



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



Transition, transformation,
conversion

Sujet :

*Chaussures de sécurité auto-alimentées pour les
maisons d'aujourd'hui.*

préparé par :

Amine BAKKAS

encadré par :

Pr OUAANABI ABDERRAHMAN

Plan

- **Introduction**
- **A – Détection des gazes toxiques**
- **B - Stockage d'énergie**
- **C - Réalisation de prototype**
- **Conclusion**

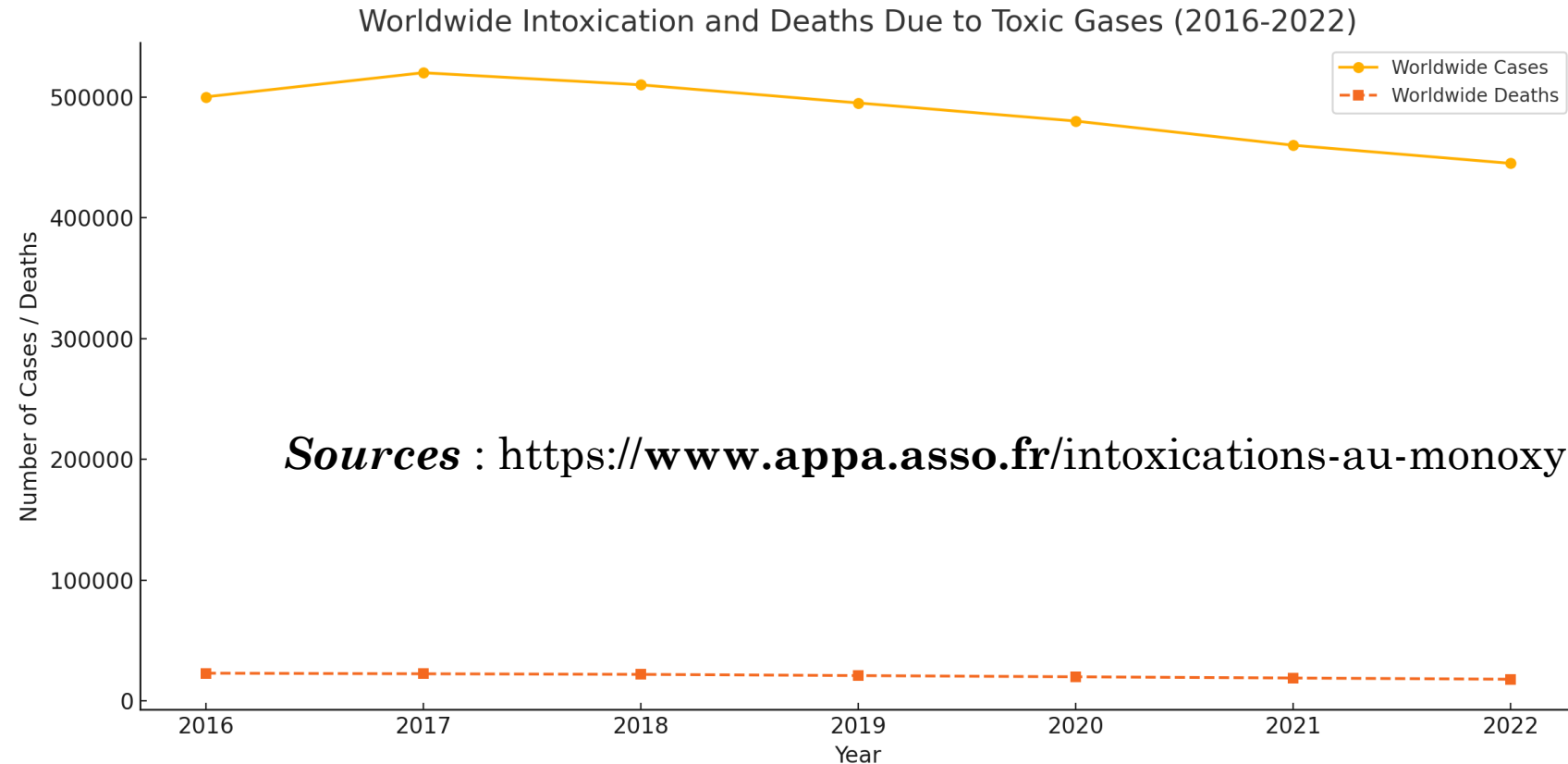
Introduction

Face aux défis de la sécurité domestique, une innovation s'impose : des chaussures intelligentes, capables d'évoluer avec leur environnement. En se rechargeant automatiquement et en détectant les gaz toxiques, elles transforment notre approche de la protection et convertissent chaque pas en énergie, incarnant une transition vers un mode de vie plus sûr et durable



Introduction

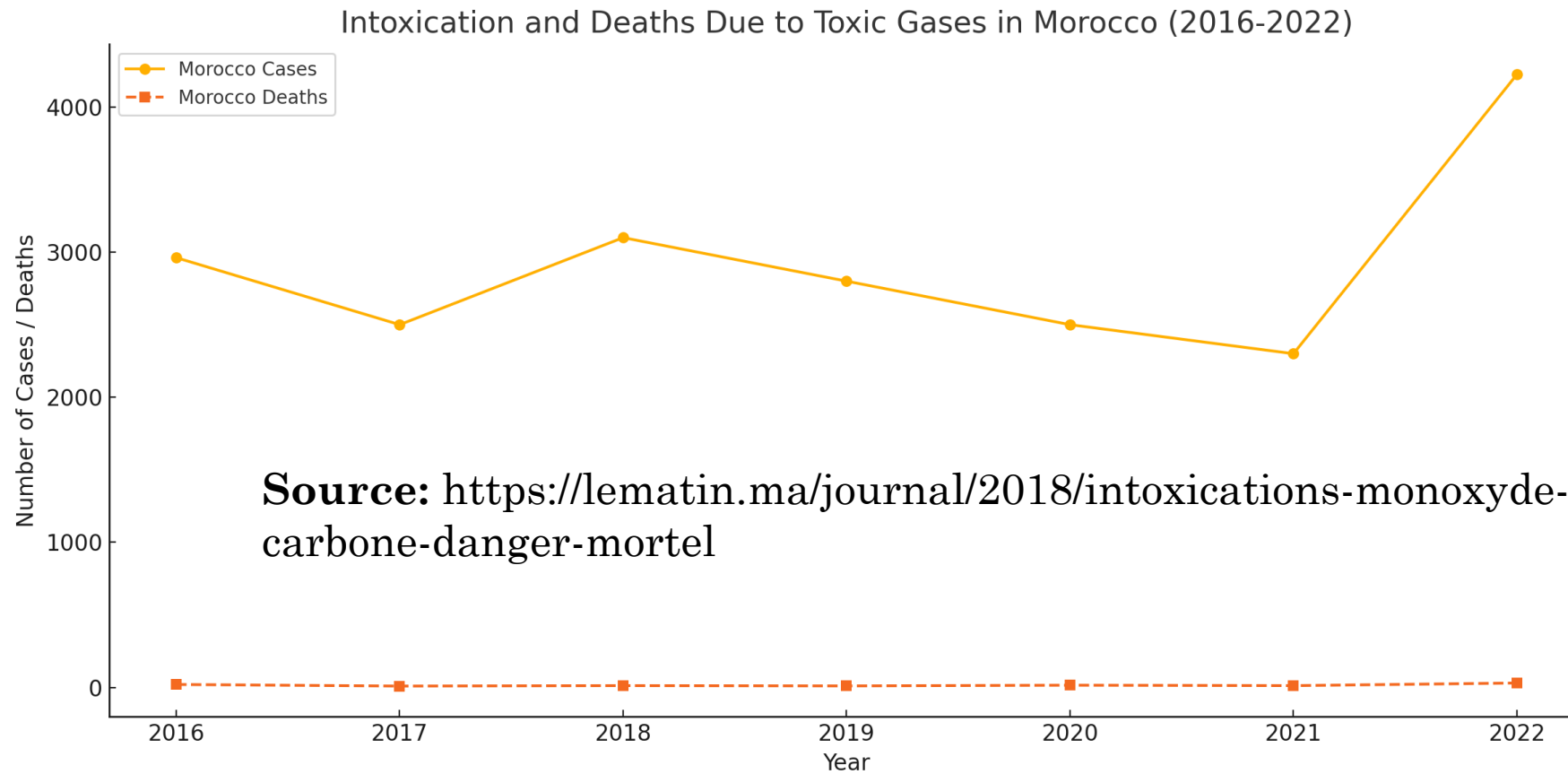
Statistiques



Statistiques mondiales : Un graphique montrant l'évolution des intoxications et des décès dus aux gaz toxiques dans le monde entre 2016 et 2022.

Introduction

Statistiques



Statistiques au Maroc : Un graphique illustrant les cas d'intoxications et de décès au Maroc sur la même période.

Introduction

□ Problématique

Comment concevoir des chaussures de sécurité connectées et auto-alimentées capables de renforcer la sécurité domestique et de détecter des risques potentiels, tout en exploitant une énergie propre et renouvelable issue des mouvements du porteur ?

