

**REPUBLIQUE DU SENEGAL**  
**UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR**



**UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**DEPARTEMENT INFORMATIQUE**

# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Mention : Informatique**

**Spécialité : Réseaux et Systèmes**

## **Sujet**

# **Conception et Implémentation d'un Système Automatique de Détection, d'Analyse et d'Alerte en Temps Réel d'Incendie en Ville**

Présenté et soutenu publiquement par : **Mlle Ramatoulaye FAYE**

**Le Samedi 06 janvier 2024**

**Sous la direction de :**

Pr Ousmane DIALLO	Professeur Assimilé	Encadreur
Dr El Hadji Malick NDOYE	Maître de Conférences Titulaire	Co-encadrant

**Devant le jury composé de :**

Pr Ibrahima DIOP	Professeur Assimilé	Président
Dr Malaw NDIAYE	Enseignant-chercheur	Examineur
Dr Mouhamadou GAYE	Maître de Conférences Titulaire	Rapporteur
Pr Ousmane DIALLO	Professeur Assimilé	Encadreur
Dr El Hadji Malick NDOYE	Maître de Conférences Titulaire	Co-encadrant

**Année universitaire 2022-2023**

# Résumé

Les conséquences dévastatrices des incendies en milieu urbain résultent fréquemment d'une gestion inefficace et d'interventions tardives des sapeurs-pompiers, souvent entravées par des problèmes tels que la mauvaise planification urbaine, la congestion du trafic et la configuration étroite des voies. Une solution prometteuse repose sur l'utilisation des technologies de l'information et de la communication pour optimiser la gestion des incendies en milieu urbain.

Afin de surmonter ces défis, plusieurs mesures préventives peuvent être mises en œuvre, parmi lesquelles nous avons l'intégration des technologies de l'information et de la communication, notamment l'Internet des objets (IoT), se distingue. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude axée sur la conception et la mise en œuvre d'un système automatisé de détection, d'analyse et d'alerte en temps réel des incendies en milieu urbain nommé Système de gestion automatique d'incendie (SGAI).

Ce système repose sur l'utilisation de capteurs connectés tels que des capteurs de flamme, de fumée et de température, stratégiquement positionnés dans des zones à risque comme les couloirs, les escaliers, les salles électriques et les cuisines. L'algorithme permet de détecter les signaux d'incendie à partir des données collectées par ces capteurs. Dès qu'un signal téléphonique est identifié, le système déclenche une alerte en temps réel directement transmise aux sapeurs-pompiers.

Notre proposition intègre également un système de géolocalisation, facilitant une localisation rapide de l'incendie et fournissant un itinéraire optimisé pour guider les sapeurs-pompiers vers une intervention efficace. Combinant le système de détection automatisé avec une application de géolocalisation, cette solution vise à minimiser les pertes humaines et matérielles en permettant des interventions rapides et ciblées.

Cette approche novatrice peut être particulièrement bénéfique pour les entreprises, les édifices publics et les habitations, améliorant ainsi la sécurité des individus et des biens.

**Mots clés :** Incendie, système détection, Géolocalisation, Alerte, sapeurs-pompiers, Internet des Objets.

# Abstract

The devastating consequences of urban fires are frequently the result of ineffective management and late intervention by fire-fighters, often hampered by problems such as poor urban planning, traffic congestion and narrow lane configurations. A promising solution lies in the use of information and communication technologies to optimize urban fire management.

To overcome these challenges, several preventive measures can be implemented, among which the integration of new information and communication technologies, notably the Internet of Things (IoT), stands out. This is the background to our study, which focuses on the design and implementation of an automated system for real-time detection, analysis and warning of fires in urban environments named automatic fire management system.

This system is based on the use of connected sensors such as flame, smoke and temperature sensors, strategically positioned in high-risk areas such as corridors, staircases, electrical rooms and kitchens. The underlying algorithm detects fire signals from the data collected by these sensors. As soon as a telephone signal is identified, the system triggers a real-time alert that is transmitted directly to the fire department.

Our proposal also incorporates a geolocation system, facilitating rapid fire localization and providing an optimized route to guide firefighters to an effective response. Combining the automated detection system with a geolocation application, this solution aims to minimize human and material losses by allowing rapid and targeted interventions.

This innovative approach can be particularly beneficial for businesses, public institutions and homes, thus improving the safety of individuals and property

**Key words:** Fire, detection system, Geolocation, Alert, fire department, Internet of Things.

# Dédicace

A Mes très chers et adorables parents, en témoignage et en gratitude de leur dévouement, de leur soutien permanent durant toutes mes années d'études.

A mes frères et sœurs, au nom de leur amour et en témoignage à leur encouragement. Sans toutefois oublier mes amis qui m'ont encouragé et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Je dédie ce travail :

A mon très chers frère cheikh Ahmed Tidiane FAYE, l'homme qui est toujours disponible à mes services.

À Mon plus qu'ami Mr Moustapha FALL avec un grand remerciement pour son soutien, son aide et ses conseil religieux.

A tous ceux que j'aime tant et que je n'ai pas cités.

# Remerciements

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force, la santé, le courage, et la patience pour réaliser ce modeste travail sans lequel nous n'aurions pas pu progresser.

Nous tenons à remercier chaleureusement nos encadreurs Pr Ousmane DIALLO et Dr El Hadji Malick NDOYE, pour leur aide constante, leurs conseils judicieux, et pour leurs précieuses remarques. Je leur suis reconnaissante pour leurs conseils et orientations.

Nous tenons à citer dans ces remerciements les membres du jury pour l'attention qu'ils ont portés à notre mémoire d'études, en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

D'autre part, nos vifs remerciements s'adressent à toutes personnes qui nous ont aidé de près ou de loin durant notre travail et un grand merci à mon ami Mr Aly SOW pour son aide constant.

## Table des Matières

<b>Résumé</b> .....	I
<b>Abstract</b> .....	II
<b>Dédicace</b> .....	III
<b>Remerciements</b> .....	IV
<b>Table des figures</b> .....	VIII
<b>Liste des tableaux</b> .....	X
<b>Liste des Abréviations</b> .....	X
<b>Introduction Générale</b> .....	1
<b>PREMIERE PARTIE</b> .....	3
<b>ETAT DE L'ART ET PRESENTATION DE NOTRE CONTRIBUTION</b> .....	3
<b>Chapitre 1 : la Gestion des incendies en ville</b> .....	4
<b>I.Généralités sur incendies</b> .....	4
<b>1.Déclenchement de l'incendie</b> .....	4
<b>2.Développement de l'incendie</b> .....	5
<b>3.Paramètre de l'incendie</b> .....	6
<b>4.Les types d'incendies</b> .....	7
<b>a.Incendies en combustion lente</b> .....	7
<b>b.Incendie en combustion rapide</b> .....	7
<b>5.Les conséquences d'un incendie</b> .....	7
<b>a.Les pertes en vie</b> .....	8
<b>b.Les pertes en biens</b> .....	8
<b>6.Les moyens de prévention d'un incendie</b> .....	8
<b>a.Les Robinets d'Incendie Armés (R. I. A)</b> .....	9
<b>b.Les extincteurs</b> .....	9
<b>c.Les Sprinklers</b> .....	10
<b>7.Le Système de gestion des incendies</b> .....	11
<b>II.La gestion des incendies au Sénégal</b> .....	11
<b>1.Problème de la gestion des incendies au Sénégal</b> .....	11
<b>2.Problématique et l'intérêt de la gestion des incendies intelligentes au Sénégal</b> .....	13
<b>Conclusion</b> .....	13
<b>Chapitre 2 : les types de système de gestion d'incendie et l'inclusion des technologies IoT</b> .....	14
<b>I.Les types de système de gestion d'incendie</b> .....	14
<b>1.Système de détection d'incendie (SDI)</b> .....	14
<b>2.Système de mise en sécurité d'incendie (SMSI)</b> .....	14

<b><u>3.Mesures de mise en sécurité</u></b> .....	15
<b><u>a.Mesures de prévention</u></b> .....	15
<b><u>b.Mesures de protection</u></b> .....	16
<b><u>II.Les technologies de l'internet des objets</u></b> .....	17
<b><u>1.Internet des objets</u></b> .....	18
<b><u>a.Définition</u></b> .....	18
<b><u>b.Architecture en couche de l'internet des objets</u></b> .....	18
<b><u>2.Les technologies de l'internet des objets</u></b> .....	20
<b><u>a.Réseaux étendus sans fils (WWAN)</u></b> .....	20
<b><u>b.Réseaux métropolitains sans fils (WMAN)</u></b> .....	21
<b><u>c.Réseaux locaux sans fils (WLAN)</u></b> .....	22
<b><u>3.Domaines d'application de l'IoT dans les villes intelligentes</u></b> .....	23
<b><u>Conclusion</u></b> .....	24
<b><u>Chapitre 3 : Etude de l'existant et présentation de notre contribution</u></b> .....	25
<b><u>I.Des applications de gestion d'incendie basées sur IoT proposées dans la littérature</u></b> .....	25
<b><u>II.Présentation de notre solution</u></b> .....	34
<b><u>1.Architecture et Algorithmes de fonctionnement de SGAI</u></b> .....	35
<b><u>2.Description de l'architecture</u></b> .....	36
<b><u>a.Smart Home</u></b> .....	36
<b><u>b.Owner</u></b> .....	37
<b><u>c.La passerelle</u></b> .....	37
<b><u>d.Server cloud</u></b> .....	37
<b><u>3.Algorithme de fonctionnement</u></b> .....	38
<b><u>Conclusion</u></b> .....	39
<b><u>DEUXIEME PARTIE</u></b> .....	40
<b><u>CONCEPTION ET REALISATION DE SGAI</u></b> .....	40
<b><u>Chapitre 1 : la conception de SGAI</u></b> .....	41
<b><u>I.Méthodologie utilisée</u></b> .....	41
<b><u>II.Analyse et Identification des besoins fonctionnel</u></b> .....	41
<b><u>1.Identification des acteurs</u></b> .....	42
<b><u>2.Diagramme de cas d'utilisation</u></b> .....	42
<b><u>3.Cas d'utilisation détaillé</u></b> .....	43
<b><u>a.Diagramme de cas d'utilisation d'acquisition de données</u></b> .....	43
<b><u>b.Diagramme de cas d'utilisation de consultation des données</u></b> .....	45
<b><u>c.Diagramme de cas d'utilisation d'Administration du système</u></b> .....	48
<b><u>4.Diagramme de séquence de notre système</u></b> .....	49
<b><u>a.Diagramme de séquence du cas d'utilisation Acquisition de données</u></b> .....	50
<b><u>b.Diagramme de séquence du cas d'utilisation consultation de données</u></b> .....	50
<b><u>5.Diagramme de classe de notre système</u></b> .....	51

<b><u>III.Réseau de communication de SGAI</u></b> .....	52
<b><u>IV.Conception d'un prototype matériel d'un système de détection d'incendie</u></b> .....	53
<b><u>V.Choix des technologies</u></b> .....	53
<b><u>1.Les objets connectés</u></b> .....	53
<b><u>a.Une carte Arduino</u></b> .....	53
<b><u>b.Capteur de température et d'humidité (DTH11)</u></b> .....	54
<b><u>c.Capteur de fumée</u></b> .....	54
<b><u>d.Capteur de flamme</u></b> .....	55
<b><u>e.Module GPS</u></b> .....	55
<b><u>f.Module GSM</u></b> .....	56
<b><u>g.Pompe à eau</u></b> .....	56
<b><u>2.Les outils de développement</u></b> .....	57
<b><u>a.Plateforme de programmation Arduino</u></b> .....	57
<b><u>b.AppInventor</u></b> .....	58
<b><u>c.Xampp</u></b> .....	58
<b><u>d.Visual studio code</u></b> .....	58
<b><u>e.Framework</u></b> .....	58
<b><u>f.Openstreemap</u></b> .....	59
<b><u>g.JavaScript</u></b> .....	59
<b><u>h.Python</u></b> .....	59
<b><u>i.La gestion d'alimentation de SGAI</u></b> .....	60
<b><u>Conclusion</u></b> .....	60
<b><u>Chapitre 2 : Implémentation de SGAI</u></b> .....	61
<b><u>I.Implémentation du prototype matériel de système d'incendie automatique</u></b> .....	61
<b><u>II.Implémentation des applications web/Mobile</u></b> .....	64
<b><u>a.Application Web</u></b> .....	64
<b><u>b.Application Mobile</u></b> .....	66
<b><u>Conclusion</u></b> .....	66
<b><u>Chapitre 3 : Présentation du prototype réel de SGAI</u></b> .....	67
<b><u>I.Présentation du système automatique d'incendie</u></b> .....	67
<b><u>II.Présentation de l'application Web</u></b> .....	68
<b><u>III.Présentation de l'application mobile</u></b> .....	72
<b><u>Conclusion</u></b> .....	73
<b><u>Conclusion Générale</u></b> .....	74
<b><u>Bibliographie et Webographie</u></b> .....	76

# Table des figures

<b>Figure 1 : triangle du feu</b> .....	5
<b>Figure 2 : les phases de développement d'un incendie</b> .....	6
<b>Figure 3 : Robinet d'incendie armé (R.I.A)</b> .....	9
<b>Figure 4 : les différents types d'extincteurs</b> .....	10
<b>Figure 5 : le système sprinklers</b> .....	10
<b>Figure 6 : quelque problème de gestion des incendies au Sénégal</b> .....	12
<b>Figure 7 : Architecture en couche de l'IoT</b> .....	19
<b>Figure 8 : Domaines d'application de l'IoT</b> .....	23
<b>Figure 9 : prototype de Canon à eau</b> .....	26
<b>Figure 10 : mode de contrôle série</b> .....	26
<b>Figure 11 : Schéma fonctionnel du système</b> .....	27
<b>Figure 12 : Architecture du système de detection fiable avec intelligence artificielle multifonctionnel</b> .....	27
<b>Figure 13 : Instantané de l'interface graphique</b> .....	28
<b>Figure 14 : Architecture du système de detection du feu basé sur la couleur, forme et mouvement</b> .....	29
<b>Figure 15 : système de detection d'incendie et d'alerte basé sur les capteurs</b> .....	30
<b>Figure 16 : système de gestion des catastrophiques d'incendie basé sur l'augmentation de RIA</b>	31
<b>Figure 17 : système de detection d'incendie utilisant les Réseau de Capteur Sans Fils</b> .....	32
<b>Figure 18 : Implémentation d'un système de détection d'incendie et alerte au propriétaire</b> .....	33
<b>Figure 19 : conception du module matériel et implémentation du logiciel de système de détection et de notification d'incendie multi capteur</b> .....	34
<b>Figure 20 : Architecture Matérielle de SGAI</b> .....	36
<b>Figure 21 : Architecture logicielle de SGAI</b> .....	36
<b>Figure 22 : Algorithme de fonctionnement SGAI</b> .....	38
<b>Figure 23 : cas d'utilisation générale du système</b> .....	43
<b>Figure 24 : diagramme de cas d'utilisation Acquisition de données</b> .....	44
<b>Figure 25 : diagramme de cas d'utilisateur Consultation de données</b> .....	46
<b>Figure 26 : diagramme de cas d'utilisation d'administration du système</b> .....	48
<b>Figure 27 : diagramme de séquence de cas d'utilisation Acquisition de données</b> .....	50
<b>Figure 28 : diagramme de séquence de cas d'utilisation consultation de données</b> .....	51
<b>Figure 29 : Diagramme de classe du système</b> .....	52

<b><u>Figure 30 : carte Arduino Uno</u></b> .....	53
<b><u>Figure 31 : capteur de DTH11</u></b> .....	54
<b><u>Figure 32 : capteur de fumée</u></b> .....	54
<b><u>Figure 33 : capteur de flamme</u></b> .....	55
<b><u>Figure 34 : module GPS</u></b> .....	56
<b><u>Figure 35 : module GSM</u></b> .....	56
<b><u>Figure 36 : pompe à eau</u></b> .....	57
<b><u>Figure 37 : logiciel Visual code</u></b> .....	58
<b><u>Figure 38 : framework flask</u></b> .....	59
<b><u>Figure 39 : Openstreetmap</u></b> .....	59
<b><u>Figure 40 : système d'alimentation photovoltaïque</u></b> .....	60
<b><u>Figure 41 : connexion DTH11 sur Arduino</u></b> .....	61
<b><u>Figure 42 : connexion capteur de flamme sur Arduino</u></b> .....	62
<b><u>Figure 43 : connexion de capteur de fumée sur Arduino</u></b> .....	62
<b><u>Figure 44 : connexion module GSM ET GPS sur Arduino</u></b> .....	63
<b><u>Figure 45 : montage réel I de connexion des capteurs sur l'Arduino sur le système de détection d'incendie</u></b> .....	64
<b><u>Figure 46 : interface de localisation d'incendie</u></b> .....	66
<b><u>Figure 47 : Image du système qui détecte l'incendie</u></b> .....	68
<b><u>Figure 48 : page d'authentification</u></b> .....	69
<b><u>Figure 49 : page d'accueil du système</u></b> .....	69
<b><u>Figure 50 : liste des agents de sapeurs-pompiers connectés</u></b> .....	70
<b><u>Figure 51 : formulaire d'ajout d'un agent</u></b> .....	70
<b><u>Figure 52 : l'incendie localiser</u></b> .....	71
<b><u>Figure 53 : l'itinéraire de l'incendie par Application web</u></b> .....	71
<b><u>Figure 54 : Notification par sms du propriétaire</u></b> .....	72
<b><u>Figure 55 : Notification par sms du secouriste des sapeurs-pompiers</u></b> .....	72
<b><u>Figure 56 : l'itinéraire de l'incendie par Application Mobile</u></b> .....	73

## Liste des tableaux

<b><u>Tableau 1 : connexion DTH11 sur Arduino</u></b> .....	62
<b><u>Tableau 2 : connexion capteur de flamme sur Arduino</u></b> .....	62
<b><u>Tableau 3 : connexion de capteur de fumée sur Arduino</u></b> .....	62
<b><u>Tableau 4 : connexion module GSM ET GPS sur Arduino</u></b> .....	63
<b><u>Tableau 5 : création de la base de données des tables</u></b> .....	65
<b><u>Tableau 6 : connexion de la base de données sur application</u></b> .....	65
<b><u>Tableau 7 : code d'affichage du marqueur du lieu détecté</u></b> .....	66

# Liste des Abréviations

**TIC : Technologies de l'Information et de la Communication**

**SGAI : Sénégal gestion automatique d'incendie**

**BNSP : Brigade Nationale des Sapeurs-Pompiers**

**RIA : Appareils Respiratoires Isolants**

**IOT : Internet Of Things**

**SDI : Système de détection d'incendie**

**SSI : Système de Sécurité d'Incendie**

**DAAF : Détecteur Autonome Avertisseur de fumée**

**HR: Humidity Relative**

**ASIC: Application Specific Integrated Circuit**

**DM : Déclencheur Manuel**

**DA : déclencheur automatique**

**GII : gestion des incendies intelligentes**

**OMS : organisation mondiale du Sénégal**

**SDIA : système de détection des incendies automatiques**

**GPS: global Positioning system**

**GSM: global system for mobile**

**LTE: long term evolution**

**MQTT: Message Queuing Telemetry Transport**

**WIFI: Wireless Fidelity**

**XAMP: Xampp Apache MySQL Perl et PHP**

**URL: Uniform Resource Locator**

**UML: Unified Modeling Language**

# Introduction Générale

De nos jours, notre société est marquée par la révolution des technologies de l'information et de la communication (TIC) qui représentent un facteur influent dans l'amélioration du niveau de vie des citoyens. L'essor de ces technologies a donné naissance à de nombreuses autres technologies telles que les systèmes embarqués, les objets connectés, la communication sans fil, l'analyse des données, les technologies de détection et d'actionnement, etc. En outre, ces avancées technologiques se dirigent vers d'autres domaines afin d'apporter des solutions innovantes. Parmi eux, l'Internet des objets (IoT) se démarque en offrant des avantages significatifs, particulièrement dans le contexte environnemental [1].

Ainsi, l'IoT est la communication des objets entre eux. Certains considèrent que c'est la troisième génération d'Internet connue sous le nom du web 3.0. IoT représente les échanges d'informations et de données provenant des dispositifs physiques vers le réseau Internet. L'IoT est un concept permettant aux objets physiques d'être identifiés, de communiquer entre eux, et de pouvoir mesurer et échanger des données entre le monde physique et virtuel (informatique). Ces objets sont des dispositifs permettant de collecter, stocker, transmettre et traiter des données issues du monde physique. Ce sont des sources de données identifiées de façon unique et ayant un lien direct ou pas avec Internet. Un objet peut être connecté à Internet ou bien à d'autres objets [2].

Cependant, avec un monde bouleversé d'une série d'incendies urbains dont souvent l'homme s'en aperçoit tardivement, mettre un système de détection et d'alerte automatique aux sapeurs-pompier s'impose pour une réduction des dégâts tels que vie humaine et animale, environnements, matériaux, etc.

Dès lors, l'homme se pose la question de comment prendre connaissance de ces incendies en temps réel afin de pouvoir informer à l'immédiat les propriétaires et les sapeurs-pompier pour qu'ils puissent prendre des mesures à temps ?

C'est dans ce sens que s'inscrit notre sujet du présent mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme de master en Informatique, spécialité Réseaux et Système intitulé « Conception et l'implémentation d'un système automatique de détection, d'analyse et d'alerte en temps réel d'incendie en ville » qui vient apporter des solutions à cette question.

Sur ce travail, nous allons nous intéresser à la surveillance d'éventuels incendies des villes urbaines sénégalaises qui sont encore à la quête de nouvelles solutions pour améliorer ses qualités et même ses performances économiques.

L'objectif de ce mémoire n'est pas seulement d'utiliser les technologies modernes, mais aussi d'améliorer les facteurs mentionnés ci-dessus en réduisant le temps de détection des incendies, en minimisant les fausses alarmes et en émettant des réponses et des notifications opportunes aux services d'incendie en cas de feux urbains.

Afin d'atteindre les objectifs escomptés, ce mémoire est divisé en deux (2) parties.

La première partie intitulée État de l'art et présentation de notre contribution. Elle est divisée en trois (3) chapitres. Le premier chapitre présente la gestion des incendies en ville au Sénégal, puis le second parle des types de systèmes de gestion d'incendie de manière détaillée et de l'inclusion des technologies IoT. Le dernier chapitre s'accroche sur l'étude de l'existant et présentation de notre solution proposée, nommée Système de gestion automatique d'incendie (SGAI).

