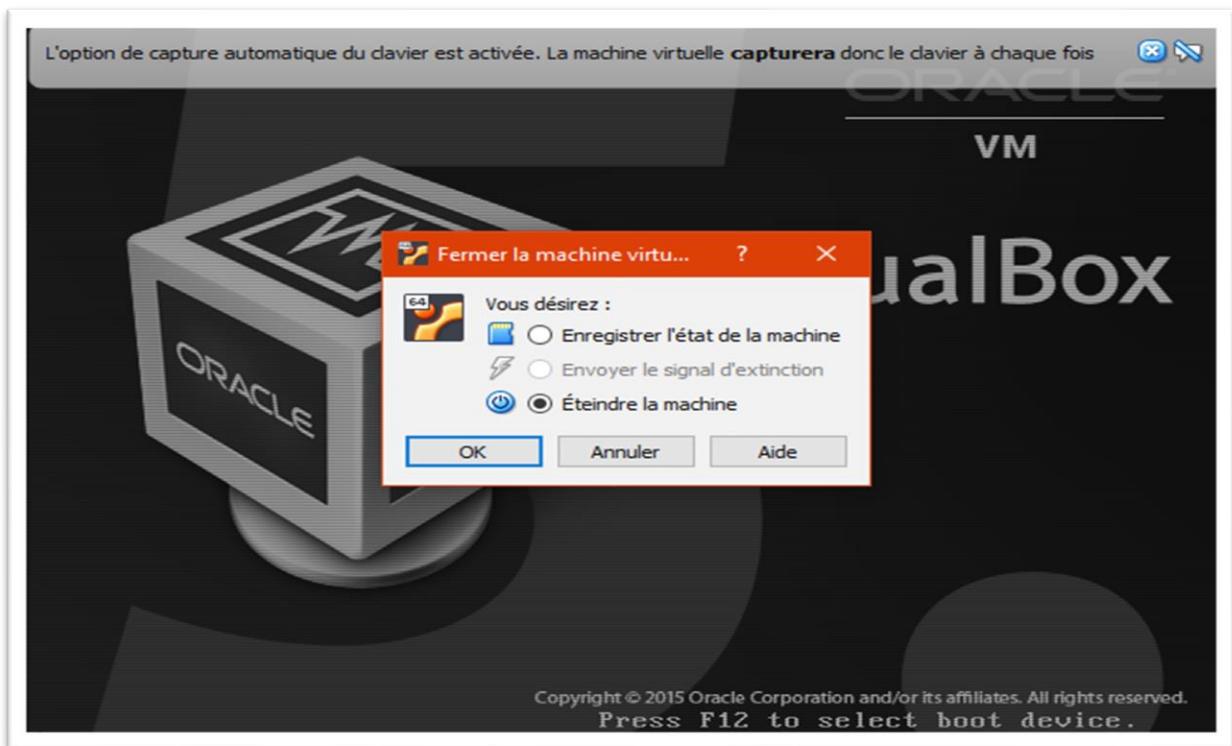


Figure III.7 Eteindre la machine.

- On éteint la machine pour retirer l'image, pour éviter que le processus de l'installation de FAN se répète.



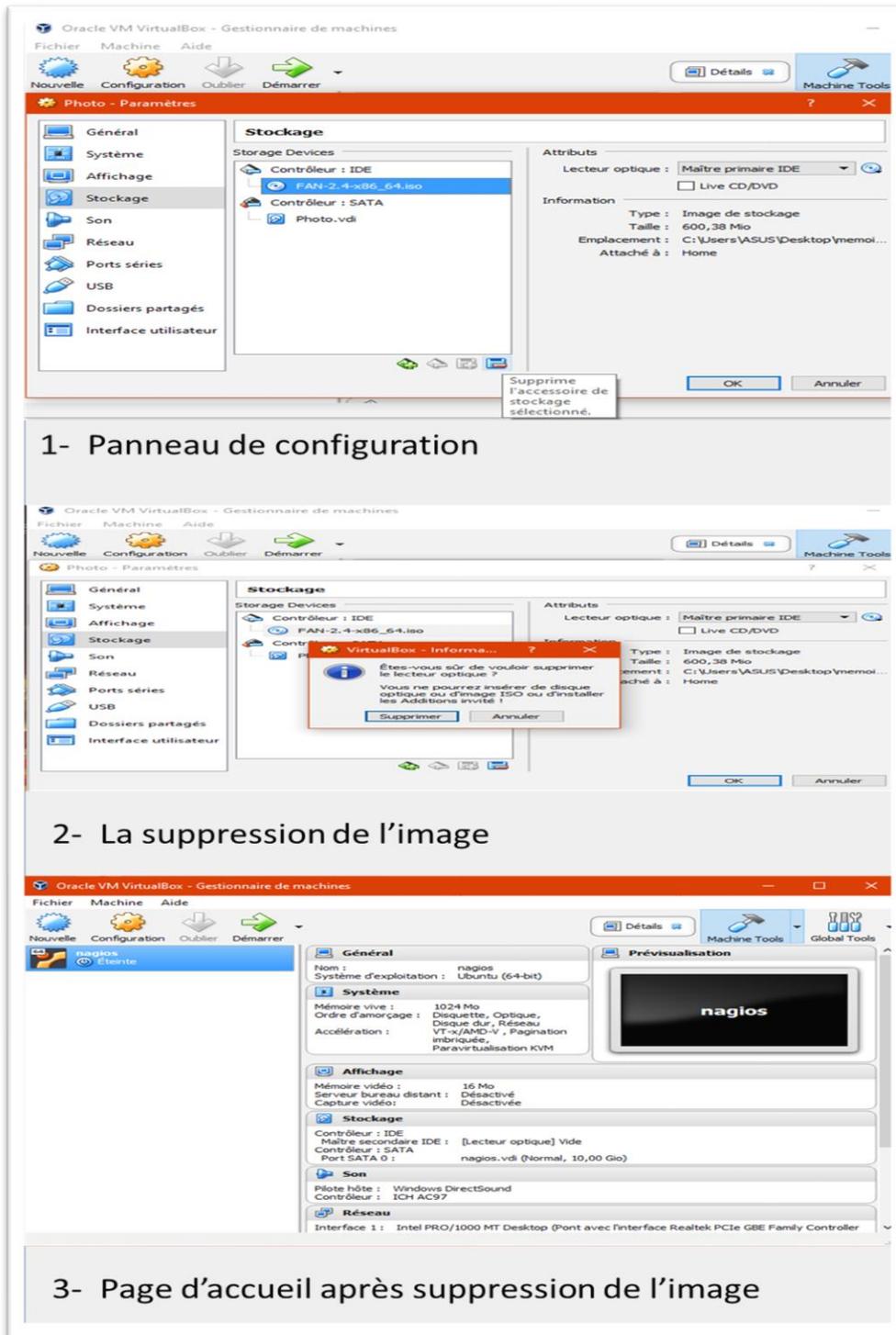


Figure III.8 Les étapes de la suppression de l'image.