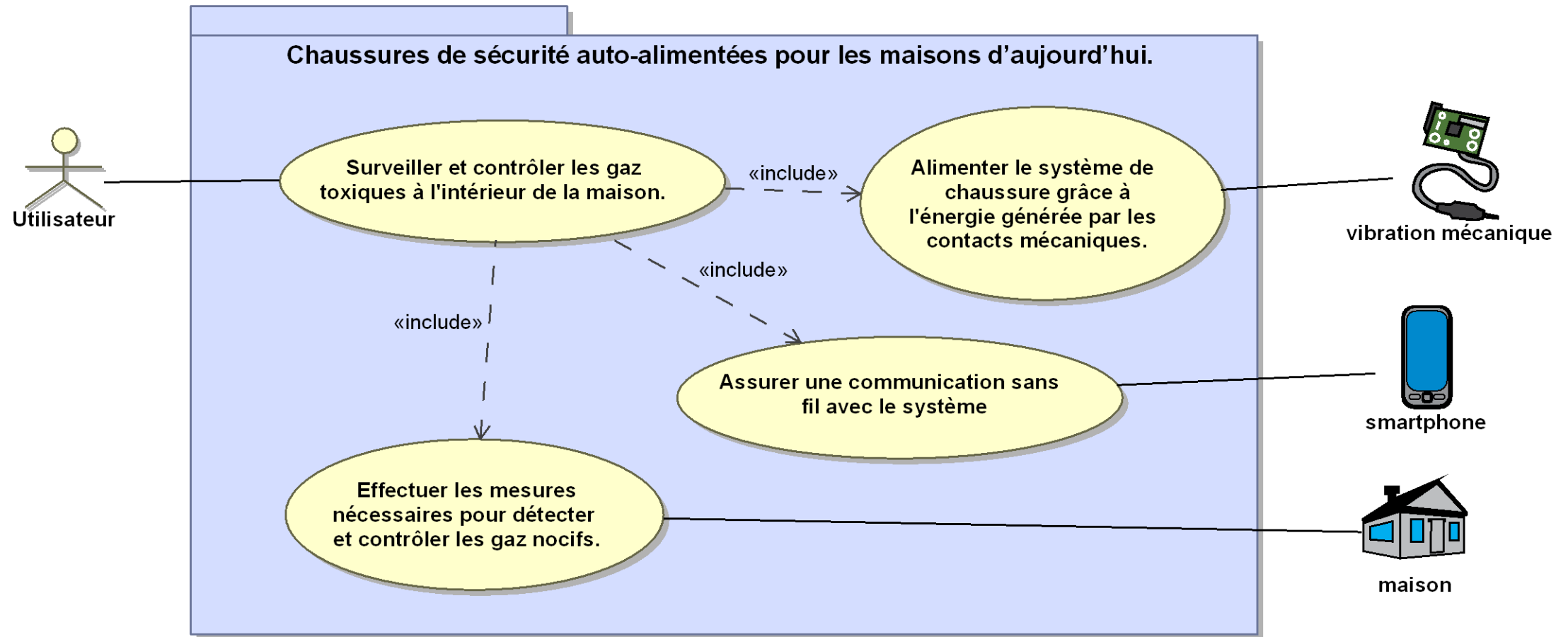


□ Objectifs

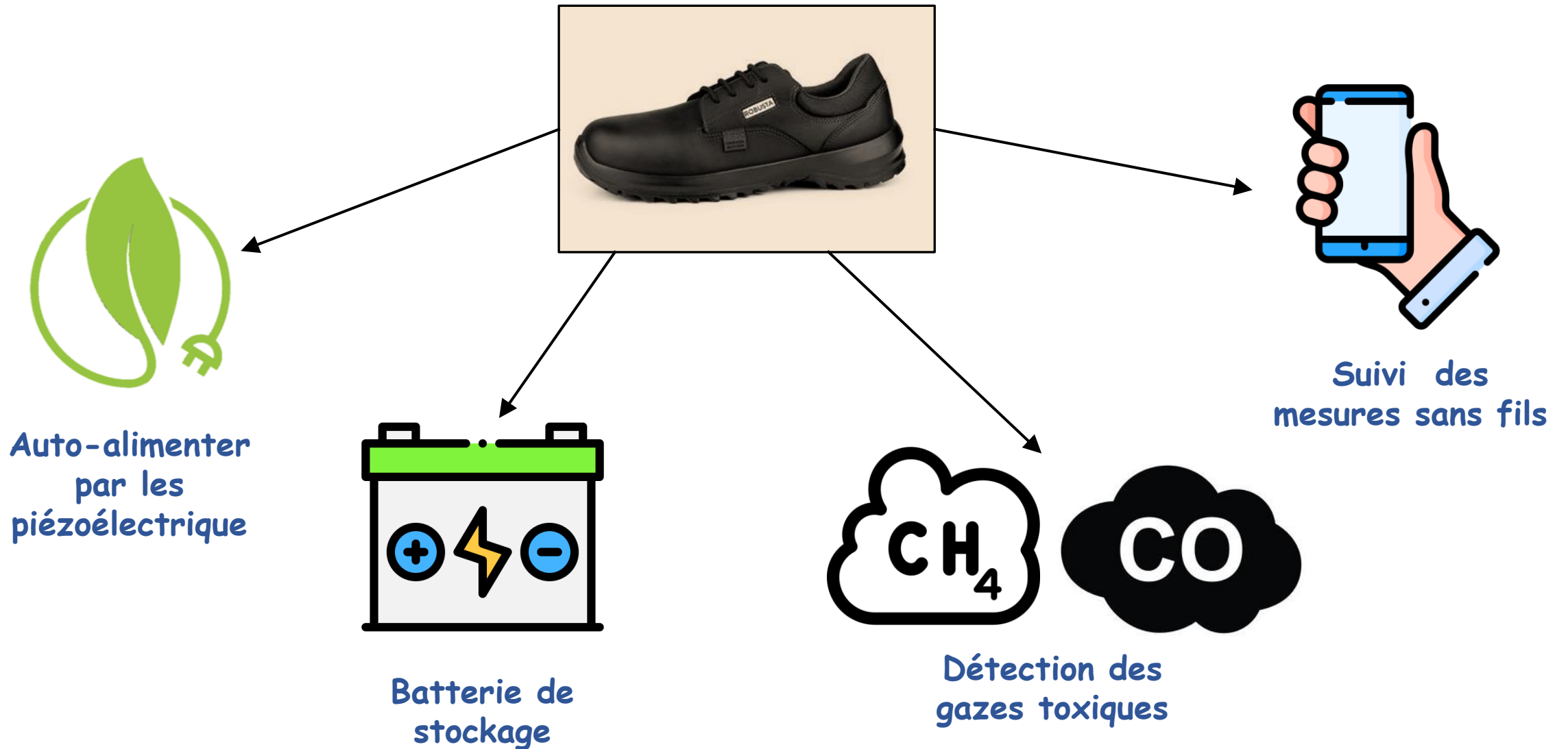
- Étude d'un capteur de détection de gaz méthane.
- Étude d'un générateur piézoélectrique et de la chaîne de conversion alternatif-continu.
- Étude du stockage de l'énergie récupérable par les générateurs piézoélectriques.
- Réalisation d'un prototype de chaussure auto-alimentée.

Introduction

uc [Modèle] Chaussures de sécurité auto-alimentées [uc]



Introduction



A- Détection des gazes toxiques

Gazes toxiques : Méthane (CH_4) et (CO)

Les gaz toxiques, tels que monoxyde de carbone, sulfure d'hydrogène ou composés chlorés et CO menacent la santé et l'environnement. Dans ce TIPE, l'effort se concentre sur la détection du méthane (CH_4), gaz inflammable, à l'aide de capteurs adaptés pour prévenir explosions et émissions industrielles.

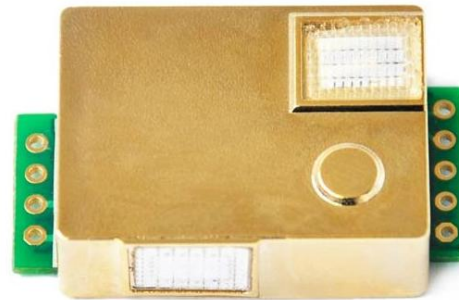
Choix de capteur : mesure de CH_4



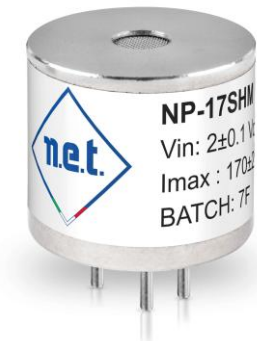
MQ4



MQ9



NDIR



Pellistors (catalytiques)

Choix final : *Nous avons retenu le capteur MQ-9, le seul adapté à la détection simultanée du méthane et du monoxyde de carbone.*

A- Détection des gazes toxiques

les risque de gaz de CO et CH3 dans nos maisons

Monoxyde de carbone (CO)

- ❑ Incolore, inodore ; se lie à l'hémoglobine → hypoxie
- ❑ Limites conseillées :
 - US EPA NAAQS : 9 ppm (8 h), 35 ppm (1 h)
 - NIOSH REL : TWA 35 ppm ;
OSHA PEL : TWA 50 ppm

Le méthane (CH3)

- ❑ Explosion : 5–15 % vol. (~50 000–150 000 ppm)
; asphyxie : >50 % vol. (~500 000 ppm)
- ❑ Limites santé pro. : OSHA/NIOSH/ACGIH
PEL – TLV 100 ppm (8 h)

Dans les maisons, prévenir intoxications et explosions passe par une ventilation des pièces à combustion et l'installation de détecteurs adaptés : un capteur de monoxyde de carbone alerte dès 9 ppm et un détecteur de méthane signale à 10 % de la LIE.)

