



TRAVAUX D'INITIATIVE
PERSONNELLE ENCADRÉS
T.I.P.E. 2025

C.P.G.E
CLASSES PRÉPARATOIRES
AUX GRANDES ÉCOLES

**Transition, transformation,
conversion**

Sujet :

*Surveillance de la Qualité de l'Air Intérieur des
bâtiments pour une Transition Énergétique Optimisée*

préparé par :

Loubna ARRAR

Encadré par:

Ouaanabi ABDERRAHMAN

Introduction

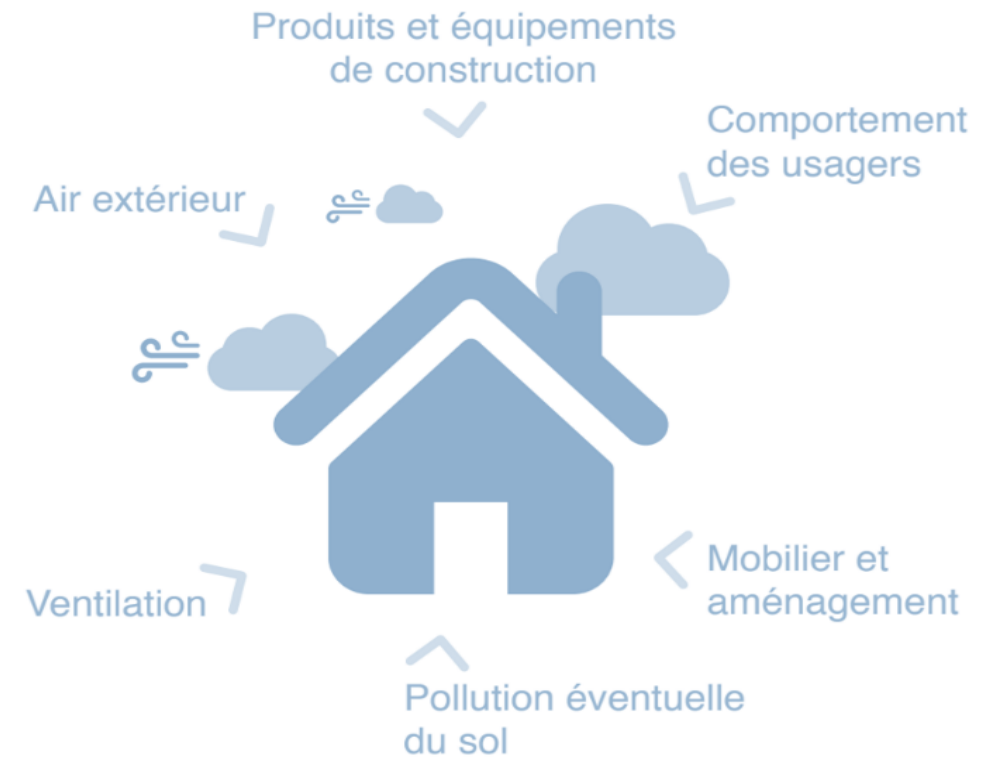
A. Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

B. Alerte par notification smartphone

Conclusion

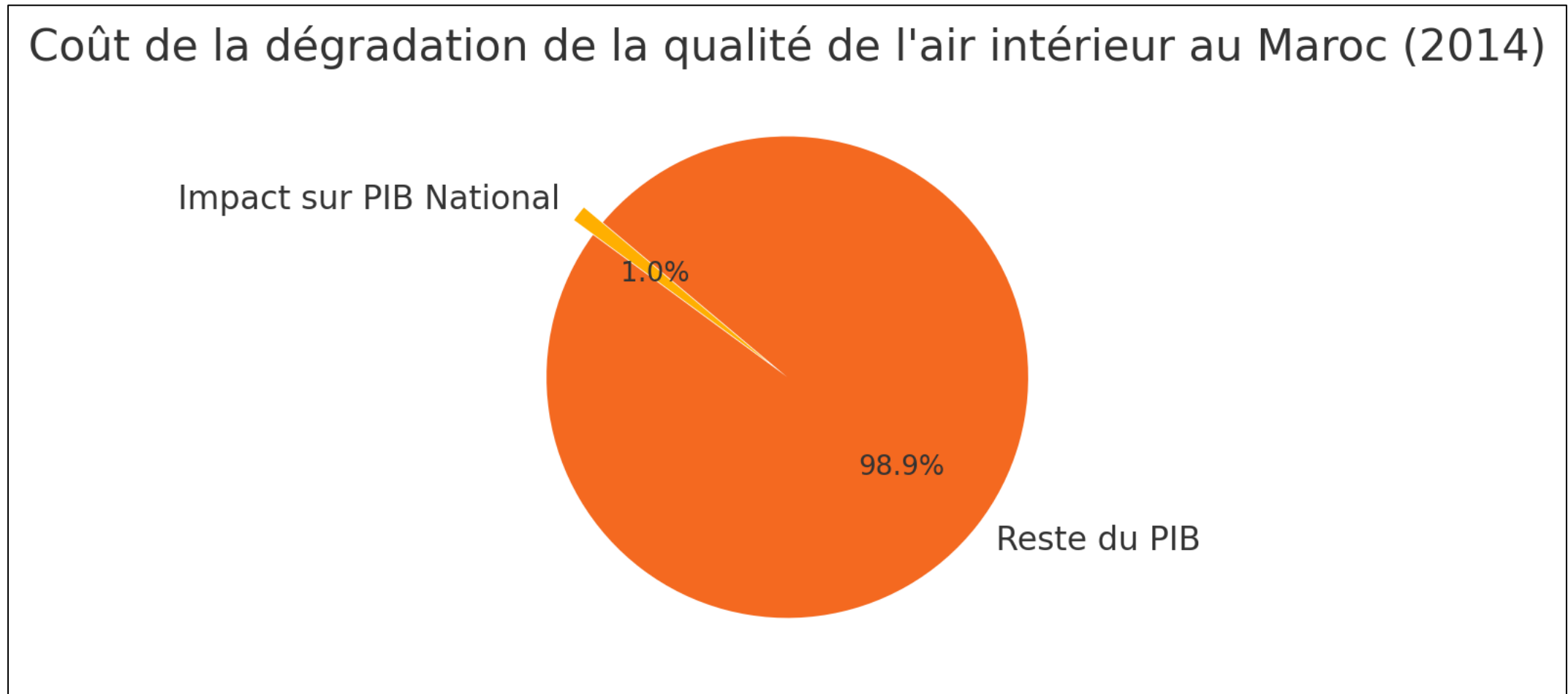
Introduction

La qualité de l'air intérieur (QAI) est essentielle pour le confort, la santé et la durabilité des bâtiments. Dans le cadre de la transition énergétique, il est crucial de la surveiller afin de limiter les impacts environnementaux tout en assurant le bien-être des occupants.



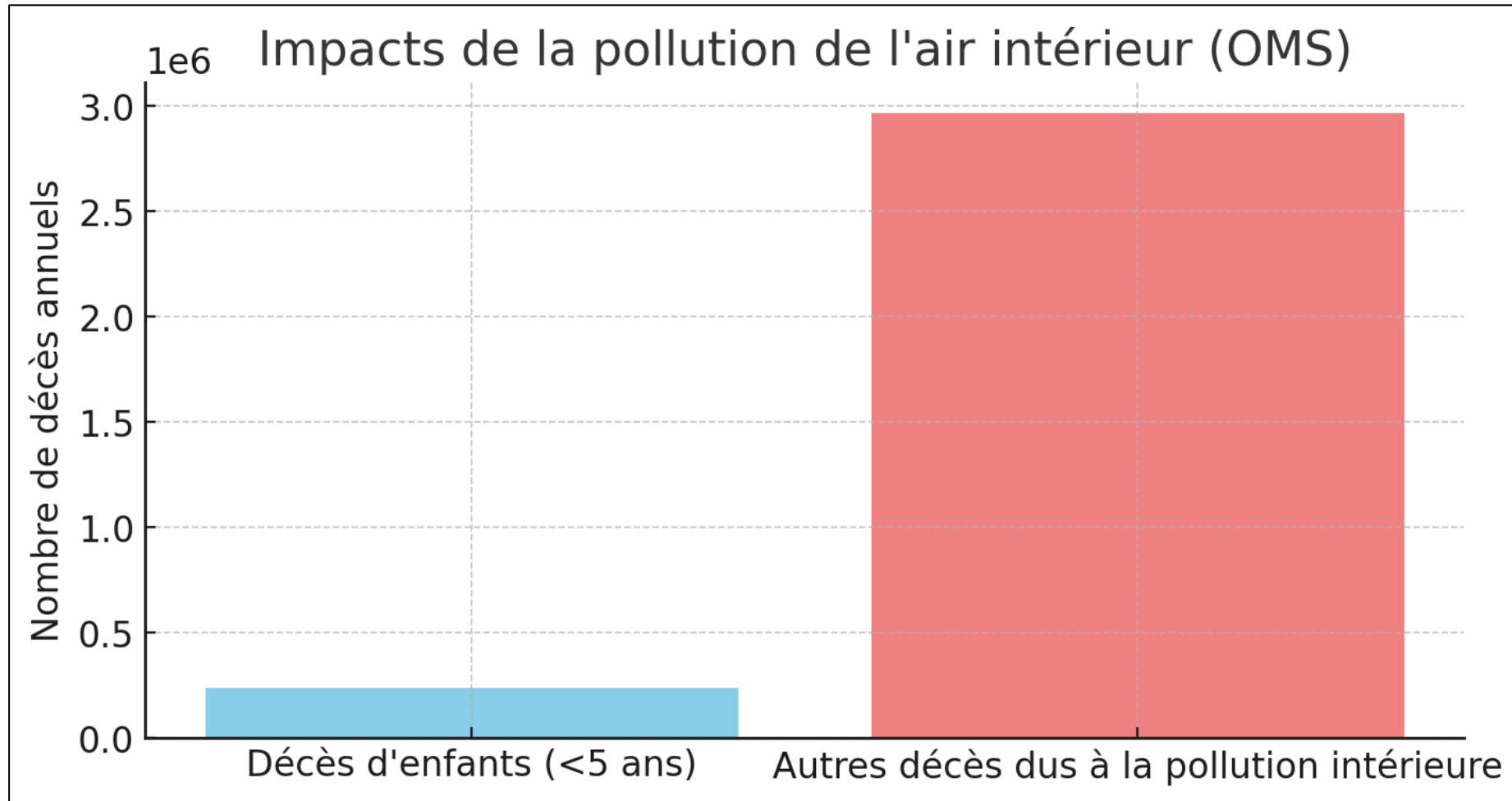
Introduction

Représentation de l'impact de la dégradation de la qualité de l'air intérieur sur le PIB du Maroc en 2014 (1,05 % du PIB total). Cela met en évidence la part significative du coût économique.