- On clique sur configurer.
- Cliquer sur stockage.
- Sélectionner l'image FAN-2.4x86_64.iso.
- Cliquer sur l'icône bleue à droite pour supprimer.
- Cliquez sur supprimer.
- Cliquez sur OK.
- Double cliquer sur la machine nagios pour la redémarrer.

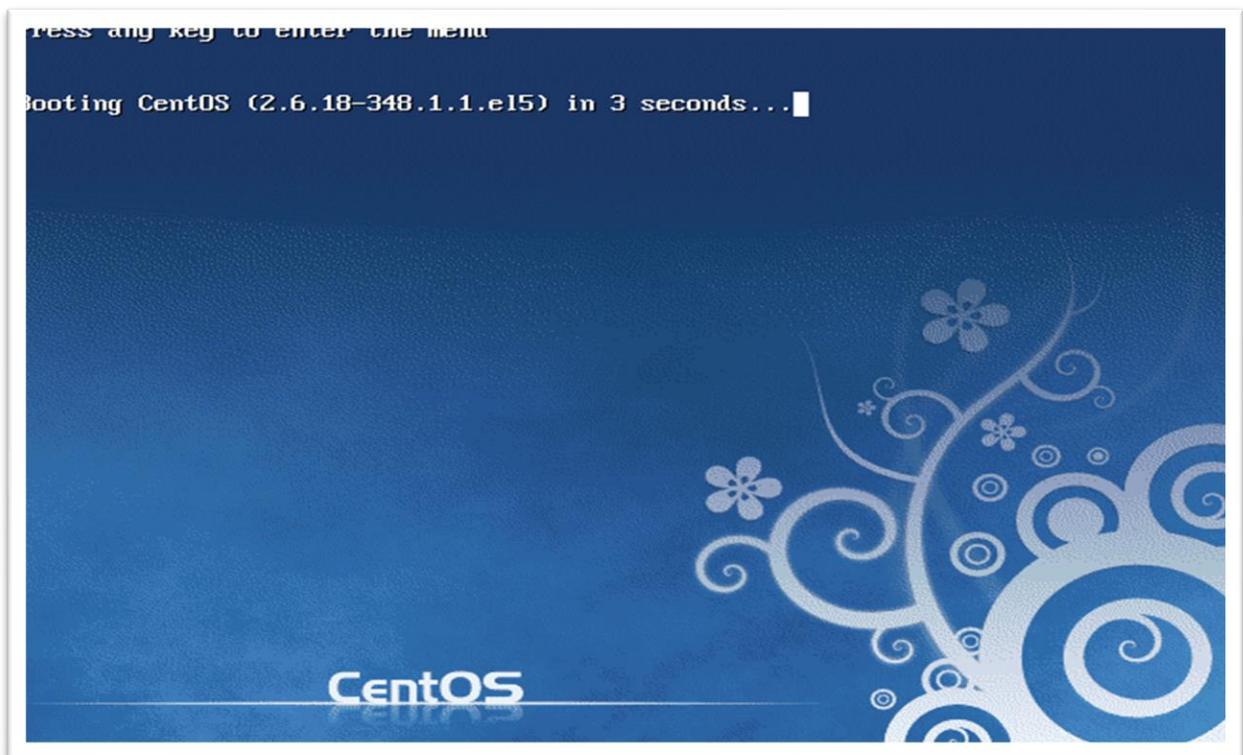


Figure III.9 Page d'accueil nagios.

- Attendre quelques secondes.
- Configurer le système.



