

Étude et conception d'un Gilet Intelligent pour Travailleurs en Milieu Dangereux avec Intégration de l'IoT

BENSAID Mohamed, MEKNI Marwen, KHEMIRI Haythem

Mohamedbensaidtn@gmail.com, mekni0845@gmail.com, haythemkhmiri92@gmail.com

- (1) L'Ecole Supérieure d'Ingénieurs et des Etudes Technologiques ESIET -UAS :34, Rue Cyrus Legrand, Tunis, Tunisie.
- (2) L'Ecole Supérieure d'Ingénieurs et des Etudes Technologiques ESIET -UAS :34, Rue Cyrus Legrand, Tunis, Tunisie.

RESUME : Ce projet présente la conception et la réalisation d'un gilet intelligent destiné à renforcer la sécurité des travailleurs évoluant dans des environnements dangereux. L'objectif principal est de détecter les chutes et les gaz toxiques, notamment le monoxyde de carbone, le méthane et l'hydrogène, afin de déclencher des alertes en temps réel.

Le système est basé sur un microcontrôleur STM32F407G, relié à deux capteurs principaux : le MPU6050 pour la détection des chutes, et le capteur MQ-7 pour la surveillance des gaz. Les données collectées sont transmises via un module LoRa SX1278 vers un ESP32, qui les affiche sur une interface web hébergée localement.

L'ensemble du système fonctionne de manière autonome et sans réseau externe, ce qui le rend particulièrement adapté aux zones industrielles isolées. Le projet a été développé en suivant une approche modulaire, avec des tests individuels pour chaque composant, puis une intégration finale réussie. Il constitue une base solide pour des applications de sécurité connectée dans le domaine professionnel.

Mots-clés : Capteurs, Internet des Objets (IoT), Pédagogique, Sécurité au travail, Détection de chute, Capteur de gaz (MQ-7), STM32F407G, LoRa SX1278, ESP32, Interface web embarquée.

1. INTRODUCTION

Dans les environnements industriels et les chantiers à haut risque, la sécurité des travailleurs est une priorité absolue. Chaque année, des millions d'accidents surviennent, souvent causés par des chutes ou l'exposition à des gaz toxiques tels que le monoxyde de carbone (CO), le méthane (CH₄) ou l'hydrogène (H₂). Malgré les efforts en matière de prévention, ces dangers persistent, en particulier dans les zones peu surveillées. Face à ce constat, les objets connectés (IoT) offrent de nouvelles perspectives pour améliorer la sécurité en temps réel. Ce projet s'inscrit dans cette démarche, avec la conception d'un gilet intelligent capable de détecter les chutes et de surveiller la qualité de l'air, tout en transmettant les informations sans fil à une plateforme distante.

Le gilet se veut **léger, autonome et adapté aux contraintes du terrain**, intégrant des capteurs précis et une technologie de transmission à longue portée. Il vise à renforcer la protection des travailleurs en permettant une **réaction rapide en cas d'anomalie détectée**. Ce prototype démontre comment des solutions embarquées peuvent être mises au service de la sécurité dans des milieux exigeants.

2. CONCEPTION MECANIQUE

Pour la partie mécanique du projet, nous avons conçu un boîtier sur mesure à l'aide du logiciel OpenSCAD. Ce boîtier a été généré entièrement par code, ce qui a permis une modélisation paramétrique précise adaptée aux dimensions réelles des composants électroniques, notamment la carte

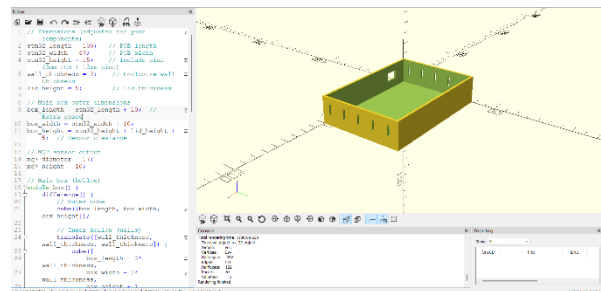


Figure 1 : Conception 3D de boîtier

STM32F407G, le capteur MQ-7 et le module LoRa.