La deuxième partie traite de la conception et réalisation de SGAI et comporte trois (3) chapitres. Nous avons parlé d'abord dans le premier chapitre des méthodes d'analyse et de conception, puis dans le second chapitre l'implémentation du système de gestion automatique d'incendie est présentée et enfin dans le troisième et dernier chapitre la présentation de notre prototype réel du système de gestion automatique d'incendie.

## **PREMIERE PARTIE**

---

---

# **ETAT DE L'ART ET PRESENTATION DE NOTRE CONTRIBUTION**

---

---

# Chapitre 1 : La Gestion des incendies en ville

La surveillance et la maîtrise des incendies dans les villes sont devenues le mot d'ordre dans tous les pays, particulièrement au Sénégal. Ainsi, la gestion des incendies est un processus qui permet la prévention des incendies et en se préparant face aux situations d'urgence. Bien que la prévention des incendies demeure la stratégie principale en matière de sécurité incendie, il est nécessaire de mettre en place des mesures d'atténuation. Ces mesures ont pour objectif de détecter rapidement un incendie, de déclencher l'alarme, de maîtriser et d'éteindre le feu, tout en assurant des actions fiables pour évacuer rapidement le personnel et les autres personnes présentes sur les lieux [3].

Dans ce chapitre, nous allons décrire la gestion des incendies, en décrivant d'abord les généralités sur les incendies, ensuite les problèmes liés à la gestion des incendies en ville et leur conséquence au Sénégal, et enfin dégager la problématique et la motivation du sujet.

## I. Généralités sur les incendies

Depuis la Préhistoire, le feu fait partie intégrante de notre quotidien. Utilisée pour se chauffer, cuisiner, c'est une ressource dont l'être humain ne peut se passer. Cependant, une mauvaise maîtrise des flammes ou des conditions dangereuses peuvent entraîner un risque d'incendie. Un incendie est une réaction de combustion non maîtrisée dans l'espace et dans le temps [4]. C'est un feu qui peut être violent et destructeur pour les activités humaines et aussi la nature.

La présentation des données par la Protection Civile au Sénégal révèle des statistiques préoccupantes concernant les incendies en milieu urbain. Parmi les 2 391 incidents recensés, 979 se sont déclarés dans des habitations, suivis par les secteurs industriels (145) et les établissements accueillant du public (96) [5]. Ces chiffres inquiétants soulignent l'urgence d'une action coordonnée pour prévenir et atténuer les risques d'incendie. Les incendies domestiques représentent la majorité des cas, mettant en évidence la nécessité d'une sensibilisation accrue au sein des communautés. Les causes principales incluent souvent des équipements électriques défectueux, des installations de gaz mal entretenues et parfois même un manque de conscience quant aux mesures de sécurité de base.

Pour inverser cette tendance alarmante, il est impératif d'intensifier les campagnes éducatives sur la prévention des incendies, en mettant l'accent sur l'entretien régulier des équipements domestiques, l'installation correcte des dispositifs de sécurité et l'élaboration de plans d'évacuation clairs au niveau familial. En outre, la collaboration entre les autorités locales, les

services d'incendie et les organisations non gouvernementales est cruciale pour élaborer des stratégies efficaces de réponse aux incendies et assurer une intervention rapide.

Au-delà de la prévention, il est essentiel d'investir dans des infrastructures et des équipements modernes pour renforcer les capacités des services de lutte contre les incendies. La formation continue du personnel et l'acquisition de technologies de pointe sont des éléments clés pour améliorer l'efficacité des opérations de secours.

En conclusion, ces statistiques alarmantes appellent à une action immédiate et coordonnée pour faire face à la menace croissante des incendies en milieu urbain. La sécurité de nos foyers, industries et espaces publics dépend de notre capacité à anticiper, prévenir et répondre efficacement à ces situations d'urgence.

## 1. Déclenchement de l'incendie

L'incendie est une réaction de combustion. Ce dernier est une réaction d'oxydation d'un combustible par un comburant, nécessitant une source d'énergie pour être initiée [6]. Cependant, de nombreuses causes peuvent être à l'origine de la naissance d'un incendie. Ses causes peuvent être de trois ordres telles que : combustible, comburant et énergie d'activation [7]. Malgré le nombre de causes diverses, le type le plus fréquent que l'on rencontre en ville est le court-circuit. En effet, il désigne un phénomène électrique pouvant se produire quand deux points conducteurs (généralement suite à un défaut d'isolation) entrent en contact direct. Ainsi, pour qu'un incendie se déclare, il faut donc du combustible, du comburant et une source d'énergie. C'est ce qu'on appelle le triangle du feu [8]. La figure suivante montre le triangle du Feu.



Figure 1 : triangle du feu

## 2. Développement de l'incendie

Un incendie se développe en plusieurs étapes au cours desquelles la température du gaz sous le plafond s'élève. Selon la force et les circonstances de la focalisation initiale, elle s'étend plus ou moins et finit par s'estomper. Dans [7], les étapes ont été décrites et représentées par des numéros au niveau de la figure suivante.

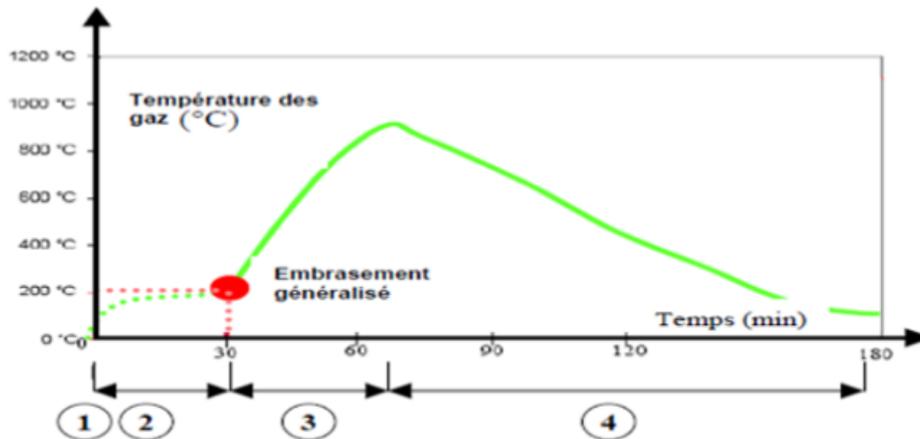


Figure 2 : les phases de développement d'un incendie

## 3. Paramètre de l'incendie

L'effet principal du feu est évidemment de dégager de la chaleur ; la quantité de chaleur dégagée est en fonction de trois paramètres à savoir : la valeur calorifique, le potentiel thermique et la production de chaleur [9].

- La valeur calorifique d'un combustible est la chaleur dégagée par la combustion complète de 1 kg de ce combustible (s'il s'agit d'un solide ou d'un liquide), ou la combustion complète de 1 mètre cube (s'il s'agit d'un gaz). Le pouvoir calorifique du bois est de 17 MJ/kg (soit 4000 kcal/kg) [9].
- Le potentiel thermique (ou charge calorifique) d'une pièce est la chaleur totale qui peut être dégagée par la combustion de tous les éléments combustibles de la pièce, convertie en surface unitaire. Par conséquent, le pouvoir calorifique est exprimé en MJ/m<sup>2</sup>. Parfois cette mesure est ramenée à l'équivalent de la chaleur dégagée par 1 kg de bois puis exprimée en kg de bois/m<sup>2</sup>. 1 kg bois/m<sup>2</sup> X 17 MJ/kg = 17 MJ/m<sup>2</sup> Le potentiel thermique moyen de la maison est de 780 MJ/m<sup>2</sup>[9].
- La production de chaleur est la chaleur générée par la masse d'une substance combustible par unité de temps. Le flux de chaleur est un élément essentiel pour caractériser l'échauffement. Cela dépend de différents facteurs qui peuvent analyser le risque

d'incendie : alimentation du comburant combustible (ventilation du lieu), statut de classification des substances combustibles, méthode de stockage de carburant [9].

#### **4. Les types d'incendies**

Les incendies peuvent être à combustion rapide ou à combustion lente selon la rapidité avec laquelle ils se déclenchent.

##### **a. Incendies en combustion lente**

Les incendies à combustion lente se produisent généralement lorsqu'un objet qui se consume, comme une cigarette, est laissé sans surveillance. Ces incendies dégagent une fumée très épaisse, susceptible de contenir des substances chimiques toxiques, telles que du monoxyde de carbone et du cyanure. Un feu à combustion lente peut se transformer en un feu à combustion rapide lorsqu'il se propage dans la maison et attaque différents matériaux [10].

##### **b. Incendie en combustion rapide**

Un feu à combustion rapide se produit lorsque des liquides inflammables, du bois ou du papier s'enflamment, ou lorsque les flammes se propagent à d'autres objets. Ces feux produisent beaucoup de flammes et peu de fumée. C'est le type d'incendie domestique le plus courant [10].

L'intensité d'un incendie peut également varier considérablement en fonction de plusieurs autres facteurs : la source des flammes, le nombre et le type d'objets à proximité du feu et les conditions météorologiques. Par exemple, les incendies dans les cuisines et même les marchés sont plus fréquents dans les villes. Ils représentent près de la moitié des incendies domestiques et sont également fréquents dans d'autres villes. Dans la cuisine, les incendies peuvent être déclenchés par l'huile, les fours et les appareils. De même, une sècheuse obstruée par des peluches, des prises électriques surchargées, une cheminée non ramonée et des appareils mal installés sont autant de causes potentielles d'un incendie domestique [10].

#### **5. Les conséquences d'un incendie**

Les incendies, qu'ils soient accidentels ou non, ont une puissance de destruction extrêmement élevée. Ils réduisent à néant tous les objets et toutes formes de vie si on ne les arrête pas à temps. En effet, les incendies ont de très grandes conséquences, et ceci, sur pratiquement tous les plans que ce soit financier, environnemental, humain et même social en fonction des entreprises.

### **a. Les pertes en vie**

Ce ne sont pas les flammes qui sont à l'origine des pertes de vies, mais ce sont en effet la fumée et les gaz toxiques qui se dégagent lors d'un incendie, tels que l'oxyde de carbone, le dioxyde de carbone, l'acide cyanhydrique et l'acide chlorhydrique.

Plus des deux tiers des victimes décèdent suite à l'inhalation de gaz toxiques, qui perturbent la respiration, la circulation sanguine et le système nerveux. Même l'inhalation d'air chaud et de particules de suie se trouvant dans la fumée, a une influence dévastatrice sur les poumons. À ce moment, la victime n'a généralement plus la possibilité de s'enfuir, la formation de fumée ayant réduit la visibilité de manière considérable. De nombreuses personnes périssent également suite à l'effondrement des constructions ou de certaines parties des bâtiments. La propagation rapide et inattendue d'un incendie peut littéralement emprisonner une personne dans un immeuble et rendre toute fuite impossible [11].

### **b. Les pertes en biens**

Pour une entreprise, les dégâts subis par les biens mobiliers et immobiliers peuvent avoir des conséquences dramatiques. L'étendue des dommages matériels ne peut être déterminée qu'après l'incendie. Documents, fichiers de données, dessins et prescriptions, machines, stocks et marchandises à livrer, tout disparaît en un coup. Il faut alors se concerter, prendre des dispositions, trouver une solution pour pouvoir continuer, ce qui nécessite beaucoup de temps, plus qu'on ne le croit. Dans ce cas, les clients refusent d'attendre et font appel au service du concurrent. En addition aux dégâts cités, près de 70 % des sinistres, l'entreprise subira des problèmes économiques et le personnel se retrouve au chômage [12].

## **6. Les moyens de prévention d'un incendie**

L'incendie est un phénomène physique bien compris et étudié par la science. Il résulte de la combustion d'un combustible en présence d'une source de chaleur et d'oxygène. Les conditions nécessaires pour qu'un incendie se produise sont donc bien connues et il est possible de les contrôler pour prévenir ou limiter les dommages causés par un incendie.

Cependant, il est important de souligner que la maîtrise de l'incendie ne se limite pas seulement à la compréhension scientifique du phénomène. Elle implique également la mise en place de mesures préventives et la formation de personnes compétentes en matière de prévention et de lutte contre les incendies. Il est donc essentiel de prendre en compte l'ensemble des facteurs qui peuvent contribuer à la survenue d'un incendie, tels que les sources de chaleur, les matériaux combustibles, les installations électriques, etc.

Enfin, il convient de souligner que la prévention des incendies est une responsabilité collective qui implique la participation de tous les acteurs de la société. Les autorités, les professionnels de la sécurité incendie, les entreprises, les particuliers, tous ont un rôle à jouer dans la réduction des risques d'incendie.

### a. Les Robinets d'Incendie Armés (R. I. A)

Les Robinets d'Incendie Armés (RIA), illustrés dans la figure suivante, constituent des moyens de secours de première intervention. Ils sont implantés à l'intérieur des bâtiments, le plus près possible des risques à protéger. Le nombre et le choix de leurs emplacements doivent être tels que toute la surface des locaux puisse être atteinte (dans les locaux à risques importants, tout point de la surface doit pouvoir être atteint par au moins deux jets de lance) [13].



Figure 3 : Robinet d'incendie armé (R.I.A)

### b. Les extincteurs

Un extincteur est un appareil contenant un produit extincteur (eau, CO<sub>2</sub>, poudre) qui peut être projeté et dirigé sur un feu par l'action d'une pression (permanente ou auxiliaire), ceci ayant pour but d'éteindre un début d'incendie. La nature de l'agent extincteur retenu est fonction de la classe de feu la plus probable dans la zone d'utilisation de l'appareil [14].

En effet, nous avons les différents types d'extincteurs dans la figure suivante :



a) à eau pulvérisée

b) à CO<sub>2</sub> / à neige carbonique

c) à poudre

Figure 4 : les différents types d'extincteurs

### **c. Les Sprinklers**

Le système sprinkler de la figure ci- dessous est constitué de petites têtes métalliques fixées au plafond de locaux et destinées à projeter de l'eau lors d'une alarme incendie [15].

Ainsi, L'efficacité du système repose sur l'adéquation au risque à protéger et sur la protection de la totalité des locaux. Il permet une action rapide et autonome sur un départ de feu, il constitue le moyen de protection incendie privilégié pour les établissements présentant des enjeux humains ou économiques importants [16].



*Figure 5 : le système sprinklers*

## **7. Le Système de gestion des incendies**

Le système de gestion des incendies est un système qui vous permettra de concevoir, de gérer, de planifier et de coordonner les procédures de sécurité incendie dans leur intégralité. Cela vise à prévenir et à réduire les risques d'incendie potentiels [17].

Cependant, les différentes procédures de sécurité incendie pour la gestion doivent avoir lieu de façon simultanée :

- Déclenchement de l'alarme et de l'évacuation du personnel ou de la mise en sécurité : désigne des personnes en situation de handicap le nécessitant, rapidement mais sans précipitation, dans le respect des consignes et des procédures [18] ;
- Alerte : informer l'immédiat des secours extérieurs (sapeurs-pompiers) ;

- Réaction rapide et appropriée du personnel à proximité : désigne le plan pour essayer d'éteindre l'incendie dans l'attente de l'intervention des secours extérieurs.

## **II. La gestion des incendies au Sénégal**

La sécurité incendie est un élément crucial de toute entreprise, de toute communauté et de toute habitation au Sénégal. En effet, les incendies peuvent être catastrophiques, entraînant des pertes humaines et matérielles considérables. Par conséquent, il est essentiel de prendre des mesures pour prévenir les incendies et réduire les risques d'incendie.

Malgré les stratégies de prévention et de sensibilisation, ainsi que des normes et des réglementations strictes, le Sénégal devient de plus en plus incendié. Selon les dernières données de l'organisation mondiale du Sénégal (OMS) publiées en 2020, les personnes décédées sur ces incendies sont au nombre de 448 au total sans compter les pertes en bien [19]. Prenons l'exemple des marchés en ville, plus de 70 marchés ont brûlé au Sénégal durant les 5 dernières années [20]. L'accroissement de ces incendies devient un véritable problème de politique publique au Sénégal.

### **1. Problème de la gestion des incendies au Sénégal**

Les incendies représentent un réel danger pour notre société avec de sinistres conséquences de plus en plus présentes. Depuis un certain temps, chaque année au Sénégal des incendies sont recensés en milieu urbain, dans les maisons, les buildings, les marchés, etc. Malgré le travail indéniable des sapeurs-pompiers, les normes de sécurité établies dans les établissements à risques et les différentes campagnes de prévention mises en place, le risque d'incendie reste important. En effet, dans les villes très peuplées, les risques d'incendie sont encore plus élevés en raison de la densité des bâtiments et de la complexité de l'environnement urbain.

Aujourd'hui, prévenir et contrôler ces catastrophes représentent alors un véritable challenge, mais les outils pour y parvenir ne sont pas toujours efficaces. En effet, les moyens traditionnels utilisés présentent des limites, cependant il semble que les problèmes de la gestion des incendies correspondants soient confrontés aux défis, aux obstacles auxquels les autorités, les services d'incendies et les acteurs impliqués dans la gestion des incendies peuvent être confrontés et sans oublier les difficultés d'accès pour les services d'urgence dans les zones urbaines. Plusieurs problèmes sont observés dans la gestion des incendies au Sénégal, parmi lesquels on peut citer :

- Retard de l'intervention des sapeurs-pompiers
- L'absence de voie aménagée pour les ambulances et les véhicules de pompiers

- Manque de disposition de plan de situation des lieux pour repérer les bouches d'incendies
- Problème d'accès à une source d'eau pour l'approvisionnement des points citernes.
- Manque d'eau des sapeurs-pompiers au niveau du lieu d'incendie détecté
- Difficile de rejoindre les sapeurs-pompiers en temps
- Défaut de fluidité de la circulation
- L'absence de voie aménagée pour les ambulances et les véhicules de pompiers

Tous ces aspects du problème des incendies constatés ne peuvent être pris en compte adéquatement et complètement que dans le cadre de la gestion des incendies intelligente à travers ces outils de technologie avancée existants. Voici en image quelques problèmes mentionnés ci-dessus de la gestion des incendies au Sénégal :



*Figure 6 : quelques problèmes de gestion des incendies au Sénégal*

## **2. Problématique et l'intérêt de la gestion des incendies intelligentes au Sénégal**

La problématique de ce mémoire porte sur la gestion intelligente des incendies au Sénégal. Elle est également connue sous le nom de gestion des incendies connectés ou gestion des incendies numériques. Ces définitions font référence à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans la prévention, la détection, la surveillance, la coordination et la réponse dans la gestion des incendies.

Bien qu'elle présente de nombreux avantages et intérêts face aux défis de la gestion traditionnelle des incendies, elle n'est pas sans ses problématiques. Voici quelques-unes de ses problématiques liées à l'intérêt de la gestion des incendies :

- Coûts élevés : la mise en place de système de gestion des incendies intelligents peut être coûteuse, notamment en ce qui concerne l'acquisition de technologies de pointe, la formation du personnel et la maintenance régulière des équipements. Les coûts associés à

la gestion intelligente des incendies peuvent représenter un obstacle significatif pour certaines régions ayant des ressources financières limitées.

- **Accessibilité et infrastructure** : Optimiser l'accessibilité des services de secours à l'espace urbain revêt une importance capitale pour réduire les délais d'intervention, un facteur déterminant dans la gestion des incendies. Cela implique de prendre en compte divers éléments tels que les dimensions des voies locales, la facilité d'accès à l'intérieur des îlots urbains, ainsi que la création de voies de circulation dédiées sur les axes à forte densité de trafic.

## **Conclusion**

La gestion d'incendie est devenue une préoccupation majeure pour les gouvernements, les organisations et les individus. Il est important d'assurer une sécurité d'incendie efficace dans les villes en utilisant des techniques et des stratégies efficaces pour les prévenir, les détecter et les éteindre rapidement avec l'aide de l'Internet des objets.

L'intégration de ce dernier pour élaborer un système de détection et d'alerte incendie représente une avancée significative susceptible d'optimiser la sécurité incendie et la durabilité des villes. Cette approche vise à sauvegarder la vie humaine, protéger les biens matériels, et minimiser les pertes financières résultant des incendies, que ce soit dans des bâtiments spécifiques ou dans leur voisinage. Grâce à des capteurs intelligents alimentant des données à des algorithmes sophistiqués, cette technologie permet une détection précoce des incendies, facilitant ainsi une réaction rapide et efficace des services d'incendie et des habitants. En renforçant la sécurité incendie, cette démarche contribue également à la durabilité des villes en réduisant les risques de destruction généralisée et en limitant l'impact environnemental résultant des incendies évités ou rapidement maîtrisés.

# **Chapitre 2 : les types de système de gestion d'incendie et l'inclusion des technologies IoT**

La numérisation et les nouvelles technologies permettent d'apporter des améliorations dans de nombreux secteurs, et la sécurité incendie n'est pas en reste. Depuis l'invention du premier arroseur automatique, la technologie a parcouru un long chemin pour rendre la prévention des incendies plus efficace et plus fiable. Dans ce chapitre, nous allons présenter les types de systèmes de gestion d'incendie, les concepts de l'internet des objets, en commençant par sa définition, son architecture, ses composants et ses domaines d'applications dans les villes intelligentes.

## **I. Les types de système de gestion d'incendie**

Un Système de gestion d'incendie (SGI) définit l'ensemble des dispositifs installés pour détecter, informer, intervenir et éventuellement évacuer un bâtiment en cas d'incendie. Il comporte un système de détection d'incendie (S.D.I) et un système de mise en sécurité d'incendie (S.M.S.I). L'installation d'un type de SSI est fixée par le Règlement de Sécurité ou la Commission de Sécurité. Selon le niveau de risque incendie dans un établissement, les SGI sont répartis en cinq catégories (A, B, C, D et E). La catégorie A étant la plus complète et E la plus basique. Suivant sa catégorie, un SSI doit pouvoir prendre en charge le désenfumage, le mécanisme des portes coupe-feu, l'extinction automatique, l'évacuation des personnes ainsi que l'arrêt éventuel d'installations techniques et électriques [21].

### **1. Système de détection d'incendie (SDI)**

Le système de détection d'incendie est le processus qui permet de détecter la présence d'un feu dès les premiers stades de sa formation. Son but est de détecter et notifier tout début d'incendie, déterminer les zones concernées et, si nécessaire, lancer les équipements de sécurité. Plusieurs types de détecteurs peuvent garantir la surveillance automatique d'un local : détecteurs de fumées, détecteurs de chaleur, détecteurs de flamme et autres. Ils peuvent être munis de déclencheurs manuels (DM) à la portée de personnes détectant un feu. Il est dit de type conventionnel lorsque la détection se fait au niveau de l'ensemble d'une boucle d'organes de détection. Il est adressable si, il y a identification et localisation de zones distinctes de détection composées de 1 ou plusieurs organe(s) de détection sur une même boucle.