Introduction

Comparaison des décès liés à la pollution de l'air intérieur au niveau mondial, en mettant en relief les décès d'enfants de moins de 5 ans par rapport aux autres décès.



Introduction

❑ Problématique

Comment améliorer les pratiques de surveillance afin d'assurer des environnements intérieurs plus sains et durable, ainsi de minimiser le coût et nombre des décès liés à la pollution de l'air (cas de la ville OUJDA)?

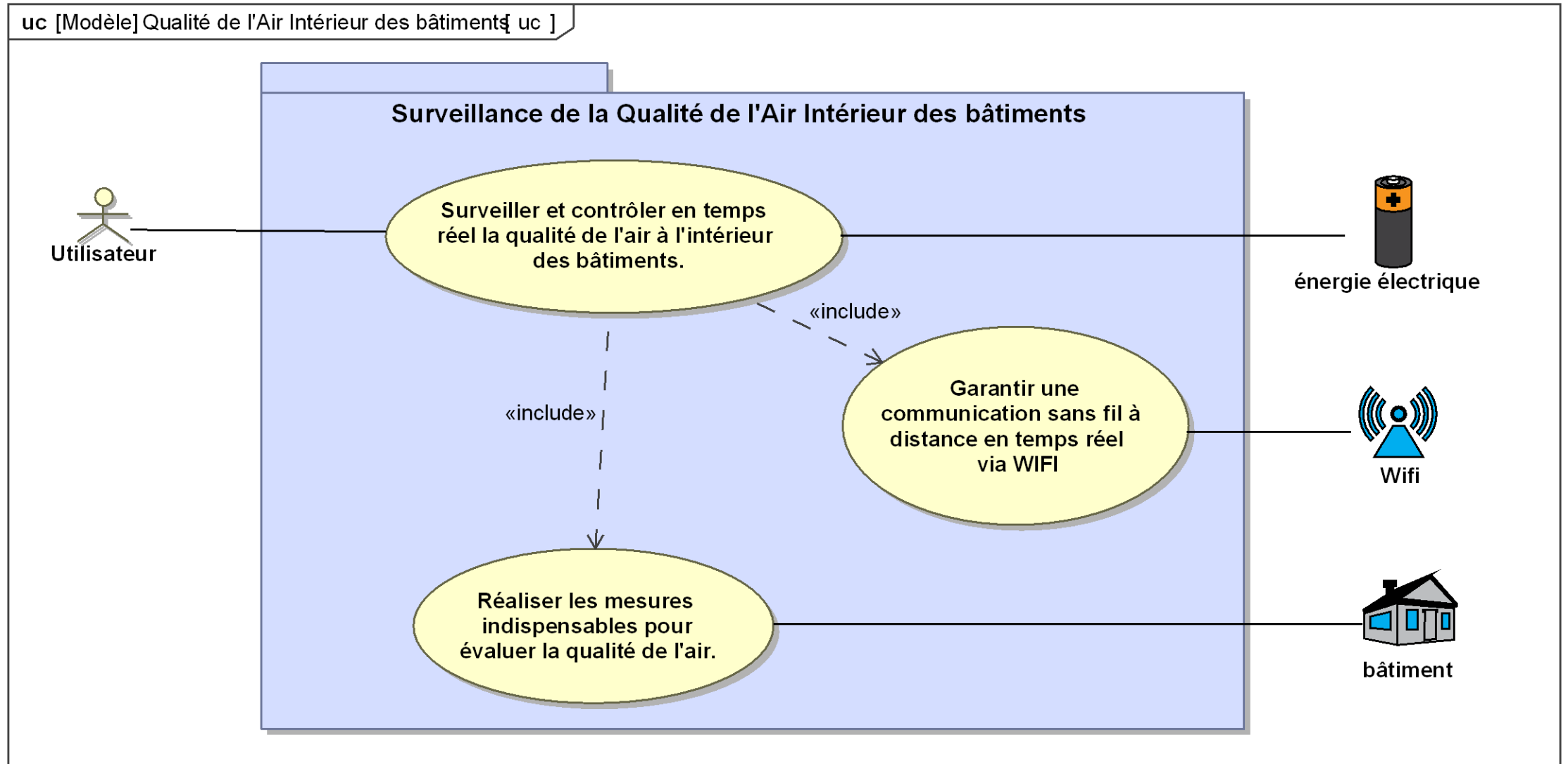


❑ Objectifs

- ❖ Assurer une surveillance en temps réel de la qualité de l'air intérieur.
- ❖ Optimiser le système d'aération pour garantir un environnement sain et efficace sur le plan énergétique.
- ❖ Concevoir et réaliser un prototype simulant le fonctionnement du système d'aération d'une maison isolée.

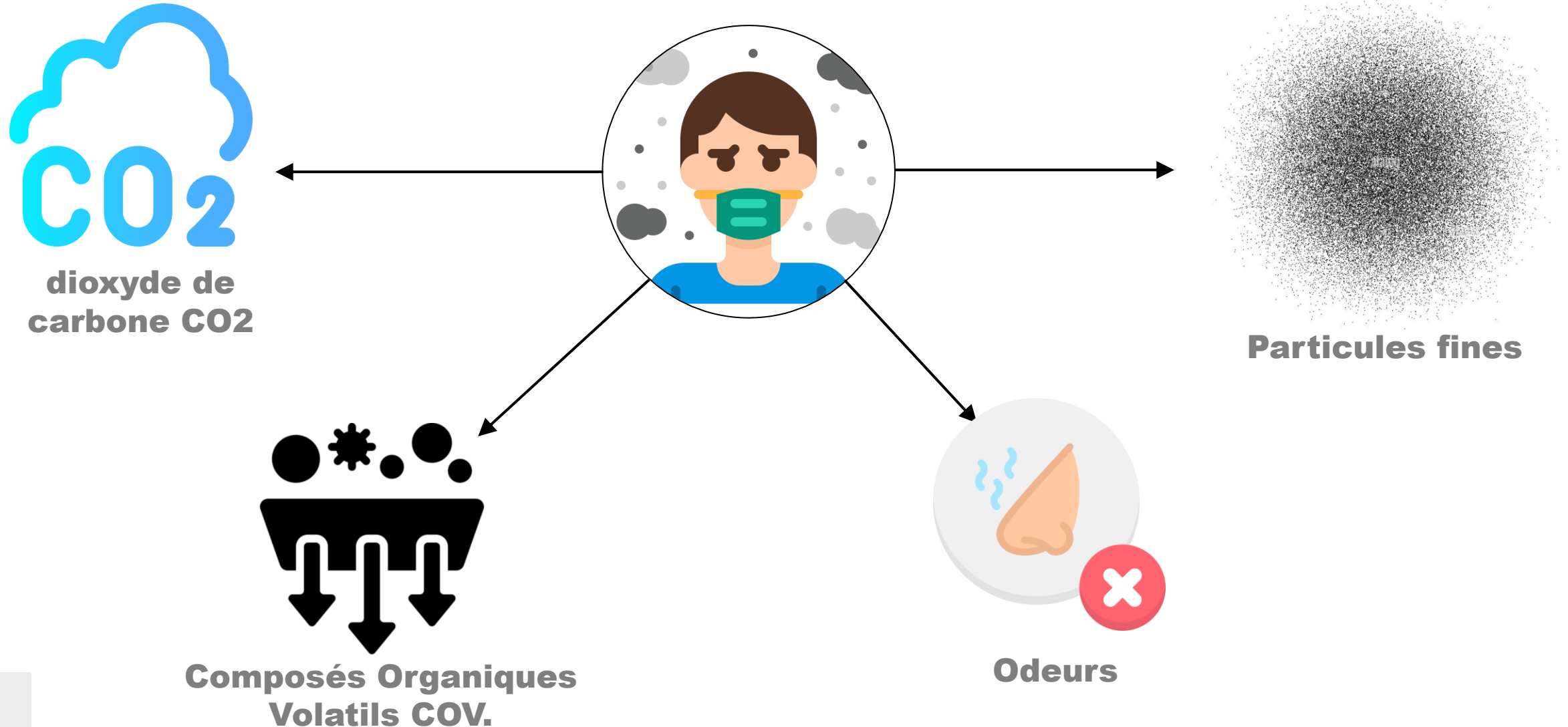
Introduction

Diagramme uc



A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Objectif 1 : Assurer une surveillance en temps réel de la qualité de l'air intérieur.



A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

1- Détection et mesure de COV et CO2

Le dioxyde de carbone (CO₂) et les composés organiques volatils (COV) sont des gaz affectant la qualité de l'air intérieur. Le CO₂, issu de la respiration et des processus industriels, peut provoquer des troubles respiratoires à forte concentration. Les COV, émis par divers matériaux et produits, peuvent engendrer des irritations, des maux de tête et des maladies respiratoires.



A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

1.1- Choix de capteurs

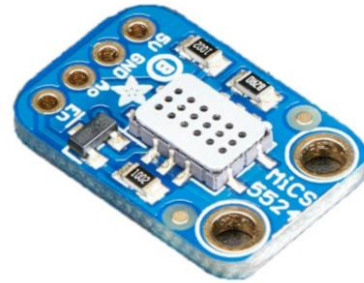
□ Capteur de détection de COV



CCS811



BME688



TGS4161

Choix final : CCS811

Le CCS811 est un capteur précis, écoénergétique et facile à intégrer dans les projets IoT. Il mesure simultanément le CO₂ et les COV, offrant une solution idéale pour les systèmes intelligents de surveillance de la qualité de l'air dans les environnements intérieurs.

