République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de

la Recherche Scientifique

Université Yahia Fares de Médéa



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

يحيى فارس بالمدية جامعة

كلية التكنولوجيا

Année universitaire 2022.2023

Pour l'obtention d'un diplôme de

Master en mécatronique ■

Diplôme startup ■

Brevet d'invention □

Filière : Génie Mécanique……..	**Spécialité : Mécatronique**

Intitulé du projet :

Conception et réalisation d'une Machine Intelligente de Mélange

Encadrant :	ALLICHE Mounir
Co-encadrant :	REBHI Redha

Présenté par :
LOUNAS Oussama
SAIDANI Lakhdar

Promotion Juin 2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE Yahia farés Médéa

Faculté de Technologie

Département Génie Mécanique

Mémoire de Fin D'études

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Mécatronique

Thème

Conception et réalisation d'une machine intelligente de mélange

Présenté par :

LOUNES OUSSAMA

SAIDANI LAKHDAR

proposé par :

Pr ALLICHE Mounir

Dr REBHI Redha

Promotion 2022- 2023

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements au Pr ALLICHE Mounir, notre encadrant et Dr REBHI Redha notre co-encadrant, pour le temps qu'il nous a consacré tout au long de ce projet, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer.

Nous tenons à remercier chaleureusement tous le personnel du laboratoire de l'université pour leur aide et leurs orientations.

Nous remercions également nos enseignants qui nous ont donné l'envie d'apprendre par leurs paroles, écrits, conseils et critiques tout au long de notre Formation.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers le président et les membres du Jury qui ont accepté de juger et d'évaluer notre modeste travail.

Nous adressons nos Plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragé au cours de notre parcours pédagogique et toutes personnes qui ont Contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet ainsi qu'à la réussite de cette Formidable année universitaire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicaces

Je dédie ce projet :

A Ma chère mère, A mon cher père,

Pour leurs soutiens moraux et leurs conseils précieux tout au long de mes études Aucun mot, aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, ma Considération et l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez Consentis pour mon instruction et mon bien-être.

A mon cher grand-père,(Lakhdar ben AMER)

A mes chères amies, Mohammed Belgacemi Mourad Kouidri Ibrahim Belgacem Bachir feredj Ali zogo aici abd elhalime Amadah Ali Haroun mekide Farouk belale Mohammed lazraui islam madadi

A mon cher binôme,

Saidani Lakhdar

Je dédie ce projet :

Je dédie ce modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

A mes très chers parents,

Aucun mot, aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, ma Considération et l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez Consentis pour mon instruction et mon bien être. Votre générosité et votre bonneté on toujours été un exemple pour Nous tous.

Je t'aime papa, Je t'aime maman et sachez que je vous suis très Reconnaissant.

A mes chers frères Youcef et Rida

A Mes chères amies Boubaker, SAID, bardo, Nabil, Marwan, Sofien Mounir, Noureddine, islam, Kader ben Aïcha, Zakaria JATNI, MOUHAMED SEHRA

Lounas Oussama

ملخص المشروع:

تتمثل الدراسة في تصميم آلة لخلط المواد المختلفة من أجل الحصول على خليط متجانس. يجب أن يشتمل النظام على آلية لعمل مخاليط يتم التحكم فيها بالكثافة والوزن. يتم التحكم الآلي بشكل مستمر بواسطة نظام تحكم ذكي.
إن تحقيق الآلة على نطاق صغير هو هدف رئيسي. هذه الآلة متعددة الاستخدامات وقادرة على التكيف مع بعض الاختلافات في ظروف التشغيل (الوزن، متعدد المراحل، درجة الحرارة، الضغط، سرعة دوران زعانف الخلط، إلخ). وهي مجهزة بوظائف ذكية للإدراك والقرار والعمل.

يتكون هذا المشروع من تصميم وبناء مفاعل خلاط يتم التحكم فيه باستخدام بطاقات "اردوينو" الإلكترونية.

كلمات مفتاحية: المفاعل- وقت الإقامة- الخليط المتجانس- الأردوينو- التحكم

Résumé

L'Etude consiste à concevoir une machine de malaxage de différentes matières afin d'avoir un mélange homogène. Le système doit comporter un mécanisme de réalisation de mélanges contrôlés en densité et en poids. Un contrôle automatique est effectué d'une façon continue par un système de régulation intelligent. La réalisation de la machine à petite échelle est un objectif principal. Cette machine est polyvalente et capable de s'adapter à certaines variations de ses conditions de fonctionnement (poids, multi phases, température, pression, vitesse de rotation des ailettes de malaxage, ..). Elle est dotée de fonctions intelligentes de perception, de décision et d'action.

Ce projet consiste en la conception et la réalisation d'un réacteur malaxeur commandé à l'aide de cartes électroniques "Arduino ».

Mots clés : Reacteur- Temps de sejour- Melange homogène- Arduino- controle

Abstract :

The Study consists in designing a machine for mixing different materials in order to have a homogeneous mixture. The system must include a mechanism for making mixtures controlled by density and weight. Automatic control is carried out continuously by an intelligent control system. The realization of the machine on a small scale is a main objective. This machine is versatile and able to adapt to certain variations in its operating conditions (weight, multi-phase, temperature, pressure, speed of rotation of the mixing fins, etc.). It is equipped with intelligent functions of perception, decision and action.

This project consists of the design and construction of a mixer reactor controlled using "Arduino" electronic cards.

Keys Words: Reactor- Residence time- Homogeneous mixture- Arduino- control

Table des matières

Introduction général **1**

Introduction **2**

CHAPITRE I : **3**

Recherche bibliographique **3**

Introduction **4**

I .1. Les types des réactions chimiques: **4**

I .2.Réacteurs chimiques **6**

I .3. Critères de classification des réacteurs **7**

I. 4. Nature et nombre de phase en présence **7**

I .5. Mode de fonctionnement du réacteur **7**

I .6. Réacteurs idéaux **9**

I .6.1. Réacteur parfaitement agité **9**

I .6.2. Réacteur fermé **9**

I .6.3. Réacteur ouvert **9**

I .6.4. Réacteur semi fermé ou semi ouvert **10**

I .6.5. Réacteur piston **10**

I .6.6. Réacteur réel **11**

I .7. Temps de séjour- âge interne- espérance de vie **11**

I .7.1. Notion de la Distribution de Temps de Séjour **11**

I .7.2. Aspect théorique de la DTS **12**

I .7.3. Caractérisation expérimentale d'une distribution des temps de séjour **12**

7.3.6. Facile à détecter **13**

I .8. Diagnostique de mauvais fonctionnement **14**

I .8.1. Volume mort **14**

I .8.2. Court-circuit **15**

Conclusion **16**

Chapitre II : Conception mécanique **17**

Introduction **18**

II .1. Couvercle du mélangeur intelligent **18**

II .1.1. Dimensions du couvercle **19**

II.1.2. Dimensions du couvercle 19
II .2. Bras 19
II .2.1.Définition 19
II .2.2. Dimensions du bras 21
II .2.3.Tableau des dimensions de bras 21
II .2.4. Définition du bras 21
II .3. Morceau d'hélice 22
Définition 22
II .3.1. Les dimensions 23
II .4. Cylindres mélangeur 23
Définition 23
II .4.1. Les dimensions 25
II .4.2. Définition du chiffre 25
II .5. Réacteur malaxage intelligent 25
Définition 25
II .6. Propriétés du réacteur 27
Conclusion 27
Chapitre III: Etude électrique 28
Introduction 29
III.1.Description général de système 29
III.2.Principe de fonctionnement 30
III.3.Partie réseaux 31
III.3.1.La connexion RS232 via USB 31
III.3.2. Description de l'interface graphique 31
III.4. Partie automatisme 32
III.4.1. Matériel utilisé 32
III.4.2.Carte arduino uno 32
III.4.3. Description de la Carte ARDUINO 33
III.4.4. Domaines d'applications 34
III.4.5. Arduino Uno, pourquoi 34
III.5. Partie matérielle 35

III.5.1. Entrées et sorties numériques.....37
III .6. Partie logicielle.....39
III.6.1Un moteur DC.....39
III.6.2.Les capteurs.....39
III.6.3. Définition sur les capteurs 39
III.6.4.Capteur de température.....40
III.6.5Capteur de température LM35 40
III.6.5.1. Définition LM35.....40
III.6.5.2. Brochage du lm 42
III.6.5.3. Calibration du lm35.....42
III.6.6.Capteur de détection 43
III.6.6.1. Capteur à ultrason HC-SR04 43
III.6.6.2. Caractéristiques techniques du capteur HC-SR04.....44
III.6.6.3.Montage capteur HC-SR04 avec Arduino 45
III.7.Fonctionnement 45
III.7.1.Distance de la cible 45
III.7.1.Les sous-systèmes qui composent le mélangeur chimique.....46
III.7.2.Mesure du niveau de liquide et poudre, commandes des électrovannes 46
III.7.3. Chaine de régulation du niveau de liquide.....47
III.7.4.Mesure de température et contrôle de l'extracteur.....47
III.7.5.La chaine de Contrôle d'extracteur.....48
III.7.6.Contrôle moteur DC.....49
III.7.7.La chaine de Contrôle moteur DC 49
III.8.Les circuits de puissance 50
Conclusion.....50
Chapitre IV : Simulation et réalisation de RIM.....51
IV.1. Partie de simulation.....52
IV.1.1.Logiciel de simulation.....52
IV.1.2.Le fonctionnement de simulation 52
IV.1.3Simulation de démarrage de moteur DC.....54
IV.2.Partie de programmation.....54

IV.2.1Program de capteur ultras (ARDUINO) **54**
IV.2.2Program d'électrovanne **55**
IV.2.3.program de capteur température lm35 ..... **56**
IV.2.4Program de RIM **56**
IV.3.Installation de pièces électriques **58**
Conclusion **58**
Chapitre V : Etude économique **59**
IV.Etude économique **60**
IV.1.Problématique **60**
IV.2Solution **60**
IV.3.Éléments de force de RIM **61**
IV.4.Éléments de vulnérabilité **61**
IV.5.Le facteur de projet **62**
IV.6.Segment cible **63**
IV.7.Taille du marché national & Vos Concurrents (alternatives) **63**
IV.8.Plus grands concurrents **63**
Conclusion ..... Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale **64**
Références Bibliographiques **67**

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: Equation de la réaction de système....4
Figure I. 2: Equation d'une réaction de décomposition....5
Figure I.3: Equation par éléments 5
Figure I.4: Equation de la réaction d'oxydation 6
Figure I.5: principe d'un réacteur chimique 6
Figure I. 6: Réacteur fermé 9
Figure I.7: Réacteur ouvert 10
Figure I.8: Réacteur semi fermé (a) ; réacteur semi ouvert (b) 10
Figure I.9: Réacteur piston....11
Figure I.10:Volume mort 15
Figure I. 11:Court-circuit 16
Figure II. 12:le couvercle 18
Figure II. 13: Morceau d'hélice....22
Figure II. 14: Cylindres mélangeur 24
Figure II.5 15**: réacteur malaxage intelligent**....26

Chapitre II

Figure II. 1:le couvre *18*
Figure II. 2 : bars *20*
Figure II. 3: Morceau d'hélice *22*
Figure II. 4: Cylindres mélangeur....*24*
Figure II. 5: réacteur malaxage intelligent....*26*

Chapitre III

Figure III 1:vue générale du projet....29
Figure III 2: Principe de fonctionnement du système....30
Figure III 3: connecteur USB pour Arduino 31
Figure III 4: interface graphique de l'application Windows....32
Figure III 5carte arduino uno....33
Figure III 6: Caractéristiques de la Carte ARDUINO UNO....35
Figure III 7: Composition du µC ATMega328 35
Figure III 8: Les Broches d'Alimentation 36
Figure III 9: **Les Broches d'entrées/sorties**....37
Figure III 10: moteur DC....39
Figure III 11: Différents types de capteurs 40
Figure III 12: capteur LM35 41

Figure III 13 brochage du lm35.....42
Figure .III 14:calibration du LM35. 42
Figure III 15: principe de fonctionnement du capteur ultrason HC-SR04.....44
Figure III 16: Montage HC-SR04 avec Arduino 45
Figure III 17: Diagramme temporel de HC-SR04.....46
Figure III 18: l'organigramme de mesure de niveau 46
Figure III 19: chaine de régulation de niveau des produits.....47
Figure III 20: organigramme de contrôle de l'extracteur 48
Figure III 21: chaine de contrôle de l'extracteur.....48
Figure III 22: organigramme de contrôle du moteur.....49
Figure III 23: chaine de Contrôle moteur 49
Figure III 24: Les circuits de puissance.....50

Introduction générale

Introduction

Le mélange de fluides est une opération très utile, que ce soit dans la vie courante et l'usage domestique ou bien dans le domaine industriel où cette opération est présente dans une majorité des procédés.

En effet, les procédés de mélange sont largement utilisés dans l'industrie pour de nombreuses applications comme l'homogénéisation de liquides complexes visqueux pour le mélange de polymères, les peintures et la polymérisation en solution [1].

De plus les récipients à agitation mécanique sont largement utilisés pour mélanger des flux monophasiques ; Mélange des liquides homogènes, tels que des huiles lubrifiantes et des additifs pour essence, et des dilutions dans le traitement chimique et minéral, le traitement des eaux usées et d'autres industries [2].

Le travail présenté dans ce document s'inscrit dans le cadre de la réalisation et la conception d'une machine intelligente de malaxage pour mélanger facilement les produits chimiques, c'est par rotation automatique des axones pour mélanger, elle a une grande importance dans la vie pratique afin d'obtenir la meilleure qualité de produit et des couts de production les plus bas.

Pour ce faire, on divisé notre travail en cinq chapitres :

Dans **le chapitre** I une recherche bibliographique sur les réacteurs chimiques et les types, **le chapitre II** conception mécanique est donne les détails géométrique par program solide Works , **le chapitre III** étude électrique ,les matériaux utilisé dans cette projet et les cahiers de charge des pièces, le chapitre IV réalisation de RIM sur logiciel TINKECARD et les proches électriques ,**le chapitre V** étude économique

CHAPITRE I :

Recherche bibliographique

Introduction

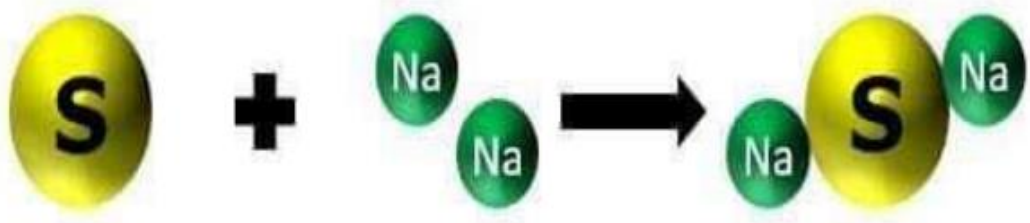
A notre époque, la protection contre les risques provenant des différents types des réactions chimiques ainsi que les facteurs influençant sur son avancement deviennent une véritable problématique qui mérite plus d'attention à cause de ses effets catastrophiques sur l'opérateur et le matériel. En outre, le problème d'être face à des produits dangereux nécessite de grands moyens pour nous protéger d'une façon plus sûre.

L'étude des réacteurs est du ressorte de génie de la réaction chimique, qui est une science particulière du génie chimique étudiant les transformations moléculaires de la matière en établissant des modèles. Le génie de la réaction a pour but de conduire à un réacteur de qualité supérieure permettant de réaliser une transformation chimique avec le meilleur rendement, de concevoir sa forme, ses dimensions et son mode de fonctionnement optimal à partir des données obtenues au laboratoire.

