



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :...../2023

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

IOT et Intelligence Artificielle pour
déterminer le risque météorologique
des incendies des forêts

Réalisées par : - RAHMANI TAHA

- YOUNES NABIL

Devant Le Jury :

Président:

Dr. KHELFAOUI FATIMA

Rapporteur:

Dr. SAHOUR ABDELHAKIM

Coencadreur :

Dr. BOUMEHREZ FAROUK

Examineur:

Dr. MEDJALDI MALIKA

Promotion 2022/2023

Dédicace

Je dédie humblement ce travail à ceux qui occupent une place spéciale dans mon cœur, à ceux envers lesquels je suis éternellement reconnaissant pour leur soutien infaillible tout au long de mon parcours.

À mes chers parents, qui ont été mes piliers et ma source constante de motivation durant mes années d'études et mon projet. Que Dieu les protège et leur accorde bonheur, santé et une longue vie. Leur amour inconditionnel et leurs encouragements incessants ont été essentiels à ma réussite.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers **Dr. Boumehrez Farouk**, dont la vertu et les conseils avisés ont illuminé le chemin de nos recherches. Sa persévérance et son dévouement ont été une source d'inspiration pour moi et ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

Remerciements

Je remercie en premier lieu ALLAH.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier particulièrement **Docteur Sahour Abdelhakim**, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier les membres de l'honorable jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Enfin mes remerciements tous mes proches et amis, qui ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce travail.

Résumé :

Compte tenu de ce que notre État khenchela et d'autres États ont récemment vu des catastrophes d'incendies de forêt, et avec l'avènement de la saison estivale et la hausse des températures, l'alarme retentit et la possibilité d'incendies de forêt augmente, en particulier en ce qui concerne les forêts proches de l'activité humaine, ainsi que les forêts rapidement inflammables qui causent de graves dommages qui affectent négativement l'environnement dans lequel nous vivons. Afin de réduire ce phénomène, nous avons eu recours à un ensemble d'appareils connectés et de moyens technologiques qui facilitent la communication entre les appareils et le cloud électronique, ainsi qu'entre les appareils eux-mêmes, que l'on appelle l'Internet des objets (IOT), qui fonctionne collecter et échanger des données en temps réel au moyen d'appareils intelligents tels que des caméras de surveillance et des capteurs. Pour prédire avant qu'un incendie ne se produise, ces capteurs sont placés dans les forêts pour envoyer des changements, qui consistent en un circuit électronique open-source avec un microcontrôleur programmé par ordinateur, qui est conçu pour faciliter l'utilisation de l'électronique interactive par une programmation informatique qui détecte les changements dans la température, l'humidité ou la vitesse du vent... et envoyez-le nous en chiffres. Et l'objectif principal de cette recherche est de concevoir un nouveau modèle de prédiction des incendies dans l'état de khenchela avec la possibilité de connaître les endroits les plus vulnérables.

Mots clés: Prédiction, Forêt, Risque, Incendie, capteurs

Abstract:

In view of what our state khenchela and other states witnessed recently from the disasters of forest fires, and with the advent of the summer season and the rise in temperatures, the alarm sounds and the possibility of forest fires increases, especially with regard to forests close to human activity, as well as rapidly flammable forests that cause serious damage that affects negatively on the environment in which we live. In order to reduce this phenomenon, we resorted to a set of connected devices and technological means that facilitate communication between devices and the electronic cloud, as well as between the devices themselves, which are known as the Internet of Things (IOT), which works to collect and exchange data in real time by means of smart devices such as surveillance cameras and sensors. To predict before any fire occurs, these sensors are placed in forests to send changes, which consist of an open-source electronic circuit with a microcontroller programmed by computer, which is designed to facilitate the use of interactive electronics by computer programming that senses changes in temperature, humidity, or wind speed. .and send it to us by numbers the main objective of this research is to define a new fire prediction model with the possibility of knowing the most vulnerable places.

Keywords: Prediction, Forestry, Risk, Fire, Sensors

ملخص:

نظرا إلى ما شاهدته ولايتنا خنشلة وولايات أخرى مؤخرًا في كوارث حرائق الغابات ، ومع قدوم فصل الصيف وارتفاع درجات الحرارة ، يدق ناقوس الخطر ويزداد احتمال اندلاع حرائق الغابات ، خاصة فيما يتعلق بالغابات القريبة من النشاط البشري وكذلك الغابات سريعة الاشتعال تسبب أضرارًا جسيمة تؤثر سلبًا على البيئة التي نعيش فيها. للحد من هذه الظاهرة ، استخدمنا مجموعة من الأجهزة والوسائل التكنولوجية المتصلة التي تسهل الاتصال بين الأجهزة والسحابة الإلكترونية ، وكذلك بين الأجهزة نفسها ، والتي تسمى إنترنت الأشياء (IOT) ، والتي تعمل على جمع البيانات وتبادلها في الوقت الحقيقي من خلال الأجهزة الذكية مثل كاميرات المراقبة وأجهزة الاستشعار. للتنبؤ قبل حدوث حريق ، يتم وضع هذه المستشعرات في الغابات لإرسال التغييرات ، والتي تتكون من دائرة إلكترونية مفتوحة المصدر مع متحكم دقيق مبرمج بالكمبيوتر ، وهو مصمم لتسهيل استخدام الإلكترونيات التفاعلية من خلال برمجة الكمبيوتر التي تكتشف تغيرات في درجة الحرارة أو الرطوبة أو سرعة الرياح ... وإرسالها إلينا بأرقام. و الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحديد نموذج جديد للتنبؤ بالحرائق في ولاية خنشلة مع إمكانية معرفة الأماكن الأكثر عرضة للخطر.

الكلمات المفتاحية: التنبؤ، الغابات، الخطر، حرائق، مستشعرات

Sommaire :

Liste des tableaux:

Liste des figures :

Liste des abréviations :

Résumé :

Introduction général :

Chapitre I : les incendies des forêts

I.1 Introduction.....8

I.2 La forêt8

I.3 Types des forêts9

I.3.1 Forêt boréale.....9

I.3.2 Forêt tempérée10

I.3.3 Forêt subtropicale10

I.3.4 Forêt tropicale11

I.4 Les incendie de forêt11

I.5 Facteurs favorisant les incendies12

I.5.1 Facteurs biotiques12

I.5.2 Facteurs abiotiques12

I.5.2.1 Les conditions orographiques12

I.5.2.2 Les conditions météorologiques13

I.5.3 Facteurs anthropiques et naturels13

I.6 Comportement de feu14

I.7 Les type de feux de végétation14

I.7.1 Les feux de cimes14

I.7.2 Les feux de surface.....15

I.7.3 Les feux de terre15

I.8 Les trois phases de la combustion15

I.8.1 La phase de séchage15

I.8.2 La phase de pyrolyse.....15

I.8.3 La phase d'oxydation.....15

I.9 Les processus de propagation d'un feu de forêt.....	16
I.9.1 La conduction	16
I.9.2 Le rayonnement thermique.....	16
I.9.3 La convection.....	16
I.10 Le risque d'incendie de forêt	16
I.10.1 Définition "Risques"	16
I.10.2 Les éléments du risque incendie de forêt	16
I.10.2.1 L'aléa	16
I.10.2.2 La probabilité d'occurrence.....	16
I.10.2.3 La probabilité d'incendie	17
I.10.2.4 L'intensité	17
I.10.2.5 La vulnérabilité	17
I.10.2.6 L'enjeu	17
I.10.2.7 Parade	17
I.10.3 Analyse de risque	18
I.10.3.1 Les conséquences d'un feu de forêt	18
I.10.3.2 Les conséquences sur l'homme	18
I.10.3.2 Les conséquences sur l'homme	18
I.10.4 Les conséquences économiques.....	18
I.10.5 Les conséquences sur l'environnement	18
I.11 Les solutions proposées	18
I.12 Conclusion	19

Chapitre II : IOT (internet des objets)

II.1 Introduction	20
II.2 Qu'est-ce que l'Internet des objets	20
II.3 Les composants d'un système IoT	20
II.3.1. Les objets connectés	21
II.3.1.1 Les capteurs	21
II.3.1.2 Les sources d'énergie.....	22
II.3.1.3 Le module de connectivité	23

II.3.1.4 Les actionneurs	24
II.3.2 Les plateformes de développement d'IoT	25
II.3.2.1 Google Cloud Platformer.....	25
II.3.2.2 Cisco IoT Platformer.....	25
II.3.2.3 Samsung ARTIK Plateforme	26
II.4 L'évolution de l'iot	26
II.5. Les domaines d'application	27
II.5.1. La domotique	27
II.5.1.1 La maison intelligente	27
II.5.1.2 Les villes intelligentes	29
II.5.1.3 La santé	29
II.5.1.4 Les transports	30
II.6 Les avantages des réseaux des capteurs dans l'iot	31
II.7 Les Protocoles de communication pour l'IoT.....	31
II.7 Le Protocole MQTT	31
II.7.2 Le Protocole AMQP	32
II.7.3 Le Protocole CoAP	32
II.8. Les protocoles de communication	33
II.9. La sécurité dans l'IoT	34
II.9.1 Qu'est-ce que la sécurité IoT	34
II.9.2 Comment protéger les données de l'IoT.....	35
II .9.2.1 La sécurité iot lors de la phase de conception.....	35
II.9.2.2 ICP et certificats numériques.....	35
II.9.2.3 Sécurité des réseaux	35
II.9.2.4 Sécurité des API.....	36
II.10.Conclusion	36

Chapitre III :mode de fonctionnement et caractéristique des outils et matériels utilisés dans ce système

III.1 Introduction	37
III.2 Présentation générale des cartes Arduino	37

III.3 Les différents types de carte Arduino	37
III.3.1.1 Carte Uno.....	38
III.3.1.2 La carte arduino Méga	38
III.3.1.3 Arduino Esplora.....	39
III.3.1.4 La carte seeduino	39
III.3.1.5 La carte Arduino pro (par Sparkfun).....	39
III.3.1.6 Carte arduino Blackwidow	40
III.3.1.7 Carte Rainbowduino.....	40
III.3.1.8 Carte netduino.....	41
III.3.2 Carte Arduino UNO	41
III.3.2.1 Le Microcontrôleur	42
III.3.2.2 Alimentation	43
III.3.2.3 Les entrées/sorties	44
III.3.3 Avantages d'ARDUINO	45
III.3.4 Caractéristique du carte ARDUINO	46
III.4. Le capteur DHT11 et DHT22	46
III.5 Anémomètre	47
III.6 LCD	48
III.7 Alimentation de la carte Arduino et des capteurs	49
III.8 Monitoring server	50
III.9 Partie Logiciel (Software)	52
III.9.1 Arduino IDE	52
III.9.2 Logiciel XAMPP.....	52
III.10 Conclusion	53
Chapitre IV : Réalisation pratique	
IV.1 Introduction	54
IV.2 Modèle logique floue	54
IV.2.1 La définition de la logique floue	54
IV.2 .2. Le fonctionnement la logique floue	54

IV.2.3. Le risque météorologique	55
IV. 2.4Fuzzifier des entrées : (Température, vent et Humidité et sortie).	56
IV.3 Représentation du système	57
IV.3.1 Étude du système.....	58
IV.3.2 Les capteurs	58
IV.3.3Le calculateur principal.....	59
IV.3.4 Le capteur de température et d'humidité DHT11	60
IV.3.5 Capteur de la vitesse du vent	61
IV.3.6L'afficheur LCD I2C 2004A	62
IV.3.7Page de réception.....	65
IV.3.8La base de données.....	65
IV.4 Tests et résultats	67
IV.5 Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	71

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les éléments du risque incendie de forêt.....	16
Tableau II.2: Les différents types de capteurs	22
Tableau II.3 : Sources d'énergie	23
Tableau II.4 : Modules de connectivité.....	24
Tableau II.5 : Actionneurs	24
Tableau II.6 :Avantages et inconvénients (MQTT)	33
Tableau II.7 : Avantages et inconvénients (AMQP)	34
Tableau II.8 :Avantages et inconvénients (CoAP)	34
Tableau IV 1 :Les données climatiques pour Khenchela.....	55
Tableau IV.2: (If-Then) de RFM	56
Tableau IV.3 (If-Then) de RFM.....	56

Liste des figure :

Figure I.1 : Une forêt française entretenue en sylviculture	8
Figure I.2 : Forêt dans la wilaya de Khenchela (AIN MIMOUNE)	9
Figure I.3 : Un cercle relatif représente les grands types des forêts en pourcentage..	9
Figure I.4 : Une forêt boréale	10
Figure I.5 : Une forêt tempérée.....	10
Figure I.6 : Une forêt subtropicale	11
Figure I.7 : Une forêt tropicale	11
Figure I.8 : les processus de développement d'un feu de forêt	11
Figure I.9 : Un cercle relatif représente les causes d'incendie en pourcentage.....	12
Figure I.10 : Schémas représente les facteurs qui sont influences sur le feu de forêt..	13
Figure I.11 : Image représente la façon de propagation du feu de cimes.....	14
Figure I.12 : Image représente la façon de propagation du feu de surface	14
Figure I.13 : Image représente la façon de propagation du feu de terre.....	15
Figure II.14 : Système d'Internet des Objets	15
Figure II.15 : Objet Connecté.....	21
Figure II.16 : Carte RFID	21
Figure II.17 : Plateforme IoT.....	25
Figure II.18 : Maison intelligente	27
Figure II.19 : Solution domotique Smart Home de Xiaomi.....	28
Figure II.20 : Maison intelligente Samsung.....	29
II.21 : L'IoT dans le domaine de la santé	30
Figure II.22 : MQTT dans un réseau IoT	30
Figure II.23 : Fonctionnement du protocole AMQP.....	32

Figure II.24: Protocole CoAP	33
Figure III.1 Carte Arduino Uno	38
Figure III.2 Carte Arduino Méga	38
Figure III.3 Carte Arduino Esplora	39
Figure III.4 Carte seeeduino	39
Figure III.5 Carte Arduino pro	40
Figure III.6 Carte Arduino Blackwidow	40
Figure III.7 Carte Rainbowduino	40
Figure III.8 Carte teensy	41
Figure III.9 Carte netduino	41
Figure III.10 Carte Arduino Uno	42
Figure III.11 Microcontrôleur Atmega 328.....	42
Figure III.12 Arduino avec alimentation sur l'ordinateur	44
Figure III.13 Arduino digitale broches.....	44
Figure III.14 Arduino analogue broches	45
Figure III.15 Capteur de température et d'humidité DHT11	47
Figure III.16 Capteur de température et d'humidité DHT22	47
Figure III.17 anémomètre	48
Figure III.18 1602 LCD SHIELD	49
Figure III.19 adjustable Voltage regulator	50
Figure III.20 Solar Lipo Charger	50
Figure III.21 solar panel 20 W 6V	50
Figure III.22 Installer et tester le système	51
Figure III.23 : Logiciel Arduino IDE 2.0.0	52
Figure IV 1 : Architecture globale du système.....	57

Figure IV 2 : Schéma bloc du nœud de capteurs	59
Figure IV 3: carte arduino wemos D1	60
Figure IV 3.4 : Capteur de température et d'humidité DHT11	61
Figure IV 4 : brochage du DHT11.....	61
Figure IV5 : anémomètre.....	62
Figure IV 6 : L'afficheur LCD I2C 2004A.....	62
Figure IV 7: Organigramme.....	65
Figure IV 8: Capture d'écran de la page de réception des données.....	66
Figure IV10: Page présentation numérique des données de la base de données	66
Figure IV 11 : Une photo expliquant quand le danger d'incendie est élevé.....	67
Figure IV 12 : Prise de photo de l'afficheur LCD.....	67
Figure IV 13: Page présentation graphique données de la page web	68

Les abréviations:

AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
API	Application Programming Interface
AVR	Automatic Voltage Regulator
CoAP	Constrained Application Protocol
FTP	File Transfer Protocol
GSM	global system for mobile communication
LCD	liquid crystal display
ICP	International Cooperative Programme
IdO	Internet des objets
IDE	integrated device electronics
IOT	Internet of Things
LED	Light Emitting Diode
MAC	Message Authentication Code
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsions
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NFC	Near Field Communication
PHP	Hypertext Preprocessor,
PWM	Pulse Width Modulation
RCSF	réseau de capteurs sans fil
RFID	Radio Frequency Identification
RFM	risque du facteur anthropique
SOS	Save our souls
SSL	Secure Socket Layer
TCP	Transmission Control Protocol
TLS	Transport Layer Security
Tmax	température maximum
Tmin	Température minimum
TTL	Time to Live
UIT	Union Internationale des Télécommunications),
USB	Universal Serial Bus
V	vent
WSN	Wireless Sensor Network

INTRODUCTION GENERALE

Au cours de la période récente, le besoin de surveillance et de contrôle à distance a augmenté et la récupération de données à partir d'un environnement complexe et distribué se développe rapidement. Surtout avec les récents développements dans le domaine de la microélectronique, la mécanique de précision et les technologies de radiocommunication. Sur cette note et pour répondre à ces attentes, une nouvelle succursale a été créée, donnant l'apparence de réseaux de capteurs. Ces réseaux forment un certain type de réseau ad hoc, en nœuds qui sont des capteurs. Dans ce type de réseau, les capteurs échangent des informations sur l'environnement afin de créer une vision globale de la zone surveillée.

Les capteurs apparaissent comme des systèmes autonomes miniatures et équipés d'une unité de traitement et de stockage de données, d'une unité de transmission sans fil et d'une batterie. Organisés sous la forme d'un réseau, les capteurs (ou nœuds) d'un réseau de capteurs (RSV), malgré ses ressources limitées (calcul, capacité à stocker et énergie), a pour tâche de détecter un événement (par exemple, un changement de température, d'humidité, de vitesse du vent, etc.,...). RSV est capable de collecter des données relatives à son environnement, de les traiter, puis, le cas échéant, de communiquer avec les capteurs voisins via un support sans fil.

Caractéristiques de ceux-ci les capteurs ont été impliqués dans la naissance des réseaux de capteurs sans fil. Organisation, coopération et fonctionnement indépendant des capteurs. De plus, elle nécessite généralement un déploiement dense pour permettre une meilleure garantie de surveillance dans des environnements dangereux et hostiles principalement, où les capteurs sont constamment exposés à des menaces intentionnelles ou non intentionnelles. Les intentionnels sont très importants.

Des travaux récents ont montré la nécessité d'utiliser de tels réseaux pour la détection d'incendies. Cependant, pour signaler la présence de ce dernier, il faut s'assurer, mesurer les indicateurs corrects, tels que la température, l'humidité, l'intensité lumineuse... etc.

Le couvert forestier omniprésent en Algérie a été le théâtre de un grand massacre avec une tendance mondiale à l'augmentation du nombre d'incendies et zones brûlées, sa superficie estimée est de 1,3 million d'hectares, véritables forêts naturelles.

Il a connu un déclin presque exponentiel, et est maintenant dans un état de détérioration progressive. Nulle part ailleurs la forêt ne semble aussi nécessaire pour la protection contre les incendies. La lutte contre les incendies de forêt en Algérie nécessite chaque année des investissements importants, tant en hommes qu'en équipements et en ressources financières.

Grâce à l'Internet des objets (IoT) qui est un système d'appareils informatiques interconnectés qui peuvent collecter et transmettre des données sur un réseau sans fil sans intervention humaine, nous avons pu modéliser notre projet.

