

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle



partement : Maintenance en Instrumentation
MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation Industrielle

Thème

**Réalisation d'un casque intelligent pour les travailleurs
des mines de charbon à base d'un Arduino et une
transmission Bluetooth**

Présenté et soutenu publiquement par :

BERHOUMI Oussama & BENATIA Hanae

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. ROUAN SERIK Mehdi	MCB	IMSI-Univ. Oran2	Président
Mme, DJELGHOUM Farida	MAA	IMSI-Univ. Oran2	Encadreur
Mr. HASSINI Abed allatif	Pr	IMSI-Univ. Oran2	Examineur

Année universitaire : 2021-2022

Remerciement

Tout d'abord, un grand remercie à Dieu tout puissant le courage, la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant nos études et pour élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre vif remerciement à nos chers parent pour nous avoir donné leur sincérité et leur encouragement pour termine ce travail.

Nous tenons à remercie particulièrement notre encadreur Mme Farida DJELGHOUM, pour avoir ses judicieux conseils, sa confiance et sa disponibilité.

Nous adressons nos sincères remerciement les membres du jury, monsieur ROUANE, qui nous a fait l'honneur de présider ce travail, et monsieur HASSINI Abdellatif, notre responsable de la spécialité en tant qu'examineur.

Nous exprimons tous nos remerciements aussi aux enseignants (es) du département de génie industrielle en particulier de la spécialité ingénierie de maintenance en instrumentation industrielle, pour leur dévouement et des connaissances qu'ils nous ont transmises durant toutes nos années d'études.

ENFIN, Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A celle qui m'a soigné avec amour et tendresse, raison de mon existence, au symbole de l'amour et du baume guérisseur, au cœur d'un blanc éclatant, à celle qui a lutté et lutté pour mon bonheur et mon bonheur, à qui sa prière a été le secret de ma réussite, ma chère mère.

Celui qui a fatigué son doigt pour présenter un moment de bonheur celui qui a récolté les épines et leurs sacrifices au long de mes études sur mon chemin qui m'a ouvert la voie de la connaissance. A ma sagesse et à mon savoir, à ma littérature et à mon rêve, à mon droit chemin, Mon cher père.

Vous êtes mes modèles dans la vie, il n'y a rien de plus grand qu'une grande femme qui m'a élevé et un père dont je suis toujours fier quand mon nom se termine par son nom.

Que Dieu, vous préserve et vous donne santé et longue vie afin que nous puissions à notre tour vous combler.

A mes très chères frère, sœurs

Ibrahim, Fatima Zahra, Soulef Maroua

A mes chères cousines Asmaa et Soumaya

Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A mon binôme Oussama

A mes amies plus particulièrement Nedjwa, Farah, Imane, Rania, Bilal, Abdallah, Seddik, Amir.

Nous vous dédions ce travail en vous souhaitant le meilleur pour votre avenir.

Hanae

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ... ✍

A mon père

Tu es pour moi l'ami le plus fidèle et le modèle de la combativité. Tu as toujours donné la meilleure de toi pour le bonheur de ta famille et tu nous as appris le sens de l'honneur ; de la dignité et de la justice.

Merci pour votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie. Ce travail est le tien : puisse cela combler l'une de tes attentes.

Que dieu te bénisse.

A ma mère

« Il y'a plus cher au monde qu'une mère »

Pour ton amour que tu ne cesses de manifester envers tes enfants. Merci pour tous ce que tu as enduré pour nous faire grandir ; pour tes bénédictions qui n'ont cessé de nous accompagner. Puisse dieu te procure santé ; bonheur et longue vie.

A mes sœurs

Merci pour être toujours là m'écouter et m'encourager. Je vous souhaite tous le bonheur et la réussite.

A mon frère Yazid Berhoumi

Je te souhaite tous le bonheur dans le monde et que tu réaliseras tes rêves.

A mon binôme Benatia Hanae

A mes amis plus particulièrement Ayoub, Aymen, Amine, Abd El Kader, Billy, Abdellah, Seddik, Amir, youcef.

A tous mes enseignants et mes collègues.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Oussama

Sommaire

Introduction générale.....	xiv
I Chapitre 1 : La protection contre les impacts des mines souterraines de charbon ..	1
I.1 Introduction :	1
I.2 Présentation d'une mine :	1
I.2.1 Notions de mine et carrière :	1
I.2.2 Importance des mines :	1
I.2.3 Mine à ciel ouvert :	2
I.2.3.1 Définition :	2
I.2.3.2 Avantages et inconvénients d'une mine à ciel ouvert :	3
I.2.4 Mine souterraine :	4
I.2.4.1 Définition :	4
I.2.4.2 Avantages et inconvénients d'une mine souterraine :	4
I.2.4.3 Différents travaux souterrains :	5
I.3 Différents matériaux exploités et les gisements :	6
I.3.1 Les minerais :	6
I.3.2 Les combustibles solides :	6
I.3.3 Les combustibles fluides :	6
I.3.4 Les sels :	7
I.4 L'exploitation de charbon :	7
I.5 Les facteurs majeurs du danger dans une mine souterraine :	8
I.5.1 Les éboulements :	9
I.5.2 Les inondations :	9
I.5.3 Les gaz :	9
I.5.4 Les poussières :	10
I.5.5 Le feu et les incendies :	11
I.6 Les nocives gaz d'une mine souterraine :	11
I.6.1 Méthane :	11
I.6.2 Dioxyde de carbone :	13
I.6.3 Monoxyde de carbone (CO) :	14
I.6.4 Sulfure d'hydrogène :	15
I.7 L'éclairage dans les mines souterraines :	16
I.7.1 Source lumineuse fixe :	16
I.7.2 Source lumineuse mobile :	16

I.8	Équipements de protection individuelle :	17
I.8.1	Les obligations au travail des mines :	17
I.8.2	Équipement de Protection Individuelle (EPI) de la tête :	17
I.9	Les casques de sécurité :	18
I.9.1	Définition :	18
I.9.2	Importance de casque de sécurité :	19
I.9.3	Types des casques de sécurité :	20
I.9.4	Normes des casques de sécurité :	20
I.9.5	Couleurs et identification :	21
I.9.6	Exemples des modèles des casques de sécurité :	21
I.10	L'état de l'art d'un casque de sécurité pour le mineur :	22
II	Chapitre 2 : Généralités sur l'Arduino et le matériel utilisé.....	28
II.1	Introduction :	28
II.2	Description de la carte Arduino Méga :	28
II.2.1	Définition de la carte programmables Arduino :	28
II.2.2	Composants de la carte ARDUINO :	29
II.2.3	Les gammes de la carte Arduino :	29
II.2.4	La carte Arduino Méga 2560 :	31
II.2.4.1	La présentation de la carte Arduino méga 2560 :	31
II.2.4.2	Caractéristiques techniques de la carte Arduino 2560 :	32
II.2.4.3	Avantages d'Arduino Méga 2560 :	32
II.2.4.4	Inconvénients d'Arduino Méga 2560 :	32
II.2.5	Partie matérielle :	32
II.2.5.1	Microcontrôleur ATmega2560 :	33
II.2.5.2	Les mémoires :	33
II.2.5.3	Les sources de l'alimentation de la carte :	34
II.2.5.4	Entrées et sorties numérique :	34
II.2.6	Pourquoi l'Arduino Méga 2560 :	34
II.3	Les capteurs :	35
II.3.1	Définition :	35
II.3.2	Types de capteurs :	36
II.3.3	Capteurs utilisés :	36
II.3.3.1	Capteur de température et d'humidité DHT11 :	36
II.3.3.2	Capteur de gaz MQ2 :	38
II.3.3.3	Capteur de gaz MQ7 :	40
II.3.3.4	Capteur ultrasons HC-SR04 :	42
II.3.3.5	Capteur de fréquence de rythme cardiaque MAX30102 :	45

II.4	Partie de signalisation :.....	48
II.4.1	Buzzer :.....	48
II.5	Bloc de communication :.....	50
II.5.1	Module Bluetooth HC-05 :.....	50
II.5.2	Module ESP-01 :.....	51
II.6	Bloc d'affichage :.....	52
II.6.1	Technologie OLED :.....	52
II.7	Alimentation par des piles rechargeable (8.4v et 9v) :.....	54
II.8	Partie logiciel et programmation :.....	54
II.8.1	Logiciel Arduino IDE :.....	55
II.8.2	Présentation du logiciel :.....	55
II.8.3	Programmation sur IDE Arduino :.....	56
II.8.3.1	Structure du programme :.....	57
II.8.3.2	Exemple d'une application Arduino :.....	58
II.9	Conclusion:.....	59
III	Chapitre 3 : Réalisation d'un casque CI basé sur la carte Arduino	61
III.1	Introduction :.....	61
III.2	Problématique et solution proposée :.....	61
III.2.1	Problématique :.....	61
III.2.2	Solution proposée :.....	61
III.3	Schéma bloc :.....	62
III.4	Principe de fonctionnement et Représentation du système :.....	62
III.5	Conception et réalisation de casque de sécurité intelligent :.....	63
III.5.1	Architecture global de réalisation :.....	63
III.5.2	Partie utilisateur :.....	64
III.5.3	Partie électronique :.....	64
III.5.4	Casque de sécurité intelligent (CI) réalisé :.....	81
III.5.5	Partie de programmation :.....	83
IV	Chapitre 4 : Réalisation d'une application Android pour le CI des mineurs	87
IV.1	Introduction :.....	87
IV.2	Définition du système d'exploitation mobile "Android" :.....	87
IV.3	Avantages d'Android :.....	88
IV.4	Développement MIT App Inventor (transmission Bluetooth) :.....	88
IV.4.1	Définition :.....	88
IV.4.2	Préparation du matérielle :.....	88
IV.4.3	La Création d'un projet :.....	88
IV.4.3.1	Description de l'espace Designer :.....	90

IV.4.3.2	Description de l'environnement de programmation :.....	91
IV.4.3.3	Description de l'émulateur :	92
IV.5	Conception d'Application AI2 « SMART HEMET » :.....	93
IV.5.1.1	Programmation d'applications AI2 :.....	97
IV.6	La surveillance à distance :.....	100
IV.6.1	Conception de deuxième application "Médecin" :	100
IV.6.2	Application « Médecin » :	103
IV.7	Conclusion :.....	105
Conclusion générale et perspectives		106
Références		108

Liste des figures et des tableaux

<i>Figure I.1</i> Présentation d'une mine à ciel ouvert.	3
<i>Figure I.2</i> Mine de cuivre à ciel ouvert (Au nouveau Mexique).	3
<i>Figure I.3</i> Schéma simplifié d'une mine souterraine.	4
<i>Figure I.4</i> Mine de fer de Gara Djebilet en Algérie.	6
<i>Figure I.5</i> Accidents du travail des mineurs en 2016 (par élément matériel).	8
<i>Figure I.6</i> Exploitation de charbon.	11
<i>Figure I.7</i> Emission de CH ₄ liées à l'énergie, en 2021.	12
<i>Figure I.8</i> Les équipement de protection individuelles pour le mineur.	17
<i>Figure I.9</i> Casque de sécurité à bords pleins.	19
<i>Figure I.10</i> Un casque de protection forestier.	20
<i>Figure I.11</i> Un casque électricien isolant.	20
<i>Figure I.12</i> Casque modèle " V-Guard 200".	22
<i>Figure I.13</i> Casque modèle "Technical 580754301".	22
<i>Figure I.14</i> Casque modèle "Spectrum de Centurion".	22
<i>Figure I.15</i> Casque modèle "Casque IDRA".	22
<i>Figure I.16</i> Barrette en cuir bouilli, avant le XXe siècle.	23
<i>Figure I.17</i> Barrette modernisée en cuir dure.	23
<i>Figure I.18</i> Barrette avec une attache de lampe frontale.	23
<i>Figure I.19</i> Le changement de forme des barrettes en devenant plus solides.	24
<i>Figure I.20</i> Le dernier casque en cuir dur apparaît.	24
<i>Figure I.21</i> Casque en fibre de verre et l'autre métallique.	24
<i>Figure I.22</i> Le premier casque blanc en fibre de verre.	25
<i>Figure I.23</i> Le premier casque apparaît en plastique.	25
<i>Figure I.24</i> Dernier casque de mineur de fond entre les années 90 et 2000.	25
<i>Figure I.25</i> Des casques mineurs (2012).	25
<i>Figure I.26</i> La dernière évolution du casque mineur en 2019.	26
<i>Figure II.1</i> Arduino Méga 2560.	33
<i>Figure II.2</i> Microcontrôleur ATmega 2560.	33
<i>Figure II.3</i> Capteur analogique.	35
<i>Figure II.4</i> Capteur d'humidité et de température.	37
<i>Figure II.5</i> Les broches de capteur DHT11.	37
<i>Figure II.6</i> Capteur de gaz MQ2.	38
<i>Figure II.7</i> Le module MQ2.	39
<i>Figure II.8</i> Les broches de capteur MQ2.	39
<i>Figure II.9</i> Capteur de gaz MQ7.	41
<i>Figure II.10</i> Module de capteur de gaz MQ7.	42
<i>Figure II.11</i> Capteur à ultrason HC-SR04.	42
<i>Figure II.12</i> Mise en marche de capteur à ultrason.	43
<i>Figure II.13</i> Circuit électrique d'ultrason HC-SR04.	43
<i>Figure II.14</i> Capteur de rythme cardiaque MAX30102.	46
<i>Figure II.15</i> Les broches de capteur MAX30102.	46
<i>Figure II.16</i> Un buzzer.	48

Figure II.17 Configuration des broches de buzzer.....	50
Figure II.18 Module Bluetooth HC-05.....	51
Figure II.19 Module ESP8266-01.....	52
Figure II.20 Ecran OLED 0. 96 pouces SSD11306.....	53
Figure II.21. Piles rechargeables de 9v et 8.4 v.....	54
Figure II.22 Fenêtre initiale du logiciel Arduino IDE.....	55
Figure II.23 Choisir un type de carte avec logiciel IDE.....	56
Figure II.24 Exemple d'un montage pour allumer une LED par Arduino.....	59
Figure III.1 Schéma de bloc de notre carte électronique.....	62
Figure III.2 Vue globale de notre réalisation.....	63
Figure III.3 Caractéristiques de sensibilité du capteur MQ2 pur plusieurs gaz.....	65
Figure III.4 L'interface de site web plot-digitizer.....	67
Figure III.5 Choisir le fichier.....	68
Figure III.6 Inclus les valeurs des axes x et y.....	68
Figure III.7 Définir les points d'équation à étudier le méthane.....	69
Figure III.8 Les valeurs d'équation sur les deux axes X,Y.....	69
Figure III.9 Les courbes d'équation finale.....	70
Figure III.10 Branchement de MQ2.....	71
Figure III.11 Câblage pour le fonctionnement de MQ2.....	72
Figure III.12 Test pratique de MQ2.....	72
Figure III.13 Affichage de résultat MQ2 sur OLED.....	72
Figure III.14 Caractéristiques de sensibilité du capteur MQ7 pour plusieurs gaz.....	73
Figure III.15 Le potentiomètre de capteur MQ7.....	73
Figure III.16 Branchement de MQ7.....	74
Figure III.17 Test pratique de fonctionnement de MQ7.....	75
Figure III.18 Branchement de capteur DHT11.....	76
Figure III.19 Test pratique de fonctionnement de DHT11.....	76
Figure III.20 Branchement de capteur à ultrason HC-SR04.....	77
Figure III.21 Test pratique de fonctionnement HC-SR04.....	78
Figure III.22 Branchement de capteur MAX30102.....	79
Figure III.23 Test pratique de fonctionnement MAX30102.....	79
Figure III.24 La carte PCB d'une lampe frontale.....	80
Figure III.25 Le casque de sécurité intelligent finale réalisé.....	82
Figure III.26 Programme Arduino pour le détecteur de gaz méthane (MQ2).....	83
Figure III.27 Programme Arduino pour le détecteur de gaz monoxyde de carbone (MQ7).....	83
Figure III.28 Programme Arduino pour détecteur d'humidité et température (DHT11).....	84
Figure III.29 Programme Arduino pour capteur ultrason (HC-SR04).....	84
Figure III.30 Programme Arduino pour le détecteur de rythme cardiaque (MAX30102).....	85
Figure IV.1 Site officiel de MIT App Inventor2.....	89
Figure IV.2 Création d'un compte Gmail.....	89
Figure IV.3 Le choix de nom de projet.....	90
Figure IV.4 Première interface de la création App Inventor.....	91
Figure IV.5 Interface de programmation.....	92
Figure IV.6 Le test d'application.....	93
Figure IV.7 Etape de sélectionner l'objet Arrangement horizontal.....	94

Figure IV.8 Le design d'écran 1.....	95
Figure IV.9 Le design d'écran 3.....	95
Figure IV.10 Le design d'écran 2.....	96
Figure IV.11 Le design d'écran 4.....	96
Figure IV.12 Le résultat des paramètres contrôlés via l'application.....	96
Figure IV.13 La section Blocs pour écran 1.....	97
Figure IV.14 Le passage d'écran 1 à l'autre.....	97
Figure IV.15 Bloc de la liste des périphériques disponibles.....	98
Figure IV.16 Blocs d'affichage des données et des mesures pour les capteurs (A).....	98
Figure IV.17 Bloc d'affichage les données et les mesures des capteurs (B).....	99
Figure IV.18 Bloc de localisation via GPS de smartphone.....	99
Figure IV.19 Bloc de la caméra de smartphone.....	99
Figure IV.20 Etape d'appeler le médecin et d'envoyer un message.....	101
Figure IV.21 Etape d'autorisation pour accéder à liste des contacts.....	102
Figure IV.22 L'écran 1 et 2 d'application médecin.....	103
Figure IV.23 La communication par message en temps réel.....	104
Figure IV.24 La compilation du programme.....	105
Figure IV.25 Importer le fichier AIA et partager le projet.....	105

Liste des tableaux

Tableau I.1 Effet de manque d'oxygène sur la santé humaine.....	13
Tableau I.2. Effets sur la santé humaine d'un enrichissement de l'air en CO2	14
Tableau I.3 Effet de monoxyde de carbone sur la santé humaine.....	15
Tableau I.4. Effets d'un enrichissement de l'air en H2S sur la santé humaine.....	16
Tableau I.5. Les durées d'utilisation indiquées par les fabricants.....	19
Tableau II.1 Les types de carte Arduino et leur chronologie.....	30
Tableau II.2. Caractéristiques de la carte Arduino Méga 2560.....	32
Tableau II.3 Configuration des broches pour le module MQ2.....	40
Tableau II.4 Configuration des broches pour le capteur MQ2.....	40
Tableau II.5. Configuration des boches du capteur à ultrasons.....	44
Tableau II.6 Configuration des broches (PIN).....	46
Tableau II.7. Les différences entre piézo et électromécanique.....	49
Tableau II.8. Description des broches du Buzzer.....	50
Tableau III.1 Les fréquences cardiaques pour un homme en repos.....	78

ملخص

اليوم، الصناعة يجب أن تضمن سلامة عمال مناجم الفحم، الذي يمثل تحديًا كبيرًا. المخاطر المرتبطة بالمناجم تحت الأرض للفحم تشمل انبعاث الغازات السامة ونقص الأكسجين وكوارث التعدين. لذلك فإن جودة الهواء واكتشاف الأحداث الخطرة أمران مهمان للغاية في صناعة التعدين، لهذا السبب يتعين على العمال ارتداء قبعات صلبة، لكن الكثير منهم لا يعرفون ذلك. كما يعود سبب وفاة عمال المناجم إلى عدم توفر المعدات اللازمة لهم. في هذا المشروع، لقد صممنا تحقيقًا لخوذة أمان ذكية، والذي يراقب المعايير البيئية مثل مستوى الأكسجين والغازات الضارة مثل (CO) احادي أكسيد الكربون، والميثان (CH_4)، وكذلك الرطوبة ودرجة الحرارة. كما أنه يقيس نبض المنجم، ويتم ذلك باستخدام مستشعر معدل ضربات القلب. أثناء الحوادث، يتيح لنا هذا الجهاز معرفة عدد عمال المناجم الذين لا يزالون على قيد الحياة تحت المنجم. من أجل نقل البيانات في منجم الفحم، سوف نستخدم نظامًا قائمًا على **Arduino**. تم تطوير الخوذة الذكية لتقليل الصعوبات في الصناعة. مهما كانت الحالة غير الطبيعية التي تحدث، أو في حالة سقوط شخص ما، فسيتم تنبيه عامل المنجم بواسطة الجرس الموجود على الخوذة. ويتم عرض قيم أجهزة الاستشعار المختلفة (حساس غاز احادي الكربون **MQ7**، حساس غاز الميثان **MQ2**، حساس الرطوبة ودرجة الحرارة **DHT11**، حساس نبضات القلب **MAX30102**) على شاشة **OLED**، سيتم نقلها في الوقت الفعلي عن طريق تطبيق **Android** يسمى "SMART Helmet" و "Médecin" على الهاتف الذكي عن طريق وحدة بلوتوث، لتنفيذ تدخل طارئ سريع للغاية.

Résumé :

Aujourd'hui, L'industrie doit assurer la sécurité des mineurs de charbon la sécurité qui est un défi majeur. Les risques liés aux **mines souterraines de charbon** comprennent l'émission de gaz toxiques, de l'insuffisance d'oxygène et des catastrophes minières.

La qualité de l'air et la détection des événements dangereux sont donc très importantes dans l'industrie minière. Pour cette raison, les travailleurs doivent porter un casque, mais beaucoup d'entre eux ne le savent pas. La raison derrière la mort des mineurs est due à un traitement inadéquat qui leur est fourni. Il mesure également le pouls du mineur, ce qui est fait en utilisant le capteur de fréquence cardiaque. Lors des accidents, cet appareil nous permet de savoir combien de mineurs sont encore en vie sous la mine. Dans ce projet, on a conçu une réalisation d'un **casque de sécurité intelligent**, qui contrôle les paramètres environnementaux tels que le niveau d'oxygène et les gaz nocifs comme (le **CO** dioxyde de carbone, le méthane CH_4), ainsi que l'humidité et la température. Pour transmission des données dans la mine de charbon, nous utiliserons un système basé sur **Arduino**. Le casque intelligent est développé pour réduire difficultés dans l'industrie. Quelle que soit la condition anormale se produit, ou si une personne tombe, le mineur sera alerté par le buzzer présent sur le casque. Les valeurs des différents capteurs (**DHT11**, **MQ7**, et **MQ2**, **MAX30102**) seront affichées sur

l'écran **OLED** et transmises en temps réel par deux applications Android ce qu'on appelle “**SMART Helmet**” et “**Médecin**” sur le smartphone par le module Bluetooth, pour effectuer une intervention très rapide de secours.

Abstract:

Today, the industry must ensure the safety of coal miners, which is a major challenge. The risks associated with underground mines of coal include the emission of toxic gases, oxygen deficiency and mining disasters.

Air quality and the detection of hazardous events are therefore very important in the mining industry. For this reason, workers have to wear hard hats, but many of them don't know it. The reason behind the death of miners is due to improper treatment provided to them. It also measures the miner's pulse, which is done using the heart rate sensor. During accidents, this device allows us to know how many miners are still alive under the mine. In this project, we designed a realization of an intelligent safety helmet, which monitors environmental parameters such as oxygen level and harmful gases such as (**CO** carbon dioxide, methane **CH₄**), as well as humidity and temperature.. Data transmission in the coal mine, we will use an **Arduino**-based system. The smart helmet is developed to reduce difficulties in the industry. Whatever abnormal condition occurs, or if a person falls, the miner will be alerted by the buzzer present on the helmet. The values of the different sensors (**DHT11**, **MQ7**, et **MQ2**, **MAX30102**) will be displayed on the **OLED** screen and transmitted in real time by Android applications which called “**SMART Helmet**” and “**Médecin**” on the smartphone via Bluetooth module, to carry out a very rapid emergency intervention.

Mots-clés : Mines souterraines de charbon, Arduino, DHT11, casque de sécurité intelligent, MQ7 et MQ2, MAX30102, OLED, SMART Helmet et Médecin.

Introduction générale

La sécurité industrielle est l'un des principaux aspects de l'industrie. Dans l'industrie minière, la sécurité est un facteur très vital elle suit quelques précautions et phénomènes de base. Ainsi que la communication est le principal facteur pour toute industrie d'aujourd'hui pour surveiller différents paramètres et prendre les mesures nécessaires en conséquence pour éviter tout type de danger et Pour éviter les pertes de matériel et les dommages à la santé humaine.

Les mines de charbon fournissent une énergie importante qui soutient le développement rapide de la société. Le niveau de production sûr des mines de charbon est encore faible, en particulier ces dernières années, les catastrophes dans les mines de charbon se sont produites fréquemment, entraînant la perte de nombreux biens et de nombreuses vies. La question de la sécurité du charbon gagne progressivement l'attention nationale et sociale. Les accidents miniers peuvent avoir de nombreuses causes, notamment des fuites de gaz toxiques, des toits effondrés et de faibles niveaux d'oxygène. Lors de catastrophes minières, l'absence ou le retard des opérations de sauvetage peut faire en sorte que des mineurs vivants se retrouvent piégés dans des effondrements de toit et perdent la vie. Par conséquent, le développement d'un système de surveillance des mines des mines de charbon souterraines est mauvais et compliqué, de sorte que les accidents et les catastrophes naturelles qui permettant de détecter avec précision la température, la pression, les gaz inflammables et toxiques et de suivre les mineurs et les véhicules en temps réel a une importance significative pour la sécurité de la production et le sauvetage en cas de catastrophe dans les mines de charbon [1].

En général, les mineurs de charbon sont confrontés à de nombreux problèmes dans les mines de charbon en raison d'émissions nocives comme le CO₂, le CO et le méthane, et d'incendies. A cause de cela, beaucoup de personnes ont perdu la vie et beaucoup de biens (machines) ont également été perdus.

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans ce domaine lié à l'assistance à des mineurs en casque de sécurité grâce à des études en situation réel à travers l'amélioration de l'interaction

entre la personne et son casque lors de la tâche de protection. Il a pour objectif d'explorer des alternatives pour la protection traditionnelle du casque de sécurité pour cette population des travailleurs.

La solution suggérée est le pilotage d'une interface de commande Arduino afin d'évaluer, surveiller, détecter la situation du mineur qu'il soit bien ou non et suivre automatiquement d'un professionnel de santé. À travers des capteurs qui détecteront les gaz nocifs et la température, ces données seront transmises à la station de contrôle. Notre projet (casque de sécurité intelligent) consiste aussi une application sur smartphone basée sur une technologie Bluetooth pour transmettre et recevoir des données en temps réel avec une alarme par le buzzer et signalisation lumineuse.

Outre cette introduction, qui fait office à la fois de motivation et de présentation générale du thème traité dans ce projet, le document est organisé autour de quatre chapitres, avec des conclusions générales suivies de perspectives de travaux futurs, des références bibliographiques et des annexes sont organisées. Comme suit :

Premier chapitre traite l'exploitation minière en général et l'exploitation minière souterraine en particulier, les risques dans mine de charbon et la protection contre eux.

Le deuxième chapitre englobera toute la partie électronique de notre travail, une carte électronique d'acquisition des différentes données provenant des capteurs installés dans notre casque de sécurité.

Le troisième chapitre présente la réalisation de la partie pratique (matériel), la partie logiciel (la programmation) du projet, et la conception de notre projet.

Le quatrième chapitre présente l'application Android utilisée et les tests qui ont été effectués pour notre casque de sécurité intelligent, les résultats obtenus sont illustrés et discutés.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

La protection contre les impacts des mines souterraines de charbon

I Chapitre 1 : La protection contre les impacts des mines souterraines de charbon

I.1 Introduction :

Dans le premier chapitre, nous présentons une vue globale sur les mines, les travaux souterrains et les différents types des matériaux exploités et les gisements. En détaillant les dangers déroulants des mines souterraines, en particulier les mines de charbon. Puis une brève obligation et règlement pour la sécurité. En fin de ce chapitre, nous détaillons les casques de sécurité sur lequel porteront notre projet.

I.2 Présentation d'une mine :

I.2.1 Notions de mine et carrière :

Les notions de "mines" ou de "carrières" sont juridiques c'est-à-dire définies par le code minier et sont indépendantes du fait qu'elles soient à "ciel ouvert" ou "souterraines".

Une mine consiste en l'exploitation (obtention) d'un gisement à minéraux, considérés de grande valeur. Ce terme est utilisé généralement pour : les combustibles (charbon, hydrocarbures, gaz...), les métaux (fer, cuivre, plomb...) et quelques autres matières minérales (sel, soufre, fluor...). Pour les produits qui ne figurent pas dans la liste, on parle de carrières, il s'agit notamment des matériaux de construction (sables, argiles, calcaires, ...).

Les carrières (à ciel ouvert ou souterraines) qui exploitent des matériaux de construction (calcaire, craie, sable, gravier, argile, roches massives, gypse [pierre à plâtre], etc.) et des matériaux dits « industriels » telle la silice [2].

I.2.2 Importance des mines :

L'exploitation minière est-elle importante ? Sans aucun doute. Absolument tout ce dont on dépend est fabriqué à partir de minéraux ou repose sur des minéraux pour sa production et sa distribution.

Presque tous les aspects de notre vie moderne dépendent de minéraux ou de produits minéraux, tels que les métaux de base, les métaux précieux, le charbon à coke, les sables de fer, les agrégats, le calcaire et les minéraux industriels. Ce sont tous des éléments vitaux

utilisés pour le bâtiment et la construction, la fabrication de véhicules et le carburant, les ordinateurs et autres appareils électroniques, les communications, les soins de santé et la dentisterie, la production alimentaire et la production et la transmission d'énergie.

En plus de fournir au monde les minéraux dont la société moderne a besoin, l'exploitation minière crée des emplois et contribue directement à notre prospérité économique.

À l'échelle nationale, l'exploitation minière génère environ 1,0 milliard de dollars de recettes d'exportation par an. Une étude de 2017 pour OceanaGold a révélé que 84% de ses dépenses pour les activités d'extraction de l'or restaient en Nouvelle-Zélande sous forme de salaires, taxes, taux, redevances et paiements aux fournisseurs et entrepreneurs locaux ainsi que des activités d'investissement [3].

I.2.3 Mine à ciel ouvert :

I.2.3.1 Définition :

L'exploitation à ciel ouvert (« open pit » en anglais) est la méthode d'extraction d'un minerai depuis une excavation créée en surface après avoir enlevé les matériaux stériles qui le surmontent. C'est la méthode privilégiée pour l'extraction des gisements situés près de la surface. La taille de ces ouvrages varie des petites exploitations (produisant environ 40 000 tonnes de minerai par an) aux gros complexes industriels (produisant plus de 1 million de tonnes de minerai par an), les exploitations les plus importantes pouvant couvrir une superficie de plusieurs kilomètres carrés.

Les composants généraux d'une mine à ciel ouvert sont :

1) Chantier de la mine à ciel ouvert : c'est l'espace dans lequel s'effectue les travaux de creusement. Il est sous forme de gradins et de plateformes permettant aux camions et autres engins de pouvoir descendre au niveau de l'extraction du minerai. Ce minerai, détaché sera chargé et transporté vers l'installation du traitement.

2) Zone de stockage du minerai avant son traitement en usine de concentration (ou de traitement).

3) Zone de stockage de stériles : ce sont les roches qui ne sont économiquement pas intéressantes, contrairement au minerai. Ils sont stockés et seront utilisés dans la construction de routes, dans l'aménagement de remblais, ou seront jetés.

- 4) Usine de traitement du minerai pour transformer le minerai en produit brut, avant de le transporter aux industriels pour aboutir au produit fini, commercialisable.
- 5) Bâtiment administratif pour la gestion de la mine (administration, plannings de surveillance, etc.).
- 6) Bassin de surveillance des eaux usées : les eaux épurées sont stockées dans ces bassins, avant de tester si elle est bien aux normes réglementaires pour ces opérations.
- 7) Évacuation des eaux dans l'environnement via un canal [2].

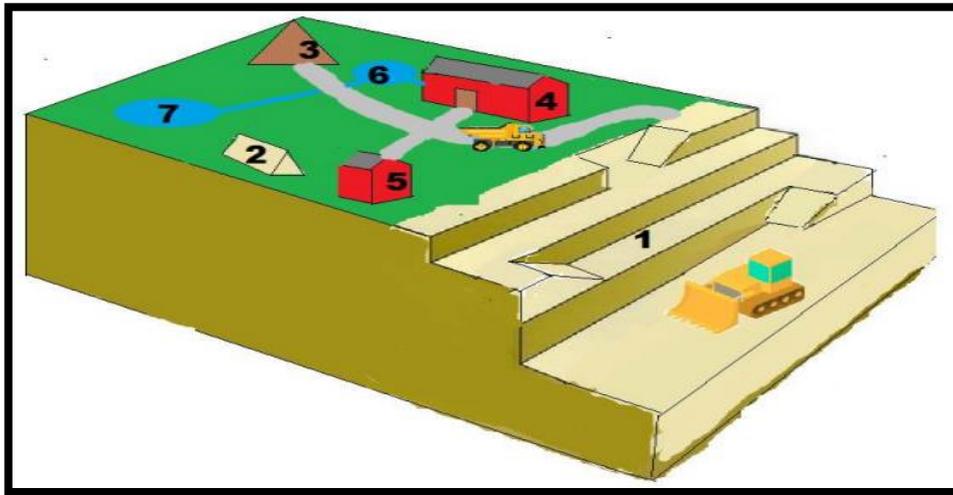


Figure I.1 Présentation d'une mine à ciel ouvert.

I.2.3.2 Avantages et inconvénients d'une mine à ciel ouvert :

- ❖ Un haut volume de roche excavée (taux de production élevé) ;
- ❖ Degrés de la minéralisation variant de faible à haute ;
- ❖ Des mines peu profondes (de 0 à 400 m ou plus de profondeur) ;
- ❖ Étendue de l'opération en surface plus grande que les opérations souterraines (impact environnemental plus important) ;
- ❖ Les coûts de production par tonne sont très bas.
- ❖ Un équipement d'extraction de grandes dimensions ;



Figure I.2 Mine de cuivre à ciel ouvert (Au nouveau Mexique).

- ❖ Une mise en production rapide [4].

I.2.4 Mine souterraine :

I.2.4.1 Définition :

Une mine souterraine est un réseau de tunnels verticaux et horizontaux permettant d'atteindre un minerai qui sera remonté à la surface par un puits et dirigé vers le concentrateur. En plus des installations de surface, les principales parties d'une mine souterraine sont illustrées sur la figure I.3 :

- 1 >> Une rampe (puits) d'accès : Un large tunnel en spirale qui communique avec tous les niveaux de la mine. Elle permet aux véhicules d'accéder rapidement aux galeries des différents niveaux.
- 2 >> Des galeries : De longs tunnels qui conduisent au gisement à extraire.
- 3 >> Puits d'aération : Celui-ci sert de puits d'aération pour garantir la ventilation, la filtration ainsi que le contrôle de la température et de la qualité de l'air dans les galeries [2].

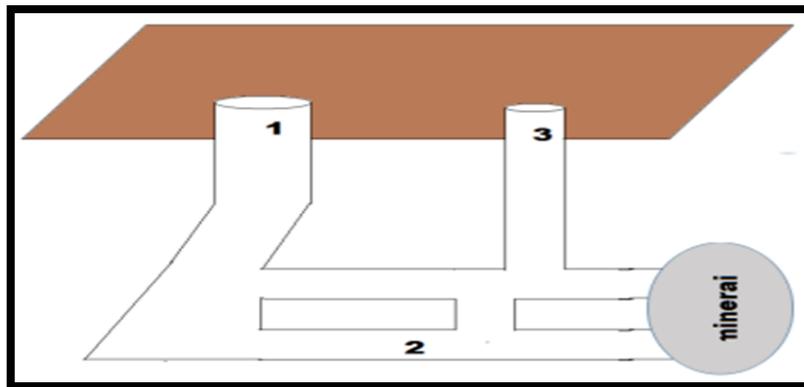


Figure I.3 Schéma simplifié d'une mine souterraine.

I.2.4.2 Avantages et inconvénients d'une mine souterraine :

- ❖ La quantité de roche excavée, souvent moins qu'une mine à ciel ouvert.
- ❖ Degrés de minéralisation moyens à très élevés.
- ❖ Une profondeur de 200 à 3 000 m (ou plus).
- ❖ Investissement généralement supérieur à l'investissement requis pour les mines à ciel ouvert.
- ❖ Échelle réduite de manipulation de surface (et donc impact environnemental réduit).
- ❖ Possibilité de collecter les pierres de rebut pour le remblayage souterrain (réduction des émissions à la surface).

❖ Les coûts de production par tonne sont généralement plus élevés que les mines à ciel ouvert.

❖ Calendrier de production plus long.

❖ Des risques plus élevés [4].