I .1. Les types des réactions chimiques:

Lorsqu'une transformation chimique se produit, la nature des substances initiales change et de nouvelles propriétés caractéristiques sont observées. Ces propriétés permettent de classer les réactions chimiques en différentes catégories en fonction des réactifs et des produits impliqués, qui déterminent la catégorie à laquelle appartient une réaction. . Il existe quatre types de réactions chimiques de base : [3]

I .1.1 Réactions de synthèse : Les réactions de synthèse se produisent lorsque deux réactifs se combinent pour former un seul nouveau produit, comme le montre l'exemple suivant. Lorsque le soufre se combine avec le sodium, un composé appelé sulfure disodique est produit. [3]



.Figure I.1: Equation de la réaction de système

I .1.2 Les réactions de décomposition :

Les réactions de décomposition se produisent lorsqu'un composé chimique est divisé en composés plus simples. Parmi ces réactions, on trouve de nombreux oxydes métalliques qui, lorsqu'ils sont chauffés, subissent une transformation chimique tout en libérant de

l'oxygène gazeux. Prenons l'exemple du carbonate de calcium qui se décompose en dioxyde de carbone et en oxyde de calcium. [3]

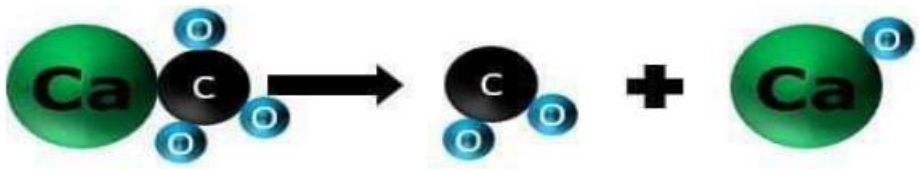


Figure I. 2: Equation d'une réaction de décomposition

I .1.3 Les réactions de précipitation :

Les réactions de précipitation se produisent lorsqu'une réaction chimique conduit à la formation d'un précipité, c'est-à-dire d'un produit insoluble. L'exemple suivant illustre ce type de réaction. [3]

Le chlorure d'argent |(AgCl_{(s)}) | est un précipité blanc formé par la réaction entre le chlorure de sodium |(NaCl_{(aq)} | et le nitrate d'argent |(AgNO_{3(aq)}) |.

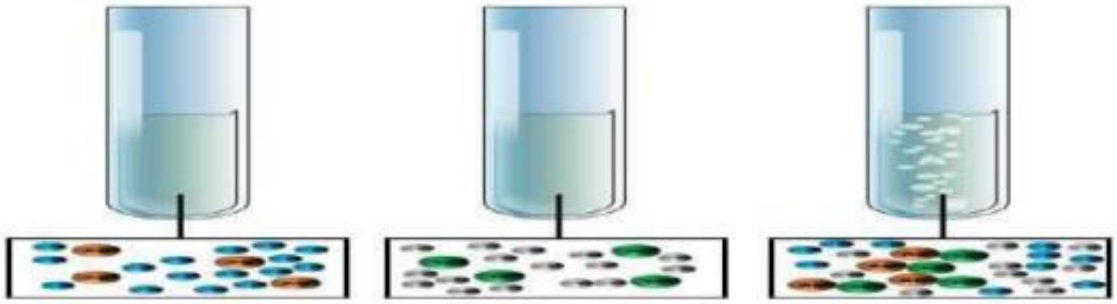


Figure I.3: Equation par éléments

I .1.4 Les réactions d'oxydation :

Les réactions d'oxydation impliquent l'utilisation de l'oxygène ou d'une substance ayant des propriétés similaires dans des transformations chimiques. L'exemple suivant illustre ce type de réaction. Au cours de la respiration cellulaire, les cellules utilisent le dioxygène présent dans l'atmosphère pour produire de l'énergie. [3]

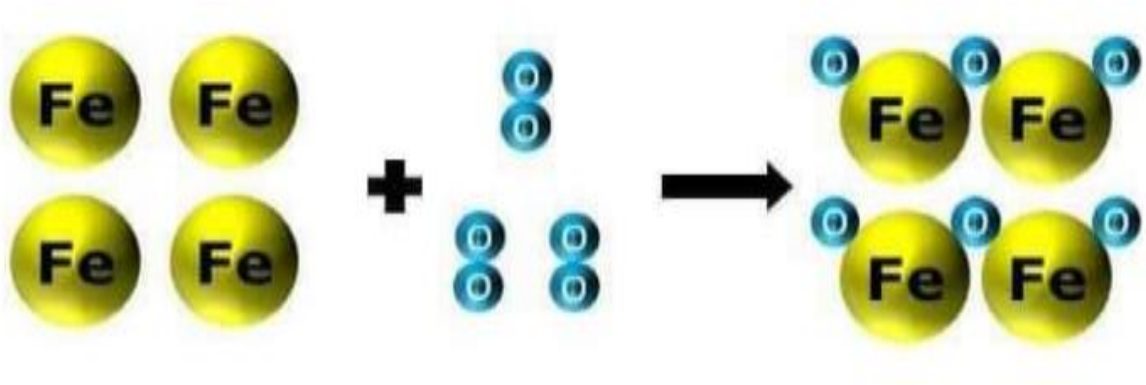


Figure I.4: Equation de la réaction d'oxydation

I .2.Réacteurs chimiques

Un réacteur chimique est un dispositif qui permet de réaliser une transformation chimique ou biochimique en convertissant des composants moléculaires en d'autres composants. Dans une installation industrielle, un "réacteur chimique" est généralement associé à un ensemble de composants industriels tels que des pompes, des vannes, des réservoirs, des échangeurs de chaleur, des chaudières, etc. Ces composants, placés en amont et en aval du réacteur, permettent le traitement physique des réactifs et des produits des réactions en cours. [4,5]

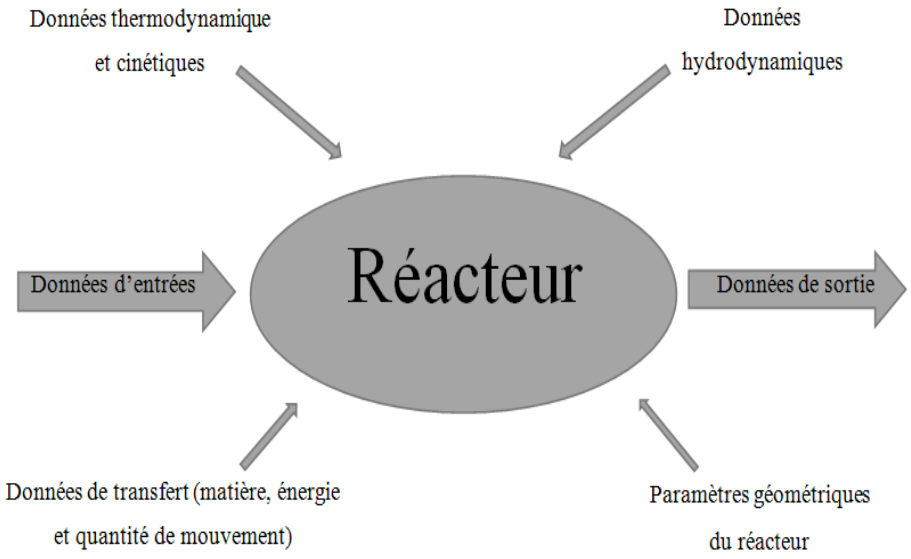


Figure I.5: principe d'un réacteur chimique

I .3. Critères de classification des réacteurs

Les critères de classification sont utilisés pour définir des catégories de réacteurs et permettent d'identifier un réacteur spécifique en fonction de ses caractéristiques, afin de le classer dans la catégorie appropriée. Les critères de classification macroscopique d'un réacteur chimique comprennent le nombre et la nature des phases présentes, le mode de fonctionnement du réacteur et le mode d'activation de la transformation chimique. [5]

I. 4. Nature et nombre de phase en présence

Ce critère concerne l'état physique du mélange réactionnel. Il existe deux types de réacteurs suivant ce critère :

I .4.1. Réacteurs monophasiques : où le mélange réactionnel est sous forme d'une seule phase qui peut être gazeuse ou liquide

I .4.2 Réacteurs poly phasiques : dans ce type de réacteurs, appelés aussi réacteurs hétérogènes, le mélange réactionnel est constitué de plusieurs phases. On distingue deux types de mélange :

I .4.3. Mélange poly phasique composé de trois phases : Gaz+Liquide+Solide.

I .4.4. Mélange poly phasique composé de deux phases :

Il s'agit d'un mélange poly phasique composé de deux phases qui peut être appelé un mélange biphasique. Ce type de mélange peut présenter différentes combinaisons, telles que gaz + liquide, gaz + solide, ou liquide + solide. Si la phase solide est présent, il est important de distinguer les cas où le constituant solide est un catalyseur et ne participe donc pas à la réaction, de ceux où les constituants solides prennent part à la transformation et sont des réactifs ou des produits de la réaction. [6]

I .5. Mode de fonctionnement du réacteur

Les critères de classification des réacteurs peuvent être basés sur le mode de fonctionnement du réacteur. Ce critère dépend de la construction interne du réacteur et de l'écoulement du mélange réactionnel. Les exigences pratiques de l'exploitation de l'installation déterminent le choix du mode de fonctionnement pour accomplir un processus désigné. On peut distinguer deux cas de réacteur :

I .5.1. Le premier cas est basé sur un critère de classification lié à la construction interne du réacteur, par exemple : les réacteurs à lit fluidisé, les réacteurs à lit fixe, etc. Ces réacteurs sont dans l'ensemble des réacteurs hétérogènes.

I.5.2. Le deuxième cas est basé sur un critère de classification lié au mode d'écoulement du mélange réactionnel. On distingue alors : les réacteurs fermés, les réacteurs semi-continus, les réacteurs continus, etc. [7].

I .5.3. Mode d'activation de la réaction :

Les deux types de réacteurs en fonction du mode d'activation de la réaction sont les réacteurs catalytiques et les réacteurs thermiques. Les réacteurs catalytiques sont des réacteurs qui utilisent un catalyseur pour accélérer la réaction chimique, tandis que les réacteurs thermiques sont des réacteurs qui utilisent la chaleur pour activer la réaction. Dans les réacteurs catalytiques, le catalyseur peut être présent sous forme solide ou liquide, et peut être utilisé en continu ou en discontinu. Les réacteurs thermiques peuvent être chauffés de différentes manières, telles que par conduction, convection ou rayonnement, et peuvent être utilisés pour des réactions exothermiques ou endothermiques.

I .5.4. Les réacteurs catalytiques sont des types de réacteurs qui utilisent des catalyseurs pour augmenter la vitesse des réactions. Dans ces réacteurs, le catalyseur est déjà présent dans le mélange réactionnel sous forme suspendue ou fixé par un dispositif incorporé dans le réacteur appelé un lit. Le catalyseur permet aux réactifs de se lier plus facilement et de former les produits plus rapidement. Les réacteurs catalytiques sont souvent utilisés dans les procédés de production à grande échelle, tels que la production de carburants, les processus chimiques, les industries pharmaceutiques, etc.

I .5.5 Réacteurs non catalytiques : tous les constituants du mélange réactionnel sont impliqués dans le processus de transformation sauf le constituant considéré comme solvant ou substances inertes.

Concernant la thermicité de la réaction, la plupart des réactions chimiques rencontrées en pratique sont caractérisées par la consommation ou le dégagement de chaleur. Ces réactions sont désignées, respectivement, par « réaction endothermiques » ou « réaction exothermiques ». Ce facteur lié à toute transformation chimique, a une influence sur la cinétique de la réaction, d'où l'intérêt d'équiper le réacteur de dispositifs d'échange thermique. Ce dispositif est capable de transférer ou non, la chaleur correspondante.

On distingue ainsi deux cas particuliers de réacteurs selon ce critère de classification à savoir : les réacteurs adiabatiques et les réacteurs isothermes [7].

I .6. Réacteurs idéaux

Il existe deux familles de réacteur idéal :

I .6.1. Réacteur parfaitement agité

Ces réacteurs sont homogènes en concentrations et en températures à un instant donné. On distingue trois familles de réacteur parfaitement agité :

I .6.2. Réacteur fermé

Dans un réacteur fermé (illustré dans la Figure I.6), tous les réactifs sont introduits en une seule fois au temps t=0 et la réaction se produit sans échange de matière avec l'extérieur. Les concentrations des réactifs et produits sont donc uniformes dans tout le volume réactionnel à un instant donné, mais évoluent au cours du temps en raison de la réaction chimique. La température est généralement contrôlée par échange thermique à travers les parois du réacteur [8].

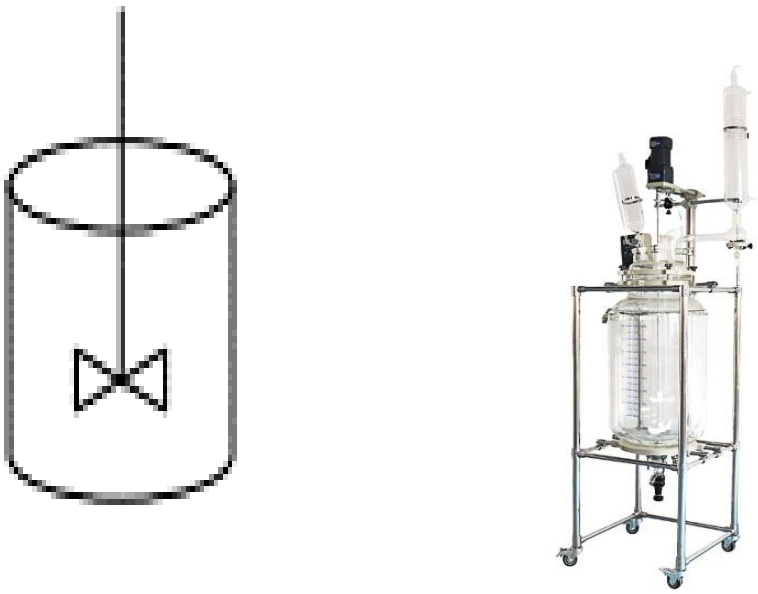


Figure I. 6: Réacteur fermé

I .6.3. Réacteur ouvert

Le réacteur ouvert est un type de réacteur dans lequel le volume réactionnel reste constant et les concentrations sont homogènes au cours du temps. Il est alimenté en continu avec un débit volumique Qve constant et un débit volumique Qvs est soutiré en continu. Le courant de produits extraits du réacteur a la même composition instantanée que le mélange réactionnel.

