الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA FACULTE

DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DU GÉNIE DE LA MATIÈRE



Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté pour l'obtention du Diplôme

De Master en Génie Mécanique

Option : Mécatronique

Etude D'Un Robot D'inspection Des Canalisation

Proposé et dirigé par :

Prof. Salam Abudura

Co-Promoteur :

Belhadj Abd-Elmouneim

Préparé et Présenté Par :

Mr. Khelil Cherfi Farouk

Mr.Tobal Abdelkrim

Année Universitaire : 2016/2017

ملخص

تنتشر الروبوتات في العديد من التطبيقات الصناعية للحد من تدخلات اليد البشرية , مراقبة و صيانة أنابيب الغاز واحدة من هذه التطبيقات حيث تعتبر هذه المهمة واحدة من أخطر العمليات بالنسبة للبشر و لهذا من أجل القيام بصيانة أنابيب الغاز و تنظيفها يجب قطع تدفق الغاز , هذا الانقطاع يكلف الكثير من الوقت ينتج عنه خسائر في أموال شركات الغاز.

يهدف هذا المشروع إلى تطوير روبوت مراقبة الأنابيب من شأنه العمل دون قطع تدفق الغاز , و كذلك من أجل تقليل المكونات الكهربائية التي تشكل خطر إطلاق شرارة كهربائية و سير العملية على نحوآمن.

تم جمع المعلومات لهذا المشروع بناء على مشاريع سابقة في هذا المجال , كذلك تم تصميم نموذج بالاستعانة ببرنامج (Solidworks) و القيام بمحاكاة للروبوت أثناء تشغيله كما تم ذكر المكونات الكهربائية اللازمة في صناعة النموذج التجريبي.

كلمات مفتاحية : روبوت, فحص, قناة, ميكاترونيك, أنبوب.

RÉSUMÉ

Des robots sont introduits dans de nombreuses applications industrielles pour effectuer des tâches humaines, entre autres inspection des tuyaux de gaz. Dans l'inspection des conduites de gaz, il est nécessaire de terminer le flux de gaz avant de procéder au netoyage et la réparation durant une période prolongée d'inspection, l'arrêt du flux de gaz ne serait ni convenable ni économique, Ce projet vise á dévlopper un robot d'inspection de tuyau qui fera la tâche efficasement sans qu'il soit nécessaire d'arrêter le flux de gaz, le projet vise également des composants électriques du système afin qu'il puisse fonctionner en toute sécurité pendant le flux de gaz. plusieurs informations utiles sont fournies par les projets antérieurs et en cours sur le robot d'inspection des tuyaux pour améliorer la conception et l'analyse du prototype. le modèle du prototype a été conçu et analysé en CAO (SOLIDWORKS), ce modèle a été utilisé dans des simulations. les spécifications nécessaires des composants / mécanismes ont été prédites sur la base des résultats de la simulation.

Mot Clés : robot, mécatronique, canalisation, inspection, tuyauterie.

ABSTRACT

Robots are deployed in many industrial applications to lessen human labor. Gas pipe inspection is one of the application of robotics where robots replace human to perform difficult jobs. In gas pipe inspection, it is required to terminate the gas flow to begin the inspection and other works such as cleaning and repairing. It can be inconvenient and not economical to stop the gas flow for expansive period of time for inspection. This project aims to develop a pipe inspection robot that will eliminate the necessity of stopping the gas flow and still be able to perform the inspection efficiently. The project also aims to reduce the amount of electrical components from the system so that it can operate safely during gas flow. Necessary information had been collected from previous and on-going projects on pipe inspection robot to enhance the prototype designing and analyzing. The model of the prototype was conceived in CAD (SolidWorks) and analyzed. This model was used in simulations. The necessary specifications of the components/mechanism were predicted based on the simulation results.

Keywords : robot, inspection, canalisation, mechatronic, pipe.

Table des matières

Liste des Figures v
Liste des Tableaux vi
INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

1 énoncé du projet **4**
1.1 Énoncé du problème 5
1.2 Objectifs du projet 5
1.2.1 Importance de projet 6
1.2.2 Méthodologie 7
1.3 Portée des travaux 9
1.4 Aperçu du rapport 10

2 revue de littérature **11**
2.1 Introduction 12
2.2 Jauge d'inspection des tuyaux (J I T) 12
2.3 Système de raclage industriel 13
2.4 Types des robots d'inspection de tuyau 14
2.4.1 robot de type PIG 14
2.4.2 robot de types à paroi 15
2.4.3 robot de type Inchworm 16
2.4.4 robot de forme serpent 17
2.4.5 robot à simple roues 18
2.5 Collecte d'énergie dans le système robotique 19
2.5.1 robot pour canalisation hybride (RCH) 19
2.5.2 mécanisme d'iris (diaphragme) 20
2.5.3 ressort d'extention 21
2.5.4 mécanisme à cliquet 23
2.6 Conclusion 24

3 synthese de conception **25**
3.1 Introduction 26
3.2 Conception mécanique 27
3.3 Logiciels 31

3.4 Schéma électrique 31
3.5 Conclusion 33

4 simulation et analyse du système 34
4.1 Introduction 35
4.2 Analyse du mouvement en avant 38
4.3 Analyse du mouvement en arrière 40
4.4 Calcul pour le ressort d'extension 43
4.5 Sélection des tuyaux 45
4.6 Sélection du servo pour la porte d'iris 47
4.7 Schéma de principe du servomoteur 48
4.8 Sélection et spécification du matériel 49
4.8.1 micro servomoteur 49
4.8.2 carte Arduino Uno 50
4.8.3 capteur d'évitement d'obstacle IR 51
4.8.4 encodeur de capteur de vitesse photoélectrique 52
4.8.5 mini caméra 53
4.8.6 source de courant 54
4.8.7 roues (Tamiya Mini 4 roues motrices) 55
4.8.8 iris diaphragme 56
4.9 Conclusion 58
CONCLUSION GÉNÉRALE 59
Référence 62
Appendice A 66
Appendice B 67

Table des figures

1.1 Organigramme du projet 8

2.1 systeme de cotrole 14
2.2 jauge conventionnel (à gauche), différentes formes de jauge (à droite) . . . 15
2.3 (à partir de la gauche) Type de presse à la chenille, type de presse à roue et type de vis de serrage de la roue 15
2.4 Robot mural 16
2.5 Robot de type Inchworm 17
2.6 Robot de type serpent pour tuyau de petit diamètre 18
2.7 robot à simple roues CRAWLER 19
2.8 Robot hybride de ligne de tuyaux 20
2.9 Méchanisme d'iris 21
2.10 Ressort d'extension 22
2.11 Une petite voiture à ressort plat / élastique / à ressort relié aux roues . . . 22
2.12 arbre d'hélice 23

3.1 Robot d'inspection des tuyaux alimenté par flux (côté avant) 28
3.2 Robot d'inspection des tuyaux alimenté par flux (côté arrière) 28
3.3 Robot à l'intérieur du tuyau 29
3.4 Dessin technique du robot 30
3.5 Circuit électrique 31
3.6 Circuit électrique (Schématique) 32

4.1 Organigramme du système 37
4.2 Pression sur la surface du robot pendant le mouvement en avant 38
4.3 Pression sur la surface du robot pendant le mouvement en avant 40
4.4 Pression sur la surface du robot pendant le mouvement en arrière 41
4.5 Vitesse de l'air sur la surface coupée pendant le mouvement en arrière . . . 41
4.6 Analyse de force et de couple 42
4.7 Paramètre du ressort 44
4.8 Calcul de paramètre de hauteur de roue 46
4.9 Calcul du servo Iris 47
4.10 Schéma bloc en boucle ouvert pour servo-actionnement 49

4.11 Gear Pro Servo Motor MG90S Metal Gear 50
4.12 Arduino Uno 51
4.13 Capteur infrarouge HCR04 52
4.14 Encodeur de capteur de vitesse photoélectrique 53
4.15 Mini Caméra Camcorde 54
4.16 Mini Power Bank et piles AA 1.5V 55
4.17 Tamiya 15414 petit dia. Roue en carbone et pneus en arc blanc 56
4.18 Modèle généré par Iris basé sur l'étiquetage de la dimension réelle 57

Liste des tableaux

4.1 Spécification du micro-servomoteur 50
4.2 Spécification d'Arduino Uno 51
4.3 Spécification du capteur infrarouge 52
4.4 Spécification d'encodeur 53
4.5 Spécification du module de caméra 54
4.6 Spécification de Micro Metal Gearmotor 55
4.7 Paramètre d'iris calculés 57
4.8 Nomenclature 61

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les robot sont faits pour aider l'homme. Dans de nombreuses situations, il est assez difficile d'effectuer un travail par l'homme seul. De nombreux facteurs environnementaux et physiques doivent être pris en compte lorsque l'homme est impliqué dans le travail entre autre : la températeur, la pression, l'humidité et la demande d'oxygène, etc. Les robots peuvent travailler à haute température, à très haute pression et sans oxygène. L'humain se fatigue, il a besoin d'énergie pour survivre dans une situation aussi difficile. Les robots peuvent exécuter une tâche répétée sans se fatiguer ni s'ennuyer et pendant une très longue période. Par conséquent, l'utilisation des robots dans un environnement aussi durs peut surmonter de nombreuses difficultés. Il y a beaubcoup de lignes de conduites dans le monde pour fournir du gaz, de l'eau ou bien d'autre services publics nécessaire[11]. Cette canalisation se dégrade après une utilisation prolongée, elle nécessite un entretien continue pour assurer une utilisation future. Si les tuyaux de gaz ne sont pas correctement contrôlés et remplacés, ils peuvent entraîner des accidents très dangereux[12]. Or, quand l'homme fait ce contrôle lui-même il s'expose au danger et à des cas de gêne. Certaines canalisations sont très petites en diamètre et certaines sont dangereuse pour l'homme, comme les tuyaux de gaz.Ainsi L'utilisation de robots dans le contrôle du gaz ou des tuyaux liquides réduit le risque associé au travailleur humain. Par conséquent, Concevoir un robots de contrôle serait d'une grande importance pour effectuer un travail sûr et pré-

cis et avoir des mesures exactes.

Dans le système de raclage classique, le dispositif d'inspection et inséré à un certain point du tuyau et une fois l'inspection terminée, le robot est retiré du point où il s'arrête. Cependant, pour ce faire, le tuyau doit être ouvert à nouveau au point d'arrêt pour récupérer le dispositif ou le robot[15] .serait plus pratique si le robot inspecte le tuyau et revient au point où il a commencé l'inspection. Le robot peut être programmé pour revenir à son point de départ. Cependant, une telle mise en place nécessite de nombreux composants électriques et cela peut être coûteux. En outre, un grand nombre de composants électriques peut être très dangereux dans les conduites de gaz actif, car il peut provoquer des étincelles. Il est donc recommandé d'utiliser le moins de composants électriques possible. De plus, l'inspection du tuyau doit être effectuée tout en ayant un flux de gaz dans la canalisation. Par conséquent, ce projet vise à dévlopper un robot d'inspection de tuyau, qui utilisera le flux de gaz dans le tuyau pour se déplacer à une certaine distance et entre-temps il stocke de l'énergie en utilisant des systèmes mécaniques. Plus tard, le robot utilisera l'énergie stockée pour revenir à son point de départ pour terminer le contrôle. Pour effectuer l'inspection, il est nécessaire d'avoire un système de traitement / acquisition d'images.Un module de caméra sera attaché au robot pour prendre des images qui seront traitées ultérieurement.

De nombreuses techniques / mécanismes peuvent être utilisés pour stocker de l'énergie et l'utiliser pour revenir à son point de départ, ces techniques seront discutées dans le cha-

pitre suivant. En configurant le robot de cette façon, le nombre de composants électriques peut être réduit et cela rendra le robot inoffensif pour le gaz. En outre, cela permettra également aux ingénieurs de minimiser les coûts associés à l'inspection des tuyaux.

Chapitre 1

énoncé du projet

1.1 Énoncé du problème

Maintenant que le contrôle des tuyaux est devenu très essentiel, de nombreux types de contrôle par robot avaient été développés pour inspecter les tuyaux. Une partie de la machine a été développée pour fonctionner tandis que le flux de liquide est toujours dans le tuyau alors que beaucoup d'entre eux ont été construits pour fonctionner là où il n'y a pas d'écoulement de fluide dans le tuyau. Cependant, il n'est pas tout à fait possible d'arrêter le flux de fluide et d'inspecter la canalisation, car cela peut causer des inconvénients aux clients. Ainsi, il est nécessaire d'avoire un système d'inspection de tuyau qui serait capable d'utiliser l'énergie fluide pour son mouvement ainsi que de fonctionner à l'intérieur de la conduite sans interrompre le flux de fluide.

1.2 Objectifs du projet

Pour résoudre le problème d'inspection des tuyaux, les objectifs suivants sont fixés. ils sont les lignes directives du présent projet.

- développer un système mécanique qui recolte l'énergie utilisable venant du flux de gaz.
- développer un robot qui sera capable de manoeuvrer à l'intérieur de la conduite en utilisant l'énergie du flux.
- développer un système de contrôle pour le mouvement du robot pour l'inspection

de tuyau.

- évaluer les performances du robot d'inspection de tuyau développé.

1.2.1 Importance de projet

Ce projet vise à contrôler le tuyau sans qu'il soit nécessaire de rouvrir la jauge d'inspection des tuyaux (JIT) puisqu'elle ne peut pas revenir à l'origine après l'inspection. Ce projet peut minimiser l'utilisation électrique et la charge de travail des humains en réduisant la composante électrique et l'alimentation électrique. Ce projet réduit également le coût et augmente la sécurité grâce à la réduction des composants électriques. Puisque le robot lui-même exécute la majorité du travail, sans intervention humaine. Dans de nombreuses applications industrielles, plusieurs unités de JIT sont déployées selon [8]. Toutefois, dans on n'utilise qu'une seule unité. La plupart des robots d'inspection de tuyaux communiquent à travers une connexion filie. Cependant, pour ce projet, la communication sans fil sera établie. Le module de caméra installé dans le robot capture l'image et l'envoie à l'ordinateur local en vue d'inspection.