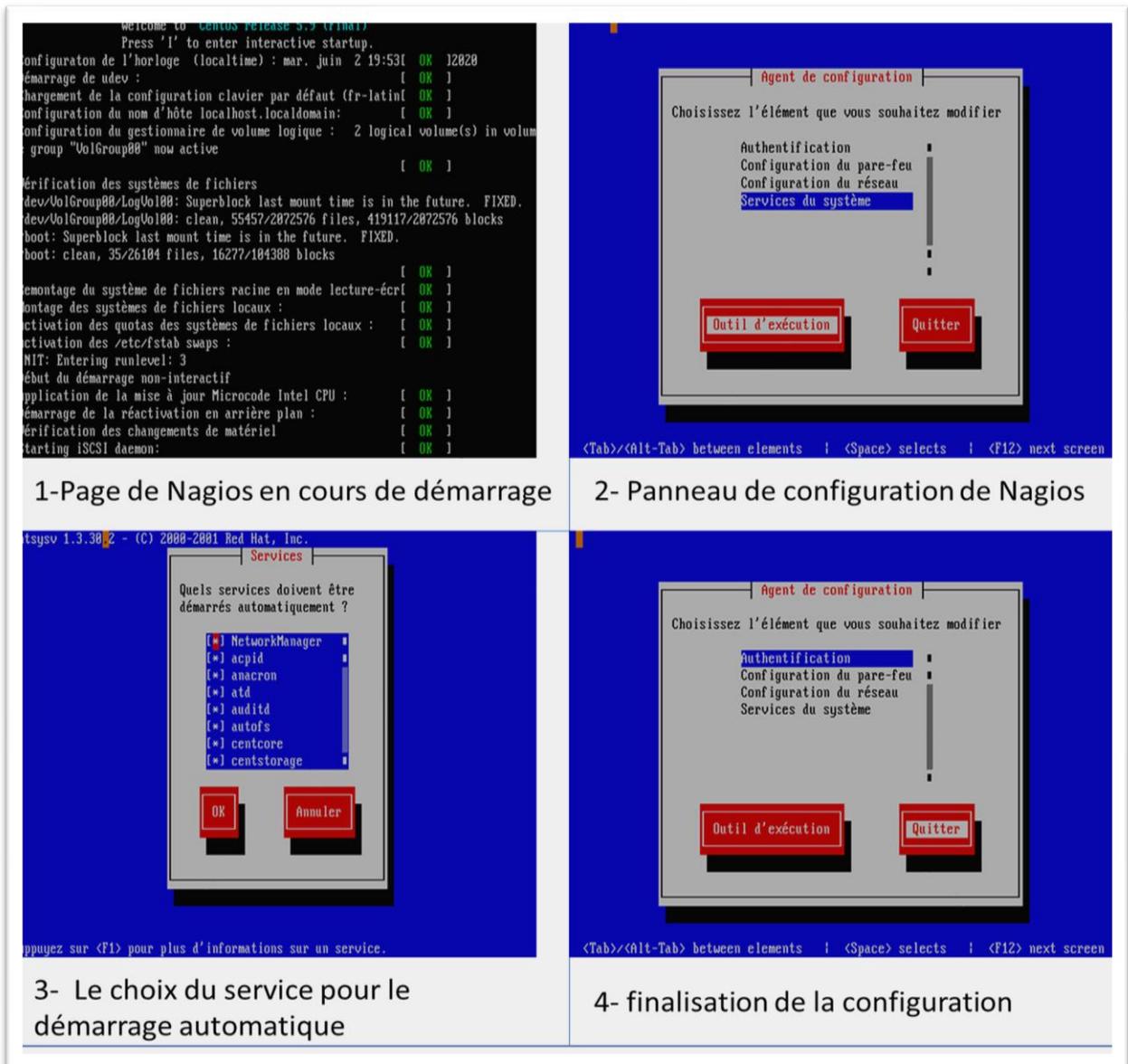


Figure III.10 La configuration de la machine nagios.

- L'installation est réussie.
- Nous avons choisi « service du système » puis on clique sur outil d'exécution, pour accéder à l'étape suivante.
- Taper « espace ».
- Taper « tab ».
- Cliquer sur ok.



- Taper « tab ».
- Cliquer sur quitter.

La prochaine étape est de s'identifier au compte root, en faisant entrer l'identifiant et son mot de passe.

Le mot de passe sera invisible lors de l'écriture.



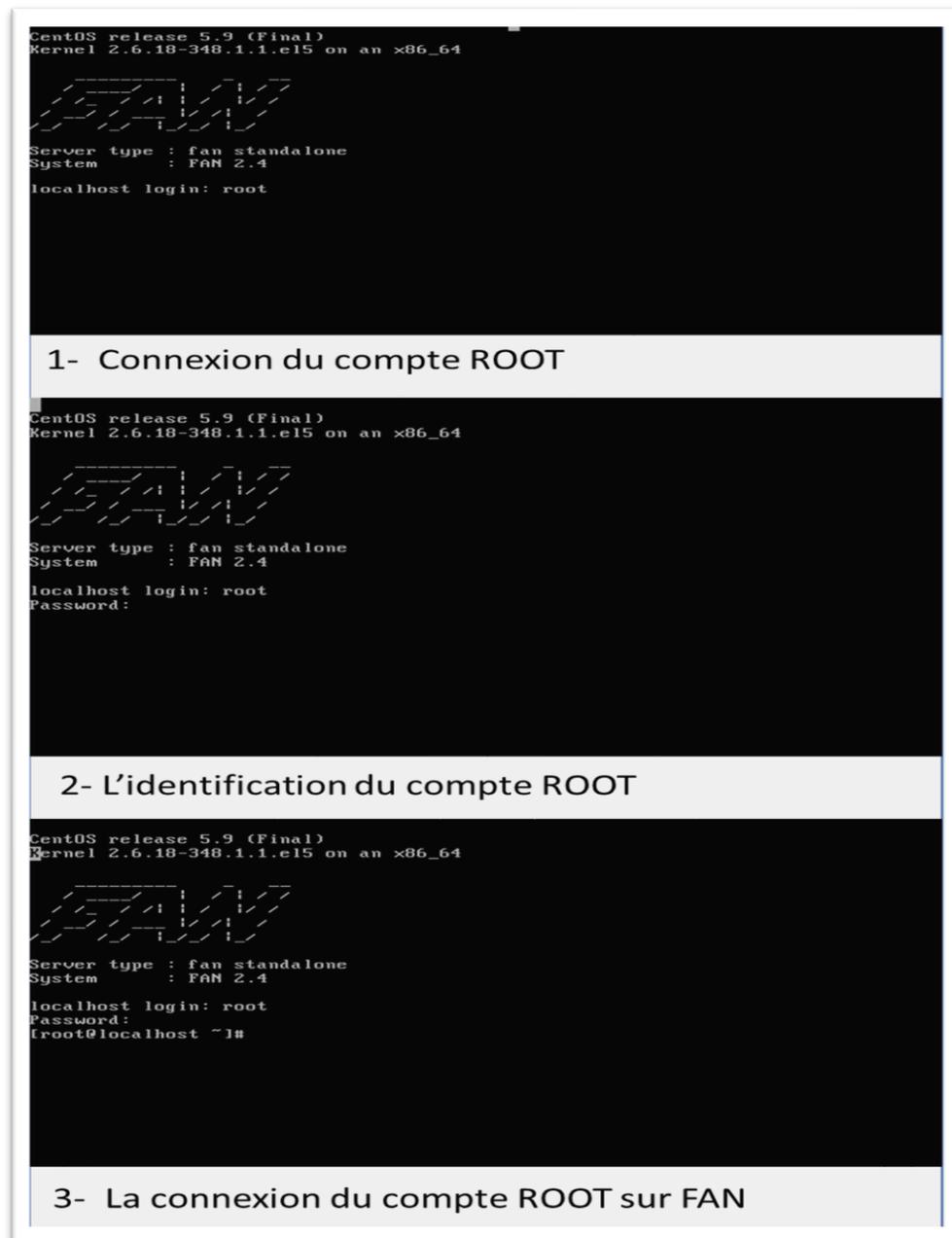


Figure III.11 Connexion du compte ROOT.

- Taper « Root »
- Entrer le mot de passe choisi précédemment.
- Le travail que nous devons réaliser est la supervision à distance du réseau des routeurs, et switch de la direction de Tlemcen.



Ce réseau sera composé de :

- Un serveur « Nagios » pour la supervision du réseau, de la centralisation et de l'analyse des informations du réseau.
- Des routeurs (6 routeurs dell et Cisco)
- Des Switch (5 switches dell)
- Des hosts (11 dans notre cas)

III.2.4. Configuration du serveur Nagios

Nous devons tout d'abord, créer une machine pour la supervision des hosts sur Nagios les étapes se présentent ci-dessous :

if config

- Taper entrer pour afficher l'adresse ip de la machine de supervision Nagios.



Figure III.12 Champ de commande pour la modification des données.

- Cette commande sert à modifier dans la machine (eth0).

#Fn insert

- Taper « i » pour pouvoir modifier les données.



```
Intel Corporation 82548EM Gigabit Ethernet Controller
EUICE=eth0
BOOTPROTO=dhcp
DHCPCLASS=
HWADDR=[REDACTED]
ONBOOT=yes

/etc/susconfig/network-scripts/ifcfg-eth0" 6L. 138C 1.1 Tout
```

Figure III.13 Configuration de l'adresse IP de la carte réseau eth0.

