

RAPPORT D'ANALYSE STRATÉGIQUE ET TECHNIQUE

Système de Détection de Défauts Industriels (Smart-Detect)

Projet : Système de Détection de Défauts Industriels

Auteur : Mahdi Ben Massoud

Filière : 3ème Système Embarqué et Internet des Objets

Encadrant : Mohamed Kharrat

1. SYNTHÈSE EXÉCUTIVE

Le présent rapport combine une analyse macroéconomique du marché de la **Détection et Classification des Défauts (FDC)** avec une étude de cas microéconomique et technique approfondie du système **Smart-Detect**. Ce système, conçu pour la surveillance en temps réel des paramètres électriques et thermiques, se positionne comme une solution de rupture face aux systèmes de maintenance industrielle traditionnels.

Le marché FDC est en pleine accélération, avec une projection de croissance de **5,79 milliards USD en 2025 à 13,83 milliards USD d'ici 2035** (TCAC de 9,1 %) [1]. Le système Smart-Detect capitalise sur cette dynamique en offrant une solution **modulaire, fiable et ultra-économique**. Son coût matériel de **79,50 TND** permet une économie de plus de 93 % par rapport aux solutions industrielles (> 1200 TND), garantissant un **Retour sur Investissement (ROI) inférieur à trois mois**.

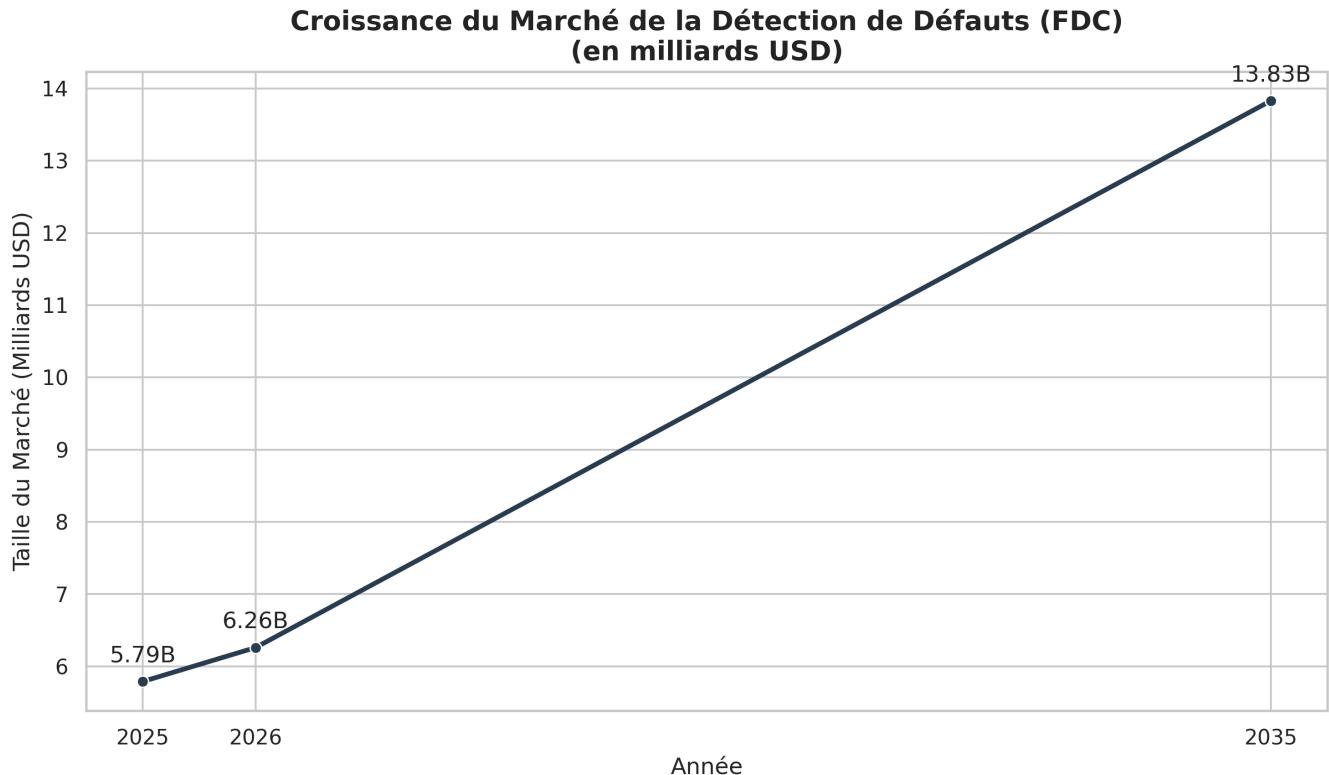
L'intégration des technologies de l'**Internet des Objets (IoT)** et l'anticipation de l'**Intelligence Artificielle (IA)** pour la maintenance prédictive placent ce projet au cœur des enjeux de l'**Industrie 4.0**.