I.2.4.3 Différents travaux souterrains :

Les travaux souterrains permettent de réaliser, si l'on se réfère à leur objet, on peut distinguer plusieurs types de tunnels :

- Les tunnels de communication parmi lesquels : Les tunnels ferroviaires, Les tunnels routiers, Les tunnels de navigation ;

- Les tunnels de transport : Adductions d'eau, Galeries hydrauliques, Égouts, Galeries de canalisations ;

- Les tunnels et cavités de stockage : Garages et parkings, Stockages liquides ou gazeux, Dépôts.

- Autres : Galerie de mine, Galerie d'usines hydroélectriques, Stockages industriels, Puits de grande profondeur.

Si l'on se réfère à leur mode d'exécution, on peut distinguer :

- Les tunnels ou cavités construits à ciel ouvert ;

- Les tunnels construits en souterrain à faible ou forte profondeur ;

- Les tunnels construits par éléments immergés.

Si l'on se réfère à la forme des ouvrages, on peut distinguer :

- Les tunnels proprement dits et les puits qui sont des ouvrages à grand développement linéaire et dont la section est constante ou peu variable ;

- Les cavités aux formes plus ramassées et souvent moins régulières dans lesquelles aucune des dimensions n'est prépondérante [5].

I.3 Différents matériaux exploités et les gisements :

I.3.1 Les minerais :

Les minerais sont des matériaux naturels constituant la croûte terrestre (roches) dont on peut extraire des métaux (de quelques grammes par tonne pour les métaux rares comme l'or ou le mercure, à plusieurs dizaines de kilogrammes par tonne) [6].

a) **Le fer** : Le fer entre dans la composition de la fonte et de l'acier. Il se présente sous différentes formes chimiques qui demandent des traitements adaptés (sidérurgie) : la sidérose, l'hématite, la magnétite, la pyrite, etc.

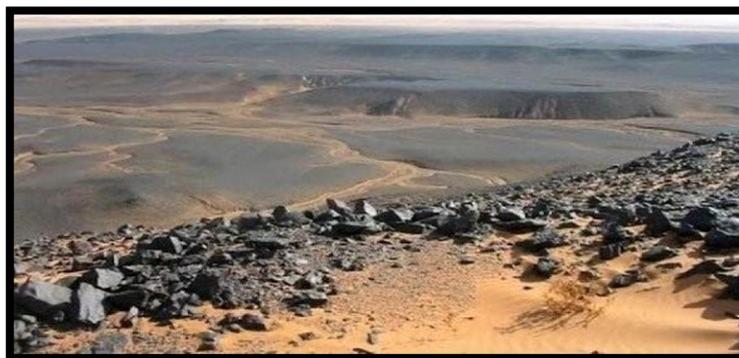


Figure I.4 Mine de fer de Gara Djebilet en Algérie.

b) **L'uranium** : L'uranium est généralement extrait de mines à ciel ouvert, lorsque le gisement est proche de la surface, ou de mines souterraines, lorsqu'il est plus profond.

c) **Les autres minerais** : De nombreux autres minerais font, ou ont fait, l'objet d'exploitation pour produire des métaux. On aborde à titre d'exemple le cas de l'or et de l'argent [6].

I.3.2 Les combustibles solides :

Le charbon : Le charbon est un combustible fossile qui s'est formé à la suite d'un processus de fossilisation de végétaux dans des régions marécageuses, conduisant à une concentration de carbone [6].

I.3.3 Les combustibles fluides :

a) **Le pétrole** : Le pétrole est un mélange d'hydrocarbures formé par les dépôts de plantes microscopiques et de micro-organismes marins morts dans des bassins sédimentaires marins ou lagunaires.

b) Le gaz naturel : Le gaz naturel, associé ou non au pétrole, est un mélange composé pour l'essentiel de méthane avec des traces d'autres hydrocarbures gazeux et d'autres corps (du soufre notamment qui constitue parfois un sous-produit exploité). Il est extrait le plus souvent de gisements de gaz secs (qui ne contiennent pas de pétrole) où le gaz sous pression sort naturellement. Après avoir été débarrassé de ses impuretés, il est utilisé à des fins domestiques et industrielles (chauffage, cuisson, etc.) [6].

I.3.4 Les sels :

Les sels se déposent dans des mers fermées, tels que le sel gemme (NaCl, chlorure de sodium) et la potasse. L'évaporation provoque la cristallisation de sels dissous dans l'eau et leur dépôt en strates épaisses [6].

I.4 L'exploitation de charbon :

En Algérie, le charbon est d'abord une matière première de nature stratégique, puis un produit à caractère sociopolitique. Son développement et son maintien ne s'expliquent que sur ces plans. La finalité de ce secteur n'étant pas commerciale, il n'attire guère le capital privé. Dès la découverte du gaz naturel, substitut qui le concurrence avantageusement sur tous les plans, y compris la sécurité de l'approvisionnement, il est condamné à être abandonné [7].

Les exploitations de charbon souterraines :

- L'extraction des réserves souterraines de charbon a d'abord été réalisée par une veine d'affleurement suivie d'un tunnel creusé sur la pente. Cependant, la profondeur de la première mine souterraine était limitée en raison de l'insuffisance des moyens d'acheminement du charbon vers la surface et du risque d'inflammation des poches de méthane par une flamme nue.

- La demande croissante de charbon pendant la révolution industrielle a incité le développement de techniques de forage pour atteindre des gisements plus profonds. Au milieu du XXe siècle, la majeure partie de la production mondiale de charbon provenait de mines souterraines.

- L'extraction souterraine du charbon est essentiellement composée de trois éléments. C'est-à-dire un arrêt, un moyen de transporter le charbon de là vers un puits ou un ouvrage de production, et un moyen de transporter le charbon jusqu'à la surface. La production comprend

également des travaux préparatoires. Cela signifie ouvrir l'accès aux futurs chantiers de construction. Cette tâche est l'étape la plus dangereuse pour les travailleurs.

- Il existe diverses méthodes pour l'exploitation des gisements souterrains. Elles ont toutes en commun le creusement de puits et de galeries d'accès au gisement et l'emploi de machines ou d'explosifs pour l'extraction du charbon.
- Les accidents dans les mines souterraines sont fréquents. Toutes les statistiques placent les mines de charbon parmi les lieux de travail les plus dangereux, et le risque de catastrophes est toujours présent dans de telles opérations. Les deux types de catastrophes qui peuvent survenir sont les effondrements imputables à une erreur technique, les explosions et les feux et incendies résultant d'une accumulation de méthane, ou à la présence de poussières de charbon [8].

I.5 Les facteurs majeurs du danger dans une mine souterraine :

Il est nécessaire de signaler que les circonstances sont multiples et surtout de natures diverses. La croissance accélérée du bassin houiller de la Loire pendant le XIXe siècle, l'augmentation de la production des bassins houillers du XIXe siècle Sans approfondir les chantiers de construction (exposant plus de mineurs à plus de risques) Les conditions de sécurité techniques et humaines sont à l'origine de nombreux accidents. Ainsi, dans le dernier quart du XIXe siècle, il a fallu sécuriser les mines tant au niveau local que national. Dans le dernier quart du XIXe siècle, la sécurité minière tant au niveau local qu'au niveau national est donc à construire. Les risques et dangers auxquels les mineurs sont confrontés peuvent être classés en différentes catégories [9].

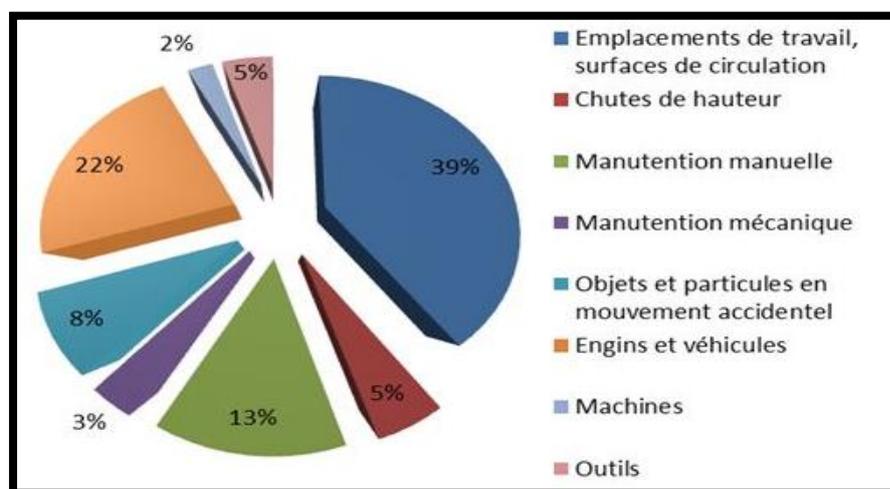


Figure I.5 Accidents du travail des mineurs en 2016 (par élément matériel).

Exemple : En Russie (Sibérie, à Gramoteino, dans la région minière de Kemerovo) dans la mine de Listviajnaïa, en Novembre 2021 la mort de 51 personnes, dont cinq sauveteurs, lors d'un accident dans une mine de charbon. Ils sont restés bloqués à plusieurs centaines de mètres de profondeur. À raison d'alerte avait été donnée après la présence de fumée (voir Figure I.5) [10].

I.5.1 Les éboulements :

Il s'agit d'un des accidents les plus fréquents de l'exploitation des mines au XIXe siècle. Il menace l'intégrité physique des mineurs en causant fractures, entorses et parfois écrasement total. Les formes que peuvent prendre l'éboulement sont nombreuses : bloc qui tombe du toit, cuvelage qui cède, front de taille qui s'écroule, galerie qui s'écrase... [9].

I.5.2 Les inondations :

L'eau est un problème pour le mineur. En effet, la mine ruisselle d'eau : elle coule sur les parois ou suinte du toit. Il faut donc éviter l'ennoyage des mines. Pour pouvoir avancer, il faut évacuer cette eau en permanence [9].

I.5.3 Les gaz :

Dans un milieu confiné et mal aéré, les mineurs sont exposés à des émissions de gaz. Parmi ces gaz, nous pouvons citer :

- **Le grisou (CH_4) :** C'est l'autre nom donné au méthane qui explose sous l'action d'une flamme lorsqu'il est mélangé avec l'air dans une proportion allant de 6 à 16%. C'est ce que l'on appelle le coup de grisou. Les gaz qui composent le grisou se sont formés durant le processus d'houillification durant lequel ils ont été « piégés » (adsorbés) dans les micropores du charbon. Une partie de ces gaz s'est retrouvée piégée dans les espaces capillaires et dans les réseaux de fissures naturelles de la houille ainsi qu'au niveau des épontes (paroi délimitant une couche ou un filon) apparues au cours des temps géologiques, à la suite d'événements sismiques, et plus récemment à cause de l'exploitation minière [10].

Les importantes catastrophes ligériennes suscitées, coûteuses en vies humaines et en matériel, ainsi que des accidents similaires dans d'autres bassins houillers ont amené les ingénieurs à accorder une importance accrue aux grands accidents [10].

La masse volumique du grisou est de 0,72 kg/m³ et sa densité par rapport à l'air est de 0,558. De plus, il est inodore et incolore. À pression et température ordinaires, les limites d'inflammabilité sont de 5,6 et 14 %. La combustion a une allure explosive entre 6 et 12 %. Une croyance populaire attribue aux oiseaux, et plus particulièrement aux canaris, le pouvoir de détecter le grisou. Si des oiseaux ont pu être utilisés, c'était pour détecter un autre gaz... [10].

Le méthane (CH_4), le CO_2 et l'azote qui se substituent à l'oxygène de l'air inhalé. En forte concentration, ils agissent comme des gaz asphyxiants.

- **Le sulfure d'hydrogène (H_2S)** est un gaz toxique présent naturellement dans le charbon, dont l'effet majeur est de provoquer des troubles neurologiques : il paralyse le système nerveux, ce qui empêche les poumons de fonctionner.
- **Le monoxyde de carbone (CO)** produit par un incendie. Ce gaz toxique mortel est immédiatement absorbé par le système sanguin : il empêche le transport d'oxygène nécessaire à l'organisme. Si à une époque on a utilisé des oiseaux dans les mines, c'est bien pour détecter le monoxyde de carbone et non le grisou.

I.5.4 Les poussières :

Dans les mines de charbon, les poussières apportent deux sortes de dangers de nature totalement différentes. Les mineurs sont exposés à l'inhalation de poussières de silice. Il s'agit en fait de la poussière de roche et plus particulièrement de grès houiller. Cette silice entraîne différentes atteintes pulmonaires dont la silicose. À un stade évolué, cette maladie devient invalidante et souvent mortelle [8].

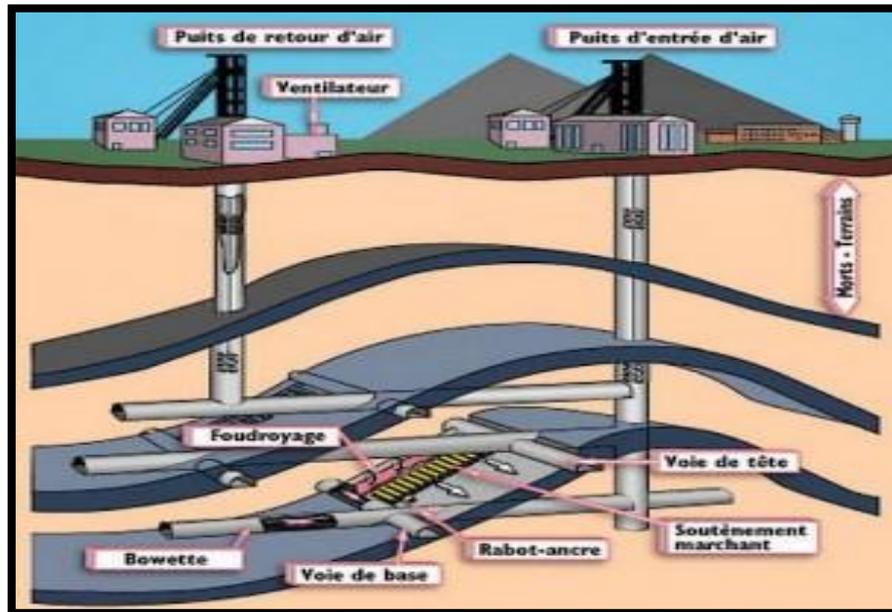


Figure I.6 Exploitation de charbon.

I.5.5 Le feu et les incendies :

Les incendies de mine, anciennement appelés « feu de vieux travaux », sont des incendies naturels ou accidentels qui brûlent des gisements de charbon souterrains. Le concept de feu de mine ne doit pas être confondu avec l'utilisation du feu pour l'exploitation minière. Ces incendies ont des implications économiques car ils affectent la rentabilité potentielle des gisements.

Le feu peut se propager rapidement dans toute la mine et provoquer une explosion (si des gaz combustibles sont présents à l'intérieur du tunnel). Les explosions peuvent détruire les systèmes de ventilation, faire s'effondrer les mines, bloquer les voies d'évacuation et laisser les mineurs dans une situation où l'oxygène remplace le gaz asphyxiant [9].

I.6 Les nocives gaz d'une mine souterraine :

I.6.1 Méthane :

Le méthane (CH_4) est le gaz qui se rencontre essentiellement dans les exploitations de combustibles solides et, de manière moins importante, dans les mines de sel ou de potasse, dans les exploitations minières de pétrole.

Dans les mines de charbon ou de lignite, le méthane représente généralement une partie très majoritaire du gaz de gisement (jusqu'à 95 %), au plus d'autres gaz (dioxyde de carbone,

éthane, propane, butane, azote...). Ce mélange de gaz, appelé « grisou » dans la terminologie minière. Pendant l'exploitation, le dégagement gazeux, même s'il est lent, peut donc perdurer durant une longue période, jusqu'à l'établissement d'un nouvel équilibre, différent pour chaque site, entre le grisou encore contenu dans les roches et le gaz libre existant dans les vides souterrains. Le méthane est un gaz inodore, incolore et sans saveur. Il est presque deux fois moins dense que l'air et a donc tendance à s'accumuler dans les points hauts et à migrer vers la surface. C'est un gaz non toxique et inoffensif sur le plan physiologique, dans la mesure où sa présence n'engendre pas une diminution importante de la teneur en oxygène de l'atmosphère [11].

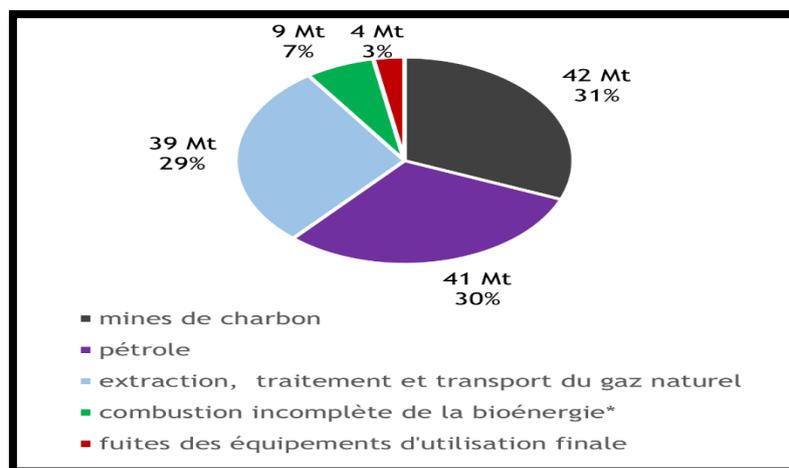


Figure I.7 Emission de CH₄ liées à l'énergie, en 2021.

Le plus important son inflammabilité (ou son explosibilité) qui permet du méthane un gaz particulièrement dangereux. Un mélange binaire d'air et de méthane est directement inflammable lorsque la teneur en méthane est comprise entre 5% et 15%. L'inflammation d'un tel mélange peut provoquer des effets thermiques (de chaleur) et mécaniques (onde de pression) dangereux pour les personnes et dommageables pour les biens. Cette inflammation a des effets qui dépendent du volume de gaz disponible, de l'homogénéité du mélange et de son degré de confinement.

Le méthane n'est pas toxique en concentration au-dessous de la limite inférieure d'explosivité (LIE) de 5 % (50 000 ppm). De fortes concentrations de méthane peuvent déplacer l'oxygène et provoquer l'asphyxie. La teneur en oxygène de l'atmosphère ne doit jamais descendre à moins de 18 %, sinon il en résultera des effets nocifs [11].

Tableau I.1 Effet de manque d'oxygène sur la santé humaine.

Niveau d'oxygène	Signes et symptômes
à 12-16 %	accélération de la respiration et du pouls, légère incoordination musculaire ;
à 10-14 %	troubles émotionnels, épuisement anormal, difficultés respiratoires;
à 6-10 %	nausées, vomissements, perte de motricité, effondrement et perte de connaissance possible;
à moins de 6 %	convulsions, essoufflement, collapsus pulmonaire possible et mort.

I.6.2 Dioxyde de carbone :

Le dioxyde de carbone (CO_2), qui est possible le gaz le plus rencontré dans les anciennes exploitations minières souterraines, il peut également provenir de la combustion (feux souterrains) ou de l'oxydation lente de matières carbonées. C'est le cas des exploitations de charbon et de lignite, mais cela peut aussi concerner, dans une moindre mesure, tout autre type d'exploitation souterraine où de la matière carbonée est présente. Dans quelques mines de charbon, on peut rencontrer des grisous constitués, en tout ou partie, de CO_2 .

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et non inflammable. Il est couramment considéré comme étant un gaz inerte remplaçant l'oxygène dans l'air atmosphérique. Mais, il est un gaz toxique qui acidifie du sang. Dans la réglementation minière, la concentration instantanée dans l'air de 1% constitue un premier seuil limitant l'exposition au CO_2 pendant le travail. Le tableau ci-dessus résume les principaux troubles constatés sur l'organisme humain, en fonction de la teneur en CO_2 dans l'air inspiré [10].

Tableau I.2. Effets sur la santé humaine d'un enrichissement de l'air en CO₂.

Teneur en CO ₂ (%)	Troubles constatés sur la santé humaine
Jusqu'à 2%	Peu d'effets, même pendant plusieurs heures.
3%	La respiration augmente et s'approfondit.
4%	Doublement du rythme respiratoire, maux de tête, augmentation de la pression artérielle.
8%	Difficulté respiratoire très grave, syncope.
10%	Syncope, la mort intervient rapidement.
A partir de 20%	Syncope et mort presque immédiate, en quelques secondes.

I.6.3 Monoxyde de carbone (CO) :

Dans les exploitations minières abandonnées, ce gaz résulte de l'oxydation. Il est couramment présent dans les anciennes exploitations de charbon, les canaris ont été régulièrement utilisés comme système d'avertissement. Le CO est un gaz incolore, inodore, sans saveur, très diffusif.

Il est inflammable lorsqu'il est mélangé dans l'air à des teneurs très élevées (au-delà de 12%). Les effets du CO sont une fonction croisée de la teneur et du temps d'exposition [13]. Par conséquent, les limites de dangerosité diminuent fortement, le tableau I.3 décrit la symptomatologie associée à l'exposition humaine au CO en fonction de la concentration de COHb, les effets de ce gaz sur l'homme.

Tableau I.3 Effet de monoxyde de carbone sur la santé humaine.

Niveau de carboxyhémoglobine	Signes & symptômes
2,5 à 5 %	Douleur coronarienne chez les angineux et cardiaques provoqués par des efforts plus légers
5 à 9 %	Élévation du seuil de perception lumineuse
10 à 19 %	Céphalées
20 à 29 %	Céphalées, vertiges, nausées, hyperpnée, tachycardie
30 à 39 %	Confusion, perte de conscience, tachycardie, hyperpnée, nausées
40 à 49 %	Altération de la vue, de l'audition, dysfonctions intellectuelles, faiblesse musculaire
50 à 70 %	Coma, convulsions, dépression cardio-respiratoire
+ de 66 %	Décès

I.6.4 Sulfure d'hydrogène :

Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est rencontré dans les vieux travaux de tous les types de mines. Puisqu'il peut provenir de la décomposition des vieux bois de soutènement, de la réaction d'eaux acides Il peut être présent comme composant mineur du grisou contenu dans les gisements de charbon ou être transporté sous forme dissoute par les eaux souterraines. Le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore qui présente une odeur caractéristique et désagréable d'œuf pourri sans que la sensation olfactive n'augmente. Il est légèrement plus lourd que l'air. Comme le monoxyde de carbone, il est inflammable lorsqu'il se trouve mélangé à de l'air à des teneurs élevées (plus de 4%), impossibles à rencontrer in situ. C'est un gaz hautement toxique s'attaquant au système nerveux. Les effets de ce gaz sur l'homme, sont présentés dans le tableau ci-après [10].

Tableau I.4. Effets d'un enrichissement de l'air en H₂S sur la santé humaine.

Teneur en H ₂ S (ppm)	Signes et symptômes
50 - 100	Perte de détection olfactive, irritation oculaire et bronchiale ;
150 - 250	Perte de détection olfactive, irritation oculaire et bronchiale, détresse respiratoire sérieuse et asthénie ;
300 - 400	Perte de conscience, œdème pulmonaire et risque de mort ;
500 - 1000	Perte de conscience immédiate et détresse respiratoire et mort ;

I.7 L'éclairage dans les mines souterraines :

Depuis la découverte d'Edison (1895, la lumière fluorescente), il y a eu de nombreuses percées étonnantes dans le domaine de l'éclairage. Certains d'entre eux sont applicables à l'exploitation minière souterraine. Chaque source lumineuse a des avantages et des inconvénients. Certaines de ces sources fonctionnent en courant alternatif, d'autres en courant continu. Les sources lumineuses fixes sont le plus souvent alimentées en courant alternatif, tandis que les sources lumineuses portables sont alimentées en courant continu [8].

I.7.1 Source lumineuse fixe :

Les lampes à décharge à haute intensité et à haut rendement (lampes au mercure, lampes halogènes, etc.) sont de plus en plus utilisées pour l'éclairage minier. Pour chacune de ces lampes, vous devez attendre 1 à 7 minutes pour atteindre le flux lumineux maximum. De plus, en cas de panne de courant ou de panne de courant, le tube à arc doit refroidir avant de rallumer l'arc [8].

I.7.2 Source lumineuse mobile :

Sur les chantiers de construction tentaculaires verticalement et horizontalement avec un dynamitage constant, l'utilisation de systèmes d'éclairage fixes est souvent peu pratique en raison des coûts d'installation et de maintenance. Dans de nombreuses mines, la source de lumière la plus importante est la lampe du casque du mineur. Ce sont souvent des lampes miniatures, et leur petite taille facilite l'orientation du faisceau. La lampe peut fonctionner à une température plus élevée, ce qui entraîne une luminosité plus élevée [8].

I.8 Équipements de protection individuelle :

I.8.1 Les obligations au travail des mines :

Le règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines (RSSM) répertorie les équipements de protection obligatoires qu'un mineur doit porter au travail. Ceci comprend :

- Un harnais de sécurité.
- Un casque de sécurité équipé de différents accessoires (coquilles, lampe frontale, radio).
- Des chaussures de protection ou des bottes équipées d'un protecteur métatarsien.
- Un appareil de protection respiratoire (si le mineur exploite une machine d'excavation, par exemple).
- Des lunettes de protection.

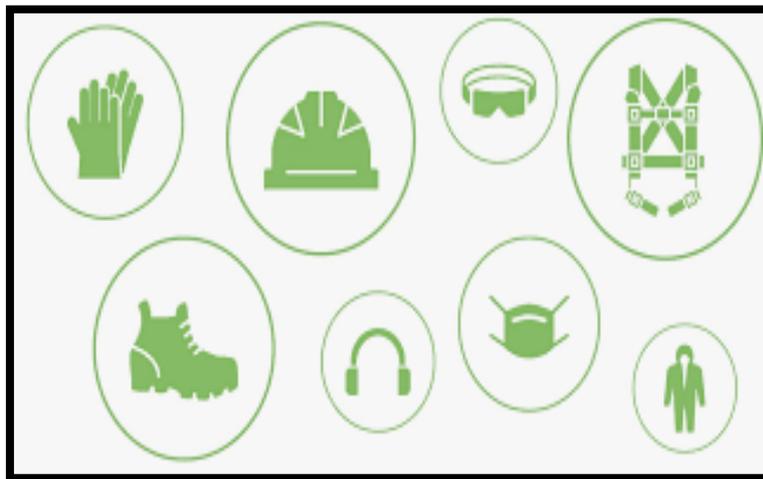


Figure I.8 Les équipement de protection individuelles pour le mineur.

I.8.2 Equipement de Protection Individuelle (EPI) de la tête :

Le nombre d'accidents de travail avec arrêts du fait d'un traumatisme à la tête représente 4% du total et 10% des décès. Il s'agit donc d'un risque de fréquence mortelle élevée, qui doit être bien pris en compte par des équipements de protection individuelle appropriés à l'activité concernée [13].

Par Equipement de Protection Individuelle (EPI) de la tête, on entend les casques, casquettes, et des cagoules qui font l'objet concernant la protection respiratoire. Les risques encourus pour la tête :

- Chute d'objet.
- Heurt, choc (moins spectaculaire que la chute d'objets mais plus fréquent).
- Thermique (chaleur et froid).
- Les intempéries et les poussières.
- Electrique.
- Projection de liquides ou d'éclats solides [13].

I.9 Les casques de sécurité :

Le crâne est une partie très fragile du corps. L'os du crâne protège le cerveau. Un choc violent sur le crâne peut vous coûter la vie. Voilà pourquoi la protection du crâne et de la tête entière par un casque de chantier doit être une priorité absolue pour tous ceux qui exercent des travaux de chantier. Dans les usines, entrepôts ou même les lieux de travail où le risque de chute et d'accidents de travail est élevé, le port d'un casque de sécurité chantier est donc une obligation.

I.9.1 Définition :

Les casques doivent avoir un double rôle d'anti-pénétration et d'amortisseur. Un casque de sécurité se compose d'une calotte et d'une coiffe. Ces deux éléments sont complémentaires et ils nécessitent une vérification et un entretien réguliers. La calotte, étanche et légère, souvent rigide, est conçue pour protéger le travailleur contre la chute d'objets en faisant dévier ceux-ci. La coiffe est aussi importante que la calotte. Elle maintient la calotte au-dessus de la tête et fait office d'amortisseur. Elle maintient aussi la calotte en place sur la tête et permet à l'air de circuler librement [14].

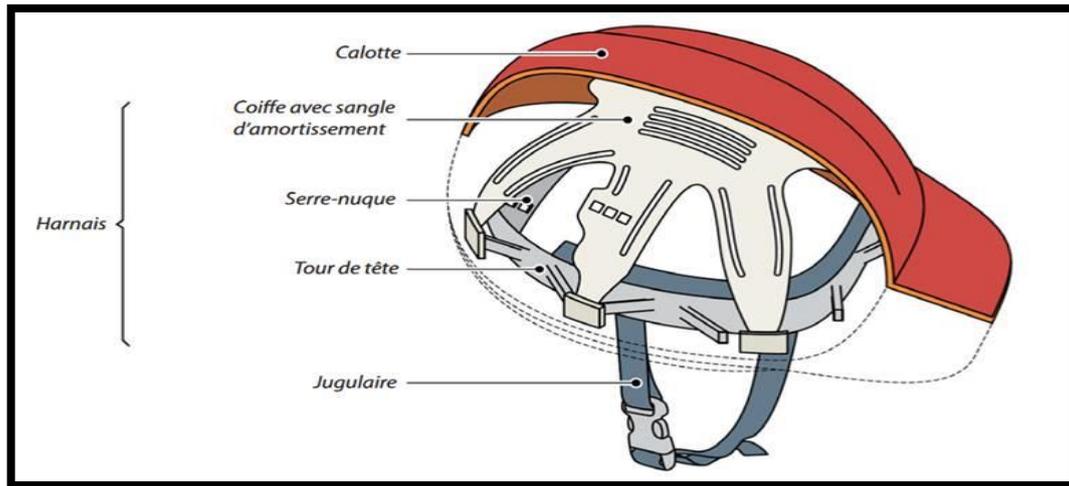


Figure I.9. Casque de sécurité à bords pleins.

La durée d'utilisation d'un casque est variable selon son matériau de fabrication et peut être indiquée sous la visière du casque. Les casques doivent être conformes à des exigences d'impact et de pénétration verticaux ; il peut y avoir aussi éventuellement des capacités de résistance à la déformation latérale, des exigences vis-à-vis de projections de métal en fusion [14].

Tableau I.5. Les durées d'utilisation indiquées par les fabricants.

Matériau du casque	Durée d'utilisation conseillée
Polyéthylène	36 mois
Polyamide	48 mois
ABS	48 mois
Polyester + fibre de verre	48 mois
Phénol textile	60 mois

I.9.2 Importance de casque de sécurité :

Un casque de sécurité est un type de casque principalement utilisé dans les environnements de travail tels que les chantiers industriels ou de construction pour protéger la tête des blessures dues à la chute d'objets, aux chocs avec d'autres objets, aux débris, à la pluie et aux chocs électriques. Les bandes de suspension à l'intérieur du casque répartissent le poids du casque et la force de tout impact sur le dessus de la tête. Certaines coques de casque ont une arête de renfort médiane pour améliorer la résistance aux chocs, mais ne sont pas suffisantes pour absorber les impacts importants, comme celui d'un outil tombé de plusieurs étages [14].

I.9.3 Types des casques de sécurité :

❖ Le casque le plus courant utilisé sur le marché est le casque de protection pour l'industrie, celui-ci à un usage courant, celui-ci est appelé casque de protection courant.

❖ Un autre casque est le casque de protection à haute performance pour l'industrie, il protège aussi de la chute d'objets mais plus encore car il offre une protection plus complète : La protection des chocs en haut du crâne et la protection contre l'intrusion d'une masse percutante à lame plate, ce casque se nomme le casque de protection haute performance.

❖ Il existe aussi des modèles de casque électricien isolant qui sont utilisés sur des installations à basse tension et qui eux servent à protéger les électriciens du risque de chute d'objets sans mettre en danger leur sécurité et tout en évitant le risque d'électrisation par contact électrique lors de travaux réalisés à proximité de parties sous tension.

❖ Pour terminer, il existe le casque que l'on appelle le casque de protection forestier ; Il s'agit d'un casque de sécurité avec une visière grillagée, il est conçu pour protéger les bucherons et les forestiers de la chute d'objets mais aussi du jaillissement de brindilles et de la projection dans les yeux qui pourraient blesser les professionnels.



Figure I.10 Un casque de protection forestier.



Figure I.11 Un casque électricien isolant.

I.9.4 Normes des casques de sécurité :

Les casques de protection soient conformes à la norme ANSI/ISEA Z89.1-2014 - American National Standard for Industrial Head Protection. Chaque casque est spécifié à la fois par le type et la classe. Les types incluent :

- Les casques de protection ANSI Type I / CSA Type 1 répondent aux exigences strictes en matière d'impact vertical et de pénétration.

- Les casques de protection ANSI Type II / CSA Type 2 répondent aux exigences de pénétration et d'impact vertical et latéral et ont une doublure intérieure en mousse en polystyrène expansé (EPS).

Des classes :

- La classe E (électrique) offre une protection diélectrique jusqu'à 20 000 volts.
- La classe G (général) offre une protection diélectrique jusqu'à 2 200 volts.
- La classe C (conductrice) n'offre aucune protection diélectrique.

Un casque est spécifié à la fois par le type et la classe ; par exemple : Type I Classe G [14].

I.9.5 Couleurs et identification :

Il existe différents couleurs des casques, cela représente les différents rôles des personnes qui les portent sur le chantier. Ces désignations de couleurs varient d'une entreprise à une autre, elles sont désormais considérées comme la norme sur le lieu de travail.

- Noir : superviseurs ;
- Blanc : un tel produit en blanc est destiné aux conducteurs de travaux, aux chefs de chantiers, aux ingénieurs. Un casque de ce type est également proposé aux visiteurs de passage sur le chantier ;
- Orange ou rouge : ce sont les chaudronniers qui utilisent le plus ces casques de sécurité ;
- Bleu : ce produit est utilisé par les professionnels de l'électricité et de la charpente.

Les chefs d'équipe en portent également ;

- Jaune : est la couleur standard des casques de sécurité, souvent la plus facile à trouver et la plus utilisée. L'orange est une couleur populaire parmi les chemins de fer qui, ont leur propre palette de couleurs, comme de nombreux autres lieux de travail.

I.9.6 Exemples des modèles des casques de sécurité :

Il existe donc de multiples modèles de casque de sécurité, conçus pour répondre à différents niveaux de protection : casque isolant, casque avec ou sans visière, casque avec ou sans protection auditive, etc. Parmi les différents casques [15] :

- « V-Guard 200 » de la marque MSA équipé d'une gouttière de protection contre la pluie, ainsi que d'un système de ventilation intégré ;

- « Technical 580754301 » de la marque Husqvarna est très complet : il est doté d'une visière grillagée en métal avec champ de vision large et de protège-oreilles réglables pour une protection anti-bruit ;
- « Spectrum de Centurion » offre une protection oculaire avec sur-lunettes antibuée et anti-rayures ;
- Le « Casque IDRA » de la marque Auboueix est un casque spécialement conçu pour protéger contre les arcs électriques et les court-circuits en électricité basse tension [15].



Figure I.12 Casque modèle "V-Guard 200".



Figure I.14 Casque modèle "Spectrum de Centurion".



Figure I.13 Casque modèle "Technical 580754301".



Figure I.15 Casque modèle "Casque IDRA".

I.10 L'état de l'art d'un casque de sécurité pour le mineur :

Les premiers mineurs sont descendus « tête nue ». Aucune protection n'était prévue surtout qu'elle était à leur frais. Évidemment, les ouvriers se sont vite couverts avec ce qu'ils avaient suite à de nombreuses blessures plus ou moins graves. Le casque était l'équipement le plus indispensable avec la lampe pour aller au fond, il a beaucoup évolué depuis le début de l'exploitation pour les mineurs.

Tout d'abord, en parlant des barrettes (Figure I.16), ce sont de simples casques faits en cuir bouilli (cuir dur séché), apparu avant le XX^e siècle. Ce casque ne protégeait pas vraiment des chutes de pierres. Par contre, il est rapidement prévu pour y mettre une lampe comme l'astiquette.



Figure I.16 Barrette en cuir bouilli, avant le XXe siècle.



Figure I.17 Barrette modernisée en cuir dure.

Sous cette barrette, pour contenir la transpiration mais aussi pour éviter que la barrette irrite le crâne, les mineurs inséraient entre la tête et la barrette un linge appelé « béguin ». Ce béguin a évolué lui aussi, au départ un simple linge amené par le mineur mais après un véritable bonnet prévu à cet effet, préparé soigneusement par la femme du mineur.