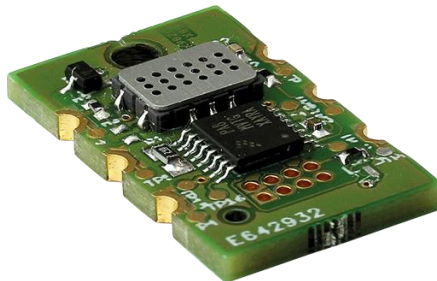
□ Capteur de détection de CO2



CCS811



MH-Z19B.



MiCS-VZ-89TE

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

1.2 - Caractéristique du capteur CCS811

- **Tension d'alimentation** : 1.8V - 3.6V
- **Mesures** : CO₂ - COV
- **Interface** : Communication via I²C
- **Plages de mesure** : CO₂ (400 - 8192 ppm) – COV(0 - 1187 ppb)
- **Faible consommation** : Mode actif (29 mW)

1.3 - Niveau de CO₂

- **Air extérieur** : ~ 400 ppm (OMS, ASHRAE).
- **Bonne qualité de l'air** : < 1000 ppm (OMS, INRS, ASHRAE).
- **Ventilation insuffisante** : 1000 – 1500 ppm (INRS).
- **Exposition prolongée à limiter** : > 5000 ppm (OSHA, NIOSH).
- **Dangereux** : > 40 000 ppm (risque mortel).



A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

1.4 - Niveau de COV

- **Air extérieur :** $< 50 \text{ ppb}$ (OMS, EPA)
- **Qualité d'air acceptable :** $< 200 \text{ ppb}$ (ASHRAE, INRS)
- **Irritation et inconfort :** $200 - 1000 \text{ ppb}$ (OSHA, INRS)
- **Risque toxique prolongé :** $> 1000 \text{ ppb}$ (NIOSH, OSHA)
- **Niveau critique :** $> 10\,000 \text{ ppb}$ (pollution sévère, cancérigène possible)



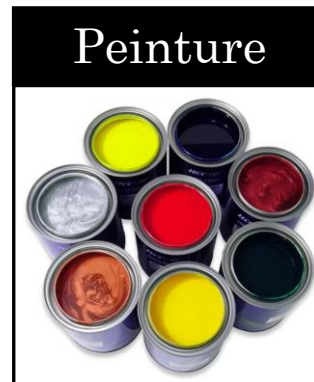
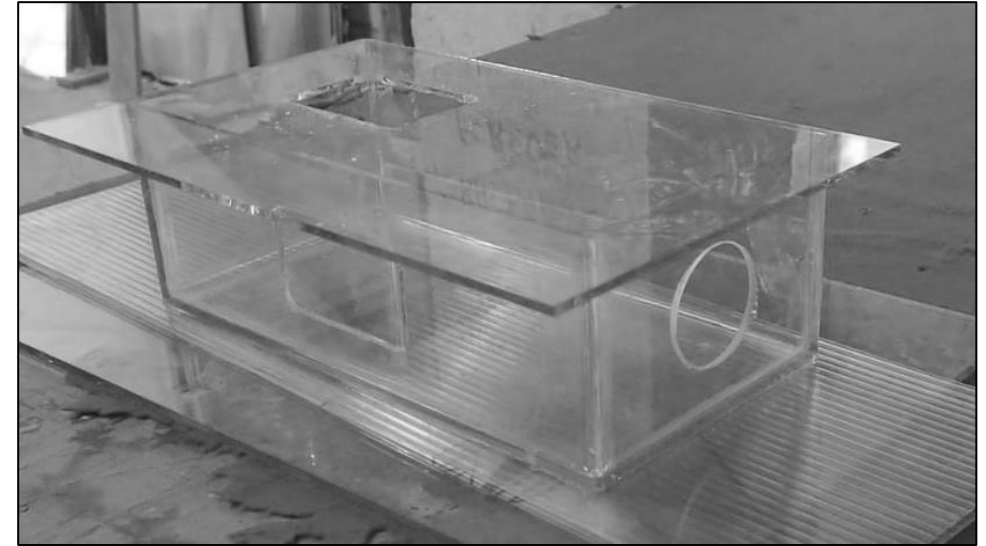
1.5 - Expériences

L'objectif principal est d'analyser l'évolution de la qualité de l'air dans une maison prototype en verre en fonction de différents facteurs (comme la panure, nicotine, le White Spirit ...)

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Expérience 1 : évolution de CO₂ et COV

- **Maison prototype** : 300 mm x 150 mm x 100 mm
- **Carte de traitement** : ESP32
- **Capteur** : CCS811
- **Analyse de données** : Ordinateur + Excel



Capteur de CO₂ et COV : CCS811



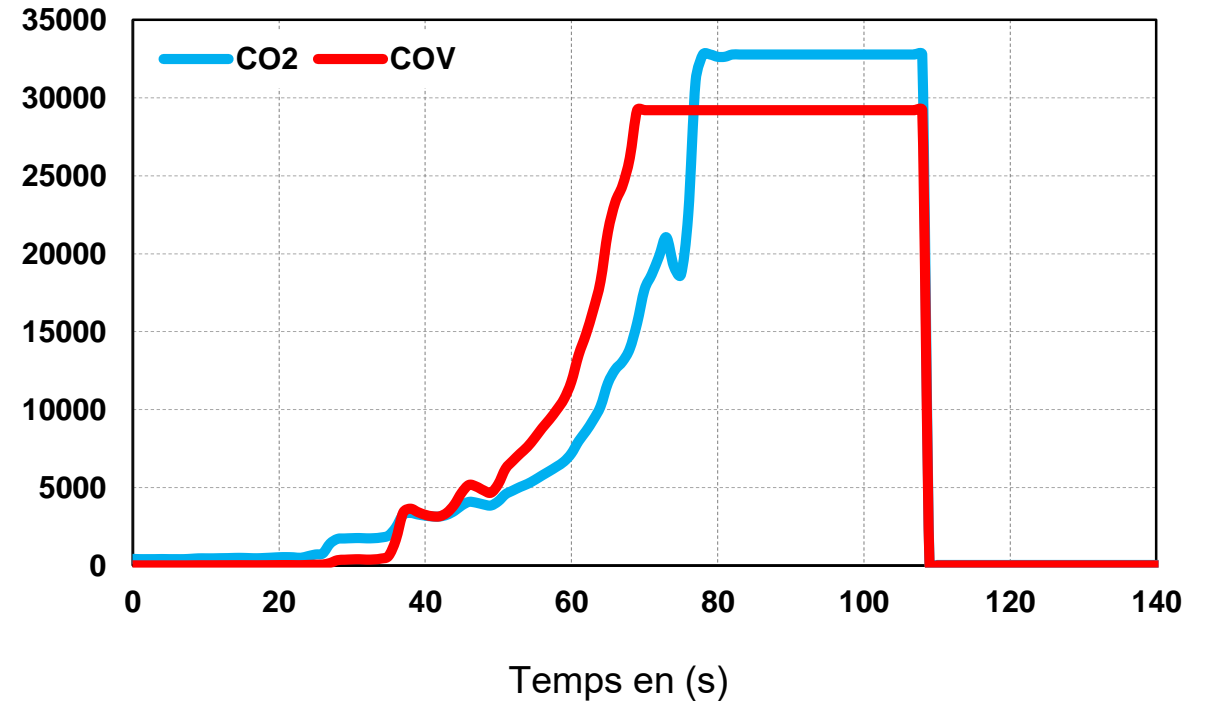
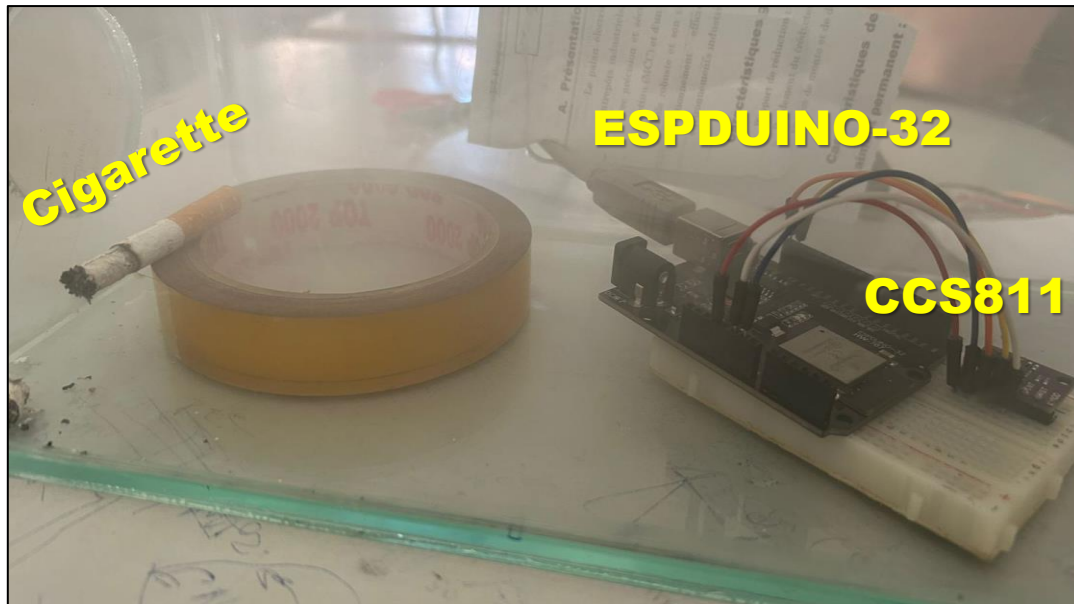
ESPDUINO-32