2. ANALYSE MACROÉCONOMIQUE DU MARCHÉ FDC

2.1. Dynamique et Croissance du Marché

L'adoption croissante de l'automatisation et la nécessité d'optimiser les chaînes de production sont les principaux catalyseurs du marché FDC. La détection précoce des anomalies est devenue un impératif stratégique pour minimiser les temps d'arrêt imprévus et les pertes financières associées.

Figure 1 : Croissance Projetée du Marché de la Détection de Défauts (FDC)



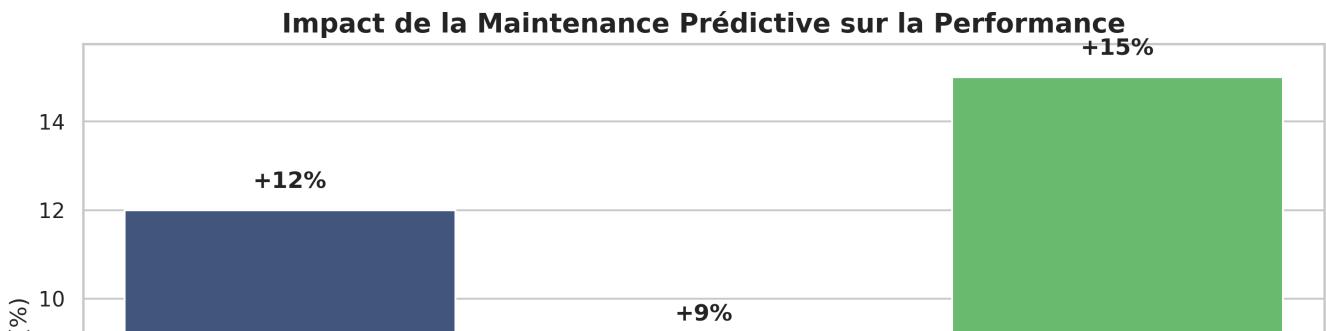
Le marché est segmenté par l'offre (logiciels, matériel) et par l'utilisateur final (automobile, électronique, agroalimentaire), l'**Asie-Pacifique** étant la région affichant le plus fort potentiel de croissance en raison de l'urbanisation et de l'industrialisation rapide [1].

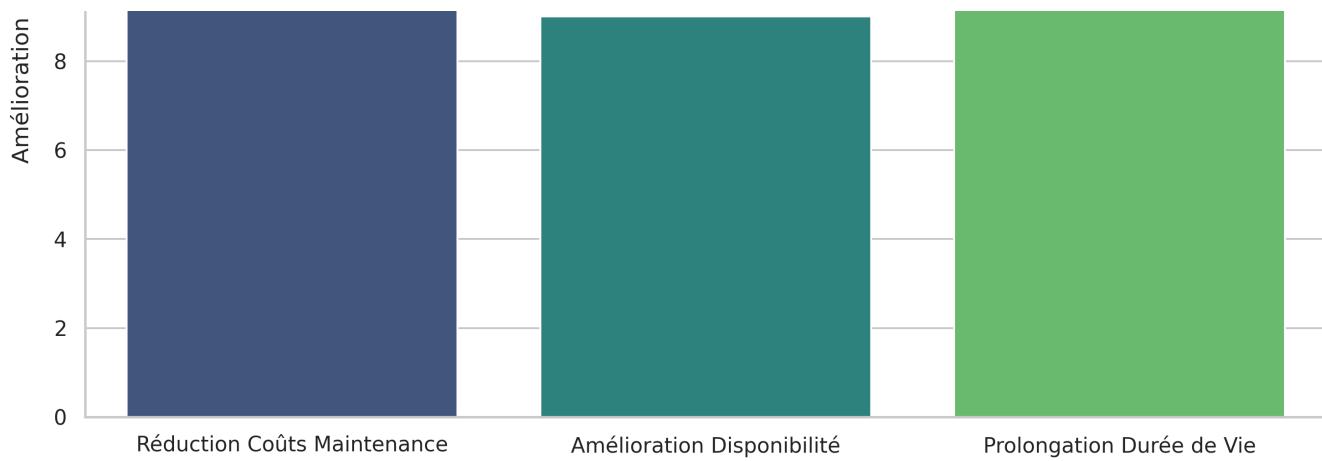
2.2. L'Impératif de la Maintenance Prédictive (PdM)

Le passage d'une maintenance réactive à une maintenance prédictive est la pierre angulaire de l'efficacité opérationnelle moderne. La PdM, en utilisant l'analyse de données en temps réel, permet d'anticiper les défaillances avant qu'elles ne se produisent.