La structure comprend des parois d'épaisseur uniforme, un système de couvercle emboîtable, ainsi que des ouvertures dédiées pour le port USB, le capteur de gaz, l'antenne LoRa et la ventilation. Des fentes d'aération ont été ajoutées sur les côtés afin d'assurer une meilleure circulation de l'air à l'intérieur du boîtier.

Cette approche a permis une intégration compacte, propre et fonctionnelle de l'ensemble des composants tout en assurant une certaine protection physique lors des tests. Le modèle final a été exporté en STL pour impression 3D si nécessaire.

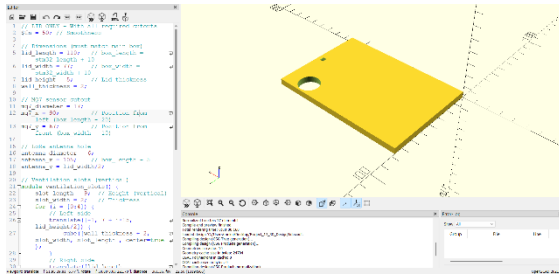


Figure 2 : Conception 3D du couvercle emboîtable

• Câblage électrique

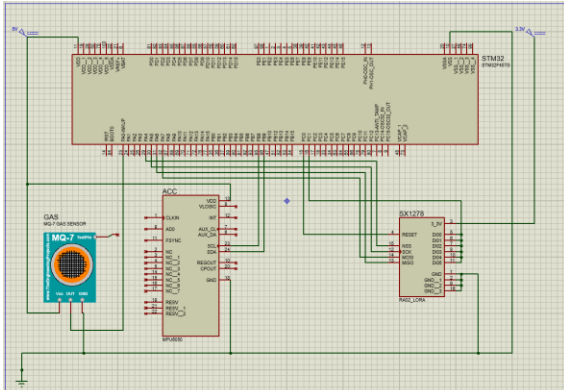


Figure 3 : Schéma électrique avec Proteus 8 de STM32 et ses capteurs

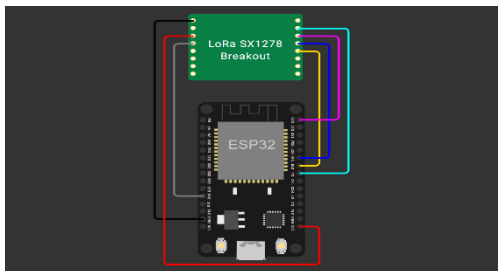


Figure 4 : Schéma électrique avec Proteus 8 de STM32 et ses capteurs

Le tableau suivant présente les connexions entre les broches des microcontrôleurs (STM32F407G et ESP32) et les différents modules utilisés dans le projet.

MPU6050 / STM32		STM32/LORA		LORA/ESP32	
VCC	5V	VCC	3,3V	3,3V	3,3V
GND	GND	GND	GND	GND	GND
SDA	PB8	PC0	RST	RST	19
SCL	PB9	PC1	DIO0	DIO0	27
MQ7 /STM32		PA4	NSS	NSS	26
VCC	5V	PA5	SCK	SCK	5
GND	GND	PA6	MISO	MISO	14
AO	PA0	PA7	MOSI	MOSI	18

Tableau 1 : Table des connexions (Pinout)

3. ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DU SYSTEME

Le projet ne comporte pas de parties mécaniques mobiles, donc aucun schéma cinématique n'est requis.

À la place, nous présentons ici l'architecture fonctionnelle du système qui repose sur un microcontrôleur STM32F407G connecté à deux capteurs : le MPU6050 en I2C pour détecter les chutes, et le MQ-7 en entrée analogique pour mesurer les gaz. Les données sont envoyées via le module LoRa SX1278 (SPI) à une carte ESP32, qui les affiche sur une interface web locale. Le schéma ci-dessous montre les connexions et le flux d'information entre les composants.