A- Détection des gazes toxiques

Expériences : mesure la concentration de CO et CH₄

L'objectif de cette expérience est de valider les plages de mesure des gaz toxiques CH₄ et CO à l'aide du capteur MOX MQ-9, et de mesurer le temps de propagation afin d'estimer le délai nécessaire à la prise de décision en temps réel.

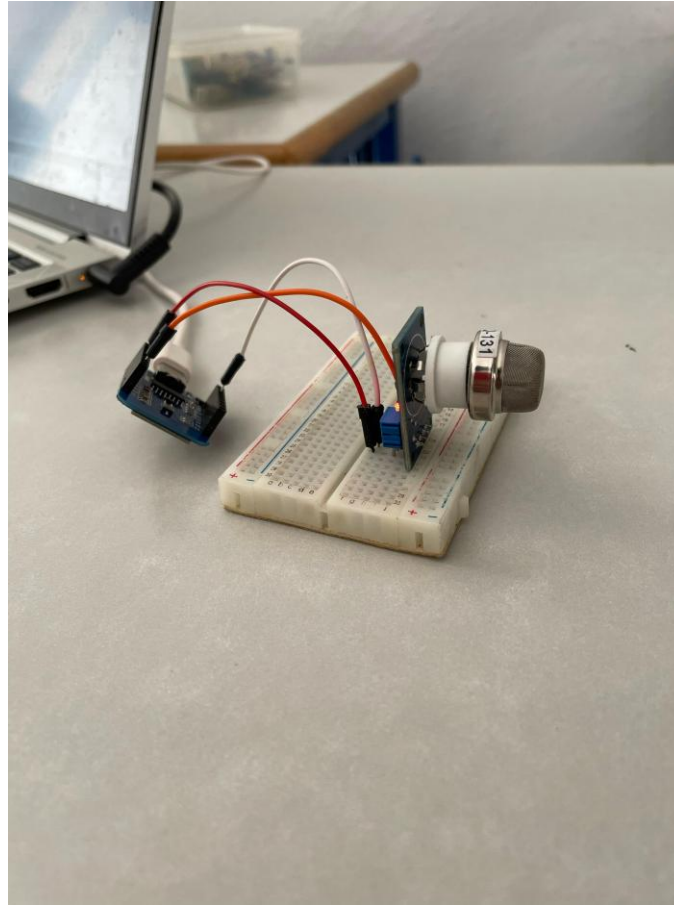
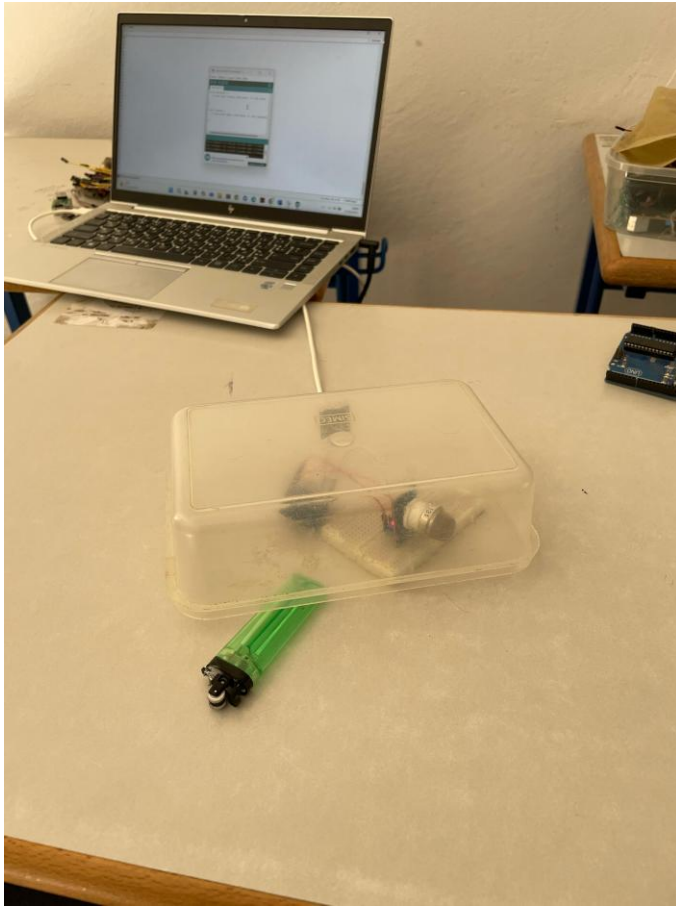
Matériels utilisés :

- Capteur MQ9
- WEMOS D1 MINI
- briquet
- Charbon de bois



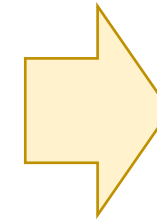
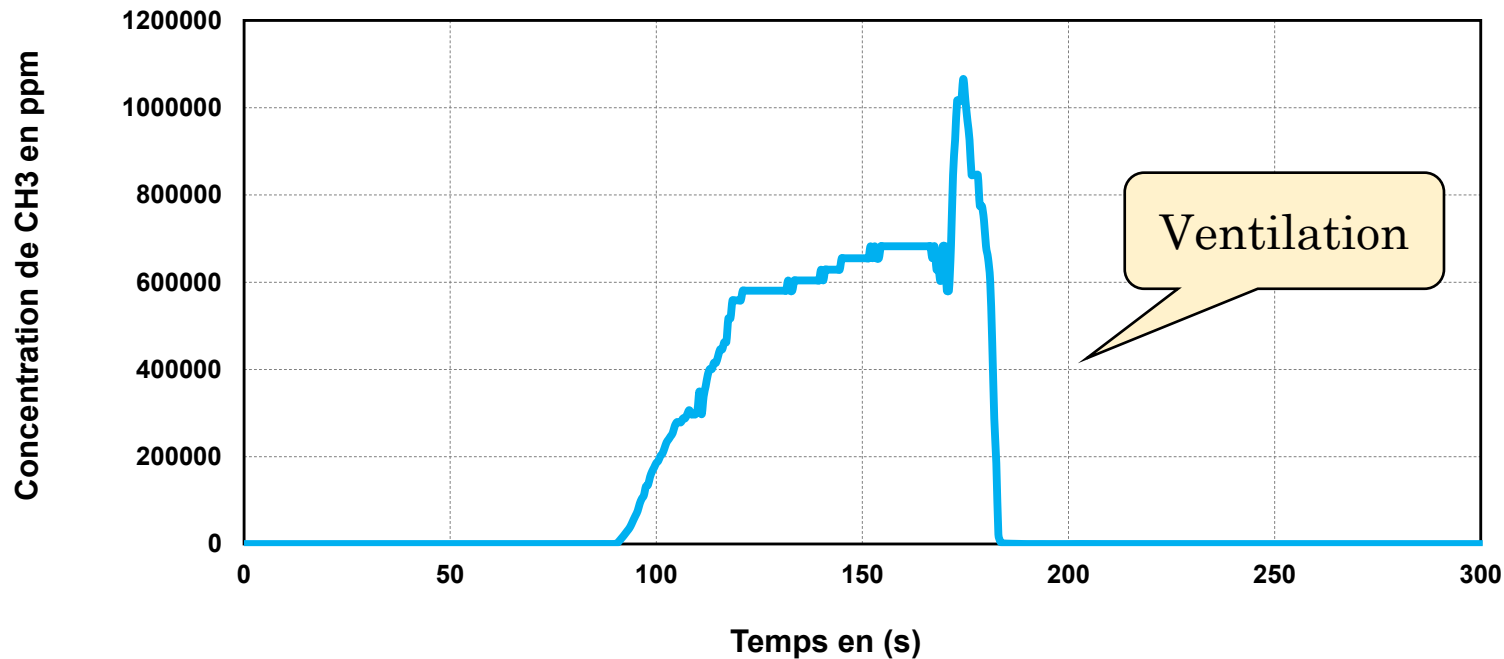
A- Détection des gazes toxiques

Expériences : mesure la concentration de CH₄



A- Détection des gazes toxiques

Résultats de concentration de CH₄



Le déclenchement de la ventilation à partir d'une concentration de 100 ppm.

Le graphe montre une détection rapide du méthane : concentration stable au début, puis augmentation due à une introduction de gaz, un pic soudain suivi d'une chute brutale après ventilation, indiquant l'efficacité du capteur et l'importance d'aérer rapidement.

B- Stockage d'énergie

Alimentation des capteurs et carte de contrôle

Les capteurs et la carte de commande de chaussure sont désormais alimentés par une batterie rechargeable, l'énergie stockée provenant de générateurs piézoélectriques après plusieurs étapes de conversion permettant son exploitation optimale.

Modélisation de générateur piézoélectrique

Un générateur piézoélectrique convertit des forces mécaniques, comme des vibrations ou des pressions, en énergie électrique.

Il est utilisé pour alimenter de petits dispositifs autonomes, offrant une solution compacte et durable dans des environnements mobiles ou difficiles d'accès.