L'objectif de notre projet est de contribuer à cet effort national en utilisant une nouvelle façon de lutter contre les incendies de forêt. Cette technique consiste à établir un réseau de capteurs capables de collecter et de traiter des informations environnement (température, humidité, vitesse du vent, etc.) À partir d'une zone cible en plus de calculer le pourcentage des plus dangereux. Le réseau, il est déployé afin de détecter d'éventuels incendies en temps opportun et ainsi permettre intervention rapide pour protéger l'écosystème forestier. Le but est de mettre en œuvre la conception d'un nouveau modèle de prévision des incendies de forêt basé sur la logique floue et l'application est mise en œuvre sur un prototype de réseau constitué de capteurs sans fil.

Objectifs scientifiques :

- Développer une méthodologie pour le déploiement de réseaux de capteurs sans fil.

Objectifs technologiques :

- Mise en place d'un réseau de capteurs pour détecter et identifier les zones les plus vulnérables aux incendies et des parcs dans l'État de Khenchela.

Objectifs socio-économiques :

- Protection et surveillance permanente d'un site critique,
- Connaissance des endroits sujets aux incendies,
- L'utilisation des technologies émergentes feux à distance.

Dans ce travail, l'intérêt majeur est attribué à la d'une solution pour lutter contre les incendies de forêt avec un circuit programmable.

Ce rapport contient Quatre chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre consiste à la présentation des incendies des forêts.

Le second chapitre concerne IOT (internet des objets).

Le troisième chapitre présente Mode de fonctionnement et caractéristique des outils et matériels utilisés dans ce système.

Le dernier chapitre présente le travail effectué pour la conception et la réalisation de notre projet.

Chapitre I :

Les incendies

des forêts

I.1 Introduction :

Les forêts, qui couvrent environ 31 % de la superficie terrestre mondiale, et comme tous les écosystèmes essentiels à la vie sur Terre, la forêt a conservé la plupart de ses secrets. Tour à tour puit de carbone, source d'énergie, de nourriture, ou de médicaments, elle est aussi le refuge d'une biodiversité indispensable et encore si peu connue. Pourtant, malheureusement, les incendies de forêt fréquents continuent de menacer cette richesse et causent d'énormes pertes.

I.2 La forêt :

Une forêt est un écosystème où arbres et buissons dominent la végétation. Les communautés végétales forestières couvrent de vastes régions, chacune occupant une plus grande surface que le simple bois. Elles fonctionnent comme habitats pour les animaux, modulateurs de flux hydrologiques et conservateurs du sol.

La forêt peut être naturelle mais aussi artificielle dans le sens où l'Homme l'entretien et la gère, comme en sylviculture.

Les forêts constituent l'un des aspects les plus importants de la biosphère de la terre. Bien que souvent considérées comme des consommateurs de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, les forêts matures sont pratiquement neutres en carbone ; les jeunes forêts, elles, agissent comme ces consommateurs.

Cependant, les forêts matures jouent un rôle important dans le cycle du carbone au niveau mondial, en tant que réservoirs de carbone stables et l'élimination conduit à une augmentation des niveaux de dioxyde de carbone atmosphérique [01].



Figure I.1 : Une forêt française entretenue en sylviculture [01].

Particulièrement, la wilaya de Khenchela dispose d'un important couvert végétal considéré comme le plus important au niveau national, 145 611 hectares répartis sur trois masses forestières importantes. Les plus importantes sont la forêt de Beni Mellul d'une superficie de 67 mille

hectares, Ouled Yaqoub d'une superficie de 27 mille hectares, et la forêt de Beni Wedjana d'une superficie totale de plus de 33 mille hectares [02], et il comprend plusieurs types d'arbres forestiers, dont les plus importants sont le pin d'Alep, qui s'étend sur une superficie de 112950 hectares, et les cèdres de l'Atlantique de haute qualité qui sont protégés à l'échelle mondiale 11 027 hectares, tandis que la zone alliées de 42000 hectares [03]. D'après ce qu'il a appris du gouvernorat forestier qui supervise cette énorme richesse forestière.



Figure I.2 : Forêt dans la wilaya de Khenchela (AIN MIMOUNE) [04].

I.3 Types des forêts [05] :

Les forêts d'aujourd'hui se répartissent en effet en 4 grandes catégories. Ces forêts diffèrent selon le climat et la latitude dans lesquels nous nous trouvons :

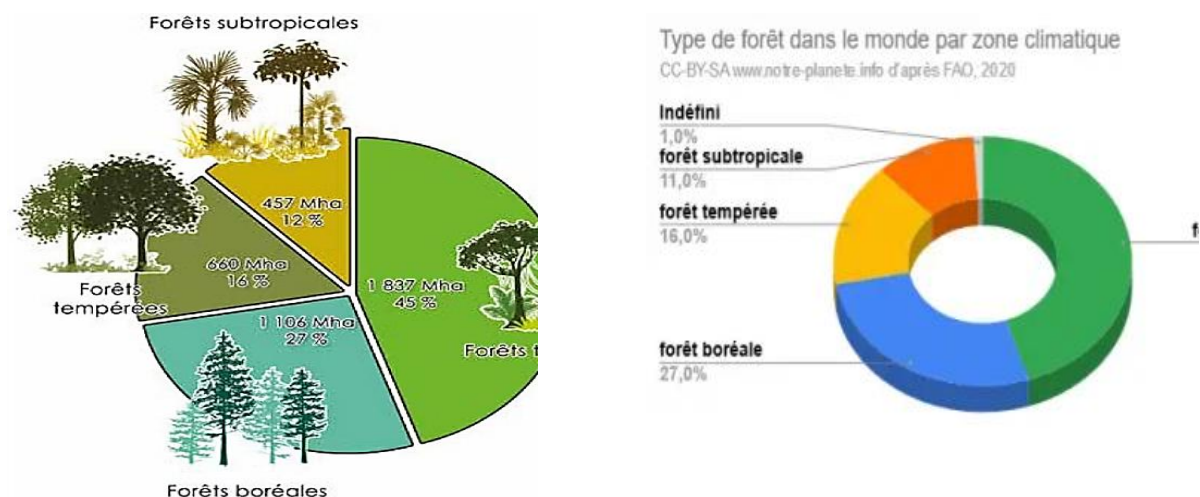


Figure I.3 : Un cercle relatif représente les grands types des forêts en pourcentage [06].

I.3.1 Forêt boréale [05] :

Ces forêts sont connues sous le nom de taïga et sont celles que l'on trouve dans la partie nord de la planète. Ce sont des zones boisées plus froides. Les températures **Ils vont généralement d'un maximum de 20 degrés à un minimum de -60 degrés.** La forêt

boréale est répartie dans de vastes zones qui occupent une partie des divers grands pays tels que l'Alaska, la Norvège, le Canada, la Finlande, la Suède et la Russie.

La végétation prédominante dans ce type de forêt est principalement Gil que nous voyons plus. Ici nous avons **pins, sapins et animaux comme le wapiti, l'ours brun, le renne, le hibou, le lynx boréal, le balbuzard pêcheur**, entre autres.



Figure I.4 : Une forêt boréale [07].

I.3.2 Forêt tempérée [05] :

Ce sont ces forêts qui varient en fonction du climat et de la latitude dans lesquelles nous trouvons. Ce type de forêt se trouve dans le climat tempéré et ce sont des régions dans lesquelles, bien qu'elles se trouvent dans les deux hémisphères, elle est plus abondante dans la partie nord. Il se distingue par des températures modérées et des précipitations abondantes. La plupart des gros animaux ont la capacité d'hiberner. D'autres animaux migrent vers des zones plus chaudes pour établir la saison de reproduction.

Ils se caractérisent par le fait d'avoir **sol riche et fertile avec une couverture végétale dense et un taux d'humidité élevé**. Toutes ces conditions environnementales favorisent le développement de l'humus qui sert d'engrais organique pour le développement de la flore et de la végétation.



Figure I.5 : Une forêt tempérée [08].

I.3.3 Forêt subtropicale [05] :

Ils sont un peu plus chauds et ont une température moyenne de 22 degrés. Ils sont proches des tropiques et la végétation y est généralement beaucoup plus grande et ils se

distinguent par leurs feuilles larges. Ils ont de fortes précipitations tout au long de l'année et les saisons sont très marquées. Nous pouvons voir des forêts de pins, des forêts de feuillus, une jungle subtropicale et des forêts sèches subtropicales.



Figure I.6 : Une forêt subtropicale [09].

I.3.4 Forêt tropicale [05] :

C'est un autre des différents types de forêts selon la latitude. Il peut être trouvé dans les deux hémisphères de la zone tropicale. C'est l'un des plus chauds et des plus pluvieux en raison d'une température élevée. La température moyenne est d'environ 27 degrés par an. On peut retrouver, selon les régions, quelques sous-types de forêts tropicales :

- Forêt tropicale humide ou pluvieuse. Il est également connu comme une forêt tropicale ;
- Forêt tropicale sèche ;
- Forêt de mousson ;
- Zones humides ou forêts inondables ;
- Les mangroves.

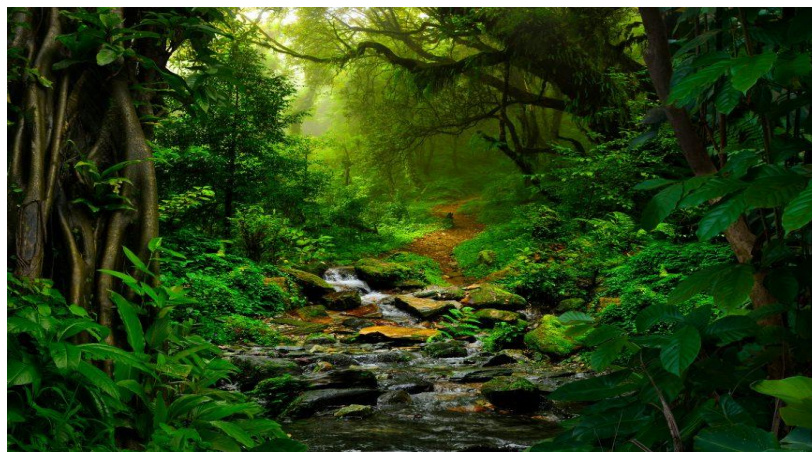


Figure I.7 : Une forêt tropicale [10].

I.4 Les incendie de forêt :

Les incendies de forêt (également appelés feux de brousse, feux de broussailles ou feux de forêt) sont de grands incendies incontrôlés et potentiellement destructeurs qui peuvent toucher

les zones rurales et urbaines. Ils peuvent se propager rapidement, changer de direction et même "sauter" sur de grandes distances lorsque des braises et des étincelles sont transportées par le vent. Ils sont provoqués par une série de causes naturelles (comme la foudre) ou par la négligence humaine (comme une cigarette jetée). La propagation d'un feu de forêt dépend de la disposition des terrains, du combustible disponible (végétation ou bois mort) et des conditions météorologiques (vent et chaleur). Ils peuvent démarrer en quelques secondes et se transformer en brasiers en quelques minutes [11].

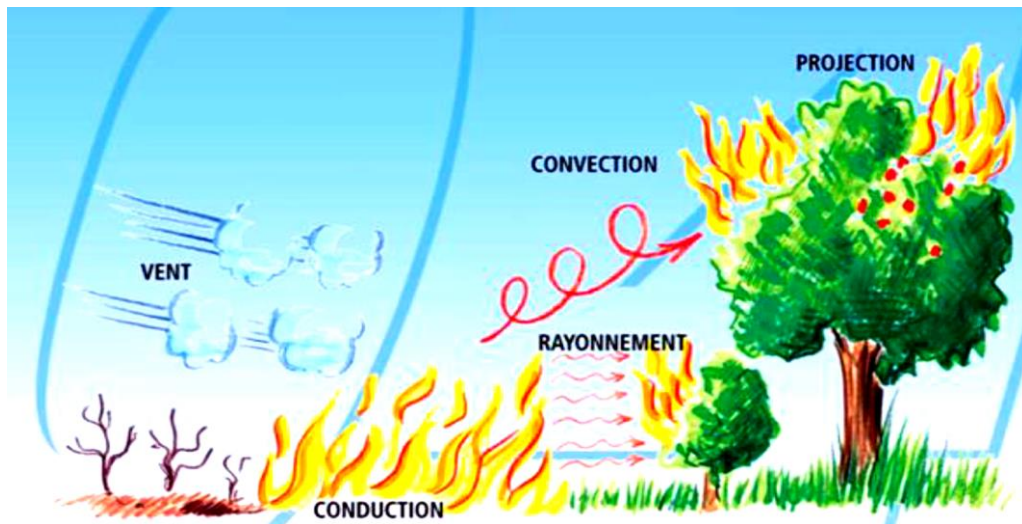


Figure I.9 : les processus de développement d'un feu de forêt [12].

I.5 Facteurs favorisant les incendies [12] :

I.5.1 Facteurs biotiques :

Les caractéristiques de la végétation et la prédisposition aux incendies sont souvent liées à la teneur en eau, elle-même déterminée par les conditions météorologiques. L'état général de la zone forestière, c'est-à-dire les caractéristiques du peuplement forestier (disposition des strates, essences présentes, densité, etc.) et la composition chimique de la végétation (résine), jouent également un rôle déterminant dans la genèse des incendies. De même, le manque d'entretien et l'absence de gestion du domaine forestier entraînent une accumulation du volume de combustible et une augmentation de la probabilité de départ et de propagation du feu [12].

I.5.2 Facteurs abiotiques :

I.5.2.1 Les conditions orographiques :

Sont responsables de l'accélération ou du ralentissement de la propagation du feu. Dans une zone sans relief, un départ de feu est facilement soumis à l'accélération du vent.

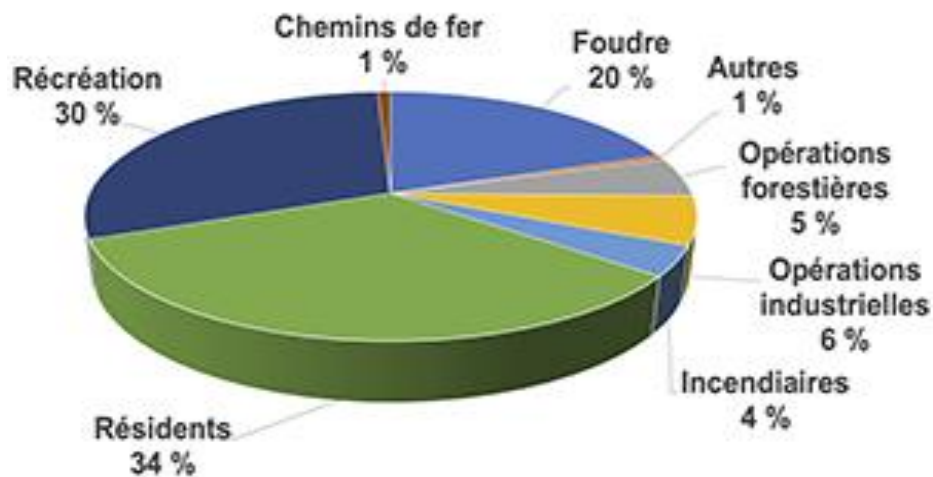
En zone de relief irrégulier, la progression est accélérée en relief montant et ralentie en relief descendant [12].

I.5.2.2 Les conditions météorologiques :

Particulières comme les périodes de sécheresse et les épisodes de vents forts sont favorables à l'éclosion des incendies. Ainsi, le vent accélère le dessèchement des sols et des végétaux et augmente le risque de mise à feu, par dispersion des éléments incandescents et des arcs électriques. La chaleur dessèche les végétaux par évaporation et provoque, lors des périodes les plus chaudes, la libération d'essences volatiles et contribue à la propagation des flammes. De même, la foudre est à l'origine de 4 % à 7 % des départs de feu, notamment en plein cœur des massifs et lors des mois les plus chauds de l'année [12].

I.5.3 Facteurs anthropiques et naturels :

L'homme et les activités anthropiques ont un rôle prépondérant dans le déclenchement des incendies de forêt. Entre 70 % à 80 % des feux recensés chaque année sont causés par des activités humaines. Ces causes anthropiques sont classées en cinq grandes catégories : les causes accidentelles, l'imprudence, les travaux agricoles et forestiers la malveillance et les loisirs. À ces causes viennent s'ajouter des phénomènes aggravants comme la déprise agricole et le mitage urbain par l'expansion des habitations aux abords des zones boisées [12].



Causes des feux de forêt de 2012 à 2021

Figure I.10 : Un cercle relatif représente les causes d'incendie en pourcentage [13].

I.6 Comportement de feu [12] :

Le feu résulte de la combustion de la végétation. Cette réaction physico-chimique est provoquée par une source de chaleur d'origine naturelle ou humaine, il s'accompagne d'une émission d'énergie calorifique. Pour qu'il y ait inflammation et combustion, il faut que les trois éléments – chaleur, oxygène et combustible – se conjuguent en proportions convenables. Une fois le feu allumé, sa propagation sera influencée par trois facteurs : le type de combustible, la météorologie et la topographie.

- L'évaporation de l'eau contenue dans le combustible,
- L'émission de gaz inflammables par pyrolyse
- L'inflammation.

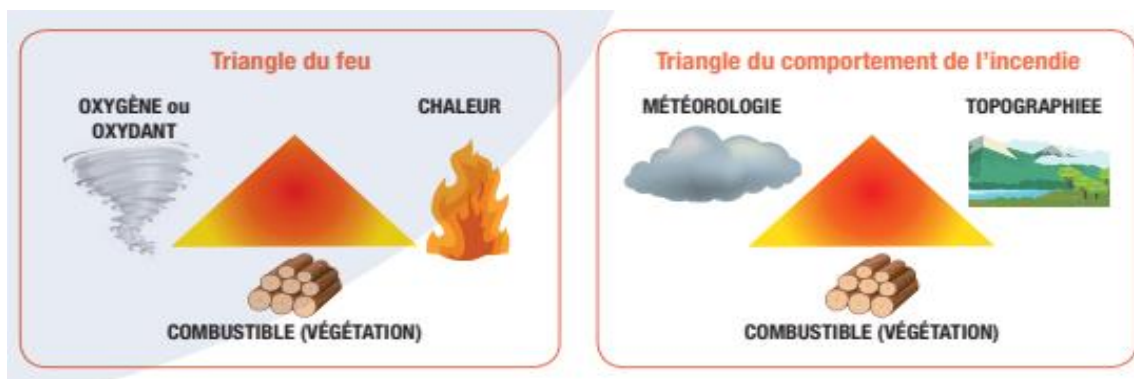


Figure I.11 : Schémas représente les facteurs qui sont influences sur le feu de forêt [14].

I.7 Les types de feux de végétation [12] :

Il existe trois principaux types d'incendie de forêt :

I.7.1 Les feux de cimes : brûlent les arbres sur toute leur longueur jusqu'au faîte. Ce sont les plus intenses et les plus dangereux des feux de végétation [12].

