

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie
Electrique.

Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de Master en Electronique
Option : Instrumentation

Thème

**L'optimisation du déploiement d'un RCSF au
niveau du parc de stockage des hydrocarbures de
la région RTC/Bejaia
Cas : Entreprise SONATRACH**

Réalisé par :

M^{elle} BACHIRI Narimane

M^{elle} CHERAFT Thihinane

Encadré par :

M^r TAFININE FARID

Soutenu le 30 septembre 2020

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

On remercie Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, la santé, le courage et la patience de pouvoir accomplir ce travail qui est pour nous le point de départ d'une merveilleuse aventure, celle de la recherche, source de remise en cause permanent et de perfectionnement perpétuelle.

Un grand merci à toutes nos familles surtout nos parents pour leur encouragement et leur suivi avec patience le déroulement de notre projet.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur TAFININE Farid d'avoir accepté de diriger ce travail. On le remercie pour sa patience, ses conseils et orientations qui nous ont guidé jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Au personnel de la Sonatrach de Béjaïa plus précisément Mr IDIR Essaid pour son aide et Mr LOUIBA Mustapha à qui nous exprimons notre profonde reconnaissance pour leur disponibilité et leur précieuse aide.

Nous remercions aussi les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail ainsi que de l'enrichir avec leurs remarques.

Que tous ceux et toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de notre travail trouvent ici nos sincères remerciements et l'expression de notre reconnaissance.

Merci à vous tous.

Dédicaces

A mes très chers grand-parents,
A mes frères,
A ma tante Zakou et toute ma famille,
A mon fiancé et ma belle-famille
A mes amis, et tous ceux qui m'ont soutenu,
A ma binôme B. Narimane et sa famille.

C. Tinhinane

A mes très chers parents,
A ma sœur et mon frère,
A mes amis et tous ceux qui me sont chers.
A ma binôme C. Tinhinane et sa famille.

B. Narimane

SOMMAIRE

| | |
|------------------------------|---|
| Liste des figures | |
| Liste des abréviations | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction générale | 1 |

Préambule : Présentation de l'entreprise SONATRACH RTC/BEJAIA

| | |
|---|---|
| 1. Introduction..... | 3 |
| 2. Présentation de SONATRACH..... | 3 |
| 2.1 Historique..... | 3 |
| 3. Direction régionale de Bejaia(DRGB) | 3 |
| 4. Organigramme de la RTC/Bejaia | 4 |
| 5. Rôle de Sonatrach | 5 |
| 6. Présentation de la structure concernée par l'étude (centre informatique) | 5 |
| 6.1 Service système et réseau..... | 6 |
| 6.2 Service base de données et logiciels..... | 6 |
| 7. Activités de Sonatrach..... | 7 |

Chapitre I Capteur et mesure de niveau

| | |
|---|---|
| I. Introduction..... | 8 |
| I.1 Définition d'un capteur..... | 8 |
| I.2 Constitution d'un capteur..... | 8 |
| I.3 Chaîne de mesure..... | 9 |
| I.4 Modes de fonctionnement des capteurs..... | 9 |
| I.5.1 Les capteurs actifs..... | 9 |

| | |
|--|----|
| I.5.2 Les capteurs passifs..... | 10 |
| I.6 Les différentes techniques de mesure de niveau fondées sur l'utilisation de rayonnements | 10 |
| I.6.1 Sondes à ultrasons..... | 10 |
| I.6.2 Radars..... | 11 |
| I.6.3 Sonde optique..... | 11 |
| I.7 Les différentes techniques de mesure de niveau fondées sur l'utilisation électrique..... | 12 |
| I.7.1 Sondes conductrices..... | 12 |
| I.7.2 Sondes capacitives..... | 13 |
| I.8 Les différentes techniques de mesure de niveau fondées sur l'utilisation hydrostatiques... | 15 |
| I.8.1 Le flotteur..... | 15 |
| I.8.2 Le plongeur..... | 16 |
| I.8.3 Le palpeur..... | 17 |
| I.8.4 Le capteur de pression..... | 18 |
| I.9 Conclusion..... | 20 |

Chapitre II Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC/BEJAIA

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction..... | 21 |
| II.2 Jaugeur ENRAF 854ATG..... | 21 |
| II.2.1 Principe de fonctionnement..... | 21 |
| II.2.2 Electrovanne | 21 |
| II.2.3 Constitution du jaugeur 854ATG | 22 |
| II.2.4 Transmetteur de pression différentiel | 23 |
| II.2.5 Affichage du jaugeur 854 ATG | 23 |
| II.2.6 Transmission de données | 24 |
| II.2.7 Installation électrique de jaugeur 854 ATG | 24 |

| | |
|---|----|
| II.2.8 Réception des informations | 24 |
| II.3 Radar Endress hauser | 25 |
| II.3.1 Principe de mesure | 25 |
| II.3.2 Avantages..... | 26 |
| II.4 Conclusion..... | 26 |

Chapitre III Optimisation du déploiement des RCSFc

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction..... | 27 |
| III.2 Présentations des réseaux de capteurs sans fil..... | 27 |
| III.2.1 Définition d'un capteur sans fil | 27 |
| III.2.2 Architecture d'un nœud capteur | 28 |
| III.2.3 Communication des RCSFs..... | 29 |
| III.2.3.1 Type de communications..... | 29 |
| III.2.3.2 Caractéristiques et contraintes d'un RCSF..... | 29 |
| III.2.4 Topologies des Réseaux de capteurs sans fil..... | 30 |
| III.2.4.1 Applications des RCSF | 30 |
| III.3 Technologie WirelessHart | 30 |
| III.3.1 Présentation du système TankRadar REX..... | 30 |
| III.3.2 Présentation des instruments..... | 31 |
| III.3.2.1 Tête transmettrice RTG 3950..... | 31 |
| III.3.2.2 Adaptateur Smart Wireless..... | 31 |
| III.3.2.3 Transmetteur de pression Rosemount 3051..... | 32 |
| III.3.2.4 Transmetteur de température multipoint Rosemount 2240S..... | 32 |
| III.3.3 Présentation de la passerelle de communication sans fil (smart Wireless Gateway).... | 33 |
| III.3.4 Logiciel IHM TankMaster..... | 34 |
| III.3.5 Norme IEEE 802.15.4..... | 34 |
| III.3.6 Protocole WirelessHart..... | 34 |
| III.3.7 Le protocole HART | 35 |
| III.3.8 Protocole d'accès au canal de communication : TDMA..... | 35 |
| III.4 Méthodes de déploiement des nœuds capteurs | 36 |
| III.4.1 Déploiement aléatoire | 36 |
| III.4.2 Déploiement déterministe | 36 |

| | |
|--|----|
| III.4.3 Déploiement hybride | 37 |
| III.5 Couverture dans les RCSF..... | 37 |
| III.5.1 Définition de la couverture dans les RCSF..... | 37 |
| III.5.2 Types des couvertures | 38 |
| III.6 Connectivité dans les RCSF..... | 38 |
| III.6.1 Définition de la connectivité dans les RCSF..... | 38 |
| III.6.2 Types de connectivité dans les RCSF..... | 39 |
| III.6.2.1 Connectivité complète..... | 39 |
| III.6.2.2 Connectivité intermittente | 39 |
| III.6.3 Stratégies de placement des nœuds..... | 39 |
| III.6.3.1 Les stratégies basées sur la géométrie algorithmique | 39 |
| III.6.3.2 Stratégies basée sur les grilles..... | 41 |
| III.6.3.3 Stratégies basée sur des méthodes analytiques..... | 42 |
| III.7 Conclusion | 42 |

Chapitre IV Implémentation et évaluation des performances

| | |
|---|----|
| IV.1 Introduction..... | 43 |
| IV.2 Contexte du problème..... | 43 |
| IV.3 La solution proposée..... | 43 |
| IV.3.1 Déploiement analytique..... | 43 |
| IV.3.1.1 Etapes de déploiement du RCSF..... | 44 |
| IV.3.2 Connectivité..... | 47 |
| IV.3.3 Ordonnancement des nœuds..... | 48 |
| IV.4 Phase de communication TDMA..... | 49 |
| IV.5 simulation et analyse des performances | 49 |
| IV.5.1 choix de l'environnement MATLAB..... | 49 |
| IV.5.2 Étapes de réalisation du simulateur | 49 |
| IV.5.3 Paramètre de simulation..... | 50 |
| IV.5.3.1 Déploiement du réseau | 51 |
| IV.5.3.2 recherche des voisins | 51 |
| IV.5.3.3 Programme de simulation..... | 52 |
| IV.5.3.4 Gestion des pannes..... | 52 |
| IV.5.3.5 Discussion des résultats | 54 |
| IV.6 Conclusion..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Conclusion générale et perspectives | 56 |
| Références bibliographique | |
| Annexe | |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure .1 Terminal marin de Bejaia..... | 4 |
| Figure .2 Organigramme de la RTC-Bejaia..... | 5 |
| Figure I.1 Structure générale d'un capteur..... | 8 |
| Figure I.2 Structure générale d'un capteur intégré..... | 9 |
| Figure I.3 Sonde à ultrasons..... | 10 |
| Figure I.4 Détection de niveau par sonde conductrice..... | 13 |
| Figure I.5 Sondes capacitives..... | 14 |
| Figure I.6 Mesure de niveau par flotteur..... | 15 |
| Figure I.7 Mesure de niveau par plongeur..... | 16 |
| Figure I.8 Mesure de niveau par palpeur..... | 18 |
| Figure I.9 Mesure de niveau par capteur de pression différentielle..... | 18 |
| Figure I.10 Sonde plongeante..... | 19 |
| Figure II.1 Principe de mesure..... | 21 |
| Figure II.2 Afficheur jaugeur..... | 23 |
| Figure II.3 Appareil de base pour les applications de niveau dans les liquides..... | 25 |
| Figure III.1 Architecture de réseaux de capteur sans fil..... | 27 |
| Figure III.2 Architecture d'un capteur sans fil..... | 28 |
| Figure III.3 Tête transmettrice RTG 3950..... | 31 |
| Figure III.4 Adaptateur Smart Wireless..... | 31 |
| Figure III.5 Transmetteur de Pression 3051S..... | 32 |
| Figure III.6 Transmetteur de température multipoint Rosemount..... | 33 |
| Figure III.7 Smart wireless Gateway..... | 33 |
| Figure III.8 Les méthodes de déploiement..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Figure III.9 Le diagramme de Voronoï..... | 40 |
| Figure III.10 La Triangulation de Delaunay..... | 41 |
| Figure III.11 Delaunay-Voronoi..... | 41 |
| Figure III.12 Modèle triangulaire..... | 41 |
| | |
| Figure IV.1 Organigramme de Déploiement..... | 44 |
| Figure IV.2 Zone de Déploiement du RCSF..... | 44 |
| Figure IV.3 Déploiement des nœuds capteurs..... | 45 |
| Figure IV.4 Déploiement des nœuds relais « Niveau 3 »..... | 46 |
| Figure IV.5 Déploiement des nœuds relais « Niveau 2 »..... | 46 |
| Figure IV.6 Déploiement des nœuds relais « Niveau 1 »..... | 47 |
| Figure IV.7 RCSF après déploiement..... | 47 |
| Figure IV.8 Connectivité d'un RCSF..... | 48 |
| Figure IV.9 Architecture logique du RCSF..... | 48 |
| Figure IV.10 L'organigramme du programme de simulation..... | 50 |
| Figure IV.11 Déploiement déterministe du réseau de capteur..... | 51 |
| Figure IV.12 Cycle de communication TDMA..... | 52 |
| Figure IV.13 Nombre de paquet reçu par la SB (une panne)..... | 53 |
| Figure IV.14 Nombre de paquet reçu par la SB (deux pannes)..... | 53 |
| Figure IV.15 Nombre de paquet reçu par la SB (trois pannes)..... | 54 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Table I.1 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde à ultrasons..... | 11 |
| Table I.2 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde optique..... | 12 |
| Table I.3 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde conductrices..... | 13 |
| Table I.4 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde capacitive..... | 14 |
| Table I.5 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par flotteur..... | 16 |
| Table I.6 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par plongeur..... | 17 |
| Table I.7 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par palpeur..... | 18 |
| Table I.8 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par capteur de pression différentielle..... | 19 |
| | |
| Table IV.1 Les paramètres de simulation..... | 51 |

Liste des abréviations

| | |
|-----------|---|
| API | Automate Programmable Industriel. |
| ADC | Analog-to-Digital Converters. |
| BPM | Bi Phase Mark |
| DT | Delaunay Triangulation. |
| DV | Diagramme de Voronoi. |
| DRGB | Direction Régionale de Bejaia. |
| GNL | Gaz Naturel Liquéfier. |
| GPL | Gaz de Pétrole Liquéfier. |
| GPS | Global Positioning System. |
| GPU | Graphical Processing Unit. |
| HART | Highway adressable Remote Transducer. |
| Hz | Hertz. |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers. |
| IPC | Inter-Process Communication. |
| ISO | International Organization for Standardization. |
| LR WPAN | Low Rate Wireless Personal Area Network |
| PC | Personal Computer. |
| QoS | Qualité de Service. |
| RCSF | Réseau de Capteurs Sans Fil. |
| RTC | Région Transport Centre(Bejaia). |
| SONATRACH | Société Nationale de Transport et Canalisation des Hydrocarbures. |
| SPU | Servo Processeur Unit. |
| TDMA | Time Division Multiple Access. |
| TMB | Terminal Marin Bejaia. |
| Tiny OS | Tiny Operating System. |
| TPU | Temperature Processing Unit. |
| WPAN | Wireless Personal Area Network. |
| WSN | Wireless Sensor Network. |

Introduction générale

L'entreprise SONATRACH donne une très grande importance pour les technologies les plus récentes, car elle est classée parmi les plus importantes sociétés en Algérie, à savoir sa valeur importante sur l'économie du pays.

De nos jours, l'une des plus grandes conquêtes de l'humanité, et de tous les temps est le feu qui provient des causes naturelles. En effet, le pétrole présentait des vertus médicinales, des propriétés d'étanchéité pour les navires et les bâtiments, et servait de combustible pour les lampes à huile. Mais depuis la seconde révolution industrielle de 1870, le pétrole est devenu le moteur principal de l'économie mondiale. Transport, chauffage, fabrication de plastiques et de vêtements, ses utilisations sont diverses.

Dans notre travail, nous avons utilisé un réseau capteur sans fil pour surveiller un site sensible clôturé qui est un site pétrolier, notre approche de surveillance consiste à déployer des nœuds capteurs tout au long de la bordure du site.

L'objectif de cette étude, est conçu à déployer les capteurs et de transmettre toutes les informations récoltées vers la tour de contrôle en s'appuyant sur les réseaux de capteurs sans fil, tout en surveillant les variables physiques : la mesure de pression, la mesure de niveau et de température de brut et le bon fonctionnement des douze bacs de stockage. Nous intéressons aux stratégies de déploiement dans les RCSF de façons déterministe. Un problème important abordé dans la littérature lors de déploiement des RCSFs est la couverture de la zone d'intérêt qui consiste à observer de façon efficace les phénomènes ou les événements qui peuvent se produire dans une zone géographique.

Notre mémoire est organisé en cinq Chapitres :

Dans la partie de préambule, nous avons présenté le cadre de travail dans lequel nous avons effectué notre stage.

Le premier chapitre est consacré à l'étude des capteurs et des différentes méthodes de mesure de niveau.

Le deuxième chapitre consiste à donner une description sur le système et les différentes installations existantes

Le troisième chapitre, nous détaillons les concepts généraux relatifs au domaine des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSFs), et aux stratégies de déploiement des Nœuds Capteurs dans les RCSFs, ainsi nous avons donné un aperçu sur la technologie WirelessHart.

Le dernier chapitre constitue le cœur de notre travail, il est dédié à la description de la solution proposée pour mettre en surveillance la couverture et la connectivité dans les réseaux de capteurs sans fil. Des résultats de simulation, permettent de vérifier l'implémentation et l'évaluation des performances de la solution.

Enfin, nous concluons notre travail en résumant ce qu'on a pu apprendre et comprendre tout au long de notre parcours et en donnant quelques perspectives.

Préambule

Présentation de l'entreprise
SONATRACH

Préambule : Présentation de l'entreprise SONATRACH

1. Introduction

Dans cette partie nous allons présenter l'entreprise SONATRACH de Bejaia qui est un point intermédiaire assurant le contrôle d'acheminement des hydrocarbures de Haoud El Hamra situé à 25 km de Hassi Messaoud vers le port pétrolier de Bejaia pour la commercialisation. Ainsi, nous allons donner un aperçu général sur les différentes parties de l'entreprise.

2. Présentation de SONATRACH

2.1 Historique

Sonatrach est une société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures créée le 31 décembre 1963, pour être un instrument d'intervention de l'état dans le secteur pétrolier aux côtés des compagnies françaises.

Au début des années 80, la restructuration de SONATRACH se met en œuvre, cette étape figure parmi les plus importantes dans le développement de la société.