## **2. Système de mise en sécurité d'incendie (SMSI)**

Se basant sur les données fournies par le système de détection, le SMSI contrôle principalement le compartimentage, le désenfumage et l'évacuation. Le compartimentage comprend des portes et clapets coupe-feu, la mise en arrêt d'équipements (ascenseurs) ou installations (gaz, chauffage) permettant de limiter la propagation du feu. Afin de faciliter l'évacuation des personnes et l'intervention des secours, le désenfumage a pour but l'extraction des fumées et des gaz de combustion et emploie plusieurs équipements tels des exutoires, des trappes, ou autres. L'évacuation des personnes est guidée par des issues de secours, des blocs d'éclairage et les alarmes incendies.

## **3. Mesures de mise en sécurité**

Une mesure de sécurité incendie définit toutes les procédures techniques et organisationnelles pour minimiser le risque d'incendie encouru dans un établissement [22]. Deux catégories de mesures de sécurité peuvent être discernées : les mesures de prévention et les mesures de protection. La première catégorie vise à éviter la survenue d'un incendie ou à limiter sa fréquence d'occurrence. La deuxième aide à limiter sa gravité.

### **a. Mesures de prévention**

Plusieurs mesures de prévention peuvent être prises :

- Consignes de [sécurité 23] : la plupart des établissements sont équipés de consignes de sécurité incendie incitant à diminuer l'existence de sources d'inflammation.
- Formation du personnel [24] : un personnel formé contribue à la diminution du risque incendie du fait de sa connaissance des lieux et des actions à entreprendre dans une telle situation. La formation doit couvrir : les risques incendie inhérents à l'activité de l'établissement, la prévention contre l'incendie, le comportement des personnes, l'utilisation des moyens de protection tels qu'un extincteur, le concept d'intervention et le secourisme.
- Lutte contre la malveillance [25] : la malveillance est un élément de risque d'occurrence de plusieurs départs de feu. Les mesures de prévention consistent à empêcher l'entrée et sortie aux locaux, spécialement après les heures de travail, barricader le site pour empêcher l'accès et s'assurer du bon état de cette barrière, renforcer la surveillance au niveau des accès, assurer un bon éclairage, implanter des caméras de surveillance et des

postes de gardiennage et restreindre l'accès aux endroits sensibles tels les postes de contrôle, d'électricité et d'eau.

- Sources d'inflammation [26] : limiter les sources d'inflammation permet de réduire le risque d'incendie et imposer des mesures de prévention comme l'interdiction de fumer ou l'introduction de liquides inflammables dans un bâtiment. Il faut garantir la mise à terre des installations pour limiter les risques d'attraction de la foudre et des problèmes liés à l'électricité, et aussi mettre en place des consignes de circulation et de lutte contre la négligence.
- Contrôle et maintenance des installations [3] : vérification et réparation périodique des installations et matériels liés à la sécurité incendie au niveau de l'établissement.

## **b. Mesures de protection**

- Compartimentage [27] : la division d'une grande cellule en compartiments plus petits est un élément indispensable pour la sécurité. Il permet de diminuer les causes de diffusion, de limiter l'énergie thermique rayonnée sur les humains et les objets, de séparer les pièces dangereuses, ce qui facilite l'opération de secours. Le compartimentage peut être matérialisé par des murs séparatifs spéciaux en béton armé, des portes coupe-feu équipées de système de fermeture (relié au système de détection incendie). Pour faciliter l'évacuation en cas de danger, des barres antipaniques doivent être installées et les sorties libres et non gênées par des obstacles. Le calfeutrement des ouvertures (telles la ventilation et les conduites de câbles) dans les murs coupe-feu est un autre moyen d'assurer un bon compartimentage pour minimiser les risques d'incendie.
- Mesures organisationnelles [28] : la structuration de la sécurité dans l'établissement rend plus simple et plus facile l'intervention dans une situation de feu. Les principales actions à entreprendre résident dans la mise en place d'une structuration incendie et les missions dévolues à chacun, la mise à jour des plans de l'établissement en indiquant les sorties et issues de secours, désigner les équipements de sécurité et de protection incendie et assurer leur contrôle et leur entretien périodique. Les simulations d'évacuation du personnel sont une mesure organisationnelle importante.
- Détection incendie [29] : la détection incendie, manuelle ou automatique, est l'étape préalable à l'action d'intervention et d'évacuation. Un appareil de détection doit découvrir et signaler le plus tôt et le plus clairement possible tout départ de feu. Le but de la détection incendie est de réduire le temps de déclenchement des outils de protection,

d'extinction et d'évacuation. Un système de détection d'incendie se compose de détecteurs automatiques et d'un tableau de signalisation qui, dès la détection d'un feu, reçoit un signal électrique. Leur rôle est de détecter une mesure caractéristique de l'incendie, la transformer en signal électrique puis lancer une alarme sonore et visuelle.

- Alarme [30] : un système d'alarme est composé d'appareils d'alerte reliés au tableau de signalisation du système de détection. Il émet un signal sonore et/ou visuel, qui peut être soit une alarme restreinte avertissant le poste de sécurité incendie de l'établissement, soit une alarme générale sélective qui a pour rôle de signaler un danger à une partie de l'établissement ou une alarme générale avertissant toutes les personnes présentes pour quitter immédiatement les lieux.
- Moyens d'extinction [14] : ils incluent des équipements pouvant être manipulés par le personnel ou les secours. Il existe plusieurs sortes de moyens tels que les points d'eau, des réserves naturelles ou artificielles, des bouches et poteaux d'incendie, des extincteurs, des robinets d'incendie armé (RIA), des colonnes sèches ou humides, permettant de connecter les tuyaux des sapeurs-pompiers pour un accès à la ressource, et installation d'extinction automatique ou commande manuelle (système composé de plusieurs têtes libérant un produit extincteur servant à éteindre ou au moins à contenir le feu).
- Désenfumage [31] : le rôle du désenfumage est de dégager partiellement les fumées et les gaz produits par la combustion, afin de libérer les accès d'évacuation pour le public et les secours. Il limite la diffusion du feu en évacuant les éléments générés, à savoir chaleur, gaz et imbrûlés. La stratification des fumées en zone haute, la différence de pression entre la zone sinistrée et l'extérieur ou la combinaison des deux permettent le désenfumage d'un local. Il existe deux types de désenfumages : naturel basé sur le phénomène de tirage thermique et mécanique qui s'appuie sur des outils motorisés tels les souffleurs et les extracteurs mécaniques.

## **II. Les technologies de l'Internet des objets**

L'Internet des objets a été mentionné pour la première fois en 1999 par Kevin Ashton, co-fondateur de l'Auto-ID Center du MIT, lors d'une présentation à Procter & Gamble. Depuis lors, le concept d'Internet des objets a rapidement évolué au fil des révolutions des technologies de l'information et de la communication telles que les smartphones et les montres intelligentes aux capteurs industriels et aux équipements de santé connectés [32].

Aujourd'hui, il désigne un vaste réseau d'objets connectés entre eux et à Internet, capables de collecter des données et de les analyser pour effectuer des tâches de manière autonome. Tous les objets physiques munis de capteurs capables de communiquer avec un réseau lié à Internet peuvent devenir des objets connectés.

L'IoT (Internet des objets) est un système d'objets décentralisé et faiblement couplé (dispositifs physiques, véhicules, appareils électroménagers, etc.) capable de détecter ou d'exploiter, de stocker et d'interpréter des informations créées par lui-même et le monde extérieur immédiat dans lequel il réside. En fait, la tendance de l'Internet des objets est d'utiliser la technologie de communication sans fil.

## **1. Internet des objets**

### **a. Définition**

Selon l'Union internationale des télécommunications, l'Internet des objets (IoT) est une « infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ». En réalité, la définition de ce qu'est l'Internet des objets n'est pas figée. Elle recoupe des dimensions d'ordres conceptuel et technique.

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets caractérise des objets physiques connectés ayant leur propre identité numérique et capables de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée en quelque sorte une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

D'un point de vue technique, l'IoT consiste en l'identification numérique directe et normalisée (adresse IP, protocoles smtp, http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil qui peut être une puce RFID, Bluetooth ou Wi-Fi.

### **b. Architecture en couche de l'internet des objets**

Ces dernières années, la technologie de l'Internet of Things a gagné en popularité et ses applications se sont diversifiées. Les applications IoT fonctionnent selon la manière dont elles ont été conçues/développées en fonction des différents domaines d'application. Cependant, il n'existe pas d'architecture IoT de travail standard définie qui soit strictement respectée dans tous les cas. La complexité et le nombre de couches architecturales varient en fonction des objectifs ; de la tâche commerciale spécifique à accomplir. Une architecture à quatre couches est le format le plus largement adopté par les entreprises qui comprend [33].

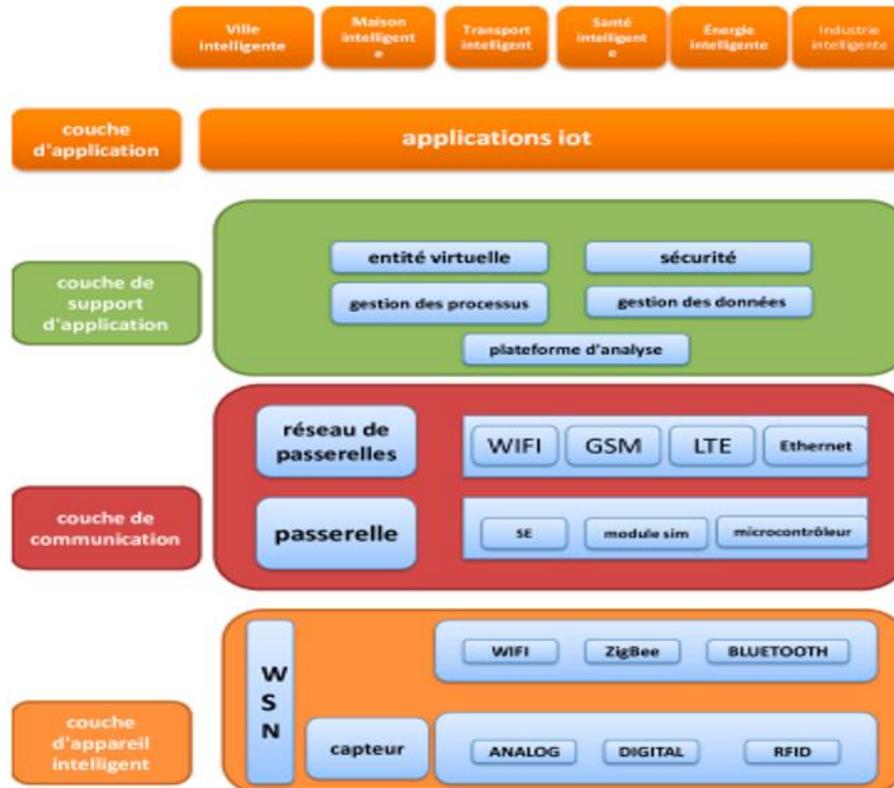


Figure 7 : Architecture en couche de l'IoT

La Couche d'appareil intelligent : également appelée couche de perception qui est la première couche de l'IoT, son objectif est de reconnaître les propriétés physiques telles que la température, l'humidité, le niveau de la lumière, la vitesse, etc., par divers dispositifs de détection, et de convertir ces informations en signaux numériques. Les objets de cette couche peuvent avoir des capacités de détection et/ou des capacités d'actionnement qui vont être envoyées au niveau de la couche supérieure via des passerelles.

La couche de communication, également appelée couche de réseau, est responsable de la transmission des données reçues de la couche de perception à une base de données, serveur, ou d'un centre de traitement. Ses principales technologies utilisées pour réaliser la communication sont la 3G, le LTE, le Wi-Fi, le Bluetooth, le ZigBee ou Ethernet, etc. Ces différentes technologies peuvent faire le traitement de plusieurs objets qui seront connectés à l'avenir. L'Internet des objets sera un énorme réseau qui relie non seulement une multitude d'objets, mais englobe également des réseaux hétérogènes.

La couche de support d'application qui est aussi appelée couche de traitement, permet d'accumuler des données en temps réel issues de la couche réseau pour permettre à l'administrateur de définir la pertinence des données et leur emplacement. C'est un mode de fonctionnement

synchrone, serveur et client agissant dans la même unité de temps. Sa mission est d'assurer et améliorer l'interopérabilité des appareils intelligents et la plateforme IoT.

La couche d'application permet d'interagir avec l'utilisateur à travers des services spécifiques. Il est possible de construire directement les applications sur les plateformes IoT capables d'offrir une infrastructure de développement logiciel avec des outils clés en main qui permettent d'explorer les données, de faire de l'analyse avancée et de la visualisation de données.

## **2. Les technologies de l'internet des objets**

Les technologies IoT ne sont pas tous d'un seul et même type de réseau, ils sont classés par catégorie, par rapport à un ensemble de caractéristiques communes, tel que le débit, la portée et la bande de fréquences dans laquelle ils opèrent [34].

### **a. Réseaux étendus sans fils (WWAN)**

Ces réseaux sont considérés comme étant les réseaux les plus étendus. Ils représentent généralement les réseaux à liaisons sans fil à faible consommation énergétique (LoraWAN et Sigfox), et les réseaux cellulaires tels que GSM, UMTS, et LTE. Les WWANs incluent aussi les réseaux satellitaires tels que le GPS.

- ❖ LORAWAN est l'une des technologies de réseau étendu à faible puissance (LPWAN) qui a reçu une attention considérable de la communauté des chercheurs au cours des dernières années. Il offre une communication à faible puissance et faible débit sur une large gamme de zones couvertes. Sa politique assure les mécanismes de base qui sont l'authentification des objets, la confidentialité et l'intégrité des données. Cette politique définit également des techniques de partage de clés [35].
- ❖ Les technologies cellulaires : Ce sont des réseaux à longue portée (de quelques kilomètres en ville à 30 km en zone rurale) et consommateurs d'énergie. À l'image des réseaux GSM, 2G, 3G ou 4G, ils permettent le transport de grands volumes de données (vidéos, images, etc.) et ont une bonne couverture au niveau national et international. Parmi ses réseaux cellulaires, on peut citer :
  - Technologie 2G : est basée sur le GSM (Global System for Mobile technologie de la communication). Le système 2G utilise une combinaison de TDMA (Time Division Multiple Access) et FDMA (Frequency Division Multiple Access). Grâce à cela, un plus grand nombre d'utilisateurs ont pu se connecter à un moment donné dans une bande de fréquence donnée. [36]

- Technologie 3G : utilise le CDMA (Code Division Multiple Access) et WCDMA (Wide Band Code Division Accès multiple). Le CDMA est une technique dans laquelle un code unique est attribué à chaque utilisateur. Après avoir attribué un code unique, la largeur de bande entièrement disponible est utilisée efficacement en elle. De ce fait, un très grand nombre d'utilisateurs peuvent utiliser la chaîne en même temps par rapport à la TDMA et FDMA [36].
- Technologie 4G : appelée technologie LTE, est un réseau de transport de paquets. Utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz, 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en down Link, alors que la vraie 4G offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s [36].

### **b. Réseaux métropolitains sans fils (WMAN)**

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN pour Wireless Métropolitain Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 ' à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication. [34]. La technologie de WMAN la plus connue est le WiMax ou (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une famille de normes définissant des connexions à haut-débit par voie hertzienne, développée par le consortium WiMax Forum et ratifiée en 2001 par l'IEEE sous le nom IEEE 802.16. Le WiMAX est aussi le nom commercial délivré par le WiMax Forum aux équipements conformes à la norme IEEE 802.16, afin de garantir un haut niveau d'interopérabilité entre ces différents équipements. Il permet de garantir une fiabilité, de segmenter les communications pour garantir la confidentialité [37]. Il apporte aux utilisateurs une protection forte contre le détournement du service.

### **c. Réseaux locaux sans fils (WLAN)**

Le réseau local sans fil (noté WLAN pour Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes parmi lesquelles on peut citer les plus connus : Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave et 6 loWPAN.

- ❖ Wi-Fi : est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN). Le principe de cette technologie est d'établir des liaisons radio entre eux,

par exemple, des terminaux et des points d'accès pour se connecter sur un réseau local ou sur Internet. Dans la pratique, le Wi-Fi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ainsi que des périphériques mobiles à une liaison haut débit ou à des appareils électroniques communiquant sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur, ou à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert [38].

- ❖ Bluetooth : le Bluetooth est une technologie de réseau personnel sans fil, c'est-à-dire une technologie de réseaux sans fil à faible portée (quelques dizaines de mètres). Elle permet de relier plusieurs appareils entre eux sans liaison filaire, en utilisant les ondes radio comme support de transmission. La liaison radio fonctionne dans une bande de fréquence située autour de 2,45 GHz. Cette bande de fréquence étant libre dans la plupart des pays, ce qui permet d'utiliser les équipements Bluetooth partout dans le monde [39].
- ❖ ZigBee est un protocole utilisé pour lier des appareils intelligents comme des ampoules, des prises et des verrous intelligents à un réseau domestique. Il est aussi une technologie WPAN à faible débit et à faible consommation de ressources (énergie, calcul, et mémoire) qui peut être déployée avec une topologie en mode étoile ou maillée, similaire mais différente à d'autres protocoles concurrents comme Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth [40].
- ❖ Z-Wave est un protocole de communication sans fil utilisé dans des systèmes de réseau maillé, permettant de mettre en connexion plusieurs appareils électroniques. Ce protocole sécurisé est essentiellement employé dans la domotique. Cette nouvelle technologie permet aux fournisseurs de services et fabricants d'obtenir de meilleures performances et de réduire le délai de mise sur le marché des produits [41].
- ❖ 6 LoWPAN : est une spécification d'un réseau personnel sans fil à faible puissance. Il peut être déployé avec une topologie en mode Étoile ou maillage. Il est basé sur le protocole IPv6, ce qui lui permet d'avoir plusieurs avantages, tels que la possibilité d'utiliser des infrastructures et technologies IP existantes qui sont testées et approuvées. En effet, les objets basés sur IP peuvent être connectés facilement à d'autres réseaux IP, sans avoir besoin d'entités intermédiaires comme les passerelles [42].

### 3. Domaines d'application de l'IoT dans les villes intelligentes

On n'en entendait qu'à peine parler il y a quelques années, et ils sont maintenant partout. Les objets connectés ont envahi notre quotidien sans même que nous y prêtions attention. De la télé intelligente à la voiture connectée, nos loisirs, nos déplacements sont facilités par ces nouveaux outils qui augmentent grandement notre confort. L'utilisation de l'IOT permettra le développement de plusieurs applications intelligentes.

Une étude de 2016 du cabinet Gartner prévoit qu'en 2020, plus de la moitié des outils et processus métiers feront appel à l'Internet des Objets. Les applications sont variées et recouvrent de nombreux domaines tels que : industrie, sciences, santé, domotique, automobile, agriculture, du sport, de la sécurité etc... La liste est exhaustive [43].

Voici en figure les domaines d'application IoT les plus connus en ville ci-dessous :



Figure 8 : Domaines d'application de l'IoT

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les types de gestion d'incendies, composés par le système de détection d'incendie, le système de mise en sécurité incendie et ses mesures de mise en sécurité. Nous avons évoqué par la suite les concepts de l'Internet des objets, ses caractéristiques, son architecture, ses technologies de communication et ses domaines d'applications. Dans la suite, une étude de l'existence de la gestion d'incendie intelligente et une solution dans l'environnement de l'IoT seront abordées.

# **Chapitre 3 : Etude de l'existant et présentation de notre contribution**

Plusieurs travaux ont proposé des solutions pour résoudre le problème de gestion des incendies basé sur l'Internet des objets, en se focalisant sur la détection et l'alerte d'un incendie afin d'améliorer la sécurité dans les villes. Bien que l'utilisation de l'internet des objets (IoT) dans le domaine de gestion des incendies ait permis le développement de nouveaux usages qui sont de plus en plus appréciés par les utilisateurs. Parmi ces solutions, certaines ont déjà été déployées avec succès. En effet, ce chapitre présente l'ensemble des solutions de gestion d'incendie proposées dans la littérature afin de présenter également notre contribution à cette recherche.

## **I. Des applications de gestion d'incendie basées sur IoT proposées dans la littérature**

Dans [44], SAMMOUR HUSSEIN décrit la conception et la réalisation d'un système de protection contre les incendies dans les entreprises et les industries aux grandes espaces. Cette conception est d'installer un canon à eau pouvant se déplacer de manière bidirectionnelle. Ce prototype d'un canon à eau comporte 4 axes, deux parmi eux sont contrôlés par deux moteurs pour assurer une rotation bidirectionnelle du canon ainsi l'activation de la pompe à eau illustrer à la figure 9. La réalisation de ce système comporte un système de surveillance par des IP caméra, un système d'alerte par SMS et un système de contrôle qui envoie des données à l'ordinateur par USB, ce dernier les envoie à son tour à un routeur puis vers le bouclier Ethernet selon le protocole TCP, afin d'être envoyés sans fils à un autre système qui doit gérer les moteurs de canon et activer la pompe à eau. Ce système de protection compose des IP caméras, le contrôleur sera capable d'observer la situation et contrôler le canon à distance par un joystick afin de le diriger vers le lieu d'incendie pour l'éteindre avant que la situation s'aggrave. Il est présenté au niveau de la figure 10.



Figure 9 : prototype de Canon à eau

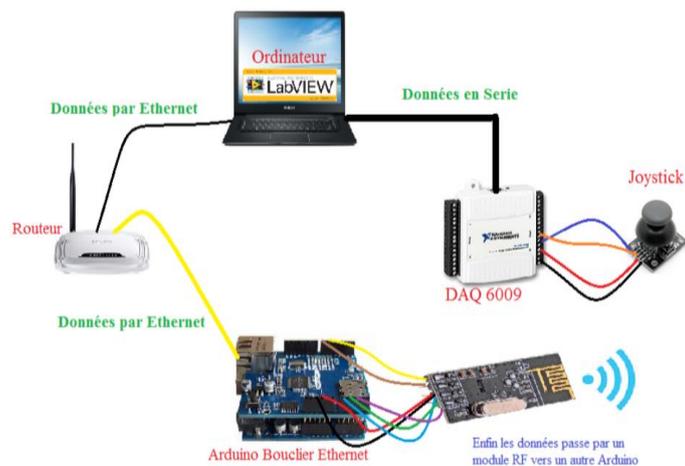


Figure 10 : mode de contrôle série

Les auteurs de [45] ont proposé un système de surveiller la présence d'un incendie et la concentration de gaz en temps réel dans l'atmosphère illustré au niveau de la figure 11. Ce système est basé sur une carte Arduino qui permet de traiter et de transférer des données à partir de deux capteurs (gaz et détecteur de flamme) à un téléphone intelligent. Suite à une fuite de gaz ou de flamme est détectée une alerte est déclenchée et un message va être envoyée à la personne concernée. Ce système utilise le module Bluetooth pour l'interconnexion entre l'application déjà installée sur le smartphone et la carte Arduino. Pour mieux développer ce système l'auteur utilise l'intelligence artificielle plus particulièrement le deep Learning pour la surveillance des incendies de forêts.