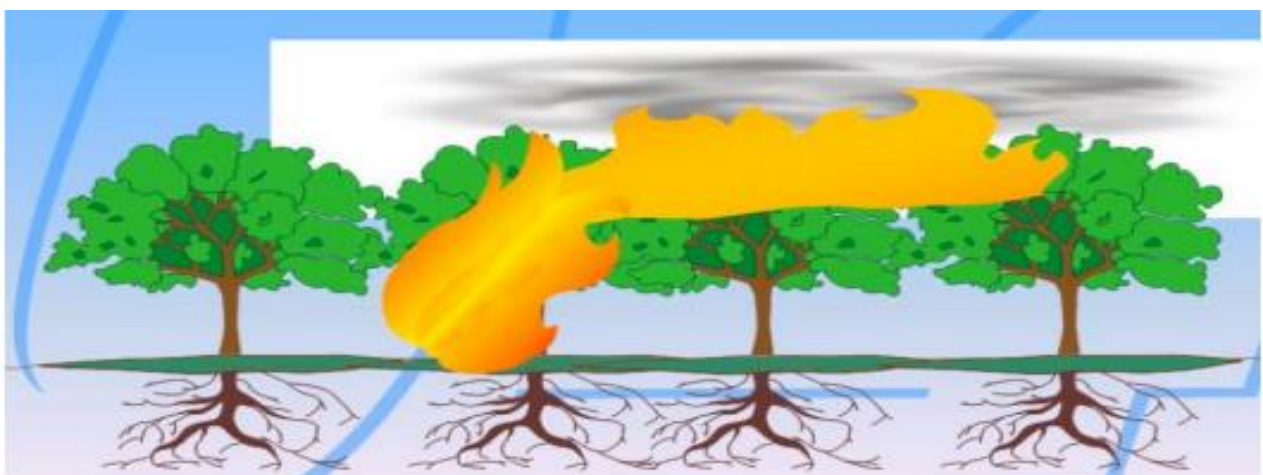


Figure I.12 : Image représente la façon de propagation du feu de cimes [12].

I.7.2 Les feux de surface : ils consomment les strates basses de la végétation et se propagent en général par rayonnement ou convection. Ils affectent la garrigue, maquis et les landes [12].

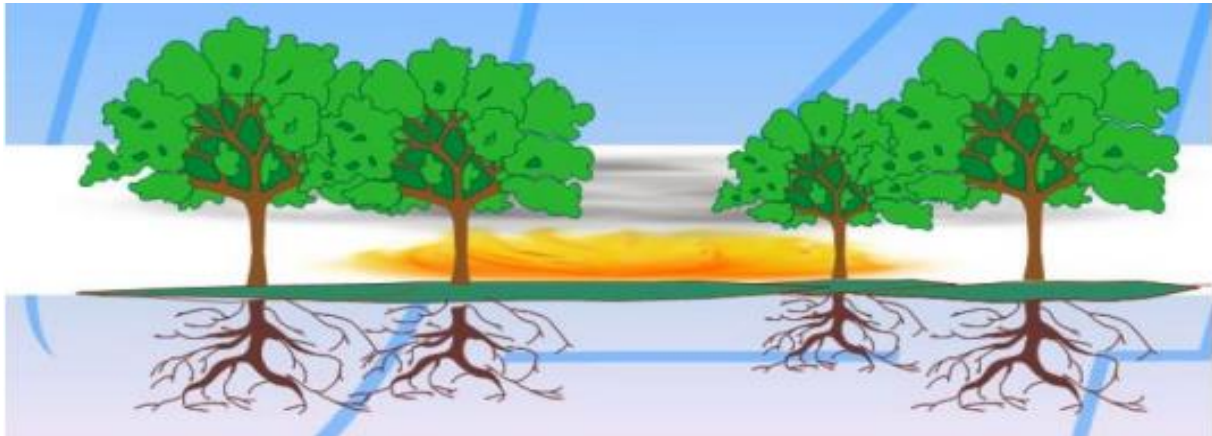


Figure I.13 : Image représente la façon de propagation du feu de surface [12].

I.7.3 Les feux de terre : (parfois appelés feux souterrains ou feux de profondeur) : ils brûlent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou les tourbières. Alimentés par incandescence avec combustion, ces feux ont une faible vitesse de propagation [12].

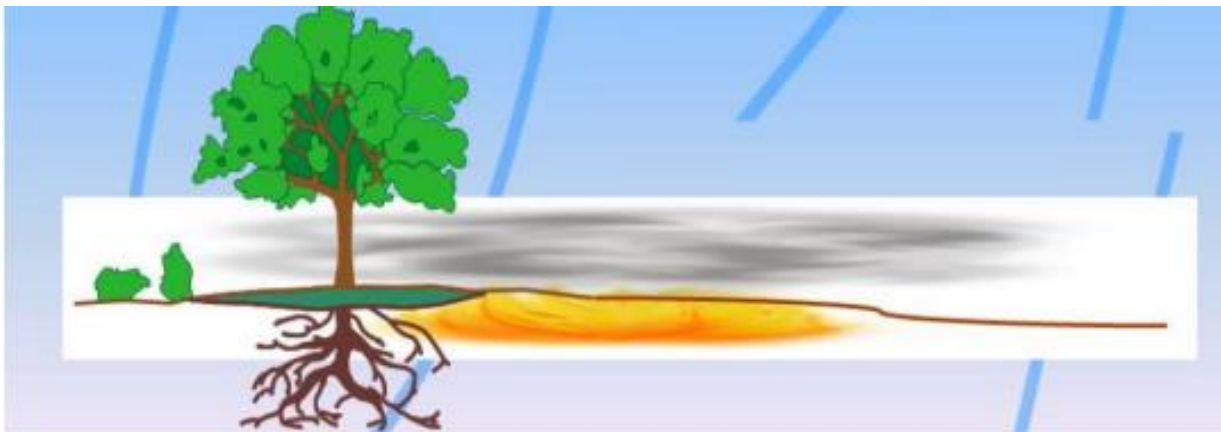


Figure I.14 : Image représente la façon de propagation du feu de terre [12].

I.8 Les trois phases de la combustion [12] :

Le bois est une énergie, qui ne brûle pas, mais qui rentre en combustion. La combustion du bois se déroule en 3 phases :

I.8.1 La phase de séchage (jusqu'à 250 °C) : c'est l'évaporation de l'eau contenue dans le bois (réaction endothermique = absorption de chaleur).

I.8.2 La phase de pyrolyse (entre 250 et 800 °C) : c'est une réaction chimique qui transforme le bois en « produit gazeux ».

I.8.3 La phase d'oxydation (entre 800 et 1100 °C) : Le bois devenu « produit gazeux » lors de la phase de pyrolyse, entre en incandescence et produit des braises.

I.9 Les processus de propagation d'un feu de forêt [12] :

La chaleur générée par un incendie va être transportée vers l'avant des flammes selon trois processus (FAO, 2001) :

I.9.1 La conduction : permet la transmission de proche en proche de l'énergie cinétique (produite par le mouvement).

I.9.2 Le rayonnement thermique : correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. C'est le principal mode de propagation des incendies ;

I.9.3 La convection : liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente. Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu).

I.10 Le risque d'incendie de forêt [15] :

I.10.1 Définition "Risques" :

Généralement le risque incendies est plutôt classé dans le risque technologiques mais, il est aussi certaines cas particuliers être considéré comme un risque naturel par exemple survient à la suite d'un incendie de forêt [15].

Le risque est composé de différents éléments imbriqués (Tab 01).

Tableau I.1 : Les éléments du risque incendie de forêt [15].

Risque					
Aléa				Vulnérabilité	
Occurrence		Intensité		Enjeu	Parade
Probabilité d'éclosion	Probabilité d'incendie	Surface menacée	Intensité de l'incendie		

I.10.2.1 L'aléa :

Est défini comme la probabilité qu'un phénomène naturel d'intensité donnée se produit en un lieu. Deux notions sont précisées la probabilité d'occurrence et l'intensité [15].

I.10.2.2 La probabilité d'occurrence :

Elle se manifesta sous deux aspects :

- **La probabilité d'éclosion:** Elle s'exprime généralement en nombre de feux par unité' de temps [15].

- **La probabilité d'incendie :** La probabilité d'incendie peut s'exprimer soit en probabilité annuelle de connaître un incendie (une chance sur n année), soit en durée de retour de l'incendie / un feu toutes les n années) [15].

I.10.2.3 L'intensité :

L'intensité représente la quantité de chaleur ou d'énergie déployée par le feu. Il est également possible d'appréhender la notion d'intensité en définissant pour chaque point de départ potentiel la surface qui il menace [15].

I.10.2.4 La vulnérabilité :

La vulnérabilité correspond aux “conséquences prévisibles d'un phénomène naturel d'intensité donnée sur les enjeux”. Elle est donc fonction de deux éléments : Les enjeux et les parades [15].

I.10.2.5 L'enjeu :

Les enjeux sont l'ensemble des biens exposés pouvant être affectés par un phénomène naturel. Par rapport autres phénomènes naturels, il faut ajouter aux enjeux naturels et humains les enjeux spécifiques des feux de forêt, liés à la forêt et à ses usages [15].

I.10.2.6 Parade :

Les parades sont les moyens de prévention, d'équipement et de lutte dont la mise en œuvre séduit le taux d'endommagement des enjeux. On peut distinguer les parades actives (moyens de DFCI et moyens de lutte, et les parades passives (débroussaillage, pare-feu, ...etc.) ces deux types de parades visent à diminuer les conséquences des sinistres [15].

I.10.3 Analyse de risque [15] :

- Si un incendie de forêt a de fortes probabilités de se déclarer ou de se propager en un lieu donné, on dit alors que l'aléa feu de forêt est élevé.
- Si un incendie peut causer des dommages sur carhaisiens (enjeux) du territoire concernée (habitation équipement, patrimoine), on parle, alors la vulnérabilité de ces enjeux.

I.10.3.1 Les conséquences d'un feu de forêt :

Bien que les incendies de forêt soient beaucoup moins meurtriers que la plupart des catastrophes naturelles ils n'en restent pas moins très coûteux en termes d'impact humain, économique, matériel et environnementale [15].

I.10.3.2 Les conséquences sur l'homme :

Les atteintes aux hommes rarement la population. Le mitage, qui correspond à une présence diffuse d'habitations en zones forestières, accroît la vulnérabilité des populations face à l'aléa feu de forêt [15].

De même, la diminution des distances entre les zones d'habitat et les zones de forêts limite les zones tampon à de faibles périmètres, insuffisantes pour stopper la propagation d'un feu [15].

I.10.4 Les conséquences économiques :

La destruction d'habitation de zones d'activités économiques et industrielle, ainsi que des réseaux de communication, induit généralement un coût important de pertes d'exploitation [15].

I.10.5 Les conséquences sur l'environnement :

Impact environnemental d'un feu est également considérable en termes de biodiversité (Faune et flore habituelles des zone boisées) aux conséquences immédiates les disparitions et les modifications de paysage, viennent s'ajouter des conséquences à plus long terme, notamment la reconstitution des biotopes, la perte de qualité de sols et le risque important d'érosion, consécutif à l'augmentation du ruissellement sur un sol dénudé [15].

I.11 Les solutions proposées :

Pour réduire ce phénomène, des caméras de surveillance doivent être installées dans les forêts avec des capteurs spéciaux pour prévoir avant qu'un incendie ne se produise. Éviter d'allumer des feux en campant dans des espaces verts, ou éteindre complètement le feu avant d'aller dormir. Ne pas jeter de déchets de verre ou de matériaux inflammables et s'abstenir de jeter des mégots de cigarettes par la fenêtre de la voiture en conduisant.

I.12 Conclusion :

Les systèmes traditionnels de surveillance des incendies utilisaient des images par satellite, des caméras au sol et des tours de guet pour détecter la présence de flammes ou de fumées dans une zone donnée. Mais face à des paysages ravagés par la sécheresse, les feux de forêt se propagent si rapidement que leur détection peu après le départ de feu est déjà trop tard.

Nous avons donc besoin des solutions réales et d'un système plus efficace capable d'avertir avant même qu'une catastrophe ne se produise, c'est **l'IOT (Internet des objets)**.

Cette technologie est idéale dans ce cas car la connectivité est toujours activée et toujours prête à alerter les autorités en cas de changement dans les relevés, entre autres, de température, d'humidité, de pression de l'air ou de direction/force du vent.

Chapitre II :

IOT (internet

des objets)

II.1 Introduction :

A la lumière du développement continu des technologies de l'information et de la communication, le système Internet des Objets est un système en pleine croissance, présent aussi bien dans la vie domestique que dans l'industrie, le commerce, l'agriculture...etc. Il travaille à améliorer et automatiser les processus, améliorer compréhension des besoins, servir les clients et faciliter la prise de décision. En bref, l'Internet des objets représente un progrès dans la vie quotidienne et améliore les affaires.

II.2 Qu'est-ce que l'Internet des objets ?

L'Internet des objets, ou IdO, est un système d'appareils informatiques interconnectés qui peuvent collecter et transférer des données sur un réseau sans fil sans intervention humaine.

Il ne s'agit pas seulement des ordinateurs portables et des smartphones : presque tout appareil qui dispose d'un interrupteur peut potentiellement se connecter à Internet, ce qui en fait un composant de l'IdO. Par exemple, un (objet) dans l'Internet des objets pourrait être une personne portant un implant de surveillance cardiaque, une caméra diffusant des images en direct d'animaux sauvages dans les eaux côtières, ou une voiture avec des capteurs intégrés pour avertir le conducteur des risques. Essentiellement, tout objet auquel on peut attribuer une adresse IP (Internet Protocol) et qui peut transférer des données sur un réseau peut faire partie de l'Internet des objets [16].

Selon l'UIT (Union Internationale des Télécommunications), l'Internet des Objets est défini comme « une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution » [17].

II.3 Les composants d'un système IOT :

Un système IOT assemble de nombreux acteurs et composants technologiques. Il est composé d'objets connectés, de réseaux de communication sans fil, de plateformes de collecte, d'hébergement et de traitement des données (voir Figure 15) [17].

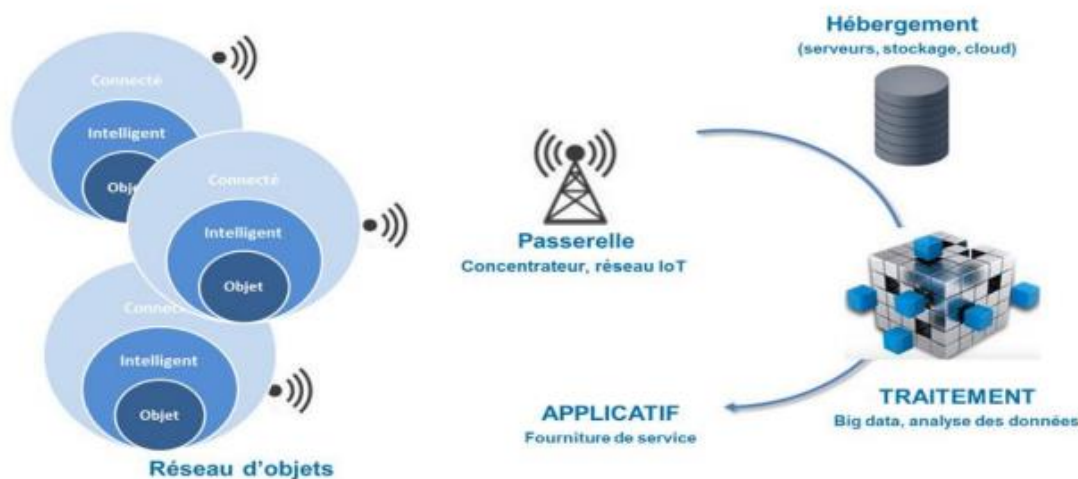


Figure II.15 : Système d'Internet des Objets.

II.3.1. Les objets connectés :

L'objet connecté est d'abord un objet qui a une fonction mécanique et/ou électrique propre, il peut soit être conçu directement « connectable », soit il est déjà existant et la connectivité est rajoutée à posteriori. [4] L'objet connecté a pour fonction de collecter des données de capteurs, de traiter ces données et de les communiquer à l'aide d'une fonction de connectivité et de recevoir des instructions pour exécuter une action avec les actionneurs. Généralement les fonctions d'un objet connecté nécessitent une source d'énergie, surtout quand les données sont prétraitées directement dans l'objet [17].

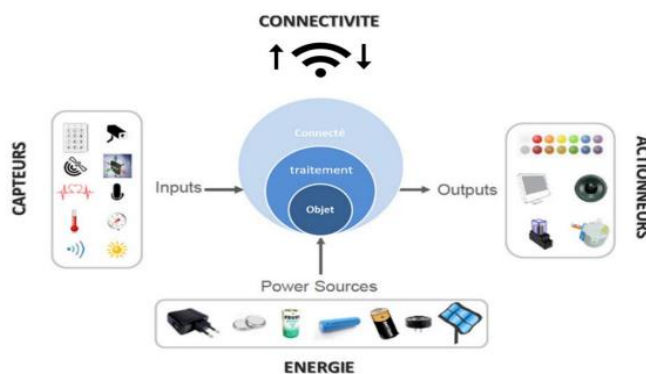


Figure II.16 : Objet Connecté [17].

Pour assurer le fonctionnement d'un objet connecté nous avons besoin des composants suivants :

II.3.1.1 Les capteurs [17] :

Les capteurs sont des dispositifs permettant de transformer une grandeur physique observée (température, luminosité, mouvement etc...) en une grandeur digitale utilisable par des logiciels.

Il existe une très grande variété de capteurs de tous types, les objets connectés ont souvent la fonction de


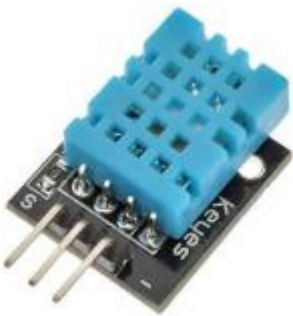


Captation de ces grandeurs physiques sur leurs lieux d'utilisation [voir Tableau 1].

Il existe trois types de capteurs, classifié selon leurs sorties :

- **Numérique** dont la sortie est une valeur binaire.
- **Logique** (Tout ou rien) dont la sortie n'a que deux états électriques, soit Haut (1) soit Bas (0), qui est un cas spécial du type numérique.
- **Analogique** dont la sortie est un signal continu et proportionnel à la valeur mesurée.

Exemples de capteurs : Le Tableau 1 montre des exemples de capteurs.

Tableau II.2 : Les différents types de capteurs [17].





			
Capteur de luminosité (LDR)	Capteur de température et d'humidité	Capteur de flamme	Capteur des obstacles

II.3.1.2 Les sources d'énergie [17] :

Les sources d'énergie sont de quatre types :

- Alimentation filaire pour les objets ayant accès à une prise de courant.
- Piles ou batteries pour ceux qui n'y ont pas accès ou de manière occasionnelle (recharge).
- Capteurs d'énergie (photovoltaïque, thermoélectrique, ...) comme les panneaux solaires pour rallonger la durée de vie des objets à très faible consommation.
- Objets passifs sans piles qui sont alimentés par les ondes électromagnétique des lecteurs (RFID (Figure 3), NFC...).

Tableau II.3 : Sources d'énergie [17].

			
Prise de courant	Pile 9V	Batterie	Panneaux solaire







**Figure II.16 : Carte RFID [17].****II.3.1.3 Le module de connectivité [17] :**

La connectivité de l'objet est assurée par une petite antenne Radio Fréquence qui va permettre la communication de l'objet vers un ou plusieurs réseaux.

Les objets pourront d'une part remonter des informations telles que leur identité, leur état, ou les données de capteurs, et d'autre part recevoir des informations telles que des commandes d'action et des données.

Le tableau 4 montre quelques exemples de modules de connectivité :

Tableau II.4 : Modules de connectivité.

			
Module WIFI	Module Bluetooth HC-05	Module Ethernet	Module GSM
			
Module ZigBee Digi xk z11 [18]	Module IrDA board [19]		

II.3.1.4 Les actionneurs [17] :

Les actionneurs sont des dispositifs qui transforment une donnée digitale en phénomène physique pour créer une action, ils sont en quelque sorte l'inverse du capteur.