Elle devient une société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des Hydrocarbures. Le réseau de transport qui appartient à SONATRACH s'étend sur tout le territoire national. Avec 28 canalisations, ces pipelines relient le Sud au Nord et acheminent les d'hydrocarbures non raffinés.

Aujourd'hui, 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 [1].

Dans le but d'assurer une meilleure efficacité organisationnelle et économique, SONATRACH fut divisée en 18 entreprises nationales, parmi lesquelles on cite : NAFTAL, ENIP, ENAC, NAFTEC, Les activités de base de la SONATRACH ont été fixées en 1992, afin d'atteindre ses objectifs nationaux et consolider ces positions internationales.

3. Direction régionale de Bejaia(DRGB)

La DRGB (la direction régionale de Béjaïa) est une direction parmi les 7 directions opérationnelles composant l'activité de transport par canalisation avec les régions d'Arzew, Skikda, Haoud Elhamra, Gpdf, et Gme ces deux derniers sont 2 gazoducs traversant l'Italie et l'Espagne. La vocation de la DRGB est le transport des hydrocarbures par canalisation, stockage et chargement des navires. Le terminal marin de Béjaïa est divisé en deux parties sont :

Préambule : Présentation de l'entreprise SONATRACH

- **Terminal Nord** : contient le parc de stockage, manifold et la tour de contrôle.
- **Terminal Sud** : contient le parc de stockage, manifold et la salle électrique.



Figure 1 Terminal marin de Bejaia.

4. Organigramme de la RTC/Bejaia

La Région Transport Centre Béjaïa (RTC) est l'une des sept directions opérationnelles qui comporte l'activité de Transport par Canalisations des hydrocarbures.

La RTC est chargée du transport par canalisations, stockage et livraison des hydrocarbures par l'exploitation d'un port pétrolier et d'un poste de chargement en haute mer, mis à la disposition de la Société de gestion des Terminaux à Hydrocarbures (STH) depuis 2005.

La région transport centre de Bejaia est composée de trois sous-directions divisées chacune en plusieurs départements.

L'organigramme suivant donne la structuration hiérarchique fonctionnelle de la région transport centre de Bejaia.

La figure 2 représente l'Organigramme de la RTC-Bejaia.

Préambule : Présentation de l'entreprise SONATRACH

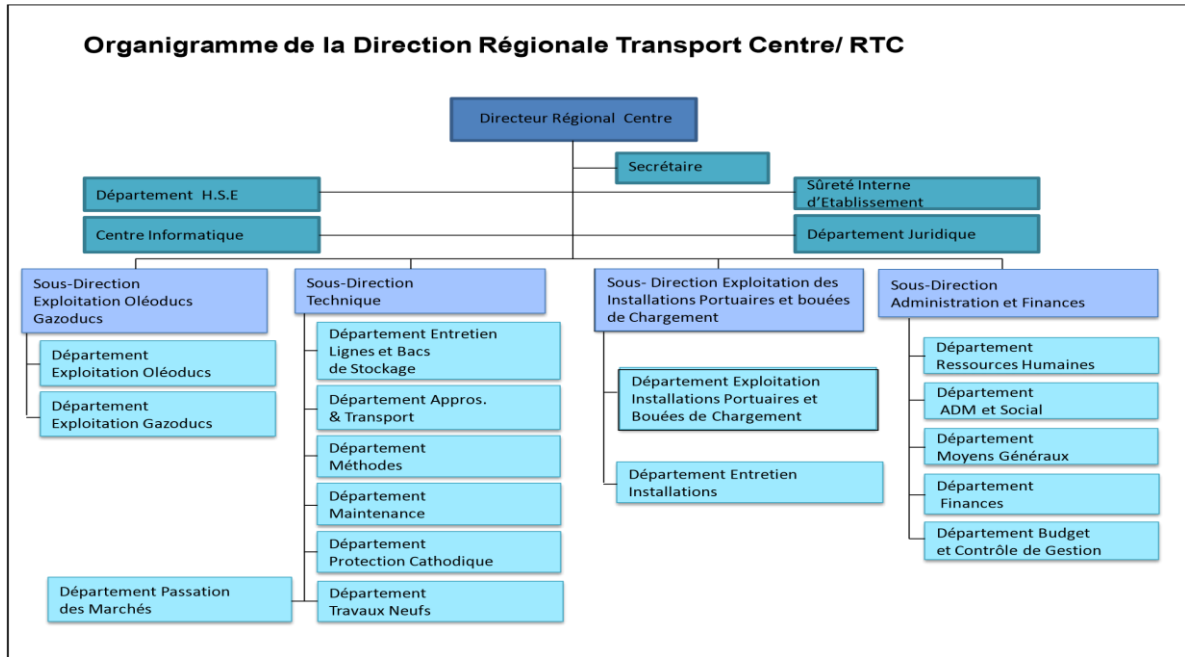


Figure 2 Organigramme de la RTC-Bejaia.

5. Rôle de Sonatrach

- Prospection, exploration et exploitation ;
- Développement, gestion et management de transport, stockage et moyens de chargement « Transformation et raffinage » ;
- Marketing ;
- Liquéfaction du gaz naturel, traitement et valorisation des hydrocarbures gazeux ;
- Mise en place de toutes formes d'activités en joint-venture à l'intérieur et à l'extérieur du territoire algérien, en collaboration avec des compagnies étrangères ;
- Une fourniture constante d'hydrocarbures à usage domestique ;
- La recherche pour la promotion et la valorisation de toute forme d'énergie et source ;
- Le développement de toute activité étant directement ou indirectement liée avec l'industrie des hydrocarbures.

6. Présentation de la structure concernée par l'étude (centre informatique)

Il est chargé du développement et de l'exploitation des applications informatiques de gestion pour le compte de la direction régionale de Béjaïa (DRGB) et des autres régions. Se

Préambule : Présentation de l'entreprise SONATRACH

constitue de 2 services gérés par un chef du centre et chaque service a sa propre fonction, nous allons définir et citer les différentes tâches de chacun ci-dessous :

6.1 Service système et réseau

Ce service est divisé en deux sections :

Système : Son rôle est :

- Choix des équipements informatique et logiciel de base ;
- Mise en oeuvre des solutions matériels et logiciels retenues ;
- Installation et configuration des systèmes.
- Orientation des travaux de l'équipe de développement par une bonne utilisation des ressources de l'ordinateur.
- Mise en œuvre des nouvelles versions de logiciels.

Réseau : A pour rôle :

- Assurer le bon fonctionnement, la fiabilité des communications, l'administration du réseau et organiser l'évolution de sa structure ;
- Conduite de l'étude pour le choix de l'architecture du réseau à installer ;
- Participer à la mise en place des réseaux ;
- Définir les droits d'accès à l'utilisation du réseau ;
- Assurer la surveillance permanente pour détecter et prévenir les pannes ;
- Traitement des dysfonctionnements et incidents survenant sur le réseau.

6.2 Service base de données et logiciels

Base de données : Son rôle est :

- Conçoit les bases de données et assure l'optimisation et le suivi de la gestion des données informatiques ;
- Installe, configure et exploite le SGBD et ses bases ;
- Met en œuvre et gère les procédures de sécurité (accès, intégrité) ;
- Gère la sauvegarde, la restauration et la migration des données ;

Préambule : Présentation de l'entreprise SONATRACH

7. Activités principales de Sonatrach

Sonatrach exerce ses activités dans quatre principaux domaines à savoir :

L'activité Amont : recouvre les métiers de recherche, d'exploration, de développement et de production des hydrocarbures.

L'activité Transport : assure l'acheminement des différents hydrocarbures par canalisation.

L'activité Aval : a en charge le développement et l'exploitation des complexes hydrocarbures (liquéfaction, raffinerie, etc).

L'activité Commercialisation : a pour mission l'élaboration et l'application de la stratégie commerciales de Sonatrach sur le marché national et international.

Chapitre I

Capteur et mesure de niveau

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

I.1 Introduction

Les capteurs jouent des rôles de plus en plus importants car ce sont eux qui permettent de mesurer les effets des phénomènes de toutes natures qui agissent sur l'environnement de l'homme, avec l'évolution de la technologie, l'électronique en particulier, leur importance s'accroît car ils permettent d'assurer la liaison homme – machine – environnement.

Nous voulons essayer de faciliter le choix des capteurs en rappelant tout d'abord les principes de base qu'ils utilisent et leurs principales caractéristiques.

I.2 Définition d'un capteur

Organe chargé de prélever une grandeur physique à mesurer et de la transformer en une grandeur exploitable (signal de sortie ou réponse). La figure I.1 qui suit représente la structure générale d'un capteur.

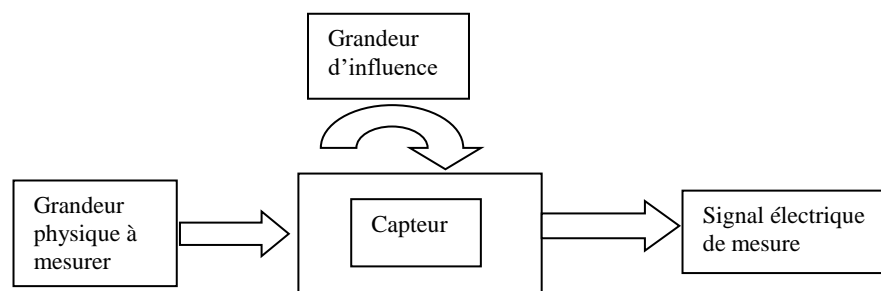


Figure I.1 structure générale d'un capteur [2].

I.3 Constitution d'un capteur

Les parties constitutives d'un capteur sont les suivantes :

- Le corps d'épreuve
- L'élément de transduction
- Le boîtier
- Module électronique de transduction

La figure I.2 représente la Structure générale d'un capteur intégré.

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

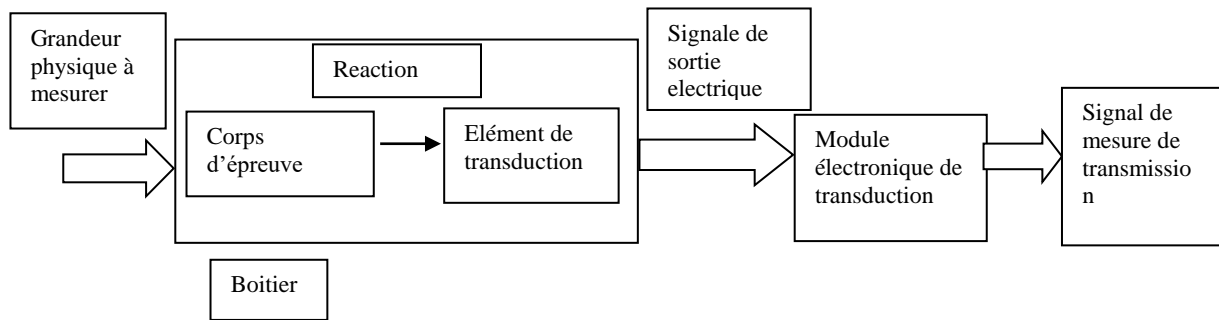


Figure I.2 Structure générale d'un capteur intégré [2].

I.4 Chaîne de mesure

À l'entrée de la chaîne, le capteur soumis à l'action du mesurande permet, directement s'il est actif ou par le moyen de son conditionneur s'il est passif, d'injecter dans la chaîne le signal électrique, support de l'information liée au mesurande.

À la sortie de la chaîne, le signal électrique qu'elle a traité est converti sous une forme qui rend possible la lecture directe de la valeur cherchée du mesurande [2]:

- Déviation d'un appareil à cadre mobile ;
- Enregistrement analogique graphique ou oscillographique ;
- Affichage ou impression d'un nombre.

Il existe plusieurs modes de transmission de signal :

- Transmission TOR (tout ou rien).
- Transmission à variation continue
- Transmission de réseau capteur sans fil (WirelessHart)

I.5 Modes de fonctionnement des capteurs

Ils fonctionnent selon deux principes de base, suivant l'origine du signal électrique de sortie, on distingue :

I.5.1 Les capteurs actifs

Fonctionnant en générateur, dont une partie de l'énergie physique prélevée sur le mesurande est transformée directement en énergie électrique qui constitue le signal de sortie. Ce signal peut être un courant, une tension ou une quantité d'électricité.

Les signaux de sortie délivrés par les capteurs actifs sont de très faible puissance. Ils sont dits de bas-niveau et doivent être amplifiés pour pouvoir ensuite être transmis à distance.

I.5.2 Les capteurs passifs

Il s'agit d'impédances dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande.

Capteur de niveau

Un capteur de niveau est un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur du matériau, en général du liquide, dans un réservoir ou un autre récipient qui est utilisé pour marquer une seule hauteur de liquide discrète - une condition de niveau prédéfinie.

I.6 Les différentes techniques de mesure de niveau fondées sur l'utilisation de rayonnements

Elles permettent notamment des mesures sans contact avec le produit ce qui constitue un gros avantage.

I.6.1 Sondes à ultrasons

Le principe est basé sur l'émission d'une onde ultrasonore réfléchi sur la surface de l'eau. On capte l'écho et on mesure le temps de parcours. Le temps de parcours est indépendant de la nature du fluide et de la pression. Il faut toutefois respecter une zone dite " morte " à proximité du capteur (30 à 60 cm selon les sondes).

La figure I.3 représente une sonde à ultrason



Figure I.3 sonde à ultrasons.

L'amplitude de l'écho peut être sensiblement plus faible (rapport de 10) dans le cas d'un liquide dont la surface est agitée.

- **Domaine d'utilisation :** Ils conviennent pratiquement pour tous les produits alimentaires ou chimiques, fluides liquides ou pâteux de toute température (-190 à 250°C) et pour des pressions jusqu'à 40 bars [2].

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

- **Gamme de mesure** : jusqu'à 50 m.
- **Précision** : dépend de la température (normalement correctement compensée), de la turbulence de l'air, du taux d'humidité et des corps flottants et vaguelettes. De 1 à 9 mm, selon les fournisseurs soit de l'ordre de 1%.

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde à ultrasons

Le tableau I.3 représente les Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde à ultrasons.

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| -La mesure s'effectue indépendamment des propriétés du fluide | -Sa sensibilité à la température et à la pression |
| -Convient pour les fluides abrasifs et agressifs grâce à la mesure sans contact | -Ils ne peuvent pas distinguer les petits et les grands objets et sensible à d'autres capteurs à proximité . |

Table I.1 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde à ultrasons [3].

I.6.2 Radars

Le principe est similaire à celui des ondes à ultrasons, on utilise une onde lumineuse infrarouge. L'avantage sur l'ultrason est que le procédé est indépendant de la température, du taux d'humidité et de poussière.

- **Précision** : 0,5 % de la distance mesurée, soit 5 à 10 mm dans la plupart des cas.

I.6.3 Sonde optique

La sonde contient une diode électroluminescente (émetteur de lumière), un phototransistor (récepteur) et l'électronique correspondante. La sonde est constituée d'une pointe conique agissant comme un prisme. Le rayon émis par la diode située d'un côté de la tête de la sonde, est réfléchi vers le phototransistor situé de l'autre côté de la tête si le prisme est situé dans l'air. Le rayon est réfracté dans le liquide si la sonde est immergée.

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

- **Domaine d'utilisation** : liquide calme et non mousseux (huile, essence, pétrole, eau claire et boueuse, solutions aqueuses, alcool).
- **Gamme de mesure** : détection de niveau avec une précision de 2,5 mm, des pressions de 10 bars maxi et de la température de -20 à 80°C.

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde optique

| Avantages | Inconvénients |
|--|---|
| -Les méthodes de détection de niveaux optiques sont simples et faciles à mettre en œuvre | -La température d'utilisation est limitée |
| -Ce sont des dispositifs économiques | -Un entretien régulier est indispensable |

Table I.2 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde optique.

I.7 Les différentes techniques de mesure de niveau fondées sur l'utilisation électrique

Elles utilisent les propriétés électriques des liquides dont on veut mesurer ou contrôler le niveau et sont les seules à utiliser des capteurs traduisant directement le niveau en signal électrique.

I.7.1 Sondes conductrices

Elles ne conviennent que pour les produits conducteurs (liquides, pâtes, granuleux...), ne sont pas sujettes à l'usure et permettent la détection d'un niveau haut, bas ou intermédiaire. Ces sondes sont dotées d'une ou plusieurs électrodes selon les modèles.

La figure I.4 représente la détection de niveau par sonde conductrice.

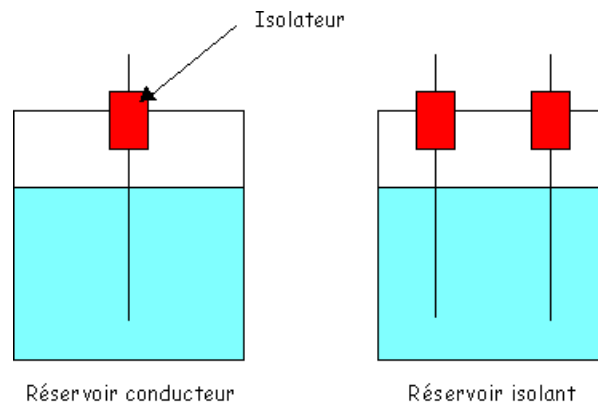


Figure I.4 Détection de niveau par sonde conductrice.