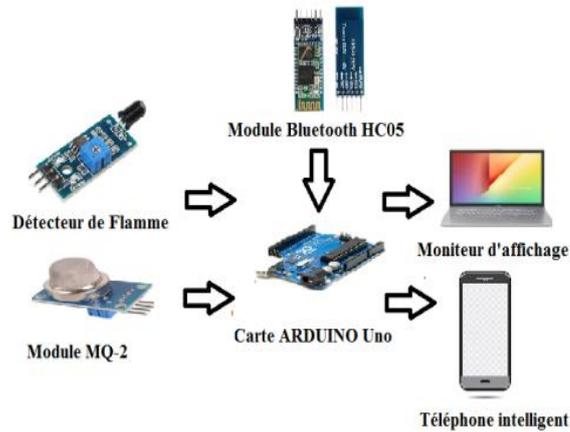


Figure 11 : Schéma fonctionnel du système

Dans [46] Park et al., ont proposés un nouveau système de détection d'incendie doté d'un cadre d'intelligence artificielle multifonctionnel et d'une minimisation du délai de transfert des données pour la sécurité des villes intelligentes (figure 12). Le cadre comprend un ensemble de multiples algorithmes d'apprentissage automatique et un algorithme flou adaptatif. Direct-MQTT basé sur SDN est présenté pour résoudre les problèmes de concentration du trafic du MQTT traditionnel. Cet article vérifie les performances du système proposé en termes de précision et de délai.

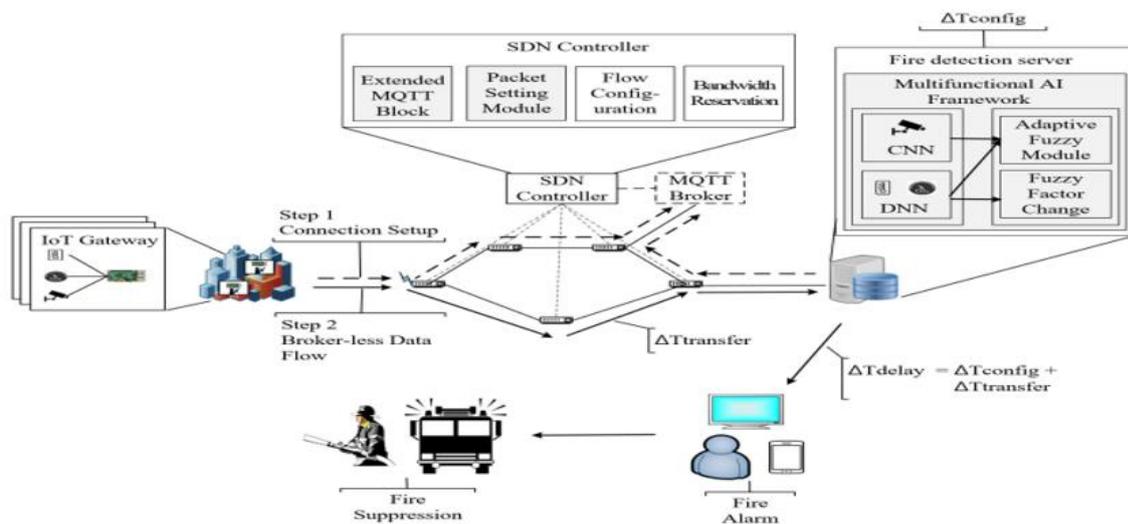


Figure 12 : Architecture du système de détection fiable avec intelligence artificielle multifonctionnel

Mohammad et al.[47] ont proposé un système intelligent de détection des d'incendies avec notification précoce utilisant l'apprentissage automatique. Leur travail a tenté de combler le fossé entre les services d'incendie et les maisons en détectant intelligemment les incendies potentiels et en alertant les services d'incendie. Le cœur de leur travail consistait à utiliser l'apprentissage automatique et des capteurs intégrés (capteurs capables de détecter la chaleur, la lumière et la fumée) pour minimiser la probabilité de fausses alarmes incendie. Le système

proposé par les auteurs peut transmettre des messages sur les incendies potentiels à divers autres services.

D'autres auteurs [48] ont proposé une méthode de détection du feu basée sur la couleur, la forme et le mouvement. Dans cette méthode, les auteurs ont analysé des vidéos obtenues par des caméras en utilisant un algorithme issu de l'imagerie informatique. Plusieurs trames d'images prises par les caméras ont été analysées en continu par l'algorithme de détection d'incendie intégré pour détecter toute menace potentielle d'incendie (figure 13). L'algorithme de détection d'incendie a été mis en œuvre à l'aide de MATLAB et d'outils tels que le flou de couleur. Les auteurs déclarent qu'il s'agit d'un moyen plus rapide de détecter les incendies de maison et de déclencher les alarmes nécessaires. La figure 14 qui illustre l'architecture du système.



Figure 13 : Instantané de l'interface graphique

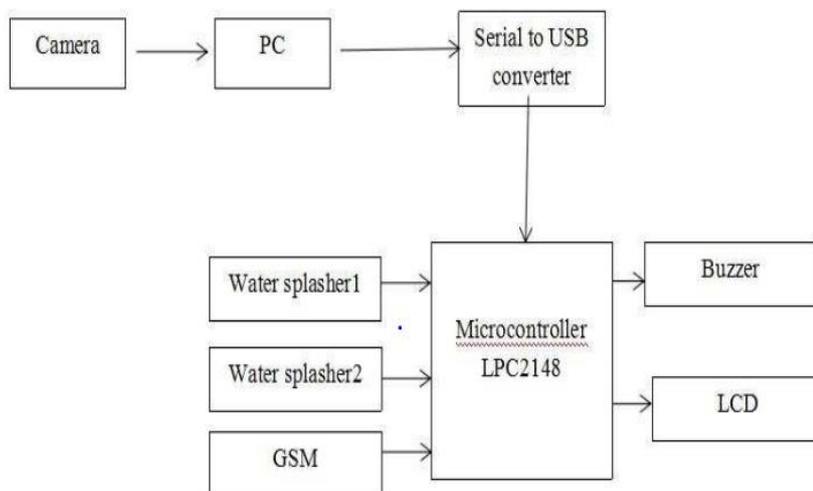


Figure 14 : Architecture du système de détection du feu basé sur la couleur, forme et mouvement

Des chercheurs ont proposé un système d'alarme incendie et d'authentification basé sur l'internet des objets. Une caméra à 360° fonctionnant en tandem avec un microcontrôleur Raspberry Pi transmet des instantanés de tout incendie potentiel à un administrateur désigné qui confirme si un incendie potentiel a effectivement commencé ou non. Après confirmation, le microcontrôleur déclenche une alarme et envoie un message de détresse au service de pompiers le plus proche. Les auteurs ont spécifiquement conçu le système de détection d'incendie pour les usines de confection qui ont tendance à avoir beaucoup de labyrinthes ou d'angles aigus [49].

Dans [50] les auteurs ont décrit la conception et le développement d'un système de détection d'incendie et d'alerte. Des capteurs de température et de flamme sont utilisés pour indiquer la présence d'un incendie. Ce travail se compose de deux parties à savoir l'émetteur et le récepteur, qui utilise tous deux la technologie sans fil ZigBee. Arduino est utilisé comme microcontrôleur au niveau de l'émetteur pour contrôler les nœuds de capteurs et donner l'alerte lorsqu'une surchauffe ou une flamme est détectée. Au niveau de l'émetteur, les données collectées par les capteurs sont transmises par un module XBee utilisé comme routeur. Du côté du récepteur, un module coordinateur XBee, relié à un ordinateur par une communication USB-Série, capture les données pour un traitement ultérieur. Une interface utilisateur graphique (GUI) interactive et conviviale est développée. Le logiciel LabVIEW est utilisé pour concevoir l'interface graphique qui affiche et analyse la possibilité d'un incendie. Le système affiche l'emplacement de l'incendie et fournit une alerte rapide pour permettre aux occupants de quitter le bâtiment en toute sécurité. Voici la figure 15 qui illustre le système de détection et d'alerte d'incendie.

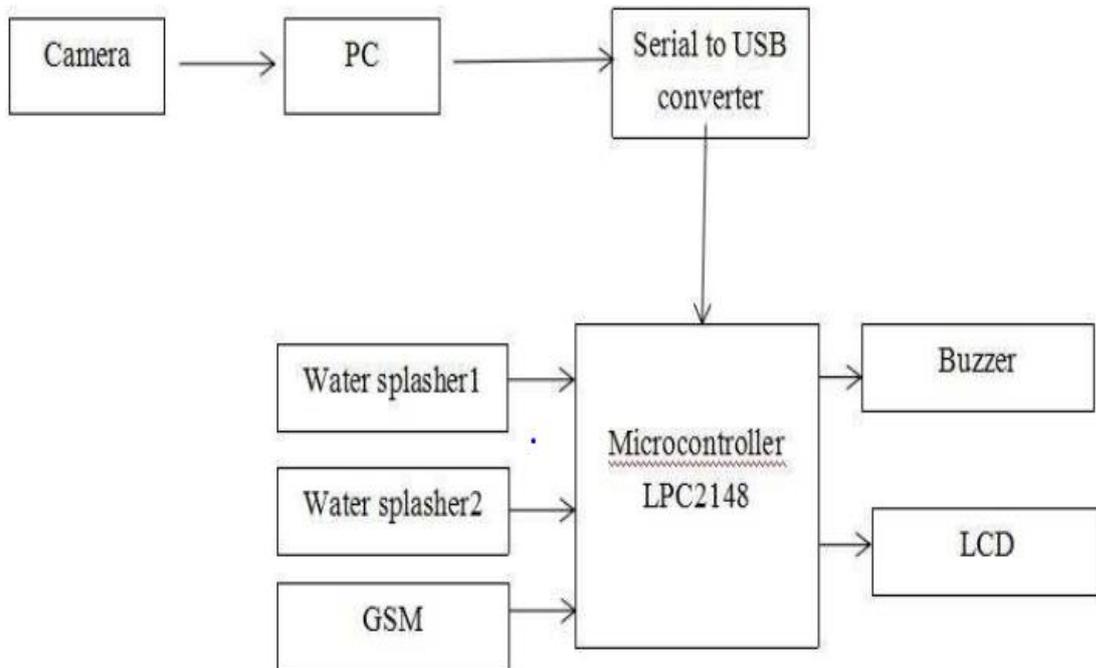


Figure 15 : système de détection d'incendie et d'alerte basé sur les capteurs

Le papier [51] présente un système de gestion des catastrophes basé sur la réalité augmentée (RA). Ce système de gestion des catastrophes pour les bâtiments et les villes intelligentes est proposé afin d'acquiescer une visibilité et de saisir les occupants en cas d'incendie dans les bâtiments. Ce système fournit une visualisation et un guide optimal pour une réponse initiale rapide en utilisant un élément intelligent basé sur la réalité augmentée par le biais d'un lien avec un domaine physique virtuel dans le bâtiment. En outre, cet article montre un diagramme de flux de scénario du processus d'extinction de l'incendie en fonction du temps entre la phase d'allumage et la phase d'extinction. Ce Système présente les capteurs associés, les actionneurs, et un petit banc d'essai pour le service de gestion des catastrophes basé sur la RA. Ce banc d'essai a été conçu pour tester le verrouillage et l'interopérabilité du système entre les capteurs et les actionneurs. On s'attend à ce que le système proposé puisse fournir un guide de sauvetage rapide et sûr aux occupants et aux secouristes dans le bâtiment où se trouve la victime et aux sauveteurs dans le bâtiment où le feu est généré et dans les régions à faible visibilité. Voici en schéma ci-dessous l'architecture du système.

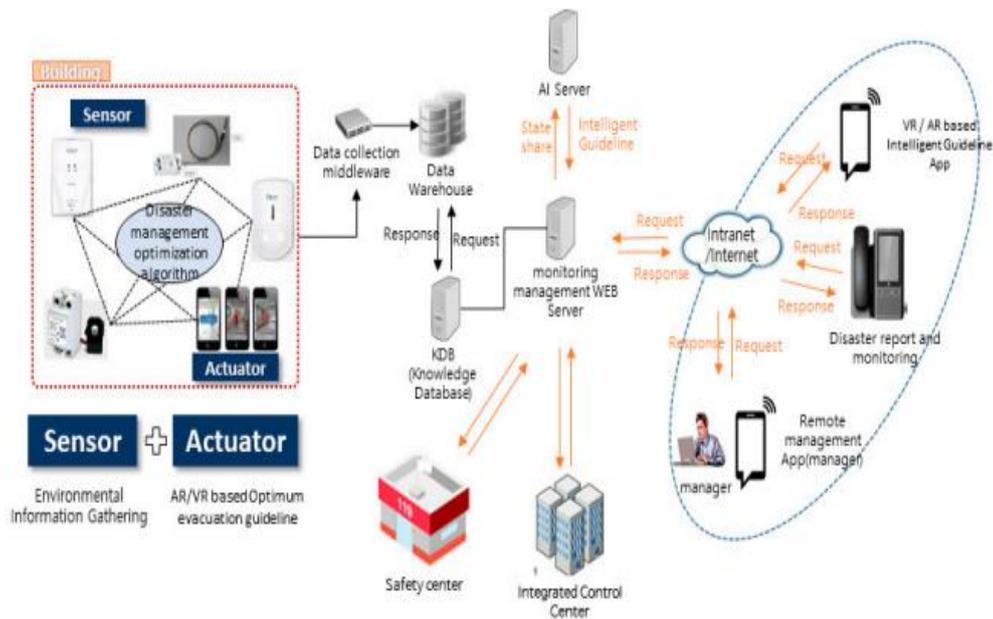


Figure 16 : système de gestion des catastrophes d'incendie basé sur l'augmentation de RIA

Les autres de [52] ont conçu et évalué un réseau de capteurs sans fil utilisant plusieurs capteurs pour la détection précoce des incendies de maisons. Ils ont utilisé le système mondial de Mobile Communications (GSM) pour éviter les fausses alarmes, voici illustration du système à la figure 17. Pour tester les résultats de leur système de détection d'incendie, nous avons simulé un incendie dans une maison intelligente à l'aide du simulateur de dynamique du feu et d'un programme linguistique. Les résultats de la simulation ont montré que le système est capable de détecter un incendie précoce, même lorsqu'un capteur ne fonctionne pas, tout en maintenant la consommation d'énergie de la maison.

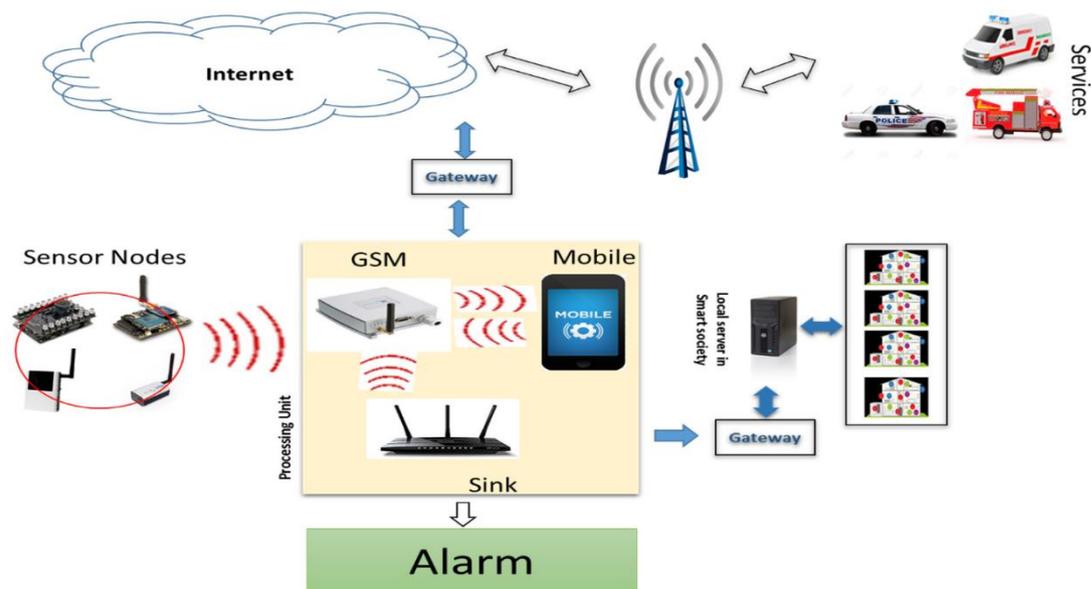


Figure 17 : système de détection d'incendie utilisant les Réseau de Capteur Sans Fils

Le récent problème de sécurité sur la combustion des maisons utilise des capteurs singuliers qui ne peuvent pas mesurer la quantité de feu pour alerter les unités d'intervention d'urgence. Pour résoudre ce problème, les auteurs de [53] ont implémenté un système de détection d'incendie intelligent qui non seulement détecte le feu à l'aide de capteurs intégrés, mais aussi d'alerter les propriétaires, les services d'urgence et les postes de police locaux afin de protéger simultanément les vies et les biens de valeur. Ce système est représenté dans la figure 18. Le modèle proposé dans cet article utilise différents détecteurs intégrés, tels que la chaleur, la fumée et les flammes. Les signaux de ces détecteurs passent par l'algorithme du système pour vérifier la potentialité de l'incendie, puis diffusent le résultat prédit à diverses parties en utilisant le GSM. Résultat est prédit à diverses parties en utilisant le modem GSM associé au système. Pour obtenir des données réelles sans mettre des vies humaines en danger, une technologie IoT a été mise en œuvre pour fournir aux pompiers les données nécessaires. Données nécessaires. Enfin, la principale caractéristique du système proposé est de minimiser les fausses alarmes, ce qui, à son tour, rend ce système plus fiable. Les résultats expérimentaux ont montré la supériorité de notre modèle en termes d'abordabilité, d'efficacité et de réactivité, car le système utilise la plateforme Ubidots, ce qui rend le système plus efficace à l'échange de données plus rapide et fiable.

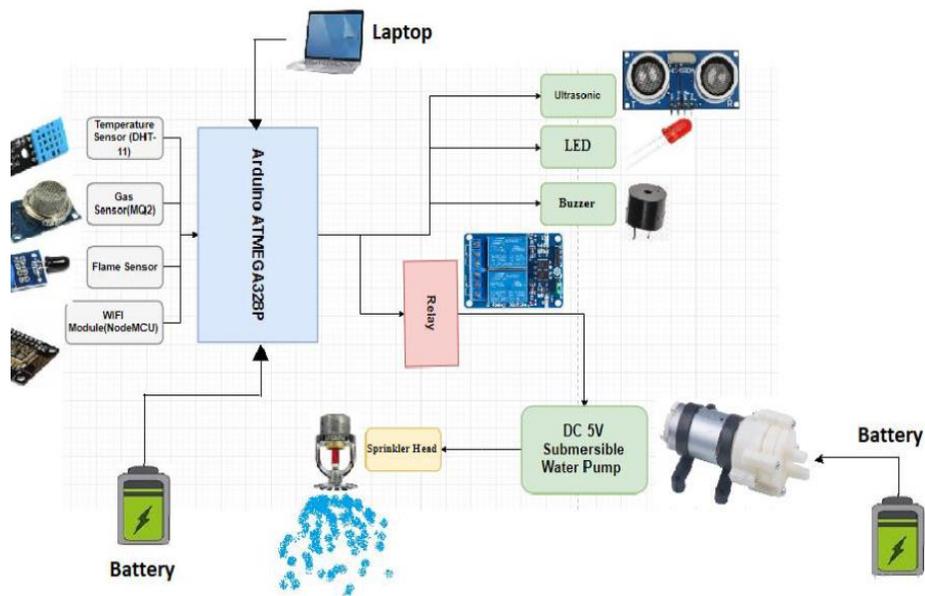


Figure 18 : Implémentation d'un système de détection d'incendie et alerte au propriétaire

Dans [54] Sowah et al., ont présenté la conception et le développement d'un système de détection d'incendie multi capteur basé sur la logique floue et d'un système de notification basé sur le Web avec des réseaux neuronaux convolutifs entraînés pour la détection d'incendie à proximité et à grande échelle. Pour résoudre ce problème, l'auteur présente une fusion de données multi capteurs avec une technologie de détection et de notification d'incendie par réseau neuronal convolutifs (CNN). Les réseaux neuronaux convolutifs sont des méthodes courantes d'apprentissage profond. Le système est conçu pour permettre une détection précoce des incendies dans les environnements résidentiels, commerciaux et industriels en utilisant plusieurs signatures d'incendie telles que les flammes, la fumée et la chaleur. L'incorporation de CNN permet une couverture plus large de la zone d'intérêt, en utilisant les images des caméras de surveillance. Grâce à l'accès au système basé sur le Web, l'équipe d'incendie et de secours est avertie en temps réel avec des informations sur la localisation. L'efficacité du système de détection et de notification des incendies utilisé par des détecteurs d'incendie standard et l'approche de notification à distance multi capteurs adoptée dans cet article ont montré des améliorations significatives avec une détection rapide des incendies, des alertes et un temps de réponse pour la lutte contre les incendies. Les résultats finaux de l'évaluation expérimentale et des performances ont montré que le taux de précision du CNN était de 94 % et celui de l'unité de logique floue de 90 %.