Parmi les exemples d'actionneurs, on cite : Moteurs, Haut-parleurs, Afficheurs, Interrupteurs, Lampes, Pompes, Serrures, Vannes, Ventilateur, Vérins. Le tableau 5 montre quelques actionneurs.

Tableau II.5 : Actionneurs [17].

			
Servo motor	Haut-parleurs	Afficheurs LCD	LED

II.3.2 Les plateformes de développement d'IOT [17] :

La plateforme IOT est une plateforme technique qui permet de collecter les données, surveiller et superviser les objets connectés. La plateforme logicielle IOT embarque une intelligence qui offre de multiples possibilités. Les mesures peuvent être stockées dans l'objectif de créer une historisation permettant la prédiction. La plateforme IOT communique avec différentes plateformes de services qui délivrent un service digital à l'utilisateur final restituant les données collectées des objets, permettant des actions de pilotage et apportant une couche d'intelligence (alertes, conseils, ...).

C'est une composante essentielle d'un vaste IOT qui soutient et relie toutes les composantes le système apparaît à la (Figure 7). Une plateforme IOT est une technologie qui permet un approvisionnement simple, la gestion et l'automatisation des appareils connectés Internet des objets univers. Il relie principalement le matériel, si divers, au nuage en utilisant résiliente les options de connectivité, les mécanismes de sécurité d'entreprise, et de vastes pouvoirs de traitement des données.

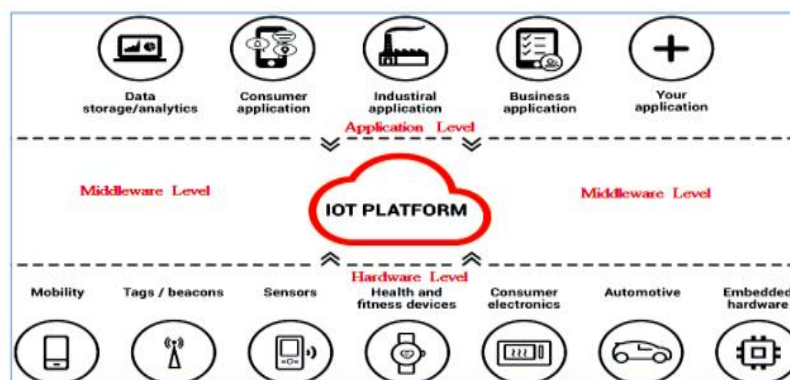


Figure II.17 : Plateforme IOT [17].

Parmi ces plateformes d'IOT, nous citons :

II.3.2.1 Google Cloud Plateforme :

Google Cloud Plateforme est une plateforme de « Cloud Computing » fournie par Google, proposant un hébergement sur la même infrastructure que celle que Google utilise en interne pour des produits tels que son moteur de recherche. Produits permettant de construire une gamme de programmes allant de simples sites web à des applications complexes [17].

II.3.2.2 Cisco IOT Plateforme :

La plate-forme Cisco IOT fournit des solutions simples et sécurisées pour l'IOT avec une connectivité réseau, l'analyse des données, l'activation, la gestion et

l'automatisation des applications. Il promet une plate-forme sécurisée pour connecter efficacement des millions d'appareils de différentes zones géographiques.

Il peut prendre en charge l'automatisation industrielle, la gestion de l'énergie, la ville intelligente et le système de transport [17].

II.3.2.3 Samsung ARTIK Plateforme :

Samsung a récemment lancé sa solution de développement pour les applications Internet des objets. Il fournit une large gamme de modules pour se connecter aux produits IOT, des simples capteurs aux concentrateurs complexes.

La solution miniaturisée pour de multiples applications est l'une des principales fonctionnalités des modules ARTIK [17].

II.4 L'évolution de l'IOT [20] :

L'Internet des Objets a connu un développement rapide depuis les 50 dernières années jusqu'à nos jours à travers différentes étapes, que nous expliquons dans les éléments suivants :

Années 1980 : début de l'informatique embarquée et persuasive ;

Début des années 1980 : première machine connectée à internet (machine à coca-cola) ;

1980-1990 : début du développement des tags RFID ;

Années 1990 : démarrage du réseau de capteurs sans fil ;

1993 : système de positionnement global ;

1998 : introduction du terme IOT par Kevin Ashton ;

1999 : grande année de l'IOT (devenu populaire auprès du milieu universitaire et de l'industrie) ;

2000 : premier appareil IOT (réfrigérateur de LG) ;

2003-2004 : utilisation massive de la RFID ;

2005 : premier article dans IOT, Wireless Sensor Network, Cloud Computing ; web 2.0, basse consommation énergétique ;

2006 : la première conférence européenne IOT ;

2008 : la première architecture IOT est présentée ;

2010 : la chine considérée comme IOT devient une industrie clé en chine,

le nombre d'appareils IOT est passé à 12,5 milliards ;

2011 : Ipv6 est lancé et accompagne le développement de l'IOT ;

2012 : utiliser l'informatique mobile ;

2013 : la plupart des plateformes IOT connues sont lancées,

Le groupe IOT a été créé par la société Intel ;

2015 : introduction de l'IOT os(brillo) par google

2016 : les appareils IOT ont atteint 17,68 milliards ;

2017 : utilisation de l'analyse prédictive en IOT ;

2018 : les appareils IOT ont atteint 23,14 milliards ;

2020 : les appareils IOT atteignent 30,73 milliards ;

2025 : les appareils IOT connectés devraient atteindre 75,44 milliards ;

2030 : internet des objets vidéo (le nombre de caméras dans le monde serait compris entre 10 et 100 milliards) [20].

II.5. Les domaines d'application [17] :

L'IOT permet le développement de plusieurs applications intelligentes qui touchent essentiellement : la domotique, les villes, le transport, la santé et l'industrie, etc.

Dans ce qui suit, nous citons brièvement des exemples de domaines d'applications d'IOT.

II.5.1. La domotique [17] :

L'un des domaines d'application de l'IOT les plus intéressants concerne la mise des équipements domestiques sur réseau. Cela permet d'abord d'avoir un contrôle global des différents équipements techniques d'une maison depuis une même interface (une tablette ou un téléphone par exemple), mais aussi, il offre la possibilité de contrôler à distance ces équipements via la mise à disposition d'API sur le web

II.5.1.1 La maison intelligente [17] :

Le terme « maison intelligente » signifie un paradigme qui se positionne en successeur de la domotique, bénéficiant des avancées en informatique ubiquitaire que l'on dénomme aussi l'informatique ambiante, intégrant notamment l'internet des objets. Outre la dimension dominante de l'informatique, la maison intelligente telle que représentée dans les années 2010 se veut également plus centrée sur l'utilisateur.

Le principe de fonctionnement d'une maison intelligente consiste à centraliser le contrôle commande. À la différence d'une installation électrique classique, les circuits de commande et de puissance sont séparés. Il devient ainsi possible d'établir des liens entre les organes de commande et les récepteurs d'ordres, qui appartiennent habituellement à des sous-systèmes indépendants.



Figure II.18 : Maison intelligente [17].

Exemple des maisons intelligentes [17] :

- **Xiaomi** : La solution Aqara-Home Security de Xiaomi est une des plus accessibles sur le marché. Son installation est plutôt simple : branchement de la centrale (de petite taille) sur une prise électrique et téléchargement de l'application mobile. De plus, en téléchargeant l'application Mi4ever, il est possible de paramétrer la langue en français. Les services sont ensuite multiples : sécurisation des entrées, détecteur de mouvement, humidificateur. Le magique Cube (Aquara Cube) fait aussi partie de l'ensemble et permet de relier les appareils (TV, lampes).



Figure II.19 : Solution domotique Smart Home de Xiaomi [17].

- **Samsung** : Samsung a su s'imposer sur le marché avec son nouveau Smart Home Protocol. Cette plateforme permet, grâce au cloud, de relier les objets connectés au moyen d'une application. Elle permet de faire fonctionner tous les appareils, quelle que soit leur application d'origine. Trois services sont proposés : le Smart Home Protocol propose un « Home View » pour surveiller sa maison lorsqu'on part à l'étranger, le Smart Customer Service permet d'identifier rapidement les objets connectés qui dysfonctionnent et le Device Control permet de piloter les appareils à distance en lançant des commandes communes.



Figure II.20 : Maison intelligente Samsung [17].

II.5.1.2 Les villes intelligentes [17] :

Le champ d'application de l'IOT s'étale pour toucher les villes (Smart Cities), l'IOT permettra une meilleure gestion de tous les réseaux qui alimentent ces villes intelligentes (eaux, électricité, gaz, etc.). Des capteurs peuvent être utilisés pour améliorer la gestion des parkings et du trac urbain, diminuer les embouteillages et les émissions en CO₂.

Exemple réel de villes intelligente [17] : Capitale de la Norvège, Oslo repense son aménagement urbain, davantage tourné vers le développement durable. La ville verte, Oslo utilise la digitalisation et les nouvelles technologies pour améliorer le quotidien de ses habitants (éclairages intelligents, application pour la sécurité des enfants...).

II.5.1.3 La santé [17] :

L'Internet des Objets a le potentiel de transformer les soins de santé, en changeant en profondeur la manière dont les hôpitaux, les cliniques et d'autres établissements de soins collectent et utilisent des données en réunissant les principales tendances techniques et commerciales liées à la mobilité, l'automatisation et l'analyse de données pour améliorer la prestation de soins aux patients. L'IOT consiste en la mise en réseau d'objets physiques tels que des capteurs embarqués, des actionneurs et d'autres équipements qui collectent et transmettent des informations sur l'activité en temps réel au travers du réseau. Les données recueillies auprès de ces appareils peuvent ensuite être analysées par l'organisation pour :

- Améliorer les soins aux patients, en offrant des prestations de soins nouvelles ou améliorées et des services pour permettre aux organismes de santé gérant des données de se différencier de la concurrence.
- Optimiser les processus, en développant de nouveaux services et solutions qui augmentent l'efficacité et réduisent les coûts d'exploitation.
- En savoir plus sur les besoins et les préférences des patients, permettant aux organismes de santé d'offrir de meilleurs soins et une expérience de soins personnalisée.
- Rendre les réseaux des hôpitaux plus intelligents, en surveillant de manière proactive l'infrastructure critique et en automatisant le déploiement et la gestion de l'infrastructure informatique.



Figure II.21 : L'IOT dans le domaine de la santé [17].

II.5.1.4 Les transports [17] :

Depuis la création de l'IOT en 1999, le nombre des véhicules intelligents sont en croissance, presque tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment déjà des capteurs et de moyens de communication pour traiter la congestion du trafic, la sécurité, la pollution et le transport efficace des marchandises, etc.

L'objectif est qu'une voiture soit capable de communiquer de façon autonome avec d'autres véhicules ou une centrale de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance.

Des applications Smartphone (comme Waze) sont déjà très répandues dans le monde pour avertir les usagers de l'application en temps réel sur la présence d'un radar de vitesse mobile, d'accidents ou de ralentissement sur les autoroutes voire de proposer un itinéraire plus rapide à l'aide de Google Maps. Certaines voitures sont également équipées de la fonction appel SOS.

II.6 Les avantages des réseaux des capteurs dans l'IOT [21] :

Voici les avantages des réseaux des capteurs WSN (Wireless Sensor Network) :

- Il est évolutif et peut donc accueillir de nouveaux nœuds ou appareils à tout moment ;
- Il est flexible et donc ouvert aux partitions physiques ;
- Tous les nœuds WSN sont accessibles via un système de surveillance centralisé ;
- Comme il est de nature sans fil, il ne nécessite ni fils ni câbles ;
- Les WSN peuvent être appliqués à grande échelle et dans divers domaines tels que les mines, la santé, la surveillance, l'agriculture, etc ;
- Il utilise différents algorithmes de sécurité selon les technologies sans fil sous-jacentes et fournit donc un réseau fiable aux consommateurs ou aux utilisateurs.

II.7 Les Protocoles de communication pour l'IOT [17] :

Plusieurs protocoles de communication peuvent être utilisés pour le développement des systèmes d'IOT, tels que :

II.7.1 Le Protocole MQTT [17] :

Le MQTT signifie « Message Queuing Telemetry Transport ». Il a été créé en 1999 par Andrew Stanford-Clark, employé d'IBM, et Arlen Nipper. Ayant un rôle important dans l'Internet des objets, le MQTT est un protocole standardisé reposant sur TCP/IP qui permet à des clients de publier et/ou de s'abonner à des informations. Ces clients communiquent avec un serveur « broker » ; c'est un programme en charge de la réception des informations publiées afin de la transmettre aux clients abonnés.

Un processus MQTT se divise en quatre étapes distinctes : connexion, authentification, communication, terminaison. Il est conçu pour être léger et n'utilise qu'une bande passante réseau faible ; le chiffrement via TLS/SSL est une de ses caractéristiques.

Il permet la gestion des déconnexions et des reconnexions de manière simplifiée, le rendant ainsi utile pour les connexions instables. La taille maximale de la charge utile d'un message est de 256 Mo.

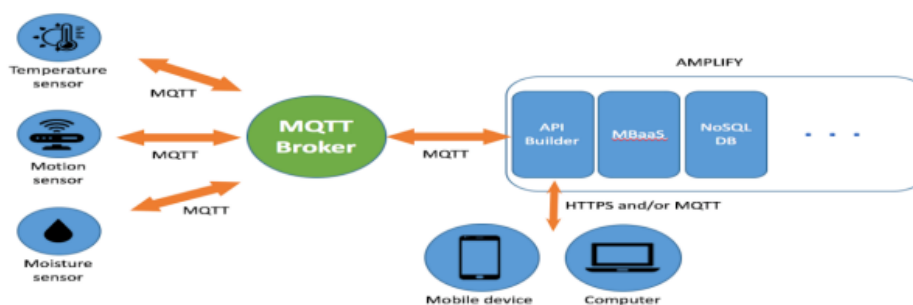


Figure II.22 : MQTT dans un réseau IOT [17].

II.7.2 Le Protocole AMQP [17] :

AMQP signifie ‘Advanced Message Queuing Protocol’, est un protocole de messagerie qui est une solution alternative aux produits payants MOM (Message-Oriented Middleware), ce qui présente un énorme frein dans le monde de l’IOT.

Le fonctionnement du protocole AMQP est basé sur le même principe que celui de MQTT, toutefois la notion de client-serveur (Publish/subscribe) est remplacée par celle de producteur / consommateur (Producer/Consumer). En outre, grâce à un mécanisme interne noté « exchange », AMQP permet de router un message d’un producteur vers plusieurs topics. Les critères de routage peuvent se faire de plusieurs façons ; inspection du contenu, de l’entête, clés de routage, etc. Ainsi, un même message peut être consommé par différents consommateurs via plusieurs topics.

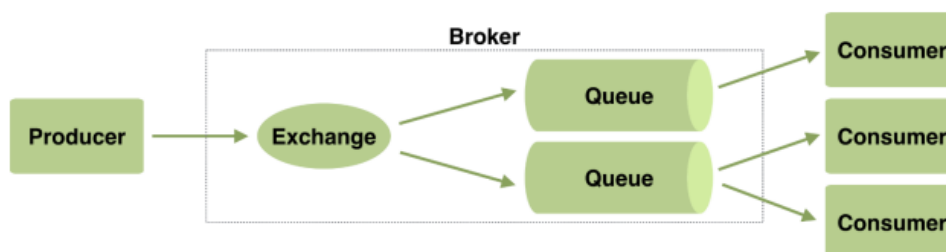


Figure II.23 : Fonctionnement du protocole AMQP [17].

II.7.3 Le Protocole CoAP [17] :

CoAP (Constrained Application Protocol) est un protocole de transfert Web optimisé pour les périphériques et réseaux contraints utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil pour former l’Internet des objets. Il permet de manipuler au travers d’un modèle d’interaction client-serveur les ressources des objets communicants et capteurs identifiées par des URI en s’appuyant sur l’échange de requêtes-réponses et méthodes similaires au protocole http.

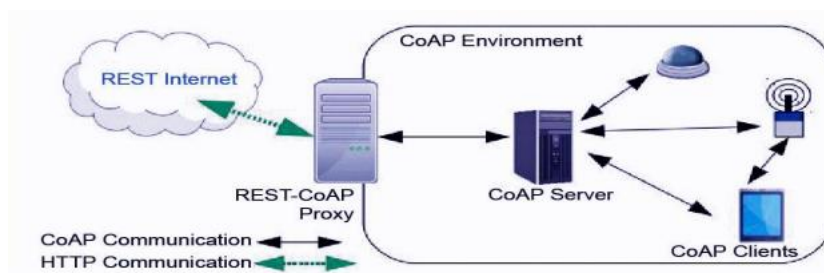


Figure II.24 : Protocole CoAP [17].

II.8. Les protocoles de communication : (Avantages et inconvénients) :

On va préciser les avantages et désavantages de chacune des protocoles précédents respectivement :

Le protocole MQTT [22] :

Tableau II.6 : les avantages et les inconvénients de protocole MQTT [22].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Il est capable de diffuser plusieurs à plusieurs ; • Prend en charge la file d'attente de messagerie de publication-abonnement ; • Ce protocole est léger et offre une transmission de données efficace ; • MQTT offre une bande passante réseau réduite en communication. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le nombre de fois que les appareils peuvent être mis en veille est limité. Dans les cas où l'appareil dort davantage, MQTT-S, qui fonctionne avec UDP au lieu de TCP, doit être utilisé ; • Il n'y a pas de cryptage dans le protocole de base ; • Toute sécurité personnalisée au niveau de l'application est difficile et nécessitera un travail important.

Le protocole AMQP [23] :

Tableau II.7 : les avantages et les inconvénients de protocole AMQP [23].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilité ; • Sécurité ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Exigences élevées en matière de mémoire ;

<ul style="list-style-type: none"> • Prise en charge de différents modèles de messagerie (publication-abonnement, stockage et retransmission et files d'attente de messagerie classiques) ; • Extensibilité avec un minimum d'effort. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission de données lente en raison de la grande taille des messages.
---	---

Le protocole CoAP [22] :

Tableau II.8 : les avantages et les inconvénients de protocole CoAP [22].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • La taille de paquet utilisée est très petite, maximisant ainsi l'utilisation de l'efficacité de la mémoire et permettant une communication plus rapide ; • Comme il fonctionne sur UDP, les appareils peuvent dormir pendant de longues périodes et se réveiller rapidement. Cela permet à son tour d'économiser la batterie et d'optimiser la consommation d'énergie ; • CoAP permet des échanges de messages asynchrones ; • Les nœuds capteurs peuvent envoyer leurs messages à un groupe de multidiffusion ; • Offre des fonctionnalités simples de proxy et de mise en cache. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il s'agit d'un protocole un à un, et les capacités de diffusion ne sont pas inhérentes au protocole ; • La file d'attente des messages de publication-abonnement fait défaut ; • Ce n'est pas un protocole crypté. • Dans le cas d'appareils de traduction d'adresses réseau utilisés, CoAP peut avoir des problèmes car l'adresse IP peut être une adresse IP dynamique ; • CoAP est également une norme en évolution et en maturation.

II.9. La sécurité dans l'IOT [24] :

II.9.1 Qu'est-ce que la sécurité IOT [24] ?

La sécurité IOT fait référence aux méthodes de protection utilisées pour sécuriser les appareils connectés à Internet ou basés sur un réseau. Le terme IOT est incroyablement large, et comme la technologie continue d'évoluer, le terme ne fait que s'élargir. Des montres aux

thermostats en passant par les consoles de jeux vidéo, presque tous les appareils technologiques ont la capacité d'interagir avec l'internet ou d'autres appareils, d'une manière ou d'une autre.