- **Domaine d'utilisation :** liquides conducteurs de conductance minimale $25 \mu\text{A/V}$ entre électrode et masse. Les températures sont comprises entre -200 et 250°C au niveau de l'électrode. La pression de service peut être élevée jusqu'à 160 bars. Ce principe est déconseillé dans les milieux agressifs et pour les fluides contenant des graisses ou des huiles qui peuvent former des dépôts non conducteurs sur les tiges des électrodes [3].

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde conductrices

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| -Cette technique est simple et facile à mettre en œuvre | -La détection de niveau est indépendante des caractéristiques physiques du produit |
| -Son coût est modéré | -Peu corrosifs car cela détruit les électrodes |

Table I.3 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde conductrices.

I.7.2 Sondes capacitives

Elles sont d'un emploi plus répandu que les précédentes et fonctionnent à l'aide d'une électrode plongeante dans le réservoir.

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

Pour les produits isolants (huile, pétrole...) la sonde est constituée d'une tige métallique isolée du réservoir. Quand la sonde est découverte, le diélectrique est alors l'air ambiant (constante diélectrique = 1). En présence d'un produit isolant, la capacité du condensateur augmente sous l'effet de produits qui possèdent une constante diélectrique supérieure à 1. Cette variation de capacité est traitée pour actionner un relais ou fournir un signal de sortie proportionnel au niveau du produit.

La figure I.5 représente des sondes capacitatives.



Figure I.5 Sondes capacitatives.

- **Domaine d'utilisation :** tous types de produits conducteurs ou isolants, liquides, pâtes, granuleux en évitant les produits solides à granulométrie importante et les abrasifs.
- **Gamme de mesure :** de l'ordre de 10 m, température de -20 à 85 °C, pression de l'ordre de 40 bars.
- **Précision :** de l'ordre de 1 %.

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde capacitive

| Avantages | Inconvénients |
|---------------------------------------|--|
| -Principe de mesure fiable et éprouvé | -Les inhomogénéités du constant diélectrique présent dans le fluide |
| -Mise en service et/ou montage simple | -Les charges électrostatiques faussent également les résultats de mesure |

Table I.4 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par sonde capacitive.

I.8 Les différentes techniques de mesure de niveau fondées sur l'utilisation hydrostatiques

Les premières méthodes de mesure et contrôle de niveaux de liquides sont fondées sur les propriétés hydrostatiques des liquides (pression hydrostatique, poussée d'Archimède).

La mesure transmise par les capteurs utilisés est une fonction continue de la hauteur de liquide. Elle est indépendante de ses propriétés électriques mais dépend, sauf dans le cas du flotteur, de la masse volumique du liquide.

On distingue quatre principes de mesure [4] :

I.8.1 Le flotteur

Il se maintient à la surface du liquide, il est rendu solidaire d'un capteur de position qui délivre le signal électrique correspondant au niveau. La mesure s'apparente ensuite à la mesure d'un déplacement ou la détection d'une position.

- **Domaine d'utilisation :** C'est une technologie qui convient mal aux liquides très visqueux susceptibles d'adhérer aux parois du flotteur, modifiant ainsi son poids et par conséquent sa profondeur d'immersion. Ils sont utilisables aussi bien dans les réservoirs ouverts, fermés, sous pression qu'en extérieur sur les puits, canaux... La mesure peut être faussée lorsque la densité du fluide varie.
- **Gamme de mesure :** 10 mm à plusieurs mètres (30 m).
- **Précision :** 0,5 à 5% de l'étendue de mesure.

La figure I.6 représente la mesure de niveau par flotteur.

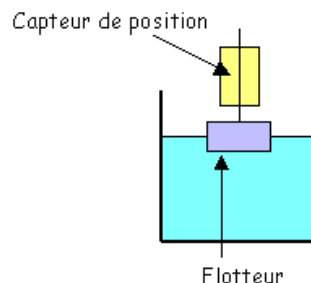


Figure I.6 Mesure de niveau par flotteur.

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par flotteur

| Avantages | Inconvénients |
|---|---|
| -Une ample gamme d'appareils | -Le flotteur peut être endommagé par les coups de bélier et vibrations |
| -Le coût des capteurs de niveau à flotteur est le plus économique pour résoudre une grande partie des problèmes de régulation | -Le flotteur est en contact direct avec le liquide : les produits corrosifs sont donc à exclure |

Table I.5 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par flotteur.

I.8.2 Le plongeur

C'est un cylindre immergé dont la hauteur est au moins égale à la hauteur maximale du liquide dans le réservoir. Le plongeur est suspendu à un capteur dynamométrique qui se trouve soumis à une force F (poids apparent), qui est fonction de la hauteur (h) du liquide.

- **Domaine d'utilisation :** Comme les dispositifs à flotteur, les dispositifs à plongeur utilisent le principe d'Archimède. Le plongeur subit de la part du liquide, une force qui est dépendante du niveau d'immersion. Le plongeur de forme cylindrique est peu sensible aux oscillations de niveaux autour d'un point d'équilibre. Il convient aux liquides très visqueux.

- **Gamme de mesure :** 30 cm à 6 mètres maximum.
- **Précision :** de l'ordre de 0,5 %.

La figure I.7 représente la mesure de niveau par plongeur

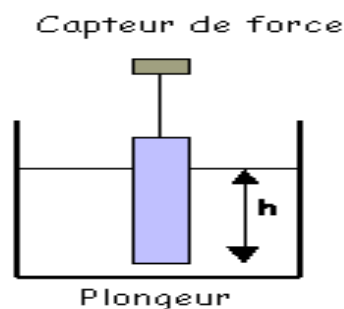


Figure I.7 Mesure de niveau par plongeur.

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par plongeur

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| -Réglage et étalonnage pouvant s'effectuer à l'atelier. | -Influence de la masse volumique (ρ) sur la mesure du niveau. |
| -Mesure non influencée par les masses à la surface du liquide | -Mesure perturbée par les mouvements du liquide. |

Table I.6 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par plongeur.

I.8.3 Le palpeur

C'est la méthode utilisée actuellement par la SONATRACH pour la mesure de niveau des bacs de pétrole.

Il est constitué d'un contrepoids suspendu à l'extrémité d'un câble. Un moteur permet de dérouler ce câble jusqu'à ce que le contrepoids entre en contact avec ce liquide. A cet instant, la tension du câble se relâche actionnant un commutateur qui inverse le sens de rotation du moteur. Durant la descente du palpeur, des impulsions sont générées à intervalles réguliers. Le comptage des impulsions permet l'obtention du niveau.

- **Domaine d'utilisation :** utilisés pour les installations sur canal ouvert, réservoir de stockage de raffinerie. Ils sont plus coûteux que les dispositifs à flotteur ou à plongeur. Ils portent également le nom de sondes affleurâtes.
- **Gamme de mesure :** jusqu'à 50 mètres.
- **Précision :** de l'ordre du millimètre.

La figure I.8 représente la mesure de niveau par palpeur

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

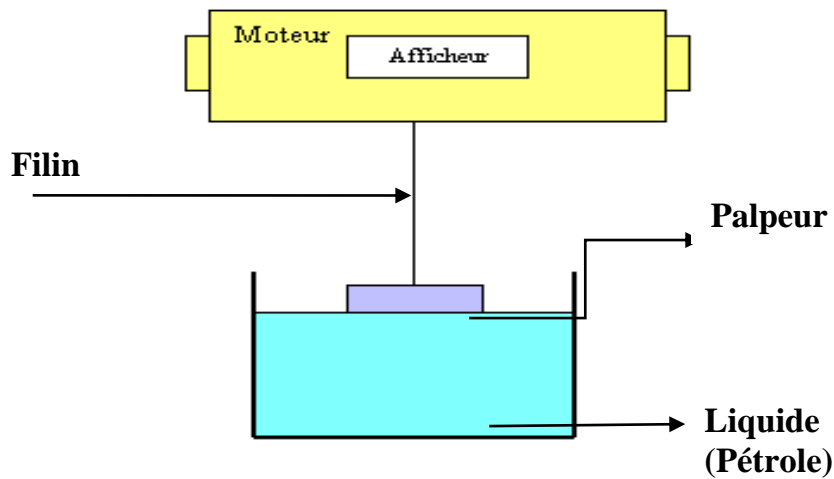


Figure I.8 Mesure de niveau par palpeur.

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par palpeur

| Avantages | Inconvénients |
|------------------------|---|
| -Rendement accru | -Ils sont plus coûteux que les dispositifs à flotteur ou à plongeur |
| -Capabilités améliorés | -Ils sont utilisés juste dans les fluides |

Table I.7 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par palpeur.

I.8.4 Le capteur de pression

Il mesure :

La pression relative au fond du réservoir quand celui-ci est ouvert à l'air libre, cette pression est l'image du niveau (h) du liquide.

La Figure I.9 représente la mesure de niveau par capteur de pression différentielle.

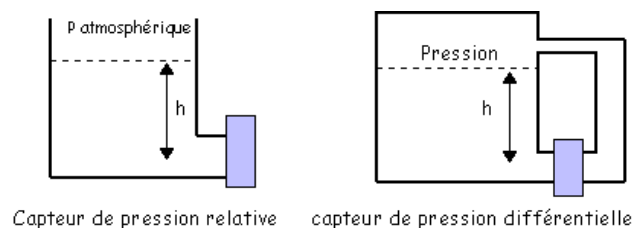


Figure I.9 Mesure de niveau par capteur de pression différentielle.

Chapitre I : Capteur et mesure de niveau

- **Domaine d'utilisation :** cette technique est utilisable au quasi-totalité des liquides : toutes viscosités, neutres ou corrosifs, chargés ou non, inflammables ou non. Toutefois l'indication délivrée est directement proportionnelle à la densité du fluide. Toute variation de densité fausse la mesure. Utilisation dans une large gamme de la température ambiante -20 à $+80$ °C et de liquide (< 120 °C) ainsi que de pression hydrostatique (< 25 bars) [2].
- **Gamme de mesure :** depuis 0 à 25 mbar et jusqu'à 25 bars.
- **Précision :** 0,5 à 1 % de l'étendue de mesure selon la technologie employée.

❖ Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par capteur de pression différentielle

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| - Petit encombrement | -Le dispositif n'est valable que pour des liquides |
| -Grande étendue de mesure et coût raisonnable | -Contact entre l'appareil de mesure et le liquide |

Table I.8 Avantages et inconvénients de la mesure de niveau par capteur de pression différentielle.

La fixation s'effectue souvent par une bride à la partie inférieure du réservoir, éventuellement à la partie supérieure si le réservoir est sous pression dans le cas de mesure différentielle.

Dans le cas des puits, on utilise des capteurs montés sur sondes plongeantes fixées au niveau de la paroi supérieure comme la figure II.10.

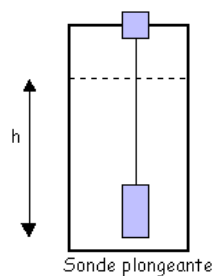


Figure I.10 Sonde plongeante

I.9 Conclusion

La mesure de niveau sans fil est la méthode la plus performante pour la mesure de niveau, il nous a permis d'accéder à des informations de jaugeage qui étaient précédemment inaccessibles par les méthodes conventionnelles pour des raisons techniques ou économiques. Une réduction conséquente du câblage entraîne d'importantes économies de conception, d'infrastructure et de main d'œuvre aussi bien pour l'installation que pour la mise en service.

Chapitre II

Description des installations
existantes au niveau de
SONATRACH RTC/Bejaia

Chapitre II : Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC /BEJAIA

II.1 Introduction

La direction régionale de Bejaia dispose de plusieurs bacs de stockage, chaque bac doit être connu et surveillé à chaque instant, et pour cela elle a utilisé des jaugeurs fabriqués par Enraf Nonius dont la références est 854 ATG qui est conçu d'une technologie très sophistiquée.

Ce jaugeur est doté de plusieurs fonctions, il permet la mesure de niveau du fluide dans le bac, la mesure de température, la densité, niveau du pétrole et aussi la mesure de plusieurs interfaces en temps réels et tout cela c'est grâce à sa modularité.

II.2 Jaugeur ENRAF 854ATG

II.2.1 Principe de fonctionnement

Le principe de mesure est basé sur la variation de la flottabilité (du poids apparent) d'un palpeur. Le palpeur est suspendu par un fil flexible qui est enroulé sur un tambour. Et la variation du niveau du produit dans lequel le palpeur est immergé partiellement, cause un changement dans le poids apparent qui sera détecté par le transducteur de force [7]. La différence résultante entre la valeur désirée et la valeur mesurée amènera à une réaction du moteur pas à pas et par conséquent ajustera la position du palpeur jusqu'à avoir la mesure désirée.

La figure II.1 représente le principe de mesure d'ENRAF.

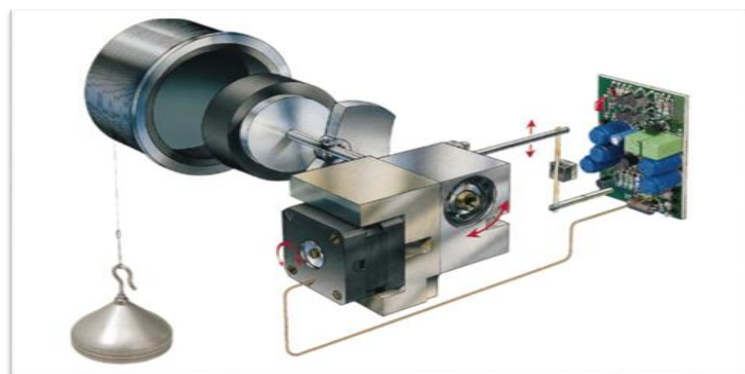


Figure II.1 Principe de mesure d'ENRAF [7]

II.2.2 Electrovanne

Une électrovanne est un dispositif commande électriquement permettant d'autoriser ou

Chapitre II : Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC /BEJAIA

d'interrompre par une action mécanique la circulation d'un fluide ou d'un gaz dans un circuit. L'électrovanne se compose essentiellement d'un corps de vanne où circule le fluide et d'une bobine alimentée électriquement pour fournir un couple magnétique déplaçant le noyau mobile qui agit sur l'orifice de passage du liquide ou gaz permettant ainsi de leur céder ou de bloquer le passage. Pour maintenir le noyau attiré il faut alimenter la bobine d'une manière continue.

L'électrovanne contient trois (3) cartes électroniques qui sont :

- **Carte d'alimentation** : cette carte comme son nom l'indique a pour rôle d'alimenter la tête de la vanne ou autre carte, elles disposent de différents transformateurs qui fournissent les tensions nécessaires à l'alimentation de ses différents organes.
- **Carte de communication** : c'est une carte qui assure la liaison entre la tête de la vanne, les différentes cartes et l'automate via un protocole de communication qui est dans notre cas le modbus.
- **Carte mère** : cette dernière fait le traitement de l'information.

II.2.3 Constitution du jaugeur 854ATG

Le jaugeur 854ATG est composé de trois compartiments [7] :

- Le compartiment tambour.
- Le compartiment de raccordement.
- Le compartiment électronique.

Seul le compartiment tambour est en contact direct avec l'atmosphère de réservoir.

- **Compartiment de tambour**

Ce compartiment est équipé d'une bride deux pouces (2") pour fixer sur un puits de tranquillisation ou un orifice quelconque de réservoir. Le tambour est relié au moteur par l'intermédiaire d'un accouplement magnétique.

- **Compartiment de raccordement**

Ce compartiment renferme toutes les bornes de raccordement nécessaire à l'alimentation du jaugeur, la transmission de ses données et à la sonde ponctuelle de température.

- **Compartiment électronique**

Ce compartiment est antidéflagrant et étanche. Il contient les cartes électroniques, le moteur pas à pas et le transducteur de force, il renferme divers ensembles suivants :

Chapitre II : Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC /BEJAIA

- Carte d'alimentation GPS (Gauge Power Supply).
- Carte circuit d'asservissement SPU (servo processeur unit) : Mesure le poids et commande le moteur pas à pas.
- Carte de transmission XPU (unite de traitement transmission) : elle s'occupe de la transmission infrarouge et contrôle la carte d'alimentation et gère les autres cartes. Dans cette carte il y a un Composant NOVRAM (Non Volatile Radom Acces Memory) conserve les données en cas de coupure d'alimentation. Elle est munie d'un verrouillage de sécurité au niveau du connecteur supérieur.
- Carte MPU (moyenne processing unite) : carte de liaison entre la MIR (sonde de température) et le jaugeur avec deux connecteurs :

II.2.4 Transmetteur de pression différentielle

Un transmetteur de pression différentielle permet de mesurer le niveau continu de liquide et le débit. La mesure de la pression différentielle s'appuie sur la variation d'une capacité à deux fils. La pression du procédé est transmise à travers les membranes isolantes et un fluide de remplissage constitue d'huile silicone à une membrane détectrice place au centre de la cellule. La membrane détectrice agit comme un ressort étiré qui réfléchit en réponse à une pression différentielle qui la traverse [8].