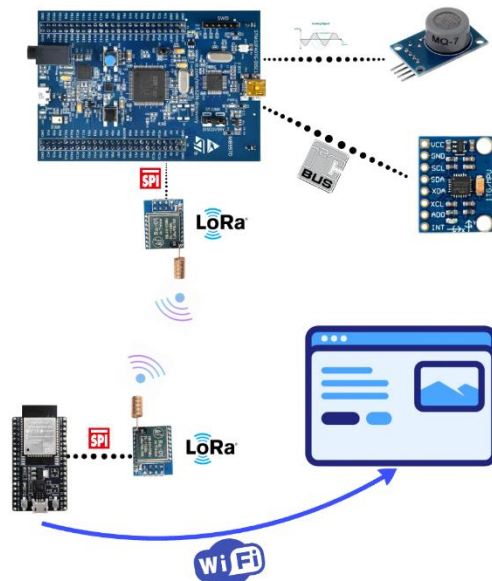


Figure 4 : Architecture globale du projet

4. CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Le système a été conçu pour consommer un minimum d'énergie tout en assurant un fonctionnement continu. La carte STM32F407G consomme environ 50 à 100 mA en fonctionnement normal. Les capteurs MPU6050 et MQ-7 ajoutent une consommation faible, autour de 10 à 20 mA chacun. Le module LoRa SX1278, quant à lui, peut consommer jusqu'à 120 mA pendant les transmissions. L'ESP32 utilisé comme récepteur consomme entre 80 et 240 mA selon les phases d'activité.

L'ensemble du système fonctionne sous une tension de 3,3 V ou 5 V selon les composants. La consommation totale reste adaptée à une alimentation portable, notamment par batterie rechargeable (entre 2000 et 3000mAh), pour une autonomie de plusieurs jours.

5. SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT D'UTILISATION DU GILET

5.1 Description :

Le gilet intelligent a été conçu pour renforcer la sécurité des travailleurs évoluant dans des environnements industriels à risque, tels que les usines, les chantiers, ou encore les zones confinées. Ces milieux sont souvent exposés à des dangers invisibles comme les gaz toxiques, ainsi qu'à des accidents liés aux déplacements ou aux pertes d'équilibre. Ce projet répond à ce besoin en intégrant des fonctionnalités de détection, d'alerte et de surveillance dans un système portable et autonome.

Afin de garantir la robustesse et la fiabilité du dispositif dans son environnement d'utilisation, plusieurs précautions techniques ont été prises :

- **Autonomie énergétique** : le système est conçu d'être alimenté par une batterie portable connectée directement à la carte STM32F407G. Cette carte alimente également les autres composants via ses sorties 3.3 V et 5 V, ce qui permet un fonctionnement sans dépendance à un ordinateur ou à une source d'alimentation externe fixe. L'ensemble a été optimisé pour fonctionner en continu pendant plusieurs Jours.
- **Protection mécanique des composants** : les éléments électroniques sont intégrés dans un boîtier sur mesure, modélisé avec le logiciel OpenSCAD. Ce boîtier, conçu par génération de code, dispose d'un couvercle emboîtable, de fentes de ventilation latérales, ainsi que de découpes précises pour le capteur MQ-7, le port USB, et l'antenne LoRa. Il a été pensé pour protéger le système des chocs légers, de la poussière et de la chaleur.
- **Fonctionnement sans infrastructure réseau** : grâce à l'utilisation de la technologie LoRa, le gilet peut transmettre les données à longue distance, sans avoir besoin de connexion Wi-Fi ou GSM. Cela rend le système particulièrement adapté à des environnements industriels éloignés ou mal couverts.
- **Ergonomie et intégration** : le gilet a été pensé pour être confortable à porter, tout en assurant une bonne fixation des capteurs. L'assemblage des composants et des fils a été organisé de manière à limiter l'encombrement et à garantir une bonne stabilité du système lors des mouvements de l'utilisateur.
- **Visualisation des données à distance** : les informations sont envoyées à un module ESP32, qui héberge une page web locale affichant en temps réel les alertes ou mesures collectées. Cela permet à un responsable de surveiller les conditions de sécurité sans avoir à s'approcher physiquement du porteur du gilet.