PC
+ Excel

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

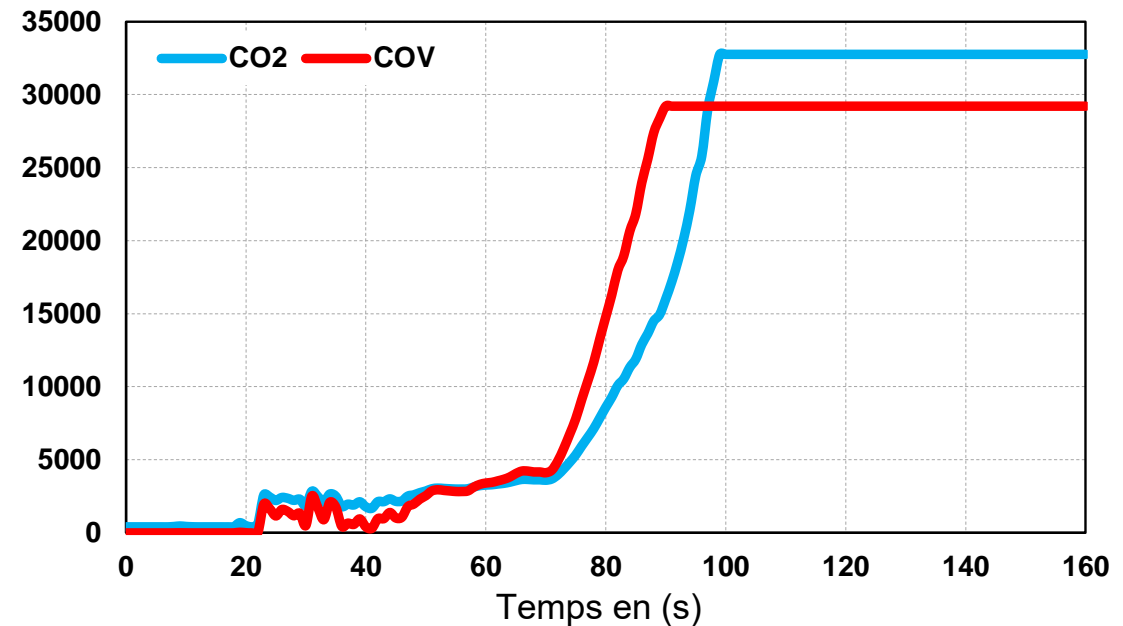
Expérience 1 : Résultats 1



L'expérience montre une augmentation rapide des COV et CO₂ après l'allumage de la cigarette, indiquant une forte émission de polluants. Une fois la saturation atteinte vers 80 secondes, les concentrations restent stables. La chute soudaine des COV après 100 secondes indique que l'air est confiné, empêchant une dispersion progressive des gaz.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

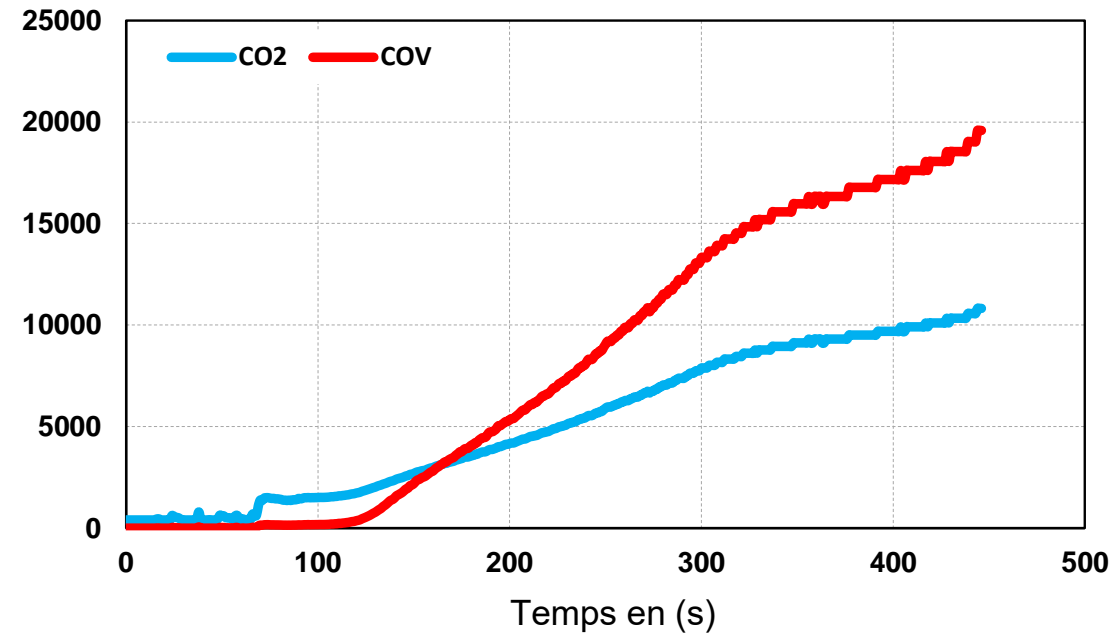
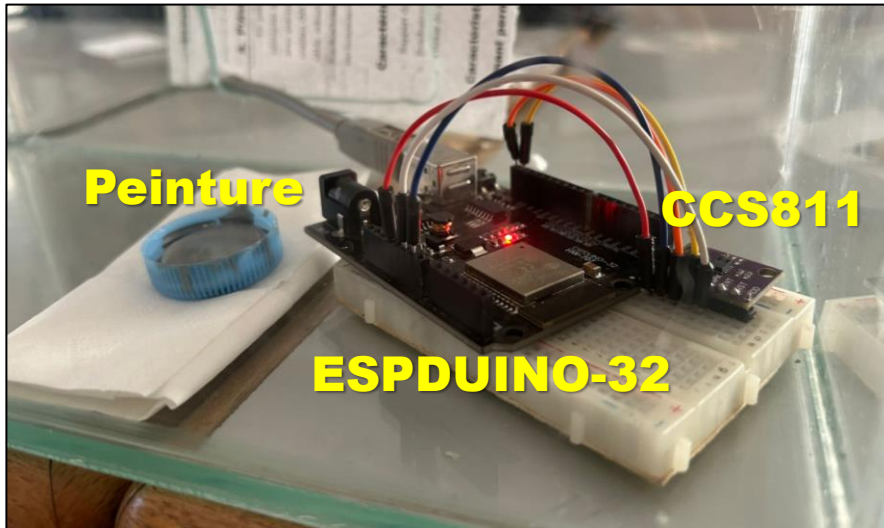
Expérience 1 : Résultats 3



L'expérience avec le White Spirit montre une augmentation rapide des COV et CO₂ après environ 80 secondes, indiquant une forte émission de vapeurs volatiles. Une fois la saturation atteinte, les niveaux restent stables, sans chute soudaine, confirmant que l'air est fortement confiné et que les vapeurs persistent.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Expérience 1 : Résultats 2



L'expérience avec la peinture montre une augmentation progressive et continue des COV et CO₂, contrairement aux expériences avec la cigarette et le White Spirit, où l'élévation était rapide et atteignait un plateau.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Expérience 1 : Conclusion

Les expériences montrent que les **polluants extérieurs** (fumée, solvants, peinture, ...) impactent fortement l'air intérieur en espace confiné. Un **système de qualité de l'air** doit inclure :

1. **Capteurs intelligents** (CCS811, MH-Z19C) pour surveiller **CO₂** et **COV**.
2. **Ventilation et filtration automatique** (HEPA, charbon actif).
3. **Alerte IoT** pour ajuster l'aération et prévenir la pollution.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

2- Détection des particules fines

Les particules fines (PM10, PM2.5) sont des polluants atmosphériques microscopiques issus du trafic, des industries et des combustions. Leur inhalation pénètre profondément dans les poumons, causant des problèmes respiratoires et cardiovasculaires, rendant leur surveillance essentielle pour préserver la qualité de l'air et la santé publique.



A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

2.1- Choix de capteurs



DSM501A



PMS7003



HPMA115S0

Choix final : DSM501A

Les capteurs PMS7003 et SDS011 offrent une grande précision pour la détection des particules fines, tout en restant abordables pour des projets avancés. Pour simplifier, les capteurs DSM501A et GP2Y1010AU0F sont souvent utilisés pour une détection basique et économique.

2.2- Caractéristique du capteur DSM501A

- **Mesure** : Particules PM2.5 et PM10 (0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- **Principe** : Diffusion de lumière infrarouge
- **Sortie** : Signal PWM
- **Alimentation** : 5V DC, 20 mA
- **Temps de réponse** : $< 1\text{s}$

Les particules



PM10



PM2.5



PUF

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

2.3- Pourquoi distinguer PM10, PM2.5 et PM1 ?

□ **PM10 ($\leq 10 \mu\text{m}$) :**

- Atteignent les voies respiratoires supérieures.
- Risques : Irritations respiratoires, bronchites, allergies.
- Origines : poussières de chantiers, pollen, fumée visible.

□ **PM2.5 ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) :**

- Pénètrent profondément dans les poumons.
- Risques : maladies pulmonaires chroniques, cancer pulmonaire, problèmes cardiaques.
- Origines : combustion de véhicules, chauffage, fumée industrielle.

□ **PM1 ($\leq 1 \mu\text{m}$) :**

- Entrent dans la circulation sanguine, touchent plusieurs organes.
- Risques : maladies cardiovasculaires graves, cancers, troubles neurologiques.
- Origines : moteurs diesel, combustion industrielle fine.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

2.3- Importance sanitaire des seuils PM

❑ Pourquoi ces seuils spécifiques ?

- Définis par les autorités sanitaires (OMS, EPA) selon leurs impacts sur la santé.
- Reflètent les capacités croissantes des particules à pénétrer dans le corps humain.