Cependant, ce type de casque s'est beaucoup modernisé par la suite, toujours en cuir dur (Figure I.17). On note également qu'on ne trouve aucune attache pour la lampe frontale, tout simplement parce qu'à cette époque, la lampe électrique n'existait pas, que l'on mettait sur un pic et que l'on accrochait sur le devant du casque.

Puis vers le début du XX^e siècle, lorsqu'apparaît la lampe électrique frontale, on trouve des barrettes en deux modèles (Figure I.18) Eux aussi toujours dans la même matière que les précédentes, mais cependant elles possèdent cette fois ci les attaches pour les lampes. De plus, ces nouvelles barrettes sont déjà bien plus résistantes que les précédentes.



Figure I.18 Barrette avec une attache de lampe frontale.

Durant des années, les barrettes se succèdent les unes après les autres, en changeant de forme et en devenant plus solides les unes par rapport aux autres (Figure I.19), voici une des

dernières variantes apparues différentes couches de cuir dur séchées, rivetées les unes sur les autres pour solidifier le casque (Figure I.20).



Figure I.19 Le changement de forme des barrettes en devenant plus solides.



Figure I.20 Le dernier casque en cuir dur apparait.

Ensuite, on aperçoit bien un casque sur toute sa surface la fibre de verre qui le constitue. Vers les années 50 que l'on voit passer à des casques beaucoup plus rigides, c'est ainsi qu'apparaissent les casques métalliques. Ce casque a sans doute été l'un des casques les plus importants dans l'histoire minière, qu'il est un véritable progrès dans la sécurité minière.



Figure I.21 Casque en fibre de verre et l'autre métallique.

Puis vers les années 60, apparaissent les premiers casques blancs (Figure I.22). Le casque à nouveau en fibre de verre et bien plus solide que les précédents à petit colin.

La production des casques métalliques fut arrêtée pour des questions de sécurité, car ces casques peuvent être à l'origine de certaines étincelles qui provoqueront par la suite des coups

de grisou. Plus tard, vers les années 80, apparaîtront les premiers casques en plastique (Figure I.23).



Figure I.22 Le premier casque blanc en fibre de verre.



Figure I.23 Le premier casque apparait en plastique.



Figure I.24 Dernier casque de mineur de fond entre les années 90 et 2000.

Et effet, le dernier casque créé pour les mineurs de fond (Figure I.24), qui est apparu entre les années 90 et les années 2000. Ce casque est entièrement conçu en plastique, ainsi la tache de la lampe frontale de façon à éviter le maximum d'accidents. Ce casque sera le dernier casque que les mineurs porteront jusqu'à 2004. En 2012 casques solides (Figure I.25), confortables et légers, fournis avec un support de lampe et passe câble, une coiffe textile 6 points et une garniture de confort en PVC.



Figure I.25 Des casques mineurs (2012).

Enfin, ces dernières années, le casque a peu à peu évolué grâce à la technologie contemporaine, par Rey Boucher le vice-président de Jannatec Technologies, il est doté de six lumières bleues et d'une caméra frontale de capter des photos et des vidéos qui sont sauvegardées dans une mémoire interne rendre possible la transmission en temps réel (Figure I.26) [16]. Ces caractéristiques Ils peuvent encore être modifié et développées au plus avec le savoir-faire et les techniques scientifiques.



Figure I.26 La dernière évolution du casque mineur en 2019.

I.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons projeté la lumière sur les bases théoriques dans les mines. On a appris à connaître les causes les plus fréquents des accidents dans les mines souterraines et comment elles peuvent prévenir la vie des personnes. La tête, l'organe le plus sensible et plus vulnérable, peut réduire la capacité des gens mineurs à effectuer les tâches et jusqu'à la mort.

Ce chapitre traite les différents casques utilisés et déjà réalisés pour un but de protection des personnes. Pour contrôler les paramètres indispensables, on a besoin d'un système embarqué qui dépose principalement d'une unité de commande, des actionneurs et des capteurs qui sont bien détaillé en chapitre suivant.

Chapitre II



Généralités sur l'Arduino et le matériel utilisé

II Chapitre 2 : Généralités sur l'Arduino et le matériel utilisé

II.1 Introduction :

Un système embarqué désigne le matériel informatique que le logiciel utilisé disposant d'une autonomie optimale. Il est destiné à prendre en charge diverses tâches au sein de la firme, en jouant un rôle crucial dans l'informatique industrielle et garantissent le bon fonctionnement des machines.

Dans ce chapitre pour contrôler des paramètres on a besoin d'un système embarqué qui nous allons donner une description détaillée de ses composants tel que l'Arduino et les capteurs avec leur mode de fonctionnement, caractéristiques et applications pour chaque composant utilisé dans ce projet.

II.2 Description de la carte Arduino Méga :

Une carte programmable est une carte sur laquelle est intégré des composants électroniques dont un ou plusieurs microcontrôleurs. Un microcontrôleur permet de contrôler la carte avec un programme informatique. Ce programme peut être écrit en divers langages de programmation, puis implémenté sur le microcontrôleur. Une fois le programme est injecté dans la carte, on peut l'utiliser en toute autonomie sans ordinateur. Les constructeurs de cartes programmables proposent plusieurs types de cartes. En fonction de besoin souhaité, il faut faire le bon choix en étudiant les caractéristiques de chaque carte, comme pour un ordinateur.

- Arduino
- Raspberry PI
- Node MCU...

L'Arduino est l'une des plus populaire marque de cartes programmables [17].

II.2.1 Définition de la carte programmables Arduino :

Le système Arduino est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur et de composants minimum pour réaliser des fonctions plus ou moins évoluées à bas coût. Elle possède une interface USB pour la programmer. C'est une plateforme open-source qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur de la famille Atmel AVR, et un logiciel,

véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

Arduino peut être utilisé pour développer des applications matérielles industrielles légères ou des objets interactifs (création artistiques par exemple), et peut recevoir en entrées une très grande variété de capteurs. Arduino peut aussi contrôler une grande variété d'actionneurs (lumières, moteurs ou toutes autres sorties matériels). Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou communiquer avec des logiciels sur un ordinateur (Flash, Processing ou MaxMSP) [18].

On peut considérer l'Arduino comme le cerveau qui permet de rendre intelligent des systèmes électroniques et capable d'animer les dispositifs mécaniques.

II.2.2 Composants de la carte ARDUINO :

Elle est composée de deux parties principales, qui sont : le matériel et le logiciel. Ces deux outils réunis, on fera n'importe quelle réalisation possible.

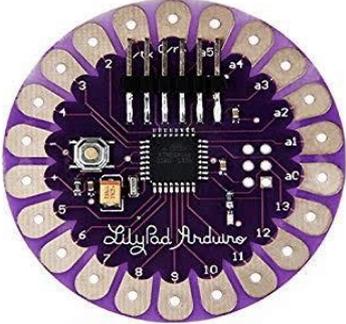
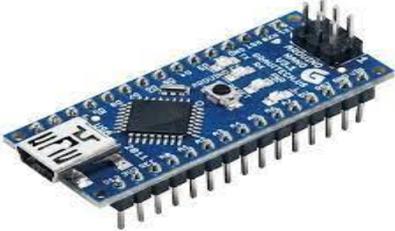
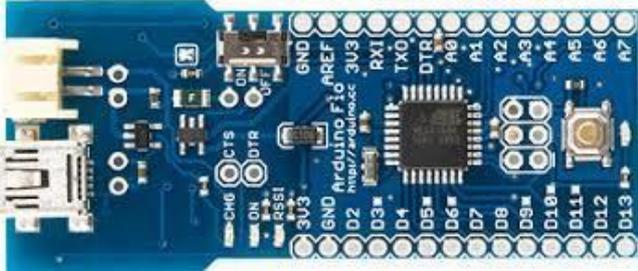
➤ **Le matériel :** Ce sont des cartes électroniques programmables (donc dotées d'un processeur et de mémoire) sur lesquelles nous pouvons brancher des capteurs de température, d'humidité, de vibration ou de lumière, une caméra, des boutons, des potentiomètres de réglage, des contacts électriques... Il y a aussi des connecteurs pour brancher des LED, des moteurs, des relais, des afficheurs, un écran...

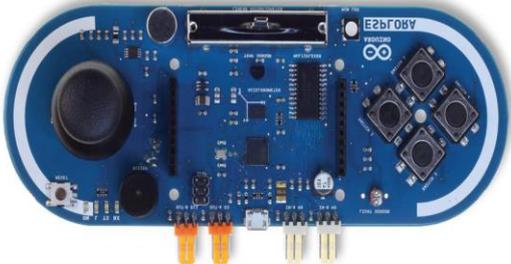
➤ **Le logiciel :** Les créateurs d'Arduino ont développé un logiciel pour que la programmation des cartes Arduino soit visuelle, simple et complète à la fois. C'est ce que l'on appelle une IDE, qui signifie Integrated Development Environment ou Environnement de Développement «Intégré» en français (donc EDI). L'IDE affiche une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation [19].

II.2.3 Les gammes de la carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, on peut citer quelques une afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique.

Tableau II.1 Les types de carte Arduino et leur chronologie.

Versions des cartes Arduino	
<p>Diecimila. 2007. ATmega168V</p> 	<p>LilyPad. 2007. ATmega168V/ATmega328V</p> 
<p>Nano. 2008. ATmega328/ATmega168</p> 	<p>Mini. 2008. ATmega168</p> 
<p>Mini Pro. 2008. ATmega328</p> 	<p>Duemilanove. 2008. ATmega168/ATmega328</p> 
<p>Fio. 2010. ATmega328P</p> 	<p>Uno. 2010. ATmega328P</p> 

<p>Ethernet. 2011. ATmega328</p> 	<p>Mega ADK. 2011. ATmega2560</p> 
<p>Leonardo. 2012. ATmega32U4</p> 	<p>Esplora. 2012. ATmega32U4</p> 
<p>Micro. 2012. ATmega32U4</p> 	<p>Yún. 2013. ATmega32U4 +Linino</p> 

II.2.4 La carte Arduino Méga 2560 :

II.2.4.1 La présentation de la carte Arduino méga 2560 :

L'Arduino Méga 2560 est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega2560. Il dispose de 54 broches d'entrée / sortie numériques (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), un oscillateur à cristal 16 MHz, un port USB pour connexion, une prise d'alimentation, un en-tête ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur ; on doit simplement le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou l'alimenté avec un adaptateur AC-DC ou une batterie pour commencer [20].

II.2.4.2 Caractéristiques techniques de la carte Arduino 2560 :

On présente les caractéristiques de la carte Arduino dans le tableau ci-après [21].

Tableau II.2. Caractéristiques de la carte Arduino Méga 2560.

Microcontrôleur :	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5 V
Gamme de tension d'entrée (recommandée)	7-12 V
Gamme de tensions d'entrée (limite)	6-20 V
Pins digitaux I/O	54
Pins digitaux I/O PWM	14
Pins d'entrée analogique	16
Courant direct par pin I/O	40 Ma
Courant direct pour les pins 3,3 V	50 mA
Mémoire flash	256 KB
Mémoire Flash du Bootloader	8 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Fréquence d'horloge de l'oscillateur à quartz	16 MHz
Dimensions	101,52 x 53,3 MM
Poids	37 g.

II.2.4.3 Avantages d'Arduino Méga 2560 :

- Grand nombre d'entrée/sortie pour raccorder des capteurs ou des actionnaires.
- Capacité de mémoire suffisante pour les gros projets.
- Plus de broches UART (4 port de communication série).
- Plus de broches MLI (15 sorties numériques peuvent être utilisées comme MLI).
- Compatible avec la plupart des Shield conçue pour Arduino [22].

II.2.4.4 Inconvénients d'Arduino Méga 2560 :

- Facteur de forme plus élevée que pour l'Arduino Uno et Nano.
- Plus chère que l'Arduino Uno et Nano [22].

II.2.5 Partie matérielle :

Généralement tout module électronique qui possède une interface de programmation est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus.

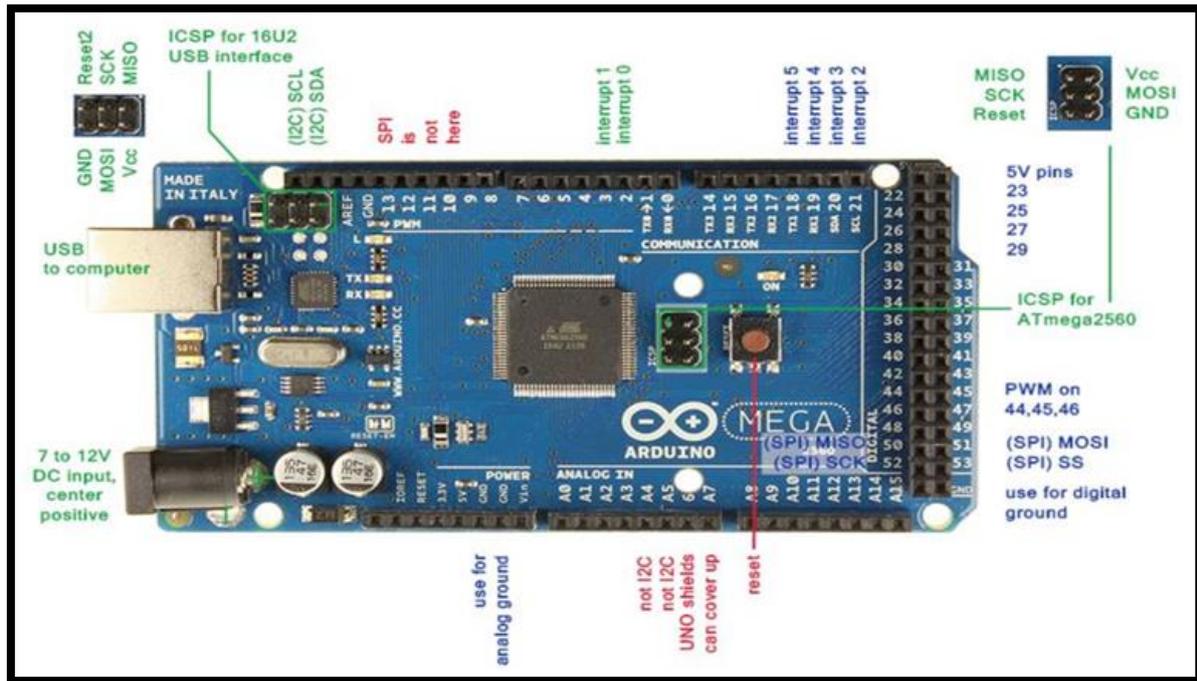


Figure II.1. Arduino Méga 2560.

II.2.5.1 Microcontrôleur ATmega2560 :

Un microcontrôleur ATmega2560 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit, c'est le processeur de la carte, s'occupe de tout ce qui est calculs, exécution des instructions du programme et gestion des ports d'entrée/sortie [23].

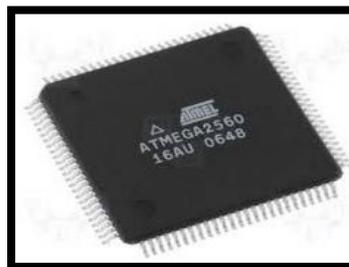


Figure II.2 Microcontrôleur ATmega 2560.

II.2.5.2 Les mémoires :

L'ATmega 2560 à 256Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 8Ko également utilisés par le Bootloader), également 8 ko de mémoire SRAM (volatile) et 4Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM) [23].

II.2.5.3 Les sources de l'alimentation de la carte :

La carte Arduino Méga 2560 peut être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V, et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer ce dernier [23].

II.2.5.4 Entrées et sorties numérique :

Chacune des 54 broches numériques de la carte Méga peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique [24].

II.2.6 Pourquoi l'Arduino Méga 2560 :

- Prix : peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes, pas cher.
- Multiplateforme : Le logiciel Arduino, écrit en Java ou C, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux.
- Environnement de programmation clair, simple et facile à utiliser pour les débutants.
- Logiciel e matériel open source et extensible, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées [25].

II.2.7 L'utilité et les applications d'Arduino :

Le système Arduino, donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique. L'utilité est sans doute quelque chose que l'on perçoit mal lorsque l'on débute, mais une fois que de rentrer dans le monde de l'Arduino, fasciner par l'incroyable puissance dont il est question et des applications possibles.

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines. Pour quelques exemples [26] :

- Contrôler les appareils domestiques.
- Fabriquer votre propre robot.
- Faire un jeu de lumières.
- Communiquer avec l'ordinateur.
- Télécommander un appareil mobile (modélisme) etc.

II.3 Les capteurs :

II.3.1 Définition :

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable.

En d'autres termes un capteur est une interface entre un processus physique et une information manipulable. Il ne mesure rien, mais fournit une information en fonction de la sollicitation à laquelle il est soumis. Il fournit cette information grâce à une électronique à laquelle il est associé. Il existe trois familles de capteurs [27] :

- **Capteurs TOR** : Permettent de détecter un événement ou un objet, le signal électrique en sortie est de type logique (2 niveaux logiques 0 ou 1).
- **Capteurs Numériques** : La sortie est une séquence d'états logiques, elle peut prendre une infinité de valeurs discrètes.
- **Capteurs Analogiques** : La sortie est une grandeur électrique dont la valeur est une fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur, elle peut prendre une infinité de valeurs continues.

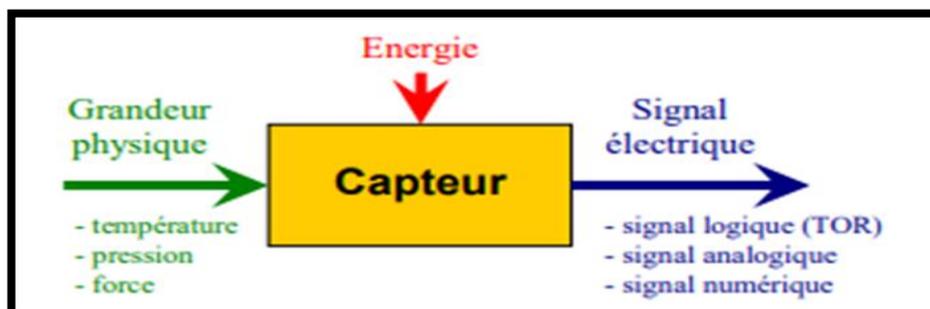


Figure II.3. Capteur analogique.

II.3.2 Types de capteurs :

Il existe différents types de capteurs disponibles pour détecter la lumière, la température, le bruit, la fumée, la proximité, etc....Chaque catégorie peut aussi se diviser en 3 sous catégories : les capteurs mécaniques, les capteurs électriques et les capteurs pneumatiques. Pour choisir nos capteurs il faut prendre en considération les caractéristiques qu'on souhaite leurs attachés, ces caractéristiques sont :

- L'étendue de la mesure : C'est plus ou moins la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible.
- La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande [25].

II.3.3 Capteurs utilisés :

II.3.3.1 Capteur de température et d'humidité DHT11 :

❖ Définition :

Le DHT11 est un capteur numérique ne coûte pas cher pour détecter la température et l'humidité. Le composant de détection température est une thermistance de type NTC, le terme "NTC" qui signifie que la résistance diminue avec l'augmentation de la température. Le composant de détection d'humidité comporte deux électrodes avec un substrat retenant l'humidité (généralement un sel ou un polymère plastique conducteur) pris en sandwich entre elles. Il détecte l'humidité relative des environnements immédiats dans lesquels ils sont placés. Il mesure à la fois l'humidité et la température de l'air et expriment l'humidité relative en pourcentage du rapport entre l'humidité de l'air et la quantité maximale pouvant être contenue dans l'air à la température actuelle. Le capteur d'humidité et de température DHT11 est disponible en tant que capteur et module [24].

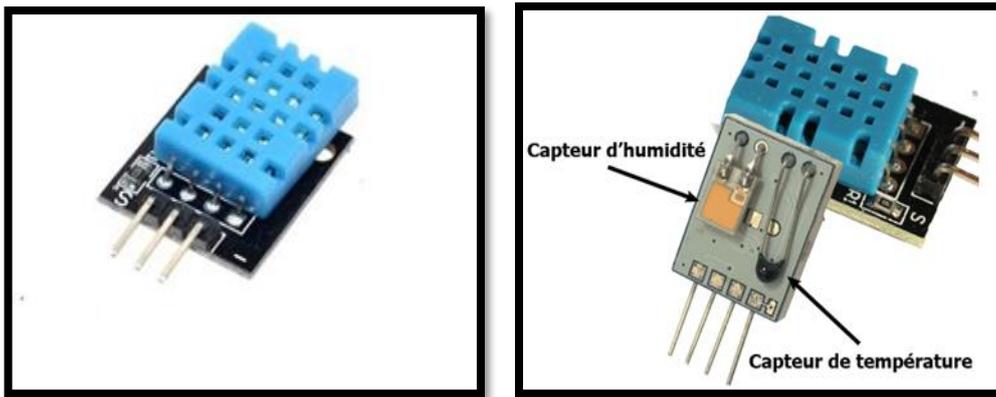


Figure II.4 Capteur d'humidité et de température.

❖ Différence entre le capteur DHT11 et le module :

Le capteur DHT11 peut être acheté en tant que capteur ou module. Dans les deux cas, les performances du capteur sont identiques. Le capteur sera fourni sous la forme d'un boîtier à 4 broches dont seules trois broches seront utilisées tandis que le module sera fourni avec trois broches. La seule différence entre le capteur et le module est que le module aura un condensateur de filtrage et une résistance de rappel intégrés, et pour le capteur, vous devez les utiliser en externe si nécessaire [24].

❖ Principe de fonctionnement de DHT11 :

Ce capteur combiné d'humidité relative et de température DHT11 est un appareil de mesure facile à utiliser avec un prix abordable, des températures de 0 à +50°C avec une précision de +/- 2°C et des taux d'humidité relative de 20 à 80% avec une précision de +/- 5% avec une mesure toutes les deux secondes. Le DHT11 et ses quatre broches à dimensions standard le rendent à la fois soudable et enfichable. On peut rencontrer deux types différents du DHT11, un type à quatre broches et l'autre type à trois broches monté sur une petite circuit imprimé (ou PCB). La version montée sur PCB est plus pratique car elle comprend une résistance « pull-up » de 10K Ohm montée en surface pour la ligne de signal [23].

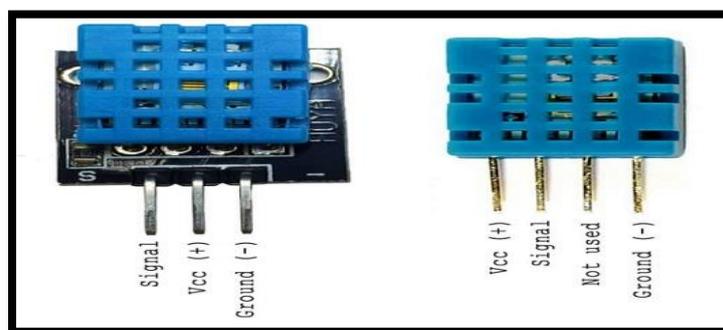


Figure II.5 Les broches de capteur DHT11.

❖ Application de DHT11 :

- La mesure des valeurs d'humidité et de température dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation.
- Station météo locale.
- Contrôle automatique du climat.
- Surveillance de l'environnement.

II.3.3.2 Capteur de gaz MQ2 :**❖ Définition :**

Le MQ2 est un capteur qui permet de détecter du gaz ou de la fumée à des concentrations de 300 ppm à 10000 ppm. Après calibration, il peut détecter différents gaz comme le GPL (LPG), l'i-butane, le propane, le monoxyde de carbone, le méthane, l'alcool, l'hydrogène ainsi que les fumées. Il est conçu pour un usage intérieur à température ambiante, il doit être alimenté en 5V pour le capteur physico-chimique puisse atteindre sa température de fonctionnement et consomme environ 800 mW avec une consommation de courant d'environ 150 mA. Il peut détecter des concentrations de GPL, de fumée, d'alcool, de propane, d'hydrogène, de méthane et de monoxyde de carbone de 200 à 10000 ppm [28].



Figure II.6 Capteur de gaz MQ2.

Il s'agit d'une sortie numérique et analogique, ce qui le rend compatible avec la plupart des modules de mise en service, y compris le Raspberry Pi et l' Arduino.

Voici les spécifications complètes :

- Tension de fonctionnement : 5V.
- Résistance à la charge : 20K Ω .
- Résistance de chauffage : 33 $\Omega \pm 5\%$.
- Consommation de chauffage : < 800 mW.
- Résistance de détection : 10 K Ω - 60 K Ω .

- Portée de concentration : 200-1000ppm.
- Temps de préchauffage : plus de 24h.

❖ Principe de fonctionnement :

Ce capteur contient un élément sensible, principalement en céramique à base d'oxyde d'aluminium, recouvert de dioxyde d'étain, L'élément sensible a six pattes de connexion qui lui sont attachées. Deux fils sont responsables du chauffage de l'élément sensible, les quatre autres sont utilisés pour les signaux de sortie.

L'oxygène est adsorbé à la surface du matériau de détection lorsqu'il est chauffé dans l'air à haute température. Ensuite, les électrons donneurs présents dans l'oxyde d'étain sont attirés vers cet oxygène, empêchant ainsi la circulation du courant.

En présence de gaz réducteurs, la densité de surface de l'oxygène adsorbé diminue à mesure qu'il réagit avec les gaz réducteurs. Les électrons sont ensuite libérés dans le dioxyde d'étain, permettant au courant de circuler librement à travers le capteur [27].

❖ Applications de MQ2 :

Le MQ2 est Utilisé pour détecter la présence de gaz dans l'air tels que le méthane, le butane, le GPL et la fumée. Ce capteur est également utilisé pour la surveillance de la qualité de l'air, l'alarme de fuite de gaz et pour le maintien des normes environnementales dans les hôpitaux. Dans les industries, ils sont utilisés pour détecter les fuites de gaz nocifs [28].

❖ Configuration des broches :

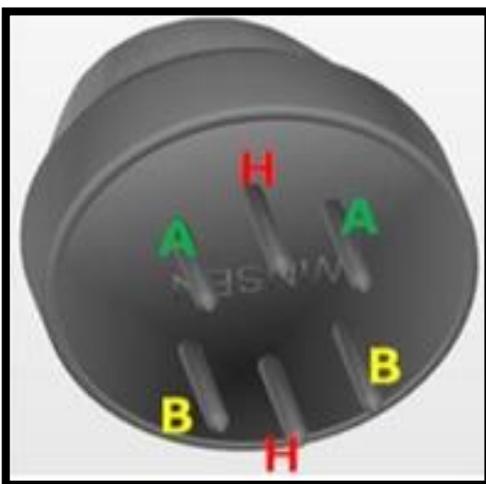


Figure II.7 Le module MQ2.

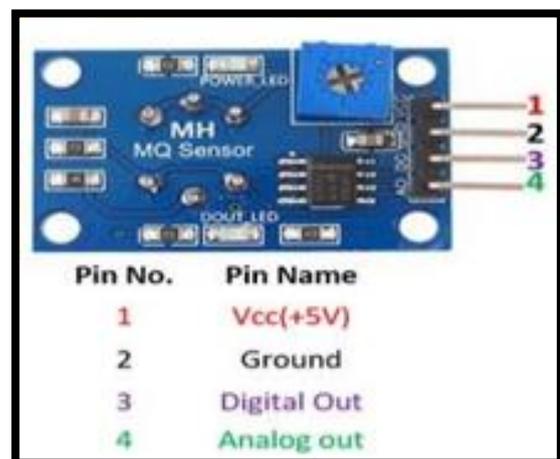


Figure II.8 Les broches de capteur MQ2

Tableau II.3 Configuration des broches pour le module MQ2.

Numéro de broche :	Nom de broche :	La description :
1	VCC	Cette broche alimente le module, généralement la tension de fonctionnement est de + 5V.
2	GND	Utilisé pour connecter le module à la masse du système.
3	Sortie numérique	Vous pouvez également utiliser ce capteur pour obtenir une sortie numérique à partir de cette broche, en définissant une valeur de seuil à l'aide du potentiomètre.
4	Sortie analogique	Cette broche délivre une tension analogique de 0 à 5 V en fonction de l'intensité du gaz.

Tableau II.4 Configuration des broches pour le capteur MQ2.

1	H –Pins	Sur les deux broches H, une broche est connectée à l'alimentation et l'autre à la terre
2	A-Pins	Les broches A et B sont interchangeables. Ces broches seront liées à la tension d'alimentation.
3	B-Pins	Les broches A et B sont interchangeables. Une broche agira comme sortie tandis que l'autre sera tirée à la masse.

II.3.3.3 Capteur de gaz MQ7 :

❖ Définition :

Le MQ7, capteur de gaz monoxyde de carbone, est un semi-conducteur capteur de gaz qui détecte la présence du gaz monoxyde de carbone à des concentrations de 10 ppm à 10000 ppm dans l'air et fait sortir le résultat comme une tension analogique. Le capteur est composé d'un micro-tube en céramique AL₂O₃, d'une couche sensible au dioxyde d'étain (SnO₂), Le capteur est enfermé dans deux couches de maillage fin en acier inoxydable appelé réseau anti-explosion. Cela garantit que l'élément chauffant à l'intérieur du capteur ne provoquera pas d'explosion, car nous détectons des gaz inflammables. Le capteur peut fonctionner à des températures comprises entre -10 et 50 ° C et consomme moins de 150 mA à 5 V [30].



Figure II.9 Capteur de gaz MQ7.

❖ **Caractéristiques :**

- Haute sensibilité aux gaz combustibles dans une large gamme.
- Haute sensibilité au gaz naturel.
- Une réponse rapide.
- Large plage de détection.
- Performances stables, longue durée de vie, faible coût.
- Circuit d'entraînement simple.

❖ **Fonctionnement de capteur MQ7 :**

Lorsque le dioxyde d'étain (particules semi-conductrices) est chauffé dans l'air à haute température, l'oxygène est adsorbé à la surface. En air pur, les électrons donneurs du dioxyde d'étain sont attirés par l'oxygène adsorbé à la surface du matériau à détecter. Cela empêche la circulation du courant électrique. En présence de gaz réducteurs, la densité de surface de l'oxygène adsorbé diminue à mesure qu'il réagit avec les gaz réducteurs. Les électrons sont ensuite libérés dans le dioxyde d'étain, permettant ainsi au courant de circuler librement dans le capteur [30].

❖ **Module de capteur MQ7 :**

Puisque le capteur de gaz MQ7 n'est pas compatible avec notre montage, nous utilisons le module MQ7. Il est très facile à utiliser et vient avec deux sorties différentes. Il fournit non seulement une indication binaire de la présence de gaz combustibles, mais également une représentation analogique de leur concentration dans l'air [30].

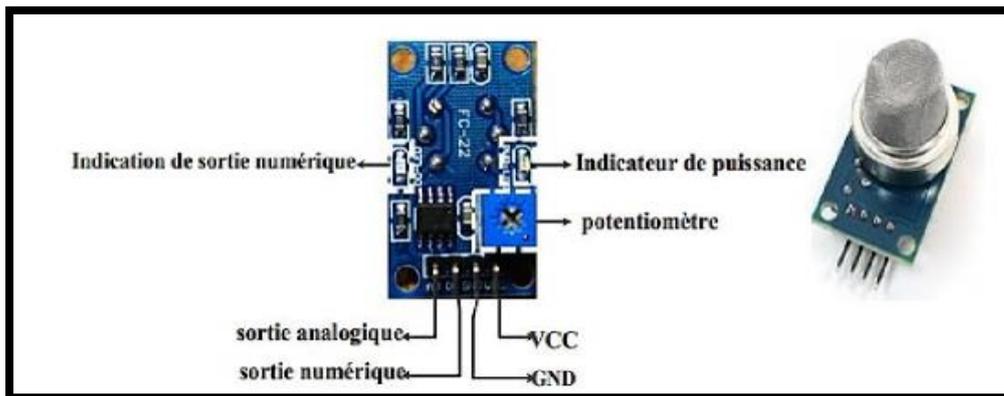


Figure II.10 Module de capteur de gaz MQ7.

Il y a 4 pins : + 5V, AOUT, DOUT et GND. Les pins VCC et GND établissent l'alimentation du capteur, Les 2 autres fils sont AOUT (sortie analogique) et DOUT (sortie numérique).

La tension de sortie analogique fournie par le capteur change proportionnellement à la concentration de gaz CO. Plus la concentration de gaz est grande, plus la tension de sortie est élevée, tandis que la moindre concentration de gaz entraîne une faible tension de sortie.

❖ **Application :**

- Détecteur de fuite de gaz domestique.
- Détecteur de CO industriel.

II.3.3.4 Capteur ultrasons HC-SR04 :

❖ **Description :**

Le capteur de distance à ultrasons HC-SR04 est un capteur utilisé pour détecter la distance d'un objet à l'aide d'un sonar. Il est idéal pour tous vos projets de robotique qui vous obligent à éviter les objets, en détectant à quelle distance ils sont [31].



Figure II.11 Capteur à ultrason HC-SR04.

Le HC-SR04 utilise un sonar à ultrasons sans contact pour mesurer la distance à un

objet et se compose de deux émetteurs à ultrasons (essentiellement des haut-parleurs), d'un récepteur et d'un circuit de commande. Les émetteurs émettent un son ultrasonore à haute fréquence, qui rebondit sur tous les objets solides à proximité, et le récepteur écoute tout écho de retour. Cet écho est ensuite traité par le circuit de commande pour calculer la différence de temps entre le signal émis et reçu. Ce temps peut ensuite être utilisé, avec quelques calculs astucieux, pour calculer la distance entre le capteur et l'objet réfléchissant [32].

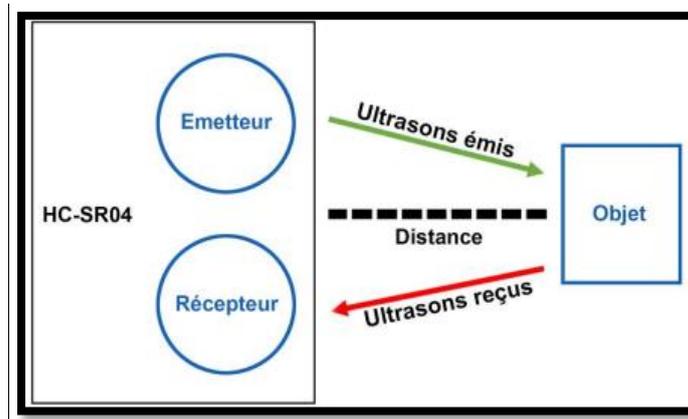


Figure II.12 Mise en marche de capteur à ultrason.

Circuit électrique d'ultrason HC-SR04 [33] :

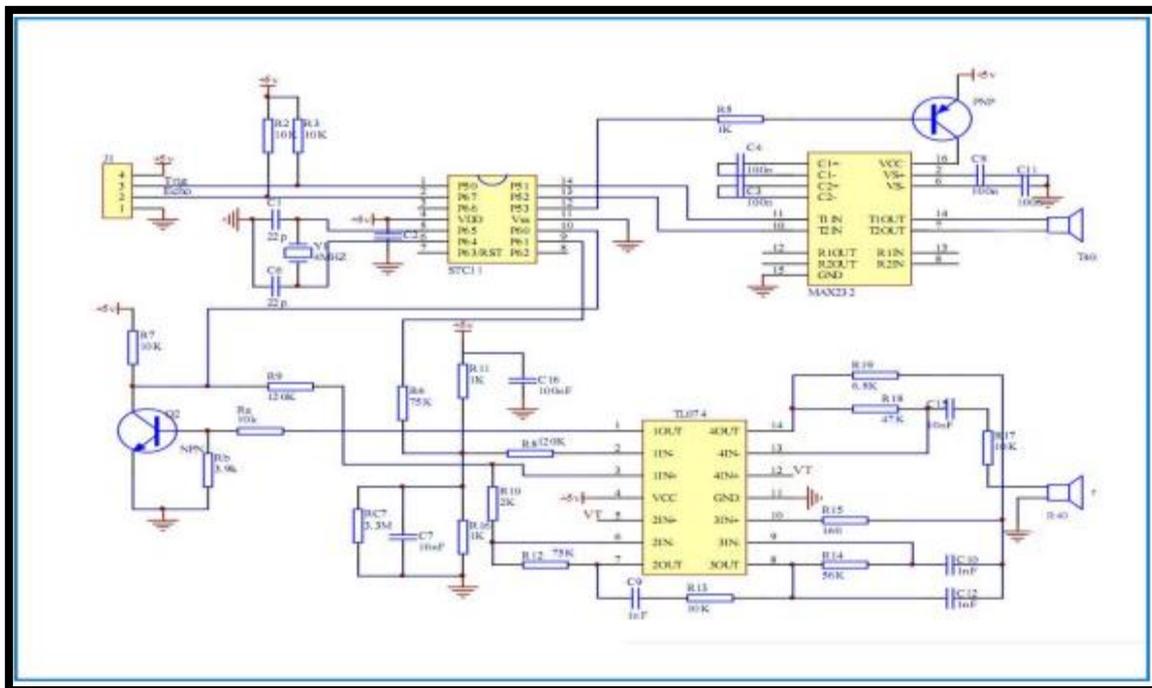


Figure II.13 Circuit électrique d'ultrason HC-SR04.