La sécurité de l'IOT va rassembler les stratégies et outils utilisés pour protéger ces appareils contre toute attaque. Ironiquement, c'est la connectivité inhérente à l'IOT qui rend ces appareils vulnérables aux cyberattaques.

II.9.2 Comment protéger les données de l'IOT [24] ?

II .9.2.1 La sécurité IOT lors de la phase de conception [24] :

Parmi les problèmes de sécurité de l'IOT évoqués, la plupart peuvent être surmontés par une meilleure préparation, notamment lors du processus de recherche et de développement de tout dispositif IOT destiné aux consommateurs, aux entreprises ou aux industries. L'activation de la sécurité par défaut est essentielle, tout comme la fourniture des systèmes d'exploitation les plus récents et l'utilisation de matériel sécurisé.

Les développeurs IOT doivent être attentifs aux vulnérabilités en matière de cyber sécurité à chaque étape du développement, et pas seulement à la phase de conception. Le piratage de la clé de voiture, par exemple, peut être atténué en plaçant le FOB dans une boîte métallique, ou loin des fenêtres et des couloirs.

II.9.2.2 ICP et certificats numériques [24] :

L'ICP est un excellent moyen de sécuriser les connexions client-serveur entre plusieurs appareils en réseau. Grâce à un système de cryptage asymétrique à deux clés, l'ICP est en mesure de faciliter le cryptage et le décryptage des messages privés et des interactions à l'aide de certificats numériques. Ces systèmes permettent de protéger les informations que les utilisateurs saisissent sur les sites web pour effectuer des transactions privées. Le commerce électronique ne pourrait pas fonctionner sans la sécurité de l'ICP.

II.9.2.3 Sécurité des réseaux [24] :

Les réseaux offrent une énorme opportunité de contrôle à distance d'appareils IOT, et donc une menace pour les détenteurs de ces appareils. Étant donné que les réseaux comportent des composants numériques et physiques, la sécurité IOT sur site doit porter sur les deux types de points d'accès.

La protection d'un réseau IOT consiste notamment à assurer la sécurité des ports, à désactiver la redirection des ports et à ne jamais ouvrir de ports lorsque cela n'est pas nécessaire, à utiliser des antimalwares, des pare-feu et des systèmes de détection et

prévention des intrusions, à bloquer les adresses IP (Internet Protocol) non autorisées et à s'assurer que les systèmes sont patchés et à jour.

II.9.2.4 Sécurité des API [24] :

Les API sont l'épine dorsale de la plupart des sites web sophistiqués. Elles permettent aux agences de voyage, par exemple, de regrouper les informations sur les vols de plusieurs compagnies aériennes en un seul endroit. Malheureusement, les pirates peuvent compromettre ces canaux de communication, ce qui rend la sécurité des API nécessaire pour protéger l'intégrité des données envoyées par les appareils IOT aux systèmes dorsaux et pour s'assurer que seuls les appareils, développeurs et applications autorisés communiquent avec les API. La violation de données de T-Mobile en 2018 est un parfait exemple des conséquences d'une mauvaise sécurité des API. En raison d'une "fuite d'API", le géant de la téléphonie mobile a exposé les données personnelles de plus de 2 millions de clients, notamment les codes postaux de facturation, les numéros de téléphone et les numéros de compte, entre autres données.

Pour conclure, avec le développement massif des objets connectés, le vol de données risque de se répandre de plus en plus, et c'est au constructeur le premier que va incomber le renforcement des protocoles de sécurité. Mais on peut également responsabiliser l'utilisateur pour qu'il connaisse les risques à passer par de tels objets. Des conseils simples à mettre en place permettent déjà de minimiser les risques. Pensez à bien faire les mises à jour de firmwares, sécurisez votre réseau, modifiez vos mots de passe par défaut.

II.10. Conclusion :

Enfin, l'Internet des objets a acquis une importance fondamentale dans le paysage des technologies qui façonneront demain. Dans le monde à venir, avec l'exacerbation des crises environnementales en cours, en particulier les incendies de forêt, on espère que leur impact sur la nature pourra être réduit et réduit grâce à des mécanismes plus améliorés de l'Internet des objets, qui sont actuellement déployés et largement utilisés. Cependant, des efforts complémentaires importants sont nécessaires pour évaluer que cette réduction compensera effectivement globalement l'impact environnemental de la production, du déploiement et de la maintenance de ces mécanismes IOT, tout au long de leur cycle de vie.

Chapitre III :

Mode de

Fonctionnement

et caractéristique des outils et

matériels utilisés dans ce

systeme.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la technologie Arduino, nous allons d'abord commencer par une présentation générale des cartes Arduino en détaillant la carte Arduino UNO, en suite nous allons présenter l'IDE Arduino et expliquer les étapes de téléversement d'un programme sur une carte, en finissant par une présentation de quelques cartes d'interfaces.

III.2 Présentation générale des cartes Arduino

Il existe plusieurs types de cartes Arduino, qui sont des cartes électroniques préprogrammées permettant de réaliser une grande variété de tâches. Chacune de ces cartes utilise un microcontrôleur, qui est un ordinateur complet intégré sur une puce unique. Cependant, la puissance de calcul de ce microcontrôleur est au moins cent fois moins élevée que celle d'un ordinateur classique actuel.

Les cartes Arduino sont constituées d'un ensemble de composants indispensables à leur fonctionnement et à leur communication avec d'autres dispositifs. Elles comprennent notamment un microcontrôleur programmable, une horloge, des connecteurs d'alimentation pour alimenter les cartes et les modules externes, ainsi qu'un ensemble d'entrées/sorties numériques et d'entrées analogiques permettant de connecter des modules externes.

Parmi les entrées/sorties numériques, certaines peuvent être utilisées comme sorties analogiques, également appelées sorties PWM (Pulse Width Modulation) ou MLI (Modulation de Largeur d'Impulsions), et sont repérées sur les cartes par le symbole \sim . Les cartes Arduino disposent également de ports de communication pour permettre l'échange de données avec d'autres dispositifs.

III.3 Les différents types de carte Arduino

Comme mentionné précédemment, il existe plusieurs types de cartes Arduino, qui partagent une grande partie de leurs composants, mais qui diffèrent par leurs caractéristiques. Ces différences se manifestent notamment par le type de microcontrôleur utilisé, le nombre d'entrées/sorties, la fréquence d'horloge, la taille de la carte et d'autres options.

Il y a trois types de cartes :

- « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Projects
- « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par Smart Projects, mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles.

- « autres » fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...).

Les différentes cartes : on commence par la plus utilisée,

III.3.1.1 Carte Uno : c'est la carte base de l'Arduino, elle est simple à utiliser.



Figure III.1 Carte Arduino Uno

III.3.1.2 La carte arduino Méga : C'est une carte arduino officiel mais avec beaucoup plus d'entrées / sorties et deux fois plus de mémoire qu'une carte arduino UNO. Elle contient :

- 54 entrées/ sorties numériques
- 16 entrées analogiques
- 256 ko de mémoire flash
- 6 interruptions extérieures



Figure III.2 Carte Arduino Méga.

III.3.1.3 Arduino Esplora :

La carte Esplora est dérivée de la carte Arduino Leonardo et est basée sur un ATmega 32U4. Elle contient une implantation d'image elle est utilisée généralement dans les manettes de jeux (dimension : 6.1x16.51cm).

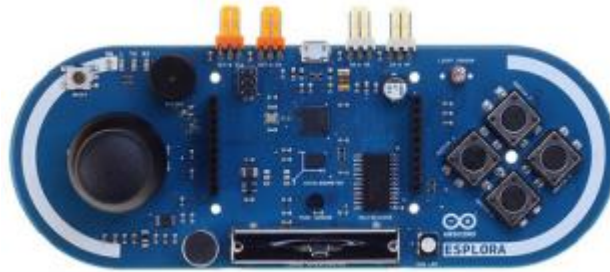


Figure III.3 Carte Arduino Esplora

III.3.1.4 La carte seduino :

C'est type arduino constituée de :

- AT méga 328p au format CMS avec des entrées analogique el plus A6 et A7
- Des portes 12c et série pour faciliter le câblage



Figure III.4 Carte searduino.

III.3.1.5 La carte Arduino pro (par Sparkfun) : Pour les circuits finit elle ne contient pas des ports USB juste le nécessaire pour fonctionner. Elle n'est pas chère, sa taille est réduite.



Figure III.5 Carte Arduino pro.

III.3.1.6 Carte arduino Blackwidow : Créé par Asynclabs, c'est une carte Arduino avec module wifi.



Figure III.6 Carte Arduino Blackwidow

III.3.1.7 Carte Rainbowduino : c'est une carte créés par Seedstudion, c'est une matrice 8x8 de LED.

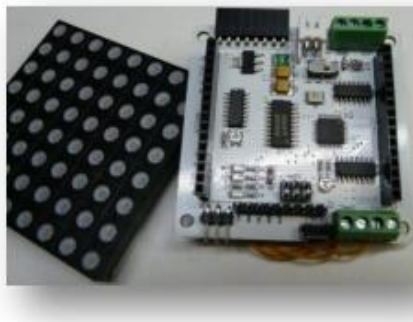


Figure III.7 Carte Rainbowduino.

❖ Les cartes dites compatible avec Arduino sont :

Teensy++ 2.0 (par PJRC) : Carte compatible (logiciel) avec Arduino.



Figure III.8 Carte teensy

III.3.1.8 Carte netduino : Elle ressemble à la forme classique d'arduino mais elle diffère de langage car elle utilise (C# ou V.net)



Figure III.9 Carte netduino

Dans la suite de ce chapitre, nous allons décrire en détail la carte Arduino UNO, qui sera utilisée tout au long de notre travail. Nous présenterons également les caractéristiques d'autres cartes Arduino pour donner une vue d'ensemble de la gamme proposée. En effet, le choix de la carte Arduino la plus appropriée dépendra de la nature et des exigences de chaque projet.

III.3.2 Carte Arduino UNO

Le système Arduino est une plateforme open-source de programmation électronique qui permet la conception de micro-ordinateurs capables de capturer et de contrôler efficacement des dispositifs du monde physique, dépassant ainsi les capacités d'un ordinateur de bureau classique. Cette plateforme est basée sur une carte à microcontrôleur facilement accessible, ainsi qu'un environnement de développement intégré permettant la rédaction, la compilation et le transfert de programmes vers la carte.



Figure III.10 Carte Arduino Uno

Arduino offre la possibilité de concevoir des objets interactifs en mesure de recevoir diverses entrées provenant d'interrupteurs ou de capteurs et de contrôler une variété de sorties matérielles telles que des lumières, des moteurs ou autres. Les projets Arduino peuvent être autonomes ou bien communiquer avec des logiciels exécutés sur un ordinateur. Les cartes électroniques peuvent être produites manuellement ou achetées pré-assemblées, tandis que le logiciel open-source de développement est facilement téléchargeable gratuitement. [1]

❖ III.3.2.1 Le Microcontrôleur :

Le microcontrôleur représente un composant électronique programmable qui est configuré à l'aide d'un ordinateur et d'un langage informatique spécifique au type de microcontrôleur utilisé. Cette programmation permet de personnaliser les fonctionnalités du microcontrôleur pour répondre aux exigences spécifiques de l'application. La Figure III.11 illustre le microcontrôleur en question.



Figure III.11 Microcontrôleur Atmega 328

Le microcontrôleur est un assemblage d'éléments fonctionnels qui remplissent des rôles spécifiques. Il est constitué des mêmes éléments que l'on retrouve sur une carte mère d'ordinateur, mais dans un espace restreint, sans écran, sans disque dur et sans lecteur de disque. Ainsi, le microcontrôleur peut être considéré comme un ordinateur compact. Dans le cadre de notre étude, nous présentons les éléments qui composent un microcontrôleur typique, en mettant en avant leur pertinence pour notre analyse.

- La mémoire elle en possède 4 types :

Le microcontrôleur est équipé de différents types de mémoire ayant des fonctions spécifiques.

La mémoire Flash : Est la zone de stockage pour le programme que vous créez et peut être effacée et réécrite, comme une clé USB.

La RAM : Est une mémoire volatile qui contient les variables de votre programme, mais qui est effacée lorsque l'alimentation du microcontrôleur est coupée.

L'EEPROM : Quant à elle, est la mémoire de stockage de données permanente du microcontrôleur, similaire à un disque dur, et conserve les informations même si la carte est arrêtée ou reprogrammée.

Les registres : Sont un type de mémoire utilisé par le processeur, tandis que la mémoire cache agit comme une liaison entre les registres

La RAM : Le processeur, également appelé CPU, est le composant principal du microcontrôleur et exécute le programme que vous lui soumettez.

❖ III.3.2.2 Alimentation

L'alimentation électrique de la carte s'effectue sous une tension de 5 volts, qui peut être fournie soit par la prise USB lorsqu'elle est connectée à un ordinateur comme illustré dans la Figure III.12, soit par un bloc secteur externe ayant une tension comprise entre 7 et 12 volts et une intensité de 1 Ampère via la prise jack standard. En outre, il est possible d'alimenter la carte à l'aide d'une pile 9 V.

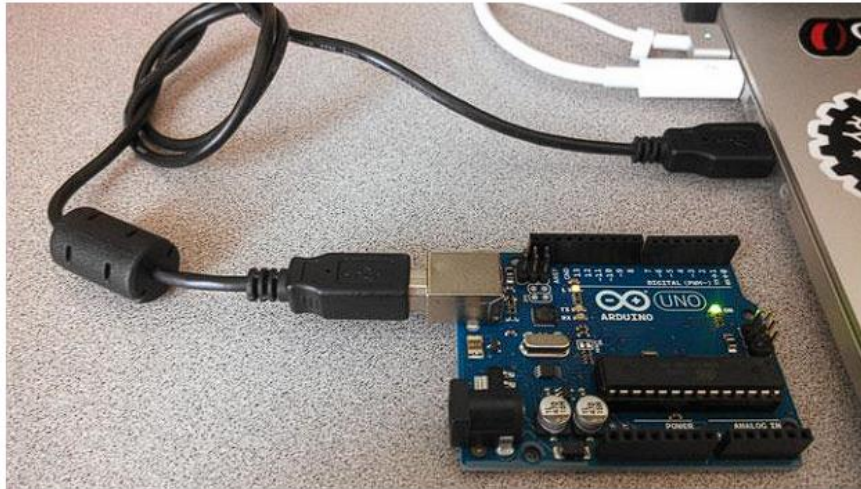


Figure III.12 Arduino avec alimentation sur l'ordinateur

❖ III.3.2.3 Les entrées/sorties

Ce sont les deux rangées de connecteurs de part et d'autre de la carte qui permettent sa connexion au monde extérieur.

* Les entrées/sorties numériques D0 à D13:

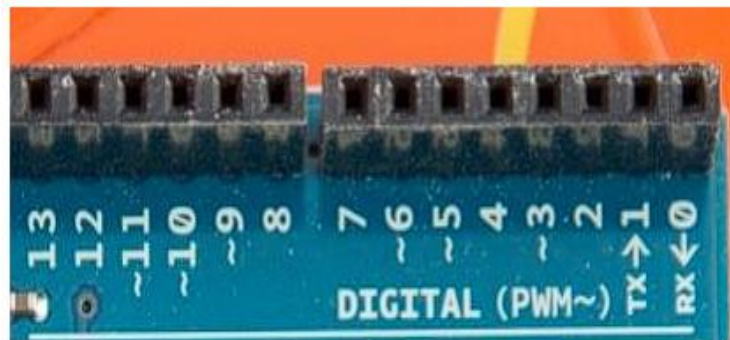


Figure III.13 Arduino digital broches

Chaque connecteur, allant de D0 à D13, peut être configuré dynamiquement par programmation pour être utilisé comme une entrée ou une sortie. Les signaux véhiculés par ces connecteurs sont des signaux logiques compatibles avec la norme TTL, ce qui signifie qu'ils peuvent uniquement prendre deux états : haut (5 volts) ou bas (0 volt). Toutefois, il convient de noter que les connecteurs D0 et D1, qui sont réservés pour la liaison série asynchrone via le port COM virtuel via le câble USB, ne peuvent être utilisés pour d'autres fonctions.

* Les entrées analogiques A0 à A5:



Figure III.14 Arduino analogue broches

Contrairement aux entrées/sorties numériques qui ne peuvent prendre que deux états (haut et bas), les six entrées analogiques peuvent par défaut accepter toute tension analogique dans une plage comprise entre 0 et 5 volts. [2]

❖ III.3.3 Avantages d'ARDUINO

Il existe de nombreux microcontrôleurs et plateformes basées sur des microcontrôleurs pour l'électronique programmée, chacun prenant en charge les détails compliqués de la programmation des microcontrôleurs et les intégrant dans une présentation facile à utiliser. Le système Arduino est une plateforme qui simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant plusieurs avantages pour les enseignants, les étudiants et les amateurs intéressés par d'autres systèmes [3]:

- **Coût abordable** : Les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparées à d'autres plateformes, et la moins chère des versions peut être assemblée à la main.
- **Multiplateforme** : Le logiciel Arduino, écrit en Java ou C, est compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- **Environnement de programmation simple et clair** : L'environnement de programmation Arduino est facile à utiliser pour les débutants tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent également en tirer profit. Les enseignants peuvent ainsi se baser sur cet environnement pour enseigner la programmation et les étudiants qui apprennent à programmer dans cet environnement seront déjà familiarisés avec l'aspect du logiciel Arduino.
- **Logiciel Open Source et extensible** : Le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponibles pour être complétés par des programmeurs expérimentés. Le langage peut être étendu à l'aide de bibliothèques C++, et les personnes qui veulent

comprendre les détails techniques peuvent reconstruire le passage du langage Arduino au langage C pour microcontrôleur AVR sur lequel il est basé. De même, il est possible d'ajouter du code du langage AVR-C directement dans les programmes Arduino si nécessaire.

- Matériel Open Source et extensible : Les cartes Arduino sont basées sur les microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, etc. Les concepteurs de circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dans le but de comprendre son fonctionnement et d'économiser de l'argent.

❖ III.3.4 Caractéristique du carte ARDUINO

Voici les spécifications principales du modèle le plus courant [4]:

- Matériel :

- La carte mesure 5,5 cm x 7 cm et a une épaisseur de 1,5 cm.
- Elle contient un microcontrôleur Atmel.
- Elle possède des connecteurs pour toutes les entrées et sorties numériques et/ou analogiques.
- Elle intègre des composants permettant l'utilisation du port USB pour la programmation et la communication.
- Elle a un connecteur USB de type B (standard carré).
- Elle est équipée d'un connecteur d'alimentation.

- Logiciel:

- Elle intègre un environnement de programmation unique comprenant un éditeur de code, un compilateur et un débogueur.
- Elle utilise le langage C/C++ avec des simplifications pour les débutants, compatible avec d'autres sources.
- Elle comprend des bibliothèques de code open source qui permettent d'étendre les fonctionnalités du microcontrôleur.

III.4. Le capteur DHT11 et DHT22

La principale source de chaleur à l'origine des incendies de forêt est le rayonnement solaire. Les combustibles exposés au soleil peuvent se réchauffer jusqu'à des températures très élevées, ce qui les rend très sensibles aux incendies, en particulier en période de sécheresse. En effet, la chaleur sèche facilite l'allumage et la propagation des flammes dans la végétation.

Le taux d'humidité de l'air ambiant est un facteur important qui conditionne la teneur en eau des combustibles. Il correspond au pourcentage de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à la capacité maximale qu'il peut contenir à une température donnée. Bien que cet indicateur n'agisse pas directement sur la propagation des incendies, il est un élément clé dans la prévention des départs de feu, car il peut influencer la capacité des combustibles à brûler.

