

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique

Département de Télécommunications

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

Présenté par

Mr. Yacine ATTOUI

Mémoire dirigé par Dr. K. BENALIA

Thème

**« CONTRIBUTION A LA SURVEILLANCE
INTELLIGENTE POUR LA DETECTION DES FUITES
PIPELINE PAR L'UTILISATION DE LA FIBRE
OPTIQUE. »**

Mémoire soutenu le 27 Juin 2024 devant le jury composé de :

M. Abdallah HEDIR
MCA, UMMTO, Président
M. Karim BENALIA
MCA, UMBB, Encadrant
M. Belkacem ZOUAK
MCA, UMMTO, Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant, notre créateur qui nous a donné la force et le courage de conclure notre travail.

On tient à remercier chaleureusement K.BENALIA qui nous a suivis, encourager et conseiller tout le long de notre projet.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département Télécommunications qui nous ont appris beaucoup de choses durant notre cycle de formation.

Et sans oublier chaque membre de ma famille et de mes amis qui ont tout fait pour me mettre dans les meilleures conditions que je remercie profondément.

Remerciements	i
Table des matières	ii
Liste des figures & Tableaux	v
Notations	vi
Résumé	vii
Introduction générale	1
Liste des acronymes.....	72

Chapitre I : SONATRACH et Télécommunication

I.1. Introduction.....	3
I.2. Description générale de la SONATRACH.....	4
I.2.1. Historique de la SONATRACH.....	4
I.2.2. Activités de SONATRACH.....	4
I.2.3. SONATRACH, locomotive de l'économie Algérienne	5
I.2.4. Filiales de la SONATRACH.....	7
I.3. Généralités sur les télécommunications	8
I.3.1. Historique et évolution des télécommunications	8
I.3.2. Quelques notions sur l'information et les systèmes de transmission	10
I.3.2.1. Les flux d'information.....	10
I.3.2.2. Caractéristiques des réseaux de transmission	11
I.3.2.3. Les différents types d'information	12
I.3.2.4. Numérisation des informations	13
I.3.3. Les supports de transmission	14
I.3.3.1. Les supports guidés	14
I.3.3.2. Les supports non guidés (sans fil)	16
I.4. Activités de télécommunication dans le domaine pétrolier et gazier.....	18
I.4.1. Un système SCADA pour l'optimisation du réseau de collectes d'huile ou de pétrole	19
I.4.2. Surveillance en temps réel des pipelines de pétrole et de gaz	20
I.4.3. RTOM (Real Time Operations Management)	21
I.4.4. Système SCADA de HMD	21
I.4.5. Utilisation du Réseau GSM	22

I.4.6. Détection de fuite de pipeline par l'utilisation de la fibre optique	24
I.4.7. Système de la vidéosurveillance de SONATRACH	25

Chapitre II : SYSTEME DE TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE

II.1. Introduction	26
II.2. Principe d'optique	26
II.3. Généralités sur la fibre optique	28
II.3.1. Définition	28
II.3.2. Constitution d'un câble fibre optique	29
II.3.3. Les différents types de fibre	29
II.3.3.1. Multimode à saut d'indice	30
II.3.3.2. Multimode à gradient d'indice	30
II.3.3.3. Monomode	31
II.3.4. Les avantages de la fibre optique pour les entreprises	32
II.4. Système de transmissions par fibre optique	32
II.4.1. Schéma synoptique d'une chaîne de transmission	33
II.4.2. Emetteurs-récepteurs à fibre optique	33
II.4.3. Technique de modulation	34
II.4.3.1. Modulation directe	34
II.4.3.2. Modulation externe	35
II.4.4. Multiplexage	36
II.4.4.1. Le multiplexage en temps (TDM)	36
II.4.4.2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)	37
II.5. Les différents types d'équipements des réseaux optiques	37
II.5.1. Composants actifs	37
II.5.2. Composants passifs	39
II.6. Conclusion	41

Table des matières

Chapitre III : TECHNIQUES DE DETECTION DES FUITES PIPELINES DES HYDROCARBURE PAR FIBRE OPTIQUE

III.1. Introduction	42
III.2. Généralités sur les pipelines.....	43
III.2.1. Définitions	43
III.2.2. Description du Réseau de Transport pipeline - SONATRACH.....	44
III.2.3. Principales causes d'endommagement des pipelines.....	45
III.3. Les technologies de détection des fuites pipelines par fibre optique.....	46
III.3.1. Détection au niveau des pipelines de gaz naturel (gazoducs)	46
III.3.1.1. Principe technologique de DTS	47
III.3.1.2. Contrôleur de fibre optique DTS	48
III.3.2. Détection au niveau des pipelines de pétrole (Oléoduc).....	49
III.3.3. Système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS).....	49
III.3.4. Détection par l'émission acoustique	50
III.4. Conclusion.....	51

Chapitre V : ELABORATION D'UN SYSTEME DE LA SURVEILLANCE INTELLIGENTE A L'AIDE DES RNA

V.1. Introduction	52
V.2. Position du problème	53
V.3. Généralités sur les réseaux de neurones artificiels (RNA).....	53
V.3.1. Neurone biologique.....	53
V.3.2. Réseaux de neurones artificiels	54
V.3.3. Architectures des réseaux de neurones.....	56
V.3.4. Apprentissage des réseaux de neurones	57
V.3.5. Algorithme d'apprentissage de rétro-propagation	58
V.3.6. Implémentation du PMC sous MATLAB	59
V.4. Application des Réseaux de neurone artificiels et résultats	59
V.4.1. Base de données d'apprentissage de défaut des fuites : Cas d'un Oléoduc	59
V.4.2. Conception du réseau de neurone artificiel	60

Table des matières

V.4.3. Résultats et discussion.....	61
V.5. Proposition d'un Prototype intelligent (banc d'essai)	65
V.6. Conclusion.....	66
Conclusion générale	67
Références et bibliographies	69

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1. ORGANIGRAMME DE LA MACROSTRUCTURE DE SONATRACH.....	5
Figure I.2. Principaux filiales de SONATRACH	7
Figure I.3. Schéma d'illustration de Fonctionnement d'un télégraphe	9
Figure I.4. Le réseau et les différents flux d'information.....	10
Figure I.5. Schéma synoptique d'un signal analogique.....	12
Figure I.6. Numérisation d'un signal analogique.....	13
Figure I.7. Paires torsadées.....	14
Figure I.8. Le câble coaxial	15
Figure I.9. La fibre optique	15
Figure I.10. Principe d'une liaison radioélectrique	16
Figure I.11. Principe d'une liaison satellitaire.....	18
Figure I.12. Exemple des transmetteurs sur chantier (SONATRACH)	19
Figure I.13. Configuration générale de système de SCADA.....	20
Figure I.14. Schéma d'un système GSM.....	23
Figure I.15. L'architecture de GSM.....	23
Figure I.16. Schéma d'un système de détection de fuite avec ATTS.....	24
Figure I.17. Schéma principal du système de vidéosurveillance de SONATRACH	25

Chapitre II

Figure II.1. Le principe de réfraction	27
Figure II.2. Les 3 principaux scénarios de la réfraction	28
Figure II.3. Les différents composants de la fibre optique	29
Figure II.4. Fibre à saut d'indice.....	30
Figure II.5. Fibre à gradient d'indice	31
Figure II.6. La fibre monomode	31
Figure II.7. Schéma synoptique général d'une chaîne de transmission par fibre optique.....	33
Figure II.8. Schéma de structure interne du module optique.....	34
Figure II.9. Modulation directe.....	35
Figure II.10. Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe.....	35
Figure II.11. Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation externe.....	35
Figure II.12. Le principe du multiplexage temporel (TDM)	36
Figure II.13. Le principe du multiplexage en longueur d'onde (WDM)	37
Figure II.14. Amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA)	38
Figure II.15. Modulateurs acousto-optiques (AOM).....	38
Figure II.16. WDM de fibre optique FTTX 1625nm.....	39
Figure II.17. Principe de commutateur optique 4*4 : 4 fibres en entrée et 4 en sortie.....	39
Figure II.18. Structure de l'OADM	40
Figure II.19. Un exemple d'atténuation optique fixe à 1dB	41

Chapitre III

Figure III.1. Gazudoc GR5 : Krechba – Hassi R'Mel (SONATRACH)	43
Figure III.2. Cartographie actuelle du Réseau de Transport pipeline -SONATRACH.....	44
Figure III.3. Système de détection des fuites pipeline gazoduc.....	46
Figure III.4. Principe technologique de DTS	47
Figure III.5. Contrôleur de fibre optique DTS	48
Figure III.6. Système de détection de fuites Oléoduc.....	49
Figure III.7. Système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS)	50
Figure III.8. Système de détection par l'émission acoustique	50

Chapitre V

Figure V.1. Le neurone biologique.....	54
Figure V.2. Le modèle de neurones artificiels	55
Figure V.3. Réseau multicouche PMC	56
Figure V.4. Etapes pour implémenter un PMC sous MATLAB	59
Figure V.5. Réseau multicouche PMC de surveillance de défaut de « fuite pipeline »	60
Figure V.6. Résultat de simulation du programme RNA.....	61
Figure V.7. Performance du réseau de neurone artificiel utilisé	62
Figure V.8. Fenêtre de simulation pour tester les entrées	63
Figure V.9. Résultat de simulation de test 1	63
Figure V.10. Simulation par une valeur qui n'appartient pas à la base d'apprentissage.....	64
Figure V.11. Résultat de simulation	64
Figure V.12. Schéma synoptique d'installation des composantes de notre projet	65

Liste des Tableaux

CHAPITRE III :

Tableau III.1. Caractéristique techniques de capteur DTS.....	48
---	----

CHAPITRE V :

Tableau V.1. Différents types de fonctions d'activations pour le neurone artificiel.....	55
Tableau V.2. Base de données d'apprentissage de défauts de « fuite pipeline »	60
Tableau V.3. Tableau de tests d'architecture de RNA pour minimiser l'erreur	61
Tableau V.4. Les différents composants utilisés dans notre projet	65

Résumé :

Le mémoire "Contribution à la Surveillance Intelligente pour la Détection des Fuites Pipeline par l'Utilisation de la Fibre Optique" explore le développement d'un système intelligent de détection des fuites de pipelines, en se concentrant sur l'utilisation de la fibre optique et des réseaux de neurones artificiels (RNA).

Le travail présente la SONATRACH et ses activités, souligne l'importance des télécommunications dans le secteur des hydrocarbures, et détaille les avantages de la fibre optique pour la transmission d'informations. Il examine les techniques de détection des fuites et propose un système intelligent basé sur les RNA pour minimiser les fausses alarmes.

Enfin, un prototype utilisant un microcontrôleur ATmega328P et une carte NOMEDMCU V3 WIFI est proposé pour améliorer la précision et l'efficacité des systèmes de surveillance des pipelines.

Mots clés : RNA (Réseaux de neurones artificiels) , Surveillance intelligente , pipelines , Détection de fuites pipelines , Fibre optique , SONATRACH.

Abstract :

The dissertation "Contribution to Intelligent Monitoring for Pipeline Leak Detection Using Optical Fiber" explores the development of an intelligent pipeline leak detection system, focusing on the use of optical fiber and artificial neural networks (ANN).

The work presents SONATRACH and its activities, highlights the importance of telecommunications in the hydrocarbon sector, and details the advantages of optical fiber for the transmission of information. It reviews leak detection techniques and proposes an intelligent ANN-based system to minimize false alarms.

Finally, a prototype using ATmega328P microcontroller and NOMEDMCU V3 WIFI board is proposed to improve the accuracy and efficiency of pipeline monitoring systems.

Keywords : ANN (Artificial neural networks), Intelligent monitoring, pipelines, Pipeline leak detection, Optical fiber, SONATRACH.

Introduction générale

La télécommunication regroupe l'ensemble des combinaisons de transmission d'information à distance, permettant d'assurer un échange rapide des informations. Les systèmes de télécommunication sont essentiels pour assurer la croissance et la pérennité de l'entreprise. Grâce aux évolutions numériques et technologiques, les informations sont transmises plus rapidement quelle que soit la distance.

La télécommunication s'est imposée non seulement dans les entreprises spécialisées en Télécom mais aussi dans de différents domaines en l'occurrence le domaine des hydrocarbures comme le cas de l'entreprise nationale SONATRACH. On peut citer par exemple : l'installation de réseau de fibre optique dans les pipelines pétroliers, un système SCADA pour la modélisation et l'optimisation du réseau de collectes d'huile ou de pétrole, surveillance en temps réel des pipelines de pétrole et de gaz, réalisation d'un système de monitoring et de management à temps réel des opérations de forage pétroliers dénommée Solution RTOM (Real Time Opération Management),... etc.

C'est pour cela que beaucoup d'entreprises pétrolières s'intéressent à cette discipline, dont le but est d'aider les directions à déterminer leur politique d'une manière optimale et de réaliser leurs projets. C'est dans ce contexte, que nous nous intéressons à étudier un types de problèmes de télécommunication au sein de l'entreprise nationale SONATRACH qui aura pour but de réaliser un système de la surveillance intelligente à l'aide de la fibre optique pour une protection des pipelines d'hydrocarbures contre les fuites.

SONATRACH exploite un réseau de transport par canalisation des hydrocarbures (Pétrole Brut, Condensat, Gaz Naturel et Gaz Pétrole Liquéfié) composé de 22 Systèmes de Transport par Canalisation (STC) d'une longueur totale de 20 705 km.

Un STC est constitué d'une ou plusieurs canalisation(s) transportant des Hydrocarbures, y compris les installations intégrées, et les capacités de stockage liées à ces ouvrages, notamment les stations de compression, les stations de pompage, les postes de coupure, les postes de sectionnement, les lignes d'expédition, ...etc.

Au cours des dernières décennies, plusieurs accidents industriels majeurs se sont produits sur les sites de STC manipulant de grandes quantités de substances dangereuses.

Les fuites de produits pétrochimiques tels que le pétrole brut et raffiné, le gaz, le GNL, peuvent être à l'origine de ces accidents industriels, ce qui peut avoir de graves conséquences sur les installations, l'environnement et le voisinage.

Introduction générale

Les fuites de pipeline peuvent avoir différentes origines, comme la corrosion, la fatigue, les défauts matériels, les chocs, les températures anormales, les pressions extrêmes ou les déformations excessives causées par le mouvement du sol.

Les industries sont invitées à prendre toutes les mesures possibles pour réduire l'occurrence et les conséquences de tels événements catastrophiques en mettant en place des systèmes de détection ou de surveillance à distance afin de prévenir ou d'atténuer tout danger potentiel sur leurs structures clés comme les pipelines, les installations de stockage et les réacteurs.

Pour cela, l'entreprise SONATRACH représentée par la branche TRC (Transport par canalisations) possède des systèmes de détection à distance qui détectent des fuites pipelines comme par exemple le système de système de température distribuée (DTS).

Le principe de base de la détection de fuite de pipeline par l'utilisation de la fibre optique distribuée (DTS) repose sur le changement de la température au niveau des pipelines. Par exemple dans une canalisation porteuse de gaz ou de gaz liquéfié, lorsqu'une fuite se produit à un endroit le long de la ligne de détection, le système de température distribuée (DTS) détectera une chute de température localisée ou un «point froid».

Cependant, le changement de la température est souvent aléatoire et qui dépend aussi par d'autres paramètres tels que la pression. Ce qui peut causer des fausses alarmes par le système DTS. C'est pour cette raison, que nous avons pensé à réaliser un programme intelligent basé sur les réseaux de neurones artificielles RNA afin d'éviter ou de minimiser des fausses alarmes détectées par le système DST.

Le plan de rédaction de ce mémoire est structuré de la manière suivante :

Dans le premier chapitre, nous présenterons une description générale de l'entreprise SONATRACH et quelques généralités sur la télécommunication et ses activités dans le domaine des hydrocarbures.

Le deuxième chapitre sera consacré pour quelques généralités sur les systèmes de transmission par fibre optique.

Dans le troisième chapitre, nous allons faire une description détaillée sur les techniques de détection des fuites pipeline par fibre optiques

Le quatrième chapitre sera consacré pour notre contribution qui consiste à réaliser un système (programme) intelligent basé sur les réseaux de neurones artificiels RNA pour une détection optimale des fuites pipelines, et nous avons proposé à la fin de ce chapitre une démarche à suivre pour la réalisation d'un prototype intelligent à base d'un microcontrôleur ATmega328P et d'une carte NOMEDMCU V3 WIFI

Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I

SONATRACH ET TELECOMMUNICATION.

I.1. Introduction

SONATRACH est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent. SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de GNL et de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 230 millions de tep en 2006. Ses activités constituent environ 30% du PNB de l'Algérie [01].

Ce chapitre est divisé en deux parties. La première partie servira à faire une brève présentation de l'entreprise SONATRACH et ses activités. La deuxième partie est consacrée à la présentation de quelques généralités sur les télécommunications et ses activités dans le domaine des hydrocarbures.

I.2. Description générale de la SONATRACH

I.2.1. Historique de la SONATRACH

Les accords d'Evian (18 Mars 1962) prévoyaient la mise en place d'une organisation saharienne dont la tâche essentielle était de proposer des solutions aux questions pétrolières et de veiller au développement de l'infrastructure saharienne. Mais le code pétrolier saharien, spécialement remanié avant juillet 1962, offrait pratiquement le monopole sur le pétrole Algérien aux compagnies françaises et il leur accordait, au détriment du Trésor Algérien, des avantages fiscaux importants. C'est pour cette raison que l'un des premiers actes de l'Etat Algérien, au lendemain de l'indépendance, a touché le secteur des hydrocarbures. Il se dota alors d'un instrument permettant la mise en œuvre de sa politique énergétique en créant, le 31 décembre 1963, par décret n° 63/491, la société nationale pour le transport et la commercialisation des hydrocarbures (SONATRACH).

Le développement de la SONATRACH est passé par plusieurs étapes :

- ✚ Étape 1 :1963-1971 «Création et construction de SONATRACH »
- ✚ Étape 2 :1971-1982 «Phase de croissance et d'intégration »
- ✚ Étape 3 :1982-1987 «La restructuration et l'essaimage de la SOPNATRACH
- ✚ Étape 4 :1987-1998 «La maturité et la modernisation»
- ✚ Étape 5 :1998-2000 «Les nouveaux statuts organisant SONATRACH en société par actions (S.P.A)».

I.2.2. Activités de SONATRACH

L'activité de SONATRACH s'articule autour de quatre branches principales:

- ✚ Activité Amont (Exploration, Recherches et développement, Production, Forage,...)
- ✚ Activité Aval (Liquéfaction du gaz naturel, Séparation des GPL, Raffinage du pétrole,...)
- ✚ Activité transport par canalisations
- ✚ Activité commercialisation.

La figure ci-dessous illustre, l'ensemble des activités de l'entreprise :



ORGANIGRAMME DE LA MACROSTRUCTURE DE SONATRACH

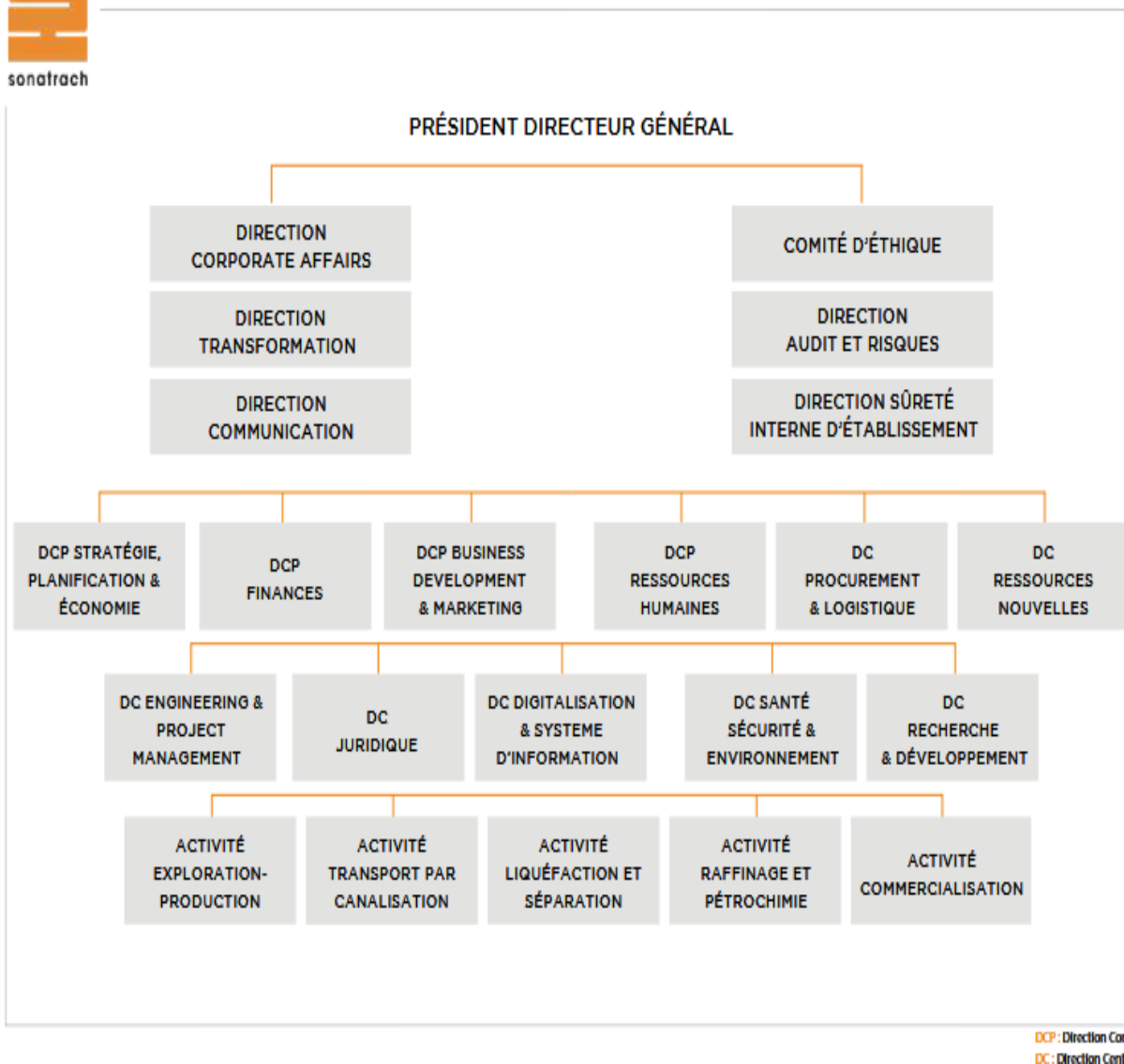


Figure I.1. ORGANIGRAMME DE LA MACROSTRUCTURE DE SONATRACH [01].

I.2.3. SONATRACH, locomotive de l'économie Algérienne

Depuis plus de 50 ans, SONATRACH joue pleinement son rôle de locomotive de l'économie nationale. Elle a pour mission de valoriser les importantes réserves en hydrocarbures de l'Algérie. Cet acteur majeur de l'industrie pétrolière, surnommé la major africaine, tire sa force de sa capacité à être un groupe entièrement intégré sur toute la chaîne de valeur des hydrocarbures.

Dans l'Amont, SONATRACH opère, en effort propre ou en partenariat avec des compagnies pétrolières étrangères, des gisements parmi les plus importants du monde dans différentes régions du Sahara algérien : Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Hassi Berkine, Ourhoud, Tin Fouyé Tabankort, Rhourde Nouss, In Salah et In Amenas.

En matière de transport, le Groupe dispose d'un réseau de canalisations extrêmement dense qui s'étend aujourd'hui sur près de 22 000 kilomètres sur le territoire national. La Compagnie a également aménagé quatre ports pétroliers de chargement d'hydrocarbures : Alger, Arzew, Bejaia et Skikda afin de permettre le chargement et le déchargement de gros tankers d'une capacité de 80 000 à 320 000 TM et de méthaniers [02].

Dans l'Aval, SONATRACH compte six raffineries en activité sur le territoire et deux complexes pétrochimiques, quatre complexes Liquéfaction GNL et deux complexes Séparation GPL. SONATRACH emploie sur le territoire national près de 50 000 employés permanents et plus de 200.00 personnes à l'échelle du Groupe.