8. Dertien.,2014

1.2.2 Méthodologie

On commence par la partie théorique et la collecte d'informations dans des projets similaires déjà réalisés. Une compréhension de base du modèle est recueillie et une solution alternative est proposée. Ensuite, une conception pour le projet est conceptualisée qui est efficace et bon marché dans la mise en œuvre. Les composants et le matériel nécessaires sont sélectionnés en fonction des spécifications requises. Enfin, le système conçu est simulé et les résultats sont obtenus pour des calculs ultérieurs et optimisés en conséquence. L'organigramme suivant présente les étapes utilisées pour résoudre le problème d'inspection des tuyaux.

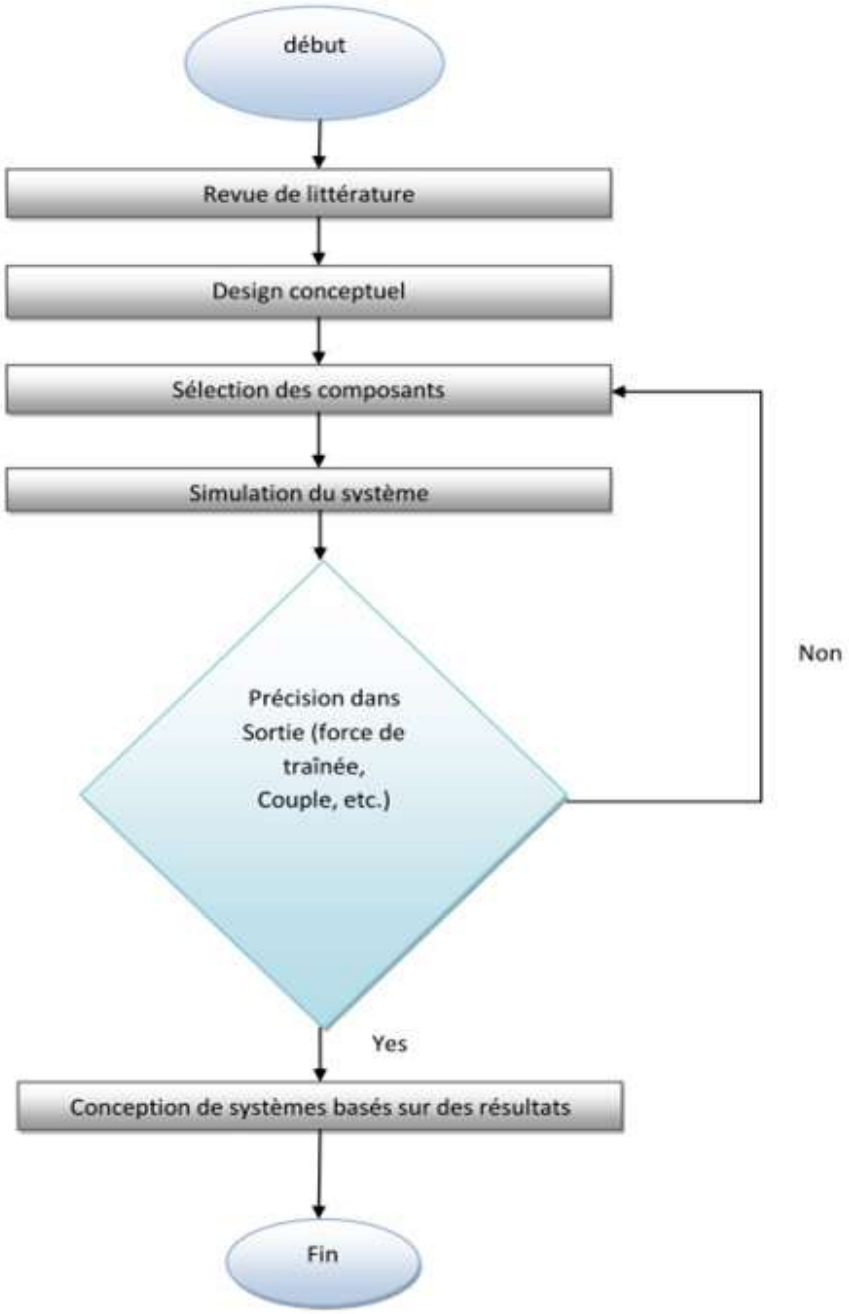


FIGURE 1.1 – Organigramme du projet

1.3 Portée des travaux

1. On développe un mécanisme mécanique iris pour contrôler l'ouverture du côté arrière du robot vers l'avant ou vers l'arrière.

2. Un mécanisme à ressort développera pour stocker l'énergie d'écoulement, qui sera ensuite utilisée pour déplacer la roue pour revenir au point de départ.

3. Un mécanisme à cliquet contrôlable doit être monté au tour de la roue du robot pour fournir le système de freinage.

4. Un système d'acquisition d'image sans fil sera installé sur le robot. L'image / vidéo obtenue sera traitée dans MATLAB.

5. Un système de détection infrarouge sera installé pour détecter l'obstacle et l'extrémité du tuyau.

1.4 Aperçu du rapport

Ce rapport se compose de 4 chapitres : Énoncé du projet, Revue de la littérature, Synthèse de conception, simulation et analyse et finalement conclusion. Le premier chapitre présente l'idée de base sur l'énoncé du projet et du problème. Il traite également la manière par laquelle le projet doit être réalisé pour atteindre tous les objectifs. Le deuxième chapitre rappelle les recherches antérieures et en cours sur les robots d'inspection des tuyaux et leurs spécifications. Le troisième chapitre présente la conception globale du système, qui comprend le robot mécanique, électrique et de contrôle de l'inspection des tuyaux. Le quatrième chapitre contient des simulations et des listes de composants à utiliser dans les projets. et Enfin on proppose des suggestions pour les travaux futurs dans la conclusion générale.

Chapitre 2

revue de littérature

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, on rappelle les divers robots d'inspection de tuyaux qui avaient été développés, on parlera de leur structure et leur mécanisme auparavant. Il existe différentes classifications des robots d'inspection en fonction du type de tuyau utilisé. Les informations recueillies à partir des projets et des travaux antérieurs peuvent être significatives dans la conceptualisation, l'analyse comparative et le développement du modèle / prototype pour l'analyse et le calcul des données.

2.2 Jauge d'inspection des tuyaux (J I T)

Le raclage est essentiellement un processus de transport de matériaux ou de nettoyage du pipeline. Dans le système de raclage commun une jauge mobile d'inspection des tuyaux (JIT) est conduit à travers propulseurs pour effectuer des tâches telles que le nettoyage (avec brosse) inspection (avec caméra vidéo) ou réparation (soudage) Le processus de piégeage des tuyaux a commencé à la fin des années 1800 et 1970 et il est fréquemment utilisé dans l'industrie chimique et le nettoyage des tuyaux [15]. Pour le nettoyage, le processus de raclage implique habituellement le retrait du contenu du pipeline en insérant un bouchon ajusté. La JIT peut être de formes diverses : sphérique, allongé, ou composé de plusieurs parties. Il existe de nombreux robots développés non seulement pour l'inspection, mais aussi pour la réparation et la réhabilitation de la tuyauterie, on peut citer : Pearpoint,

15. Hiltcher et al.,2003

Beaver, KA-TE, GL, NDT, RedZone, etc. L'Explorer TM est un robot très avancé qui a été développé pour résoudre de nombreux problèmes associés aux robots d'inspection de tuyaux développés précédemment [27]. Cést un outil très économique pour l'inspection et pour la réparation La machine a d'abord été développée pour l'inspection visuelle seulement et connue comme premier prototype de X-I de génération. Elle employait seulement une caméra pour l'inspection. Cependant, la deuxième génération a utilisait des caméras avant et arrière ainsi qu'une détection non destructive pour améliorer le niveau d'inspection [27].

2.3 Système de raclage industriel

Habituellement, dans les unités de raclage industrielles, l'unité de raclage régulière est composée de ce qui suite [15] :

- JIT
- Tuyau et soupapes grattables.
- Station de chargement et de déchargement des JIT.
- Approvisionnement en propergol.
- Système de contrôle.

27. Schempf et al., 2010
27. Schempf et al., 2010
15. Hiltcher et al.,2003

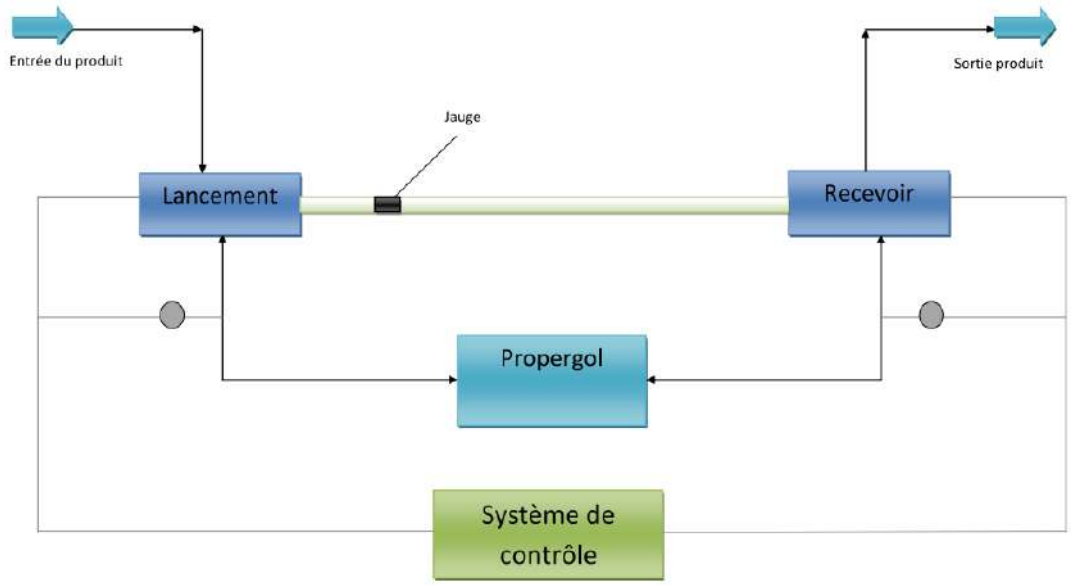


FIGURE 2.1 – systeme de controle

2.4 Types des robots d'inspection de tuyau

2.4.1 robot de type PIG

Les robots de type PIG sont semblables en forme au PIG conventionnel. Ils sont de même taille et de même diamètre du tuyau et sont entraînés par des gaz propulseurs tels que le gaz ou l'eau. La plupart des robots de type PIG sont utilisés pour le nettoyage plutôt que pour l'inspection [31].

31. Zhang et Yan.,2007



FIGURE 2.2 – jauge conventionnel (à gauche), différentes formes de jauge (à droite)

2.4.2 robot de types à paroi

Le robot de type à paroi est muni d'un module d'entraînement avec trois pantographes de même distance de 120° avec trois roues de chenilles. Il existe différents types de robot de type à paroi , Tels que celui à chenille, celui à roulettes, et celui à vis de pressage de paroi de roue etc.

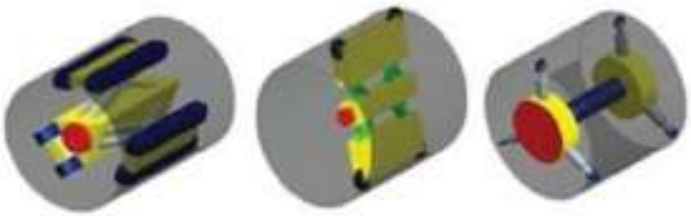


FIGURE 2.3 – (à partir de la gauche) Type de presse à la chenille, type de presse à roue et type de vis de serrage de la roue

Bien que leur forme et leur mécanisme de déplacement différent, la fonction de base reste identique pour tous les robots [24]. Le robot de la figure 2.4 est MRINSPECT V, un robot de type à paroi. Ce robot peut s'adapter en fonction du type et de la taille du tuyau. Ce robot est l'un des domaines de recherche des essais non destructifs.



FIGURE 2.4 – Robot mural

2.4.3 robot de type Inchworm

Ce type de robot peut avoir un mouvement très flexible qui peut passer par la ligne de tuyau plié. Certains d'entre eux sont utilisés dans l'inspection de la surface de la lame. Il ya des projets développés impliquant le robot autonome montré sur la figure et qui ont été conçus pour détecter les fuites de gaz. Ce type de robots est plus petit, il est utilisé pour des tubes de plus petit diamètre [29]. Il ya des robots qui ressemblent à des robots

24. Nur Shahida et al ., 2012
29. Wakimoto et al ., 2003

inchworm, mais généralement en forme de serpents. Ce type de robot peut s'adapter au diamètre du tuyau pendant l'inspection. Cependant, à certains diamètres le robot ne peut pas s'adapter [9].