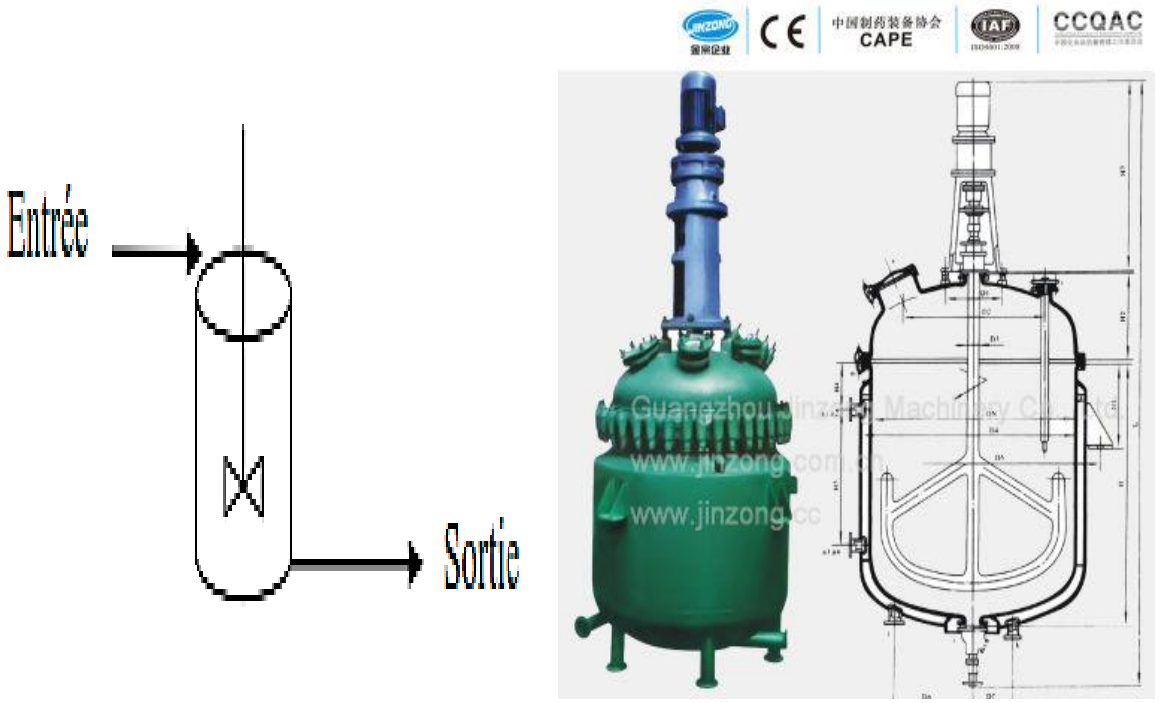


Figure I.7: Réacteur ouvert

I .6.4. Réacteur semi fermé ou semi ouvert

Dans le réacteur semi-ouvert (Figure I.8(a)) des réactifs ou des substances inertes sont alimentés avec un débit Qve. Dans le réacteur semi-fermé (Figure I.8 (b)), des réactifs ou des substances inertes sont soutirés avec un débit Qvs. Le volume réactionnel ainsi que les concentrations varient au cours du temps. Les concentrations sont constantes à un instant donné dans l'ensemble du volume réactionnel [8].

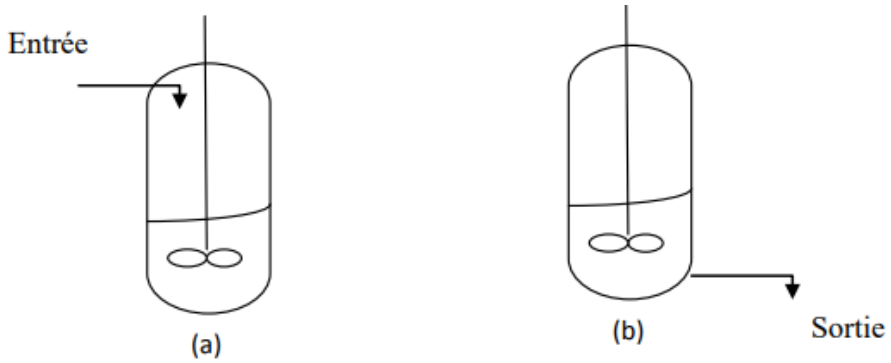


Figure I.8: Réacteur semi fermé (a) ; réacteur semi ouvert (b)

I .6.5. Réacteur piston

Le mélange réactionnel est en écoulement piston (Figure 1.9) lorsqu'il progresse dans le réacteur par tranches parallèles et indépendantes n'échangeant pas de matière (diffusion axiale négligeable), à la manière d'un piston dans un cylindre. Les variables

d'état sont constantes dans toute section droite normale à l'écoulement. Elles ne dépendent que d'un seul paramètre d'espace, mesuré parallèlement au sens de l'écoulement. Toutes les particules entrées ensemble ont un même temps de séjour dans le réacteur [9].

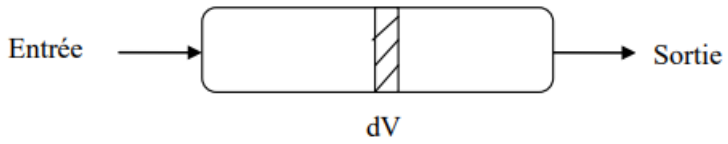


Figure I.9: Réacteur piston

I .6.6. Réacteur réel

Dans un réacteur réel, les molécules présentes à un instant donné n'ont pas toutes forcément le même âge, et elles n'auront pas non plus toutes le même temps de séjour. Un réacteur réel a un comportement qui s'écarte du modèle idéal et il serait intéressant de pouvoir chiffrer cet écart par rapport à l'idéalité.

I .7. Temps de séjour- âge interne- espérance de vie

Une molécule présente dans le réacteur pourra être caractérisée par trois concepts de temps, à savoir :

- Le temps depuis lequel elle est déjà dans le réacteur, appelée aussi son âge interne et est noté α.

- Le temps qu'il lui reste à passer dans le réacteur, qui est son espérance de vie souvent noté λ.

- La somme des deux temps précédents, est le temps qui s'écoulera entre son entrée et sa sortie du réacteur, il est appelé temps de séjour ts [6].

I .7.1. Notion de la Distribution de Temps de Séjour

Très largement utilisé aujourd'hui dans le génie chimique, le concept de la distribution des temps de séjour (DTS) a été défini et introduit par Danckwerts en 1953 [10]. Pour décrire de manière quantitative le comportement d'un système en écoulement, mettre en évidence la présence de défauts géométriques dans les mélangeurs et/ou réacteurs et modéliser la no idéalité des Écoulements [10].

I .7.2. Aspect théorique de la DTS

La distribution des temps de séjour dépend à la fois des propriétés d'écoulement du matériau en écoulement (concentration, viscosité, …) et du procédé utilisé (caractéristiques géométriques, conditions opératoires...) [11].

Dans le cas d'un régime permanent, en supposant que l'écoulement à travers les sections d'entrée et de sortie se fait par convection forcée, à l'exclusion de toute diffusion et de tout mélange en retour, la fonction la plus importante est la distribution des temps de séjour (E(t)). Ainsi E(t)dt représente la fraction de débit de sortie contenant les molécules ayant séjourné entre t et t+dt dans le réacteur. La distribution E(t) peut être assimilée à la densité de probabilité du temps de séjour dans le débit de sortie ; sa fonction est donnée par les équations suivantes :

$$\mathbf{E(t)}=\frac{\boldsymbol{Q_L C(t)}}{\int_0^\infty \boldsymbol{Q_L C(t)dt}} \qquad \textbf{(1.1)}$$

$$\mathbf{E(t)}=\frac{\boldsymbol{C(t)}}{\int_0^\infty \boldsymbol{C(t)dt}}=\frac{\boldsymbol{C(t)}}{\sum_0^\infty \boldsymbol{C(t)}} \qquad \textbf{(1.2)}$$

Où, C(t) représente la concentration moyenne du traceur mesurée dans le flux de sortie du système et QL le débit d'alimentation [7].

Pour un système en écoulement le temps de séjour moyen ts de l'ensemble des molécules le constituant, est défini par :

$$\overline{t_s}=\int_0^\infty t_{s0}\, E(t_s)dt_s \qquad \textbf{(1.3)}$$

Dans le cas où l'intervalle de temps Δt est très faible alors l'opérateur mathématique intégral peut être remplacé par l'opérateur somme ; à cet effet l'équation (1.3) s'écrit :

$$\overline{t_s}\ \sum_{i=1}^{\infty} t_i E(t_i)\Delta t \qquad \textbf{(1.4)}$$

I .7.3. Caractérisation expérimentale d'une distribution des temps de séjour

Un bon traceur pour mesurer les temps de séjour dans un procédé doit posséder les caractéristiques suivantes :

I .7.3.1. Traçabilité : Le traceur doit être facilement identifiable et mesurable dans le système afin de suivre son parcours.

I .7.3.2. Non-réactif : Le traceur ne doit pas réagir avec les composants du système et altérer leur comportement ou leur concentration.

I .7.3.3. Non-toxique : Le traceur ne doit pas être toxique pour le personnel, les animaux ou l'environnement.

I .7.3.4. Homogénéité : Le traceur doit être homogène et bien mélangé dans le système afin de refléter les caractéristiques globales de ce dernier.

I .7.3.5. Faible coût : Le coût du traceur doit être raisonnable pour permettre une utilisation régulière.

7.3.6. Facile à détecter : Le traceur doit être facilement détectable dans le système à l'aide de méthodes de mesure précises et sensibles.

I .7.3.7. Stabilité : Le traceur doit être stable dans les conditions de fonctionnement du système et ne pas se décomposer rapidement.

En respectant ces critères, le choix du traceur doit permettre une mesure précise et fiable des temps de séjour dans le procédé

L'étude de l'influence de la méthode d'injection du traceur et de sa concentration sur la distribution des temps de séjour du procédé est essentielle pour garantir que l'injection n'affecte pas le système et n'affecte pas les résultats de la mesure [12].

I.7.3.8. Injection-impulsion ou de DIRAC, L'une des méthodes d'injection couramment utilisées pour mesurer les temps de séjour dans un procédé est l'injection de type impulsion ou de Dirac. Cette méthode implique l'introduction rapide et soudaine du traceur dans le système, similaire à une fonction de Dirac. Il est recommandé que le temps d'injection soit inférieur à un pour cent du temps de passage théorique dans le procédé étudié [13].

I .7.3.9 L'injection échelon, Dans les situations où le temps de séjour dans le procédé est trop faible pour que l'injection de type impulsion soit efficace, une méthode alternative appelée méthode d'échelon peut être utilisée. Cette méthode implique une transition brusque de la concentration nulle en traceur à une concentration C0 (appelée échelon positif) ou d'une concentration C0 à une concentration nulle (appelée échelon négatif). La méthode d'échelon est utilisée lorsque le temps de séjour dans le procédé est trop court pour que le temps d'injection du traceur soit négligeable [14].

En ce qui concerne la caractérisation d'un réacteur de laboratoire, le problème est généralement plus facile à résoudre car dans ce cas, il est possible d'utiliser n'importe quel traceur pour mesurer les temps de séjour. De plus, au laboratoire, il est souvent plus facile d'injecter des quantités suffisantes de traceur pour faciliter la détection à la sortie.

Les traceurs les plus couramment utilisés pour mesurer les temps de séjour sont les suivants [6].:

- Des solutions salines concentrées, qui peuvent être suivies en continu par conductimétrie à la sortie du procédé.
- Des solutions colorées, qui peuvent être suivies en continu par colorimétrie ou spectrophotométrie.
- Toute autre solution contenant un réactif facilement détectable en continu

I .8. Diagnostique de mauvais fonctionnement

Lorsque la caractérisation de l'écoulement est faite, le temps de séjour est comparé au temps de passage théorique dans le procédé. Ce temps noté τp correspond au volume utile ou accessible Va du procédé, divisé par le débit volumique Qv de produit entrant.

$$\boldsymbol{\tau}=\frac{V_a}{Q_v} \qquad (1.5)$$

Si le temps de séjour moyen n'est pas égal au temps de passage théorique du fluide dans le procédé étudié, des non-idéalités existent dans le réacteur : Ainsi, lorsqu'on compare le temps de séjour moyen ($\bar{ts}$) avec le temps de passage (τp), deux cas correspondant à la présence de volume mort et de court-circuit peuvent se présenter.

I .8.1. Volume mort

Un temps de séjour moyen inférieur au temps de passage indique que le système possède un volume mort ou stagnant (Vm) (Figure I.9**)**. Ce volume représente une partie du volume réactionnel (VR) qui n'est pas accessible au flux principal à l'intérieur du réacteur.

Pour déterminer la fraction de volume mort, on peut calculer le volume accessible au fluide à partir du temps de séjour moyen, ce qui donne Va=Q*tsm [7]. Ensuite, on peut utiliser l'expression suivante pour déduire la fraction de volume mort, β:

$$B=\frac{V_m}{V_R}=1-\frac{t_s}{\tau_p} \qquad \textbf{(1.6)}$$

Graphiquement, nous observons (Figure I.9**)** sur le tracé de la courbe de la concentration du traceur à la sortie en fonction du temps, une trainé ceci correspond au volume stagnant n'ayant pas contribué à la réaction.

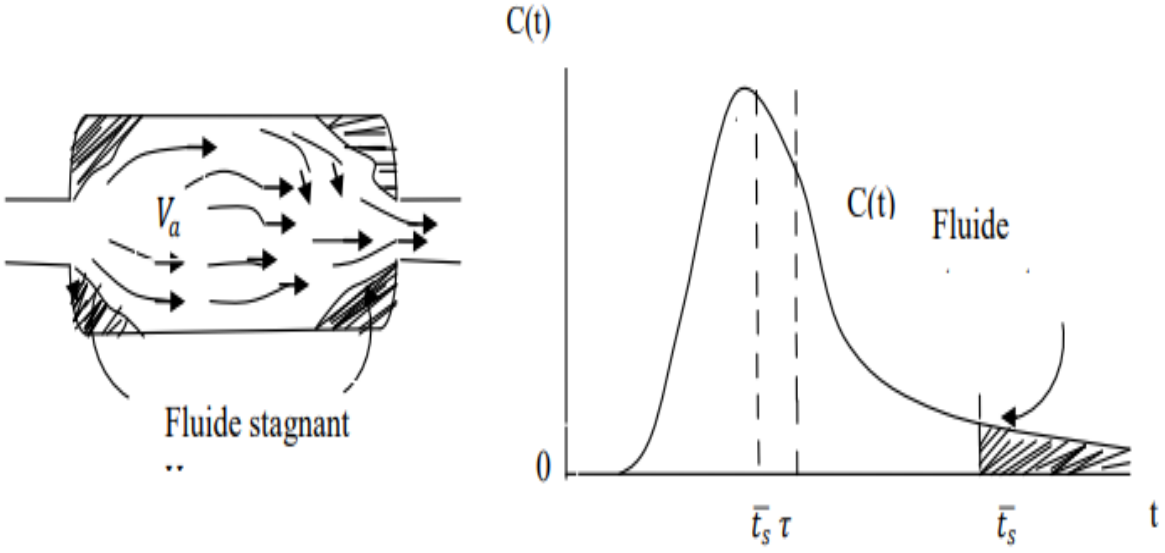


Figure I.10:Volume mort

I .8.2. Court-circuit

Le court- circuit (Figure 1.6) correspond à un passage préférentiel dans le réacteur. Celui-ci peut être détecté aisément par un pic initial, aux faibles temps de séjour. L'expression de la fraction de court-circuit, $\alpha\alpha$, est donnée par la relation :

$$\alpha=1-\frac{t_s}{\tau_p} \qquad \textbf{(1.7)}$$

Où, $t\bar{t}\,ss$ et $\tau\tau pp$ représentent respectivement le temps de séjour moyen et le temps de passage [7].

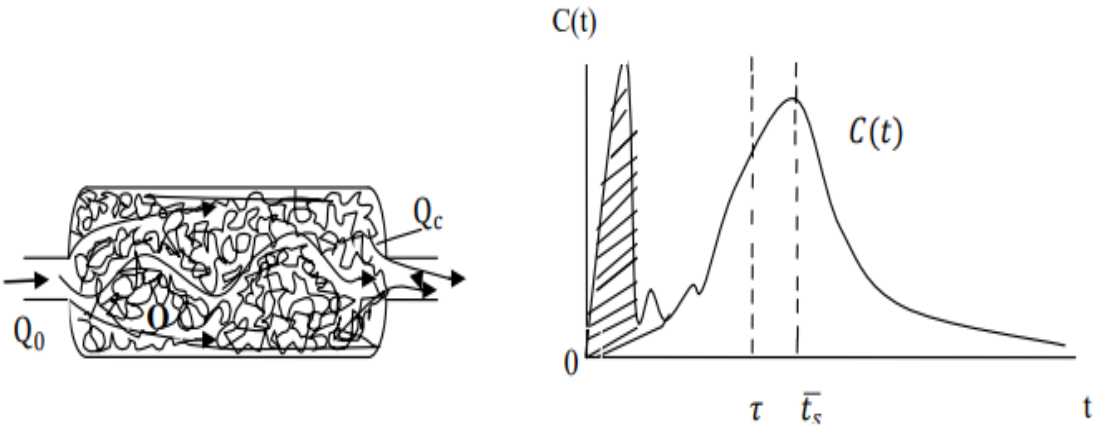


Figure I. 11:Court-circuit

Conclusion

L'Etude consiste à concevoir une machine de malaxage de différentes matières afin d'avoir un mélange homogène.