➤ **Un taux d'intégration nationale de 55%.**

Dans le cadre de sa transformation de l'Entreprise, SONATRACH affiche clairement son ambition de devenir l'une des cinq premières entreprises pétrolières nationales parmi les plus performantes et les plus rentables de l'industrie énergétique mondiale. Les maîtres mots de sa nouvelle stratégie sont l'excellence opérationnelle et l'innovation pour rester l'étendard de l'économie algérienne. SONATRACH vise un taux d'intégration nationale de 55 % d'ici 2030

➤ **Des investissements importants dans l'économie locale.**

En tant que principal investisseur industriel en Algérie, SONATRACH participe activement au soutien du tissu industriel local. Le groupe prévoit de réaliser d'ici 2030 des investissements sur le territoire national de plus de 59 milliards de dollars dont 45,8 milliards de dollars dans l'activité Exploration-Production, 8,6 milliards de dollars dans le Raffinage-Pétrochimie et 2,3 milliards de dollars dans le transport par canalisations. À l'horizon 2030, le Groupe vise sur plus de 68 milliards de dollars de revenus supplémentaires, dont 50% contribueront à la richesse nationale et 50% seront investis dans le renouvellement des réserves, les capacités de production, la formation du personnel et le développement de l'expertise dans l'Entreprise [04].

I.2.4. Filiales de la SONATRACH

Le Groupe compte 154 filiales et participations dont une quinzaine détenues à 100 % et œuvrant au quotidien à la valorisation de la chaîne de valeur pétrolière et gazière du pays. Parmi celles-ci, figurent notamment l’Entreprise Nationale de Géophysique « ENAGEO », l’Entreprise Nationale de Forage « ENAFOR », l’Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers « ENGTP », ou la société nationale de commercialisation et de distribution des produits pétroliers « NAFTAL ».



Figure I.2. Principaux filiales de SONATRACH [01]

I.3. Généralités sur les télécommunications

Le mot télécommunications vient du préfixe grec tele signifiant loin, et du mot latin « communicare » signifiant partager. Les **télécommunications** sont définies comme la transmission d'informations à distance en utilisant des technologies électroniques, informatiques, de transmission filaire, optique ou électromagnétique. Ce terme a un sens plus large que son acception équivalente officielle « communication électronique ». Elles se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique.

Toute entreprise possède aujourd'hui un ou plusieurs systèmes de télécommunication qui véhiculent les différentes informations nécessaires à sa vie et à son développement. Ces systèmes sont organisés en réseaux, qu'on peut définir comme des ensembles d'équipements et de supports de transmission dont une des fonctions est de permettre le transfert d'informations.

Nous sommes entrés dans l'ère de la communication où le volume et la diversité de ces informations se font de plus en plus grands. Dans les années 80, cette diversité conduisait à l'adoption de solutions de communication distinctes et différentes suivant la nature des informations à transmettre : réseau téléphonique pour la transmission de la voix, réseau spécialisé dans la transmission de données sur longue distance comme dans le transport canalisation TRC de la SONATRACH ou sur courte distance comme les réseaux locaux d'entreprise, réseau hertzien ou câblé pour la télévision.

I.3.1. Historique et évolution des télécommunications

La découverte des phénomènes électriques et magnétiques au XVIII^e siècle entraînera un bouleversement majeur. Au cours du XIX^e siècle, des dispositifs ingénieux utilisant des signaux électriques pour communiquer virent le jour. Les signaux électriques ont l'avantage de se propager sur de larges distances à la vitesse de la lumière ($c = 300\,000\text{ km/s}$), permettant ainsi une communication quasi-simultanée. L'information transmise fut d'abord textuelle, puis sonore, et ensuite visuelle.

Le premier de ces dispositifs, le télégraphe électrique, fut développé par Samuel Morse, Charles Wheatstone et William Cooke, et inauguré en 1839 entre Londres et Birmingham [05].

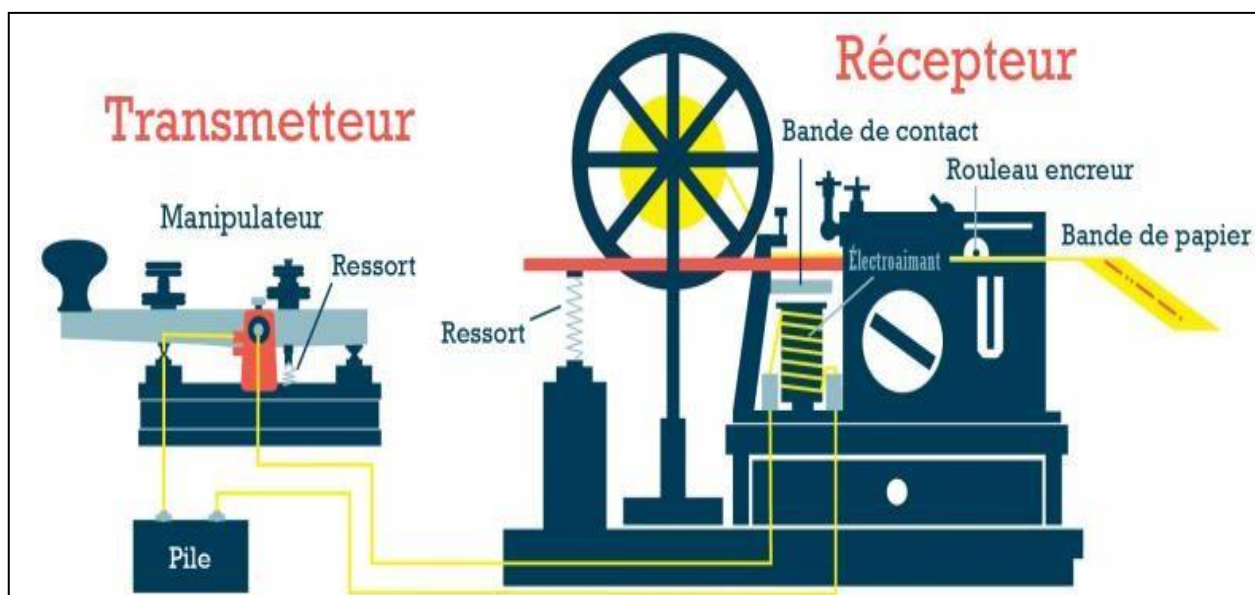


Figure I.3. Schéma d'illustration de Fonctionnement d'un télégraphe [15]

Un émetteur comprenant un interrupteur actionné par un opérateur envoie une succession d'impulsions électriques courtes ou longues sur un câble conducteur long de plusieurs kilomètres. Le récepteur comprend une bobine électromagnétique couplée à la ligne télégraphique, et actionnant un mécanisme chargé de retranscrire les impulsions ainsi reçues sur une bande de papier. Les impulsions induisent un courant électrique qui circule à travers la bobine pendant le temps de l'impulsion. Ledit courant crée un champ magnétique qui actionne un pointeau métallique coulissant à l'intérieur de la bobine. Le code Morse (un point = une impulsion électrique courte, un trait = une impulsion électrique longue) fut utilisé pour encoder les caractères alphanumériques qui constituait le message à transmettre. Le premier câble télégraphique transatlantique fut achevé le 27 juillet 1866. Sa longueur était de 4200 km pour un poids total de 7000 tonnes.

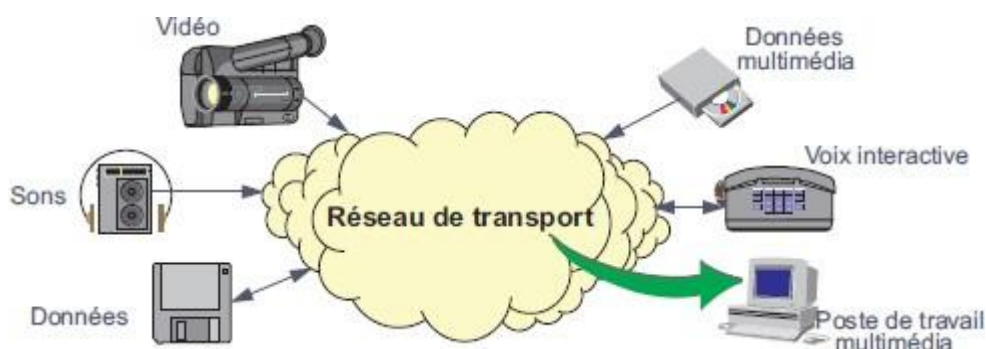
Le téléphone classique fut inventé par Alexander Bell et Elisha Gray en 1876. Cependant, c'est Antonio Meucci qui inventa le premier dispositif permettant la transmission de la voix sur une ligne téléphonique. La télégraphie sans fil est un mode de communication à distance utilisant des ondes électromagnétiques modulées comme vecteur de transmission. Elle fut développée par Guglielmo Marconi et, en mai 1897, une première communication radio en morse eut lieu entre les villes de Lavernock et Brean, séparées de 13 km.

➤ Chronologie des télécommunications au 20ème siècle [05]

- ✚ **1907- Fax-** La transmission d'images fixes par ligne téléphonique;
- ✚ **1921-Fax radio-** qui permet de transmettre des images par radio.
- ✚ **1926- Télévision-**
- ✚ **1927- Radiodiffusion-** est la distribution de programmes à partir d'un émetteur vers des auditeurs équipés d'un récepteur.
- ✚ **1928- Télévision en couleur-**
- ✚ **1990-Téléphonie mobile-** offre la possibilité de téléphoner sans connexion filaire;
- ✚ **1957- Premier satellite de télécommunication-**
- ✚ **1960-Téléphonie numérique-** commence à remplacer les réseaux analogiques.
- ✚ **1960- Réseaux informatiques-**
- ✚ **1999-ADSL-** est une technique de communication numérique. Elle permet d'utiliser une ligne téléphonique, une ligne spécialisée, ou encore une ligne RNIS, pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique conventionnel (c'est-à-dire analogique) via un filtre ADSL branché à la prise;
- ✚ **2003-WIFI-** : réseaux sans fil.

I.3.2. Quelques notions sur l'information et les systèmes de transmission**I.3.2.1. Les flux d'information**

L'acheminement, dans un même réseau, d'informations aussi différentes que les données informatiques, la voix ou la vidéo implique que chacune de ces catégories d'information ait une représentation identique vis-à-vis du système de transmission et que le réseau puisse prendre en compte les contraintes spécifiques à chaque type de flux d'information (figure I.4) [06].

**Figure I.4. Le réseau et les différents flux d'information [06].**

I.3.2.2. Caractéristiques des réseaux de transmission

✚ Notion de débit binaire :

Les systèmes de traitement de l'information emploient une logique à deux états ou binaire. L'information traitée par ceux-ci doit être traduite en symboles compréhensibles et manipulables par ces systèmes. L'opération qui consiste à transformer les données en éléments binaires s'appelle le **codage** ou **numérisation** selon le type d'information à transformer.

On appelle débit binaire (D) le nombre d'éléments binaires, ou nombre de bits, émis sur le support de transmission pendant une unité de temps. C'est l'une des caractéristiques essentielles d'un système de transmission. Le débit binaire s'exprime par la relation :

$$D = \frac{V}{t} \quad \dots \dots (1)$$

Avec D (débit) en bits par seconde (bit/s), V : le volume à transmettre exprimé en bits et t : la durée de la transmission en seconde.

Le débit binaire mesure le nombre d'éléments binaires transitant sur le canal de transmission pendant l'unité de temps.

✚ Notion de taux d'erreur :

Les signaux transmis sur un canal peuvent être perturbés par des phénomènes électriques ou électromagnétiques désignés sous le terme générique de **bruit**. Le bruit est un phénomène qui dénature le signal et introduit des erreurs.

Les phénomènes parasites (bruit) perturbent le canal de transmission et peuvent affecter les informations en modifiant un ou plusieurs bits du message transmis, introduisant ainsi des erreurs dans le message. On appelle **taux d'erreur binaire** (T_e ou **BER**, *Bit Error Rate*) le rapport du nombre de bits reçus en erreur au nombre de bits total transmis.

$$T_e = \text{Nombre de bits en erreur} / \text{Nombre de bits transmis}$$

✚ Notion de temps de transfert :

Le temps de transfert, appelé aussi temps de transit ou temps de latence, mesure le temps entre l'émission d'un bit, à l'entrée du réseau et sa réception en sortie du réseau. Ce temps prend en compte le temps de propagation sur le ou les supports et le temps de traitement par les éléments actifs du réseau (nœuds). Le temps de transfert est un paramètre important à prendre en compte lorsque la source et la destination ont des échanges interactifs.

Pour un réseau donné, le temps de transfert n'est généralement pas une constante, il varie en fonction de la charge du réseau [06].

✚ Notion de spectre du signal

Le mathématicien français Joseph Fourier (1768-1830) a montré que tout signal périodique de forme quelconque pouvait être décomposé en une somme de signaux élémentaires sinusoïdaux (fondamental et harmoniques) autour d'une valeur moyenne (composante continue) qui pouvait être nulle. L'ensemble de ces composantes forme le spectre du signal ou bande de fréquence occupée par le signal (largeur de bande) [06].

I.3.2.3. Les différents types d'information

Les informations transmises peuvent être réparties en deux grandes catégories selon ce qu'elles représentent et les transformations qu'elles subissent pour être traitées dans les systèmes informatiques. On distingue :

- Les données discrètes, l'information correspond à l'assemblage d'une suite d'éléments indépendants les uns des autres (suite discontinue de valeurs) et dénombrables (ensemble fini). Par exemple, un texte est une association de mots eux-mêmes composés de lettres (symboles élémentaires).
- Les données continues ou analogiques (figure I.5) résultent de la variation continue d'un phénomène physique : température, voix, image... Un capteur fournit une tension électrique proportionnelle à l'amplitude du phénomène physique analysé : signal analogique (signal qui varie de manière analogue au phénomène physique). Un signal analogique peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle déterminé (bornes). Pour traiter ces informations par des équipements informatiques il est nécessaire de substituer à chaque élément d'information une valeur binaire représentative de l'amplitude de celui-ci. Cette opération porte le nom de codage de l'information (codage à la source) pour les informations discrètes et numérisation de l'information pour les informations analogiques.

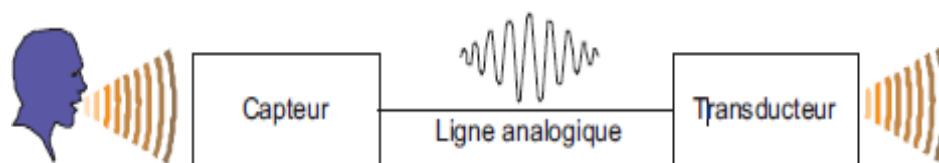


Figure I.5. Schéma synoptique d'un signal analogique [16].

I.3.2.4. Numérisation des informations

Numériser une grandeur analogique consiste à transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie. À cet effet, on prélève, à des instants significatifs, un échantillon du signal et on exprime son amplitude par rapport à une échelle finie (quantification).

Le récepteur, à partir des valeurs transmises, reconstitue le signal d'origine. Une restitution fidèle du signal nécessite que soient définis :

- ✓ L'intervalle d'échantillonnage qui doit être une constante du système (fréquence d'échantillonnage) ;
- ✓ l'amplitude de l'échelle de quantification, celle-ci doit être suffisante pour reproduire la dynamique du signal (différence d'amplitude entre la valeur la plus faible et la valeur la plus forte) ;
- ✓ que chaque valeur obtenue soit codée.

La figure I.6 représente les différentes étapes de la numérisation du signal. À intervalle régulier (période d'échantillonnage), on prélève une fraction du signal (échantillon). Puis, on fait correspondre à l'amplitude de chaque échantillon une valeur (quantification), cette valeur est ensuite transformée en valeur binaire (codification) [06].

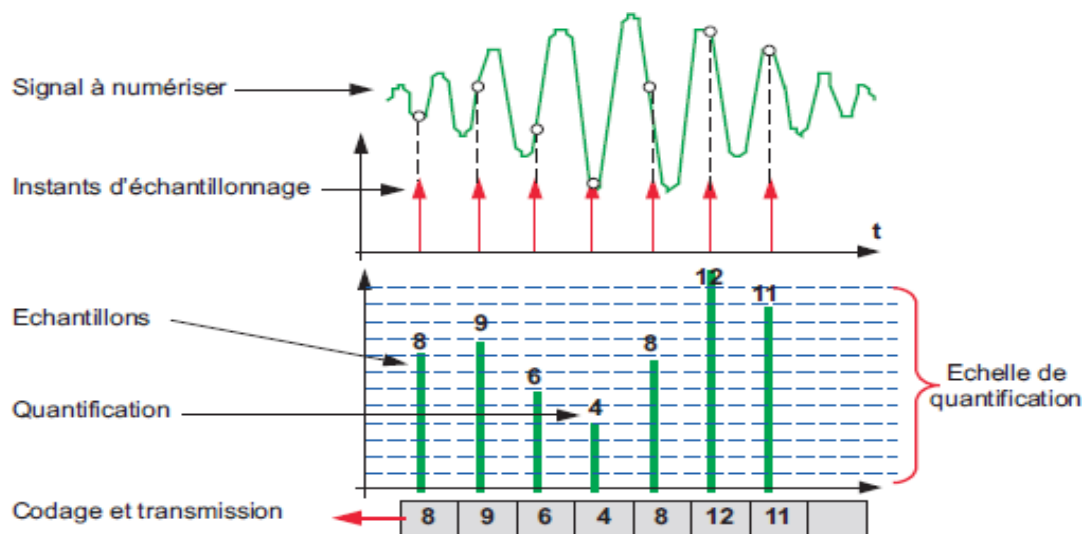


Figure I.6. Numérisation d'un signal analogique[17].

La quantification définit des valeurs en escalier (par bond) alors que le phénomène à quantifier varie de façon continue. Aussi, quel que soit le nombre de niveaux utilisés, une approximation est nécessaire, celle-ci introduit une erreur dite de quantification ou bruit de quantification qui est la différence entre la valeur réelle de l'échantillon et la valeur quantifiée.

Pour reproduire correctement le signal à l'arrivée, le récepteur doit disposer d'un minimum d'échantillons. Il existe donc une relation étroite entre la fréquence maximale des variations du signal à discrétiser et le nombre d'échantillons à prélever.

I.3.3. Les supports de transmission

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en oeuvre dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique). Généralement on classe les supports en deux catégories :

- les supports guidés (supports cuivre et supports optiques) ;
- les supports libres (faisceaux hertziens et liaisons satellites).

La complexité des systèmes provient généralement du fait qu'une liaison peut emprunter différents supports. Le système de transmission devra alors réaliser l'adaptation du signal à transmettre au support utilisé. Les caractéristiques des supports diffèrent selon la nature physique du support et le mode de propagation choisi. Cependant, certaines caractéristiques sont communes à tous les types de support (bande passante...), d'autres sont spécifiques (impédance caractéristique...). Après l'étude générale de ces caractéristiques, nous examinerons et qualifierons chaque type de support [07].

I.3.3.1. Les supports guidés

➤ Paires torsadées

Une *paire torsadée non blindée* (UTP, *Unshielded Twisted Pair*) se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinal (voir figure I.7).

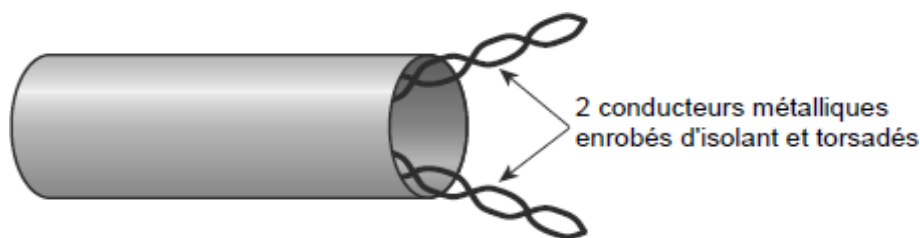


Figure I.7. Paires torsadées [18].

L'enroulement réduit les conséquences des inductions électromagnétiques parasites dues à l'environnement. L'utilisation courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (la *boucle locale*) ou la desserte des usagers de réseaux privés. Son principal inconvénient est l'affaiblissement des courants, d'autant plus important que le diamètre des conducteurs est faible.

➤ Le câble coaxial

Une paire coaxiale ou câble coaxial (figure I.8) est constituée de deux conducteurs concentriques maintenus à distance constante par un diélectrique. Le conducteur extérieur, tresse métallique en cuivre recuit appelée **blindage**, est mis à la terre. L'ensemble est protégé par une gaine isolante.

Le câble coaxial possède des caractéristiques électriques supérieures à celles de la paire torsadée. Il autorise des débits plus élevés et est peu sensible aux perturbations électromagnétiques extérieures. Le taux d'erreur sur un tel câble est d'environ 10^{-9} .

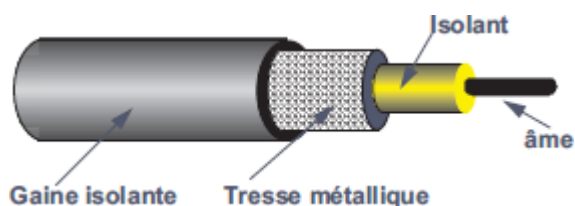


Figure I.8. Le câble coaxial [19].

➤ La fibre optique

Une *fibre optique* est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser (voir figure 1.9) et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre.

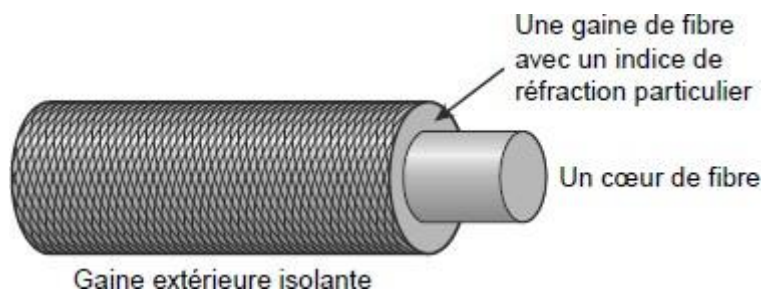


Figure I.9. La fibre optique [20].

Les avantages de la fibre optique sont nombreux : diamètre extérieur de l'ordre de 0,1 mm, poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend facile à utiliser. En outre, sa très grande capacité permet la transmission simultanée de nombreux canaux de télévision, de téléphone... Les points de régénération des signaux sont plus éloignés (jusqu'à 200 km), du fait de l'atténuation moindre de la lumière. Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites électromagnétiques est un avantage très apprécié, puisqu'une fibre supporte sans difficulté la proximité d'émetteurs radioélectriques. On peut l'utiliser dans des environnements perturbés (avec de puissants champs électromagnétiques, par exemple).

Par ailleurs, elle résiste bien aux écarts de température. La fibre optique constitue la plupart des artères des réseaux de télécommunications et des réseaux locaux à très haut débit.

I.3.3.2. Les supports non guidés (sans fil)

➤ Les liaisons hertziennes

Un conducteur rectiligne alimenté en courant haute fréquence ou radiofréquence peut être assimilé à un circuit oscillant ouvert. Un tel circuit ou antenne d'émission rayonne une énergie (onde électromagnétique). Cette énergie électromagnétique recueillie par un autre conducteur distant ou antenne de réception est transformée en un courant électrique similaire à celui d'excitation de l'antenne d'émission (théorème de réciprocité). La figure I.10 illustre le principe d'une liaison radioélectrique.

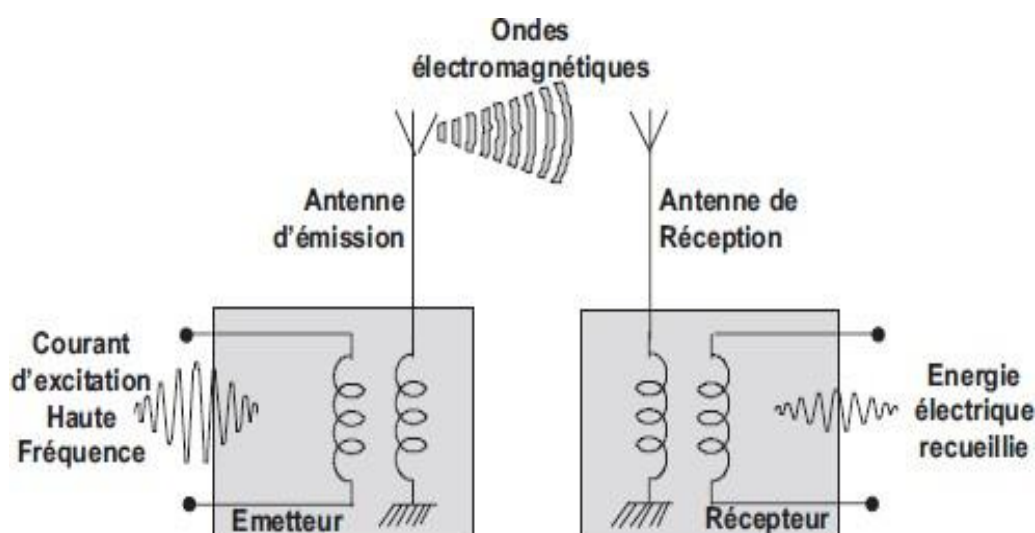


Figure I.10. Principe d'une liaison radioélectrique [21].

