

**REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET UNIVERSITAIRE**  
**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS**

**ULPGL**



**B.P 368 Goma**

# **CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME INTELLIGENT D'EXTINCTION DES INCENDIES**

Par **MALUMA ALUMA Jonas**

Mémoire de fin d'études présenté et défendu en vue  
de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Civil en génie  
Electrique et informatique.

Option : **Génie Informatique**

Directeur : **Prof. Dr. Ir. TAKENGA Claude**  
Encadreur : **Ass. Ir. IRENGE BAGUMA Raoul**

**Année académique 2017-2018**

## **EPIGRAPHE**

« Il est plus facile d'assumer ce qu'on est que d'imiter ce qu'on n'est pas ».

*Youssoupha TABOU.*

## **DEDICACES**

À mes très chers parents ALUMA FU NG'SUNGUNZA et YOBO Odette qui ont pris soin de moi depuis mes premières secondes sur terre jusqu'à ce jour.

**MALUMA ALUMA Jonas**

## REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit d'une conjugaison de multiples efforts de différentes personnes physiques ou morales ayant apporté leurs savoirs, force physique, etc.

En premier lieu, nous rendons grâce à notre créateur et protecteur, l'Éternel Dieu Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la bonne santé et surtout la persévérance qui nous a permis d'arriver au bout de notre formation.

Au corps académique, scientifique et administratif de l'Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL/Goma) pour avoir apporté sa pierre à la construction de savoir-faire et savoir-être au point d'être qui nous sommes aujourd'hui.

Au Professeur Dr. Ir. TAKENGA Claude, notre directeur et à l'Assistant Ir. IRENGE BAGUMA Raoul, notre encadreur. Nous avons eu le privilège de travailler à vos côtés durant toute la période qu'a pris la réalisation de ce travail ; votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués. Veuillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos parents biologiques, Papa ALUMA FUNG'SUNGUNZA et Maman Odette YOBO.

A nos frères et sœurs, Bijoux FOY' ALUMA, Adèle DALEKE, Pierrot ALUMA, Charles ALUMA, Myriam ALUMA, Fulgence ALUMA, Julien LOMAYA pour leurs soutiens morale, financier et spirituelle pour notre éducation.

Aux collègues TSHONGO SEKERAVITI, BAUMA KALAMO, PASCAL KOKO, DANIELA MUGHOLE, MUKANDWA BOTUMA, GIMIKO SIGBAGBE, KALUMENDO GREVISSE pour leurs encouragements et conseils dans nos moments difficiles.

A ceux qui de près ou de loin ont contribué à la rédaction de ce présent travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de nos sentiments de gratitude.

**MALUMA ALUMA Jonas**

## RESUME

Des nombreux accidents survenus dans nos bâtiments sont en relation avec l'incendie. La mauvaise organisation liée à la gestion de crise pour combattre le feu a augmenté davantage les conséquences du sinistre. Toutefois nous constatons lors des incendies de nos bâtiments, une intervention tardive des agents de la protection civile contre l'incendie suite à la mauvaise urbanisation et/ou suite à des routes très souvent étroites. Aussi, une certaine insuffisance logistique est à signaler parce que très souvent les camions citernes sont en panne et de fois même en bonne état, manquent de carburant ou d'eau pour secourir à temps réel les accidentés de l'incendie. Il est donc raisonnable de fouiller une alternative pouvant aider à réguler la température et à signaler un risque d'incendie, au mieux l'éteindre de façon automatique et dans un bref délai. Dans ce travail, nous sommes passé par différentes méthodes et techniques afin de proposer un système intelligent pouvant répondre au problème d'extinction d'incendie en analysant le système déjà existant puis en l'améliorant tout en minimisant le coût. Nous avons fait un survol des généralités sur le feu avant d'aborder la notion de sécurité et protection contre l'incendie. En plus nous sommes passés à une étape de conception et modélisation du système proposé. La dernière partie consistait à reprendre toutes les notions acquises précédemment et les mettre en œuvre de manière à réaliser un système intelligent d'extinction des incendies. Nous avons ainsi conçu un système intelligent d'extinction d'incendie capable de fonctionner de façon autonome et adapté aux contextes de la ville de Goma avec une interface simple et compréhensible pour les notifications de l'état de la maison en temps réel. Le dispositif conçu est réalisé localement à un moindre coût, comparativement au coût des systèmes d'extinction disponibles sur le marché de la place ; il permettra aussi de réduire le taux d'incendie dans la ville. Nous avons utilisé la méthode sysML pour la conception et la modélisation et le langage Arduino pour la programmation de notre système.

Mots clés : incendie, système d'extinction, feu, notifications, temps réel.

## ABSTRACT

Many accidents in our buildings are caused by conflagration. The bad response to fight fire has further increased the consequences of the incident. However, in case of conflagration in our buildings, the state department in charge of the case often loiters in responding because of bad urbanization and bad roads. Besides, we can point out a logistical insufficiency because very often the tanker trucks are broken and sometimes there is lack of fuel or water to rescue conflagration victims in real time. It is therefore reasonable to search an alternative solution that can help regulate the temperature and alarm in case of fire risk, and at best extinguishes it automatically and rapidly. We have gone through different methods and techniques to provide a system that can address the problem of intelligent fire extinguisher by analyzing the existing system and then improving it even minimizing the cost. We gave an overview about conflagration before talking about safety and fire protection. In addition, we went to a stage of design and modeling of the proposed system. The last part consisted in implementing all the acquired notions in order to achieve an intelligent fire extinguisher system. We have designed an intelligent fire-extinguisher system that can operate autonomously and be adapted to the Goma city context. This system offers a simple and understandable interface for real-time status notifications. The device can be made locally at a lower cost compared to the extinguishing systems cost available and this would also reduce the conflagration rate in the city. We used sysML method for designing and modelling our system, and Arduino Language for programming.

Keywords: fire, extinguishing system, fire, notifications, real time.

## Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
<b>1. Problématique .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Hypothèse du travail.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Méthodes et Techniques utilisées.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Intérêt du sujet .....</b>	<b>4</b>
<b>5. Subdivision du travail .....</b>	<b>4</b>
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE FEU .....	5
I.1. HISTORIQUE .....	5
I.2. DEFINITION .....	6
I.2.1. Le feu .....	6
I.2.2. La combustion .....	6
I.2.3. Types des combustions.....	7
I.2.4. Facteurs affectant la vitesse de combustion.....	8
I.2.5. Propagation de la combustion .....	9
I.3. MANIFESTATION DU FEU.....	11
I.4. TRIANGLE DU FEU .....	12
I.5. CLASSIFICATION DE FEU.....	13
CHAPITRE II : SECURITE ET PROTECTION CONTRE L'INCENDIE.....	17
II.1. GENERALITE SUR L'INCENDIE.....	17
II.1.1. INTRODUCTION .....	17
II.1.2. DEFINITION .....	17
II.1.3. ORIGINE DES INCENDIES.....	17
II.1.4. DEVELOPPEMENT D'UN INCENDIE .....	18
II.1.5. DANGERS D'UN INCENDIE .....	19
II.1.6. MODES DE PROPAGATION DES INCENDIES.....	21
II.1.7. PUISSANCE THERMIQUE.....	24
II.2. ETUDES DES SYSTEMES D'EXTINCTION DES INCENDIES .....	25
II.2.1. SYSTEME D'EXTINCTION MANUEL (EXTINCTEUR).....	25
II.2.2. SYSTEMES D'EXTINCTION AUTOMATIQUE .....	38

CHAP III : MODELISATION ET REALISATION DU SYSTEME D'EXTINCTION D'INCENDIE INTELLIGENT.....	43
III.1. MODELISATION DU SYSTEME .....	43
III.1.1. Introduction .....	43
III.1.2. Définition du projet .....	43
III.1.3. Cahier des charges.....	45
III.1.4. Conception fonctionnelle .....	48
III.2. REALISATION DU SYSTEME .....	63
III.2.1. Introduction .....	63
III.2.2. Environnement logiciel et matériel .....	63
III.2.3. Schéma de réalisation du système .....	75
III.2.4. Estimation du coût du système .....	81
CONCLUSION.....	82
BIBLIOGRAPHIE .....	83
ANNEXES .....	85



## LISTE DES FIGURES

<a href="#">FigureII.2. Image d'extincteur à eau[Wikipédia]</a> .....	28
<a href="#">FigureII.3. Image d'extincteur à poudre[Wikipédia]</a> .....	31
<a href="#">FigureII.4. Image d'extincteur à Gaz[Wikipédia]</a> .....	34
<a href="#">FigureII.5. Image d'extincteur sur roue de 50kg à poudre[Wikipédia]</a> .....	35
<a href="#">FigureII.6. Image d'argon dans un Datacenter[Wikipédia]</a> .....	36
<a href="#">FigureII.7. Image d'un sprinkleur[Wikipédia]</a> .....	39
<a href="#">FigureII.8. Image des systèmes d'extinction automatiques fixe à gaz [Wikipédia]</a> .....	41
<a href="#">FigureII.9. Image de système automatique à protection d'eau [Wikipédia]</a> .....	42
<a href="#">Figure III. 1 : Diagramme GANTT du projet système d'extinction d'incendie intelligent</a> .....	48
<a href="#">Figure III. 3 : Diagramme de cas d'utilisation FireProf system</a> .....	51
<a href="#">Figure III. 4: Diagramme de séquence système du scénario 1</a> .....	56
<a href="#">Figure III. 6: Diagramme de définition de blocs</a> .....	57
<a href="#">Figure III. 7: Diagramme de bloc interne</a> .....	59
<a href="#">Figure III. 8: Diagramme d'états du système</a> .....	60
<a href="#">Figure III. 10 : Diagramme de packages du système FireProf</a> .....	61
<a href="#">Figure III. 11: Diagramme d'activité du démarrage</a> .....	62
<a href="#">Figure III. 12: Diagramme d'activité du système "GestionInterieur" cas présence de la flamme</a> .....	63
<a href="#">Figure III. 16 : HyperTerminal de l'Arduino (Moniteur Série)</a> .....	64
<a href="#">Figure III. 17 : Structure d'un programme en Arduino</a> .....	65
<a href="#">Figure III. 18 : Interface de la plateforme Proteus 8 professionnel</a> .....	66
<a href="#">Figure III. 19 : Interface de la plateforme Android studio</a> .....	66
<a href="#">Tableau III.11: Spécificités Arduino mega2560</a> .....	67
<a href="#">Figure III. 21 : Arduino Méga 2560</a> .....	69
<a href="#">Figure III. 22 : Module GSM/GPRS</a> .....	69
<a href="#">Figure III. 23 : Module Bluetooth</a> .....	70
<a href="#">Figure III. 25 : LCD 16x2</a> .....	70
<a href="#">Figure III. 26 : Im35</a> .....	71
<a href="#">Figure III. 27 : Mq2</a> .....	71
<a href="#">Figure III. 28 : capteur de flamme</a> .....	72
<a href="#">Figure III. 30 : Buzzer</a> .....	73

<a href="#">Figure III. 31 : Ventilateur</a> .....	73
<a href="#">Figure III. 32 : Pompe</a> .....	74
<a href="#">Figure III. 33 : Schéma du montage du système</a> .....	75
<a href="#">Figure IV. 16: Montage du module de gestion de l'intérieur</a> .....	92

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau III.1: Périmètre du projet d'extinction d'incendie intelligent .....	44
Tableau III.2: Gestion de la présence du fumé .....	46
Tableau III.3: Gestion de la température .....	46
Tableau III.4: Gestion de la présence de la flamme .....	47
Tableau III.5: Description de CU Détecter la présence du fumé.....	51
Tableau III.6: Description de CU Détecter la température .....	52
Tableau III.7: Description de CU Détecter la présence de la flamme .....	53
Tableau III.8: Description de CU Déclencher manuellement. ....	54
Tableau III.9: Description de CU Paramétrer le système. ....	54
Tableau III.10: Description de CU système. ....	54
Tableau III.12: Estimation du prix des matériels utilisés.....	81

## SIGLES ET ABBREVIATIONS

AFFF: Aqueous Film Forming Foam

APSAD : Assemblée Plénière de Sociétés d'Assurances Dommages

BDD: Block Definition Diagram

CU: Cas d'Utilisation

ERP : Etablissement Recevant du Public

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile

IEAG : Installation d'Extinction Automatique à Gaz

IGH : Immeubles de Grande Hauteur

LCD: Liquid Crystal Display

LED: Light-Emitting Diode

NFPA: National Fire Protection Association

RI: Rayon Infra-rouge

SMS: Short Message Service

UART: Universal Asynchronous Receiver and Transmitter

UML: Unified Modeling Language

USB: Universal Serial Bus

TTL: Transistor Transistor Logique

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les progrès actuels, associés à une forte implication des pouvoirs publics en matière de réglementation et de contrôle dans les établissements recevant du public (ERP) et dans les immeubles de grande hauteur (IGH), ont permis de limiter le nombre d'incendies dans ce type d'établissements. Le respect des libertés individuelles, relevant d'un droit fondamental, ne permet pas d'imposer certaines dispositions réglementaires et surtout d'en contrôler la bonne exécution pour ce qui concerne le domaine de l'habitation. Une majeure partie de ces sinistres entraînant des décès ou blessures graves trouvent leurs causes dans des comportements de négligence, d'imprudence ou de défaut de vigilance.

Dans le domaine de l'habitation, le nombre élevé de victimes et notamment de décès trouve principalement sa cause par un phénomène d'asphyxie et de phlyctène grave, ces sinistres se produisent principalement en période journalière ou nocturne. [1]

### 1. Problématique

Le monde du spectacle vivant n'est pas à l'abri du risque d'incendie. Malgré les lois, le savoir-faire des personnes chargées de les faire respecter et appliquer, les évolutions techniques des matériels et matériaux, ces risques ne tendent pas à disparaître. Dans la majorité de cas, le manque de vigilance humaine, l'ignorance ou la négligence sont à l'origine de ces sinistres. [2]

En effet, des nombreux accidents survenus dans nos bâtiments sont en relation avec l'incendie. La mauvaise organisation liée à la gestion de crise pour combattre le feu a augmenté davantage les conséquences du sinistre. Toutefois nous constatons lors des incendies de nos bâtiments une intervention tardive des agents de la protection civile contre l'incendie suite à la mauvaise urbanisation et/ou suite à des routes très souvent étroites. Aussi, une certaine insuffisance logistique est à signaler parce que très souvent les camions citernes sont en panne et de fois même en bonne état, il manquent de carburant ou d'eau pour secourir à temps réel les accidentés de l'incendie. Les conséquences liées aux

incendies à savoir : les brûlures, l'intoxication, l'asphyxie, les pertes matérielles voir même la mort, etc. ont fait que l'homme est toujours à la recherche des méthodes plus efficaces pour les arrêter.

Il est donc raisonnable de fouiller une alternative pouvant aider à signaler un risque d'incendie, au mieux l'éteindre de façon automatique et dans un bref délai. C'est pourquoi dans le cadre de notre travail, nous avons choisi de faire la conception et la réalisation d'un système intelligent d'extinction des incendies. L'élément temps étant un des facteurs clés dans l'extinction d'un incendie, il est donc très important d'en prendre compte lors de l'étude d'un système intelligent d'extinction.

Pour répondre au mieux aux objectifs de ce travail, les questions suivantes vont guider notre recherche :

- Peut-on concevoir localement un système d'extinction capable de fonctionner de façon autonome et adapté au concept de la ville de Goma? si oui, comment ? cela réduirait-t-il le taux d'incendie dans la ville?
- Le coût serait-il inférieur par rapport au coût des systèmes d'extinctions disponibles sur place ?

## **2. Hypothèse du travail**

En égard à ce qui précède, nous avons émis les hypothèses suivantes :

- Il serait possible de concevoir localement un système d'extinction capable de fonctionner de façon autonome. Pour y arriver, nous allons concevoir un système intelligent autour de la plateforme Arduino pour bénéficier de toutes les technologies matérielle et logicielle qu'elle fournit.
- La réduction des coûts des matériels électroniques sur le marché permettrait de concevoir un système à moindre coût et adapté aux contextes sociaux économiques dans la ville de Goma.

### 3. Méthodes et techniques utilisées

Pour réaliser ce travail, nous avons fait recours aux méthodes et techniques suivantes :

#### A) Méthodes utilisées

- **La méthode analytique** : nous a permis d'analyser des faits observés, et d'en faire une critique pour proposer une nouvelle solution.
- **La méthode descriptive** : Cette méthode nous a permis de décrire dans le bref détail le système d'extinction d'incendie intelligent ainsi que son mode de fonctionnement.
- **La méthode SysML** : qui est une méthode bien adaptée à la conception des systèmes complexes et bien apprécié dans le monde de l'ingénierie système. Cette méthode nous a permis de faire la modélisation de notre système d'extinction d'incendie intelligent.

#### B) Techniques utilisées

Pour réaliser ce travail nous avons fait recours aux techniques ci-dessous :

- **La technique documentaire** : nous a permis de récolter et d'analyser les données émanant des différents textes, ouvrages, sites internet, articles de revues et autres documents ayant des rapports plus ou moins directs avec le thème de notre étude.
- **Technique expérimentale** : Elle nous a permis, grâce au logiciel Proteus, de simuler notre système avant la réalisation matérielle de la maquette.
- **La technique d'observation** : nous a permis de vivre la situation telle qu'elle se présente dans nos bâtiments.

## 4. Intérêt du sujet

L'intérêt de ce sujet est double :

- Premièrement, étant donné que notre travail est un travail de recherche orientée dans le domaine technique, il constitue un document qui met en évidence des données réelles, qualitatives et vérifiables pouvant servir à d'autres recherches ultérieures.
- Deuxièmement, ce travail pourra bien être bénéfique au service de protection civil ainsi qu'à la population de la ville de Goma qui ont besoin des éléments pour la sécurité optimale contre les incendies.

## 5. Subdivision du travail

Mises à part l'introduction et la conclusion générale, nous avons organisé ce travail de la manière suivante :

- Dans le premier chapitre, intitulé « Généralités sur le Feu », nous présentons l'historique du feu, les théorèmes des triangles de feu, la classification de feu, etc.
- Dans le deuxième chapitre, intitulé « Sécurité et protection contre l'incendie », nous abordons la notion de l'incendie, le détecter ainsi que les systèmes de protection contre l'incendie (le système d'extinction manuel et la catégorisation des systèmes d'extinction automatique), etc.
- Dans le troisième chapitre, intitulé « Conception et réalisation du nouveau système », nous concevons notre système et procédons aux tests de fonctionnalités sur logiciel avant la réalisation pratique.



# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE FEU

## I.1. HISTORIQUE

La domestication du feu par l'homme (*Homo erectus*) a marqué un tournant dans la préhistoire ; l'être humain se distinguant alors des autres espèces animales. Cette domestication du feu est attestée à partir d'environ -400.000 ans, notamment dans les sites de Menez Dregan à Plouhinec en Bretagne, de Bilzingsleben en Allemagne ou de Vertesszolos en Hongrie et plus récemment aussi à Terra près de Nice.

La création du feu par l'homme ancien se faisait de trois façons [5]:

- a. En faisant jaillir des étincelles par une action de percussion de deux pierres en silex ou en pyrite de fer. Les étincelles ainsi produites suffisent à mettre le feu à des petites brindilles, du lichen ou des mousses séchées.
- b. La percussion d'un morceau d'acier qu'on appelait fusil ou briquet à silex, ou plus simplement briquet, contre une roche dure, un éclat de silex par exemple, produit des étincelles capables d'embraser de l'amadou ou toute autre matière facilement inflammable. Cette méthode qui s'est répandue en Eurasie, remonte de l'âge du fer lequel débute, en 3 000 ans autour de la Méditerranée et 2 800 ans en Europe du Nord.
- c. En frottant deux morceaux de bois l'un contre l'autre. On obtient ainsi une fine poussière de bois qui s'enflamme par simple échauffement dû au frottement.

Depuis sa domestication par l'homme, le feu a servi dans plusieurs applications parmi lesquelles on peut citer [5]:

- Le durcissement de la pointe des outils de chasse.
- L'amélioration du régime alimentaire. En effet, la domestication du feu a permis de cuire la nourriture, de conserver et stocker la viande en faisant ainsi reculer les parasites, mais aussi d'augmenter la digestibilité des aliments favorisant leur rendement métabolique et l'augmentation du volume cérébral.

- L'allongement du temps de veille, la vie nocturne centrée sur les réunions autour du foyer ; favorisant les interactions sociales et l'émergence des cultures pré-humaines par le chant, la danse ou le fait de raconter des histoires et légendes.
- Le chauffage durant les périodes froides (hiver), éclairage pendant la nuit.
- La production de la lumière : pour faire leurs dessins au fond des grottes par exemple, les hommes préhistoriques s'éclairaient au moyen des petits récipients dans lequel ils mettaient de la résine ou de la graisse animale et une mèche trempait à l'intérieur de ce petit récipient. Une fois allumé cette sorte de petite lampe donnait la clarté comme celle d'une bougie.
- La procuration de la sécurité : Il fait fuir les gros animaux prédateurs : ours, canidés, etc. ainsi que les animaux nuisibles infiltrés dans l'habitat, en particulier dans les grottes et dans les cavernes, tels que des chauves-souris, des reptiles, des insectes.

## **1. DEFINITION**

### **1.1.Le feu**

Le feu est la manifestation visible de la combinaison d'un corps combustible avec un corps comburant en présence d'une énergie d'activation. Cette combinaison s'appelle une **combustion**[5].

### **1.2. La combustion**

La combustion est une réaction exothermique (dégagement de la chaleur) entre l'oxygène de l'air et certaines substances (solides, liquides ou gazeuses) dites combustibles, l'oxygène étant le comburant. [6]

### 1.3. Types des combustions

On distingue trois types de combustion à savoir :

- La combustion à gaz
- La combustion des solides
- La combustion des liquides

#### 1.3.1. Combustion des gaz

Seuls les gaz brûlent, que ce soient des gaz de distillation provenant de corps chauffés à l'état solide ou de vapeurs de liquides inflammables. En pratique, c'est le mélange « gaz-combustible - oxygène de l'air » qui est inflammable, à 2 conditions :

- Que l'énergie d'activation soit suffisamment élevée ;
- Que la concentration du mélange soit comprise entre certaines limites.

##### a. Point d'ignition (ou point d'inflammation)

C'est la température minimale à laquelle un mélange combustible de gaz et d'air s'enflamme en présence d'une flamme avec persistance de flammes. Ce point varie avec la pression du mélange gazeux.

##### b. Point auto-ignition (ou point d'auto inflammation ou d'auto combustion)

Il s'agit de la température à laquelle un mélange gazeux combustible peut s'enflammer spontanément sans la présence de flamme ou d'étincelle.

##### c. Point éclair

Le point éclair d'un liquide combustible est la température minimale à laquelle il émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant une atmosphère inflammable. Cette grandeur physique est en principe propre aux liquides dits inflammables. [6]

#### 1.3.2. Combustion des liquides

En dehors de quelques cas assez rares, ce ne sont pas les liquides qui sont inflammables mais les vapeurs ou gaz qu'ils émettent. Tout revient donc en ce qui concerne les liquides à l'étude de la combustion des gaz et nécessite la coïncidence des mêmes conditions.

### 1.3.3. Combustion des solides

Le phénomène de la combustion des solides est très complexe. De façon générale, c'est la combustion des produits volatiles dégagés qui est la cause élémentaire provoquant le départ de l'échauffement conduisant à la combustion.

On distingue 2 types de combustion des solides caractérisés par leur vitesse de réaction :

- La combustion vive et la combustion lente ;
- La combustion spontanée.

#### a. Combustion vive et combustion lente

La combustion vive est une réaction qui entraîne un dégagement important de calories avec comme conséquences, une forte élévation de température et une émission d'un phénomène lumineux (flammes).

La combustion lente est une réaction qui entraîne un faible dégagement de calories avec peu d'élévation de température, des phénomènes lumineux presque nuls et une absence totale de flamme. La combustion vive, à l'inverse de la lente consomme rapidement la quantité d'oxygène qui lui est nécessaire.

#### b. Combustion spontanée

La combustion spontanée a lieu sans cause apparente d'échauffement. Certains corps riches en carbone et facilement oxydable produisent de la chaleur sous l'effet de certaines dispositions (amas de chiffons gras, stock de charbon, etc.). L'oxydation peut aussi être engendrée par des micro-organismes (fermentation dans les tas de foin par exemple). L'oxydation débute lentement, dégageant de la chaleur qui accélère la réaction (réaction exothermique). Cette réaction peut parfois être très vive. [6]

## 1.4. Facteurs affectant la vitesse de combustion

### a. Etat de division de la matière

Pour une même masse, la vitesse de combustion est fonction du rapport surface/volume du combustible (un tas de copeaux brûle plus vite qu'une bûche).

## **b. La température**

L'influence de la température sur la vitesse des réactions chimiques est connue depuis longtemps. On peut estimer que la vitesse des réactions d'oxydation est approximativement doublée pour chaque accroissement de température de 10°C.

## **c. Autres facteurs**

- L'humidité : facteur d'accélération de la vitesse d'oxydation ;
- La teneur en oxygène ;
- La catalyse ;
- Inhibition.