❖ **Configuration des broches du capteur à ultrasons :***Tableau II.5. Configuration des broches du capteur à ultrasons.*

Code PIN	Nom de la broche	La description
1	Vcc	La broche Vcc alimente le capteur, généralement avec +5V.
2	Déclencheur	La broche de déclenchement est une broche d'entrée. Cette broche doit être maintenue haute pendant 10 us pour initialiser la mesure en envoyant une onde américaine.
3	Écho	La broche d'écho est une broche de sortie. Cette broche monte pendant une période de temps qui sera égale au temps mis par l'onde américaine pour revenir vers le capteur.
4	Terre	La broche est connectée à la masse du système.

❖ **Le principe de fonctionnement :**

Le principe de fonctionnement du capteur est entièrement basé sur la vitesse du son. On envoie une impulsion HIGH de 10µs sur la broche TRIGGER du capteur. Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz (inaudible pour l'être humain, c'est quand plus agréable qu'un bip). Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retournent dans l'autre sens vers le capteur [33].

Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure. Le signal sur la broche écho du capteur reste à high durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance [34]. La distance de l'objet détecté est égale au temps de l'impulsion de sortie divisée par deux (le signal fait un aller-retour) et multipliée par la vitesse du son dans l'air (340m/s).

❖ **Caractéristiques du capteur HC-SR04 :**

- Tension de fonctionnement : +5V.
- Distance de mesure théorique : 2 cm à 450 cm.
- Distance de mesure pratique : 2 cm à 80 cm.
- Précision : 3 mm.
- Angle de mesure couvert : <15°.

- Courant de fonctionnement: <15 mA.
- Fréquence de fonctionnement : 40 Hz [32].

❖ **Applications :**

- Utilisé pour éviter et détecter les obstacles avec des robots comme un robot bipède, un robot éviteur d'obstacles, un robot de recherche de chemin, etc.
- Utilisé pour mesurer la distance dans une large plage de 2 cm à 400 cm.
- Peut être utilisé pour cartographier les objets entourant le capteur en le faisant pivoter.
- La profondeur de certains endroits comme les puits, les fosses, etc. peut être mesurée car les vagues peuvent pénétrer dans l'eau [33].

II.3.3.5 Capteur de fréquence de rythme cardiaque MAX30102 :

❖ **Description :**

Le MAX30102 est un module de biocapteur d'oxymétrie de pouls et de moniteur de fréquence cardiaque intégré. Il intègre une LED rouge et une LED infrarouge, une photo détectrice, des composants optiques et des circuits électroniques à faible bruit avec suppression de la lumière ambiante. Le MAX30102 est doté d'une alimentation de 1,8 V et d'une alimentation de 5,0 V distincte pour les DEL internes permettant de mesurer la fréquence cardiaque et l'oxygène dans le sang des appareils portables, que vous portez aux doigts, au lobe de l'oreille et au poignet [35].

De plus, la puce peut également éteindre le module à l'aide d'un logiciel, le courant de veille est proche de zéro et l'alimentation est toujours maintenue. En raison de ses excellentes performances, la puce est largement utilisée dans les téléphones mobiles Samsung Galaxie Séries.

Par rapport à la génération précédente MAX3010, la puce intègre un cache en verre qui élimine efficacement les interférences de lumière internes et externes et offre les meilleures performances fiables [34].

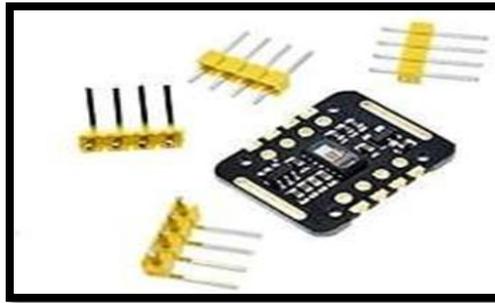


Figure II.14 Capteur de rythme cardiaque MAX30102.

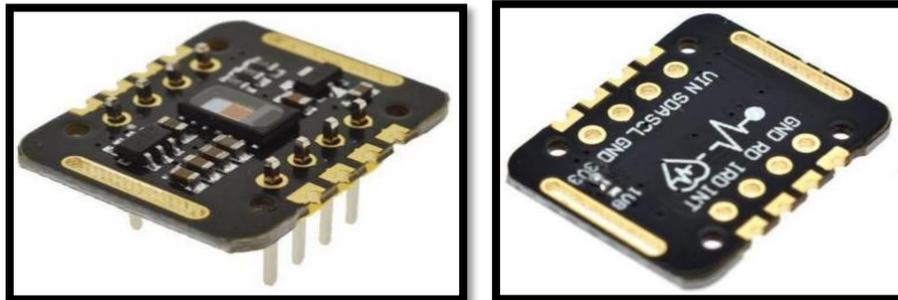


Figure II.15 Les broches de capteur MAX30102.

Tableau II.6 Configuration des broches (PIN).

Pin	Nom	Fonction
1	VIN	borne d'entrée d'alimentation principale 1.8-5V
2	SDA	Données I2C, bidirectionnelles (drain ouvert)
3	SCL	Entrée d'horloge I2C, l'horloge connectée au bus I2C
4 , 5	GND	Masse analogique ou fil de terre.
6	RD	borne de mise à la terre DEL rouge de la puce MAX30102, généralement non connectée ;
7	IRD	Masse de la DEL IR de la puce MAX30102 n'est généralement pas connectée ;
8	INT	Broche d'interruption de la puce MAX30102. Connexion à une tension externe avec une résistance pull up

❖ Les paramètres principaux :

- Longueur d'onde de crête de LED : 660nm / 880nm
- Tension d'alimentation LED : 3.3 ~ 5V
- Type de signal de détection : signal de réflexion de la lumière (PPG)
- Interface du signal de sortie : interface I2C
- Tension d'interface de communication : 1.8 ~ 3.3V ~ 5V (en option)
- Conseil réservé la taille de trou d'assemblage : 0.5 x 8.5mm.

❖ Principe de fonctionnement :

L'interface de communication standard compatible I2C peut transmettre les valeurs collectées « Arduino » à l'Arduino, au KL25Z et à d'autres microcontrôleurs pour le calcul de la fréquence cardiaque et de l'oxygène dans le sang.

- Méthode de dissolution de la lumière : mesure du pouls et de la saturation en oxygène dans le sang en utilisant un tissu humain afin de provoquer une transmittance différente lorsque le vaisseau sanguin bat ;

- Source de lumière : longueur d'onde spécifique d'une diode électroluminescente sélective pour l'oxyhémoglobine (Hb O₂) et l'hémoglobine (Hb) dans le sang artériel ;

- La transmittance est convertie en un signal électrique : la modification du volume de la pulsation artérielle entraîne une modification de la transmittance de la lumière.

A ce stade, le variateur photoélectrique reçoit la lumière réfléchiée par le tissu humain, la convertit en un signal électrique, l'amplifie et la restitue [35].

❖ Avantages et fonctionnalités :

• Moniteur de fréquence cardiaque à solution LED réfléchissante et capteur d'oxymètre de pouls.

• Petit module optique à 14 broches de 5,6 mm x 3,3 mm x 1,55 mm.

• Verre de protection intégré pour des performances optimales et robustes.

• Fonctionnement à très faible consommation d'énergie pour les appareils mobiles.

• Fréquence d'échantillonnage et courant LED programmables pour économiser de l'énergie.

• Moniteur de fréquence cardiaque à faible puissance (<1 mW).

• Courant d'arrêt très faible (0,7 μ A).

- Fonction de sortie de données à grande vitesse.
 - Taux d'échantillonnage élevé.
 - Force de rappel robuste contre les artefacts de mouvement.
 - Rapport signal/bruit élevé.
 - Plage de température de fonctionnement -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$ [36].
- ❖ **Applications :**
- Appareils portables, Smartphones.
 - Appareils d'assistance physique [36].

II.4 Partie de signalisation :

II.4.1 Buzzer :

❖ **Définition :**

Un buzzer est un composant petit mais efficace pour ajouter des fonctionnalités sonores à notre projet / système. Il est très petit et compact à 2 broches et peut donc être facilement utilisé sur une planche à pain, une carte perforée et même sur des PCB, ce qui en fait un composant largement utilisé dans la plupart des applications électroniques. Les buzzers sont également connus sous le nom d'alarmes audio, indicateurs audio, transducteurs audio, buzzers piézo, bips et / ou alarmes sonores. Buzzer est une structure intégrée de transducteurs électroniques, alimentation DC, largement utilisé dans les ordinateurs, imprimantes, copieurs, alarmes, jouets électroniques, automobile équipement électronique, téléphones, minuteries et autres produits électroniques pour une alarme sonore [24].



Figure II.16 Un buzzer.

❖ **Caractéristiques et spécifications du buzzer :**

- Tension nominale : 6V DC.
- Tension de fonctionnement : 4-8V DC.

- Courant nominal : <30Ma.
- Type de son : bip continu.
- Fréquence de résonance : ~ 2300 Hz.
- Emballage scellé petit et soigné.
- Compatible avec la planche à pain et la carte perforée [24].
- ❖ **Les types du buzzers :**

Ils peuvent être divisés en dispositifs piézoélectriques et électromécaniques :

➤ **Piézoélectriques** : les buzzers piézoélectriques contiennent une plaque de vibration piézoélectrique (également appelée élément piézoélectrique) dans un boîtier moulé. Le son est émis lorsqu'une tension est appliquée et l'élément piézo à l'intérieur du boîtier vibre.

➤ **Electromécanique** : les buzzers électromécaniques utilisent un électro- aimant et un disque en métal. Lorsqu'une tension est appliquée, un champ magnétique est généré, provoquant le déplacement de l'aimant et la vibration du diaphragme, générant un son audible [24].

Tableau II.7. Les différences entre piézo et électromécanique.

	Piézo	Électromécanique
Plage de tension de fonctionnement	3V-250V	1.5V-30V
Consommation de courant	Habituellement moins de 30mA	Jusqu'à 100mA
Fréquence nominale	Plus haute	Inférieur
Sortie sonore	Généralement plus élevé	Généralement plus faible

Les buzzers piézo utilisent généralement moins de courant, ils ont une sortie sonore plus élevée et une tension de fonctionnement plus large. Cependant, les buzzers électromagnétiques sont capables de produire du son à basse fréquence dans de petits boîtiers compacts [25].

Les buzzers peuvent également être divisés en indicateurs audio et transducteurs audio, où indicateurs audio ces appareils génèrent du son simplement en appliquant une tension continue. Et transducteurs audio sont pilotés à l'aide d'une tension alternative (un signal d'onde) [25].

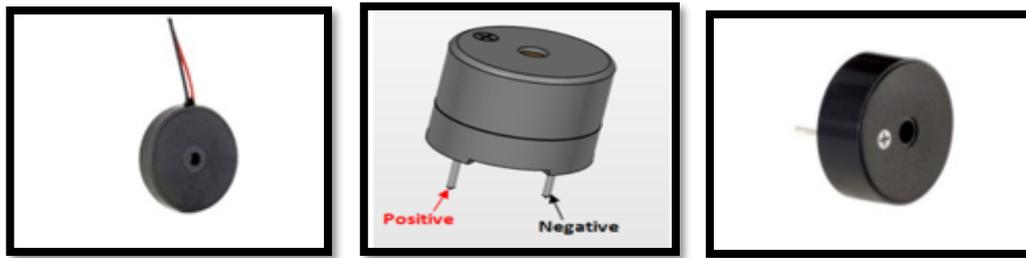


Figure II.17 Configuration des broches de buzzer.

Tableau II.8. Description des broches du Buzzer.

Code PIN	Nom de broche	La description :
1	Positif	Identifié par le symbole (+) ou un câble terminal plus long. Peut être alimenté par 6V DC
2	Négatif	Identifié par un câble terminal court. Généralement connecté à la masse du circuit

❖ Applications des buzzers :

Il existe de nombreux types d'applications qui utilisent des buzzers, généralement à des fins d'alarme ou d'identification. Ceux-ci inclus [25].:

- Produits de sécurité et de sûreté.
- Des appareils portables.
- Équipement médical.
- Systèmes de télésurveillance.
- Minuterries.
- Appareils ménagers.
- Instruments de mesure et de débit.
- Machines de pesage.
- Reconnaissance d'entrée utilisateur.

II.5 Bloc de communication :

II.5.1 Module Bluetooth HC-05 :

Bluetooth est une technologie de communication largement utilisée comme technologie de communication sans fil. Il est possible d'utiliser cette technologie dans des applications Arduino. Il existe pour cela plusieurs modules électroniques tels que le HC05 ou le HC06, très répandus [37].

Le module Bluetooth HC-05 est un module Bluetooth SPP (protocole de port série) facile à utiliser, conçu pour la configuration d'une connexion série sans fil transparente. Sa communication s'effectue via une communication série, ce qui facilite l'interface avec le

contrôleur ou le PC. Le module Bluetooth HC-05 fournit un mode de commutation entre les modes maître et esclave, ce qui signifie qu'il ne peut utiliser ni la réception ni la transmission de données. Le module Bluetooth HC-05 présente 6 broches pour permettre d'établir la connexion. Ces caractéristiques [38] :

- Alimentation : 3,6 à 6 Vcc (régulateur 3 Vcc intégré).
- Bluetooth : au protocole standard V2.0.
- Portée : jusqu'à 10 mètres.
- Liaison série : 4800 à 1382400 bauds.
- Antenne : 2,4 GHz intégrée.
- Sorties: Key, Vcc, GND, TXD, RXD et State.
- Configuration via commandes AT.
- Longueur du cordon : environ 20 cm.
- Dimensions : 35 x 16 x 12 mm.

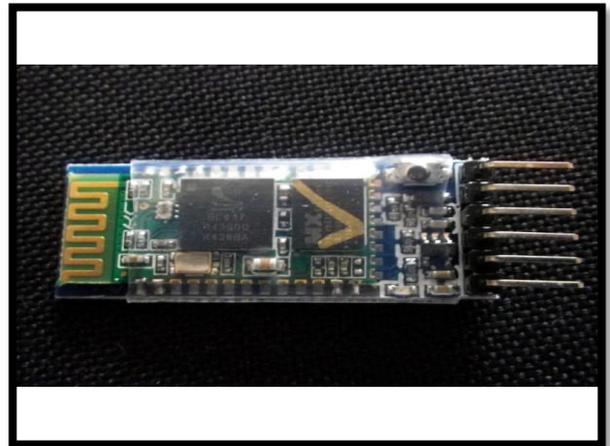


Figure II.18 Module Bluetooth HC-05.

II.5.2 Module ESP-01 :

❖ Définition :

L'ESP8266 est un circuit intégré avec un microcontrôleur permettant la connexion en Wifi. Les modules intégrant ce circuit sont très utilisés pour contrôler des périphériques par Internet. L'ESP8266 est livré avec un firmware préinstallé vous permettant d'en prendre le contrôle à l'aide de « commandes AT » standards pouvant provenir d'une carte Arduino avec qui il peut communiquer par liaison série. Mais toute la souplesse et la puissance de ce module résident dans le fait que vous pouvez aussi y développer et flasher votre propre code, rendant ainsi le module entièrement autonome [40].

Pour l'Internet des Objets (IOT), ce petit module (25x14 mm) vous rendra de grands services pour quelques euros à déboursier seulement. Certains lots de ce module sont livrés avec des résistances de limitation de courant LED de la mauvaise valeur (47 Ohm contre 4,7 KOhm). Cela entraîne généralement la disparition de la LED d'alimentation dans une bouffée de fumée.

❖ **Applications :**

- Automatisation de la maison.
- Prises et éclairages intelligents.
- Contrôle sans fil industriel.
- Interphones pour bébé.
- Caméras IP.
- Réseaux de capteurs.
- Électronique portable.
- Appareils Wi-Fi géo localisés.
- Étiquettes d'identification de sécurité.

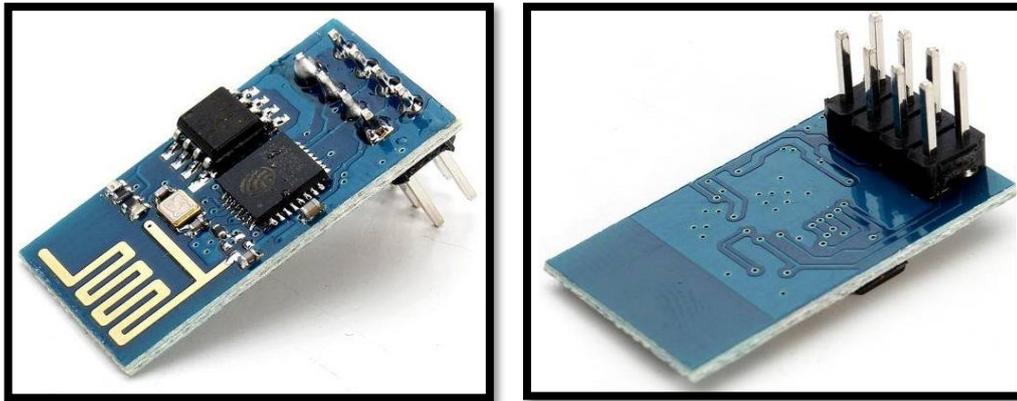


Figure II.19 Module ESP8266-01.

II.6 Bloc d'affichage :

Pour tout ce qui est affichage, un écran OLED 0.96 pouces SSD1306 a été utilisé pour afficher les résultats ou n'importe quelle animation, image ...

II.6.1 Technologie OLED :

❖ **Définition :**

Oled est l'acronyme de Organic Light-Emitting Diodes (en français, Diode électroluminescente organique). Un film organique (composé carboné) est pris en sandwich entre deux autres films jouant le rôle d'électrodes. Lorsqu'un courant est appliqué, le composé organique s'illumine. Les avantages de la technologie sont multiples : les écrans sont plus brillants, plus contrastés, plus fins et plus légers que les écrans LCD, tout en nécessitant beaucoup moins d'énergie et en coûtant potentiellement moins cher en production [40].

Si les écrans Oled sont plus fins, c'est parce qu'ils ne nécessitent pas de dispositif de rétroéclairage. En effet, avec la technologie Oled, chaque pixel se transforme en une source de lumière. De fait, les contrastes sont souvent plus marqués. Le noir se traduit simplement par l'extinction des pixels -- chose impossible avec un écran LCD disposant d'un rétroéclairage permanent. Ainsi, lorsqu'elle est appliquée à des smartphones, la technologie contribue à

optimiser le cycle de la batterie puisque sur les zones noires la luminescence de l'écran ne sera pas active [40].

❖ **Les avantages de la technologie OLED :**

- Fin.
- Léger.
- Flexible.
- Des noirs profonds.
- Un contraste inégalé.
- D'excellents angles de vision.
- Un temps de réponse ultra-rapide.
- Un coût de fabrication plus faible que les écrans LCD ou plasma.
- Une consommation énergétique relativement faible.

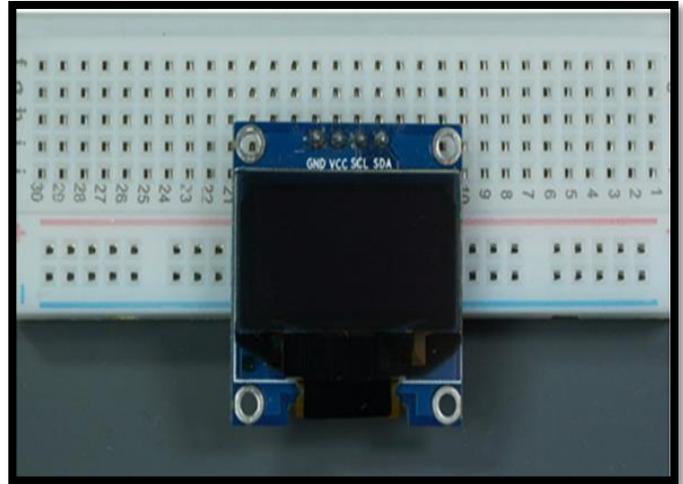


Figure II.20 Ecran OLED 0.96 pouces SSD1306.

❖ **L'écran OLED 0.96 pouces SSD1306 :**

Le modèle OLED 0.96 pouces SSD1306 : un écran monochrome de 0,96 pouce avec une résolution de 128×64 pixels, comme illustré dans la figure II.40 ci-dessous.

Le modèle utilisé n'a que quatre broches et communique avec la carte NodeMcu ESP8266 en utilisant le protocole de communication I2C. Certains modèles sont livrés avec une broche RESET supplémentaire. Il existe également d'autres écrans OLED qui communiquent à l'aide de la communication SPI [36].

❖ **Caractéristiques de l'écran OLED 0.96 pouces SSD1306 :**

- Interface de communication : I2C
- Couleur d'affichage : Blanche
- Consommation faible énergie
- Plage de température supportée : 20°C à 70°C
- Adresse I2C : $0x3C$
- Driver associé : SSD1306
- Voltage : 3V à 5V DC
- Résolution : 128×64 pixels

II.7 Alimentation par des piles rechargeable (8.4v et 9v) :

La pile 9 volts ou bien 8.4 volts est une pile électrique . Elle est régulièrement appelée pile à transistor en raison de sa grande utilisation dans les premiers postes à transistors. La pile a la forme d'un prisme rectangulaire aux arêtes arrondies avec un connecteur possédant une borne positive et une négative sur un de ses côtés.

Ces piles ont la forme d'un prisme rectangulaire dont les dimensions sont: 48,5mm x 26,5mm x 17,5mm. La plupart de ces piles de type alcalin sont construites à partir de six éléments de 1,5 volt LR61. Ces piles sont légèrement plus petites que les LR8D425 des piles. Elles peuvent cependant être utilisées à la place de ces dernières dans certains appareils, bien qu'elles soient 3,5 mm plus courtes.

Les types carbone-zinc sont faits de six éléments plats empilés et scellés dans une enveloppe imperméable afin d'éviter qu'ils ne sèchent.

Les accumulateurs rechargeables NiCd et NiMH possèdent entre six et huit éléments de 1,2 volt. Les versions au lithium utilisent trois éléments de 3,2 volts [32].



Figure II.21. Piles rechargeables de 9v et 8.4 v.

II.8 Partie logiciel et programmation :

Tout projet Arduino est composé d'une partie matériel et une partie programmation et chaque partie est indispensable que l'autre, sans les deux on ne peut réaliser les tâches souhaitées.

Afin de piloter notre serre agricole on a besoin d'un logiciel conçu spécialement pour programmer les cartes Arduino, il suffit juste de l'installer sur ordinateur et brancher notre carte à cet ordinateur pour installer le programme sur cette dernière.

II.8.1 Logiciel Arduino IDE :

L'environnement de développement intégré Arduino (IDE) est une application multiplateforme (pour Windows, MacOS, Linux) qui est écrite dans des fonctions de C et C++. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino.

II.8.2 Présentation du logiciel :

Dès qu'on lance notre logiciel on aperçoit la fenêtre suivante (voir Figure II.22). On remarque dans cette fenêtre 3 choses :

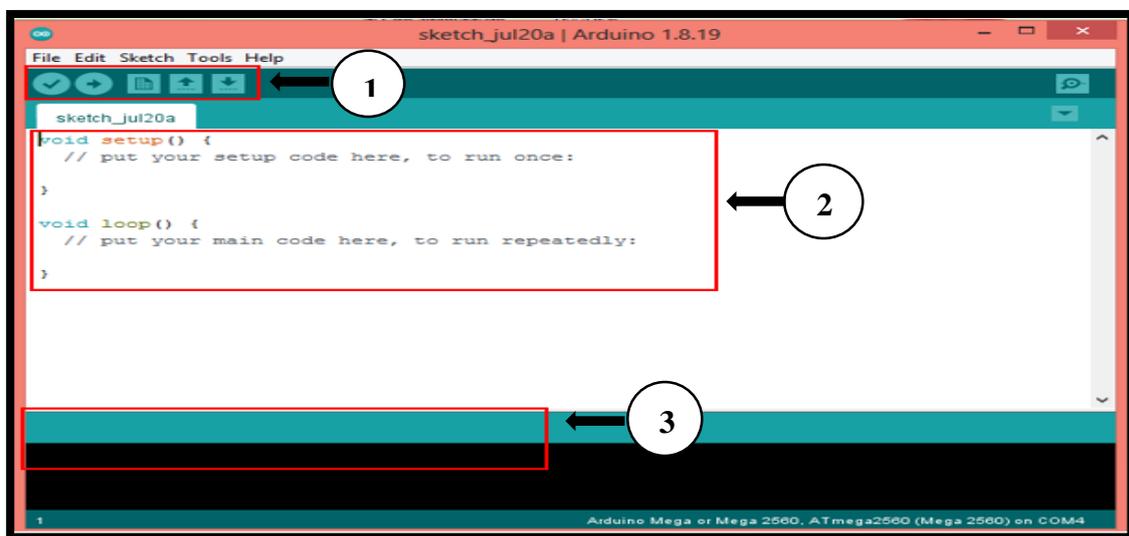


Figure II.22 Fenêtre initiale du logiciel Arduino IDE.

- a) **La barre des outils (1)** : Ces boutons sont les boutons clé de notre logiciel grâce à ces boutons, on va vérifier, injecter notre programme dans notre carte Arduino, enregistrer, et créer un nouveau fichier.

De gauche en droite on a :

- Le bouton « Vérifier », pour vérifier notre programme : il faut en effet que le programme que nous avons écrit ne présente pas de bugs afin de s'exécuter correctement.
- Ensuite, le bouton « Télé-verser » : en cliquant sur ce bouton, nous transférons notre programme compilé dans la mémoire de notre carte Arduino.
- Au milieu, le bouton « Nouveau » : c'est à l'aide de ce bouton que Nous créerons de nouveaux programmes.

- Après, nous avons le bouton “Ouvrir” (flèche vers le haut) qui nous permet d’accéder aux programmes d’exemples de l’IDE ou aux programmes présents sur notre ordinateur.
- Enfin, le bouton “Enregistrer” (flèche vers le bas) par lequel nous pouvons sauvegarder le travail que nous avons réalisé afin d’y revenir quand on souhaite.

b) L’éditeur de code (2) : C’est où on écrit notre code source de notre programme Arduino.

c) La console de débogage (3) : Cette console a pour but de nous permettre de vérifier les différentes erreurs faites dans le programme pour qu’on les corrige avant de l’injecter dans la mémoire de la carte Arduino.

II.8.3 Programmation sur IDE Arduino :

Avant de commencer la programmation de notre carte Arduino Mega2560 on doit d’abord choisir le type de notre carte, pour choisir notre carte, on fait :

Outils > Type de carte > Arduino/Genuinomega or Méga 2560

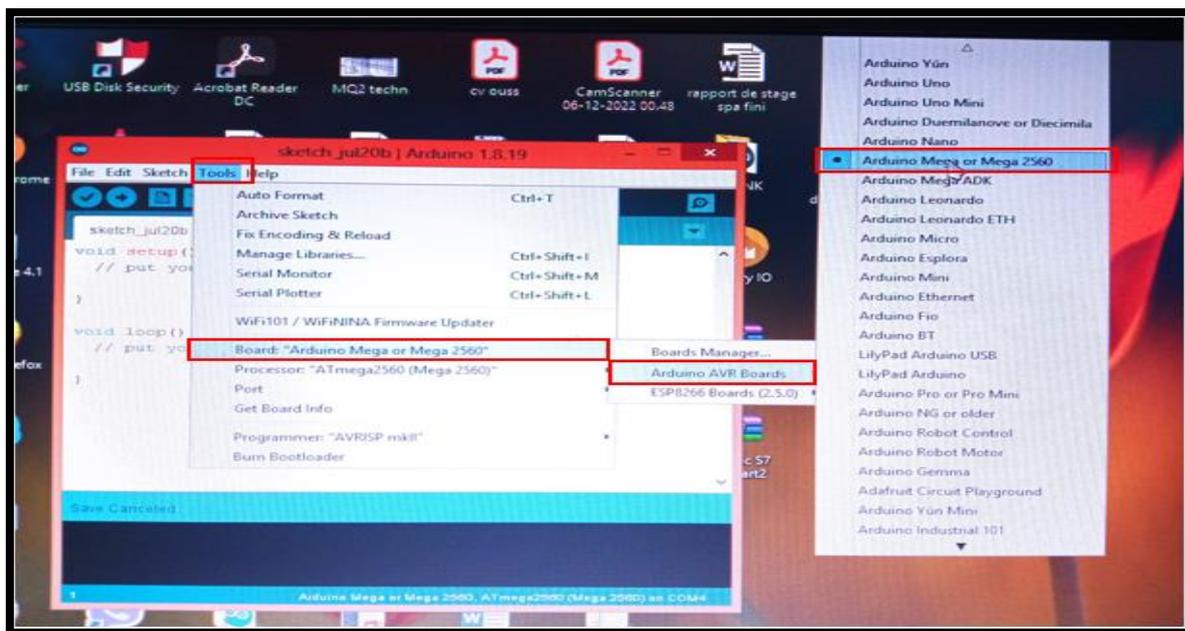


Figure II.23 Choisir un type de carte avec logiciel IDE.

Après avoir choisi notre type de carte, on la connecte en faisant :

Outils > Port > COM...

II.8.3.1 Structure du programme :

Sur l'interface du logiciel ou nommé L'éditeur de code (2) (Figure II.22), on distingue qu'elle est composée de deux boucles :

- La première boucle est la boucle de l'initialisation exécutée une fois l'initialisation du programme est commencée et quand on presse sur le bouton RESET sur la barre d'outil.

```
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
  
}
```

- La deuxième boucle c'est l'endroit où on écrit notre code source elle se répète indéfiniment tant que la carte Arduino est alimentée.

```
void loop() {  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
  
}
```

- Tout de même il y'a une 3eme partie qui précède la première boucle où tous les variables doivent être déclarées (type et nom), par exemple :

```
int ma_variable = 45;  
// int est le type, ma_variable le nom et = 45 assigne une valeur.
```

❖ Code de couleur des syntaxes :

On remarque dès nos premières interactions avec le logiciel en tapant un code que certaines syntaxes s'écrivent de couleur différente, chaque couleur désigne le statut de l'élément utilisé :

- Orange : Apparaissent les mots-clés reconnus par le langage Arduino comme des fonctions existantes.
- Bleu : Apparaissent les mots-clés reconnus par le langage Arduino comme des constantes.

- Gris : Apparaissent les commentaires qui ne seront pas exécutés dans le programme.

❖ **La syntaxe du langage :**

✓ **Ponctuation :**

- En langage Arduino, la plupart des lignes se termine par un point-virgule « ; ».
- Les blocs, boucles, fonctions sont encadrées par des accolades { }.
- Les paramètres d'une fonction sont contenus pas des parenthèses « (» et «) ».

✓ **Commentaires :**

- Les commentaires sont définis par « // » en début de ligne.
- Les blocs de commentaires par « /* » au début et « */ » à la fin.

Il faut savoir aussi que ce logiciel nous permet de charger et tester des exemples préenregistrer ce qui nous rend la tâche plus facile pour se familiariser avec le logiciel, toute fois il faut prendre en considération que :

- Le logiciel demande la sauvegarde du programme dans un dossier qui porte le même nom à la première compilation.
- Les majuscules et minuscules sont prises en compte dans les fonctions et variables.

II.8.3.2 Exemple d'une application Arduino :

Voici un exemple simple d'un programme qui permet de clignoter une Led présente sur la broche 13 de la carte Arduino toute les secondes :

a) En premier on déclare notre variable : **Int LED_pin_13=13 ;**

b) Puis on a configuré la broche 13 en sortie : **pin Mode (LED_pin_13, OUTPUT) ;**

c) Les instructions du programme :

DigitalWrite (LED_pin_13, HIGH) ; // Fixe la sortie 13 au niveau haut pour allumer la LED.

Delay (1000) ; // Délais d'attente d'une seconde.

DigitalWrite (LED_pin_13, LOW) ; // Fixe la sortie 13 au niveau bas pour éteindre la LED.

`Delay (1000) ; // Délais d'attente d'une seconde.`

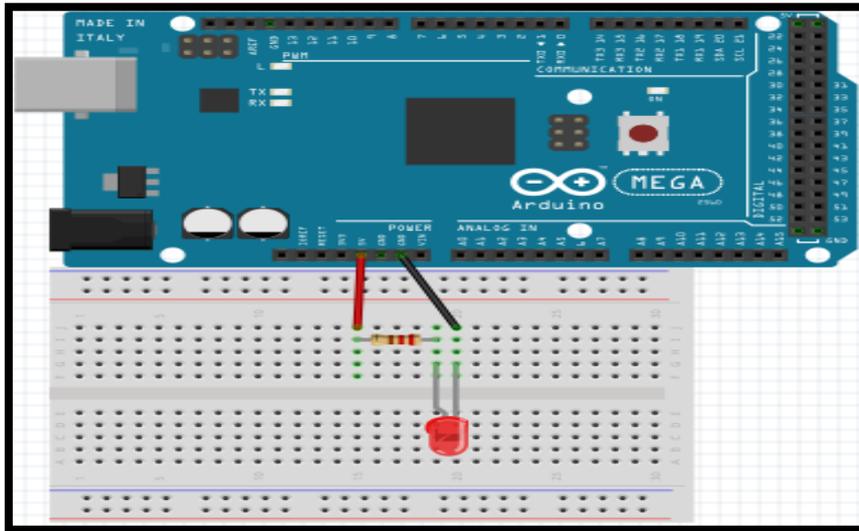


Figure II.24 Exemple d'un montage pour allumer une LED par Arduino.

Le langage Arduino est très proche du C et du C++. L'Arduino serait un excellent choix pour créer des projets d'automatisation à faible coût, et hautement configurable. Arduino est devenu un contrôleur populaire en raison de toutes ses fonctionnalités utiles.

II.9 Conclusion:

Tout au long de ce chapitre, on a décrit brièvement la carte Arduino Méga 2560, on a pris une idée générale sur tous les composants électroniques de cette réalisation, ainsi que la partie logicielle de programmation.

Le chapitre suivant sera consacré sur la partie pratique de ces composants nécessaire de réaliser un casque intelligent (CI) afin de prévenir la vie des personnes qui travaillent dans les mines des charbon et leur mode de fonctionnement.

Chapitre III

**Réalisation d'un casque CI basé sur
la carte Arduino**

III Chapitre 3 : Réalisation d'un casque CI basé sur la carte Arduino

III.1 Introduction :

La mise en marche de notre casque de sécurité intelligent (CSI) est l'objectif de ce chapitre qui illustre le principe de fonctionnement. Après une recherche approfondie dans le marché et consultation des sites internet pour choisir les différents éléments et étapes pour réaliser un casque intelligent, pour le piloter on va utiliser la carte Arduino Méga 2560.

La réalisation de notre casque est composée de 03 éléments principaux :

- ✓ Les essais et branchement électronique.
- ✓ La programmation de casque.
- ✓ La transmission des données par une application (détaillée sur chapitre 4).

III.2 Problématique et solution proposée :

III.2.1 Problématique :

"Celui qui entre est perdu, et celui qui sort est né c'est une expression utilisée par les mineurs pour décrire les dangers qui les attendent lorsqu'ils entrent dans un tunnel sombre au milieu de la poussière dispersée entrant dans leur nez et polluant l'air avec des gaz toxiques qui les exposent à des maladies sérieuses.

De plus, ces travailleurs sont toujours sous tension en raison du sentiment d'insécurité à l'intérieur du tunnel obscur. D'où la nécessité d'un système qui aide ces travailleurs à connaître les gaz toxiques qui les entourent et la différence de température et d'humidité.

III.2.2 Solution proposée :

En réponse au problème décrit ci-dessus, notre solution vise à intégrer un système de détection et contrôle précis des dégagements gazeux, des différences de température et d'humidité à l'aide d'un casque intelligent.

Ce système représente un circuit composé de plusieurs capteurs, notamment des capteurs de gaz toxiques tels que le méthane et le monoxyde de carbone, de capteur de température et d'humidité, ainsi que le capteur de rythme cardiaque, sans oublier le capteur ultrasons. Au plus il s'agit d'une carte Arduino Méga, qui analyse les données en affichant la réponse via un écran OLED muni d'un signal d'alarme par le buzzer et Leds, et elle les transmet vers

l'application Android.

III.3 Schéma bloc :

Tout d'abord, on va rappeler le schéma fonctionnel et le schéma de bloc de notre carte électronique avant de passer à présenter sa réalisation physique.