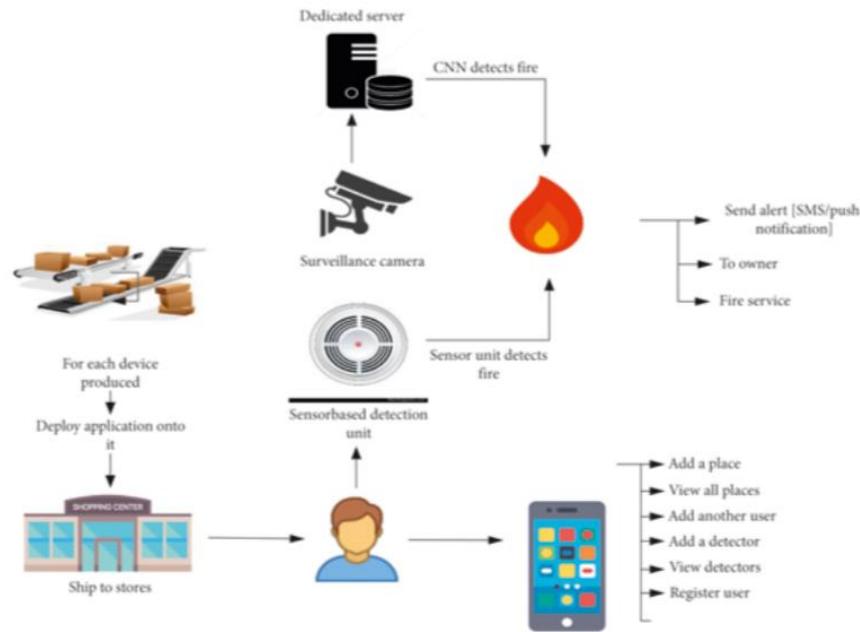


Figure 19 : conception du module matériel et implémentation du logiciel de système de détection et de notification d'incendie multi capteur

Selon la littérature de recherche, aucune des méthodes actuelles de gestion intelligente des incendies ne traite de la nécessité d'utiliser la localisation et la détermination du chemin le plus court du lieu détecté en fonction du temps pour contribuer à la ville en gérant efficacement le feu. Ainsi, ce travail propose une solution innovante pour l'environnement et la société sénégalaise.

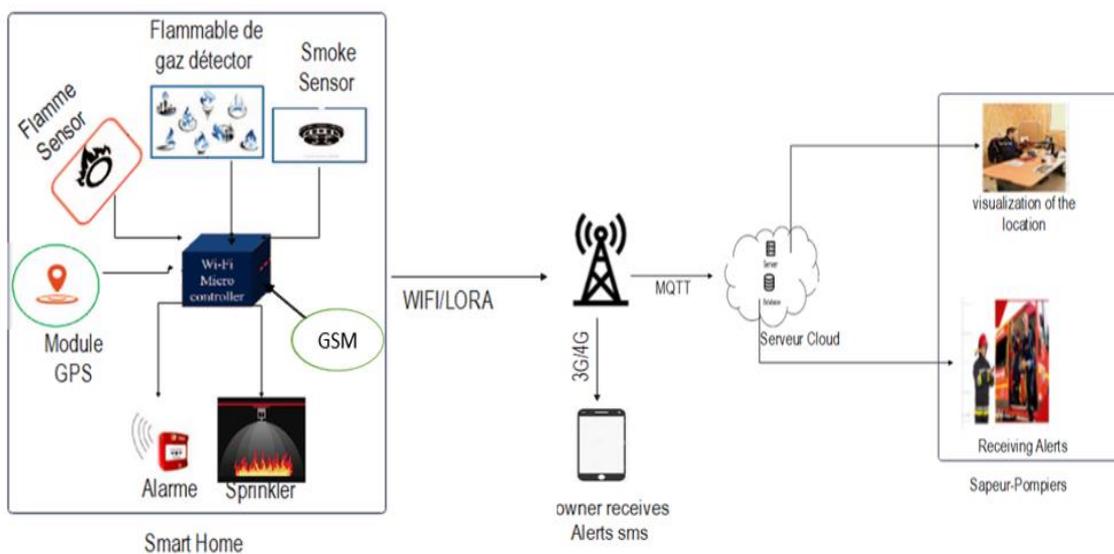
## II. Présentation de notre solution

Les incendies peuvent causer des pertes en vies humaines, en biens et en infrastructures. Ils représentent un facteur destructeur sur notre environnement quand ils ne sont pas bien gérés dans les plus brefs délais. Au Sénégal, cette gestion se fait d'une manière traditionnelle avec l'évacuation des personnes et l'utilisation d'extincteurs pour diminuer l'incendie en attendant l'arrivée des sapeurs. En effet, lors d'un incendie, les sapeurs-pompiers sont parmi les premiers à qui on fait appel. Cependant, il faut constater qu'il est souvent difficile de les joindre, ce qui fait que leur intervention est souvent très lente. De plus, l'accès dans les villes est souvent très difficile à cause des gros bouchons d'embouteillage. À cela s'ajoute l'absence d'outils de supervision et de surveillance dans les villes. Il est nécessaire de trouver des techniques et des stratégies efficaces pour prévenir les incendies, les détecter et les éteindre rapidement avec l'aide de l'Internet des objets. En effet, le problème qui se pose est comment les technologies IOT peuvent-elles être utilisées pour la détection d'incendie et améliorer la sécurité dans les bâtiments ?

Nous proposons un système automatique de détection et d'alerte d'incendie appelé SGAI (Sénégal Gestion Automatique d'Incendie) basé sur l'Internet des objets afin d'anticiper et de protéger les personnes, les biens et l'environnement. Ce système est adapté aux villes intelligentes. Il nécessite un réseau de communication Wi-Fi entre les équipements finaux et la passerelle pour la détection d'incendie et un réseau de communication LoRa entre la passerelle et les services d'urgences. En utilisant l'IOT, le système pourrait résoudre les problèmes rencontrés par les détecteurs d'incendie existants, tels que l'installation en hauteur et le manque d'alerte à distance. De plus, ce système aurait la capacité de localiser avec précision les incidents, de déterminer le chemin le plus rapide en fonction du temps, tout en minimisant les coûts de déploiement. Il serait également en mesure de différencier un début d'incendie d'un incendie déjà détecté.

## 1. Architecture et Algorithmes de fonctionnement de SGAI

Il s'agit ici d'établir un système de communication matérielle et logicielle entre les différentes parties prenantes. Cette communication peut s'identifier en plusieurs étapes.



20 : Architecture Matérielle de SGAI

Figure

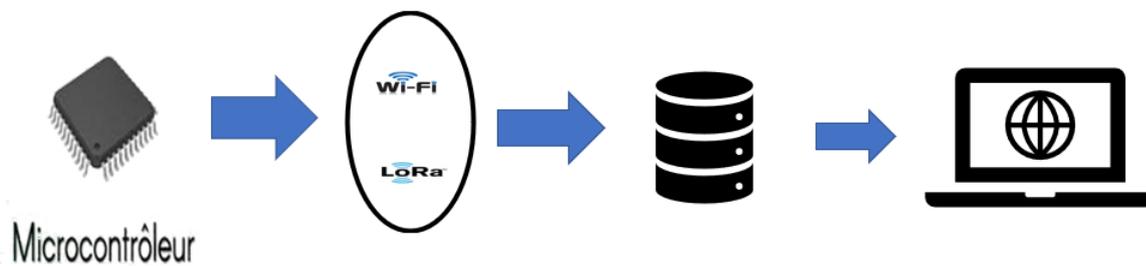


Figure 21 : Architecture logicielle de SGAI

## 2. Description de l'architecture

Le système proposé est généralement composé de différents éléments.

### a. Smart Home

Il est constitué d'un système de détection d'incendie composé par le capteur de fumée (Smoke sensor), le capteur de température (flammable, de gaz detector), le capteur de flamme (flamme sensor), la centrale de détection et de contrôle (microcontrôleur), ainsi que des dispositifs d'alarme de signalisation et d'arrosage (sprinkler) automatique et enfin les modules global Positioning system (GPS) et global system for mobile communication (GSM).

- **Le capteur de fumée** : est conçu pour détecter les particules de fumée dans l'air.
- **Le capteur de température** : est capable de détecter des augmentations soudaines de température, ce qui peut indiquer la présence d'un incendie.
- **Le capteur de flamme** : est conçu pour détecter la présence de flamme.
- **Alarme** : est un signal pour prévenir un danger.
- **Système d'arrosage** : Il permet de déceler le départ d'incendie et d'agir automatiquement là où il est nécessaire.
- **GPS** : permet de déterminer la position du lieu de détection d'incendie.
- **GSM** : permet d'envoyer de message automatique si toutes fois l'incendie est détecté.

- **Microcontrôleur** : c'est lui qui va recevoir les données collectées par ses capteurs et les analysés. S'il détecte l'incendie, il déclenche l'alarme puis le sprinkler et transmet les données vers la base de données via le réseau de communication (wifi, Lora et antenne(3G/4G)).
- b. Le propriétaire (Owner)** : est utilisé par le propriétaire du lieu détecté. Il permet de recevoir le message du propriétaire via le réseau de communication tel que le wifi, Lora et antenne(3G/4G).
- c. La passerelle** : peut être considérée comme un agrégateur de données pour relayer les données de smart homes connectés vers le serveur.
- d. Le serveur (Server cloud)** : Le serveurs cloud est utilisé comme serveurs de réseau et de base de données pour le traitement, le stockage et l'analyse des données de détection d'incendie et des informations de localisation transmises par la maison intelligente ainsi que l'hébergement d'application et d'interface.
- e. Sapeurs-pompiers** : ils reçoivent l'alerte du danger et faire des interventions rapides et efficace.
- **Interface de visualisation (Visualization of location)** : Cette interface offre un ensemble d'outils visuels et fonctionnels pour aider les responsables de la gestion des incendies à surveiller, analyser et coordonner les activités liées aux incendies de manière efficace.
  - **Recevoir l'alerte (Receiving Alerts)** : est utilisé pour les agents secouriste des sapeurs-pompiers, qui permet de localiser et de déterminer le chemin le plus court en fonction du temps.

### 3. Algorithme de fonctionnement

Comme décrit dans la figure, une fois les valeurs de la flamme, de la température et de la fumée est mesurées, elles sont soumises à une comparaison avec les valeurs seuils prédéfinies et enregistrées.

Si la valeur de la température est supérieure ou égale à 70°C, on alerte le propriétaire.

Si la valeur de la fumée est supérieure ou égale à 20% de monoxyde de carbone (CO), on va vérifier s'il y a de la flamme sinon on retourne la valeur pour vérifier.

Si la valeur de la flamme est supérieure ou égale à 30 kW/m<sup>2</sup>, on alerte les sapeurs-pompiers sinon on va alerter le propriétaire

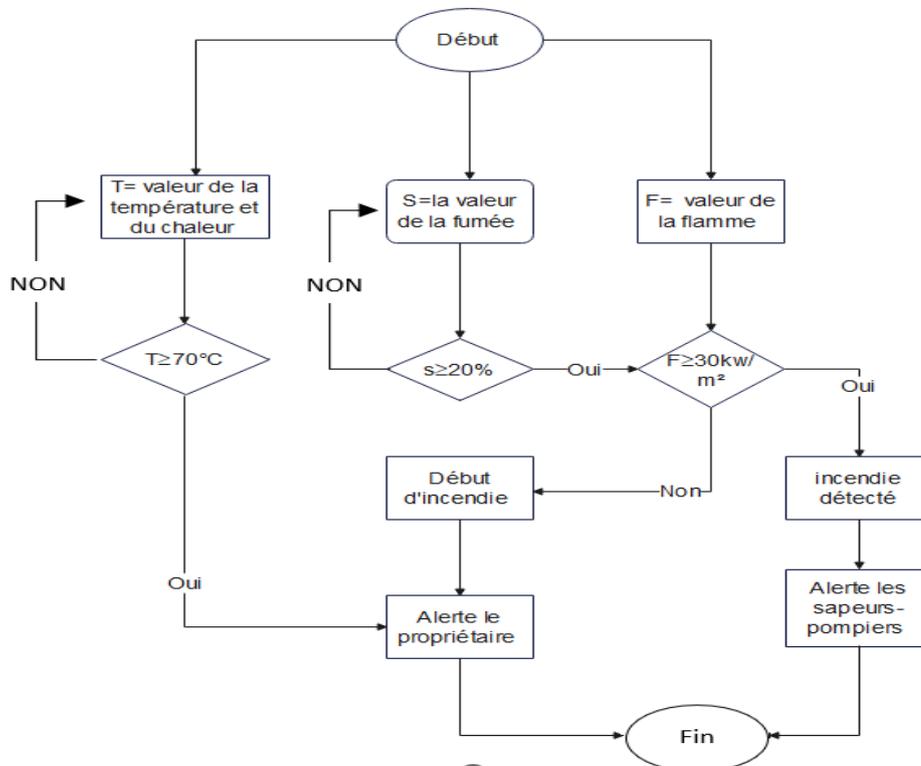


Figure 22 : Algorithme de fonctionnement SGAI

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des applications de gestion d'incendie basées sur IoT proposées dans la littérature et avons proposé une contribution qui inclut une architecture complète permettant de faciliter la détection, l'analyse et le traitement en temps réel d'incendie. La contribution consiste également en un système d'alerte du propriétaire et des agents de sapeurs-pompiers pour une intervention rapide. Nous avons aussi proposé un algorithme de fonctionnement simple mais efficace pour un système de gestion d'incendie. Cet algorithme permet au système d'alerter le propriétaire si c'est un début d'incendie et les agents de sapeur-pompier si c'est un incendie détecté. Cela nous permet d'éviter les fausses alarmes et de déplacer les agents lors d'un début d'incendie. En résumé, l'étude de l'état de l'art nous a permis de proposer une solution que nous allons essayer de modéliser et de conceptualiser étape par étape dans la deuxième partie de ce mémoire.

## **DEUXIEME PARTIE**

---

---

# **CONCEPTION ET REALISATION DE SGAI**

---

---

# **Chapitre 1 : la conception du système de gestion automatique d'incendie (SGAI)**

Le projet est actuellement à un stade préliminaire de conception, et les éléments clés de cette phase comprennent les caractéristiques attendues, la structure envisagée, les critères de réussite, ainsi que les livrables essentiels du projet. L'objectif est de développer une méthode permettant de mettre en œuvre les objectifs attendus du projet. Ce chapitre décrit comment la recherche et la stratégie sont effectuées. Cela permet de développer, de planifier, de collecter, de traiter et d'analyser des informations de recherche théorique et empirique sur la gestion des incendies au Sénégal.

## **I. Méthodologie utilisée**

Le terme méthodologie représente l'ensemble des méthodes et techniques mises en place dans le domaine de la gestion des incendies. Elle est une étude ou une analyse appropriée de toutes les méthodes utilisées dans la recherche. Cependant, notre projet implique la surveillance avec un système de détection automatique d'incendie placé dans les différents endroits d'une ville. La mise en œuvre de ce projet se fera à travers les activités suivantes au-delà des revues de la bibliographie :

- La conception d'un prototype matériel d'un système de détection d'incendie et d'autres informations utiles dans le système.
- Le déploiement d'un réseau de communication
- Le développement d'applications Web/Mobile
- L'alerte aux sapeurs-pompiers et le propriétaire
- La visualisation du plus court chemin
- La gestion des utilisateurs
- La visualisation des statistiques des incendies
- La visualisation des utilisateurs

## **II. Analyse et Identification des besoins fonctionnels**

Un besoin fonctionnel exprime une action que doit effectuer notre système. Et pour cela, nous avons besoin d'utiliser un diagramme des cas d'utilisations qui permet de spécifier les fonctionnalités de notre système et leurs interactions avec les utilisateurs.

## 1. Identification des acteurs

Les acteurs sont les utilisateurs directs de l'application, ils interagissent avec à travers les interfaces utilisateurs. Dans ce projet, nous nous sommes confrontés à trois acteurs qui interagissent avec le système : l'utilisateur, l'administrateur et les objets connectés.

**Utilisateur** : c'est toute personne utilisant un appareil fonctionnant sur un système Android. La tâche de cet acteur dans ce projet est l'intervention immédiate en cas de réception d'une alerte de détection d'incendie provenant de l'administrateur à travers une application web.

**Administrateur** : personne chargée de l'administration de l'application, notamment la mise à jour de la base de données. Il est l'acteur responsable de tous les privilèges d'accès. Il contrôle le système en modifiant, configurant, consultant, maintenant, vérifiant et prenant des décisions liées au système. L'administrateur autorise les utilisateurs à effectuer et traiter des tâches telles que la gestion des profils et le suivi de leur travail à travers les statistiques, entre autres.

**Objets connectés** : Cela fait référence à la connectivité des objets physiques à Internet, leur permettant de collecter et d'échanger des données. Dans le contexte de la gestion d'incendie, cela pourrait inclure des capteurs intelligents intégrés dans les bâtiments, capables de surveiller les conditions et de détecter tout signe potentiel d'incendie.

## 2. Diagramme de cas d'utilisation

Un diagramme de cas d'utilisation est un outil de modélisation graphique utilisé dans l'analyse et la conception de logiciels et de systèmes informatiques. Il permet de représenter les interactions entre les acteurs (utilisateurs) et le système, en décrivant les différentes fonctionnalités et les scénarios d'utilisation. Nous allons représenter la fonction du système à travers un diagramme de cas d'utilisation (figure 23).



### a. Diagramme de cas d'utilisation d'acquisition de données

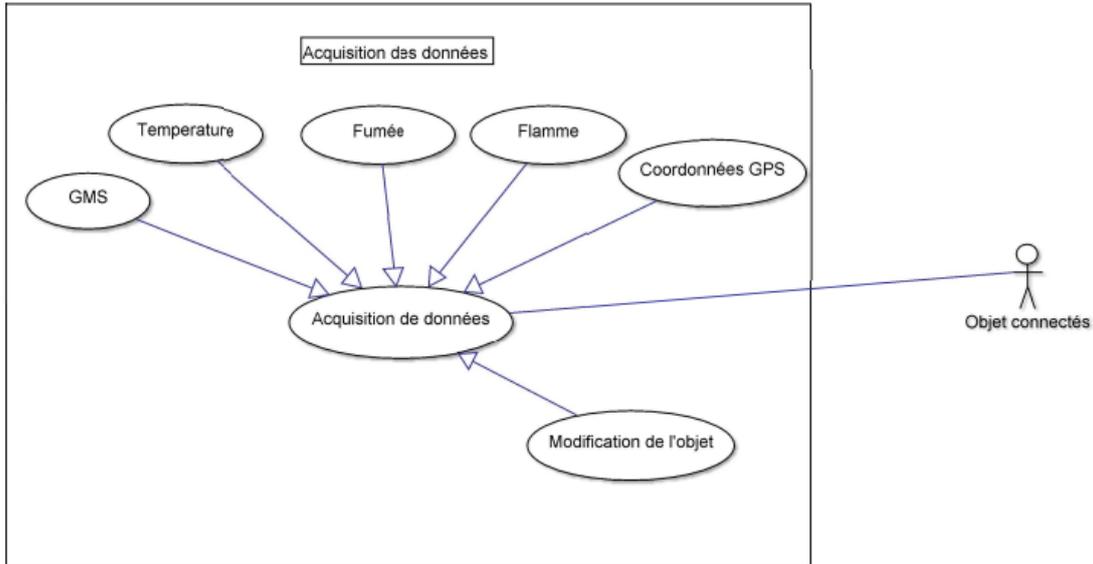


Figure 24 : diagramme de cas d'utilisation Acquisition de données

- Fiche de description du cas d'utilisation Acquisition des données

Cas utilisation	Acquisition des données
Acteur primaire	Objet connectés
Objectifs	Permettre aux capteurs de collecter les données et de les envoyer au système de gestion.
Précondition	Les capteurs doivent être installés dans les maisons et connectés au système de gestion.
Postcondition	Les données collectées par les capteurs sont stockées dans le système de gestion.  Exceptions : Si les capteurs ne parviennent pas à collecter les données en raison d'un dysfonctionnement, le système de gestion peut envoyer une notification pour alerter la propriétaire.

