



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE – ANNABA

Département Génie Industriel

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme d'INGÉNIEUR D'ETAT

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance et Fiabilité des Systèmes Industriels

Présenté par

ZINEB ALLIOUCHE
AMEL BOUNOUARA

AMELIORATION DES PERFRMANCES ET DE MA SECUIRTE DES GRUES PAR L'AUTOMATISATION : SURVEILLANCE, MAINTENANCE PREDICTIVE ET INTERFACE UTILISATEUR

Encadré par

Dr. Adel DJELLAL
ENSTI Annaba

Membres du jury :

Pr. Messaoud DJEGHABA	Président	ENSTI-Annaba
Dr. Noureddine KHELIFA	Examineur	ENSTI-Annaba
Dr. Faouzi BOUCHARB	Examineur	ENSTI-Annaba

Année 2025

Remerciements

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la force, la patience et la santé nécessaires pour accomplir ce travail.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, monsieur **Adel.Djellal**, pour ses conseils précieux, son suivi constant et sa disponibilité. Son accompagnement a été essentiel tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie également madame **Smili.Karima** et monsieur **Djemana.Mohamed** pour leur aide, leur soutien et leurs remarques pertinentes qui m'ont beaucoup aidée pendant cette période.*

Je remercie l'ensemble des enseignants du département de Génie Industriel GI de l'École Nationale Supérieure de Technologie Industrielle ENSTI, pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont transmis tout au long de mon parcours.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance envers l'entreprise Portuaire Skikda, qui m'a accueillie durant mon stage et m'a permis d'appliquer mes connaissances dans un cadre professionnel concret et enrichissant.

Enfin, je dédie ce travail à ma famille, pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse mes sincères remerciements

Dédicace

*À mon père, **Noureddine**,*

Mon rocher, mon premier héros ta sagesse m'a construit, ta patience m'a guidé.

Merci d'être le pilier qui ne tremble jamais.

*À ma mère, **Malika**,*

Mon amour, ma guerrière ton rire est ma mélodie ton courage, ma force.

Tu es le soleil qui éclaire même mes nuits.

*À mes sœurs, **Safa et Farah**,*

***Safa**, mon modèle et ma douce guerrière,*

ta détermination m'enseigne la persévérance ta force tranquille défie l'impossible.

***Farah**, mon étoile brillante,*

ma pureté et ma joie ton audace m'inspire, ta sagesse devance ton âge

*À mon frère, **Boubaker**,*

mon frère de sang, mon frère de combat. Merci d'être mon partenaire dans cette aventure.

*À mon ange, **Djawed**, mon petit frère, ma pureté.*

Ton innocence est mon rappel ton amour, mon trésor. Tu es la douceur qui adoucit mes jours.

À ma famille élargie,

Tantes, oncles, cousins...

Vous êtes les branches de mon arbre, chacun de vous a tissé mon histoire.

Merci pour cette toile d'amour inconditionnel.

*À **Zineb**, mon partenaire de travail,*

Mon complice dans les défis,

Merci pour, ta patience quand je doutais, ta créativité qui m'inspirait,

À mes amis,

Sabrina, Amel, Loubna, Douaa, Rayane, Ouarda et Mouna

Ma famille du cœur. Vous avez séché mes larmes, Célébré mes victoires.

Merci d'être là, sans masque, sans filtre.

BOUNOUARA Amel

Dédicace

À ma chère mère,

qui a assumé les rôles de mère et de père avec un amour et des sacrifices inestimables. Tu as été mon soutien et mon pilier à chaque instant.

Je te dédie ce travail en reconnaissance de ta bonté et de ton immense amour.

À ma seule sœur, Meriem,

ma complice, mon soutien et mon amie fidèle.

Merci d'être toujours à mes côtés.

Ce travail t'est dédié avec tout mon amour.

À Nala et Socar,

mes compagnons fidèles et sources de joie quotidienne.

Merci délayer mes journées par votre présence.

À ma binôme,

Merci pour cette belle collaboration fondée sur la complicité, l'entraide et la persévérance. Ton soutien a transformé ce projet en une aventure humaine inoubliable

À ma meilleure amie, Kamar,

ta présence lumineuse, ton écoute, ton soutien et ton amitié sincère ont été précieux tout au long de ce parcours.

Merci d'avoir cru en moi, même dans les moments les plus difficiles.

Ce travail t'est dédié avec toute mon affection et ma reconnaissance.

À ma famille,

Merci pour votre amour, votre soutien et votre présence à chaque étape.

Ce travail vous est dédié avec tout mon cœur.

ALLIOUCHE ZINEB

الملخص

هذا المشروع يهدف إلى تصميم نظام تشخيص سريع خاص بالرافعات المينائية القديمة. يتمثل هذا النظام في علبة إلكترونية تحتوي على بطاقة إلكترونية، تقوم باستقبال إشارات الحساسات المرتبطة بالمحرك (مثل الضغط، درجة الحرارة، والسرعة)، ثم تقوم بتضخيم هذه الإشارات وإرسالها إلى لوحة اردوينو

تتولى لوحة اردوينو معالجة هذه الإشارات وتحويلها إلى قيم فيزيائية حقيقية، ثم عرضها مباشرة على شاشة في الوقت الحقيقي، بالإضافة إلى حفظها داخل بطاقة ذاكرة بضيء تلقائيًا عند تجاوز أي قيمة للحد المسموح به، وذلك بهدف كما يتضمن النظام مصباحًا ضوئيًا تنبيه المشغلين إلى وجود خلل محتمل

سمح هذا النظام بالانتقال من التشخيص التقليدي "غير المتصل" إلى نظام مراقبة مباشر في الوقت الحقيقي، مما يساهم في تقليل فترات توقف الرافعة وتحسين جاهزيتها التشغيلي

Résumé

Ce projet vise à concevoir un système de diagnostic rapide destiné aux anciennes grues portuaires. Le système se présente sous la forme d'un boîtier électronique contenant une carte PCB, qui capte les signaux des capteurs reliés au moteur (tels que la pression, la température et la vitesse), les amplifie, puis les transmet à une carte Arduino.

L'Arduino traite ces signaux, les convertit en valeurs physiques réelles, les affiche en temps réel sur un écran, et les enregistre sur une carte mémoire SD. Le système intègre également une LED de signalisation qui s'allume automatiquement lorsque l'une des valeurs dépasse un seuil critique, afin d'alerter les opérateurs.

Ce dispositif permet de passer d'un diagnostic traditionnel « hors ligne » à une surveillance directe en temps réel, ce qui contribue à réduire les temps d'arrêt des grues et à améliorer leur disponibilité opérationnelle.

Abstract

This project aims to design a fast diagnostic system for old port cranes. The system is built into an electronic enclosure containing a PCB board that captures the signals from engine sensors (such as pressure, temperature, and speed), amplifies them, and sends them to an Arduino board.

The Arduino processes these signals, converts them into actual physical values, displays them in real time on a screen, and stores them on an SD memory card. The system also includes a signal LED that automatically lights up when any value exceeds a critical threshold, alerting the operators.

This setup allows a shift from traditional offline diagnostics to real-time monitoring, helping reduce crane downtime and improve overall operational availability.

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise	3
I.1 Introduction :	4
I.2 Présentation :	4
I.2.1 Port de Skikda :	4
I.2.2 Localisation :	4
I.2.3 L'organigramme :	5
I.2.4 Historique :	5
I.2.5 Activité de l'entreprise :	5
I.2.5.1 Le lamanage :	5
I.2.5.2 Avitaillement en eau potable :	5
I.2.5.3 Pilotage :	5
I.2.5.4 Remorquage :	6
I.2.5.5 L'acconage :	6
I.3 Problématique :	6
I.4 Motivation :	6
Chapitre II : Etat de l'art	7
II.1 Introduction	8
II.2 Grue portuaire mobile HMK 170 E.....	8
II.2.1 Analyse technique :	8
II.2.2 Caractéristiques de fonctionnement	8
II.3 Moteur diesel MAN	9
II.4 Calculateur moto mètre	9
II.5 Le diagnostic :	9
II.5.1 ISHIKAWA (Digramme de cause et effet)	10
II.6 Conclusion.....	10
Chapitre 03 : Solutions proposées et expérimentation	11
III.1 Introduction :	12
III.2 Diagramme Ishikawa :	12
III.3 Solution proposée :	14
III.3.1 La carte proposée :	14
III.3.1.1 Amplificateur TL 081 CP :	14
III.3.1.2 Principe de fonctionnement de la carte proposé :	14
III.3.1.3 Calcul de gain et choix de résistance :	15

III.3.2	Arduino UNO :.....	17
III.3.3	Afficheur LCD20x4 :	18
III.3.4	Adaptateur de micro-carte SD :.....	18
III.3.5	Câblage d'Arduino :.....	18
III.4	L'organigramme :	20
III.5	Conclusion :.....	20
	Chapitre 04 : Evaluation des résultats et conception de prototype	21
IV.1	Introduction :.....	22
IV.2	Schéma de câblage pour carte PCB :	22
IV.3	Carte PCB :.....	22
IV.4	Boitier avec SOLIDWORKS :.....	24
IV.5	Câblage des composants :	25
IV.6	Évaluation des résultats :.....	26
IV.7	Recommandation pour la maintenance prédictive	28
IV.8	Résultats attendus :.....	28
IV.8.1	Affichage en temps réel des grandeurs physiques :	28
IV.8.2	Système d'alerte par LED en cas de dépassement de seuil.....	28
IV.8.3	Enregistrement automatique des données	28
IV.8.4	Facilitation du diagnostic technique.....	29
IV.8.5	Réduction du temps de maintenance.....	29
IV.9	Proposition a long terme :	29
IV.9.1	Remplacement de la carte Arduino par un microcontrôleur intégré sur la carte PCB : 29	
IV.9.2	Ajout d'un automate programmable avec interface HMI pour les grandes installations : 29	
IV.10	Conclusion :.....	29
	Conclusion Générale.....	31

Liste de figures

FIGURE I-1: POSITION GEOGRAPHIQUE DE L'ENTREPRISE.	4
FIGURE I-2: ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE	5
FIGURE II-1: GRUE PORTUAIRE GOTTWALD HMK 170.....	8
FIGURE II-2:MOTEUR DIESEL MAN D2842 LE201	9
FIGURE II-3:INTERFACE DE CALCULATEUR	9
FIGURE II-4:CALCULATEUR MOTOMETRE.....	9
FIGURE II-5:DIAGRAMME DE CAUSE EFFET	10
FIGURE III-1 : DIAGRAMME ISHIKAWA	13
FIGURE III-2 : AMPLIFICATEUR TL 081 CP	14
FIGURE III-3: SCHEMA ELECTRIQUE DE CARTE POUR UN CAPTEUR.....	15
FIGURE III-4:: CABLAGE PLAQUE D'ESSAI	16
FIGURE III-5: CABLAGE COMPLET D'ESSAI	16
FIGURE III-6: CARTE ARDUINO	18
FIGURE III-7:AFFICHEUR LCD 20x4.....	18
FIGURE III-8: ADAPTATEUR DE MICRO-CARTE SD	18
FIGURE III-9:CABLAGE ARDUINO AVEC MICRO-CARTE SD.....	19
FIGURE III-10:CABLAGE ARDUINO AVEC MICRO-CARTE SD	19
FIGURE IV-1:SCHEMA PCB	22
FIGURE IV-2:CARTE 2D	23
FIGURE IV-3: EMPREINTE DE CARTE	23
FIGURE IV-4:CARTE PCB EN 3D.....	23
FIGURE IV-5:VUE 3D DE BOITIER.....	24
FIGURE IV-6:BOITE SANS COUVRE	24
FIGURE IV-7:VUE DE COUPE D'ASSEMBLAGE.....	25
FIGURE IV-8:CABLAGES DES COMPOSANTS FINALS	25
FIGURE IV-9:CABLAGE PLATINE D'ESSAI FINAL	26
FIGURE IV-10:COURBE DE COURANT	26
FIGURE IV-11:COURBE DE LA TENSION	27
FIGURE IV-12:COURBE DE LA TENSION [0.9-4.5V]	27

Liste de tableaux

TABLEAU III-1: RESULTAT DE COURANT MESURE	17
TABLEAU III-2: RESULTAT DE TENSION MESURE.....	17
TABLEAU IV-1: RESULTAT COURANT.....	26
TABLEAU IV-2 : RESULTATS DE LA TENSION	27
TABLEAU IV-3: RESULTATS DE LA TENSION [0.9-4.5V]	27



Introduction Générale



Le port constitue un maillon fondamental dans le système des échanges commerciaux internationaux. En facilitant les opérations d'importation et d'exportation, il permet la circulation fluide des marchandises entre les pays et contribue ainsi à l'intégration des marchés locaux dans l'économie mondiale. Ce rôle stratégique permet non seulement de dynamiser l'économie, mais également de réduire considérablement les délais et les coûts logistiques.