Contrairement aux supports étudiés dans les paragraphes précédents, la liaison entre les deux entités émetteur et récepteur s'effectue sans support physique. Les ondes électromagnétiques (OEM) se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière.

➤ **Faisceaux hertziens**

Les *faisceaux hertziens* reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelles émettant dans une direction donnée. La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques.

➤ **Les liaisons satellitaires**

La nécessité de disposer de stations relais rend difficile la réalisation de liaisons hertziennes à très grande distance, notamment pour les liaisons transocéaniques. C'est pourquoi, dès les années 1960, on s'est orienté vers l'utilisation de satellites relais. Ce n'est qu'avec l'apparition de porteurs capables de satelliser sur des orbites d'environ 36 000 km qu'il a été possible de réaliser des liaisons permanentes avec des satellites fixes par rapport à un observateur terrestre (satellite géostationnaire). Ces satellites ont une période de révolution identique à celle de la terre (23 h 56 min), ils sont dits **géosynchrones**. L'orbite équatoriale est de 42 164 km, soit une altitude exacte au-dessus de la Terre de 35 800 km.

Une station terrestre émet vers le satellite un flux d'information (voie montante). Le satellite n'est qu'un simple répéteur, il régénère les signaux reçus et les réémet en direction de la Terre (voie descendante).

La figure I.11 illustre le principe d'une liaison satellitaire.

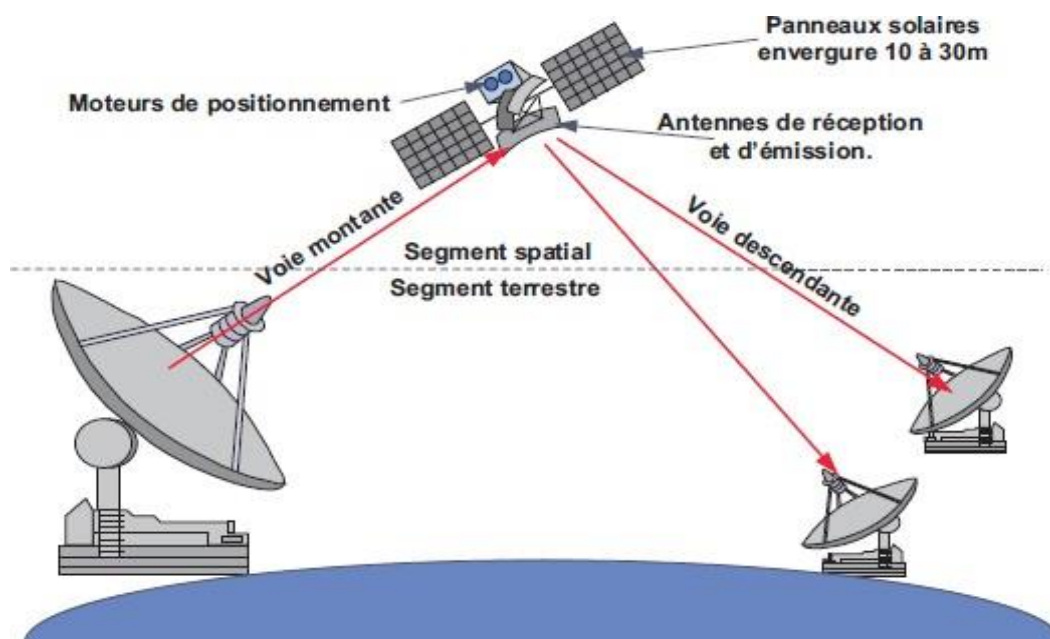


Figure I.11. Principe d'une liaison satellitaire [22].

I.4. Activités de télécommunication dans le domaine des hydrocarbures

Aujourd'hui, l'industrie pétrolière et gazière est en cours de redéfinition, avec des changements fondamentaux dans la demande et les nouvelles technologies. Selon l'Agence internationale de l'énergie AIE, la croissance de la demande d'électricité en monde a été l'une des plus rapides au monde. La demande d'énergie a augmenté de 80 % depuis 2000 et, d'ici à 2040, la demande devrait encore augmenter de 60 %.

Pour répondre à cette demande, les opérateurs se sont concentrés sur l'amélioration de l'efficacité opérationnelle par la collecte et l'analyse de données. De la surveillance des pipelines à la mesure de l'état des équipements, l'industrie pétrolière et gazière s'est tournée vers la numérisation pour obtenir une meilleure visibilité, gérer efficacement les actifs et mieux appliquer la maintenance préventive afin d'optimiser les coûts.

Plus généralement, de nombreux acteurs du secteur pétrolier et gazier intermédiaire ont cherché à utiliser les données d'exploitation pour réduire les risques et renforcer la sécurité des personnes et de l'environnement tout en augmentant l'efficacité.

I.4.1. Un système SCADA pour la modélisation et l'optimisation du réseau de collectes d'huile ou de pétrole

SCADA est l'acronyme de « Supervisory Control And Data Acquisition » (système de contrôle et d'acquisition de données), un terme qui décrit les fonctions de base d'un système SCADA. Les entreprises utilisent des systèmes SCADA pour contrôler les équipements sur tous leurs sites, mais aussi pour collecter et enregistrer des données au sujet de leurs opérations.

Un SCADA est généralement fourni sous forme de logiciel combiné à des éléments matériels, tels que des automates programmables industriels (API) et des unités terminales distantes (RTU). L'acquisition des données commence avec les API et RTU, qui communiquent avec l'équipement d'un centre de production, par exemple les machines et les capteurs d'une usine. Les données recueillies à partir de l'équipement sont ensuite envoyées au niveau supérieur, par exemple à une salle de contrôle, où des opérateurs peuvent superviser les contrôles des API et des RTU à l'aide d'interfaces homme-machine (IHM). Les IHM sont un composant essentiel des systèmes SCADA. Il s'agit des écrans que les opérateurs utilisent pour communiquer avec le système SCADA.

➤ **Le système SCADA de Hassi R'mel (SONATRACH)**

Le système SCADA utilisé à Hassi R'mel consiste à assurer le télécontrôle des puits de production et de réinjection de gaz par la mesure et le suivi des différents paramètres de surface de chaque puits à l'aide des transmetteurs spéciaux.



Figure I.12. Exemple des transmetteurs sur chantier (SONATRACH)

Chaque complexe de production ou de réinjection de gaz est équipé d'un système SCADA ayant généralement la configuration suivante :

01 MTU (Master Terminal Unit) composée de 02 ordinateurs en hot standby, d'un système de secours ESD et des périphériques (HMI, Impression etc ...) en salle de contrôle

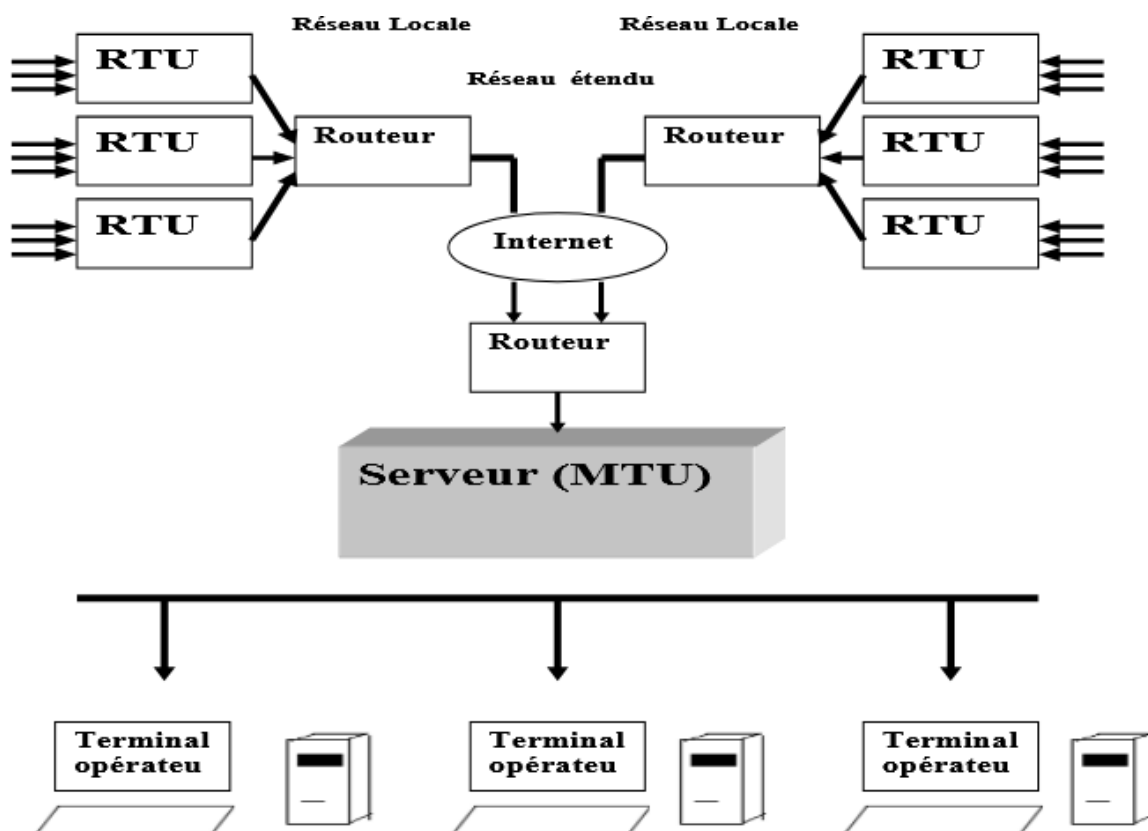


Figure I.13. Configuration générale de système de SCADA [23].

I.4.2. Surveillance en temps réel des pipelines de pétrole et de gaz

L'industrie pétrolière et gazière comprend des processus mondiaux d'exploration, d'extraction, de raffinage, de transport et de commercialisation. Le pétrole ou le gaz est transporté par des pipelines transrégionaux à l'aide de stations de pompage. Il s'écoule généralement à une vitesse approximative de 1 à 6 m (3,2 à 19,6 pi) par seconde. En règle générale, les pipelines s'étendent sur plusieurs milliers de kilomètres sur des terrains difficiles et nécessitent un système SCADA central basé sur une hiérarchie numérique synchrone (SDH) et une architecture micro-ondes pour mesurer, surveiller et contrôler l'état des équipements de terrain sur l'ensemble du flux de pétrole et de gaz. Les opérateurs peuvent rapidement détecter, localiser et prévenir ou résoudre les fuites, les dommages et les ruptures en déployant un réseau Ethernet fibre optique robuste et extensible.

Exigences

- Appareils de qualité industrielle qui fonctionnent dans des zones dangereuses, pour garantir la sécurité du système.
- Système SCADA et le logiciel de gestion de réseau du centre de contrôle reçoivent et surveillent l'état de fonctionnement du pipeline.
- Un réseau filaire ou sans fil fiable qui se connecte de manière transparente.
- Réseau flexible et étendu avec un déploiement facile pour les applications des stations de pompage à grande échelle.

I.4.3. RTOM (Real Time Operations Management)

SONATRACH et SCHLUMBERGER (Schlumberger étant leader mondial en tant que compagnie de service pétrolier) ont signé le 19 juillet 2009 le contrat portant la réalisation d'un système de monitoring et de management à temps réel des opérations de forage pétroliers dénommée Solution RTOM (Real Time Opération Management).

RTOM se compose d'un ensemble de ressources humaines et matériel (Hardware et software), une équipe dite Back Office de 22 ingénieurs informaticiens veillant sur le bon fonctionnement de l'infrastructure sophistiqué du RTOM, d'autre part une équipe dite Front Office 24 ingénieurs géologues et Mudlogger assure le monitoring et la détection des évènements des opérations de forage sur chantier.

I.4.4. Système SCADA de HMD

Le système de télémétrie installé au champ de HMD SONATRACH (Hassi Messaoud), est un système d'acquisition et de télésurveillance des paramètres des puits, manifolds, postes de détente, champs satellites et centres industriels. Ce système, appelé SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), a pour rôle la collecte, le traitement et la diffusion, en temps réel, des paramètres des puits vers les centres industriels nord et sud, et IRARA (DEP) à travers les différents champs satellites. Les principaux objectifs de ce système sont :

- La réduction des pertes en production brut dans le réseau de collectes, causées par un temps d'intervention très long du fait des informations, qui arrivent en retard ;
- La préservation du parc automobile affecté à la collecte des données des puits ;
- Déceler toutes anomalies du champ par une surveillance en temps réel et une intervention rapide ;

- La réduction des dépenses pour la rénovation du très vaste réseau routier du champ ;
- Production des bilans instantanés de tout le champ de HMD

I.4.5. Utilisation du Réseau GSM

Le réseau **GSM** (Global System for Mobile communications) [5] constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique.

Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée « Global System for Mobile communications » en 1991.

En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de **tri-bande** (parfois noté tribande), les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de **bi-bande** ceux fonctionnant uniquement en Europe.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (**SMS**, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (**MMS**, pour Multimédia Message Service).

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur la notion de **cellules**, c'est-à-dire des zones circulaires se chevauchant afin de couvrir une zone géographique. En effet, La **cellule** Est la surface sur laquelle le mobile peut établir une communication avec une station de base (BTS).

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs. Les composantes principales sont :

- ✚ Le contrôleur de station de base : BSC - Base Station Controller
- ✚ La station de base : BTS - Base Transceiver Station
- ✚ Le commutateur de service mobile : MSC - Mobile Switching Center

On peut diviser le réseau en 4 parties principales :

- 1) La station mobile : MS - Mobile Station
- 2) Le sous-système radio : BSS - Base Station Subsystem
- 3) Le sous-système réseau : NSS – Network Subsystem

4) Le sous-système opération : OSS – Operation Subsystem.

La figure I.12 montre un système GSM et la figure I.13 illustre l'architecture de GSM

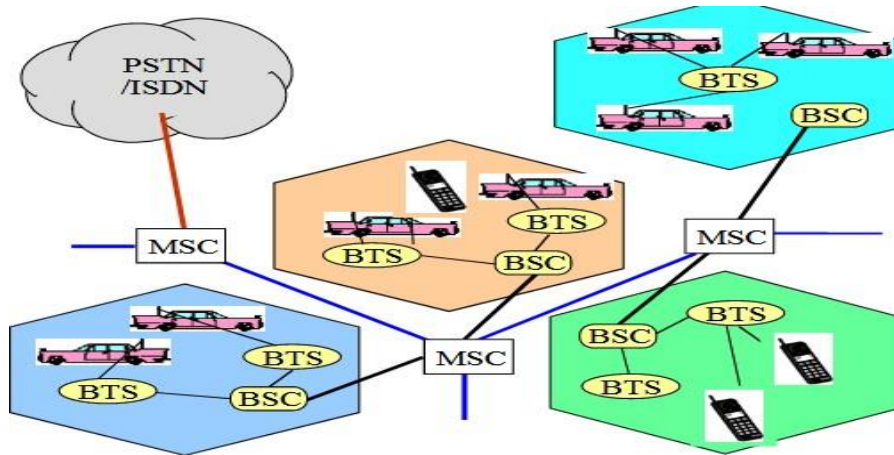


Figure III.14. Schéma d'un système GSM [24].

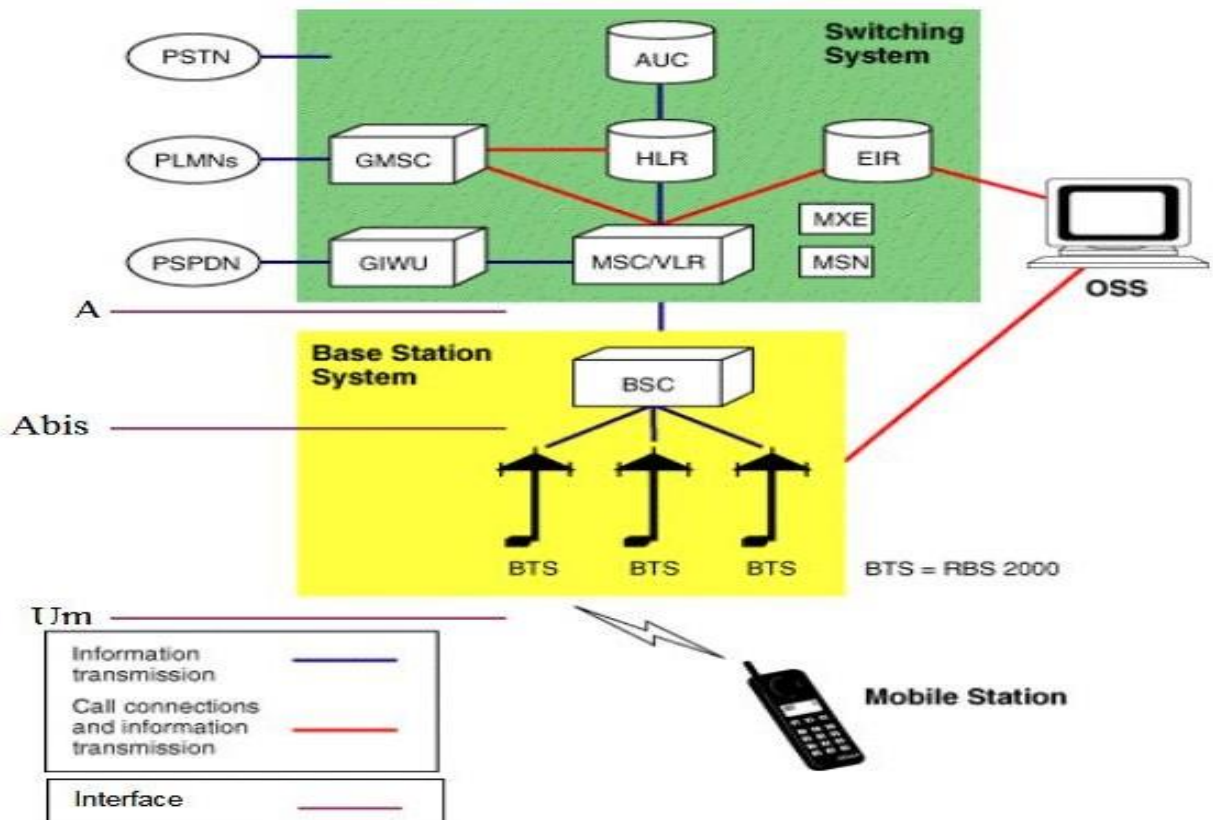


Figure I.15. L'architecture de GSM [25].

I.4.6. Détection de fuite de pipeline par l'utilisation de la fibre optique

Le principe de base de la détection de fuite de pipeline par l'utilisation de la fibre optique distribuée repose sur un concept simple:

Lorsqu'une fuite se produit à un emplacement spécifique le long du pipeline, la répartition de la température autour du pipeline change. Ce changement de température est localisé à la fois dans l'espace (quelques mètres autour de l'emplacement de fuite) et dans le temps (dès le début de la fuite). L'origine de la perturbation de la température autour du pipeline dépend du type de pipeline et de son environnement.

Dans une canalisation porteuse de gaz ou de gaz liquéfié, lorsqu'une fuite se produit à un endroit le long de la ligne de détection, le système de système de température distribuée (DTS) détectera une chute de température localisée ou un «point froid». La substance gazeuse s'écoulant à travers le pipeline est refroidie par le dégagement de pression à travers la section de tuyau qui fuit et refroidit la section de tuyau et la zone environnante. Il est également possible d'observer un point chaud lorsqu'une fuite se produit dans une canalisation poreuse de gaz, par exemple dans un pipeline transportant de la vapeur d'eau [05].

➤ **Le système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS)**

Le système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS) est un dispositif entièrement indépendant du système d'acquisition de données, qui peut créer une fuite artificielle le long du câble de détection. Il permet la validation automatique sur une base régulière du système de détection et des alarmes.

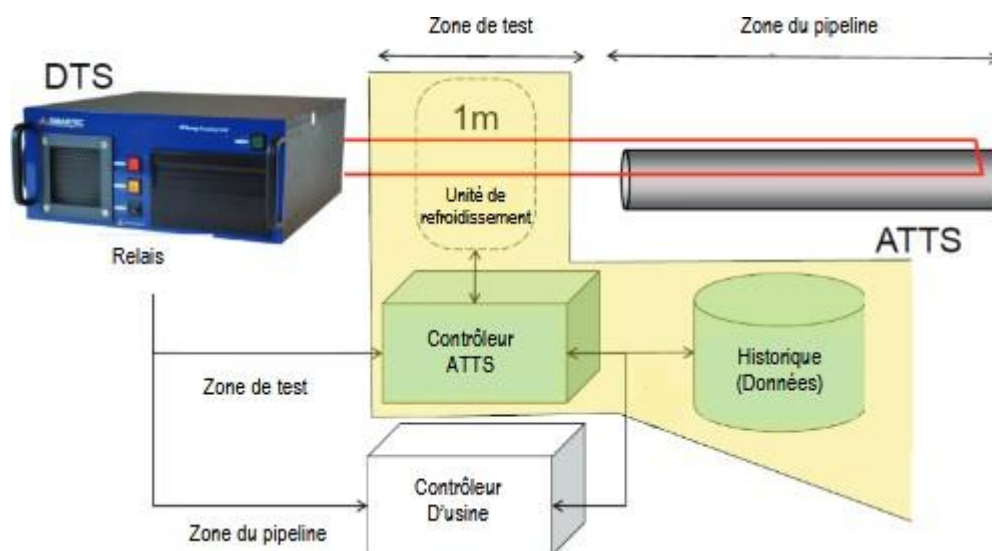


Figure I.16. Schéma d'un système de détection de fuite avec ATTS [26].

I.4.7. Système de la vidéosurveillance de SONATRACH

Pour la surveillance des zones de SONATRACH, des ingénieurs et informaticiens du domaine de la vidéosurveillance ont élaboré le système des caméras analogiques avec des encodeurs/enregistreurs réseau.

Ce système de vidéosurveillance a été installé en 2007. A cette époque les caméras IP (haute résolution et bonne qualité de l'image) n'ont pas été développées pour les sites industriels pour leur non résistance aux intempéries et aux températures, s'ajoute à cela le coût élevé de son installation car elles nécessitent un caisson de protection.

L'entreprise a donc choisi d'utiliser les caméras analogiques (caméras boîtiers, moins chère), en ajoutant des encodeurs/enregistreurs vidéo qui servent, d'une part à convertir les signaux analogiques (venant des caméras analogique) en flux de données numériques, d'autre part à stocker les vidéos numérisées sur un ordinateur.

Les traitements effectués sont notamment : capter, transférer, traiter, visionner en directe ou à posteriori, enfin archiver les images ou les vidéos.