<b>Scénario nominal</b>	<p>Les capteurs installés dans les maisons collectent des données sur l'état de la maison, y compris la température, fumée, la flamme et ces modules GSM et GPS. Les capteurs envoient les données collectées au système de gestion via une connexion sans fil.</p> <p>Les données sont stockées dans une base de données pour permettre une consultation ultérieure.</p> <p>Le système de gestion analyse les données pour détecter les seuils critiques.</p> <p>Si toute fois le seuil est atteint, ce système envoie une notification aux sapeurs-pompiers pour leur permettre de prendre des mesures nécessaires et en même temps activer l'alarme et l'arrosage automatiquement en attendant les secouristes.</p>
-------------------------	--

## b. Diagramme de cas d'utilisation de consultation des données

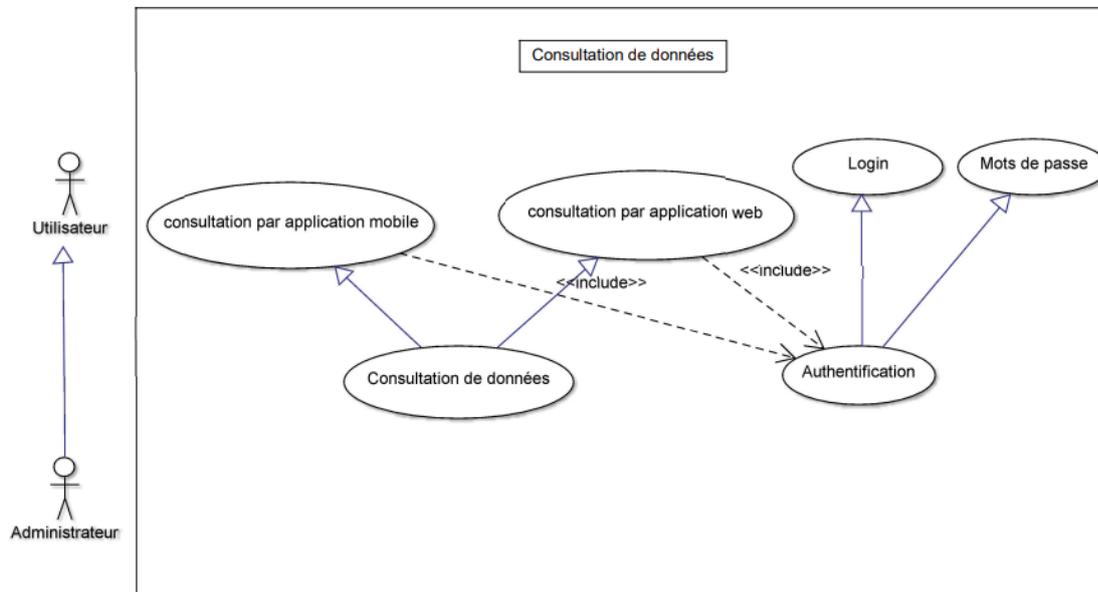


Figure 25 : diagramme de cas d'utilisateur Consultation de données

- **Fiche de description du cas d'utilisation consultation de données**

Cas d'utilisation	Consultation de données
Acteurs	Administrateur, utilisateur
Objectif	Permettre à l'utilisateur du système de consulter les données collectées par les capteurs pour suivre l'état des incendies.
Précondition	L'utilisateur doit être authentifié et avoir les droits de consultation des données.
Postcondition	Les données collectées par les capteurs sont consultées par l'utilisateur et a une vue précise de l'état de la maison dans le système.  Exceptions :

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Si l'utilisateur ne parvient pas à se connecter à l'interface de consultation des données, un message d'erreur s'affiche et l'utilisateur doit vérifier ses identifiants et mots de passe.</li>   <li>▪ Si le système rencontre des problèmes techniques, l'utilisateur peut contacter l'assistance technique pour résoudre les problèmes.</li> </ul>
Scénario nominal	<p>L'utilisateur se connecte à l'interface de consultation des données du système à l'aide de ses identifiants et mots de passe.</p> <p>L'utilisateur accède à la page d'accueil de l'interface de consultation des données et voit les différentes options disponibles pour consulter les données.</p> <p>L'utilisateur peut consulter l'historique des données collectées pour suivre l'évolution de l'état du système.</p> <p>L'utilisateur peut configurer des notifications pour être informé lorsque le système atteint un certain seuil de température, de fumée ou de flamme.</p>

### C. Diagramme de cas d'utilisation d'Administration du système

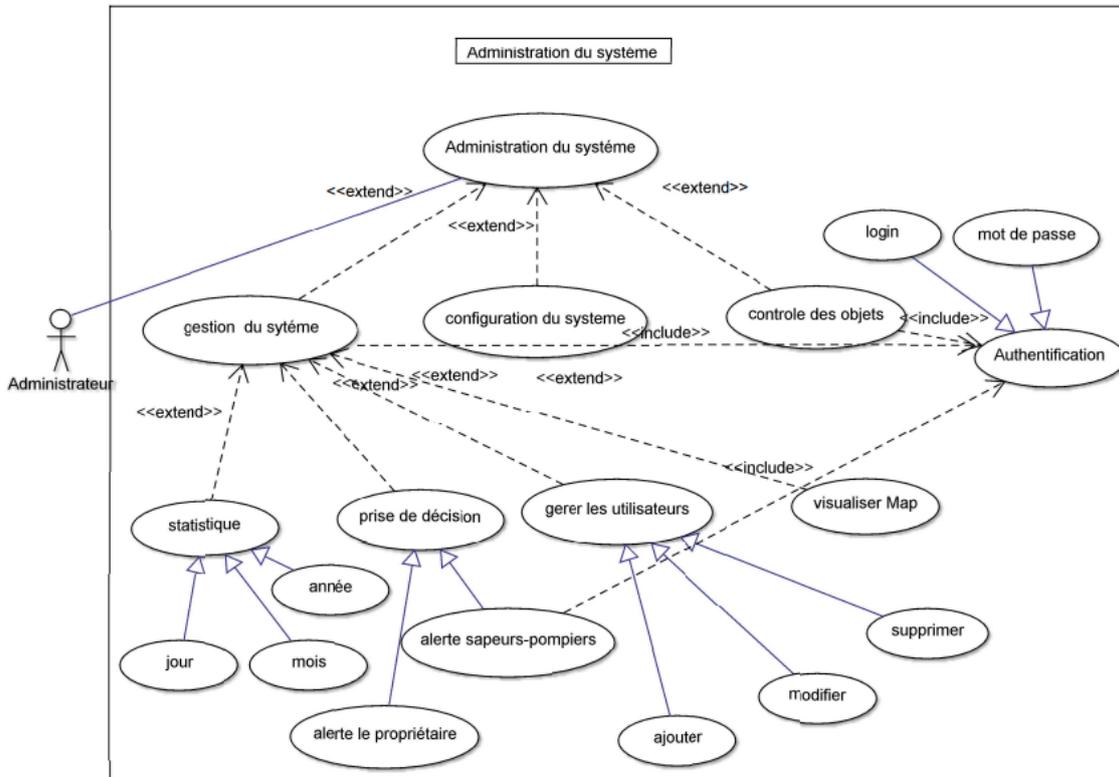


Figure 26 : diagramme de cas d'utilisation d'administration du système

- **Fiche de description du cas d'utilisation d'administration du système**

Cas d'utilisation	Administration du système
Acteurs primaire	Administrateur
Objectif	Permettre à l'utilisateur du système de gérer et de configurer le système
Précondition	L'administrateur doit être authentifié et avoir les droits d'administration du système.
Postcondition	Les configurations effectuées par l'administrateur sont enregistrées et prennent effet immédiatement.

Scénario nominal	<p>L'administrateur se connecte à l'interface d'administration du système à l'aide de ses identifiants et mots de passe.</p> <p>L'administrateur accède à la page d'accueil de l'interface d'administration et voit les différentes options disponibles pour gérer le système.</p> <p>L'administrateur peut ajouter, modifier, changer de mot de passe ou supprimer des agents de sapeurs-pompier.</p> <p>L'administrateur peut configurer les seuils de température, de fumée et de flamme pour déclencher les notifications d'alerte.</p> <p>L'administrateur peut configurer le chemin le plus court en fonction du temps.</p> <p>L'utilisateur peut configurer des notifications pour être informé lorsque le système atteint un certain seuil de température, de fumée ou de flamme.</p>
------------------	---

#### 4. Diagramme de séquence de notre système

Un diagramme de séquence permet de spécifier les interactions qui existent entre un groupe d'objets selon un point de vue temporel. On met l'accent sur la chronologie des envois de messages. Le diagramme de séquence est toujours de haut vers le bas et illustre l'ordre dans lequel les messages sont envoyés entre les objets. Il peut servir à illustrer un cas d'utilisation. Nous allons présenter quelques cas de séquence dans la suite.

### a. Diagramme de séquence du cas d'utilisation Acquisition de données

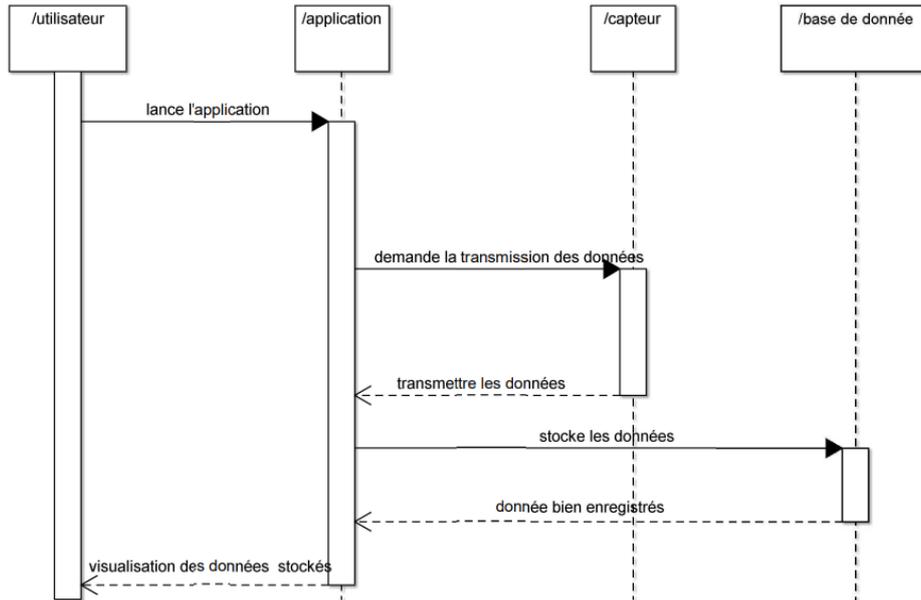


Figure 27 : diagramme de séquence de cas d'utilisation Acquisition de données

### b. Diagramme de séquence du cas d'utilisation consultation de données

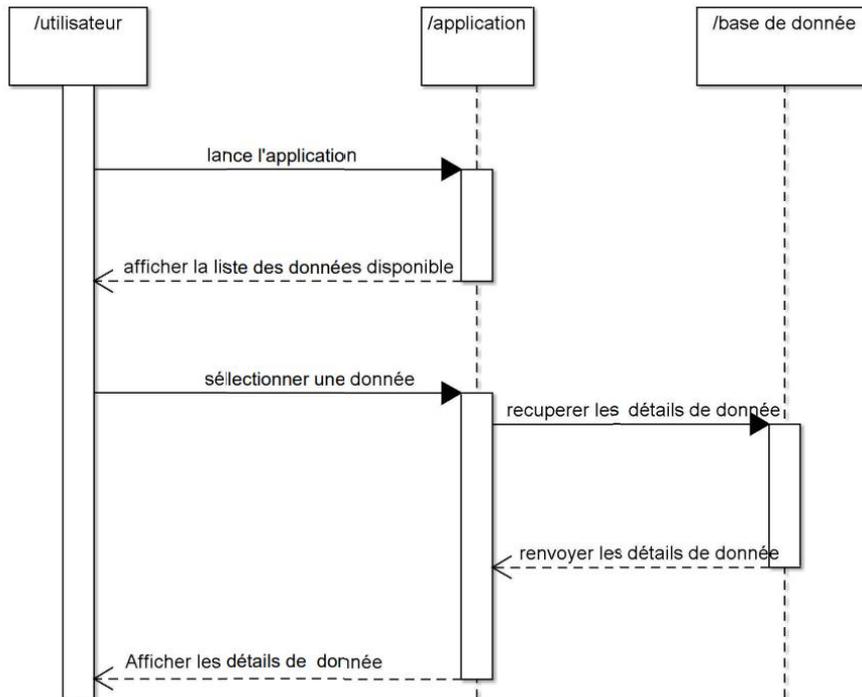


Figure 28 : diagramme de séquence de cas d'utilisation consultation de données



nectés sur le cloud. Son processus se divise en quatre étapes distinctes : connexion, authentification, communication, terminaison. MQTT permet la gestion des déconnexions et des reconexions de devises de manière simplifiée [57].

## 1. Conception d'un prototype matériel d'un système de détection d'incendie

Nous avons un système de détection d'incendie installé dans une maison intelligente pour détecter et alerter l'incendie. Il est composé de capteurs de température, fumée, flamme capable de mesurer la présence d'un incendie. Les données collectées par les capteurs vont être envoyées au niveau du microcontrôleur. Ce dernier analyse les informations reçues par ses capteurs, si toutefois il détecte l'incendie, il déclenche une alarme puis un système d'arrosage automatique afin de minimiser les dégâts avant l'arrivée des secouristes et envoie les informations via le module Wi-Fi ou LoRa à l'antenne 3G/4G.

## IV. Choix des technologies

La réalisation de ce projet nécessite certains composants et logiciels. Nous les présenterons plus tard dans cette section. Le choix de la technologie vient de la capacité à exécuter les tâches qui lui sont confiées, son coût et sa disponibilité dans le marché sénégalais.

### 1. Les objets connectés

La sélection des capteurs est judicieuse pour assurer un bon fonctionnement Cela signifie que nous pouvons produire des prototypes à volonté.

#### a. Une carte Arduino

Dans la réalisation d'un système de détection, nous avons utilisé carte Arduino Uno. Ce dernier est une petite (5,33 x 6,85 cm) carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Le microcontrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino Uno est donc une interface programmable.

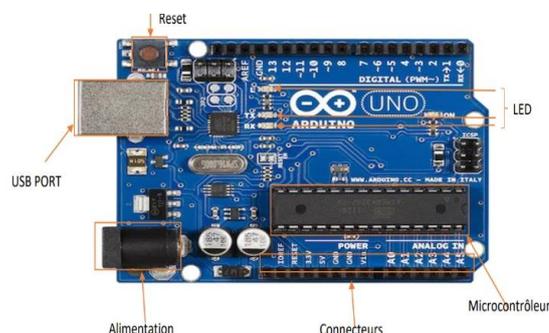


Figure 30 : carte Arduino Uno

## b. Capteur de température et d'humidité (DHT11)

Le capteur de température DHT11 est monté sur la carte et possède un connecteur à trois broches. Le DHT11 est un capteur numérique composé d'une thermistance et d'un capteur d'humidité capacitif. Par son faible coût, le DHT11 présente les caractéristiques suivantes : Alimentation de 3,5 à 5 V, détection de la température de 0 à 50 degrés avec une précision de 2 degrés, détection de l'humidité de 20 à 95 % avec une précision de 5 %.



Figure 31 : capteur de DHT11

## c. Capteur de fumée

Nous avons utilisé pour la réalisation du système le capteur de fumée MQ2 détectable pour la concentration des gaz combustibles dans l'air. Ce module, en effet, permet de détecter le GPL, le I-butane, le propane, le méthane, l'alcool, l'hydrogène et de la fumée. Plus il y a de fumée et plus la tension monte. Il est possible de régler la sensibilité du module à l'aide du potentiomètre se trouvant à l'arrière du module, ce dernier permet d'ajuster un seuil d'activation pour le signal digital qui change lorsque le seuil est atteint. La sonde peut mesurer des concentrations du gaz inflammable de 300 à 10.000 ppm.



Figure 32 : capteur de fumée

#### d. Capteur de flamme

Un détecteur de flamme est un type de capteur capable de détecter et de réagir à la présence d'une flamme. Ces détecteurs ont la capacité d'identifier le liquide sans fumée et la fumée qui peut créer un feu ouvert. Les capteurs de flammes utilisent la technologie des ultraviolets (UV) ou des infrarouges (IR) pour identifier les flammes, ce qui signifie qu'ils peuvent donner l'alerte en moins d'une seconde.

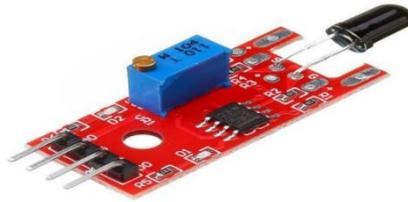


Figure 33 : capteur de flamme

#### e. Module GPS

Un module GPS (Global Positioning System) est utilisé dans SGAI pour obtenir des informations de géolocalisation sur l'incendie. Cela permet de visualiser la localisation de l'incendie sur une carte et de planifier les itinéraires d'intervention en fonction de la distance. Le principe de fonctionnement du GPS repose sur la mesure de la distance d'un récepteur par rapport à plusieurs satellites (les satellites sont répartis de telle manière que 4 à 8 d'entre eux soient toujours visibles).



Figure 34 : module

GPS

#### f. Module GSM

L'utilisation du module GSM permet d'alerter le propriétaire par un message. Ce module utilise deux bandes de fréquences, l'une pour la voie montante (TX), l'autre pour la voie descendante (RX) auxquelles s'intègrent des canaux de signalisation. La puissance du signal est modulée selon la distance entre l'antenne et le GSM considéré, ce qui permet d'avoir une estimation de la distance entre un utilisateur et l'antenne. Ainsi, en cas de coupure de secteur, il vous envoie

un SMS pour vous le signaler. Et un module GSM envoie des SMS à multiples utilisateurs autorisés à les recevoir.



Figure 35 : module GSM

### **g. Pompe à eau**

Il permet de déceler le départ d'incendie et d'agir automatiquement là où nécessaire. Lorsque la température atteint un certain seuil, l'ampoule ou le fusible de la tête sprinkler se rompt. Les têtes de sprinkler situées au-dessus de la zone concernée par l'élévation de température libèrent alors la quantité d'eau prévue pour l'extinction du foyer.



Figure 36 : pompe à eau

## **2. Les outils de développement**

Cette partie est dédiée à la représentation des plateformes informatiques utilisées dans le développement du système d'incendie et d'alerte implanté.

### **a. Plateforme de programmation Arduino**

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple, il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, ce sont ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus plus classique qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. La fonction « setup »

contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).

La fonction « loop » est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction Setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton Reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on omettait cette boucle, à la fin du code produit, il serait impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire.

### **b. AppInventor**

AppInventor est une application développée par Google. Elle est actuellement entretenue par le Massachusetts Institute of Technology (MIT). Elle est aussi un IDE qui permet la création d'applications destinées à des systèmes Android (téléphones, tablettes, ...).

### **c. Xampp**

XAMPP est une distribution d'Apache populaire dans le milieu de la programmation PHP. Sa facilité d'installation et d'utilisation ainsi que sa gratuité permettent à n'importe quel utilisateur de se mettre à la programmation PHP. Enfin, vous pourrez conserver votre configuration sur un support de stockage amovible pour une installation sur une autre station de travail.

### **d. Visual studio code**

Visual Studio Code ou VSCODE est un éditeur de code pour le développement informatique d'applications, de logiciels, de sites Web et de services applicatifs, disponible en téléchargement gratuit sur les ordinateurs Windows, Mac et Linux.



*Figure 37 : logiciel Visual code*

### e. Framework

**Flask (de Python) :** Flask a été créé initialement par Armin Ronacher comme étant un poisson d'avril. Le souhait de Ronacher était de réaliser un framework web contenu dans un seul fichier Python mais pouvant maintenir des applications très demandées. Il est caractérisé par sa vaste communauté, un peu plus performant en comparaison, courbe d'apprentissage plus simple, sûr, mais dépendant d'une maintenance manuelle.



Figure 38 : framework flask

### f. Openstreemap

Openstreemap est un projet fondé en 2004 destiné à réaliser une carte du monde, sous licence « libre ». Cela signifie, que tout le monde est libre d'utiliser, d'améliorer, de distribuer ou d'effectuer des travaux dérivés à partir des cartes, donnant ainsi une liberté bien plus grande que les solutions telles que Google Maps.



Figure 39 : Openstreemap

### g. JavaScript

JavaScript est un langage de script orienté objet utilisé pour le développement d'applications Internet. Ce langage a été développé par la société Netscape Corporation, qui l'a introduit pour la première fois dans son navigateur 2.0 en 1996. Il a subi de nombreuses évolutions au fil du temps et est pris en compte à peu près complètement par les principaux navigateurs (Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Safari, Google Chrome...) équipant les ordinateurs et ceci quel que soit leur système d'exploitation (différentes versions de Microsoft Windows, Unix, Linux, Mac OS X...) [58].

## h. Python

Python est un langage de programmation universel apparu en 1991. Son but est d'offrir un code plus court et plus lisible. Actuellement, ce langage dynamique est géré par l'organisation à but non lucratif Python Software Foundation (PSF) et continue à être développé par une communauté vaste et active. Malgré sa syntaxe simple, Python convient à des projets logiciels onéreux. Il existe un grand nombre de frameworks Web Python disponibles, à part Django et Flask. Ils ont tendance à se distinguer par leurs objectifs, leur structure, et/ou leur fonction principale [59].

## i. La gestion d'alimentation de SGAI

Il est effectivement judicieux d'utiliser un système de gestion d'alimentation pour l'alimentation de notre projet de système de détection automatique d'incendie. Cependant, il est important de bien dimensionner le système pour répondre aux besoins électriques estimés. Pour cela, il nous faut évaluer la consommation électrique des différents composants du système, tels que les capteurs, les microcontrôleurs, les communications sans fil, la localisation géographique de votre projet, ainsi que les conditions météorologiques locales pour déterminer la quantité d'énergie disponible etc. C'est dans ces sens que nous avons choisi d'utiliser un système photovoltaïque, qui comprend un panneau solaire et une batterie, pour alimenter notre projet. Un système photovoltaïque est capable de convertir l'énergie solaire en électricité. La batterie stocke l'énergie produite par les panneaux solaires pour une utilisation ultérieure, par exemple la nuit ou par temps nuageux, lorsque l'énergie solaire n'est pas disponible.

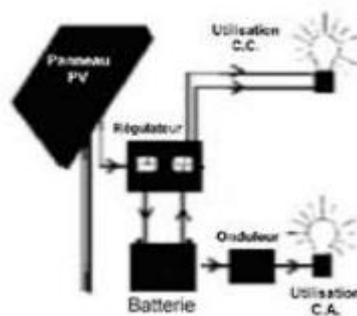


Figure 40 : système d'alimentation photovoltaïque

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé le schéma général de SGAI, en détaillant à la fois la méthodologie utilisée, l'analyse des besoins fonctionnel, les réseaux de communication, ainsi que les outils logiciels et matériels mobilisés pour la réalisation de ce projet. Dans le chapitre

suivant nous présenterons l'implémentation de notre système de détection d'incendie et en mettant en place les plateformes logicielles nécessaires.

## Chapitre 2 : Implémentation de SGAI

L'implémentation est donc l'action qui doit suivre une réflexion pour la concrétiser. Il est la réalisation, l'exécution ou la mise en pratique d'un plan, d'une méthode ou bien d'un concept, d'une idée, d'un modèle, d'une spécification, d'une norme ou d'une règle dans un but précis.

Nous abordons dans ce chapitre la mise en œuvre de notre système en implémentant d'abord les composants électroniques et ensuite les applications.

### I. Implémentation du prototype matériel de système d'incendie automatique

Après avoir choisi les composants, les actionneurs électriques et le logiciel de programmation Arduino, cette étape consiste à concevoir et construire une structure ou un cadre qui les maintient tous ensemble. Le microcontrôleur Arduino considéré comme le cerveau de ce projet pour les maisons, de sorte que chacun des autres composants se connecte à ces cartes qui sont responsables du traitement de l'information et du rapprochement de ces composants.