Parmi les équipements indispensables au bon fonctionnement du port, les grues occupent une place centrale. Elles assurent les opérations de chargement et de déchargement des conteneurs et des marchandises lourdes, avec rapidité et efficacité. Grâce à elles, il est possible de traiter d'importants volumes de manière sécurisée, organisée et dans un temps optimisé. Leur bon fonctionnement a donc un impact direct sur la performance logistique globale.

Cependant, le parc de grues d'un port comprend souvent un mélange de modèles récents et d'autres plus anciens. Ces derniers, bien qu'encore en service, présentent des limites dues à l'usure du matériel et à l'obsolescence de leurs systèmes de commande. C'est notamment le cas de la grue Gottwald HMK 170, qui subit fréquemment des pannes et ralentit ainsi le rythme des activités portuaires.

L'un des problèmes majeurs identifiés dans ces modèles anciens est la lenteur du diagnostic, particulièrement en cas de panne moteur. Cette difficulté est principalement liée à l'absence d'un système d'affichage ou d'enregistrement des grandeurs de fonctionnement telles que la vitesse, la pression et la température. Ce manque de visibilité rend la détection des anomalies difficile et prolonge inutilement la durée d'immobilisation des équipements. L'analyse de l'historique des pannes nous a d'ailleurs permis de confirmer que le moteur est l'élément dont le diagnostic prend le plus de temps, précisément en raison de cette absence d'informations accessibles.

Par ailleurs, les techniciens se trouvent souvent limités dans leurs interventions, car les systèmes internes de ces grues sont verrouillés pour des raisons de sécurité. Il leur est donc difficile, voire impossible, de modifier les programmes de fonctionnement pour y intégrer des solutions d'optimisation ou de surveillance. Cette situation renforce l'idée qu'il est nécessaire de proposer une solution externe, non intrusive, capable de fournir une visibilité en temps réel sur l'état du moteur.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet, qui propose une solution concrète et innovante visant à améliorer la vitesse et l'efficacité du diagnostic. L'idée repose sur la mise en place d'un système de surveillance externe capable de bypasser les capteurs d'origine du moteur pour en extraire les grandeurs essentielles. Ce système permettrait de passer d'un diagnostic hors ligne à un diagnostic en ligne, rendant ainsi l'intervention plus rapide et plus précise.

La solution que nous avons conçue prend la forme d'un boîtier électronique autonome intégrant plusieurs composants. Dans un premier temps, nous avons réalisé une expérimentation

sur une seule grandeur, afin de valider le principe de fonctionnement. Les résultats obtenus ont été satisfaisants, avec une erreur RMSD de seulement 2,5 %. Sur cette base, nous avons développé une carte PCB capable de traiter trois capteurs en simultané : pression, température et vitesse. Les signaux en 4-20 mA issus des capteurs sont amplifiés à une plage de 1 à 5 V, puis envoyés à une carte Arduino.

Cette carte Arduino, préprogrammée, se charge de convertir les signaux en valeurs réelles, de les afficher sur un écran en temps réel, et de les enregistrer sur une carte mémoire SD. Un système d'alerte visuelle est également intégré : lorsqu'une grandeur dépasse un seuil prédéfini, une LED orange s'allume automatiquement pour signaler le risque.

Pour protéger l'ensemble du système et le rendre facilement exploitable en environnement industriel, tous les composants ont été intégrés dans un boîtier compact et sécurisé. Ce boîtier regroupe la carte principale, la carte Arduino, l'écran, la mémoire et les voyants lumineux. Il permet ainsi une installation rapide, une utilisation simple, et une maintenance facilitée.

Grâce à cette solution, les opérateurs pourront gagner un temps précieux lors des diagnostics, réduire les périodes d'arrêt non planifiées, et garantir une meilleure disponibilité des grues portuaires, en particulier celles qui sont les plus anciennes et les plus vulnérables aux défaillances.

Notre mémoire se divise en quatre chapitres :

- Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise
- Chapitre 2 : état de l'art
- Chapitre 3 : Solutions proposées
- Chapitre 4 : valuation, discussion des résultats

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion dans laquelle nous présentons une synthèse des principaux résultats obtenus au cours de notre étude.

Par ailleurs, cette solution représente une base évolutive pouvant être adaptée à des besoins industriels plus larges. Dans les grandes entreprises, où il est nécessaire de surveiller un grand nombre de grandeurs simultanément, le système peut être étendu à l'aide d'un automate programmable (API) connecté à une interface HMI. Cette configuration offrirait une visualisation plus complète, une centralisation des données et un contrôle plus avancé des équipements, tout en conservant les avantages d'un diagnostic rapide, flexible et efficace.



Chapitre I : Présentation de l'entreprise



I.1 Introduction :

Le transport maritime est la corde ombilicale du commerce national, Les infrastructures portuaires et les axes de transit stratégiques du commerce maritime ont favorisé la globalisation et renforcé la connectivité économique mondiale. L'efficacité du système de transport maritime est un facteur déterminant pour la performance économique globale du commerce mondial. Ce processus est étroitement lié aux stratégies déployées par les acteurs de l'industrie du transport. L'Entreprise Portuaire de Skikda (EPS) est un acteur majeur du réseau maritime en Algérie. Dans ce chapitre, on trouvera respectivement la présentation de cette entreprise ainsi que son historique, ses principales activités, la problématique que nous avons choisie d'explorer, et les raisons qui ont motivé le choix de ce thème.

I.2 Présentation :

I.2.1 Port de Skikda :

Le port de Skikda, localisé dans la municipalité de Skikda, est un port marchand qui se compose de deux infrastructures distinctes. Le port antique, d'une étendue de 35 hectares, est principalement affecté au commerce de marchandises et gère annuellement environ 4.500.000 tonnes de marchandises. En revanche, le nouveau port est dédié au transit des produits pétroliers. En plus du terminal à conteneurs, un nouveau port national a été établi après celui d'Arzew. La société portuaire de Skikda, connue sous le nom d'E.P. S, est une entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée (EURL) dont le capital social s'élève à 9.000.000.000 DA, détenu entièrement par le groupe des Services Portuaires-SERPOT. L'organisation de l'entreprise repose sur une seule Direction Générale. Créée le 14 août 1982 en vertu du Décret n° 82-284, la société a fait l'objet d'une modification de ses statuts le 21 mars 1989. [1]

I.2.2 Localisation :

Le port de Skikda occupe une position géographique stratégique sur la littorale méditerranéenne algérienne

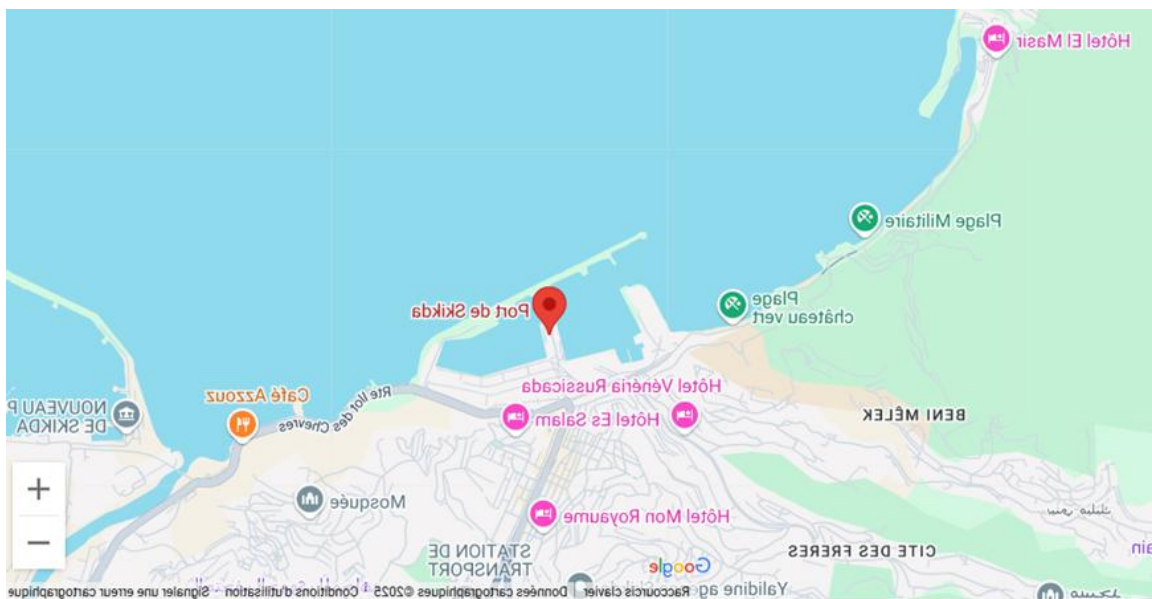


Figure I-1: Position géographique de l'entreprise.