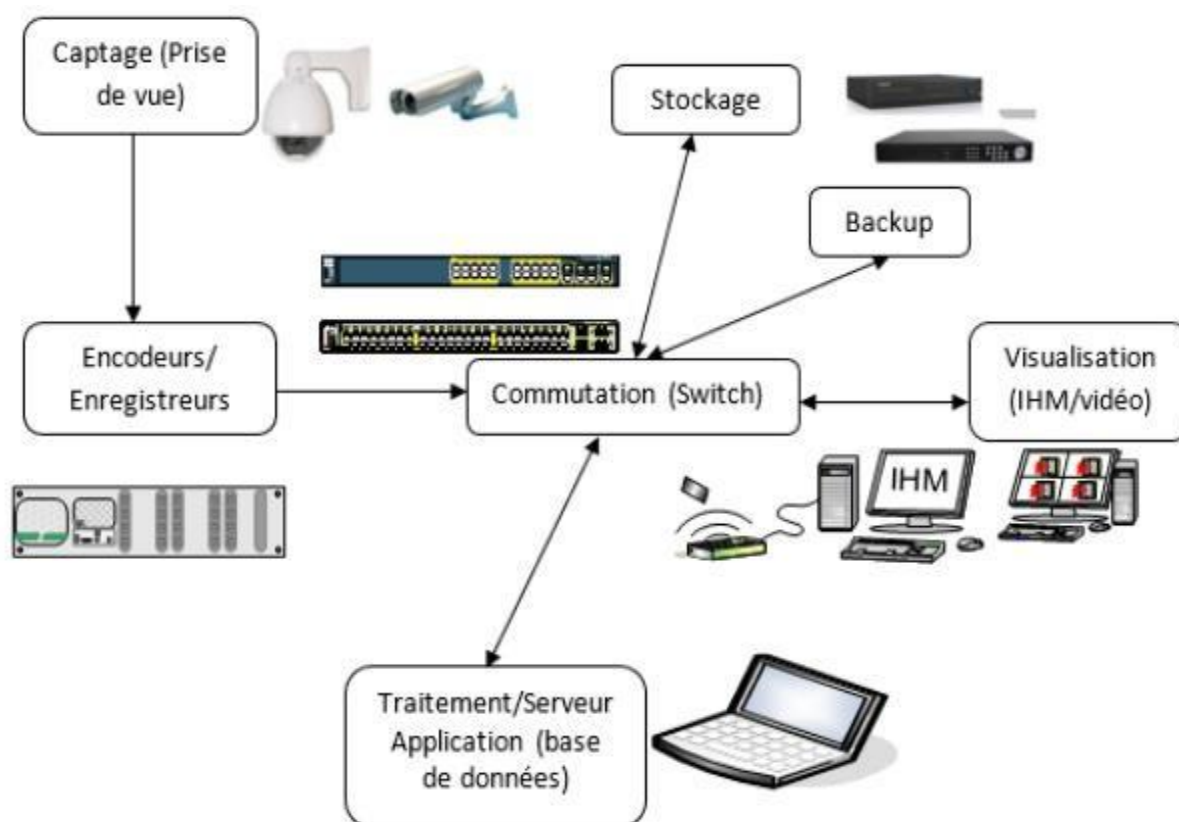


Figure I.17. Schéma principal du système de vidéosurveillance de SONATRACH.

CHAPITRE II

Système de transmission Par fibre optique

II.1. Introduction

Depuis quelques années, la fibre optique a été fortement introduite comme support de transmission incontournable sur les segments fédérateurs des réseaux LAN d'entreprise. Cette poussée a d'ailleurs été favorisée par les efforts de la normalisation tant au niveau des fibres que des composants optoélectroniques. Le présent chapitre est divisé en deux parties. La première partie consiste à donner quelques généralités sur les fibres optiques. La deuxième partie abordera les systèmes de télécommunications optiques.

II.2. Principe d'optique

La réfraction est le phénomène de changement brusque de direction d'un rayon lumineux lorsqu'il traverse la surface de séparation de deux milieux transparents.

En réalité, lorsqu'un rayon lumineux traverse la surface de séparation de deux milieux (de l'air vers le verre par exemple), une partie du signal lumineux va se retrouver réfracté, tandis qu'une autre sera réfléchi.

L'indice de réfraction d'un milieu mesure la densité optique de celui-ci. Cela constitue donc une idée de la difficulté de la lumière à se propager dans ce milieu.

L'expression de l'indice de réfraction s'exprime comme le rapport des vitesses de propagation de la lumière dans l'air et dans le milieu concerné :

$$n_1 = \frac{c}{c_1} \dots\dots (2)$$

Avec :

C : vitesse de la lumière

C1 : vitesse de la lumière dans le milieu d'indice

Le schéma ci-dessous illustrant le principe de la réfraction :

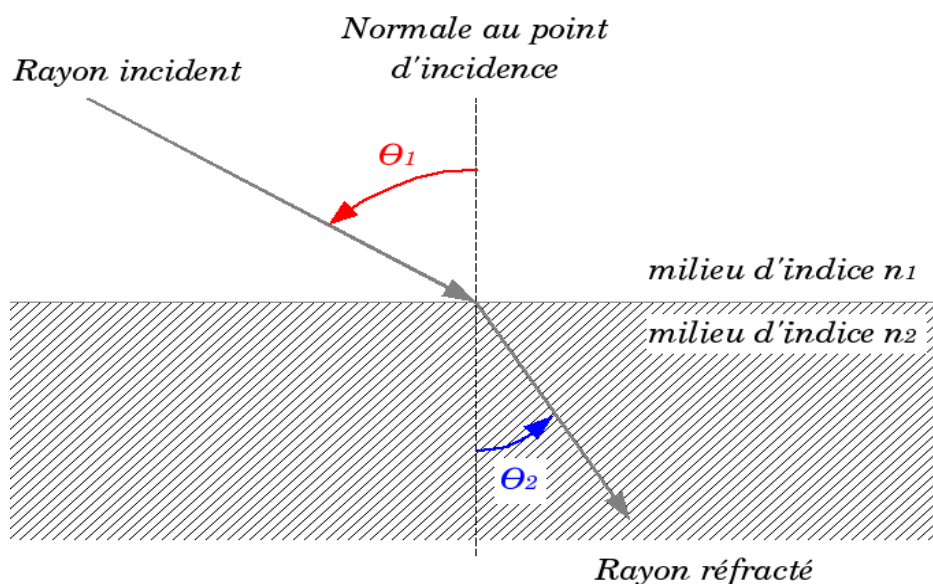


Figure II.1. Le principe de réfraction [27].

Ce principe a été démontré par Descartes [11], qui a établi la relation suivante :

$$n_1 * \sin(\theta_1) = n_2 * \sin(\theta_2) \dots\dots (3)$$

A la suite de cette relation, on peut distinguer 3 principaux scénarios.

Les angles d'incidences et de réfractions évoluent en effet suivants les différents cas.

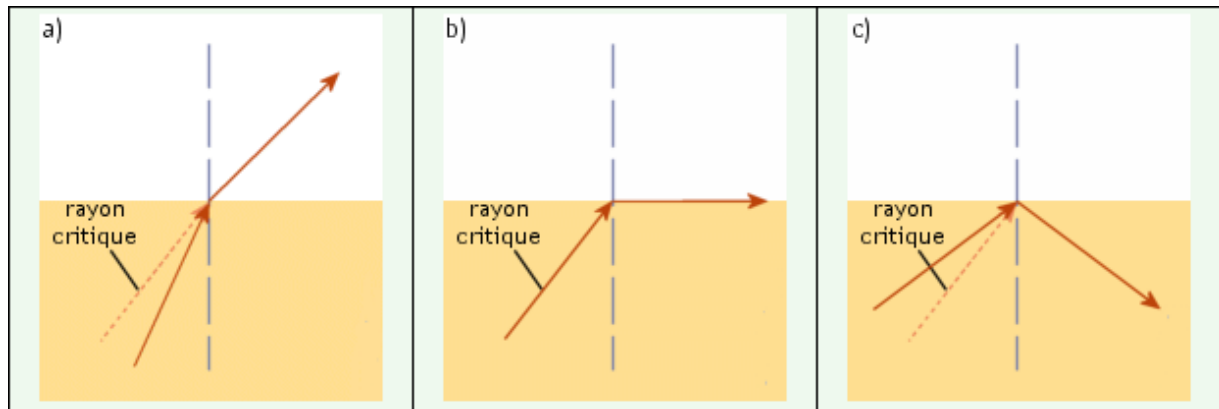


Figure II.2. Les 3 principaux scénarios de la réfraction [28].

- En présence d'un angle d'incidence normal, et par conséquent d'un angle de réfraction associé.
- En présence d'un angle d'incidence est dit **critique**. L'angle de réfraction est maximal, c'est à dire de 90°
- En présence d'un angle critique supérieur à l'angle critique, on a donc une **réflexion totale interne**.

II.3. Généralités sur la fibre optique

II.3.1. Définition

Une fibre optique est un fil de verre extrêmement fin, puisqu'il mesure environ un dixième d'un cheveu humain. Il a la capacité de conduire la lumière et est utilisé pour transmettre des données numériques ou pour des explorations visuelles dans le milieu médical. L'utilisation de la fibre optique apporte de nombreux avantages comparativement à un réseau de câblage traditionnel, tels que l'atténuation des perturbations électromagnétiques, une vitesse de transfert des données beaucoup plus élevée et une bande passante bien plus large permettant de transmettre des fichiers volumineux.. Le principe de fonctionnement d'une fibre optique repose sur la réfraction de la lumière. Celle-ci se propage dans le cœur de la fibre en empruntant un parcours en zigzag. Le rôle de la gaine qui entoure le cœur est de favoriser la transmission du signal grâce à un faible indice de réfraction. Elle nécessite donc une source de lumière, laser ou diode électroluminescente.

II.3.2. Constitution d'un câble fibre optique

Le fil de verre se voit doter divers couches pour le maintenir et le protéger. Au cœur de la fibre se trouve le cœur ou l'âme. Elle permet de transporter le signal d'un point à un autre, entre la source de lumière et le récepteur. elle se compose de verre ou de plastique. Il en existe de différentes tailles, qui transportent plus ou moins de la lumière. Son diamètre varie entre 50 et 100 micromètres. Autour de l'âme, on trouve la gaine. Elle participe à la circulation des ondes tout au long du cœur.

L'âme et la gaine optique sont contenues dans un revêtement plastique qui protège les deux premiers composants de la fibre optique. Le revêtement offre une protection contre les chocs et courbures importantes. Son épaisseur varie selon les types de fibres, entre 250 et 900 micromètres.

Afin de renforcer le fil, on y trouve les fibres de renfort, pour protéger l'installation des écrasements, des tensions excessives et des rongeurs. Il existe différents types de renfort, en gel ou en fibres de Kevlar.

Ces quatre éléments sont recouverts d'une gaine finale, qui imperméabilise totalement la lumière et permet sa réfraction.

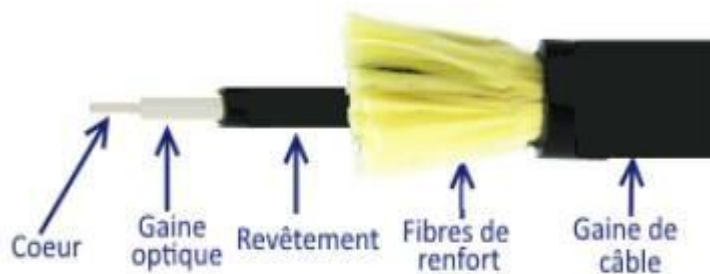


Figure II.3. Les différents composants de la fibre optique [29].

II.3.3. Les différents types de fibre

Il existe 2 grands types de fibres:

- ✓ Multimode : dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de la fibre.
- ✓ Monomode : dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière, le mode en ligne droite.

II.3.3.1. Multimode à saut d'indice

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN (Local Area Network, ou réseau local), comme par exemple les réseaux Wi-Fi domestiques et les réseaux de petites entreprises [10].

Etant donné que la fibre à saut d'indice est multimode, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de son cœur de silice.

Il existe dans cette fibre une grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique. C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne.

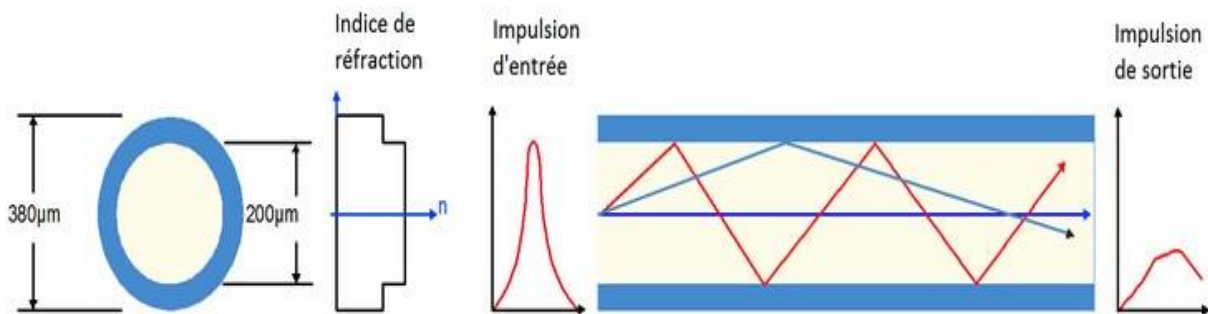


Figure II.4. Fibre à saut indice [30].

La fibre à saut d'indice possède un cœur très large.

L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie.

- ✓ Débit: environ 100 Mbit/s
- ✓ Portée maximale: environ 2 Km
- ✓ Affaiblissement: 10 dB/Km

II.3.3.2. Multimode à gradient d'indice

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine. Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé.

Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique [10].

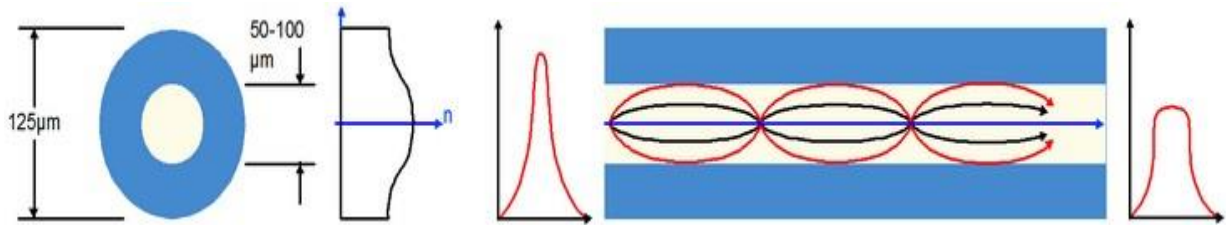


Figure II.5. Fibre à gradient d'indice [30].

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire.

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

- ✓ Débit: environ 1 Gbit/s
- ✓ Portée maximale: environ 2 Km
- ✓ Affaiblissement: 10 dB/Km.

II.3.3.3. Monomode

La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les cœurs de réseaux mondiaux.

Un seul mode de propagation de la lumière existe : c'est le mode en ligne droite.

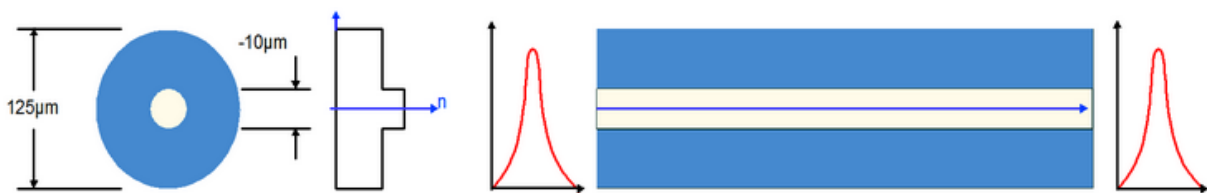


Figure II.6. La fibre monomode [30].

La fibre monomode possède un cœur très fin, de la taille d'un cheveu. L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui en fait sa force.

- ✓ Débit: environ 100 Gbit/s
- ✓ Portée maximale: environ 100 Km
- ✓ Affaiblissement: 0,5 dB/Km

II.3.4. Les avantages de la fibre optique pour les entreprises

- ✓ **Vitesse de connexion plus rapide** : La fibre optique permet aux entreprises de bénéficier de vitesses de connexion plus rapides que les technologies de transmission de données traditionnelles telles que l'ADSL ou le câble coaxial. Cela permet aux employés de travailler plus efficacement et de traiter des volumes de données plus importants sans rencontrer de problèmes de performance ou de latence.
- ✓ **Sécurité des données accrue** : Les données sont des actifs précieux pour les entreprises, et la sécurité des données est donc essentielle. La fibre optique offre une sécurité accrue par rapport aux technologies de transmission de données traditionnelles, car elle utilise des signaux lumineux pour transmettre des données, ce qui la rend plus difficile à pirater ou à intercepter.
- ✓ **Fiabilité supérieure** : Les entreprises ont besoin d'une connectivité fiable pour pouvoir fonctionner sans interruption. La fibre optique est considérée comme plus fiable que les technologies de transmission de données traditionnelles car elle est moins sensible aux interférences électromagnétiques et aux fluctuations de la vitesse de transmission de données.
- ✓ **Flexibilité accrue** : La fibre optique offre également une plus grande flexibilité aux entreprises en termes de connectivité. Elle peut être utilisée pour connecter des sites distants, des centres de données, des bureaux à domicile et des points d'accès Wi-Fi, et peut être adaptée à divers besoins de connectivité en fonction des besoins de l'entreprise.
- ✓ **Coût avantageux** : Bien que le coût initial de l'installation de la fibre optique puisse être plus élevé que celui des technologies de transmission de données traditionnelles, l'investissement dans la fibre optique peut offrir des avantages économiques à long terme en termes d'efficacité, de productivité et de fiabilité accrues.
- ✓ **Évolutivité** : Enfin, la fibre optique est une technologie évolutive qui peut être mise à jour pour répondre aux besoins de l'entreprise au fil du temps. Cela signifie que les entreprises peuvent commencer avec une connexion à fibre optique de base et la faire évoluer à mesure que leurs besoins en matière de connectivité augmentent.

II.4. Système de transmissions par fibre optique

Au début, les fibres optiques étaient essentiellement utilisées pour des liaisons poste à poste sur de longues distances, au fur et à mesure, elles deviennent beaucoup plus utilisées dans les entreprises, les bâtiments ainsi que dans les maisons, mais le passage des connexions existantes

classiques vers les fibres optiques, a entraîné la nécessité de remplacer plusieurs composants électroniques tel que les composants de routage, les émetteurs et les filtres par des composants photoniques [7].

L'idée d'utiliser des systèmes de communications optiques au lieu des systèmes de communications classiques à base d'électrons offre d'excellents avantages tels que: la rapidité de traitement de l'information, l'importance de la vitesse de propagation, la diminution rapport signal/ bruit, et le débit binaire élevé [8].

Le développement croissant des performances en matière de transmission de l'information entraîne toujours plus d'exigences sur le plan de support de propagation des données. L'utilisation de la fibre optique comme un support de transmission étaient largement répandu grâce au concept de confinement de la lumière [10].

II.4.1. Schéma synoptique d'une chaine de transmission

Le transfert de l'information de données sous forme de lumière sur une longue distance, est assuré par un système de télécommunication optique. Ce système est composé de trois éléments fondamentaux: un émetteur, un canal de transmission (fibre optique) et un récepteur.

La figure II.7 représente le schéma synoptique général d'une chaine de transmission par fibre optique.

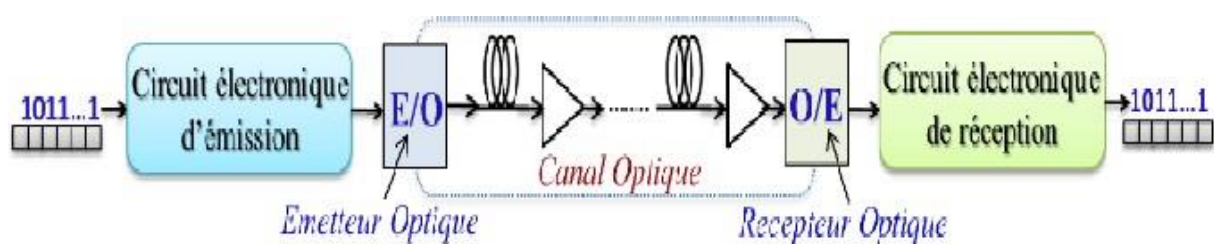


Figure II.7. Schéma synoptique général d'une chaîne de transmission par fibre optique [31].

II.4.2. Émetteurs-récepteurs à fibre optique

L'émetteur-récepteur à fibre optique, également appelé module optique, est utilisé pour réaliser la conversion entre les signaux électriques et optiques. C'est le dispositif central pour connecter les équipements de communication aux fibres optiques. Le module optique est

généralement composé d'un sous-ensemble optique émetteur (TOSA, contenant une puce laser LD), d'un sous-ensemble optique récepteur (ROSA, contenant une puce photodétecteur PD), d'un circuit de commande et d'une interface optique et électrique. Son schéma est illustré à la figure II.8.

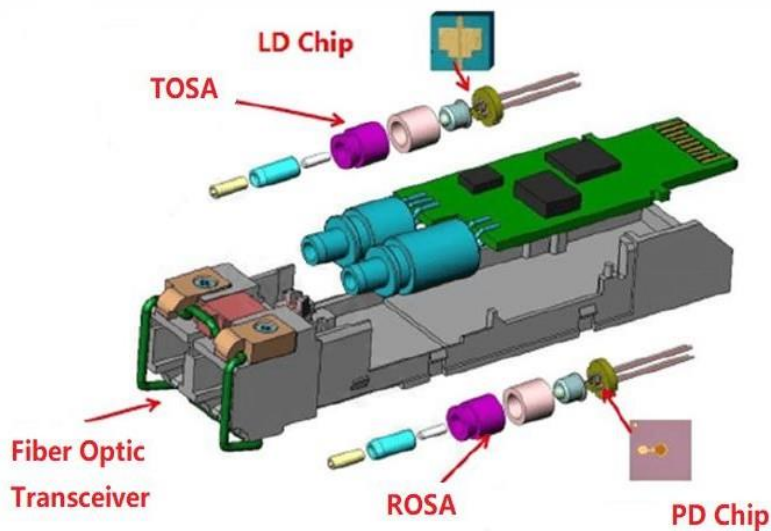


Figure II.8. Schéma de structure interne du module optique [32].

Dans les systèmes de communication les sources optiques utilisées sont les diodes électroluminescentes (connue sous l'appellation DEL ou LED (light-emitting diode)) et les diodes lasers. Leur fonction est de convertir une énergie électrique en énergie optique. Les diodes laser sont les plus utilisées pour la transmission de l'information par fibre optique

II.4.3. Technique de modulation

II.4.3.1. Modulation directe

La modulation directe est la modulation la plus simple à mettre en œuvre (figure II.9). Le courant d'alimentation qui traverse la diode laser sera modulée directement en intensité émise par celle-ci (figure II.10). Cette solution requiert peu de composants et peu coûteuse. Mais son inconvénient est que lorsqu'on module en amplitude le courant d'alimentation d'un laser, il est accompagné d'une modulation de fréquence parasite appelée chirp. La figure II.9 montre le schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe.

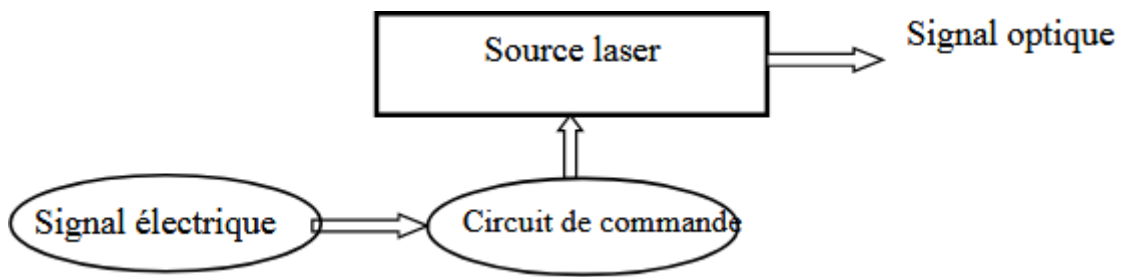


Figure II.9. Modulation directe

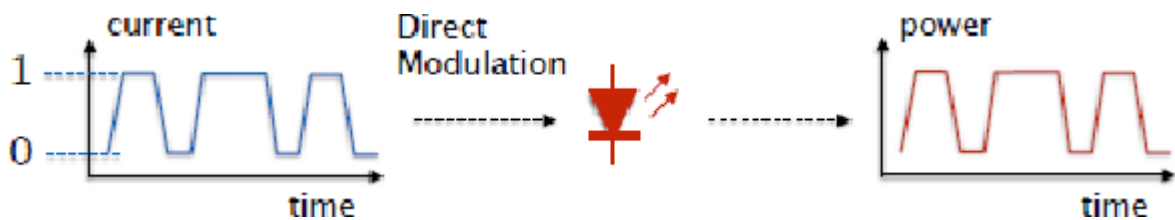


Figure II.10. Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe [33].

II.4.3.2. Modulation externe

Dans cette modulation l'émetteur envoie un signal optique pur suivi d'un modulateur externe (figure II.11). Le courant injecté par le laser n'est plus modulé. Cette modulation est la plus favorisée pour les télécommunications à longue distance et à haut débit et pour des fréquences très élevées à partir de 5 à 10GHz. Elle est plus rapide que celle de la modulation directe. Elle permet d'écrire les données électriques sur un signal optique continu et permet d'éliminer l'effet de chirp. Sa bande passante est de plus 80 GHz, plus importante que celle de la modulation directe qui est de 5 GHz.