## **1.5. Propagation de la combustion**

### **1.5.1. Par transmission de chaleur**

#### **a. Rayonnement**

Energie sous forme d'ondes électromagnétiques qui peuvent être absorbées par un autre corps sous forme d'énergie thermique. Après réception, ce corps émet à son tour une certaine énergie tout en gardant une partie de celle initialement reçue. Le maximum est atteint avec les corps noirs. [6]

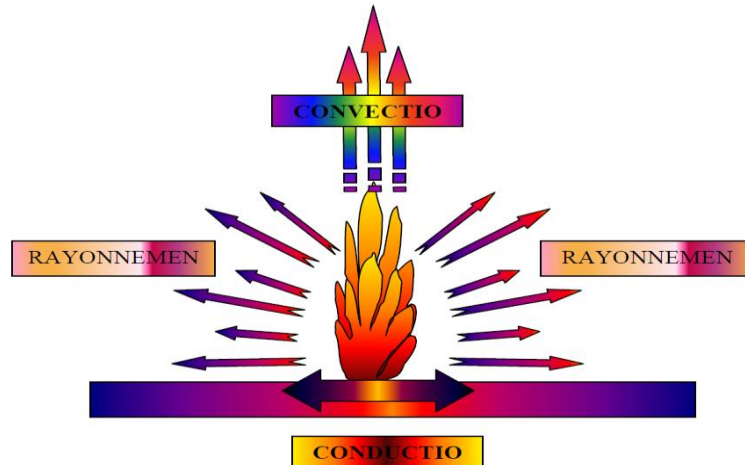
#### **b. Conduction**

La transmission de chaleur se fait de proche en proche sans aucun transfert de matière. Le phénomène de conduction est inéluctable, la mauvaise conductibilité d'un matériau n'est pas une garantie de sécurité. Aux pertes près, l'énergie calorifique reçue par un matériau sera diffusée dans toute sa masse.

L'égalisation des températures ne sera qu'une question de temps. C'est pourquoi une surveillance attentive et prolongée du matériau ou du « point chaud » est nécessaire même à grande distance du foyer ou de la zone de travail.

#### **c. Convection**

Transport de la chaleur par le mouvement d'un fluide. Dans un incendie la convection joue un rôle important (appel d'air frais par le foyer) et contribue aussi à son alimentation par rapport continu d'oxygène.



Figurel.1. Effet par transition de la chaleur [6]

### 1.5.2. Par déplacement des substances en combustion

#### a. Par les gaz

Dans un feu où n'existent que des flammes dites de diffusion, la combustion est souvent incomplète et limitée à l'apport d'air frais. Il subsiste donc des nappes de gaz dont la combustion est étroitement liée à l'apport du comburant. La combustion de ces nappes peut se poursuivre sur une distance notable avec parfois rupture de flamme donc d'extinction, puis réinflammation à une distance variable par nouvel apport d'air frais. Les distances d'action de ce mode de transfert peuvent être grandes, ce qui peut faire croire à l'existence de plusieurs foyers, le phénomène pouvant se produire dans le sens horizontal ou vertical.

#### b. Par les liquides

Le transfert direct est un peu à craindre (en prévention, stockages implantés dans des cuvettes de rétention pouvant contenir le produit répandu). Mais l'épandage qui augmente la surface d'évaporation accroît le développement des flammes.

#### c. Par les solides :

- Brandons : fragments de solides en ignition pouvant franchir suivant la force du vent des distances souvent importantes ;
- Escarbilles : petites particules incandescentes. Leur danger se limite à quelques mètres. [6]

## 2. MANIFESTATION DU FEU

Depuis la nuit de temps le feu était présent dans le quotidien de l'homme ancien mais celui-ci ne parvenait ni à le comprendre ni à le maîtriser. Le feu se manifestait dans la foudre qui est une décharge électrique qui se produit au temps d'orage entre deux nuages ou entre un nuage et le sol ; produisant un éclair et une détonation.

La théorie de la précipitation est actuellement la plus admise, selon laquelle les grosses particules qui constituent les nuages (gouttes de pluie, cristaux de glace, particules de grésil) tombent par gravitation et entrent en collision avec les fines particules d'eau et de glace qui forment le brouillard qui sont en suspension [7].

Il en résulte de ce choc une séparation des charges qui selon la température accorde une charge plus (+) au grêlon ou au brouillard. La température d'inversion ( $T_r$ ) vaut environ  $-150^{\circ}\text{C}$  et se situe à 600m. Ce processus a pour effet de créer une structure tripolaire et cela se passe en 4 étapes pour le déroulement d'un coup de foudre négatif ; ces étapes sont[7] :

1. La phase d'initiation
2. La phase d'arc en retour
3. La phase de courant persistant
4. La phase des avantages « des décharges subséquents ».

Les effets de la foudre sont thermiques et électrodynamiques tout ça pour résumer les dégâts qu'elle crée à son passage. Le feu se manifestait aussi dans les éruptions volcaniques, le volcan étant une colline dont le sommet est un cratère, ce dernier étant une ouverture par laquelle s'échappe la lave. Une éruption volcanique est une violente explosion projetant à plusieurs kilomètres d'altitude des panaches de gaz, de cendre et de blocs rocheux qui peuvent atteindre de hautes températures d'environ  $8000^{\circ}\text{C}$ .

Ces deux manifestations du feu à savoir la foudre et les éruptions volcaniques consumaient des forêts, tuaient les bétails et bien aussi des hommes.

### 3. TRIANGLE DU FEU

Traditionnellement, le phénomène du feu est schématiquement représenté par le triangle du feu, dont sur les trois côtés figurent respectivement le combustible, le comburant et l'énergie d'activation.

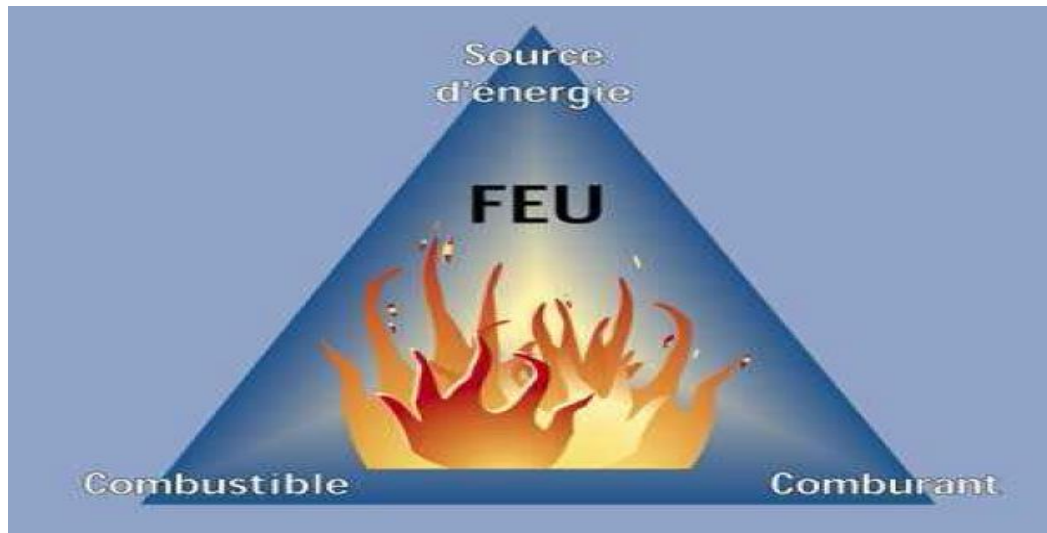


Figure1.2. Triangle de feu [6]

- Le combustible ou matières inflammable : ce qui brûle  
Exemple :
  - Solide : bois, charbon, papier
  - Liquide : essence, alcools
  - Gazeux : butane, propane
- Le comburant : oxydant pouvant favoriser un climat acceptable pour la création du feu.

Exemple :

- Oxygène
- Air
- Peroxyde

- L'énergie d'activation ou source d'inflammation : Énergie nécessaire pour la création du feu

Exemple :

- La flamme
- L'étincelle
- La décharge électrique
- Une certaine énergie mécanique
- etc.



Ces trois éléments sont simultanément nécessaires à la création et au maintien du phénomène. La soustraction de l'un d'eux et d'un seul entraîne l'extinction. C'est ce que l'on constate en supprimant soit le combustible, soit le comburant soit l'énergie (par refroidissement par exemple).

Cette figuration proposée est cependant incomplète. Le feu est un phénomène dynamique complexe. C'est pourquoi on doit s'efforcer de le considérer sous l'aspect d'un bilan énergétique.

Si la quantité de chaleur fournie par la combustion est supérieure aux pertes, la balance est positive et le feu se développe. Si par contre la balance devient négative, le feu s'éteint. [7]

#### **4. CLASSIFICATION DE FEU**

Dans la normalisation européenne selon leurs intensités et les matières combustibles utilisées, on peut classer les feux en 6 Classes : [8].

##### **a. Classe A**

La classe A caractérise les feux « secs ». Il s'agit de matériaux solides dont la combustion forme des braises (cellulose, bois, papier, carton, tissu, fourrage, coton, etc.). Ce sont des matériaux particulièrement inflammables.

Leur combustion est :

- vive (avec flammes) ;
- ou lente (sans flamme visible, mais avec formation de braises incandescentes).

La phase de combustion lente peut être relativement longue avant que n'apparaissent les premières flammes, notamment lorsqu'il y a un manque de comburant. Il s'agit dans ce cas de feux « couvant » que le moindre courant d'air peut activer. Ces feux n'étant pas très difficile à éteindre par rapport aux autres, un extincteur à base d'eau, de mousse ou de poudre du type « AB » peut servir pour l'extinction. [8]

## **b. Classe B**

La classe B caractérise les feux « gras ». Il s'agit des liquides et des solides liquéfiables (hydrocarbures, goudron, brai, bougies, graisses, huiles, peintures, vernis, alcools, cétones, solvants et produits chimiques divers). Ils brûlent ou s'éteignent, mais ne couvent pas. Il n'y a donc pas de combustion lente et l'abattage des flammes provoque directement l'extinction. Leur capacité à s'enflammer dépend du point d'éclair propre à chaque produit (température minimale à laquelle il émet suffisamment de vapeurs pour former avec l'air ambiant une atmosphère inflammable). En revanche, il peut y avoir rallumage brutal tant que la température avoisine celle de « l'auto-inflammation » (température à laquelle un mélange gazeux combustible peut s'enflammer spontanément sans la présence de flamme ou d'étincelle). C'est pourquoi, l'extinction complète ne peut être obtenue qu'après une phase de refroidissement.

Leur combustion provoque un dégagement de gaz toxiques et/ou corrosifs (chlore, cyanure, monoxyde de carbone, etc.) particulièrement dangereux pour l'environnement et souvent explosif à leur tour. Lors de ce type d'incendie les pompiers s'assurent d'une ventilation efficace. De plus, des réactions chimiques imprévisibles peuvent se produire au contact de l'eau, de la fumée, des gaz chauds ou d'autres produits.

### ➤ **Les liquides inflammables non miscibles à l'eau (essence, huiles, éthers, pétrole, etc.)**

Il est en général impossible de les éteindre avec de l'eau. Les liquides en feu surnageant l'eau risquent de porter le feu dans le voisinage ou dans les égouts. Les deux agents extincteurs les plus efficaces sont la poudre pour les feux de faible importance et la mousse pour les nappes de grande superficie.

### ➤ **Les liquides inflammables miscibles à l'eau (alcool, acides, etc.)**

Un feu de faible étendue peut être éteint par les pompiers à l'aide d'une lance en jet diffusé. Pour les feux plus importants, le CO<sub>2</sub> et la poudre sont les meilleurs agents d'extinction.

➤ **Les solides liquéfiables (plastiques, caoutchoucs, goudrons, etc.)**

Ces feux dégagent une grande énergie thermique et beaucoup de fumées. Ils sont généralement éteints avec de l'eau ou de la mousse.

**c. Classe C**

La classe C caractérise les feux de gaz (gaz naturels, gaz de pétrole liquéfiés comme le butane ou le propane, ou d'autres produits à l'état gazeux comme des produits chimiques, etc.). Leur mise à feu s'accompagne généralement d'une explosion, d'autant plus violente que le mélange air-gaz s'effectue dans des proportions optimales entre les limites inférieure et supérieure d'explosibilité.

Ces feux se présentent sous forme de fuite enflammée, plus ou moins importante en fonction de la pression de stockage ou de transport, ainsi que du diamètre de la fuite. Il ne faut pas chercher à éteindre la fuite. L'accumulation du gaz continuant à s'échapper peut provoquer une explosion. L'extinction se fait en barrant la conduite. En cas de nécessité absolue, l'extinction de la fuite s'effectue avec de la poudre. [8]

**d. Classe D**

La classe D caractérise les feux de métaux. Les poudres D sont spécifiques à chaque type de combustible et se trouvent principalement dans des environnements industriels très particuliers. Leur combustion est généralement violente et très lumineuse.

Au contact de l'eau ces métaux en feu réagissent violemment en provoquant un dégagement d'hydrogène qui crée un risque d'explosion.

Certains métaux, comme le sodium, le magnésium, le potassium ou encore le phosphore blanc, peuvent s'enflammer spontanément en présence de l'air, voire exploser. D'autres ne peuvent le faire que lorsqu'ils sont à l'état de poudre ou de copeaux (aluminium par exemple).

**e. Feu d'équipement électrique (ex classe E)**

Jusqu'à il y a quelques années, il existait une classe E qui désignait les « feux d'origine électrique » provenant d'équipements électriques sous tension (cette classification existe toujours dans le système américain sous la classe C). Celle-ci servait à attirer

l'attention sur le danger et l'approche différente qu'implique l'électricité. Leur extinction est plutôt réservée aux spécialistes à cause du danger d'électrocution : l'eau pure est à proscrire. Le CO<sub>2</sub> est très efficace contre les feux des moteurs électriques, relais, transformateurs, postes techniques, etc. La poudre est également efficace mais déconseillée sur un tableau électrique. On peut aussi utiliser l'eau pulvérisée qui est utilisable en présence de courant d'une tension inférieure à 1 000 V, car l'eau est pulvérisée en gouttelettes, et le jet n'est ainsi pas conducteur d'électricité. Attention néanmoins à l'eau de ruissellement qui, elle, est conductrice et risque de mouiller le sol. Si l'extincteur est défectueux, la pulvérisation peut ne pas être réalisée correctement et induire un risque mortel. [8]

#### **f. Classe F**

La classe F a été créée récemment (1998 aux États-Unis, la norme NFPA 10 a nommé cette classe « K ») pour les feux liés aux auxiliaires de cuisson (huiles et graisses) dans les appareils de cuisson. En effet, bien que ces feux soient à proprement parler de classe B, la présence généralement d'appareils sous tension dans le voisinage du feu et le besoin d'agents extincteurs compatibles avec la chaîne alimentaire ont nécessité la création de nouveaux extincteurs plus adaptés. Ceux-ci contiennent des agents chimiques secs (par ex. acétate d'ammonium) qui ont le même effet que la mousse : ils étouffent le feu par la création d'un film (par saponification) à la surface du liquide. De plus, cette classe fait porter l'attention sur le risque important d'explosion par vaporisation (en anglais : boil over) liée à l'utilisation d'eau sur ces feux.

## **CHAPITRE II : SECURITE ET PROTECTION CONTRE L'INCENDIE**

### **II.1. GENERALITE SUR L'INCENDIE**

#### **II.1.1. INTRODUCTION**

L'incendie est un sujet très préoccupant et d'actualité permanente. Chaque année, des victimes sont à déplorer lors des incendies des établissements industriels et commerciaux. Dramatiques sur le plan humain, ces sinistres le sont aussi sur le plan économique : dans près de 70% des sinistres, l'entreprise disparaît et le personnel se retrouve au chômage [9].

#### **II.1.2. DEFINITION**

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace, contrairement au feu qui est une combustion maîtrisée. Le processus de combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant, cette réaction nécessitant une source d'inflammation pour être initiée [10].

#### **II.1.3. ORIGINE DES INCENDIES**

Les causes d'incendies sont nombreuses, mais la majeure partie des incendies a une origine humaine (imprudence, malveillance, mauvaise préparation aux catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre, tsunamis, ...), utilisation d'armes (Incendiaires notamment) ;

Les causes d'incendies naturels sont la foudre et l'éruption volcanique avec coulées de lave.

Selon les experts, les incendies d'origine électriques sont souvent dus à des dégradations localisées des câbles et des connexions entraînant une surchauffe ponctuelle et une carbonisation des isolants qui peuvent s'enflammer dès l'apparition d'un arc électrique, en particulier au niveau des connexions.

## **II.1.4. DEVELOPPEMENT D'UN INCENDIE**

Un incendie se développe en plusieurs phases au cours desquelles sa température va s'élever. Cependant en fonction de son environnement, il peut s'étendre et décliner s'il manque un élément du triangle de feu à savoir : le combustible, le comburant et l'énergie d'activation.

### ***1 ère Phase : L'éclosion***

A ce stade se produit l'inflammation du matériau qui se consumera ou brûlera en premier. Au préalable intervient une phase d'échauffement et de décomposition thermique du matériau en question. Le dégagement de la chaleur est modéré et les fumées peu abondantes (appelées à tort Aérosol, ce terme désignant en fait un mélange liquide/gaz alors que la fumée est un mélange solide/gaz).

Lorsqu'un incendie débute en tant que feu couvert, cette phase peut durer des heures. En présence d'une fuite de gaz, l'incendie peut se déclarer en une fraction de seconde. Cela dit, il est démontré que sa vitesse de croissance dépend des éléments du triangle de feu en présence.

### ***2ème Phase : La croissance***

La combustion produit de la chaleur (réaction exothermique), le feu entretient et accroît l'énergie d'activation. Si le combustible et le comburant sont disponibles en quantité suffisantes l'incendie s'étend de manière exponentielle.

Dans le cas d'un feu dans un volume clos (par exemple un feu d'habitation), on estime que la température de l'air peut atteindre 600°C au bout de cinq minutes alors que dans la cage d'escalier elle peut atteindre 1200°C dans le même temps.

### ***3ème Phase : Embrassement ou Flash-over***

L'embrassement est le passage d'un incendie localisé à un incendie généralisé avec la contribution de tous les matériaux inflammables présents dans le local. Au-dessus d'une température de 300°C, le rayonnement de la chaleur de la couche de fumée devient si intense que les autres matériaux inflammables non encore impliqués dans l'incendie commencent à se décomposer rapidement. Lorsque la température augmente davantage, la température d'une grande partie de ces matériaux s'approche alors de la température dite

d'inflammation spontanée, à la quelle ceux-ci sont susceptibles de s'enflammer en l'absence d'une source d'inflammation.

Lorsqu'un objet s'enflamme de cette manière, le dégagement de chaleur supplémentaire par rayonnement est si élevé que les autres objets s'enflamment également dans une réaction en chaîne se déroulant de plus en plus vite, de sorte que tout le local se trouve en feu en un temps trop court [10].

#### ***4ème Phase : Incendie généralisé***

A ce stade, le dégagement de chaleur de l'incendie est à son maximum. Suite à la température élevée, la quantité de produits de décomposition qui s'est formée est souvent plus importante que la quantité d'oxygène disponible pour entretenir la combustion. Lorsque les produits de décomposition s'échappent dans l'air extérieur par des vitres éclatées ou d'autres ouvertures, ils s'y consomment en formant de grandes flammes. Il est alors question de violent incendie qui devient généralisé souvent peu après ou pendant l'embrassement. La vitesse de combustion est à ce moment déterminée avant tout par l'apport d'air frais de combustion.

#### ***5ème Phase : Phase d'extinction***

Le déclin se fait lorsque l'incendie cesse de croître, l'incendie va progressivement baisser en intensité puis entrer en combustion lente jusqu'à ce qu'il manque de combustible et s'éteignent.

### **II.1.5. DANGERS LIES A UN INCENDIE**

L'incendie domestique peut provoquer de graves séquelles sur les personnes et peut même entraîner la mort. Si la plupart des accidents sont déclarés le jour, lorsque l'attention est faible, c'est également la nuit que les systèmes de prévention traditionnels montrent leur limite. Un autre dégât est celui causé par les suies dues à la combustion incomplète, ces derniers peuvent voyager bien plus loin que les limites du feu lui-même. Il n'est pas rare en effet que les suies d'incendies se propagent à d'autres pièces, voire à d'autres bâtiments. Ces suies sont extrêmement volatiles et pénètrent partout, y compris

dans tous les appareils électroniques exposés. Ce qui peut en cas de non traitement, mener à un nouvel incendie dans le futur.

Ensuite lors de la combustion, des vapeurs chlorés sont rejetées dans l'atmosphère et pénètrent également partout. Si l'effet n'est pas directement visible, il est mesurable et doit absolument être pris en compte lors du choix des techniques d'assainissement du site. Si la zone sinistre n'est pas traitée correctement, un problème de corrosion va vite apparaître et toucher toutes les pièces métalliques, y compris toute l'électronique. Ce phénomène peut entraîner l'effondrement des structures ou un nouvel incendie si l'électronique est touchée [10].

L'incendie étant une catastrophe, lors de sa production c'est-à-dire lorsqu'il se manifeste, les principaux dangers auxquels s'expose une personne proche d'un incendie sont liés à (aux) :

- ***La chaleur (Dangers d'origine thermiques)***

Dans cette catégorie des dangers on note la présence prépondérante d'une quantité de chaleurs élevée et même en dehors des flammes on s'expose au risque de brûlures dues principalement aux fumées chaudes, aux rayonnements infra-rouges, aux contacts avec les objets chauffés mais aussi à l'air chauffé ou bien aux vapeurs d'eaux produites par l'arrosage. Les risques d'incendies dus à la chaleur sont responsables des brûlures qui peuvent être soit cutanées (relatif à la peau) ou trache bronchiques.

- ***Perturbations respiratoires***

En effet, le feu consomme le dioxygène de l'air, indispensable à la survie et peut donc entraîner une asphyxie que l'on nomme risque d'anoxie (manque d'oxygène). En outre le feu dégage des fines particules appelées fumée qui peuvent brûler l'intérieur des poumons et souvent des gaz toxiques pouvant provoquer des empoisonnements. On peut citer pour illustration le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'acide cyanhydrique et les dérivées cyanurés, les oxydes d'azote et bien d'autres dérivées toxiques.

A titre d'exemple les matières plastiques contenues dans une voiture peuvent générer 200 000m<sup>3</sup> par seconde. En plus de tout ce qui se dit ci-haut à propos de la fumée



signalons qu'elle est la cause de plus de la moitié des décès. Dans un incendie, la propagation des fumées précède toujours celles des flammes. La fumée ne réveille pas, elle intoxique et donc tue. D'où la nécessité de porter un appareil respiratoire isolant lorsqu'on se trouve sous la menace d'un incendie [10].

- ***Traumatismes (les dangers d'origine traumatique)***

En plus des risques de brûlure et d'intoxication, la chaleur d'un incendie peut provoquer des explosions de bouteilles de gaz et des réservoirs, ainsi que certains produits comme les ammonites. Ces explosions peuvent provoquer des traumatismes par chute (personne renversée), projection d'éclats ainsi que par la surpression occasionnée. A l'intérieur des bâtiments on peut ajouter :

- L'obscurcissement de la vision par la fumée : on ne voit pas où l'on va. Ce qui peut occasionner une chute ou de se perdre.
- Le risque d'effondrement de la structure.

Pour finir, la plupart des dégâts proviennent généralement des centaines voire des milliers de mètres cubes d'eau nécessaires à éteindre, puis refroidir un incendie. Il n'est pas rare non plus qu'une inondation se produise à la suite de l'explosion d'une conduite d'eau sous l'effet de la chaleur dégagée par les flammes. Si une action rapide des services de secours est primordiale, un bon assainissement professionnel est nécessaire pour préserver ce que les pompiers ont réussi à sauver. En plus des dégâts cités ci-haut nous pouvons ajouter de grosses pertes économiques et la pollution de l'environnement due aux grosses quantités de fumée dégagées lors de la combustion.

## **II.1.6. MODES DE PROPAGATION DES INCENDIES**

### **1.6.1. Propagation des incendies par déplacement de la température**

#### ***a) Rayonnement ou Radiation***

La puissance du rayonnement est fonction de :

- La température (le rayonnement augmente avec la puissance quatrième de la température  $R=f(T^4)$ ).

- La distance (le rayonnement diminue avec le carré de la distance  $R=1/f(d^2)$ )
- La nature des particules constituant les fumées, notamment les suies.

### ***b) Conduction ou diffusion***

La conduction thermique est le mode de transfert provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu ou entre deux milieux en contact sans déplacement appréciable des molécules. Il s'agit dans ce cas d'une agitation des atomes du métal qui génère une élévation de température. Un atome (ou molécule) cède une partie de son énergie cinétique à l'atome voisin.

Ce transfert de température spontanée d'une région de température élevée vers une région de température plus basse obéit à la loi de Fourier qui stipule que :

« La densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de la température »

$$\vec{\phi} = - \lambda \text{grad} (T)$$

La Constante de proportionnalité  $\lambda$  est nommée conductivité thermique du matériau et est toujours positive. Avec les unités du système international on a les unités suivantes :

- La conductivité thermique  $\lambda$  s'exprime en Watt par mètre Kelvin ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
- La densité de flux de chaleur  $\phi$  s'exprime en Watt par mètre carré ( $Wm^{-2}$ )
- La température T en kelvin (K).