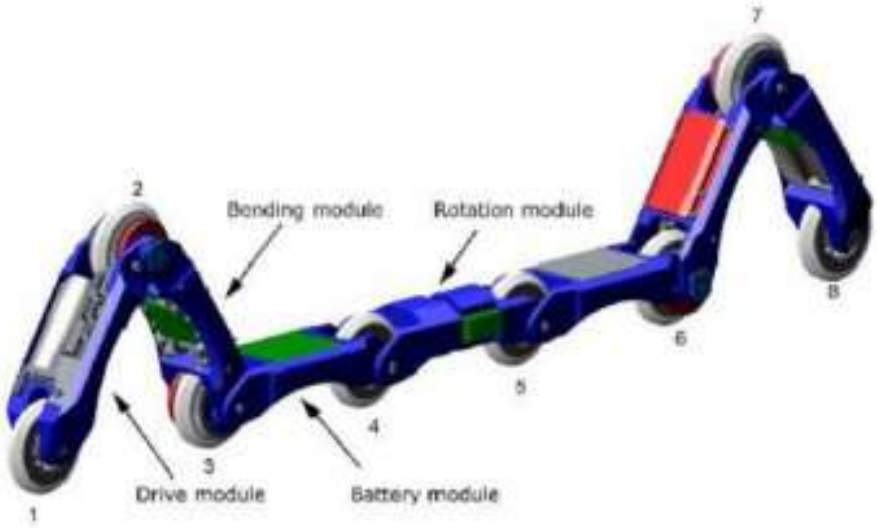


FIGURE 2.5 – Robot de type Inchworm

2.4.4 robot de forme serpent

Ce type de robots également connu comme microbot peut fonctionner à l'intérieur de tuyau d' un diamètre de 44 mm à 90 mm et il est capable de se déplacer en T-junction. Ce robot peut s'adapter à différents changements de diamètre comme mentionné pa [25].

9. Dertien et al.,2011
25. Ono et al., 2008



FIGURE 2.6 – Robot de type serpent pour tuyau de petit diamètre

2.4.5 robot à simple roues

Contrairement au Robot de type à paroi, ce robot se déplace à l'intérieur du tuyau en utilisant la roue sans exercer aucune force sur le mur. Il est de différants types : Black-Hawk, Beaver, KATE, RESPONDER, etc. Les robots à simples roues sont relativement plus petits que la taille de la tuyauterie Ils ne peuvent pas se déplacer sur la surface courbée [22]. Ce type de robots est surtout utilisé pour l'inspection de tuyaux a petite distance. Les robots à roues sont très simples à construire et à fonctionner, ils ne sont pas adéquats dans la canalisation contenant un flux de gaz fortement pressurisé.

22. Nayak et al., 2014



FIGURE 2.7 – robot à simple roues CRAWLER

2.5 Collecte d'énergie dans le système robotique

2.5.1 robot pour canalisation hybride (RCH)

Un RCH est un excellent exemple de robot d'inspection de tuyauterie à énergie d'écoulement. Un RCH convertit l'énergie d'écoulement en mouvement en utilisant la turbine et donc le mouvement dépend du débit de fluide. Cependant, il peut ajuster le mouvement en utilisant le système de contrôle. Le RCH utilise un réseau neuronal artificiel (RNA) pour l'identification du système [5]. Le RCH est dôté d'un système d'autorécupération, ce

5. Cichocki A. et al., 1993

qui le caractérise d'autre types de robots [3]. Le système de contrôle dans ce type de robot est très complexe, il fera l'objet de notre étude.

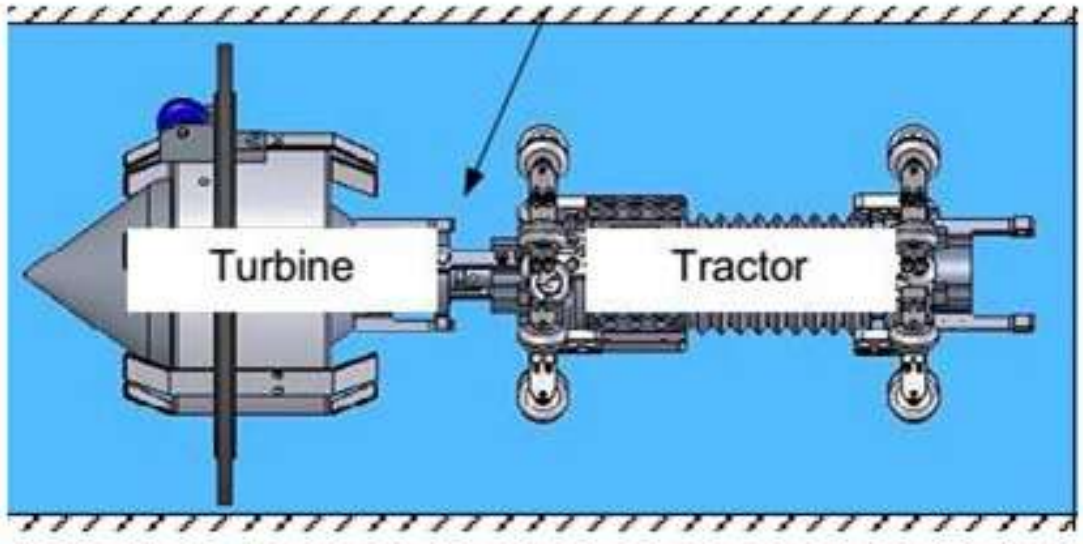


FIGURE 2.8 – Robot hybride de ligne de tuyaux

2.5.2 mécanisme d'iris (diaphragme)

Le mécanisme iris est utilisé pour ouvrir une porte de forme circulaire. Il se compose de plusieurs feuilles / lames généralement faites de minces plaques en métal / plastique qui s'effondrent et s'alignent pour garder la porte circulaire ouverte ou fermée. La porte d'iris peut être maintenue fermée pour bloquer le flux de gaz et rouvrir la porte pour laisser passer le gaz. Ce mécanisme peut être installé à l'arrière du robot.

3. Becci G. M. 2010

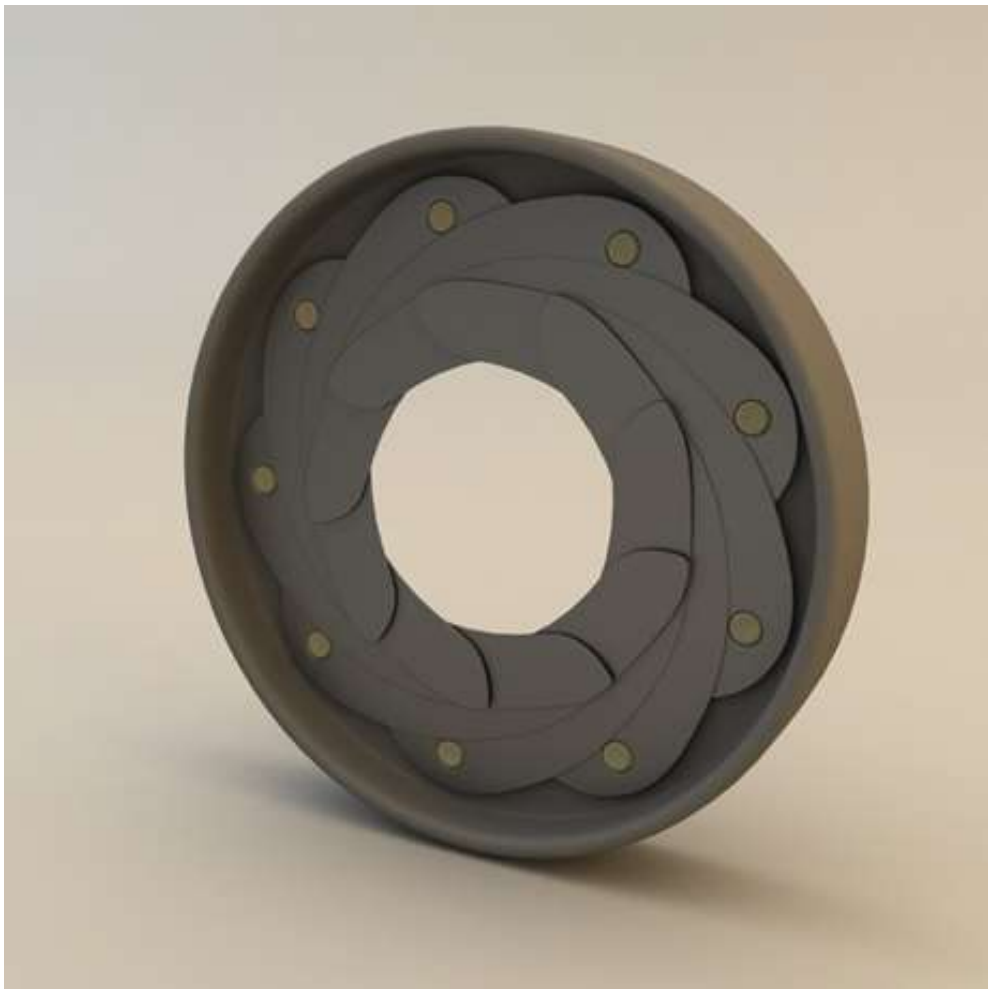


FIGURE 2.9 – Méchanisme d'iris

2.5.3 ressort d'extention

Le ressort d'extension fournit une force quand on l'étire et cela peut être utilisé pour produire le mouvement. Habituellement, les ressorts disponibles sur le marché sont livrés avec des crochets à la fin des deux. Ce crochet peut être relié à la roue. Lorsque les roues tournent, il enroule la corde et étire ainsi le ressort d'extension. La roue est verrouillée dans un sens et le ressort ne peut être tiré qu'une fois le verrou retiré.



FIGURE 2.10 – Ressort d'extension

Une autre solution pour utiliser l'énergie de ressort pourrait être l'utilisation d'un ressort plat tel qu'illustré dans la figure 2.11 ci-dessous. Le ressort plat peut fournir un couple constant aux roues et donc très utile pour des mouvements à ressort.

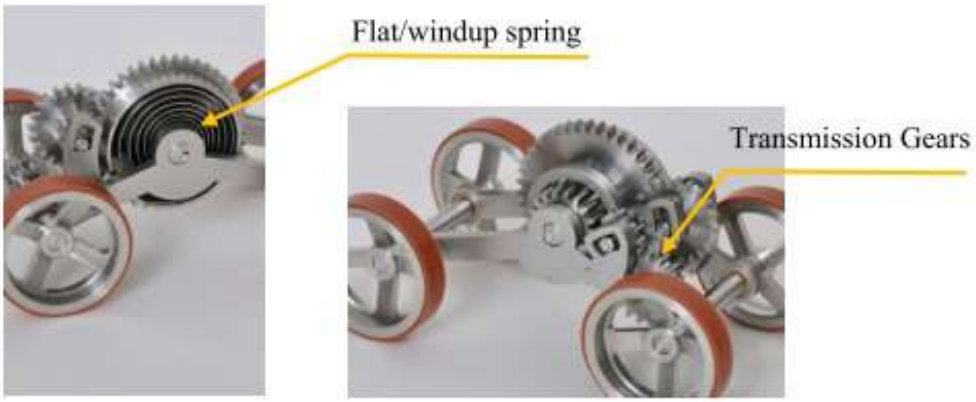


FIGURE 2.11 – Une petite voiture à ressort plat / élastique / à ressort relié aux roues

2.5.4 mécanisme à cliquet

Un mécanisme à cliquet permet le mouvement dans une seule direction tout en empêchant le mouvement dans la direction opposée. Ce mécanisme se compose de deux parties principales, une roue à cliquet et un cliquet. La roue et le cliquet sont conçus et fixés de manière à ne pouvoir tourner que dans un seul sens. Par conséquent, mécanisme à cliquet fonctionne également comme un système de freinage.

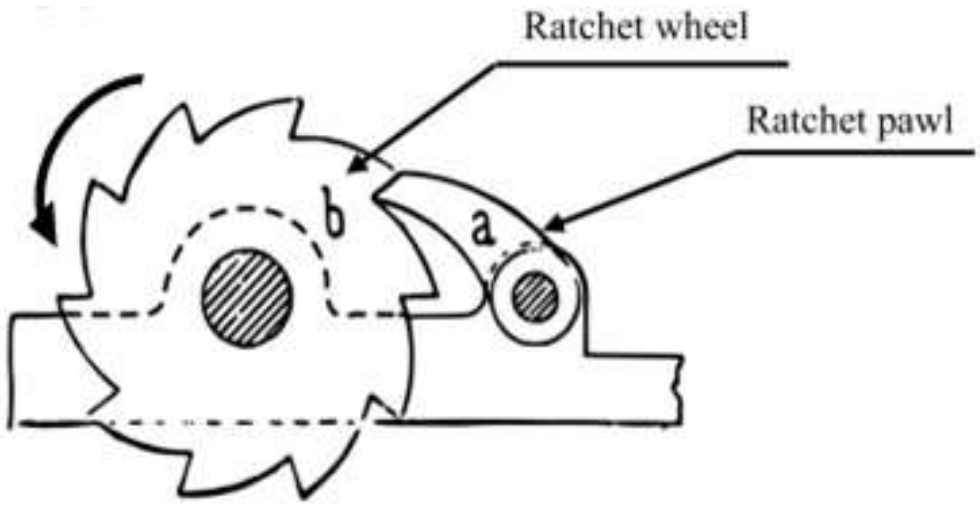


FIGURE 2.12 – arbre d'hélice

2.6 Conclusion

depuis un certain temps l'inspection des tuyaux existe : de nombreuses applications industrielles d'inspection des tuyaux ont été mises au point au cours des dernières décennies pour répondre à des critères opérationnels spécifiques. Il ya des robots en forme du serpent ils peuvent pénétrer dans les tuyaux étroits tandis. certains robots prennent une forme plus simple tels que robots à roues simples et robot de type à paroi. Afin de se déplacer à l'intérieur du flux de gaz, il est nécessaire d'avoir certains mécanismes : la porte iris située à l'arrière du robot qui permet de faire bloquer et passer le gaz ; le mécanisme à cliquet pour faire freiner. Bien que de nombreuses recherches aient été effectuées, la plupart des robots d'inspection ne peuvent pas se déplacer en l'arrière à l'intérieur du flux gazeux. Par conséquent, il convient de concevoir un système d'inspection de tuyau capable de se déplacer en avant et en arrière par le biais du flux de gaz.