I.2.3 L'organigramme :

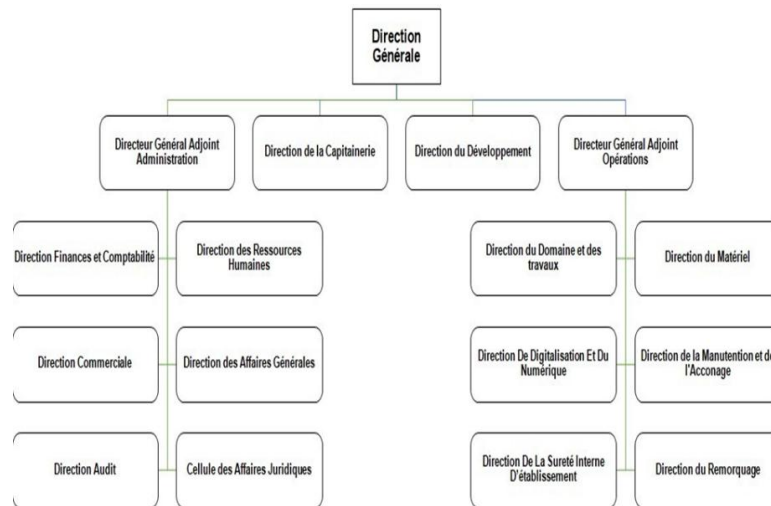


Figure I-2: organigramme de l'entreprise

I.2.4 Historique :

Le port de Skikda édifié pendant la période coloniale est devenu aujourd'hui l'un des fleurons de l'économie nationale et d'un pôle hydrocarbures intégré. Il a été conçu à l'origine pour surmonter le manque de mouillage dans l'anse de Stora. La validation de son plan de construction a été approuvée en 1860, juste après la fondation de la ville. Les travaux ont commencé en 1861 avec l'installation de la grande jetée. Entre 1867 et 1895, on observe un avancement progressif des infrastructures portuaires, à savoir des darses, des digues, des traverses, des quais ainsi que les premières grues portiques. En 1938, le port a été marqué par l'introduction des grues à vapeur, ce qui lui a permis devenir le cinquième port le plus important en Algérie. Après l'accession de l'Algérie à l'indépendance en 1962, le port a connu une période d'expansion significative, marquée par la construction du môle Château Vert en 1965, l'édification d'appontements pétroliers en 1969, l'inauguration du terminal gazier en 1972, ainsi que la mise en service des postes hydrocarbures en 1982. La décennie des années 2000 a été marquée par une phase de modernisation comprenant la construction d'une tour de contrôle en 2001, l'accueil de navires de grande capacité en 2003, la mise en place de bouées offshore en 2005, ainsi que le développement d'un port sec en 2007. Entre 2006 et 2012, des travaux de consolidation des quais du port ancien ont été réalisés afin d'améliorer les infrastructures existantes.

I.2.5 Activité de l'entreprise :

I.2.5.1 Le lamanage :

Le lamanage fait référence aux opérations d'aide lors de l'amarrage et du désamarrage des navires pendant leur arrivée, départ ou manœuvre (changement de position au quai) dans le port.

I.2.5.2 Avitaillement en eau potable :

À la demande du consignataire ou de son mandataire, la société est en mesure d'approvisionner les navires en eau douce ou saline, que cela se déroule à quai ou au mouillage, via divers moyens adaptés

I.2.5.3 Pilotage :

Le pilotage désigne l'aide fournie aux capitaines pour la navigation des navires lors de l'entrée et la sortie des ports, ainsi que dans les ports, rades et eaux intérieures.

I.2.5.4 Remorquage :

Selon le contrat de remorquage, l'armateur s'oblige, moyennant une compensation financière, à réaliser les prestations de remorquage avec l'aide d'un navire.

I.2.5.5 L'acconage :

L'acconage englobe les actions visant à garantir la réception, l'enregistrement et l'identification à terre des cargaisons chargées ou déchargées, ainsi que leur stockage jusqu'à leur embarquement ou leur remise au destinataire.

I.3 Problématique :

Au sein du port de Skikda, la grue portuaire Gottwald constitue un élément stratégique dans les opérations de chargement et de déchargement des marchandises. Elle est équipée d'un moteur diesel, dont le bon fonctionnement est essentiel pour assurer la continuité des activités portuaires. Cependant, l'analyse des interventions de maintenance a révélé que ce moteur est fréquemment sujet à des pannes, certaines nécessitant plusieurs semaines, voire des mois, de réparation. Cette situation impacte fortement la disponibilité de la grue, provoquant des retards dans les opérations et des pertes économiques pour le port.

L'origine principale de ce problème réside dans l'absence d'un système d'affichage en temps réel des paramètres moteurs essentiels (température, pression, vitesse). En cas de dysfonctionnement, les techniciens n'ont accès à aucune information directe sur l'état du moteur, ce qui les oblige à procéder par essais successifs, souvent à l'aveugle. Ce manque de visibilité complique le diagnostic, allonge les délais d'intervention et augmente le risque de détériorer davantage le moteur. De plus, l'emplacement difficile d'accès du moteur rend les contrôles encore plus complexes et chronophages. L'absence de traçabilité historique empêche également toute analyse des tendances ou des signes précurseurs de panne.

I.4 Motivation :

Face à ces difficultés, il est devenu essentiel de développer une solution simple, fiable et autonome pour surveiller les grandeurs clés du moteur. L'objectif est de permettre aux techniciens de visualiser rapidement l'état du moteur, de détecter les anomalies dès leur apparition, et de faciliter l'identification des pannes. Ce projet vise donc à améliorer la réactivité des équipes de maintenance, réduire les temps d'arrêt de la grue, et renforcer l'efficacité globale des opérations portuaires. En mettant en place un système de lecture, d'affichage et d'enregistrement des données moteur, nous contribuons à une maintenance plus préventive, mieux organisée et adaptée aux contraintes du terrain.



Chapitre II : Etat de l'art



II.1 Introduction

Les grues portuaires sont des dispositifs cruciaux pour garantir la manipulation des marchandises dans les ports. Elles offrent la possibilité de déplacer divers types de charges de manière rapide et efficace. Ce chapitre est dédié à la grue HMK 170 E. Nous y détaillerons ses spécifications techniques, son moteur fonctionnant au diesel et les instruments de diagnostic employés pour examiner ses pannes, notamment la technique Ishikawa.

II.2 Grue portuaire mobile HMK 170 E

La grue HMK 170 E de Gottwald est une grue portuaire mobile. Elle est polyvalente. Elle est conçue pour la manutention de conteneurs, de vrac, de marchandises générales et de charges lourdes. Elle peut soulever jusqu'à 63 tonnes. On l'équipe de dispositifs de levage motorisés, de grappins et de spreaders.

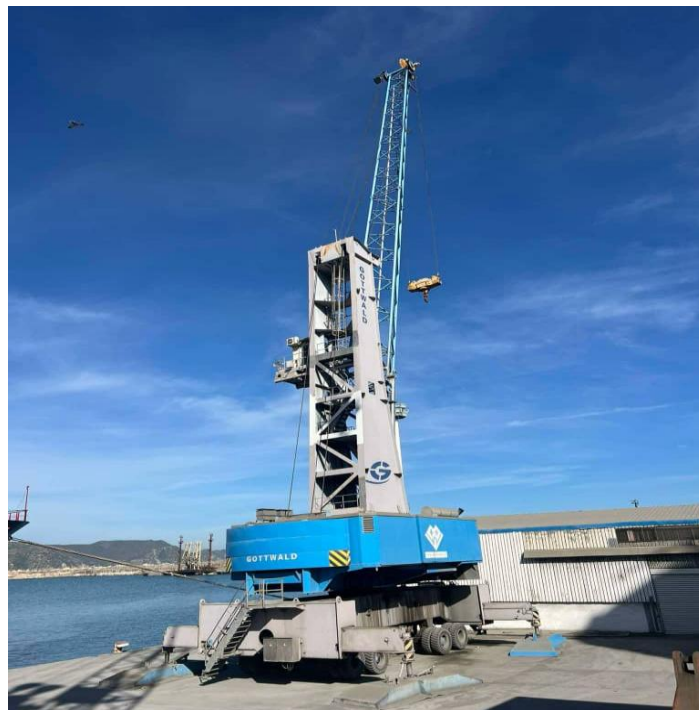


Figure II-1: Grue portuaire Gottwald HMK

II.2.1 Analyse technique :

La grue est dotée d'une capacité de levage pouvant atteindre 63 tonnes et d'une portée maximale de 56 mètres. Sa technique de stabilisation en H en fait un choix parfait pour les espaces restreints comme les quais. Un moteur diesel-électrique économe en énergie et peu polluant a été intégré au modèle. Une source d'alimentation externe peut être connectée pour minimiser encore plus les émissions et le bruit. Grâce à sa conception modulaire, l'entretien est facilité.

II.2.2 Caractéristiques de fonctionnement

La grue présente des performances impressionnantes. Sa vitesse de levage est de 78 mètres par minute. Sa vitesse de rotation est de 1,4 tour par minute. Elle offre une hauteur de levage de 36 mètres au-dessus du sol, mais aussi de 12 mètres en dessous. Il pèse environ 240 tonnes en tout.[2]

II.3 Moteur diesel MAN

Le moteur Diesel MAN, un moteur à combustion interne conçu par Rudolf Diesel, utilise le gazole comme carburant et se distingue par une pression de fonctionnement élevée qui favorise l'auto-allumage. Industriellement conçu en 1896 par la Maschinenfabrik Augsburg (MAN) et Krupp, cet appareil se démarque par son efficacité énergétique élevée, sa puissance considérable et sa fiabilité, le rendant incontournable dans les secteurs du transport maritime, industriel et terrestre.[3]



Figure II-2: Moteur diesel man d2842 LE201

II.4 Calculateur moto mètre

Un calculateur monomètre dans le cadre d'une grue à moteur diesel est un appareil électronique ou électromécanique conçu pour recevoir, mesurer et afficher les signaux transmis par les capteurs du moteur. Il interprète ces signaux et les transforme en données compréhensibles, donnant à l'opérateur la possibilité de veiller au bon fonctionnement général en temps réel et de garantir la sûreté du moteur.



Figure II-4: calculateur Motomètre



Figure II-3: Interface de calculateur

II.5 Le diagnostic :

Dans l'industrie, le diagnostic est défini comme l'ensemble des actions visant à évaluer un procédé ou un système, et à identifier la cause probable des défaillances à l'aide d'un raisonnement logique, fondé sur des informations issues d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test de fonctionnement.[4]

Il existe plusieurs outils de diagnostic comme

- Diagramme d'Ishikawa
- La méthode des 5 pourquoi
- L'analyse Pareto
- L'AMDEC
- L'arbre des causes.

Dans notre travail on utilise la méthode Ishikawa, permet une visualisation claire et structurée des différentes causes possibles d'un problème

II.5.1 ISHIKAWA (Diagramme de cause et effet)

La méthode 5M est un outil d'analyse utilisé pour identifier et illustrer de façon synthétique les diverses origines possibles d'un problème. C'est le professeur Kaoru Ishikawa (1915-1989) qui l'a conçue, d'où son nom « Méthode d'Ishikawa ». La technique d'Ishikawa se sert d'un diagramme en forme de poisson pour illustrer de façon organisée la relation entre les causes et leurs conséquences. Ishikawa regroupe les diverses causes d'un problème en cinq catégories principales (5M).[5]

- ✓ **Matière**
- ✓ **Milieu**
- ✓ **Méthodes**
- ✓ **Matériel**
- ✓ **Main d'œuvre**

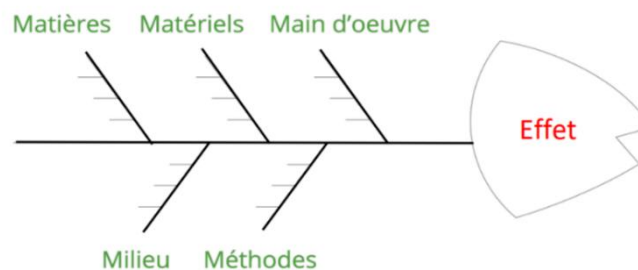


Figure II-5:diagramme de cause effet

II.6 Conclusion

Ce chapitre nous a offert une meilleure compréhension de la grue HMK 170 E, de son moteur diesel et calculateur et des outils de diagnostic associés. Ces aspects sont essentiels pour comprendre le contexte technique de notre projet. Leur présentation sert à faciliter l'accès à la continuité de notre travail et à établir les fondations pour une analyse détaillée.