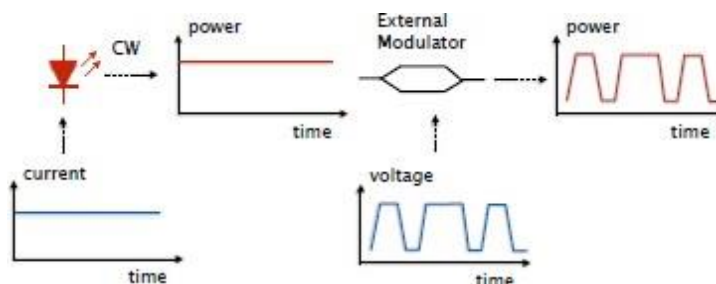


Figure II.11. Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation externe [33].

II.4.4. Multiplexage

La notion de multiplexage s'explique par le fait de vouloir toujours transmettre plus d'information sur une fibre optique.

Le principe général est simple à comprendre : il consiste en fait à faire passer plusieurs informations sur un seul support de transmission. Plusieurs types de multiplexage sont possibles, nous verrons dans cette partie le multiplexage en temps d'une part, et le multiplexage en fréquence d'autre part.

II.4.4.1. Le multiplexage en temps (TDM)

Le TDM (Time Division Multiplexing) consiste à découper la bande passante de la fibre optique en unités de temps, que vont se partager les différentes communications. Cela permet donc à un émetteur de transmettre plusieurs canaux numériques élémentaires à faible débit sur un même support de communication à plus haut débit.

Le schéma illustré dans la Figure II.12 montre le principe du multiplexage temporel (TDM)

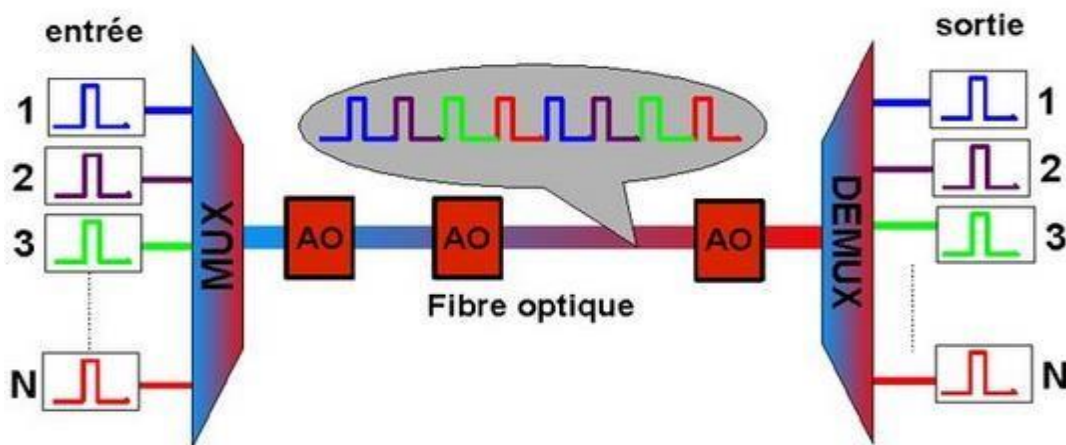


Figure II.12. Le principe du multiplexage temporel (TDM) [34].

Plusieurs canaux de même longueur d'onde (1 à N) sont envoyés dans une seule fibre optique grâce à un multiplexeur (MUX) en entrée de fibre, puis après une certaine distance de propagation et de multiples réamplifications (AO), les canaux sont démultiplexés en sortie (DEMUX).

II.4.4.2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le WDM (Wavelength Division Multiplexing) consiste à mélanger plusieurs signaux optiques sur une même fibre optique afin de multiplier la bande passante de celle-ci. Les signaux sont portés par des longueurs d'ondes différentes, et espacées assez largement afin de ne pas interférer les unes avec les autres.

Le schéma illustré dans la Figure II.13 montre le principe du multiplexage en longueur d'onde (WDM)

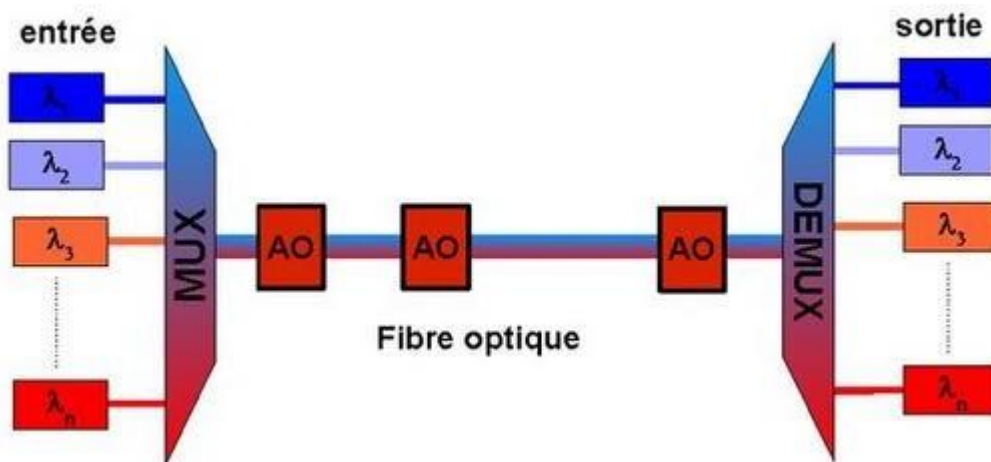


Figure II.13. Le principe du multiplexage en longueur d'onde (WDM) [34]

Différentes longueurs d'onde (λ_1 à λ_n) sont envoyées dans une seule fibre optique grâce à un multiplexeur (MUX) en entrée de fibre, puis après une certaine distance de propagation et de multiples réamplifications (AO), elles sont démultiplexées en sortie (DEMUX).

II.5. Les différents types d'équipements des réseaux optiques

Les composants des réseaux optiques se décomposent en 2 catégories: actif et passif. Voici quelques exemples de ces composants :

II.5.1. Composants actifs

1) Amplificateurs :

Ils amplifient les signaux optiques sans les transformer en électricité.

Ex: Amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA).

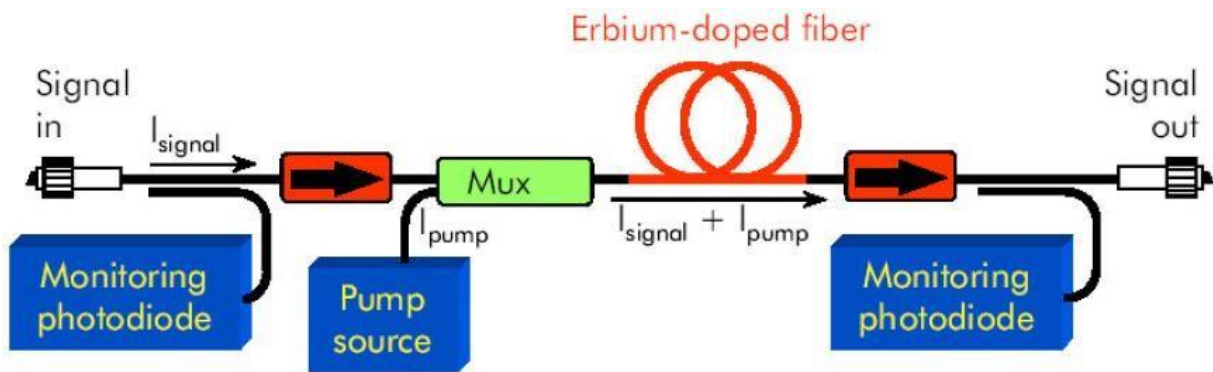


Figure II.14. Amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA) [34].

2) Modulateur :

Ils permettent la modulation externe de sources lumineuses continues.

Le type de modulateur optique le plus utilisé est celui de **modulateurs acousto-optiques (AOM)**. L'avantage majeur des **modulateurs acousto-optiques fibrés** est la puissance optique relativement élevée que ces modulateurs peuvent gérer. Ils sont spécifiés pour fonctionner avec des niveaux de puissance pouvant atteindre plusieurs watts (plus de 10 W dans certains cas).



Figure II.15. Modulateurs acousto-optiques (AOM) [35].

3) Filtre Optique:

Le filtre optique est un dispositif qui est utilisé pour la sélection de longueur d'onde, qui peut choisir des longueurs d'onde exigées à partir d'un grand nombre de longueurs d'onde et rejeter les longueurs d'onde d'addition. Il peut utiliser dans la sélection de longueur d'onde, le filtre de l'amplificateur optique, égalisation de gain, multiplexage optique/démultiplexant.

WDM de fibre optique FTTX 1625nm de filtre est fait par les composants optiques spéciaux et technologie de pointe, il peut a profondément laissé le passage de la longueur d'onde 1260-1590nm mais refléter efficacement la longueur d'onde 1600-1670nm. Ce produit est

principalement employé dans l'essai en ligne de fibre optique. C'est un composant idéal du filtrage de la fibre optique 1625/1650nm.



Figure II.16. WDM de fibre optique FTTX 1625nm [36].

4) Commutateurs :

Un commutateur réseau (ou switch) est un équipement de communication qui est utilisé pour répartir les données sur les réseaux câblés. Il se présente le plus souvent sous la forme d'un boîtier disposant de plusieurs ports Ethernet ou de fibre optique.

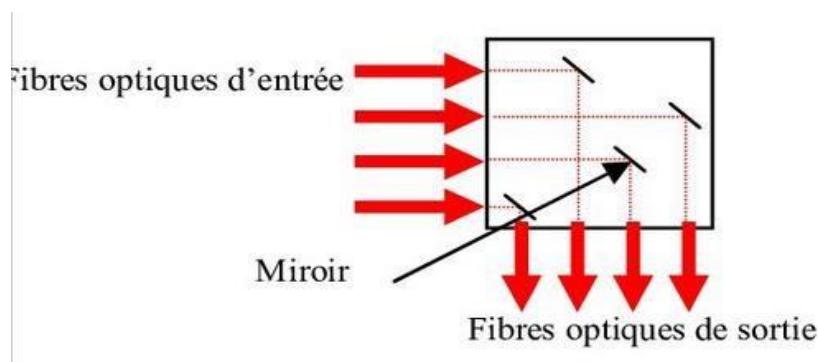


Figure II.17. Principe de commutateur optique 4*4 : 4 fibres en entrée et 4 en sortie [37].

II.5.2. Composants passifs

1) OADM (Optical Add-Drop Multiplexer)

Un OADM traditionnel se compose de trois parties : un démultiplexeur optique, un multiplexeur optique et entre eux une méthode de reconfiguration des chemins entre le démultiplexeur optique, le multiplexeur optique et un ensemble de ports pour ajouter et supprimer des signaux.

Le MUX multiplexe les canaux de longueur d'onde qui doivent continuer à partir des ports DEMUX avec ceux des ports d'ajout, sur une seule fibre de sortie, tandis que le DEMUX sépare les longueurs d'onde d'une fibre d'entrée sur les ports. La reconfiguration peut être réalisée par un panneau de brassage fibre ou par des commutateurs optiques qui dirigent les longueurs d'onde vers le MUX ou vers des ports d'abandon. Tous les chemins de lumière qui passent directement par un OADM sont appelés chemins de lumière traversant, tandis que ceux qui sont ajoutés ou supprimés au niveau du nœud OADM sont appelés chemins de lumière ajoutés/supprimés.

Processus de travail OADM comme suit : les signaux WDM de la ligne contiennent un canal de longueur d'onde N , entrez du côté "Entrée principale" OADM, en fonction des besoins de votre entreprise, à partir du canal de longueur d'onde N , de manière sélective depuis le côté route (Drop) requis par le canal de longueur d'onde de sortie. , en conséquence, depuis l'extrémité de la route (Ajouter), entrez le canal de longueur d'onde souhaité. Indépendamment des autres canaux de longueur d'onde locaux directement via l'OADM et des canaux de longueur d'onde de routage multiplexés ensemble, à partir des bornes de sortie du circuit de sortie OADM (Main Output).

L'image suivante montre le fonctionnement de base d'un OADM.

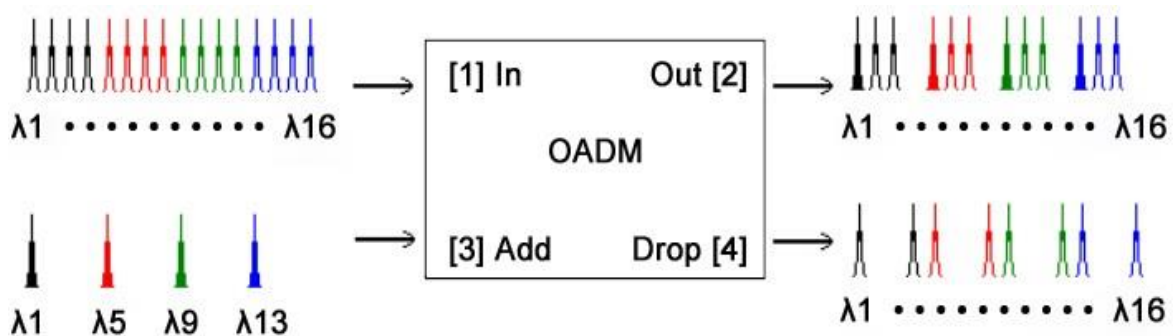


Figure II.18. Structure de l'OADM [38].

2) Coupleurs optique :

C'est une sorte d'embranchement multi-fibre qui peut concentrer ou diviser la puissance lumineuse. Par exemple, les coupleurs d'IDIL sont utilisés pour diviser ou combiner des signaux optiques à 1310 nm, 1550 nm.

3) Connecteurs optique

Assurer le branchement final des fibres sur les équipements.

4) Atténuateur optique :

L'atténuateur à fibre optique, également appelé atténuateur optique, est un dispositif passif utilisé pour réduire le niveau de puissance d'un signal optique et niveler les lignes de transmission optiques. Empêcher que trop de lumière arrive sur les photodiodes.

Les atténuateurs à fibres optiques produisent habituellement une atténuation en absorbant la lumière. L'atténuateur à fibre optique a une plage de longueur d'onde de travail qui peut absorber l'énergie lumineuse. À cette longueur d'onde, il ne doit pas refléter la lumière parce que cela peut causer une réflexion d'écho inutile dans le système de fibre optique.



Figure II.19. Un exemple d'atténuateur optique fixe à 1dB [39].

II.6. Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a fourni une vue d'ensemble complète des systèmes de transmission par fibre optique, en commençant par les principes de base de l'optique et en abordant la constitution et les types de fibres optiques, notamment les fibres multimodes à saut d'indice et à gradient d'indice, ainsi que les fibres monomodes. Il a mis en lumière les nombreux avantages de la fibre optique pour les entreprises, tels que la haute capacité de transmission et la faible sensibilité aux interférences électromagnétiques. Le chapitre a également détaillé les composants des systèmes de transmission par fibre optique, les techniques de modulation et de multiplexage, ainsi que les différents types d'équipements utilisés dans les réseaux optiques, en distinguant les composants actifs et passifs. Ces éléments posent les bases pour comprendre l'efficacité et la fiabilité de la fibre optique dans les applications de surveillance et de détection de fuites dans les pipelines.

CHAPITRE III

TECHNIQUES DE DETECTION DES FUITES PIPELINE DES HYDROCARBURE PAR FIBRE OPTIQUE.

III.1. Introduction

Au cours des dernières décennies, plusieurs accidents industriels majeurs se sont produits sur les sites d'industrie chimique manipulant de grandes quantités de substances dangereuses. Les organismes nationaux de réglementation travaillent à renforcer les mesures de sécurité et de prévention ces installations.

Les fuites de produits pétrochimiques tels que le pétrole brut et raffiné, le gaz, le GNL, l'ammoniac ou le chlore peuvent être à l'origine de rejets toxiques, ce qui peut avoir de graves conséquences sur les installations, l'environnement et le voisinage. Les industries sont invitées à prendre toutes les mesures possibles pour réduire l'occurrence et les conséquences de tels événements catastrophiques en mettant en place des barrières techniques supplémentaires de sécurité afin de prévenir ou d'atténuer tout danger potentiel sur leurs structures clés comme les pipelines, les installations de stockage et les réacteurs.

Les fuites de pipeline peuvent avoir différentes origines, comme la corrosion, la fatigue, les défauts matériels, les chocs, les températures anormales, les pressions extrêmes ou les déformations excessives causées par le mouvement du sol. Dans le cas de l'ammoniac, les fuites peuvent être détectées par la chute rapide de température due à l'évaporation de l'ammoniac liquide libéré et de ses gaz d'évaporation.

III.2.1. Généralités sur les pipelines des hydrocarbures

III.2.1. Définitions

Une canalisation, ou un pipeline (de l'anglais) est une conduite destinée à l'acheminement de matières gazeuses, liquides, solides ou poly phasiques, d'un endroit à un autre. Le diamètre nominal d'une canalisation peut aller de trente millimètres environ (un pouce un quart) pour des fluides spéciaux jusqu'à plus de trois mètres vingt (soixante-huit pouces) pour les adductions d'eau. Dans le domaine de transport des hydrocarbures, on distingue de type de pipeline : Gazoduc et Oléoduc.

- Un **gazoduc** est une canalisation destinée au transport de matières gazeuses sous pression, la plupart du temps des hydrocarbures, sur de longues distances. La majorité des gazoducs acheminent le gaz naturel entre les zones d'exploitations et les zones de consommations ou d'exportations.
- Un **oléoduc** (du latin oleum : « huile » et ducere : « conduire ») est une canalisation destinée au transport du pétrole brut ou raffiné.

Le projet GR5 (figure III.1) concerne la réalisation d'une ligne d'expédition de 48" d'une longueur de 783 km reliant Reggane dans la wilaya d'Adrar à Hassi R'Mel en passant par la localité de Krechba qui se trouve à Ghardaia. Un consortium d'entreprises nationales a été mis sur pied pour la réalisation de ce gazoduc. Il se compose de : Cosider Canalisations, et des trois filiales de la SONATRACH : GCB, ENAC et GTP [03].



Figure III.1. Gazoduc GR5 : Krechba – Hassi R'Mel (SONATRACH) [03]

III.2.2. Description du Réseau de Transport pipeline -SONATRACH

Le Réseau de Transport des Hydrocarbures Liquides et Gazeux de la SONATRACH est constitué d'un ensemble de canalisations, de stations de pompage, de stations de compression, de parcs de stockage, assurant le transport des effluents issus des champs de production, d'un centre de stockage ou d'un dispatching, vers les pôles industriels de traitement et de liquéfaction, de transformation, d'exportation et d'alimentation du marché national.

Le Réseau de Transport inclut également les lignes d'expédition et les installations de chargement situées au niveau des ports d'Arzew, de Bethioua, de Béjaïa et de Skikda, faisant partie des Extensions des STC Nord de pétrole brut et Condensat OZ1/OZ2, OB1/OG1, OK1, NZ1 et NK1.

Ce Réseau de Transport est composé de deux parties complémentaires :

- 1- Un réseau sud, qui assure le transport des effluents issus des gisements vers Haoud El Hamra (CDHL) pour le pétrole brut et le Condensat vers Hassi-R'mel (CNDG) pour le Gaz naturel et le GPL;
- 2- Un réseau nord, qui assure le transport du Condensat du CDHL et du gisement de Hassi R'mel vers la raffinerie de Skikda et les ports d'exportation ainsi du Gaz naturel du CNDG vers le marché national.

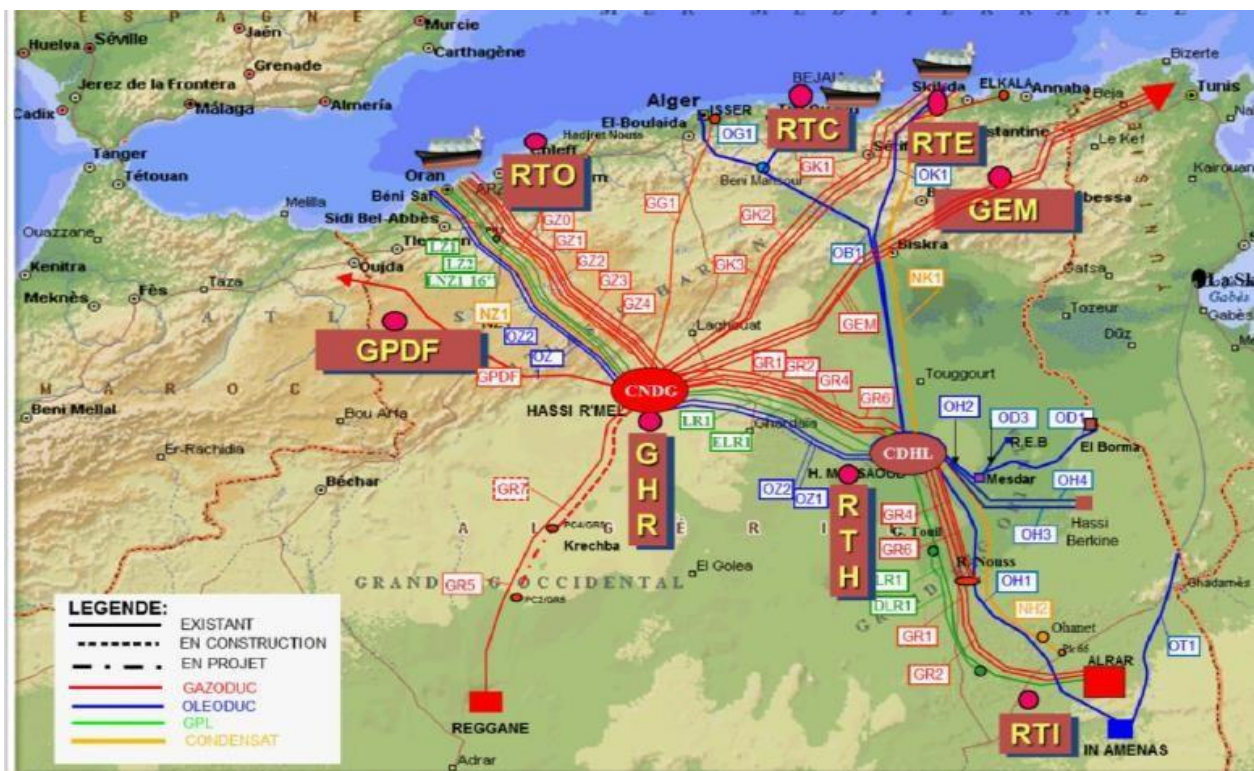


Figure III.2. Cartographie actuelle du Réseau de Transport pipeline –SONATRACH [03]

III.2.3. Principales causes d'endommagement des pipelines

Les pipelines sont toujours exposés aux risques d'endommagements. Les causes de défaillances des canalisations sont de diverses natures. Elles peuvent se manifester soit par une rupture soit par une fuite dans les conduites. Les défauts à l'origine de ces défaillances peuvent être classés suivant quatre catégories.

- Les défauts de corrosion, causés par des piqûres de corrosions ou par des fissurations de corrosion sous contraintes.
- Les défauts de types éraflures.
- Les défauts de type enfoncement.
- Les défauts dans les soudures.

Les indicateurs physiques de détection des fuites :

➤ Indicateur de la pression :

Les incidents liés à la surpression constituent une source d'inquiétudes, car ils peuvent entraîner des défaillances des réseaux pipeliniers dans l'immédiat ou plus tard.

Une pression accrue peut provoquer une augmentation de la pression d'un second gaz le monoxyde de carbone, car il forme une proportion de la quantité totale de gaz dans le tube qui à son tour réduit le degré d'acidité rend le centre plus hostile au métal la corrosion est augmentée La basse pression est entre deux points de tuyau ou de tuyau. La chute de pression se produit par l'effet de la force de frottement sur le fluide pendant qu'il est dans le tube. Cette force de frottement est causée par la résistance du tube à s'écouler.

➤ Indicateur de la température :

Le temps froid pour les Gazoduc peut nuire à l'intégrité des réseaux de distribution. Les concepts de gestion de l'intégrité (GI) exigeaient qu'un opérateur identifie les menaces d'intégrité comme une étape nécessaire pour hiérarchiser les évaluations d'intégrité et développer des atténuations. Ce rapport traite des menaces d'intégrité les plus courantes causées par le temps froid et identifie les attributs des systèmes les plus sensibles. Cette information devrait permettre à un exploitant de réseau de distribution de gaz d'élaborer des processus décisionnels appropriés pour faire face aux risques de froid dans le cadre de son programme de GI de distribution.

Des incidents liés au temps froid se sont produits dans les réseaux de distribution des systèmes de transmission et les systèmes de transmission de liquides dangereux.