Chapitre 3

synthese de conception

3.1 Introduction

Ce chapitre contient la conception mécanique détaillée, la synthèse de conception du matériel avec le logiciel et enfin la sélection des composants électriques. Le projet se concentre sur la minimisation des composants électriques à des fins de sécurité tout en utilisant les composants mécaniques et divers mécanismes. Par conséquent, plus de conceptions mécaniques qu'électriques sont présentées dans ce chapitre. La première partie présentera la conception des pièces mécaniques et les mécanismes, la deuxième partie traitera la conception de logiciel et de circuit. Différents outils et usinages sont nécessaires pour développer le prototype CAD, impression 3D, découpe au laser, perçage, etc. Les pièces des robots doivent être mesurées avec précision pour éviter toute défaillance mécanique. Puisque le projet implique plus de pièces mécaniques et le prototype est plus petit dans la taille, beaucoup de défaillances mécaniques peuvent se produire dans les articulations et le mécanisme.elles peuvent être résolues lorsqu'on prend une mesure appropriée et on fait une analyse de défaillance à travers une simulation.

Le prototype de corps construit principalement en plastique ABS (impression 3D). Les principaux éléments des robots sont un châssis en plastique ABS, une carte Arduino, un diaphragme iris, une caméra, un capteur infrarouge, un mécanisme à cliquet avec un ressort comprimé relié par un cordon, un servo moteur, un encodeur et des roues. La sélection des composants est basée sur la simulation. Les détails du matériel sont discu-

tés dans le chapitre. Les prochaines pages illustrent la conception mécanique du prototype.

3.2 Conception mécanique

Le prototype doit être conçu de telle sorte qu'on puisse avoir une certaine pression une certaine force à son côté arrière pour qu'il fonctionne correctement. Le robot doit être construit léger mais solide et stable. Les principales parties du corps / squelette du robot sont faites de plastique acrylonitrile butadiène styrène (ABS) pour avoir une structure legère mais solide. La partie essentielle de la conception mécanique est qu'il existe de nombreux paramètres qui doivent être pris en considération. Par exemple, les dimensions des engrenages, le rapport d'engrenage, la largeur de la face, les diamètres, le pas et ainsi de suite. la conception mécanique peut analyser de la défaillance. Si la dimension et le choix du matériau ne sont pas judicieusement pris, il est fort possible que la pièce ou même l'assemblage entier échoue. La figure 3.1 montre la conception du prototype. Le modèle est conçu à l'aide du programme SolidWorks CAD et rendu dans PhotoView 360 (module de rendu). Dans le chapitre suivant, ce modèle est utilisé dans le module de simulation pour générer la force d'entraînement et la force de traction agissant sur le robot.

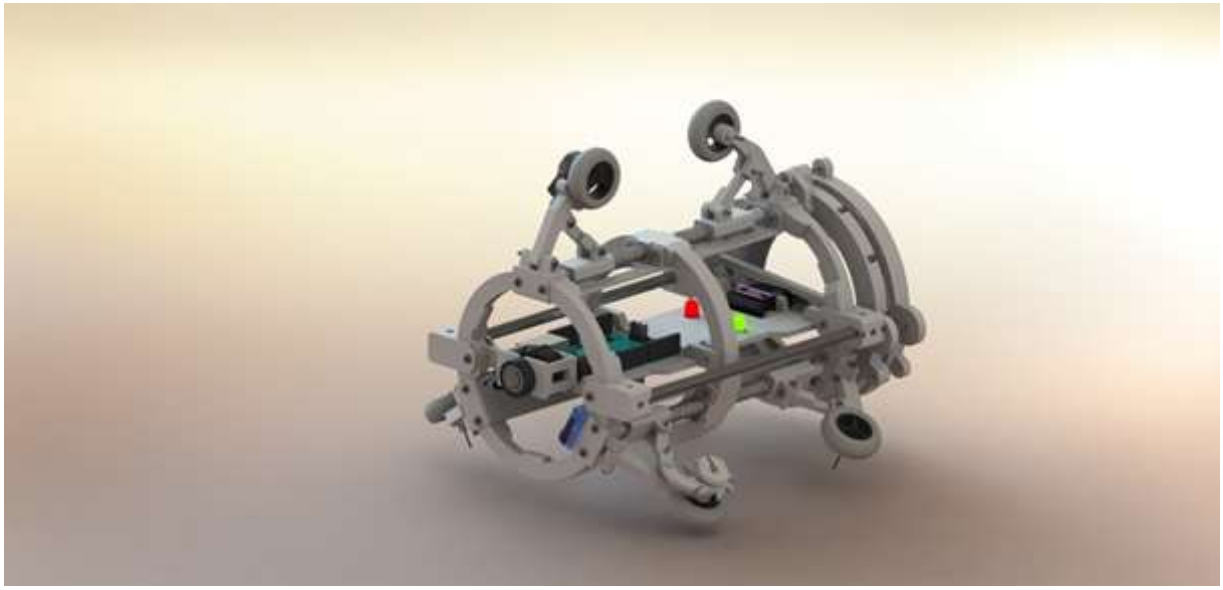


FIGURE 3.1 – Robot d'inspection des tuyaux alimenté par flux (côté avant)

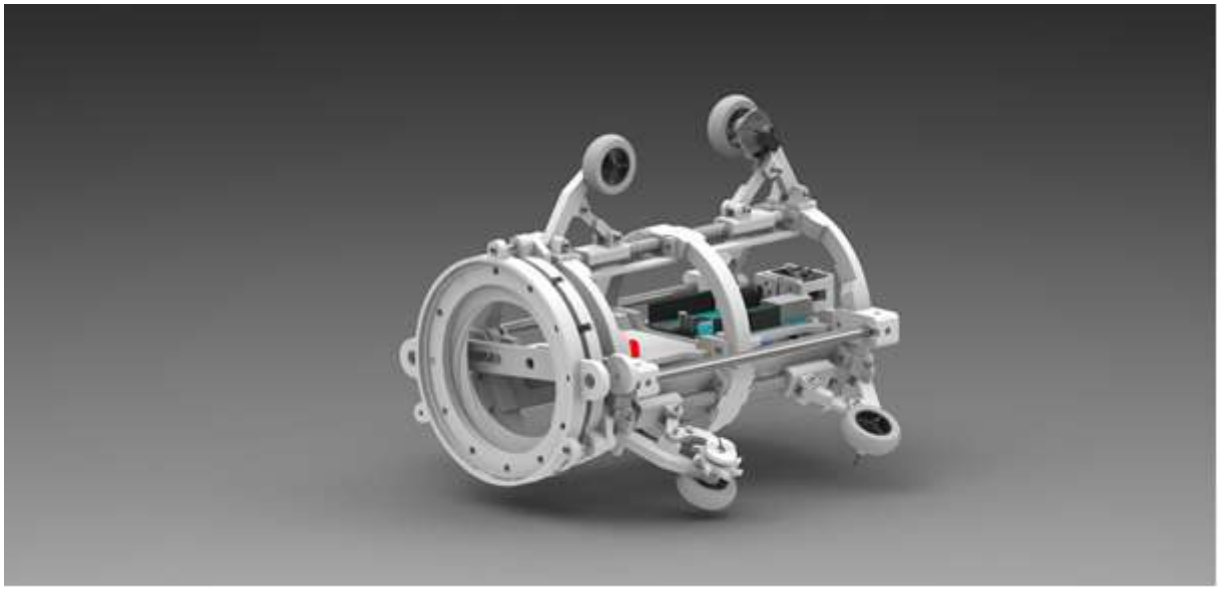


FIGURE 3.2 – Robot d'inspection des tuyaux alimenté par flux (côté arrière)

Les figures suivantes montrent le robot à l'intérieur du tuyau. Le robot est conçu de telle sorte que chaque roue touche la paroi interne du tuyau.

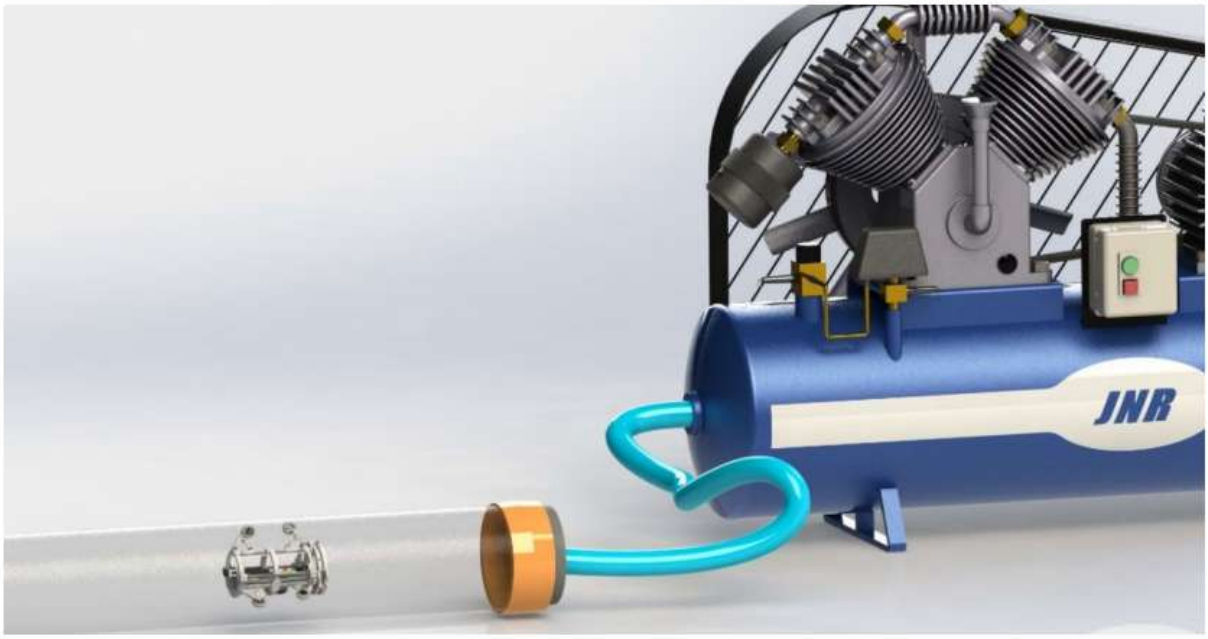


FIGURE 3.3 – Robot à l'intérieur du tuyau

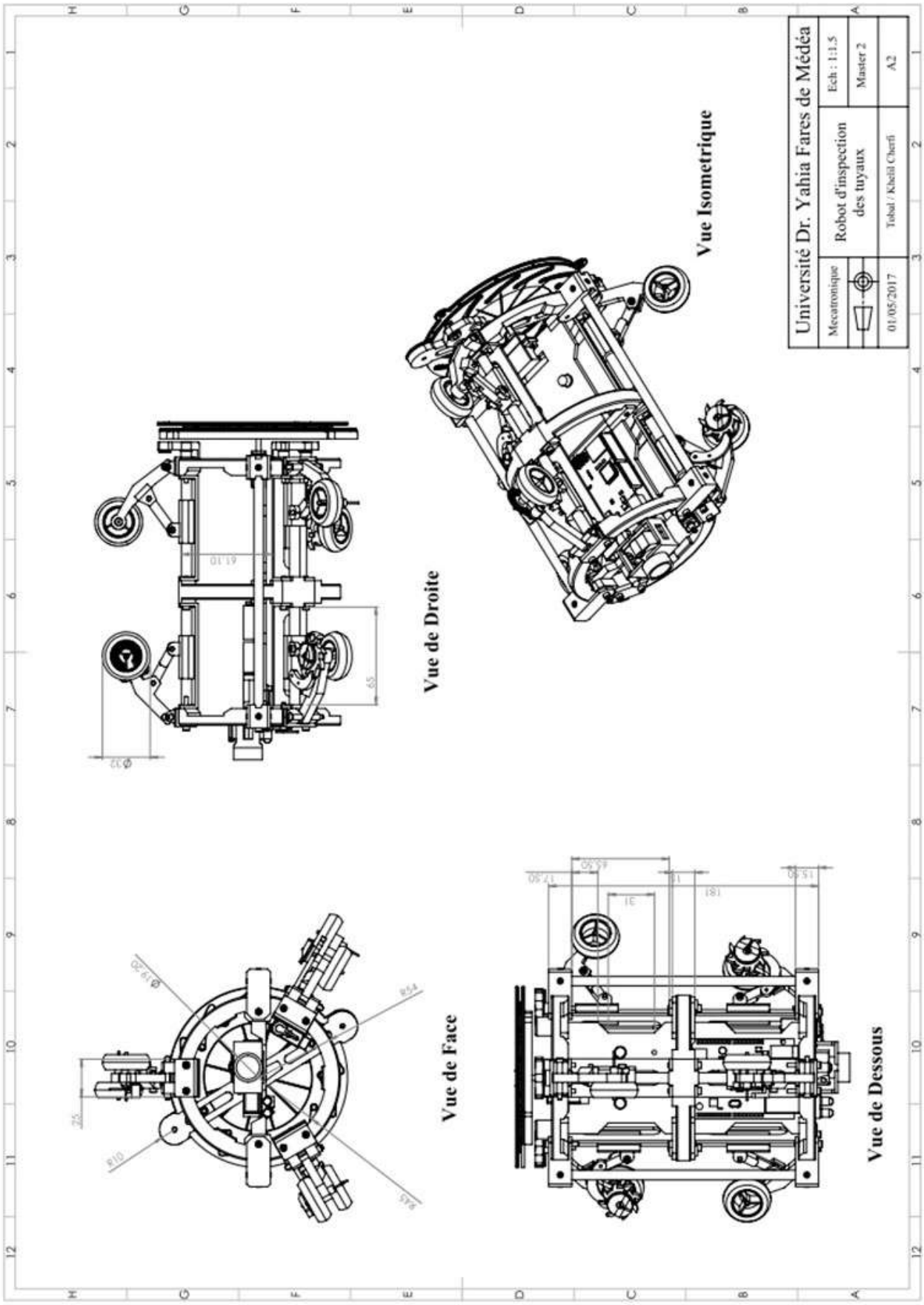


FIGURE 3.4 – Dessin technique du robot

3.3 Logiciels

Voici la liste des logiciels utilisés dans ce projet

1) SolidWorks 2016 SP3 : Pour générer un modèle et une simulation 3D.