"Selon les analyses de PwC, l'implémentation de la maintenance prédictive se traduit par une réduction des coûts de maintenance de 12 %, une amélioration de la disponibilité des machines de 9 % et une prolongation significative de leur durée de vie utile." [3]

Figure 2 : Impact Quantifié de la Maintenance Prédictive sur la Performance Industrielle





3. ÉTUDE DE CAS : ANALYSE ÉCONOMIQUE DU SYSTÈME SMART-DETECT

3.1. Proposition de Valeur et Positionnement

Le système Smart-Detect est spécifiquement conçu pour répondre aux besoins des **PME** et des **environnements pédagogiques** qui ne peuvent supporter les investissements initiaux élevés des solutions industrielles propriétaires.

Caractéristique	Avantage Concurrentiel
Coût Optimisé	Démocratisation de la surveillance industrielle.
Surveillance 24/7	Détection instantanée des anomalies (Tension, Courant, Température).
Conception Modulaire	Intégration facile dans les armoires électriques existantes.
Système d'Alerte Précoce	Prévention des pannes critiques.

3.2. Analyse du Coût et du Retour sur Investissement (ROI)

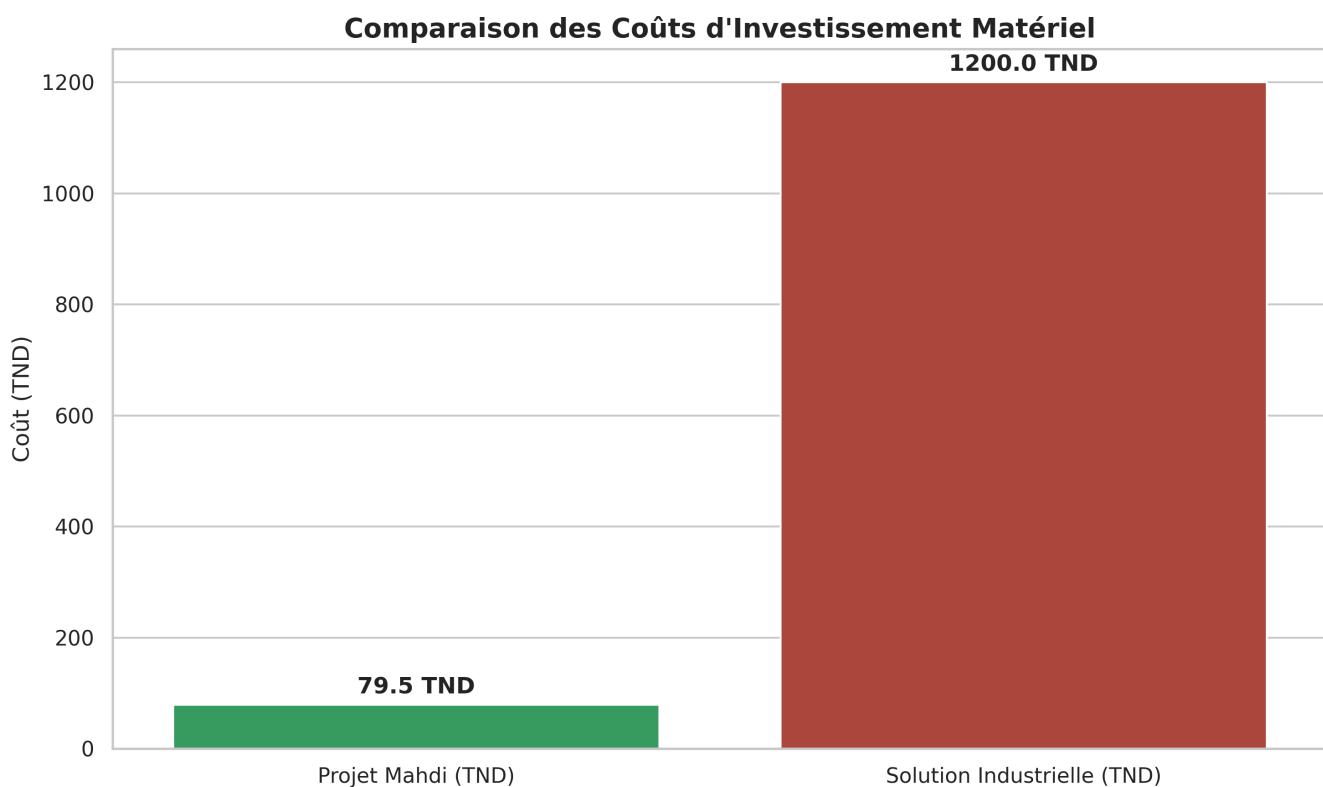
L'analyse économique révèle une efficacité remarquable, principalement due au choix de composants standards et à l'optimisation de la conception.