II.2.5 Affichage du jaugeur 854 ATG

L'affichage du jaugeur 854 ATG est constitué de deux (02) lignes et 16 caractères pour une meilleure vision. L'angle d'affichage est réglable par un petit potentiomètre situe sur la carte de transmission.

La figure II.5 représente l'affichage du jaugeur 854 ATG.

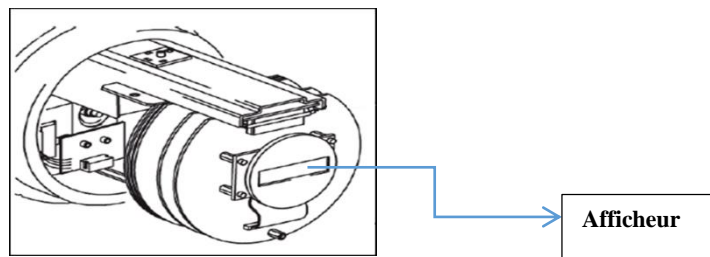


Figure II.2 Affichage du jaugeur 854 ATG [8]

Chapitre II : Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC /BEJAIA

II.2.6 Transmission de données

- **Transmission interne du jaugeur par le bus de données IPC**

Le bus de transmission en deux fils Bi phase Mark (BPM), le bus IPC (inter proces communication) permet la communication entre la carte XPU (carte de transmission), et SPU (servo processeur unit). Le bus a deux fils ENRAF-NONUIS est immunisé contre les parasites, il utilise un transformateur d'isolement par rapport au bus interne de l'instrument.

- **Protocole GPU**

Le protocole GPU est un protocole de communication qui transmet les données du jaugeur 854 ATG vers l'Entis¹. Il fonctionne sur le mode maître /esclave, le jaugeur étant le maître et l'ENTIS l'esclave. La fonction à traiter est sous forme de commande appelée (commande et réponse). La commande ne peut pas être envoyée sans que la réponse à la commande précédente soit reçue. (L'ENTIS) est le système d'exploitation utilisé par le PC de la salle de contrôle pour le jaugeur ENRAF, il permet de contrôler les opérations de ce dernier.

II.2.7 Installation électrique de jaugeur 854 ATG

- **Protection électrique**

Le jaugeur est protégé par des fusibles internes situés sur le secondaire du transformateur. Il est recommandé d'installer des fusibles sur la ligne d'alimentation de chaque jaugeur du fusible dépend de l'intensité correspondant à la tension d'alimentation.

- **Câblage de l'alimentation et de transmission**

Ce câble du jaugeur comprend un câble d'alimentation et une paire torsadée pour transmission, le jaugeur peut être connecté individuellement ou en parallèle avec d'autres instruments D'ENRAF NONIUS. En cas de mesure de température la sonde ponctuelle est raccordée directement sur le boîtier.

II.2.8 Réception des informations

La réception des informations se fait en utilisant un indicateur ou un calculateur ENRAF- NONUIS. Le calculateur l'ENTIS qui est un logiciel de contrôle et d'inventaire des

Chapitre II : Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC /BEJAIA

réservoirs et qui fonctionne sur PC, ce logiciel nous permet de suivre en direct les bacs, en effet il nous affiche pour chaque bac, le niveau, la température, la densité.

II.3 Radar Endress hauser

La focalisation améliorée du signal radar ainsi que les algorithmes dynamiques fournissent des mesures stables et fiables avec une gamme de mesure allant jusqu'à 125 mètres et une précision accrue de $\pm 1\text{mm}$. De plus, ces appareils disposent d'un grand nombre d'agréments

La mesure de niveau par radar avec montage par le dessus d'un Micropilot s'adapte parfaitement à toutes les industries. Le radar sans contact avec mise en service simple et fonctionnement sans problème permet des économies de temps et d'argent. Pour une utilisation dans un grand nombre d'applications : cuves de stockage simples, produits corrosifs ou agressifs ou applications de jaugeage de cuves de haute précision.



Figure II.3 Appareil de base pour les applications de niveau dans les liquides.

II.3.1 Principe de mesure

Le Micropilot fonctionne avec des impulsions radar haute fréquence qui sont émises par une antenne et réfléchies par la surface du produit en raison d'un changement de coefficient diélectrique (relatif) [9]. Le temps de parcours de l'impulsion radar réfléchie est directement proportionnel à la distance parcourue. Si la forme de la cuve est connue, le niveau peut être calculé à partir de cette variable.

Chapitre II : Description des installations existantes au niveau de SONATRACH RTC /BEJAIA

II.3.2 Avantages

- Mesure sans contact et sans maintenance.
- Insensible aux propriétés du produit comme la densité et la conductivité, dans les solides en vrac également insensible au bruit de remplissage et à la poussière.
- Gamme de mesure librement réglable.
- Pour des températures élevées jusqu'à +450 °C/+842 °F.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les différentes installations existantes au niveau de Sonatrach, des généralités sur quelques équipements utilisés et leurs modes de fonctionnement au sein de l'entreprise.

Le jaugeur de la série 854 ATG est une méthode très performante pour la mesure de niveau des bacs de pétrole. Ces dernières années les technologies de mesure de niveau ont connues un grand nombre d'améliorations, voire d'innovation comme en particulier avec l'arrivée du nouveau capteur de niveau radar.

Dans le chapitre suivant nous évoqueront une étude détaillée sur les réseaux capteurs sans fil et leur déploiement ainsi que la nouvelle technologie WirelessHart.

Chapitre III

Optimisation du déploiement des RCSF's

III.1 Introduction

L'apparition des nouvelles technologies ainsi que les progrès effectués dans le domaine des réseaux et du traitement de l'information ont entraîné l'apparition de nouveaux outils et objets tels que les réseaux de capteurs et leurs applications.

Les RCSF constituent une catégorie de réseau sans fil comportant un très grand nombre de nœuds, ils sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc. Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome, c'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un déploiement très dense et souvent aléatoire qui engendre un certain degré de redondance.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la technologie de réseau de capteur destinée à l'industrie et la technologie Wireless, ainsi nous allons étudier quelques approches qui permettent d'assurer la couverture et la connectivité dans les réseaux de capteurs sans fil.

III.2 Présentations des réseaux de capteurs sans fil

III.2.1 Définition d'un capteur sans fil

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, humidité, vibration, etc.), et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base [10]. Chaque capteur assure les trois principales fonctions de base qui sont : l'acquisition de données, les traitements sur ces données et leurs communications aux stations de base.

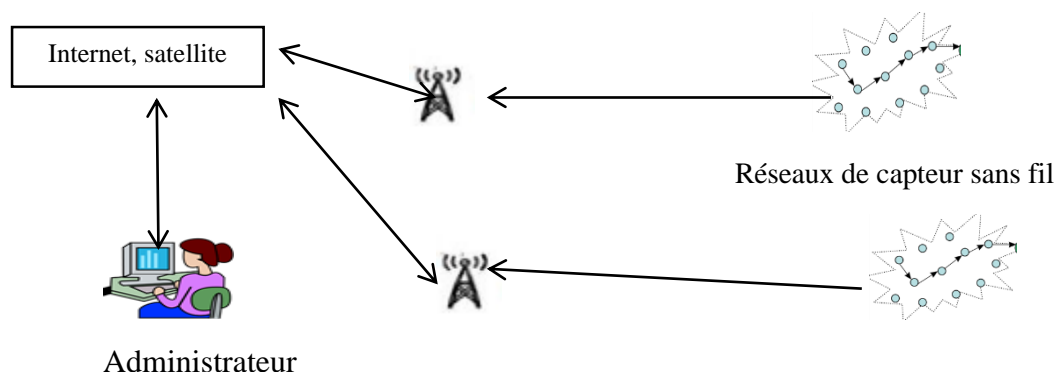


Figure III.1 Architecture de réseaux de capteur sans fil.

III.2.2 Architecture d'un nœud capteur

Dans cette section, nous distinguons les deux parties qui composent un capteur :

a) Architecture matérielle

Un nœud capteur est équipé principalement de quatre unités de base, une unité de capture, une unité de traitement, une unité de communication et une unité d'alimentation en énergie [11], comme illustré dans la Figure III.2.

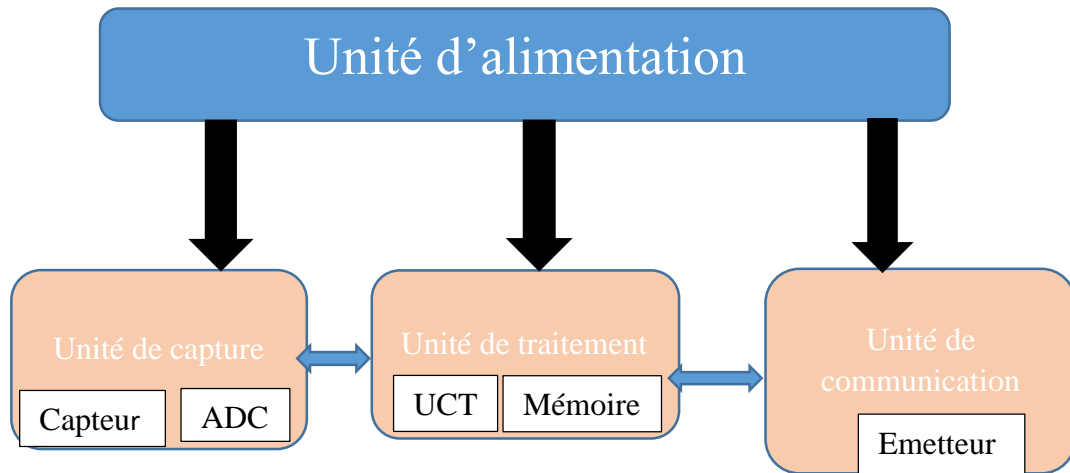


Figure III.2 Architecture d'un capteur sans fil.

- **L'unité de traitement** : Elle permet le traitement des données et la gestion de la fonctionnalité d'un nœud capteur.
- **L'unité d'acquisition** : est généralement composée de deux sous-unités : un capteur et un CANs (convertisseur Analogique/Numérique, en Anglais, Analog-toDigital Converters (ADCs)). Les signaux analogiques produits par les capteurs basés sur le phénomène observé sont convertis en signaux numériques par l'ADC, puis transmis à l'unité de traitement pour pouvoir les analyser.
- **L'unité de communication** : est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions de données sur le support sans fil.
- **L'unité d'alimentation** : un des composants les plus importants d'un nœud capteur est la batterie qui est, généralement, ni rechargeable ni remplaçable. Par ailleurs, les unités d'énergie rechargeables supportées par des photopiles (cellules solaires) permettent de récupérer l'énergie de l'environnement.

b) Architecture Logicielle

La contrainte énergétique des capteurs exige l'utilisation de systèmes d'exploitation légers tels que TinyOS, Think, Contiki, qui ont été mise en œuvre et implémentés dans les nœuds capteurs sans fil. Chacun de ces systèmes offre ses propres caractéristiques et fonctionnalités. Nous citons certaines de ces systèmes d'exploitation parmi les plus implémentés aujourd'hui dans les nœuds capteurs sans fil [11].

III.2.3 Communication des RCSFs

III.2.3.1 Type de communications

Il existe 3 types de communications dans les réseaux de capteurs sans fil, qui sont cités ci-dessous :

- 1. Communication d'un nœud capteur avec un autre nœud capteur :** Ce type de communication directe est employée pour des opérations locales, par exemple pendant le processus de clustérisations (c'est l'organisation du réseau en structure cellulaire) [12].
- 2. Communication d'un nœud capteur à un nœud intermédiaire :** Dans ce cas, les données détectées sont transmises à partir d'un nœud capteur à un nœud intermédiaire. Ce type de communication est souvent appelée communication Unicast.
- 3. Communication nœud intermédiaire avec un nœud intermédiaire :** La communication entre ces nœuds est la plupart du temps unicast [12].

III.2.3.2 Caractéristiques et contraintes d'un RCSF

La conception des réseaux de capteurs est influencée par de nombreux facteurs et représentent la base de la conception de protocoles ou d'algorithmes pour les réseaux de capteurs [13]. Il existe plusieurs caractéristiques dans les RCSF dont nous citons les plus importantes :

- Durée de vie du réseau
- Bande passante limitée
- Média du transport
- La topologie du réseau
- Déploiement
- Le passage à l'échelle
- La consommation d'énergie

Chapitre III : Optimisation du Déploiement des RCSFs

- L'auto-configuration
- Topologie dynamique

III.2.4 Topologies des Réseaux de capteurs sans fil

Les topologies des réseaux de capteurs sont déterminées à partir des protocoles de routage utilisés pour l'acheminement des données entre les nœuds et le sink. Ces protocoles peuvent être hiérarchiques, plat ou basé localisation.

- Topologie hiérarchique
- Topologie plate
- Topologie géographique (localisée)

III.2.4.1 Applications des RCSF

Le domaine d'applications des RCSF est très varié. Ces réseaux sont présents dans le domaine militaire, sécurité civile, médical, transport, environnemental, etc

- Applications militaires
- Applications environnementales
- Applications agricoles
- Applications médicales
- Applications de transport
- Applications domestique

III.3 Technologie WirelessHart

III.3.1 Présentation du système TankRadar REX

TankRadar Rex est un système de jaugeage radar d'avant-garde pour réservoirs de stockage avec systèmes de gestion d'inventaire et de transactions commerciales. Il répond aux exigences les plus sévères en matière de performances et de sécurité.

Aucune partie de l'équipement n'entre en contact direct avec le produit contenu dans le réservoir et l'antenne est la seule pièce du jaugeur qui soit exposée à l'atmosphère du réservoir.

III.3.2 Présentation des instruments

III.3.2.1 Tête transmétrice RTG 3950

Jaugeur à antenne réseau pour puits de tranquillisation RTG 3950 Le RTG 3950, avec son antenne réseau de petite dimension, est conçu pour le montage sur puits de tranquillisation existants. Les applications typiques auxquelles il est destiné sont les réservoirs de pétrole brut avec toits flottants, et les réservoirs à toit fixe avec ou sans écran flottant. Pour garantir la précision des transactions commerciales, le jaugeur utilise la technologie Low Loss Mode (faible perte), inventée pour les produits TankRadar, pour émettre les ondes radar au centre du tube. Ce système élimine quasiment toute perte de précision due aux dépôts de rouille et de produits dans le puits. Le RTG 3950 est disponible pour des puits de 5, 6, 8, 10 et 12 pouces.

La figure III.3. Représente la tête transmettrice RTG 3950.

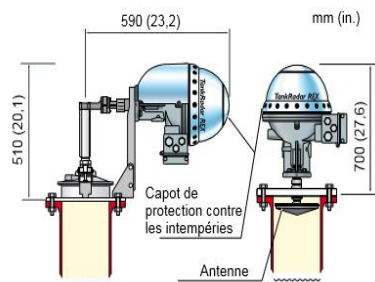


Figure III.3 Tête transmétrice RTG 3950 [14].

III.3.2.2 Adaptateur Smart Wireless

L'adaptateur Smart Wireless THUM permet la communication sans fil de données d'un équipement filaire Hart, en utilisant un réseau auto-organisé Wireless HART (figure III.4).

Les Adaptateurs Smart Wireless THUM est caractérisé par [14]:

- Un équipement qui peut être installé sur tout appareil.
- Composé d'un émetteur radio, d'un récepteur, d'un microprocesseur et d'une antenne
- Permet de transmettre via des ondes radio des informations de mesure et diagnostics HART inaccessibles jusqu'ici.

La figure III.4 représente l'adaptateur Smart Wireless.



Figure III.4 Adaptateur Smart Wireless [14].

III.3.2.3 Transmetteur de pression Rosemount 3051

Le transmetteur de pression Rosemount 3051 confère un meilleur contrôle de l'usine. Il permet de réduire les écarts de produit, ainsi que la complexité, de même que le coût total de possession en utilisant le même appareil pour les mesures de pression, de niveau et de débit. Permet aussi d'accéder à des informations afin de diagnostiquer, corriger et même anticiper les problèmes. Et enfin, grâce à sa fiabilité et à son expérience, le modèle Rosemount 3051 constitue la norme de référence qui va aider à atteindre des niveaux élevés d'efficacité et de sécurité [15].

- Améliore le temps de réponse jusqu'à 90% ;
- Permet d'adapter les performances, les fonctionnalités et les raccords de procédé en fonction des applications.
- Permet de minimiser la durée de vie du module d'alimentation jusqu'à 10 ans.
- Accès simplifié grâce à l'interface et à l'affichage à distance.

La figure III.5 représente le transmetteur de pression 3051S.