❑ Niveaux de danger :

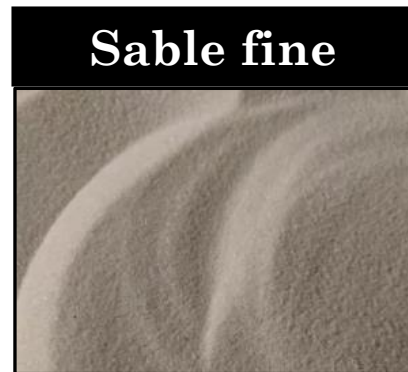
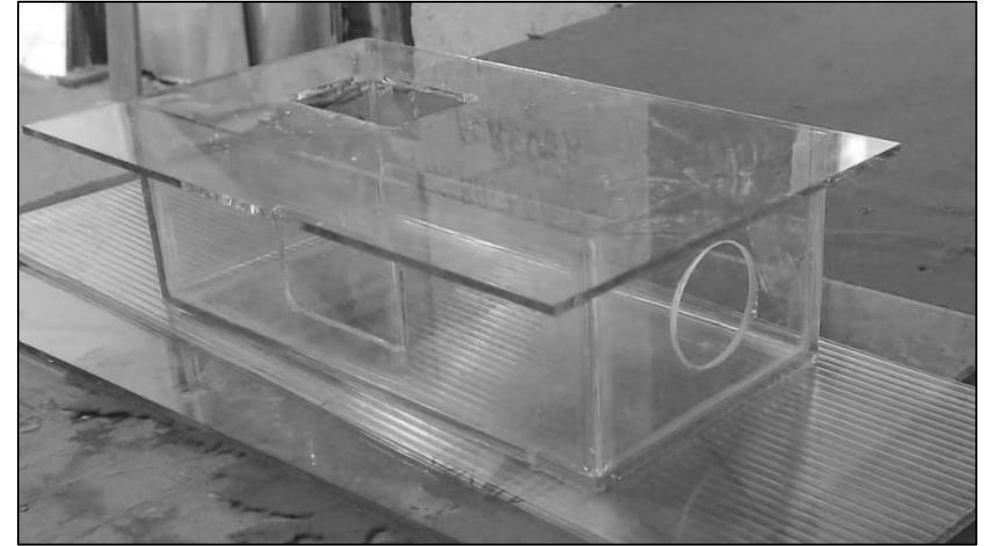
- PM10 : Niveau modéré à élevé, irritation respiratoire.
- PM2.5 : Niveau élevé, impacts pulmonaires et cardiovasculaires sérieux.
- PM1 : Niveau très élevé, impacts systémiques et risques à long terme importants.

Mesurer séparément ces tailles permet d'évaluer précisément les risques sanitaires associés à la qualité de l'air

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Expérience 1 : évolution de poussières

- **Maison prototype** : 300 mm x 150 mm x 100 mm
- **Carte de traitement** : ESP32
- **Capteur** : DSM501A
- **Lieu** : OUJDA MAROC
- **Analyse de données** : Ordinateur + Excel



Capteur de poussière : DSM501A

ESPDUINO-32

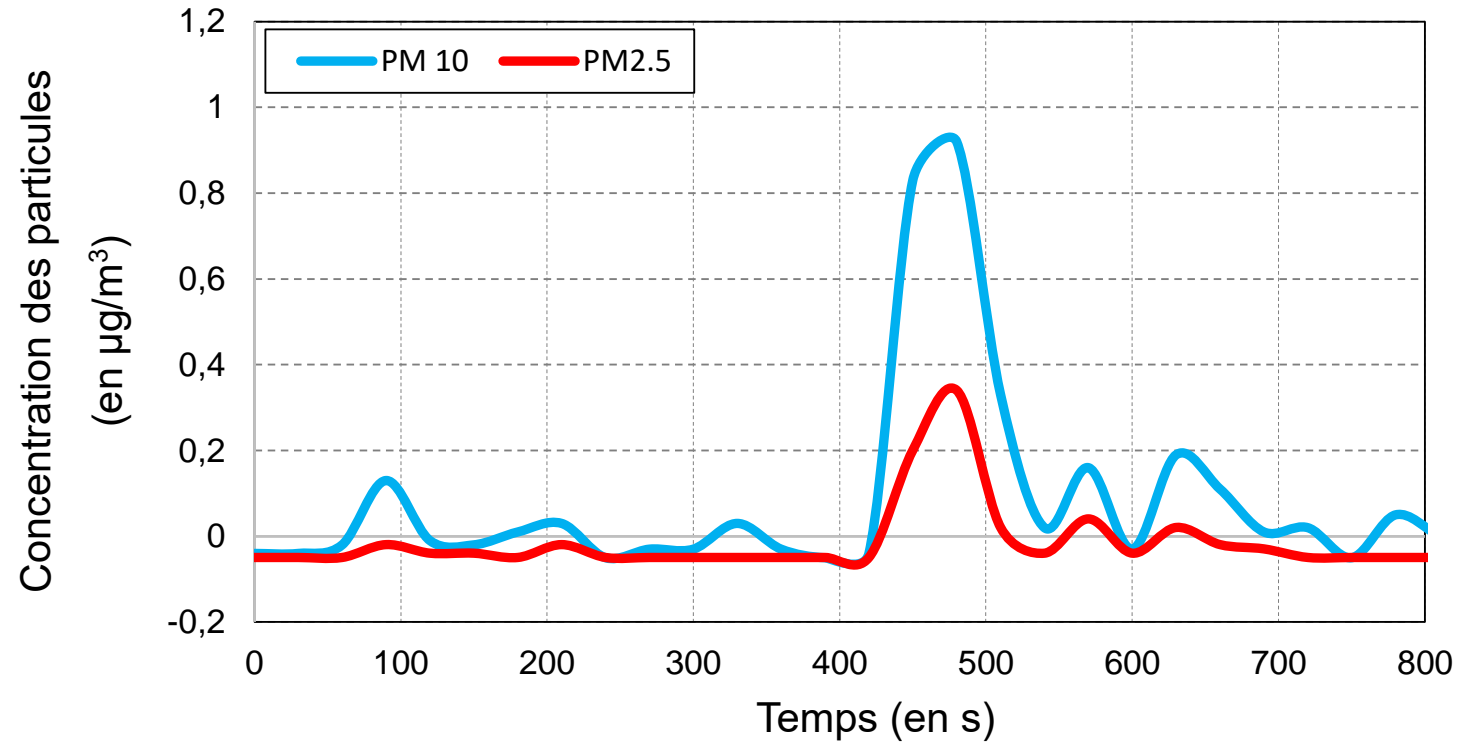
PC
+ Excel

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Expérience 2 : Résultats 1



Les particules de tempête de sable



A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Expérience 2 : Résultats 1

- Forte augmentation des particules PM10 durant la tempête de sable à Oujda, hausse modérée des particules PM2.5.
- Influence directe des tempêtes de sable sur la qualité de l'air dans les habitations locales.
- Nécessité d'adapter les maisons avec des systèmes intelligents (capteurs PM10/PM2.5, automatisation : fermeture automatique des volets, filtres à air) pour protéger efficacement la santé des occupants.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

2.4 – Limite recommandé par OMS en 2021

❑ **OMS (valeurs indicatives pour de courtes durées) :**

- ✓ PM10 (horaire) : environ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ✓ PM2.5 (horaire) : environ $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

❑ **Valeurs couramment utilisées (études environnementales) :**

- ✓ PM10 (horaire) : 50 - $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ✓ PM2.5 (horaire) : 25 - $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

❑ **Limites moyennes sur 24h (OMS, 2021) :**

- ✓ PM10 : $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ✓ PM2.5 : $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Ces seuils permettent une évaluation rapide des risques sanitaires liés à la qualité de l'air lors d'événements spécifiques (ex : tempêtes de sable à Oujda), ainsi que sur une durée quotidienne.

A - Mesure de la qualité d'air (expérimentation)

Solutions techniques proposées

☐ Surveillance intelligente (Monitoring)

- **Salon** : DSM501A (PM10/PM2.5), CCS811 (CO₂, COV)
- **Chambres** : CCS811 (CO₂, COV) pour assurer le confort nocturne.
- **ESP32** : Contrôle global du système

☐ Système de ventilation automatisé (VMC intelligente)

- CO₂ > 1000 ppm
- COV > 200 ppb
- PM10 > 50 µg/m³ ou PM2.5 > 25 µg/m³

☐ Filtres à air haute efficacité (HEPA)

Installés en complément de la VMC, automatiquement déclenchés si dépassement seuil particules PM10 et PM2.5

☐ Fenêtres motorisées ou volets automatisés

Fermeture automatique déclenchée par dépassement des seuils critiques PM.

