

# Cahier des Charges

## Système de Surveillance Intelligente de la Qualité de l'Air Intérieur (Indoor AQI)

Auteur : Votre Nom  
Date : 22 septembre 2025

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Présentation du projet</b>	<b>3</b>
1.1	Contexte général . . . . .	3
1.2	Problématique identifiée . . . . .	3
1.3	Besoin identifié . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Objectifs stratégiques</b>	<b>3</b>
2.1	Objectif principal . . . . .	3
2.2	Objectifs spécifiques . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Périmètre et marchés cibles</b>	<b>4</b>
3.1	Marchés primaires . . . . .	4
3.2	Marchés secondaires . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Spécifications fonctionnelles</b>	<b>4</b>
4.1	Architecture système globale . . . . .	4
4.1.1	Couche Capteurs (Edge Layer) . . . . .	4
4.1.2	Couche Communication . . . . .	4
4.1.3	Couche Backend Cloud . . . . .	5
4.1.4	Couche Intelligence Artificielle (MLOps) . . . . .	5
4.1.5	Interface Utilisateur (PWA) . . . . .	5
4.2	Fonctionnalités détaillées . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Spécifications techniques</b>	<b>6</b>
5.1	Contraintes technologiques . . . . .	6
5.2	Performances et scalabilité . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Exigences non fonctionnelles</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Modèle économique</b>	<b>6</b>
7.1	Stratégie de monétisation . . . . .	6
7.2	Services SaaS . . . . .	6
7.3	Projection financière (3 ans) . . . . .	7
<b>8</b>	<b>Planning et livrables</b>	<b>7</b>

<b>9 Critères de succès</b>	<b>7</b>
9.1 KPIs techniques . . . . .	7
9.2 KPIs business . . . . .	8
9.3 Impact sociétal . . . . .	8
<b>10 Risques et mitigation</b>	<b>8</b>
10.1 Risques techniques . . . . .	8
10.2 Risques marché . . . . .	8
10.3 Risques opérationnels . . . . .	8

# 1 Présentation du projet

## 1.1 Contexte général

La qualité de l'air intérieur (QAI) constitue un enjeu majeur de santé publique, les individus passant en moyenne 90% de leur temps dans des environnements clos. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) identifie la pollution de l'air intérieur comme l'un des principaux facteurs de risque environnementaux, responsable de nombreuses pathologies respiratoires et cardiovasculaires.

## 1.2 Problématique identifiée

Les espaces intérieurs présentent des concentrations de polluants souvent supérieures à celles des environnements extérieurs, avec des impacts sanitaires significatifs :

- **Particules fines (PM2.5/PM10)** : pénétration profonde dans les voies respiratoires, exacerbation de l'asthme et des allergies
- **Dioxyde de carbone (CO)** : indicateur de confinement, provoquant fatigue, maux de tête et baisse de productivité au-delà de 1000 ppm
- **Composés Organiques Volatils (COV)** : émissions de matériaux, mobilier et produits chimiques, causant irritations et troubles respiratoires
- **Paramètres thermo hygrométriques** : influence directe sur le confort, la prolifération microbienne et la qualité de l'air perçue

## 1.3 Besoin identifié

Absence de solutions accessibles et complètes permettant une surveillance continue, une analyse intelligente et des recommandations personnalisées pour l'amélioration de la qualité de l'air intérieur.

# 2 Objectifs stratégiques

## 2.1 Objectif principal

Développer un écosystème technologique complet de surveillance, d'analyse et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur, intégrant capteurs IoT, intelligence artificielle et interface utilisateur intuitive.

## 2.2 Objectifs spécifiques

- Mesurer en continu les principaux indicateurs de qualité d'air intérieur
- Fournir des alertes préventives et recommandations personnalisées
- Constituer une base de données longitudinale pour analyses prédictives
- Développer une interface PWA ergonomique et accessible

- Implémenter des modèles d’IA pour la détection d’anomalies et la prédiction

## 3 Périmètre et marchés cibles

### 3.1 Marchés primaires

- Secteur résidentiel : foyers avec personnes à risque (asthmatiques, allergiques, enfants en bas âge, personnes âgées)
- Établissements d’enseignement : écoles primaires, collèges, crèches
- Secteur tertiaire : bureaux, espaces de coworking, salles de réunion

### 3.2 Marchés secondaires

- Établissements de santé : cabinets médicaux, salles d’attente, EHPAD
- Secteur hôtelier : hôtels, résidences de tourisme
- Espaces culturels : bibliothèques, musées, centres culturels

## 4 Spécifications fonctionnelles

### 4.1 Architecture système globale

#### 4.1.1 Couche Capteurs (Edge Layer)

##### Capteurs intégrés :

- PMS5003/SDS011 : Mesure particules fines PM2.5 et PM10 (précision  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- MH-Z19B : Mesure CO (gamme 400-5000 ppm, précision  $\pm 50$  ppm)
- MQ-135 : Détection COV, NH, fumées (sensibilité qualitative)
- DHT22 : Température ( $-40^\circ\text{C}$  à  $+80^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ) et humidité relative (0-100%,  $\pm 2\%$ )

##### Gateway local (Raspberry Pi 4) :

- Collecte des données via interfaces UART/I2C/GPIO
- Préprocessing et validation des données
- Transmission sécurisée vers le cloud
- Mode dégradé en cas de perte de connectivité

#### 4.1.2 Couche Communication

- Protocole primaire : MQTT over TLS pour la remontée des données
- Protocole temps réel : WebSocket pour les alertes instantanées
- Fréquence d’acquisition : 1 mesure/minute (paramétrable)
- Sécurité : Chiffrement end-to-end, authentification par certificats