Figure III.5 Transmetteur de pression 3051S [15].

III.3.2.4 Transmetteur de température multipoint Rosemount 2240S

Le transmetteur de température multipoint haute performance 2240S est homologué pour les applications de comptage transactionnel exigeantes nécessitant des mesures de température extrêmement précises pour le calcul de volume standard net [16].

Chapitre III : Optimisation du Déploiement des RCSFs

Le 2240S peut être connecté à un maximum de 16 points de mesure de température, à trois ou quatre fils, ainsi qu'à un capteur de niveau d'eau intégré. La valeur fournie par chaque point de mesure de température, associée avec le niveau mesuré par la jauge radar, sert au calcul de la moyenne des températures d'un liquide.

La figure III.6 représente le transmetteur de température multipoint Rosemount.



Figure III.6 Transmetteur de température multipoint Rosemount [16].

III.3.3 Présentation de la passerelle de communication sans fil (smart Wireless Gateway)

- La passerelle permet de connecter des réseaux auto-organisés WirelessHART à n'importe quel système hôte.
- Configuration et gestion simples des réseaux auto-organisés.
- Intégration simple dans les systèmes de contrôle et les applications de données par le biais de connexions série et Ethernet.
- Intégration transparente à AMS Device Manager.
- Fiabilité des données supérieure à 99 % avec une sécurité reconnue dans l'industrie.
- Sortie sans fil permettant d'étendre tous les bénéfices de l'architecture PlantWeb à des endroits jusque-là inaccessibles.



Figure III.7 Smart Wireless Gateway [17].

III.3.4 Logiciel IHM TankMaster

TankMaster est une puissante interface homme-machine fonctionnant sous Windows, et destinée à la gestion complète de l'inventaire des réservoirs. Elle propose des fonctions de configuration, de maintenance, de réglage, d'inventaire et de transactions commerciales pour les systèmes TankRadar Rex. Tous les calculs sont basés sur les normes API et ISO en vigueur [18]. TankMaster se compose de deux modules logiciels principaux :

- **WinSetup** : est le logiciel utilisé pour configurer l'ensemble du système Rex. Le programme WinSetup est fourni avec tous les systèmes TankRadar Rex comme outil de configuration et de réglage (d'autres fonctions sont disponibles en option en fonction du logiciel utilisé).
- **WinOpi** : est un logiciel d'inventaire complet. TankMaster dispose d'un assistant de configuration permettant une configuration et une installation interactives.

III.3.5 Norme IEEE 802.15.4

Le standard IEEE 802.15.4 LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) est la norme de communication la plus utilisée dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil. Cette technologie est caractérisée principalement par un faible coût, une faible consommation d'énergie, un faible débit de données et une courte portée de communication. La norme permet d'économiser l'énergie en mettant en œuvre le mécanisme du duty cycling (cycle d'activité de la radio), où tous les nœuds possèdent une période d'activité et une période de sommeil. Il existe deux options pour la définition des couches supérieures : les standards ZigBee et 6LowPAN [21].

III.3.6 Protocole WirelessHart

Wireless HART assure la communication sans fil sur le terrain avec tous les avantages que représente la technologie HART. S'adressant en particulier aux usines de grandes dimensions dont les points de mesures sont difficiles à accéder, cette technologie allie dépenses minimales et facilité d'utilisation optimale. Le réseau maillé, indépendant de la passerelle centrale, utilise des adaptateurs sans fil qui font à la fois office de routeurs et de répéteurs. Cela permet de développer des structures de réseau très étendues, dans les quelles toutes les défaillances de transmission peuvent être automatiquement compensées. Il s'agit d'un grand avantage pour la disponibilité de l'installation industrielle. On distingue ses avantages :

Chapitre III : Optimisation du Déploiement des RCSFs

- Coûts d'installation plus faible que pour les solutions câblées.
- Economie sur les coûts de main-d'œuvre.
- Coûts de matériel réduits.
- Sécurité multi-niveau pour protéger le réseau.
- Automatisation et retards réduits.

III.3.7 Le protocole HART

HART est un protocole de communication (matériel et logiciel), utilisé en contrôle industriel pour communiquer numériquement avec des capteurs ou actionneurs numérique, sur une liaison analogique du style 4-20mA.

III.3.8 Protocole d'accès au canal de communication : TDMA

Le Time Division Multiple Access (TDMA) ou accès multiple à répartition dans le temps en français, est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs flux de trafic sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il utilise une division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée, à tour de rôle (quasi simultanément), à plusieurs abonnés.

Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et émettre sans interférer avec les autres abonnés.

Avantages TDMA

- Les protocoles qui se basent sur TDMA sont par nature efficace en énergie, puisque les nœuds n'allument pas leur radio que lors de leurs propres slots et s'endorment le reste du temps.
- Filtre de fréquence simple (*pas besoin de s'adapter à différentes bandes de fréquences*).
- Durée de batterie plus élevée.

III.4 Méthodes de déploiement des nœuds capteurs

Le déploiement des nœuds capteurs dans une zone d'intérêt peut généralement être de manière planifiée ou aléatoire (voir Figure III.8). Le type de nœuds capteurs, l'application et l'environnement dans lequel les nœuds fonctionnent sont tous des facteurs qui influencent le choix du type de déploiement [20]. Dans des situations où on n'a pas une connaissance préalable des champs comme sur un champ de bataille, le déploiement aléatoire peut être le seul choix. Cependant, le déploiement déterministe est souvent nécessaire lorsque les nœuds capteurs coûtent cher ou lorsque leur position a un impact assez important sur leur fonctionnement.

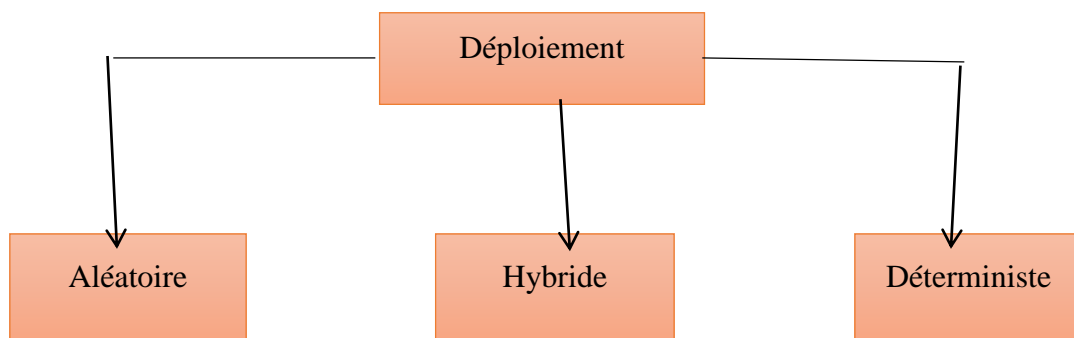


Figure III.8 Les méthodes de déploiement.

III.4.1 Déploiement aléatoire

Cette méthode de placement est souvent utilisée pour déployer des nœuds capteurs dans des zones inconnues, difficiles d'accès ou inaccessibles. Les nœuds capteurs sont généralement dispersés par le biais d'un avion ou d'un drone, ce qui entraîne une distribution aléatoire des nœuds capteurs. Ce type de déploiement entraîne éventuellement des performances sous-optimales (par exemple, il ne garantit pas la couverture et la connectivité).

III.4.2 Déploiement déterministe

Ce type de déploiement est utilisé lorsque la zone d'intérêt est accessible. Dans ce cas, les nœuds capteurs sont placés dans des positions fixes et connues selon un plan prédéfini. Le placement planifié minimise le nombre de nœuds requis et maximise la couverture du champ de capture.

III.4.3 Déploiement hybride

Dans ce type de déploiement, les nœuds sont placés de manière non déterministe (aléatoire) dans des zones, matérialisant le champ de déploiement, créées de façon déterministe.

III.5 Couverture dans les RCSF

III.5.1 Définition de la couverture dans les RCSF

Parmi les facteurs importants du déploiement d'un réseau de capteurs, on citera la couverture qui est considérée comme l'une des métriques de la Qualité de Service (QoS). La couverture peut être complète ou partielle en fonction des besoins de l'application [21]. Si n'importe quel point est surveillé par un seul nœud capteur (c'est-à-dire une couverture simple dite 1-couverture) ou par plusieurs nœuds capteurs (c'est-à-dire une k-couverture). La couverture dans les RCSFs peut être classée en trois types : couverture de zone, couverture de point (cible) et couverture de barrière.

a- Couverture de zone d'intérêt

La zone d'intérêt (appelée aussi zone de déploiement) représente l'espace géographique surveillé par un réseau de capteurs sans fil. Elle est modélisée sous forme d'un plan bidimensionnel(2D).

b- Degré de couverture

Selon les exigences et l'importance des applications implantées dans WSN, le degré (*niveau*) de couverture pour un point dans la zone est défini comme le nombre de nœuds de capteurs couvrant ce point. Peut se diviser en deux types : couverture simple (*1-couverture*) et couverture multiple (*k-couverture*) [21].

- **Couverture simple**

La couverture de zone peut prendre plusieurs formes, la plus simple lorsque tout point p de la zone des points cibles est couvert par un et un seul capteur i.e, tout point p se trouve dans la zone de détection d'un seul capteur. Dans ce cas on parle de 1-couverture.

- **Couverture multiple**

Lorsque tout point p de la zone des points cibles est couvert par plus d'un capteur, quand les capteurs sont déployés en grand nombre dans une zone de points cibles, la couverture de tout point cible reflète la couverture de la zone de point cible i.e. si la zone de

Chapitre III : Optimisation du Déploiement des RCSFs

détection de tout capteur est couverte par un ensemble de capteur actif, la zone de points cibles est entièrement couverte.

III.5.2 Types des couvertures

- **Couverture de zone**

Elle s'appelle aussi la couverture de surface. L'objectif principal est de surveiller une zone géographique appelée zone d'intérêt dans laquelle chaque point de cette région est couvert par un sous-ensemble de nœuds capteurs. Selon les besoins de l'application, une couverture totale ou partielle est requise.

- **Couverture de cible**

Elle est dite aussi couverture de point. Ce type de couverture sert à surveiller uniquement certains points spécifiques (cibles) dans un champ de capture, dont la position géographique est connue et chaque point spécifique doit être couvert par au moins un nœud capteur. Parmi les exemples de surveillance de points d'intérêt, on peut citer les applications militaires telles que la surveillance des bases ennemies.

- **Couverture de barrière**

Il s'agit de la Couverture de frontière afin de couvrir une partie de la zone d'intérêt. Les nœuds capteurs ne sont pas conçus pour surveiller les événements à l'intérieur de la zone considérée. En effet, on a besoin seulement de couvrir le périmètre de cette région pour détecter les intrus qui tentent de pénétrer dans cette zone. Ce type de couverture est connu pour être un modèle de couverture approprié pour des applications telles que la surveillance des frontières internationales ou la détection de propagation de produits chimiques mortels autour d'une usine.

III.6 Connectivité dans les RCSF

III.6.1 Définition de la connectivité dans les RCSF

Deux nœuds capteurs sont dits connectés si et seulement ils peuvent communiquer directement (connectivité à un saut) ou indirectement (connectivité à sauts multiples). Dans les RCSFs, le réseau est considéré comme connecté s'il existe au moins un chemin entre le sink et chaque nœud capteur dans la zone considérée. Il faut tenir compte de la connectivité pour bien surveiller une région donnée. Il ne suffit pas d'assurer une couverture seulement [21]. Les nœuds capteurs doivent être capables de signaler immédiatement au sink tout événement détecté. Il existe deux types de connectivité réseau : connectivité complète et

Chapitre III : Optimisation du Déploiement des RCSFs

connectivité intermittente. La connectivité réseau complète peut également être simple (1-connectivité) : s'il y a un seul chemin depuis tout nœud capteur jusqu'au sink, ou multiple (k-connectivité) : si plusieurs chemins disjoints existent entre un nœud quelconque et le sink.

III.6.2 Types de connectivité dans les RCSF

Il existe deux types de connectivité dans les RCSF qui sont les suivants :

III.6.2.1 Connectivité complète

Peut-être soit simple (1-connectivité), soit multiple (k-connectivité).

- **1-connectivité** : Une connectivité complète d'un RCSF est dite simple s'il existe un seul chemin entre chaque nœud source et la station de base.
- **K-connectivité** : elle est dite multiple s'il existe plusieurs chemins distincts entre chaque nœud source et la station de base.

III.6.2.2 Connectivité intermittente

Dans le cas de certaines applications des RCSF, il n'est pas nécessaire d'assurer et de maintenir en continu une connectivité complète du réseau. En effet, pour de telles applications, il est suffisant de garantir une connectivité intermittente en utilisant par exemple un (ou plusieurs) station de base mobile se déplaçant afin de recueillir les mesures collectées par les nœuds capteurs déconnectés.

III.6.3 Stratégies de placement des nœuds

Les stratégies de placement des nœuds sont toutes déterministes et varient selon un ou plusieurs objectifs qu'on veut atteindre (maximiser la couverture, maximiser le nombre de voisins d'un nœud, etc.)

III.6.3.1 Les stratégies basées sur la géométrie algorithmique

Le domaine de la géométrie computationnelle est apparu dans les années 1970. Il traite de divers types de problèmes de calcul complexes de nature géométrique telles que la planification de mouvement dans le domaine de la robotique et la triangulation des polygones qui est utilisée pour résoudre le célèbre problème de la galerie d'art dans les applications de surveillance [22]. Le diagramme de Voronoï et la triangulation de Delaunay sont deux méthodes de la géométrie algorithmique utilisées dans les RCSFs pour résoudre les problèmes

Chapitre III : Optimisation du Déploiement des RCSFs

de trous de couverture en les détectant et en les éliminant afin de maximiser le taux de couverture.

- **Le diagramme de Voronoï**

Le diagramme de Voronoï est une méthode de partitionnement de la zone en un certain nombre de polygones en fonction des distances par rapport à un ensemble discret spécifique de nœuds, comme illustré dans la Figure III.9. Chaque nœud n'occupe qu'un polygone et est plus proche de tout point de ce polygone que de tout autre nœud des polygones voisins [22]. Ces polygones peuvent être obtenus en traçant le médiateur de chacun des deux nœuds voisins. Par conséquent, les arêtes des polygones sont à égale distance des nœuds voisins. En raison de ces polygones de Voronoï, les nœuds peuvent déterminer des trous de couverture. Ensuite, ils se déplacent afin de réduire ou d'éliminer ces trous tout en maximisant le taux de couverture de la zone considérée.

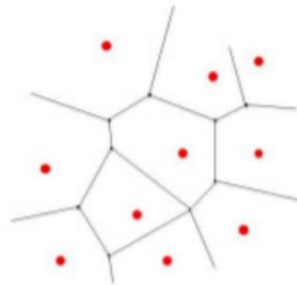


Figure III.9 Le diagramme de Voronoï [21].

- **Triangulation de Delaunay**

La triangulation de Delaunay est un type particulier de triangulation d'ensembles de points planaires. La triangulation de Delaunay d'un ensemble P est toujours une triangulation à angle optimal de P (Voir Figure III.10). La triangulation de Delaunay est étroitement liée au diagramme de Voronoï. Elle peut être construite en reliant chacun des deux points voisins du diagramme de Voronoï dont les polygones partagent un bord commun, comme le montre la Figure III.11 [22].

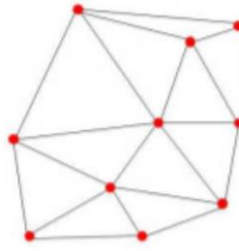


Figure III.10 La Triangulation de Delaunay [21].

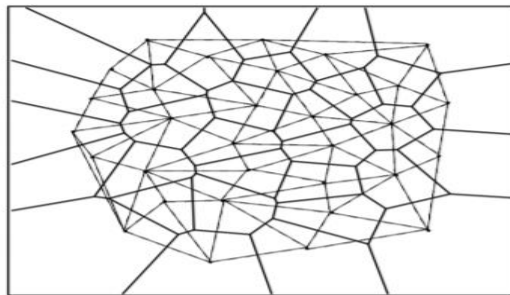


Figure III.11 Delaunay-Voronoi

III.6.3.2 Stratégies basée sur les grilles

La stratégie basée sur la grille fournit un déploiement déterministe dans lequel la position des nœuds capteurs est fixée selon un modèle respectant une certaine distance, entre les nœuds, qui dépend de R_s (Rayon de capture) et de R_c (Rayon de communication), tel qu'un réseau triangulaire, une grille carrée ou une grille hexagonale. Où chaque nœud capteur occupe une cellule hexagonale (voir Figure III.12), la couverture peut être contrôlée en ajustant la distance inter-nœuds d (la distance entre deux nœuds capteurs adjacents), pour atteindre une couverture complète la distance inter-nœuds doit être $d \leq r \sqrt{3}$ où r est le rayon de détection.