En résumé, le gilet est conçu comme un dispositif de sécurité proactive, capable de fonctionner dans des conditions réelles de travail, avec une attention particulière portée à la fiabilité, la simplicité d'usage, et

l'intégration dans l'environnement industriel. Son architecture technique et sa structure physique font de lui un prototype solide, répliquable et prometteur pour des applications futures en sécurité connectée.

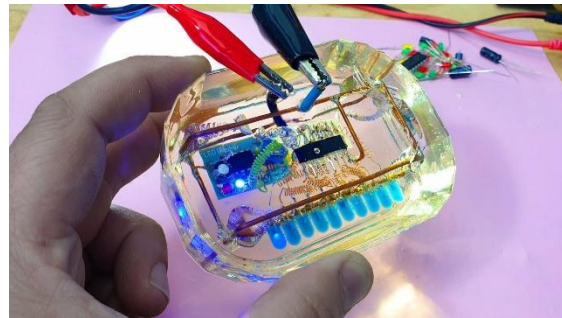


Figure 5 : Exemple d'utilisation de résine pour la protection mécanique d'un circuit électronique

6. CONTROL D'ACCES AUX DONNES

Dans notre système, la question du contrôle d'accès ne concerne pas une ouverture physique, mais plutôt l'accès aux données de sécurité transmises par le gilet. Les informations collectées (alertes de chute, détection de gaz) sont affichées sur une interface web hébergée localement par l'ESP32.

Cette interface est accessible uniquement via le réseau local, ce qui limite l'exposition extérieure et renforce la sécurité des données. L'accès à l'interface peut être restreint en configurant le réseau Wi-Fi ou en ajoutant un mot de passe au niveau du serveur web. Cela permet d'assurer que seules les personnes autorisées (responsables sécurité, chefs d'équipe...) puissent consulter les informations en temps réel.

```
9 void setupWifi() {
10   Wifi.begin("Redmi Note 12", "00000001");
11   Serial.print("Connecting to Wifi");
12   while (Wifi.status() != WL_CONNECTED) {
13     delay(500);
14     Serial.print(".");
15   }
16   Serial.println("\nWifi connected. IP: " + Wifi.localIP().toString());
17 }
```

Figure 6 : Partie de code illustrant le setup de réseau local sécurisé

7. INTÉGRATION DE L'IOT

7.1 Communication par LoRa

L'intégration de l'IoT dans notre projet repose sur la **transmission sans fil des données de sécurité** depuis le gilet vers une plateforme de visualisation distante. Pour cela, nous avons adopté la technologie **LoRa (Long Range)**, qui se distingue par sa capacité à transmettre des données sur de longues distances avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée aux applications industrielles, agricoles ou en milieux isolés.

LoRa est une technologie de modulation radio basée sur le **spectre étalé à modulation chirp (Chirp Spread Spectrum - CSS)**, développée pour assurer des communications robustes même dans des environnements bruyants ou à faible puissance. Elle fonctionne dans des bandes de fréquences non licenciées (souvent autour de 433 MHz ou 868 MHz en Europe) et permet des portées de transmission allant de **2 à 15 kilomètres** en champ libre, selon les antennes et les conditions environnementales.

Contrairement aux protocoles classiques comme le Wi-Fi ou le Bluetooth, qui nécessitent une infrastructure de réseau (routeur, passerelle, etc.), **LoRa permet une communication directe entre deux nœuds** : un émetteur et un récepteur. Cela élimine la dépendance à Internet ou à un réseau local et renforce la fiabilité dans les zones à faible connectivité.