2) Arduino 2014 : programmation C.

3) Proteus 8.1 : Dessin de circuit.

4) MATLAB 2014b : Traitement Vidéo / Image.

3.4 Schéma électrique

Le circuit électrique se compose de la carte Arduino connecté à la caméra, capteur IR, Servo moteurs, un encodeur et une alimentation. La simplicité du circuit rend plus facile Pour programmer et contrôler les composants. Le circuit électrique est illustré ci-dessous :

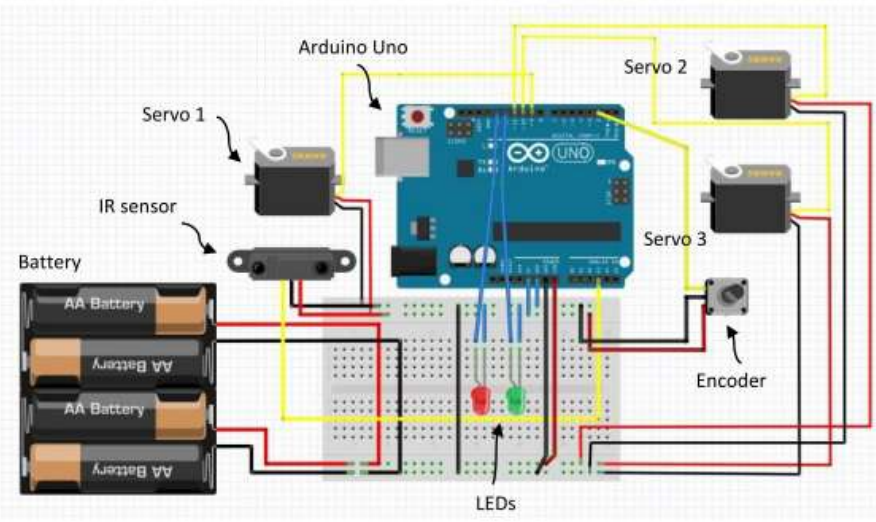


FIGURE 3.5 – Circuit électrique

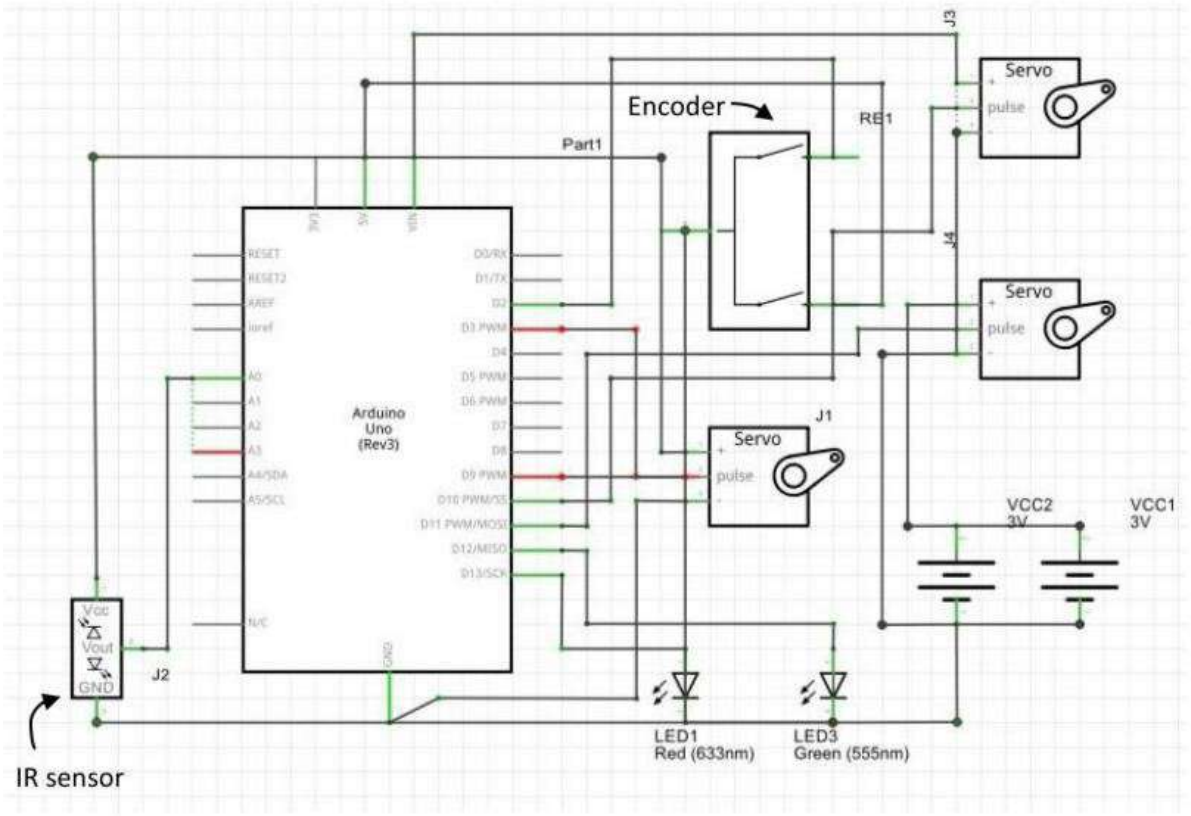


FIGURE 3.6 – Circuit électrique (Schématique)

Le circuit électrique représenté ci-dessus exclut le module de caméra car le module de caméra aura ses propres circuits et connexions. La caméra possède son propre processeur et une carte mémoire interne pour stocker les données.

3.5 Conclusion

À la fin de ce chapitre, nous pouvons dire que nous avons créé un design simple basé sur nos connaissances antérieures de résistance des matériaux et liaison mécanique Ainsi que le dessin technique en utilisant un logiciel de CAO (SOLIDWORKS) pour le Modèle 3D et PROTEUS pour concevoir un circuit électrique simple qui contrôlera le Robot à travers le processus d'Inspection des canalisations.

Chapitre 4

simulation et analyse du système

4.1 Introduction

Tout système d'ingénierie doit faire l'objet de simulations et de tests avant de finaliser et de construire le prototype. Les données simulées fournissent des informations perspicaces sur le système réel, qui peuvent être analysées pour donner plus de précision au système. Bien que la simulation ne fournisse pas toujours des données précises, elle peut être utilisée pour prédire l'issue ou le résultat possible du système. Il peut également être utilisé pour analyser les erreurs. Si l'échelle d'erreur est importante, le système peut être modifié pour minimiser les erreurs. La première partie du chapitre montre la simulation et le calcul pour déterminer le couple de rotation du robot. La deuxième partie de ce chapitre résume la liste des composants à utiliser. Pour le robot d'inspection de tuyaux, le fonctionnement en flux continu doit être testé dans un logiciel de simulation afin de déterminer les paramètres nécessaires pour les calculs ultérieurs. La simulation de l'écoulement d'air se fait en SolidWorks Flow simulation pour obtenir la connaissance globale de la quantité de force motrice et de force de traînée que le système peut rencontrer. La simulation est effectuée deux fois : une fois pour le mouvement en avant et une fois pour le mouvement en arrière. Le mouvement du robot en avant est relativement facile parce que la force de l'air poussera le robot vers l'avant. De plus, tant que la force motrice est supérieure à la force de frottement entre les roues et la paroi du tuyau, le robot avancera. Pour que le robot puisse revenir en arrière, il doit surmonter une certaine force de traînée

et nécessite donc certains couples qui seront calculés plus tard dans cette section.

La figure 4.1 ci-dessous présente l'organigramme du système qui décrit le fonctionnement des différents composants. L'analyse détaillée des composantes est discutée dans la dernière partie du chapitre.

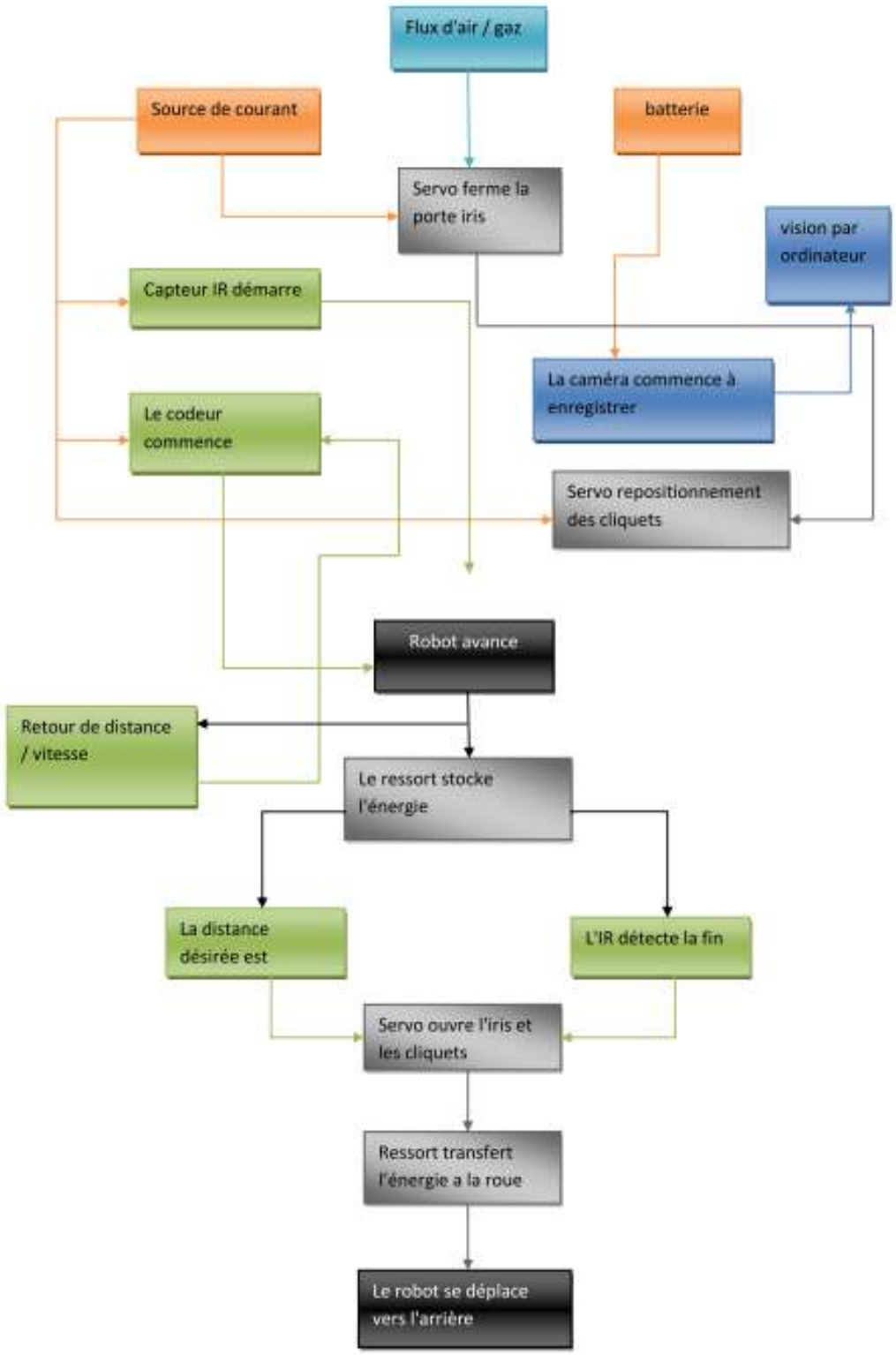


FIGURE 4.1 – Organigramme du système

4.2 Analyse du mouvement en avant

La figure 4.2 représente la pression de surface sur le côté arrière du système. L'air portée est estumée à une vitesse de 15 m / s et la pression d'air dans le tuyau est prise comme 3 psi ou environ 20 kPa.