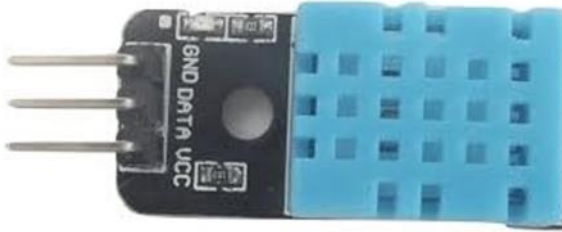


Figure III.15 Capteur de température et d'humidité DHT11



Figure III.16 Capteur de température et d'humidité DHT22

Pour mesurer ces paramètres environnementaux, il existe une variété de capteurs spécialisés disponibles sur le marché. Parmi eux, le capteur DHT11 et DHT22 est une option économique et polyvalente, capable de collecter à la fois les données de température et d'humidité. Ce capteur numérique de base peut être utilisé dans de nombreuses applications, y compris la surveillance de la météo, des habitats et des processus industriels. [5]

III.5 Anémomètre

Le vent est un facteur clé dans la propagation des incendies de forêt. En effet, il peut agir de différentes manières pour augmenter l'intensité et la vitesse de propagation du feu. Premièrement, en augmentant l'apport en oxygène, il alimente la combustion des combustibles. Deuxièmement, il peut assécher les combustibles en éliminant l'humidité. Troisièmement, en favorisant le réchauffement des combustibles à l'avant du feu, il crée des conditions favorables à l'allumage et à la propagation du feu. Quatrièmement, il peut influencer la direction de propagation du feu, en poussant les flammes dans une certaine direction. Enfin, le vent peut transporter les étincelles ou d'autres matières enflammées sur de grandes distances, ce qui peut causer de nouveaux départs de feu. [6]

Pour mesurer la vitesse du vent, nous avons choisi d'utiliser un capteur d'anémomètre. Ce dernier est une partie essentielle des stations météo et peut mesurer des vitesses de vent allant jusqu'à 70 m/s avec une résolution de 0,1 m/s. Cette plage de mesure est suffisante pour notre application de

détection des incendies de forêt. Le capteur d'anémomètre peut être facilement interfacé avec une carte Arduino pour fournir des données précises sur la vitesse du vent en m/s, qui peuvent être converties en km/h. Ce capteur est spécialement conçu pour une utilisation en extérieur et permet une mesure précise de la vitesse du vent dans des conditions météorologiques variables.

- Les caractéristiques techniques de l'anémomètre sont résumées :

- Hauteur (base au centre) : 105 mm / 4.1"
- Centre de la tasse : 102 mm / 4"
- Longueur du bras : 70 mm / 2,8"
- Poids : 111,8 g - Sortie : 0,4 V à 2 V
- Plage d'essai : 0,5 m/s à 50 m/s
- Vitesse du vent de départ : 0,2 m/s
- Résolution : 0,1 m/s
- Précision : Pire cas 1 mètre/s
- Vitesse maximale du vent : 70 m/s



Figure III.17 anémomètre

III.6 LCD

Les utilisateurs locaux peuvent visualiser les informations sur un écran connecté directement à l'Arduino. À cet effet, nous avons opté pour l'utilisation du module 1602 LCD SHIELD (compatible avec Arduino) illustré en figure.

Le module d'affichage 1602 LCD est un écran alphanumérique doté d'une résolution de 16 caractères sur 2 lignes. Il peut afficher des informations telles que la température, l'humidité, la vitesse du vent, etc. avec une grande précision et clarté. Ce module est facile à utiliser et peut être facilement connecté à un Arduino pour afficher les données collectées en temps réel.

En fournissant aux utilisateurs locaux un accès direct aux données collectées, ils peuvent mieux comprendre la situation sur le terrain et prendre des décisions éclairées pour la prévention et la lutte contre les incendies de forêt.



Figure III.18 1602 LCD SHIELD

III.7 Alimentation de la carte Arduino et des capteurs

Le module solaire est une solution pratique pour alimenter les nœuds déployés dans les zones forestières où l'accès aux lignes d'alimentation électrique est difficile. En effet, les nœuds de surveillance du risque d'incendie sont souvent placés dans des endroits reculés où il n'est pas possible de tirer des câbles d'alimentation. Dans ce contexte, le module solaire représente une alternative efficace pour fournir une alimentation stable aux nœuds. [7]

Le module solaire fonctionne en convertissant l'énergie solaire en électricité. Pendant la journée, le panneau solaire charge la batterie grâce à la lumière du soleil. L'électricité ainsi produite est stockée dans la batterie pour alimenter les nœuds de surveillance pendant la nuit ou par temps nuageux.

On présente les éléments du module solaire utilisés dans le système de surveillance du risque d'incendie en forêt. Le module solaire est conçu pour fonctionner de manière autonome, ce qui réduit les coûts d'installation et de maintenance du système de surveillance. En somme, le module solaire est un composant clé pour assurer une alimentation électrique fiable et durable dans les zones forestières isolées.

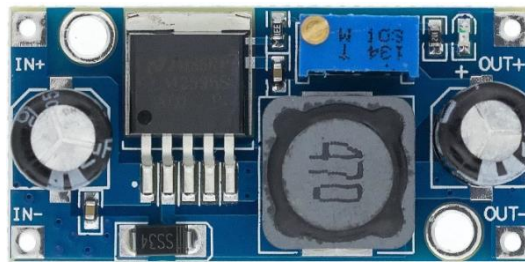


Figure III.19 adjustable Voltage regulator

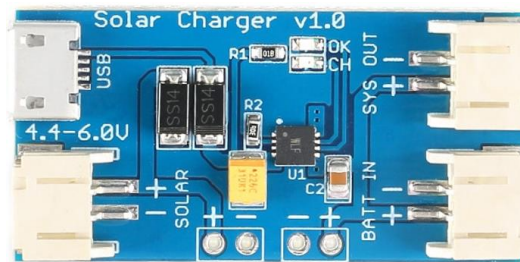


Figure III.20 Solar Lipo Charger



Figure III.21 Solar panel 20 W 6V

III.8 Monitoring server

Tous les visiteurs et utilisateurs ont la possibilité d'accéder aux données stockées dans le cloud depuis n'importe quel appareil connecté à Internet. L'objectif de ce projet consiste à intégrer la détection omniprésente et hétérogène, les objets intelligents, la sémantique, les mégadonnées et les technologies de cloud computing dans une plate-forme capable de gérer le processus de l'Internet des objets. Cette plate-forme permettra des itérations continues d'ingestion de données, de stockage de données, d'analyse, de génération de connaissances et de partage de ces connaissances, constituant ainsi la base de la fourniture de services d'information transfrontaliers. À cette fin, une base de

données et un site web ont été développés. Des données scientifiques peuvent également être ajoutées pour étayer l'importance de l'Internet des objets dans les domaines tels que la technologie, les soins de santé, l'agriculture, les villes intelligentes, etc.

Le serveur est conçu pour recevoir en temps réel les données provenant de différents nœuds distants, qui sont ensuite stockées dans une base de données hébergée sur le même serveur. Ces données peuvent être utilisées pour calculer le risque météorologique associé. La visualisation à distance des données est possible sous forme numérique ou graphique, en mode en ligne ou hors ligne.

Pour la mise en place du serveur, le package XAMPP est utilisé, comprenant Apache Server, MySQL (base de données), PHP (langage de script côté serveur), FileZilla FTP Server et Mercury Mail Transport System.

Des résultats expérimentaux ont été obtenus en testant en temps réel l'ensemble du système de surveillance des risques d'incendie de forêt. Tous les modules et composants ont été intégrés pour vérifier si le système fonctionne comme prévu. Le circuit utilisé pour les tests est présenté dans la figure.

Des données scientifiques peuvent également être ajoutées pour illustrer l'importance de la surveillance des risques d'incendie de forêt et l'impact potentiel sur l'environnement et les communautés locales.

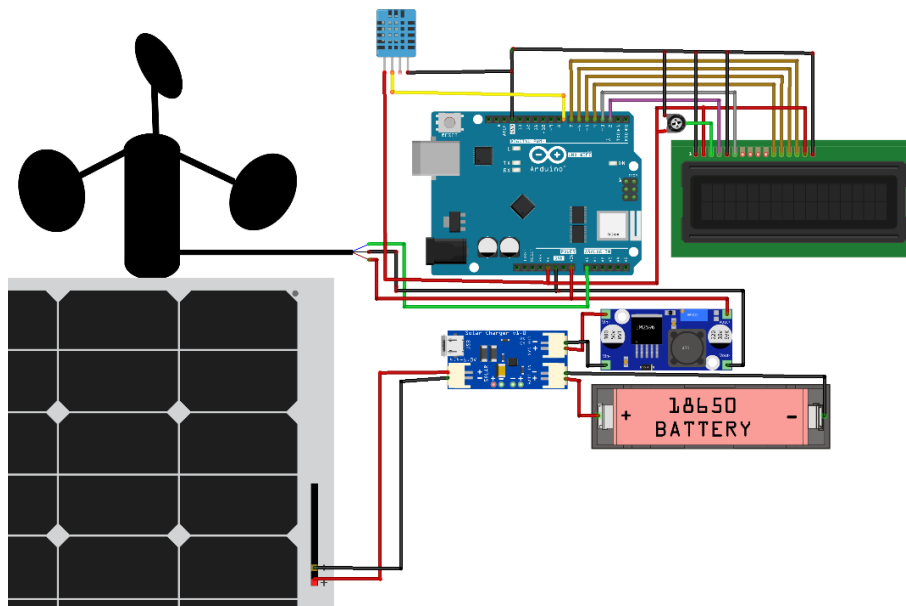


Figure III.22 Installer ET tester le système

La figure. Montre la page de réception des données en temps réel transmit par les nœuds. Elle permet leurs stockages automatiques dans la base de données.

III.9 Partie Logiciel (Software)

III.9.1 Arduino IDE

L'IDE Arduino est un logiciel open source largement utilisé pour écrire et compiler le code dans le module ARDUINO. Il offre une interface conviviale qui facilite la compilation de code, même pour les personnes n'ayant pas de connaissances techniques préalables. Ce logiciel est disponible sur divers systèmes d'exploitation tels que MAC, Windows et Linux, et fonctionne sur la plateforme Java.

L'environnement de développement intégré (IDE) d'Arduino se compose principalement de deux parties, l'éditeur et le compilateur. L'éditeur est utilisé pour écrire le code requis, tandis que le compilateur est utilisé pour compiler et télécharger le code dans le module ARDUINO. L'IDE Arduino prend en charge les langages C et C++ pour écrire des programmes.

Le processus de développement d'un programme Arduino commence par l'écriture d'un code sur l'interface de l'IDE, également appelé croquis. Ce croquis sera finalement compilé en un fichier hexadécimal, qui sera transféré et téléchargé dans le contrôleur de la carte. Le logiciel Arduino s'appelle un micrologiciel une fois qu'il est téléchargé dans la mémoire de l'Arduino.

L'IDE Arduino permet également de communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal ou moniteur série. Pendant le fonctionnement du programme en mémoire sur l'Arduino, il peut communiquer avec l'ordinateur tant que la connexion est active. En somme, l'IDE Arduino est un outil essentiel pour les développeurs qui souhaitent créer des programmes pour des projets électroniques à l'aide de la plateforme Arduino.

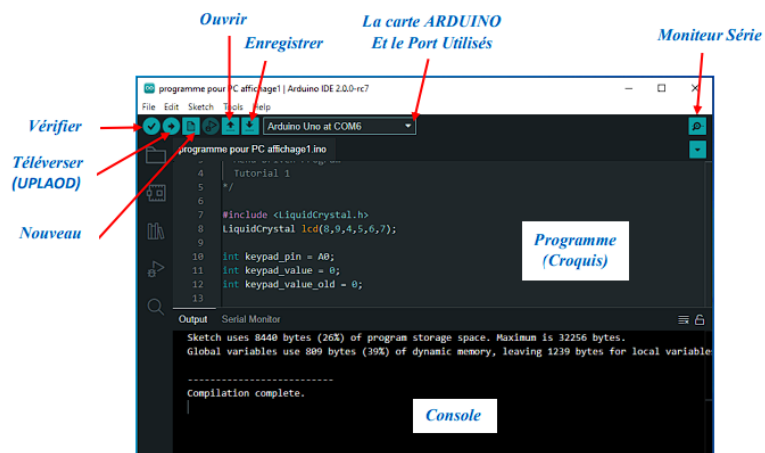


Figure III.23 : Logiciel Arduino IDE 2.0.0

III.9.2 Logiciel XAMPP

XAMPP est un logiciel open source qui fournit un environnement de serveur web pour exécuter des applications web sur des ordinateurs locaux. Il est disponible pour les systèmes d'exploitation Windows, Linux et macOS. Le package XAMPP comprend Apache Server, qui est un serveur web gratuit et open source largement utilisé pour héberger des sites web. Il est capable de gérer une grande quantité de trafic web et est hautement configurable.

En outre, XAMPP comprend également MySQL, une base de données relationnelle open source, qui permet de stocker et de gérer les données nécessaires aux applications web. MySQL est souvent utilisé avec PHP, un langage de script côté serveur, pour créer des applications web dynamiques et interactives.

XAMPP est également livré avec FileZilla FTP Server, qui permet aux utilisateurs de transférer des fichiers vers et depuis le serveur web à l'aide du protocole FTP (File Transfer Protocol). Enfin, le package comprend Mercury Mail Transport System, qui fournit un serveur de messagerie pour les applications web nécessitant une fonctionnalité de messagerie.

En résumé, XAMPP est un package logiciel complet pour les développeurs web qui fournit un serveur web, une base de données, un langage de script côté serveur, un serveur FTP et un serveur de messagerie pour exécuter des applications web sur des ordinateurs locaux.

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différents capteurs utilisés pour collecter des données environnementales telles que l'humidité relative, la température ambiante, l'humidité du sol, la vitesse du vent, etc. Ces capteurs sont gérés par des cartes Arduino qui permettent de collecter les données en temps réel et de les envoyer à une station de base pour analyse.

Dans le chapitre suivant, nous mettrons en pratique notre projet en utilisant les différents capteurs et en envoyant les données collectées à la station de base. Nous présenterons les résultats obtenus et leur analyse pour une meilleure compréhension de l'environnement et de la prévention des incendies de forêt.

Chapitre IV :

Conception et Réalisation

Pratique

IV.1 Introduction

Dans cette section, nous donnons une description détaillée de la solution choisie pour répondre aux spécifications de notre projet. Nous abordons la conception exacte de chaque composant du système afin d'obtenir une mise en page complète et précise.

Après l'étude menée au premier chapitre, nous avons conclu que plusieurs indicateurs affectent le risque d'incendie. Certains de ces indicateurs sont constants et sont liés à la nature de la forêt, tels que les indicateurs topographiques, l'activité humaine, le danger de l'essence et l'activité humaine. D'autre part, l'indicateur de risque météorologique joue un rôle important dans le déclenchement, la croissance et l'extinction des incendies de forêt, car les sécheresses créent des conditions très favorables aux incendies de forêt et les vents favorisent leur développement. Les conditions météorologiques peuvent accélérer la propagation des incendies et consommer davantage de terres. Cela peut également rendre la lutte contre l'incendie plus difficile. Ce type d'indicateur de risque est en constante évolution.

Les paramètres météorologiques les plus importants qui affectent le risque d'incendie sont la température, le taux d'humidité et, enfin, la vitesse du vent.

- a. **Température** : La température est l'un des trois côtés du triangle du feu susmentionné, de sorte que la température affecte le début des incendies de forêt. Les arbres et les débris végétaux au sol reçoivent de la chaleur du soleil, chauffent et sèchent. Plus la température est élevée, plus il est facile pour le carburant de s'enflammer et de brûler, ce qui accélère la propagation des incendies de forêt. Pour cette raison, les incendies de forêt se produisent souvent l'après-midi lorsque les températures sont les plus élevées.
- b. **Vent** : Le vent influence le comportement des feux de forêt et est également le facteur le plus imprévisible. Le vent fournit de l'oxygène supplémentaire au feu, assèche encore plus le matériau et permet au feu de se propager plus rapidement.

Le vent affecte non seulement la façon dont les incendies se déclenchent, mais les incendies eux-mêmes peuvent créer leurs propres modèles de vent et des conditions météorologiques. Les incendies de forêt importants et intenses peuvent créer des vents appelés tourbillons de feu. Un vortex de feu qui ressemble à une tornade est causé par la chaleur d'un incendie. Les tourbillons de feu sont connus pour souffler des bûches fumantes et des débris brûlants sur de grandes distances.

- c. **Humidité** : Le vent accélère la propagation du feu, mais l'humidité l'empêche. L'humidité (sous forme d'humidité ou de précipitations) peut ralentir la progression d'un incendie et réduire sa puissance. Si le matériau contient beaucoup d'humidité, l'humidité absorbera la chaleur du feu et rendra l'allumage difficile. Les incendies de forêt sont plus susceptibles de

se produire lorsque l'humidité est faible, ce qui signifie qu'il y a moins de vapeur d'eau dans l'air. Plus l'humidité est élevée, moins le matériau risque de se dessécher et de s'enflammer. Les précipitations ont un impact direct sur la prévention des incendies, car l'humidité peut réduire la probabilité d'incendies de forêt.

En raison de l'importance de la carte des risques d'incendie lors de l'élaboration d'un plan de gestion des incendies par les services forestiers, il est nécessaire de surveiller en permanence ces paramètres en temps réel. C'est pourquoi, dans ce chapitre, nous avons proposé une solution matérielle et logicielle intégrée, basée sur les technologies IOT (Internet des objets) et des procédures d'intelligences artificiels pour déterminer le risque météorologique des incendies en temps réel.

Le système proposé est basé sur un réseaux de capteurs météorologiques connectés qui mesurent en permanence la température, l'humidité et la vitesse du vent. Les données collectées par ces capteurs sont ensuite transmises via des dispositifs de communication sans fil à une base de donnée installée sur un serveur. Les données sont ensuite traitées sur la base d'algorithmes avancés d'intelligence artificielle pour déterminer le risque d'incendie en temps réel.

Les utilisateurs du système, tels que les services forestiers, peuvent consultés en ligne via des pages WEB pour un accès facile. Ils peuvent afficher le risque d'incendie où le rapport est élevé, moyen et faible.

En utilisant ces données pour optimiser la gestion des mesures préventives appropriées pour lutter contre les d'incendie.

IV.2 Modèle logique floue

IV.2 .1 La définition de la logique floue

La logique floue est une approche employée en Intelligence Artificielle (IA) qui se base sur l'utilisation de "valeurs ou degrés de vérité" exprimés sous forme de chiffres réels compris entre 0 et 1. Cette approche diffère de la logique booléenne classique qui repose sur deux valeurs distinctes, "vrai" ou "faux" (1 ou 0)

IV.2.2 Le fonctionnement la logique floue

Pour illustrer le fonctionnement de la logique floue, prenons l'exemple de la température de l'eau. Avec la logique booléenne classique, elle ne peut être que : soit "froide" soit "chaude" ou soit "en dessous de 20 °C" soit "au-dessus de 20 °C". Même en modifiant la température progressivement, elle restera toujours dans un extrême ou l'autre. Avec la logique floue, il est possible d'admettre de nouvelles valeurs. L'eau peut ainsi être "un peu moins froide", "tiède" ou encore "quasi chaude" avec un ensemble des possibles bien plus vaste et nuancé. C'est un mode de

raisonnement plus intuitif qui permet de mieux appréhender les phénomènes humains ou naturels ou encore les systèmes complexes, par nature difficilement modélisables.