- Dans cette rubrique, nous avons changé les adresses par défaut suivant le réseau informatique de distribution.
 - Hwaddr c'est l'adresse de la carte réseau.




```
#vim /etc/nagios/objects/ls
```

- Taper entrer pour accéder à la liste.



```
Netrw Directory Listing (netrw v125)
/etc/nagios/objects
Sorted by name
Sort sequence: [\/]$, \.h$, \.c$, \.cpp$, *, \.o$, \.obj$, \.info$, \.swp$, \.bak$, \
Quick Help: <F1>:help -:go up dir D:delete R:rename s:sort-by x:exec
=====
./
commands.cfg
contacts.cfg
localhost.cfg
printer.cfg
switch.cfg
templates.cfg
timeperiods.cfg
windows.cfg
/etc/nagios/objects" est un répertoire 8 1 Tout
```

Figure III.16 Le contenu du fichier objects.

Le dossier objects contient des différents fichiers

```
#vim /etc/nagios/objects/switch.cfg
```

- Taper entrer pour accéder au switch.



```
SWITCH.CFG - SAMPLE CONFIG FILE FOR MONITORING A SWITCH
Last Modified: 10-03-2007

NOTES: This config file assumes that you are using the sample configuration
files that get installed with the Nagios quickstart guide.

=====

HOST DEFINITIONS
=====

# Define the switch that we'll be monitoring

define host{
    use           generic-switch      ; Inherit default values from a
template
    host_name    linksys-srw224p     ; The name we're giving to this
switch
    alias        Linksys SRW224P Switch ; A longer name associated with
the switch
    address      [REDACTED]         ; IP address of the switch
    hostgroups   switches            ; Host groups this switch is as
sociated with
}

=====

# SERVICE DEFINITIONS
=====

# Create a service to PING to switch

define service{
    use           generic-service    ; Inherit values from a templat
    host_name    linksys-srw224p     ; The name of the host the serv
ce is associated with
    service_description PING         ; The service description
    check_command check_ping!200.0,20%;1600.0,60% ; The command u
ed to monitor the service
    normal_check_interval 5          ; Check the service every 5 min
utes under normal conditions
    retry_check_interval 1           ; Re-check the service every mi
nute until its final/hard state is determined
}

=====

# Monitor uptime via SNMP

=====

HOST GROUP DEFINITIONS
=====

Create a new hostgroup for switches

define hostgroup{
    hostgroup_name switches          ; The name of the hostgroup
    alias          Network Switches  ; Long name of the group
}

=====

SERVICE DEFINITIONS
=====
```

Figure III.17 Les données du switch par défaut.



```
Monitor uptime via SNMP
define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          linksys-srw224p
    service_description Uptime
    check_command      check_snmp!-C public -o sysUpTime.0
}

Monitor Port 1 status via SNMP
define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          linksys-srw224p
    service_description Port 1 Link Status
    check_command      check_snmp!-C public -o ifOperStatus.1 -r 1 -m MIB
    C1213-MIB
}
1
93,0-1 77%
```

```
Monitor bandwidth via MRTG logs
define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          linksys-srw224p
    service_description Port 1 Bandwidth Usage
    check_command      check_local_mrtgtraf!/var/lib/mrtg/192.168.1.255
    1.log!AUG!1000000,1000000!5000000,5000000!10
}
2
113,0-1 Bas
```

Figure III.18 Les services du switch par défaut.

Les services du statut et de la bande passante de la machine.



III.2.5 La création des hosts

Pour ajouter des hosts on doit suivre les étapes suivantes :

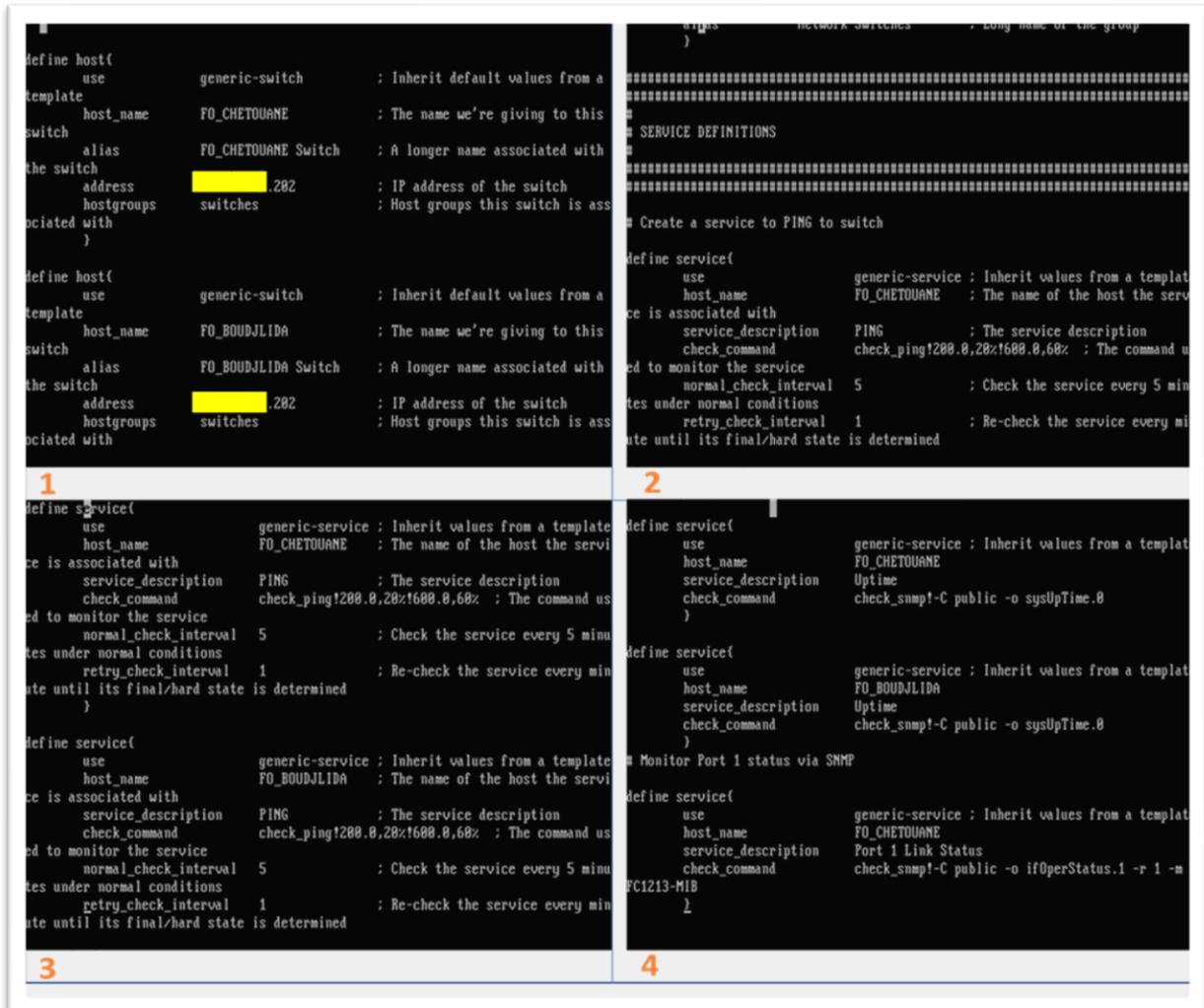


Figure III.19 Les étapes de la création des hosts.