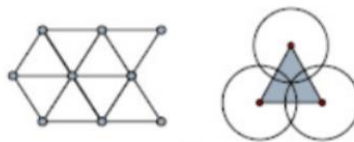


Figure IV.12 Modèle triangulaire.

III.6.3.3 Stratégies basée sur des méthodes analytiques

Il existe plusieurs solutions basées sur des méthodes analytiques qui traitent le problème de couverture ; Elles sont généralement basées sur la modélisation mathématique et des applications de la recherche opérationnelle. Parmi ces méthodes ; on trouve la programmation linéaire en nombre entier, les heuristiques et Meta heuristiques . . . etc.

III.7 Conclusion

Les Réseaux de Capteurs sans Fil sont un domaine de recherche en évolution continue avec une multitude de contextes d'application. Dans ce Chapitre, nous avons introduit les RCSFs en décrivant leur architecture, leurs caractéristiques, les facteurs influençant leur conception, ainsi que leurs domaines d'application, et nous avons mis en évidence les différentes stratégies de déploiement des RCSFs ainsi que l'influence du positionnement déterministe des nœuds capteurs sur les performances de ces réseaux, notamment en termes de couverture, de connectivité, de coût, et de durée de vie du réseau. Enfin, nous avons présenté un tableau de comparaisons entre les différents algorithmes de déploiement basés sur chaque approche.

Dans le prochain Chapitre, nous allons proposer une solution de déploiement d'un réseau de capteurs sans fil basée sur une méthode géométrique qui assure la couverture et la connectivité.

Chapitre IV

Implémentation et évaluation des performances

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

IV.1 Introduction

La réduction de la redondance des nœuds déployés dans une même zone à surveiller est primordiale pour optimiser la couverture de la zone de déploiement. Ceci est dans le but, d'économiser la consommation d'énergie, et par conséquent, d'étendre la durée de vie du réseau [25]

Dans le présent chapitre, nous présentons une solution basée sur une approche analytique. Les caractéristiques principales de cette solution sont : le nombre réduit de nœuds actifs, le taux de couverture élevé, connectivité assurée.

La première partie de ce chapitre, sera consacrée à la description détaillée de la solution proposée. La seconde illustrera les résultats de la simulation obtenus, ainsi que l'évaluation des performances de cette solution.

IV.2 Contexte du problème

Les applications des réseaux de capteurs ont tendance à déployer aléatoirement plus de nœuds que nécessaire pour assurer la couverture complète de la zone d'intérêt. Cet excès conduit à une redondance dans les informations relevées, c'est-à-dire qu'il y a des régions surveillées par plusieurs capteurs au même temps.

L'entreprise SONATRACH a connu des difficultés lors de l'utilisation des anciens systèmes de téléjaugeage ENRAF au niveau de la précision et de la fiabilité, elle a rencontré le problème des coûts de maintenance élevés et des performances médiocres.

D'autre part l'entreprise a accepté la proposition du fournisseur EMERSON pour doter les bacs du parc de stockage d'un nouveau système de surveillance sans fil appeler « réseau de capteur sans fil ».

IV.3 La solution proposée

Parmi les nombreuses techniques existantes nous avons choisis une solution au problème de couverture, plus précisément, une solution basée sur une méthode analytique, qui permet d'optimiser la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil.

IV.3.1 Déploiement analytique

La résolution du problème de couverture et de connectivité fait largement appel aux méthodes géométriques qui au moyen de leurs modèles mathématiques et fondements théoriques. Dans notre cas, le déploiement sera plutôt déterministe car les paramètres physiques à mesurer doivent être précis, pertinents et de qualité. En autres, on s'intéresse au déploiement dans une zone géographique bien précise et dont les points à surveiller son

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

connus à l'avance. En effet la couverture doit être assurée de façon que la connectivité soit assurée tout en minimisant le nombre des nœuds capteurs et le nombre nœuds relais.

IV.3.1.1 Etapes de déploiement du RCSF

Le but de notre travail est de trouver la position des nœuds capteurs et relais au niveau de l'entreprise Sonatrach, l'organigramme suivant comporte plusieurs étapes.

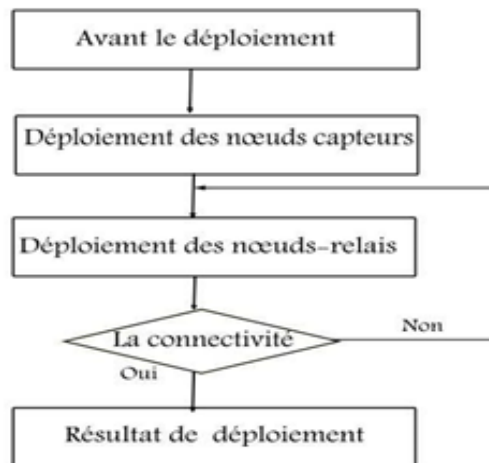


Figure IV.1 Organigramme de Déploiement

Le logiciel de dessin et de mesure « Autocad » nous a aidé à déterminer la position des bacs de stockage de la DRGB, et de déployer des nœuds relais et les capteurs.

Les différentes étapes de déploiement d'un réseau de capteurs sans fil sont illustrées comme suite :

Etape 1 : Notre étude se base sur les 12 bacs du terminal nord au niveau de la DRGB (voir figure IV.2), on déploiera les nœuds selon l'architecture suivante :



Figure IV.2 Zone de Déploiement du RCSF

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

Étape 2 : Placement des nœuds capteurs : Pour déployer les capteurs on suit les étapes suivantes :

- Initialement, on définit le centre de chaque bac. Ensuite, on les relie pour former un triangle ;
- on détermine la bissectrice de chaque angle (juste pour les bacs du niveau 2). À partir de cette dernière, on cherche un point C_i pour définir le placement du nœud capteur, (figure IV.3), telle que la distance entre le centre du bac(O)et le capteur égal au rayon du bac :

$$Dist(O, C_i) = R$$

Où :

($Dist$) : La distance.

(O) : Le centre du bac.

(C_i) : Le i eme capteur.

(R) : Le rayon du bac.

Les mêmes étapes seront effectuées pour les bacs du niveau 1, mais on les reliant avec la station de base.

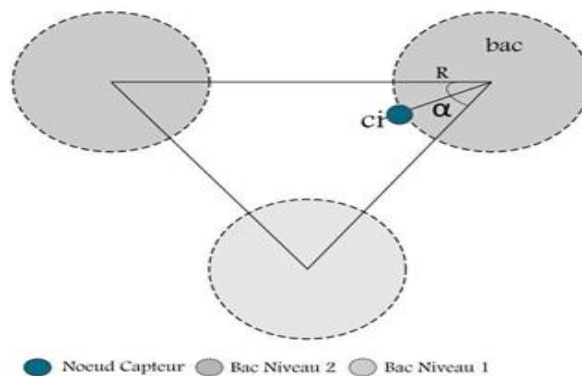


Figure IV.3 Déploiement des nœuds capteurs

Étape 3 : Placement des nœuds relais : Les nœuds capteurs ont une portée de transmission limitée (R_c) pour atteindre la station de base pour cela on rajoute les nœuds relais avec une portée de communication plus puissante (R_{c1}).

Cette étape comprend 3 phases illustrées ci-dessous :

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

Phase 1 : Déploiement les nœuds-relais du niveau 3 : À partir des triangles formés pour le placement des nœud-capteurs, on définit le segment qui relie chaque deux capteurs du niveau 2.

A partir de ce segment on détermine la médiatrice(d), ensuite on cherche un point N dans (d) pour définir le placement de nœuds relais (voir la figure IV.4), tel que la distance entre les capteurs(C_i, C_j) et le relai est inférieur au égal au rayon de transmission du capteur :

$$(d) : \text{Dist}(C_i, N) \leq RC \text{ et } (d) : \text{Dist}(C_j, N) \leq RC$$

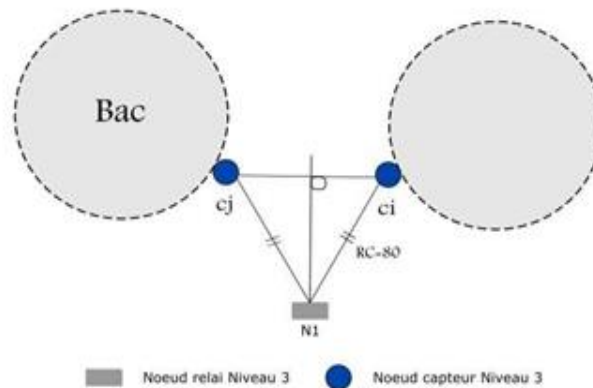


Figure IV.4 Déploiement des nœuds relais « Niveau 3 »

Phase 2 : Déploiement les nœuds-relais du niveau 2

Les nœuds relais du niveau 2 permet d'acheminés les données des relais du niveau 3 et les données des nœuds-capteurs du niveau 1 jusqu'à atteindre la station de base.

Pour cela, à partir de chaque deux nœuds-relais du niveau 3 on trace un segment et on détermine la médiatrice(d). À ce niveau on cherche un point N pour définir le placement des nœuds relais (voir figure IV.5) tel que :

$$\text{Dist}(N_i, N) \leq Rc1, \text{Dist}(N_j, N) \leq Rc1 \text{ et } \text{Dist}(C_i, N) \leq Rc, \text{Dist}(C_j, N) \leq Rc$$

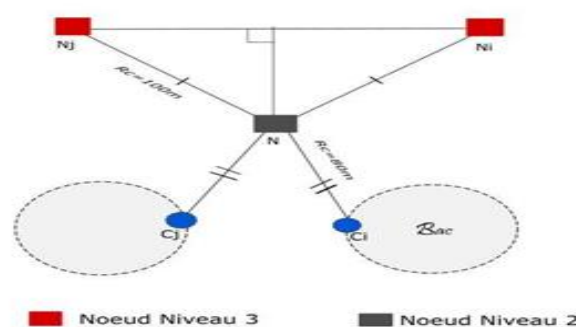


Figure IV.5 Déploiement des nœuds relais « Niveau 2 »

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

Phase 3 : Déploiement des nœuds-relais du niveau 1 :

Les nœuds relais du niveau 1 permet de acheminer les données des relais du niveau 2 vers la station de base.

Pour cela, on trace un segment qui relie les capteurs (niveau 1), et on détermine la médiatrice(d) de ce segment, ensuite on cherche un point N dans (d), (figure IV.6) tel que la distance entre le relais $N - i$ et le relais N est inférieure à la portée de transmission du relais.

$$(d) : \text{Dist}(N_i, N) \leq RC1, (d) : \text{Dist}(SB, N) \leq RC1$$

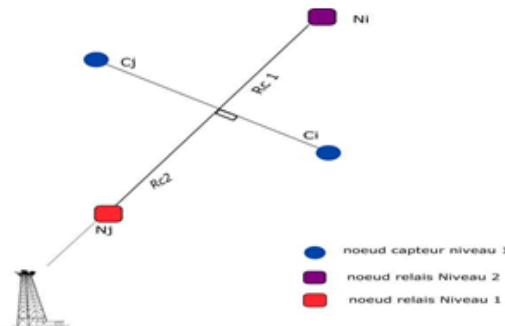


Figure IV.6 Déploiement des nœuds relais « Niveau 1 »

Etape 3 : Résultat du déploiement Après avoir déployer les nœuds capteurs et nœuds relais ont obtient l'architecture suivante (figure IV.7) :

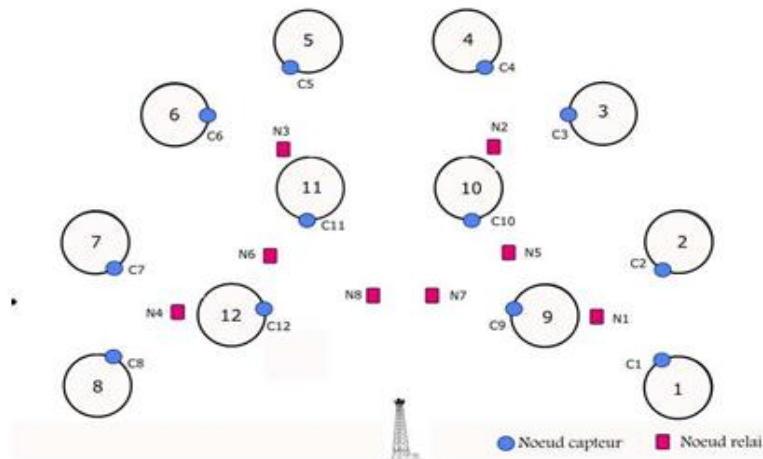


Figure IV.7 RCSF après déploiement

IV.3.2 Connectivité

Dans un RCSF, la modélisation de la communication s'avère très difficile car les nœuds capteurs communiquent à faible puissance et par conséquent les liaisons radio sont très peu

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

fiables. Supposons que chaque nœud C_i est capable de transmettre ses données à ses voisins nœud relais N_i se situant dans son disque de rayon de communication noté R_c . Le rayon de communication de chaque nœud varie en fonction du niveau de sa puissance de transmission. De ce fait, on pourra dire que deux nœuds C_i et N_i peuvent communiquer symétriquement si et seulement si la distance Euclidienne entre eux est plus petite ou égale au minimum de leurs rayons de communication c'est-à-dire ($\text{Dist}(C_i, N_i) \leq \text{Min}(R_c, R_{c1})$) (figure IV.8).

Il existe deux types de communication : communication entre nœud capteur – nœud relais et communication entre nœud relais – nœud relais.

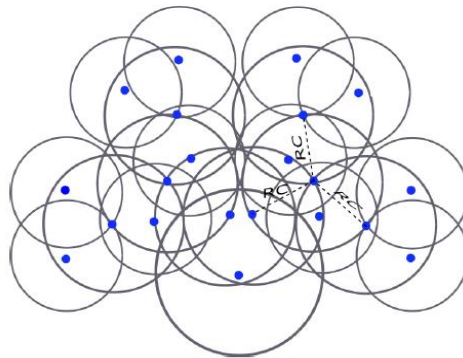


Figure IV.8 Connectivité d'un RSCF

IV.3.3 Ordonnancement des nœuds

L'ordonnancement d'accès au médium de communication, ou les nœuds vont transmettre les informations selon leurs slots de temps attribuer, afin d'éviter les collisions.

Nous considérons un RSCF à 2 niveaux comme illustré dans la figure IV.9. Le niveau 1 ou les capteurs sont déployés de manière déterministe dans la zone de surveillance pour détecter certains événements physiques et les transmettre selon leur slot temps à un utilisateur final (salle de contrôle) à travers le niveau 2.

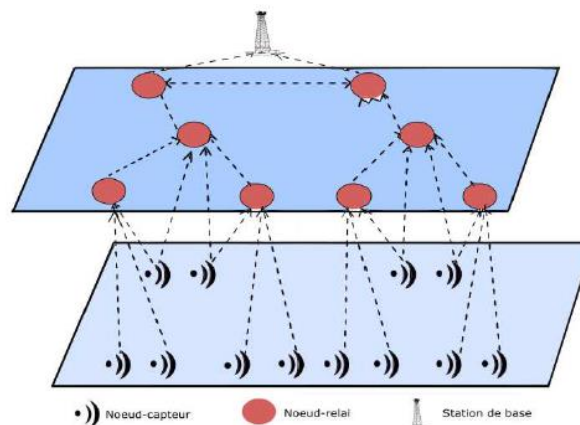


Figure IV.9 Architecture logique du RSCF

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

IV.4 Phase de communication TDMA

Les chercheurs ont signalé l'existence des problèmes des collisions autour des capteurs qui limitent l'efficacité du réseau. Plus spécifiquement, si un capteur reçoit deux messages simultanément sur le même canal de communication (ça nous conduit à un état de collision), les deux messages deviennent incompréhensibles.

Le protocole TDMA découpe le temps en intervalles (slots), chaque intervalle de temps est alloué (localement) à un seul nœud pour lui garantir l'accès au canal afin qu'il puisse transmettre ses données.

Le protocole TDMA est économe en énergie car ils évitent les collisions, ils limitent l'écoute passive (idle listening) et la sur-écoute (overhearing) ; et ils mettent les nœuds en mode sommeil durant les intervalles de temps (slots) réservés aux autres nœuds.

IV.5 simulation et analyse des performances

Une simulation est le fait d'imiter sur un support informatique un phénomène physique, la simulation se fait à l'aide d'un simulateur, qui est un dispositif technique permettant de reproduire de façon virtuelle une situation ou le comportement des objets données, Il présente donc sous des conditions contrôlables et observables l'évolution du modèle du phénomène. On distingue plusieurs modèles de simulation tel que : NS-2, OPNET, OMNET++, TOSSIM, BOIDS, Shawn, nous avons choisi comme environnement de simulation MATLAB.

IV.5.1 Choix de l'environnement MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple, peut être considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques, grâce à ses fonctions spécialisées. MATLAB est un interpréteur, car ses instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne, il possède des bonnes capacités graphiques pour présenter des résultats ou pour créer des applications. MATLAB peut être intégré avec du code C ou FORTRAN, il fonctionne dans plusieurs environnements tels que UNIX/X-Windows, Windows, Macintosh.