IV.2.3 Le risque météorologique

Ce risque est exprimé en des données climatiques : la température, la vitesse de vent et l'humidité. Les données climatiques pour Khenchela sont enregistrées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 Les données climatiques pour Khenchela

Années	Tmin (C°)	Tmax (C°)	V (m/s)	Humidité (.....)
1997	3.4	34.5	43	70.05
1998	0.21	35.6	33	70.09
1999	1.4	36.7	36	75.5
2000	-0.5	35.3	39	69.5
2001	1.8	36.2	40	73.2
2002	0.8	33.8	46	70.6
2003	1.6	36.7	36	72.8
2004	2.2	34.9	34	78.4
2005	-0.4	36	36	75.5
2006	0.6	33.4	35	81.2
2007	2.6	34.6	31	71.7
2008	1.4	35.9	44	74.8
2009	1.5	36.6	32	75.4
2010	2.5	34.4	39	68.2
2011	1.5	34.5	45	75.8
2012	-1	36.7	27	75.9
2013	1.1	34.2	4.51	66.7
2014	2.6	35.6	4.1	78.2
2015	1.2	34.7	4.7	78.2
2016	2.9	34.0	5.1	81.42
2017	2.5	35.2	4.29	75.28

IV.2.4 Fuzzifier des entrées : Température, vent et Humidité et sortie :

- La température : L'intervalle de distribution varient entre [-2 50] (C°) tel que : [-2 9.1 15] Faible, [14.3 20.4 27.0] Moyen et [25 39 50] Fort.
- Le vent : l'intervalle de distribution des données varient entre [0 60](m/s) d'où : [0 5.1 18] Faible, [17 27 34] Moyen, et [32 50 60] Fort.
- L'Humidité : [15 100] d'où il est divisé trois groupes flous : [15 33,7 50] Fort, [50 66,7 78,4] Moyen et [78.1 81.42 100] est Faible
- la sortie RFM: est varié entre [0 30] d'où: [0 5 10] Faible, [10 15 20] Moyen et [20 25 30] Fort.

IV.2.5 Règles différence (If-then utilisé dans l'étude) : Le FWI (Indice météorologique des incendies de forêt) est utilisé pour évaluer le niveau de risque d'incendie. Il est calculé à partir de données météorologiques. Ces paramètres permettent de construire un modèle de logique utilisant des conditions "Si-Alors(**If-then**) " en temps réel pour prédire le niveau de risque.

Tableau IV.2: (If-Then) de RFM

N°	Temp	Vent	Humidité	RFM	N°	Temp	Vent	Humidité	RFM	N°	Temp	Vent	Humidité	RFM
01	Faible	Faible	Faible	Faible	10	Moy	Faible	Faible	Faible	19	Fort	Faible	Faible	Fort
02	Faible	Faible	Moy	Faible	11	Moy	Faible	Moy	Faible	20	Fort	Faible	Moy	Fort
03	Faible	Faible	Fort	Faible	12	Moy	Faible	Fort	Faible	21	Fort	Faible	Fort	Fort
04	Faible	Moy	Faible	Faible	13	Moy	Moy	Faible	Moy	22	Fort	Moy	Faible	Fort
05	Faible	Moy	Moy	Faible	14	Moy	Moy	Moy	Moy	23	Fort	Moy	Moy	Fort
06	Faible	Moy	Fort	Faible	15	Moy	Moy	Fort	Moy	24	Fort	Moy	Fort	Fort
07	Faible	Fort	Faible	Fort	16	Moy	Fort	Faible	Fort	25	Fort	Fort	Faible	Fort
08	Faible	Fort	Moy	Fort	17	Moy	Fort	Moy	Fort	26	Fort	Fort	Moy	Fort
09	Faible	Fort	Fort	Fort	18	Moy	Fort	Fort	Fort	27	Fort	Fort	Fort	Fort

Tableau IV.3 : (If-Then) de RFM- simplifier

N°	Temp	Vent	Humidité	RFM
1	Fort	X	X	Fort
2	X	Fort	X	Fort
3	Faible	Faible	X	Faible
4	Faible	Moy	X	Faible
5	Moy	Faible	X	Faible
6	Moy	Moy	X	Faible

IV.3 Architecture du système

L'objectif du système proposé est de visualiser en temps réel les paramètres météorologiques essentiels tels que la température, l'humidité et la vitesse du vent, afin de les utiliser dans l'élaboration d'un plan de gestion des incendies. Pour mettre en place ce système, nous utilisons un ensemble de nœuds capteurs et un serveur Web local, comme illustré dans la Figure IV.1, avec une connexion Internet sans fil (Wi-Fi).

L'emplacement de chaque nœud capteur est minutieusement étudié afin d'assurer une surveillance adéquate des différentes zones forestières. Chaque nœud a pour tâche de collecter les mesures à partir des différents capteurs environnementaux utilisés. Les données collectées doivent

ensuite être traitées et organisées de manière appropriée par le contrôleur du nœud. Ensuite, elles sont envoyées en temps réel au serveur local via une connexion Internet sans fil (Wi-Fi).

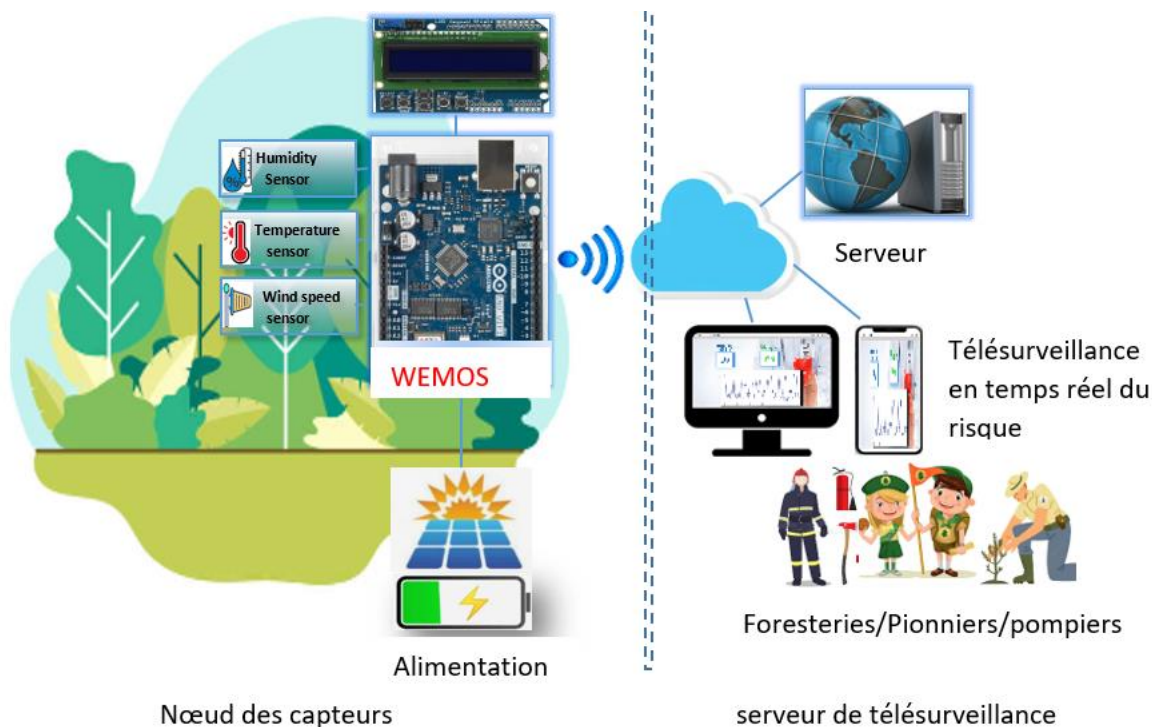


Figure IV.1 : Architecture globale du système

Le serveur local reçoit en continu les données provenant de tous les nœuds capteurs. Ces données sont enregistrées dans une base de données, ce qui permet leur visualisation via un navigateur Web standard sur un périphérique connecté à Internet, tel qu'un ordinateur portable, un smartphone ou une tablette. Cette visualisation des données peut être réalisée en temps réel ou hors ligne, facilitant ainsi l'analyse des données en vue de l'élaboration d'un plan de gestion des incendies et de la mise en place de mesures préventives appropriées.

Pour répondre aux exigences spécifiées dans le cahier des charges, nous avons identifié les solutions techniques nécessaires. Le cahier des charges se décompose comme suit :

- Le système doit rechercher une connexion Internet pour se connecter au serveur.
- Le système doit mesurer en temps réel la température, l'humidité et la vitesse du vent dans une zone spécifique de la forêt.
- Le système doit transmettre les données au serveur en temps réel.
- Le serveur doit recevoir les données en temps réel et les enregistrer dans une base de données.

L'utilisateur peut accéder au serveur via un navigateur Web standard sur un périphérique connecté à Internet, tel qu'un ordinateur portable, un smartphone ou une tablette, afin de visualiser et présenter les données enregistrées sous forme numérique ou graphique, en ligne ou hors ligne.

Notre système offre une solution complète pour la surveillance des paramètres météorologiques dans le cadre de la gestion des incendies. Les utilisateurs peuvent ainsi disposer d'informations précieuses pour prendre des décisions éclairées et mettre en œuvre des mesures de prévention appropriées afin de protéger les forêts contre les incendies.

Le système proposé est soumis à l'architecture illustrée par la Figure IV.1. Il est constitué de deux parties principales. Le nœud de capteurs et le serveur de télésurveillance.

IV.3.1 Le nœud de capteurs

Cette partie de l'architecture proposée est un système embarqué IoT autonome, alliant des éléments électroniques et d'autres informatiques qui fonctionnent en temps réel. Ses ressources sont limitées spatialement (encombrement réduit) et énergétiquement (consommation restreinte). Cependant, il a la spécificité de se connecter à un réseau internet pour permettre l'échange de données, il possède une adresse IP. Et il gagne en capacité d'interaction avec leur environnement, en potentiel de collecte de données, en autonomie de traitement, conçu pour fonctionner avec une intervention humaine minimale.

Le système proposé utilise une carte ARDUINO WEMOS, dont la partie logicielle est entièrement programmée dans le matériel, on parle alors de firmware. Ce système embarqué exécute les tâches prédéfinies suivantes :

- La gestion des capteurs et la collecte des données.

- La détermination du risque d'incendie d'une manière intelligente.

- L'affichage des données localement.

- L'envoi des données au serveur via une connexion internet WIFI.

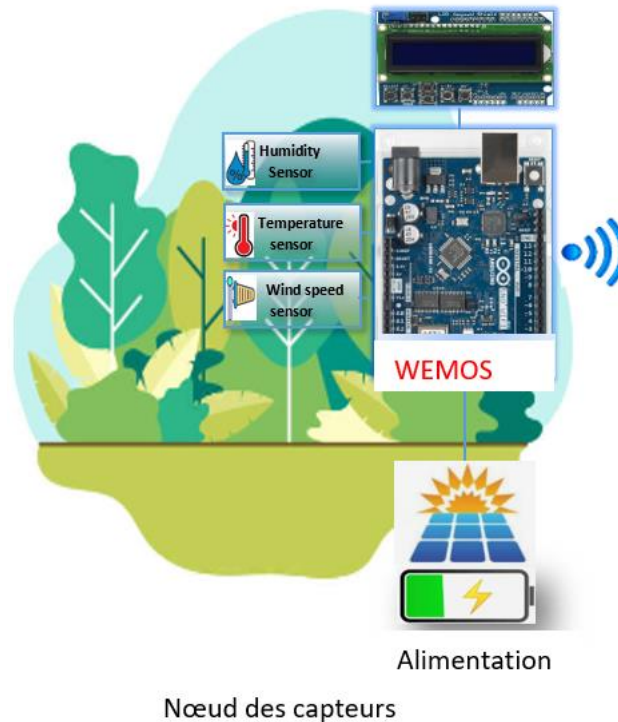


Figure IV.2 : Schéma bloc du nœud des capteurs

IV.3.1.1 Le calculateur principal

Le calculateur principal joue un rôle essentiel dans le traitement des données capturées par les capteurs. Il exécute les algorithmes nécessaires pour convertir les mesures brutes en valeurs significatives et les prépare pour la transmission. De plus, il assure la gestion de la connexion Wi-Fi, permettant ainsi l'envoi rapide et fiable des données vers le serveur local.

Le contrôleur principal du nœud assure le contrôle et la commande de l'ensemble de l'application. Dans cette optique, nous avons choisi d'utiliser la carte Arduino Wemos, basée sur le microcontrôleur ATmega328P, Parmi ces caractéristiques, citons le nombre de broches d'entrée/sortie numériques, l'UART et les différents types de mémoire nécessaires tels que la mémoire Flash, la SRAM et l'EEPROM. Par conséquent, en raison de ses propriétés suffisantes, il est idéal pour notre système.

❖ Carte arduino wemos :

L'Arduino est une plateforme de prototypage électronique largement utilisée dans le domaine de la création de projets interactifs. Basé sur un microcontrôleur programmable, l'Arduino offre une flexibilité et une facilité d'utilisation remarquables. Il permet aux utilisateurs, qu'ils soient amateurs ou professionnels, de développer des systèmes électroniques personnalisés sans avoir besoin d'une expertise approfondie en électronique. L'Arduino se distingue par sa grande communauté d'utilisateurs et sa vaste bibliothèque de code, offrant ainsi une abondance de ressources et de tutoriels accessibles à tous.

Parmi les différentes variantes d'Arduino disponibles, nous avons opté pour l'Arduino de type Wemos pour notre projet spécifique. Le Wemos est basé sur le microcontrôleur ESP8266, qui est réputé pour sa connectivité sans fil intégrée et ses capacités IOT. Cette plateforme offre une combinaison unique de performances élevées, de faible consommation d'énergie et d'un encombrement réduit. Le Wemos dispose également d'une mémoire suffisante pour exécuter des applications IOT avancées et une prise en charge du Wi-Fi pour faciliter la communication avec d'autres dispositifs connectés et l'accès à Internet.

Le choix du Wemos pour notre projet s'explique par plusieurs facteurs. Tout d'abord, sa taille compacte nous permet d'intégrer facilement le dispositif dans des espaces restreints. De plus, sa compatibilité avec l'environnement de développement Arduino nous offre une interface familière pour programmer et téléverser du code. En outre, le Wemos présente un excellent rapport qualité-prix, ce qui est essentiel pour notre projet qui nécessite des dispositifs abordables en grande quantité. Enfin, sa polyvalence et sa capacité à se connecter sans fil nous permettent d'explorer des applications IOT et d'exploiter les avantages de la connectivité pour obtenir des données en temps réel.



Figure IV.3 : Carte arduino wemos D1

IV.3.1.2 Les capteurs :

Les capteurs sont utilisés dans le but de capturer les grandeurs météorologiques à savoir la température, l'humidité et la vitesse du vent. Les mesures obtenues sont ensuite transmises au serveur local via une connexion Wi-Fi. Ce nœud est composé d'un calculateur principal, d'un ensemble de capteurs environnementaux et d'un afficheur LCD permettant la visualisation locale des données. La structure de cette partie est présentée dans la Figure IV.1

a. Le capteur de température et d'humidité DHT11

Parmi les nombreux capteurs disponibles pour mesurer la température et le taux d'humidité, nous avons choisi d'utiliser le capteur DHT11 en raison de ses caractéristiques et de son faible coût. Le capteur DHT11 est un capteur numérique de base qui collecte à la fois la température et l'humidité. Il utilise un capteur d'humidité capacitif et une thermistance pour mesurer l'air ambiant, et il génère un signal numérique sur la broche de données, ne nécessitant ainsi aucune broche d'entrée analogique.

Ce capteur est compatible avec les tensions d'alimentation de 3,3 volts et 5 volts, bien que le fabricant recommande toujours d'alimenter le capteur avec 5 volts pour obtenir des mesures précises. Le seul inconvénient notable de ce capteur est qu'il ne fournit de nouvelles données qu'une fois toutes les 2 secondes. Cependant, cela ne pose aucun problème dans notre cas, car les relevés du capteur sont effectués toutes les 2 secondes.



Figure IV.3 4: Capteur de température et d'humidité DHT11

Pour utiliser ce capteur, nous commençons par effectuer le montage en suivant le schéma de câblage illustré dans la Figure IV.5. Ce schéma montre comment connecter les trois broches nécessaires à la carte Arduino.

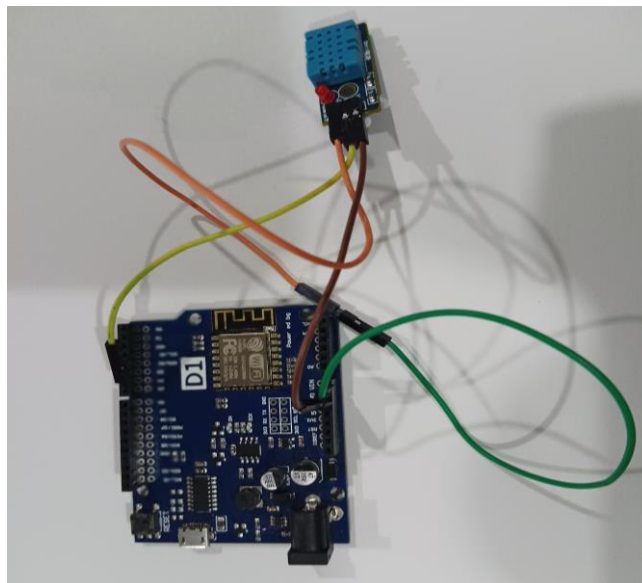


Figure IV.4 : brochage du DHT11

b. Capteur de la vitesse du vent

Un anémomètre est utilisé pour mesurer la vitesse du vent, c'est une partie essentielle des stations météo. Cet anémomètre a été conçu pour un usage extérieur avec une mesure facile de la vitesse du vent.

Ce capteur est simple à monter et robuste. Il dispose également d'un connecteur étanche, un bout de câble est fourni.



Figure IV.5 : Anémomètre

Pour l'utilisation, on doit connecter le fil noir à la masse, le fil marron à une alimentation entre 7 et 24 VDC et le câble bleu fournira une tension analogique. La tension va varier de 0,4V (Vent à 0m/s) à 2V (vent à 32,4m/s).

Dans le cadre de mon projet de mémoire de fin d'études, je me suis confronté à un obstacle imprévu lors de la réalisation de mes expériences. Malheureusement, je n'ai pas pu obtenir un capteur de vitesse du vent, essentiel pour mes mesures. Malgré mes efforts pour trouver ce capteur spécifique, il n'était tout simplement pas disponible dans les délais impartis. Cette contrainte inattendue a eu un impact significatif sur ma recherche, car la mesure précise de la vitesse du vent était un élément clé de mon étude. Néanmoins, j'ai dû reconsidérer mon approche et explorer d'autres aspects de mon projet pour compenser l'absence de ce capteur spécifique. Cette expérience m'a enseigné l'importance de la planification minutieuse et de l'anticipation des éventuels obstacles dans la réalisation de projets scientifiques

IV.3.1.2 L'afficheur LCD I2C 2004A :

Afficheur LCD 4 x 20 caractères rétro-éclairé se raccordant via le bus I2C sur un microcontrôleur (Arduino ou Raspberry Pi par exemple).