Le système ou réacteur doit comporter un mécanisme de réalisation de mélanges contrôlés en densité et en poids.

Un contrôle automatique est effectué d'une façon continue par un système de régulation intelligent.

La réalisation de la machine à petite échelle est un objectif principal. Cette machine est polyvalente et capable de s'adapter à certaines variations de ses conditions de fonctionnement (poids, multi phases, température, pression, vitesse de rotation des ailettes de malaxage, ..). Elle est dotée de fonctions intelligentes de perception, de décision et d'action

Ce projet consiste en la conception et la réalisation d'un réacteur malaxeur commandé à l'aide de cartes électroniques "Arduino

Chapitre II :

Conception mécanique

Introduction

Pour dessiner un réacteur intelligent de malaxage, nous utilisons le logiciel de CAO SolidWorks.

Ainsi, nous pouvons dessiner dans les dimensions que nous voulons, c'est ce qu'expliquerons dans ce chapitre

II .1. Couvercle du mélangeur intelligent :

C'est la partie supérieure du réacteur, Il comportent les deux entrées des matériaux dans le réacteur ; ceci est illustré dans la figure suivante :

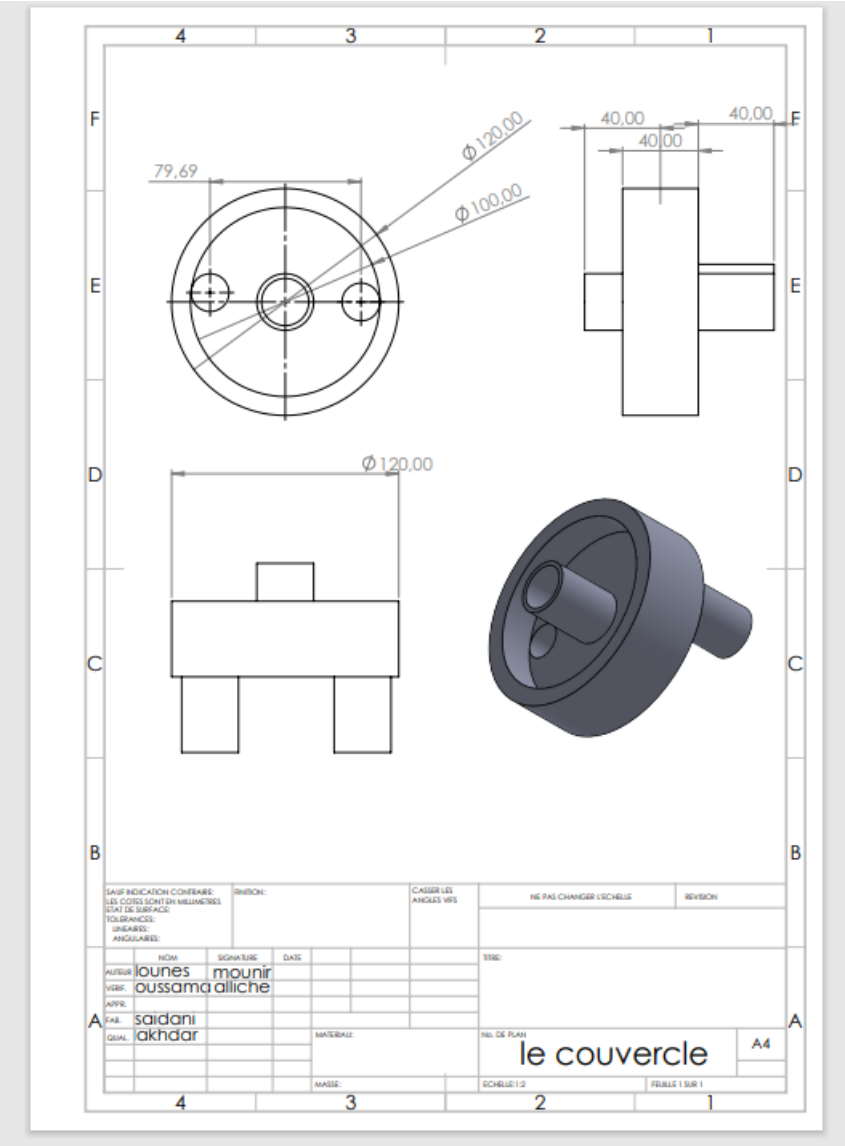


Figure II. 1:le couvre

II .1.1. Dimensions du couvercle

Chiffre	Langueur (cm)
D1	120
D2	100
H	40
E1	20
E2	20
L1	30
L2	30

Tableau II. 1 1tableau dimensions du couvercle

II.1.2. Dimensions du couvercle

D1 : diamètre extérieur (120mm)

D2 : diamètre intérieur (100mm)

H : hauteur du cylindre de couverture (40mm)

E1 : diamètre de l'entrée de fluide (20mm)

E2 : diamètre de l'entrée de poudre (20mm)

L1 ET L2 : longueur des deux entrées (30mm)

II .2. Bras :

II .2.1.Définition :

C'est un morceau d'aluminium, il mesure 20cm de long et de diamètre 2cm Il a deux anneaux au milieu, distants d'environ 6cm, c'est ce que montre la figure suivante :

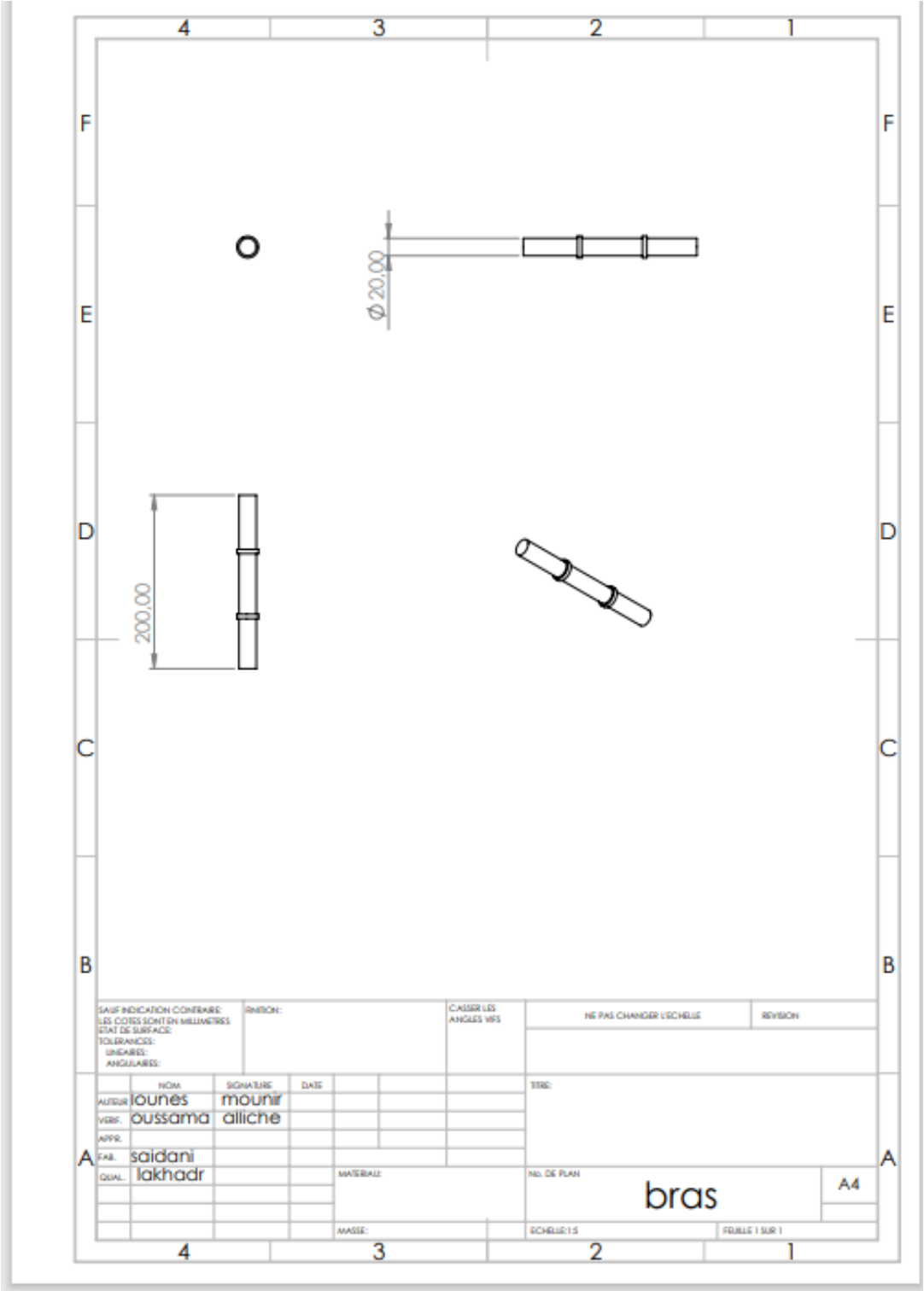


Figure II. 2 : bars

II .2.2. Dimensions du bras

II .2.3.Tableau des dimensions de bras

Chiffre	Langueur (mm)
D	20
L	200
K1	25
K2	25
S	60

Tableau II. 2 : dimensions du bras

II .2.4. Définition du bras

D : diamètre du roulement

L : longueur de roulement

K1 et K2 : diamètre des anneaux d'hélice

S : la distance entre les anneaux

II .3. Morceau d'hélice :

Définition :

Cette pièce est la principale responsable du mélange cela est dû à sa forme incurvée comme indiquée sur la figure 3

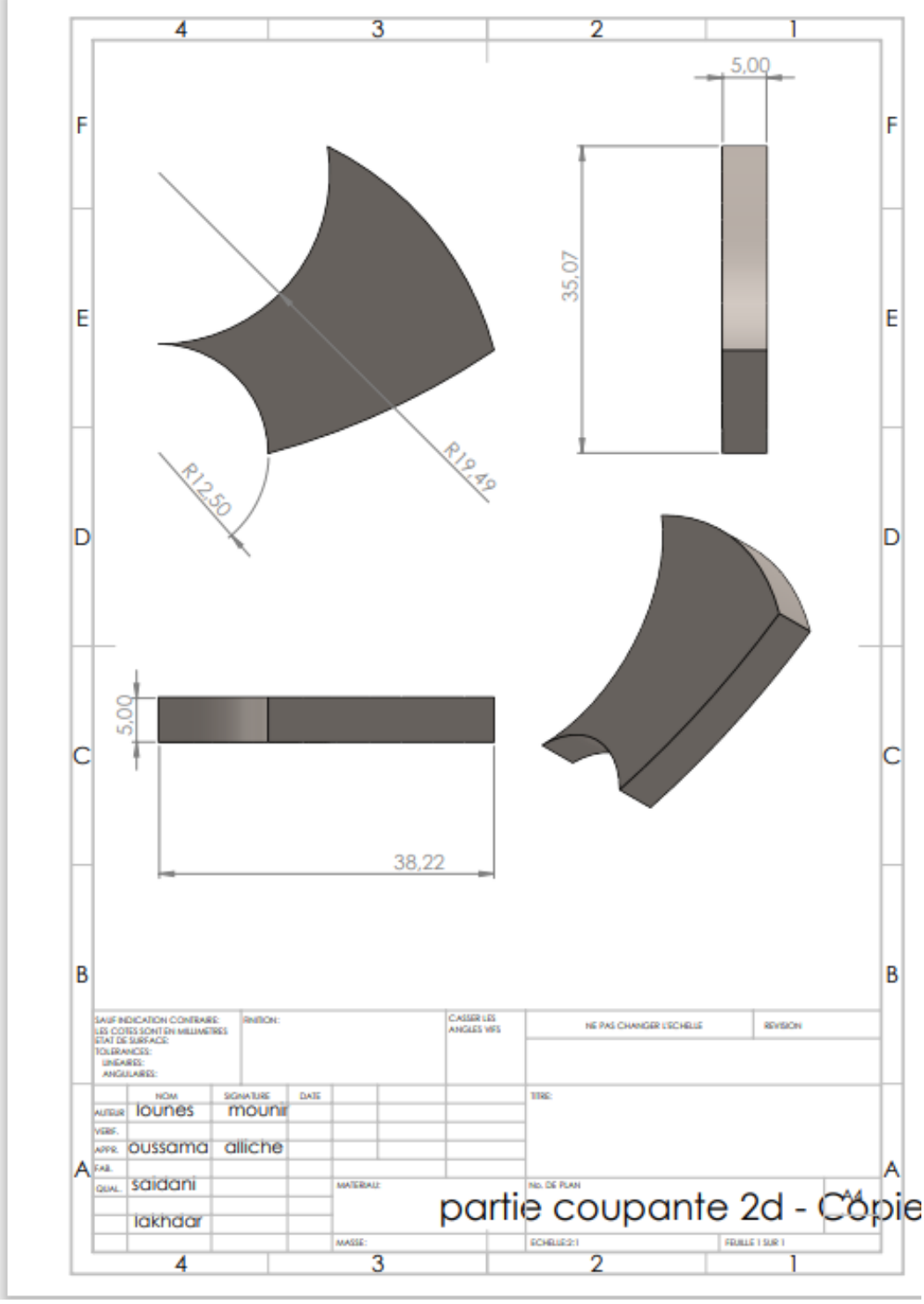


Figure II. 3: Morceau d'hélice

II .3.1. Les dimensions :

Tableau des dimensions :

Chiffre	Langueur (mm)
L1	38.22
L2	35.02
F	5
R1	12.5
R2	19.49

Tableau II. 3 ; morceau d'hélice

II .3.2. Définition du chiffre

L1: longueur de l'hélice

L2 : longueur de l'hélice

F : épissure de l'hélice

R1 : le rayon de demi-cercle petit

R2 :le rayon de demi-cercle grand

II .4. Cylindres mélangeurs :

Définition :

Cette partie de notre projet est la partie principale et la plus importante,elle compose d'un cylindre intérieur et extérieur, il y a un espace entre eux et il est défini par 2cm, le document suivant montre toutes les dimensions