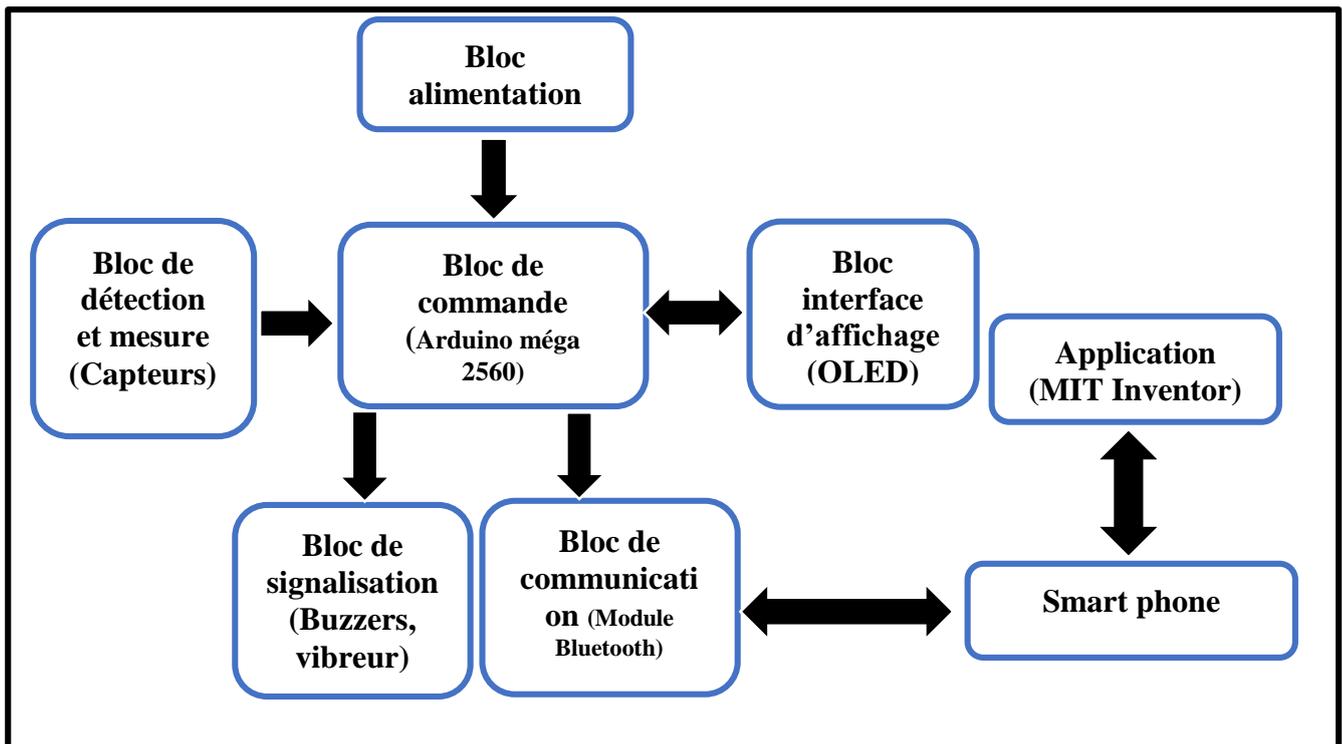


Figure III.1 Schéma de bloc de notre carte électronique.

III.4 Principe de fonctionnement et Représentation du système :

On a réalisé un casque représentatif pour les mineurs souterrains, qui est un système de sécurité qui permet de prévenir les accidents, surtout dans les mines de charbon.

Le projet permet de détecter deux gaz CH_4 et CO , contrôler les facteurs climatiques tel que la température et l'humidité, en plus mesurer les battements de cœur par le capteur Max30200, sans oublier le capteur ultrasons qui détecte les chutes. Ce sont les paramètres les plus importants qui doivent être contrôlés.

Notre système se compose de cinq blocs :

- **Bloc alimentation** : Batterie rechargeable.
- **Bloc de détection et mesure** : capteur MQ2, MQ7, capteur DHT11, capteur ultrasons

HC-SR04, capteur Max30102.

- **Bloc interface d'affichage** : afficheur OLED.
- **Bloc de commande du système** : Arduino Méga 2560.
- **Bloc de signalisation** : buzzer, Leds.
- **Bloc de communication** : Module Bluetooth HC-05 et une application MIT Inventor.

III.5 Conception et réalisation de casque de sécurité intelligent :

III.5.1 Architecture globale de réalisation :

On a utilisé pour notre casque une architecture simple qui répond à la fois aux besoins fonctionnels citées précédemment. Le schéma ci-dessous (Figure III.2) illustre bien en globale ce projet qui est composé de trois parties :

- 1^{ère} partie → Partie utilisateur.
- 2^{ème} partie → Partie électronique.
- 3^{ème} partie → Partie programmation.

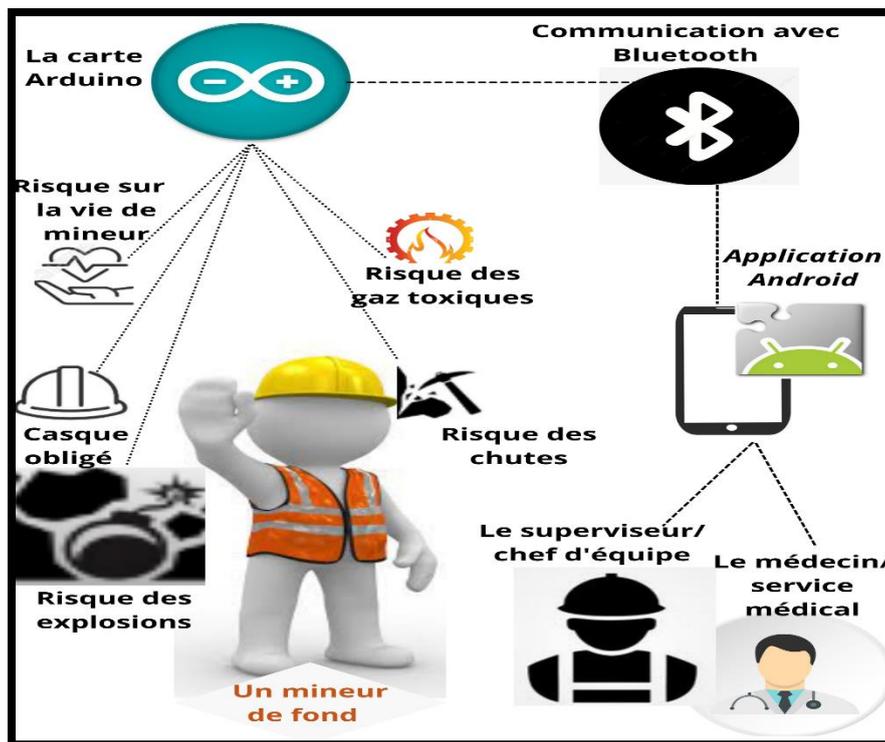


Figure III.2 Vue globale de notre réalisation.

III.5.2 Partie utilisateur :

L'utilisateur c'est lui qui peut recevoir les données via plusieurs dispositifs tel que PC, smartphone, à l'aide d'un module Bluetooth HC-05 connecté avec l'Arduino. Nous pouvons savoir l'état de notre système via une application MIT Inventor.

III.5.3 Partie électronique :

Cette partie est constituée de l'ensemble des équipements qu'on a utilisé dans notre casque (des capteurs, des actionneurs et moyens de communication comme les câbles et le module ESP-01, Bluetooth HC-05) qui sont reliés avec la carte Arduino. Parmi ces équipements, nous avons :

A. Ecran OLED 0.96 pouces SSD1306 :

Étant donné que l'écran OLED utilise le protocole de communication I2C, le câblage est très simple. Il suffit de le connecter aux broches I2C de la carte Arduino Méga 2560 comme indiqué ci-dessous.

- Branchement :
 - o VDD → L'alimentation, branché avec Vcc la sortie 5V de l'Arduino.
 - o GND → La broche de terre, branché avec GND de l'Arduino.
 - o SDA → La broche « Serial Data line » qui s'occupe du transfert des données. On doit la connecter à la broche 20 SDA de l'Arduino.
 - o SCL → La broche « Serial Clock Line » qui fournit un signal d'horloge, connecté à la broche 21 SCL de l'Arduino.

- Test pratique :

Pour le test pratique, on va le voir ci-après avec la suite des composants.

B. Capteurs des gaz MQ :

Les capteurs principaux qui sont utilisées dans notre casque pour détecter les gaz tel que le méthane et le monoxyde de carbone sont MQ2 et MQ7 et signaler le taux de risque, ils sont connectés avec une alarme (buzzer) qui se déclenche, et s'allumera la LED très rapidement en cas d'une présence de gaz.

On a utilisé le site web Plot Digitizer pour trouver les équations des gaz.

➤ Capteur MQ2 :

- Calibration :

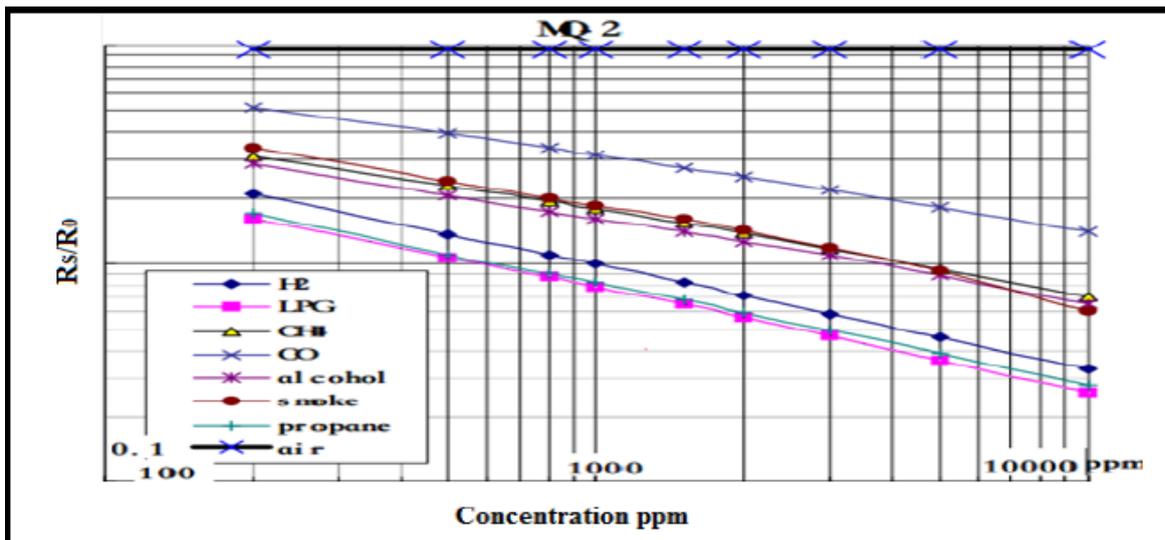


Figure III.3 Caractéristiques de sensibilité du capteur MQ2 pur plusieurs gaz.

Le graphe au-dessus (Figure III.3) est le rapport des résistances (variation de R_S/R_0) en fonction de la concentration en ppm (on prend de la fumée : smoke, est le plus proche de méthane CH_4) :

- La résistance R_S (sélectivité du capteur) varie avec la variation de la concentration de la fumée dans l'air ambiant.
- Cette variation se traduit par une variation de la tension de sortie V_S de 0 à 5V.
- Le microcontrôleur lit la valeur analogique de la tension V_S qui est exploitée pour calculer la concentration de la fumée.

Avec :

- $R_S/R_L = (V_C - V_S) / V_S$.
- R_S : la sélectivité du capteur.
- $R_L = R_0$: la résistance du capteur à l'air pur.
- V_C : tension d'alimentation du capteur (+5V).
- V_S : la tension de sortie (de 0 à 5V).

D'après le graphe mentionné au-dessus, on a distingué que l'équation de gaz méthane (CH_4) est la plus proche que celle de smoke, alors on peut tester CH_4 avec le smoke.

A partir de la figure III.3 on peut déduire l'équation qui est sous forme : $y = -a \cdot x + b$

A ce moment, on va calibrer le capteur de gaz MQ2 en suivant les étapes répertoriées dans les images ci-dessous, en commençant par le site web-plot-digitizer qui nous permet d'extraire l'équation de n'importe quelle fonction qu'on va étudier, bien sûr, en suivant les informations qui sont inclus dans les images comme dans le suivant :

Nous analysons maintenant le graphe :

- L'échelle du graphique est logarithmique. Cela signifie qu'à l'échelle linéaire, le comportement de la concentration de gaz par rapport à la résistivité est exponentiel.
- Les données de concentration de gaz ne se situent que dans la plage de 200 ppm à 10 000 ppm.
- La relation entre la résistivité et la concentration de gaz peut sembler linéaire, mais ce n'est pas le cas.

Tout d'abord, traitez la ligne comme s'il s'agissait d'une ligne droite. De cette façon, nous pouvons utiliser une formule qui relie linéairement le rapport et la concentration. De cette façon, vous pouvez trouver la concentration du gaz à n'importe quelle valeur de rapport. La formule que nous utilisons est une formule à une ligne, mais pour une échelle log-log. La formule pour la ligne est : $y = -a.x + b$ où :

- y : valeur inconnu.
- x : valeur inconnu.
- a : pente de la droite .
- b : intercepter .

Pour une échelle log-logarithmique, la formule est : $\log(y) = a.\log(x) + b$

Trouvez maintenant la pente. Pour ce faire, vous devez sélectionner deux points sur le graphique. Dans notre cas, nous avons choisi les points (200,3.04) et (10000,0.75) sur la ligne

(**CH4**). La formule pour calculer a est : $a = \frac{[\log(y) - \log(y_0)]}{[\log(x) - \log(x_0)]}$

En appliquant les règles logarithmiques, on obtient : $a = \frac{\log(y/y_0)}{\log(x/x_0)}$

Nous remplaçons maintenant les valeurs x, x0, y et y0 : $a = \frac{\log(0.75/3.04)}{\log(10000/200)}$

Et voilà la résultat de 'a' : $a = -0.37$

Maintenant d'après que nous avons, nous pouvons calculer l'ordonnée à l'origine. Pour ce faire, nous devons sélectionner un point

dans le graphique (également à partir de la ligne (**CH4**)). Dans ce cas, on a choisi (6302,0.85).

$$\log(y) = a \cdot \log(x) + b$$

$$b = \log(y) - a \cdot \log(x)$$

$$b = \log(0.85) - (0.37) \cdot \log(6302)$$

$$b=1.62$$

Maintenant que on a : a et b, on peut utiliser les équations suivantes pour déterminer la concentration de gaz pour chaque rapport.

$$\text{Log}(x) = \frac{[\log(y) - b]}{a}$$

Cependant, pour obtenir la vraie valeur de la concentration de gaz selon le tracé log-log, nous devons trouver le logarithme inverse de x.

A ce moment, on va calibrer le capteur de gaz MQ2 en suivant les étapes répertoriées dans les images ci-dessous (Figure III.4, 5 et 6), en commençant par le site web-plot-digitizer qui nous permet d'extraire l'équation de n'importe quelle fonction que nous voulons étudier, bien sûr, en suivant les informations qui est illustré par les images suivantes :

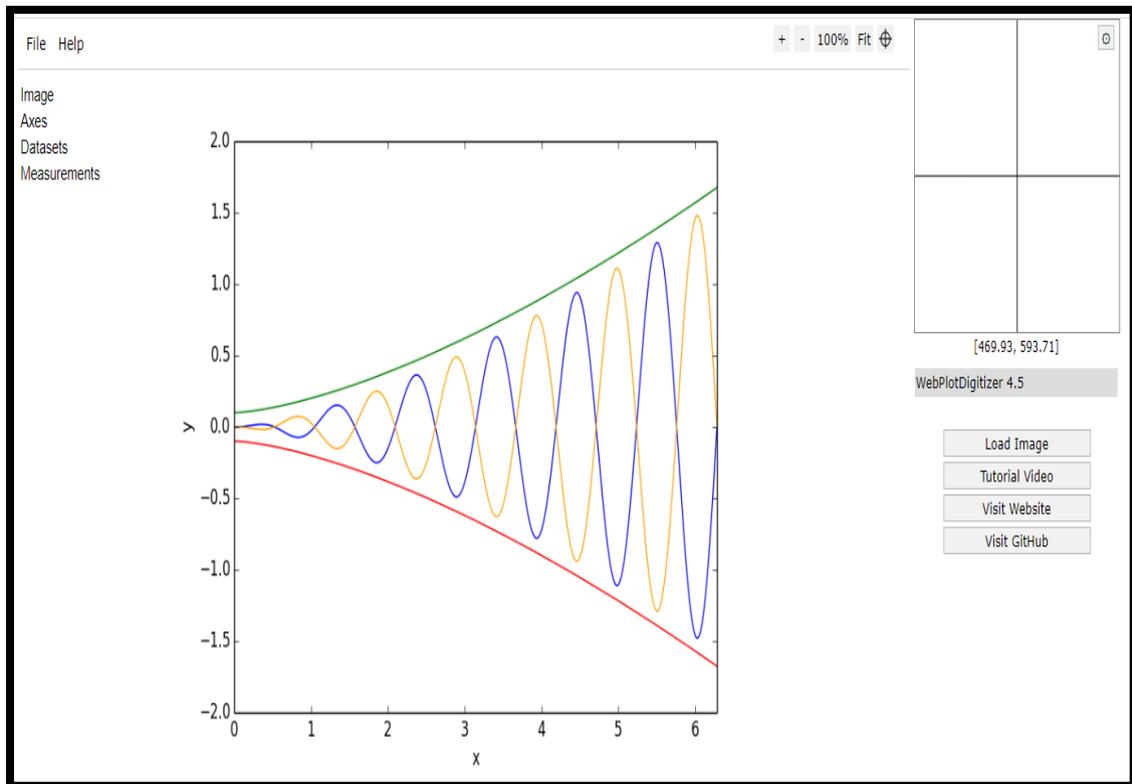


Figure III.4 L'interface de site web plot-digitizer.

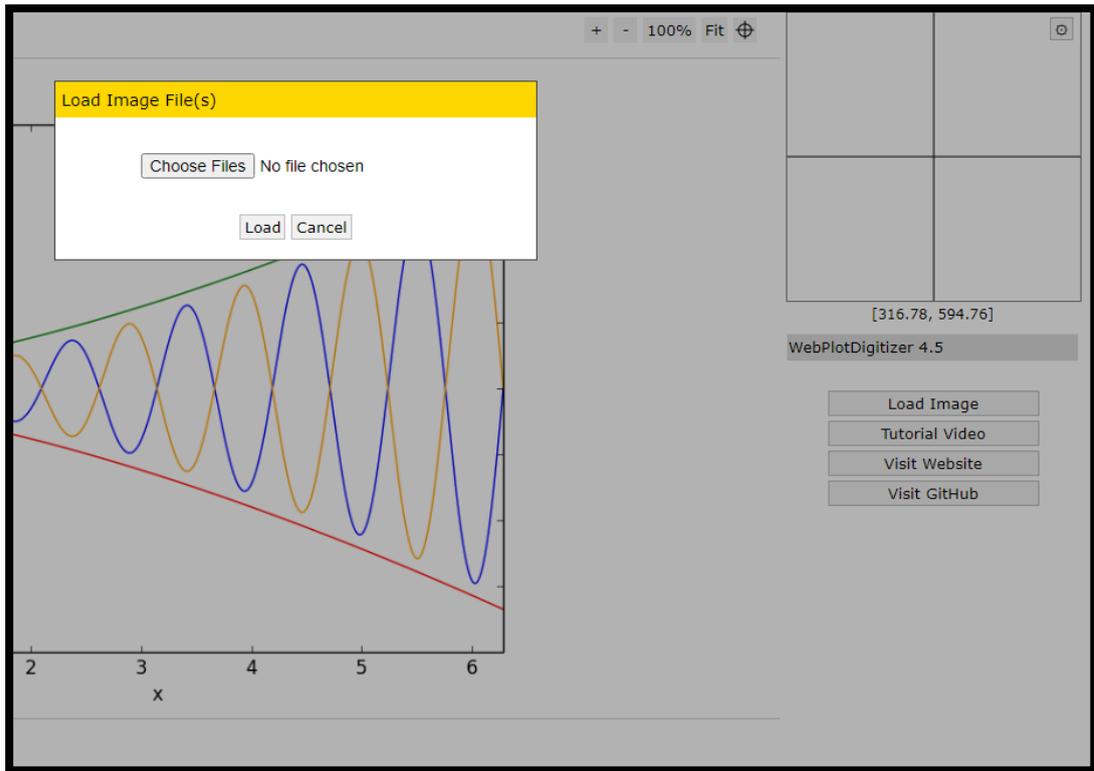


Figure III.5 Choisir le fichier.

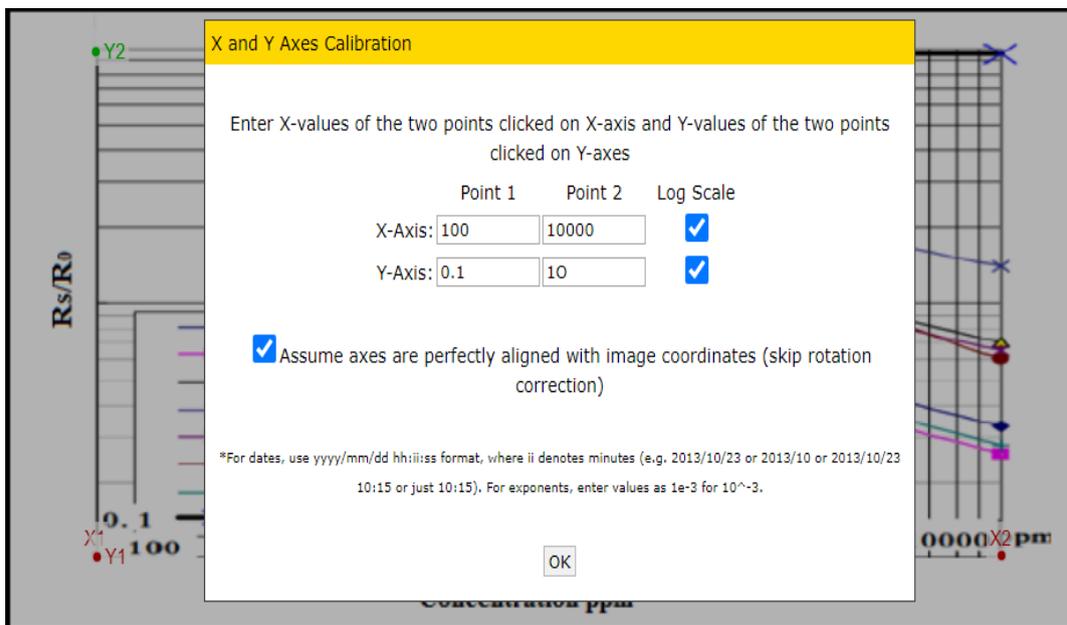


Figure III.6 Inclus les valeurs des axes x et y.

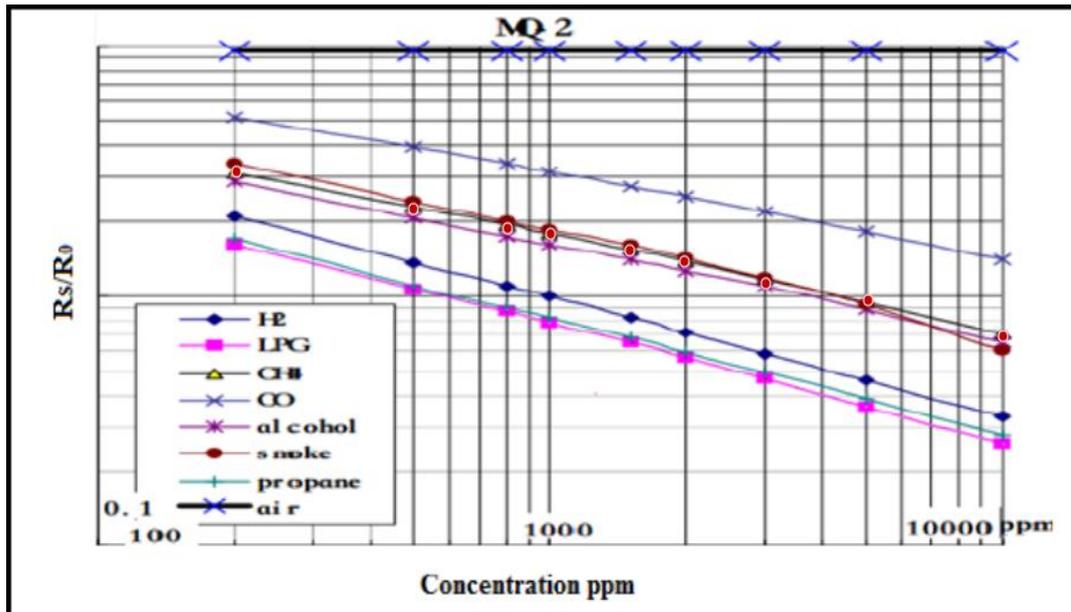


Figure III.7 Définir les points d'équation à étudier le méthane..

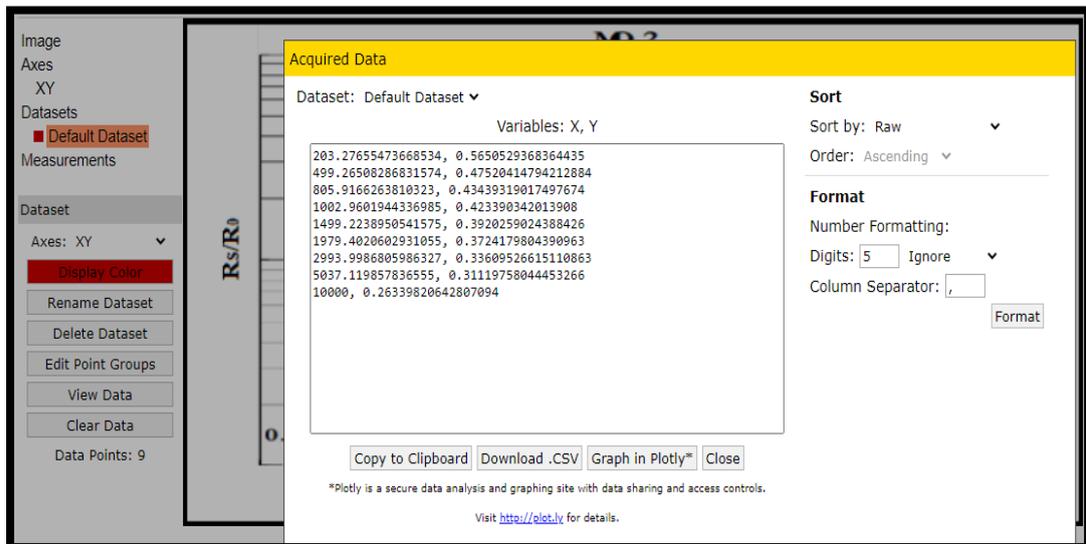


Figure III.8 Les valeurs d'équation sur les deux axes X,Y.

L'extraire d'équation doit inclure dans le logiciel EXCEL pour obtenir le résultat. C'est pourquoi on va l'étudier via EXCEL, en utilisant la fonction logarithmique, on atteint le résultat souhaité, qui est l'équation finale que nous voulons étudier.

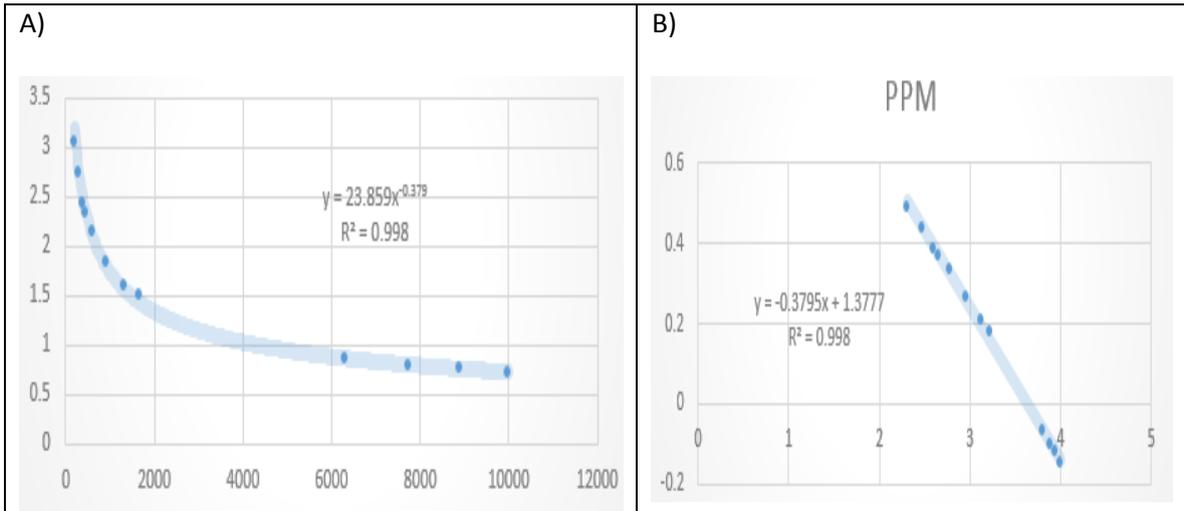
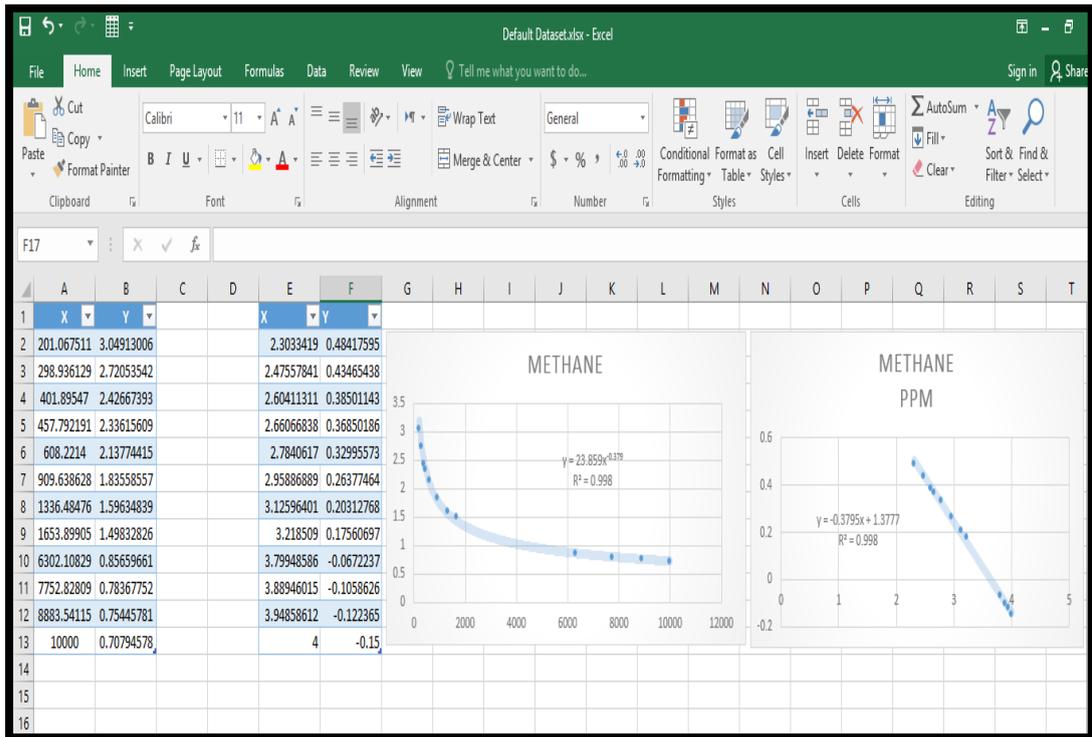


Figure III.9 Les courbes d'équation finale.

Ces courbes (Figure III.9) de la résistance R_S (sélectivité du capteur) par rapport la résistance de capteur à l'air en fonction de la concentration de la fumée dans l'air ambiant, avec les valeurs des points étudiées au précédent (Figure III.8). En transformant ce qui est était sous forme tangente (A) en forme linéaire (B) via EXCEL pour trouver l'équation notre équation finale qui est : $y = 0.3795 x + 1.3777$.

- Branchement MQ2 :

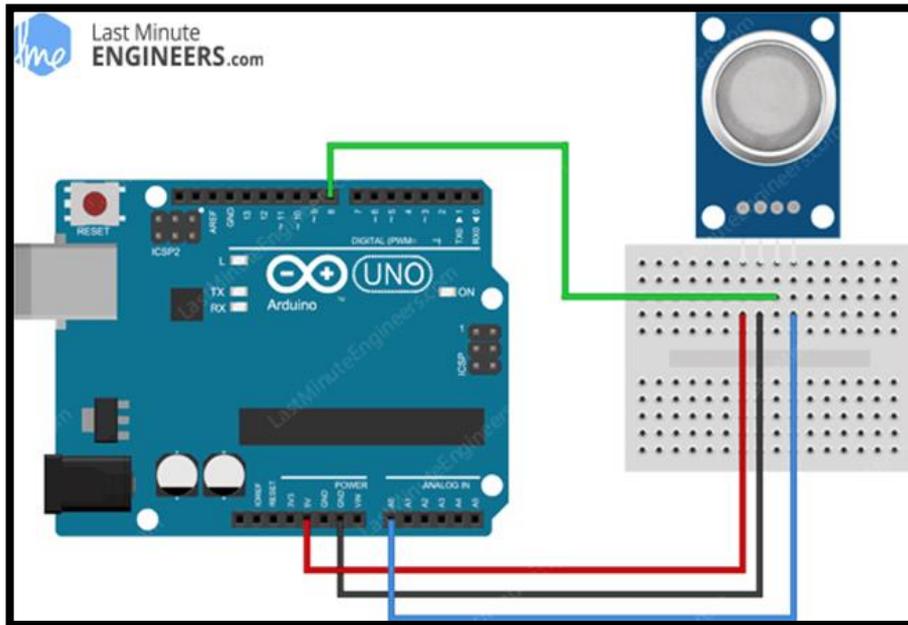


Figure III.10 Branchement de MQ2.

- o Vcc → Alimente le module. Nous avons le connecter à Vcc la sortie 5V de notre Arduino méga.

- o A0 → Fournit une tension de sortie analogique proportionnelle à la concentration de fumée / gaz. On a le connecter à la sortie A0 de l'Arduino.

- o GND → La broche de terre doit être connecté à la broche GND de l'Arduino.

- o D0 → Fournit une représentation numérique de la présence de gaz combustibles.

- Test pratique :

Avec le capteur MQ2 qui sera afficher un message sur OLED, en ajoutant des 3 leds (verte, jaune et rouge) en plus deux buzzer pour signalisations d'alarme.

- LED verte : « Perfect méthane » L'état de gaz méthane est bon (si le gaz inférieur à 50000 ppm) → vers l'entrée numérique de carte Arduino MEGA : pin9.

- LED rouge : « Danger méthane » Un danger de méthane (si le gaz supérieur ou égale 50000 ppm et inférieur à 160000 ppm) → pin7.

- LED jaune : « Danger méthane » L'air est polluée (si le gaz entre 50 000 ppm et 150 000 ppm) → pin8.
 - 1^{er} buzzer : + → pin 2 - →GND
 - 2^{ème} buzzer : + → pin10 - →GND

Remarque : Pour convertir un pourcentage en ppm, on a : 1 % = 10 000 ppm

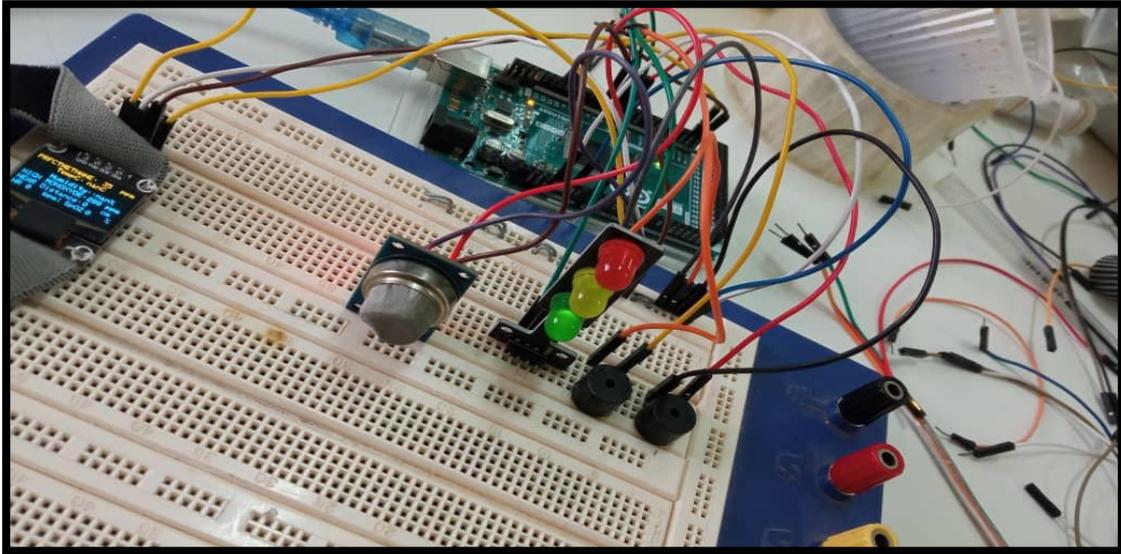


Figure III.11 Câblage pour le fonctionnement de MQ2.