#### 4.1.3 Couche Backend Cloud

##### API REST (Jakarta EE 10) :

- Endpoints RESTful pour CRUD opérations
- Authentification JWT avec refresh tokens
- Rate limiting et monitoring des API calls
- Documentation OpenAPI 3.0

##### Base de données NoSQL (MongoDB) :

- Collections optimisées pour les séries temporelles
- Indexation sur timestamps et device\_id
- Sharding horizontal pour la scalabilité
- Retention policy configurable

#### 4.1.4 Couche Intelligence Artificielle (MLOps)

- Détection d'anomalies : DBSCAN et Z-score adaptatif
- Prédiction court terme : ARIMA/LSTM (1-6h)
- Classification qualité air : Random Forest pour scoring AQI personnalisé
- Orchestration : MLflow pour versioning et monitoring

#### 4.1.5 Interface Utilisateur (PWA)

- Dashboard temps réel : visualisation multi-paramètres, graphiques interactifs, indicateurs KPI
- Système d'alertes : push notifications natives, seuils personnalisables, historique

### 4.2 Fonctionnalités détaillées

- Acquisition multi-paramètre synchronisée
- Calibration automatique et détection de dérive
- Validation croisée entre capteurs redondants
- Gestion des valeurs aberrantes et données manquantes
- Calcul d'indices composites (AQI personnalisé)
- Analyse de corrélations entre paramètres
- Détection de patterns temporels (cycles jour/nuit, saisonniers)
- Benchmarking avec standards nationaux/internationaux
- Système d'alertes intelligentes et recommandations personnalisées

## 5 Spécifications techniques

### 5.1 Contraintes technologiques

- **Stack technologique** : Jakarta EE 10, WildFly, MongoDB 6.0+, Eclipse Mosquitto, PWA (HTML5/CSS3/JS), Python 3.9+ pour ML
- **Infrastructure** : Docker, Kubernetes, Azure Cloud

### 5.2 Performances et scalabilité

- Latence API : < 100ms
- Débit ingestion : 10,000 messages/sec
- Disponibilité : 99.5%
- Architecture microservices, auto-scaling et sharding pour 1M+ devices

## 6 Exigences non fonctionnelles

- Uptime : 99.5%, MTTR < 30 min
- Backup automatisé : RTO < 4h, RPO < 15 min
- Latence bout-en-bout < 5s
- Capacité simultanée : 10,000 utilisateurs
- Optimisation PWA < 1MB, offline-first
- Documentation technique et CI/CD automatisé
- Interface responsive et accessible WCAG 2.1 AA

## 7 Modèle économique

### 7.1 Stratégie de monétisation

Type	Description	Prix
Kit Basic	1 capteur + gateway + configuration	149€
Multi-capteurs + fonctionnalités étendues	299€ Kit Enterprise	Kit Advanced Déploiement multi-zones + API management
499€		

### 7.2 Services SaaS

Plan	Description	Prix
------	-------------	------

Freemium	Monitoring basique, 7 jours d'historique	0€/mois
Historique illimité, IA prédictive, alertes avancées	9.99€/mois	Premium
29.99€/mois	Professional	Multi-sites, reporting avancé, API business
Enterprise	SLA dédié, support prioritaire, customisation	Sur devis

### 7.3 Projection financière (3 ans)

- Année 1 : 500 kits, 50 abonnements Premium → CA 120K€
- Année 2 : 2,500 kits, 400 abonnements → CA 650K€
- Année 3 : 8,000 kits, 1,500 abonnements → CA 2.1M€

## 8 Planning et livrables

Mois	Activités	Livrables
1	Planification et conception (CD, architecture, maquettes, géolocalisation)	Cahier des charges finalisé, schéma d'architecture, maquettes UI/UX, spécifications géolocalisation
Développement backend, PWA, collecte données, module géolocalisation	Prototype backend, première version PWA, module géolocalisation, données simulées	2 Intégration et tests, alertes AQI
Version Beta intégrée, carte interactive avancée, rapport de tests	3 Optimisation, déploiement pilote	Version stable système, déploiement pilote, feedback utilisateurs, rapport final et roadmap V2
4		

## 9 Critères de succès

### 9.1 KPIs techniques

- Précision mesures :  $\pm 10\%$
- Uptime système :  $> 99.5\%$
- User satisfaction :  $> 4.5/5$
- Time to value :  $< 24\text{h}$  post-installation



## 9.2 KPIs business

- Taux d'adoption Premium : > 15%
- Customer retention : > 80% après 12 mois
- NPS : > 50
- ROI client documenté : réduction 20% incidents respiratoires

## 9.3 Impact sociétal

- Sensibilisation QAI : 10,000+ utilisateurs
- Prévention sanitaire : réduction épisodes asthmatiques
- Standards industrie : contribution normalisation IoT

# 10 Risques et mitigation

## 10.1 Risques techniques

- Dérive capteurs → calibration automatique + maintenance préventive
- Scalabilité cloud → architecture microservices + monitoring
- Sécurité IoT → Security by design + audits réguliers

## 10.2 Risques marché

- Concurrence BigTech → différenciation par expertise + partenariats
- Adoption lente → stratégie freemium + ROI démontrable
- Réglementation → veille normative + compliance proactive

## 10.3 Risques opérationnels

- Supply chain hardware → multi-sourcing + stock sécurité
- Expertise rare → formation équipe + partenariats techniques
- Cash-flow → levée fonds + revenus SaaS récurrents