Nous avons donné une adresse IP et un nom pour les hosts.

Les adresses IP des switch et routeurs de la direction sont masqués afin d'éviter toute infiltration.



```

define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          FO_BOUDJLIDA
    service_description Port 1 Link Status
    check_command      check_snmp!-C public -o ifOperStatus.1 -r 1 -m MIB
}

# Monitor bandwidth via MRTG logs

define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          FO_CHETOUANE
    service_description Port 1 Bandwidth Usage
    check_command      check_local_mrtgtraf!/var/lib/mrtg/192.168.1.253
    _1.log!AUG!1000000,1000000!5000000,5000000!10
}

define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          FO_BOUDJLIDA
    service_description Port 1 Bandwidth Usage
    check_command      check_local_mrtgtraf!/var/lib/mrtg/192.168.1.253
    _1.log!AUG!1000000,1000000!5000000,5000000!10
}

define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          FO_GHAZAOUET
    service_description Port 1 Bandwidth Usage
    check_command      check_local_mrtgtraf!/var/lib/mrtg/192.168.1.253
    _1.log!AUG!1000000,1000000!5000000,5000000!10
}

define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          FO_O/MIMON
    service_description Port 1 Bandwidth Usage
    check_command      check_local_mrtgtraf!/var/lib/mrtg/192.168.1.253
    _1.log!AUG!1000000,1000000!5000000,5000000!10
}

define service{
    use                generic-service ; Inherit values from a template
    host_name          FO_SEBDOU
    service_description Port 1 Bandwidth Usage
    check_command      check_local_mrtgtraf!/var/lib/mrtg/192.168.1.253
    _1.log!AUG!1000000,1000000!5000000,5000000!10
}

```

Figure III.20 Définition du service de la bande passante pour les hosts.

L'ajout des services à chaque host, pour concrétiser le rôle de chacun des routeurs et des switches.



III.2.6 La supervision des hosts

Après avoir créé les hosts, on est passé à la supervision de notre réseau.

Tout d'abord la supervision se fait sur la page Web, et pour pouvoir superviser la machine on doit entrer son adresse IP qui a été donnée (voir l'URL de la page suivante), puis faire entrer le nom d'utilisateur et le mot de passe « nagiosadmin »

Comme vous pouvez le remarquer dans la figure suivante, le statut de toutes les machines est « up ». Cela veut dire que la liaison est bonne, et aucun problème n'a été signalé.

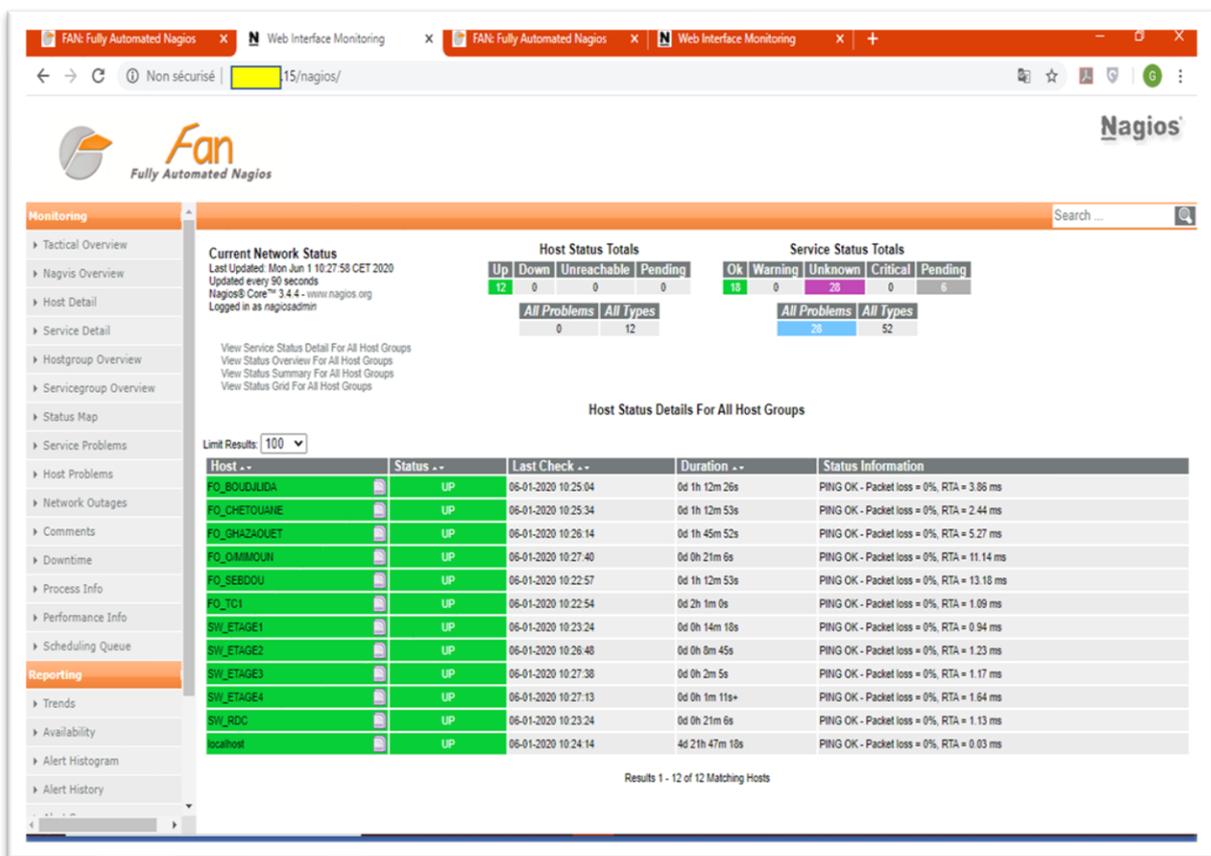


Figure III.21 Page web de supervision de Nagios.