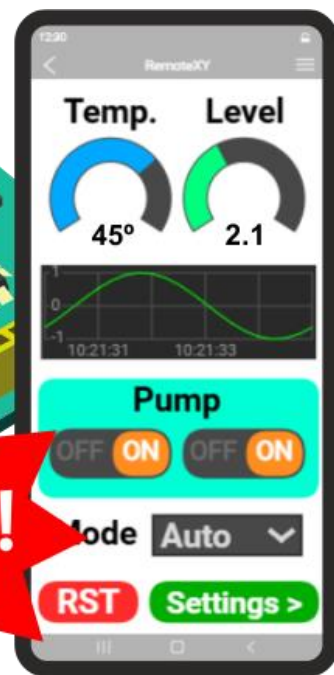
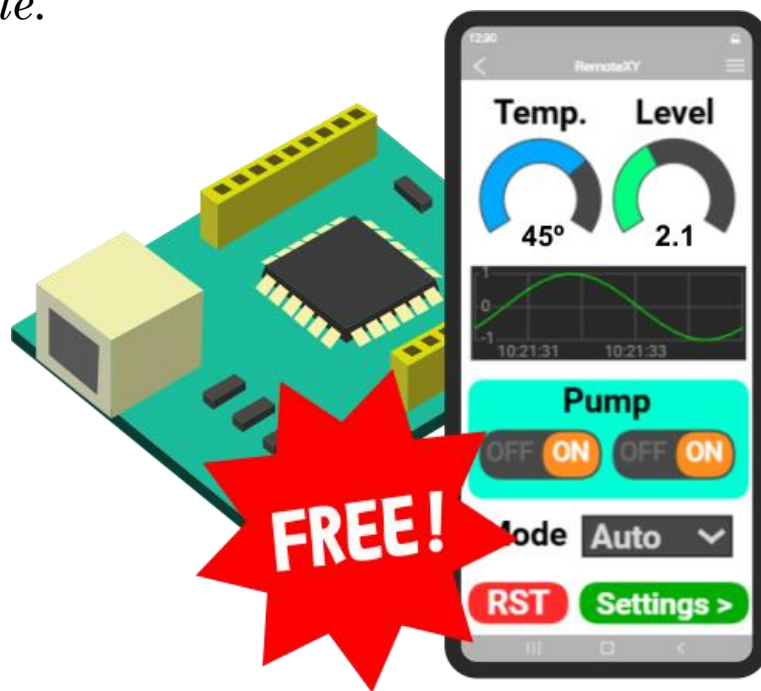
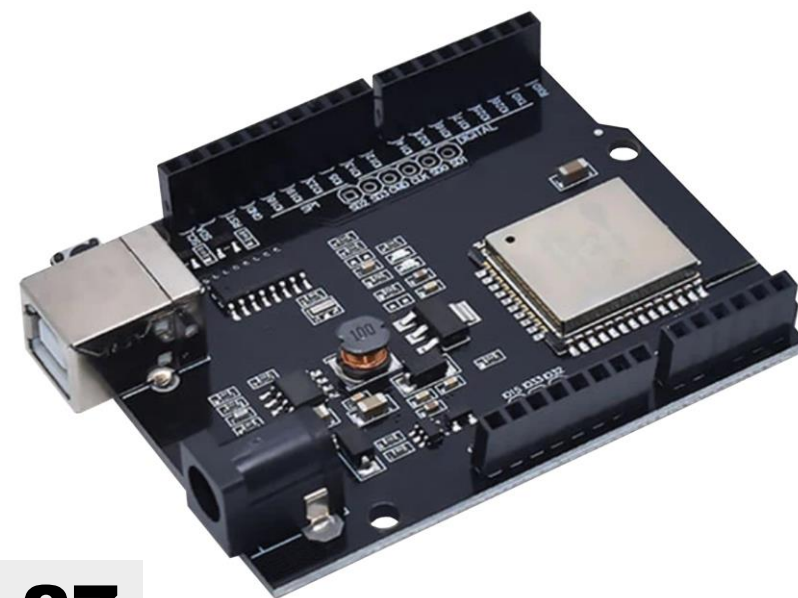
☐ Alerte préventive par notification smartphone

- CO₂ > 1000 ppm
- COV > 200 ppb
- PM10 > 50 µg/m³ ou PM2.5 > 25 µg/m³

B - Alerte par notification smartphone

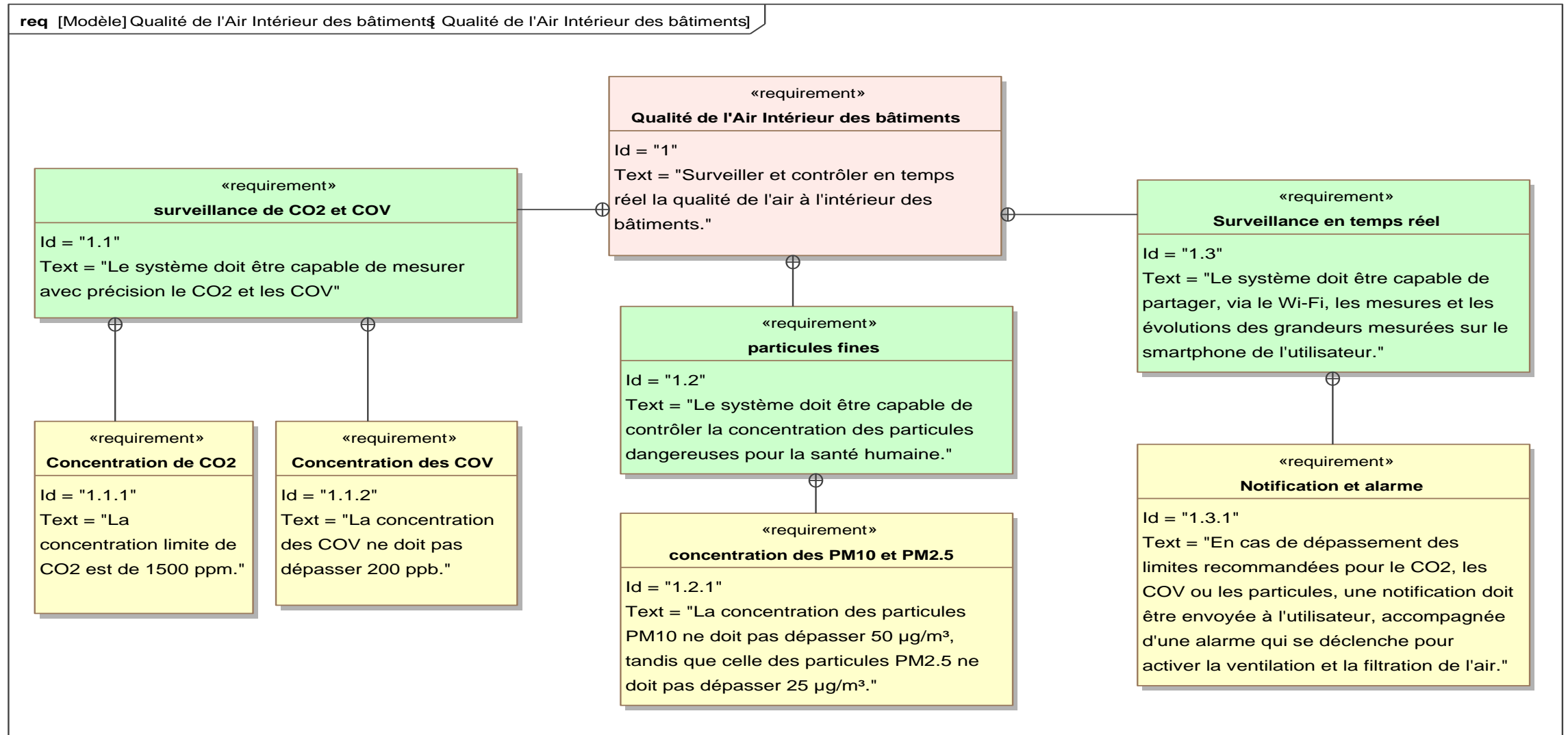
Présentation

Pour assurer un suivi efficace de la qualité d'air, nous proposons une plateforme IoT utilisant un module ESP32 associé à RemoteXY. Ce système permet une surveillance en temps réel et l'envoi immédiat de notifications sur smartphone en cas de dépassement des seuils critiques (PM, CO₂, COV), assurant ainsi une réactivité optimale.



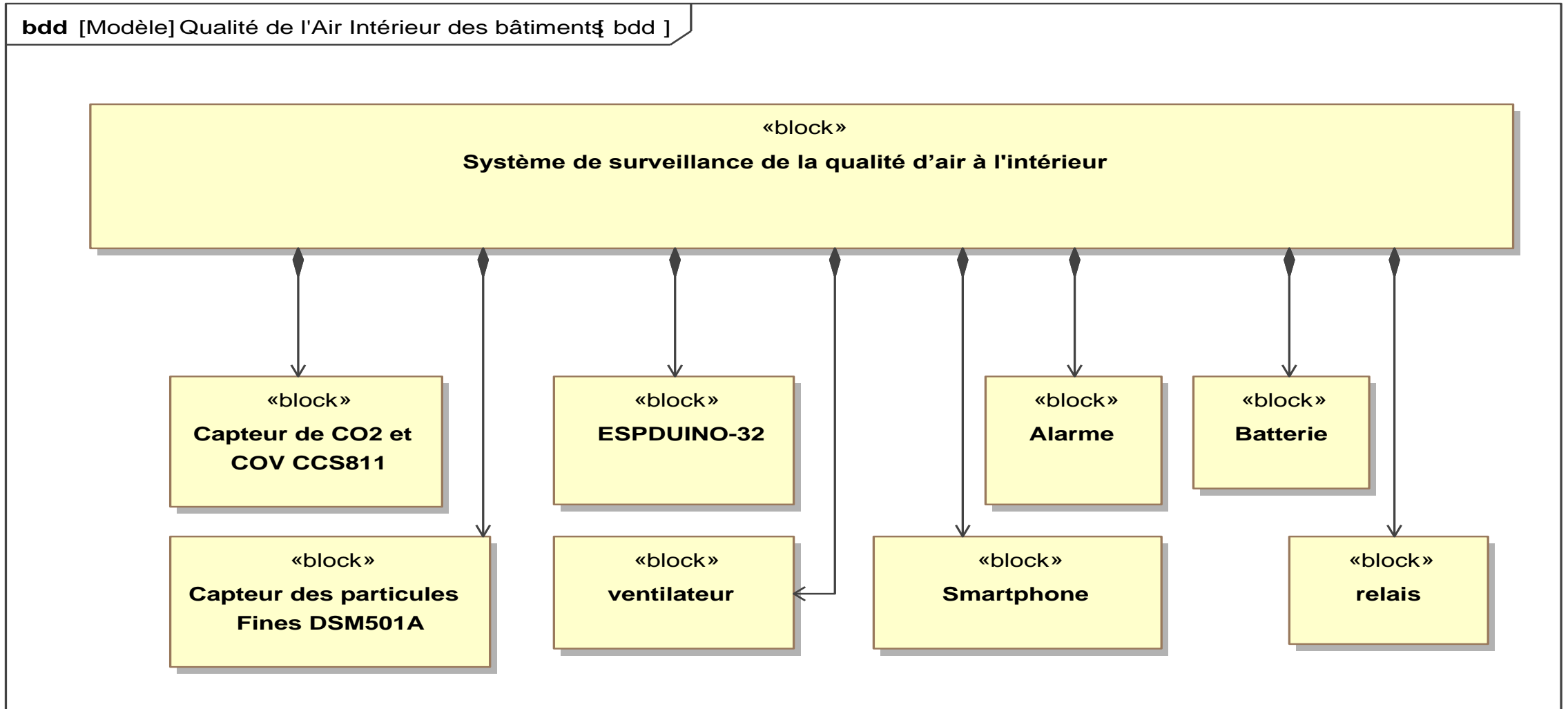
B - Alerte par notification smartphone

Diagramme rec.