On dit qu'un corps est plus ou moins conducteur selon sa conduction, cette notion se caractérise par la capacité de ce corps à conduire la chaleur. Au bout d'un certain temps le phénomène de conduction enflamme les combustibles situés à proximité, qui lors d'un incendie peut transporter d'importantes quantités d'énergie d'une pièce à l'autre d'un bâtiment. Les matériaux métalliques (éléments des charpentes, rails, conduites, fers à béton) ont une conductivité particulièrement élevées [10].

### c) *La convection*

La convection est un transport de gaz chaud. En effet la chaleur se propage en utilisant comme vecteur de transfert les turbulences de l'air ambiant.

Dans le cas d'un incendie, les fumées suivent le même comportement ascendant. Elles peuvent parcourir des distances importantes et transférer leur chaleur à un matériau combustible qui serait sur leur trajet. On cite fréquemment le cas des feux de cave dont les fumées empruntent la cage d'escalier, épargnent les étages intermédiaires et s'accumulent dans les combles avant de les embraser. Dans le cas où les fumées contiennent des particules imbrûlées du fait d'une combustion incomplète, leur accumulation en un point distant peut conduire à une reprise explosive du foyer.

L'apport d'air frais à la base du foyer est un élément clé dans le phénomène de propagation de l'incendie par convection. Pour finir ce paragraphe, signalons que l'une des applications de la convection dans la technologie est le refroidissement des réacteurs des centrales nucléaires.

## 1.6.2. Propagation des incendies par déplacement des matières enflammées

### a) *Projection*

La réunion des conditions d'élévation de température et de pression peut entraîner des projections de matières combustibles parfois très loin de l'incendie d'origine créant de nouveaux foyers, qui favorisent la propagation de l'incendie. Ce phénomène s'observe en raison de conditions climatiques particulières (vent important) ou lorsqu'une explosion se produit [11].

### b) *Epannage*

Terme tirant ses sources dans le domaine agricole, l'épannage est moins connu que les précédents modes. C'est le déplacement du feu par les liquides enflammés, l'exemple étant celui d'un fut percé contenant un liquide inflammable qui participera à la propagation de l'incendie.

*c) L'inflammation généralisée (flash-over)*

Le phénomène de flash-over correspond à l'embrasement généralisé dans la phase de croissance de l'incendie : c'est le point critique de l'évolution de l'incendie.

### II.1.7. PUISSANCE THERMIQUE

Plusieurs valeurs permettent d'approcher la quantité d'énergie libérée au cours d'un incendie :

- ✓ **Le pouvoir calorifique d'un combustible** : exprimé en kJ/kg ou kJ/m<sup>3</sup>, c'est la quantité maximale de chaleur que peut dégager l'unité de masse ou de volume pour une combustion complète.
- ✓ **La charge calorifique** : exprimée en kJ pour une zone, c'est la quantité totale de chaleur que peuvent dégager l'ensemble des combustibles présents dans un espace déterminé (une pièce par exemple) [10].
- ✓ **Le potentiel calorifique** : en kJ/m<sup>2</sup> (pour une zone), c'est la charge calorifique rapportée à la surface au sol de l'espace considéré.
- ✓ **Le débit calorifique** : en kJ/kg/s ou W/kg, c'est la quantité de chaleur produite par une unité de temps pour la combustion de l'unité de masse d'un combustible.
- ✓ **La chaleur dégagée par seconde (puissance thermique)** : lors d'un incendie dépend essentiellement du potentiel calorifique des objets. Voici à titre indicatif quelques puissances :
  - Une chaise capitonnée : 500 kW (0,5 MW) ;
  - Une petite commode : 1,8 MW ;
  - Un canapé trois places : 3,5 MW ;
  - Deux lits jumeaux en pin : 4,5 MW ;
  - Puissance dégagée lors d'un embrasement généralisé éclair : 3-10 MW (7 MW en moyenne).

Ceci est à comparer avec la puissance thermique absorbable par un jet d'eau diffusé

:

- 0,5 MW à 40 L/min ;
- 2 MW à 150 L/min ;
- 6 MW à 500L/min [10].

## **II.2. ETUDES DES SYSTEMES D'EXTINCTION DES INCENDIES**

On distingue deux types de systèmes d'extinction des incendies à savoir :

- L'extinction manuelle
- L'extinction automatique

### **II.2.1. SYSTEME D'EXTINCTION MANUEL (EXTINCTEUR).**

#### **II.2.1.1. Introduction**

D'une façon générale, ce n'est que récemment que l'étude des incendies a progressé suffisamment pour que ses résultats influent sur la conception des techniques, notamment des mesures de sécurité. Un des plus grands besoins de l'homme étant celui de se sentir en sécurité et donc à l'abri des différents dangers. Déjà dans le passé, la sécurité incendie s'est développée au cas par cas. La réalisation face aux incidents se faisait par imposition des règles ou par des restrictions destinées à prévenir la répétition des sinistres. C'est pourquoi, on se protège d'une manière plus ou moins efficace par un extincteur, qui permet dans la limite du possible de minimiser les dégâts que peut engendrer un incendie.

#### **II.2.1.2. Définition [12]**

Un extincteur est un appareil de lutte contre l'incendie capable de projeter ou de répandre une substance appropriée appelée « Agent extincteur » afin d'éteindre un début d'incendie. On distingue les extincteurs exclusivement destinés aux sapeurs-pompiers de ceux destinés au grand public.

#### **II.2.1.3. Catégories de extincteurs**

On distingue trois catégories d'extincteurs à savoir :

- Les portatifs

- Les mobiles et
- Les fixes.

### A) Extincteurs portatifs

L'extincteur contient un agent qui peut être projeté sur une flamme par l'action d'une pression interne. Cette pression est fournie par une pression permanente ou par la libération d'un gaz (dioxyde de carbone) contenu dans la cartouche.

Le recours à une cartouche de gaz (très souvent du dioxyde de carbone) facilite la vérification et la maintenance, mais aussi prévient toute déperdition. Il est cependant obligatoire de percer la cartouche avant l'utilisation de l'extincteur : la cartouche libère le gaz pour qu'il remplisse le corps métallique contenant l'agent extincteur. Une goupille protégée par un plomb marqué prévient l'utilisation accidentelle de l'appareil et garantit son intégrité.

Un tuyau muni d'un diffuseur approprié sur chaque agent extincteur permet d'en diriger le vidange. Une poignée permet de porter l'extincteur et, sur les modèles à pression auxiliaire :

- Soit de gérer le vidange de l'agent extincteur (la percussion est alors assurée par un percuteur séparé) ;
- Soit de percuter la cartouche (la vidange est alors gérée par une autre poignée sur le diffuseur).

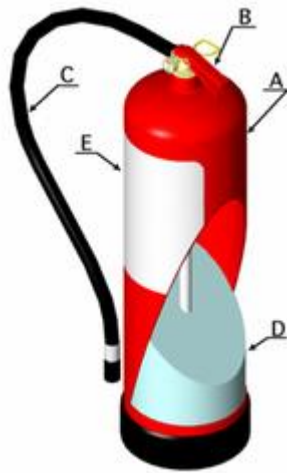
Sur les modèles à pression permanente, elle n'assure que la première fonction. Sur les modèles qui ne disposent pas de tuyau, le diffuseur est fixé sur l'extincteur. Certains constructeurs équipent leurs extincteurs d'un manomètre.

Un code de couleurs, peu suivi dans la pratique, se retrouve pour les extincteurs :

- Extincteur à poudre : étiquette ou capuchon de fond jaune.
- Extincteur à eau ou mousse : étiquette ou capuchon de fond bleu.
- Extincteur au CO<sub>2</sub> : étiquette ou capuchon de fond gris.

Il est à noter que les extincteurs équipant les automobiles ne sont pas conçus pour un usage domestique [12].

Les extincteurs portent une date de péremption et parfois une date de révision.



#### Coupe d'un extincteur

- A. Cylindre
- B. Poignée
- C. Tuyau
- D. Agent extincteur
- E. Etiquette

FigureII.1. Image d'extincteur portatif[Wikipédia]

Nous avons différents types d'agents extincteurs. On peut citer :

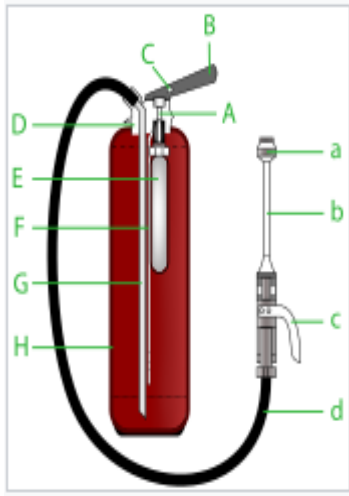
- L'eau
- La mousse
- La poudre
- Le gaz.

Un agent extincteur est un produit agissant sur le feu en s'opposant à la réaction de combustion.

La lecture de ce qui suit suppose la notion de classe de feux connue.

#### **a) L'eau**

On ne rencontre quasiment pas d'extincteur à eau pure, en raison de sa faible efficacité en petites quantités. Cependant, il existe un appareil appelé Ifex 3000 qui projette des impulsions d'eau à très hautes pression et vitesse, mais qui ne partage aucun point commun avec les extincteurs classiques, sinon la portabilité.

**Coupe d'un extincteur à eau**

- A. Percuteur
- B. Poignée de percussion et de transport
- C. Emplacement de la goupille de sécurité
- D. Corps de robinet
- E. Sparklet (cartouche de gaz propulseur)
- F. Tube d'injection du gaz
- G. Tube plongeur
- H. Corps d'extincteur
- a. Buse
- b. Prolongement
- c. Gâchette
- d. Tuyau souple

Figurell.2. Image d'extincteur à eau[Wikipédia]

Ainsi, les extincteurs à eau contiennent presque tous un additif. Ceux-ci sont des émulseurs, c'est-à-dire des produits qui abaissent la tension superficielle de l'eau (la goutte d'eau s'étale beaucoup plus), la rendant plus mouillante, plus pénétrante et donc plus efficace. De plus ils forment une pellicule étanche à la surface du combustible, l'isolant ainsi de l'air. La solution moussante obtenue est pour ces raisons également appelée « light water » (« eau légère » en anglais). Il s'agit du même mélange utilisé pour produire de la mousse, cependant la solution n'est ici pas mélangée à l'air. L'émulseur le plus rencontré est l'A3F ou AFFF (Agent Formant un Film Flottant). Il peut être en pré-mélange dans l'eau, ou dans un réservoir à l'intérieur de l'extincteur qui, au moment de la mise en pression de l'extincteur, se perce et libère l'additif dans l'eau. Dans la plupart des cas, cet agent est irritant et nécessite le rinçage des parties du corps qui ont pu y être exposées.

Leur efficacité est maximale sur les feux de classe A. Grâce à l'additif, ils sont aussi utilisables sur les feux de classe B (liquides), bien que la mousse soit plus efficace et plus sûre.

Le diffuseur équipant ces extincteurs est généralement formé de dizaines de trous de l'ordre du millimètre, afin de pulvériser l'eau en gouttelettes microscopiques. Pour cette raison, on appelle souvent ces modèles, des extincteurs à eau pulvérisée. Cette



pulvérisation limite la portée du jet au mètre. Certains diffuseurs sont ainsi prolongés de 20-30 cm ou coudés. On peut utiliser l'eau pulvérisée avec additifs en présence de courant d'une tension inférieure à 1 000 V. Composé de gouttelettes, le jet n'est pas conducteur. L'eau de ruissellement est en revanche conductrice. Si l'extincteur est défectueux, l'absence de pulvérisation peut induire un risque mortel. Les extincteurs à eau sont sensibles à la rouille. Cela est surtout dû au choix de matériaux répondant à des impératifs commerciaux.

Il existe sur le marché des extincteurs à eau pressurisée à l'azote et/ou à air comprimé. Leur réservoir est en acier inoxydable et, pour répondre aux normes des assureurs, ils sont munis d'un manomètre. Les extincteurs doivent être inspectés régulièrement au moins une fois par an et subir une inspection visuelle tous les six mois.

#### **b) La mousse**

La conception et le contenu des extincteurs à mousse est identique à celle des extincteurs à eau avec additif. La solution est ici mélangée à l'air au niveau du diffuseur, qui se compose d'un simple tube mousse (un long tube doté d'une ouverture à son origine pour faire entrer l'air par l'effet Venturi) formant de la mousse à bas foisonnement (mousse lourde). La portée importante du jet demande (ou permet) de se tenir loin du liquide en feu pour éviter de le projeter et de l'étaler [12].

Il s'agit du seul agent capable d'éteindre proprement, sûrement et sans risque de réinflammation les feux de liquides (classe B). La mousse, en flottant, agit en isolant l'air de ces derniers. Ceci permet :

- D'empêcher l'air d'alimenter le feu ;
- De retenir les vapeurs du liquide pouvant s'enflammer ou causer une réinflammation : on peut ainsi couvrir de mousse une surface de manière préventive afin d'éviter tout risque d'inflammation.

Dans une moindre mesure, la mousse agit par refroidissement grâce à l'eau qu'elle contient. Ceci est surtout valable sur les feux de classe A.

Suivant l'additif utilisé et le foisonnement, ils peuvent agir sur les feux de classe A, bien que l'eau pulvérisée reste préférable en raison de sa plus grande capacité de refroidissement.

L'additif utilisé conditionne l'efficacité de la mousse sur les feux d'hydrocarbures ou sur les produits polaires (solubles dans l'eau). L'AFFF est particulièrement efficace sur les premiers, formant lors de la décantation de la mousse un film aqueux à leur surface. Sur les polaires, il a tendance à former un gel. Il s'agit de l'émulseur le plus rencontré dans les extincteurs.

La mousse est inutilisable sur des feux d'installations électriques, car elle est conductrice. Concernant la corrosion, les mêmes remarques que pour l'eau s'appliquent à la mousse.

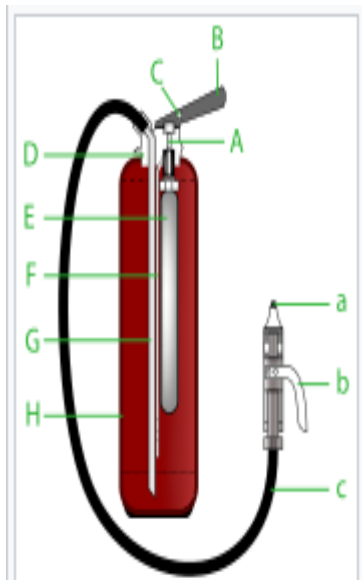
### **c) Poudres**

Les extincteurs à poudre contiennent une poudre chimique qui agit de plusieurs manières, principalement en inhibant le feu et en isolant le combustible. Elle n'a aucun pouvoir refroidissant.

Les extincteurs à poudre sont irrespectueux des biens de valeur. En effet, la poudre s'insinue partout. Elle est abrasive et mélangée à l'eau qui la rend fortement corrosive (notamment sur les circuits électriques). Afin de réparer les dégâts, il existe des firmes spécialisées dans le nettoyage après l'utilisation d'extincteurs à poudre. Les nuages de poudre qu'ils provoquent réduisent beaucoup la visibilité du sinistre, et sont très fortement irritants. De plus, ils engendrent une forte déperdition de l'agent extincteur, car une partie n'atteint pas le foyer.

Ce sont les extincteurs qui éteignent le feu le plus rapidement, mais pas forcément d'une façon définitive. Sur les liquides (classe B), la poudre rend la ré-inflammation difficile mais pas impossible. Il est souvent nécessaire de consolider l'extinction par la mousse. La poudre est le seul agent extincteur efficace sur les feux de gaz (classe C) de grande ampleur.

Ils sont sensibles aux vibrations qui tassent la poudre, l'empêchant de sortir correctement.



### Coupe d'un extincteur à poudre

- A. Percuteur
- B. Poignée de percussion et de transport
- C. Emplacement de la goupille de sécurité
- D. Corps de robinet
- E. Sparklet (cartouche de gaz propulseur)
- F. Tube de détassement
- G. Tube plongeur
- H. Corps d'extincteur
- a. Buse
- b. Gâchette
- c. Tuyau souple

Figurell.3. Image d'extincteur à poudre[Wikipédia]

On distingue trois types de poudre :

➤ **Poudres BC (feux de classe B et C)**

Elle est composée principalement de bicarbonate de sodium ou de bicarbonate de potassium (85-95 %) qui sous l'effet de la chaleur se décompose en dégageant notamment du  $\text{CO}_2$ . Ils ont également une action inhibitrice sur les réactions chimiques au sein de la combustion.

On leur adjoint souvent 1-12 % de mica muscovite (silicate de potassium et d'aluminium) ou de terre à foulon (silicate de magnésium et d'aluminium) pour rendre la poudre moins volatile.

Enfin on trouve un petit pourcentage de stéarates (de calcium notamment), de gel de silice et d'huile de silicone (polysiloxane méthylé et hydrogéné), afin d'éviter que la poudre ne s'agglomère sous l'effet de l'humidité. La plupart de ces poudres sont également dotées de pigments bleus ou violets pour les distinguer.

Ils sont presque exclusivement destinés au secteur de l'automobile ou de l'industrie.

➤ **Poudres ABC (feux de classe A, B et C)**

Elle est composée principalement (jusqu'à 95 %) de phosphate ou sulfate d'ammonium, de phosphate monoatomique ou de carbamate ou bicarbonate de sodium. Les sels d'ammonium ont la propriété de fondre sous l'effet de la chaleur et de former à la surface des solides une croûte les isolant de l'air. C'est ce qui rend cette poudre utilisable aussi bien sur les feux de classe A, B ou C.

On leur adjoint souvent 1-5 % de mica muscovite (silicate de potassium et d'aluminium) ou de terre à foulon (silicate de magnésium et d'aluminium) pour rendre la poudre moins volatile.

Enfin on trouve des fractions d'huile de silicone (polysiloxane méthyle et hydrogéné) afin d'empêcher que la poudre ne s'agglomère sous l'effet de l'humidité. Certaines de ces poudres sont également dotées de pigments bleus ou jaunes.

Ce sont les extincteurs les plus polyvalents et les plus vendus.

➤ **Poudres D (feux de classe D)**

Elle est principalement composée (80-90 %) de carbonate ou chlorure de sodium et de phosphate de calcium. On lui ajoute quelques pourcents de stéarate de zinc ou de magnésium et parfois 1-5 % de mica muscovite (silicate de potassium et d'aluminium) ou de terre à foulon (silicate de magnésium et d'aluminium) pour rendre la poudre moins volatile, ainsi que du gel de silice pour éviter qu'elle ne s'agglomère. On rencontre également de la poudre de ciment, du laitier, des grenailles de fonte qui aident à former une croûte en fondant. Certains contiennent de la poudre de cuivre, dont le rôle est de dissiper la chaleur par conduction ; il est recommandé pour les feux de lithium.

On rencontre ce type de poudre dans des environnements spéciaux : industries, laboratoires, etc. bien que les transports et la construction utilisent de plus en plus de métaux inflammables. En raison du caractère très particulier des feux de métaux, la poudre D sert principalement à isoler le feu sous une croûte afin d'éviter sa propagation et dans le meilleur cas de l'étouffer. La composition de la poudre va ainsi dépendre du métal particulier à éteindre.

## **d) Gaz**

### **➤ Dioxyde de carbone**

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) agit principalement par étouffement, en diminuant fortement la concentration d'oxygène alimentant le feu. Dans une très moindre mesure, il agit par refroidissement au vu de sa température de sortie de -78 °C ; sur de petits feux il peut également souffler la flamme (séparer le combustible du feu). Il est ainsi capable d'agir sur les trois côtés du triangle du feu.

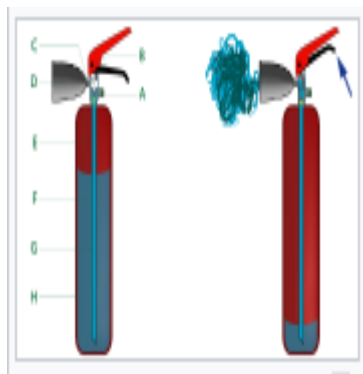
Le gaz est stocké sous forme liquide à une pression permanente de 50 bar avec une valve de sécurité se déclenchant à 200 bar ; il est inodore, incolore (bien qu'il forme un nuage blanc en se condensant à la sortie de l'extincteur) et non toxique à faible dose. En raison de sa détente, le gaz sort à -78 °C, faisant courir des risques de gelures. Le diffuseur prend la forme d'un tromblon conique favorisant la détente du gaz et son guidage. Les modèles de moins de 5 kg ne comportent généralement pas de tuyau et le tromblon est fixé directement dessus.

Le CO<sub>2</sub> est un gaz volatil plus lourd que l'air à température ambiante il devient plus léger dès 179 °C. Pour assurer une extinction complète, il est donc nécessaire de couvrir simultanément toute la surface en feu, car le gaz ne reste au mieux que quelques instants à son contact.

Il est efficace sur les petits feux de liquides (classe B) avec une efficacité limitée lorsque le liquide en feu a atteint son point d'auto-inflammation : il se ré-enflamme spontanément après extinction. Le CO<sub>2</sub> n'est vraiment efficace que sur les feux naissants. Il est efficace sur les petits feux de gaz (classe C) selon le principe énoncé mais n'est pas homologué. Il est utilisable sur les feux de solides (classe A) lorsque ceux-ci sont très peu épais (tissu, papier, etc.) et ne forment pas de braise. En revanche, la forte inertie thermique des feux de solides épais ou formant des braises le rend inefficace sur ce type de foyer.

Il se distingue par sa capacité à refroidir des appareils électriques en surchauffe (pour des tensions inférieures à 5 kV). L'opérateur doit cependant être attentif au risque d'explosion d'objets brutalement refroidis par le dioxyde de carbone. Les extincteurs à CO<sub>2</sub> sont les seuls dont le tromblon, tant qu'il est sec, peut servir à séparer de la source

d'électricité une victime en train de s'électriser. Le CO<sub>2</sub> ne laisse aucun résidu et ne cause aucun dégât, ce qui en fait le seul agent utilisable dans un environnement informatique ou une cuisine par exemple. Cet extincteur est le plus lourd parmi les matériels d'extinction. Il est également très sensible à la chaleur, lors de l'utilisation et du stockage.



#### Coupe d'un extincteur à Gaz

- A. Valve anti-surpression
- B. Emplacement de la goupille de sécurité
- D. Tromblon
- E. CO<sub>2</sub> gazeux
- F. CO<sub>2</sub> liquide
- G. Tube plongeur
- H. Cylindre de CO<sub>2</sub> (2 kg)

Figurell.4. Image d'extincteur à Gaz[Wikipédia]

#### ➤ **Holon**

La famille des halons est en voie de disparition. En effet ces gaz sont visés par le Protocole de Montréal qui est un accord international visant à réduire et à terme éliminer complètement les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Il a été signé actuellement par 197 pays (ratification universelle) dont l'Union européenne. Cette catégorie était fonctionnellement similaire, bien que nettement plus efficace que les extincteurs à CO<sub>2</sub> car ils pouvaient être utilisés à une température bien plus élevée. Leur caractéristique principale est de se lier chimiquement à l'oxygène, ce qui étouffe le feu.

Ils sont encore utilisés dans l'aviation et certaines applications qualifiées de critiques (nucléaire, sécurité nationale, applications militaires, ...).

#### ➤ **Autres gaz**

Des alternatives aux halons existent sur le marché :

- Argonite : 50 % d'argon et 50 % de diazote
- Inergen : 52 % de diazote, 40 % d'argon et 8 % de CO<sub>2</sub>

- HFC-125
- 3M Novec(tm) 1230FK-5-1-12
- FM-200

Ces gaz sont principalement utilisés dans des installations fixes, pour protéger des lieux ne pouvant tolérer l'eau ou la poudre, comme des bibliothèques ou des Datacenter [12].

### **B) Extincteurs mobiles**

Les extincteurs de cette catégorie sont similaires dans leurs agents et leur fonctionnement aux extincteurs portatifs, mais ils disposent d'un plus grand volume d'agent extincteur (20 à 200 kg), ce qui accroît leur autonomie et leur efficacité. Ils sont montés sur un châssis muni de roues et disposent d'un tuyau beaucoup plus long, avec parfois une lance-pistolet. Leur cartouche de gaz est souvent externe.



*Figurell.5. Image d'extincteur sur roue de 50kg à poudre[Wikipédia].*

On en trouve dans les aéroports, les entrepôts, les stations-services, etc.

### **C) Extincteurs fixes**

On trouve également des installations d'extinctions fixes. Elles sont composées d'une réserve d'agent extincteur (souvent sous pression permanente), d'une tuyauterie pour l'acheminer et d'un système de déclenchement automatique ou manuel.



Figurell.6. Image d'argon dans un Datacenter[Wikipédia].

On en trouve, à des échelles très différentes :

- Dans des chaudières ;
- Dans des compartiments moteurs ;
- Dans des armoires électriques ;
- Dans des Datacenter ;
- Dans des cuisines et leurs hottes ;
- Dans des raffineries ou dans des dépôts pétroliers.