III.3. Les technologies de détection des fuites pipelines par fibre optique

III.3.1. Détection au niveau des pipelines de gaz naturel (gazoducs)

La majorité des gazoducs acheminent du gaz naturel entre les zones d'extraction et les zones de consommation ou d'exportation.

Le principe de base de la détection de fuite de pipeline de type gazoduc par l'utilisation de la fibre optique distribuée repose sur un concept simple: lorsqu'une fuite se produit à un emplacement spécifique le long du pipeline, la répartition de la température autour du pipeline change. Ce changement de température est localisé à la fois dans l'espace (quelques mètres autour de l'emplacement de fuite) et dans le temps (dès le début de la fuite). L'origine de la perturbation de la température autour du pipeline dépend du type de pipeline et de son environnement [11].

Dans une canalisation porteuse de gaz ou de gaz liquéfié, lorsqu'une fuite se produit à un endroit le long de la ligne de détection, le système de système de température distribuée (DTS) détectera une chute de température localisée ou un «point froid». La substance gazeuse s'écoulant à travers le pipeline est refroidie par le dégagement de pression à travers la section de tuyau qui fuit et refroidit la section de tuyau et la zone environnante. Il est également possible d'observer un point chaud lorsqu'une fuite se produit dans une canalisation poreuse de gaz, par exemple dans un pipeline transportant de la vapeur d'eau.

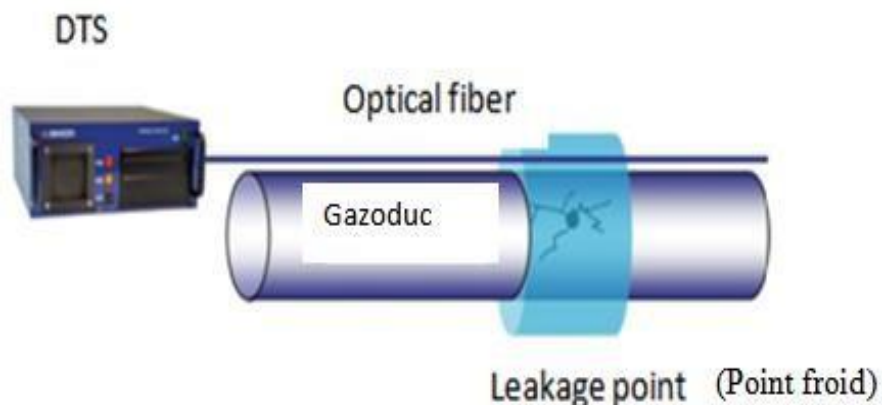


Figure III.3. Système de détection des fuites pipeline gazoduc [40].

III.3.1.1. Principe technologique de DTS

Le DTS utilise l'effet Raman (voir [12] pour plus de détail) pour mesurer la température. Une impulsion laser optique envoyée à travers la fibre entraîne une réflexion de la lumière diffusée vers l'extrémité de transmission, où les informations sont analysées.

L'intensité de la diffusion Raman est une mesure de la température le long de la fibre. Le signal Raman anti-Stokes change considérablement son amplitude avec le changement de température; le signal Raman Stokes est relativement stable.

La position de la lecture de température est déterminée en mesurant le moment d'arrivée de l'impulsion lumineuse de retour similaire à un écho radar. Cette méthode est appelée réflectométrie optique dans le domaine temporel (OTDR).

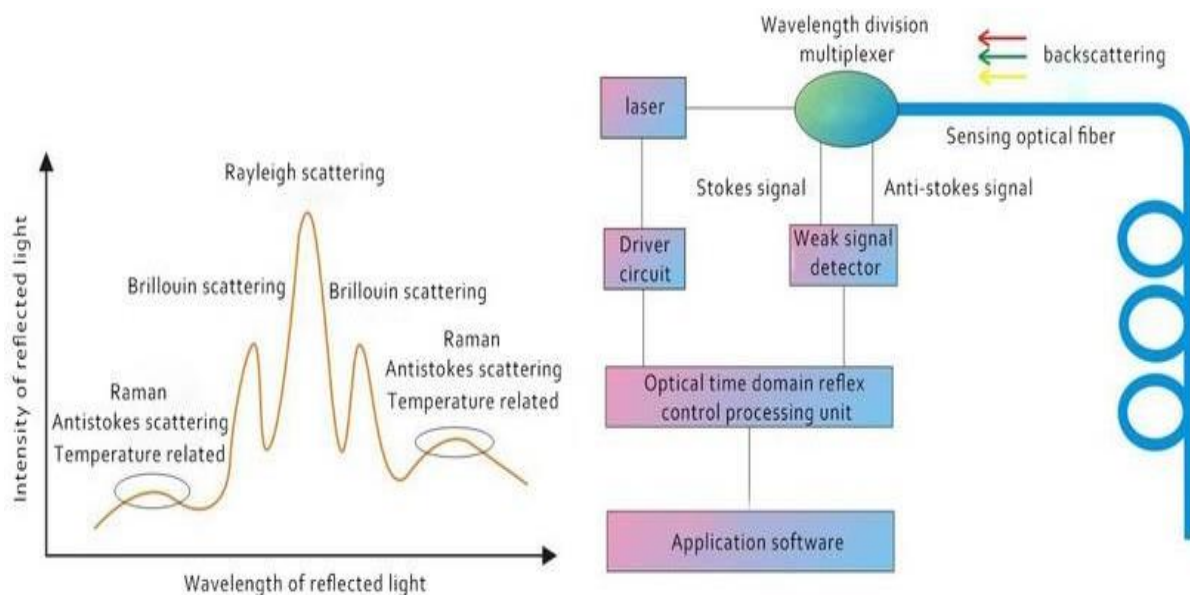


Figure III.4. Principe technologique de DTS [41].

Avantages technologiques de DTS

- ✓ Il assure une surveillance continue chaque 0,5 mètres signaux de changement de température sur une longueur de 20 km.
- ✓ Haute précision: intervalle d'échantillonnage est de 0,5 m, résolution de la température est 0,1°C, la précision de la température est $\pm 1^\circ\text{C}$, la précision de la position est $\pm 0,5$ m.
- ✓ Bonne compatibilité.
- ✓ Sécurité: sécurité intrinsèque, fiable, adoptez le signal optique.

III.3.1.2. Contrôleur de fibre optique DTS

Ce type de capteur à fibre optique intégré au contrôleur module et écran tactile. Il utilise une alimentation DC24V (ou adopter directement la puissance de feu). Le tableau III.1 montre les caractéristiques techniques de capteur DTS.



Figure III.5. Contrôleur de fibre optique DTS [42].

Tableau III.1. Caractéristique techniques de capteur DTS

Paramètres techniques	données techniques
Modèle	WT-GL-100
Nombre de canaux	4
Écart de température	-40°C ~ + 120 °C
Précision de la température	± 1 °C
Résolution de température	± 0,1 °C
Fréquence des tests	2s / canal
Mesurer la distance	0 ~ 20 km
Nombre de relais	24
Type de ports	USB / RS232 / RS485
Température de fonctionnement	-10 °C ~ + 50 °C
Température de stockage	-20 °C ~ + 60 °C
Alimentation de travail	DC 24 V
Humidité de travail	≤95% sans condensation
Longueur maximale d'utilisation de chaque canal unique	5 km

III.3.2. Détection au niveau des pipelines de pétrole (Oléoduc) :

Dans une canalisation porteuse de liquide comme le pétrole (Oléoduc), lorsqu'une fuite se produit à un emplacement le long de la ligne de détection, le système DTS détectera une élévation de température localisée ou un "point chaud".

La substance liquide s'écoulant à travers le pipeline est typiquement plus chaude que les structures adjacentes à la ligne de détection de sorte que lorsque le liquide s'échappe du pipeline, il tend à réchauffer ces structures.

Il est également possible d'observer un point froid dans le cas de fuites provenant d'une conduite de transport de liquide, par exemple si le liquide transporté est plus froid que l'environnement.

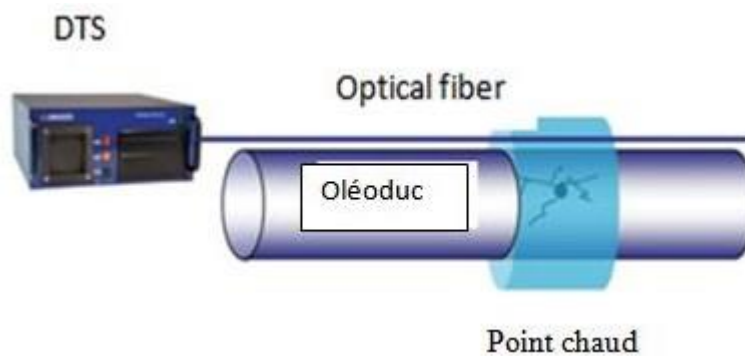


Figure III.6. Système de détection des fuites Oléoduc [40].

III.3.3. Système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS)

Le système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS) est un dispositif entièrement indépendant du système d'acquisition de données, qui peut créer une fuite artificielle le long du câble de détection. Il permet la validation automatique sur une base régulière du système de détection et des alarmes.

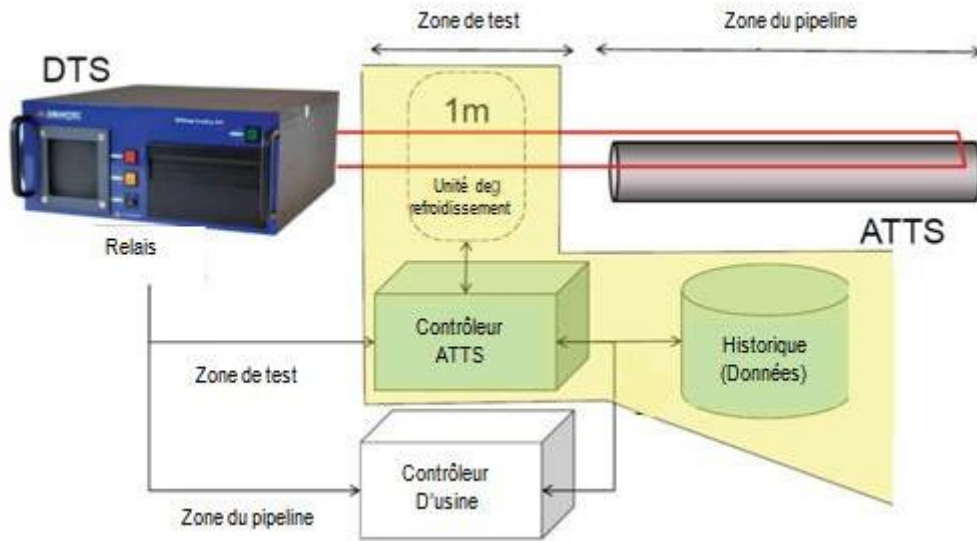


Figure III.7. Système automatisé d'essai de déclenchement (ATTS) [40].

III.3.4. Détection par l'émission acoustique

L'émission acoustique représente, de nos jours, un outil efficace pour la détection des fuites dans les installations industrielles simples ou complexes. Plusieurs phénomènes principaux dans l'écoulement d'un fluide à travers un orifice, tel qu'une fissure ou une vanne, donnent naissance à de l'émission acoustique détectable par notre technologie.

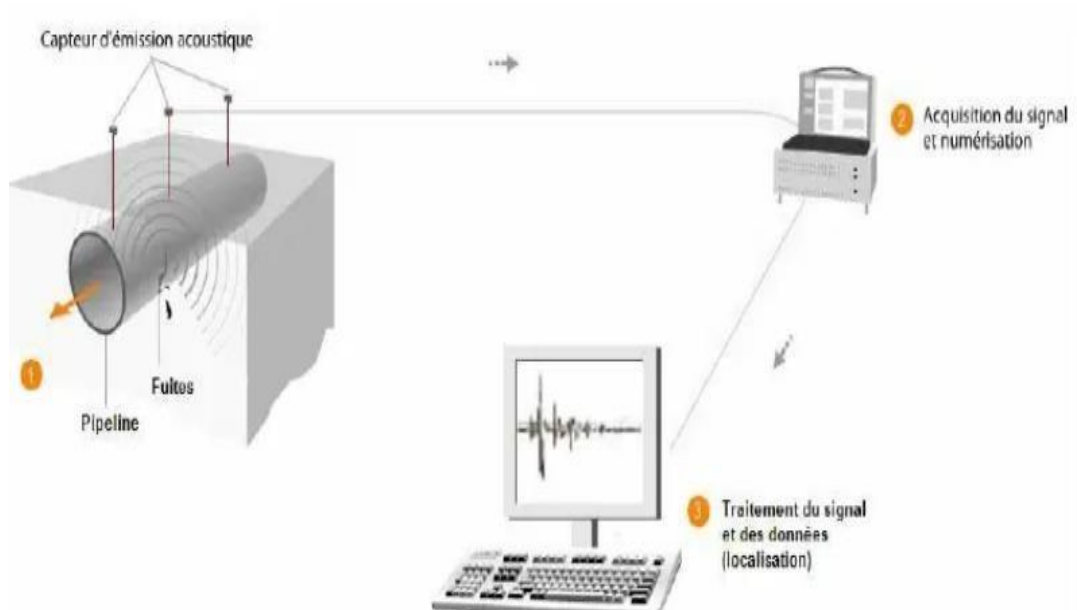


Figure III.8. Système de détection par l'émission acoustique [43].

L'émission acoustique (EA) est le phénomène de libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires résultant des micro-déplacements locaux internes au sein d'un matériau soumis à sollicitation (Norme AFNOR NFA 09350). L'avantage essentiel de cette technique est de donner des informations en temps réel sur la présence de fuites et leur localisation dans les structures accessibles ou non accessibles. L'émission acoustique permet de détecter et localiser, sans interruption de production, les fuites de gaz et de liquides dans les installations industrielles (canalisations, pipelines, vannes etc.). Souvent, la surface de la structure à contrôler n'est pas directement accessible : pipeline enterré, conduite calorifugé, etc. Dans ce cas, des guides d'ondes sont installés pour assurer la continuité acoustique entre la structure et les capteurs. Ces guides d'ondes ont pour fonction principale de conduire les ondes émises par les phénomènes sources jusqu'au capteur d'émission acoustique placé en zones accessibles. Les guides d'ondes assurent très souvent une deuxième fonction de modérateur de température. En effet, l'utilisation des guides d'ondes donne la possibilité de contrôler et de tester des structures à basses ou hautes températures, à travers le phénomène de dissipation.

III.4. Conclusion

Le système de DTS utilisé par SONATRACH possède un inconvénient important dans la détection des fuites pipelines. L'inconvénient réside dans le fait que le système utilise un seuil de déclenchement fixe. Cependant, pour le cas de défaut des fuites pipelines, le seuil du déclenchement d'alarme est variable en fonction de la température et de la pression, ce phénomène peut causer des fausses alarmes.

Pour régler ce problème, nous avons essayé dans le chapitre suivant à établir un système de détection intelligent avec un seuil variable qui dépend de deux paramètres : température et la pression au niveau des pipelines.

CHAPITRE IV

Elaboration d'un système de la surveillance intelligente à l'aide des RNA.

IV.1. Introduction

Dans de nombreux secteurs industriels et pétroliers, l'activité de surveillance dans les machines tournantes est une tâche très complexe et nécessite une grande quantité d'informations et des données intrinsèques, concernant le fonctionnement de ces processus.

A l'origine, la surveillance était destinée à assurer la protection d'une machine en déclenchant automatiquement son arrêt, ou en générant des alarmes avant que ne surviennent des dégradations graves. En effet, le développement actuel des nouvelles technologies, a permis l'amélioration des performances qui s'expriment à travers différents dispositifs, et qui contribuent dans l'évolution des systèmes de surveillance et de contrôle des installations industrielles. Dans ce contexte, de nombreuses approches de surveillance des systèmes industriels sont développées, en vue de la détection des défaillances, ainsi que pour le diagnostic de défauts, par les différentes communautés de recherche en automatique, productique et en intelligence artificielle.

Ce chapitre consiste à confirmer l'efficacité des techniques de l'intelligence artificielles basées sur les réseaux de neurones artificiels (RNA) utilisés pour la surveillance intelligente afin de détecter des fuites au niveau des pipeline de SONATRACH qui s'avère être très complexe par son seuil qui varie simultanément en fonction de la température et la pression au niveau des pipelines.

IV.2. Position du problème

Souvent, pour la surveillance des défauts, le seuil de déclenchement d'alarme est fixé à une valeur constante, comme dans le cas des systèmes de surveillances par fibre optique DTS utilisés à SONATRACH (voir chapitre III).

Cependant, pour le cas de défaut des fuites pipelines, le seuil du déclenchement d'alarme est variable en fonction de la température et de la pression, ce phénomène peut causer des fausses alarmes. Ceci est absolument indésirable pour l'entreprise SONATRACH.

Les fausses alarmes peuvent être un problème majeur pour les systèmes d'alarme de détection des fuites au niveau des pipelines, car elles peuvent entraîner une perte de confiance dans le système et des perturbations inutiles. De plus, si le système d'alarme donne trop souvent de fausses alarmes, le système peut même être dysfonctionné.

Pour régler ce problème, nous proposons un système de surveillance intelligent basé sur la technique des Réseaux de neurones artificiels (RNA), qui permet d'estimer le seuil de déclenchement d'alarme pour chaque point de fonctionnement, et de détecter les fuites au niveau des pipelines en comparant le seuil avec la pression et la température.

IV.3. Généralités sur les réseaux de neurones artificiels (RNA)

IV.3.1. Neurone biologique

Comme les réseaux de neurones mis au point par les informaticiens sont largement inspirés de ce que la biologie nous apprend sur ceux que l'on trouve chez les humains, il convient d'abord de décrire brièvement le modèle biologique.

Les neurones reçoivent des signaux électrochimiques (impulsions électriques) par les dendrites et envoient l'information par les axones. La connaissance de la structure interne du cerveau biologique et la compréhension de son fonctionnement a été d'une extrême importance pour l'émergence des réseaux de neurones artificiels à la fin de la première moitié de siècle précédent. La figure (IV.1) représente les éléments d'un neurone biologique [13].

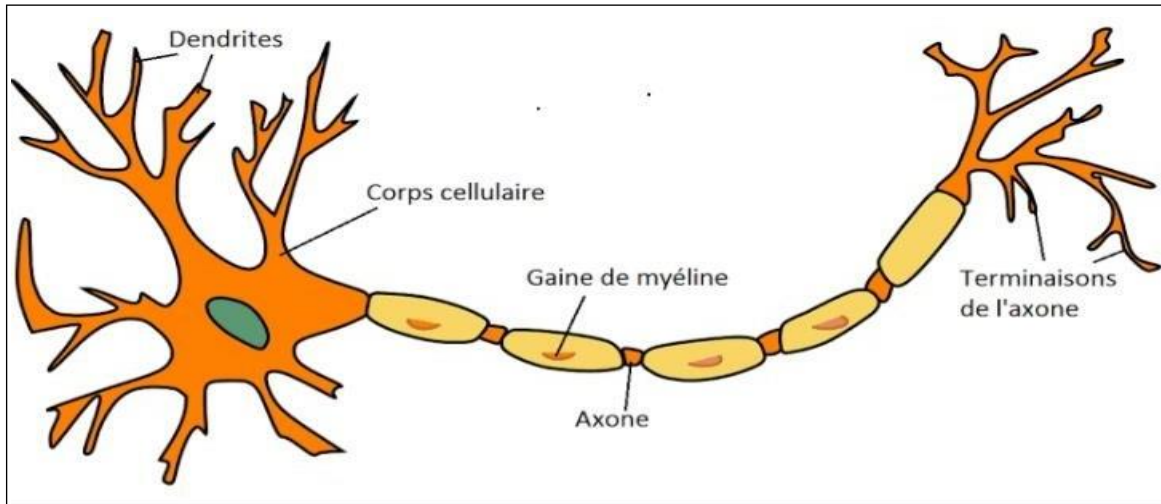


Figure V.1. Le neurone biologique [44].

Le neurone est constitué d'éléments suivants :

- **Les dendrites** : ce sont les récepteurs principaux du neurone pour capter les signaux qui lui parviennent.
- **Le corps cellulaire** : Il est composé d'un noyau qui effectue les transformations biochimiques essentielles à la vie de neurone et se ramifie pour former les dendrites, qui établissent la liaison avec d'autres cellules.
- **L'axone** : Il sert de moyen de transport pour les signaux émis par le neurone. Il se ramifie à son extrémité, là où il communique avec d'autres neurones.
- **Les synapses** : Ils permettent aux cellules nerveuses de communiquer entre elles. Les synapses se rencontrent surtout entre les axones et les dendrites.

IV.3.2. Réseaux de neurones artificiels

Un réseau de neurones artificiels (RNA) est un système d'opérateurs non linéaires interconnectés, recevant des signaux de l'extérieur par ses entrées, et délivrant des signaux de sortie, ces (RNA) sont une métaphore des structures cérébrales et de traitement parallèle et distribution d'information et comportent plusieurs éléments de traitement appelés neurone.

Chaque neurone fonctionne indépendamment des autres de telle sorte que l'ensemble est un système parallèle fortement interconnecté [13].

L'information détenue par le réseau de neurone est distribuée à travers l'ensemble des constituants et non localisée dans une partie de mémoire sous la forme d'un symbole.

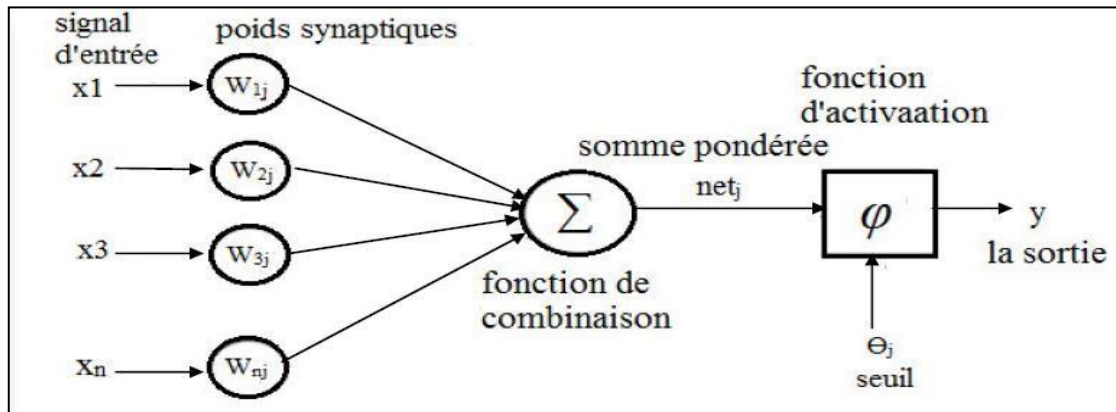


Figure IV.2. Le modèle de neurones artificiels [45].

La fonction ϕ est appelée fonction d'activation ; c'est une fonction non linéaire. Avec: $net_j = \sum_{i=0}^n W_i X_i = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n$;

$$et \begin{cases} y = 1 \text{ si } net_j > \theta_j \\ y = 0 \text{ si } net_j < \theta_j \end{cases}$$

Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction d'activation. Les plus courantes sont présentées sur le tableau IV.1.

Tableau IV.1. Différents types de fonctions d'activations pour le neurone artificiel.

Fonction	Equation	Représentation graphique
Heaviside (Echelon)	$f(x) = \begin{cases} 0 \text{ si } x < 0 \\ 1 \text{ si } x \geq 0 \end{cases}$	
Rampe (Linéaire)	$f(x) = x$	
Sigmoïde	$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	
Tangente hyperbolique	$f(x) = \tanh(x)$	
Unité de rectification linéaire (ReLU)	$f(x) = \begin{cases} 0 \text{ si } x < 0 \\ x \text{ si } x \geq 0 \end{cases}$	
Gaussienne	$f(x) = e^{-x^2}$	

On remarque qu'à la différence des neurones biologiques dont l'état est binaire, la plupart des fonctions d'activation sont continués, offrant une infinité de valeurs possibles comprises dans l'intervalle $[0, +1]$ ou $[-1, +1]$.

IV.3.3. Architectures des réseaux de neurones

L'organisation des réseaux de neurones peut se faire à partir de deux grandes catégories d'architecture : Les réseaux statiques et Les réseaux dynamiques.