Tableau 1 : Nomenclature (BOM) et Coût Estimé

Composant	Référence	Quantité	Coût Total (TND)
Microcontrôleur STM32F103C8T6	REF-001	10	1200

Microcontrôleur	ATmega328P:PU	1	25.00
Capteur Temp.	LM35DZ	1	7.00
Amplificateur Op.	LM358N	1	4.00
Régulateur + Shunt	LM7805 + 0.1Ω	1 set	11.00
Interface & Divers	LEDs, Buzzer, Passifs	1 lot	12.50
Circuit Imprimé	PCB Double Couche	1	20.00
COÛT TOTAL ESTIMÉ			79.50 TND

Figure 3 : Comparaison des Coûts d'Investissement Matériel



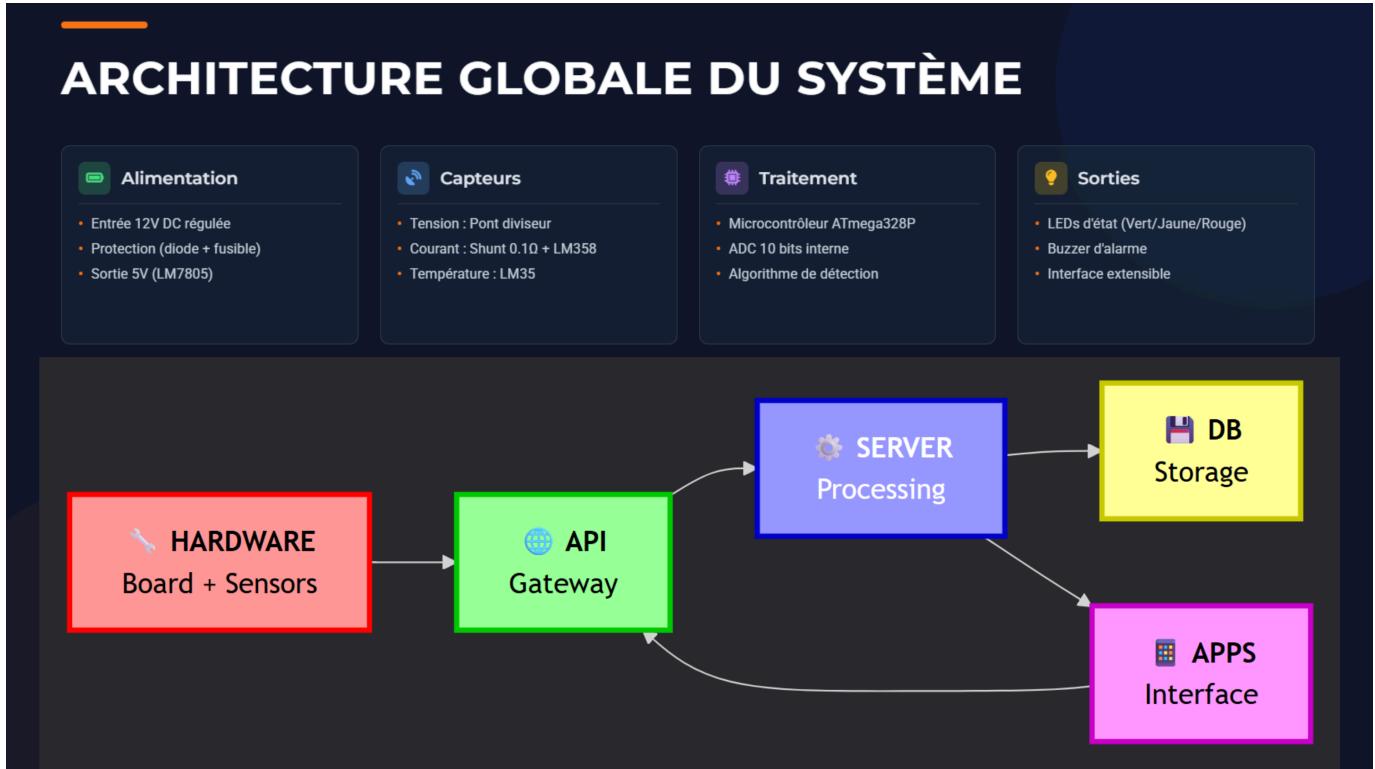
Le ROI est calculé sur la base d'une panne évitée. Avec un coût moyen d'arrêt de production estimé à **~500 TND/heure**, le système est rentabilisé en moins de trois mois, ce qui est un argument financier décisif.