B - Stockage d'énergie

Équations Constitutives

Un matériau piézoélectrique en dimension unidimensionnelle se décrit par deux relations fondamentales :

Relation mécanique

$$\mathbf{T} = \mathbf{C}_E \cdot \mathbf{S} - \mathbf{e} \cdot \mathbf{E}$$

- T : contrainte (en Pa)
- S : déformation (sans unité)
- E : champ électrique (en V/m)
- C_E : rigidité mécanique à champ électrique constant (Pa)
- e : coefficient piézoélectrique

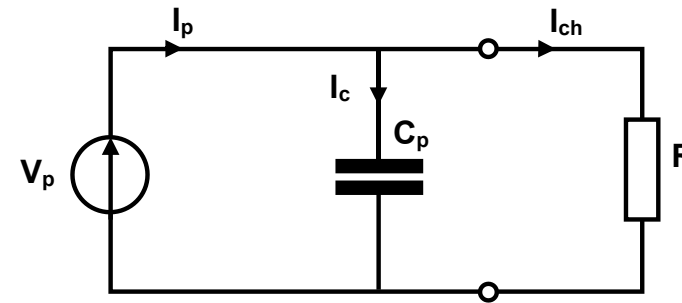
Relation électrique

$$\mathbf{D} = \mathbf{e} \cdot \mathbf{S} + \epsilon_S \cdot \mathbf{E}$$

- D : déplacement électrique (en C/m²)
- ϵ_S : permittivité à déformation constante (en F/m)

Modèle Équivalent Électrique

le piézoélectrique est modélisé par le schéma électrique suivante :



▪ Courant généré :

$$I_p = \alpha \frac{dS}{dt}$$

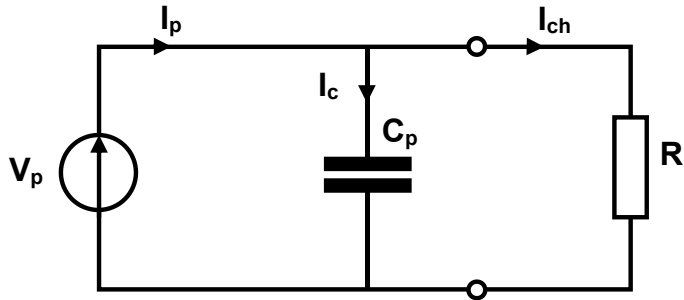
▪ Source de Tension : $V_p = \alpha S$

▪ Capacité Intrinsèque : $C_p = \epsilon_S \frac{A}{L}$

- A : surface de l'électrode,
- L : épaisseur du matériau.
- α : constante dépendant des propriétés du matériau et de sa géométrie
- R : la résistance de la charge

B - Stockage d'énergie

Function transfert



- On a : $i_p(t) = i_c(t) + i_{ch}(t)$

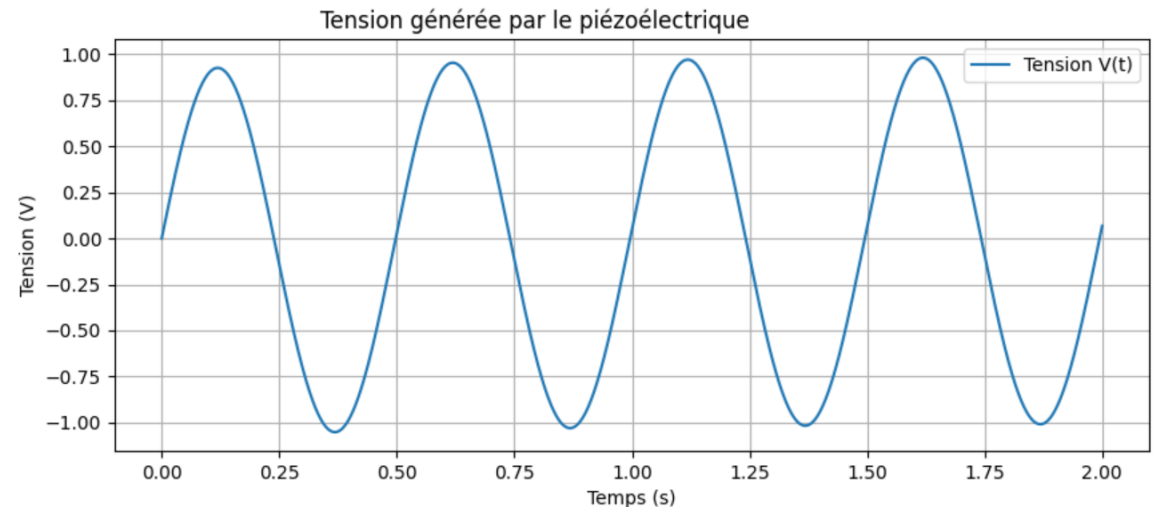
d'où, l'équation différentielle régissant l'évolution

de tension en fonction de déformation S .

$$C_p \frac{d V_p (t)}{d(t)} + \frac{V_p}{R} = \alpha \frac{d S(t)}{dt}$$

Simulation

- Une déformation sinusoïdale
- Données : $C_p = 1 \mu\text{F}$, $R = 1\text{k}\Omega$ et $\alpha = 5$



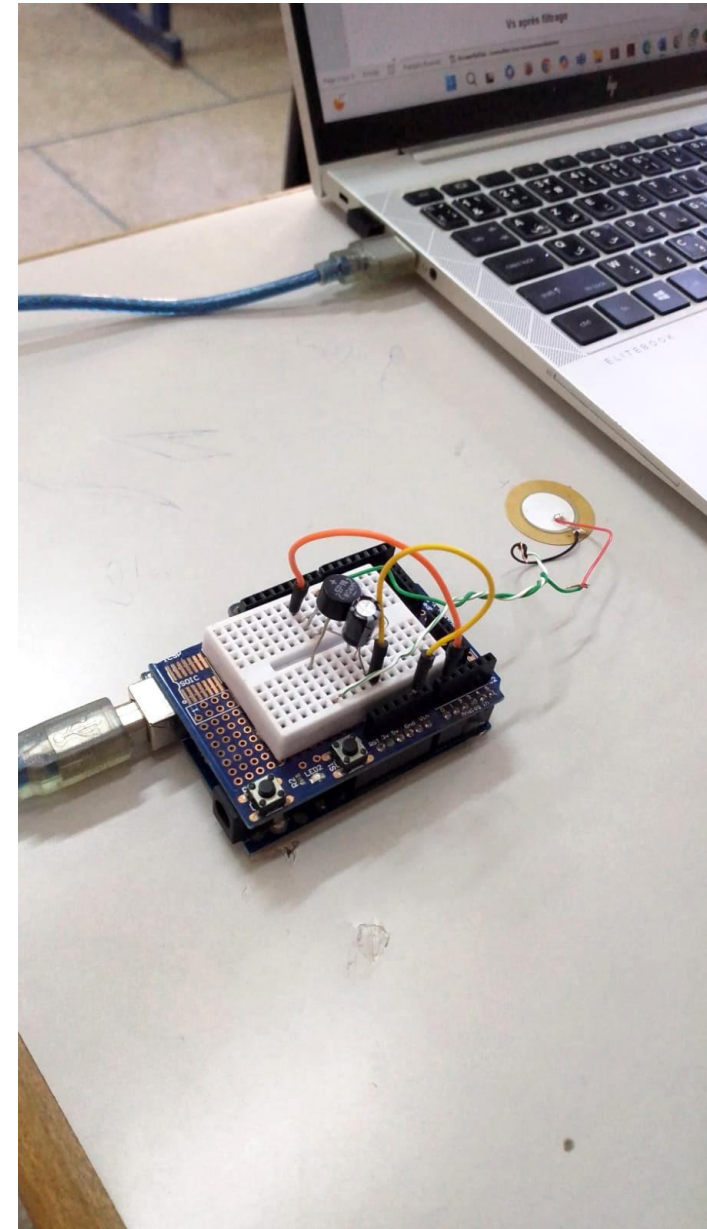
B - Stockage d'énergie

Expérience 1 : extraction du signal piézoélectrique

L'objectif de cette expérience est d'extraire le signal généré par le piézoélectrique en réponse à des impulsions de force appliquées à son entrée, afin d'analyser les niveaux de tension obtenus en sortie.