Dans notre projet, la carte **STM32F407G** joue le rôle d'unité centrale embarquée dans le gilet. Elle récupère en temps réel les données des capteurs :

- **MPU6050** pour la détection des chutes, via le bus I2C,
- **MQ-7** pour la mesure du monoxyde de carbone, via une entrée analogique.

Ces informations sont ensuite formatées et transmises par le module **LoRa SX1278**, connecté au STM32 via une interface SPI. La transmission est reçue par une carte **ESP32**, qui agit comme une station de réception. L'ESP32 décode les données reçues et les affiche sur une **interface web hébergée localement**, accessible depuis un ordinateur, une tablette ou un smartphone connecté au même réseau local que l'ESP32.

Ce mode de communication point-à-point garantit :

- Une **grande autonomie** du système (grâce à la faible consommation du module LoRa),
- Une **portée étendue**,
- Une **simplicité de déploiement**, sans infrastructure lourde.

L'utilisation de LoRa renforce ainsi la robustesse et la portabilité du gilet intelligent, tout en assurant une transmission fiable des données critiques dans des environnements de travail potentiellement dangereux.

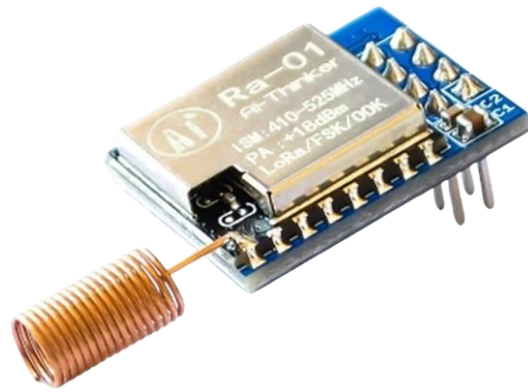


Figure 7 : Module LoRa utilisé "SX 1278 RA-01" avec la bande de fréquence 433MHz

7.2 Affichage des données et surveillance en temps réel

Une interface web simple et intuitive a été développée sur l'ESP32 afin de présenter les données reçues. Elle permet d'afficher en temps réel les alertes, les valeurs des capteurs et l'état général du système. L'interface fonctionne sans connexion Internet et peut être consultée sur smartphone, tablette ou PC.

Cette intégration permet :

- Une **surveillance continue** sans infrastructure externe,
- Une **réduction des coûts** liés aux plateformes cloud,
- Et une **meilleure réactivité** en cas de danger.

Des améliorations futures pourraient inclure l'ajout d'un module Wi-Fi pour synchroniser les données avec une plateforme cloud ou déclencher des **notifications automatiques** en cas de détection critique.

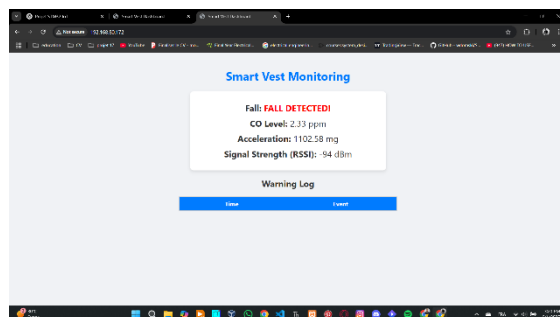


Figure 8 : Interface web embarquée sur l'ESP32 affichant les données en temps réel

8. SCHEMA DE CONCEPTION ELECTRONIQUE ET PRESPECTIVES D'INTEGRATION MATERIELLE

Dans le cadre de l'étude matérielle du projet, nous avons réalisé les schémas électroniques des principaux composants du système à l'aide du logiciel **Altium Designer**. Ces schémas incluent le capteur **MPU6050** (I²C), le capteur de gaz **MQ-7** (analogique), et le module **LoRa SX1278** (SPI), chacun étant connecté à un microcontrôleur **STM32**.

Cette étape de conception a permis de mieux comprendre les exigences électriques de chaque composant et leur interconnexion. Elle constitue également une base solide pour une évolution future du projet : **le développement d'un circuit imprimé (PCB) personnalisé**.