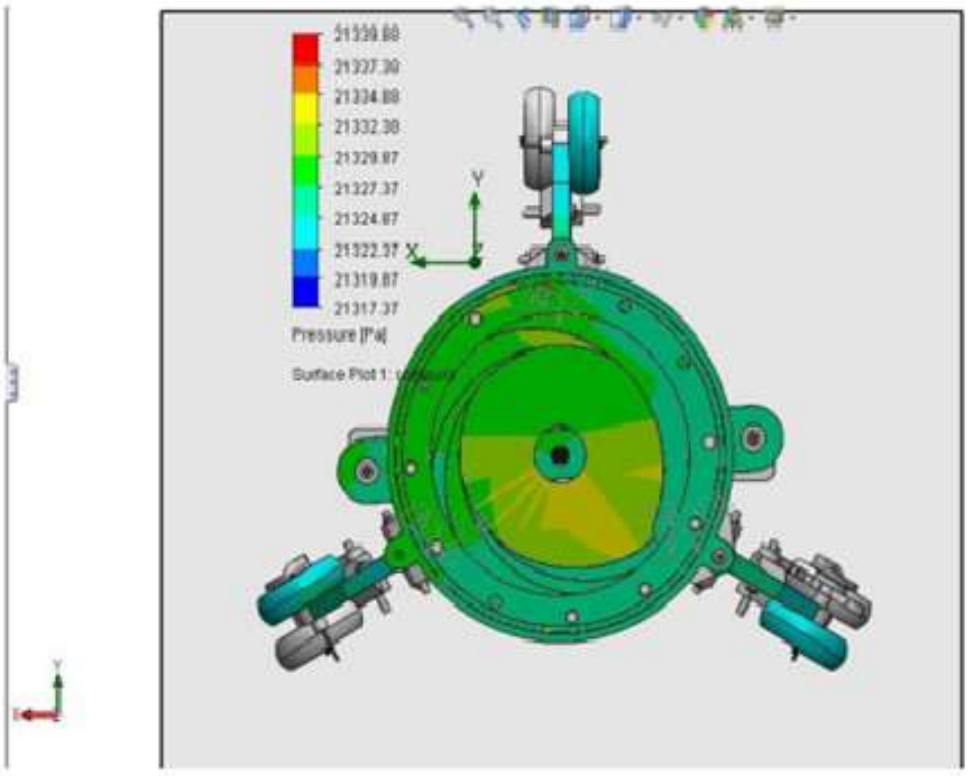


FIGURE 4.2 – Pression sur la surface du robot pendant le mouvement en avant

La force entraînée qui agit sur la surface de la partie arrière peut être calculée en prenant la surface totale de l'iris multipliée par la pression sur les surfaces. La force, la pression et la surface sont liées par l'équation (4.1).

$$F = A \times P \tag{4.1}$$

$$F = A_{(Iris)} \times P_{(Iris)} + 3(A_{(roues)} \times P_{(roues)})$$

$$F = \pi r^2_{(Iris)} \times P_{(Iris)} + 3(diamètre \times largeur) \times P_{(roues)}$$

$$F = \pi(0.055m)^2 \times 21 \times 10^3 pa + 3(0.03m \times 0.014m) \times 20 \times 10^3 pa$$

$$F = 224.67N$$

D'aprés la figure 4.2, on peut voir que la pression notable est exercée sur le dos du robot, il pousse le robot vers l'avant. La vitesse de l'air tombe une fois qu'il entre en contact avec le robot. Puisque le robot fonctionne sous un flux d'air continu, il se déplacera en avant pour vu que l'alimentation en air ne s'arrête pas. La figure 4.3 montre les changements de vitesse de l'air dans le tuyau pendant le mouvement en avant.

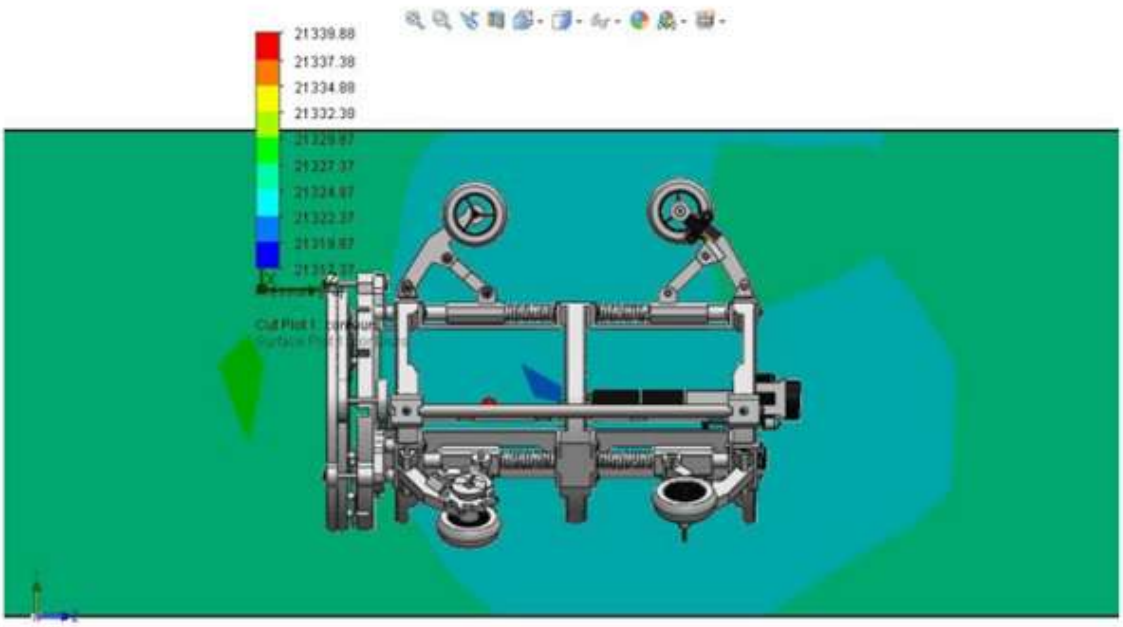


FIGURE 4.3 – Pression sur la surface du robot pendant le mouvement en avant

4.3 Analyse du mouvement en arrière

La porte d'iris ouvre la partie arrière une fois que le mouvement en avant est terminé et le mouvement en arrière commence. Cependant, le mouvement en arrière peut être complexe et difficile pour ce robot et nécessite une analyse détaillée.

La Figure 4.4 sur la page suivante montre la pression appliquée sur différentes surfaces du robot tout en se déplaçant contre le flux d'air. Cette pression peut être utilisée pour calculer la force de traînée nette exercée sur la surface du côté arrière du robot. Une fois la force connue, le couple minimum requis pour les roues peut être déterminé. Les calculs de la force et des couples sont présentés dans les pages suivantes.

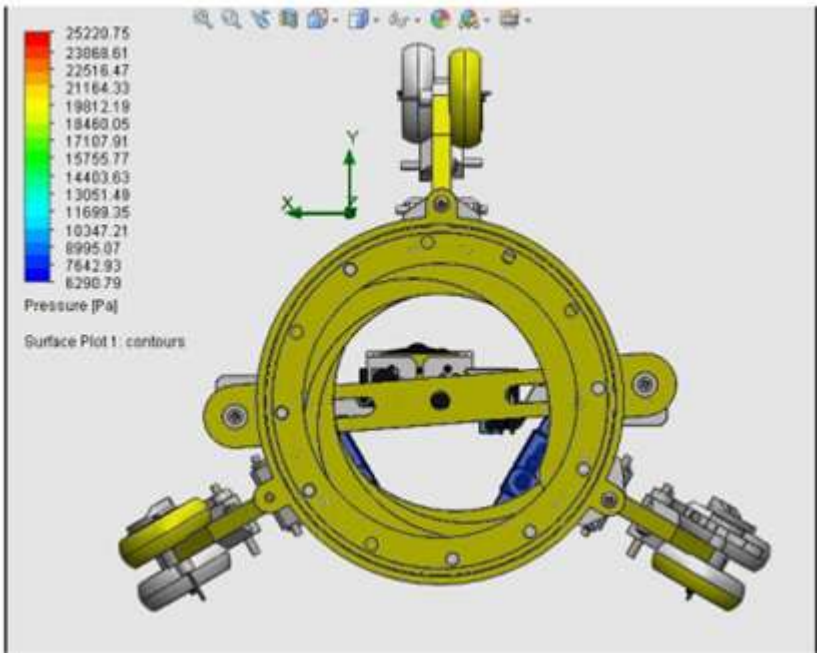


FIGURE 4.4 – Pression sur la surface du robot pendant le mouvement en arriére

La vitesse de l'air change également en passant à travers diverses structures dans le robot.

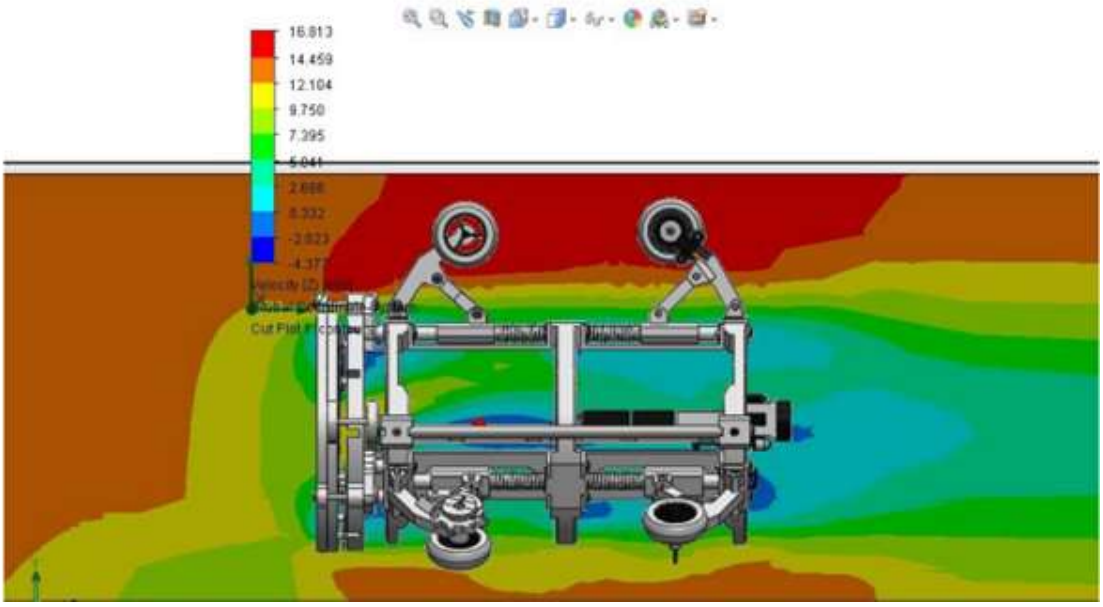


FIGURE 4.5 – Vitesse de l'air sur la surface coupée pendant le mouvement en arrière

Les calculs de la force de traînée lors du retour sont effectués sur la base des données obtenues à partir de la simulation, comme indiqué ci-dessous :

$$F = (A_{(bagued'iris)} \times P_{(bagued'iris)}) + 3(A_{(roues)} \times P_{(roues)}) \tag{4.2}$$

$$F = (\pi r^2_{(Irisext)} - \pi r^2_{(Irisint)} \times P_{(bagued'iris)} + 3(diamètre \times largeur) \times P_{(roues)}$$

$$F = \pi(0.055^2 - 0.04^2) \times 21 \times 10^3 pa + 3(0.03m \times 0.014m) \times 21 \times 10^3 pa$$

$$F = 120.5N$$

La force de traînée totale agissant sur la surface arrière du corps est de 120,5 N. Le couple nécessaire à chaque roue peut être calculé en utilisant la force de traînée obtenue. Le calcul est illustré ci-dessous :

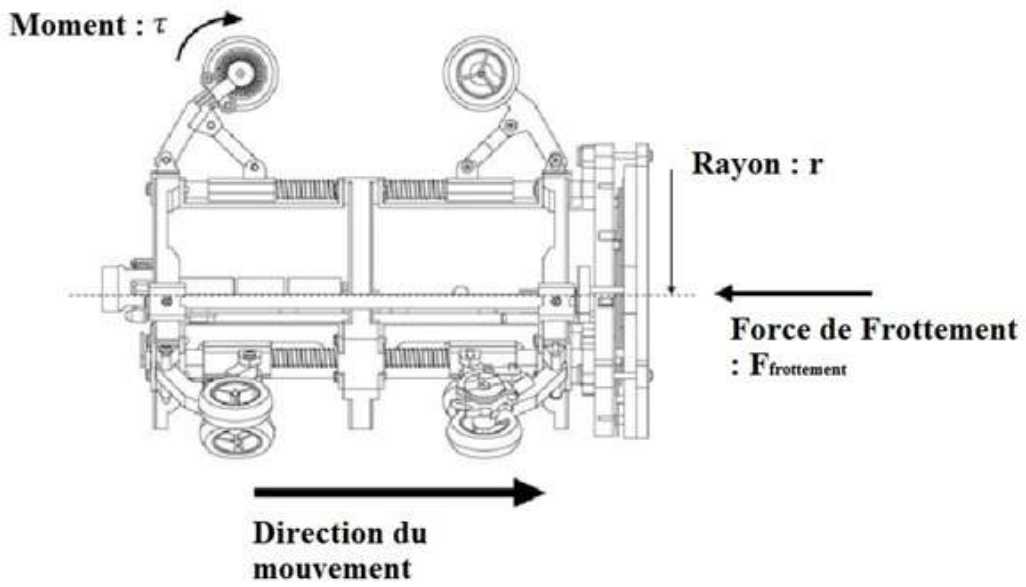


FIGURE 4.6 – Analyse de force et de couple

La force de traînée = 120,5 N

Le rayon r du centre = 6,5 cm = 0,065 m

Or, à partir de l'équation du moment, on peut l'écrire comme dans l'équation (4.3)

$$3F \times r - 3T = 0 \tag{4.3}$$

$$3 \times 120.5 \times 0.065 = 3 \times T$$

$$T = 7.8325N.m$$

Par conséquent, chaque roue de l'anneau avant nécessite un couple supérieur à 7. 8325N.m pour se déplacer vers l'arrière. Ainsi, le ressort doit être capable de transmettre un couple supérieur à 7.8325Nm.