Chapitre 03 : Solutions proposées et expérimentation



III.1 Introduction :

Dans le cadre de l'amélioration de la maintenance et du diagnostic des pannes moteur, une étude approfondie a été menée afin d'identifier les principales sources de dysfonctionnement. L'analyse de l'historique des interventions a mis en évidence que le moteur diesel est l'élément présentant le taux de défaillance le plus élevé, avec des durées de réparation souvent longues et pénalisantes. Cette situation s'explique en grande partie par l'absence d'un affichage en temps réel des paramètres critiques du moteur, tels que la température, la pression et la vitesse, rendant les opérations de diagnostic imprécises et chronophages. Pour répondre à cette problématique, nous avons étudié différentes solutions, dont la modification de la programmation de l'automate. Cependant, la non-disponibilité d'un bus de communication CAN dans le calculateur nous a conduit à écarter cette option. C'est dans ce contexte qu'une solution alternative a été développée, reposant sur la mise en place d'un système de contournement des capteurs afin de récupérer et d'exploiter les données de fonctionnement en temps réel via une carte Arduino, un écran LCD et un système d'enregistrement sur carte SD. Le présent chapitre détaille cette solution, son principe de fonctionnement, ainsi que les essais réalisés pour valider sa faisabilité.

À la suite de l'analyse de l'historique des pannes, nous avons constaté que le moteur diesel est l'élément qui tombe le plus souvent en panne, avec des durées de réparation qui peuvent s'étendre sur plusieurs mois. Face à ce constat, une enquête a été menée avec les ingénieurs afin de mieux comprendre les raisons de ces dysfonctionnements répétés. Les résultats obtenus à travers cette enquête nous ont permis de dégager une vision claire de la situation, ce qui a servi de base à l'analyse approfondie présentée par la suite.

III.2 Diagramme Ishikawa :

L'absence d'affichage direct des valeurs essentielles sur l'interface place l'opérateur dans une situation d'incertitude : il ne sait ni par où commencer, ni où se situe précisément la défaillance. Cela conduit souvent à une perte de temps à tester plusieurs hypothèses au hasard. La situation devient encore plus complexe lorsque le moteur ou le composant concerné est installé dans un emplacement difficile d'accès, obligeant le technicien à fournir un effort supplémentaire pour y accéder. L'utilisation de plusieurs appareils, faute d'un outil centralisé, complique davantage l'obtention des informations nécessaires. De plus, l'absence d'enregistrement des données ou événements passés empêche toute forme de retour d'expérience. Les méthodes de travail diffèrent également selon les techniciens, en l'absence de standardisation ou de base commune de connaissances. La compréhension des codes d'erreur reste limitée à quelques personnes, tandis que la majorité ne bénéficie pas de formation récente. Enfin, la documentation disponible est souvent obsolète, peu claire, ou contient des messages trop génériques pour apporter une réelle orientation lors des interventions. Tous ces éléments réunis nuisent à la fluidité et à l'efficacité des actions menées sur le terrain

Le diagramme de Ishikawa ci-dessous offre une analyse de cette situation en exposant les diverses origines potentielles, puis en les disposant pour cerner ce qui a véritablement entraîné le souci principal

Après analyse, nous avons constaté que le principal problème lié au fonctionnement de notre moteur réside dans l'affichage des données et la surveillance en temps réel des grandeurs essentielles telles que la température, la pression et la vitesse. Afin de remédier à cette limitation, nous avons envisagé dans un premier temps de modifier la programmation de

l'automate pour permettre l'acquisition et l'affichage de ces paramètres. Cependant, cette solution s'est révélée non réalisable, car le calculateur utilisé ne dispose pas d'un bus de communication CAN intégré, indispensable pour la transmission des données capteurs. Face à cette contrainte, nous avons été amenés à abandonner cette première approche. En alternative, nous avons proposé une solution basée sur le contournement (bypass) des signaux des capteurs.

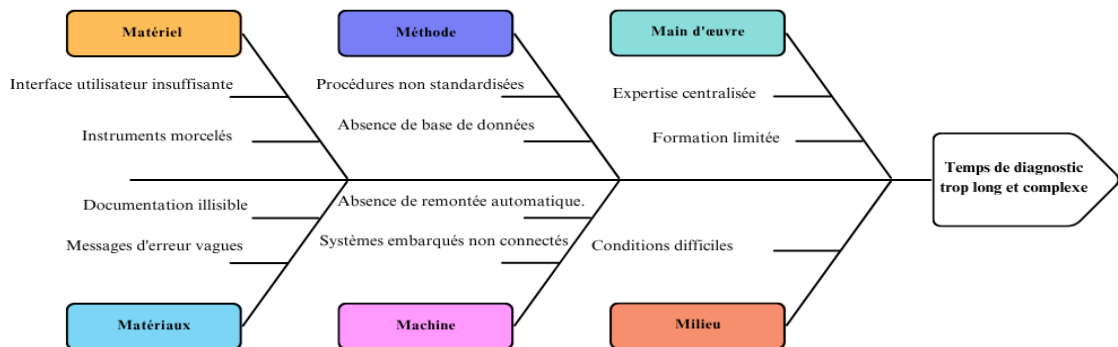


Figure III-1 : Diagramme ISHIKAWA

Après analyse, nous avons constaté que le principal problème lié au fonctionnement de notre moteur réside dans l'affichage des données et la surveillance en temps réel des grandeurs essentielles telles que la température, la pression et la vitesse. Afin de remédier à cette limitation, nous avons envisagé dans un premier temps de modifier la programmation de l'automate pour permettre l'acquisition et l'affichage de ces paramètres. Cependant, cette solution s'est révélée non réalisable, car le calculateur utilisé ne dispose pas d'un bus de communication CAN intégré, indispensable pour la transmission des données capteurs. Face à cette contrainte, nous avons été amenés à abandonner cette première approche. En alternative, nous avons proposé une solution basée sur le contournement (bypass) des signaux des capteurs.

III.3 Solution proposée :

Pour résoudre le problème d'affichage des paramètres importants (vitesse, température et pression) qui aide au diagnostic, nous avons trouvé une solution. Nous proposons de créer un circuit qui contourne un capteur à l'aide de résistances et d'un amplificateur. Ce circuit sera connecté à une carte Arduino programmée, un lecteur de carte mémoire et un afficheur LCD. Les sorties de carte après le bypass sont les entrées de l'Arduino pour afficher les grandeurs sur le LCD et enregistrer les données dans un fichier Excel présent sur la carte mémoire.

III.3.1 La carte proposée :

III.3.1.1 Amplificateur TL 081 CP :

TL081 est un circuit intégré d'amplificateur opérationnel à grande vitesse composé d'un JFET haute tension et d'un transistor bipolaire. Il a des courants de polarisation d'entrée faibles, une tension de décalage d'entre réduite et des vitesses de balayage élevées. De plus, il est compatible avec les broches du circuit intégré LM741 et est utilisé dans l'électronique et les ordinateurs, etc. De plus, la plage de ses opérations est compatible avec les applications de plage de tension différentielle et en mode commun.[6]



Figure III-2 : Amplificateur TL 081 CP

III.3.1.2 Principe de fonctionnement de la carte proposé :

Cette carte fonctionne sur le principe de transformer un signal courant (4-20 mA), produit par les capteurs industriels, en une tension (1-5 V) qui sera compatible avec la lecture de la carte Arduino. Ce travail peut être divisé en deux phase.

Phase1 Conversion Courant-Tension (4-20 mA → 40-200 mV) : Une résistance de 10 ohms est disposée en série avec le signal. D'après la loi d'Ohm ($V = R \times I$), cette résistance transforme le courant en une diminution de tension :

Lorsqu'elle est à 4 mA :

$$V = 10 \Omega \times 0,004 \text{ A} = 40 \text{ mV}$$

Avec un courant de 20 mA :

$$V = 10 \Omega \times 0,020 \text{ A} = 200 \text{ mV}$$

Phase2 amplification du Signal (40-200 mV → 1-5 V) : Pour adapter la tension à une gamme compatible avec l'Arduino (0-5 V), un amplificateur opérationnel (AOP) configuré en tant qu'amplificateur non-inverseur est employé. L'amplification du signal de l'AOP est réalisée pour transformer les 40-200 mV en 1-5 V, garantissant ainsi une relation linéaire entre le signal d'entrée et la sortie.

III.3.1.3 Calcul de gain et choix de résistance :

Le gain en tension est le rapport entre la tension de sortie (V_{out}) et la tension d'entrée (V_{in}) :

$$Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- V_{out} : tension de sortie
- V_{in} : tension d'entrée
- R_2 : résistance de sortie
- R_1 : résistance d'entrée

$$Gain = \frac{1}{0.04} = 25$$

$$25 = 1 + \frac{R_2}{1K\Omega}$$

$$24 = \frac{R_2}{1K\Omega} \Leftrightarrow R_2 = 1K\Omega \times 24 = 24K\Omega$$

On a estimé la résistance en $25K\Omega$

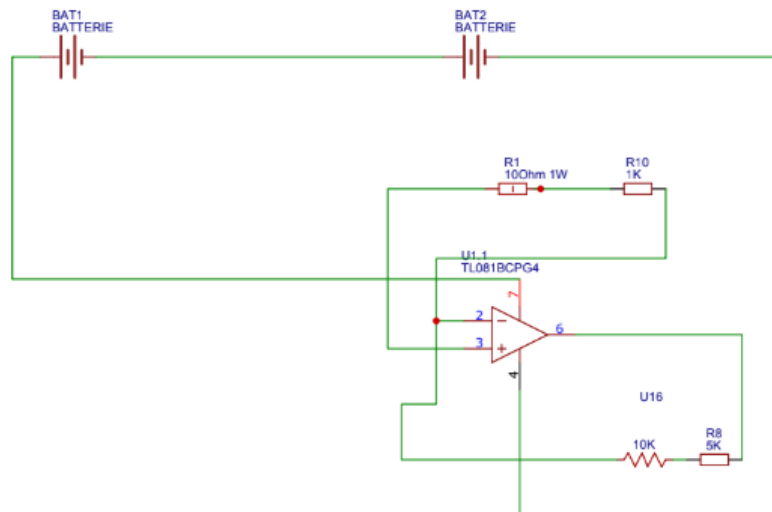


Figure III-3: schéma électrique de carte pour un capteur

Le schéma dans la figure III-3 détaille le fonctionnement de notre carte. Pour vérifier sa faisabilité, nous effectuerons un test en utilisant une carte d'essai et une résistance. Nous substituerons la sortie du capteur par une tension produite par un générateur de tension. Cette tension sera ensuite dirigée à travers une résistance de 1k afin de la transformer en courant, qui

représente normalement le signal émis par notre capteur. Nous procéderons au câblage des résistances et de l'amplificateur comme illustré dans le schéma.