Une telle carte pourrait regrouper tous les éléments du gilet intelligent sur un seul support : le microcontrôleur STM32 (sous forme de puce), les capteurs, le module LoRa, ainsi que les composants passifs (résistances, condensateurs) et les régulateurs de tension nécessaires. Ce type d'intégration matérielle offrirait de nombreux avantages :

- Une **réduction de la taille et du poids** du dispositif ;
- Une **meilleure robustesse** mécanique et électrique ;
- Une **fabrication industrielle facilitée** ;
- Et une **optimisation de la consommation énergétique**.

Cette approche représente une évolution naturelle vers un **produit fini** prêt à être testé sur le terrain ou industrialisé.

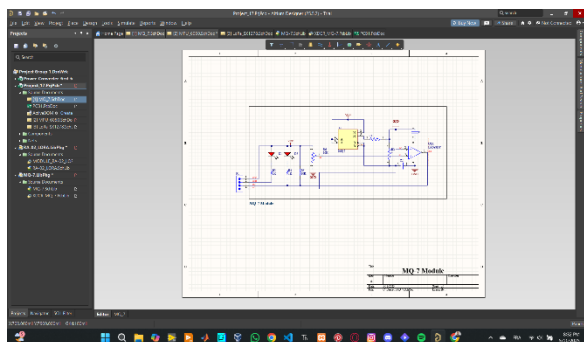


Figure 9 : Vue de l'interface du logiciel Altium Designer utilisé pour la conception des schémas électroniques.

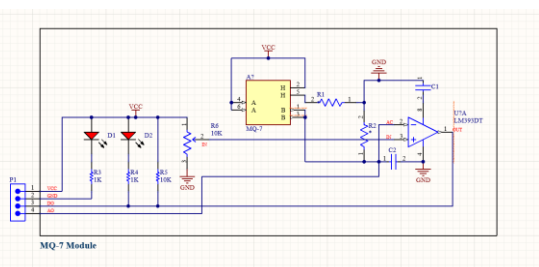


Figure 10 : Schéma de câblage du capteur de gaz MQ-7 réalisé sur Altium.

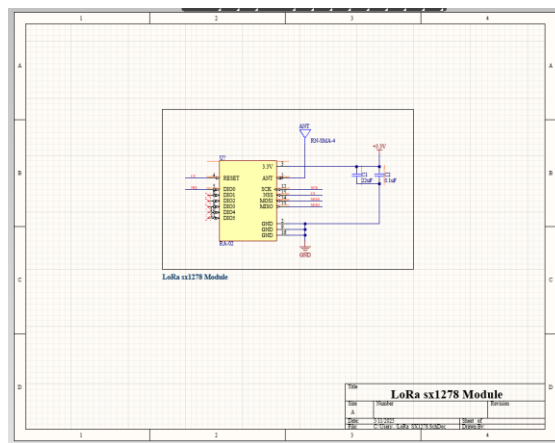


Figure 11 : Schéma du module LoRa SX1278 avec son interface SPI et les broches de contrôle.

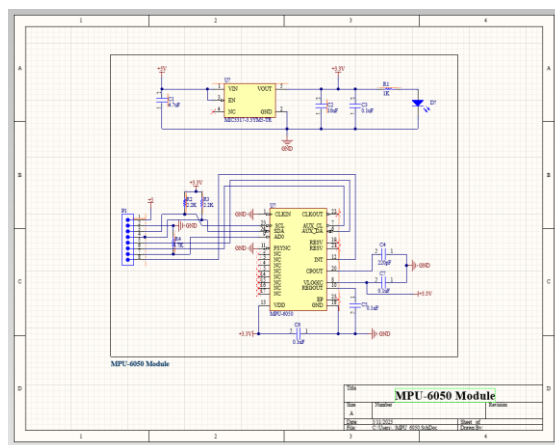


Figure 12 : Schéma de connexion du capteur MPU6050 (accéléromètre/gyroscope) sur Altium Designer.