#### **II.2.1.4. Mode opératoire pour l'extinction**

- L'utilisateur doit vérifier que la classe de l'extincteur est adaptée au feu.
- Il enlevé la goupille.
- S'il s'agit d'un extincteur à pression axillaire, il percute la poignée pour libérer le gaz de la cartouche en détonant le visage du flexible, et la tête de l'extincteur ;



- Une brève pression sur la poignée d'éjection permet à distance du foyer, de vérifier que l'extincteur fonctionne;
- Il s'approche du feu en se baissant puis attaque la base des flammes.

La distance minimale à laquelle on attaque le feu dépend du type de feu et de l'agent extincteur :

- Eau pulvérisée avec ou sans additif : 2 à 3 mètres ;
- Poudre BC ou ABC : 3 à 4 mètres ;
- CO<sub>2</sub> : 1 mètre

On se rapproche ensuite quand les flammes ont baissé d'intensité, pour finir l'extinction, tout en restant à distance de sécurité des sources d'électricité en raison du risque d'électrisation ; La distance de sécurité est de 1 mètre pour 1 000 V de tension, sachant qu'un feu de tableau électrique doit être traité au CO<sub>2</sub>, la poudre étant trop difficile à supprimer et l'eau risquant de générer des court-circuit.

L'extincteur doit être maintenu verticalement lors de son utilisation afin que ce soit le produit actif qui en sorte et non le gaz propulseur.

L'extincteur doit être rechargé après chaque utilisation, même si seule une petite partie de la charge a été utilisée : la cartouche de gaz étant percutée, le gaz va fuir au fur et à mesure et l'extincteur n'aura plus de pression (le produit ne sortira pas lors d'une future utilisation).

- **L'utilisation d'un extincteur en présence d'un feu de gaz** : en présence d'un feu de gaz, la première intervention consiste à couper l'alimentation du gaz en fermant une vanne de coupure pour autant qu'elle soit assez proche et accessible. Si on ne parvient pas à fermer la vanne d'alimentation, on risque de former un nuage explosif souvent plus dangereux que l'effet chalumeau du feu de gaz (jet fire). On peut alors utiliser un extincteur (à eau pulvérisée pour se protéger de la meilleure manière) dans le but d'atteindre la vanne d'arrêt pour la fermer et ensuite pour éteindre les feux résiduels.

- **L'utilisation d'un extincteur est vivement déconseillée sur une personne dont les vêtements ont pris feu** : les extincteurs au dioxyde de carbone présentent un risque de brûlure thermique non négligeable (le dioxyde de carbone sort à -78 °C du tromblon) pour la victime, quant aux extincteurs à poudre l'effet combiné des brûlures thermiques et de l'application de poudres irritantes n'est pas des plus heureux. Cependant lorsque des vêtements ont pris feu, il faut réduire les flammes rapidement pour limiter le plus possible l'étendue et la gravité des lésions du type de brûlure thermique. Une couverture anti feu accrochée au mur est efficace pour éteindre ce type de feu : la personne dont les vêtements se sont enflammés peut l'utiliser elle-même, sans assistance extérieure, pour étouffer les flammes. On peut également employer dans de telles circonstances une douche portative de secourisme semblables à des extincteurs (elles sont vertes alors que les extincteurs sont le plus souvent rouges) et qui contiennent de l'eau additionnée d'antiseptique, ou une douche fixe de premiers secours [12].

## **II.2.2. SYSTEMES D'EXTINCTION AUTOMATIQUE**

### **II.2.2.1. Introduction**

Une installation fixe d'extinction automatique est un dispositif (appareil) fonctionnant seul en cas de chaleur excessive ou de présence de la fumée dans un local ou un site à protéger lors d'un incendie. Le système hors-mis l'alarme électrique est mis en réseau au-dessus de la zone à protéger et comporte 3 grandes parties :

- La source d'énergie et celle d'approvisionnement en agent extincteur
- La partie de commande qui possède un détecteur et les différents accessoires
- La partie à commander (celle qui doit agir pour avertir de la présence d'un danger et au mieux maîtriser le danger en question) [13]

De manière générale, le système d'extinction d'incendie automatique fonctionne selon le principe utilisé dans un détecteur, pour capter une grandeur physique indicateur

d'incendie (température, fumée, flamme, ...). Cette grandeur est transformée en grandeur électrique (courant ou tension) pour actionner le système d'extinction en cas de danger.

Cependant, le succès d'une extinction automatique dépend de la qualité du détecteur. Il en existe plusieurs types chacun avec des applications précises.

### **II.2.2.2. Quelques systèmes d'extinctions automatique**

#### **A) Systèmes d'extinction automatiques fixes à eau de type sprinkleur**

L'installation se présente sous la forme d'un réseau de canalisation permettant d'arroser dans les délais les plus brefs, avec de l'eau sous pression, un foyer d'incendie qui se déclare. Les plafonds des locaux à protéger sont munis de canalisations portant des têtes d'extincteurs ou "sprinkleurs".



*Figurell.7. Image d'un sprinkleur[Wikipédia].*

A partir d'une certaine température, le ou les sprinkleurs qui y sont soumis s'ouvrent brusquement et permettent un arrosage local en pluie très efficace. L'ouverture d'un sprinkler occasionne une baisse de pression dans l'installation. Ce phénomène est utilisé pour déclencher l'alarme par un moyen sonore [13].

En dehors d'installations industrielles particulières, chaque tête est indépendante et n'apporte de l'eau que sur la zone enflammée. Les installations sprinklers sont donc soit du type déluge (déclenchement simultané sur toute la zone concernée) généralement déclenché par une détection, soit du type sous eau (buses à ampoule) avec le déclenchement d'une buse ou d'un groupe de buses en cas d'élévation de la température. Les choix des températures de déclenchement, la plus courante étant de 68°C pour les bureaux, ils doivent

tenir compte de la température ambiante et de l'application concernée (fours, chaufferie, séchoirs, etc.) pour éviter tout déclenchement inapproprié. Il y a aussi de nombreux types de têtes de gicleurs en fonction des locaux à protéger.

Pour éviter les risques de gel dans des locaux non chauffés, les canalisations de l'installation sont, au lieu d'eau, remplies d'air sous pression. Les quantités d'eau à mettre en œuvre sont importantes. Aussi, la zone traitée doit être équipée d'une rétention.

Dans les applications souterraines (tunnels, métros ...), l'évacuation de grands volumes d'eau peut présenter une véritable difficulté, de même que l'installation d'équipements et tuyaux de grand diamètre dans les zones situées à une certaine distance sous terre : des installations à brouillard d'eau avec des sprinkleurs à très grande vitesse qui forment un brouillard, représente alors une solution efficace : en diminuant la taille des gouttelettes, l'accroissement de la pression crée un phénomène de brumisation sur une surface élargie. Au contact des flammes, l'eau se vaporise, absorbant la chaleur et déplaçant l'oxygène qui alimente le feu, et conduisant ainsi à le contenir puis l'éteindre. Plus la surface de diffusion est grande, plus le système est efficace pour réduire la température et l'oxygène dans la zone touchée [13].

#### **B) Systèmes d'extinction automatiques fixes à gaz**

Une Installation d'extinction automatique à gaz (IEAG) est un système fixe qui permet de détecter l'éclosion d'un incendie et de l'éteindre par l'apport de gaz neutres ( $\text{CO}_2$ , argon/azote) ou inhibiteurs dans un délai bref. Elles sont composées d'une réserve d'agent extincteur (souvent sous pression permanente), d'une tuyauterie pour l'acheminer et d'un système de déclenchement automatique ou manuel.



Figurell.8. Image des systèmes d'extinction automatiques fixe à gaz [Wikipédia].

On en trouve, à des échelles très différentes :

- dans des chaudières ;
- dans des compartiments moteurs, machines sous carters ;
- dans des armoires électriques ;
- dans des salles informatiques, centres de stockage de données, centraux téléphoniques
- dans des cuisines et leurs hottes ;
- dans des musées, bibliothèques.

Une IEAG se trouve surtout dans les locaux présentant un risque d'incendie important, renfermant du matériel de grande valeur ou dans lesquels l'eau ne peut pas être utilisée.

Pour l'extinction automatique d'incendie de cuisines de restaurants ou cuisines collectives, il existe des systèmes dédiés comprenant un coffret contenant l'agent extincteur et la cartouche de propulsion, un réseau d'extinction, buses de diffusion...

Selon les règles APSAD (R7 et R13) le lâcher de gaz doit être consécutif à une action manuelle (déclencheur manuel double action) ou sur double détection en

automatique (confirmation de la détection incendie par deux détecteurs de technologie différente).

### C) Systèmes automatiques de protection à rideau d'eau

Un rideau d'eau est destiné à l'arrosage d'une paroi afin de renforcer sa résistance au feu. Un rideau d'eau est constitué par une ou plusieurs antennes équipées de sprinkleurs ou de pulvérisateurs dont les orifices sont ouverts en permanence. Le mode de déclenchement d'un rideau d'eau doit être manuel et automatique. Le mode de déclenchement automatique peut être commandé par un réseau de sprinkleurs pilote ou par un système de détection incendie.

On n'utilise donc pas le système de rideau d'eau à proprement parler pour l'extinction mais plutôt pour éviter la propagation du feu car le rideau d'eau diminue les effets du rayonnement, ou pour augmenter la résistance au feu des matériaux des portes, murs, cloisons...



Figurell.9. Image de système automatique à protection d'eau [Wikipédia].

On installe en général un rideau d'eau pour isoler la paroi d'un bâtiment protégé par sprinkleurs, de feux pouvant provenir de l'extérieur. Par exemple présence de silo d'huile végétale, de carburant, ou de tout autre produit inflammable, qui s'il était en feu transmettrait le feu par rayonnement ou par conduction au bâtiment adjacent [13].

## **CHAP III : MODELISATION ET REALISATION DU SYSTEME D'EXTINCTION D'INCENDIE INTELLIGENT**

### **III.1. MODELISATION DU SYSTEME**

#### **III.1.1. Introduction**

Pour se donner les chances de réussir son projet, un minimum de rigueur, fruit d'une méthodologie bien claire, précise et explicite s'impose. Dans notre cas, nous avons opté pour une méthode qui s'articule autour de 4 étapes principales : la définition du projet, la rédaction du cahier des charges, la conception fonctionnelle et la mise en œuvre du système.

Notons ici que la mise en œuvre qui est la réalisation même de notre système fait l'objet du point III.2. Elle n'a donc pas été abordée dans celui-ci.

#### **III.1.2. Définition du projet**

Le but poursuivi dans la définition d'un projet est de préciser la nature du projet et de faire correspondre les besoins, les contraintes, le budget et les solutions technologiques. Cette étape est très souvent complexe parce qu'elle résulte d'un entretien avec le client et l'on remarque très vite un profond décalage entre le désir, le besoin et la réalité. Dans cette étape, nous devons faire la part des choses, de nous ramener sur terre et de définir de façon réaliste ce que sera exactement notre projet.

##### **III.1.2.1. Nature du projet**

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes placés dans les conditions des nouveaux bâtiments et d'une réhabilitation du fait que notre système doit s'intégrer dans une bâtisse qui existe aussi déjà. Il faut donc, lors de chaque étape, tenir compte de contraintes liées à l'existant (nature des murs, installation électrique, etc.).

##### **III.1.2.2. Périmètre du projet**

Un projet de réhabilitation peut s'avérer à la fois laborieux et alambiqué. Ce qui peut être à la base de perte du fil des priorités et ainsi conduire à l'échec du projet. Cette section a pour but de définir les priorités, de trier parmi les besoins ce qui est nécessaire de ce qui est accessoire.

Pour mieux définir les besoins, l'idéal est de commencer par raisonner dans l'absolu, c'est-à-dire en faisant abstraction des contraintes budgétaires. Avec cette astuce nous avons pu dégager deux principaux besoins :

- **Rendre la maison sûre :**  
C'est-à-dire une maison qui garantit une certaine sécurité à ses occupants et contribuant à leur bien-être.
- **Rendre la maison communicante :**  
C'est-à-dire rendre la maison capable de prévenir ou d'alerter les occupants lorsqu'une activité suspecte ou anormale se produit.

Ces besoins sont subdivisés en tâches. Chaque tâche sera affectée d'un degré d'importance et d'un niveau de priorité qui détermine sur quoi nous devons nous concentrer en premier car, il n'est souvent pas nécessaire de tout installer partout et tout de suite ; Cela dans le souci de répondre au mieux aux attentes du client et de satisfaire à ses besoins.

Le tableau III.1 présente donc les besoins exprimés par le client et les différentes tâches qui y sont liées.

- **Périmètre du projet d'extinction d'incendie intelligent**

*Tableau III.1: Périmètre du projet d'extinction d'incendie intelligent*

<b>Domaine</b>	<b>Tâches</b>	<b>Fonctionnalités</b>	<b>priorité</b>
Maison sûre	Sécurité des personnes et des biens	Extinction automatique des incendies Contrôle de fumée Contrôle de flamme Contrôle de température	Elevée Elevée Elevée Elevée
Maison communicante	Echange des données Pilotage manuel	Envoie notifications Déclenchement alarme	Moyenne Elevée

### **III.1.2.3. Choix structurels**

Des choix préliminaires sont faits pour assurer une certaine cohérence des solutions techniques et pour avoir une idée sur le budget à mobiliser.



➤ **Câblage des composants :**

Vu que nous œuvrons dans le domaine de la sécurité, il nous est paru intéressant d'utiliser une infrastructure filaire qui est à notre connaissance, le plus fiable pour relier les différentes entités entre elles dans la maison. Toutefois, pour envoyer certaines notifications, nous nous fierons au service de GSM.

➤ **Technologie Open Source :**

Le choix des technologies libres s'est presque imposé vu les avantages que l'on en tire en terme pécuniaire, en termes de communauté et pourquoi pas en termes d'évolutivité. Ces technologies sont aussi mieux appropriées à être employées dans un cadre de recherche d'autant plus qu'elles présentent moins de restrictions que les solutions propriétaires.

➤ **Solution à intégration :**

Nous avons considéré le système comme un ensemble de modules, pour des raisons de respect des contraintes budgétaires, de la simplification de mise en forme et aussi pour les besoins d'évolution et de maintenance.

### **III.1.3. Cahier des charges**

#### **III.1.3.1. Contexte et définition du problème**

Ayant connaissance des difficultés qu'éprouvent les particuliers pour assurer la sécurité de leurs maisons d'habitation et de connaître en temps réel ce qui s'y passe à leur absence, d'assurer une meilleure protection à leurs biens et des êtres qui leur sont chers, nous avons pensé créer un système que nous avons nommé « FireProf » qui tente de répondre à ce besoin.

#### **III.1.3.2. Objectif**

Le but poursuivi au final est d'obtenir un système de sécurité qui rehausse le niveau de quiétude et d'assurance des propriétaires, le travail cherche à mettre sur pied un système qui soit à la fois sûr, robuste, modulaire et accessible au grand public de par son prix et sa facilité d'utilisation et de mise en œuvre.

### III.1.3.3. Description fonctionnelle

FireProf est composé d'un principal module qui encapsule les différentes fonctions qui devront être remplies. Ce module est appelé module de gestion de l'intérieur.

➤ **Description:**

Ce module se charge de tout ce qui se passe dans la maison c'est-à-dire la présence de fumée, la variation de la température et la présence de la flamme. Il détecte au moins ces paramètres dans la maison et active le système de protection en cas de nécessité. Dans le cas de détection d'une anomalie le module prévient le propriétaire de la maison (ou responsable) par notification (sonore ou SMS) et déclenche le système d'extinction en cas d'incendie.

➤ **Objectifs:**

Informé le propriétaire de la maison en temps réel sur l'état de sa maison et protéger la maison contre les incendies si se présentent.

➤ **Fonctions:**

- Gestion de la présence de fumée

<b>Description</b>	<b>Cette fonction repère la présence de fumée et prévient les risques d'incendie dans la maison.</b>
Objectif	Détecte la présence de la fumée dans la maison.
Contraintes/Règles	En présence de fumée dans la maison, cette fonction envoie la notification au propriétaire de la maison pour l'informer qu'il y a la présence de fumée dans sa maison et déclenche automatiquement le système d'extinction. Selon la température au sein de la maison, il peut aussi déclencher automatiquement le système d'alerte.
Niveau de priorité	Elevée

Tableau III.2: Gestion de la présence du fumé

- Gestion de la température

<b>Description</b>	<b>Cette fonction détecte et régule la température dans la maison</b>
Objectif	Détecte la variation de la température dans la maison.
Contraintes/Règles	Lorsque la température varie et dépasse la valeur du niveau minimal ou maximal donné le système déclenche le système de régulation de température.
Niveau de priorité	Elevée

Tableau III.3: Gestion de la température

- Gestion de la présence de la flamme

<b>Description</b>	<b>Cette fonction aperçoit la présence de la flamme et prévient les risques d'incendie dans la maison.</b>
Objectif	Détecte la présence de la flamme dans la maison.
Contraintes/Règles	En présence de la flamme dans la maison, cette fonction notifie le propriétaire de la présence de la flamme dans sa maison et déclenche automatiquement le système d'extinction tout en activant le système d'alerte.
Niveau de priorité	Elevée

Tableau III.4: Gestion de la présence de la flamme

#### III.1.3.4. Intervenants

- **Maitre d'œuvre**  
La maitrise d'œuvre est sous la responsabilité de **MALUMA ALUMA Jonas** Chef de projet.
- **Maitre d'ouvrage**  
La maitrise d'ouvrage est sous la responsabilité du professeur Dr. Ir. **TAKENGA Claude**, épaulé par l'assistant Ir. **IRENGE BAGUMA Raoul**.
- **Compétences nécessaires**  
Gestion des projets, Conception et modélisation par SysML, maitrise de l'outil Arduino, de l'électronique de base, des réseaux de télécommunication.

#### III.1.3.5. Livrable du projet

A la fin du projet, le livrable sera composé d'un kit électromécanique qui va interagir physiquement avec la maison. Il comprend aussi un module GSM qui permettra d'envoyer la notification en temps réel au responsable de la maison en cas d'anomalie.

#### III.1.3.6. Délai

La durée du projet découle du temps que prendra toutes les opérations qui mènent à sa réalisation. La figure III.1 suivante présente le diagramme GANTT qui, tâche après tâche montre le cheminement de la réalisation de notre projet depuis sa date de début fixée au 29 juin 2018 jusqu'à sa fin.

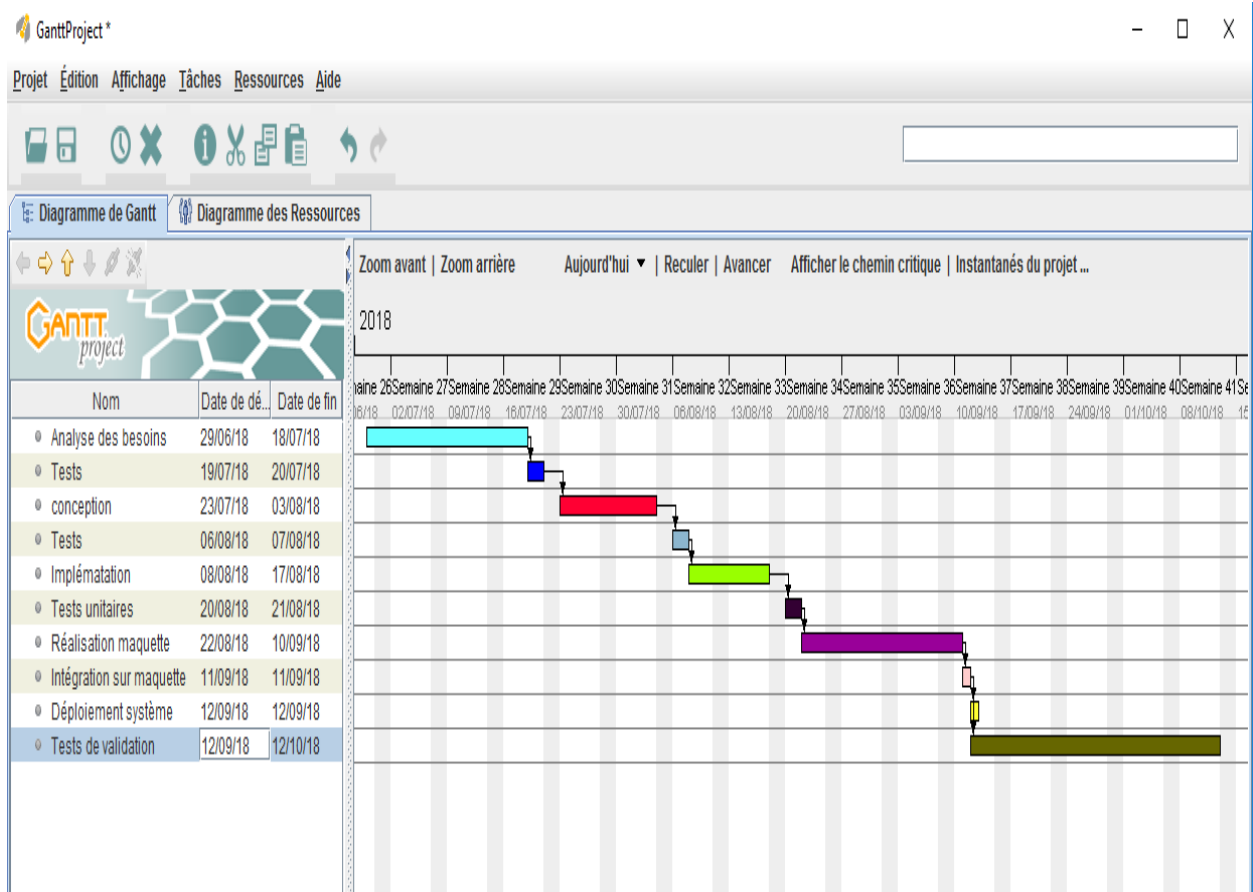


Figure III. 1 : Diagramme GANTT du projet système d'extinction d'incendie intelligent

### III.1.4. Conception fonctionnelle

Pour la conception de notre système nous avons opté pour le langage de modélisation SysML qui est bien adapté à la conception des systèmes complexes et bien apprécié dans le monde de l'ingénierie système.

SysML est fortement inspiré de la version 2 d'UML, mais il ajoute la possibilité de représenter les exigences du système, les éléments non-logiciels (mécanique, hydraulique, capteur, etc.), les équations physiques, les flux continus (matière, énergie, etc.) et les allocations.

Ce langage s'articule autour de neuf types de diagrammes, chacun d'eux étant dédié à la représentation des concepts particuliers d'un système. C'est donc à la lumière de ces diagrammes que nous allons mener notre conception. [14]

### III.1.4.1. Diagramme d'exigences

Une exigence permet de spécifier une capacité ou une contrainte qui doit être satisfaite par un système. Elle peut spécifier une fonction que le système devra réaliser ou une condition de performance, de fiabilité, de sécurité, etc.

En nous basant sur les besoins immédiats répertoriés dans la partie précédente, nous avons tiré une exigence majeure qui est la **gestion de l'intérieur**, qui par soucis de modularité, englobe d'autres éléments de taille relativement mineure.

**Descriptif** : Contrôler les activités dans la maison, envoi la notification au responsable de la maison si elles semblent anormales, déclenche l'alarme, le système de régulation de la température et le système d'extinction d'incendie selon le cas qui se présente dans la maison.

Subdivisée en :

- **Gestion de la présence de fumée** : détecte la présence de fumé dans la maison.
- **Gestion de la température** : détecte la variation de la température dans la maison.
- **Gestion de la présence de la flamme** : détecte la présence de la flamme dans la maison.

Le diagramme d'exigences, comme son nom l'indique, permet donc de représenter graphiquement les exigences. Celui représentant notre système se présente comme suit :

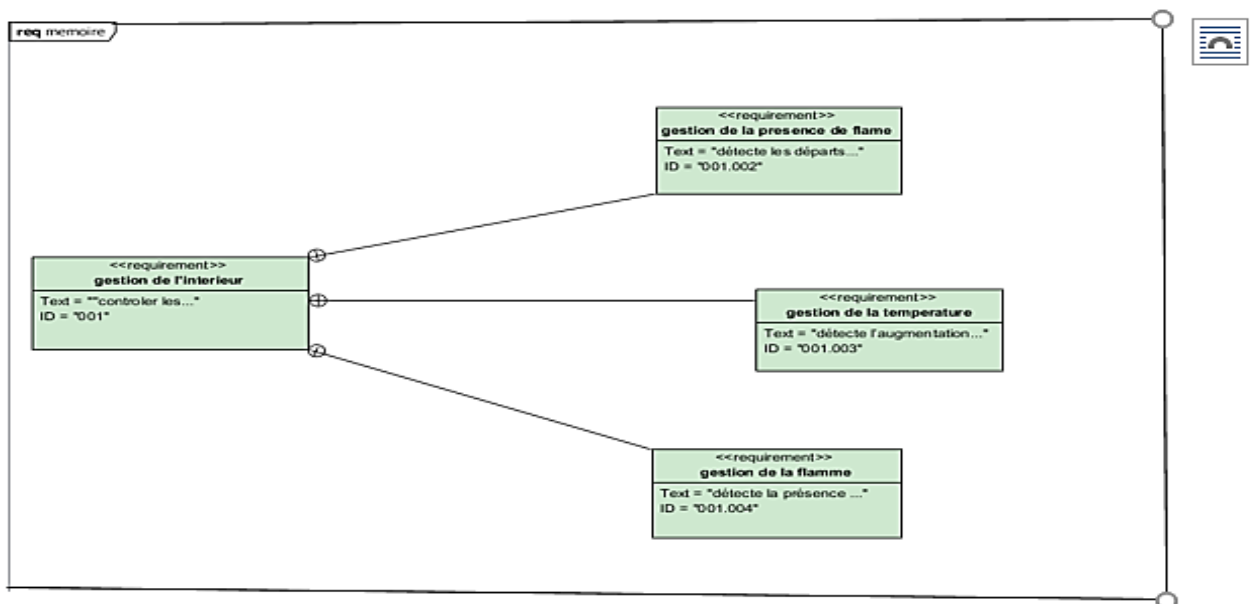


Figure III. 2 : Diagramme d'exigences du système FireProf

### III.1.4.2. Diagramme de cas d'utilisation

Un cas d'utilisation représente un ensemble de séquences d'actions qui sont réalisées par le système et qui produisent un résultat observable intéressant pour un acteur particulier. Il permet de décrire ce que le futur système devra faire, sans spécifier comment il le fera.