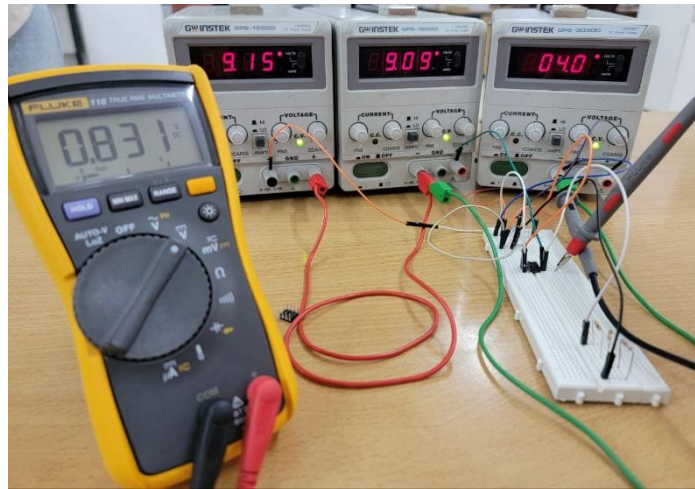


Figure III-4:: câblage plaque d'essai

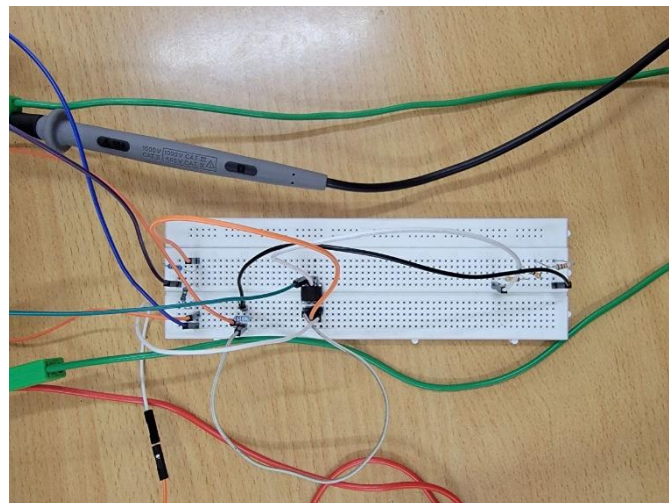


Figure III-5: câblage complet d'essai

L'objectif de cet essai est de mesurer le courant généré par le dispositif global (générateur et résistance) à l'aide d'un ampèremètre, et la tension amplifiée grâce à un voltmètre.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux ci-après :

Tension générer (4-20 V)	Courant mesuré (4-20 mA)
4	4,06
6	5,99
8	8,05
10	10,02
12	12,07
14	14,16
16	16,16
18	18,12
20	19,8

Tableau III-1: résultat de courant mesuré

Tension générer (4-20 V)	Tension mesuré (1-5 V)
4	0,895
6	1,334
8	1,806
10	2,232
12	2,524
14	2,949
16	3,401
18	3,909
20	4,511

Tableau III-2: résultat de tension mesuré

Comme mentionné précédemment, ces résultats proviennent des entrées analogiques de la carte Arduino qui vont traiter cette tension pour la convertir en la grandeur réelle de notre capteur.

III.3.2 Arduino UNO :

C'est une carte microcontrôleur fondée sur l'ATmega328P (fiche technique). Elle est équipée de 14 interfaces numériques (dont 6 sont capables de fonctionner comme sorties PWM), 6 interfaces analogiques, un résonateur céramique de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), une connexion USB, un port d'alimentation, un connecteur ICSP ainsi qu'un bouton de redémarrage. Ceci englobe tout ce qui est essentiel pour l'opération du microcontrôleur ; un simple branchement à un PC via USB ou une alimentation par adaptateur CA/CC ou batterie suffit pour le mettre en marche. [7]

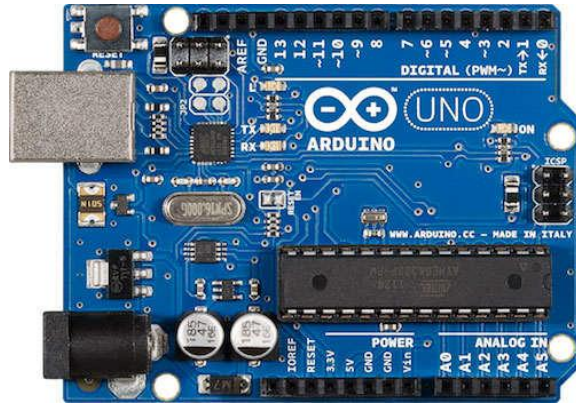


Figure III-6: Carte Arduino

III.3.3 Afficheur LCD20x4 :

L'écran LCD 20x4 est capable d'afficher simultanément 4 lignes comportant chacune 20 caractères. Les caractères sont de couleur blanche et le fond de l'écran est bleu. Cela le rend aussi lisible dans l'obscurité. On peut ajuster le contraste. Avec le module I2C pré-soudé, la nécessité en termes de ports IO est réduite. Il est aisé de brancher l'écran à un Arduino. L'écran est contrôlé par 4 fils : GND, VCC, SDA, SCL. [8]



Figure III-7:Afficheur LCD 20x4

III.3.4 Adaptateur de micro-carte SD :

Une carte Micro SD Adapter est un petit dispositif qui permet de connecter une carte Micro SD à un ordinateur ou à un Arduino ou un autre appareil qui ne dispose pas d'un port pour carte Micro SD. Elle est très utile pour transférer et enregistrer des fichiers dans différents appareils.[9]



Figure III-8: Adaptateur de micro-carte SD

III.3.5 Câblage d'Arduino :

Pour afficher les données, nous allons connecter la carte Arduino à un écran LCD 20x4. Nous allons connecter la carte Arduino à un écran LCD 20x4. Chaque ligne sera utilisée pour

représenter une valeur : la première pour la température, la deuxième pour la pression, et la troisième pour la vitesse. La dernière ligne servira à afficher le nom du fichier Excel actif. De plus, nous allons également relier l'Arduino à un adaptateur de micro-carte SD afin de créer un fichier Excel et d'enregistrer les valeurs des trois grandeurs chaque 1 s. Si nous appuyons sur le bouton Reset de l'Arduino, le fichier Excel actuel sera enregistré et un nouveau fichier Excel s'ouvrira. Nous ajouterons aussi trois LED jaunes qui s'allumeront si une valeur dépasse un seuil, indiquant qu'il y a eu une erreur au seuil dans le passé, même si cette valeur diminue par la suite.

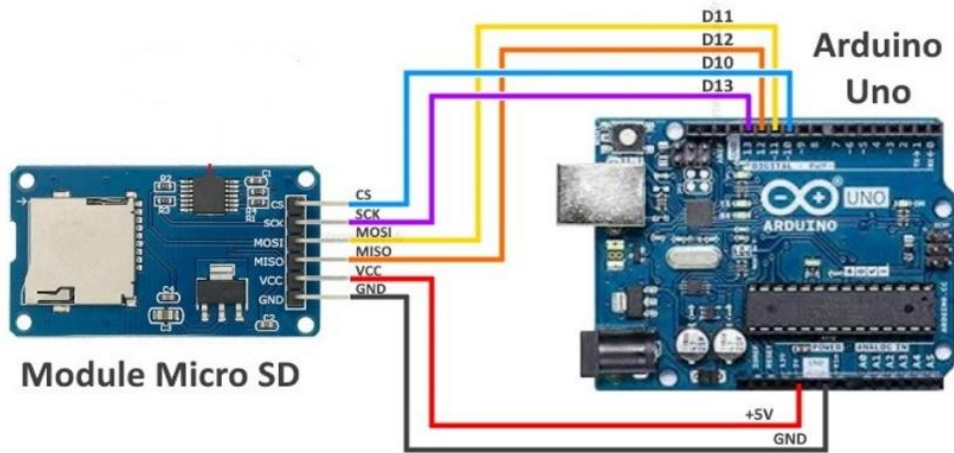


Figure III-9: Câblage Arduino avec micro-carte SD

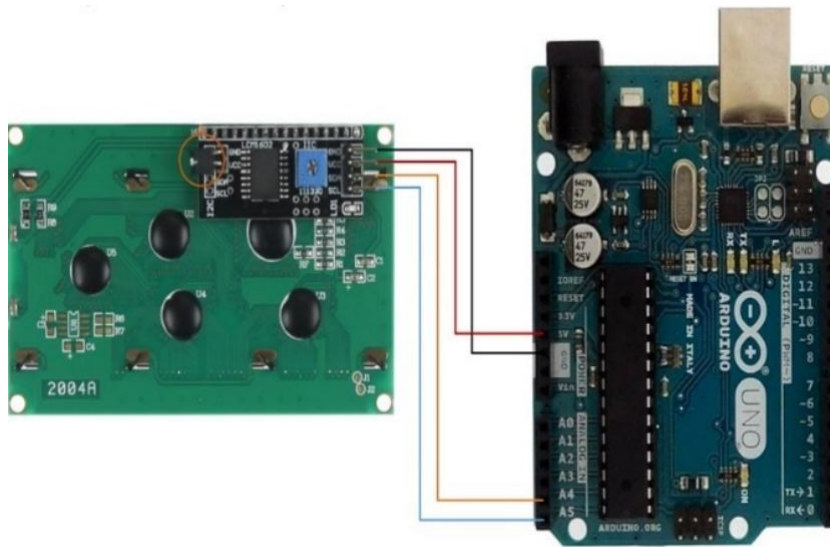
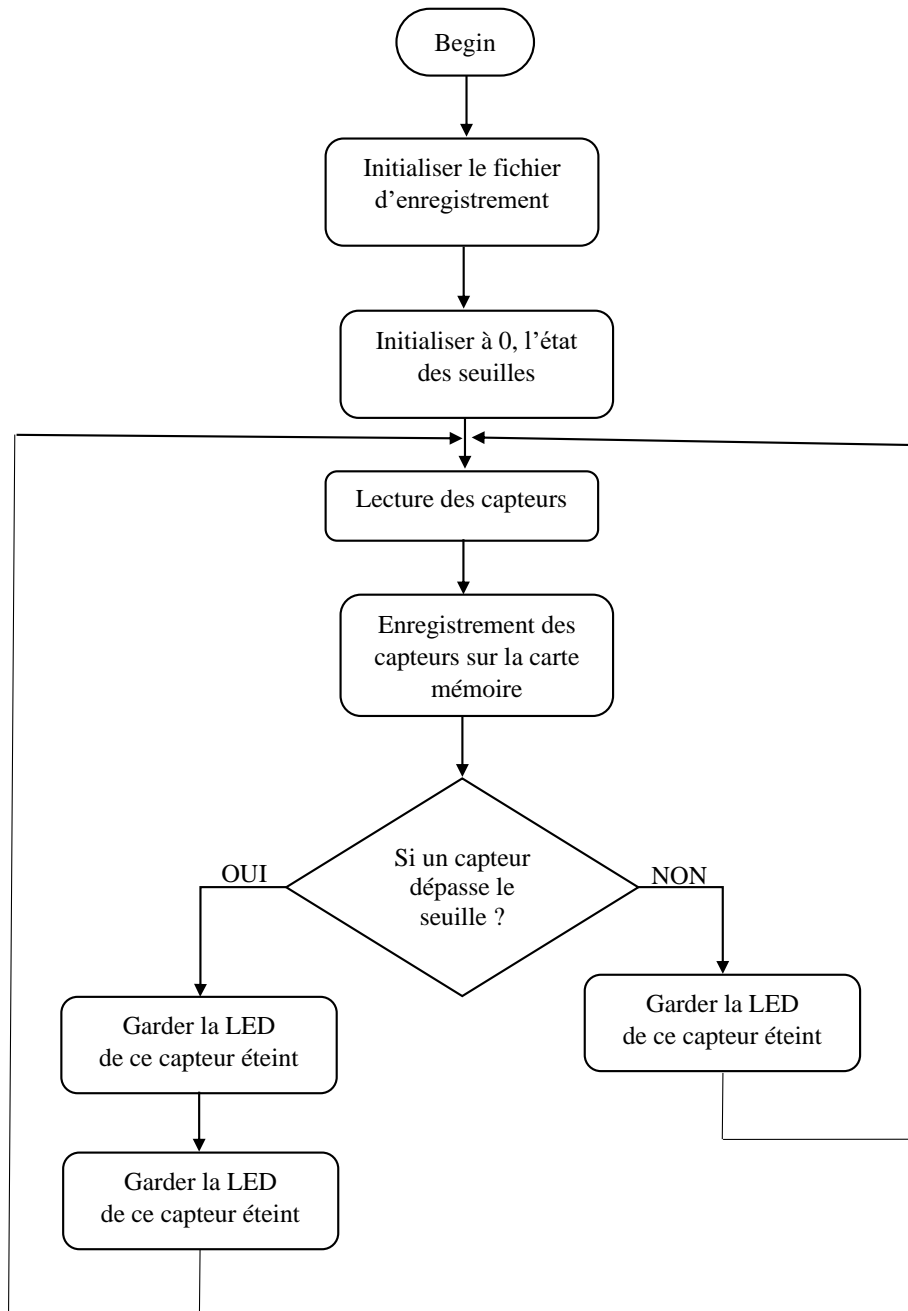