Figure III.22 Les détails de l'host.

Service	Status	Last Check	Duration	Output
Current Load	OK	08-05-2020 00:14:51	77d 21h 3m 36s	1/4 OK - load average: 0.00, 0.02, 0.07
Current Users	OK	08-13-2020 09:44:10	77d 21h 2m 50s	1/4 USERS OK - 1 users currently logged in
HTTP	OK	08-13-2020 09:40:54	77d 21h 2m 21s	1/4 HTTP OK: HTTP/1.1 200 OK - 5234 bytes in 0.001 second response time
PING	OK	08-13-2020 09:42:38	77d 21h 1m 43s	1/4 PING OK - Packet loss = 0%, RTA = 0.05 ms
Root Partition	OK	08-05-2020 00:18:16	77d 21h 1m 6s	1/4 DISK OK - free space: / 6018 MB (80% inode=97%);
SSH	OK	08-05-2020 00:15:00	73d 21h 11m 39s	1/4 SSH OK - OpenSSH_4.3 (protocol 2.0)
Swap Usage	OK	08-13-2020 09:39:20	77d 20h 59m 51s	1/4 SWAP OK - 100% free (2015 MB out of 2015 MB)
Total Processes	OK	08-13-2020 09:41:03	77d 20h 59m 13s	1/4 PROCS OK: 31 processes with STATE = RSZDT

Figure III.23 Le statut des services de l'host.

III.2.6.1 Le dysfonctionnement d'un host

Une coupure de connexion est un vrai handicap, surtout pour les grandes sociétés. Et plusieurs causes sont à l'origine de ces pannes.

Lorsqu'une déconnexion est signalée, on doit tout d'abord vérifier :



- L'électricité

Une coupure d'électricité peut être la cause de cette panne.

- Equipement : plantage- problème de configuration une surchauffe d'un équipement peut engendrer une panne au niveau du réseau.

- Fibre optique

Un branchement mal réalisé d'un brin avec le connecteur.

Ou bien un arrachement du câble fibre optique par des travaux sous terrain.

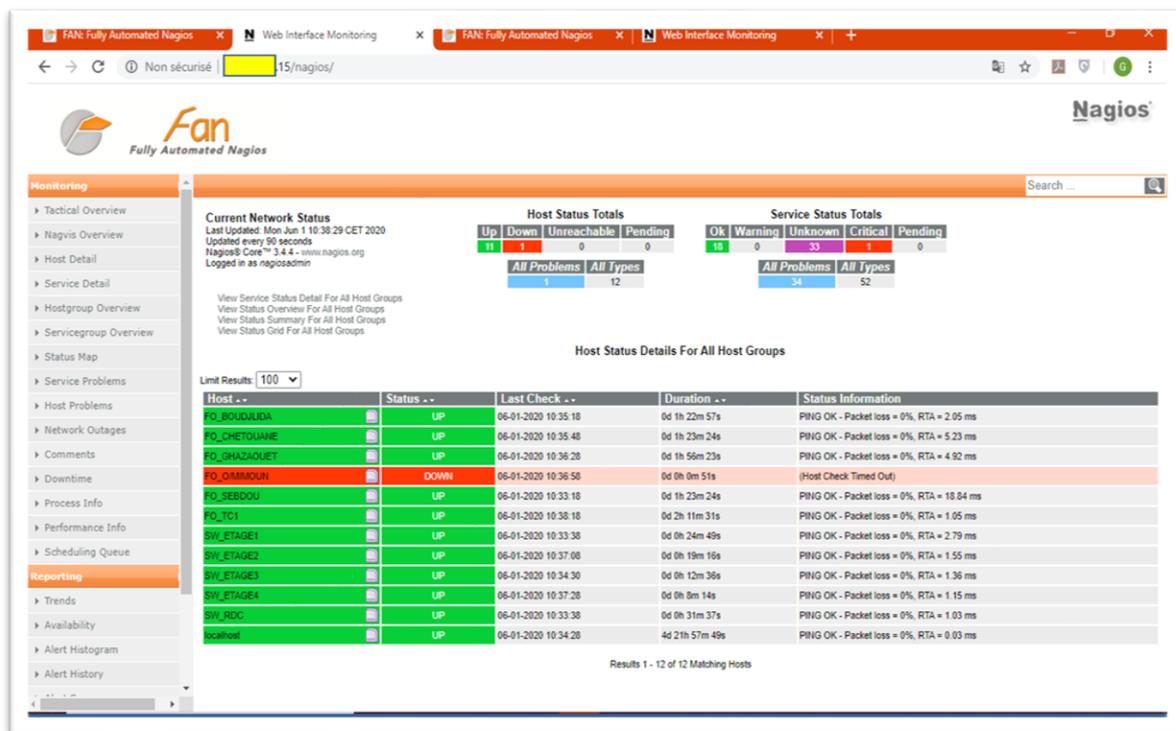


Figure III.24 Page de supervision de Nagios en cas de problème.



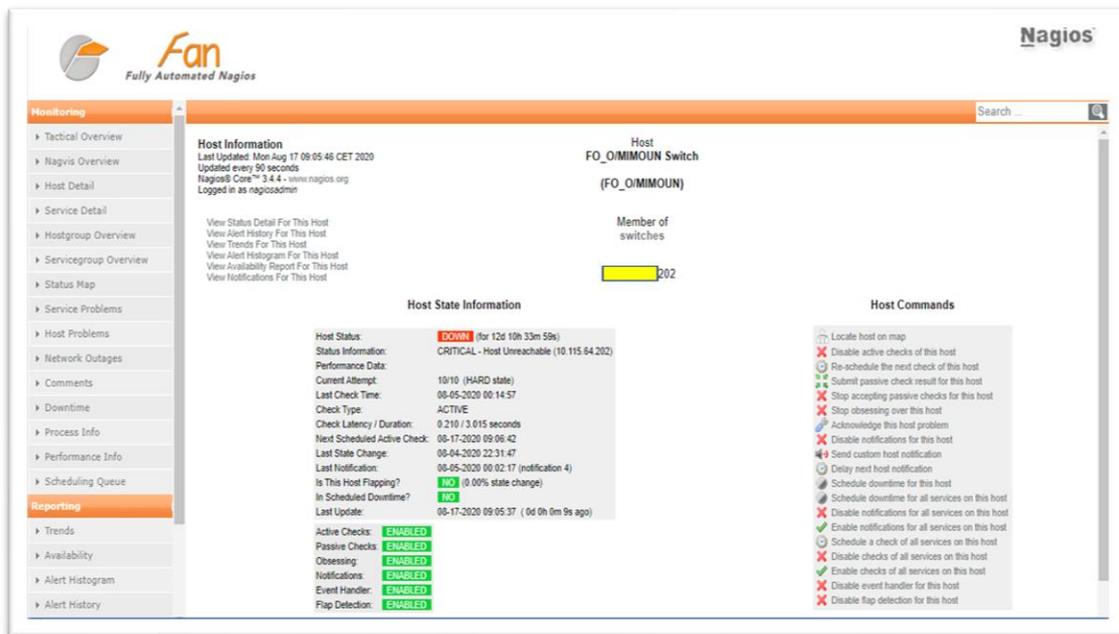


Figure III.25 Le service de la machine en statut DOWN.