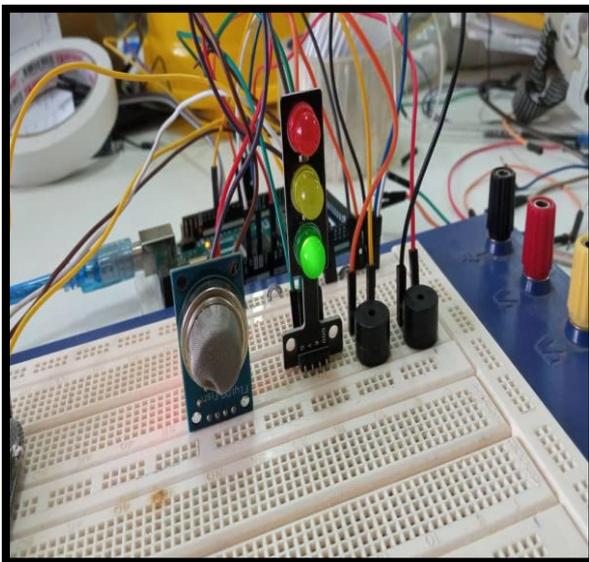


Figure III.12 Test pratique de MQ2.



Figure III.13 Affichage de résultat MQ2 sur OLED.

➤ Capteur MQ7 :

- Calibration : le graphe mentionné au-dessous, que l'équation de gaz monoxyde de carbone.

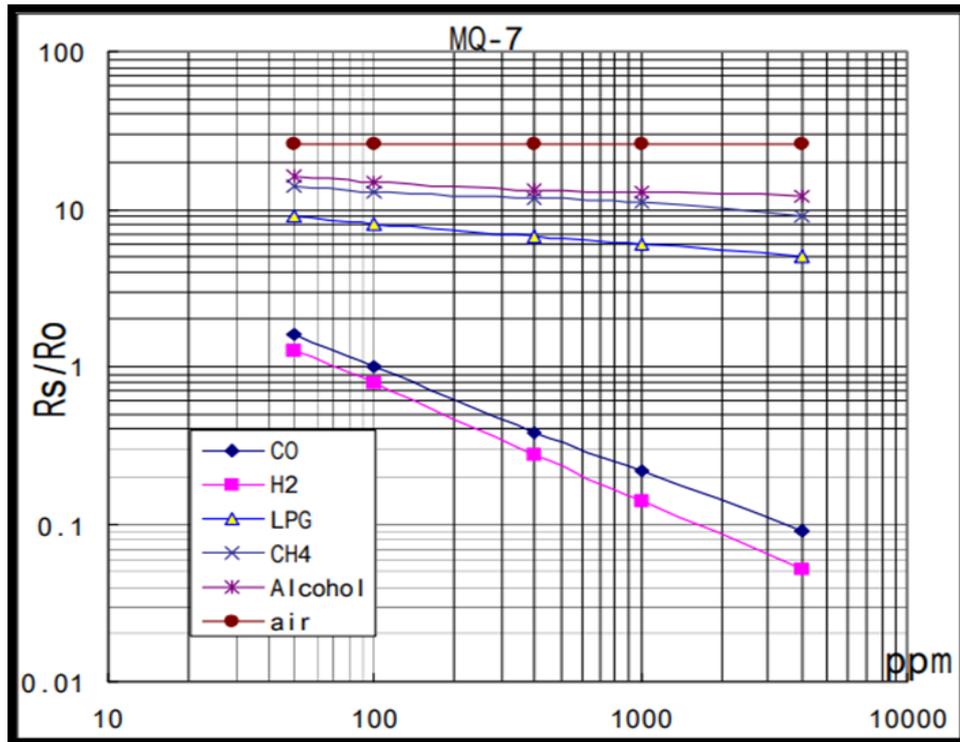


Figure III.14 Caractéristiques de sensibilité du capteur MQ7 pour plusieurs gaz.

Ce graphe est le rapport des résistances (variation de R_S/R_0) en fonction de la concentration en ppm (on prend de monoxyde CO pour l'étude).

Pour calibrer le capteur de gaz, vous pouvez le maintenir près du gaz CO et continuer à tourner le potentiomètre jusqu'à ce que le voyant rouge du module commence à briller. Tournez la vis dans le sens des aiguilles d'une montre pour augmenter la sensibilité ou dans le sens contraire pour la diminuer. Le comparateur du module vérifie en permanence si la broche analogique (A0) a atteint la valeur de seuil définie par le potentiomètre. Lorsqu'il franchit le seuil, la broche numérique (D0) passe à l'état HIGH et le voyant de signal s'allume.

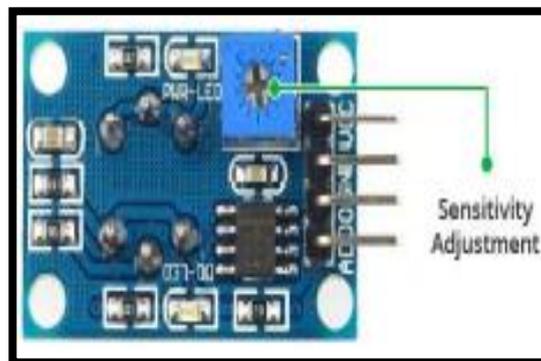


Figure III.15 Le potentiomètre de capteur MQ7.

- Branchement MQ7 :

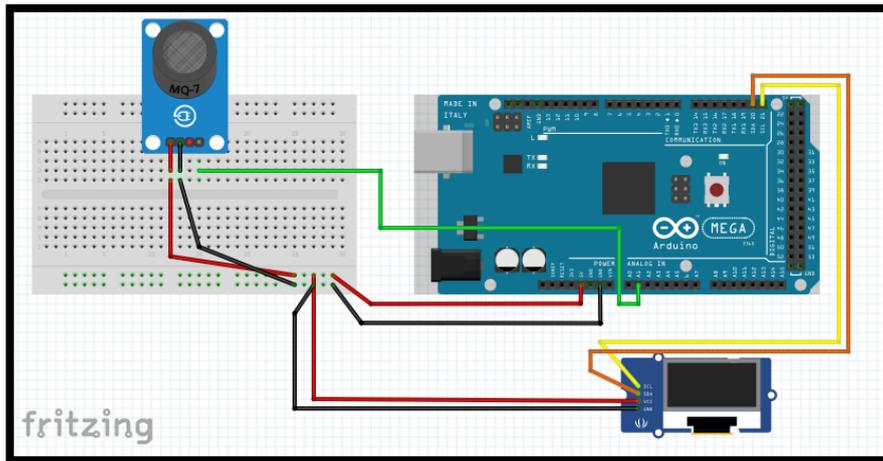


Figure III.16 Branchement de MQ7.

- Vcc → Alimente le module. Nous avons le connecter à Vcc la sortie 5V de notre Arduino.
- A0 → Fournit une tension de sortie analogique proportionnelle à la concentration de fumée / gaz. On a le connecter à la sortie A1 de l'Arduino.
- GND → La broche de terre doit être connecté à la broche GND de l'Arduino.
- D0 → Fournit une représentation numérique de la présence de gaz combustibles.

- Test pratique :

Avec le capteur MQ7 et l'afficheur OLED, en ajoutant des 3 leds (verte, jaune et rouge) au plus un buzzer pour signalisations d'alarme.

- LED verte : « Perfect ou normal monoxyde » Quand l'air est net (inférieur ou égale à 200 et inférieur à 800) → pin3 .
- LED jaune « High monoxyde » Quand l'air est pollué (inférieur ou égale à 800 et inférieur à 1800) → pin4.
- LED rouge « Very High monoxyde » Quand le gaz CO est dangereux (inférieur ou égale à 1800) → pin5.
- Buzzer : + → pin6 - → GND

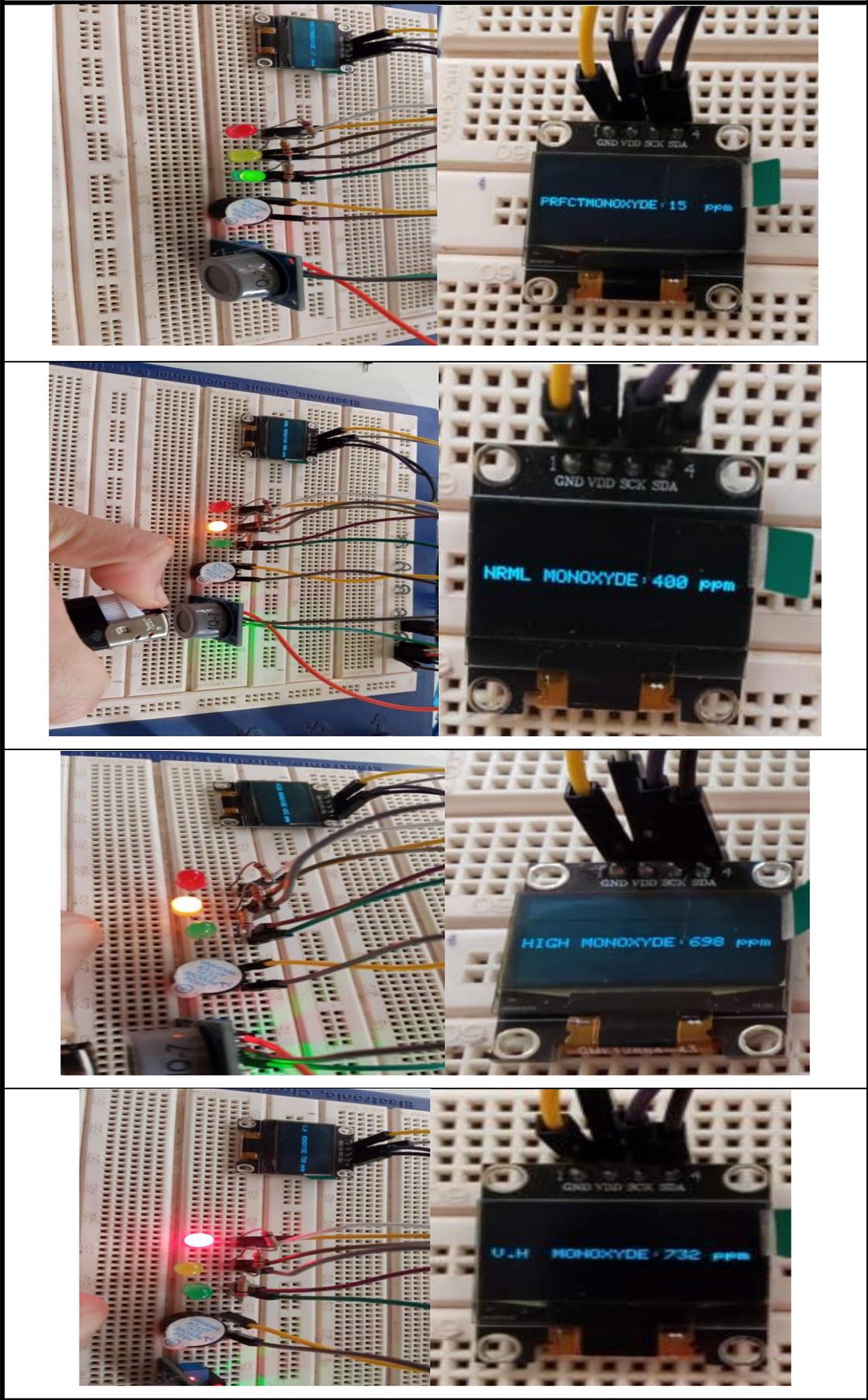


Figure III.17 Test pratique de fonctionnement de MQ7.

C. Capteur de température et d'humidité DHT11 :

Ce capteur pour mesurer instantanément l'humidité et la température. Il mesure à la fois l'humidité et la température de l'air et expriment l'humidité relative en pourcentage du rapport entre l'humidité de l'air. Son rôle dans notre travail de consulter la variation de ses grandeurs et contrôler le taux de risque.

- Branchement :

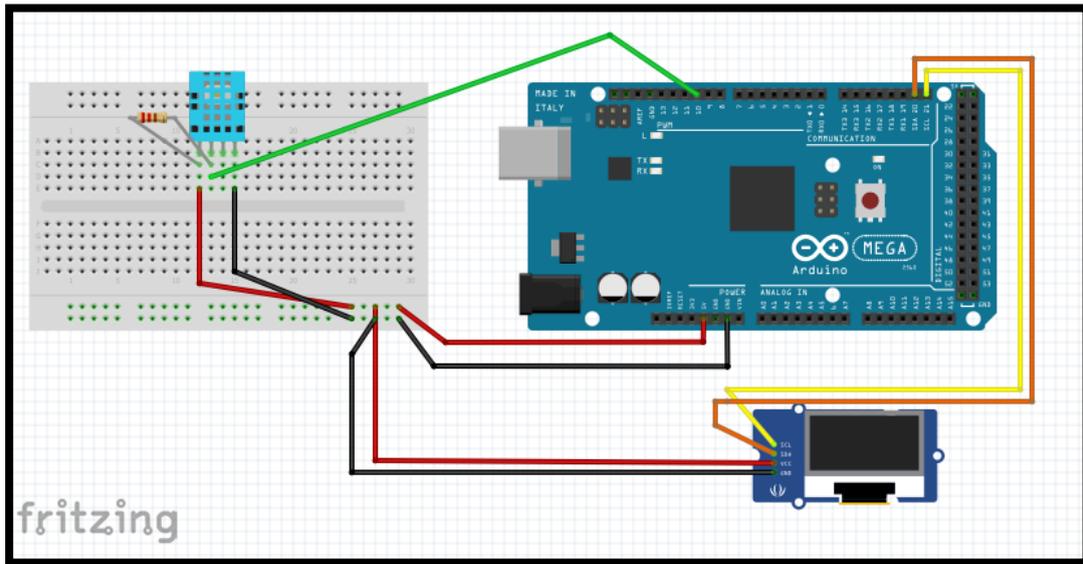


Figure III.18 Branchement de capteur DHT11.

- VCC → Alimente le module, branché avec Vcc la sortie 5V de l'Arduino.
 - DATA (LES DONNÉES) → Fournit une chaîne des données, connecté à pin11.
 - GND → La broche de terre, branché avec GND de l'Arduino.
- Test pratique :

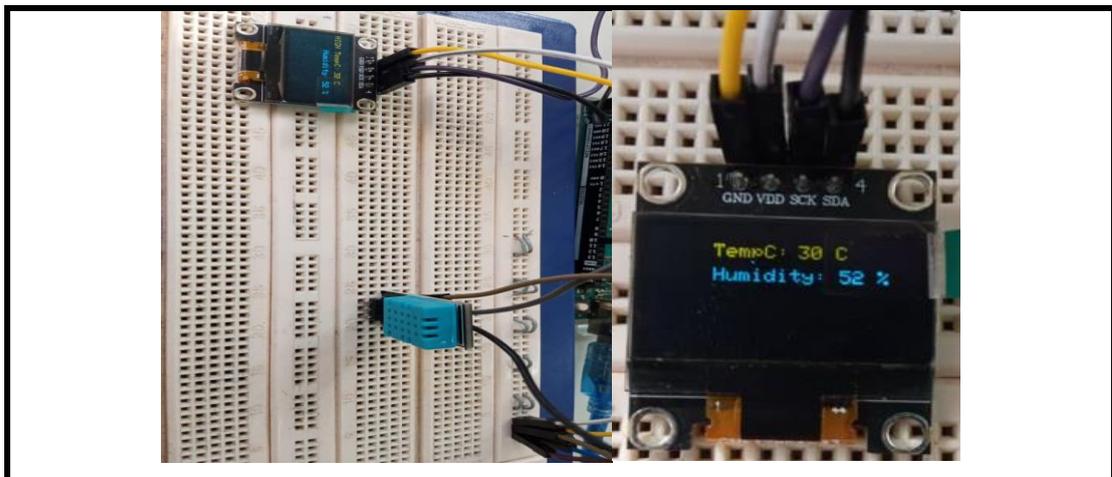


Figure III.19 Test pratique de fonctionnement de DHT11.

D. Capteur ultrasons HC-SR04 :

Ce détecteur est utilisé pour détecter les obstacles ou les chutes arrivées à la tête dans la mine souterraine.

La distance maximale de détection est 4m mais au-delà de 3. 8 m le signal écho est trop faible pour être détecté. Pour calcul distance parcourue par le son :

$$D = \text{Vitesse du son (340 m/s)} \cdot \frac{(\text{temps aller- retour}) \text{ du son}}{2} \quad // \text{ Avec D : la distance.}$$

$$D = 340 \text{ m/s} \cdot \frac{T (\text{ en sec})}{2} \quad // \text{ Avec T : temps propagation} = (\text{temps aller- retour}) \text{ du son}$$

$$D = 34000 \text{ cm} / 1000000 \mu\text{s} \cdot \frac{T (\text{ en } \mu\text{s})}{2} \Rightarrow 17 / 1000 * t (\text{ en } \mu\text{s})$$

$$T (\text{ en } \mu\text{s}) = \text{Distance (cm)} * 1000 / 17 = \text{Distance (D)} * 58,82$$

$$D (\text{ en cm}) = \frac{T (\text{ en } \mu\text{s})}{58.82}$$

- Branchement :

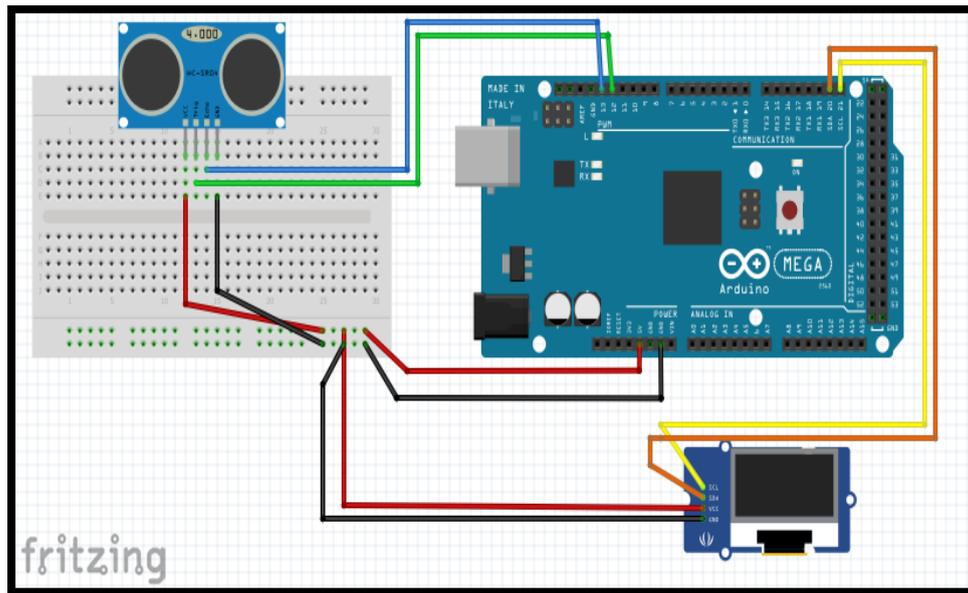


Figure III.20 Branchement de capteur à ultrason HC-SR04.

- Trig → La broche TRIGGER du capteur est branché vers l'entrée numérique de carte Arduino MEGA : pin 12.
- Echo → La broche ECHO du capteur est branché vers l'entrée numérique de carte Arduino MEGA : pin 13.
- Vcc → L'alimentation, branché avec Vcc la sortie 5V de l'Arduino.
- GND → La broche de terre, branché avec GND de l'Arduino.

- Test pratique :

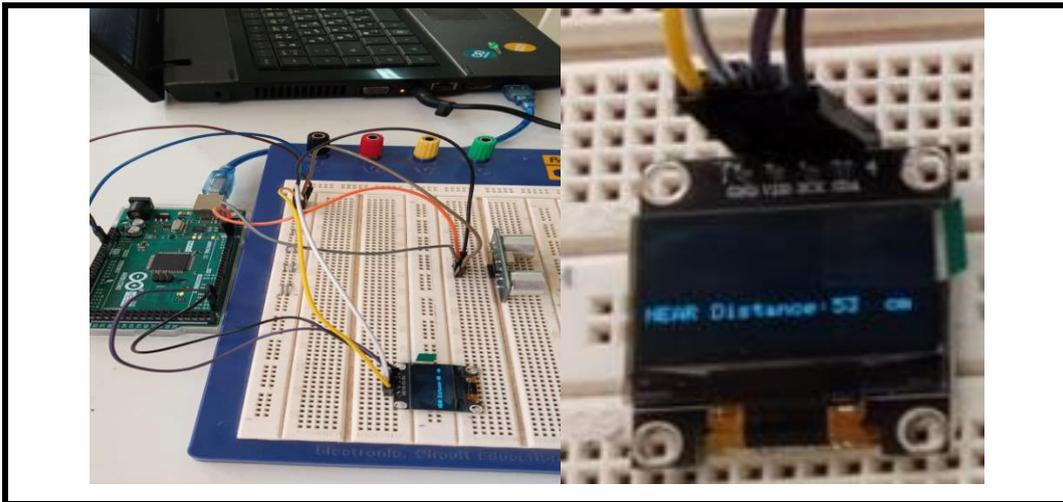


Figure III.21 Test pratique de fonctionnement HC-SR04.

E. Capteur de rythme cardiaque MAX30102 :

On a branché le capteur de rythme cardiaque MAX30102 avec l'Arduino afin de mesurer les battements de cœur et la saturation d'oxygène ($SP O_2$) d'un mineur avec un serveur local.

Pour le $SP O_2$, le taux normal entre 95% et 100% mais l'autre critique qui est un risque c'est inférieur à 90%.

Pour la fréquence cardiaque, selon l'état du mineur et son âge indiquée ci-dessous dans le tableau :

Tableau III.1 Les fréquences cardiaques pour un homme en repos.

Homme en repos / Condition physique	26 – 35 ans	36 – 45 ans	46 - 55 ans
Normal	71 – 74 BPM	71 - 75 BPM	72 – 76 BPM
Athlète	49 - 54 BPM	50 - 56 BPM	50 - 57 BPM
Mauvais	+82 BPM	+83 BPM	+84 BPM

- Branchement :

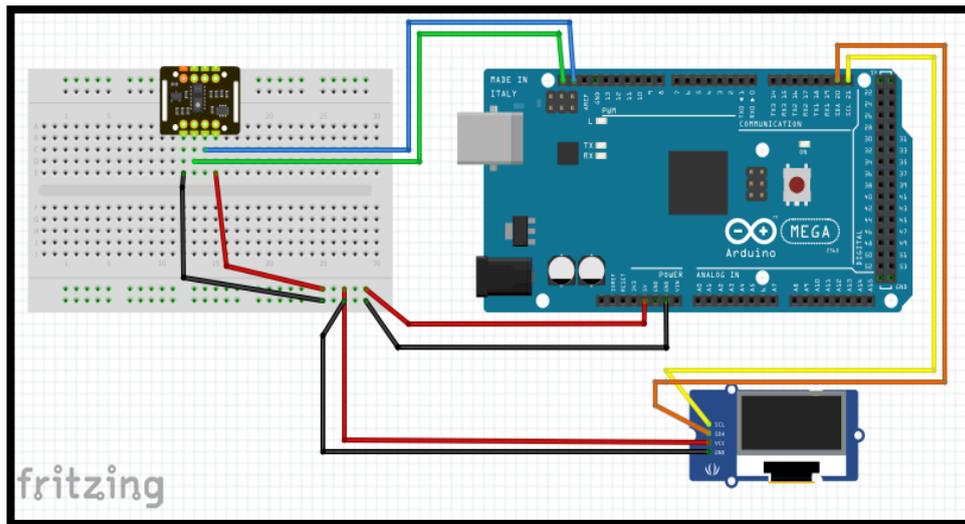


Figure III.22 Branchement de capteur MAX30102.

- Vcc → L'alimentation, branché avec Vcc la sortie 5V de l'Arduino.
- GND → La broche de terre, branché avec GND de l'Arduino.
- SDA → La broche « Serial Data line » qui s'occupe du transfert des données. On doit la connecter à la broche SDA 1 de l'Arduino.
- SCL → La broche « Serial Clock Line » qui fournit un signal d'horloge, connecté à la broche SCL 1 de l'Arduino.

- Test pratique :

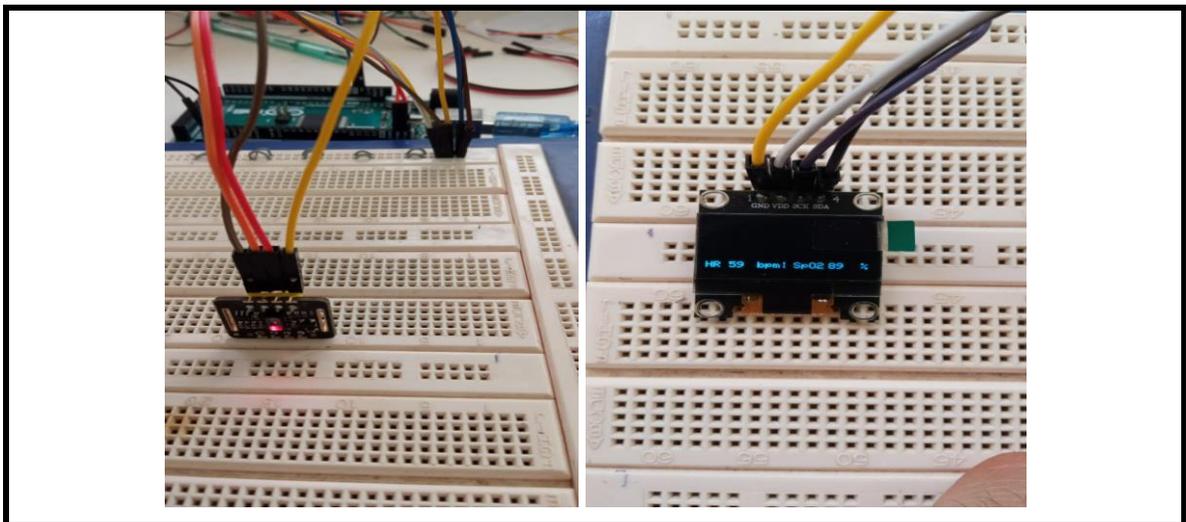


Figure III.23 Test pratique de fonctionnement MAX30102.

Ce test pratique de fonctionnement de MAX30102 est fait pour un homme athlète en repos de 23ans. On trouve le résultat suivant :

Les battements de cœur [HR= 59 BPM].

Le taux d'Oxygène[$Sp O_2 = 89\%$].

F. Bloc de signalization:**- Buzzer:**

On a branché deux buzzer avec l'Arduino pour les deux capteurs MQ2 et MQ7, il sert à envoyer des ondes sonores dont les caractéristiques sont :

- Raccordement par picots (pas de 15 mm).
- Tension : 12 V (3-24).
- Fréquence : 3.7 KHz.
- Intensité : 14 mA.
- Niveau sonore : 90db
- Diamètre : 23 mm Hauteur : 19 mm.

Il est mentionné le fonctionnement et le branchement des buzzer en partie A de capteurs des gaz MQ2 et MQ7 (voir Figure III.11 et 17).

- Eclairage :

On a utilisé une lampe frontale polyvalente, simple d'utilisation et confortable avec faisceau large 80 lm pour le déplacement de mineur. 3 modes d'éclairages : rouge, blanc éco, blanc fort avec un bouton on/off facile à manipuler même avec les gants.



Figure III.24 La carte PCB d'une lampe frontale.

G. Bloc d'alimentation :

Alimentation par des piles rechargeable (9 v) pour la carte Arduino Méga.

H. Bloc de communication :

Les résultats obtenus par les capteurs précédents qui ont été affichés (voir Figure III.25) par des messages sur la Oled, Ces derniers sont transmis sur le smart phone avec le module Bluetooth HC05 via l'application MIT Inventor qui vont être détaillés dans le quatrième chapitre.

- Vcc → Alimente le module. Nous avons le connecter à Vcc la sortie 5V de notre Arduino méga.
- GND → La broche de terre doit être connecté à la broche GND de l'Arduino.
- RX → On doit la connecter à la broche RX de l'Arduino « Receiver Data » qui est utilisé par l'Arduino pour la communication série afin de transférer les données entre le microcontrôleur et le PC.
- TX → Il est connecté à la broche TX de l'Arduino « Transmitter Data » qui est aussi pour la communication série.

III.5.4 Casque de sécurité intelligent (CI) réalisé :

La conception de notre casque intelligent est illustrée à la figure III.25 où on a modifié le casque pour pouvoir insérer tous les composants nécessaires décrits auparavant. Puis on a transféré tous les résultats affichés sur l'écran OLED à un smartphone par l'application Android qui est détaillé en chapitre quatre.

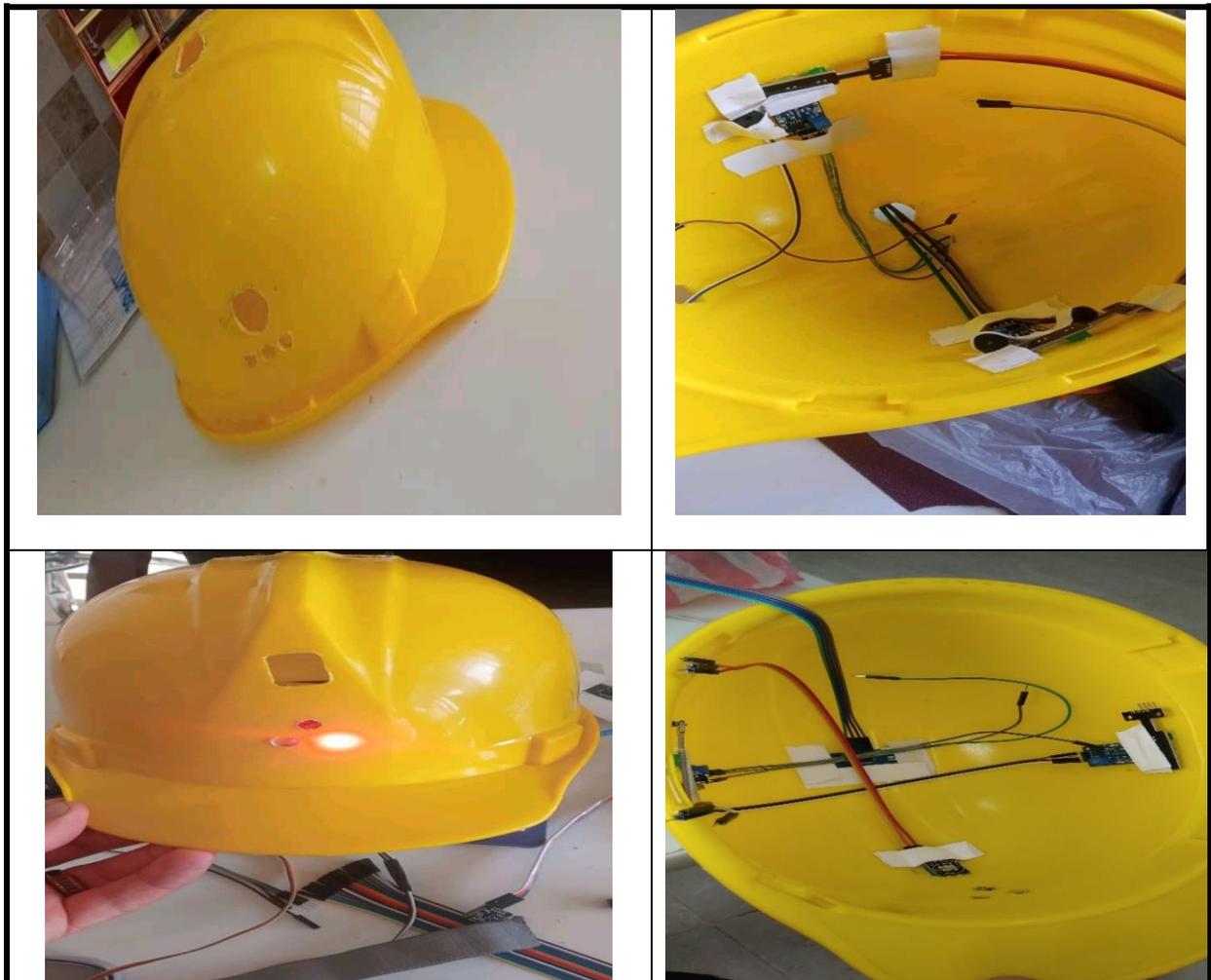
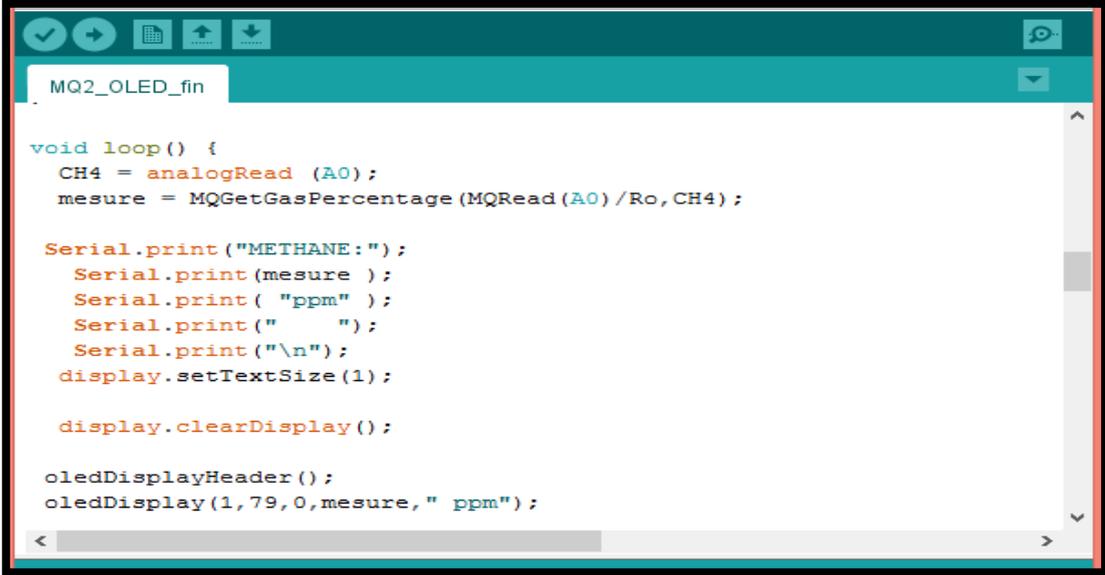




Figure III.25 Le casque de sécurité intelligent finale réalisé.