Figure III-10: Câblage Arduino avec micro-carte SD

III.4 L'organigramme :




III.5 Conclusion :

La solution que nous avons mise en place consiste à contourner les signaux des capteurs en utilisant un circuit simple et une carte Arduino. Ce système convertit le courant en tension, puis affiche les données (température, pression, vitesse) en temps réel sur un écran LCD, tout en les enregistrant automatiquement dans un fichier Excel sur une carte SD. Cette méthode s'est révélée efficace, fiable et peu coûteuse. Elle permet aux techniciens de diagnostiquer rapidement les problèmes du moteur, ce qui réduit les temps d'intervention. Les essais réalisés ont confirmé que la solution fonctionne comme prévu. En plus de compenser les limites du calculateur d'origine



**Chapitre 04 :
Evaluation des
résultats et
conception de
prototype**



IV.1 Introduction :

Ce chapitre présente la mise en œuvre finale de notre système. Il débute par le schéma de câblage de la carte PCB intégrant les trois capteurs, puis détaille la conception du boîtier de protection réalisé sous SolidWorks, conçu pour sécuriser les composants sensibles. Ensuite, les résultats expérimentaux sont analysés à travers des mesures et l'évaluation du RMSD, afin de valider la précision du système. Enfin, le chapitre aborde les résultats attendus ainsi que des pistes d'amélioration futures, telles que l'intégration d'un microcontrôleur sur la carte PCB et l'ajout d'un automate programmable pour les environnements industriels étendus.

IV.2 Schéma de câblage pour carte PCB :

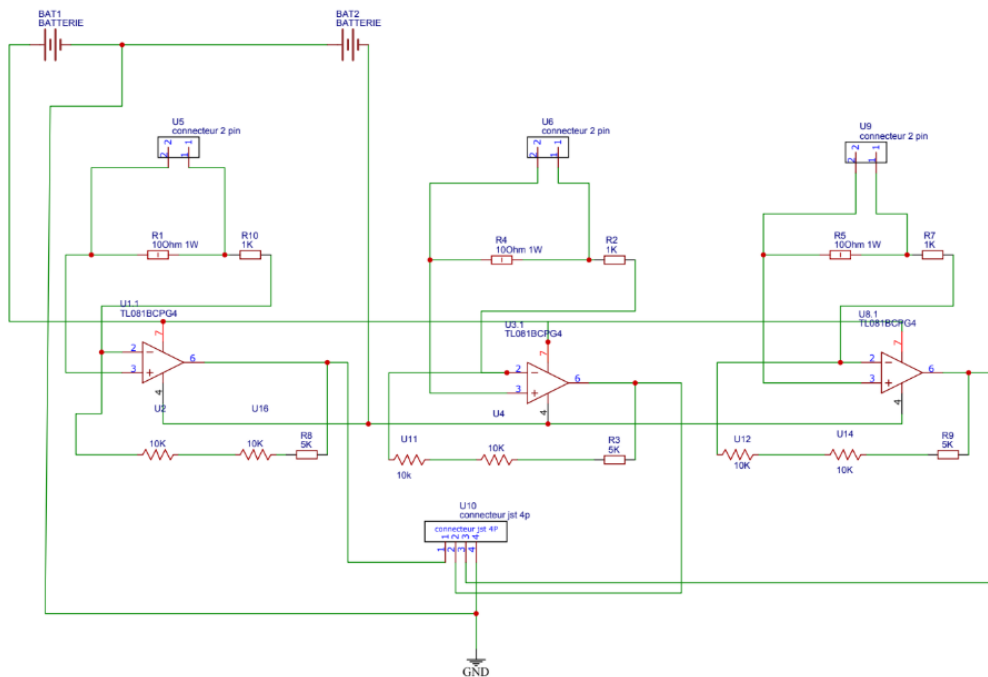


Figure IV-1:Schéma PCB

Ce schéma représente la configuration de la carte PCB pour les trois capteurs. Chaque capteur est connecté à la carte via un contacteur et les deux batteries alimentent les trois amplificateurs opérationnels. Chaque capteur dispose d'une sortie destinée au câblage de la carte Arduino.

IV.3 Carte PCB :

À partir de ce schéma, nous allons procéder à l'impression d'une carte PCB qui est Un circuit imprimé (de l'anglais Printed Circuit Board) est un circuit électrique dont les composants et les conducteurs sont intégrés à une structure mécanique.

Grâce à le logiciel easy EDA, nous allons transformer le schéma électrique en une carte. Cette conversion nous fournit la figure (4.2), qui détermine l'empreinte des composants de notre carte et les circuits de câblage optimisés.

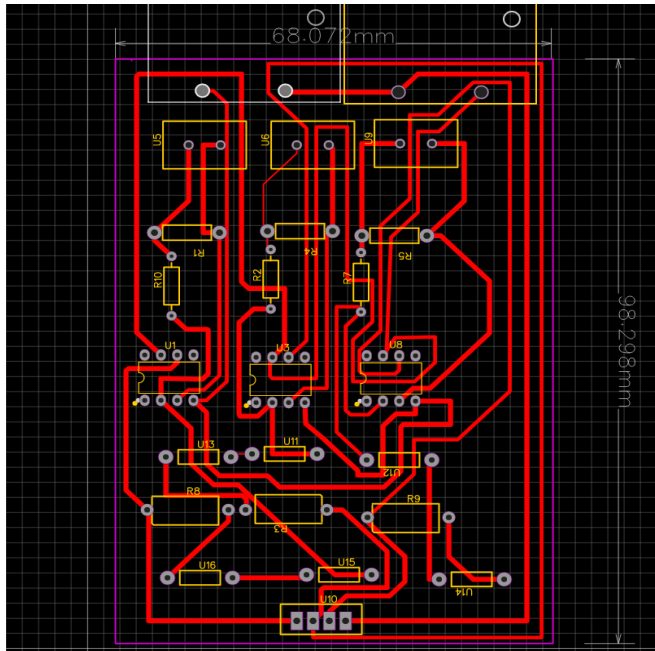


Figure IV-3: empreinte de carte

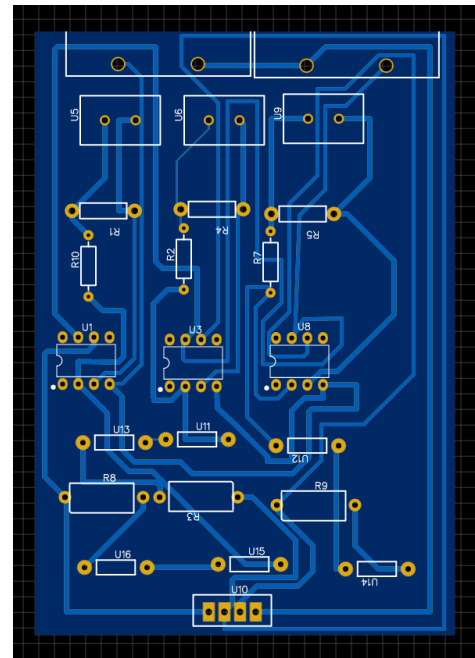


Figure IV-2: carte 2D

Après cette étape, nous allons la convertir en 3D comme le montre la figure ci-après.

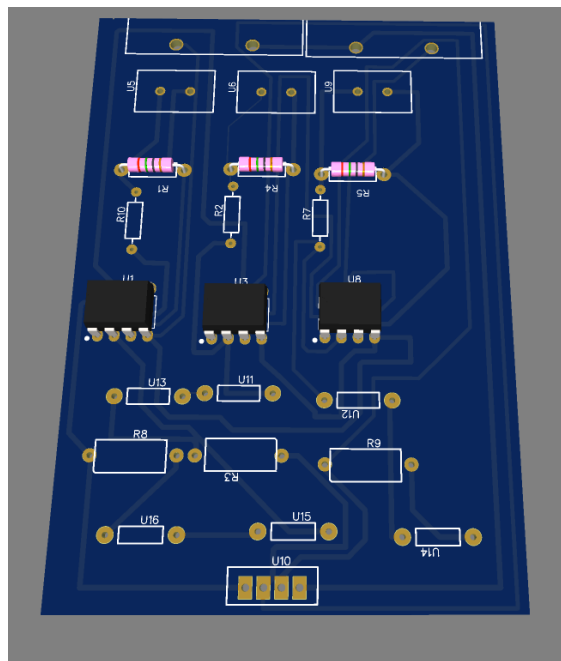


Figure IV-4: carte PCB en 3D

IV.4 Boitier avec SOLIDWORKS :

Ce projet implique un circuit qui comprend une carte Arduino, un lecteur de carte mémoire, une carte BCP ainsi qu'un afficheur CLD. Ces composants sont sensibles à la poussière, à l'humidité, aux chocs mécaniques et aux interférences électromagnétiques. Ainsi, la fonction de la boîte de protection est d'isoler physiquement ces pièces. Après des études et des tentatives, nous avons réussi à obtenir un modèle optimisé qui répond à nos exigences spécifiques pour notre équipement.

- 1- Afficheur LCD (20*4)
- 2- LED
- 3- Botton reset (Arduino)
- 4- Alimentation
- 5- USB

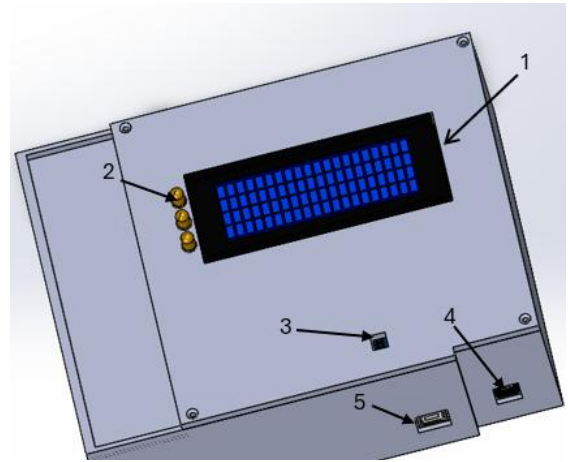
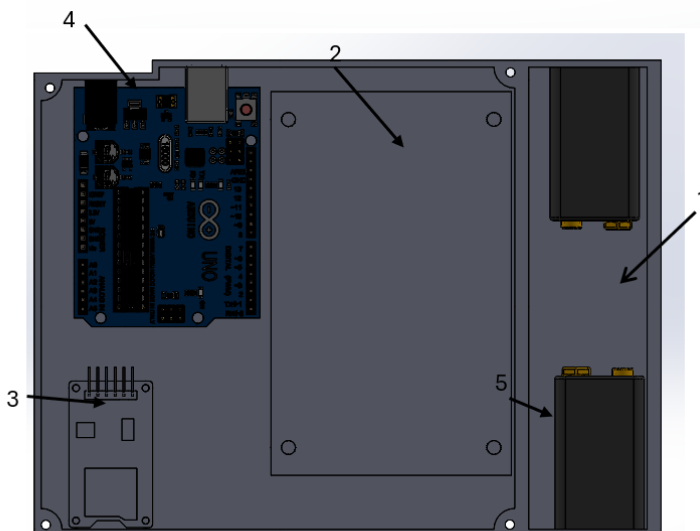


Figure IV-5:Vue 3D de boitier

Cette boîte est divisée en deux sections : l'une pour les composants électriques sensibles, qui est protégée par un couvercle. Ce dernier comprend un affichage et des LED, fixés avec des vis. L'autre partie est dédiée à des batteries d'alimentation de l'amplificateur, et dispose d'un couvercle sans vis pour faciliter le remplacement de la batterie.