III.2.6.2 Résolution d'un problème

Dans ce cas, on a vérifié tous les phénomènes qui peuvent engendrer une panne au niveau du réseau, et on a trouvé que le problème était une coupure au niveau de la fibre optique, grâce à un réflectomètre optique.

Cet appareil émit un signal lumineux à travers la fibre et analyse la lumière réfléchie. Cet appareil nous délivre les données détaillées sur la localisation de la coupure.



Figure III.26 : Une photo réelle d'un réflectomètre.



Il faut placer la partie dénudée de la fibre sur les deux patins de la cliveuse de précision.
(Voir la figure suivante).

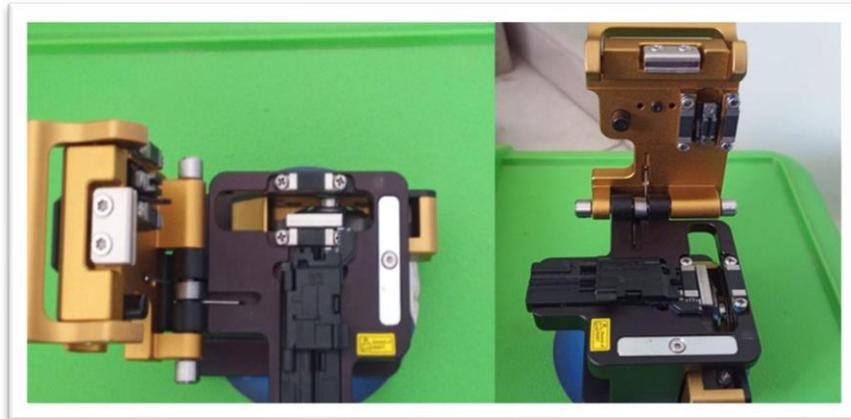


Figure III.28 Photos réelles d'une cliveuse.

5- La fusion

Mettre en place les deux extrémités de la fibre dans la soudeuse de façon à ce qu'elles soient positionnées au plus près des électrodes, puis lancer la fusion en fermant le capot de l'appareil.

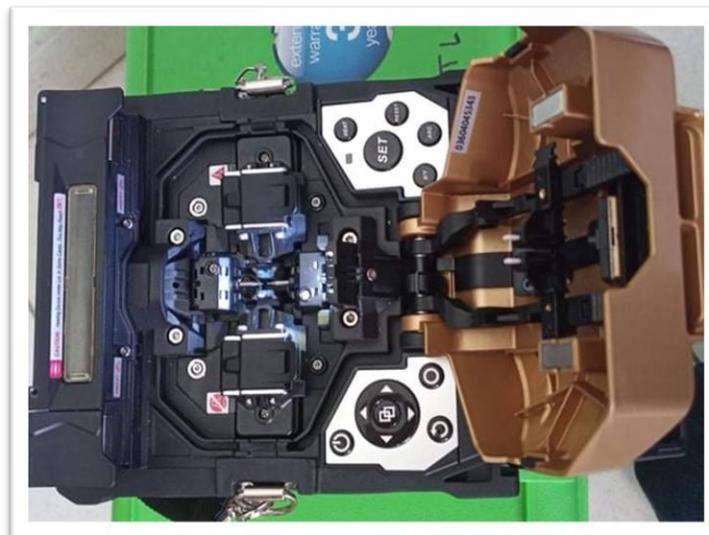


Figure III.29 Photo réelle d'une fusionneuse.



6- Ajustement de la protection

Mettre la protection d'épissure au centre de la soudure puis la placer dans le four pour la retreindre.

Prochaine étape est du refroidissement de la protection pour éviter sa détérioration avec le temps.



Figure III.30 Kit pour fusionnement.

- Et enfin on a testé si la fusion était bien réalisée, en utilisant un générateur et récepteur de la lumière pour fibre optique (voir figure III.31).

Si la fréquence émise est la même à la réception, cela veut dire que la fusion a été bien faite.



Figure III.31 Image réelle d'un générateur/ récepteur de la lumière pour fibre optique.



III.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le logiciel FAN, comme utilitaire de supervision des adresses IP des liaisons réalisées, et les machines distantes du réseau par fibre optique de la distribution de Tlemcen après les avoir créé et configuré.

Durant la supervision nous, avons pu faire face à des problèmes qu'ils ont été détectés par l'outil FAN, et nous avons obtenu l'accord de la Sonelgaz pour pouvoir intervenir sur place avec l'équipe technique.





CONCLUSION GENERALE

Ce projet avait pour ambition de décrire et faire une brève étude d'un système de transmission par fibre optique. Afin d'avoir toute information qui nous permettra de réaliser et superviser une liaison par fibre optique.

C'est pourquoi, nous avons décidé de choisir ce thème de mémoire. Et pour bien comprendre le fonctionnement d'une chaîne de transmission par fibre optique et avoir la possibilité de superviser un réseau FO réel, grâce à l'outil de supervision NAGIOS, nous avons intégré le groupe Sonelgaz, où nous avons fait notre stage pratique à la direction de distribution de la wilaya de Tlemcen.

Un système de transmission par fibre optique se repose sur trois fonctions fondamentales : génération du signal, la propagation, et la détection en réception. Nous avons donc effectué les recherches nécessaires concernant les éléments contribuant à la transmission des données numériques. Nous avons aussi présenté les différents phénomènes et les événements qui réagissent et influent sur la transmission du signal.

Nous avons montré que l'interface de transmission qui véhicule les données, comporte la fibre optique qui est l'élément essentiel de la transmission, et se divise en trois types : fibre optique monomode utilisée pour les longues distances, et la fibre multimode qui regroupe, la fibre optique à saut d'indice, et à gradient d'indice, exploitée dans les réseaux LAN et les moyennes distances. Pour l'amélioration de la qualité de transmission, des techniques d'amplifications et de multiplexages sont utilisées.