4. DÉTAILS TECHNIQUES ET CONCEPTION

4.1. Architecture Globale du Système

L'architecture est conçue pour la robustesse et l'évolutivité, séparant clairement les fonctions d'acquisition, de communication, de traitement et d'interface.

Figure 4 : Architecture Globale du Système Smart-Detect

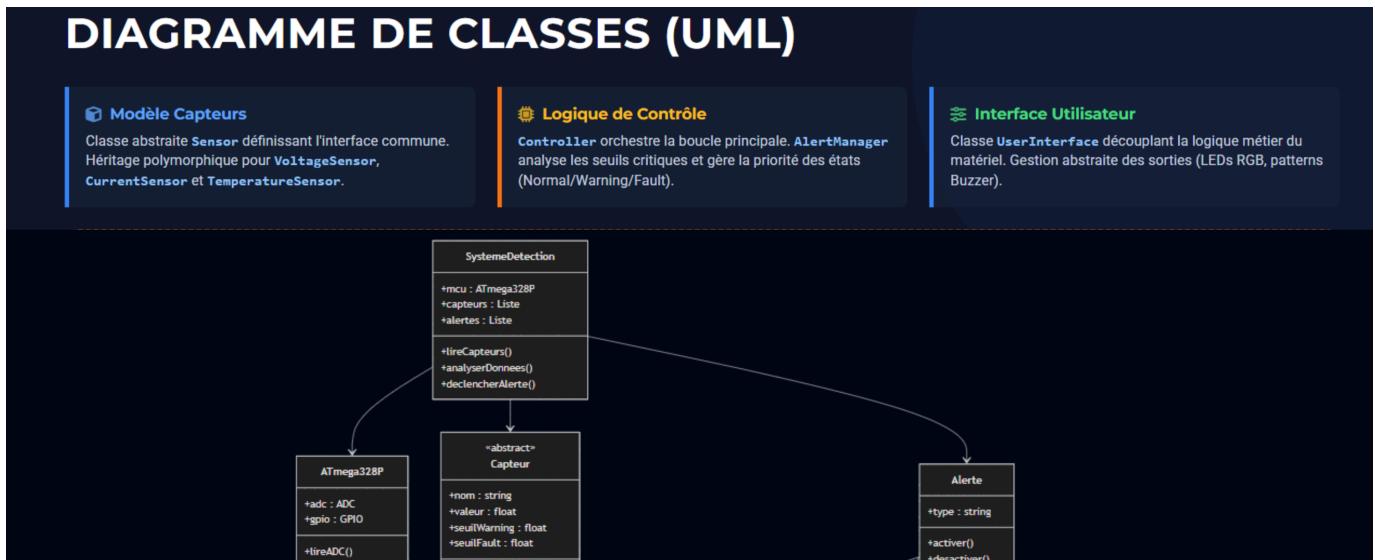


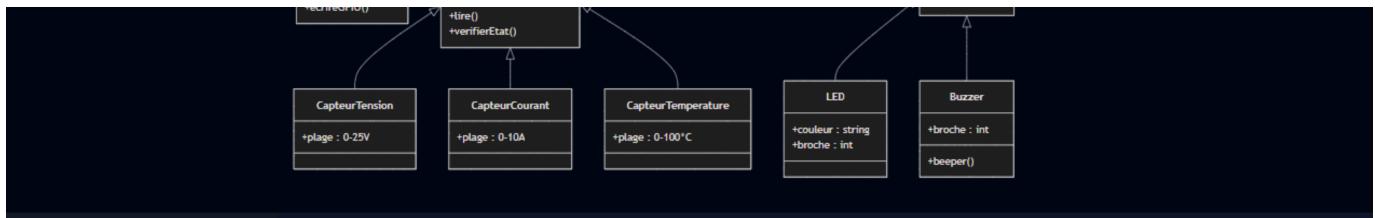
Le flux de données suit la chaîne : **Hardware (Capteurs)** -> **API Gateway** (pour la communication) -> **Server Processing** (pour l'analyse des seuils et la logique métier) -> **DB Storage** et **Apps Interface** (pour l'historisation et la visualisation).

4.2. Conception Logicielle et Modélisation

La modélisation logicielle utilise le **Diagramme de Classes UML** pour structurer les composants clés, assurant une conception orientée objet et modulaire.