- **Montage d'Arduino et le capteur de température et d'humidité (DTH11)**

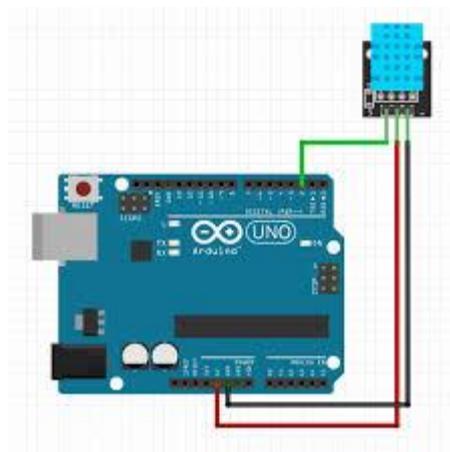


Figure 41 : connexion DTH11 sur Arduino

Arduino Uno	DTH11
VCC	VCC
GND	GND
7	AO

Tableau 1 : connexion DTH11 sur Arduino

- **Montage d'Arduino et capteur de flamme**

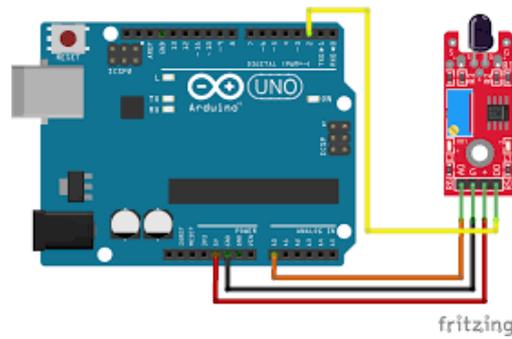


Figure 42 : connexion capteur de flamme sur Arduino

Arduino	Flamme
GND	GND
VCC	5V
A0	A0
2	DO

Tableau 2 : connexion capteur de flamme sur Arduino

- **Montage d'Arduino et capteur de la fumée**

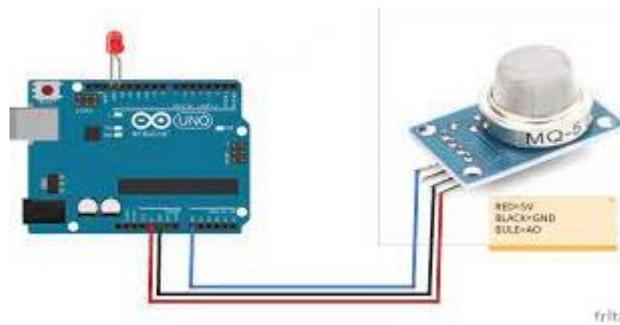


Figure 43 : connexion de capteur de fumée sur Arduino

Arduino	Fumée
GND	GND
VCC	5V
A1	A1

Tableau 3 : connexion de capteur de fumée sur Arduino

- **Montage d'Arduino, module GSM et module GPS**

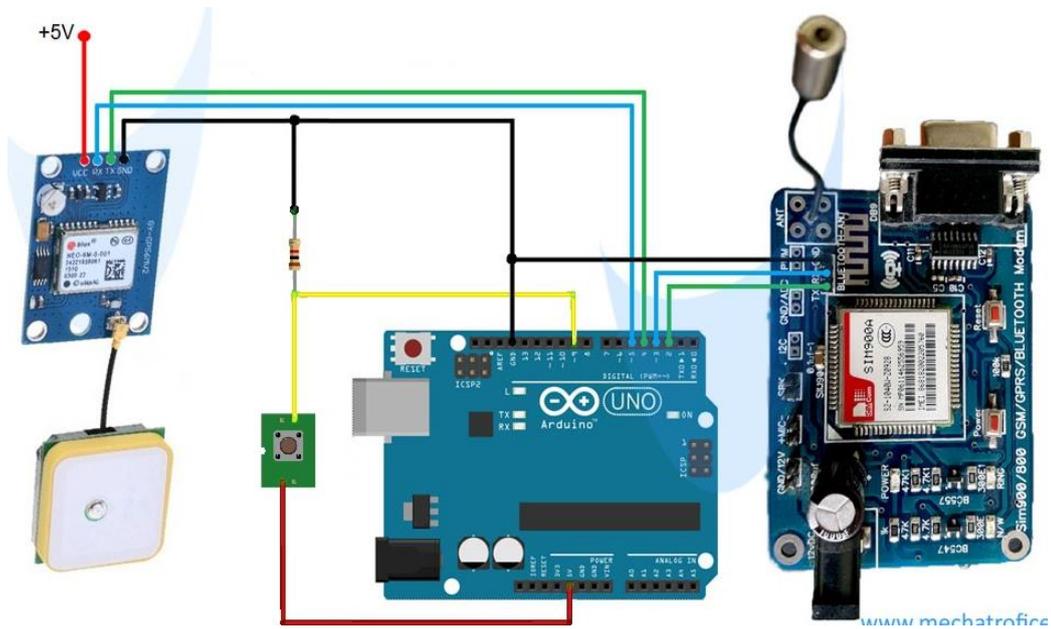


Figure 44 : connexion module GSM ET GPS sur Arduino

La connexion de GPS ET GSM permet respectivement de la géolocalisation du lieu détecter et d'envoyer d'alerte par appel ou par sms du propriétaire.

Arduino	GSM	GPS
GND	GND	GND
PIN7	TX	TX
PIN8	RX	RX
5V		VCC

Tableau 4 : connexion module GSM ET GPS sur Arduino

Après avoir montré comment sont liés chaque outil à l'Arduino, voici maintenant l'assemblage général des composants.

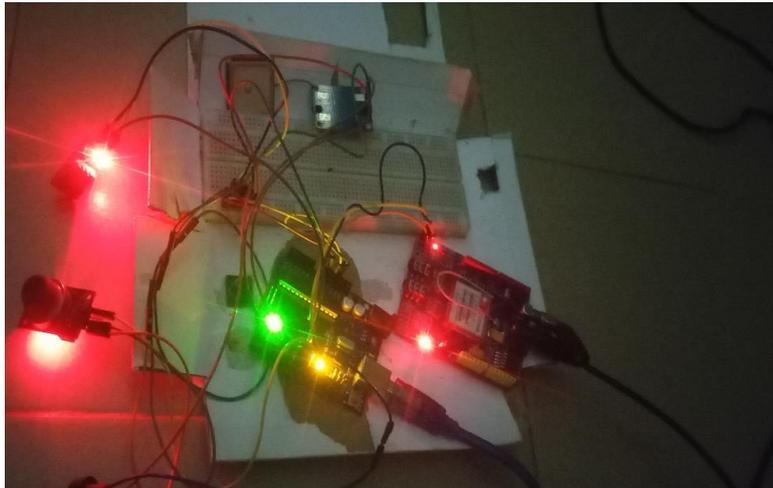


Figure 45 : montage réel de connexion des capteurs sur l'Arduino sur le système de détection d'incendie

## II. Implémentation des applications web/Mobile

Dans cette partie, nous allons montrer un peu les configurations faites pour pouvoir réaliser l'implémentation des applications de notre proposition SGAI.

### a. Application Web

L'application web nécessite de :

- **Base de données**

Notre application nécessite la mise en œuvre d'une base de données, contenant un ensemble d'informations. Ces informations sont nécessaires au bon fonctionnement du système. L'application dans tous ces cas d'utilisation manipule les données stockées dans la base de données et qui contient la table suivante :

Champs	Type	Null	Description
Id	Int	Non	Identifiant de localisation
Latitude	Double	Non	Décrire la valeur obtenue
Longitude	Double	Non	Décrire la valeur obtenue
Dates	Date Times	Non	Décrire l'heure de la detection

#### Localisation

## Users : utilisateur

Champs	Type	Null	Description
Id	Int	Non	Identifiant d'un user
Prénom	Varchar	Non	Prénom d'user
Nom	Varchar	Non	Nom d'user
Téléphone	Big Int	Non	Numéro phone d'un user
Email	Text	Non	Email d'un user
Password	Varchar	Non	Mot de passe d'un user

Tableau 5 : création de la base de données des tables

- Connexion de la base de données sur l'application

```
11 app = Flask(__name__)
12 app.secret_key = '1a2b3c4d5e'
13 app.config["MYSQL_HOST"]='localhost'
14 app.config["MYSQL_USER"]='root'
15 app.config["MYSQL_DB"]='bd_alertincendie'
16 app.config["MYSQL_PASSWORD"]=''
17
18 mysql = MySQL(app)
19 bcrypt = Bcrypt(app)
20
21 | _____
22 | _____
23 @app.route('/')
24 def index():
25     return render_template('login.html')
26
27 @app.route('/home')
28 def home():
```

Tableau 6 : connexion de la base de données sur application

**app = Flask(\_\_name\_\_)** : Création d'une instance de l'application Flask. L'argument **\_\_name\_\_** est généralement utilisé pour permettre à Flask de déterminer le chemin racine de l'application.

**app.secret\_key = '1a2b3c4d5e'** : Définition d'une clé secrète pour sécuriser les données stockées dans les sessions. La clé secrète est utilisée pour signer les cookies de session.

**app.config["MYSQL\_HOST"]='localhost', app.config["MYSQL\_USER"]='root', app.config["MYSQL\_DB"]='bd\_alertincendie', app.config["MYSQL\_PASSWORD"]=''** : Configuration des paramètres de connexion à la base de données MySQL. Ces paramètres incluent le nom d'hôte, le nom d'utilisateur, le nom de la base de données et le mot de passe.

**mysql = MySQL(app)** : Création d'une instance de l'extension MySQL pour Flask, en utilisant les paramètres de configuration définis précédemment.

**bcrypt = Bcrypt(app)** : Création d'une instance de l'extension Bcrypt pour Flask. Bcrypt est généralement utilisé pour le hachage sécurisé des mots de passe.

**@app.route('/')** : Définition d'une route pour l'URL racine (/). La fonction suivante sera exécutée lorsque l'utilisateur accédera à cette URL.

**def index():** : Définition de la fonction associée à la route /. Cette fonction s'appelle index().

**return render\_template('login.html')** : Renvoie le résultat du rendu du modèle HTML login.html. Cela suppose que vous avez un dossier appelé "templates" dans le même répertoire que votre script Flask, et que ce dossier contient le fichier HTML login.html.

En résumé, ce code configure une application Flask avec des paramètres pour une base de données MySQL et des extensions pour gérer les sessions et le hachage sécurisé des mots de passe. Il définit une route pour l'URL racine qui renvoie une page de connexion (**login.html**).

**@app.route('/home'), def home ()** : cette fonction semble récupérer des informations sur les utilisateurs et les enregistrements de localisation à partir de deux tables différentes dans une base de données MySQL. Ces informations sont utilisées pour effectuer des calculs et sont probablement destinées à être utilisées dans le rendu d'une page HTML associée à la route /home.

- **Optimisation sur l'itinéraire d'incendie**

```
40 | | | | | L.Routing.control({
41 | | | | |   geocoder: L.Control.Geocoder.nominatim(),
42 | | | | |   lineOptions: {
43 | | | | |     styles: [{ color: '#ff8f00', opacity: 1, weight: 7 }]
44 | | | | |   },
45 | | | | |
46 | | | | |   // Nous personnalisons la langue et le moyen de transport
47 | | | | |   router: new L.Routing.osrmv1({
48 | | | | |     language: 'fr',
49 | | | | |     profile: 'bike', // car, bike, foot
50 | | | | |   }),
51 | | | | |
52 | | | | |   }).addTo(macarte)
53 | | | | | }
54 | | | | | window.onload = function () {
55 | | | | |   // Fonction d'initialisation qui s'exécute lorsque le DOM est chargé
56 | | | | |   initMap();
57 | | | | | };
```

Tableau 7 : code d'optimisation sur l'itinéraire d'incendie

**L.Routing.control({... }).addTo(macarte)** : Cette ligne crée un contrôle de routage avec des options spécifiques et l'ajoute à la carte macarte. Ce contrôle permet à l'utilisateur de planifier un itinéraire entre deux points sur la carte.

**geocoder: L.Control.Geocoder.nominatim()** : Utilisation du géocodeur Nominatim pour convertir les adresses en coordonnées géographiques (et vice versa). Nominatim est un service de géocodage en ligne.

**lineOptions: { styles: [{ color: '#ff8f00', opacity: 1, weight: 7 }] }** : Personnalisation de l'apparence de la ligne de l'itinéraire. Dans cet exemple, la ligne est définie avec une couleur orange, une opacité de 1 et une épaisseur de 7 pixels.

**router: new L.Routing.osrmv1({ language: 'fr', profile: 'bike' })** : Configuration du service de routage OSRM (Open Source Routing Machine) avec la langue française et le profil "bike" (voiture). Cela signifie que l'itinéraire proposé prendra en compte les itinéraires adaptés aux trajets à voiture.

**window.onload = function () { initMap(); }** ; Cela attache une fonction à l'événement onload de la fenêtre, de sorte que lorsque la page est entièrement chargée, la fonction initMap() sera appelée. La fonction initMap() doit être définie ailleurs dans votre code et est probablement utilisée pour initialiser la carte et d'autres composants.

En résumé, ce code crée un contrôle de routage sur une carte Leaflet, personnalise l'apparence de l'itinéraire, utilise le géocodeur Nominatim, et configure le service de routage OSRM pour planifier des itinéraires adaptés aux trajets à voiture en français. La fonction initMap() est déclenchée lorsque la page est chargée, probablement pour initialiser la carte.

## b. Application Mobile

Le développement de notre application mobile a pour objectif d'incorporer une fonctionnalité permettant de visualiser l'emplacement d'un incendie détecté dans une ville. Elle est conçue pour les secouristes des sapeurs-pompiers. Concrètement, ils auront la possibilité, via une carte ou une interface graphique, d'observer précisément où un incendie a été repéré dans la ville. L'ajout d'un bouton intitulé « Localiser » déclenchera le traçage du chemin le plus court depuis la localisation de l'incendie jusqu'à la position des sapeurs-pompiers, tout en affichant les coordonnées (latitude et longitude) du lieu détecté. La figure 45 illustre l'interface de visualisation d'incendie, conçue à l'aide de MIT Inventor.

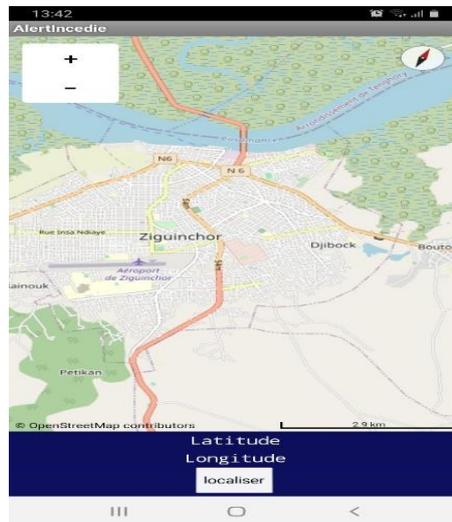


Figure 46 : interface de visualisation d'incendie

## Conclusion

Dans ce chapitre l'implémentation de notre système de gestion d'incendie intelligente, nous avons montré la mise en œuvre du prototype matériel et d'implantation des applications.

En résumé, la mise en place de notre système de gestion d'incendie intelligent représente une étape cruciale pour améliorer la coordination des interventions en cas d'incendie au sein des communautés. Ceci assure une évacuation efficace et rapide du système de détection d'incendie, tout en offrant aux secouristes une application conviviale pour planifier leurs interventions de manière opportune.

## Chapitre 3 : Présentation du prototype réel de SGAI

Cette partie va présenter la solution SGAI avec ces différentes fonctionnalités. Il sera question donc dans ce chapitre de faire un guide d'utilisation de la solution. Nous allons présenter d'abord le système automatique de détection d'incendie, ensuite l'interface de l'intervention des secouristes et enfin l'application et l'alerte au propriétaire par SMS.

### I. Présentation du système automatique d'incendie

Après avoir effectué une analyse approfondie des diverses solutions existantes en matière de détection d'incendie, nous sommes désormais prêts à introduire un prototype innovant. Celui-ci a été élaboré dans le but de considérablement améliorer la gestion de la sécurité incendie dans notre pays. Les phases de conception et de réalisation qui ont suivi ont abouti à un prototype parfaitement conforme aux différents scénarios opérationnels définis dans les objectifs de ce projet. La figure 47 illustre le fonctionnement du système de détection d'incendie.

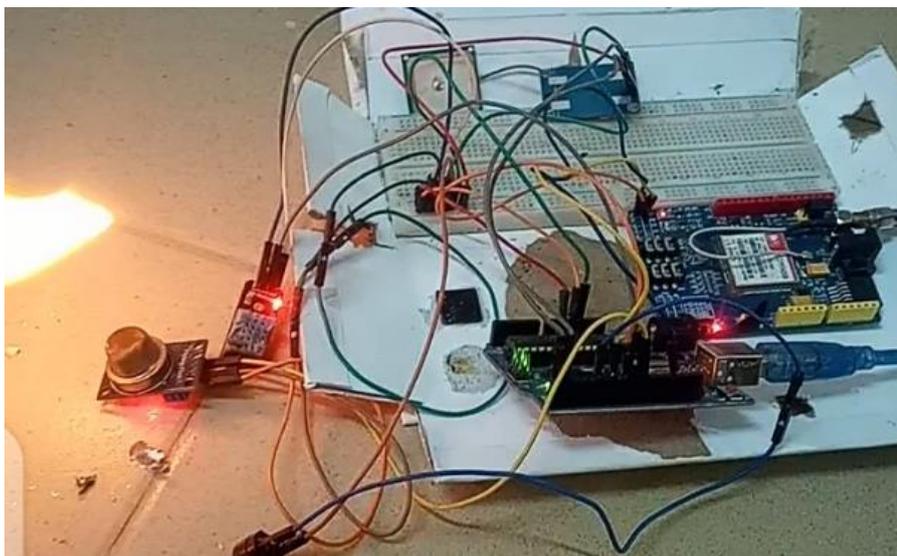


Figure 47 : Image du système de détection d'incendie

### II. Présentation de l'application Web

Notre plateforme Web constitue un outil dédié aux sapeurs-pompiers, leur offrant la possibilité de visualiser les incendies, ainsi que les statistiques et les emplacements correspondants sur une carte. Son développement repose sur les technologies Python et JavaScript, intégrant le framework Flask pour présenter les données de manière cartographique via OpenStreetMap. Examinons à présent les fonctionnalités qu'elle propose :

- **Page d'authentification**

Notre application intègre également une page de connexion destinée aux utilisateurs désirant accéder aux données (Figure 47). Une fois authentifiés, les utilisateurs peuvent atteindre la page d'accueil présentée à la Figure 48. En cas d'erreur, un message s'affichera.

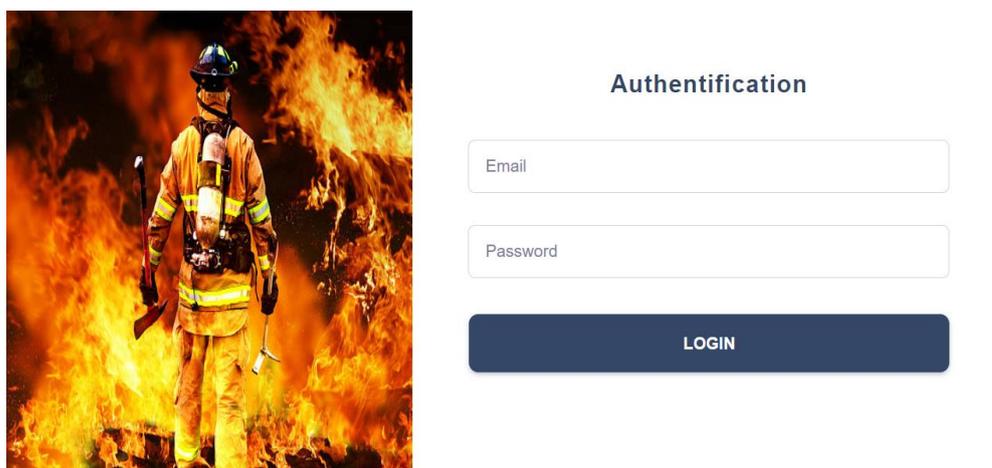


Figure 48 : page d'authentification

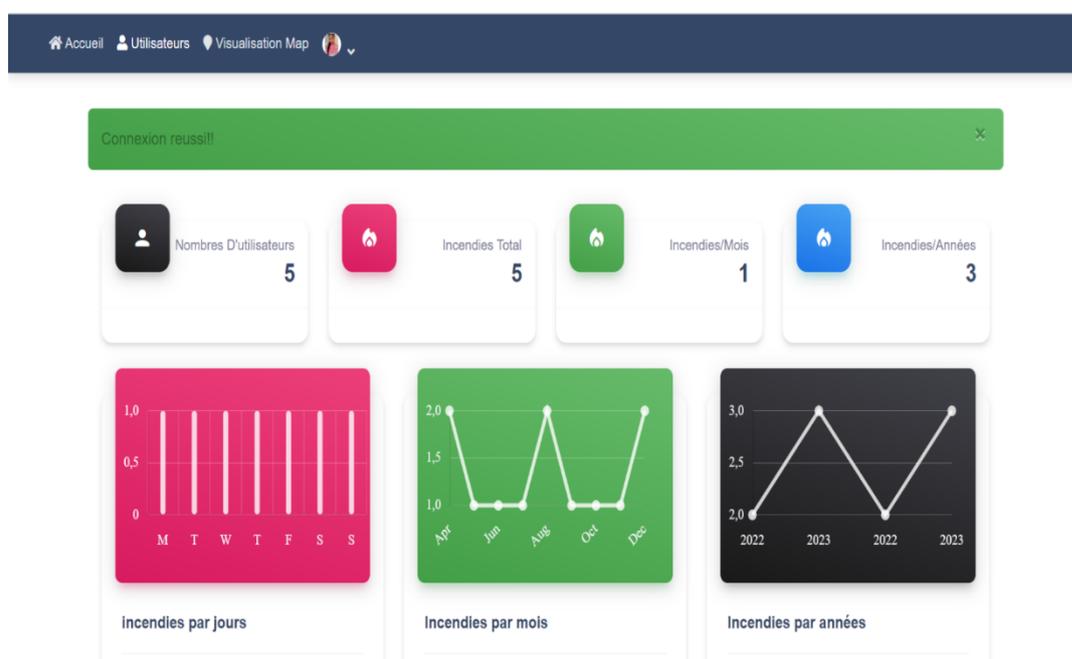


Figure 49 : page d'accueil du système

- **Liste des agents de sapeurs-pompiers**

Listes des utilisateurs

Search



➕ AJOUTER UTILISATEUR

Prenom	Nom	Telephone	Adresse	Email	Action
Mamadou	SOW	771211255	a12	mama@test.com	<span>✎ MODIFIER</span> <span>🔑 CHANGER PASSWORD</span> <span>🗑 SUPPRIMER</span>
admin	admin	777777777	admin	admin@admin.com	<span>✎ MODIFIER</span> <span>🔑 CHANGER PASSWORD</span> <span>🗑 SUPPRIMER</span>
Aly	Sow	771211255	Thiabakh/Richard Toll	sow1994@gmail.com	<span>✎ MODIFIER</span> <span>🔑 CHANGER PASSWORD</span> <span>🗑 SUPPRIMER</span>
Ramatoulaye	FAYE	776153114	parcelles assainies	ramatoulayefaye20@gmail.com	<span>✎ MODIFIER</span> <span>🔑 CHANGER PASSWORD</span> <span>🗑 SUPPRIMER</span>
Fatou	FAYE	777777777	parcelles assainies	fatou1998@gmail.com	<span>✎ MODIFIER</span> <span>🔑 CHANGER PASSWORD</span> <span>🗑 SUPPRIMER</span>

Figure 50 : liste des agents de sapeurs-pompiers connectés

- **Formulaire d'ajouter d'un agent de sapeurs-pompiers**

Ajouter un utilisateur ✕

---

SAVE

Figure 51 : formulaire d'ajout d'un agent

- **Visualisation du lieu de détection d'incendie**

L'utilisateur clique sur le bouton Visualisation Map. Une fois localisé l'incendie comme dans la figure 52, nous pouvons déterminer l'itinéraire du lieu par rapport à la position des sapeurs-pompiers comme illustré à la figure 53. Ce repère visuel indique la direction du trajet sur l'interface, située à droite de la figure 53, jusqu'à l'arrivée à destination.