Au cours de notre stage, l'étude d'un système de transmission a été portée sur le réseau de la Sonelgaz, où nous avons présenté l'interconnexion de ses trois filiales principales qui assurent la production, le transport et la distribution des énergies en Algérie, et le réseau haut débit de la direction de distribution de la wilaya de Tlemcen, fournit par GRTE, afin de pouvoir superviser toutes les liaisons fibre optique reliées à la DD-T, à l'aide du logiciel NAGIOS.



Nous avons aussi abordé la résolution d'un problème survenu durant la supervision, qui est une coupure dans la fibre optique, et le matériel nécessaire utilisé pour effectuer une fusion de la fibre.

Cette expérience au groupe Sonelgaz a été très intéressante et enrichissante, elle nous a permis d'acquérir une grande connaissance théorique, pratique et professionnelle.





REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : l'histoire de la fibre de la Grèce à aujourd'hui, la fibre lyonnaise, (<http://www.lafibrelyonnaise.fr/histoire-de-la-fibre-optique/>), consulté le 26/08/2020.
- [2] : BOUDRIOUA Nassima , étude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique, thèse de doctorat ,université Paul Verlaine Metz,2007.
- [3] : LED vs Laser diode/ difference between LED and Laser diode, 2006 (<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/LED-vs-Laser.html>), consulté le (25/04/2020).
- [4] : MERABET Boualem, technologie WDM en télécoms optiques avancées (https://www.researchgate.net/figure/Modulation-externe-Comparaison-entre-les-deux-modulations-La-modulation-directe_fig8_305181019), conférence :WDM technique, publiée en juin 2016, consulté le 25/04/2020.
- [5] : ENVCAL - Suivi de l'environnement par le satellite Météosat Seconde Génération, (https://www.researchgate.net/publication/235923980_ENVCAL_-_Suivi_de_l'environnement_par_le_satellite_Meteosat_Seconde_Generation), université paris 1 panthéon Sorbonne, publié en 2010, **consulté le 29/05/2020.**
- [6]: La longueur d'onde, (<http://webphysique.fr/longueur-d-onde/>), cours, publié le 2017, consulté le, 28/05/2020.
- [7] : Jean-Louis VERNEUIL thèse, simulation de systèmes de télécommunication par fibre optique à 40 Gbit/s, université de limoges, télécommunications hautes fréquences et optiques, N° 49/2003.
- [8] : Jérôme LAURENT, EXAMEN PROBATOIRESPECIALITE ELECTRONIQUE, communications optiques à très haut débit, conservatoire national des arts et métiers de paris département STIC, publié en 2004.
- [9] : FOGNO Ouambo, optimisation d'un banc de test amplifié à 10Gb/s pour l'étude des technologies avancées de transmission par fibre optique, mémoire de maîtrise électronique, Montréal, école de technologie supérieure, 2008.



- [10] : Serge HUARD, polarisation de la lumière, éditeur Elsevier-Masson, parution en 1993, 340 p.
- [11] : Pierre André Bélanger, les fibres optiques : supplément d'électromagnétisme appliqué, université Laval, Canada, publié en 2008.
- [12] : Sidi Ali Mebarek, télécommunications optiques, thèse de doctorat, publié en 2001, 162p.
- [13] : Alain COZANNET, Henri MATTER, Jacques FLEURET, Michel ROUSSEAU, optique et télécommunications, bibliothèques bordeaux, publié en 1983.
- [14] : Pierre LECOY Hermès, communications sur fibre optique, 4^e édition, éditions Lavoisier, publié en 2014, 366p.
- [15] : NEROU Jean Pierre, les fibres optiques : introduction aux télécommunications par fibre optique, sainte-Foy, édition le griffon d'argile, 262p, publié en 1983.
- [16] : Maurice FRANCON, thèmes actuels en optique, éditeur : elsevier Masson, collection physique fondamentale et appliquée, 120p, publié en 1986.
- [17] : présentation du groupe SONELGAZ, (<https://www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous>), consulté le 05/06/2020 .
- [18] : Arnaud Berthonnet, l'industrie électrique en Algérie, outre-mers revue d'histoire, 2002, 334-335, p 331-352.
- [19] : Lélia de Matharel, General Electric décroche un contrat géant de 2,7M de dollars en Algérie, l'usine nouvelle publié en 2013, (<https://www.usinenouvelle.com/article/general-electric-decroche-un-contrat-geant-de-2-7-milliards-de-dollars-en-algerie.N205618>), consulté le 04/06/2020.
- [20] : Algeria-Watch, un nouveau complexe de production de turbines en 2017, publié en 2014 (<https://algeria-watch.org/?p=10583>), consulté le 04/06/2020.
- [21] : La rédaction Algérie-focus, Batna : 1000 emplois créés par le partenariat SONELGAZ - General Electric, (<https://www.algerie-focus.com/2014/03/batna-1000-emplois-crees-par-le-partenariat-sonelgaz-general-electric/>), publié en 2014, consulté le 04/06/2020.
- [22] : Benziane Meriem, Press-releases, Sonelgaz et General Electric signent un accord de partenariat à long terme pour la réalisation d'un complexe industriel en Algérie,



Références bibliographiques

(<https://www.genewsroom.com/press-releases/sonelgaz-et-general-electric-signent-un-accord-de-partenariat-%C3%A0-long-terme-pour-la>), publié en 2015, consulté le 04/06/2020.

[23] :Bneyahia Abdelmadjid, Le matin d'Algérie, Batna : lancement du projet du complexe industriel de la General Electric à ain-yagout, (<https://www.lematindz.net/news/20200-batna-lancement-du-projet-du-complexe-industriel-de-la-general-electric-a-ain-yagout.html>), publié en 2016, consulté le 05/06/2020.

[24] : Algérie presse service, le groupe Sonelgaz poursuit sa politique d'investissements (<http://www.aps.dz/economie/79263-energie-le-groupe-sonelgaz-poursuit-sa-politique-d-investissements>), publié en 2018, consulté le 05/06/2020.

[25] : ECOSTAT, Sonelgaz compte 9,1 millions d'abonnés, (<http://ecostat-algeria.com/a-la-une/energie-et-environnement-actualites/91-millions-de-clients-abonnes-de-sonelgaz/>), source : P-dg de sonelgaz, Mohamed Arkab, publié en 2018, consulté le 05/06/2020.

[26] : GRTE, présentation (<http://www.grte.dz/spip.php?article35>), consulté le 29/06/2020.

[27] : elit dz, site officiel, (<https://www.elit.dz/>), consulté le 26/08/2020.

[28] : Manuel OZAN, FAN documentation, 2008.