PCB Layout

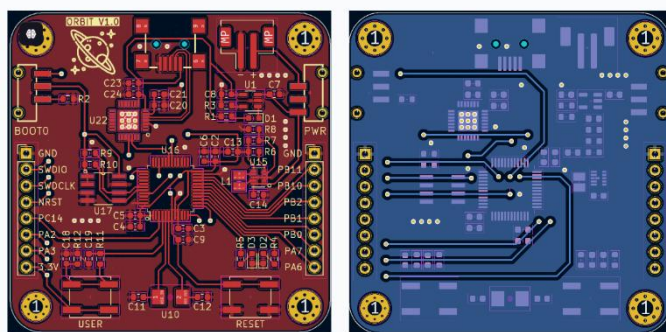


Figure 13 : Exemple d'une PCB complète

9. RÉALISATION

Après avoir mené à bien l'étude approfondie du projet, il est désormais temps de passer à la phase de réalisation. Afin d'assurer une mise en œuvre efficace, nous avons soigneusement sélectionné et acquis les matériaux indispensables, tels que les capteurs, les fils de connexion, les vis et les écrous. Cette étape inaugure le début de l'assemblage et de l'intégration des composants, tout en veillant à optimiser la qualité et la fiabilité du système.

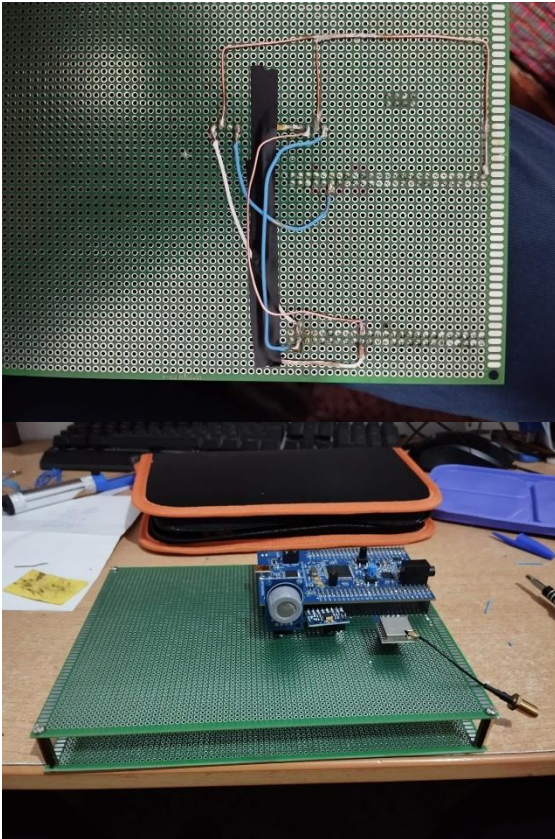


Figure 14 : Maquette en cours de réalisation

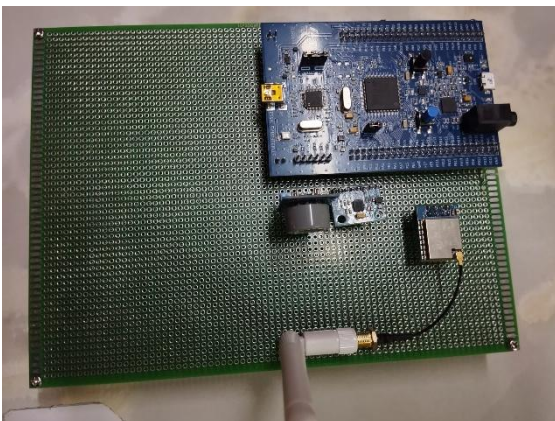


Figure 15 : Maquette réalisé produit final

10. PERSPECTIVES

Le projet du gilet intelligent peut évoluer vers une version plus complète et adaptée aux contraintes réelles du terrain. Plusieurs pistes d'amélioration sont envisageables pour renforcer ses fonctionnalités et son autonomie.