Un réseau est non bouclé, ou statique, si son graphe ne possède pas de cycle. Il réalise donc de manière générale, une relation algébrique non linéaire entre ses entrées et ses sorties. C'est à dire qu'il est obligatoire de représenter un réseau graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux et que l'information circule des entrées vers les sorties sans retour (un seul sens), autrement dit, la sortie courante n'a aucune influence sur les entrées futures.

On peut dire que l'utilisation dominante des réseaux non bouclés est l'organisation des réseaux en plusieurs couches de neurones appelés réseaux multicouches ou perceptron multicouches PMC. Un réseau multicouche comporte une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées et une couche de sortie. Dans un tel réseau, la sortie de chaque neurone de la couche (r) est reliée à l'entrée de chaque neurone de la couche (r+1). L'architecture des réseaux multicouches est représentée dans la figure IV.3.

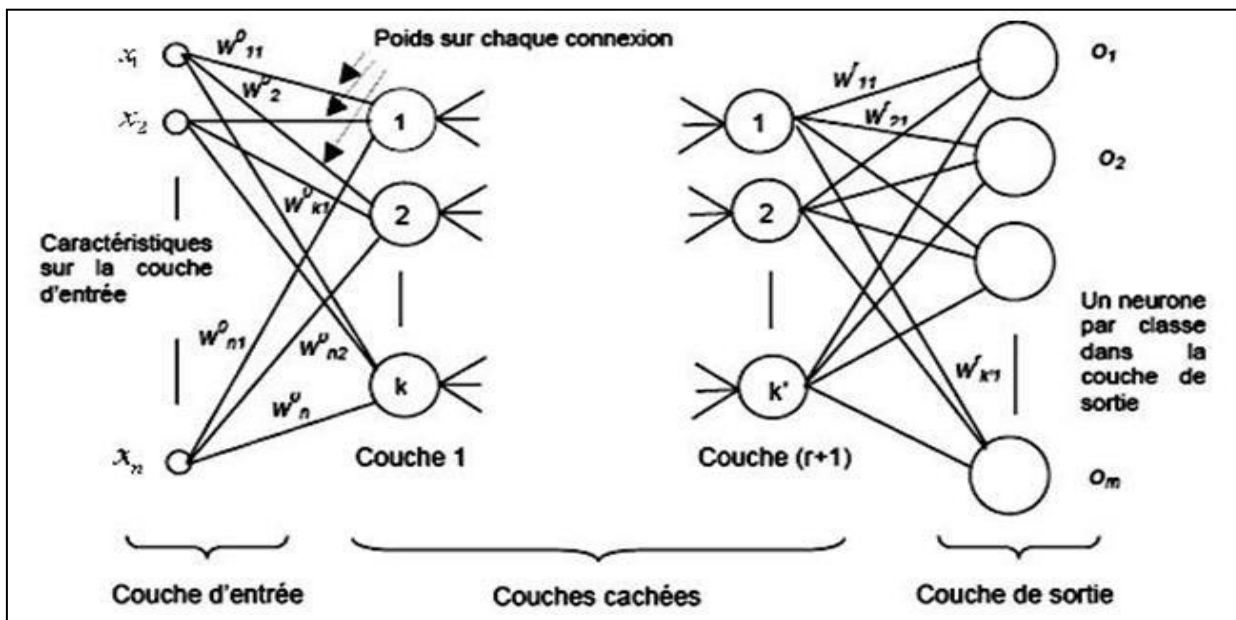


Figure IV.3. Réseau multicouche PMC [46].

Avec : X : est le vecteur d'entrée du réseau, O : est le vecteur de sortie, W : poids synaptiques.

- **Neurones d'entrée** : La première couche est appelée couche d'entrée. Elle recevra les données source que l'on veut utiliser pour l'analyse. Dans le cas de l'aide au diagnostic industriel, cette couche recevra les indicateurs de surveillance. Sa taille est donc directement déterminée par le nombre de variables d'entrées.
- **Neurones cachés** : La seconde couche est une couche cachée, en ce sens qu'elle n'a qu'une utilité intrinsèque pour le réseau de neurones et n'a pas de contact direct avec l'extérieur. Les fonctions d'activation sont en général non linéaires sur cette couche mais il n'y a pas de règle à respecter.
- **Neurones de sortie** : La troisième couche est appelée couche de sortie. Elle donne le résultat obtenu après compilation par le réseau de données d'entrée dans la première couche. Dans le cas de l'aide au diagnostic industriel, cette couche donne l'état de la machine.

IV.3.4. Apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est probablement la caractéristique la plus intéressante des réseaux de neurones. C'est une période de développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement de réseau est modifié jusqu'à l'obtention d'une réponse désirée.

L'apprentissage est la modification des poids de chaque connexion entre neurones dont le but est d'accorder la réponse à ce réseau. Il y a deux types d'apprentissage : supervisé et non supervisé.

- **Apprentissage supervisé** : C'est généralement le mode le plus utilisé. Son principe est particulier ; on soumet au réseau un grand nombre d'exemples pour lesquels l'entrée et la sortie associée sont connues et les poids sont modifiés de façon à corriger l'erreur commise par le réseau, le plus répandu algorithmes d'apprentissage supervisé est l'algorithme de **rétro-propagation** du gradient d'erreur qui est appliqué aux réseaux multicouches.
- **Apprentissage non supervisé** : Contrairement aux modes supervisés, seule une base d'entrée est fournie au réseau. Celui-ci doit déterminer lui-même ses sorties en fonction des similarités détectées entre les différentes entrées, c'est-à-dire en fonction d'une règle d'auto-organisation. Il explore la structure des données, ou encore la corrélation entre les modèles d'entrée et les organise à partir de cette corrélation en des catégories.

IV.3.5. Algorithme d'apprentissage de rétro-propagation

La méthode classique pour l'apprentissage du perceptron multicouche est l'algorithme de rétro-propagation. Cet algorithme repose sur la minimisation de l'erreur quadratique entre les sorties calculées et celles souhaitées.

Le terme rétro-propagation du gradient provient du fait que l'erreur calculée en sortie est transmise en sens inverse vers l'entrée.

En résumé, nous utiliserons, pour l'apprentissage du réseau, l'algorithme de rétro-propagation avec minimisation du gradient d'erreur qui est défini par les étapes suivantes [14] :

1. Initialiser les poids à des petites valeurs et les seuils du réseau.
2. Insérer à l'entrée du réseau une observation (exemple) de la base de données sous forme de vecteur de caractéristiques, puis calculer sa valeur d'activation et sa fonction d'activation :

$$net_i = \sum_j w_{ij} o_j$$

$$o_i = f(net_i)$$

Avec : f : La fonction d'activation ; o_i : La sortie du neurone i .

3. Évaluer l'erreur des sorties du réseau :

$$\delta_j = (d_j - o_j) o_j (1 - o_j)$$

d_j : La valeur de l'erreur désirée.

4. Ajuster les poids :

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j o_i$$

η : La valeur du taux d'apprentissage.

5. Évaluer le signal d'erreur pour chaque couche cachée :

$$\delta_j = o_j (1 - o_j) \sum_k w_{jk} \delta_k$$

6. Ajuster les poids de la couche cachée en utilisant la formule d'ajustement les poids (4)
7. Répéter les étapes 2 à 6 pour l'ensemble des observations de la base d'apprentissage tant que le critère d'arrêt n'a pas été atteint. La formule de calcul de l'erreur quadratique de l'ensemble de la base d'apprentissage définie comme suit :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_p \left(\sum_k d_{pk} - o_{pk} \right)^2 \quad \text{avec : } p \text{ est l'indice d'un exemple de la base et } k$$

est l'indice du nœud de sortie. L'objectif est de minimiser cette erreur.

IV.3.6. Implémentation du PMC sous MATLAB

L'implémentation du réseau PMC sous MATLAB se fait selon le schéma suivant :

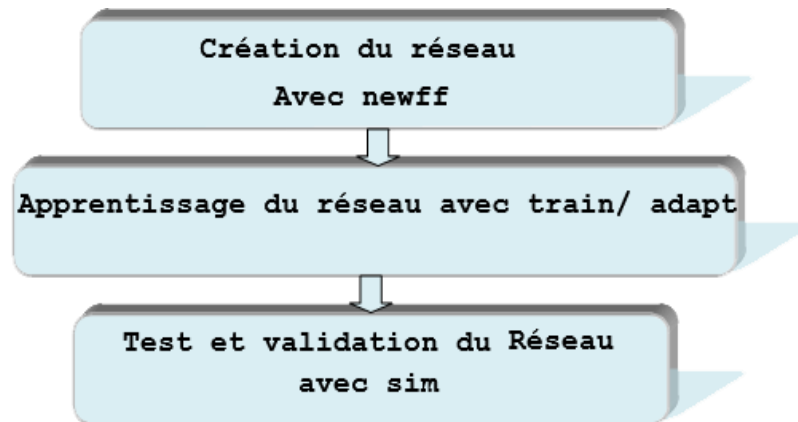


Figure IV.4. Etapes pour implémenter un PMC sous MATLAB.

IV.4. Application des Réseau de neurone artificiels et résultats

IV.4.1. Base de données d'apprentissage de défaut des fuites : Cas d'un Oléoduc

Avant la construction du système du bloc RNA pour la surveillance des défauts, on doit d'abord accéder à la phase d'acquisition des données (base d'apprentissage) à partir de laquelle le RNA pourra apprendre. Celle-ci peut toujours se mettre sous forme de fichier ou de tableau (matrice).

Pour ce faire, nous avons vu dans la section précédente, que l'augmentation de la température au niveau des pipelines Oléoduc est généralement à cause des frottements et excès de la pression. En effet, on mesure la température des Oléoduc par des sondes de température, tel que la température minimale acceptable est égale à 45 °C et la température maximale est égale à 85 °C, donc l'intervalle de températures admissibles c'est [45 °C, 85°C].

On a considéré dans cette étude que la pression acceptable pour le bon fonctionnement appartient à l'intervalle [70 Pa, 110 Pa] et extérieur de cet intervalle c'est la pression non admissible. Les zones de bon fonctionnement sont représentées par « 0 » et les zones de mauvais fonctionnement (défaut) sont représentées par « 1 ».

Le tableau IV.2 représente une base de données d'apprentissage de défaut « fuite pipeline » en fonction de la pression et la température, que nous avons utilisée pour construire de RNA.

Tableau IV.2. Base de données d'apprentissage de défaut de « fuite pipeline »

Pression	Seuil (en fonction de Température)	Température °C	Alarme
80	60.21	[45 : 60.21[[60.21 :100]	0 1
100	60.21	[45 :60.21[[60.21 :100]	0 1
120	65.73	[45 :65.73[[60.21 :100]	0 1
125	70.94	[45 :70.94[[60.21 :100]	0 1
130	80.33	[45 :80.33[[60.21 :100]	0 1
135	80.74	[45 :80.74[[60.21 :100]	0 1

IV.4.2. Conception du réseau de neurone artificiel

Les réseaux de neurones que nous avons testés sont tous des réseaux perceptrons multicouches PMC qui utilisent l'algorithme de rétro-propagation pour leur apprentissage.

Dans notre réseau nous avons utilisé comme entrée, la température dans les pipelines d'Oléoduc qui est comparé avec le point de consigne d'excès de température, qui varie en fonction de la pression.

Nous avons utilisé aussi l'alarme de défaut de « fuite pipeline » comme sortie du réseau de neurone (voir Figure IV.5)

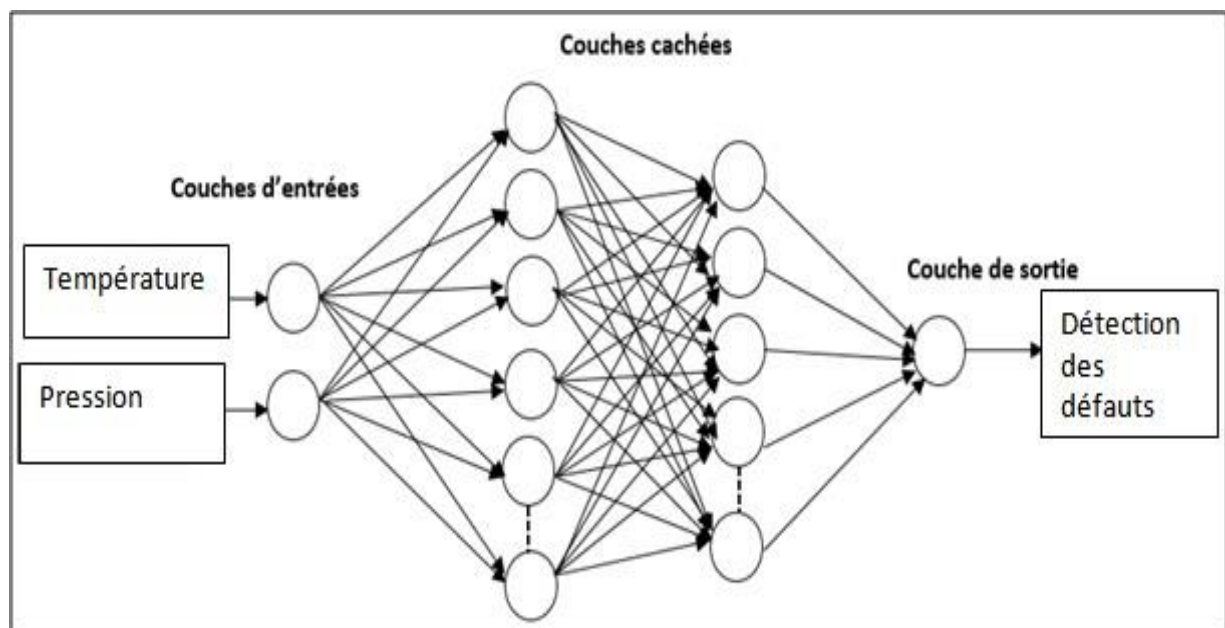


Figure IV.5. Réseau multicouche PMC de surveillance de défaut de « fuite pipeline »

IV.4.3. Résultats et discussion

Le programme en MATLAB de l'algorithme PMC de notre réseau RNA pour la surveillance de défaut de « fuite pipeline » est donné dans l'Annexe 1.

Dans ce programme nous avons testé plusieurs réseaux notés dans le tableau (IV.3) afin d'obtenir la plus petite erreur quadratique (voir figure IV.6)

Tableau IV.3. Tableau de tests d'architecture de RNA pour minimiser l'erreur

RNA	Architecture de RNA	Nombre d'itération (fixé)	L'erreur quadratique
1	9	2000	0.0100
2	[2,3,6]	2000	7.00×10^{-8}
3	[2,5,7,1]	2000	2.33×10^{-10}
4	[2,4, 11,1,]	2000	2.46×10^{-11}

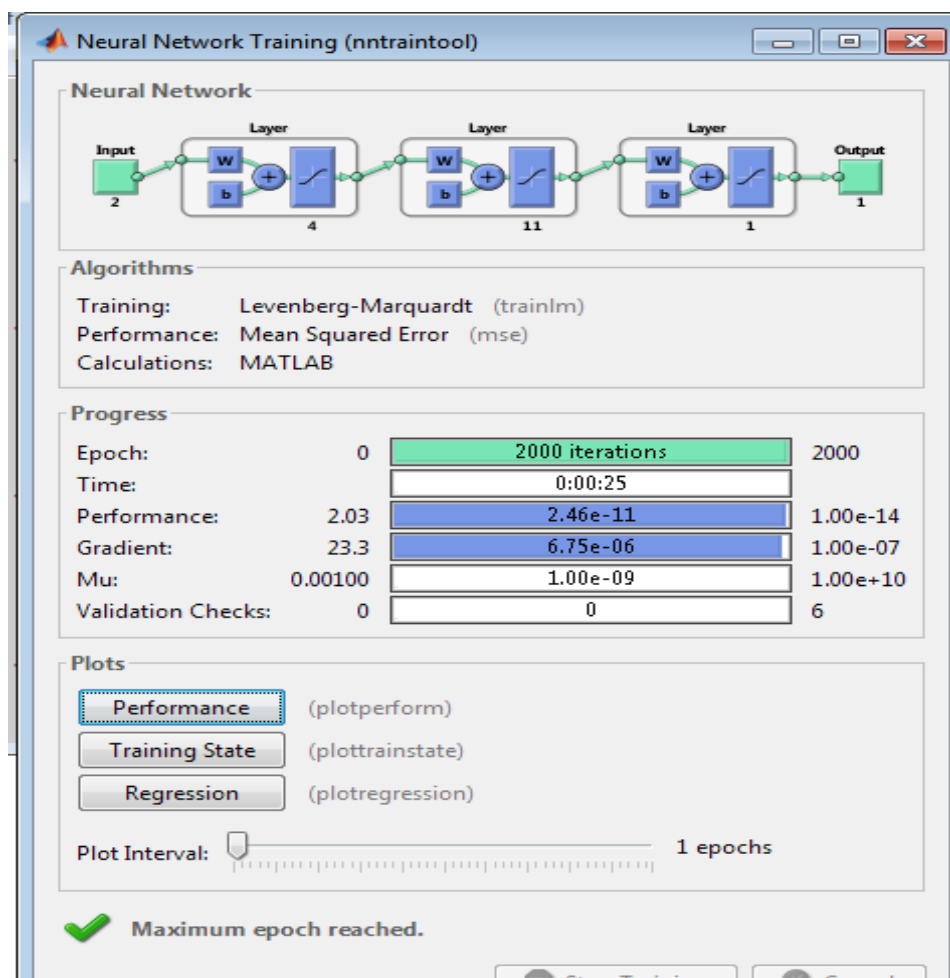


Figure IV.6. Résultat de simulation du programme RNA

➤ **Performance du réseau de neurone artificiel**

La figure (IV.7) présente la courbe d'évolution de l'erreur quadratique moyenne pendant la phase d'apprentissage en fonction du nombre d'itérations.

La courbe est présentée par le logiciel MATLAB, et les résultats d'apprentissage sont donnés chaque 2000 itération, et lorsqu'on atteint une valeur de l'erreur proche de zéro, l'apprentissage est terminé.

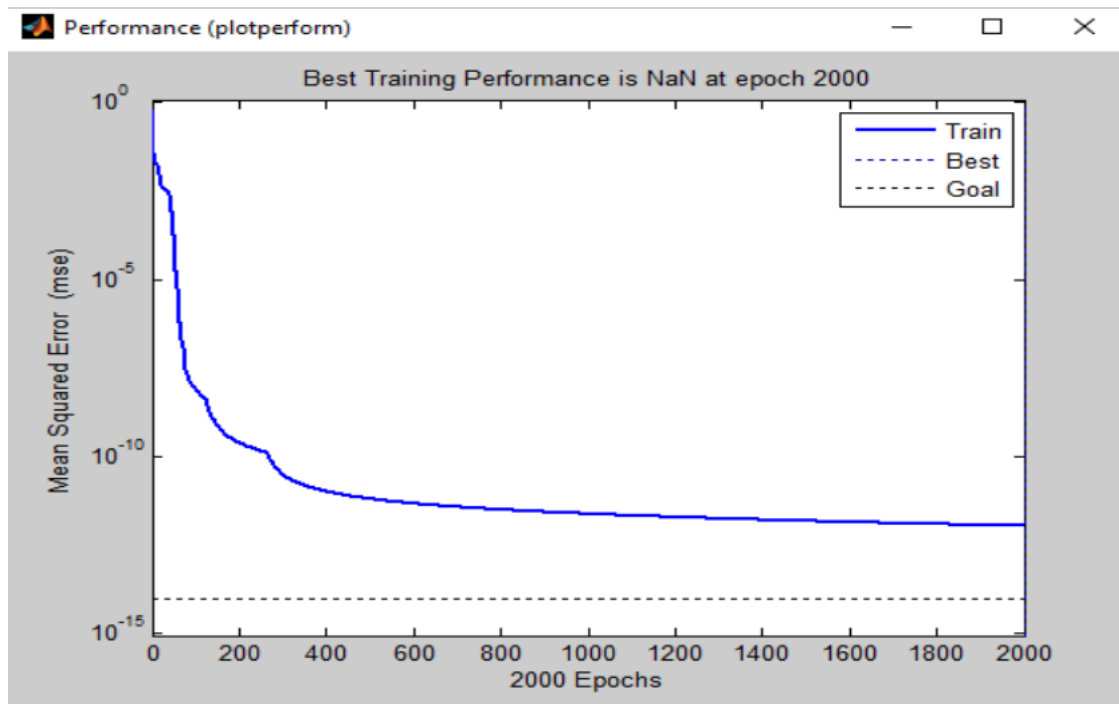


Figure V.7. Performance du réseau de neurone artificiel utilisé.

On constate que le graphe d'apprentissage (figure IV.7) converge vers l'erreur fixée d'ordre 10^{-11} après 2000 itérations dans une durée de 25 secondes.

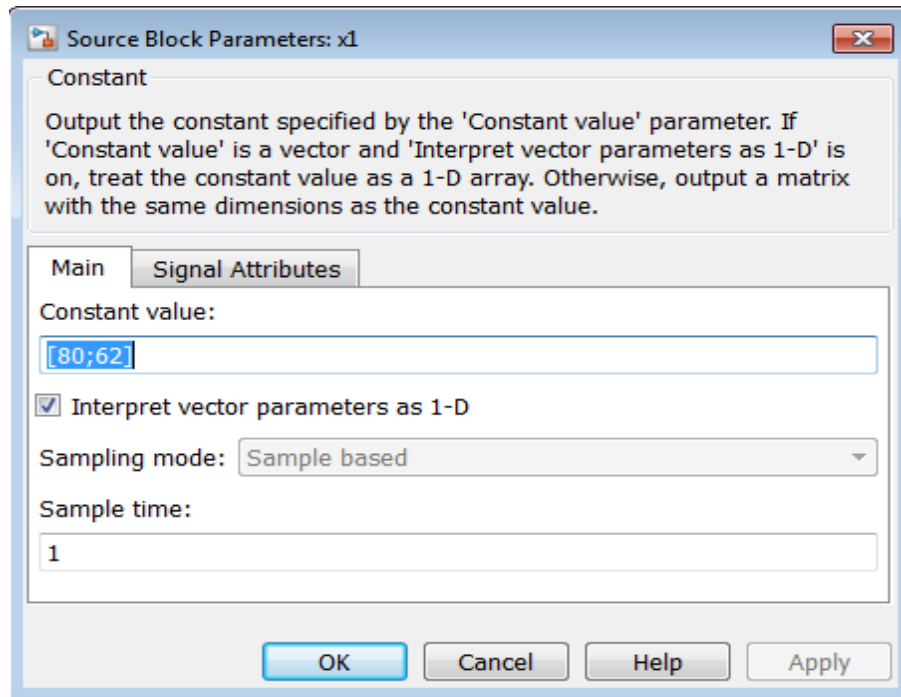
Une fois le réseau de neurone est construit et que son apprentissage atteint des performances satisfaisantes, on passe à l'étape de test afin de vérifier que notre réseau réagit correctement.

➤ **Test de notre RNA**

Une fois le réseau de neurone est construit, et que son apprentissage à atteint des performances satisfaisantes, on passe à l'étape de test on changeant les valeurs de pression et de la température et noter le résultat.