III.5.5 Partie de programmation :

a) Programmation MQ2 :



```
MQ2_OLED_fin

void loop() {
  CH4 = analogRead (A0);
  mesure = MQGetGasPercentage (MQRead (A0) /Ro, CH4) ;

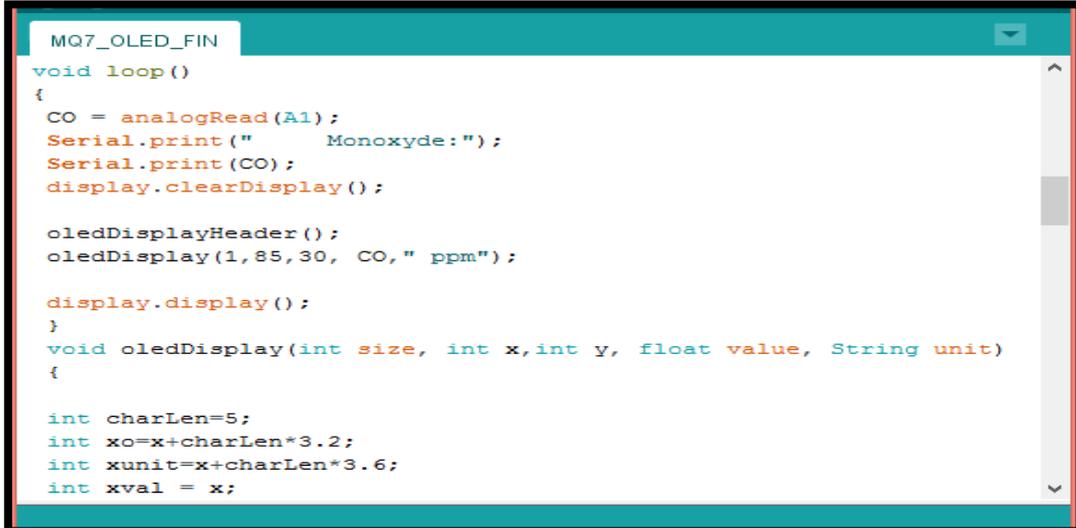
  Serial.print ("METHANE:");
  Serial.print (mesure );
  Serial.print ( "ppm" );
  Serial.print ( " ");
  Serial.print ("\n");
  display.setTextSize (1);

  display.clearDisplay ();

  oledDisplayHeader ();
  oledDisplay (1, 79, 0, mesure, " ppm");
}
```

Figure III.26 Programme Arduino pour le détecteur de gaz méthane (MQ2).

b) Programmation MQ7 :



```
MQ7_OLED_FIN

void loop ()
{
  CO = analogRead (A1);
  Serial.print ("    Monoxyde:");
  Serial.print (CO);
  display.clearDisplay ();

  oledDisplayHeader ();
  oledDisplay (1, 85, 30, CO, " ppm");

  display.display ();
}

void oledDisplay (int size, int x, int y, float value, String unit)
{
  int charLen=5;
  int xo=x+charLen*3.2;
  int xunit=x+charLen*3.6;
  int xval = x;
}
```

Figure III.27 Programme Arduino pour le détecteur de gaz monoxyde de carbone (MQ7).

c) Programmation DHT11 :

```

DHT11_FIN
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <DHT.h>

#define DHTType DHT11
#define DHT11Pin 10

DHT HT(DHT11Pin, DHTType);

float humi;
float tempC;

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 //OLED reset on lin 4
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

void setup()

```

```

DHT11_FIN
void loop() {
delay(500);
humi = HT.readHumidity();
tempC = HT.readTemperature();

Serial.print(" Humidity:");
Serial.print(humi);
Serial.print("\n");
Serial.print(" TempC:");
Serial.print(tempC);
Serial.print("\n");

display.clearDisplay();

oledDisplayHeader();
oledDisplay(1, 70, 9, tempC, "C");
oledDisplay(1, 90, 20, humi, "%");

display.display();

```

Figure III.28 Programme Arduino pour détecteur d'humidité et température (DHT11).

d) Programmation HC-SR04 :

```

ultraS_oled$
void loop()
{
delay(500);
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);

duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance_cm = (duration/2) / 29.1;

Serial.print(" Distance:");
Serial.print(distance_cm);

display.clearDisplay();

oledDisplayHeader();

```

Figure III.29 Programme Arduino pour capteur ultrason (HC-SR04).

e) Programmation MAX30102 :



```
MAX_NEW
//We sensed a beat!

long delta = millis() - lastBeat;
lastBeat = millis();

beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);
if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
{
  rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute; //Store this reading in the array
  rateSpot %= RATE_SIZE; //Wrap variable

  //Take average of readings
  beatAvg = 0;
  for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
    beatAvg += rates[x];
  beatAvg /= RATE_SIZE;
```

Figure III.30 Programme Arduino pour le détecteur de rythme cardiaque (MAX30102).

III.6 Conclusion :

Ce chapitre résume tous le travail pratique qu'on a réalisé et la démarche que nous avons opté pour atteindre l'objectif du projet, et de tester chaque composant qui montre le principe de fonctionnement du matériels utilisés (Arduino, les capteurs, Oled, les Leds, Bluetooth HC05, etc.), ensuite on a décrit le principe de fonctionnement du logiciel permettant de contrôler notre système.

Ainsi, au chapitre suivant y a la deuxième partie d'une application Android nommée « SMART Helmet » avec Bluetooth, développée sous MIT APP Inventor ce e réalisée (sans fil) qui a entravé le projet pour service de control.

Chapitre IV

**Réalisation d'une application
Android pour le CI des mineurs**

IV Chapitre 4 : Réalisation d'une application Android pour le CI des mineurs

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous avons réalisé une simple application Android nommée « SMART Helmet », développée sous MIT APP Inventor. Cette application est dédiée aux personnes qu'ils travaillent dans les mines de charbon souterrains. Elle a pour un rôle:

- Afficher les valeurs de tous les capteurs qu'on a utilisé.
- Indiquer la localisation via le GPS du smartphone de son utilisateur et l'envoi facilement.
- Capturer des objets via la caméra du smartphone et l'envoi sur n'importe quelle application (Gmail, WhatsApp, Outlook...etc.)
- Le suivi de l'état de santé de son utilisateur selon des mesures physiologiques prises des capteurs.

Cette partie de notre étude ne donnera pas de bons résultats si on néglige certains paramètres, donc le bon fonctionnement se base essentiellement sur une bonne démarche et une bonne réflexion.

On va vous montrer une illustration de la solution. Ensuite, on définit les différentes étapes et programmes impliqués dans l'activation des applications ambulatoire, les problèmes rencontrés dans la mise en œuvre de cette solution, et les nouvelles améliorations qui sont proposées et mises en œuvre pour atteindre le résultat final. Enfin, jetons un coup d'œil à l'application comme dernière étape.

IV.2 Définition du système d'exploitation mobile "Android" :

Android est un système d'exploitation mobile développé par Google. Il est équipé de la plupart des derniers téléphones portables (smartphones). Android est un système qui permet de personnaliser son téléphone mobile et de télécharger des applications (navigateur Internet, GPS, Facebook, etc.). De plus, il est équipé d'une tablette tactile.

IV.3 Avantages d'Android :

- Personnalisation et sélection presque illimitées,
- La possibilité d'overclocker ou d'underclocker les composants pour un téléphone plus réactif, puissant et autonome que la version originale.
- Certains téléphones ne peuvent pas être mis à jour. Dans une autre version, vous pouvez vous tenir au courant de la nouvelle version d'Android.

IV.4 Développement MIT App Inventor (transmission Bluetooth) :

IV.4.1 Définition :

Avec les outils de conception MIT App Inventor 2, vous pouvez créer des applications Android en moins d'une heure. Plus de 3 millions de personnes sont fascinées par cette interface graphique simple qui permet de glisser-déposer des blocs interactifs pour créer des applications basiques.

IV.4.2 Préparation du matériel :

Pour le développement de notre application, nous avons besoin des éléments suivants :

- Ordinateur (PC ou Mac) avec connexion Wi-Fi et navigateur Internet (pas Chrome, Firefox ou Safari-Internet Explorer)
- Téléphone ou tablette Android connecté au même réseau Wifi que votre ordinateur (version Android "Gingerbread" 2.3 ou ultérieure)
- Adresse Gmail (pour se connecter au logiciel en ligne MIT App Inventor 2).
- Une application gratuite téléchargeable depuis la boutique Google Play sur votre téléphone portable ou votre tablette. Cela vous permet de tester en direct la construction de votre application, appelée "MIT AI2 Companion", et de l'installer à la fin (Figure 3.1).

IV.4.3 La Création d'un projet :

Depuis un navigateur internet ouvrir le compte Google.

Aller sur le site du MIT App Inventor : <https://appinventor.mit.edu/explore/ai2>

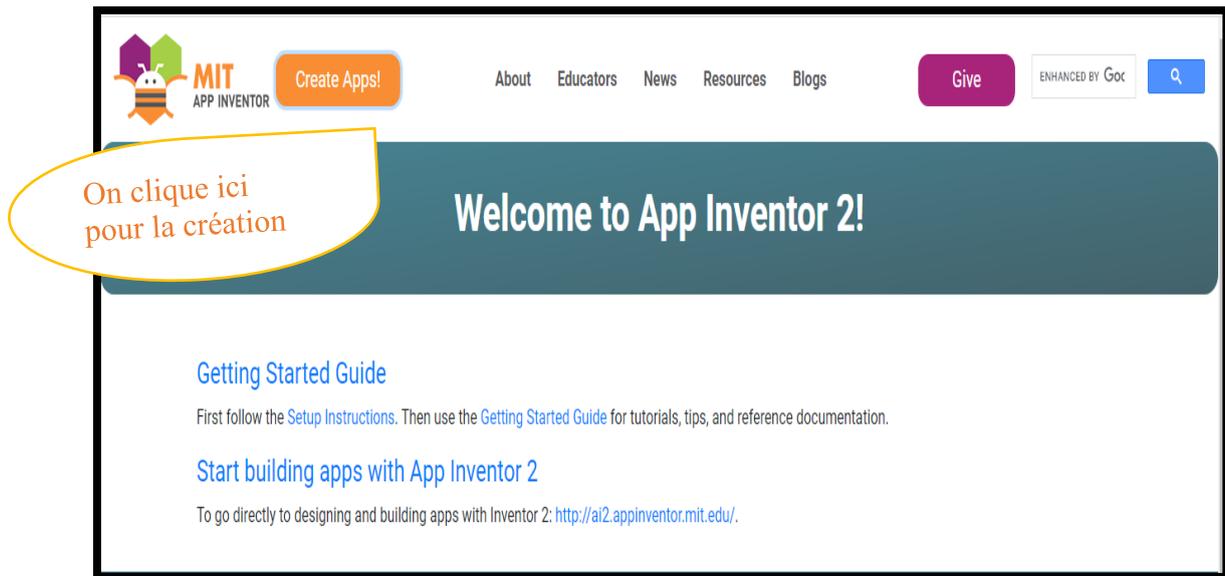


Figure IV.1 Site officiel de MIT App Inventor2.

Ensuite nous avons besoin d'un compte Gmail pour accéder la création :

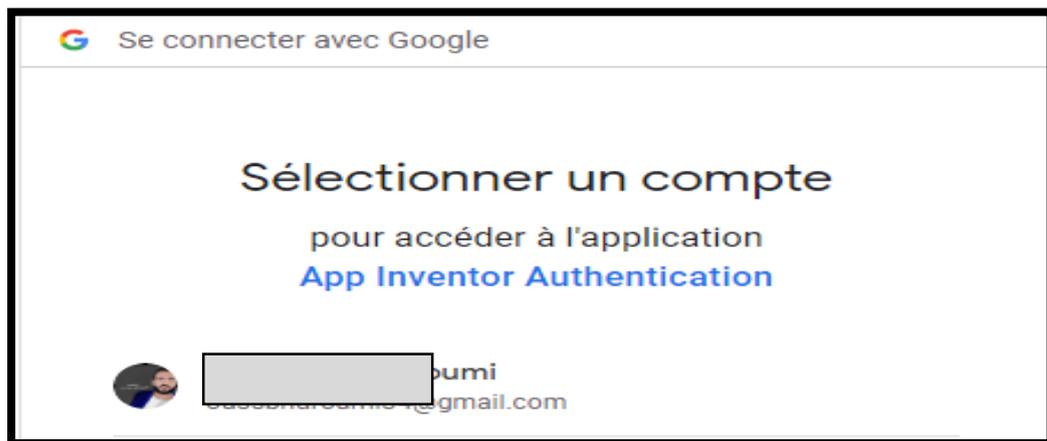


Figure IV.2 Création d'un compte Gmail.

Ci-après nous avons choisir le nom de notre projet définitivement :

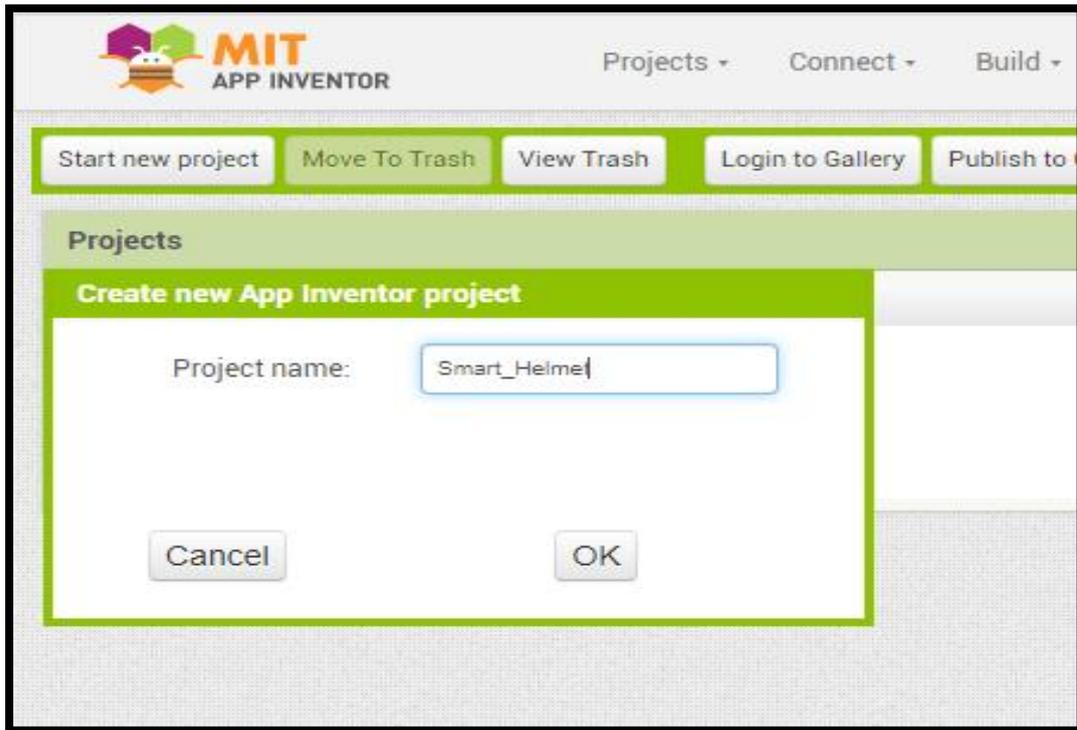


Figure IV.3 Le choix de nom de projet.

En suivant l'interface graphique d'utilisateur avec l'explication de chaque zone :

IV.4.3.1 Description de l'espace Designer :

Nous pouvons utiliser la fenêtre de conception, ou Designer, pour visualiser l'apparence et sélectionner les composants à inclure dans notre application. Nous pouvons également sélectionner des options d'interface telles que : B. Boutons, images... (voir Figure IV.4).

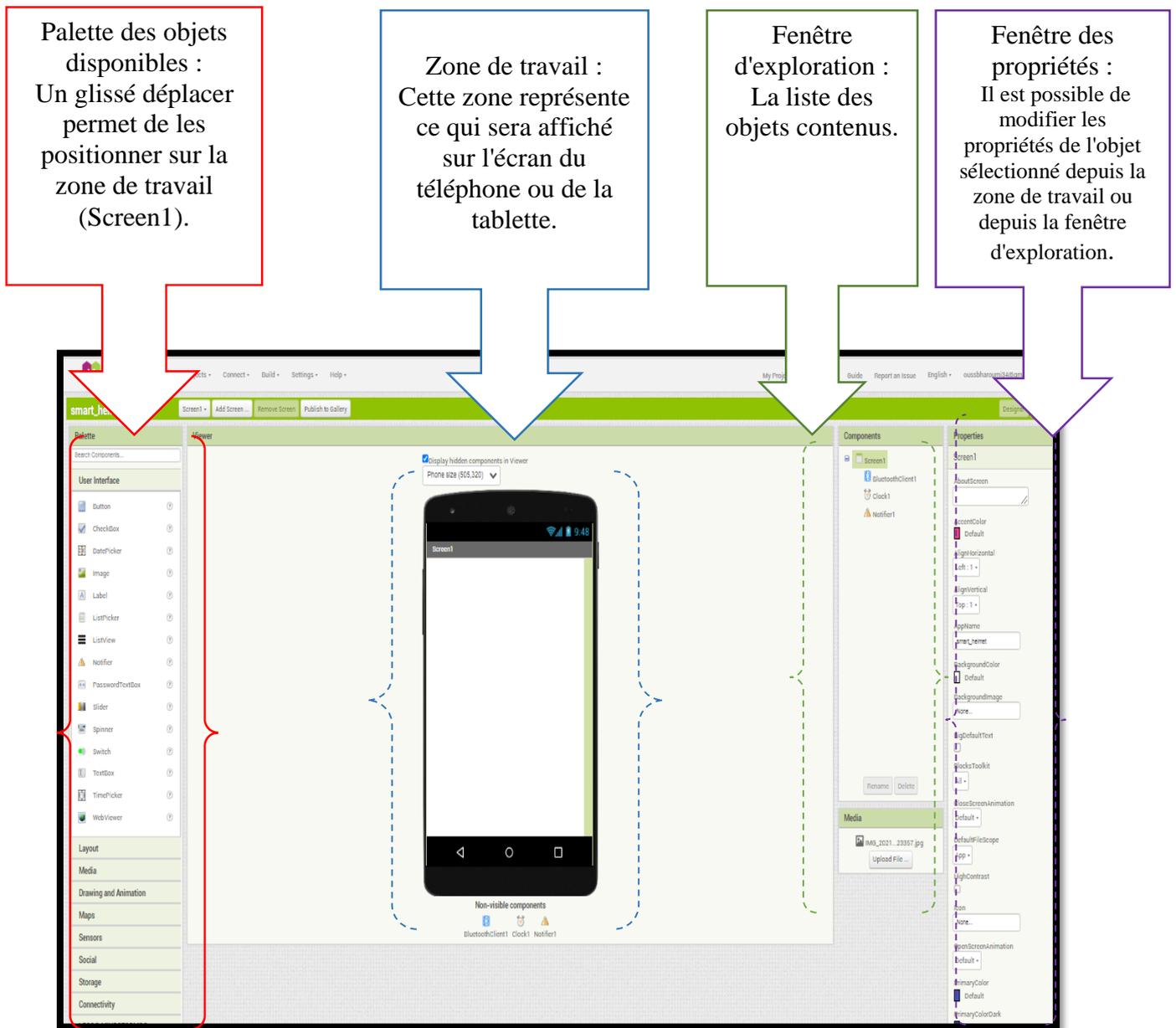


Figure IV.4 Première interface de la création App Inventor.

IV.4.3.2 Description de l'environnement de programmation :

Nous pouvons utiliser l'éditeur de blocs pour programmer le comportement de notre application. Ce sont des blocs intégrés qui peuvent gérer les mathématiques, la logique, le texte...

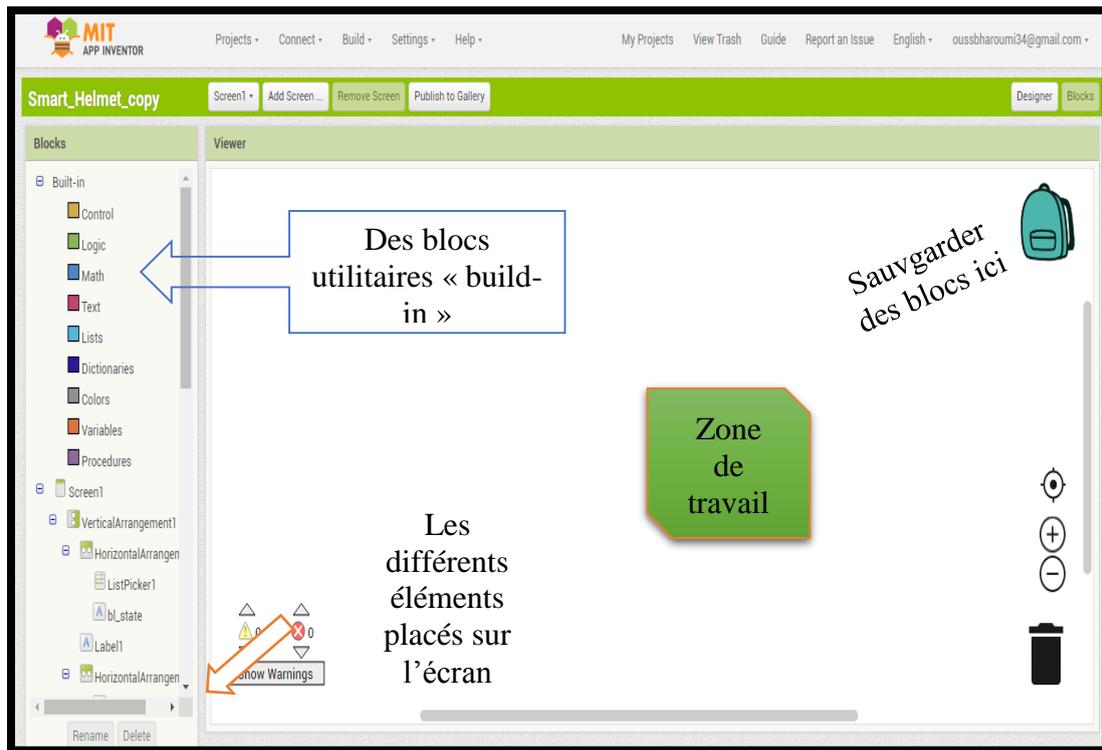


Figure IV.5 Interface de programmation.

IV.4.3.3 Description de l'émulateur :

Afin de tester l'application vous pouvez choisir le test sur :

- **L'émulateur** : un écran s'affichera sur l'ordinateur.
- **AI Companion** : dans ce cas, la connexion se fera directement sur le smartphone en wifi.
- **USB** : la connexion se fera sur le smartphone via un câble USB.
- Sur le smartphone, l'application MIT AI2 Companion doit être installée à télécharger sur le Play Store. Sur le PC, l'application MIT Emulator in AI2 doit être installée.
- **En choisissant AI Companion** : un Code de 6 caractères est généré ainsi qu'un QR Code. Il Suffit de saisir le code ou de scanner le QR Code pour que l'application soit visible sur le smartphone.

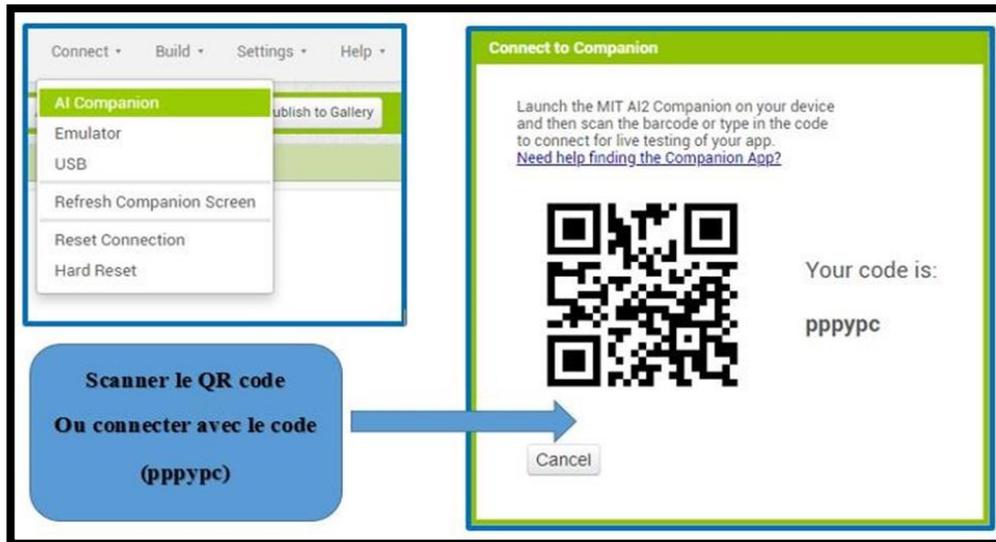


Figure IV.6 Le test d'application.

IV.5 Conception d'Application AI2 « SMART HEMET » :

Pour créer le design de notre application, nous utilisons les objets disponibles sous les onglets du menu déroulant à gauche de l'écran en modifier leurs paramètres qui apparaissent à droite de l'écran. Les composants utilisés dans notre application :

- **Bouton** : A la possibilité de détecter les clics. Beaucoup d'aspect de son apparence peuvent être changé, ainsi que la possibilité qu'il soit cliquable. (Activé), peut être changé dans la partie conception ou dans la partie bloc.
- **Image** : composant permettant d'afficher des images. D'autres aspects de l'apparence de la photo ou de l'image à afficher peuvent être spécifiés dans la partie conception ou la partie bloc.
- **Label** : Un label affiche le texte spécifié par la propriété Text. D'autres propriétés qui peuvent être définies dans le concepteur ou la partie de bloc contrôlent l'apparence et le placement du texte.
- **Horloge** : un composant caché, qui fournit une horloge et un chronomètre pour l'appareil et effectue des calculs de temps.
- **Arrangement horizontal** : Un élément de mise en forme pour placer les composants à afficher de gauche à droite. Utilisez l'alignement vertical si vous souhaitez que les composants se chevauchent.
- **Sélecteur de liste** : Un bouton qui, lorsqu'il est cliqué, affiche une liste de textes que l'utilisateur peut sélectionner. Le texte peut être spécifié dans la partie `Designer` ou

Block en définissant la propriété `String Eléments` (option 1, option 2, option 3, etc.) ou la propriété `Eléments` dans la liste des parties de bloc.

➤ **Bluetooth Client** : Composant de connexion et de communication.

1. Comme première étape de conception, nous sélectionnons l'objet Arrangement horizontal (situé dans la disposition du concepteur (Figure IV.7) qui nous permet de placer les objets suivants horizontalement pour démarrer notre application :

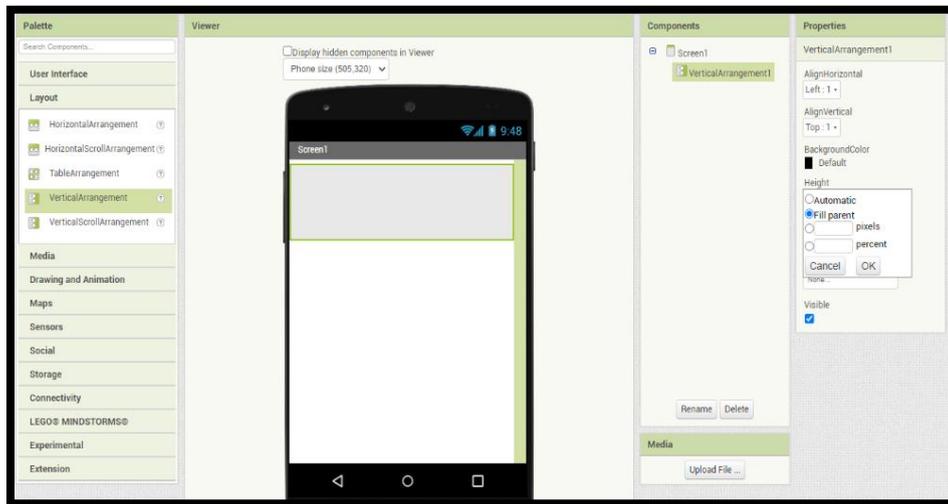


Figure IV.7 Etape de sélectionner l'objet Arrangement horizontal.

2. Placez l'étiquette utilisée pour gérer le ListPicker (connexion) et la connexion Bluetooth sur l'objet de placement horizontal. Ajoutez ensuite une étiquette pour afficher le texte de label (facultatif) en tant qu'état associé à la connexion Bluetooth. De plus, ajoutez un deuxième objet « Disposition horizontale » et placez deux étiquettes sur cet objet pour afficher les données reçues de l'appareil connecté (par exemple, affichage de la température et de l'humidité). ... ainsi que (valeurs de gaz de méthane et de monoxyde de charbon, fréquence cardiaque et taux d'oxygène dans le sang). Ensuite, j'ai ajouté un objet "BluetoothClient" à "Connectivité" (figure). x) Vous permet d'interagir avec Bluetooth sur votre smartphone.

3. Notre application « SMART Helmet » est constituée de plusieurs interfaces :

➤ **Écran 1 de l'application** : Le premier écran de « SMART Helmet » contient le logo de notre université et les deux boutons pour l'activation et la désactivation de Bluetooth et un boutons « Start » pour passer de l'écran 1 à 2.

➤ **Écran 2 pour les paramètres mesurés** : Le deuxième écran de notre application permet d'afficher toutes les mesures de notre projet, ainsi que deux boutons :

- Boutons « BACK » pour faire un retour à l'écran 1.
- Boutons « GPS » pour passer de l'écran 2 à 3.

- **Écran 3 pour la localisation:** Le troisième écran se compose de 3 boutons :
 - La première est pour voir la localisation via le GPS du smartphone.
 - La deuxième envoyer la localisation par message à une personne précise de n'importe quelle application.
 - Le dernier bouton est pour passer de l'écran 3 à 4.
- **Écran 4 pour la caméra :** Le quatrième écran se compose de plusieurs boutons pour :
 - La première pour le retour.
 - La deuxième est pour prendre la photo via la caméra de smartphone.
 - Un dernier bouton pour envoyer la dernière à une personne précise.

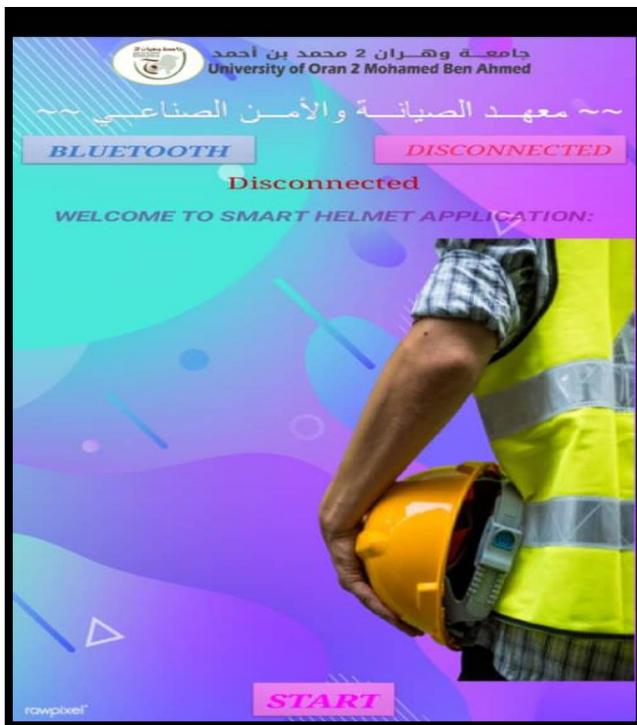


Figure IV.8 Le design d'écran 1.



Figure IV.9 Le design d'écran 3.



Figure IV.10 Le design d'écran 2.

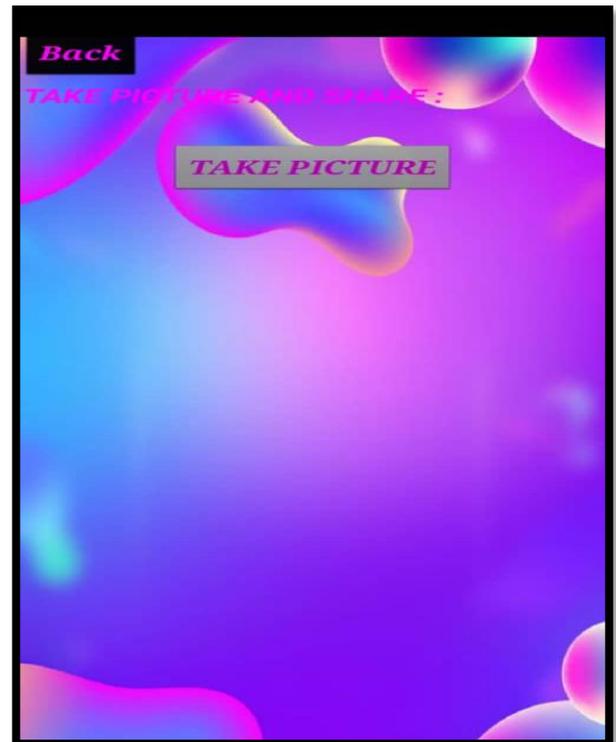


Figure IV.11 Le design d'écran 4.

La partie suivante concerne la programmation au niveau de la page de blocage. Cela permet de créer des interactions entre les blocs (ouvrir, fermer, déclencher, etc.). L'ensemble ressemble à un puzzle et vous pouvez paramétrer les conditions de fonctionnement de l'application.



Figure IV.12 Le résultat des paramètres contrôlés via l'application.

IV.5.1.1 Programmation d'applications AI2 :

Pour programmer votre application AI2, nous vous conseillons d'utiliser Scratch qui permet de programmer sous forme de schéma bloc. C'est très facile à utiliser, mais cela nécessite une certaine logique de programmation.

- ❖ Une fois qu'on a terminé l'interface graphique de l'application. On passe à la section « Blocs » où on programme tous les objets qui se trouvent dans le « Screen 1 », chacun selon les tâches à exécuter.

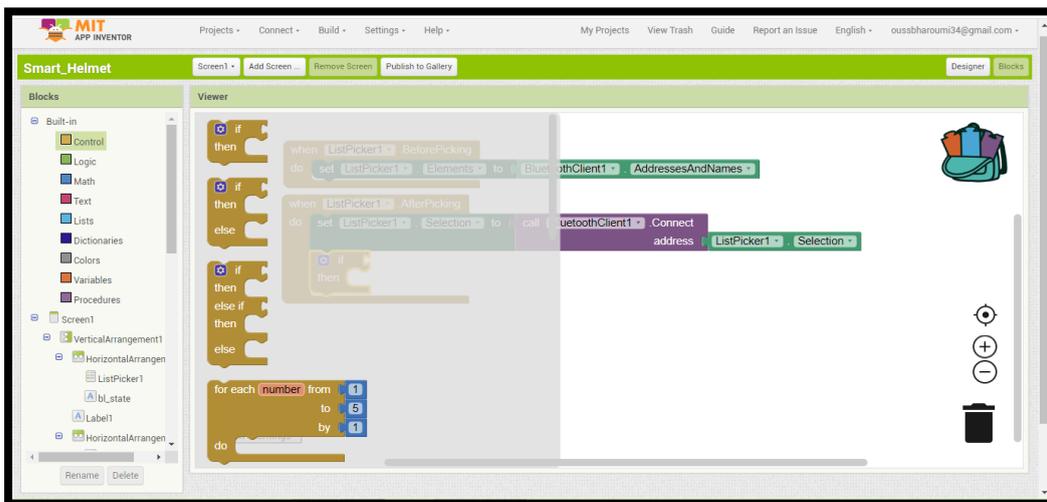


Figure IV.13 La section Blocs pour écran 1.

- ❖ Les Blocs permettant d'afficher les listes des écrans et comment passer de l'écran à l'autre :

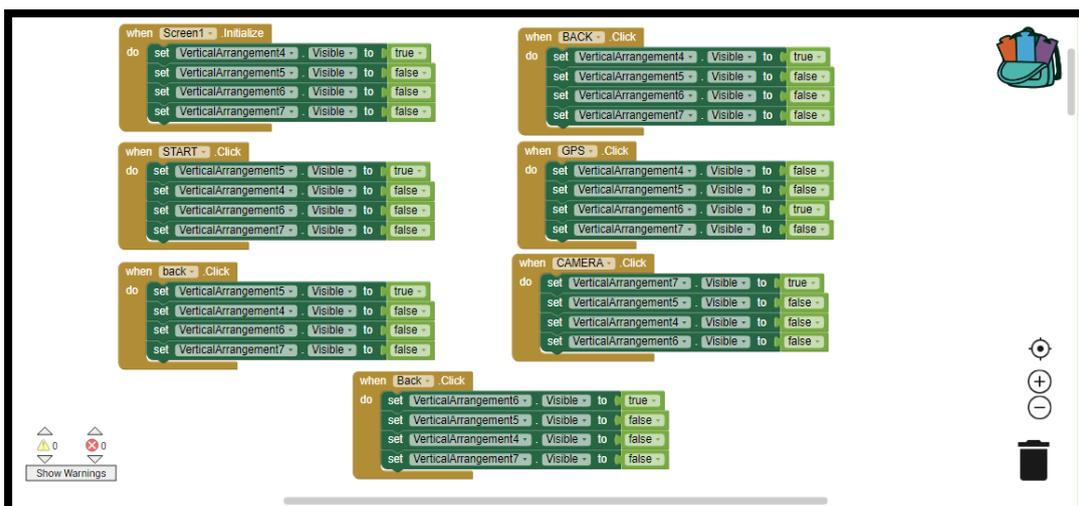


Figure IV.14 Le passage d'écran 1 à l'autre.