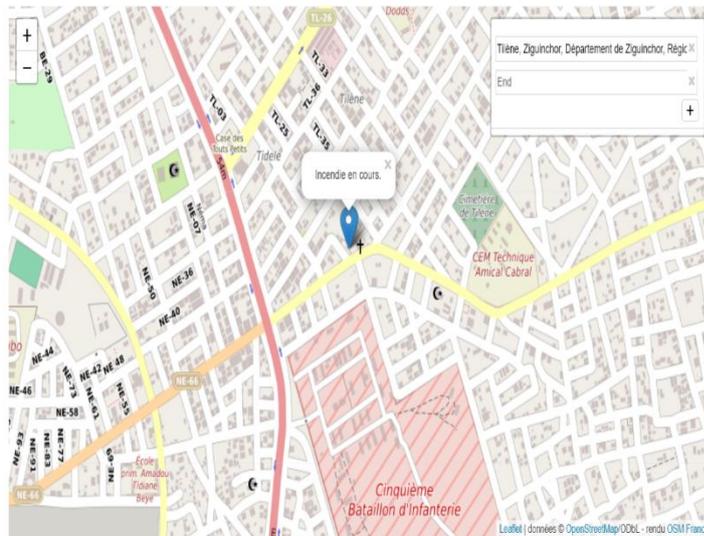


Figure 52 : l'incendie localiser

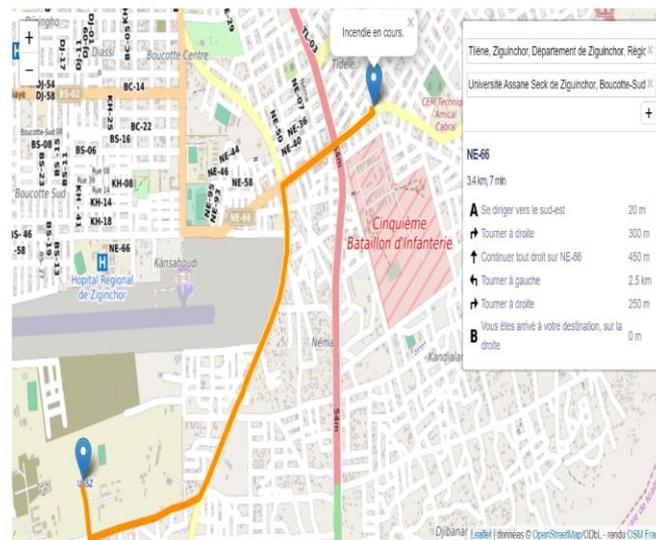


Figure 53 : l'itinéraire de l'incendie par Application web

### III. Présentation de l'application mobile

Dès que l'incendie est repéré, nous transmettons une alerte par SMS au propriétaire du système, comme présenté dans la figure 54. Simultanément, un message contenant un lien dédié aux secouristes des sapeurs-pompiers, tel qu'illustré à la figure 55, est généré. Ce lien leur offre la possibilité d'accéder directement à la localisation de l'incendie et de planifier le trajet le plus court en fonction du temps, comme démontré dans la figure 56.

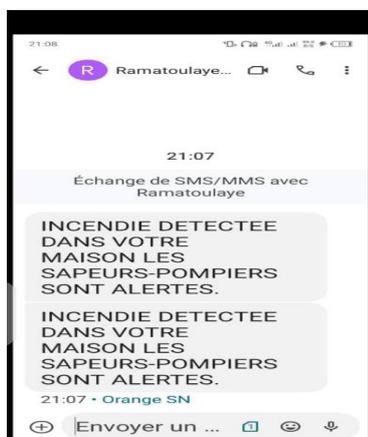


Figure 54 : Notification par sms du propriétaire

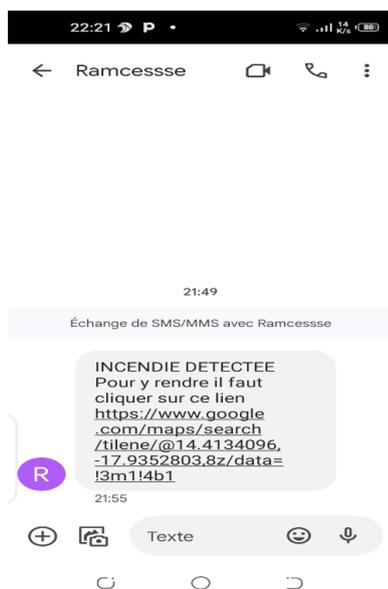


Figure 55 : Notification par sms du secouriste des sapeurs-pompiers.

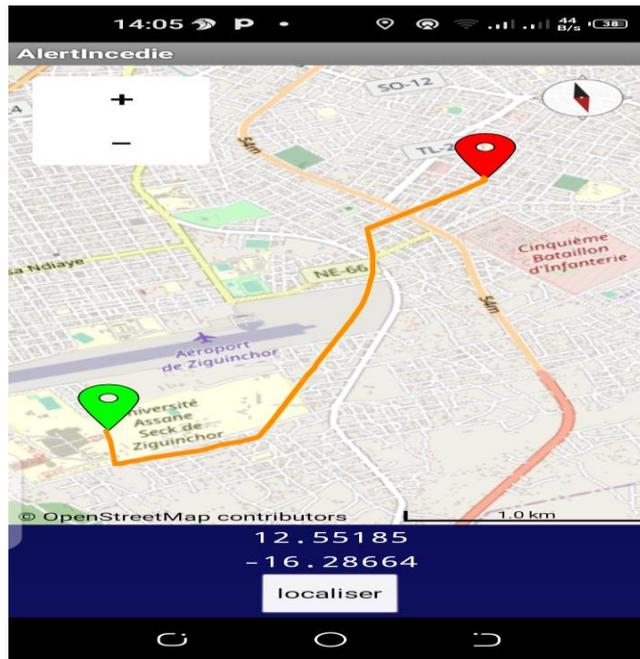


Figure 56 : l'itinéraire de l'incendie par Application Mobile

## Conclusion

Dans ce chapitre, il faut noter qu'un système de gestion des incendies intelligent a été conçu pour répondre aux besoins des villes sénégalaises, en améliorant la gestion des incendies visant à réduire les coûts et l'impact sur l'environnement.

Le test du prototype d'un système de détection et d'alerte d'incendie équipé de capteurs a été couronné de succès lors de la surveillance du lieu.

Les applications web et mobiles ont été développées pour permettre aux utilisateurs de surveiller l'état du système et de recevoir des notifications lorsque celui-ci détecte la présence d'un incendie. L'application mobile permet également aux secouristes des sapeurs-pompiers de trouver le chemin le plus court en fonction du temps et d'informer le propriétaire du lieu par SMS.

En résumé, notre système de gestion des incendies intelligent offre une solution novatrice pour répondre aux exigences des villes intelligentes en matière de gestion des incendies. Il utilise les technologies IOT pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts et préserver l'environnement.

## Conclusion Générale et perspectives

L'élaboration de notre travail était dans le but de faire un système intelligent de détection, d'analyse et d'alerte permettant de localiser les incendies les plus proches en ville à l'aide d'une application AlertIncendie.

L'exploration de l'Internet des objets (IOT) nous a permis de comprendre comment mettre en place une gestion intelligente des incendies en milieu urbain. Cette technologie révolutionnaire offre des améliorations significatives dans notre vie quotidienne. Cet outil confère davantage de puissance aux applications, leur permettant ainsi de fonctionner de manière plus performante et efficace dans un environnement technologiquement avancé. En d'autres termes, cela suggère une amélioration de la capacité et des performances des applications dans un contexte technologique moderne.

Cette application propose une gamme de fonctionnalités permettant à l'utilisateur de détecter et signaler un incendie, de connaître sa position exacte, de localiser les incendies à proximité, et de consulter les statistiques mensuelles et annuelles sur le nombre d'incendies. De plus, l'application offre la possibilité de tracer l'itinéraire le plus proche vers la destination souhaitée et de gérer les informations des agents de sapeurs-pompiers en ajoutant, supprimant ou modifiant les mots de passe.

L'étude conceptuelle et technique qui a abouti à la réalisation de notre solution constitue les parties de notre mémoire. Celui-ci nous a permis d'acquérir des connaissances inestimables dans le développement d'applications web et mobiles, de faire face aux contraintes réelles tout en vivant les différentes phases du développement et la production d'une application mobile.

Nous avons recouru à différents outils et technologies jugés nécessaires pour l'aboutissement de notre projet.

Dans la première partie, nous avons développé trois (03) chapitres. Tout d'abord nous avons étudié en chapitre un (1) la gestion des incendies en ville, ensuite au deuxième (2) chapitre les types de système de gestion d'incendie et l'inclusion des technologies IoT et enfin dans le dernier chapitre nous avons décrit l'étude de l'existant et présenté notre solution proposée.

Dans la dernière et deuxième partie, nous avons développé trois (03) chapitres. Dans le premier chapitre nous avons analysé et conçu SGAI, dans le deuxième chapitre nous avons l'implémentation et dans le dernier chapitre nous avons présenté notre prototype réel de SGAI.

L'application web est développée en Python sous Visual Studio Code, les étapes de développement nous ont conduit aussi à acquérir des connaissances dans le développement web notamment pour le développement des services web PHP permettant de gérer la connexion avec le serveur de base de données, assurer la mise à jour et la récupération de ces données distantes avec Android et l'application mobile est développée en langage C sous AppInventor.

Ces étapes nous ont permis de réaliser un système complet et fonctionnel. En perspective, nous envisageons :

- Le système d'arrosage automatique.
- De prendre des captures d'images de la progression de l'incendie.
- La notification d'appels téléphonique aux sapeurs-pompiers.
- D'intégrer de l'IA pour l'analyse de la congestion du trafic.

# Bibliographie et Webographie

- [1] « Amrouche M..pdf ». Consulté le : 19 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <https://ummt0.dz/dspace/bitstream/handle/ummt0/13205/Amrouche%20M...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] « Matta - Conception et installation d'un système de surveil.pdf ». Consulté le : 30 avril 2023. [En ligne]. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00594324/document>
- [3] « chapitre\_7\_-\_section\_b\_-\_securite\_incendie.pdf ». Consulté le : 19 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : [https://policy.un.org/sites/policy.un.org/files/files/documents/2020/Oct/chapitre\\_7\\_-\\_section\\_b\\_-\\_securite\\_incendie.pdf](https://policy.un.org/sites/policy.un.org/files/files/documents/2020/Oct/chapitre_7_-_section_b_-_securite_incendie.pdf)
- [4] « Incendie », *Éditions Tissot*. <https://www.editions-tissot.fr/guide/definition/incendie> (consulté le 19 juillet 2023).
- [5] Lequotidien, « RAPPORT - Statistiques de la Protection civile au Sénégal : 2 morts par jour à cause d'accidents », *Lequotidien - Journal d'information Générale*, 2 mars 2018. <https://lequotidien.sn/rapport-statistiques-de-la-protection-civile-au-senegal-2-morts-par-jour-a-cause-daccidents/> (consulté le 19 juillet 2023).
- [6] « Risque incendie : causes, conséquences et moyens de lutte - Sécurité incendie ». <https://www.preventica.com/dossier-risque-incendie-causes-consequences.php> (consulté le 19 juillet 2023).
- [7] « Fil rouge : Analyse de risque incendie sur un ERP - Les causes de départ de feu ». [http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/fil\\_rouge\\_incendie/co/Module\\_Fil\\_rouge\\_26.html](http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/fil_rouge_incendie/co/Module_Fil_rouge_26.html) (consulté le 19 juillet 2023).
- [8] « theorieTriangleDuFeu.pdf ». Consulté le : 19 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FeuxDeForet/theorieTriangleDuFeu.pdf>
- [9] « Bureau Assistance Technique Prévention Incendie - Extincteur - Détecteur d'incendie - Détecteur de fumée ». [http://www.batpi.fr/sites/incendie/faq/detail.php/question/parametres\\_incendie](http://www.batpi.fr/sites/incendie/faq/detail.php/question/parametres_incendie) (consulté le 19 juillet 2023).

- [10] « Découvrir les différents types d'incendies - Aide Google Nest ». <https://support.google.com/googlenest/answer/9247640?hl=fr> (consulté le 19 juillet 2023).
- [11] « Risque incendie : causes, conséquences et moyens de lutte - Sécurité incendie ». <https://www.preventica.com/dossier-risque-incendie-causes-consequences.php> (consulté le 19 juillet 2023).
- [12] « Les coûts et les conséquences économiques des incendies », *Mercor Tecresa*, 20 mars 2018. <https://mercortecresa.com/fr/blog/les-couts-et-les-consequences-economiques-des-incendies> (consulté le 19 juillet 2023).
- [13] « Robinets d'incendie armés et maintenance RIA », *Direct Prévention*. <https://www.direct-prevention.fr/materiels-de-securite-incendie/robinets-incendie-armes/> (consulté le 19 juillet 2023).
- [14] « Les extincteurs, les différents types d'extincteurs », *Protection Sécurité Alarme*. <https://www.protection-securite-alarme.com/extincteurs/> (consulté le 19 juillet 2023).
- [15] « Sprinklers définition : ProtorMundi Expertise immobilière ». <https://www.local-commercial-entrepot.com/conseils/services-en-immobilier-entreprise/lexique-commercial/sprinklers-definition.html> (consulté le 19 juillet 2023).
- [16] mma, « Fonctionnement du système Sprinkler ». <https://entreprise.mma.fr/connexionpro/sprinkler-fonctionnement.html> (consulté le 19 juillet 2023).
- [17] « Gestion incendie | Entelec ». <https://www.entelec.eu/fr/fire-management> (consulté le 20 juillet 2023).
- [18] « Incendie sur le lieu de travail. Évacuation, intervention et consignes de sécurité - Risques - INRS ». <https://www.inrs.fr/risques/incendie-lieu-travail/evacuation-intervention-consignes-securite.html> (consulté le 20 juillet 2023).
- [19] « Incendies en Sénégal », *World Life Expectancy*. <https://www.worldlifeexpectancy.com/fr/senegal-fires> (consulté le 20 juillet 2023).
- [20] « NOS MARCHÉS FLAMBENT, POURQUOI ? », *SenePlus*, 30 janvier 2023. <https://www.seneplus.com/opinions/nos-marches-flambent-pourquoi> (consulté le 21 juillet 2023).

- [21] « Nouvelle page 1 ». <http://www.ideal-incendie.net/dasm/activites/detection/pagedetection.htm> (consulté le 21 juillet 2023).
- [22] « Guides\_secu\_incendie\_interactif.pdf ». Consulté le : 21 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : [http://www.cifful.ulg.ac.be/images/stories/Guides\\_secu\\_incendie\\_interactif.pdf](http://www.cifful.ulg.ac.be/images/stories/Guides_secu_incendie_interactif.pdf)
- [23] « Consignes de sécurité incendie ».
- [24] « Tout savoir sur la formation incendie pour le médico-social », *Gammeo*, 29 janvier 2021. <https://gammeo.com/2021/01/29/formation-incendie-medico-social/> (consulté le 21 juillet 2023).
- [25] « Moyens matériels de lutte contre la malveillance SecurySee ». <https://securysee.fr/moyens-materiels-lutte-malveillance/> (consulté le 21 juillet 2023).
- [26] « Chapitre 41 - Les incendies ». <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo041.htm> (consulté le 21 juillet 2023).
- [27] « Portes de compartimentage, pour lutter contre les incendies », *Doortal*, 31 mai 2021. <https://www.doortal.fr/portes-de-compartimentage-pour-lutter-contre-les-incendies/> (consulté le 21 juillet 2023).
- [28] « Mesures organisationnelles », *GVB - Heureka*, 25 août 2015. <https://be.heureka.ch/fr/domaines-thematiques/mesures-organisationnelles> (consulté le 21 juillet 2023).
- [29] « DEF - Détection incendie : de la conception à la maintenance », *DEF*. <https://www.defonline.com/solution/detection-incendie/> (consulté le 21 juillet 2023).
- [30] « Systèmes d'alarme-incendie dans les bâtiments existants - Société d'habitation du Québec ». [http://www.habitation.gouv.qc.ca/fiches\\_de\\_projet/fiches\\_techniques/systemes\\_dalarme\\_incendie\\_dans\\_les\\_batiments\\_existants.html](http://www.habitation.gouv.qc.ca/fiches_de_projet/fiches_techniques/systemes_dalarme_incendie_dans_les_batiments_existants.html) (consulté le 21 juillet 2023).
- [31] « Désenfumage - Brochure - INRS ». <https://www.inrs.fr/media.html?re-finrs=ED%206061> (consulté le 21 juillet 2023).
- [32] « Historique, chiffres clés et portée, définition complète de l'IoT ». <https://www.requea.com/article-18.html> (consulté le 21 juillet 2023).

- [33] Yvette, « Architecture d'un réseau IoT : tout ce qu'il faut savoir », *OBJETCONNECTE.COM*, 9 mai 2022. <https://www.objetconnecte.com/architecture-reseau-iot/> (consulté le 22 juillet 2023).
- [34] « mémoire final.pdf ». Consulté le : 22 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/4282/1/m%C3%A9moire%20final.pdf>
- [35] « LoRa - protocole LoraWAN - Réseau Wifi », *Finemeca*. <https://www.finemeca.com/internet-of-things-lora/> (consulté le 22 juillet 2023).
- [36] « Réseaux mobiles : connaissez-vous les différences entre 2G, 3G, 4G et 5G ? », *Echos du Net*, 26 avril 2021. <https://www.echosdunet.net/dossiers/reseaux-mobiles-differences-entre-2g-3g-et-4g> (consulté le 22 juillet 2023).
- [37] « mémoire final.pdf ». Consulté le : 22 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/4282/1/m%C3%A9moire%20final.pdf>
- [38] C. Diouf, « WLAN : les réseaux sans fils et Wifi ».
- [39] « Bluetooth.pdf ». Consulté le : 22 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <https://lewebpedagogique.com/isneiffel/files/2017/05/Bluetooth.pdf>
- [40] « Qu'est-ce que ZigBee ? Explication sur la technologie de réseau de lumière intelligente la plus populaire au monde ». <https://homey.app/fr-ca/wiki/quest-ce-que-zigbee/> (consulté le 22 juillet 2023).
- [41] « Z-Wave : caractéristiques et évolution du réseau », 20 décembre 2022. <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440712-z-wave-caracteristiques-et-evolution-du-reseau-20221220/> (consulté le 22 juillet 2023).
- [42] « 6LoWPAN », *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/internet-des-objets-42612210/6lowpan-te8002/> (consulté le 22 juillet 2023).
- [43] « Inf.ILM.05-20.pdf ». Consulté le : 21 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8574/Inf.ILM.05-20.pdf?sequence=1>
- [44] H. Sammour, « Système de surveillance autonome de détection et d'extinction d'un incendie à distance et par réseau local ».

- [45] C. Bahhar, C. Baccouch, et H. Sakli, « IoT et Intelligence Artificielle pour lutter contre les incendies », in *Colloque sur les Objets et systèmes Connectés - COC'2021*, MARSEILLE, France : IUT d'Aix-Marseille, mars 2021. Consulté le : 22 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur : <https://hal.science/hal-03593718>
- [46] « Sensors | Free Full-Text | Dependable Fire Detection System with Multifunctional Artificial Intelligence Framework ». <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/9/2025> (consult le 22 Juillet 2023).
- [47] M. Sultan Mahmud, Md. S. Islam, et Md. A. Rahman, « Smart Fire Detection System with Early Notifications Using Machine Learning », *Int. J. Comput. Intell. Appl.*, vol. 16, n° 02, p. 1750009, juin 2017, doi: 10.1142/S1469026817500092.
- [48] M. D. Mu'afa, M. R. J. Silalahi, H. W. Julitama, et J. Hariyono, « Fire Detection Based on Image Using MATLAB GUI Programme », *J. Electr. Electron. Inf. Commun. Technol.*, vol. 5, n° 1, p. 15, mai 2023, doi: 10.20961/jeeict.5.1.69091.
- [49] A. Imteaj, T. Rahman, M. K. Hossain, M. S. Alam, et S. A. Rahat, « An IoT based fire alarming and authentication system for workhouse using Raspberry Pi 3 », in *2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, Cox's Bazar, Bangladesh: IEEE, févr. 2017, p. 899-904. doi: 10.1109/ECACE.2017.7913031.
- [50] F. Idris, N. Hashim, A. F. Kadmin, et L. B. Yee, « Intelligent fire detection and alert system using labVIEW », *Int. J. Electr. Comput. Eng. IJECE*, vol. 9, n° 3, p. 1842, juin 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i3.pp1842-1849.
- [51] D. N. Addin, « Conception d'une interface adaptative en réalité augmentée pour gérer des systèmes autonomes dans le déroulement de missions critiques ».
- [52] « JSAN | Free Full-Text | IoT-Based Intelligent Modeling of Smart Home Environment for Fire Prevention and Safety ». <https://www.mdpi.com/2224-2708/7/1/11> (consult le 22 Juillet 2023).
- [53] H. Alqourabah, A. Muneer, et S. M. Fati, « A smart fire detection system using iot technology with automatic water sprinkler », *Int. J. Electr. Comput. Eng. IJECE*, vol. 11, n° 4, p. 2994, août 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i4.pp2994-3002.
- [54] R. A. Sowah, K. Apeadu, F. Gatsi, K. O. Ampadu, et B. S. Mensah, « Hardware Module Design and Software Implementation of Multisensor Fire Detection and Notification

System Using Fuzzy Logic and Convolutional Neural Networks (CNNs) », *J. Eng.*, vol. 2020, p. e3645729, févr. 2020, doi : 10.1155/2020/3645729.

[55] « LoRa : comment fonctionne le réseau IoT ? » <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1197635-lora-comment-fonctionne-le-reseau-iot-20221010/> (consulté le 27 juillet 2023).

[56] « Qu'est-ce que le Wi-Fi ? - Définition et types », *Cisco*. [https://www.cisco.com/c/fr\\_ca/products/wireless/what-is-wifi.html](https://www.cisco.com/c/fr_ca/products/wireless/what-is-wifi.html) (consulté le 27 juillet 2023).

[57] « MQTT : comment fonctionne ce protocole ? », 2 décembre 2022. <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440686-mqtt-comment-fonctionne-ce-protocole/> (consulté le 27 juillet 2023).

[58] « JavaScript | MDN », 23 juillet 2023. <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/JavaScript> (consulté le 28 juillet 2023).

[59] « Apprenez les bases du langage Python ». <https://openclassrooms.com/fr/courses/7168871-apprenez-les-bases-du-langage-python> (consulté le 28 juillet 2023).