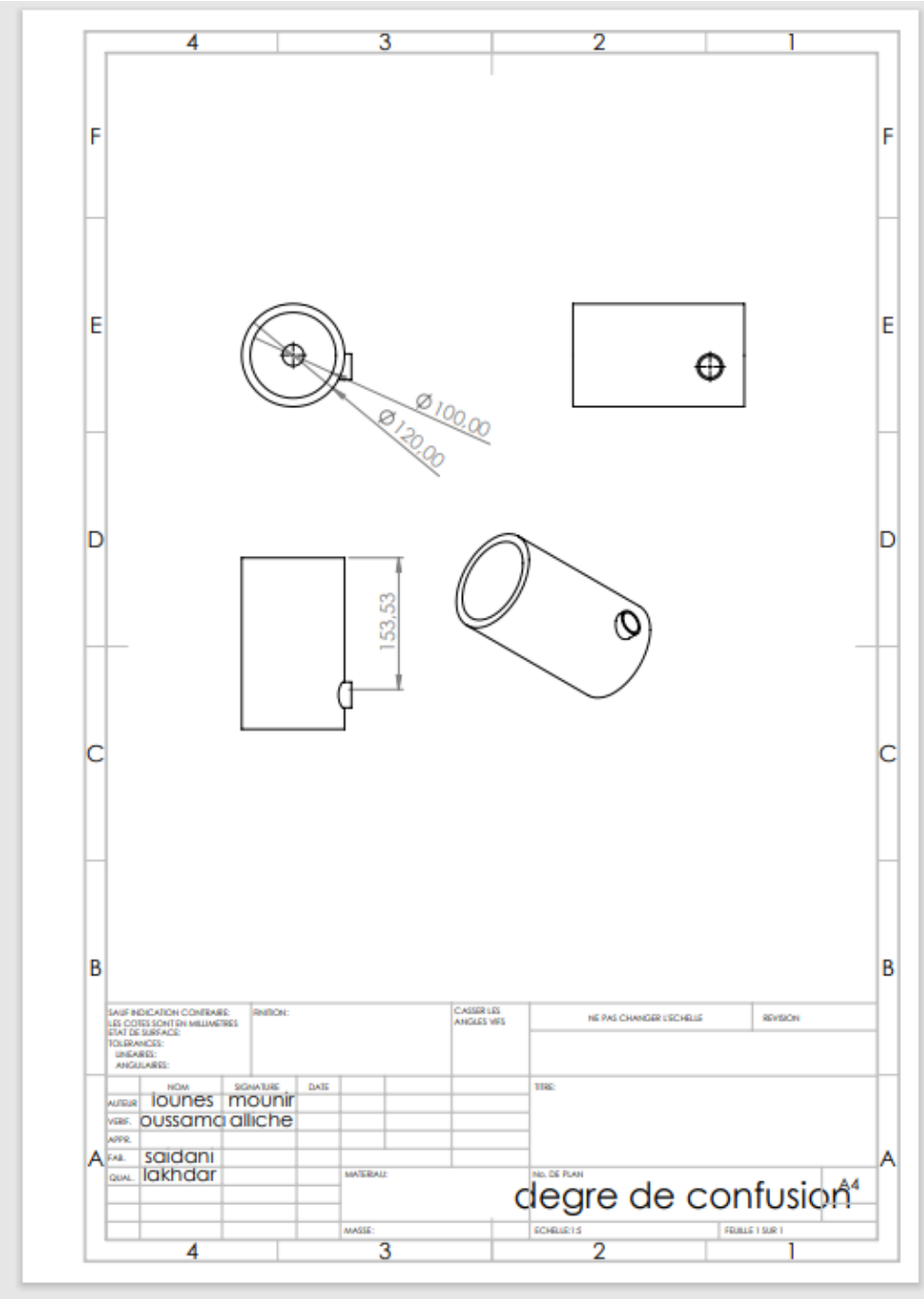


Figure II. 4: Cylindres mélangeur

II .4.1. Les dimensions

Chiffre	Langueur (mm)
D1	120
D2	100
D3	20
K	153.53
H	200

Tableau II. 4 : cylindres mélangeurs

II .4.2. Définition du chiffre

D1 : diamètre extérieur cylindrique (120mm)

D2 : diamètre intérieur du cylindre

D3 : diamètre de sortie

K : la distance entre d3 et buse cylindrique

H : hauteur du cylindre

II .5. Réacteur malaxage intelligent :

Définition :

Le mélangeur fonctionne de manière automatique via carte arduino conception typique et facile à utiliser, ce document représente la forme géométrique du mélangeur pour les cotes parallèles

1

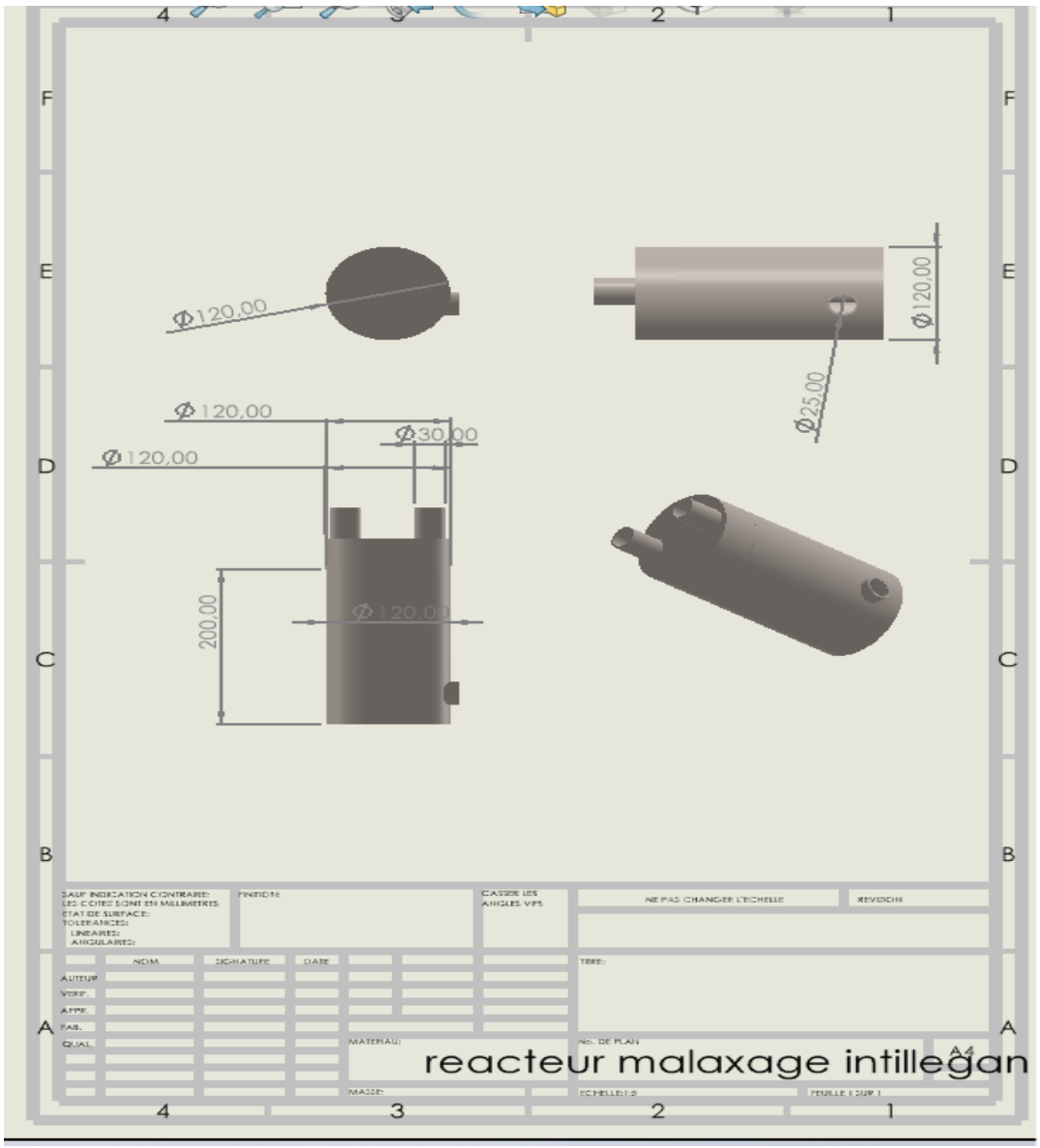


Figure II. 5: réacteur malaxage intelligent

II .6. Propriétés du réacteur :

- Contrôle automatique
- Forme géométrique
- Maintenir la température du mélange
- Gardez le mélange humide
- La vitesse de mélange du mélange
- Minimisez le temps

Conclusion

Le but de la conception du réacteur intelligent de malaxage à travers le programme solidworks, il est fabrique souhaitées l'industrie réelle le prouve

Chapitre III:

Etude électrique

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons le système proposé << réacteur intelligent de malaxage >> qui vise à sécuriser les personnes des dangers des réactions chimiques. Ce système permet d'assurer et contrôler la réaction des deux matières (liquide-liquide ou poudre-liquide) par un mélangeur automatique commandé par réseaux via pc.

III.1.Description général de système:

Le système << mélangeur chimique télé contrôlé RIM>> se compose de deux parties : une partie d'automatisme et une autre de réseau (informatique). La partie automatisme est basée sur une carte Arduino sur laquelle on va commander l'ouverture et la fermeture des électrovannes des deux produits chimiques (liquides), ainsi que des capteurs ultrasons, qui sont connectés pour mesurer la quantité et le niveau des deux liquides, et un capteur de température, pour relever l'évolution de la température pendant la réaction et peut contrôler l'extraction de ce système. On commande aussi un moteur pour mélanger les deux liquides.

Enfin, on va récupérer le mélange résultant. La partie réseaux est une application Windows à l'aide du logiciel << Visual Basic2010>> présentée sous la forme d'une télécommande adaptée à l'utilisateur. Cette partie a pour rôle de faciliter la commande de la partie automatisme à distancer

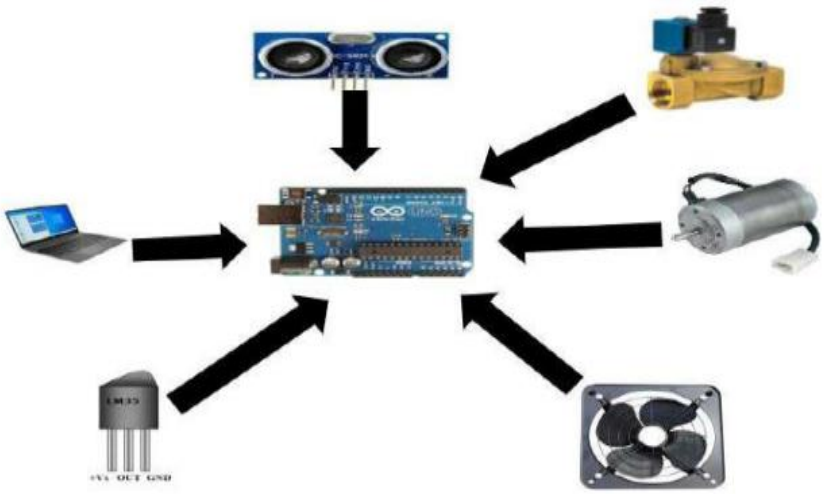


Figure III 1:vue générale du projet

III.2.Principe de fonctionnement:

Au début, on a deux matières stockées dans les cuves 1 et 2. Dès que l'utilisateur donne l'ordre de la mise en marche du système, l'application Windows et la carte Arduino seront en communication. L'utilisateur doit envoyer les consignes (les niveaux souhaités) de chaque liquide, donc les électrovannes 1et 2 sont ouvertes : lorsque les deux matières entrent, le capteur ouvre les vannes jusqu'à ce qu'elles atteignent la limite nécessaire ; le capteur ferme alors les vannes et à ce moment le moteur se met en marche permettant un axe à deux ailettes de tourner (rotation) à une durée précise puis il s'arrête. Ensuite, la valve de sortie s'ouvre au moyen d'un capteur. Pendant la rotation des ailettes, le capteur de température mesure la température et nous avertit si elle diminue ou dépasse la limite nécessaire.

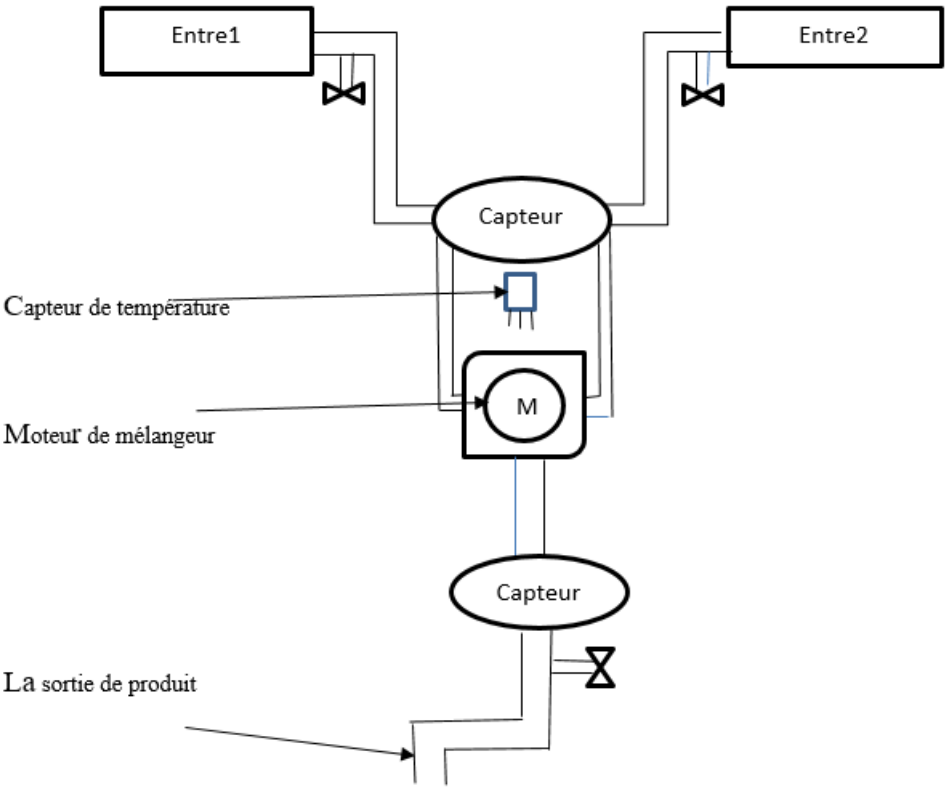


Figure III 2: Principe de fonctionnement du système

III.3.Partie réseaux :

III.3.1.La connexion RS232 via USB :

L'USB est représenté sous une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à interconnecter des périphériques informatiques à un ordinateur, une tablette, un smartphone ou à tout type d'appareil prévu à cet effet. Le bus USB permet de connecter des périphériques en état de marche et qui reconnait automatiquement le périphérique.Il peut alimenter les périphériques peu gourmands en énergie (clé USB, disques SSD, etc…).

Apparu en 1996, il est généralisé dans les années 2000 pour connecter la souris, le clavier d'ordinateur, les imprimantes, les clés USB et autres périphérique bon marché sur les ordinateurs. Les performances de l'USB, notamment concernant les débits sont améliorées au fil des versions (USB 2.0, 3.0, 3.0…). Le pilote d'Arduino permet d'émuler un port série RS232 virtuelle sur un port USB.

Dans notre réalisation, on va utiliser un câble (AMALE-BMALE) comme est montré dans la figure3



Figure III 3: connecteur USB pour Arduino

III.3.2. Description de l'interface graphique :

Dans la conception de cette application, on s'est focalisé sur des principes fondamentaux : la simplicité, l'efficacité et la sécurité du système, la figure suivante présente notre application.