Figure IV.6 : L'afficheur LCD I2C 2004A

Le rôle principal de l'utilisation de l'afficheur sur le site du nœud est de permettre au responsable du nœud de visualiser les paramètres affichés sur l'écran LCD en cas de perte de connexion. Cela lui permet de les transmettre directement, même en l'absence de connexion.

Le programme de gestion du calculateur est divisé en deux parties distinctes :

IV.3.1.2 Code pour la carte Arduino wemos :

Ce code est exécuté lors du démarrage du module et comprend les étapes suivantes :

- La carte effectue la mesure des paramètres.
- Le calcul du risque.
- Les paramètres sont affichés sur l'écran LCD.
- L'envoi des données au page de réception de la base de données au niveau de serveur

Le chargement du code dans la carte se fait via l'interface Arduino IDE en utilisant le port micro USB de la carte.

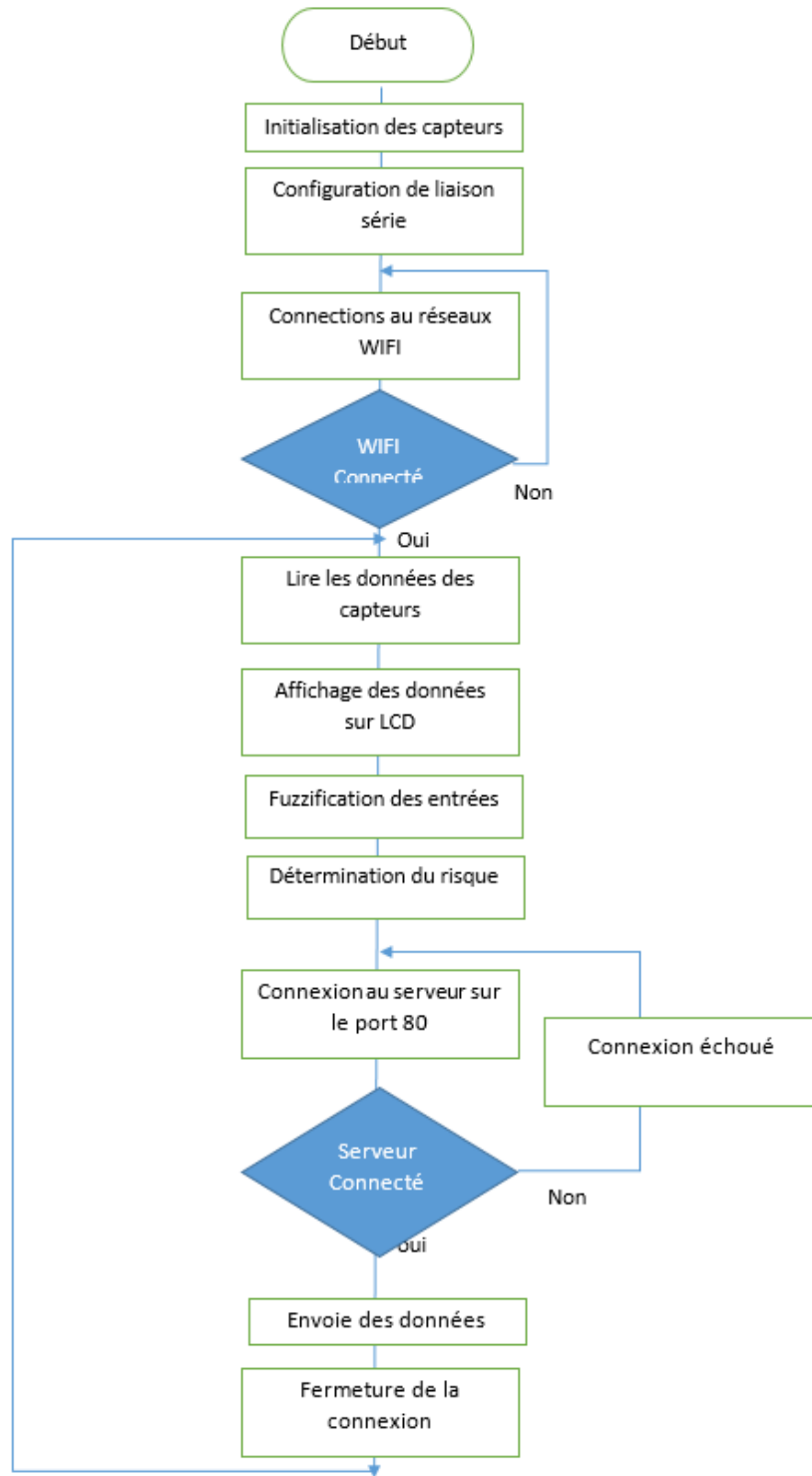


Figure IV.7 : Organigramme

IV.3.2. Serveur de télésurveillance :

La tâche principale du serveur est de recevoir en continu des données de nœuds distants en temps réel. Il gère également l'enregistrement dans les bases de données hébergées sur le même serveur. Le serveur permet également de visualiser à distance les données sous forme numérique ou graphique, en ligne ou hors ligne.

Pour la mise en place du serveur, nous avons choisi d'utiliser le package XAMPP qui inclut Apache Server, MySQL (base de données), PHP (langage de script côté serveur), Filezilla FTP Server et Mercury Mail Transport System. Cette combinaison d'outils nous permet de disposer d'un serveur solide et fonctionnel pour notre application.

Le serveur assure une communication continue avec les nœuds distants, recevant les données qu'ils envoient et les enregistrant dans la base de données. Il propose également une interface conviviale permettant de visualiser les données à distance, offrant la flexibilité de les afficher soit sous forme numérique, soit sous forme graphique, en temps réel ou hors connexion.

IV.3.2.1 Code PHP de réception :

Ce segment du script assure la réception continue et en temps réel des données transmises par les nœuds. Il s'agit d'une page d'accès restreint réservée à l'utilisation locale et n'est pas accessible au public.

```

dht - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide

<html>
<head>
<meta charset="UTF-8">
</head>
<body>
<?php

$servername = "localhost";
$username = "root";
$password = "";
$dbname = "weather_station";
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);

if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}

$temperature=$_GET['temperature'];
$humidity=$_GET['humidity'];
$wind_sp=$_GET['wind_sp'];
$wind_dr=$_GET['le_risque'];

$query = "INSERT INTO weather (date_time, temperature, humidity, wind_speed, le_risque) VALUES (NOW(),".$temperature.",".$humidity.",".$wind_sp.",".$wind_dr.")";
$conn->query($query);
$query = "INSERT INTO last_weather (date_time, temperature, humidity , wind_speed, le_risque ) VALUES (NOW(),".$temperature.",".$humidity.",".$wind_sp.",".$wind_dr.")";
$conn->query($query);
$query="DELETE FROM last_weather WHERE date_time NOT BETWEEN DATE_SUB(NOW(), INTERVAL 2 DAY) AND NOW()";
$conn->query($query);
$conn->close();
?>

</body>
</html>

```

Figure IV.8 : Capture d'écran de la page de réception des données

A chaque fois qu'une donnée est acquise par le code de réception, elle sera automatiquement enregistrée dans la base de données.

IV.3.2.2 La base de données :

On a opté à la création d'une base de données avec MySQL, comme on peut le voir sur la figure IV.9. La base est composée d'un tableau de 6 colonnes :

Id (numéro de donnée), temperature (température), humidity (humidité), wind (vitesse de vent), le risque, date (la date), time (l'heure).



Figure IV.9 : Capture d'écran de la base donnée créée

IV.3.2. Tests et résultats

Dans cette section, nous présentons les résultats obtenus grâce à notre système. Comme notre système est composé de plusieurs éléments, tels que la carte, les capteurs et la programmation du serveur, nous avons effectué une série de tests sur chaque partie séparément. L'objectif était de détecter d'éventuels problèmes dans la mise en œuvre et de nous assurer de son bon fonctionnement. Par la suite, toutes les parties ont été assemblées.

Il convient de noter que, lors des tests, nous n'avions pas de capteur de vitesse du vent, nous avons donc réalisé les tests uniquement avec le capteur DHT11.

Ces connexions permettent une intégration correcte des différents composants du système, garantissant ainsi une communication efficace entre eux.

Enfin, une connexion Internet WiFi a été établie de manière fiable. Afin de vérifier le bon fonctionnement du système, nous avons effectué des tests sur plusieurs jours. Une fois que le nœud capteur a été programmé, déployé et mis sous tension, et que les communications ont été établies, le contrôleur a commencé à acquérir les données et à les afficher sur l'afficheur LCD.

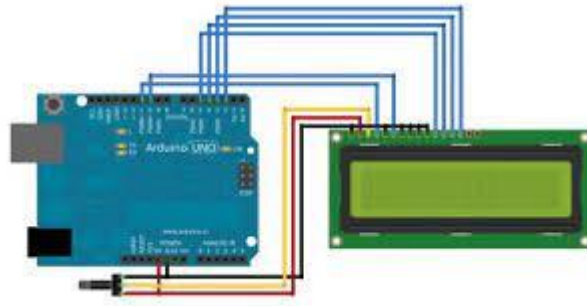


Figure IV.12: Prise de photo de l’afficheur LCD

Ces tests ont permis de confirmer que le système fonctionnait comme prévu, avec une acquisition précise des données et une transmission correcte vers l'afficheur LCD. Les valeurs de température, vitesse de vent, et d'humidité ont été affichées en temps réel, offrant une visualisation claire des paramètres mesurés.

	date_time	temperature	humidity	wind_speed	le risque	
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:21	22.5	52	40	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:22	22.5	52	26	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:23	22.3	52	36	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:25	22.3	52	8	10
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:26	22.3	52	43	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:28	22.3	52	39	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:29	22.2	52	28	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:31	22.2	52	4	10
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:32	22.2	52	24	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:34	22.2	52	25	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:35	22.2	52	45	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:37	22.2	52	1	10
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:38	22.2	52	23	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:39	22.2	52	36	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:41	22.2	52	21	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:42	22.2	52	19	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:44	22.2	52	10	10
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:45	22.2	52	52	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:46	22.2	52	38	30
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:48	22.2	52	31	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:49	22.2	52	20	20
<input type="checkbox"/>	Éditer Copier Supprimer	2023-06-04 21:02:50	22.2	52	45	30
<input type="checkbox"/>	Console de requêtes SQL Subprimer	2023-06-04 21:02:52	22.2	52	10	10

Figure IV.10 : Page présentation numérique des données de la base de données

Sur la figure suivante on peut voir clairement un exemple de calcul du risque d'incendie.

←T→	date_time	temperature	humidity	wind_speed	le risque
Éditer	2023-06-04 21:02:21	22.5	52	40	30
		Moy	Fort	Fort	Fort

Figure IV.11 : exemple de calcul de risque

Dans le but de faciliter l'observation et l'analyse des données, nous avons ajouté des fonctionnalités aux pages. Par exemple, en survolant le graphe avec le curseur de la souris, des informations détaillées telles que la température, l'humidité, la vitesse du vent, la valeur de fumée, la date et l'heure s'affichent, comme illustré dans la Figure IV.12. De plus, des fonctions de sauvegarde et d'impression sont également disponibles pour faciliter l'utilisation et la manipulation des données.



Figure IV.13 : Page web de la présentation graphique des données

Les résultats obtenus ont démontré la fiabilité du système dans des conditions réelles, avec des mesures cohérentes et une mise à jour régulière des données. Cela confirme l'efficacité de notre approche dans la collecte et la visualisation des informations environnementales.

Ces tests approfondis ont également permis de détecter et de résoudre d'éventuels problèmes techniques, garantissant ainsi un fonctionnement fluide et fiable du système dans toutes les conditions.

Ces résultats positifs ont validé notre approche et nous ont permis de poursuivre la mise en œuvre du système à grande échelle, en garantissant des performances optimales et une satisfaction utilisateur maximale.

L'interface intuitive de l'acquisition des données facilite la visualisation et la compréhension des mesures enregistrées. Les utilisateurs ont accès à une représentation claire des données, leur permettant de tirer des conclusions pertinentes et d'identifier les tendances environnementales au fil du temps.

Cette fonctionnalité essentielle du serveur local contribue à la centralisation et à l'accessibilité des données environnementales, favorisant ainsi une gestion efficace et durable des ressources forestières

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre contribution, qui consiste en la conception d'un système de détermination intelligente du risque météorologique des incendies des forêts basé sur l'Internet des objets (IOT) dans le contexte de la prévention des incendies de forêt.

Notre objectif principal est de réduire les risques d'incendie en mobilisant rapidement les autorités compétentes grâce au suivi en temps réel des paramètres météorologiques tels que la température de l'air, l'humidité, la vitesse du vent.

Notre approche méthodologique est basée sur l'utilisation de technologies de communication avancées. Nous utilisons la carte Arduino comme élément central de notre système, qui nous permet de collecter des données de température et d'humidité en temps réel à l'aide du capteur d'humidité DHT11. Ces données sont ensuite transférées et enregistrées dans une base de données hébergée sur un serveur connecté à Internet. La partie liée à l'anémomètre a été étudiée mais faute de la non disponibilité de ce type de capteurs sur le marché national et avec l'impossibilité de l'acquiescer en temps de l'extérieur, la partie réalisation n'a pas été achevée entièrement.

CONCLUSION GENERALE

La forêt constitue une capitale importante de tous les pays. Elle fait face à un risque d'incendie. La détection précoce des incendies est un défi pour une solution afin de circonscrire initialement le feu par des moyens limités.

D'où la nécessité de :

- Surveillez ces zones pour accélérer l'intervention humaine par réseaux de capteurs.
- Le sans-fil permet de répondre à ce problème à moindre coût.

Le caractère innovant de ce projet est lié à l'utilisation de capteurs sans fil pour détecter le changement de température, humidité et la vitesse du vent prédisent donc l'apparition d'un incendie à un certain endroit. Par conséquent, ce projet a vu la réalisation d'un prototype de détection de la température, de l'humidité et de la vitesse du vent et le calcul du ratio de risque s'accompagne de l'alerte lorsque le rapport de risque est élevé.

Les résultats des tests de ce modèle sont très concluants.

Nous soulignons que le prototype de cette application a été réalisé, mis en pratique, il a montré un grand et grand intérêt, satisfaction après avoir réalisé cette application. Il a exprimé le désir de voir ce projet. Déployer l'innovation sur le terrain pour contribuer aux efforts nationaux de lutte contre les incendies des forêts.

Ainsi, ce projet est possible et son transfert vers les secteurs socio-économiques est garanti pour les raisons suivantes

L'équipement utilisé (capteurs sans fil) n'est pas cher. Les secteurs sont intéressés par la surveillance automatique d'une certaine zone peut acquérir un certain nombre de capteurs en fonction de la surface à recouvrir. Il configure ensuite ces capteurs par nos algorithmes et les déploie dans ce domaine.

La surveillance par les réseaux de capteurs peut être étendue et centralisée à travers les réseaux de communication (2G, 3G, 4G, IP).

De plus, nous avons signalé que nous avons des difficultés à trouver un fournisseur pour le potentiel des équipements scientifiques (capteurs sans fil). Ce processus a pris beaucoup de temps.

Enfin, nous avons réussi à obtenir au cours du dernier semestre une plateforme de capteurs sans fil, ce qui nous a permis d'atteindre tous les objectifs fixés dans ce projet et en plus

Nous pouvons utiliser un système pour fournir une protection. Et ajoutez un appareil pour mesurer l'humidité et la température du sol

Bibliographies

Bibliographies:

- [01] <https://www.aquaportail.com/definition-9383-foret.html> (site consulté le avril 2023).
- [02] <https://www.annasronline.com/index.php/2014-08-25-12-15-24/2015-09-23-21-25-42/115599-25-29> (site consulté le avril 2023).
- [03] <https://web.archive.org/web/20171024075723/http://www.djazairress.com/elhiwar/4873> (site consulté le avril 2023).
- [04] <https://www.reporters.dz/lutte-anti-incendie-a-khenchela-interdiction-partielle-et-provisoire-daccéder-aux-forets-du-1er-juin-au-31-octobre-2022/> (site consulté le avril 2023).
- [05] <https://www.jardineriaon.com/fr/types-de-for%C3%AAAt.html> (site consulté le avril 2023).
- [06] <https://theconversation.com/bonnes-feuilles-vivre-avec-les-forets-tropicales-162367> (site consulté le avril 2023).
- [07] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-taiga-4017/> (site consulté le avril 2023).
- [08] <https://biometempereesheri.weebly.com/introduction.html> (site consulté le avril 2023).
- [09] https://fr.123rf.com/photo_30619796_for%C3%AAAt-subtropicale-en-tha%C3%AFlande.html (site consulté le avril 2023).
- [10] <https://www.wedemain.fr/ralentir/forets-tropicales-un-ecosysteme-capable-de-se-regenerer-en-moins-de-20-ans/> (site consulté le avril 2023).
- [12] Mémoire de fin d'étude de Licence en Foresterie, département des Sciences Agronomiques et de Biotechnologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, université de Chlef Hassiba Ben Bouali (<https://www.univ-chlef.dz/fsnv/wp-content/uploads/LE-RISQUE-FEUX-DE-FOR%C3%8ATS-L3-Foresterie.pdf>).
- [13] <https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/protection-milieu-forestier/gestion-feux-foret/causes-categories-saison-feux-foret/> (site consulté le avril 2023).
- [14] https://efirecom.ctfc.cat/docs/efirecomperiodistes_fr.pdf.
- [15] Mémoire de fin d'étude de Master en Automatique, département de Génie industriel, faculté des sciences et de la technologie, université «Abbès LAGHROUR» De Khenchela Présenté par KAREK Safa (2019/2020).
- [16] <https://www.kaspersky.fr/resource-center/definitions/what-is-iot?fbclid=IwAR2BIcMMgZ5-k7ZGtKSA1heaTUO00u6ZH4rQpbyzzK35ybIII1CMerMo8O0> (site consulté le mai 2023).
- [17] Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en informatique, département des Mathématiques et d'Informatique, faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi présenté par AFOUF Oussama (2019/2020).

- [18] <https://www.distrelec.ch/fr/module-zigbee-digi-xk-z11/p/173038506> (site consulté le mai 2023).
- [19] <https://www.mikroe.com/irda-board> (site consulté le mai 2023).
- [20] https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-IoT-History-and-Evolution_fig2_334944162 (site consulté le mai 2023).
- [21] <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-WSN.html> (site consulté le mai 2023).
- [22] <https://grhombustech.com/blog-post/231/advantages-and-disadvantages-of-different-iot-protocols> (site consulté le mai 2023).
- [23] <https://expanice.com/article/iot-communication-protocols-comparison#0005> (site consulté le mai 2023).
- [24] <https://easypartner.fr/blog/comment-renforcer-la-securite-des-donnees-dans-iiot/> (site consulté le mai 2023).
- [25] http://f-leb.developpez.com/tutoriels/arduino/univers_arduino/part1/#LIII-A (consulté le juin 2023).
- [26] http://www.def-online.com/fr/images/choisissez_votre_systeme_d_extinction.pdf (consulté le mai 2023).
- [27] http://www.monclubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.DebuterIntroduction (consulté le mai 2023).
- [28] <http://www.pobot.org/Debuter-avec-une-carte-Arduino.html?lang=fr> (consulté le mai 2023).
- [29] <http://ivtfrance.com/alarme-incendie/> (consulté le juin 2023).
- [30] http://tiptopboards.free.fr/arduino_forum/viewtopic.php?f=2&t=22 (consulté le mai 2023).
- [31] <http://www.thierry-lequeu.fr/data/RAP-MBETIBANGA-CALDEIRA.pdf> (consulté le juin 2023).
- [32] Conservation Des Forets Khenchela.