Le diagramme de cas d'utilisation est un schéma qui montre les cas d'utilisation reliés par des associations à leurs acteurs. [14]

#### a) Acteur

Le terme « acteur » désigne un rôle joué par un humain ou un autre système qui interagit directement avec le système en cours d'étude.

Pour notre système, les quelques acteurs que nous avons décelés sont les suivants:

- Résident : un connaisseur du fonctionnement extérieur du système qui intervient en cas de problème que le système ne détecte pas.
- Capteur de fumée : un élément qui pourra interagir avec le système suite à la présence de fumée.
- Capteur de température : un élément qui pourra interagir avec le système suite à la variation de la température.
- Capteur de flamme : un élément qui pourra interagir avec le système suite à la présence de la flamme.
- Administrateur : celui qui connaît bien le système et définit des paramètres de fonctionnement du système.

## b) Le diagramme

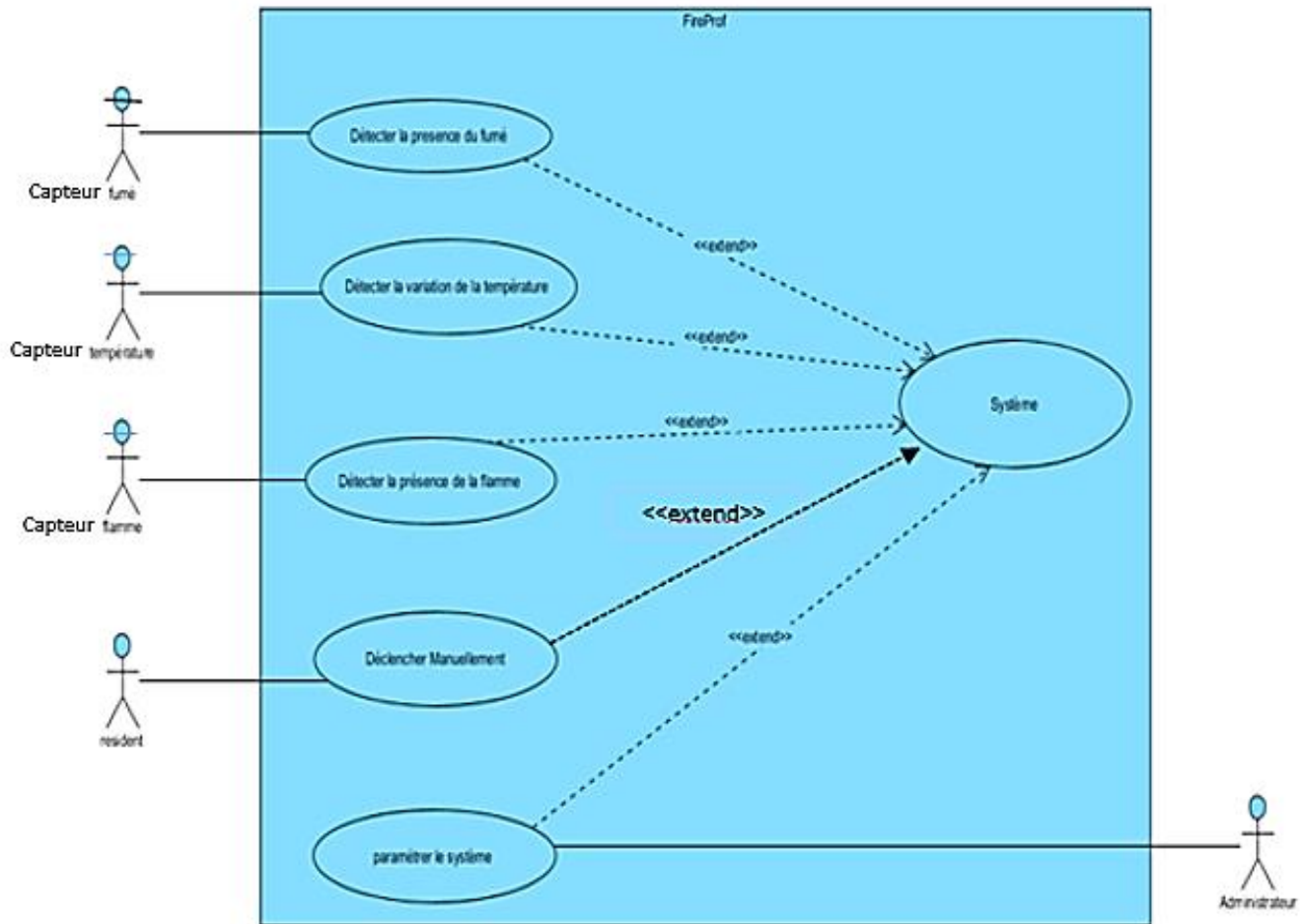


Figure III. 3 : Diagramme de cas d'utilisation FireProf system.

## c) Description des cas d'utilisation

Dans cette section nous allons décrire les quelques cas d'utilisation répertoriés dans le diagramme précédent.

Tableau III.5: Description de CU Détecter la présence du fumé

<b>Nom du cas d'utilisation</b>	Détecter la présence de fumée
<b>Identifiant</b>	001
<b>Brève description</b>	Ce CU permet de ranimer certaines fonctionnalités du système et ce dernier éteint la fumée aussitôt détectée dans la maison.

<b>Acteur</b>	Capteur de fumée
<b>Pré conditions</b>	Le système est lancé(activé)
<b>Enchainement principale</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Le fumé se retrouve dans une pièce</li> <li>2.Le capteur de fumée détecte la présence de la fumée</li> <li>3.Le capteur de fumée envoie l'information au système</li> </ol>
<b>Post conditions</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le système envoie la notification au propriétaire de la maison qu'il y a la présence de fumée dans sa maison</li> <li>2. le système affiche à l'écran LCD qu'il y a présence de fumée dans la maison.</li> <li>3.Le système déclenche automatiquement le système d'extinction</li> </ol>
<b>Enchainement secondaire</b>	La fumée ne s'approche pas suffisamment ni assez longtemps pour permettre au capteur de réagir. Dans ce cas le système reste dans son état normal

Tableau III.6: Description de CU Détecter la température

<b>Nom du cas d'utilisation</b>	Détecter la température
<b>Identifiant</b>	002
<b>Brève description</b>	Ce CU permet de veiller sur certaines fonctionnalités du système et ce dernier régule automatiquement la température aussitôt que cette dernière dépasse la valeur minimale ou la valeur maximale de seuil.
<b>Acteur</b>	Capteur de température
<b>Pré conditions</b>	Le système est lancé(activé)
<b>Enchainement principale</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. la température dépasse l'une des valeurs limites</li> <li>2. Le capteur détecte la variation de la température.</li> <li>3.Le capteur envoie l'information au système</li> </ol>
<b>Post conditions</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Le système régule automatiquement la température selon le cas qui se présente</li> <li>2. le système affiche à l'écran LCD le niveau de la température (il fait froid, beau temps, il fait chaud et il fait très chaud)</li> <li>3.Envoie la notification au responsable de la maison au cas où il fait très chaud.</li> </ol>
<b>Enchainement secondaire</b>	La température est normale pour ne pas permettre au système de réagir. Dans ce cas le système reste dans son état normal.



Tableau III.7: Description de CU Détecter la présence de la flamme

<b>Nom du cas d'utilisation</b>	Détecter la présence de la flamme
<b>Identifiant</b>	003
<b>Brève description</b>	Ce CU permet de réveiller sur certaines fonctionnalités du système et de le mettre en alerte aussitôt que la flamme est détectée dans la maison.
<b>Acteur</b>	Capteur de flamme
<b>Pré conditions</b>	Le système est lancé(activé)
<b>Enchaînement principale</b>	1.La flamme se retrouve dans une pièce 2.Le capteur de flamme détecte la présence de la flamme 3.Le capteur envoi l'information au système
<b>Post conditions</b>	1. Le système envoi la notification au propriétaire de la maison qu'il y a la présence de la flamme dans la maison 2. Le système déclenche le système d'alarme selon les paramètres de fonctionnement. 3.Le système déclenche automatiquement le système d'extinction 4. le système affiche à l'écran LCD qu'il y a incendie.
<b>Enchaînement secondaire</b>	La flamme n'est pas présente pour permettre au système de réagir. Dans ce cas le système reste dans son état normal.

Tableau III.8: Description de CU Déclencher manuellement

<b>Nom du cas d'utilisation</b>	Déclencher manuellement
<b>Identifiant</b>	004
<b>Brève description</b>	Ce CU donne aux résidents de la maison la possibilité d'intervenir en cas d'incendie dans sa maison en cas de défaut du système.
<b>Acteur</b>	Résident
<b>Pré conditions</b>	L'utilisateur est une personne qui habite dans la maison et connais bien l'endroit où se trouve le déclencheur manuel du système.
<b>Enchaînement principale</b>	Dès que le résident constate le début de l'incendie pendant que le système ne l'a pas encore détecté, alors le résident lui-même pourra déclencher manuellement le système d'extinction d'incendie.
<b>Post conditions</b>	Le système d'extinction est mis en marche
<b>Enchaînement secondaire</b>	-

Tableau III.9: Description de CU Paramétrer le système.

<b>Nom du cas d'utilisation</b>	Paramétrer le système
<b>Identifiant</b>	005
<b>Brève description</b>	Ce CU permet de donner au système des valeurs avec lesquelles il devra fonctionner.
<b>Acteur</b>	Administrateur
<b>Pré conditions</b>	L'Administrateur est entré dans le système en ayant les informations au préalable sur le système.
<b>Enchaînement principale</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'Administrateur accède à l'interface destinée à recueillir ces paramètres</li> <li>2. L'Administrateur rejoint les valeurs désirées</li> <li>3. Le système prend en comptes les modifications des valeurs.</li> </ol>
<b>Post conditions</b>	Les paramètres de fonctionnement sont modifiés selon le souhait de l'Administrateur.
<b>Enchaînement secondaire</b>	L'Administrateur rentre des valeurs inexactes, il sera obligé de le corriger sinon le système ne fonctionnera pas comme le client le souhaite.

Tableau III.10: Description de CU système.

<b>Nom du cas d'utilisation</b>	Système
<b>Identifiant</b>	006
<b>Brève description</b>	Ce CU permet à partir d'un des acteurs, de garantir la sécurité de la maison, de notifier le responsable sur l'état de sa maison, d'alerter et de réguler la température à un niveau normal.
<b>Acteur</b>	Capteur de flamme, capteur de fume, capteur de température, résident et administrateur
<b>Pré conditions</b>	Ce CU ne fonctionne que si un des CUs précédents lance un signal.
<b>Enchaînement principale</b>	1. Le système envoi la notification au responsable de la maison s'il y a la présence d'un élément suspect dans la maison.

	2. Le système déclenche automatiquement le système d'extinction. 3. Le système déclenche automatiquement le système d'alarme. 4. Le système régule automatiquement la température. 5. Le système affiche l'état de la maison sur un écran LCD
<b>Post conditions</b>	-
<b>Enchaînement secondaire</b>	-

### III.1.4.3. Diagramme de séquence « système »

Pour la documentation des cas d'utilisation, la description textuelle est indispensable mais elle est souvent déficiente puisqu'elle ne montre pas comment les enchaînements se succèdent, ni comment les entités sont sollicitées. C'est pour cette raison que la documentation textuelle est accompagnée par une ou plusieurs diagrammes de séquence système.

Le diagramme de séquence permet donc de décrire les interactions entre différentes entités qui peuvent être des acteurs, des sous-systèmes, etc. tout en tenant compte de l'écoulement du temps de haut vers le bas le long des « lignes de vie » des entités. [17]

Afin d'exposer la manière dont les interactions se font dans notre système, nous présenterons juste un scénario en « boîte blanche » c'est-à-dire dans lesquels le système n'est pas vu comme une boîte noire mais comme un conglomérat d'entités en relation tout en prenant soin de ne représenter que les entités intervenant dans ces scénarios. Notons qu'un scénario représente une succession particulière d'enchaînements.

## Scénario : La flamme apparait dans la maison.

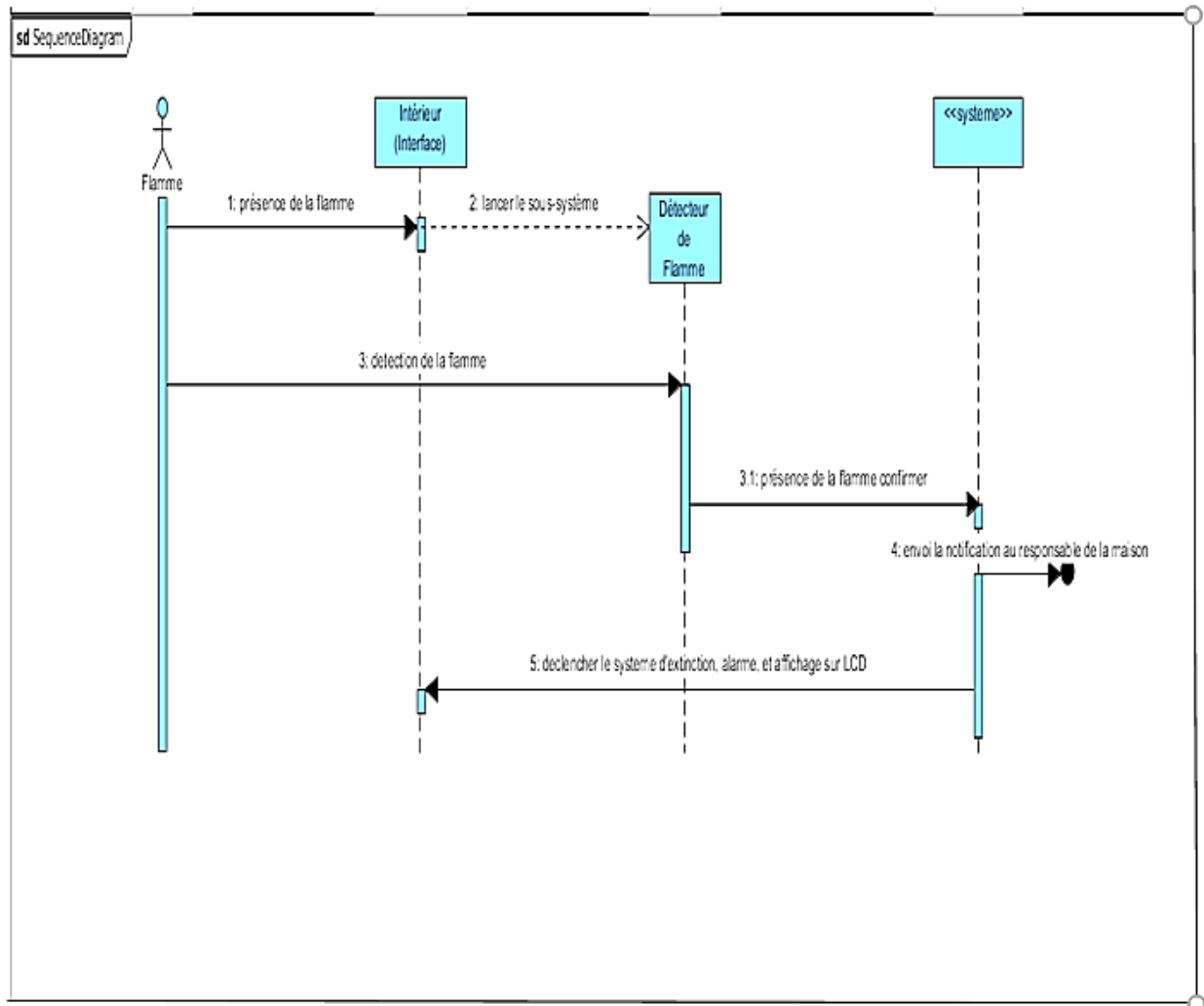


Figure III. 4: Diagramme de séquence système du scénario 1.

La flamme apparait dans l'interface du système d'extinction d'incendie, l'interface déclenche le processus de vérification et le système lance alors le sous-système détecteur de flamme chargé de capter la présence de la flamme. Le système vérifie alors si réellement il y a la présence de la flamme dans la maison. Si la présence de la fumée est confirmée, alors le système envoie une notification au responsable de la maison et déclenche système d'extinction d'incendie.

### III.1.4.4. Diagramme de définition de blocs

Un bloc SysML (block en anglais) constitue la brique de base pour la modélisation de la structure d'un système. Il peut représenter un système complet, un sous-système ou un composant élémentaire. On peut s'en servir pour représenter des entités physiques, mais aussi des entités logiques ou conceptuelles.

Le diagramme de définition de blocs (block definition diagram ou bdd) décrit la hiérarchie du système et les classifications système/composant. [14]

Le diagramme de notre système d'extinction d'incendie reprend les différents éléments qui le composent. Ce sont essentiellement des composants physiques et des composants logiciels comme le montre la figure III.6 suivante.

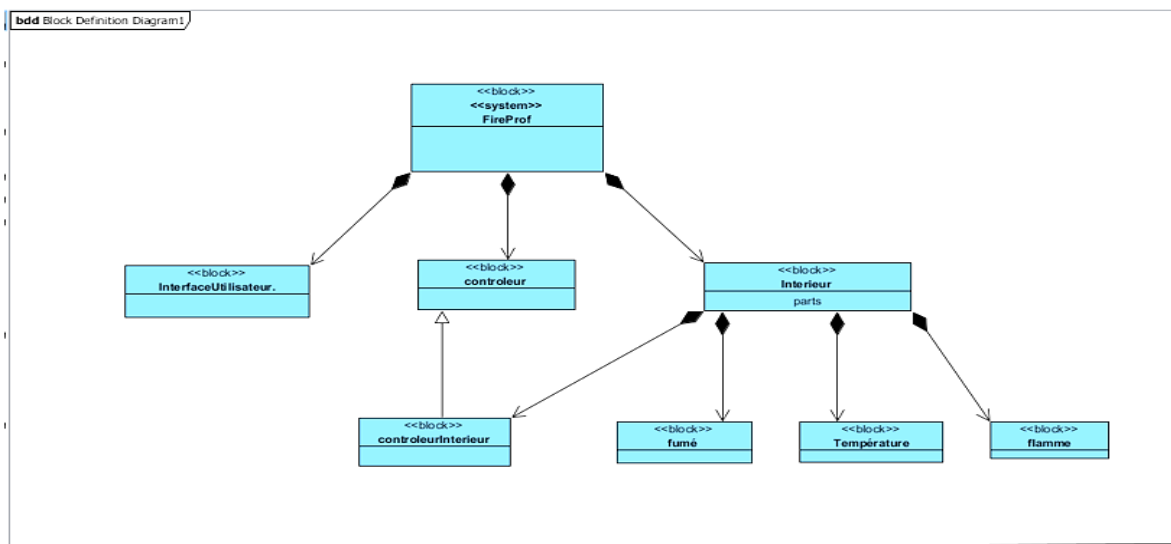


Figure III. 6: Diagramme de définition de blocs

Le premier niveau de ramification présente des concepts logiques, des fonctionnalités implémentées par notre système. Le bloc « Intérieur » encapsule toutes les technologies utilisées pour récupérer les informations sur l'état de la maison : la présence du fumé, la présence de la flamme et voir même la variation de la température, le tout par des modules physiques bien appropriés. Ces informations seront ensuite analysées par le «

contrôleur » qui contient l'intelligence du système et peut donc décider, selon les informations reçues d'envoyer ou non une notification au responsable de la maison. Il peut aussi déclencher ou non le système d'extinction d'incendie ou de régulation de la température voir même afficher l'état de la maison sur l'écran LCD. « L'interface utilisateur » sert de pont entre le système et l'homme. Elle permet à ce dernier d'enclencher manuellement le système d'extinction en cas d'urgence s'il arrivait que le système a un problème de dysfonctionnement.

#### **III.1.4.5. Diagramme de bloc interne**

Ce diagramme sert à décrire la structure interne. Il se base sur le diagramme de définition de bloc pour offrir une vue en boîte blanche du système en présentant une description des blocs qui le composent. Les blocs qui forment le troisième palier de notre précédent diagramme de définition des blocs sont ici instanciés et donnent naissance à ce que l'on appellera désormais des « parties ». Ces parties sont assemblées par des « connecteurs ». Ces connecteurs sont des concepts structurels utilisés pour relier deux parties et leur fournir l'opportunité d'interagir, tout en ne disant rien sur la nature de cette interaction à travers des « ports ». [14]

Le bloc principal de notre système d'extinction d'incendie est composé de trois blocs représentant les sous-systèmes qui devront être implémentés et qui eux-mêmes incluent leurs parties et un certain nombre de connecteurs qui les joignent les unes aux autres comme le montre la figure III.7 suivante.

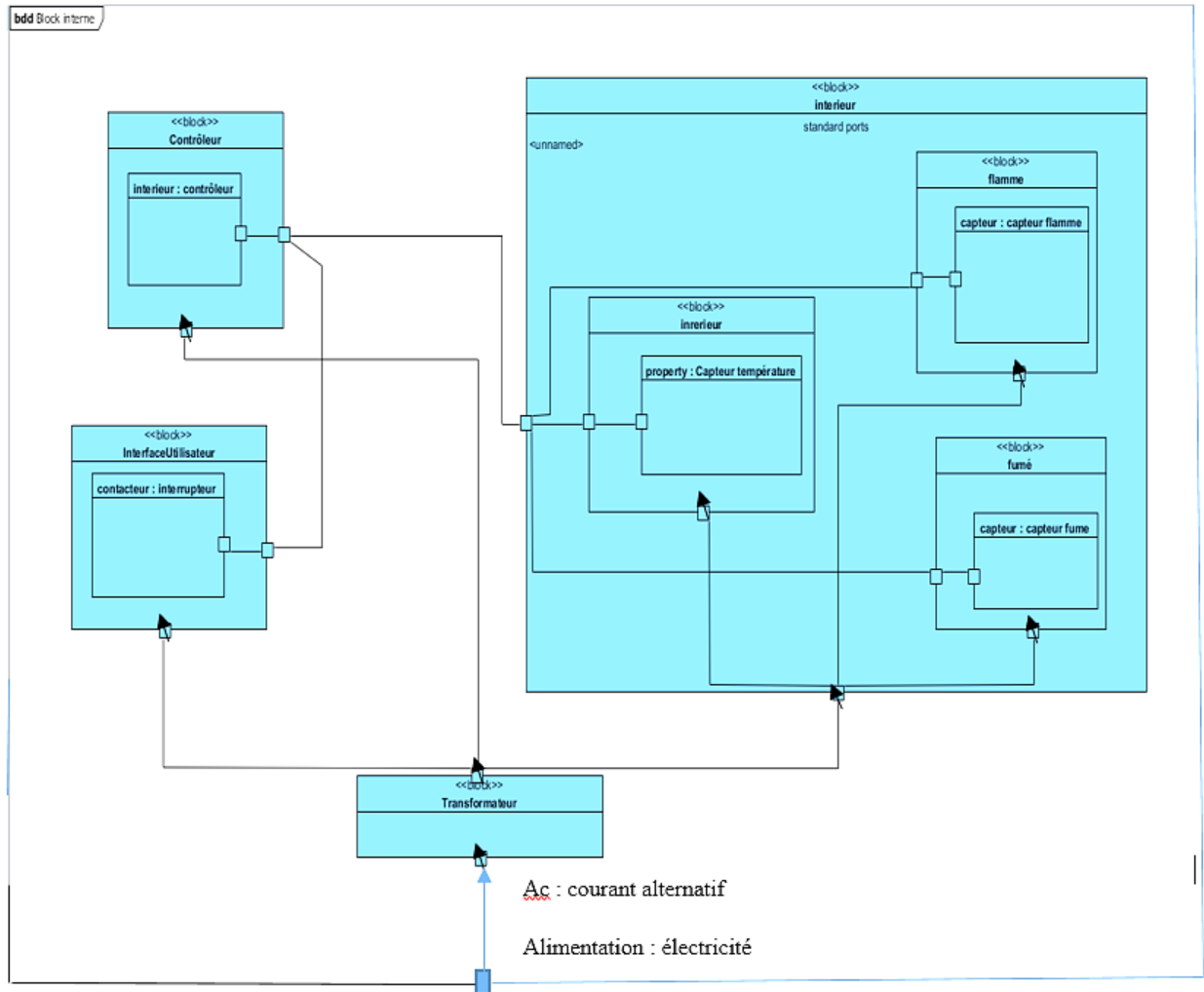


Figure III. 7: Diagramme de bloc interne

### III.1.4.6. Diagramme d'états

Le diagramme des machines à états décrit les transitions entre états et les actions que le système ou ses parties réalisent en réponse aux événements. Un état représente une situation durant la vie d'un bloc pendant laquelle il satisfait une certaine condition. Il exécute une certaine activité ou bien attend un certain événement. Un événement est défini comme étant une spécification d'une occurrence pouvant déclencher une réaction sur un élément et qui possède une localisation dans le temps et l'espace. [14]

Le diagramme d'états illustrant le fonctionnement de notre système, en l'occurrence son processus de démarrage se présente comme le montre la figure III.8.