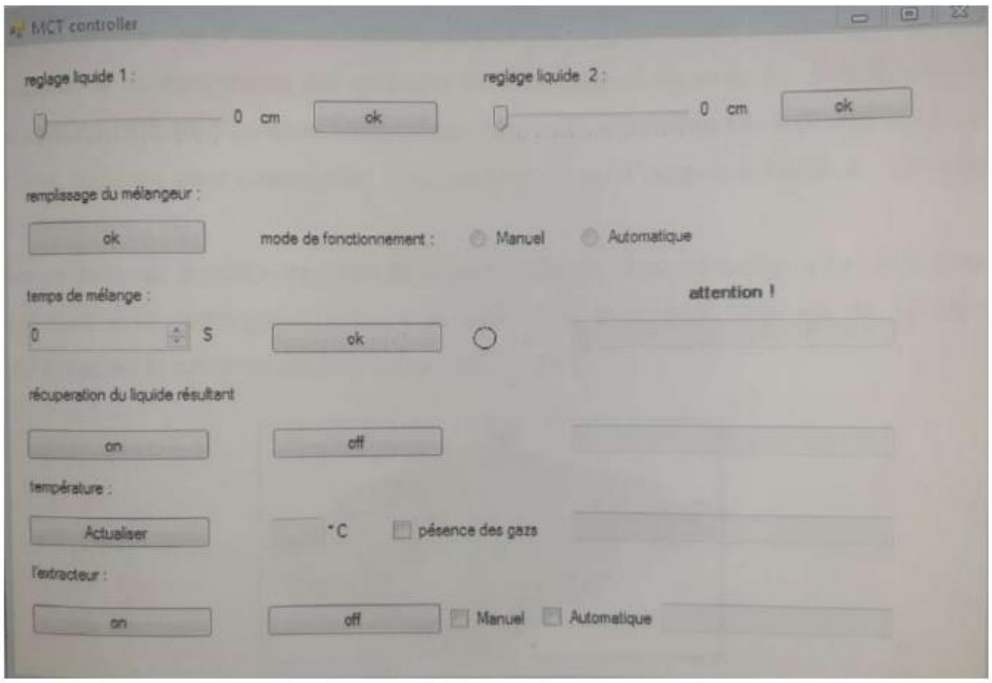


Figure III 4: interface graphique de l'application Windows

III.4. Partie automatisme

III.4.1. Matériel utilisé :

Nous présentons dans ce qui suit le matériel utilisé lors de la conception du système

III.4.2.Carte arduino uno :

L'objectif dans ce mémoire est de concevoir une carte de contrôle à base d'ARDUINO en exploitant et bien sûr en profitant de sa technologie Open-Hardware, qui est sans doute le moyen le plus bas prix existant sur le marché. Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique, plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques.

Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le cout de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

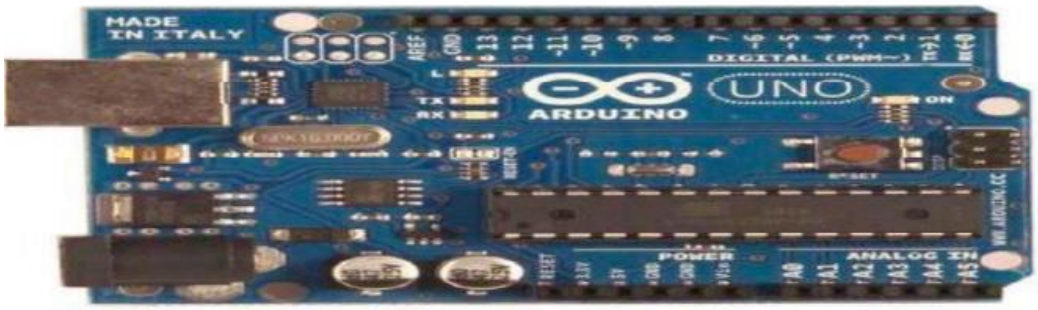


Figure III 5carte arduino uno

III.4.3. Description de la Carte ARDUINO

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre : les plans sont consultables et tout le monde peut fabriquer une copie exacte de l'Arduino ce qui veut dire que vous pouvez en faire ce que voulez du moment que vous partagez ou distribuez votre travail sous les mêmes conditions. Contrairement à la plupart des objets manufacturés de notre environnement comme les machines à laver, les téléphones, les ordinateurs, seuls le nom et le logo sont réservés, dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre.

Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme L'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles.

En gros, on y branche des capteurs, le programme de l'Arduino traite les informations données par le capteur et déclenche des actions (comme allumer ou éteindre, augmenter, diminuer...).

Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartez 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).

III.4.4. Domaines d'applications

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines, nous pouvons donner quelques exemples : • Construire des systèmes physiques interactifs qui utilisent des logiciels et du matériel pouvant s'interfacer avec des capteurs et des actionneurs.

• Électronique industrielle et embarquée.

• Art / Spectacle.

• Domotique.

• Robotique.

• Modélisme.

• Education, Etc.

III.4.5. Arduino Uno, pourquoi ?

Pour modéliser les objets connectés, une carte électronique où des capteurs de toutes sortes peuvent être branchés est nécessaire.

Les cartes électroniques à bas prix présentes sur le marché sont les cartes Arduino. Notre choix s'est porté sur la carte Arduino Uno pour les différents avantages déjà cités, ajoutant à ça les nombreux pins d'entrées/sorties, que possède la carte, où différents capteurs peuvent être branchés. Ainsi que la possibilité d'ajouter des Shields spécifiques (cartes filles) pour ajouter de nouvelles fonctionnalités. Comme les communications doivent s'effectuer sans fil, le Shield adéquat sera choisi. De plus si le projet évolue et que de nouvelles fonctionnalités doivent être ajoutées (liaison Ethernet par exemple), il suffit de brancher un Shield supplémentaire correspondant à la fonction désirée

Catégorie	Valeur
Microcontrôleur	ATmega 328
Fréquence d'horloge	16 MHz
Tension de service	5 V
Tension d'entrée (recommandée)	7–12 V
Tension d'entrée (limites)	6-20 V
Ports numériques	14 entrées et sorties (6 sorties commutables en MLI)
Ports-analogiques	6 entrées analogiques
Courant maxi. par broche d'E/S (c.c.)	40 mA
Courant maxi. par broche 3,3 V	50 mA
Mémoire	32 Ko Flash, 2 Ko SRAM, 1 Ko EEPROM
Chargeur d'amorçage	0,5 Ko (en mémoire Flash)
Interface	USB
Dimensions	6,86 cm × 5,3 cm

Figure III 6: Caractéristiques de la Carte ARDUINO UNO

III.5. Partie matérielle

Le Microcontrôleur ATMega328 : Le microcontrôleur utilisé sur la carte est l'ATmega328. C'est un microcontrôleur Amel de type AVR 8 bits. [15]

Il est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur :

La mémoire Flash : C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont boot loader de 0.5 ko).

SRAM : c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko. **EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme

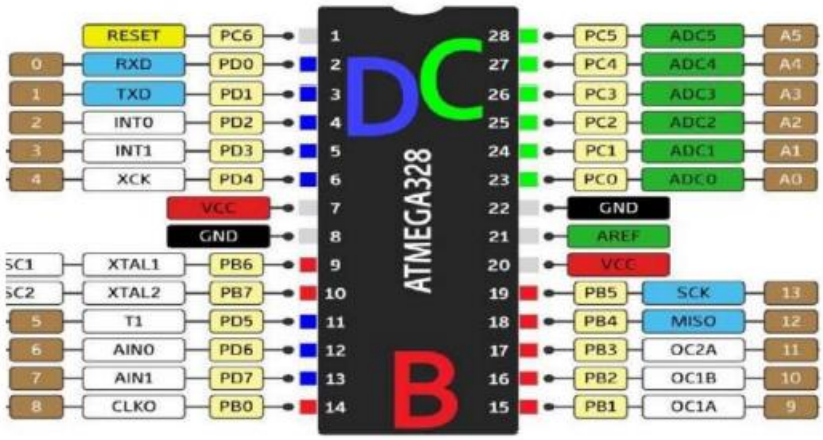


Figure III 7: Composition du µC ATMega328

Alimentation : La carte Arduino Uno peut être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adapter secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent

être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

VIN. La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche

5V. La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur

de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.

3V3. Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA

GND. Broche de masse (ou 0V) [16].



Figure III 8: Les Broches d'Alimentation

III.5.1. Entrées et sorties numériques :

La carte UNO est composée de 14 broches numériques (numérotées des 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions pinMode(), digitalWrite() et digitalRead() du langage Arduino.

Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pullup) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction digitalWrite(broche, HIGH).

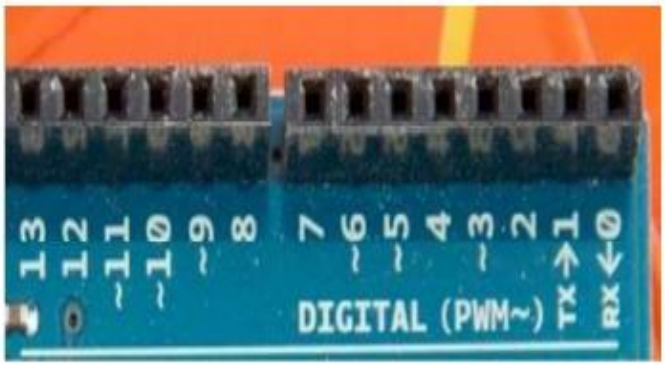


Figure III 9: **Les Broches d'entrées/sorties**

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

➢ **Communication Série** : Broches 0 (RX) et 1 (TX). Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données sérient de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.

➢ **Interruptions Externes** : Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. Voir l'instruction attachInterrupt () pour plus de détails.

➢ **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):** Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction analogWrite ().

➢ **SPI (Interface Série Périphérique) :** Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également

connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Mega.

➢ **I2C :** Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie Wire/I2C (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils") .

➢ **LED :** Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

La carte Uno dispose de 6 entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (càd sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction analogRead() du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction analogReference() du langage Arduino. Néanmoins, les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques : elles sont numérotées en tant que broches numériques de 14 à 19.

Il existe aussi deux autres broches disponibles sur la carte :

➢ **AREF :** Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction analogReference ().

➢ **Reset :** Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation (= le redémarrage) du microcontrôleur. Typiquement, cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui présent sur la carte. [17].

➢ **Communication** : La carte Arduino Uno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega 328 dispose d'une UART (Universel Asynchrones Receveur Transiter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série vers le port USB de l'ordinateur et apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur

III .6. Partie logicielle

Comme toutes les cartes électroniques qui, leurs constructions se basent sur un microcontrôleur doivent être dotées d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte Arduino Uno. Sur un ordinateur, le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C), avec des fonctions et des librairies spécifiques à ARDUINO (gestions des entrées /sorties). Une fois le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte au travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information. L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

III.6.1Un moteur DC :

Le mélange des deux liquides se fait par un moteur DC. Ce dernier reçoit les commandes d'arduino. La figure 10 représente un moteur DC [18].



Figure III 10: moteur DC

III.6.2.Les capteurs :

III.6.3. Définition sur les capteurs :

Les capteurs sont des composants de la chaine d'acquisition dans une chaine fonctionnelle (une chaine d'acquisition est un ensemble de composants faisant la

fonction de prélèvement par exemple la pression, l'humidité, la température … etc. Qui elle-même inclue dans la chaine fonctionnelle ou le système tout entier).

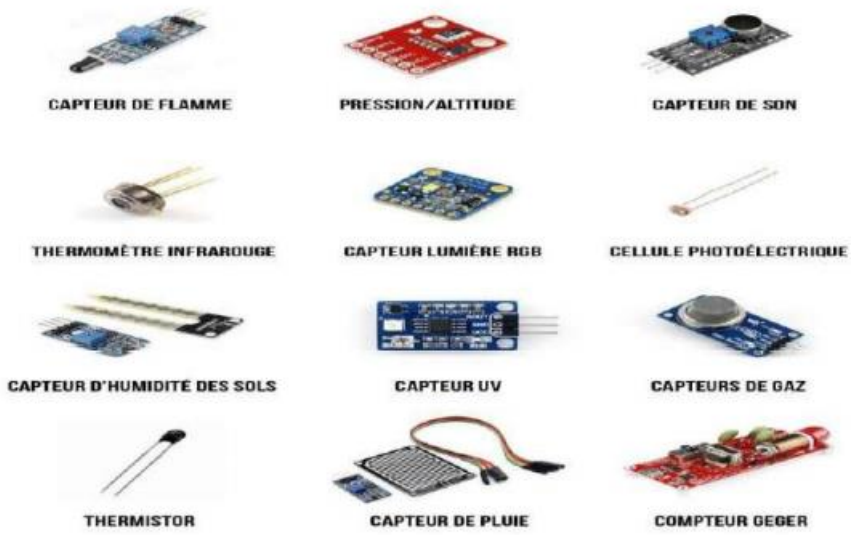


Figure III 11: Différents types de capteurs

III.6.4.Capteur de température :

Dans le chapitre qui suit, on a utilisé un capteur de température qui est le LM35

III.6.5 Capteur de température LM35 :

III.6.5.1. Définition LM35 :

Pour mesurer la température, nous avons utilisé le capteur <**LM35**> qui est un circuit intégré qui fonctionne comme un deux-terminal Zener.

Capteur LM35 est capable de mesurer des températures allant de -55°C à +150°C dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température.

Les versions grand publiques sont capables de mesurer des températures comprises entre -40°C et +100°C.



Figure III 12: capteur LM35

La sortie analogique du capteur est proportionnelle à la température. Il suffit de mesurer la tension en sortie du capteur pour en déduire la température. Chaque degré Celsius correspond à une tension de +10mV.

Si vous soumettez une carte Arduino "classique" à ces températures extrêmes, elle va purement et simplement cesser de fonctionner ou se dégrader très rapidement. Cela est valable pour les cartes Arduino, mais aussi pour tous autres circuits électroniques fabriqués suivant les standards "grand public" (et non "industriels").

Pour information, les gammes de température classique en électronique sont les suivantes :

Grand public : 0°C ~ 70°C.

Industrie : -40°C ~ 85°C.

Militaire : -55°C ~ 125°C.

Une des grandes forces du capteur LM35, qui fait sa popularité, c'est sa pré calibration en sortie d'usine. Tous les capteurs LM35 sont calibrés en degré Celsius lors de la fabrication. Cela signifie que vous n'avez absolument rien à faire pour calibrer le capteur, il l'est déjà au moment où vous le sortez de son sachet ! La précision garantie par le fabricant est de +/-1°C à 25°C et +/-1.5°C à -55°C ou +150°C pour la version là moins précise, ce qui est largement suffisant pour la plupart des applications. La version plus précise du LM35 (nommée "LM35A") a une précision garantie de +/-0.5°C à 25°C et +/- 1°C à -55°C ou +150°C.

Une autre des grandes forces du capteur LM35, c'est sa linéarité exemplaire : moins de 1°C d'erreur sur la plage complète de -55°C à +150°C. Comme chaque degré Celsius correspond à 10mV (soit 0.01 volt) et que la sortie du capteur est (quasi) parfaitement linéaire, convertir une mesure en température se résume à faire un bête produit en croix.

Le capteur LM35 peut être utilisé avec n'importe quelle tension d'alimentation entre 4 volts et 30 volts, ce qui permet une grande flexibilité dans les montages numériques ou analogiques. Cependant, il y a quelques points négatifs à prendre en

compte. Tout d'abord, le capteur LM35 ne fonctionne pas en dessous de 4 volts, donc si vous utilisez une carte Arduino 3.3 volts (Due, Zéro, etc.), il est nécessaire d'utiliser une alimentation externe de 5 volts pour que le capteur fonctionne. Notez que le capteur peut être utilisé avec une entrée analogique 3.3 volts, mais une alimentation de 5 volts reste indispensable.