1) Teste 1 : Tester par des valeurs qui appartiennent à la base d'apprentissage :

A l'aide de la commande de simulation sous MATLAB : *gensim (net,-1)* :



IV.8. fenêtre de simulation pour tester les entrées

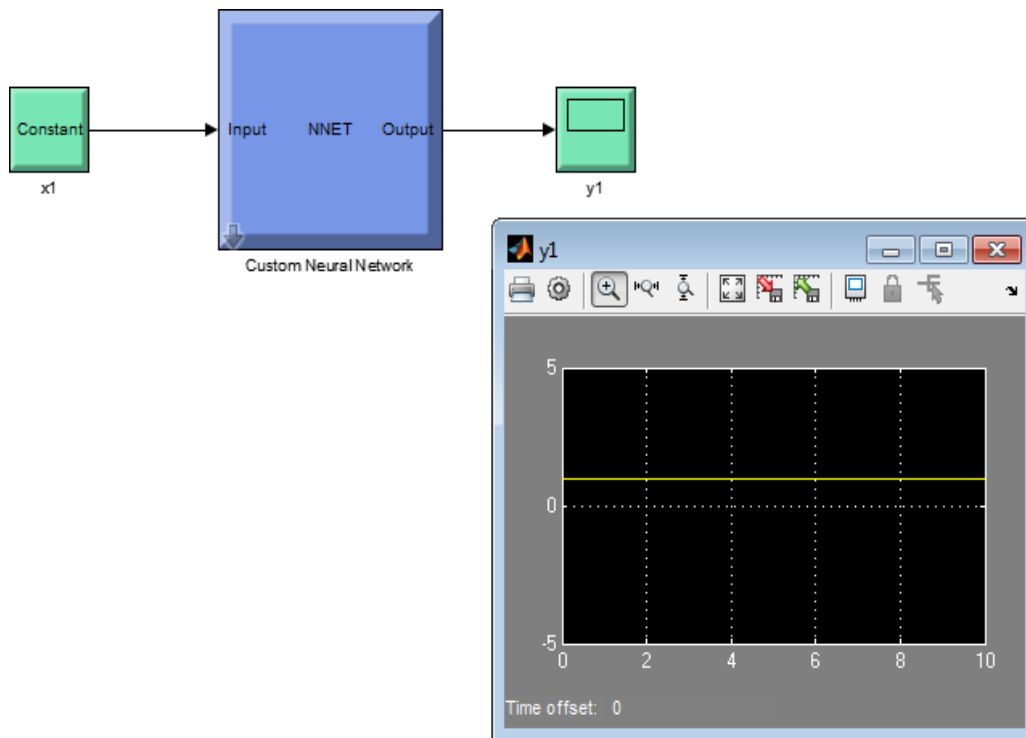
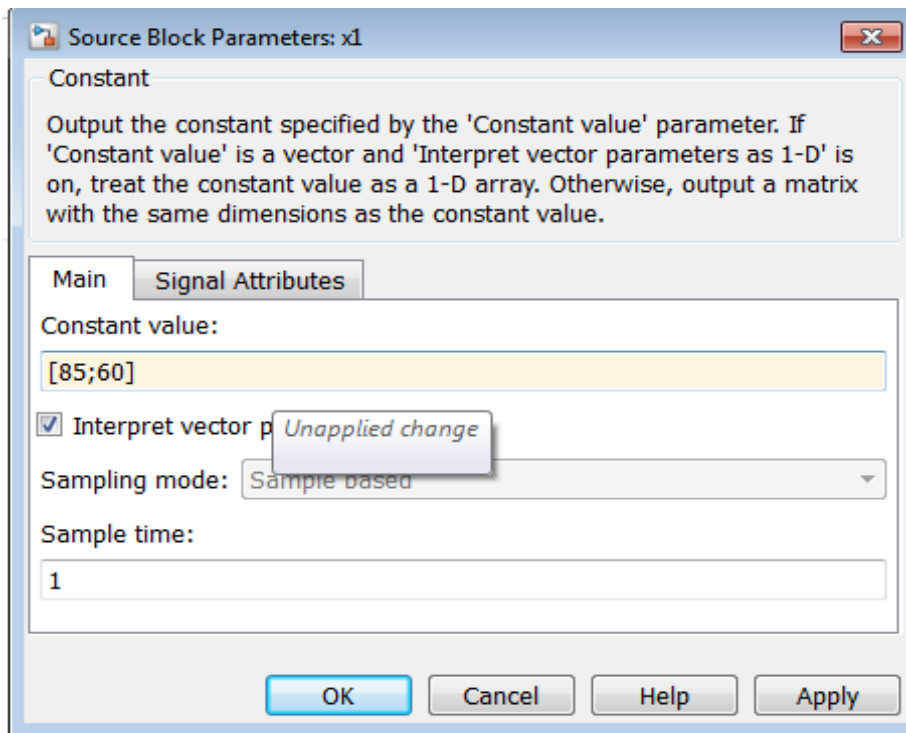


Figure IV.9. Résultat de simulation de test 1.

Teste 2 : Tester par des valeurs qui n'appartiennent pas à la base d'apprentissage :



IV.10. Simulation par une valeur qui n'appartient pas à la base d'apprentissage

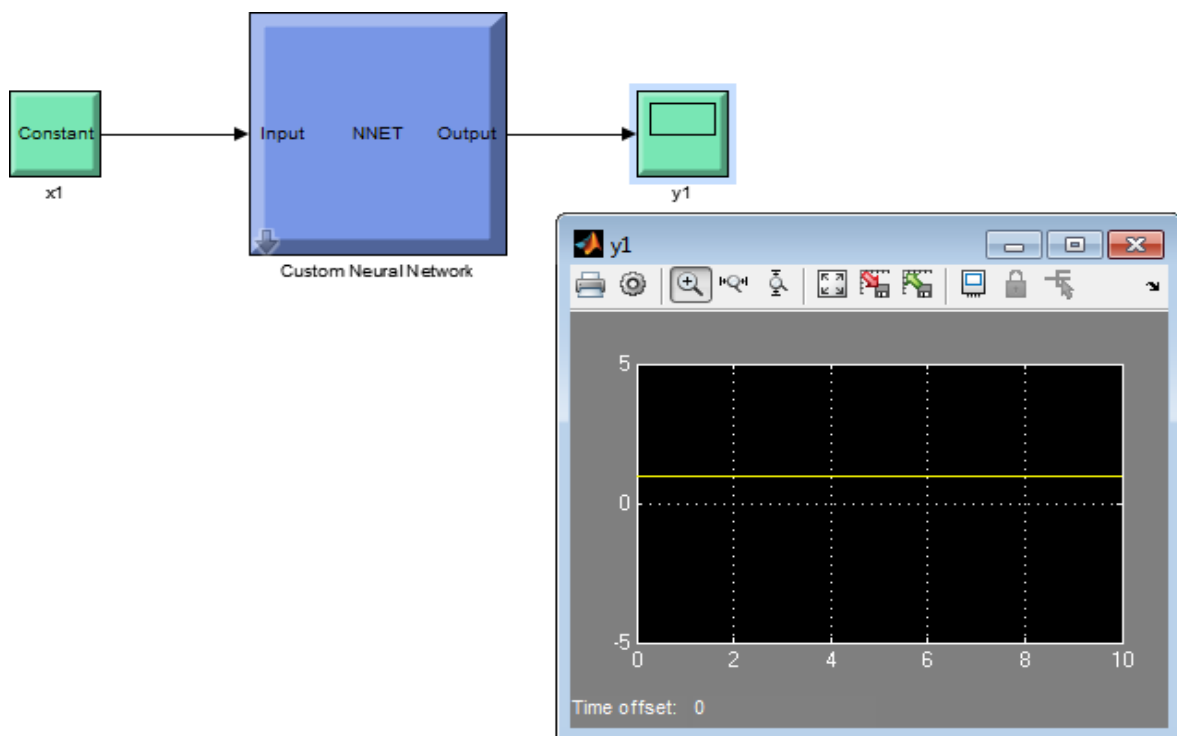


Figure IV.11. Résultat de simulation

On remarque que les résultats obtenus confirment l'efficacité de la méthode de réseau de neurone artificiel.

IV.5. Proposition d'un Prototype intelligent (banc d'essai)

Nous proposons dans cette section une démarche à suivre pour réaliser un prototype intelligent pour notre projet. Ce plan est composé de deux parties essentielles :

1- La partie hardware :

Qui contient tous les composants utilisés pour notre projet (Tableau IV.4, figure IV.12)

Tableau IV.4. Les différents composants utilisés dans notre projet.

Composants	Rôle
NOMEDMCU V3 WIFI	Traitement des données avec carte WIFI
Manomètre	Mesure la pression du fluide
capteur LM3	calculer la valeur de la température
Turbine à gaz ou de fluide (ou un appareil équivalent)	joue le rôle de la gazoduc ou oléoduc afin de mesurer la température et la pression.
câble en fibre optique	Transmission des données
Résistance R4 et R5 de 20K hom	Protection et connexion avec la carte NOMEDMCU
Pile 12 V	alimenter de l'appareil

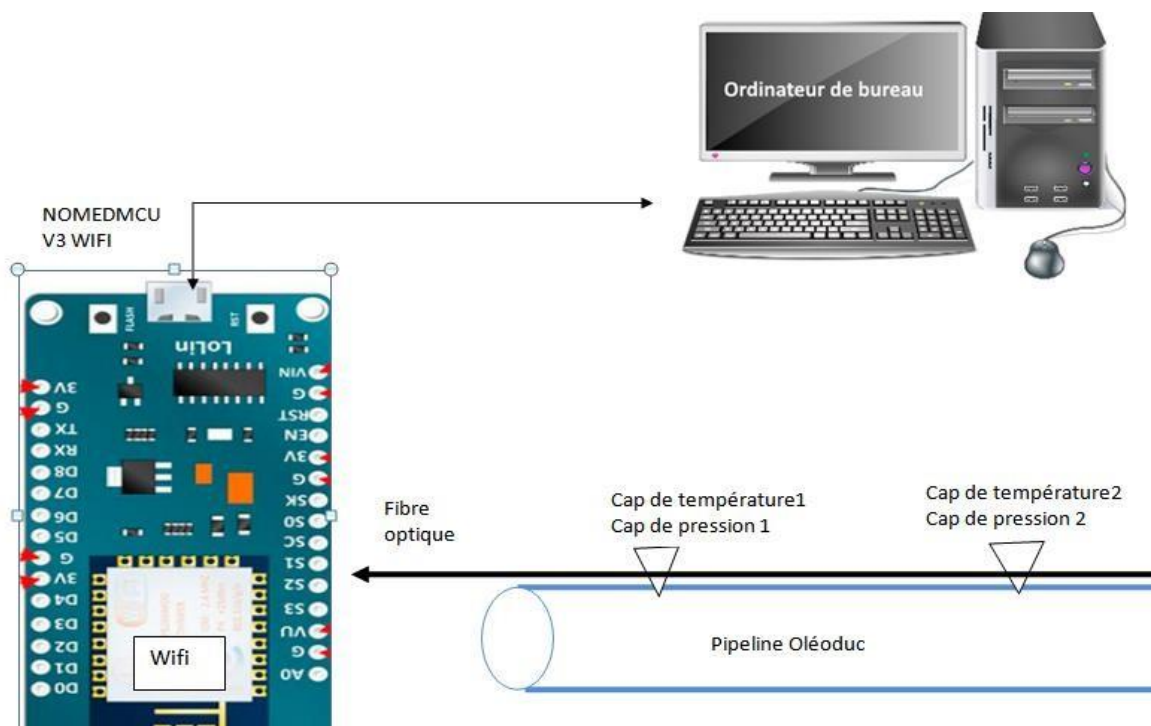


Figure IV.12. Schéma synoptique d'installation les composantes de notre projet

2- La deuxième partie est la *partie software* :

Elle contient deux programmes principaux : le programme Arduino de type NOMEDMCU V3 WIFI et le déploiement du modèle d'apprentissage sur un microcontrôleur ATmega328P d'une carte NOMEDMCU V3 WIFI.

Pour ce faire, il suffit de suivre les étapes suivantes :

- **Etape 1** : Construction d'une base de données d'apprentissage
- **Etape 2** : Installation de MicroML : est un projet visant à apporter des algorithmes d'apprentissage automatique aux microcontrôleurs).
- **Etape 3** : Configuration de l'environnement Python (Programmation du modèle d'apprentissage en Machine Learning)
- **Etape 4** : Création d'une fonction pour gérer le jeu de données
- **Etape 5** : Téléchargement des données
- **Etape 6** : Entraînement du classificateur d'apprentissage automatique (avec par exemple la technique « *Random Forest* »).
- **Etape 7** : Transférer le modèle en code C/C++ simple : une fois que le modèle a été entraîné, nous devons par la suite le convertir en code C simple en utilisant le package *micromlgen*. A son tour, le code C généré sera enregistré dans un fichier appelé « *model.h* » pour l'importer dans un projet Arduino (NOMEDMCU V3 WIFI)
- **Etape 8** : Déploiement du classificateur de ML sur NOMEDMCU V3 WIFI :
Avant de transférer le code source du projet NOMEDMCU V3 WIFI au microcontrôleur de carte ArduinoUno, il doit être « compilé », c'est à dire le transformer en un fichier binaire (suite de 1 et de 0) compréhensible par le microcontrôleur.
Une fois la compilation terminée, si tout s'est bien déroulé correctement, on peut lancer le transfert de ce code au microcontrôleur. Ensuite, une fois ce transfert terminé, le système de surveillance sera prêt pour être mis en œuvre.

IV.6. Conclusion

D'après cette étude nous avons démontré l'efficacité du réseau de neurone artificiel RNA dans le domaine de la surveillance des fuites au niveau des pipelines d'hydrocarbures. Le traitement de défaut « fuites pipelines » par cette méthode et les résultats obtenus montrent l'efficacité et la grande précision de calcul.

A la fin de ce chapitre nous avons proposé comme une perspective, un plan de réalisation d'un prototype intelligent basé sur une carte microcontrôleur de type NOMEDMCU avec WIFI.

Conclusion générale

Les pipelines des hydrocarbures de l'entreprise SONATRACH sont toujours exposés aux risques d'endommagements. Les fuites de produits pétrochimiques tels que le pétrole brut et raffiné, le gaz, le GNL, l'ammoniac ou le chlore peuvent être à l'origine de ces endommagements, ce qui peut avoir de graves conséquences sur les installations, l'environnement et le voisinage.

C'est pour cette raison, que l'entreprise SONATRACH a placé en disposition, un système de détection à distance par l'utilisation de la fibre optique qui détecte des fuites pipelines comme par exemple le système de température distribuée (DTS).

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude et amélioration des systèmes de surveillance et de détection des fuites (DTS) au niveau des pipelines de l'entreprise SONATRACH,

Après avoir présenté une description générale de l'entreprise SONATRACH avec quelques généralités sur les télécommunications et ces activités dans le domaine des hydrocarbures. Deux parties sont étudiées :

- Partie I : Etude des systèmes de détection des fuites pipelines par fibre optiques :

L'objectif de cette première partie de ce mémoire est d'étudier les systèmes de détection des fuites pipelines utilisé par l'entreprise SONATRACH.

Nous avons conclu à travers notre étude que le système de détection par fibre optique DTS a des inconvénients importants. Le changement de la température est souvent aléatoire et qui dépend aussi par d'autres paramètres tels que la pression. Ce qui peut causer des fausses alarmes par le système DTS.

- Partie II : Amélioration de système DTS en utilisant les RNA.

Pour régler le problème posé dans partie I, nous avons réalisé un programme intelligent d'amélioration pour ce système DTS.

Ce programme porte sur l'utilisation des technique d'intelligence artificielle « réseaux de neurone artificiels RNA » afin d'éviter les fausse alarmes de DTS.

Ce faisant, nous avons proposé un réseau de neurones artificiel multicouche avec deux entrées, la pression (Pa) et la température avec une alarme de défaut « fuite pipeline » comme sortie du réseau. Ce réseau se compose seulement de trois couches cachées qui effectuent des

Conclusion générale

calculs arithmétiques simples pour avoir la sortie désirer avec une erreur quadratique considérée comme négligeable.

Une fois que l'apprentissage du réseau est terminé et devenu prêt, nous l'avons testé en changeant la pression et la température au niveau des pipelines. Les résultats ont montré que le réseau de neurones artificiel était à la hauteur avec une erreur quadratique négligeable.

A la fin de cette partie, nous avons proposé un plan pour la réalisation d'un Prototypé de la surveillance intelligente à base d'un microcontrôleur ATmega328P et d'une carte NOMEDMCU V3 WIFI. Ce prototype est composé de deux parties essentielles :

- ✓ La partie hardware qui contient tous les composants utilisés à savoir :
Turbine (qui joue le rôle de gazoduc ou Oléoduc), les capteurs,...etc.
- ✓ La partie software : elle contient deux programmes principaux : le programme Arduino de type NOMEDMCU V3 WIFI et le déploiement du modèle d'apprentissage sur un microcontrôleur ATmega328P.

Enfin, nous espérons que l'étude effectuée présente un intérêt pour l'entreprise, et apporte un éclairage aux étudiants qui auront à préparer leur projet de fin d'études ultérieurement.

Références bibliographiques

➤ **Documents de l'entreprise SONATRACH :**

[01] <https://sonatrach.com/>

[02] <http://www.sonatrach.com/transport-par-canalisation.html>

[03] Description du Réseau de Transport par Canalisation des hydrocarbures, Direction, Générale, Djenane El Malik, Hydra, Alger – Algérie

[04] Rapport annuel 2022-2023: Prévention des Accidents et Maîtrise des Risques, Direction, Générale, Djenane El Malik, Hydra, Alger – Algérie.

➤ **Ouvrages et articles :**

[05] P. G. Fontolliet, « Systèmes de Télécommunications, Traité d'Electricité », Vol. XVIII, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne, 1999

[06] C. Servin « Réseaux et Télécom cours et exercices », CNAM de Paris, Ecoles d'ingénieurs, Dunod, Paris, 2003.

[07] A. Bournel, « Systèmes de Télécommunications Partie I : Introduction et circuits télécom », Université Paris XI, 2022-2023.

[08] P. LECOY « Communications sur fibres optiques, Coll. Réseaux, systèmes et télécoms », Editions HERMES. 2015, Lavoisier, Paris.

[09] N. BOUDRIOUA « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD » Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine, Metz, France 2007

[10] Wei Shi « Modulation Optique » , Département de génie électrique et de génie Informatique, Université de Laval, France 2016.

[11] L. Yang, Y. Guo, et S. Gao, « Multi-leak detection in pipeline based on optical fiber detection », Optik, vol. 220, p. 164996, 2020.

[12] N. V. S. Korlapati, F. Khan, Q. Noor, S. Mirza, et S. Vaddiraju, « Review and analysis of pipeline leak detection methods », Journal of Pipeline Science and Engineering, p. 100074, 2022.

[13] Wiem Mouelhi-Chibani ; « Apprentissage autonome de réseaux de neurones pour le pilotage en temps réel des systèmes de production basé sur l'optimisation via simulation », thèse doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont II, 2009.

[14] H. Demuth, M. Beale, «*Neural Network Toolbox For Use with MATLAB, User's Guide Version 4*», Copyright 1992 - 2000 by the MathWorks, Inc.

[15] <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/elements-interactifs/manipulateur-telegraphique>

[16] <https://teleensm.ummo.dz/login/index.php>

Références bibliographiques

- [17] https://www.memoireonline.com/05/20/11854/m_Analyse-vibratoire-et-estimation-de-la-duree-de-vie-residuelle-des-composants-mecaniques-de-guida14.html
- [18] <https://mrproof.blogspot.com/2010/12/mettre-en-place-un-systeme-de-cablage.html>
- [19] https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/fortaki_tarek/files/supports_de_transmission-transmission_par_bedra_randa.pdf
- [20] https://www.researchgate.net/figure/Structure-dune-fibre-optique_fig2_340278665
- [21] https://www.abdelhamid-djeffal.net/web_documents/coursphysique1920.pdf
- [22] <https://fr.slideshare.net/slideshow/rseaux-tlcoms-pdfdrive-pdf/267263996>
- [23] https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQrxVCbrC-Ifg_oMZmDQ7ip2V-b1_1bGUKVS8yvlmR2zYhscik
- [24] <https://perso.etis-lab.fr/andriyanova/documents/cours/cours8-ComNum2.pdf>
- [25] https://www.researchgate.net/figure/a-GSM-network-elements_fig6_335970703
- [26] https://roctest.com/wp-content/uploads/2017/01/F-DETECTION-DE-FUITES-USINE-DE-FERTILISANT_AMMONIAC_170306_01.pdf
- [27] https://fr.m.wikiversity.org/wiki/Fichier:Refraction_fr.png
- [28] <https://slideplayer.fr/slide/11959987/>
- [29] <https://www.azenn.com/content/127-fibre-optique-tout-savoir-sur-la-fibre-optique-et-ses-composants>
- [30] <https://slideplayer.fr/slide/11959987/>
- [31] <https://www.exoco-lmd.com/dlattach/?attach=15128>
- [32] <https://www.fibermall.com/fr/blog/development-of-fiber-optic-transceivers.htm>
- [33] <https://www.exoco-lmd.com/dlattach/?attach=15750>
- [34] https://www.researchgate.net/figure/Principe-du-multiplexage-temporel-TDM-Plusieurs-canaux-de-meme-longueur-donde-1-a_fig6_278631896
- [35] <https://www.aerodiode.com/fr/les-bases-des-modulateurs-a-fibre/>
- [36] <https://www.fs.com/fr/products/65811.html>
- [37] https://www.researchgate.net/figure/Principe-dun-commutateur-optique-44-4-fibres-optiques-en-entree-et-4-fibres-optiques_fig1_30512609
- [38] <https://www.fiber-mart.com/news/oadm-optical-adddrop-multiplexer-tutorial-what-is-add-drop-oadm-a-890.html>
- [39] <https://community.fs.com/fr/article/basics-of-fiber-optic-attenuator.html>
- [40] https://roctest.com/wp-content/uploads/2017/01/F-DETECTION-DE-FUITES-USINE-DE-FERTILISANT_AMMONIAC_170306_01.pdf

Références bibliographiques

[41] <https://www.hbwttor.com/fr/distributed-fiber-optic-linear-heat-detector-host-dts.html>

[42] <https://www.hbwttor.com/fr/distributed-fiber-optic-linear-heat-detector-host-dts.html>

[43] <https://fr.scribd.com/document/366256394/Detection-Des-Fuites-Par-Emission-Acoustique>

[44] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.wikipedia.org%2Fwiki%2FNeuromorphologie&psig=AOvVaw1mPL6-Z3kT9PS_a9NxbxsS&ust=1720020684724000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCJDpisHWiIcDFQAAAAAdAAAAABAE

[45] <https://moncoachdata.com/blog/comprendre-les-reseaux-de-neurones/>

[46] <https://journals.openedition.org/bmsap/4463>

Références bibliographiques

Liste des acronymes :

TRC : Transport par canalisations

GNL : Gaz naturel liquéfié

DTS : Système de température distribué

RNA : Réseaux de neurones artificiels

GPL : Gaz de pétrole liquéfié

OEM : Ondes électromagnétiques

AIE : Agence internationale de l'énergie

HMD : Hassi Messaoud

ATTS : Système automatisé d'essai de déclenchement

LAN : Local area network (Réseau Local)

WDM: Multiplexage en longueur d'onde

EA : Emission acoustique

PMC: Perceptron multicouches

Annexe : Programme MATLAB

```
clc;
clear all; close all;
input1_1=40:2:60;
input1_2=60:0.005:60.05;
input1_3=52:0.005:52.05;
input1_4=45:0.005:54.05;
input1_5=58:0.2:60;
input1_6=50:0.2:52;
input1_7=42:0.3:45;
input1_8=60:0.3:63;
input1_9=52:0.3:53;
input1_10=45:0.3:48;
input1=[input1_1 input1_2 input1_3 input1_4 input1_5 input1_6 input1_7...];
%=====
input2_1=40:2:60;
input2_2=60:0.5:65;
input2_3=52:0.5:57;
input2_4=45:0.3:48;
input2_5=62:0.005:62.05;
input2_6=52:0.005:52.05;
input2_7=45:0.005:45.05;
input2_8=58:0.2:60;
input2_9=48:0.4:52;
input2_10=42:0.3:45;
input2=[input2_1 input2_2 input2_3 input2_4 input2_5 input2_6 input2_7...];
%=====
input3_1=40:2:60;
input3_2=58:0.2:60;
input3_3=50:0.2:52;
input3_4=42:0.3:45;
input3_5=60:0.5:65;
input3_6=52:0.5:57;
input3_7=45:0.3:48;
input3_8=60:0.005:60.05;
input3_9=52:0.005:52.5;
input3_10=45:0.005:45.5;
input3=[input3_1 input3_2 input3_3 input3_4 input3_5 input3_6 input3_7.....];
%=====
output1_1= repmat([0 0 0],1,11);
output1_2= repmat([1 0 0],1,11);
output1_3= repmat([1,0,0],1,11);
output1_4= repmat([1,0,0],1,11);
output1_5= repmat([0,1,0],1,11);
output1_6= repmat([0,1,0],1,11);
output1_7= repmat([0,1,0],1,11);
output1_8= repmat([0,0,1],1,11);
output1_9= repmat([0,0,1],1,11);
output1_10= repmat([0,0,1],1,11);
output1=[output1_1 output1_2 output1_3 output1_4 output1_5 output1_6...];
%=====
P=[input1;input2;input3];
T=output1; Pr=minmax(P);
net=newff(Pr,[4,11,1],{'tansig','tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainparam.show=50;
net.trainparam.lr=0.05;
net.trainparam.epochs=2000;
net.trainparam.goal=1e-14;
[net,tr]=train(net,P,T);
plotperform(tr);
%y1=round(sim(net,[42;42;42]))% net cherche le d?faut 0 seuil 60.21
```