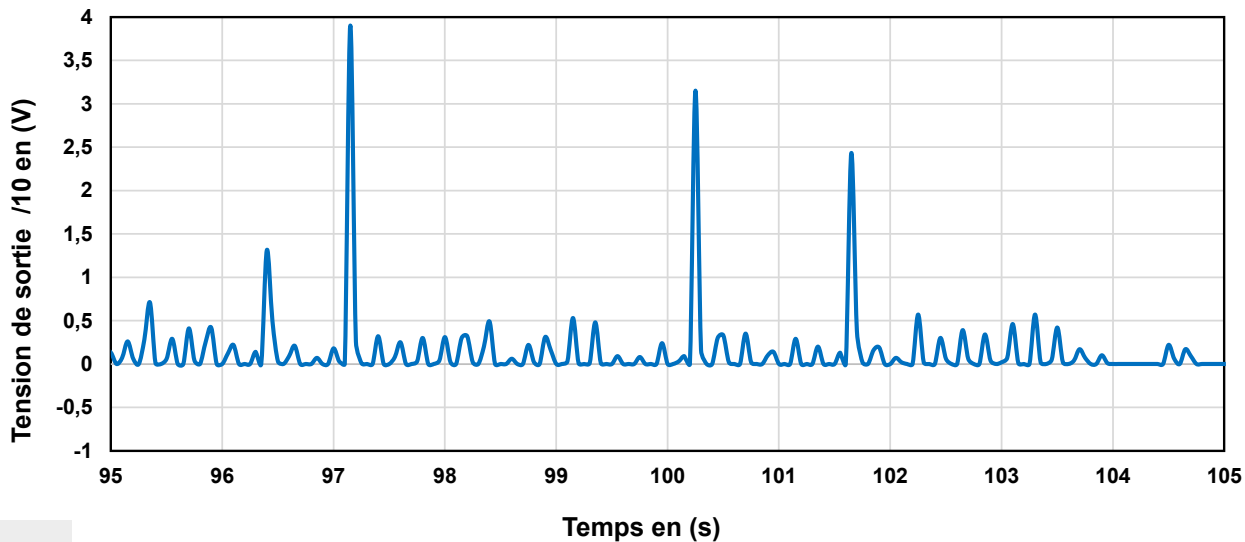
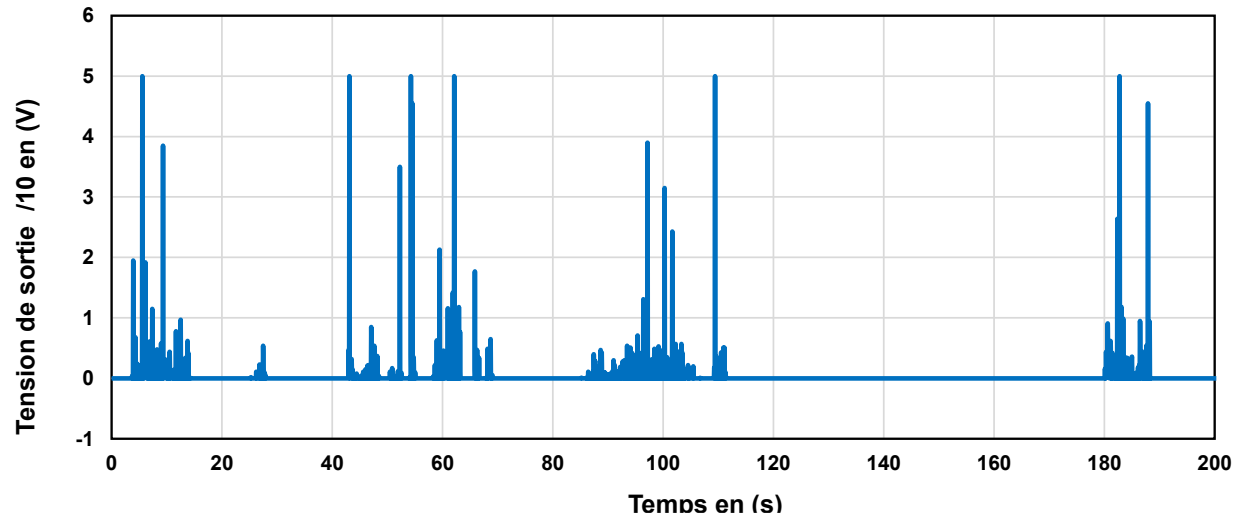
□ Matériels utilisés

- 1 – carte Arduino UNO
- 2 – redresseur (pont de Graetz)
- 3 – un pont de diviseur (un gain de 1/10)
- 4 – un condensateur recommandé de 100 Uf
- 5 – PC portable pour la collecte des données

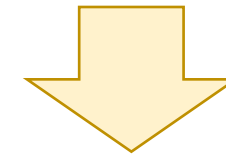


B - Stockage d'énergie

Expérience 1 : extraction du signal piézoélectrique



Le graphique montre des pics de tension à chaque impulsion appliquée sur le piézoélectrique. La tension réelle atteint 50 V. Le capteur répond aux variations rapides d'effort.

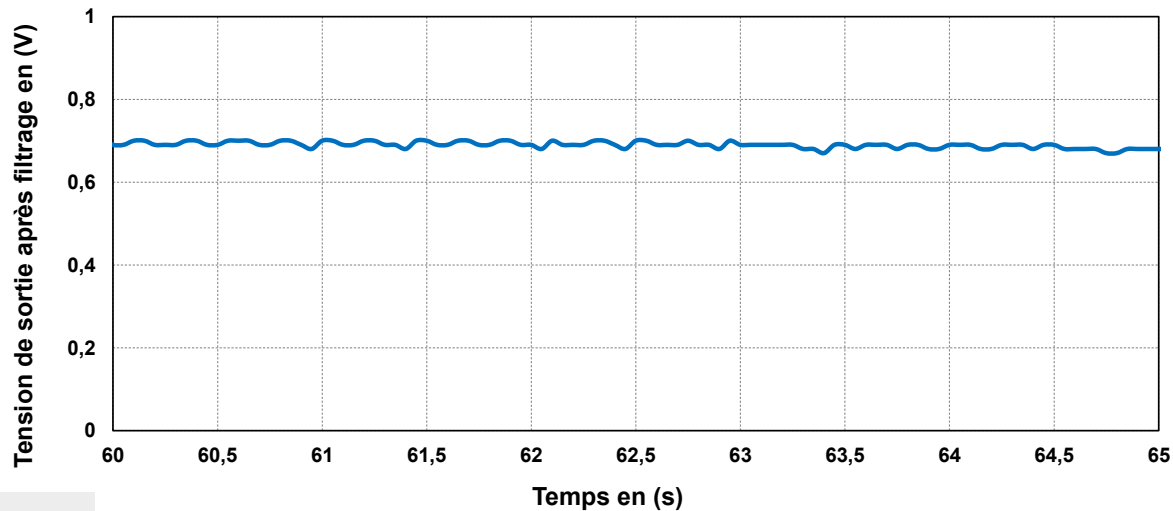
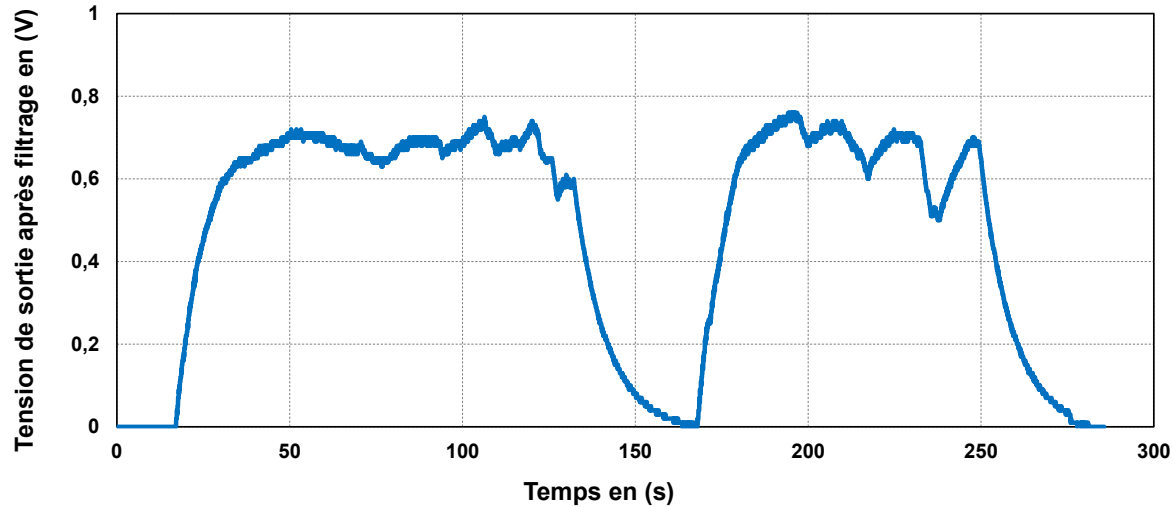


Limites des impulsions de tension :

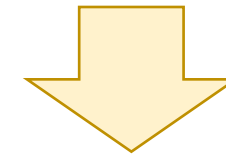
- tension minimale : $V_{\min} = 0.025 \text{ V}$
- Tension maximale : $V_{\max} = 50 \text{ V}$

B - Stockage d'énergie

Expérience 1 : extraction du signal piézoélectrique



Le signal filtré issu du piézoélectrique montre une tension continue lors de l'application de force, reflétant la forme du signal d'effort appliqué, avec atténuation des pics et du bruit.