De plus, pour mesurer des températures en dessous de 0°C, le capteur LM35 nécessite une alimentation négative. La sortie du capteur est proportionnelle à la température, ce qui signifie que -10°C correspond à -0,1 volt. Par conséquent, une simple alimentation 5 volts, comme celle fournie par les cartes Arduino, ne sera pas suffisante pour mesurer des températures en dessous de 0°C. [19]

III.6.5.2. Brochage du lm 35 :

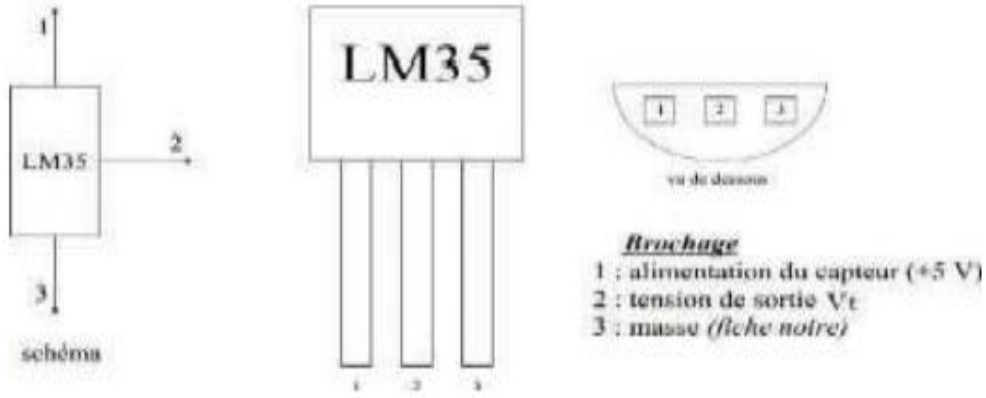


Figure III 13 brochage du lm35

III.6.5.3. Calibration du lm35 :

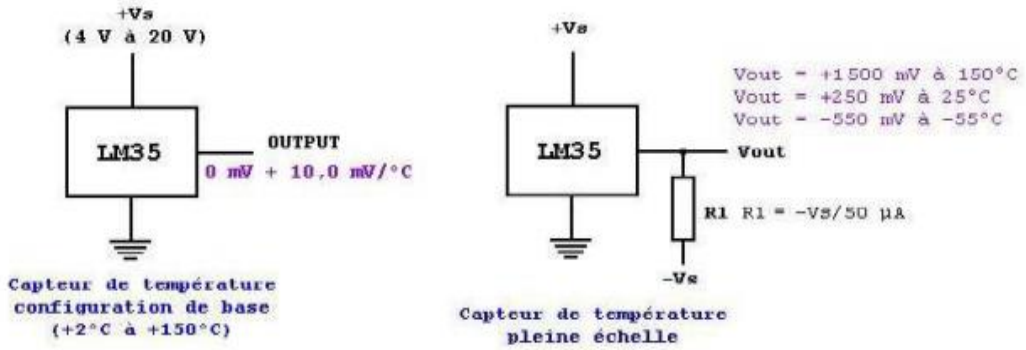


Figure .III 14:calibration du LM35.

III.6.6.Capteur de détection :

Dans le chapitre qui suit, on a utilisé un capteur de détection qui est l'ultrason HC_SR04

III.6.6.1. Capteur à ultrason HC-SR04 :

Le fonctionnement d'un capteur à ultrasons repose sur l'émission périodique d'impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son et sont réfléchies par les objets qu'elles rencontrent, créant ainsi un écho qui est renvoyé vers le capteur. En mesurant le temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho, le capteur peut alors déterminer la distance qui le sépare de la cible.

La distance étant déterminée par le temps de propagation des ultrasons et non par leur intensité, les capteurs à ultrason conviennent parfaitement à une suppression d'arrière-plan [20].

Pour détecter le niveau (la distance d) on utilise l'équation : $D = V * t$

V : vitesse des ondes acoustiques dans l'air= 341m/s.

T : temps nécessaire pour récupérer l'onde réfléchie.

D : distance entre le capteur est le premier obstacle.

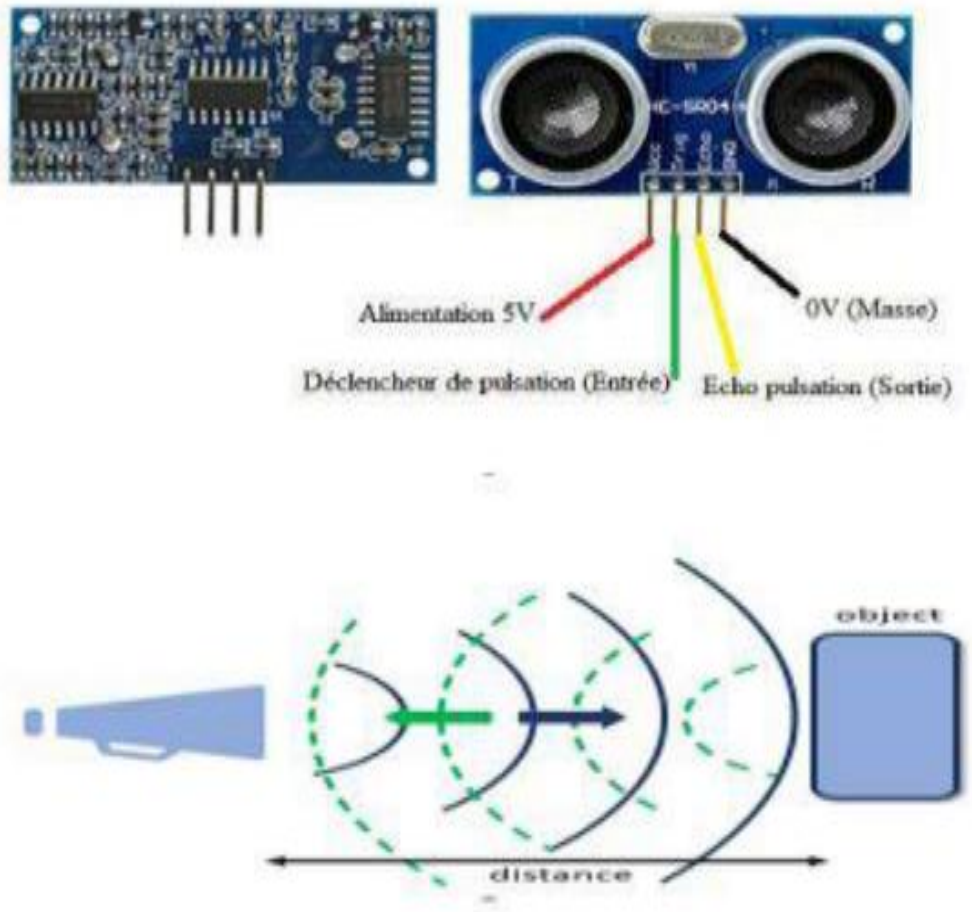


Figure III 15: principe de fonctionnement du capteur ultrason HC-SR04

III.6.6.2. Caractéristiques techniques du capteur HC-SR04 :

Caractéristique	Valeur
Dimensions	45 mm x 20 mm
Plage de mesure	2 cm à 4m
Résolution de la mesure	0.3 cm
Angle de mesure efficace	<15°
Largeur d'impulsion	10 µs

Fréquence	40KHZ

Tableau III. 1: Caractéristiques techniques du capteur HC-SR04

III.6.6.3.Montage capteur HC-SR04 avec Arduino

Le module HC-SR04 possède 4 broches :

Vcc= Alimentation +5 V DC sert à alimenter le circuit du HC-SR04

Trig= est l'entrée qui nous permet de déclencher l'émission d'un ultrason.

Echo = est la sortie qui se met à 5 V pendant une durée égale à l'aller-retour de 'ultrason, (Echo output).

GND = Masse de l'alimentation.

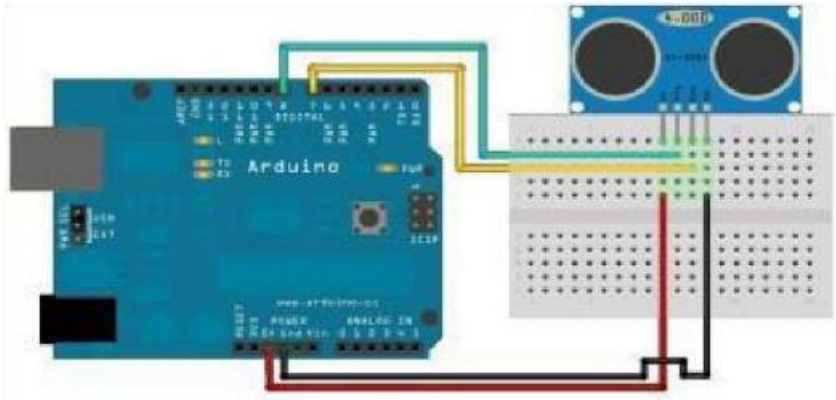


Figure III 16: Montage HC-SR04 avec Arduino

III.7.Fonctionnement

Pour déclencher une mesure, il faut présenter une impulsion "High" (5 V) d'au Moins 10 µs sur l'entrée "Trig". Le capteur émet alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40 kHz, puis il attend le signal réfléchi. Lorsque celui-ci est détecté, il envoie un signal "High" sur la sortie "Echo", dont la durée est proportionnelle à la distance [20].

III.7.1.Distance de la cible

Le HC-SR04 donne une durée d'impulsion en µs. Il faut donc multiplier la valeur obtenue par 10 µs pour obtenir le temps t. On sait aussi que le son fait un aller-retour. La distance vaut donc la moitié.

La formule figure aussi dans le manuel d'utilisation du HC-SR04 car la fraction 17/1000 est égale à 1/58.8235. Elle donne cependant des résultats moins précis. Note : À grande distance, la surface de l'objet à détecter doit mesurer au moins 0.5 m² [20].

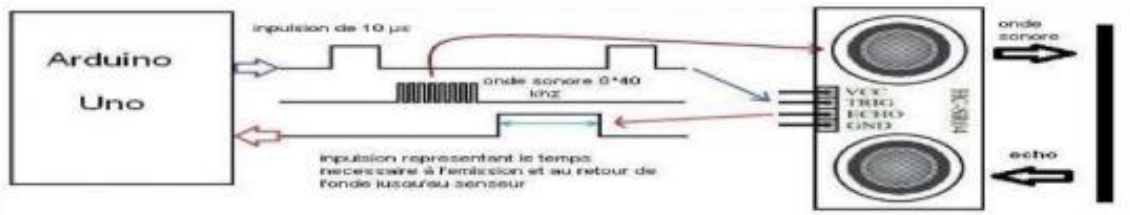


Figure III 17: Diagramme temporel de HC-SR04

III.7.1.Les sous-systèmes qui composent le mélangeur chimique :

Le mélangeur RIM assure une réaction pour liquide et poudre chimiques produit 1 et produit 2 qui sont déjà stockés dans des cuves.

III.7.2.Mesure du niveau de liquide et poudre, commandes des électrovannes

Le réglage de niveau de chaque produit pour déterminer la quantité des éléments de la réaction est très important dans notre système, pour cette opération, on a utilisé le capteur ultrason pour mesurer le niveau du liquide et poudre, donc on a comparé entre la valeur du deux produits et celle de la consigne. Si le niveau deux produits est inférieur au Télé contrôlée 38 niveau de la consigne l'électrovanne est ouverte, sinon le niveau deux produit est supérieur ou niveau de la consigne l'électrovanne est fermée.

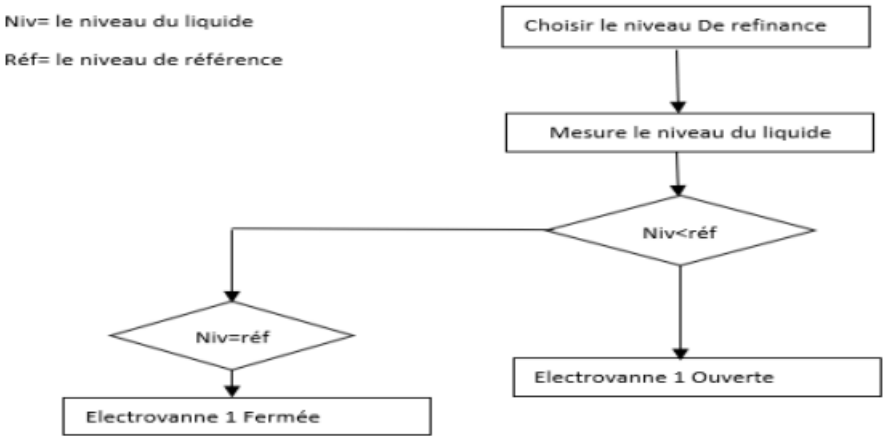


Figure III 18: l'organigramme de mesure de niveau

III.7.3. Chaine de régulation du niveau de liquide :

Elle contient l'électrovanne, la cuve, le capteur ultrason et le programme. La figure 10 illustre la chaine de régulation du niveau des produits :

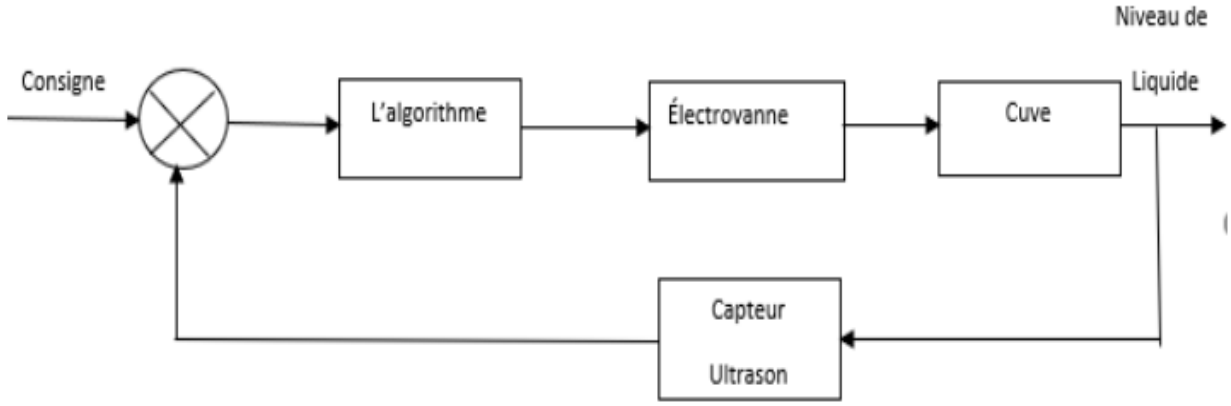


Figure III 19: chaine de régulation de niveau des produits

III.7.4.Mesure de température et contrôle de l'extracteur :

La température est l'un des plus essentiel paramètres qu'il faut savoir pendant une réaction chimique, pour cela on a fait un système qui permet à l'opérateur de relever à chaque fois la température, pour mesurer la température on utilise le capteur LM35. Le principe est montré sur la figure 20.