- L'intégration d'une **batterie de plus grande capacité** ou d'un **système de recharge solaire** permettrait d'étendre l'autonomie du dispositif pour une utilisation sur de longues périodes, sans dépendance à une source externe.
- De nouveaux capteurs pourraient être ajoutés, tels qu'un **module GPS** pour localiser précisément l'utilisateur, ou des capteurs de **température**, de **pression atmosphérique**, voire d'humidité, afin de compléter les données environnementales.
- Le développement d'un **système d'enregistrement des événements** (détections de chutes, niveaux de gaz, alertes) permettrait de conserver un **historique** consultable à travers une base de données locale ou distante, éventuellement accessible via un **tableau de bord complet**.
- Il serait également envisageable de **miniaturiser le dispositif** en concevant une carte électronique dédiée (PCB) intégrant tous les composants, ce qui faciliterait la production, la fiabilité et le port à long terme.
- Enfin, l'ajout d'un **système de notifications en temps réel** (par e-mail, SMS ou application mobile) permettrait d'alerter instantanément les responsables de sécurité en cas de détection critique, même à distance.

Ces évolutions rendraient le gilet plus performant, plus autonome, et plus proche d'un produit commercialisable, prêt à être déployé dans un environnement professionnel réel.

11. CONCLUSION

Ce projet de **gilet intelligent pour travailleurs en milieu dangereux** réunit plusieurs technologies clés, notamment l'électronique embarquée, les capteurs environnementaux, les communications sans fil avec la technologie **LoRa**, ainsi que le développement d'une **interface web locale** via l'ESP32. Il constitue une maquette fonctionnelle et éducative destinée à sensibiliser les futurs ingénieurs de l'ESIET-UAS à l'importance de la sécurité connectée dans les environnements industriels.

Ce projet illustre également l'intégration efficace de solutions **IoT autonomes**, sans dépendance à une infrastructure réseau, tout en offrant une surveillance en temps réel des conditions de travail. Dans un contexte professionnel, un tel dispositif pourrait être adapté à divers secteurs comme les chantiers, les zones confinées ou les industries chimiques, afin de **prévenir les accidents et améliorer la réactivité en cas de danger**.

Son potentiel d'évolution vers une version portable, connectée à une base de données ou intégrée à un tableau de bord complet, ouvre la voie à une **future industrialisation** et à une meilleure prise en charge de la **sécurité des opérateurs sur le terrain**.

Bibliographie

- [1]. M STMicroelectronics. **STM32F407xx Datasheet**. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f407vg.pdf>
- [2]. Seeed Studio. **MQ-7 Gas Sensor Datasheet**. [En ligne]. Disponible sur : https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Gas_Sensor-MQ7/res/MQ-7.pdf
- [3]. InvenSense. **MPU-6050 Register Map and Datasheet**. [En ligne]. Disponible sur : <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>
- [4]. Semtech. **SX1278 LoRa Transceiver Datasheet**. [En ligne]. Disponible sur : https://www.semtech.com/uploads/documents/sx1276_77_78_79.pdf
- [5]. STMicroelectronics. **STM32CubeIDE – Integrated Development Environment**. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>
- [6]. OpenSCAD. **The Programmers Solid 3D CAD Modeller**. [En ligne]. Disponible sur : <https://openscad.org/>
- [7]. Wokwi. **Online IoT and Arduino Simulator**. [En ligne]. Disponible sur : <https://wokwi.com/>
- [8]. Proteus Design Suite. **Simulation et conception de circuits électroniques**. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.labcenter.com/>
- [9]. Altium. **Altium Designer – PCB Design Software**. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.altium.com/altium-designer/>
- [10]. Build a Battery Powered STM32 Board: [https://embeddedprojects101.com/design-a-battery-powered-stm32-board-with-usb/#AT24C128 EEPROM](https://embeddedprojects101.com/design-a-battery-powered-stm32-board-with-usb/#AT24C128_EEPROM)