La tension moyenne de sortie :

□ $V_{\text{moy}} = 0.7 \text{ V}$

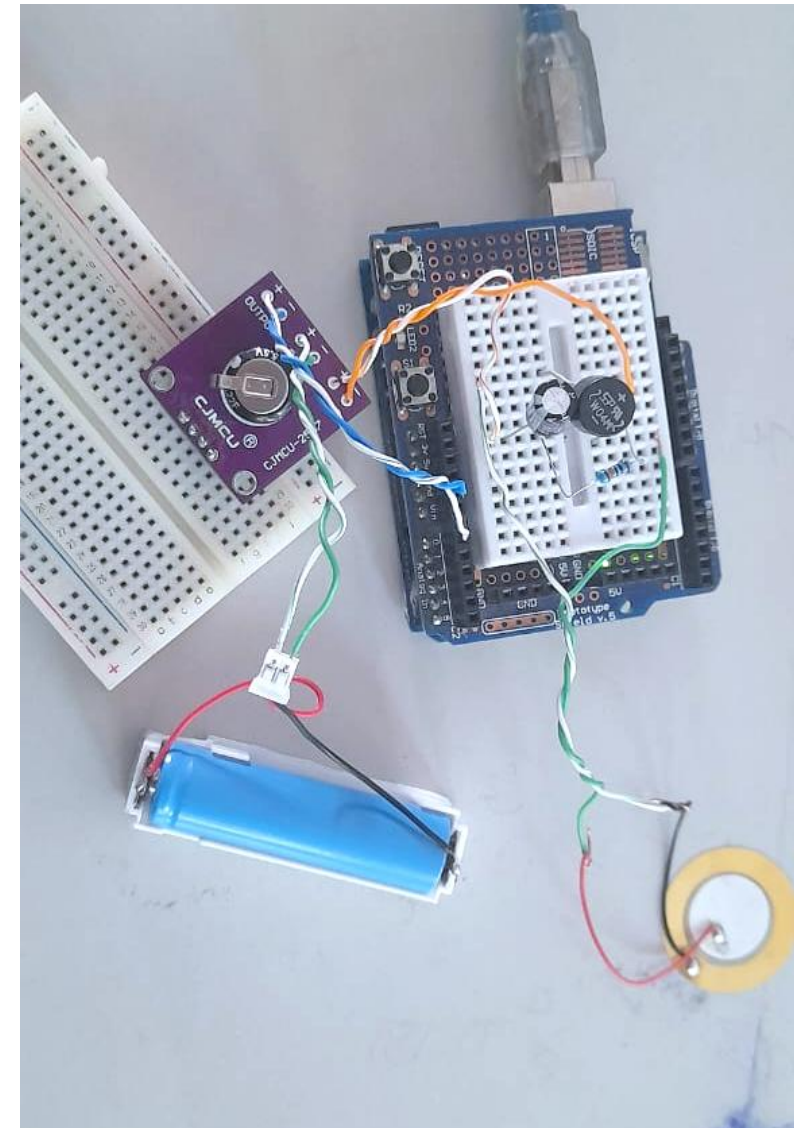
B - Stockage d'énergie

Expérience 2 : stockage d'énergie

Cette expérience vise à identifier des mécanismes permettant d'optimiser la recharge de la batterie.

❑ Matériels utilisés

- 1 – carte Arduino UNO
- 2 – redresseur (pont de Graetz)
- 3 – un pont de diviseur (un gain de 1/10)
- 4 – un condensateur recommandé de 100 μF
- 5 – Module CJMCU BQ25570
- 6 – Batterie 1.5V
- 7 – PC portable pour la collecte des données

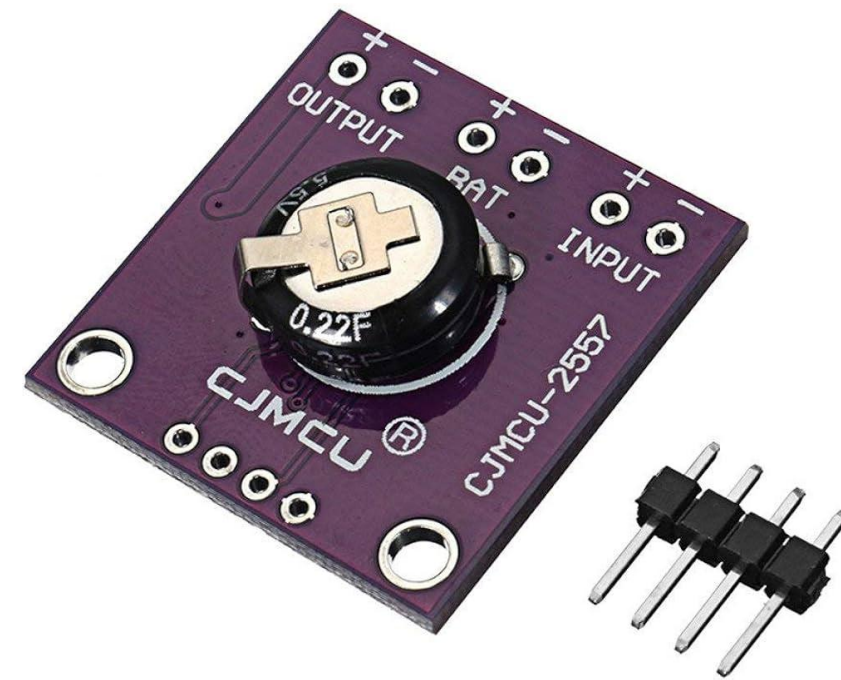


B - Stockage d'énergie

□ Présentation de module CJMCU BQ25570

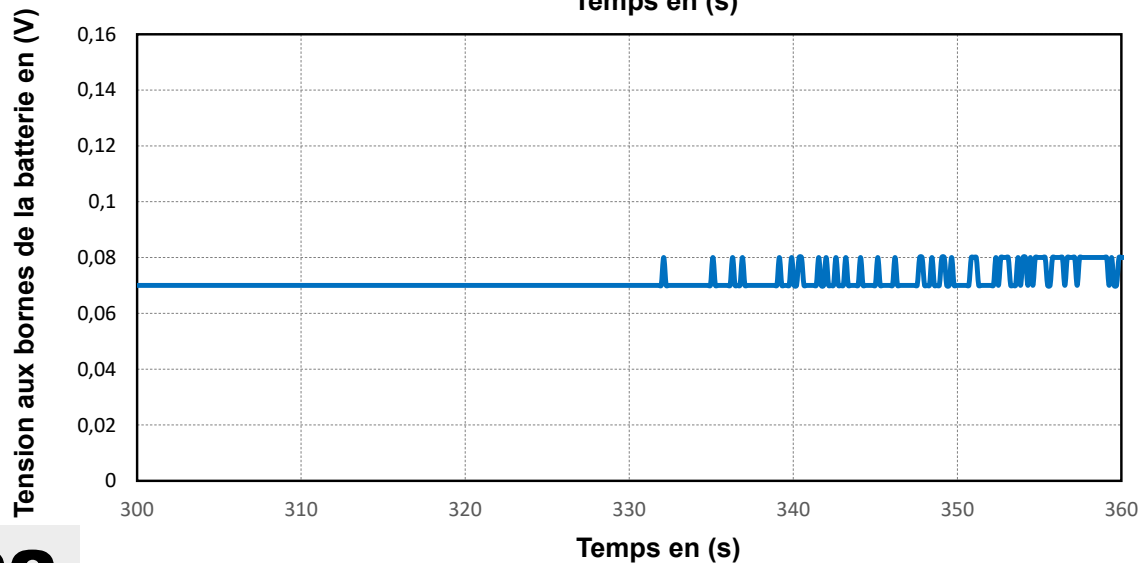
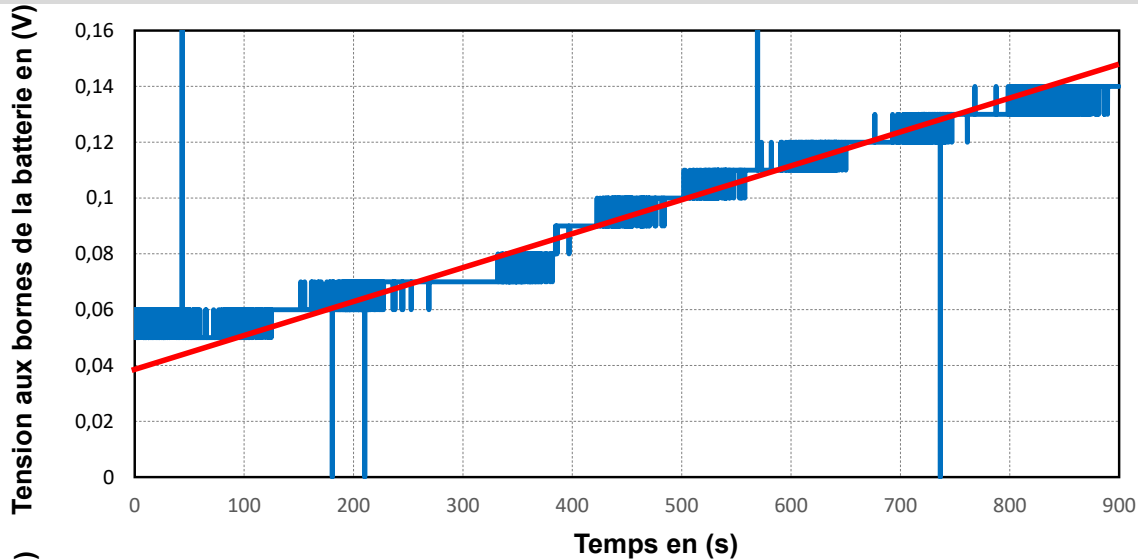
Le module CJMCU-2557 (BQ25570) est un composant clé pour transformer l'énergie issue de sources piézoélectriques en énergie stockée et utilisable pour des applications autonomes à faible consommation. Il réalise les opérations suivantes :

- ✓ **Collecte** : Récupère efficacement l'énergie des générateurs piézoélectriques, même faible ou intermittente.
- ✓ **Stockage** : Charge une batterie ou un supercondensateur pour assurer une alimentation stable.
- ✓ **Optimisation** : Utilise un MPPT pour maximiser la puissance récupérée de la source.



B - Stockage d'énergie

Expérience 2 : stockage d'énergie



La courbe illustre la progression de la tension de la batterie lors de la recharge, avec des paliers successifs dus à l'accumulation d'énergie, jusqu'à atteindre la pleine charge doit 1.5 V



Temps de charge de la batterie :

- ❑ la recharge de la batterie de 0.05 V à 0.14 V est effectuée dans une durée de 15 min
- ❑ Le temps estimé pour atteindre 1.5V est d'environ 4 heures.