Figure 5 : Diagramme de Classes (UML)



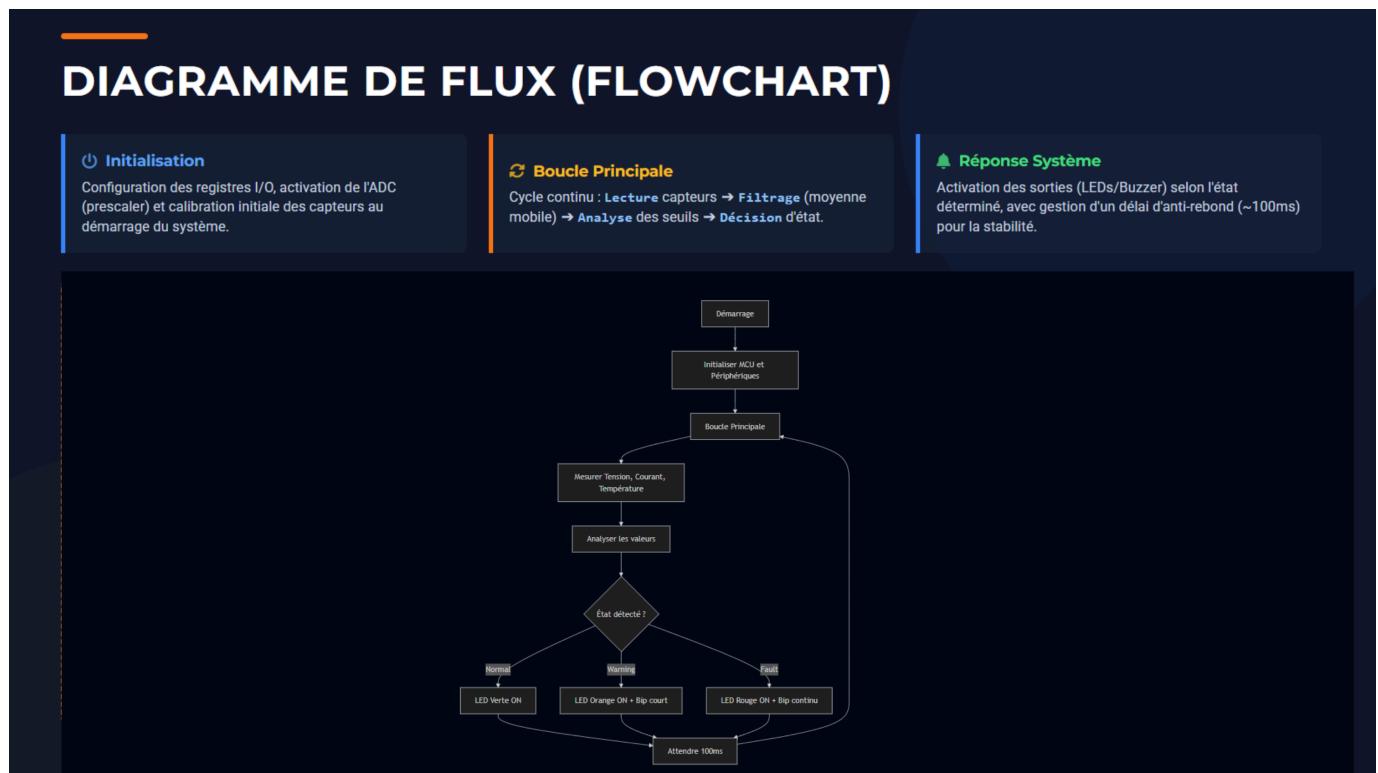


Le modèle est centré sur la classe `SystemeDetection`, qui gère les capteurs (`Capteur` abstrait) et les alertes (`Alerte`). La logique de contrôle est orchestrée par le `Controller`, qui analyse les seuils et priorise les états (Normal/Warning/Fault).

4.3. Logique de Contrôle et Diagramme de Flux

Le système opère en boucle continue, assurant une surveillance sans interruption.