B - Alerte par notification smartphone

Diagramme BDD.



B - Alerte par notification smartphone

RemoteXY

RemoteXY est une plateforme permettant de créer des interfaces graphiques pour contrôler des microcontrôleurs comme Arduino. C'est une interface intuitive : glisser-déposer pour concevoir des boutons, des curseurs, des interrupteurs, et elle est compatible avec Arduino, ESP8266, ESP32, etc.



Étapes de configuration :

- ❑ Création de l'interface : Utiliser l'éditeur en ligne sur remotexy.com
- ❑ Génération du code : Télécharger le code Arduino généré automatiquement.
- ❑ Téléversement sur Arduino : Copier le code dans l'IDE Arduino et téléverser vers la carte.
- ❑ Connexion avec l'application : Installer l'application RemoteXY sur Android/iOS et connecter au module.

B - Alerte par notification smartphone

Configuration de RemoteXY



Choix de matériels et logiciel

- ❖ Partage de donnée par wifi
- ❖ Carte de traitement : ESP32
- ❖ Module Wifi
- ❖ Programmation par Arduino

Settings

Device name in app:

Access password:

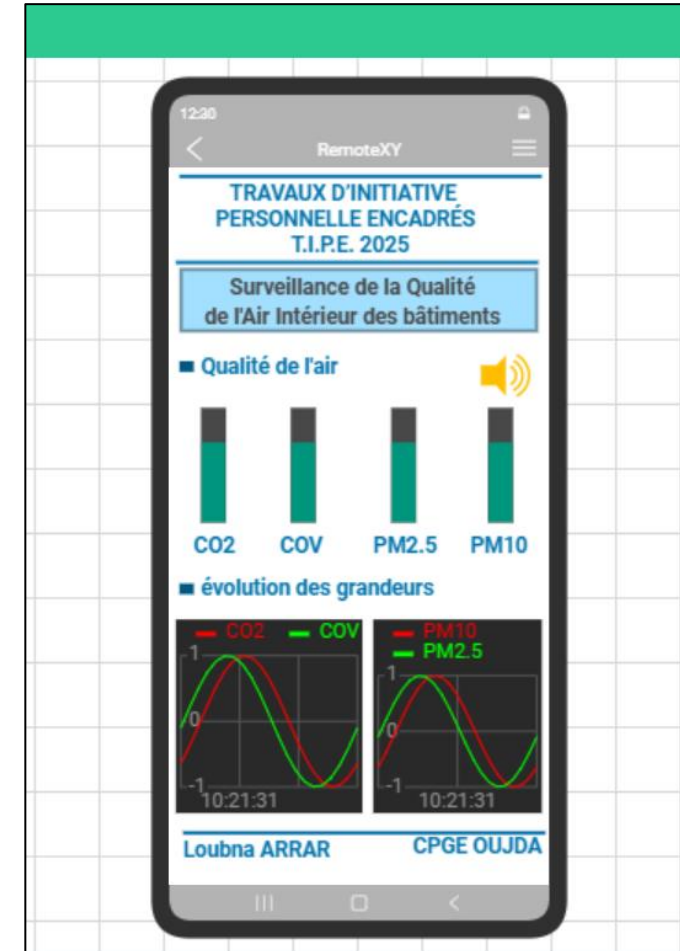
Wi-Fi access point:
Name (SSID):

Open point

Password (8 or more chars):

Coordonnée wifi

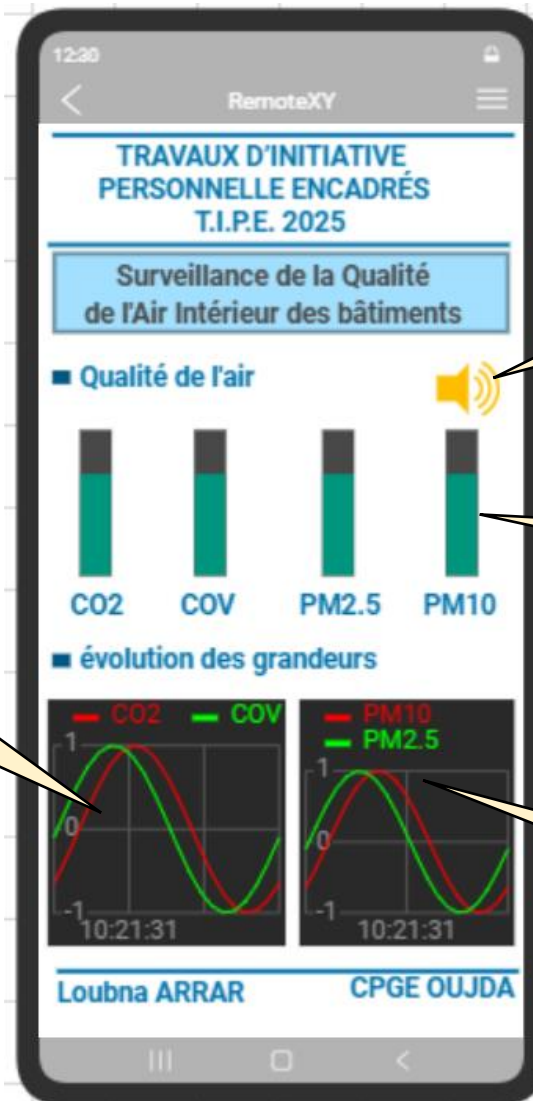
- ❖ Nom : systeme-qualite-air
- ❖ Mot de passe : 123456789



Interface utilisateur

B - Alerte par notification smartphone

Interface utilisateur



Alarme : sonne lorsque la qualité de l'air est dégradée

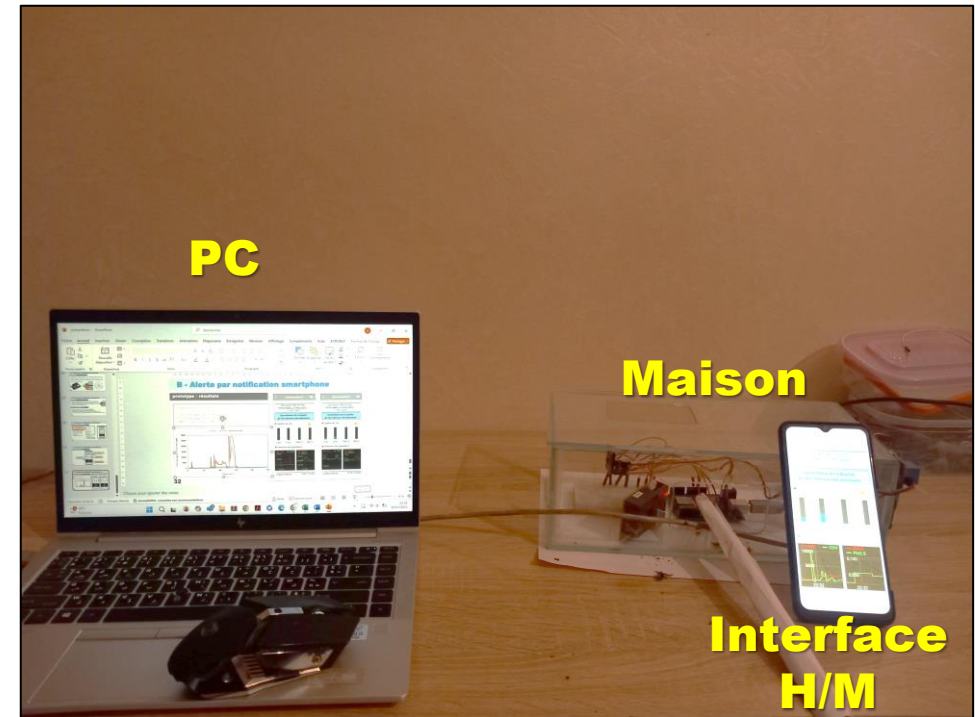
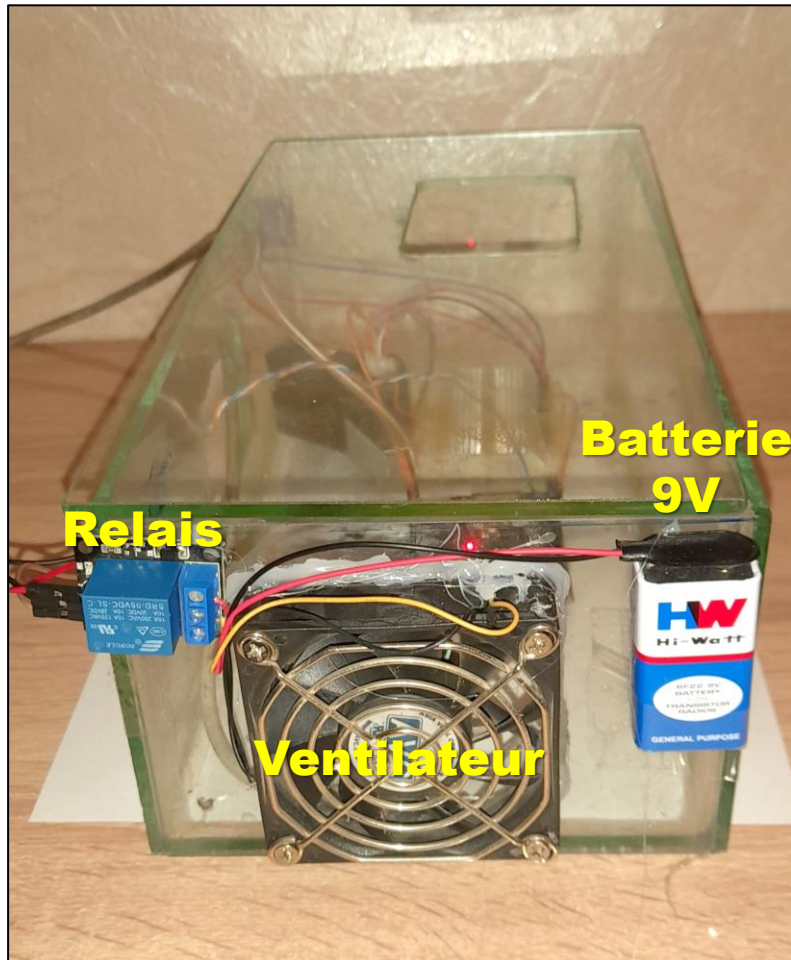
La concentration des grandeurs mesurées