4.4 Calcul pour le ressort d'extension

Le couple calculé dans la section précédente doit être transféré à l'arbre de la roue afin d'aller contre la force de traînée. Par conséquent, le ressort d'extension doit être capable de produire un couple supérieur à 10 N.m pour fournir une vitesse décente.

$$K = \frac{Gd^4}{8nD^3} \tag{4.4}$$

K = constante

G = Module de rigidité (Gpa)

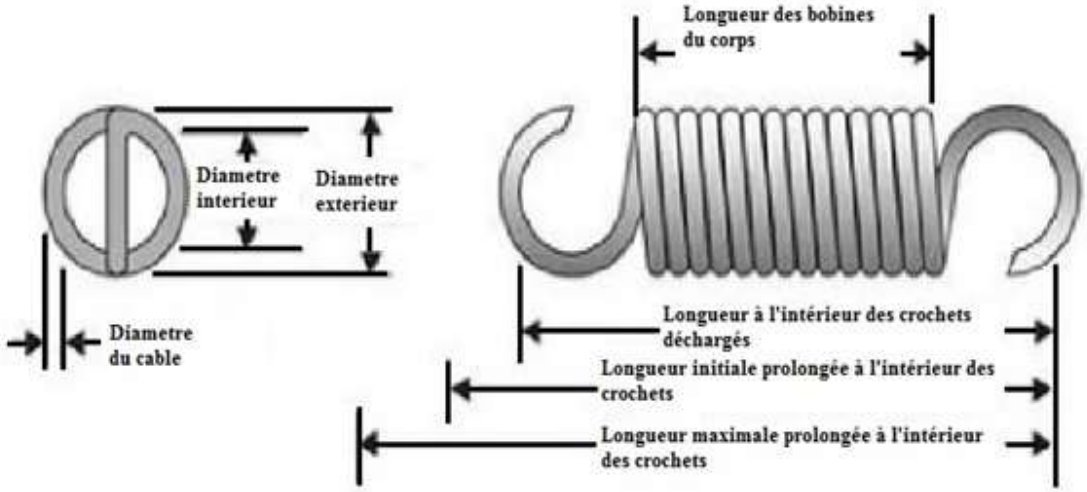


FIGURE 4.7 – Paramètre du ressort

d = Diamètre du fil (mm)

n = Nombre de bobines actives

D = Diamètre moyen de la bobine (mm)

Supposons maintenant que le module de rigidité du matériau soit de 77 GPa puisque la portée diffère de 75-80 GPa. Le diamètre du fil et le diamètre moyen sont de 1 mm et 7 mm respectivement et sont faits d'acier au carbone 1070.

Le nombre de bobines est 20, alors le taux de ressort peut être trouvé à partir de l'équation numéro (4.4) :

$$K = \frac{77 \times 10^9 \times 1^4}{8 \times 30 \times 7^3} = 65 \times 10^5 N/mm$$

La force exercée par le ressort après l'extension est :

$$F = kx \tag{4.5}$$

Supposer que le ressort s'étend jusqu'à 5 cm ou 50 mm donc :

$$F = 65 \times 10^2 \times 50 \times 10^{-3}$$

$$F = 340N$$

Le couple produit est la force multipliée par le diamètre de la roue

$$T = 340 \times 30 \times 10^{-3} = 10.2Nm$$

Puisque deux ressorts sont utilisés, le couple total sera de 20,4 Nm.

4.5 Sélection des tuyaux

La conduite dans laquelle le robot est testé doit être transparente afin que le mouvement du robot à l'intérieur du tuyau puisse être observé. Le robot peut ajuster la hauteur de la base de roue et ainsi il fournit la flexibilité de robot pour fonctionner dans le tuyau avec le rayon différent.

Le calcul de la plage admissible des diamètres de tube est indiqué ci-dessous :

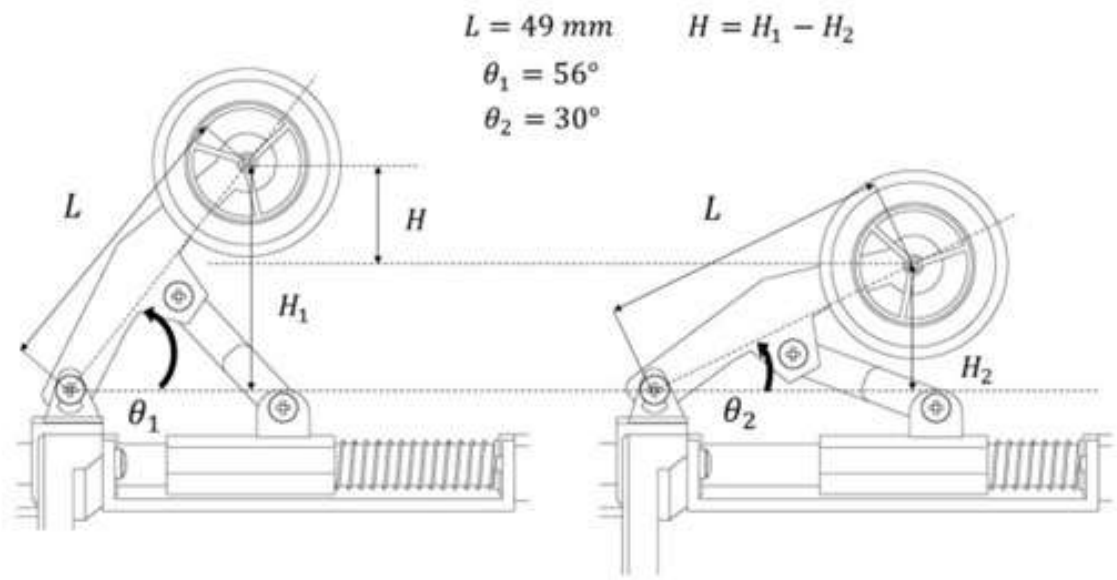


FIGURE 4.8 – Calcul de paramètre de hauteur de roue

$$H_1 = Lsin\theta_1 \tag{4.6}$$

$$H_1 = 49sin56$$

$$H_1 = 40.6mm$$

$$H_2 = Lsin\theta_2$$

$$H_2 = 49sin30$$

$$H_2 = 24.5mm$$

$$H = H_1 - H_2$$

$$H = 40.6 - 24.5 = 16.1mm$$

La gamme de hauteur pour les roues est 16.1mm. La roue à hauteur maximale a un diamètre global du corps de 24 cm. De sorte que la plage de diamètre admissible de la conduite est de 21,4 cm - 24 cm

4.6 Sélection du servo pour la porte d'iris

Les paramètres pour la porte d'iris et le matériau sont indiqués dans la figure ci-dessous. Le calcul montre le couple nécessaire au servo pour commander la porte d'iris.

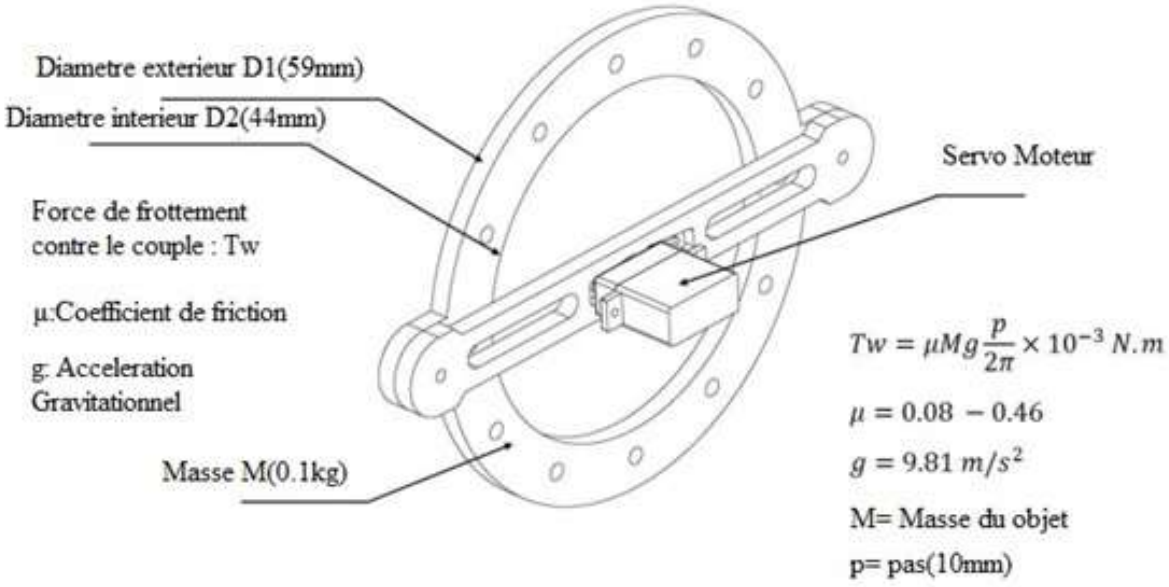


FIGURE 4.9 – Calcul du servo Iris

$$Tw = \mu Mg\frac{P}{2\pi} \times 10^{-3} N.m \tag{4.7}$$

$$Tw = 0.46 \times 0.1 \times 9.81 \times \frac{10}{2\pi} \times 10^{-3} N.m$$

$$Tw = 0.72 \times 10^{-3} N.m$$

$$Tw = 0.00734kgcm$$

Le servo d'intérêt doit fournir un couple de décrochage de 0,00734 kg cm pour déplacer la porte de l'iris.

4.7 Schéma de principe du servomoteur

La figure suivante montre le système de commande et de retour du mécanisme de porte d'iris. Le schéma fonctionnel n'est applicable qu'aux mouvements vers l'arrière et il s'agit d'un système de commande en boucle ouverte. Le capteur de vitesse lit la distance parcourue et fournit une rétroaction au contrôleur. Une fois la distance spécifique atteinte, les actionneurs sont activés. Le servo installé sur le mécanisme de l'iris et le cliquet ouvrira respectivement la porte d'iris et les cliquets à rochet.

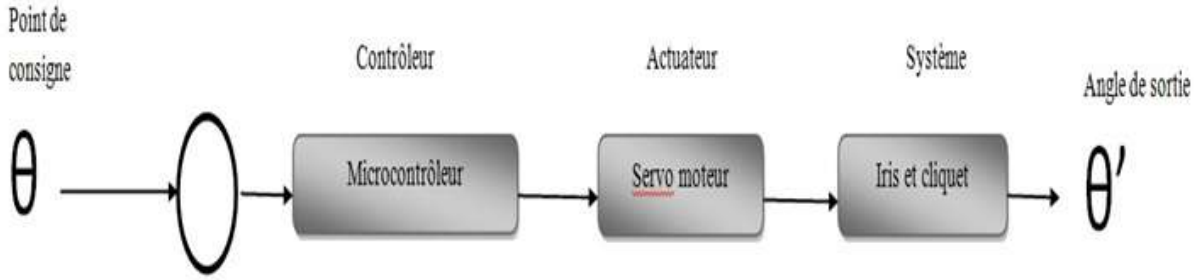


FIGURE 4.10 – Schéma bloc en boucle ouvert pour servo-actionnement

La rétroaction est fournie par le capteur de vitesse au microcontrôleur Arduino. Une fois que l'exigence est satisfaite, l'Arduino envoie un signal au servo pour se déplacer d'un certain angle. Les servos pour la porte de l'iris obtiennent le signal d'abord puis après une seconde les servos pour les cliquets de cliquet obtiennent les signaux

4.8 Sélection et spécification du matériel

La sélection du matériel pour ce projet vise à réduire l'utilisation de composants électriques inutiles afin d'éviter les étincelles électriques puisque le fonctionnement du robot est à l'intérieur du tuyau de gaz. Il existe plusieurs matériels choisis pour le robot en fonction de la simulation et des spécifications requises. Les détails du matériel sont listés ci-dessous :

4.8.1 micro servomoteur

Le Servomoteur est utilisé pour contrôler le mécanisme d'iris à l'arrière du robot.

Dimenssion	22.3 x 11.8 x 26.3 mm
Voltage	4.8 V $\sim 6VDC$
Poids	$12\pm1g$
Vitesse	0.12 sec/60 (à 4.8 V)
Couple	1.8 kg
Température du travail	$-20C \sim 60C$

TABLE 4.1 – Spécification du micro-servomoteur



FIGURE 4.11 – Gear Pro Servo Motor MG90S Metal Gear

4.8.2 carte Arduino Uno

Le microcontrôleur Arduino est installé dans le robot pour contrôler les composants électriques en fonction du programme / code téléchargé.

Arduino Uno possède les spécifications suivantes :

Microcontrolleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée	7V-12V
Tension d'entrée (limites)	6V-20V
E/S Numérique	14 Dont 6 fournissent une sortie PWM)
Entrée Analogique	6
DC Courant par chaque E/S	40 mA
DC Courant pour pin de 3.3 V	50 mA
Mémoire Flash	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Horloge	16 MHz
Longeur	68.6 mm
Largeur	53.4 mm

TABLE 4.2 – Spécification d'Arduino Uno

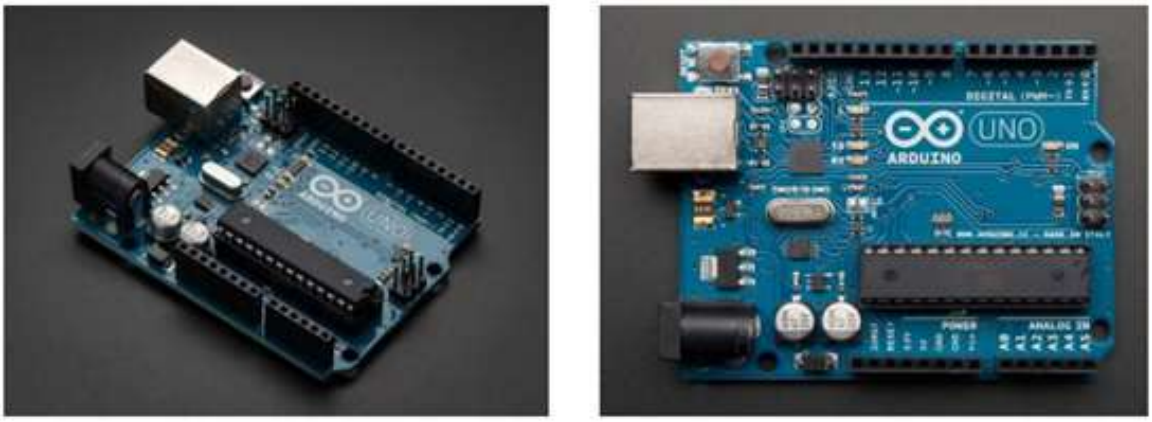


FIGURE 4.12 – Arduino Uno

4.8.3 capteur d'évitement d'obstacle IR

Le dispositif se compose d'un émetteur infrarouge, d'un détecteur infrarouge et d'un circuit de support. Il ne nécessite que trois connexions. Lorsqu'il détecte un obstacle à portée, il enverra une sortie faible.