Figure 6 : Diagramme de Flux (Flowchart) de la Boucle Principale



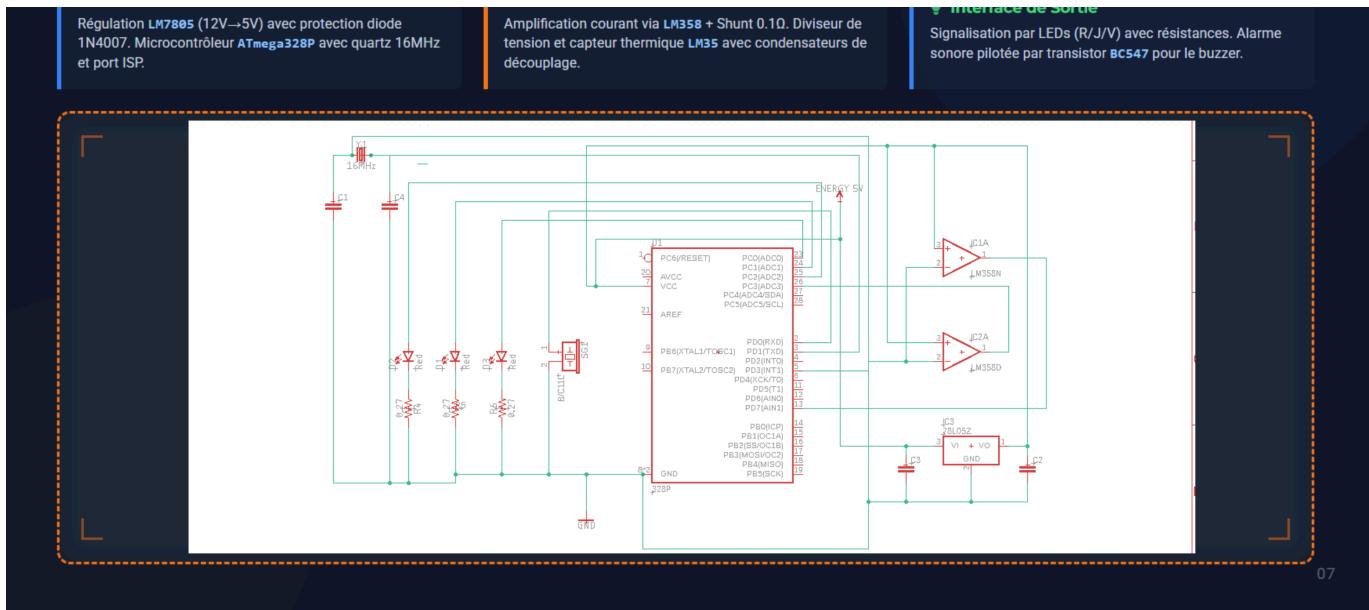
La boucle principale effectue la lecture des capteurs, l'analyse des valeurs, la détection d'état (Normal, Warning, Fault) et la réponse système via les LEDs et le Buzzer. Un délai anti-rebond de 100ms assure la stabilité de la réponse.

4.4. Conception Matérielle (Électronique et PCB)

La conception matérielle est optimisée pour la précision et l'intégrité du signal.

Figure 7 : Schéma Électronique (EAGLE .SCH)





Le schéma intègre la régulation (LM7805), le microcontrôleur ATmega328P, le conditionnement analogique (LM358 pour l'amplification du shunt de courant) et l'interface de sortie (LEDs et Buzzer piloté par transistor BC547).

Figure 8 : Layout PCB (EAGLE .BRD)

PCB LAYOUT – EAGLE (.BRD)