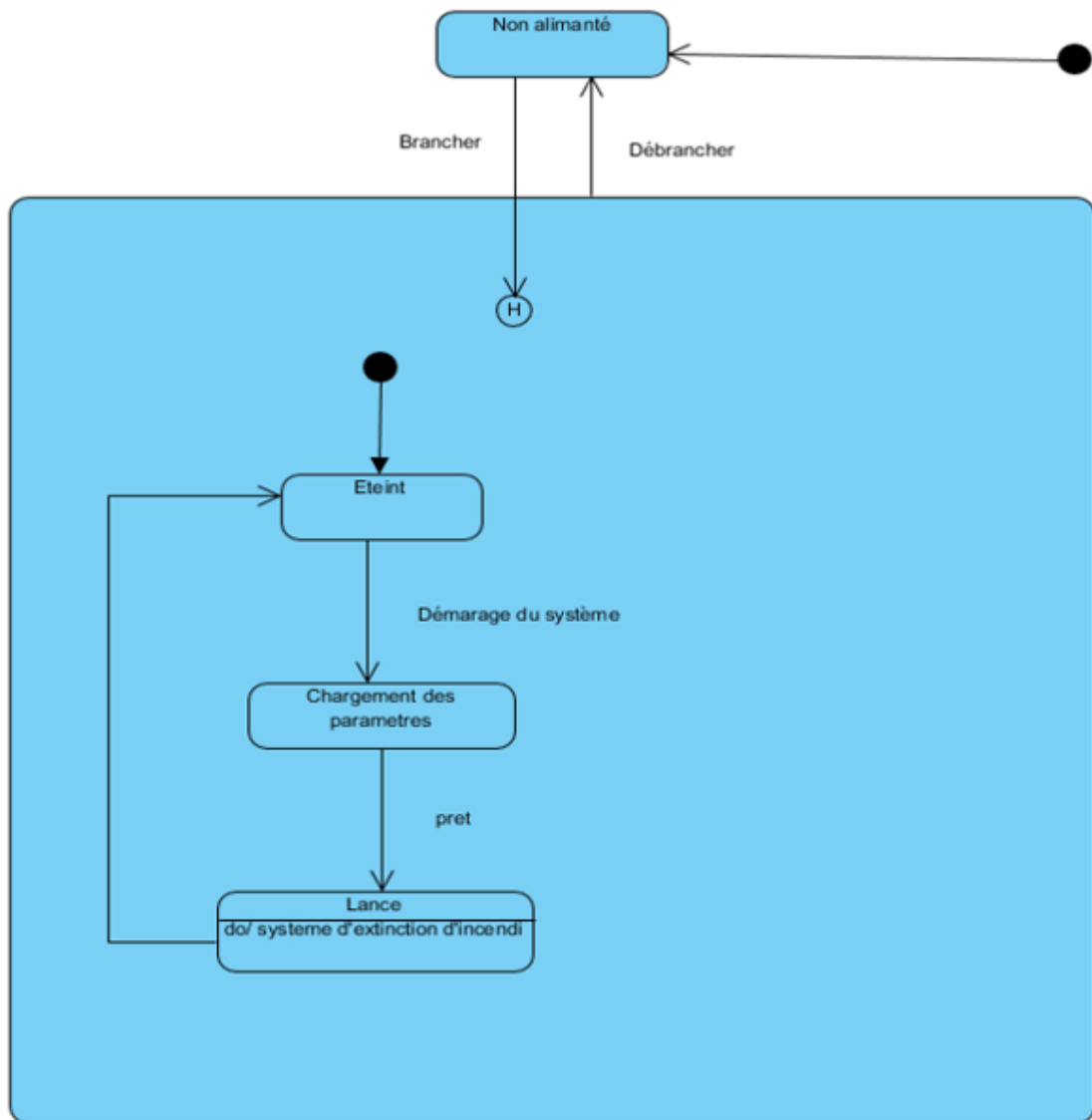


Figure III. 8: Diagramme d'états du système

Nous partons du fait que le système est indisponible lorsqu'il n'est pas alimenté en énergie électrique. Une fois branché, le système est éteint en attente de son démarrage. Lorsqu'il est démarré, avant d'être effectivement lancé, il passe par un état intermédiaire : L'état « chargement des paramètres » suppose que le système est en manque de certaines données nécessaire à son fonctionnement.



### III.1.4.7. Diagramme de packages

Un package (ou paquetage pour certains auteurs français) est un mécanisme général de regroupement d'éléments tels que les blocs, les interfaces, mais aussi les acteurs, les cas d'utilisation, etc.

Les packages peuvent être imbriqués dans d'autres packages. Les éléments regroupés dans un package peuvent être de même nature pour des besoins de clarté et d'uniformité mais on peut également regrouper des éléments de natures différentes dans un même package pour insister davantage sur la décomposition architecturale du système. [14]

Le diagramme de packages de notre système se présente comme le montre la figure III.10 suivante :

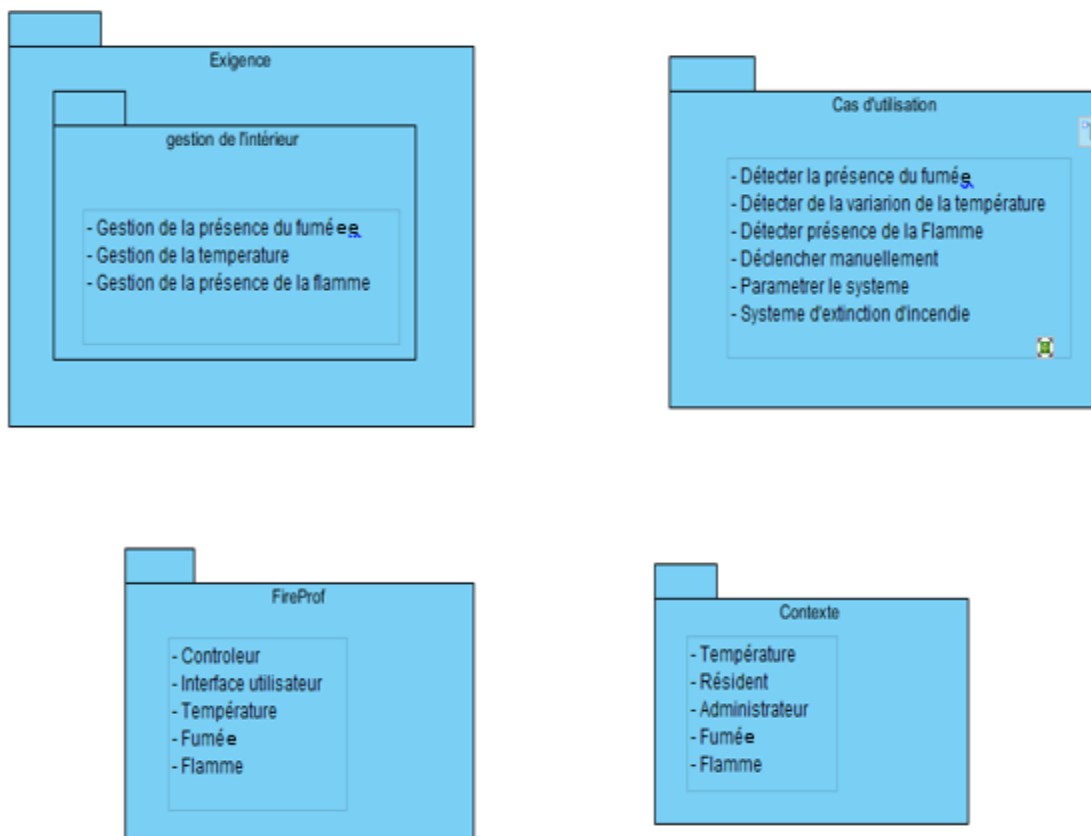


Figure III. 10 : Diagramme de packages du système FireProf

### III.1.4.8. Diagramme d'activité

Le diagramme d'activité représente les flots de données et de contrôle entre les actions. Il est utilisé majoritairement pour l'expression de la logique de contrôle et d'entrées/sorties. Un flot est un contrôle de séquençage pendant l'exécution de nœuds d'activité. Les flots de contrôle sont de simples flèches reliant deux nœuds (actions, décisions, etc.). [14]

Pour notre système, nous démarrerons le diagramme d'activité en représentant les grandes fonctionnalités. Ces deux fonctions principales qui sont, la gestion de l'intérieur et le contrôleur, s'exécutent toutes en parallèle dès le lancement du système comme illustré par la figure III.10 qui suit.

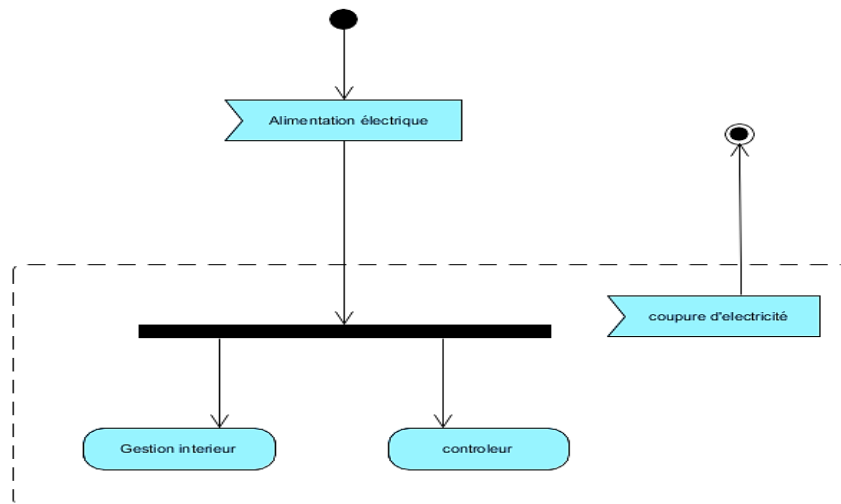


Figure III. 11: Diagramme d'activité du démarrage

Ces sous-systèmes qui composent notre système ne se lancent que lorsqu'ils sont alimentés en énergie électrique. En cas de coupure, le système s'arrête. C'est la raison pour laquelle le système est placé dans une région interruptible. La figure III.11 suivante présente le diagramme d'activité du module de gestion de l'intérieur cas de la présence de la flamme.

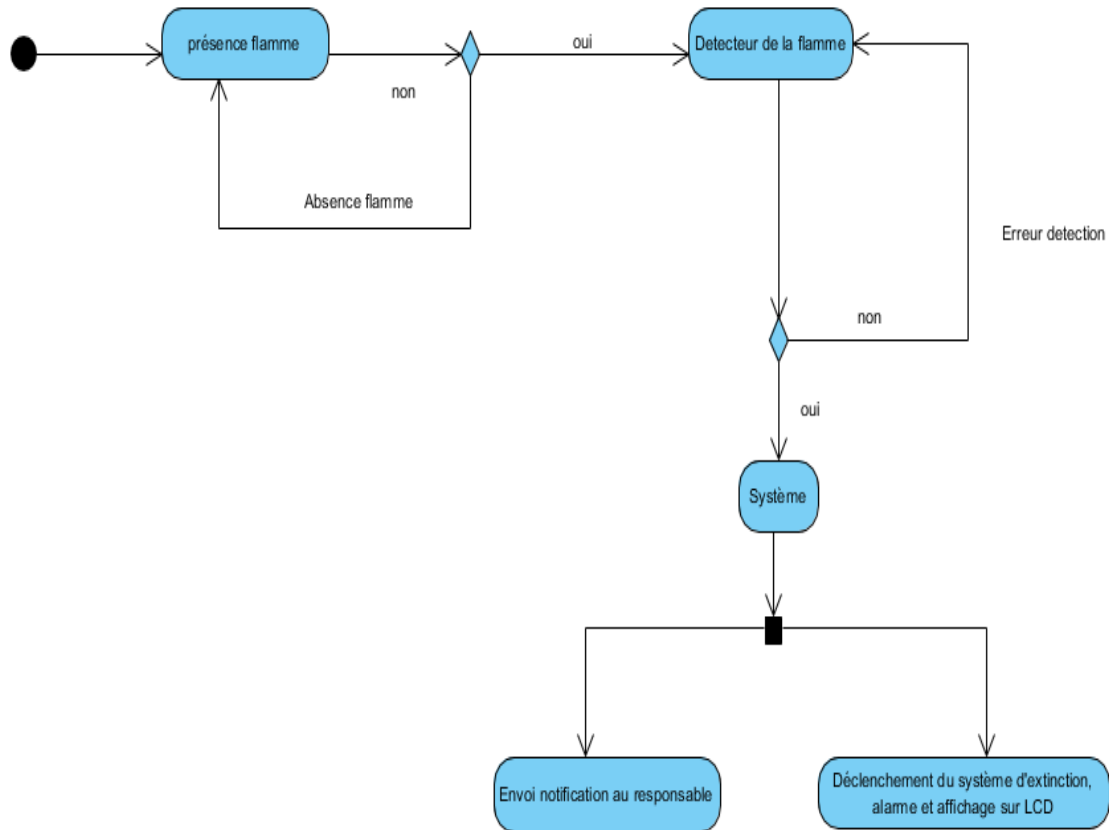


Figure III. 12: Diagramme d'activité du système "GestionInterieur" cas présence de la flamme

## III.2. REALISATION DU SYSTEME

### III.2.1. Introduction

La conception réalisée dans le point précédant nous permet de passer à l'étape suivante qui est la mise en œuvre effective du système de sécurité. Dans ce point, nous faisons donc un bref aperçu sur les éléments matériels qui sont intervenent dans la confection dudit système. Nous présentons ensuite les schémas de réalisation du système et terminons par l'estimation du coût du projet. [16]

### III.2.2. Environnement logiciel et matériel

#### III.2.2.1. Environnement logiciel

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

### 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, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus, plus classique qui est utilisé 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. [15]

Le logiciel comprend aussi un moniteur série (équivalent à HyperTerminal) qui permet d'afficher des messages textes émis par la carte Arduino et d'envoyer des caractères vers la carte Arduino (en phase de fonctionnement) :

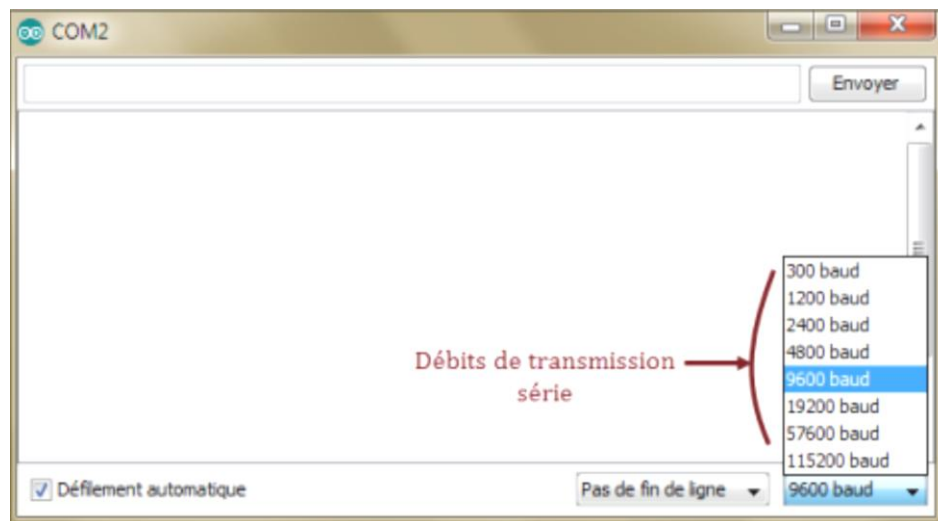


Figure III. 16 : HyperTerminal de l'Arduino (Moniteur Série)

La structure d'un programme en Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code. La structure d'écriture d'un programme sous Arduino est de la forme suivante :

Compiler

Transférer



Figure III. 17 : Structure d'un programme en Arduino

## b) Proteus

Les premiers tests de simulation de notre système sont faits sur Proteus8 professionnel, qui est un logiciel de simulation des montages électroniques. En plus de sa capacité de simuler des montages à base de microcontrôleur, il permet davantage de donner une idée sur la réalisation matérielle et la conception des circuits imprimés. [20]

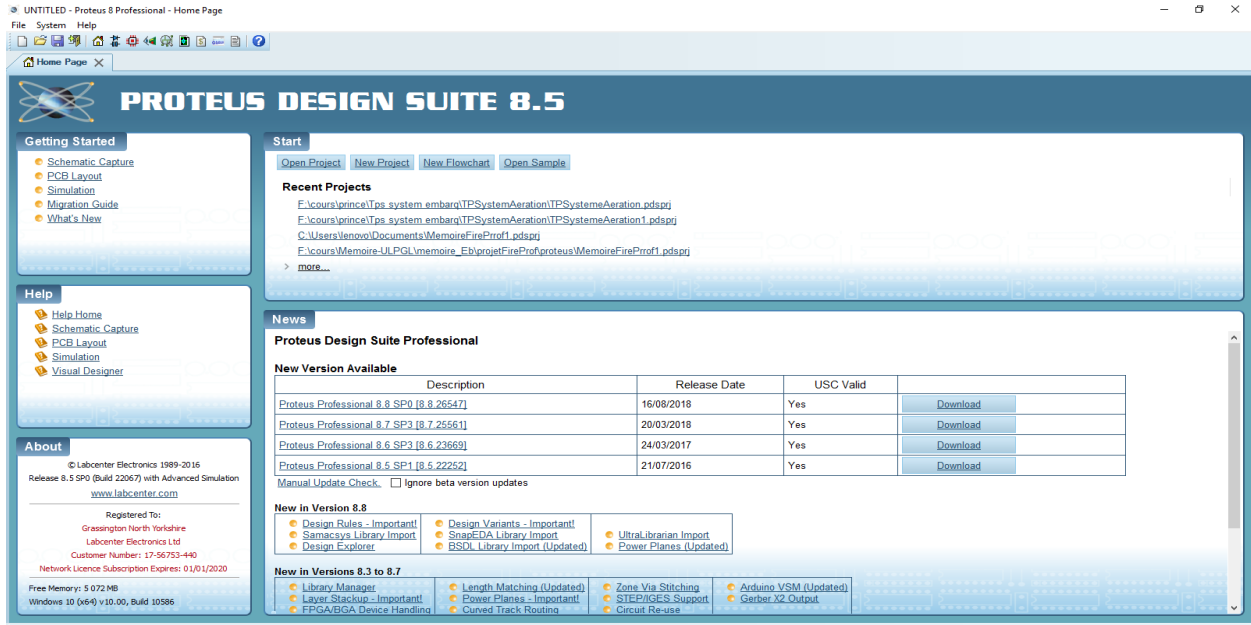


Figure III. 18 : Interface de la plateforme Proteus 8 professionnel

### c) Android studio

C'est un environnement officiel de développement des applications Android. Nous l'avons utilisé pour concevoir une application mobile qui nous a permis d'échanger les informations entre le système et le smartphone. [20]

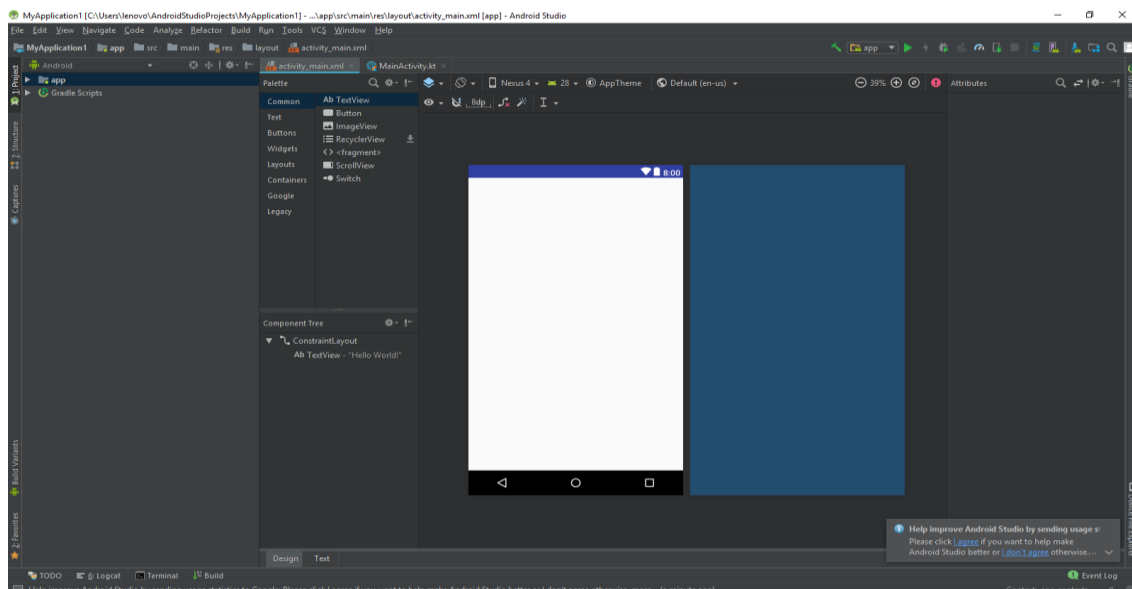


Figure III. 19 : Interface de la plateforme Android studio

### III.2.2.2. Les matériels

Le principe de fonctionnement de notre système est basé sur l'acquisition d'un certain nombre d'informations (paramètres) provenant de son environnement par des capteurs. Ces informations sont ensuite analysées, traitées par le cerveau du système qui est notre carte arduino. Cette dernière, selon les informations reçues et selon les paramètres définis par l'utilisateur, est à l'origine d'un certain nombre d'actions qui le plus souvent lorsqu'elles sont visibles sont l'œuvre des actionneurs. Tout ceci dans le but général d'assurer l'intégrité de la maison.

Parmi les matériels utilisés dans notre système nous pouvons citer:

#### a) Arduino

Le matériel arduino est essentiellement une plateforme composé d'une carte électronique façonnée autour du microcontrôleur ATmega AVR (ATmega328, ATmega32u4 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168, ATmega1280 ou ATmega8 pour les plus anciennes) et d'un ensemble de composants complémentaires qui permettent l'interaction avec le monde extérieur. [19]

Présentons brièvement les grandes parties d'une des cartes arduino (le modèle "Mega 2560") dont la synthèse des caractéristiques est la suivante :

Tableau III.11: Spécificités Arduino mega2560.

<b>Microcontrôleur</b>	<b>ATmega2560</b>
<b>Tension de fonctionnement</b>	5V
<b>Tension d'entrée recommandée</b>	7-12V
<b>Tension d'entrée limite</b>	6-20V
<b>Pins I/O numériques</b>	54
<b>Pins analogiques</b>	16
<b>Courant DC I/O par pin</b>	20 mA
<b>Courant DC pour pin 3.3V</b>	50 mA
<b>Mémoire flash</b>	256 KB
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>Vitesse d'horloge</b>	16 MHz
<b>LED_BUILTIN</b>	13

<b>Longueur</b>	101.52 mm
<b>Largeur</b>	53.3 mm
<b>Poids</b>	37 g

Cette carte peut être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA), soit à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par elle. Elle peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et elle pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et l'endommager. Aussi, la fourchette idéale recommandée pour alimenter la carte est entre 7V et 12V. Certaines broches de la carte ont des fonctionnalités spéciales notamment :

- Communication série : avec les broches (RX) pour la réception et (TX) pour la transmission de données séries au niveau TTL.
- SPI (Interface Série Périphérique) : pour les broches avec SS, MOSI, MISO, SCK.
- I2C : broches avec SDA et SCL supportant les communications des interfaces I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils").

Cette carte possède également 16 broches d'entrées et sorties analogiques, chacune pouvant fournir la mesure d'une résolution de 10 bits. Elle possède deux autres broches AREF qui donnent la tension de référence pour les entrées analogiques, et Reset qui est utilisée pour la réinitialisation du système en mettant cette broche au niveau bas.