Grappe d'évolution de CO2 et COV

Grappe d'évolution des particules PM10 et PM2.5

B - Alerte par notification smartphone

Prototype



B - Alerte par notification smartphone

prototype – résultats

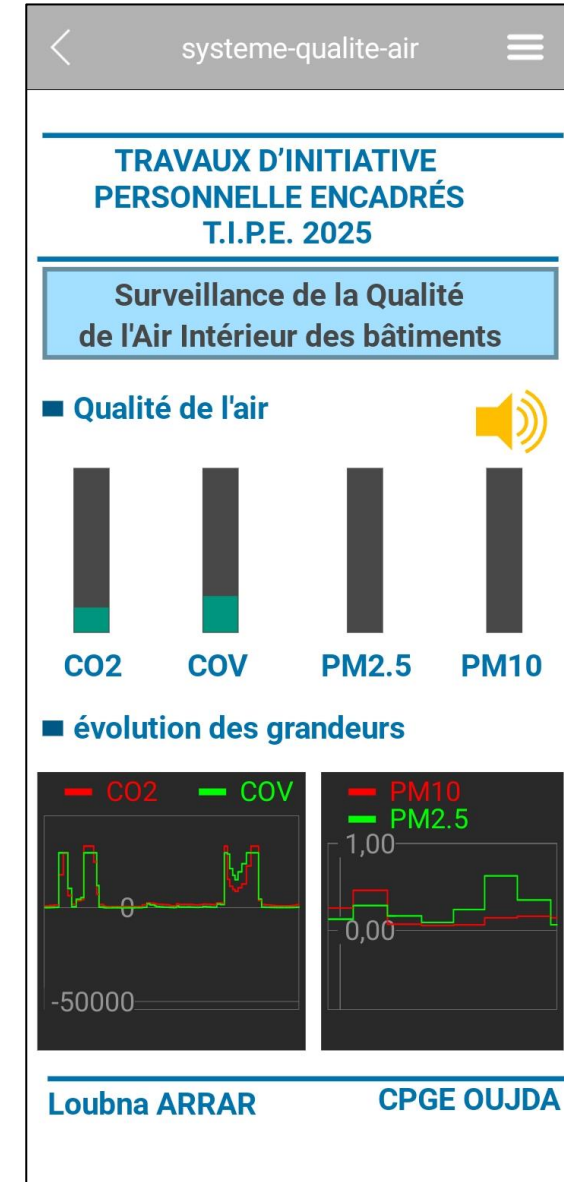
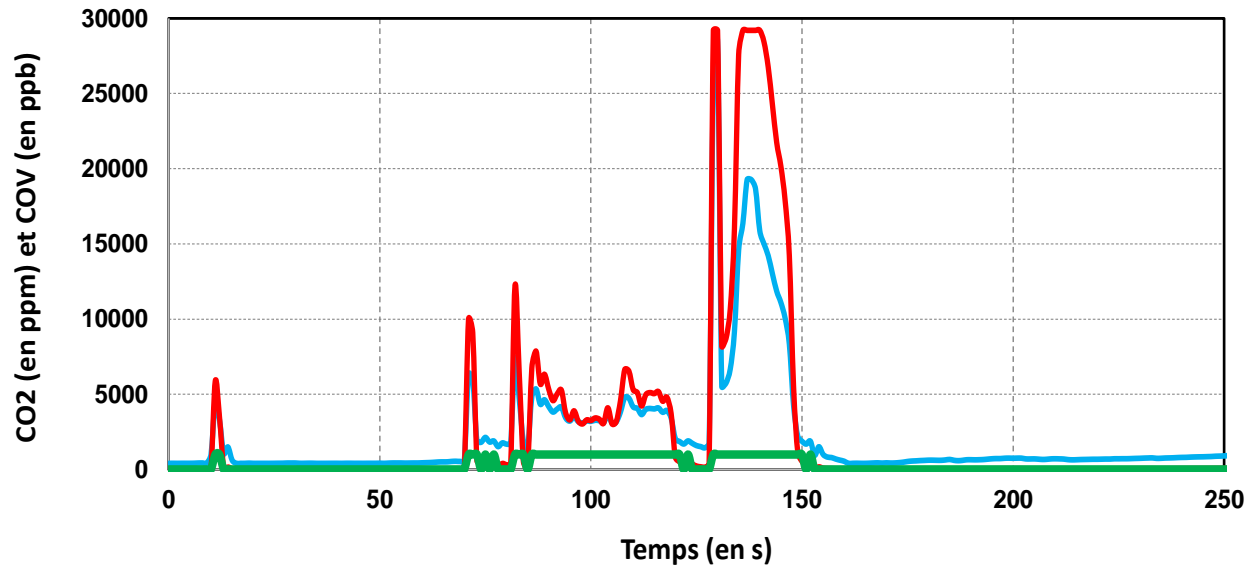
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM4')

CO2: 629 ppm, TVOC: 34 ppb

CO2: 594 ppm, TVOC: 29 ppb

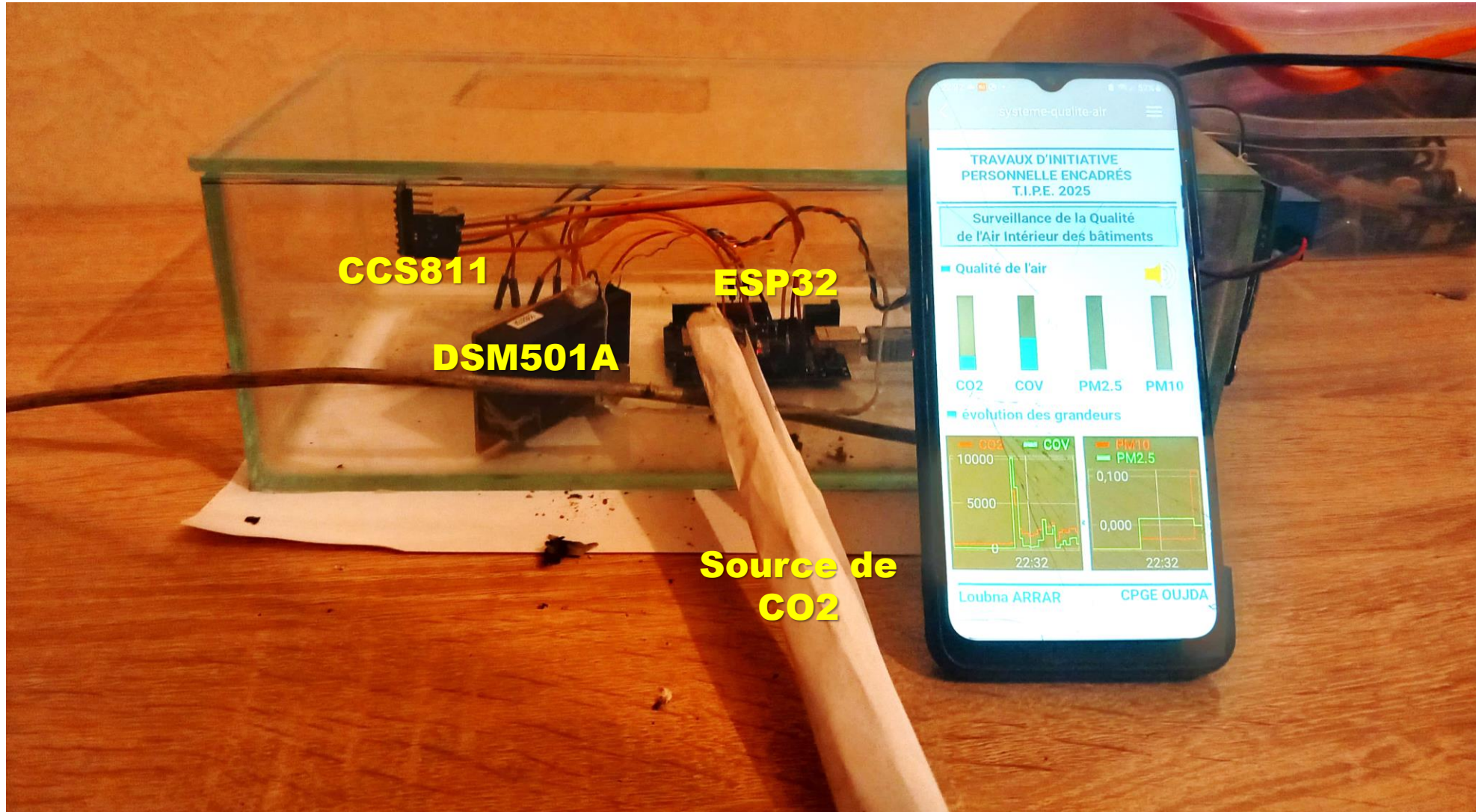
PM10: 0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | PM2.5: 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

— CO2 — COV — Commande



B - Alerte par notification smartphone

prototype – résultats



Conclusion

- ❑ L'étude a mis en évidence l'importance cruciale de la surveillance intelligente de la qualité de l'air intérieur (QAI) pour améliorer la santé et le confort des occupants tout en optimisant la performance énergétique des bâtiments.
- ❑ Grâce aux capteurs intelligents CCS811 et DSM501A, intégrés avec une carte ESP32 et une plateforme IoT (RemoteXY), le système développé assure une surveillance précise en temps réel et des alertes instantanées via smartphone.
- ❑ Les expériences réalisées confirment l'efficacité du dispositif proposé et sa pertinence dans le contexte de la transition énergétique et du développement durable.
- ❑ Cette approche constitue une réponse concrète et innovante aux enjeux environnementaux actuels et s'inscrit parfaitement dans une démarche écologique responsable.

Merci Pour

Votre Attencion