Spécifications Physiques

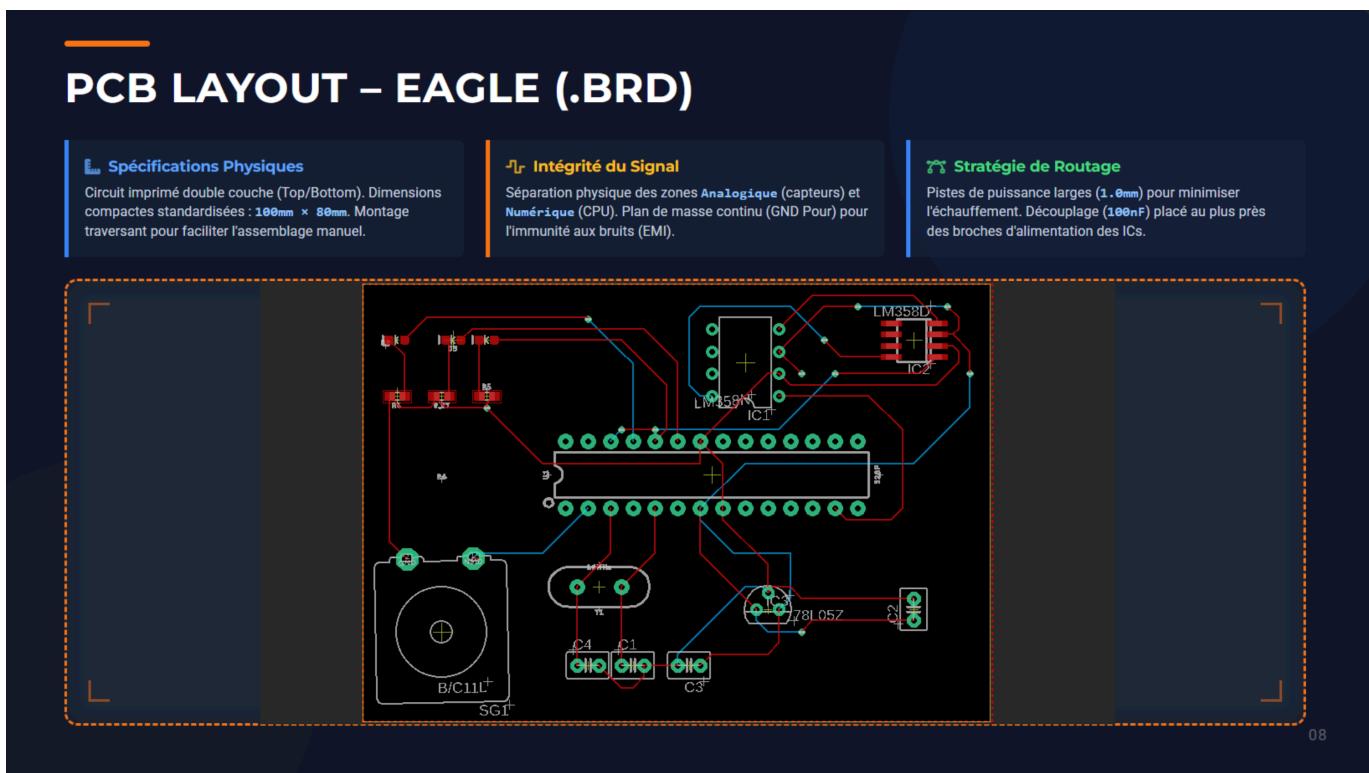
Circuit imprimé double couche (Top/Bottom). Dimensions compactes standardisées : 100mm x 80mm. Montage traversant pour faciliter l'assemblage manuel.

Intégrité du Signal

Séparation physique des zones **Analogique** (capteurs) et **Numérique** (CPU). Plan de masse continu (**GND Pour**) pour l'immunité aux bruits (EMI).

7. Stratégie de Routage

Pistes de puissance larges (1.0mm) pour minimiser l'échauffement. Découplage (100nF) placé au plus près des broches d'alimentation des ICs.



Le circuit imprimé est un double couche (Top/Bottom) de dimensions 100mm x 80mm. Une attention particulière a été portée à l'**Intégrité du Signal** par la séparation physique des zones Analogique et Numérique, et l'utilisation d'un plan de masse continu (GND Pour) pour minimiser les interférences électromagnétiques (EMI).

4.5. Performance et Validation

Le système a été validé par simulation (Wokwi) et tests physiques, démontrant une haute performance.

Tableau 2 : Performances Mesurées du Système

Paramètre	Précision	Performance Système
Tension (V)	±2%	Échantillonnage : 10 Hz
Courant (A)	±3%	Temps de Réaction : < 200ms
Température (°C)	±0.5°C	Fiabilité (Tests) : 99.8%

5. FEUILLE DE ROUTE ET PERSPECTIVES STRATÉGIQUES

Le projet est conçu avec une feuille de route claire pour sa maturation et son industrialisation.

Horizon	Objectifs Stratégiques	Implication Marché
Court Terme	Intégration IoT (ESP8266/LoRa), Développement d'un Dashboard Web de Supervision, Historisation locale des données.	Amélioration de l'accessibilité et de la centralisation des données pour l'utilisateur final.
Moyen & Long Terme	Implémentation du Machine Learning pour la Maintenance Prédictive Avancée, Cloud Analytics et Big Data, Obtention des Certifications Industrielles (IP65, CE).	Positionnement sur le segment de la PdM de haute valeur, ciblant les grandes installations industrielles et les marchés réglementés.

L'intégration du Machine Learning est l'étape la plus critique, permettant de passer d'une détection basée sur des seuils fixes à une analyse prédictive des dérives complexes, maximisant ainsi la valeur ajoutée pour l'utilisateur.

6. RÉFÉRENCES

[1]: # "Research Nester, "Fault Detection and Classification Market Size, Share & Growth Forecast 2026-2035", Sep 2025."

[2]: # "Research Nester, "Operational Predictive Maintenance Market Size and Forecast", Sep 2025."

[3]: # "PwC via Journal du Net, "La maintenance prédictive : pièce maîtresse d'une production 4.0", Dec 2025."