IV.5.2 Étapes de réalisation du simulateur

Le diagramme de simulation est réalisé par des différentes étapes (figure IV.10), nous souhaitons tester la fiabilité de communication de la topologie obtenue après le déploiement d'un RCSFs. Chaque nœuds capteur transmet ces données selon son slot de temps vers ses voisins relais (parent), ce dernier il collecte les données interceptées par les nœuds capteurs(feuille) et les achemines jusqu'à atteindre la SB, si l'un des relais tombe en panne le

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

paquet sera en attente, si après trois cycle le nœud relais est toujours en panne, donc les nœuds capteurs (feuille) vont changer de parent(relais) s'il existe sinon le paquet sera détruit.

IV.5.3 Paramètre de simulation

Notre RCSF est constitué de 12 capteurs et 08 nœuds relais. Ce réseau est déployé de façons déterministes selon une architecture hiérarchique. Chaque capteur peut communiquer avec son voisin si sa portée de transmission est inférieure à la portée de transmission de son voisin, où chaque nœud est attribué à un slot de temps (0.96 ms) pour pouvoir émettre à son voisin (parent relais). Le tableau IV.1 illustre les différents paramètres de simulation.

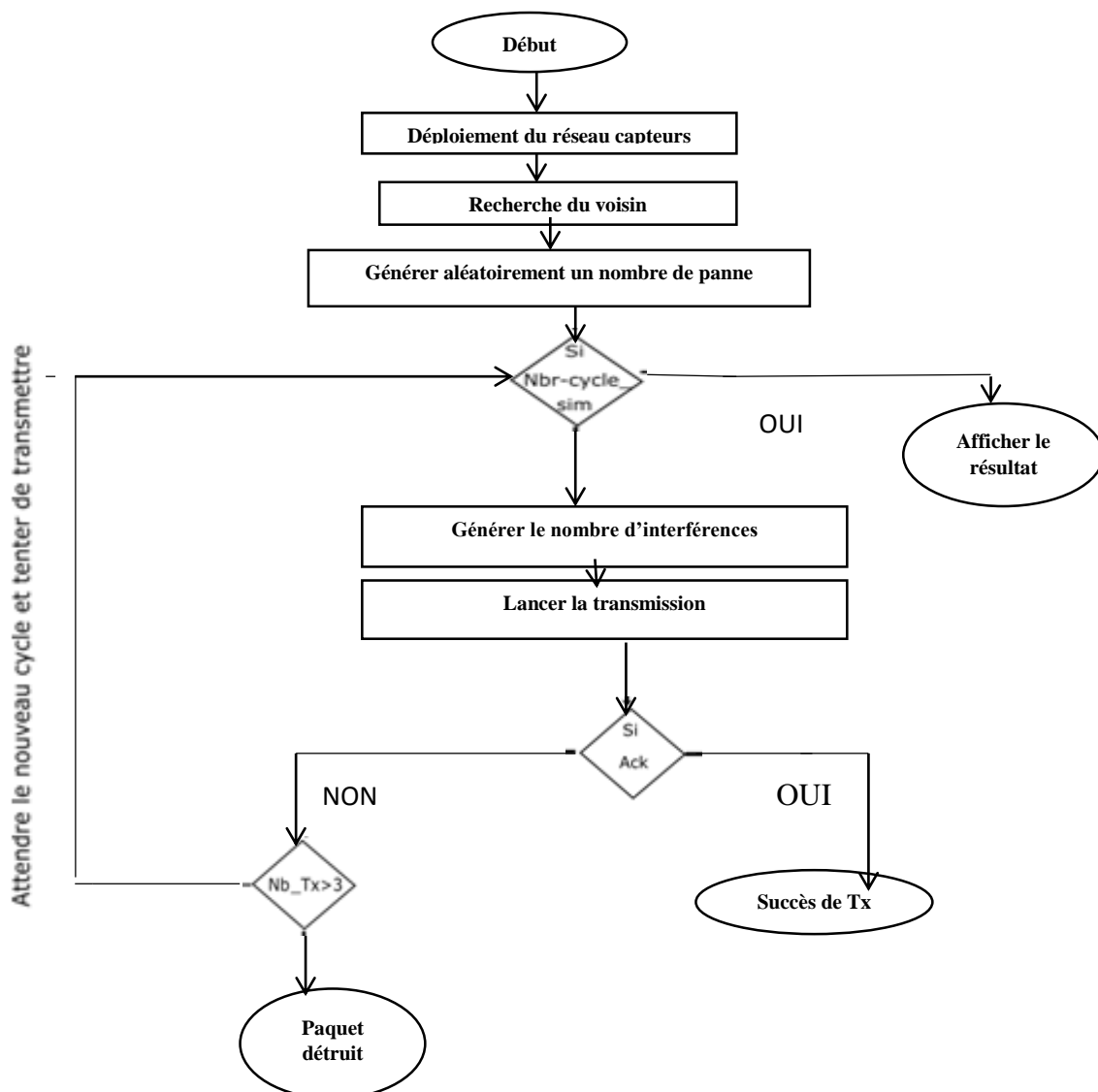


Figure IV.10 L'organigramme du programme de simulation

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

| Les paramètre initiaux | Valeur |
|--|-------------------------|
| Nombre de capteurs | 12 |
| Nombre de relais | 08 |
| Protée de transmission des capteurs | 80 m |
| protée de transmission des relais | 100 m |
| La surface du réseau | (620X400)m ² |
| Temps d'un slot (ts) | 0.96 ms |
| Portée de transmission de la station de base | 120 m |

Table IV.1 Les paramètres de simulation.

IV.5.3.1 Déploiement du réseau

Les capteurs constituant notre réseau sont déployés d'une manière déterministe (déploiement géométrique expliqué précédemment) sur une surface de (600X400) m².

Chaque capteur dans le réseau est représenté par ses coordonnées (x, y). La figure (IV.11) illustre le positionnement des nœuds capteurs et relais déployé dans la zone d'intérêt de l'entreprise Sonatrach.

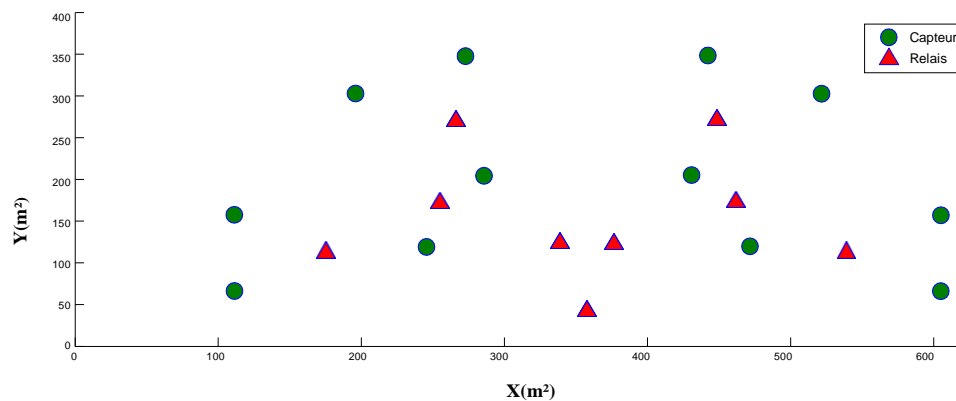


Figure IV.11 Déploiement déterministe du réseau de capteur

IV.5.3.2 Recherche des voisins

Dans cette phase, la découverte des voisins se base sur une fonction qui permet de renvoyer la liste des capteurs qui sont à sa portée de transmission c'est-à-dire la distance de ses voisins doit être inférieure ou égale à sa portée de transmission. Un capteur peut avoir un ou plusieurs voisins relais et un relais peut avoir un ou plusieurs voisins relais.

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

IV.5.3.3 Programme de simulation

- **Phase de transmission**

Dans ce domaine d'application, l'utilisation d'un protocole (TDMA) au sein d'un réseau de capteurs est recommandé. Ou La communication avec TDMA, les nœuds doivent être synchronisés pour que chaque capteur envoie et reçoit les données sur le médium dans un temps qui lui est attribué. Les nœuds de capteurs envoient leurs données pendant l'intervalle de temps alloué au nœud en utilisant le protocole d'ordonnement TDMA (*Time Division Multiple Access*).

La transmission des données chaque nœud parent envoie ces données au nœud parent voisin qui les fusionne avec ses propres données puis les envoie à son voisin et ainsi de suite jusqu'à atteindre le dernier nœud parent qui agrège les données à son tour puis les transmet à la station de base (figure IV.11).

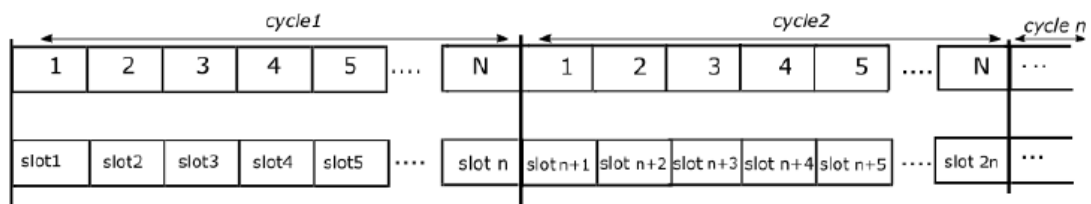


Figure IV.12 Cycle de communication TDMA

IV.5.3.4 Gestion des pannes

En général, un RCSF est déployé soit pour collecter d'informations d'une zone d'intérêt, soit pour détecter un événement. Selon l'application, une perturbation de l'une des tâches du réseau peut affecter la qualité du service livré [26]. Ainsi, nous considérons toute faute ou erreur qui empêche un nœud du RCSF de capturer et/ou transmettre comme étant une panne. Dans cette partie, nous allons classer les différentes pannes qui peuvent se produire au niveau d'un RCSF, en précisant leurs origines ainsi que l'impact que cela peut avoir sur le réseau.

Premier cas : Dans le cas où un nœud relais tombe en panne la figure IV.13 montre la moyenne des paquets reçus par la SB :

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

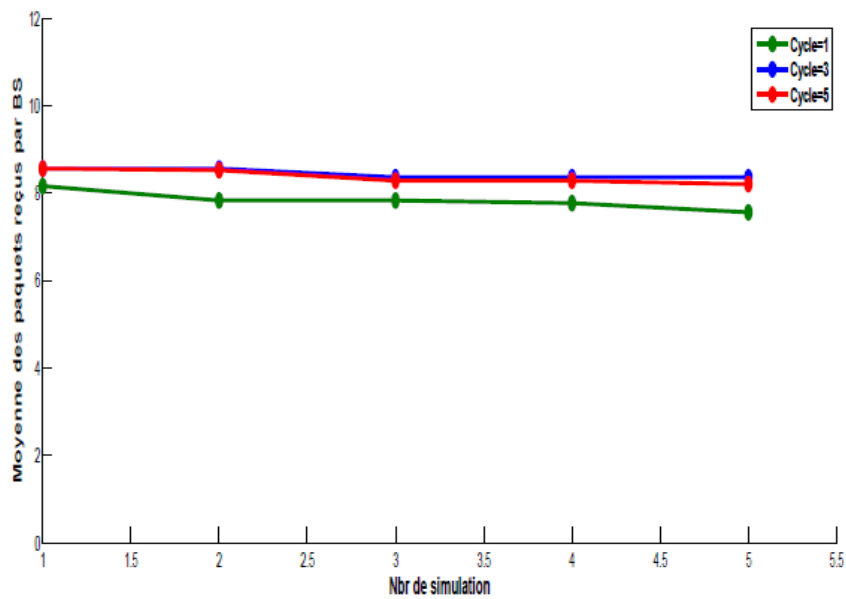


Figure IV.13 Nombre de paquet reçu par la SB (une panne)

D'après la figure IV.13, on remarque que si le cycle est inférieur à 3, la moyenne de paquets reçus par la SB varie entre (7.56 et 8.16), et la moyenne de paquets reçus par la SB varie entre (8.2 et 8.5) si le cycle est supérieur ou égal à 3.

Deuxième cas : Dans le cas où deux nœuds relais tombe en panne la figure IV.14 montre la moyenne des paquets reçus par la SB :

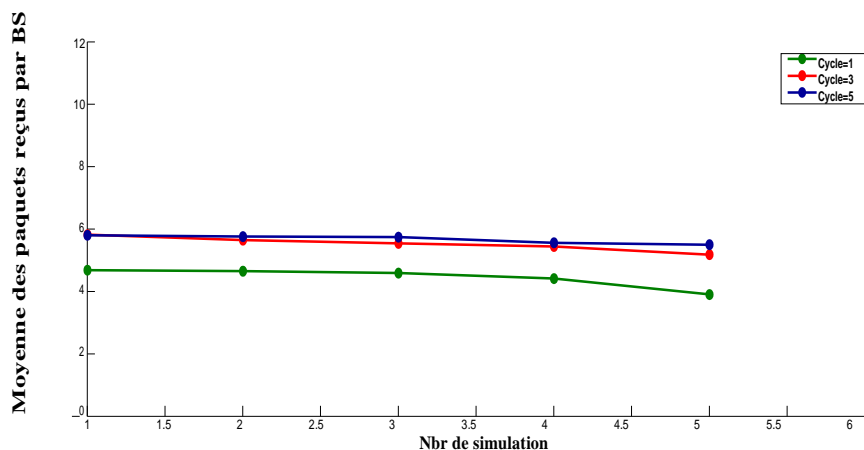


Figure IV.14 Nombre de paquet reçu par la SB (deux pannes)

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

D'après la figure IV.14, on remarque que si le cycle est inférieur à 3 la moyenne de paquets reçus par la SB varie entre (3.9 et 4.68), et la moyenne de paquets reçus par la SB varie entre (5.18 et 5.8) si le cycle est supérieur ou égal à 3.

Troisième cas : Dans le cas où trois nœuds relais tombe en panne la figure (IV.15) montre la moyenne des paquets reçus par la SB :

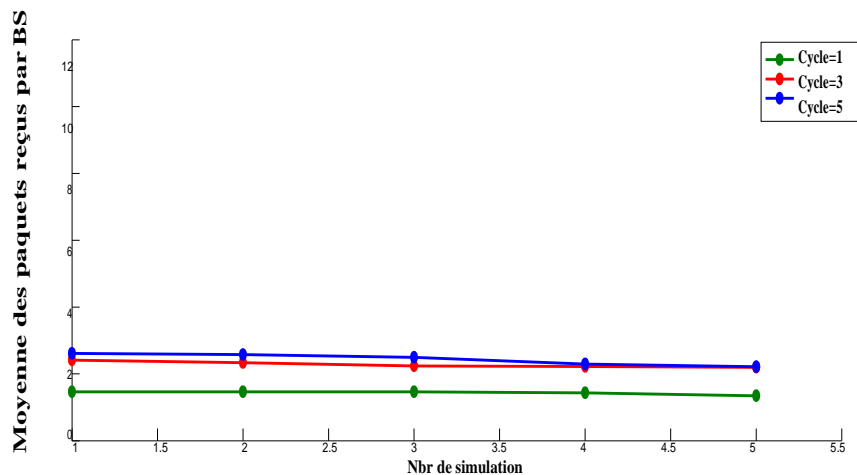


Figure IV.15 Nombre de paquet reçu par la SB (trois pannes)

D'après la figure IV.15, on remarque que si le cycle est inférieur à 3 la moyenne de paquets reçus par la SB varie entre (1.35 et 1.47), et la moyenne de paquets reçus par la SB varie entre (2.2 et 2.62) si le cycle est supérieur ou égal à 3.

IV.5.3.5 Discussion des résultats

D'après les résultats obtenus on constate que lorsque le taux de pannes est élevé le nombre de paquets reçus au niveau de la station de base sera diminué.

Le nombre de paquets reçus par la SB varient entre les différents cycles, si un nœud relais tombe en panne, ces capteurs voisins vont transmettre leurs paquets après trois cycle de simulation. Un capteur change de parent s'il existe sinon le paquet sera détruit.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé une stratégie de déploiement déterministe des nœuds d'un RCSF, qui assure la couverture et la connectivité réseau avec un nombre de sauts limité, tout en minimisant le coût de déploiement en termes de nœuds relais déployés.

Chapitre IV : Implémentation et évaluation des performances.

La solution que nous avons étudiée a montré que notre approche donne un bon déploiement avec un coût minimal.

Les résultats de la simulation montrent également l'impact important de la minimisation du nombre de sauts sur la latence et la consommation d'énergie dans le RCSF ainsi que si le taux de panne des nœuds relais augmente, le nombre de paquets reçus par la station de base diminue.

Conclusion générale & Perspectives

Dans ce mémoire, nous avons débuté par une étude approfondie des RCSF, dans le but de mettre en évidence les services critiques du réseau. Donc nous avons donné un aperçu sur les RCSF et présenté certaines de leurs applications.

Ensuite, on a abordé un état d'art sur les algorithmes proposés pour pallier les problèmes de connectivité et la couverture.