❖ Les Blocs permettant d'afficher la liste des périphériques Bluetooth disponibles au Smartphone et qui montre l'état du Smartphone avec le module Bluetooth (connecté ou déconnecté) affiché avec une couleur différente :

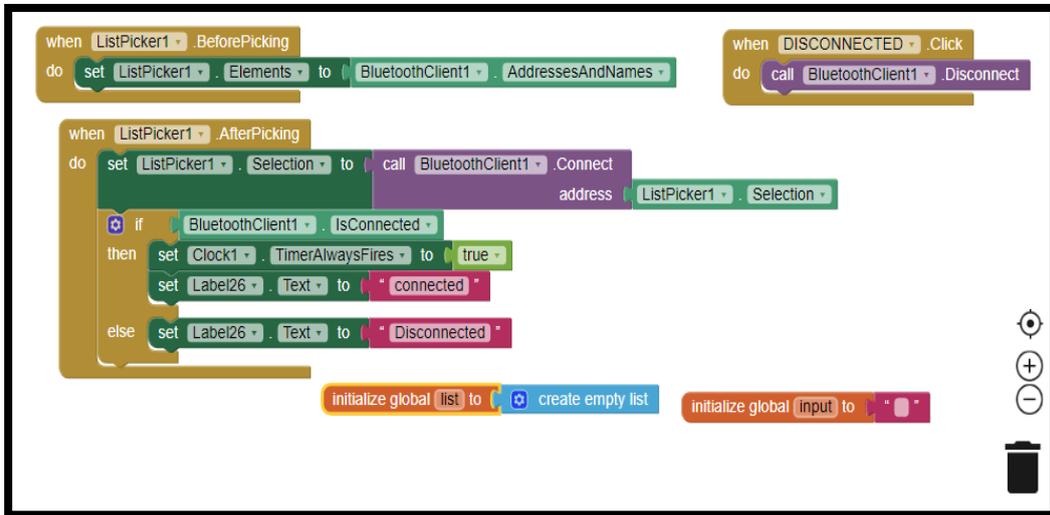


Figure IV.15 Bloc de la liste des périphériques disponibles.

❖ Maintenant on va passer sur les blocs permettant d'afficher les données et les mesures des capteurs utilisés avec des couleurs changent avec des conditions précises :

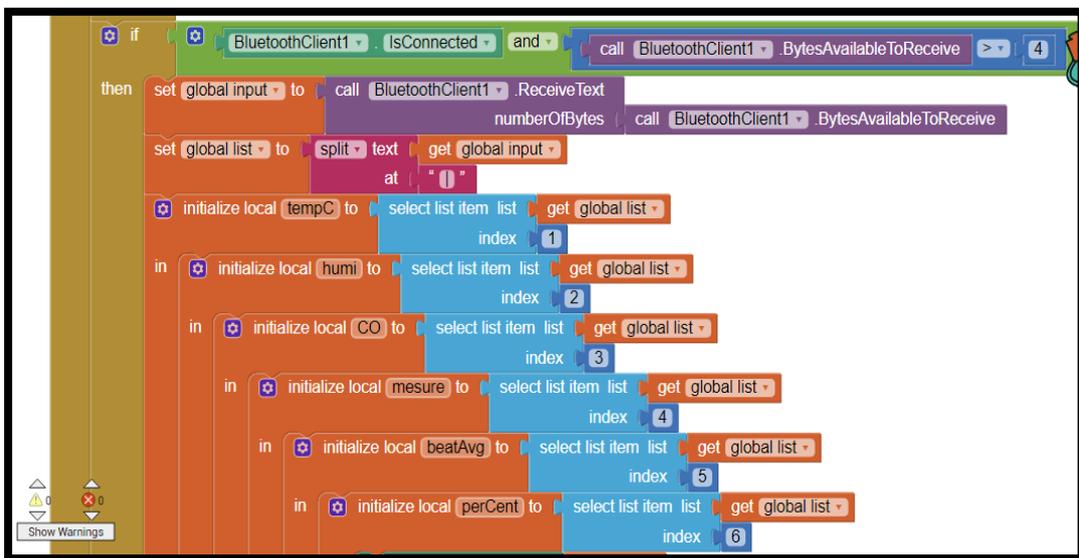


Figure IV.16 Blocs d'affichage des données et des mesures pour les capteurs (A).



Figure IV.17 Bloc d'affichage les données et les mesures des capteurs (B).

❖ Ensuite les blocs pour localisation qui permettant de localiser le mineur via le GPS de son téléphone :

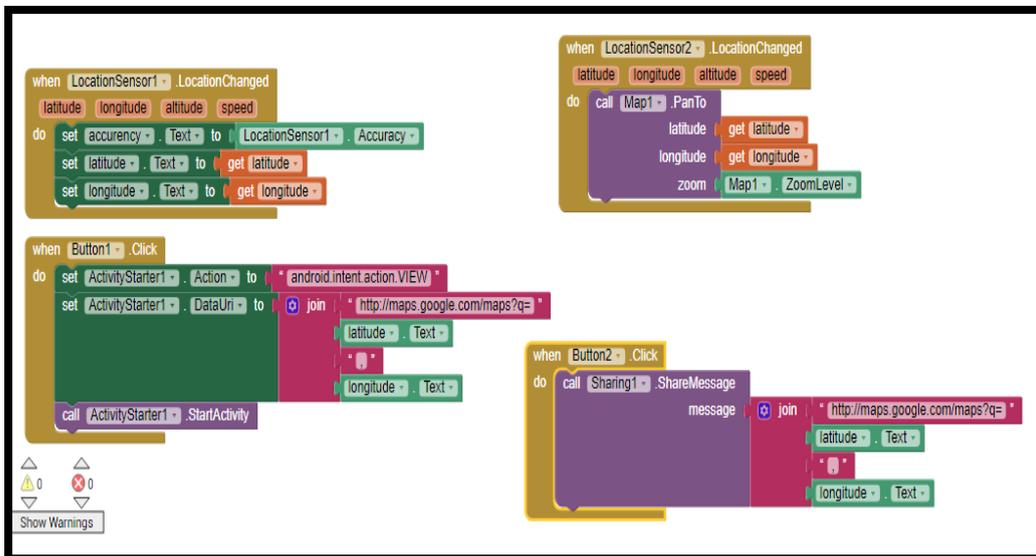


Figure IV.18 Bloc de localisation via GPS de smartphone.

❖ Finalement les blocs permettant d'utiliser la caméra de smartphone :

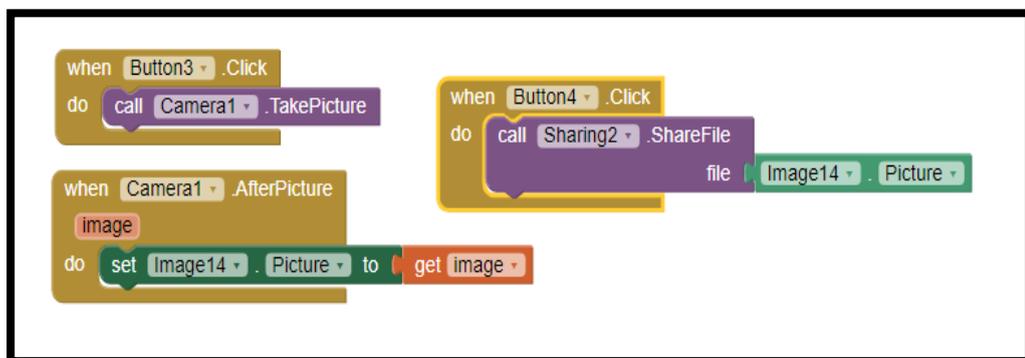


Figure IV.19 Bloc de la caméra de smartphone.

IV.6 La surveillance à distance :

IV.6.1 Conception de deuxième application "Médecin" :

L'envoi et la récupération de données font partie intégrante de notre projet. Les solutions de surveillance à distance semblent être très utiles pour envoyer des données médicales d'urgence dont le but principal est la survie des travailleurs dans un état stable et vivant. La solution que nous proposons est d'utiliser d'abord le Bluetooth pour envoyer des informations médicales vers le téléphone mobile d'un médecin ou de son proche. Ces données sont partagées en temps réel avec le téléphone mobile du médecin via notre deuxième application "Médecin" et le réseau mobile. L'approche rationnelle proposée par les médecins à distance est un facteur ambulatoire et innovant qui apporte un nouveau sens à la pratique médicale.

Cette partie se fait en deux étapes :

1. Première étape : Appelez votre médecin ou l'autorité compétente ;

Si un travailleur tombe en raison de la fuite de gaz et que le pourcentage d'oxygène dans le sang diminue ou que la fréquence cardiaque diminue, une intervention immédiate est requise. Cela se fait par un appel via notre application, effectué pour maintenir la sécurité des travailleurs.

Avec la gestion multi-écrans de MIT App Inventor, nous pouvons facilement accéder à un autre écran avec toutes les options en un clic. La figure IV.20 montre les étapes exactes.

On a cliqué sur le bouton Contact pour créer une liste de contacts et permettre à l'utilisateur de sélectionner le contact souhaité (médecin). Lorsque vous sélectionnez un contact, l'appel sera effectué automatiquement.

2. Deuxième étape : Envoyer un message urgent ;

Ce processus est effectué après que le travailleur a été vu, qu'il soit inconscient ou non, pour envoyer un message significatif sur l'état du travailleur. Sélectionnez un contact et le message sera envoyé automatiquement. Les messages sont comme suite :

- Le travailleur a la difficulté à respirer et son cœur bat vite.
- Le travailleur s'est évanoui, respirant difficilement et son cœur battait lentement.

Les blocs dans la photo suivante expliquant les étapes :

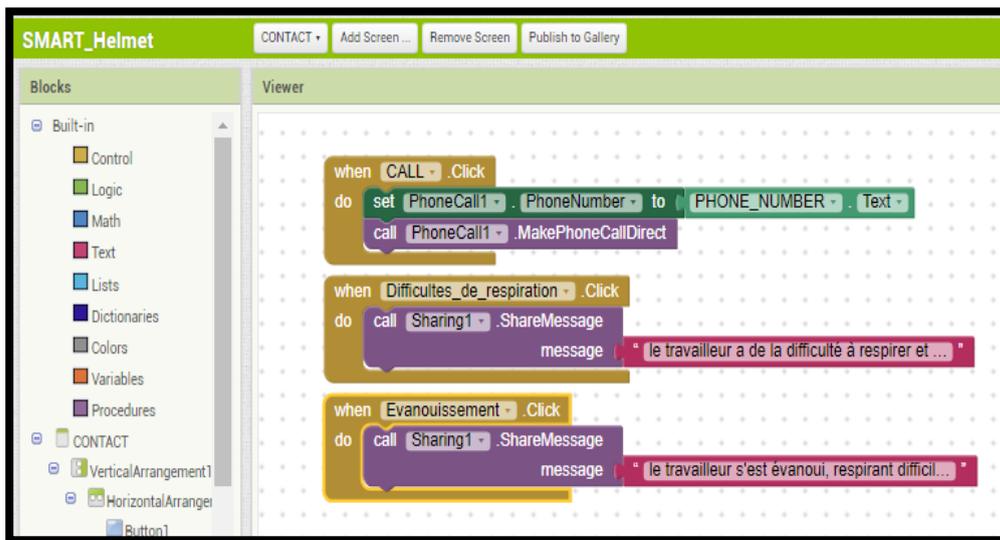


Figure IV.20 Etape d'appeler le médecin et d'envoyer un message.

Tout d'abord, vous devez appuyer sur "Contactez-nous" pour accéder aux autorisations de l'application pour accéder à la liste des numéros de téléphone. Composez ensuite le numéro de votre médecin et appelez votre médecin pour obtenir des conseils ou des instructions à distance dès que possible, c'est le but ultime. Ensuite la méthode des SMS tout faits et préalablement écrits. Cela se fait en cliquant sur le bouton pour chaque cas dans lequel le travailleur est.

Nous avons également attribué un message spécial à envoyer lorsque la situation est instable par le travailleur seul, le message est comme suivi : « J'ai besoin d'aide immédiatement »

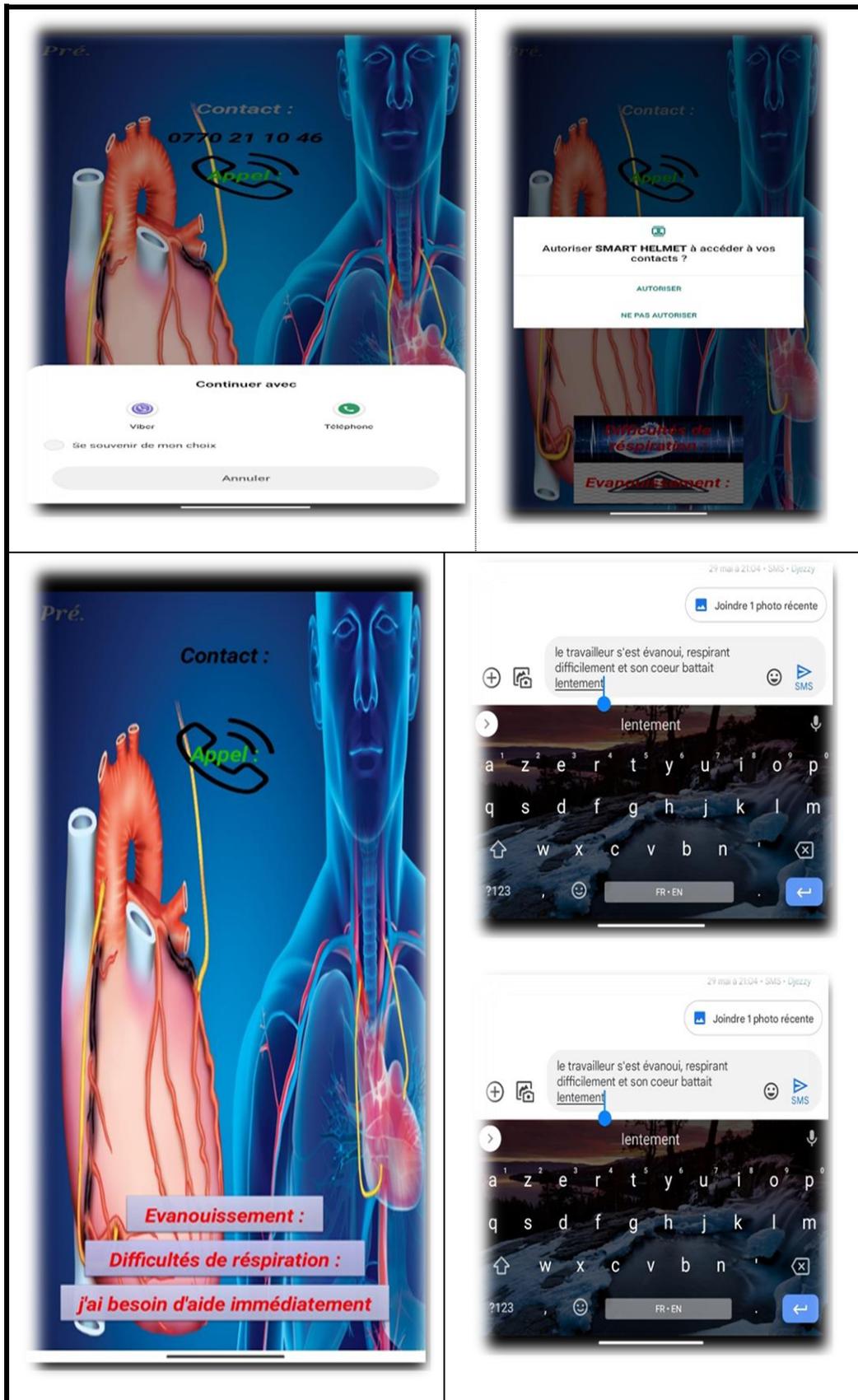


Figure IV.21 Etape d'autorisation pour accéder à liste des contacts.

IV.6.2 Application « Médecin » :

L'application « Médecin » permet à son tour de visualiser les données reçues de la part du patient. Elle permet ainsi d'appeler et de répondre au travailleur ou l'un de ses proches à l'aide du bouton « Répondre », en lui envoyant des messages précis. Ces messages sont déjà écrits dans une liste d'une façon simple pour permettre au médecin de choisir une réponse courte et claire ; et l'envoyer rapidement au patient.

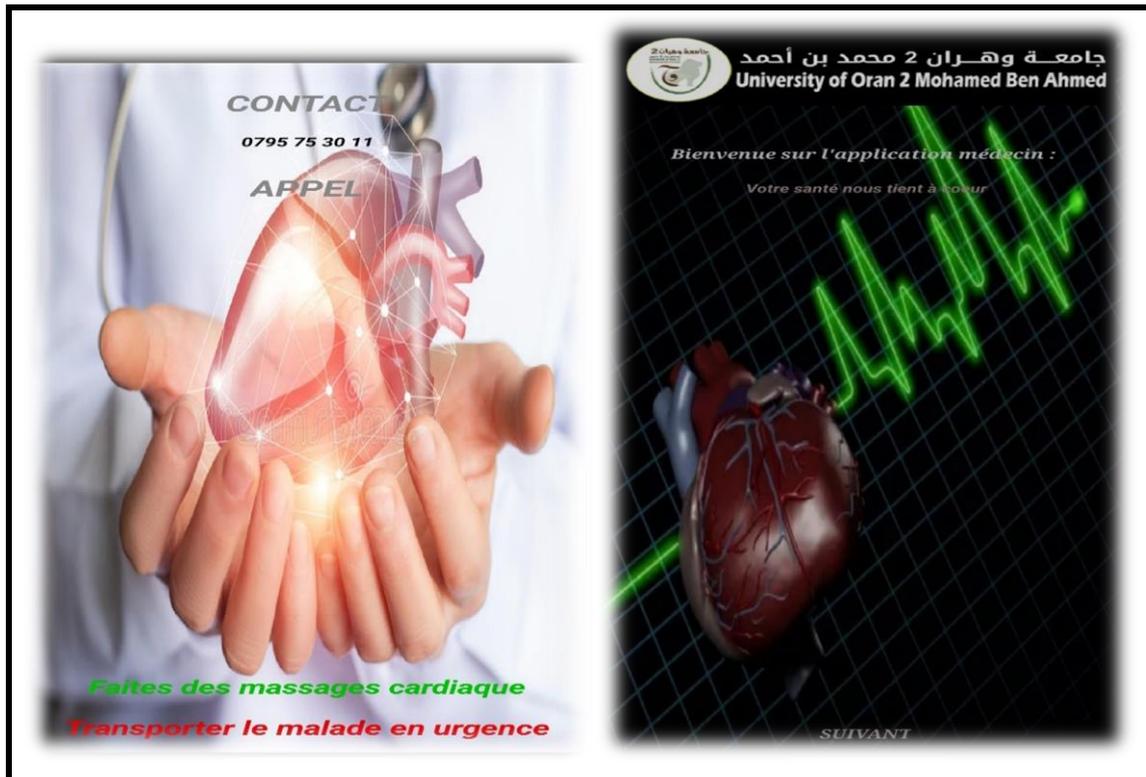


Figure IV.22 L'écran 1 et 2 d'application médecin.

En cas d'urgence, nous pouvons facilement communiquer en temps réel en sélectionnant un message prêt à l'emploi dans la liste fournie (nous pouvons ajouter une phrase si nous avons le temps) afin de pouvoir l'envoyer immédiatement au patient (Figure IV.22).

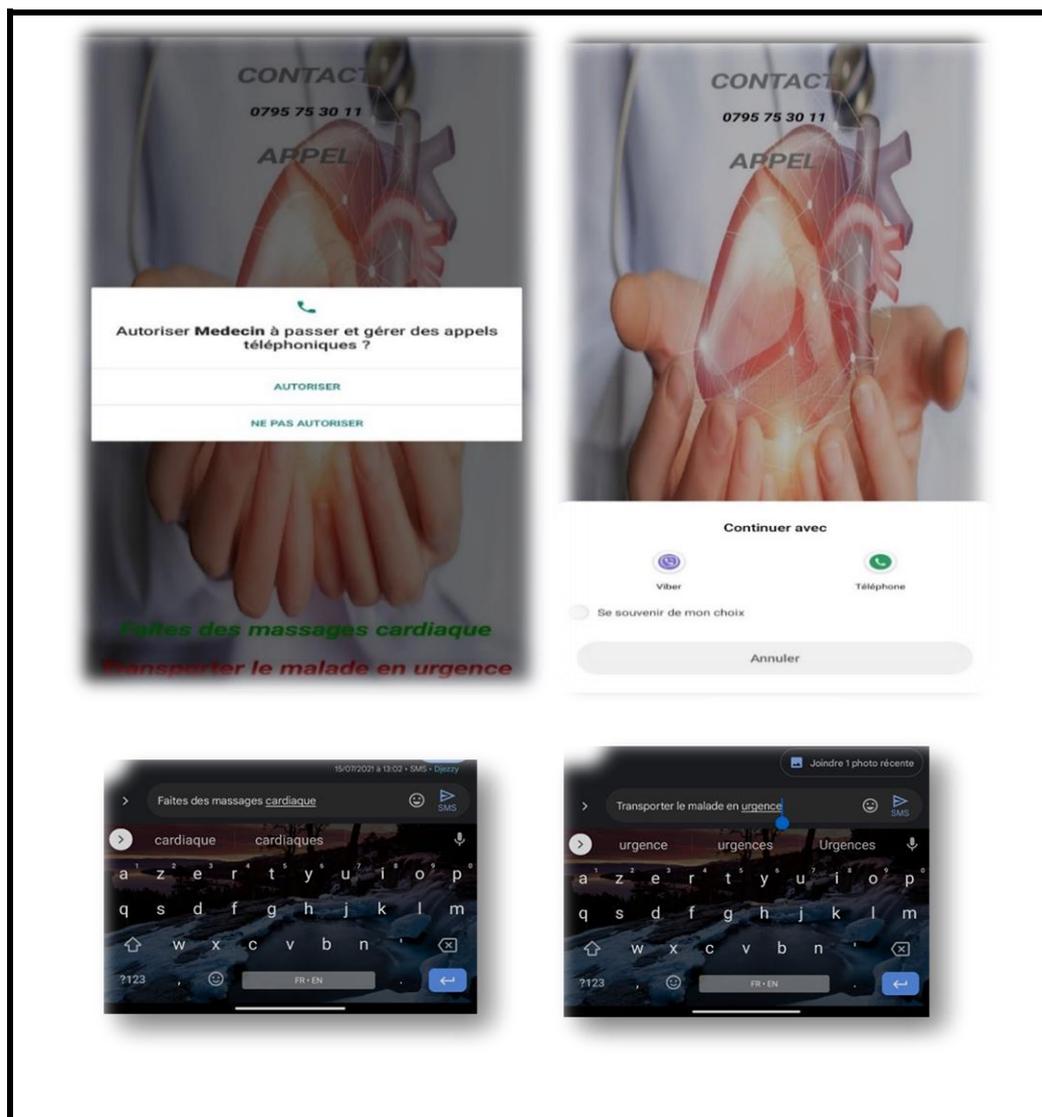


Figure IV.23 La communication par message en temps réel.

Téléchargement de l'application mobile depuis App Inventor 2 :

- Une fois que ce programme est correctement configuré et qu'aucune erreur ne s'affiche, l'étape finale est de compiler le programme comme il est montré sur Figure IV.22 (a).
- Menu Build App (save.apk to my computer).

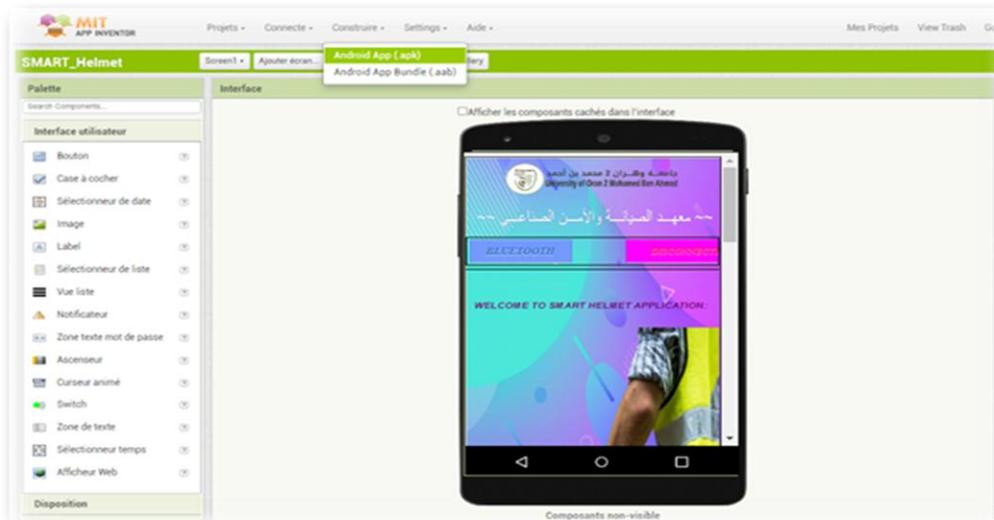


Figure IV.24 La compilation du programme.

- (a) Le fichier.apk est enregistré sur notre Pc, on doit copier ce fichier dans notresmartphone à l'aide d'un câble
- Nous pouvons partager l'installateur de notre application. APK pour Android ou nous pouvons partager le projet. AIA afin que d'autres personnes puissent le modifier. On importe un fichier AIA pour ouvrir sur l'application en ligne et modifier le projet.

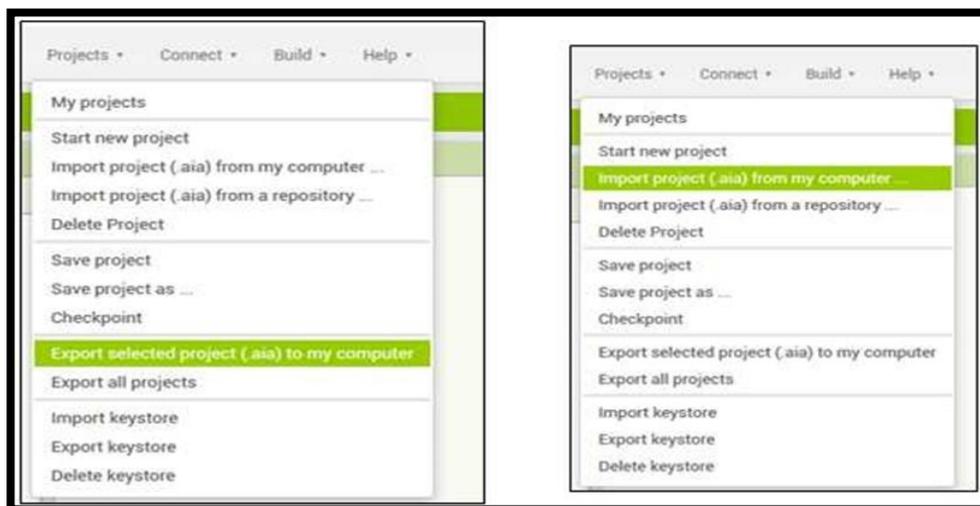


Figure IV.25 Importer le fichier AIA et partager le projet.

IV.7 Conclusion :

Après implémentation de différents algorithmes, toutes les applications définies dans le cahier des charges ont été créées, testées et validées avec l'application mobile depuis App Inventor sur le casque de sécurité intelligent, et les résultats obtenus ont été très satisfaisants.

Conclusion générale et perspectives

Au bout de notre cursus en master « Ingénierie de maintenance en instrumentation » nous avons été chargés de réaliser un projet de fin d'études. Notre travail consisté en la réalisation d'un projet à base d'Arduino.

Dans ce projet, nous nous sommes intéressé à améliorer les performances d'un dispositif de sécurité des travailleurs de fond en spécial les mineurs de charbon, en le dotant d'une plateforme de contrôle intelligente, afin d'offrir la plus grande couverture et une plus grande profondeur des mines souterraines dangereuse, contrôlant efficacement les accidents potentiels.

L'objectif principal de ce travail à maitriser les nouvelles techniques utilisées dans le domaine sécurité industrielle, notamment l'évaluation des risques du système de surveillance pour les mines souterraines ou une méthodologie de contrôle dans un équipement. En plus d'avoir un outil d'urgence pour contacter le professionnel de santé.

Ce mémoire nous a été d'un grand apport, il nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques en électronique et en informatique.

Ainsi, ce projet nous a permis d'apprendre énormément de choses telles que la programmation, la recherche et d'autres. Nous avons aussi appris comment créer un champ d'application et de recherche relativement important, l'utilisation de la plateforme MIT App Inventor. A travers ce travail, nous avons l'opportunité de découvrir le domaine des mines et de sécurité spécialement le contrôle à distance.

De plus, ce projet nous a permis de mieux gérer le travail d'équipe, de mettre l'accent sur le sens d'analyse et de la réflexion et de combiner les compétences pour améliorer la performance de casque de sécurité intelligent.

Enfin, nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base d'autre étudiants pour réaliser ces projets, quelques perspectives d'améliorations restent en

Conclusion générale et perspectives

tant que travaux futurs à étudier et à prendre en compte :

- Exploitation de l'internet des objets pour connecter le casque à diverses applications, plates-formes ou page web.
- Le remplacement de la carte Arduino par la Raspberry.
- L'ajout d'un capteur infrarouge IR pour avertir si le casque n'est pas porté.
- L'ajout des circuits imprimés au lieu des composants électroniques pour que le casque devient plus léger.
- L'ajout d'un vibreur pour le capteur ultrason afin de sensibiliser le mineur qu'il y a une chute.

Références

- [1] D. D. Mohamed, « Exploitation Minière-L3 -Chapitre 2 : Présentation des travaux miniers, p14. »
- [2] « Importance of Mining », *Straterra*. <https://www.straterra.co.nz/mining-in-nz/importance-of-mining/> (consulté le 6 mai 2022).
- [3] « Les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifères | Cairn.info ». <https://www.cairn.info/revue-realites-industrielles-2018-4-page-10.htm> (consulté le 10 mai 2022).
- [4] « Différentes catégories de souterrains », *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-travaux-publics-et-infrastructures-tiace/archive-1/travaux-souterrains-c5565/differentes-categories-de-souterrains-c5565niv10001.html> (consulté le 6 mai 2022).
- [5] « Risques-minier-dossier-2005.pdf ». Consulté le: 1 août 2022. [En ligne]. Disponible à : <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/03/risques-minier-dossier-2005.pdf>
- [6] S. Saul, « CHAPITRE XII LA RICHESSE MINIÈRE DU MAGHREB, pages 519 à 563 », 2016. Consulté le : 19 mars 2022. [En ligne]. Disponible à : <https://www.cairn.info/interets-economiques-francais-et-decolonisation---page-519.ht>
- [7] « Chapitre 74 - Les mines et les carrières ». <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo074.htm> (consulté le 6 mai 2022).
- [8] « les dangers et les catastrophes.pdf ». Consulté le: 6 mai 2022. [En ligne]. Disponible à : http://www.musee-mine.saint-etienne.fr/sites/default/files/ckeditor_uploads/dossier_les_dangers2017.pdf
- [9] <https://kreo-agency.com>, « Russie : Deuil national : 51 morts dans un accident d'une mine de charbon - Monde », *le Soir d'Algérie*. <https://www.lesoirdalgerie.com/monde/51-morts-dans-un-accident-d-une-mine-de-charbon-71248> (consulté le 15 juillet 2022).
- [10] « Alea-gaz-de-mine-guide-ineris-2016-1457701762.pdf ». Consulté le : 6 mai 2022. [En ligne]. Disponible à : <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/alea-gaz-de-mine-guide-ineris-2016-1457701762.pdf>
- [11] C. canadien d'hygiène et de sécurité au travail Gouvernement du Canada, « 2-Effets du méthane sur la santé : Réponses SST », 14 juin 2019. https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/methane/health_met.html (consulté le 12 juin 2022).
- [12] « 007_MonoCarboneDynamitage.pdf ». Consulté le : 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible à : https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/007_MonoCarboneDynamitage.pdf
- [13] O. Prevention, « Equipements Individuels de Protection de la tête », Année 2002. <https://www.officiel-prevention.com/dossier/protections-individuelles/la-tete/equipements-individuels-de-protection-de-la-tete> (consulté le 6 mai 2022).
- [14] « Casque ». http://stringfixer.com/fr/Miner's_helmet (consulté le 6 mai 2022).
- [15] « Les 7 meilleurs casques de chantier en 2022 - Comparatif », *Blog Obat*, 16 septembre 2021. <https://www.obat.fr/blog/casque-de-chantier/> (consulté le 6 mai 2022).
- [16] « Le casque intelligent ». <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1175637/casque-intelligent-mineur-localisation-proximite-jannatec-technologies-sudbury> (consulté le 1 août 2022).

- [17] « Cartes programmables - Hack4.Info ». <http://hack4.info/index.php?static1/cartes> (consulté le 7 mai 2022).
- [18] « Support de cours carte Arduino Uno », *cours-gratuit.com*. <https://www.cours-gratuit.com/cours-arduino/support-de-cours-carte-arduino-uno-pdf> (consulté le 7 mai 2022).
- [19] « Composants d'ARDUINO ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [20] « Arduino MEGA 2560 ». e : https://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_Mega_2560
- [21] « Arduino Mega 2560 Rev3 », *Génération Robots*. <https://www.generationrobots.com/fr/401945-arduino-mega-2560-rev3.html> (consulté le 7 juin 2022).
- [22] « Cartes Arduino : Caractéristiques, avantages et inconvénients... ». <https://forsimplytech.blogspot.com/2019/11/cartes-arduino-caracteristiques.html> (consulté le 5 juin 2022).
- [23] « Tutoriel de programmation Arduino mega 2560 », *cours-gratuit.com*. <https://www.cours-gratuit.com/cours-arduino/tutoriel-de-programmation-arduino-mega-2560> (consulté le 7 juin 2022).
- [24] Y. RHIMI et R. MATARI, « Mémoire Master “Kit didactique à base de la carte Arduino Uno” ». », Université SAAD DAHLAB de BLIDA, Département d'Électronique., 2019.
- [25] A. C. CHAMI, M. A. MOUSSAOUI, et M. B. NID, « Mémoire Master “Réalisation d'un système d'alarme intelligent à base d'un smart phone contre l'intoxication due au gaz CO dans la maison” ». », Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, Département Télécommunications, 2018.
- [26] « Formation pour bien commencer en électronique et en programmation – Apprendre en ligne ». <https://www.clicours.com/formation-pour-bien-commencer-en-electronique-et-en-programmation/> (consulté le 7 juin 2022).
- [27] « Les Différents Types de Capteurs | Superprof », *Superprof Ressources*. <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/maths/astuce/tous-niveaux-7/tpe-2010-physique.html/> (consulté le 6 mai 2022).
- [28] « Généralités sur les capteurs de gaz – Apprendre en ligne ». <https://www.clicours.com/generalites-sur-les-capteurs-de-gaz/> (consulté le 6 mai 2022).
- [29] « MQ-2 (GENERALE COMBUSTIBLE GAZ) SHIELD – ORBIT ELECTRONIC ». <https://www.orbit-dz.com/product/mq2/> (consulté le 12 mai 2022).
- [30] « Mémoire Réalisation d'un système d'alarme intelligent.pdf ». Consulté le: 6 mai 2022. [En ligne]. Disponible à: <http://dspace.univ-eloued.dz/bitstream/123456789/3378/1/621.382-080.pdf>
- [31] « HC-SR04 Ultrasonic Sensor », *Components101*. <https://components101.com/sensors/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet> (consulté le 12 mai 2022).
- [32] N. Fidouh et S. Kouider benhamed, « Mémoire « Conception d'une canne intelligente à main libre (CIML) avec assistance vocale à base de système Talkie". », Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2021.
- [33] F. Batteix, « Mesurer une distance avec un capteur à ultrason HC-SR04 et une carte Arduino / Genuino », ! -APP.SHORT_TITLE- ! 9 novembre 2016. <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-une-distance-avec-un-capteur-ultrason-hc-sr04-et-une-carte-arduino-genuino/> (consulté le 12 mai 2022).
- [34] « SENS-MAX30102 Capteur de Fréquence Cardiaque pour Arduino - MAX30102 ». <https://abra-electronics.com/sensors/sensors-biometrics-en/sens-max30102-heartbeat->

- frequency-tester-sensor-module-for-arduino-max30102.html?sl=fr (consulté le 2 août 2022).
- [35] « MAX30102 Capteur de Fréquence Cardiaque pour Arduino », *vs-elec*. <https://www.vs-elec.fr/environnement/748-max30102-capteur-de-frequence-cardiaque-pour-arduino-3665662004277.html> (consulté le 7 juin 2022).
- [36] « MAX30102--High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health », p. 32.
- [37] L. ZEGGAYE et A. TOUHAMI, « Mémoire Master “Conception et mise en œuvre d’une canne intelligente pour les personnes ayant des problèmes visu”. », Université d’Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle., 2021.
- [38] « Le module Bluetooth HC-05 ». : https://www.gotronic.fr/art-module-bluetooth-hc05-26097.htm#compte_desc (consulté le 15 juin 2022).
- [39] « Le Module ESP8266-01 ». <https://f-leb.developpez.com/tutoriels/arduino/esp8266/debuter/> (consulté le 15 juin 2022).
- [40] la rédaction de Futura, « Définition | OLED - Oled - Organic light-emitting diode - Diode électroluminescente organique | Futura Tech », *Futura*. <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-oled-2900/> (consulté le 7 juin 2022).
- [41] M. MEKHATRI et B. SI FODIL, « Mémoire “Conception et réalisation d’une interface homme machine pour un fauteuil roulant intelligent basée sur la reconnaissance vocale et gestuelle dans un environnement domiciliaire”. », Ecole Nationale Polytechnique d’Oran Maurice Audin, 2020.