Source de courant	DC 3.3V - 5V
Courant de repos	<2mA
Courant de fonctionnement	>20mA
Angle efficace	35C
Distance variable	2 - 40cm
Température de fonctionnement	-10C +50C
Signal de sortie	niveau TTL
Entrée de déclenchement largeur d'impulsion	10 uS
Dimenssions	28mm x 23mm
Poids	9g

TABLE 4.3 – Spécification du capteur infrarouge



FIGURE 4.13 – Capteur infrarouge HCR04

4.8.4 encodeur de capteur de vitesse photoélectrique

L'encodeur donne la sortie sous forme de '1' et '0'. Avec l'aide de l'impulsion générée par l'encodeur, le microprocesseur peut calculer le régime de la roue attachée au encodeur. En appliquant des formules simples, il est possible d'obtenir la distance et la vitesse de la roue

Nombre de lignes	100 lignes
Diamètre extérieur	22mm
Diamètre de l'alésage	3.5mm
Épaisseur	0.3mm
Matériau	Acier
Tension d'alimentation	5V
Câblage	Rouge-5V Noir-GND
Signal de sortie	5vpp sortie de signal en quadrature

TABLE 4.4 – Spécification d'encodeur



FIGURE 4.14 – Encodeur de capteur de vitesse photoélectrique

4.8.5 mini caméra

Cette caméra Super Mini haute définition est équipée de diverses fonctions pratiques intégrant la photographie numérique et la fonction d'enregistreur vidéo.

Interface de transfert de données	8 Mini brouches USB
Frame Rate	30fps
CPU	A9-CORETEX Kernal
Décodage viéo	H.263 accelerate
Formats viéo	AVI
Formats de photos	JPG
Résolution viéo	640 x 480 pixels
Résolution de l'image	1280 x 720 pixels
Tension de recharge	DC-5V
Dimenssions	27x26x26mm

TABLE 4.5 – Spécification du module de caméra



FIGURE 4.15 – Mini Caméra Camcorde

4.8.6 source de courant

Le microcontrôleur Arduino est alimenté à l'aide d'une batterie électrique et de quatre piles AA 1.5V. La banque de puissance est suffisamment petite pour être installée dans le robot et suffisamment efficace pour assurer la tension et le courant requis.

méthode de sortie	USB(2.0) sortie
Capacité	2200mAh
Méthode d'entrée	Micro USB 5V/1A
Sortie	USB 5V /1A

TABLE 4.6 – Spécification de Micro Metal Gearmotor

Quatre batteries de 1.5V produiront un total de 6V de tension de sortie et cette tension sera fournie à deux servos sur trois, car les servos drainent une grande quantité de courant et, par conséquent, une puissance supplémentaire est nécessaire pour les conduire.



FIGURE 4.16 – Mini Power Bank et piles AA 1.5V

4.8.7 roues (Tamiya Mini 4 roues motrices)

Taille / poids de l'article : 20,5 x 8 x 1,7 cm / 18g

Quantité : 6 pièces



FIGURE 4.17 – Tamiya 15414 petit dia. Roue en carbone et pneus en arc blanc

4.8.8 iris diaphragme

Le mécanisme d'iris peut avoir une structure simple, mais la construction d'un exige des détails de chaque pièce. Le tableau montre les paramètres nécessaires pour générer une porte d'iris. L'ouverture partielle de la fenêtre circulaire pourrait être une alternative à la porte d'iris, mais cela n'autoriserait pas beaucoup de circulation d'air.

Paramètre	Valeurs
A. Diamètre extérieur	120 mm
B. Max. ouverture	73 mm
C. Min. ouverture	5 mm
D. Nombre de lame	12
E. Largeur de lame	49.50mm
F. Longueur de rainure	26.55 mm
G. Le moument de rotation	89

TABLE 4.7 – Paramètre d'iris calculés

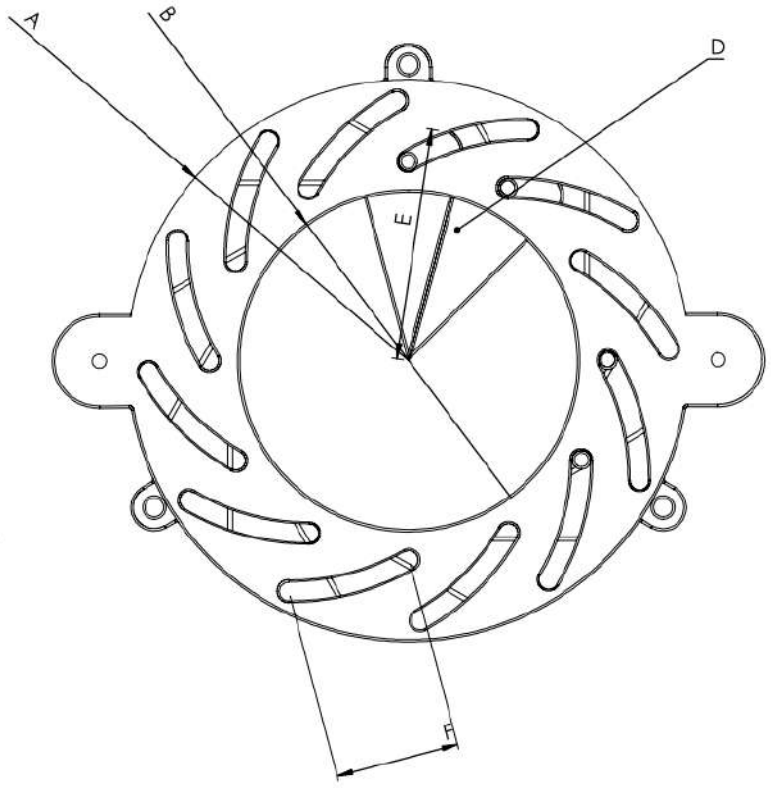


FIGURE 4.18 – Modèle généré par Iris basé sur l'étiquetage de la dimension réelle

4.9 Conclusion

Ce chapitre traite des procédures et de l'importance de la simulation dans la conception d'un système d'inspection des tuyaux. Le modèle préparé en CAO est simulé pour obtenir des données numériques. Ces données sont utilisées pour calculer le couple requis pour les mécanismes. Les calculs de couple et la sélection du moteur en fonction du calcul sont expliqués dans ce chapitre. Les spécifications des composants électriques également illustrées dans ce chapitre.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, un prototype est nécessaire pour vérifier les données obtenues à partir de la simulation et pour détecter tout défaut dans le modèle 3D, Pour ce projet, on effectue des recherches sur des nombres de robots / projets d'inspection de tuyaux pour recueillir des informations concernant le système et les sous-systèmes d'un robot / système d'inspection de tuyauterie divers à mettre en œuvre en conséquence , Il donne l'image globale de la situation qui peut être rencontrée tout en développant le système actuel à l'avenir.

De nombreux paramètres dans la conception et les simulations ont été réduits.

Cependant, le robot réel pour fonctionner dans la situation de la vie réelle nécessitera de nombreux changements et améliorations. Sur la base de l'évaluation de la performance à partir des données expérimentales, une certaine recommandation peut être faite.

Le tuyau de gaz de l'industrie fonctionne sous une pression très élevée. Pour que le robot puisse supporter dans un tel environnement, il doit être très robuste. Par conséquent, la sélection de matériaux pour le future projet du robot doit être soigneusement examinée.

L'inspection du tuyau de gaz ne peut pas être aussi précise que prévu s'il n'y a que la caméra pour obtenir le retour. Deux autres caméras peuvent être placées sur le côté du robot pour obtenir l'image également à partir d'un point mort. Des caméras dotées d'une capacité de rotation peuvent être utilisées pour optimiser le nombre d'utilisation de la caméra. L'une des caractéristiques importantes du robot est le mouvement vers l'arrière

après l'achèvement de l'inspection. Ce mouvement en arrière peut être amélioré en plaçant un mécanisme tel que le système de propulsion pour fournir l'actionnement à la roue du robot en continu.

Étant donné que le projet vise à utiliser l'énergie de flux du gaz (propulseur), il peut être très important dans l'industrie de minimiser les coûts et les efforts.

No. ARTICLE	PIECE	QUANTITÉ
1	Anneau avant	1
2	Aneau intermédiare	1
3	Anneau arrière	1
4	Support	6
5	Base de roue	6
6	Support anneau iris	3
7	Plaque arrière	1
8	Plaque avant	1
9	Capteur IR	1
10	Arduino	1
11	Support caméra	2
12	Caméra	1
13	Extension Anneau avant	2
14	Extension anneau arrière	2
15	Arbre ressort	6
16	Tige	2
17	Servo moteur	1
18	Tête rotor	1
19	Méchanisme iris	1
20	Extension servo moteur	1
21	Ajusteur de roue	6
22	Système roue	5
23	Support de roue	5
24	Roue	6
25	Arbre de roue	6
26	Connecteur	6
27	Support capteur de vitesse	1
28	Capteur de vitesse	1
29	Disque	1
30	Servo moteur 2	1
31	Roue cliquet avant	2
32	Cliquet arrière	2
33	B18.3.1M - 1.6 x 0.35 x 3 Hex SHCS – 3NHX	48
34	hex screw-am	6

Table 4.8 – Nomenclature

Référence

1. 123d circuit. Récupérer le 05/02/2017 de
   http ://123d.circuits.io/

2. Autobotic Solution Malaysia. Récupérer le 07/02/2017 de
   http ://www.autobotic.com.my/sensors

3. Becci G. M. (2010). Automation and Control Architecture for Hybrid Pipeline Robots. Durham E-thesis.

4. Bywell Springs and Pressings Ltd .Récupérer le 07/02/2017 de
   http ://www.bywell.co.uk

5. Cichocki, A. et Unbehauen R. (1993). Neural networks for optimization and signal processing. Stuttgart : Chichester, B.G. Teubner ; Wiley.

6. Contract Resources. Récupérer le 08/02/2017 de
   http ://www.contractresources.com

7. Cosmo Engineering Co, Ltd. Récupérer le 08/02/2017 de
   http ://www.cosmoeng.co.jp

8. Dertien Edwin. (2014). Design of an inspection robot for small diameter gas distribution mains. ISBN 978-90-365-3681-3. ISSN 1381-3618. Netherlands. E. Dertien, Enschede.

9. Dertien E., Stramigioli S. et Pulles K. (2011). Development of an inspection robot for small diameter gas distribution mains. Shanghai, China. IEEE.

10. FastTech. Récupérer le 10/02/2017 de https ://www.fasttech.com/product/1380800-ir-infrared-obstacle-avoidance-sensor-module

11. Gambao E., Hernando M. et Brunete A. (2005). Multiconfigurable Inspection Robots for Low Diameter Canalizations. Ferrara (Italy). ISARC.

12. Gargade A., Tambuskar D. et Thokal G. (2013). Modelling and Analysis of Pipe Inspection Robot. ISSN 2250-2459, ISO 9001. Vol. 3. IJETAE.

13. Geek Factory. Récupérer le 10/02/2017 de http ://www.geekfactory.mx/tienda/arduino

14. Hammond Manufacturing. Récupérer le 10/02/2017 de http ://www.hammondmfg.com

15. Hiltcher G., Muhlthaler W. et Smiths J. (2003). Industrial Pigging Technology Fundamentals, Components, Applications. Germany. WILEY-VCH.

16. Hobby Partz. Récupérer le 10/02/2017 de http ://www.hobbypartz.com/servo-mg90s.html

17. IRMS lab. Récupérer le 15/02/2017 de
http ://shb.skku.edu/irms/research

18. Lelong Malaysia. Récupérer le 10/03/2017 de
http ://www.lelong.com.my/maxgear-smallest-webcam-spy-cam-y2000

19. Main Home page, Arduino. Récupérer le 10/03/2017 de
http ://www.arduino.cc/en/Main

20. Maverick Inspection Ltd. Récupérer le 10/03/2017 de
http ://www.maverickinspection.com

21. Meta Whole Sale. Récupérer le 10/03/2017 de
https ://www.metawholesale.com/shop

22. Nayak A. et Pradhan S. K. (2014). Investigations of Design Issues Related to In-Pipe Inspection Robots. ISSN 2250-2459, ISO 9001. Vol. 4. IJETAE.

23. Nur Afiqah Binti Haji Yahya, Negin Ashrafi et Ali Hussein Humod. (2014). Development and Adaptability of In-Pipe Inspection Robots. Vol. 11. Malaysia.

24. Nur Shahida Roslin, Anuar Adzly et Mohd. Fairuz bin Abdul Jalal. (2012). A Review : Hybrid Locomotion of In-pipe Inspection Robot. Procedia Engineering.

25. Ono M., Goto Y., Hamano T., Ito S. et Kato S. (2008). Fabrication of a snake type in- pipe mobile robotpassable t-junction.

26. Power Engineering. Récupérer le 15/03/2017 de
http ://www.power-eng.com/index.html

27. Schempf H., Mutschler E., Gavaert A., Skoptsov G. et Crowley W. (2010). Visual and Nondestructive Evaluation Inspection of Live Gas Mains Using the Explorer TM Family of Pipe Robots. Wiley Periodicals, Inc.

28. TurboSquid. Récupérer le 15/03/2017 de
http :// turbosquid.com

29. Wakimoto S., Nakajim J., Takata M., Kanda T. et Suzumori K. (2003). A Micro Snake like Robot for Small Pipe Inspection. IEEE.

30. WIRED. Récupérer le 15/03/2017 de
http ://www.wired.com/

31. Zhang Y. et Yan G. (2007). In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting, Mechanism and Machine Theory. Elsevier Ltd.

Appendice A

Appendice B