C - réalisation de prototype

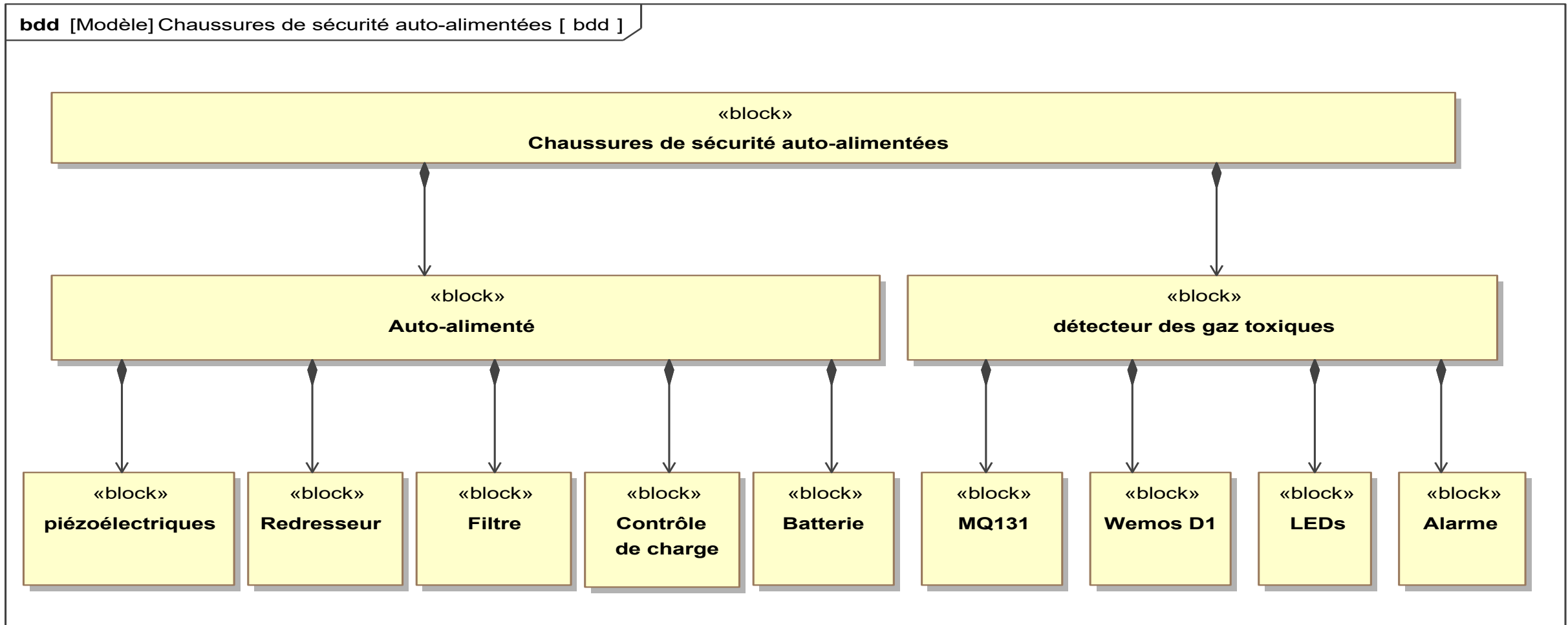
I- Introduction

Cette partie consiste à concevoir un prototype illustrant le fonctionnement du système de chaussures de sécurité auto-alimentées pour les habitations, composé de trois éléments essentiels :

- ❑ un système **d'auto-alimentation** par générateurs piézoélectriques intégrés dans les semelles,
- ❑ un module de **détection des gaz mortels** présents à l'intérieur des logements (comme le CO ou le méthane),
- ❑ une fonction de **transmission des alertes et données** vers un smartphone pour une surveillance en temps réel.

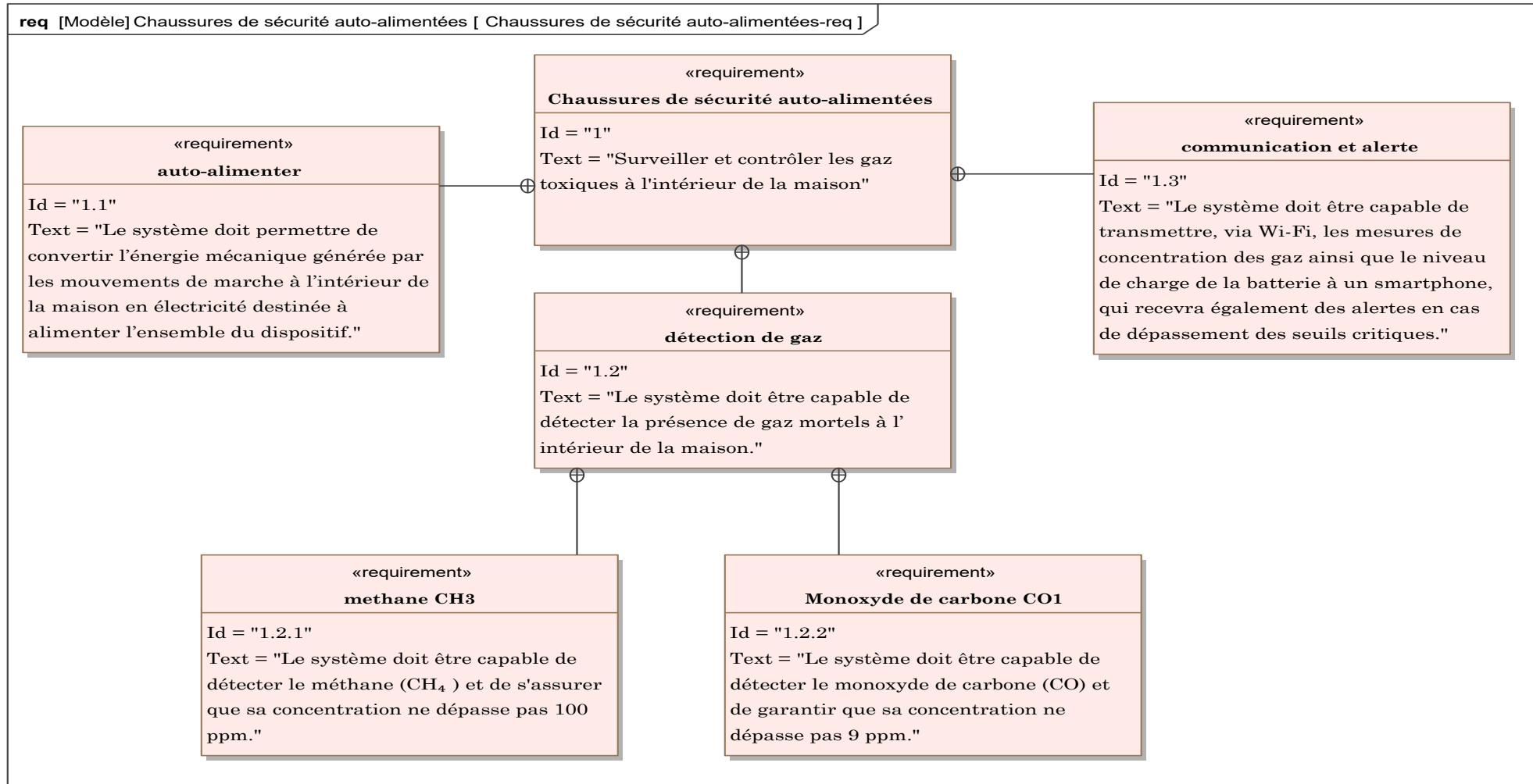
C - réalisation de prototype

II- Présentation du système (diagrammes SysML) : BDD



C - réalisation de prototype

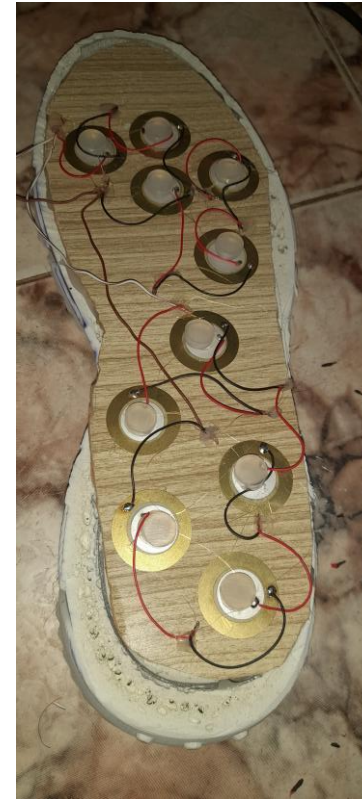
II- Présentation du système (diagrammes SysML) : Exigences



C - réalisation de prototype

III- Installation des piézoélectrique

- ❑ L'image montre une répartition thermique des pressions plantaires.
- ❑ Les zones rouges indiquent les points de pression maximale.
- ❑ Les talons et l'avant-pied sont les plus sollicités.



- ❑ Branche de 5 piézoélectriques en **série**
- ❑ deux branches en **parallèle**
- ❑ Une tension totale estimée de $V_{\max} = 4.3 \text{ V}$

C - réalisation de prototype

III- Installation des piézoélectrique



C - réalisation de prototype

IV- Partage d'information et alertes - 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.