Puis, nous avons étudié une problématique très importante au sein des Réseaux de Capteurs Sans Fil, à savoir le déploiement des nœuds formant un RCSF. En effet, il a été démontré que le déploiement des nœuds impacte les performances d'un RCSF, notamment en termes de couverture, connectivité, énergie et latence. Le but de cette étude est d'apporter des solutions aux problèmes liés aux coûts qui représente un impact sur le protocole de gestion des bacs.

L'intérêt de cette solution est de minimiser le câblage à fin d'éviter leur détérioration qui cause des interférences sur le fonctionnement de transmission de données et de réduire le temps de synchronisation.

À la fin de cette étude, nous avons proposé une nouvelle méthode de déploiement basée sur le calcul géométrique qui nous a permis de positionner les nœuds et minimiser le nombre nécessaire des relais pour couvrir la zone d'intérêt, d'assurer la couverture et la connectivité.

En perspective, nous envisageons de tester notre méthode de déploiement sur un environnement réel. Les résultats obtenus en termes de latence et d'énergie sont satisfaisants.

Les perspectives applicatives offertes par les réseaux de capteurs sans fil sont nombreuses et variées :

- Passer d'une approche exacte à une approche déterministe pour pouvoir traiter des instances de grande taille en un temps raisonnable.
- Prévoir plusieurs chemins disjoints d'un nœud capteur vers la station de base (augmenter la résilience du système de surveillance).

Référence bibliographique

- [1] : <http://www.sonatrach.com/elements-histoire.html>. Consulté le 18.03.2020
- [2] : Les capteurs en instrumentation industrielle/ www.biblio-scientifique.net Consulté le 15.05.2020.
- [3] : <https://www.burkert.fr/fr/Services-et-Assistance/Assistance/Glossaire/Mesure-de-niveau>. Consulté le 31.05.2020
- [4] : https://fr.wikiversity.org/wiki/Capteur/Capteurs_de_niveau consulté le 30.03.2020
- [5] : <http://www.stielec.acaixmarseille.fr/cours/dereumaux/mesureniveau.htm>. Consulté le 21.05.2020
- [6] : M. Richard : « contrôle de niveau : système pour liquide ou solide ». Edition 2011.
- [7] : <https://fr.slideshare.net/leroiani/cours-de-stockage-distribution-des-hydrocarbures>. Consulté le 20.06.2020
- [8] : L.Rabhi et A.Naili, «Automatisation d'un skid de comptage de pétrole par un API S7-400 (SONATRACH) », mémoire de master université M'hamed Bougrara de Boumerdes, 2015.
- [9] : J. Hassell, RADIUS: «Securing Public Access to Private Ressources». Edition 2012
- [10] : D. Boubich :« Protocole de routage pour les réseaux de capteur sans fil ». Thèse de doctorat. Université de l'Hadj Lakhdar-Batna, 2008.
- [11] : M. Khelifi : « Optimisation de la consommation de l'énergie et maximisation de la durée de vie des réseaux capteurs sans fil ». Thèse de doctorat. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2008.
- [12] : N. Mitton : «Auto-organisation dans les réseaux sans fil multi-sauts».these de doctorat. Université de Lyon 2006.
- [13] : <http://dspace.univ-tlemcen.dz//une-plateforme-reelle-de-reseaux-de-capteurs-sans-fil>. Consulté le 30.06.2020
- [14] : <http://www.emerson.com/documents/automation/manual-smart-wireless-thum-adapter-en-87168>. Consulté le 23.06.2020
- [15] : <https://www.emerson.com/documents/automation/fiche-de-sp%E9cifications-rosemount-3051-transmetteur-de-pression-fr>. Consulté le 01.07.2020
- [16] : <https://www.emerson.com/fr-fr/catalog/rosemount-2240s-multi-input-temperature-transmitter-fr-fr>. Consulté le 02.07.2020

Références bibliographiques

- [17] :<https://www.emerson.com/documents/automation/fiche-de-sp%C3%A9cifications-passerelle-de-communication-sans-fil-smart-wireless-gateway-1410-emerson-fr>. Consulté le 10.07.2020.
- [18] :<https://www.emerson.com/documents/automation/fiche-de-sp%C3%A9cifications-tankradar-rex-description-technique-rosemount-tank-gauging-fr-fr-80878>. Consulté le 07.07.2020
- [19] : Ch.Buratti et A.L:« An overview on wireless sensor networks technology and evolution ». (2009), p. 6869–6896.
- [20] : M Younis ET K Akkaya: « Strategies and Techniques for Node Placement in Wireless Sensor Networks: A Survey ».2008, p. 621–655
- [21] : I Khoufi et Al: « Survey of Deployment Algorithms in Wireless Sensor Networks: Coverage and Connectivity Issues and Challenges ». « In:International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems» these de doctorat. France (2017), p. 341–390.
- [22] : D. S. Deif et Y. Gadallah. « Classification of Wireless Sensor Networks Deployment Techniques in: IEEE Communications Surveys Tutorials» 16.2 (2014), p. 834–855.
- [23] : A. Gallais and J. Carle: «An Adaptive Localized Algorithm for Multiple Sensor area Coverage. In Proceedings of 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications». Pages 525-532 2007.
- [24] : Y.Harrat : «Contribution à l’ordonnancement conjoint de la production et de la maintenance : Application au cas d’un job Shop». Thèse de Doctorat, L’U.F.R des Sciences et Techniques, Université de Franche-Comté, 2003.
- [25] : X. Cheng, DZ Du, L. Wang, and B. Xu:Relay: « sensor placement in wireless sensor networks,» ACM/Springer Journal of Wireless Networks», 14: pp. 347-355, 2008.

Annexe

Programme de simulation

Cycle:

```
clear all,clc
c=[605.03 66.04;605.09 156.98;521.65 302.42;442.18 348.26;272.8
347.5;195.95 302.72;111.22 157.49;
111.35 66.28;471.64 119.77;430.83 205.05;285.77 204.25;245.54 119.06];
nbr_cap=12;
clear s ;
for i=1:nbr_cap
    s(i).x=c(i,1);
    s(i).y=c(i,2);
end

disp(s);

n=[539.32 111.58;448.95 270.31;462.1 172.38;376.84 122.95;266.46
268.75;175.63 111.75;255.29 170.52;
338.96 122.59;358.13 41.79];
nbr_rel=9;
clear h ;
for i=1:nbr_rel
    h(i).x=n(i,1);
    h(i).y=n(i,2);
end

disp(h);

%mat=vnoeud(nbr_cap,c);%capteur capteur
%mat=vnoeud(nbr_rel,n) ;%relai relai
j=0;
%s=input('le voisin du capteur est ')

mat=0; % Initialisation de la matrice à vide
%[a,k]=size(c);
for s=1:nbr_cap
for i=1:nbr_rel
    % if (sqrt(([s,1]-[i,1])^2 + ([s,2]-[i,2])^2)<=80)
        if (abs(c(s,1)-n(i,1))<=80)
            if (abs(c(s,2)-n(i,2))<=80)
                j=j+1;
                mat(i,s)=1; % On construit le vecteur des
            end
        end% voisin pour le capteur numc
end
end
```



```

%capteur relai%
    %plot(mat);
    %figure(1)
disp(mat);

j=0;
np=[];
nbp=20;
paquet=200/nbp; %bit de paquet
a=[1:20];
b=[];
x=[];
%p=randi(1,1,8) % nbr panne =0
for v=1:12
    b(v)=paquet;
end
b
p=round(rand(1,8)) % existe des pannes
    for u=1:8
        if p(u)==0
            x(u)=0;
        % np(j)=i;
        else x(u)=paquet;

        end
    end
x
d=[b x]

% t=[0.96:0.96:0.96*20];
% h=[];
% for i=1:nbr_cap+nbr_rel
%     for j=1:length(t)
%         if i == j
%             h(i)=t(j);
%         end
%     end
% end
% h
% t=[19.2:0.96:19.2*2];
% m=[];
% for i=1:nbr_cap+nbr_rel
%     for j=1:length(t)
%         if i == j
%             m(i)=t(j);
%         end
%     end
% end
% m
% t=[19.2*2:0.96:19.2*3];
% s=[];
% for i=1:nbr_cap+nbr_rel
%     for j=1:length(t)
%         if i == j
%             s(i)=t(j);
%         end
%     end
% end

```

```

%         end
%     end
% end
% s
m=input('Nombre de cycle=');
n=19.2;
t=[];
attendre=[];
for f=1:m
    t=[n*(f-1)+0.96:0.96:n*f]           %le temps des diffenrent cycle
end

for l=1:20
    if d(l)==0
        attendre=[n-(1*0.96)+n*2]   %le temps a attendre pour retransmettre
        d(l)=10
    end
end

% for l=1:20
%     if d(l)==0
%         if mat(i,s)

```

Voisin de nœud:

```

function mat=vnoeud(nbr_cap,c,nbr_rel,n) % paramètres d'entrés: numéro de
capteur et matrice des capteurs
% Paramètre de sortie: la matrice des
voisin du noeud numc
j=0;
    %s=input('le voisin du capteur est ')

mat=0; % Initialisation de la matrice à vide
[a,k]=size(c);
for s=1:nbr_cap
for i=1:nbr_rel
    % if (sqrt(([s,1]-[i,1])^2 + ([s,2]-[i,2])^2)<=80)
        if (abs(c(s,1)-n(i,1))<=80)
            if (abs(c(s,2)-n(i,2))<=80)
                j=j+1;
                mat(i,s)=1; % On construit le vecteur des
            end
        end% voisin pour le capteur numc
end
end

```

Position:

```

clear all,clc
c=[605.03 66.04;605.09 156.98;521.65 302.42;442.18 348.26;272.8
347.5;195.95 302.72;111.22 157.49;
111.35 66.28;471.64 119.77;430.83 205.05;285.77 204.25;245.54 119.06];
nbr_cap=12;
clear s ;
for i=1:nbr_cap
    s(i).x=c(i,1);
    s(i).y=c(i,2);
end

```

```

disp(s);

n=[539.32 111.58;448.95 270.31;462.1 172.38;376.84 122.95;266.46
268.75;175.63 111.75;255.29 170.52;
338.96 122.59;358.13 41.79];

nbr_rel=9;
clear h ;
for i=1:nbr_rel
    h(i).x=n(i,1);
    h(i).y=n(i,2);

end
disp(h);
%mat=vnoeud(nbr_cap,c);%capteur capteur
%mat=vnoeud(nbr_rel,n) ;%relai relai
j=0;
%s=input('le voisin du capteur est ')

mat=0; % Initialisation de la matrice à vide
[a,k]=size(c);
for s=1:nbr_cap
for i=1:nbr_rel
    % if (sqrt(([s,1]-[i,1])^2 + ([s,2]-[i,2])^2)<=80)
        if (abs(c(s,1)-n(i,1))<=80)
            if (abs(c(s,2)-n(i,2))<=80)
                j=j+1;
                mat(i,s)=1; % On construit le vecteur des
                end
            end% voisin pour le capteur numc
end
end
%capteur relai%
disp(mat)
j=0;
np=[];
%p=randi(1,1,8); % nbr panne=0
p=round(rand(1,8));% existe des pannes
nbp=20;
paquet=200/nbp; %bit de paquet
a=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20];
b=[];
x=[];
for i=1:8
    if p(i)==0
        j=j+1;
        np(j)=i;
    end
end
np %afficher les nœud qui sont en panne
j %nbr de panne
for i=1:12
    b(i:12)=paquet;
    for f=13:20
        if p==0

            x(f)=0;
        else
            x(f)=paquet;
        end
    end
end

```

```

        end
        end
    end
    for f=13:20
        if p==1
            x(f)=0;
        end
    end
end
d=[b x];

clear all,clc
c=[605.03 66.04;605.09 156.98;521.65 302.42;442.18 348.26;272.8
347.5;195.95 302.72;111.22 157.49;
111.35 66.28;471.64 119.77;430.83 205.05;285.77 204.25;245.54 119.06];
nbr_cap=12;
clear s ;
for i=1:nbr_cap
    s(i).x=c(i,1);
    s(i).y=c(i,2);
end

disp(s);

n=[539.32 111.58;448.95 270.31;462.1 172.38;376.84 122.95;266.46
268.75;175.63 111.75;255.29 170.52;
338.96 122.59;358.13 41.79];

nbr_rel=9;
clear h ;
for i=1:nbr_rel
    h(i).x=n(i,1);
    h(i).y=n(i,2);
end

disp(h);
%mat=vnoeud(nbr_cap,c);%capteur capteur
%mat=vnoeud(nbr_rel,n) ;%relai relai
j=0;
%s=input('le voisin du capteur est ')

mat=0; % Initialisation de la matrice à vide
[a,k]=size(c);
for s=1:nbr_cap
    for i=1:nbr_rel
        % if (sqrt(([s,1]-[i,1])^2 + ([s,2]-[i,2])^2)<=80)
            if (abs(c(s,1)-n(i,1))<=80)
                if (abs(c(s,2)-n(i,2))<=80)
                    j=j+1;
                    mat(i,s)=1; % On construit le vecteur des
                end
            end% voisin pour le capteur numc
    end
end

disp(mat);
j=0;
np=[];

```

```

nbp=20;
paquet=200/nbp; %bit de paquet
a=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20];
b=[];
x=[];
%p=randi(1,1,8) % nbr panne =0
for v=1:12
    b(v)=paquet;
end
b
p=round(rand(1,8)) % existe des pannes
for i=1:8
    if p(i)==0
        x(i)=0;
    % np(j)=i;
    else x(i)=paquet;

    end
end
x
d=[b x]
tr=[0:0.96:0.96*20]

```

Programme génie:

```

clear all,clc
c=[605.03 66.04;605.09 156.98;521.65 302.42;442.18 348.26;272.8
347.5;195.95 302.72;111.22 157.49;
111.35 66.28;471.64 119.77;430.83 205.05;285.77 204.25;245.54 119.06];
nbr_cap=12;
clear s ;
for i=1:nbr_cap
    s(i).x=c(i,1);
    s(i).y=c(i,2);

end

disp(s);

n=[539.32 111.58;448.95 270.31;462.1 172.38;376.84 122.95;266.46
268.75;175.63 111.75;255.29 170.52;
338.96 122.59;358.13 41.79];

nbr_rel=9;
clear h ;
for i=1:nbr_rel
    h(i).x=n(i,1);
    h(i).y=n(i,2);

end
disp(h);
%mat=vnoeud(nbr_cap,c);%capteur capteur
%mat=vnoeud(nbr_rel,n) ;%relai relai
j=0;
%s=input('le voisin du capteur est ')

mat=0; % Initialisation de la matrice à vide
%[a,k]=size(c);
for s=1:nbr_cap

```

```

for i=1:nbr_rel
    % if (sqrt((s,1)-[i,1])^2 + (s,2)-[i,2])^2)<=80)
        if (abs(c(s,1)-n(i,1))<=80)
            if (abs(c(s,2)-n(i,2))<=80)
                j=j+1;
                mat(i,s)=1; % On construit le vecteur des
            end
        end% voisin pour le capteur numc
    end
end

disp(mat);
j=0;
np=[];
nbp=20;
paquet=200/nbp; %bit de paquet
a=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20];
b=[];
x=[];
%p=randi(1,1,8) % nbr panne =0
for v=1:12
    b(v)=paquet;
end
b
p=round(rand(1,8)) % existe des pannes
for i=1:8
    if p(i)==0
        x(i)=0;
        % np(j)=i;
    else x(i)=paquet;
    end
end
end
x
d=[b x]
tr=[0:0.96:0.96*20]

```

Résumé

Les réseaux capteur sans fils (RCSF) sont un domaine de recherche en évolution continue avec une multitude d'applications. Le déploiement des nœuds capteurs est une phase décisive qui influe considérablement sur le fonctionnement et la performance du réseau. Dans ce mémoire, nous nous intéressons à étudier le positionnement et le placement des nœuds capteurs dans un RCSF. Nous présentons tout d'abord la problématique de déploiement et nous détaillons ensuite les travaux de recherche les plus récents qui concernent les méthodologies de résolution de cette problématique.

L'intérêt de cette solution est de minimiser le câblage à fin d'éviter leur détérioration qui cause des interférences sur le fonctionnement de transmission de données et de réduire le temps de synchronisation.

Mots clefs : RCSF, optimisation, déploiement, positionnement, couverture, énergie, connectivité.

Abstract

Wireless Sensor Networks (RCFS) are an evolving area of research with a multitude of applications. The deployment of sensor nodes is a decisive phase which considerably influences the operation and performance of the network. In this paper, we are interested in studying the positioning and placement of sensor nodes in a RCSF. We first present the deployment issue and then most recent research work on methodologies for solving this issue.

The advantage of this solution is to minimize the wiring in order to avoid their deterioration which causes interference on the operation of data transmission and to reduce the synchronization time.

Key words: RCSF, optimization, deployment, positioning, coverage, energy, connectivity.