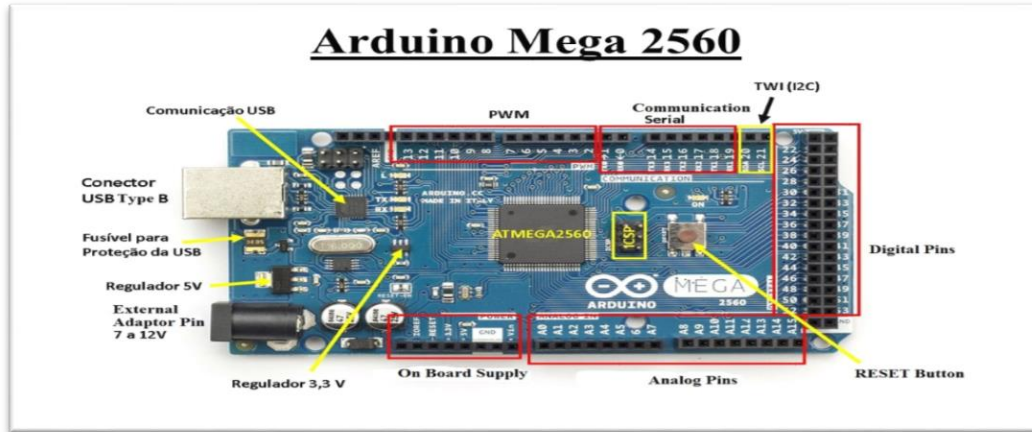


Figure III. 21 : Arduino Méga 2560

### b) Le module GSM/GPRS

Ce module nous permettra d'envoyer des SMS au responsable en cas de défaut. Il fournit 3 services : Le Short Message Service, les appels audio et le GPRS. Il est configuré par le service UART (Universal Assynchronous Receiver and Transmeter), en utilisant les AT commandes. Il est aussi basé sur le SIM900 module. [18]



Figure III. 22 : Module GSM/GPRS.

Suite à des problèmes qui résultent aux composants électroniques, notre module GSM n'a pas pu fonctionner nous avons ainsi utilisé le module Bluetooth pour envoyer la notification au responsable de la maison en guise d'illustration. Le module Bluetooth permet d'établir une liaison Bluetooth (liaison série) entre une carte Arduino et un autre équipement possédant une connexion Bluetooth (Smartphone, tablette, seconde carte Arduino, etc...). [17]

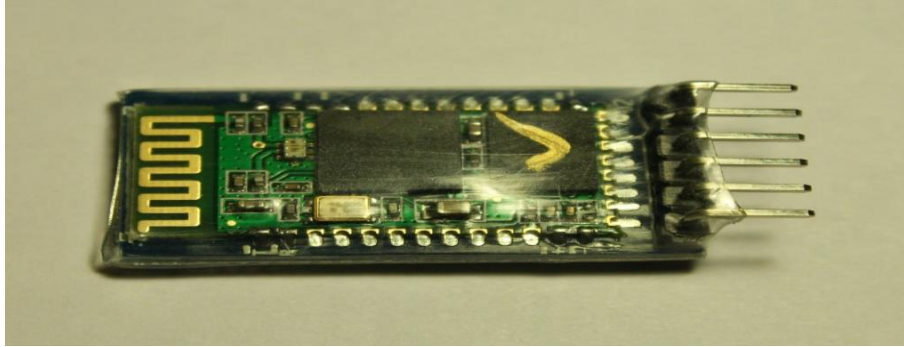


Figure III. 23 : Module Bluetooth.

### c) Afficheur LCD

Un écran à cristaux liquides (liquid crystal display, LCD, en anglais) utilise un mode d'affichage numérique sur un écran plat. Le mode d'éclairage va permettre d'offrir des fonctionnalités avancées de réglages. Cet écran est composé de 16 colonnes et 2 lignes, et utilise 6 broches numériques et deux broches pour l'alimentation (3.3v ou 5v). Il nous servira à afficher les états de notre maison. [18]



Figure III. 25 : LCD 16x2

### d) Capteur de Température

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température fabriqué par Texas Instruments. Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu coûteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve. Il est capable de mesurer des températures allant de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $+150^{\circ}\text{C}$  dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température.

**N.B.** Les versions grand publiques sont capables de mesurer des températures comprises entre  $-40^{\circ}\text{C}$  et  $+110^{\circ}\text{C}$ . [16]

La sortie analogique du capteur est proportionnelle à la température. Il suffit de mesurer la tension en sortie du capteur pour en déduire la température. Chaque degré Celsius correspond à une tension de  $+10\text{mV}$ .



*Figure III. 26 : lm35*

#### **e) Capteur de Gaz /fume(MQ2)**

Le capteur de gaz inflammable et de fumée MQ2 détecte la concentration des gaz combustibles dans l'air et renvoie sa lecture comme tension analogique. La sonde peut mesurer des concentrations du gaz inflammable de 300 à 10.000 ppm. Le capteur peut fonctionner à des températures de  $-20$  à  $50^{\circ}\text{C}$  et consomme moins de 150 mA à 5 V. [14]



*Figure III. 27 : Mq2*

Caractéristiques :

- Alimentation: 5 Vcc
- Sortie analogique
- Temps de réponse rapide et haute sensibilité
- Longue durée de vie et bonne stabilité
- Dimensions: 37 x 27 x 20 mm
- Référence fabricant: SEN0127

#### f) Capteur de flamme

C'est un module sensible aux flammes, il est constitué d'un détecteur de rayon infra-rouge, d'un comparateur LM393, d'un potentiomètre de réglage de sensibilité, et des LEDs indicatrices, le capteur de rayon infra-rouge est sensible aux lumières de longueur d'onde typique aux flammes. Lorsqu'une flamme est détectée, le module va allumer sa LED rouge et donner un niveau bas à sa sortie. [18]



Figure III. 28 : capteur de flamme

Caractéristiques :

- Angle de vue: 60°
- Longueur d'onde des lumières détectées: 760-1100nm
- Tension d'alimentation: 3.3-12V DC
- Sorties: 0 (flamme détectée) et 1
- Réglage de sensibilité par potentiomètre
- Utilisé pour les alarmes incendies

**g) Buzzer**

Un buzzer (transducteur) piézo-électrique nécessite une tension alternative pour fonctionner, de quelques volts à quelques dizaines de volts (3V à 30V par exemple). Il présente une fréquence de résonance optimale de quelques kHz (entre 1 kHz et 5 kHz en général, par exemple 2 kHz, 2,8 kHz ou 3 kHz).



Figure III. 30 : Buzzer

**h) Ventilateur**

Notez que le ventilateur consiste à ventiler une salle en fonction de la température. Pratique, essentiel et peu chère, le montage avec ventilateur est un moyen simple de réguler la température dans la maison. [15]



Figure III. 31 : Ventilateur

### Caractéristiques

- Alimentation : 5V
- Courant : 0.2 A
- Ventilateur CC sans balai
- Dimensions du ventilateur : 30mm x 30mm x 8mm
- Longueur du fil : 3.25 "/ 80mm
- Poids du ventilateur : 6.2g / 0.22oz
- Vis de montage et écrous inclus

### i) Pompe

Cette mini pompe à eau alimentable à partir d'une tension de 5V jusqu'à 12V sera parfaite pour des applications d'arrosages, de remise à niveau d'eau, etc.... à base d'un microcontrôleur, Arduino, pic, ect. [17]. Nous l'avons utilisé pour arroser la maison en cas d'incendie.



*Figure III. 32 : Pompe*

- plage de tension: de 5 VCC à 12 VCC
- courant de charge max.: 0.35 A à 12 VCC
- consommation: 4.2 W à 12 VCC
- débit max.: 240 L/H
- hauteur de refoulement: 3 m
- niveau sonore: <40 dB
- indice IP: IP68
- durée de vie: > 30.000 h
- diamètre extérieur de sortie: 8 mm

- diamètre extérieur d'entrée: 8 mm
- système d'entraînement: moteur CC sans balais
- matériau du boîtie: ABS
- conditions d'utilisation: utilisation en continu, submersible ou utilisation sur terre (non auto-amorçante)
- dimensions: 51 x 34 x 42.7 mm
- poids: 80 g

### 1.1.Schéma de réalisation du système

Le schéma montrant l'assemblage de tous les composants utilisés pour la réalisation de notre système sont présentés par les figures III.33a et III.33b suivantes. Elles ont été réalisées à l'aide du logiciel FRITZING qui est un logiciel de conception des circuits imprimés.

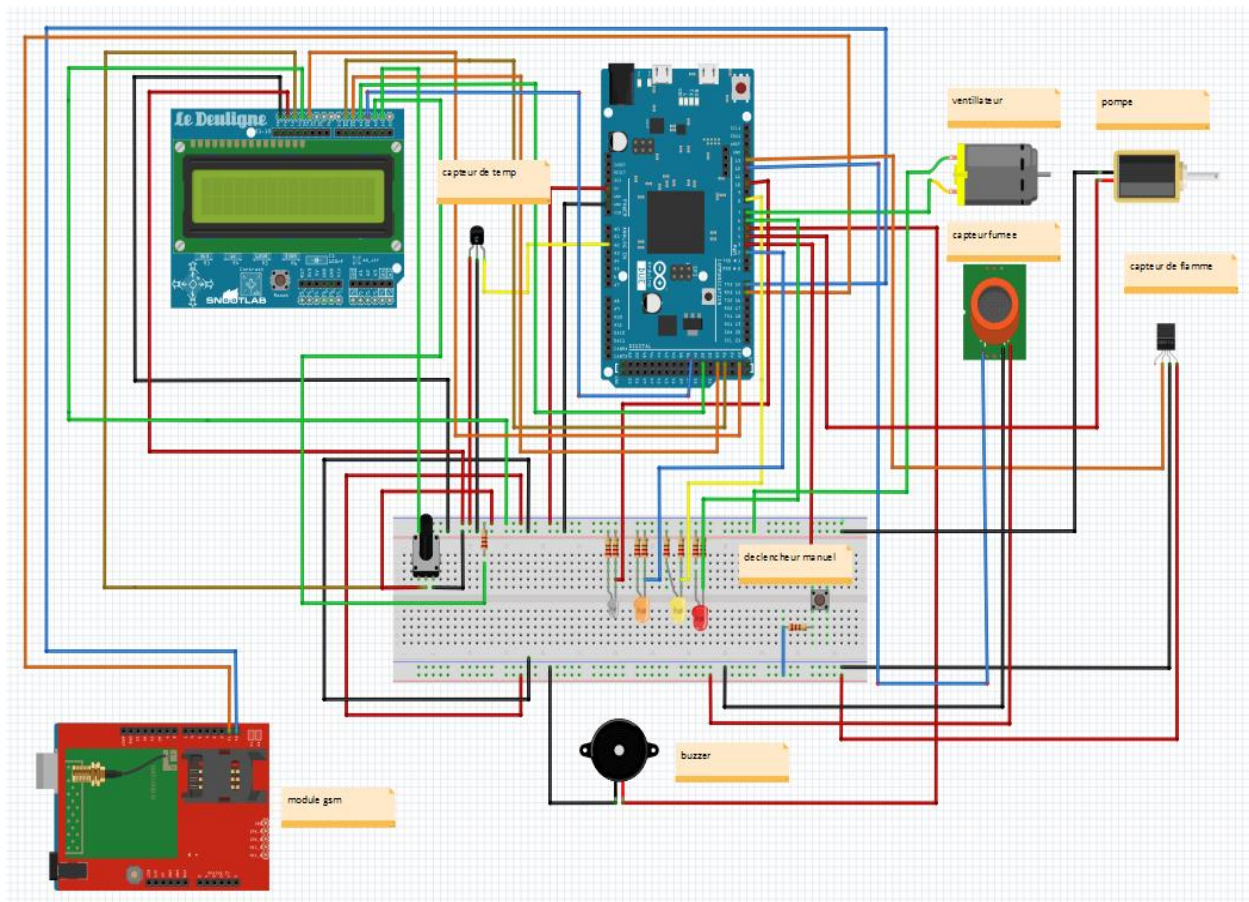


Figure III. 33a: Schéma du montage du système avec module GSM

La figure III.33a montre la vraie solution pour la réalisation de notre système où nous avons utilisé le module GSM pour envoyer les notifications par SMS au responsable de la maison et au service de sapeur-pompier en cas d'incendie. Pour la démonstration nous avons pu utiliser le module Bluetooth comme le montre la figure III.33b, pour permettre à notre système d'envoyer les notifications pour des défauts du fonctionnement du module GSM que nous avons commandé.

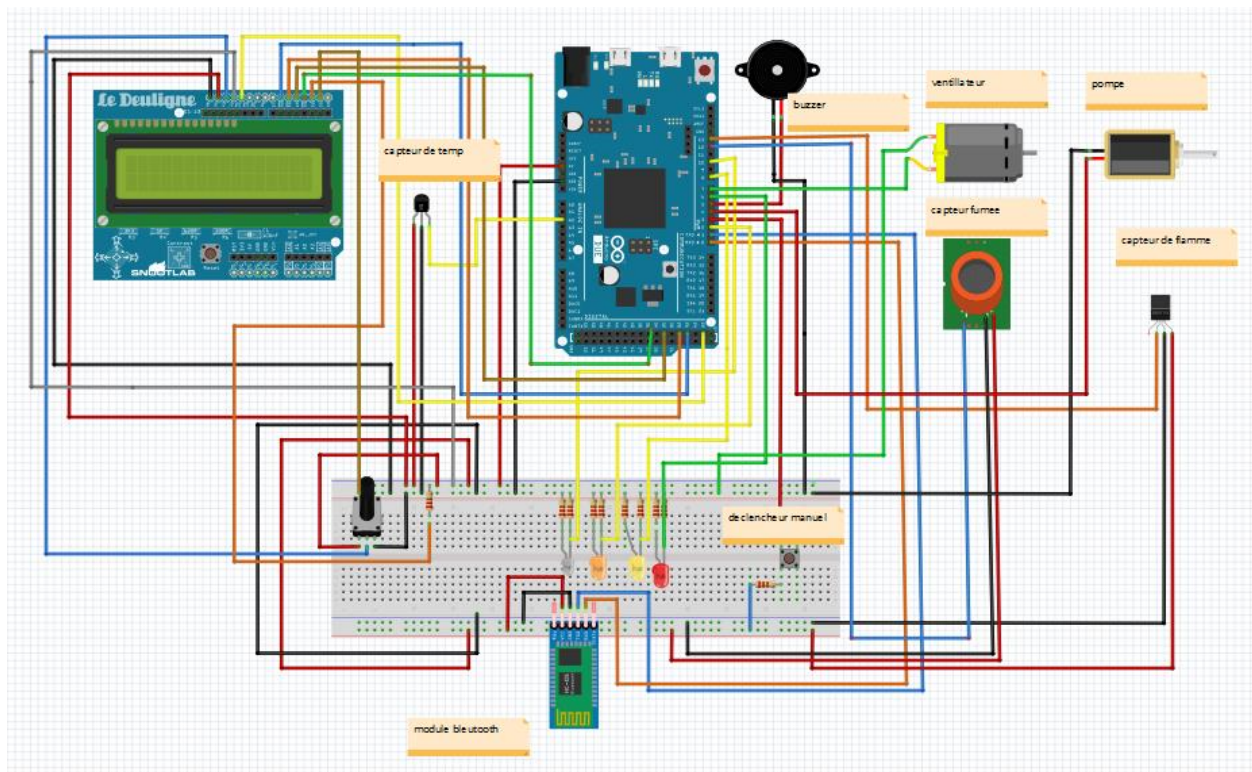


Figure III. 33b : Schéma du montage du système avec module Bluetooth

Notre nouveau système (figure III.33b) intègre une application mobile Android comme le montre les figures III.33c et III.33d qui communique avec le contrôleur du système via le module Bluetooth. Cette application permet à certains utilisateurs ayant certains privilèges d'avoir, en temps réel, des informations sur l'état de leurs maisons et d'envoyer la notification au service de sapeur-pompier en cas d'incendie.



Les quelques images (figures III.33c et III.33d) qui suivent font donc la présentation des fonctionnalités générales de cette application mobile telles que l'interface d'accueil et l'interface de visualisation de l'état de la maison.

### L'interface d'accueil



Figure III. 33c : interface d'accueil de l'application mobile Android

C'est la première page qui se lance lorsque l'on accède à l'application. Elle donne la possibilité de choisir le Bluetooth parmi les Bluetooth avec lequel se connecter.

### L'interface de visualisation de l'état de la maison

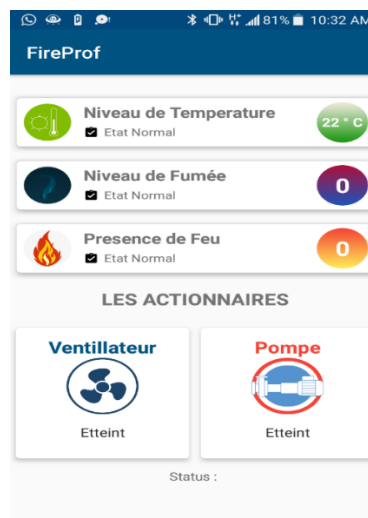


Figure III. 33d : interface de visualisation de l'état de la maison

Après avoir sélectionné, le Bluetooth de notre système, l'interface de visualisation de l'état de la maison s'ouvre et l'utilisateur pourra bien voir en temps réel la variation de la température, le niveau de fumée (0 signifie absence et 1 signifie présence), la présence de feu (0 signifie absence et 1 signifie présence), l'état du ventilateur et de la pompe s'ils sont éteint ou en marche. Si le système détecte un cas d'incendie, alors notre application mobile pourra automatiquement envoyer le message au service de sapeur-pompier et au propriétaire.

Pour une bonne visibilité, nous allons décomposer notre système en différentes fonctions comme le montre les figures suivantes :

### ✚ Fonction détection de la température

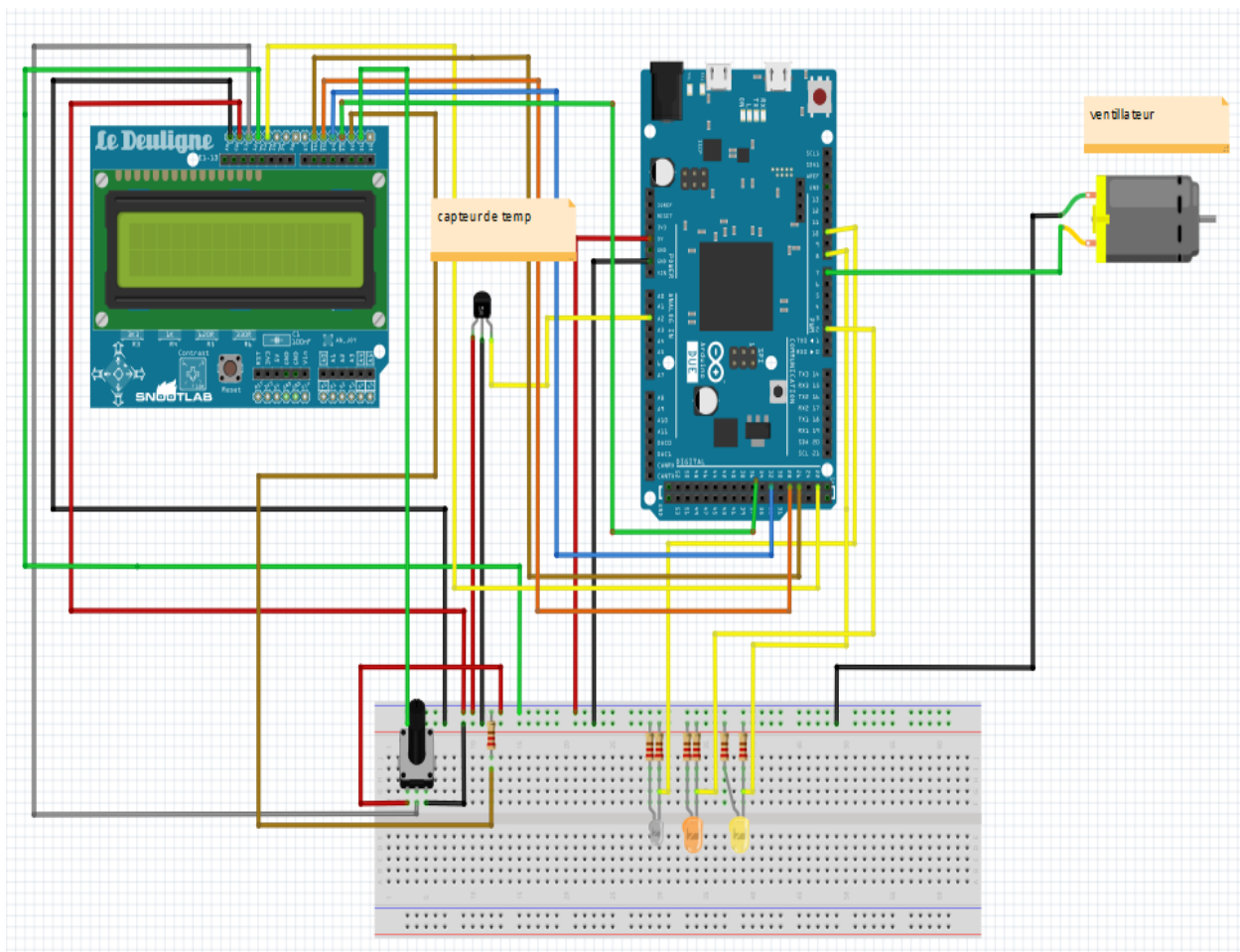


Figure III. 34 : fonction détection variation température

Cette fonction détecte et régule la température dans la maison. Lorsque la température varie et dépasse la valeur du niveau minimal ou maximal donné, le système déclenche le système de régulation de température automatique. Les LEDs et l'écran LCD nous permettent de connaître le niveau de la température dans la maison.

### ✚ Fonction détection de la flamme

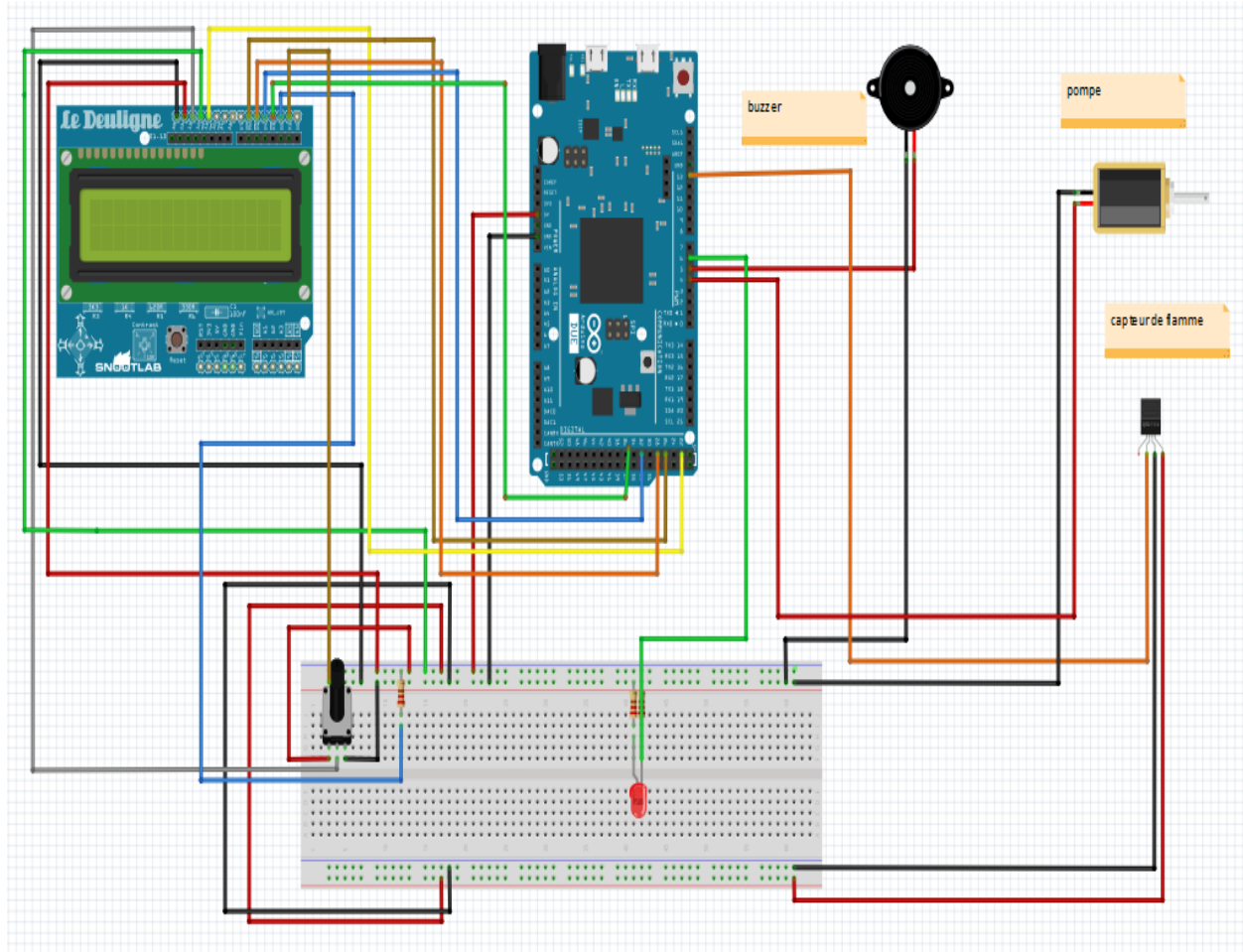


Figure III. 35: fonction détection de flamme

Cette fonction aperçoit la présence de la flamme et prévient les risques d'incendie dans la maison. En présence de la flamme dans la maison, cette fonction notifie le propriétaire la présence de la flamme dans sa maison et déclenche automatiquement le système d'extinction tout en activant automatiquement le système d'alerte.