- 1- Partie des batteries
- 2- Carte PCB
- 3- Carte Arduino
- 4- Adaptateur SD
- 5- Batterie

Figure IV-6:Boite sans couvre

Les éléments de cette boîte se fixent à l'aide de vis sur la boîte en s'appuyant sur des cylindres de 10 mm. Chaque composant a une position précise qui facilite l'accès aux fiches de cette section.

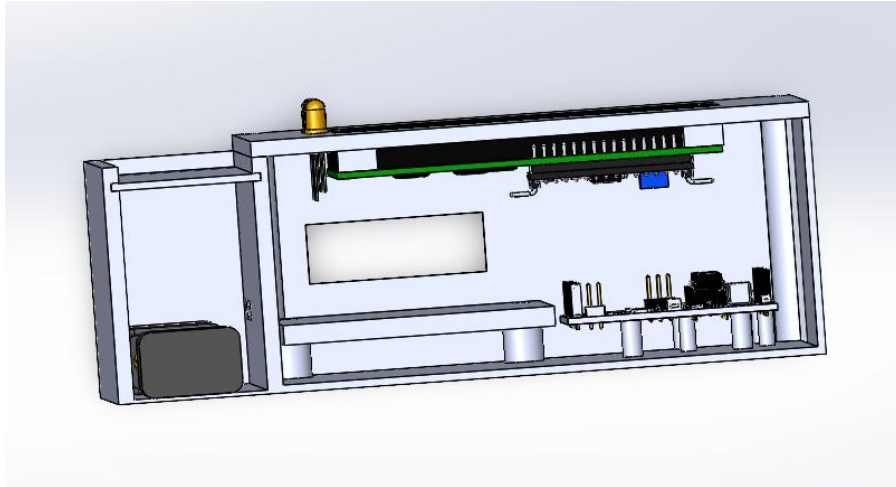


Figure IV-7:vue de coupe d'assemblage

IV.5 Câblage des composants :

Les images ci-dessous illustrent le câblage final de tous les éléments de notre dispositif, ainsi que l'intégration sur la plaque de test.

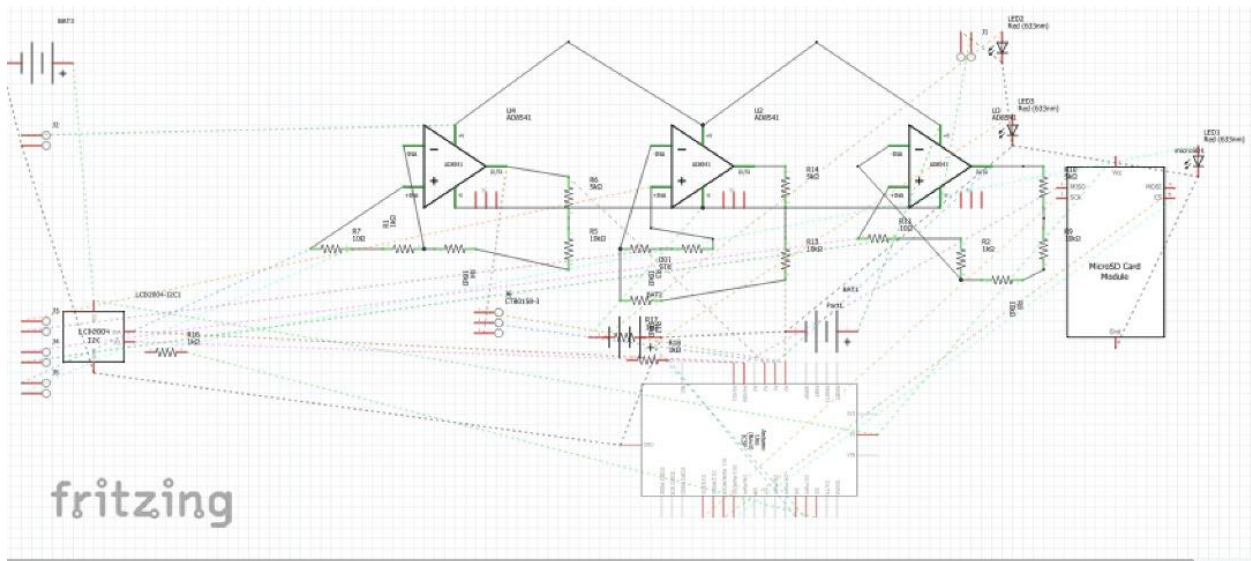


Figure IV-8:câblages des composants finals

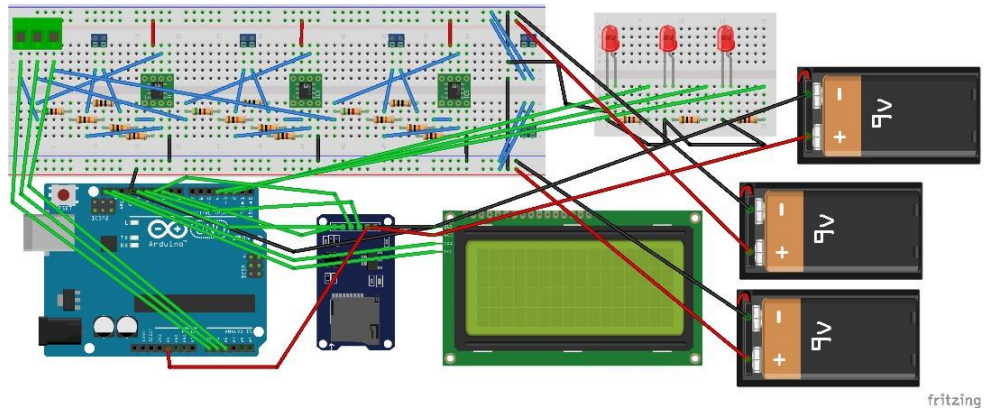


Figure IV-9:câblage platine d’essai final

IV.6 Évaluation des résultats :

Pour évaluer l'incertitude de notre essai, nous avons calculé la RMSD entre les valeurs réelles et théoriques pour les deux courbes (courant, tension).

RMSD (Root Mean Square Deviation): est une mesure de la différence de distance entre deux structures

L'équation de calcul :

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (r_i - r_i^{ref})^2}$$

- N : Number of atoms (or data points).
- r_i : Position of atom ii in the structure of interest.
- r_i^{ref} : Position of atom ii in the reference structure.

Tension générer (4-20 V)	Courant mesuré (4- 20mA)	Courant théories (4-20mA)
4	3,9604	4
6	5,94059	6
8	7,92079	8
10	9,90099	10
12	11,8812	12
14	13,8614	14
16	15,8416	16
18	17,8218	18
20	19,802	20

Tableau IV-1: résultat courant

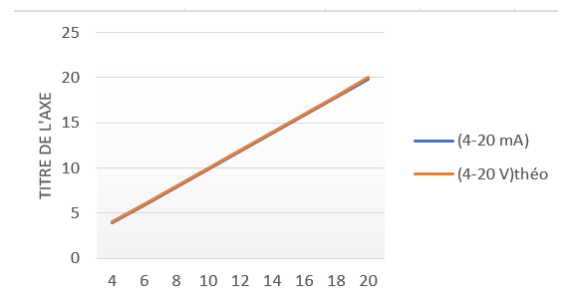


Figure IV-10:courbe de courant

RMSD (courant) : 0,990043519

RMSD < 1 : Indique une très bonne similarité structurale. Les différences sont mineures

Tension générer (4-20 V)	Tension mesuré (1-5 V)	Tension theories (1-5 V)
4	0,895	1
6	1,334	1,5
8	1,806	2
10	2,232	2,5
12	2,524	3
14	2,949	3,5
16	3,401	4
18	3,909	4,5
20	4,511	5

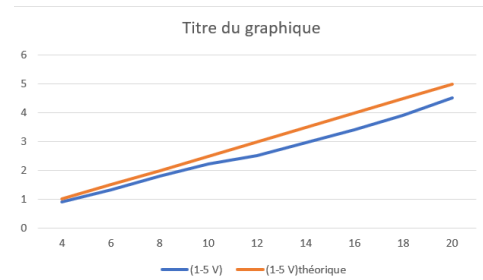


Figure IV-11: courbe de la tension

Tableau IV-2 : résultats de la tension

RMSD (tension) = 12,38716931

RMSD >10: Indique une moyenne similarité structurale. Les différences sont moyennes

En raison des limitations techniques (résistances, caractéristiques internes de l’amplificateur), la plage de sortie idéale [1V - 5V] ne peut être atteinte. Nous proposons donc une plage ajustée de [0,9V - 4,5V], optimisant le compromis entre dynamique et précision. Cette adaptation réduit l’erreur quadratique moyenne (RMSD) entre les signaux, améliorant ainsi la fidélité du signal amplifié. Le résultat est une augmentation de l’exactitude globale, essentielle pour des applications exigeant une haute précision de mesure.