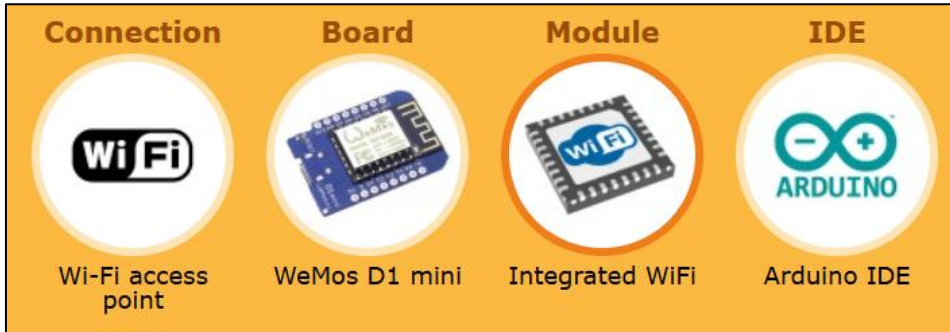


étapes de configuration

- ❑ 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.

C - réalisation de prototype

Configuration de RemoteXY



Choix de matériels et logiciel

- ❖ Partage de donnée par wifi
- ❖ Carte de traitement : Wemos D1 mini
- ❖ Module Wifi
- ❖ Programmation par Arduino

Wi-Fi access point:

Name (SSID):
Chaussures

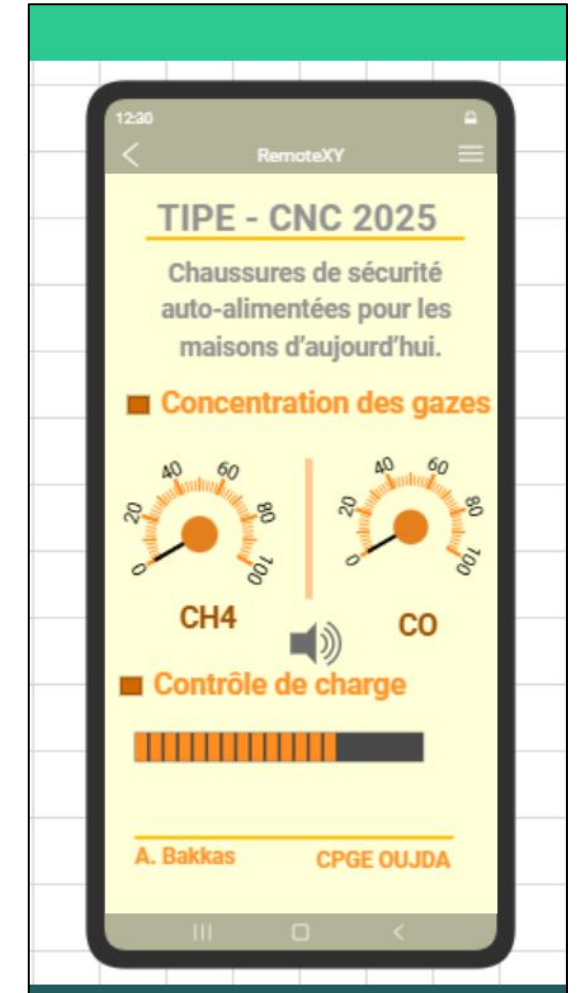
Open point

Password (8 or more chars):
12345678

Port:
6377

Coordonnée wifi

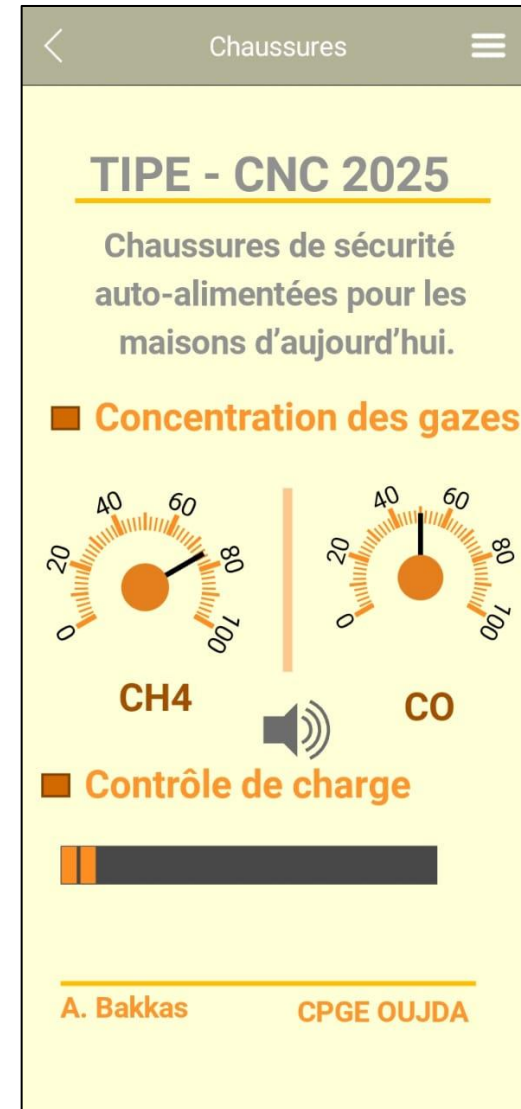
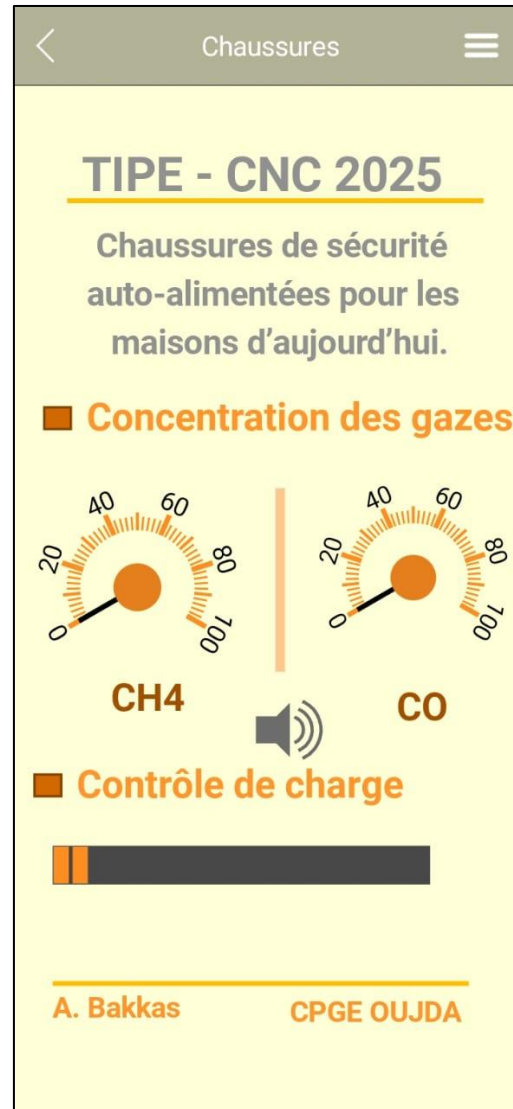
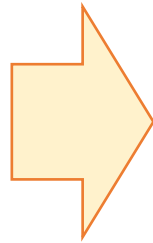
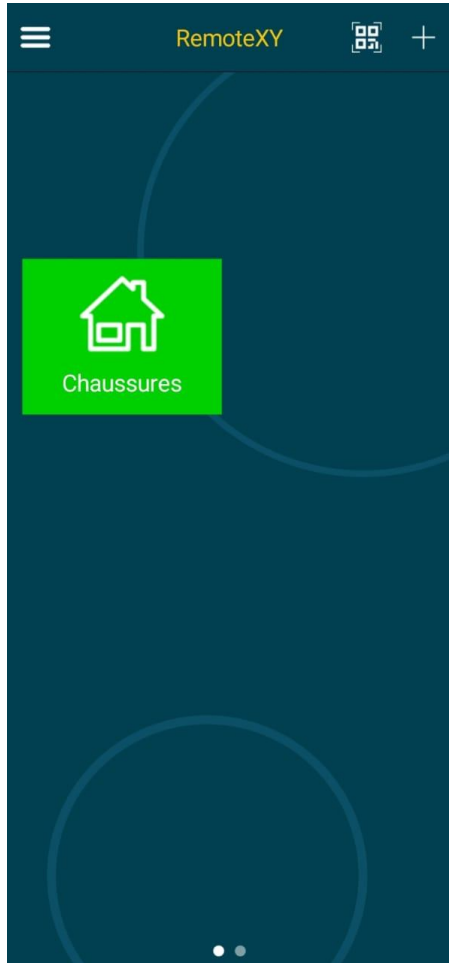
- ❖ Nom : Chaussures
- ❖ Mot de passe : 12345678



Interface utilisateur

C - réalisation de prototype

Implantation



Conclusion

Ce sujet de TIPE incarne une avancée technologique au service de la sécurité domestique, en exploitant l'énergie issue des pas pour l'autonomie de système et de détection des gaz toxiques. L'intégration du piézoélectrique et de la connectivité sans fil offre une solution durable et intelligente. À terme, cette innovation pourrait être adaptée à des contextes industriels, hospitaliers ou d'intervention d'urgence, en intégrant des capteurs plus sensibles, des batteries plus performantes et une intelligence embarquée pour une surveillance proactive en temps réel.

Merci pour votre attention