## ✚ Fonction détection de fumée

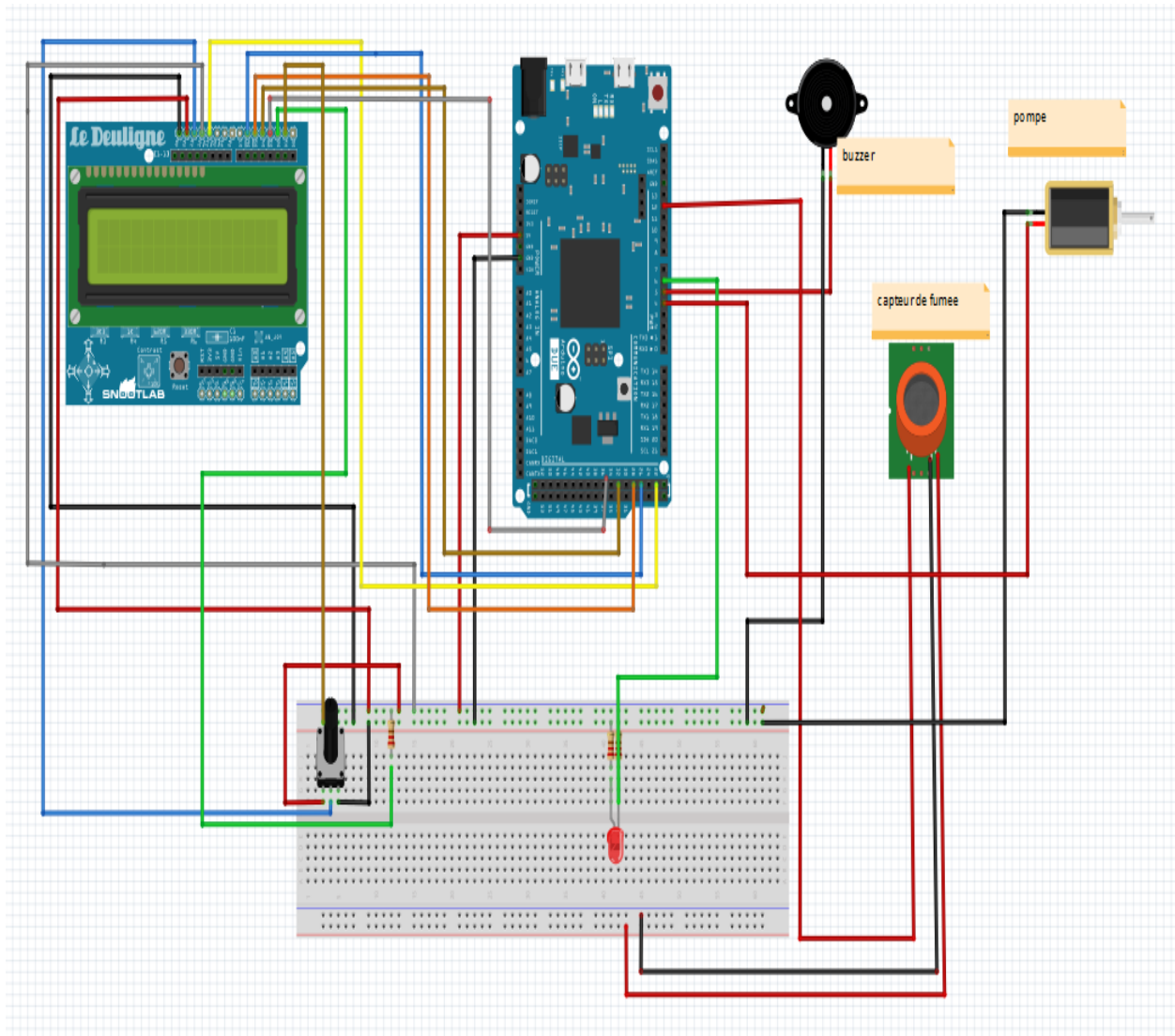


Figure III. 36: fonction détection de fumée

Cette fonction repère la présence de fumée et prévient les risques d'incendie dans la maison. En présence de fumée dans la maison, cette fonction envoie la notification au propriétaire de la maison qu'il y a la présence de fumée dans sa maison et déclenche automatiquement le système d'extinction. Selon la température au sein de la maison, il peut aussi déclencher automatiquement le système d'alerte.

## 1.2. Estimation du coût du système

Comme énoncé dans l'introduction, le projet porte sur une maison plutôt classique de notre zone d'étude représenté en phase de test par une maquette d'une seule pièce. Le nombre de matériaux utilisés étant fonction du nombre de pièce que comporte la maison, le tableau III.12 présente les matériels utilisés ainsi que leur prix à Goma. Signalons que malgré la multiplicité des pièces, une carte arduino peut gérer toute une maison.

<i>N°</i>	<i>Nom du matériel</i>	<i>Prix unitaire [\$]</i>	<i>Quantité</i>	<i>Prix total [\$]</i>
1	Afficheur LCD	6	1	6
2	Arduino Mega 2560	34	1	34
3	buzzer	1.2	1	1.2
4	Capteur de flamme	4.8	1	4.8
5	Capteur de fumé	10	1	10
6	Capteur de température	5.5	1	5.5
7	jumper wires	1.2	2	2.4
8	Led	1	4	4
9	Shield GSM	27	1	27
10	Pompe hydraulique	12	1	12
11	Résistance	0.5	3	1.5
12	Ventilateur	2.5	1	2.5
13	Plaque à essai	2.5	1	2.5
14	Bouton poussoir	0.5	1	0.5
15	Total			114
16	Main d'œuvre			34.20
	<b>TOLTAL GENERAL</b>			<b>148.2</b>

Tableau III.12: Estimation du prix des matériels utilisés

## CONCLUSION

Dans notre travail intitulé « Conception et réalisation d'un système intelligent d'extinction d'incendie », dans le souci d'accroître le degré de quiétude et de bien-être des occupants de la maison ainsi que des leurs biens, nous avons conçu un système qui est capable de protéger nos maisons contre les incendies ainsi que contrôler et réguler la température de façon automatique.

Pour arriver à cette fin, nous sommes passé par une phase de conception et modélisation en fixant dans un cahier des charges certaines fonctionnalités que devrait nécessairement implémenter notre système. Nous sommes ensuite passés par un choix des technologies à utiliser. Notre attention s'est tournée vers la plateforme Open Source Arduino comme socle matériel de notre système avec sa gamme bien fournie en capteurs et actionnaires. Nous avons fait ensuite l'implémentation du système physique et de l'application mobile qui tient lieu d'interface de communication entre le système et le propriétaire de la maison avant de finir par l'estimation du coût du projet qui s'élèverait à **148.2** dollars américain pour le cas d'une seule pièce.

Ceci nous a permis de confirmer nos hypothèses. Nous avons ainsi conçu un système d'extinction d'incendie intelligent capable de fonctionner de façon autonome et adapté à la ville de Goma. Le dispositif pouvant être réalisé localement à un moindre coût comparativement au coût des système d'extinctions disponibles qui permettra ainsi de réduire le taux d'incendie dans la ville.

Notons aussi que le prototype fonctionnel, pour des besoins de test et de démonstration a été monté sur une maquette de maison.

N'ayant aucunement la prétention d'avoir fait une œuvre idéale ou d'avoir couvert tous les champs relatifs à ce sujet, nous sommes ouverts aux suggestions et critiques constructives. Nous proposons aussi aux chercheurs, qui auront à cœur de continuer sur notre lancée de prendre en compte l'optimisation et le dimensionnement d'une source électrique autonome pour ce système, intégrer le système de surveillance avec des caméras et combiner le système avec un capteur de gaz en vue d'une grande efficacité.

## BIBLIOGRAPHIE

### Références

- [1] Formationssiap.webnode.fr/éclosion-et-développement-du-feu/
- [2] C. Thomas, L'implication des SDIS dans la recherche des causes et des circonstances des incendies, IUT de Saint Denis, 2009.
- [3] Dictionnaire Petit Robert
- [4] Dictionnaire Larousse
- [5] HISTOIRE DU FEU, planche 10p, 12 juin 2006
- [14] P. ROQUES, SysML par l'exemple, Paris: Eyrolles, 2009.
- [15] O. Eskimon, Arduino : premier pas en informatique embarquée, Paris : Zeste du savoir, 2015.
- [16] D. Kushner, «The Making of Arduino», IEEE Spectrum, 26 Octobre 2011.
- [17] C. Mbuyamba, Cours de génie logiciel, Goma: inédit, 2015
- [20] I.-T. S. Group, «Présentation générale de l'Internet des Objets,» ITU, juin 2012.
- [21] M. Poole, Building a Home Security Systems With Raspberry Pi, Packt Publishing, 2015.

### Liens Internet

- [6] <http://www.sapeurspompiers.gouv.sn/sites/default/files/GENERALITES%2004.pdf>
- [7] <http://www.cosmovisions.com/CTfoudre.htm>
- [8] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Classe\\_de\\_feux#Classes\\_de\\_feux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Classe_de_feux#Classes_de_feux)
- [09] <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo041.htm>
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Incendie#D%C3%A9g%C3%A2ts\\_r%C3%A9sultants\\_d'un\\_incendie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Incendie#D%C3%A9g%C3%A2ts_r%C3%A9sultants_d'un_incendie)
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lutte\\_contre\\_l'incendie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lutte_contre_l'incendie)

[12] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Extincteur>

[13] [http://www.officiel-prevention.com/incendie/detection-etou-extinction-automatique/detail\\_dossier\\_CHSCT.php?rub=106&ssrub=109&dossid=231](http://www.officiel-prevention.com/incendie/detection-etou-extinction-automatique/detail_dossier_CHSCT.php?rub=106&ssrub=109&dossid=231)

[18] S. Geoffray, «Afrique: Le marché des objets connectés évalué à plu de \$500 milliards,» aruco, 17 Novembre 2014. [En ligne]. Available: <https://www.aruco.com>.

[19] «<https://store.arduino.cc>,» [En ligne]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>. [Accès le 20 Decembre 2017].



## ANNEXES

### A. Extraits du code source

```
// memoire maluma aluma jonas
```

```
// LES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT
```

```
if (temperature < 28) {  
    if (flame_value == LOW) {  
        chaud(5);  
        lcd.clear();  
        lcd.print("Temp : ");  
        lcd.setCursor(9, 0);  
        lcd.print(temperature);  
        lcd.setCursor(13, 0);  
        lcd.print(" C");  
        lcd.setCursor(0, 1);  
        lcd.print("flamme detectee");  
  
    }  
    else if (gas_value == 0) {  
        chaud(4);  
        lcd.clear();  
        lcd.print("Temp : ");  
        lcd.setCursor(9, 0);  
        lcd.print(temperature);  
        lcd.setCursor(13, 0);  
        lcd.print(" C");  
        lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print(" presence gaz ");

}
else if (0 < temperature && temperature <= 20) {
  froid();
  lcd.clear();
  lcd.print("Temp : ");
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print(temperature);
  lcd.setCursor(13, 0);
  lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" froid ");

}
else if (20 < temperature && temperature <= 28) {
  normal();

  lcd.clear();
  lcd.print("Temp : ");
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print(temperature);
  lcd.setCursor(13, 0);
  lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" beau temps ");
}
```

```
} else if (temperature > 28) {  
  if (flame_value == LOW || gas_value == 0) {  
    chaud(3);  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Temp : ");  
    lcd.setCursor(9, 0);  
    lcd.print(temperature);  
    lcd.setCursor(13, 0);  
    lcd.print(" C");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(" incendie ");  
  
  }  
  else if (25 < temperature && temperature <= 30) {  
    chaud(1);  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Temp : ");  
    lcd.setCursor(9, 0);  
    lcd.print(temperature);  
    lcd.setCursor(13, 0);  
    lcd.print(" C");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(" chaud ");  
  
  }  
  else if (30 < temperature && temperature <= 50){  
    chaud(2);  
    lcd.clear();
```

```
    lcd.print("Temp : ");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(temperature);
    lcd.setCursor(13, 0);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" tres chaud ");
}
}
// declenchement manuel
a = digitalRead(switchPin);
b = 1;
if (a == b)
{
    chaud(3);
    lcd.clear();
    lcd.print("Temp : ");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(temperature);
    lcd.setCursor(13, 0);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" incendie ");
}
//Affichage
String data = "Temp : ";
data += temperature;
data += ", Gaz : ";
```

```

data += gas_value;
data += ", Flamme : ";
data += flame_value;
data += ", Ventilateur : ";
data += digitalRead(VENTILATEUR);
data += ", Pompe : ";
data += digitalRead(AROSAGE);
data += "#";
Serial.println(data);
delay(1000);
}

```

## // LES DIFFERENTES METHODES

```

void froid() {
    //On etteint tous et on allume la resistance chauffante

    digitalWrite(LED, LOW);
    digitalWrite(VENTILATEUR, LOW);
    digitalWrite(AROSAGE, LOW);
    digitalWrite(RES, HIGH);
    digitalWrite(NOR, LOW);
}

```

```

void normal() {
    //On etteint tous
    digitalWrite(LED, LOW);
    digitalWrite(VENTILATEUR, LOW);
    digitalWrite(AROSAGE, LOW);
}

```

```
digitalWrite(RES, LOW);
digitalWrite(NOR, HIGH);
digitalWrite(NORV, LOW);
}
void chaud(int niveau) {
//On eteint le chauffage
digitalWrite(RES, LOW);
digitalWrite(NOR, LOW);
switch (niveau) {
case 1 :
    digitalWrite(AROSAGE, LOW);
    digitalWrite(VENTILATEUR, HIGH);
    digitalWrite(NORV, HIGH);
    delay(2);
    digitalWrite(VENTILATEUR, LOW);
    break;
case 2 :
    digitalWrite(AROSAGE, LOW);
    digitalWrite(VENTILATEUR, HIGH);
    digitalWrite(NORV, HIGH);
    break;
case 3 :
    digitalWrite(VENTILATEUR, LOW);
    digitalWrite(AROSAGE, HIGH);
    alarme(niveau);
    break;
case 4 :
    digitalWrite(VENTILATEUR, LOW);
```

```
    digitalWrite(AROSAGE, HIGH);
    break;
case 5 :
    digitalWrite(VENTILATEUR, LOW);
    digitalWrite(AROSAGE, HIGH);
    alarme(niveau);
    break;
}
}

void alarme(int niveau) {
    switch (niveau) {
        case 2 : //Son deux tons
            digitalWrite(LED, HIGH);
            tone(BUZZER , 500, 50);
            break;
        case 3 : // Son à trois tons
            digitalWrite(LED, HIGH);
            tone(BUZZER , 500, 50);
            break;
        case 5 : // Son à trois tons
            digitalWrite(LED, HIGH);
            tone(BUZZER , 500, 50);
            break;
    }
}
```

Les images suivantes présentent le montage et la maquette réalisés lors de l'implémentation de notre système.

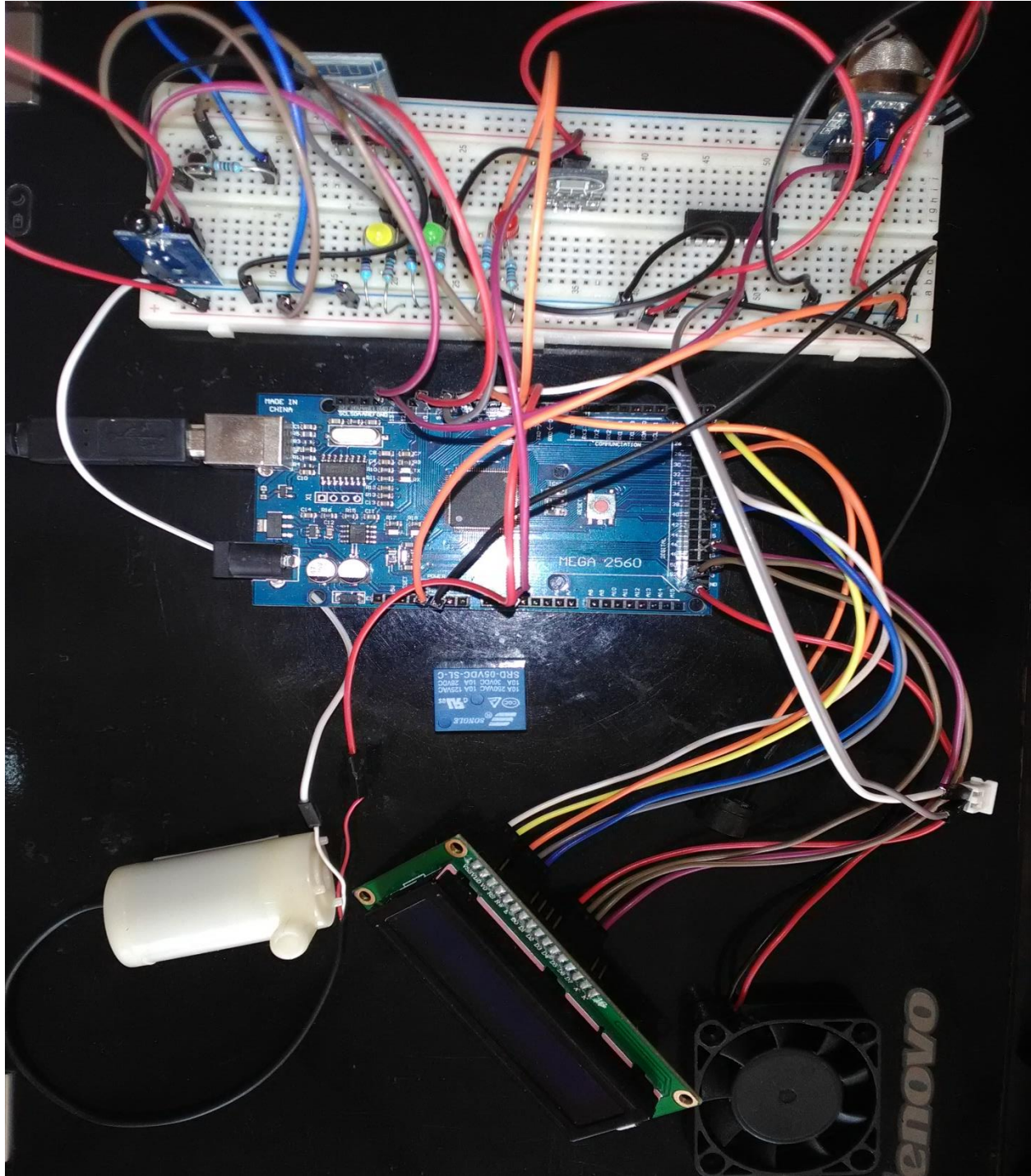


Figure III. 37: Montage du module de gestion de l'intérieur



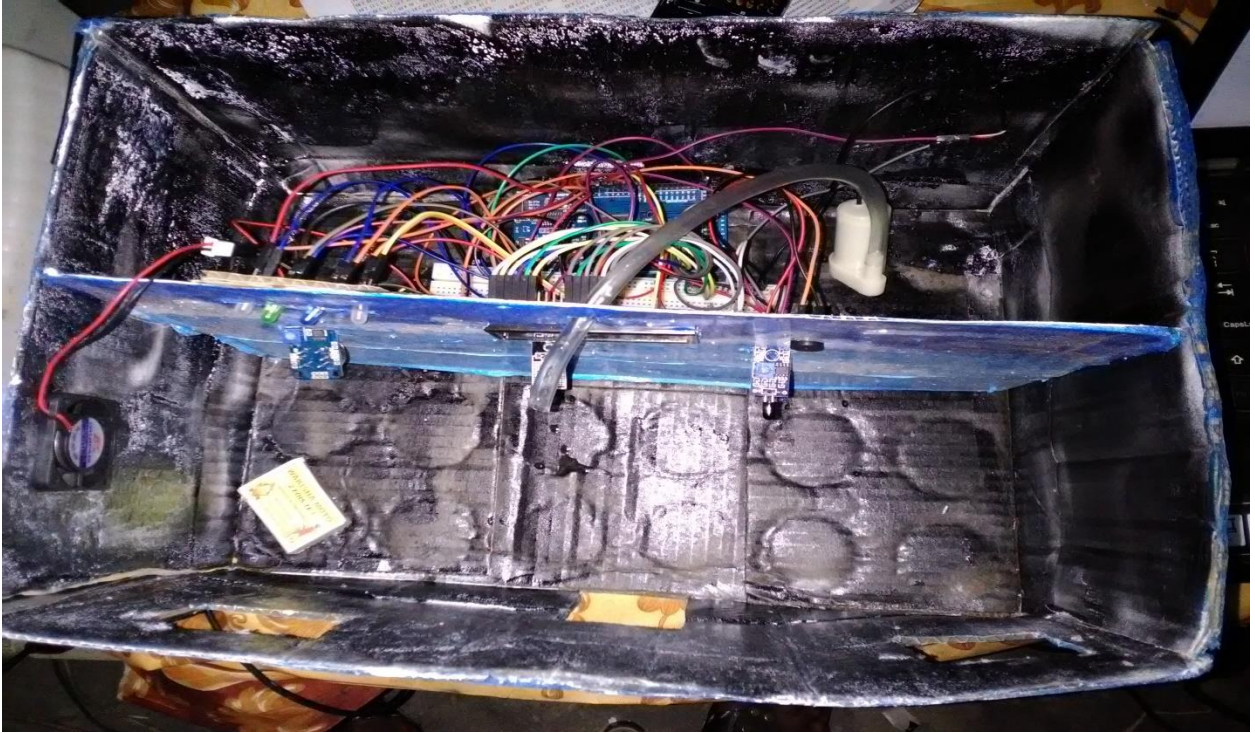


Figure III. 38: Montage dans la maquette

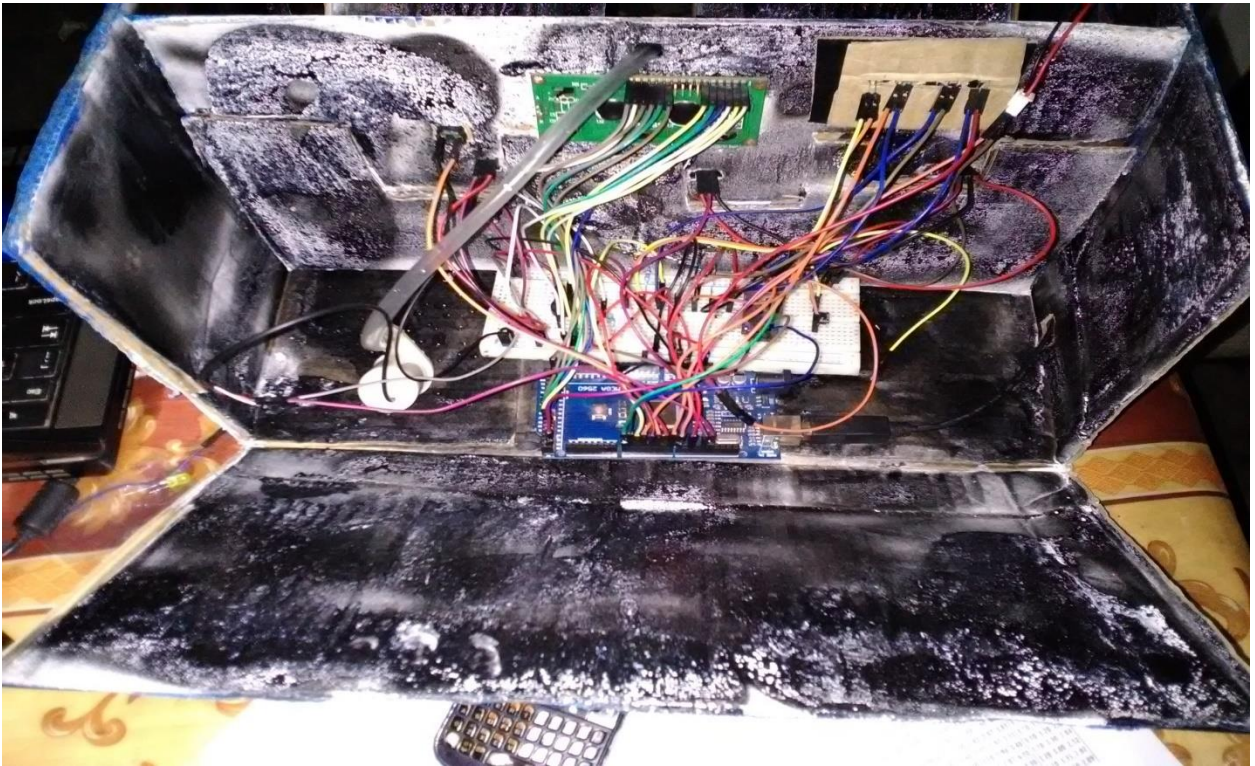


Figure III. 39: Partie câblage dans la maquette