Tension générer (4-20 V)	Tension mesuré (1-5 V)	Tension theories (1-5 V)
4	0,895	0.9
6	1,334	1,35
8	1,806	1.8
10	2,232	2,25
12	2,524	2.7
14	2,949	3,15
16	3,401	3.6
18	3,909	4,05
20	4,511	4.5

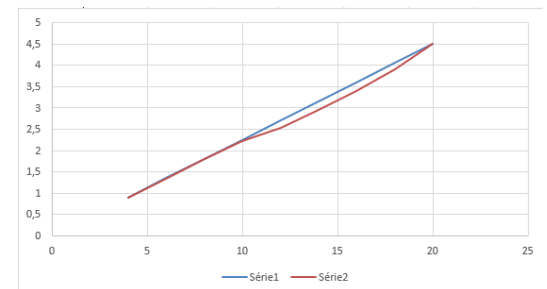


Figure IV-12: courbe de la tension [0.9-4.5V]

Tableau IV-3: résultats de la tension [0.9-4.5V]

RMSD (tension [0.9-4.5V]) = 2,780805409

IV.7 Recommandation pour la maintenance prédictive

Dans le cadre de l'évolution de notre projet, nous proposons comme perspective d'avenir l'intégration approfondie d'une stratégie de maintenance prédictive basée sur les enregistrements fournis par notre boîtier intelligent. Ce dernier, conçu pour mesurer, afficher et enregistrer en temps réel des grandeurs physiques critiques telles que la vitesse, la pression et la température, constitue une source précieuse de données reflétant l'état de santé des équipements surveillés. L'idée consiste à exploiter ces données historiques en y appliquant un algorithme de prédiction afin d'estimer avec précision l'évolution future de ces grandeurs. Grâce à cette anticipation, il devient possible de détecter en amont les signes annonciateurs d'une dégradation ou d'un dysfonctionnement potentiel. En identifiant les comportements anormaux ou les dérives des paramètres mesurés, le système pourrait alerter automatiquement les responsables techniques sur la nécessité d'une intervention, bien avant l'apparition réelle d'une panne. Cette approche permet non seulement de sécuriser le fonctionnement des machines, mais aussi de planifier intelligemment les opérations de maintenance, en évitant les arrêts non planifiés et en optimisant l'utilisation des ressources (main-d'œuvre, pièces de rechange, temps d'arrêt, etc.). L'algorithme de prédiction, qui pourrait être basé sur des méthodes statistiques, des séries temporelles ou encore sur des techniques d'intelligence artificielle (comme les réseaux de neurones ou les algorithmes évolutifs), serait entraîné à partir des données spécifiques à chaque équipement, garantissant ainsi une adaptation optimale au contexte réel de fonctionnement. À terme, cette recommandation vise à transformer notre dispositif en un outil de surveillance intelligent, capable non seulement de collecter les données mais aussi de prendre part activement à la gestion proactive de la maintenance. Ce développement s'inscrit parfaitement dans la démarche de l'industrie 4.0, qui repose sur l'exploitation intelligente des données pour améliorer la performance, la fiabilité et la disponibilité des systèmes industriels

IV.8 Résultats attendus :

IV.8.1 Affichage en temps réel des grandeurs physiques :

Les grandeurs mesurées, à savoir la vitesse, la température et la pression, seront affichées instantanément sur un écran dédié. Cette visualisation directe permet aux techniciens et ingénieurs de surveiller l'état des équipements en temps réel, sans avoir besoin d'outils de lecture supplémentaires. Cela améliore la réactivité en cas d'anomalie et facilite le suivi des paramètres critiques pendant le fonctionnement.

IV.8.2 Système d'alerte par LED en cas de dépassement de seuil

Chaque grandeur est associée à un seuil prédéfini. Lorsqu'un de ces seuils est dépassé, un témoin lumineux (LED) s'allume automatiquement pour signaler la situation anormale. Ce système d'alerte visuel permet une identification rapide des problèmes, même à distance ou dans un environnement bruyant, et réduit les risques liés à un mauvais fonctionnement prolongé.

IV.8.3 Enregistrement automatique des données

Un système de stockage intégré enregistre les valeurs mesurées toutes les secondes. Cette fréquence élevée de sauvegarde permet de constituer un historique détaillé et fiable des données. Ces enregistrements sont essentiels pour effectuer des diagnostics précis après un incident, analyser l'évolution des paramètres dans le temps, ou encore mettre en place une maintenance prédictive.

IV.8.4 Facilitation du diagnostic technique

Grâce à l’affichage en temps réel, aux alertes visuelles et à l’enregistrement des données, les ingénieurs disposent de toutes les informations nécessaires pour identifier rapidement l’origine d’une panne ou d’un dysfonctionnement. Cela réduit considérablement le temps nécessaire à la recherche de la cause du problème et permet des interventions plus ciblées et efficaces.

IV.8.5 Réduction du temps de maintenance

En offrant une meilleure visibilité sur l’état des équipements et en anticipant certains défauts, le système permet de réduire les arrêts imprévus. Le personnel de maintenance peut intervenir plus rapidement et avec les outils ou pièces appropriés, ce qui diminue la durée des interventions et améliore la disponibilité des équipements.

IV.9 Proposition a long terme :

Notre projet répond à la nécessité de l'entreprise, mais il peut être personnalisé et perfectionné en fonction des exigences spécifiques de chaque entreprise. Nous avons présenté deux suggestions d'amélioration à long terme :

IV.9.1 Remplacement de la carte Arduino par un microcontrôleur intégré sur la carte PCB :

À long terme, une amélioration majeure consiste à remplacer la carte Arduino utilisée actuellement par un microcontrôleur directement intégré sur notre propre carte PCB. Cette évolution permettrait de miniaturiser le système, de réduire les coûts de production, et d’augmenter la fiabilité globale du dispositif. En intégrant le microcontrôleur au circuit imprimé, on gagne également en performance, en consommation énergétique et en liberté de conception, tout en évitant la dépendance à des plateformes de prototypage grand public.

IV.9.2 Ajout d’un automate programmable avec interface HMI pour les grandes installations :

Pour répondre aux besoins des grandes entreprises ou des installations industrielles complexes nécessitant le bypass de plusieurs capteurs simultanément, une autre perspective d’évolution serait d’intégrer un automate programmable industriel (API) couplé à une interface (HMI). L’automate permettrait de centraliser le traitement de plusieurs signaux 4-20 mA, tandis que l’HMI offrirait une visualisation détaillée, conviviale et personnalisable des données mesurées. Cette architecture rendrait le système évolutif, modulaire, et parfaitement adapté à des environnements industriels exigeants, tout en facilitant l’intégration avec des systèmes SCADA ou d’autres solutions d’automatisation.

IV.10 Conclusion :

Notre projet consiste à concevoir une carte électronique capable de contourner les capteurs traditionnels 4-20 mA, afin de traduire directement ces signaux en grandeurs physiques exploitables telles que la vitesse, la température et la pression. Pour cela, nous avons développé un boîtier complet qui intègre à la fois un affichage numérique clair de ces trois grandeurs et un système de voyants LED permettant d’alerter en temps réel lorsque des seuils critiques sont dépassés. L’un des éléments clés de notre solution est également l’intégration d’une carte mémoire, chargée d’enregistrer automatiquement les valeurs mesurées toutes les secondes. Cet enregistrement continu permet de conserver un historique précis des données, très utile pour l’analyse des pannes et le diagnostic rapide en cas de dysfonctionnement. Ce dispositif a été pensé dans le but de faciliter le travail des ingénieurs et techniciens en leur fournissant un outil fiable,

simple à utiliser et efficace pour le suivi des équipements industriels. Les résultats attendus de notre projet sont une réduction significative du temps d'intervention lors des opérations de maintenance, une amélioration de la réactivité face aux anomalies, ainsi qu'une meilleure prévention des arrêts non planifiés grâce à une détection plus rapide des défaillances.



Conclusion Générale

La grue est un élément central dans le fonctionnement d'un port. Elle joue un rôle crucial dans les opérations de chargement et de déchargement, assurant à la fois rapidité et efficacité. Par sa contribution directe à la fluidité de la circulation des marchandises, elle participe activement à la performance logistique globale.

Cependant, comme toute machine industrielle, la grue n'est pas à l'abri des pannes. D'où l'importance de mettre en place un système de diagnostic rapide et efficace, afin de réduire les périodes d'arrêt et d'assurer une meilleure disponibilité de l'équipement. Parmi les composants les plus critiques de la grue, le moteur occupe une place essentielle puisqu'il assure son alimentation en énergie. Ainsi, la capacité à diagnostiquer rapidement les défaillances du moteur devient un levier clé pour garantir la continuité de fonctionnement de la grue.

Dans ce contexte, notre projet apporte une solution innovante visant à optimiser le diagnostic. Il s'agit de développer un système capable de surveiller en temps réel les grandeurs principales du moteur (telles que la vitesse, la pression et la température), afin de passer d'un diagnostic off-line à un diagnostic on-line, plus rapide et plus réactif.

Concrètement, cette solution prend la forme d'une carte PCB intégrant un système électronique interne. Celui-ci permet de bypasser les capteurs du moteur, dont les signaux standards (4-20 mA) sont récupérés, amplifiés à une plage de 1 à 5 V, puis envoyés à une carte Arduino.

La première étape du projet a été de réaliser un câblage électrique sur une plaque d'essai, avec intégration d'une résistance et d'un amplificateur. Un premier essai a été réalisé sur une seule grandeur, et les résultats se sont révélés satisfaisants, avec une erreur RMSD limitée à 2,7 %. Suite à cette validation, nous avons développé une carte PCB capable de gérer trois capteurs pression, température, vitesse avec une entrée 4-20 mA et une sortie standardisée en 1-5 V.

Dans la deuxième étape, cette sortie est connectée comme entrée à une carte Arduino. Celle-ci lit le signal, le convertit en sa valeur réelle, l'affiche en temps réel sur un afficheur, et enregistre en parallèle les données sur une carte SD.

De plus, si la valeur d'une grandeur atteint un seuil prédéfini, une LED orange s'allume automatiquement pour signaler une alerte relative à la grandeur concernée. Ainsi, ce système assure une surveillance en temps réel, avec affichage, enregistrement et alerte visuelle immédiate en cas d'anomalie.

Pour protéger et intégrer tous les composants, nous avons conçu un boîtier compact et fonctionnel, regroupant la carte principale, l'Arduino, l'afficheur, la mémoire SD et les voyants LED. Ce boîtier facilite non seulement la manipulation et l'installation du système, mais assure aussi sa durabilité.

En résumé, les résultats attendus de notre projet sont :

- une réduction significative du temps d'intervention lors des opérations de maintenance,
- une meilleure réactivité face aux anomalies,
- et une diminution des arrêts non planifiés grâce à une détection plus rapide des défaillances.

Ce système de surveillance en temps réel représente une solution pratique et accessible pour améliorer la disponibilité des grues portuaires.

Références bibliographiques

- [1] Entreprise Portuaire de Skikda. (n.d.). *Accueil*. Consulté le 20 juin 2025, sur <https://skikda-port.com/>
- [2] Gottwald Port Technology. (s.d.). *HMK 170 E Mobile Harbour Crane* [Fiche technique]. FreeCraneSpecs.com. [https://freecranespecs.com/Gottwald-HMK-170-E\(1\).pdf](https://freecranespecs.com/Gottwald-HMK-170-E(1).pdf)
- [3] Desprairies, C. (2019). *Bibliographie*. In *L'Héritage allemand de l'Occupation* (pp. 213–230). Armand Colin. <https://doi.org/10.3917/arco.despr.2019.01.0213>
- [4] CHAIB, S. (2016). *Détection et caractérisation des défauts des roulements par l'analyse spectrale* [Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara Boumerdes]. Département de Maintenance industrielle.
- [5] Belgomri, A., & Mahdi, S. A. (2020). *Étude de la maintenance préventive d'un compresseur à vis - ATLAS COPCO GA15* [Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des Hydrocarbures, énergies renouvelables et sciences de la terre et de l'univers]. Département Forage et Mécanique des chantiers pétroliers.
- [6] Titre du document. (s.d.). *Rapport brohage des AOP* [Document en ligne]. Repéré à <https://fr.scribd.com/document/563219454/Rapport-brohage-des-AOP>
- [7] Arduino. (n.d.). *Arduino Uno Rev3*. Arduino Store. Retrieved October 31, 2023, from https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?srsId=AfmBOorw9Mw57Yz-GMXX50cvXxLT_NScOyo3r-ssu8ICWgSP064P5c9H
- [8] YoupiLab. (s.d.). *LCD 20 × 4 I2C/IIC Rétroéclairage bleu*. Repéré à <https://youpilab.com/components/product/lcd-20x4-i2ciic-retroéclairage-bleu>
- [9] K&F Concept. (2024, 28 février). *À quoi sert une carte micro SD adapter ?* Repéré à https://www.kentfaith.fr/blog/article_a-quoi-sert-une-carte-micro-sd-adapter_4100