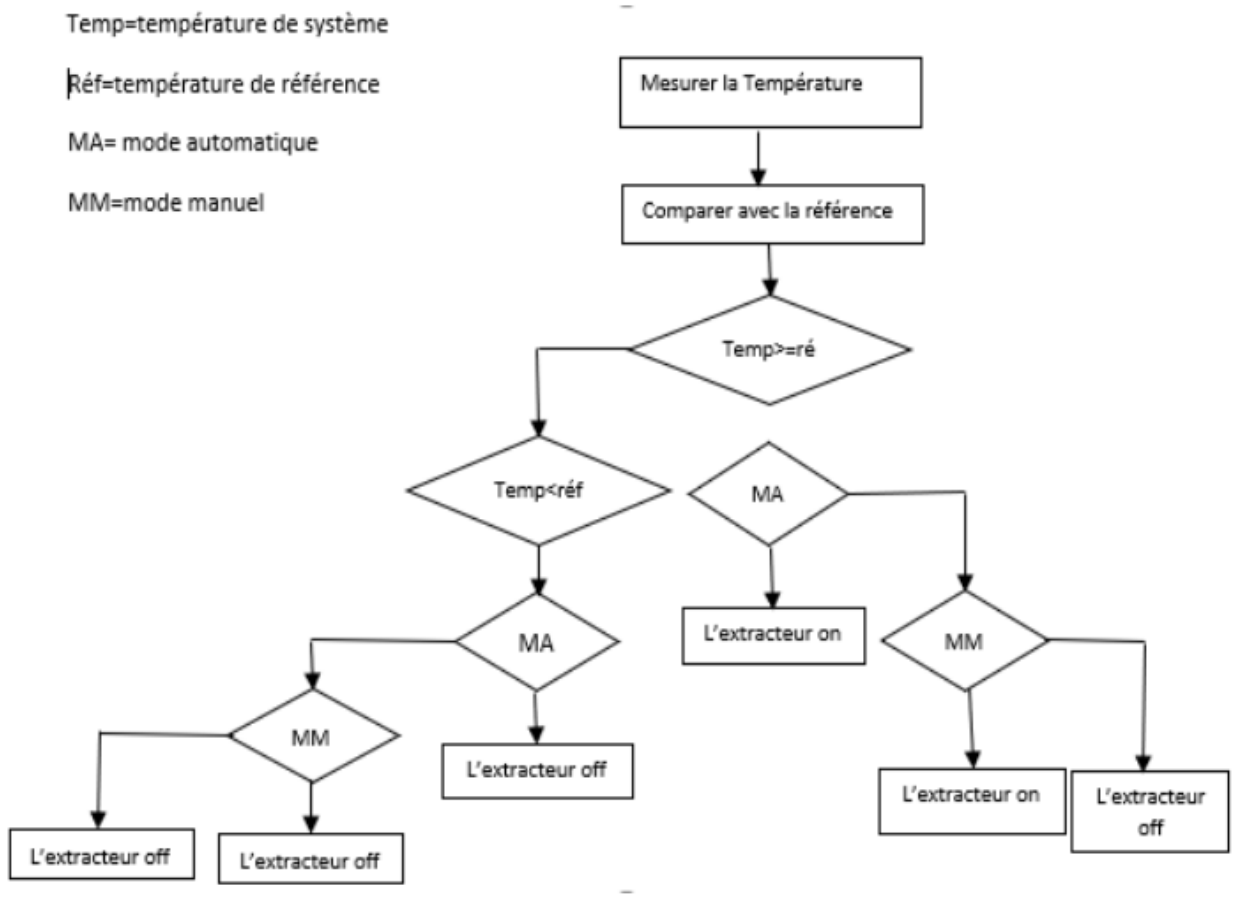


Figure III 20: organigramme de contrôle de l'extracteur

III.7.5.La chaine de Contrôle d'extracteur :

Elle contient l'extracteur, le capteur LM35, le mélangeur et le programme de l'arduino. La figure 12 montre la chaine de contrôle de l'extracteur

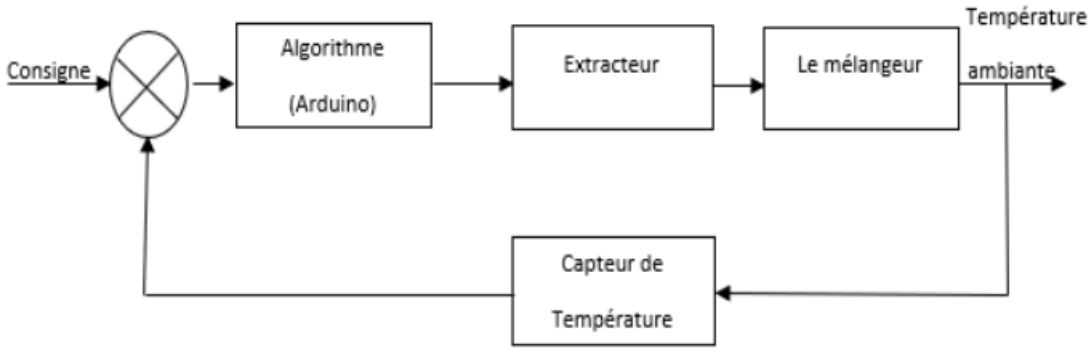


Figure III 21: chaine de contrôle de l'extracteur

III.7.6.Contrôle moteur DC :

Après mesurer les deux liquides, on va les mélanger et pour cela on va contrôler le moteur d'une maniere qui assure un bon mélange et obtenir les résultats qu'on veut, pour cela le temps de marche du moteur est déterminé par l'utilisateur. Le principe est montré sur la figure18.

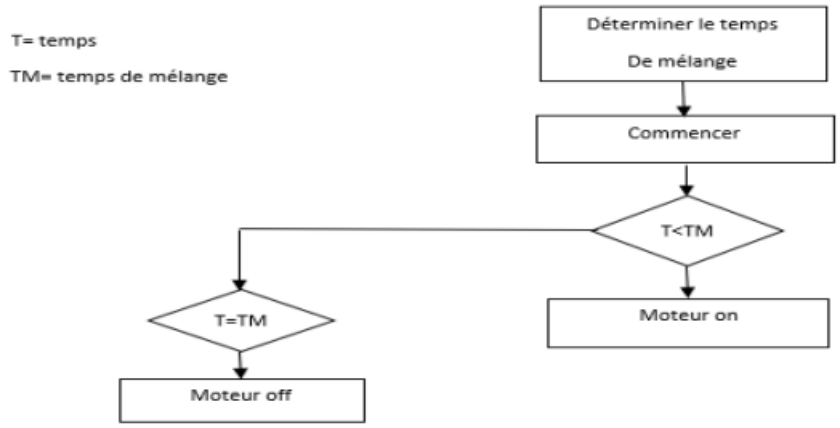


Figure III 22: organigramme de contrôle du moteur

III.7.7.La chaine de Contrôle moteur DC :

Elle contient le moteur et le programme, Voir la figure suivante :

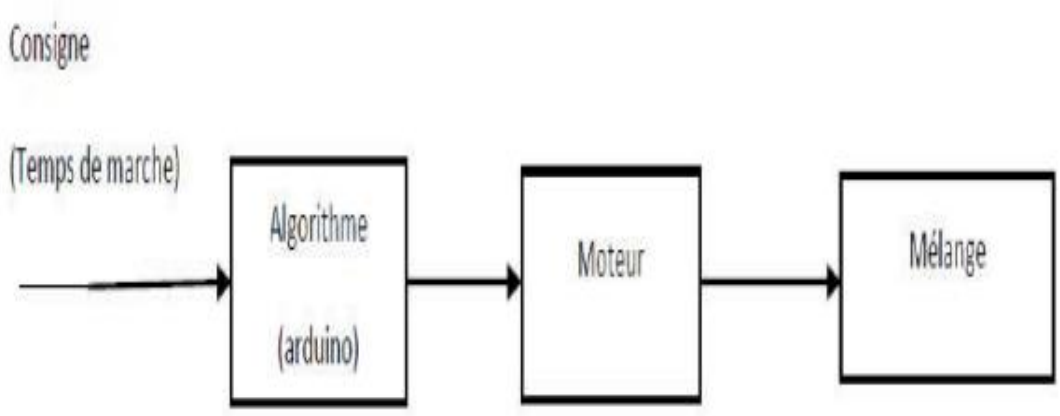


Figure III 23: chaine de Contrôle moteur

III.8.Les circuits de puissance :

Concernant les circuits de puissances on a utilisé le circuit intégré pour amplifier les signaux de sorties (5 volts) de l'Arduino vers des signaux de (9V a 50V) et le montage est montré dans la figure 20.

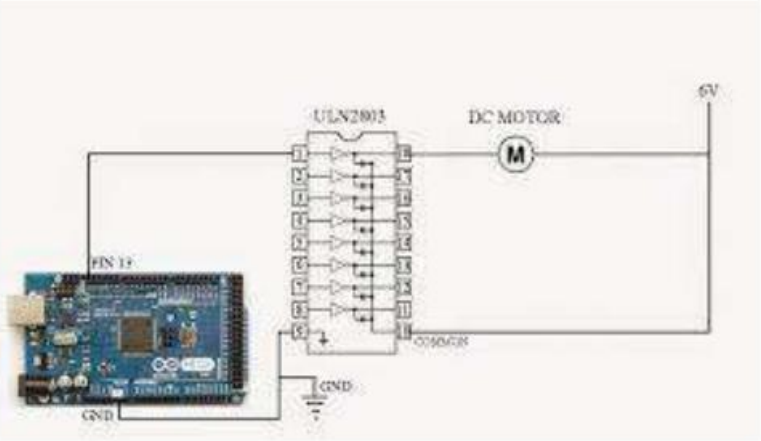


Figure III 24: Les circuits de puissance

Conclusion :

Le chapitre actuel expose le fonctionnement du système RIM, un mélangeur chimique télé-contrôlé, ainsi que les outils logiciels et matériels utilisés pour sa simulation.

Le chapitre suivant se concentrera sur la modélisation et la simulation du système, ainsi que sur les tests qui ont été réalisés pour vérifier son bon fonctionnement**.**

Chapitre IV :

Simulation et réalisation de RIM

IV.1. Partie de simulation

IV.1.1.Logiciel de simulation

Nous avons fait notre simulation avec le logiciel << tinkercad >>qui nous permet à faire la conception assistée par ordinateur CAO des circuits électronique.

La figure 1 est simulation de RIM sur tinkercad

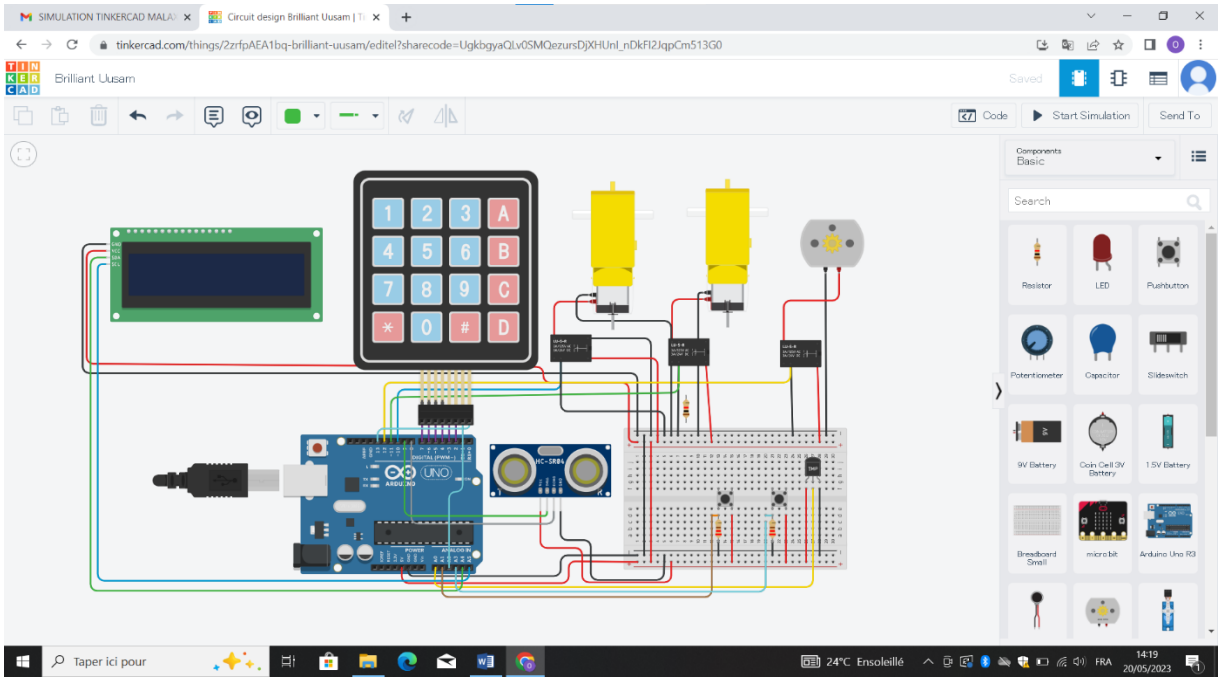


Figure IV 1:simulation de RIM

IV.1.2.Le fonctionnement de simulation

Dans cette partie, nous introduisons la valeur du niveau de liquide qu'on a besoin, on a choisi de prendre un niveau de 75%.

Donc l'électrovanne 1 va s'ouvrir jusqu'on obtient un niveau de 75%, alors elle sera fermée.

La Valeur du niveau de poudre qu'on a besoin, on a choisi de prendre un niveau de 75%.

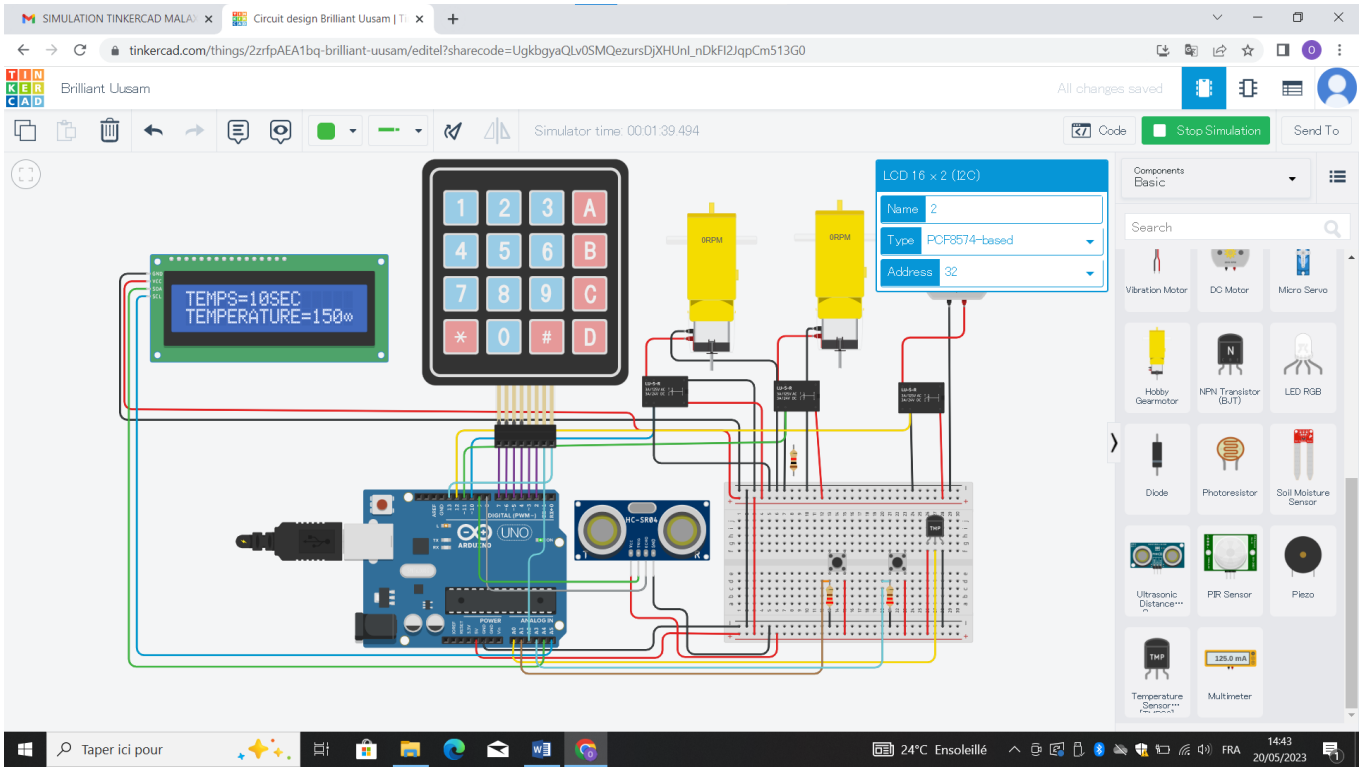


Figure IV 2: simulation de Démarrage de capteur ultras

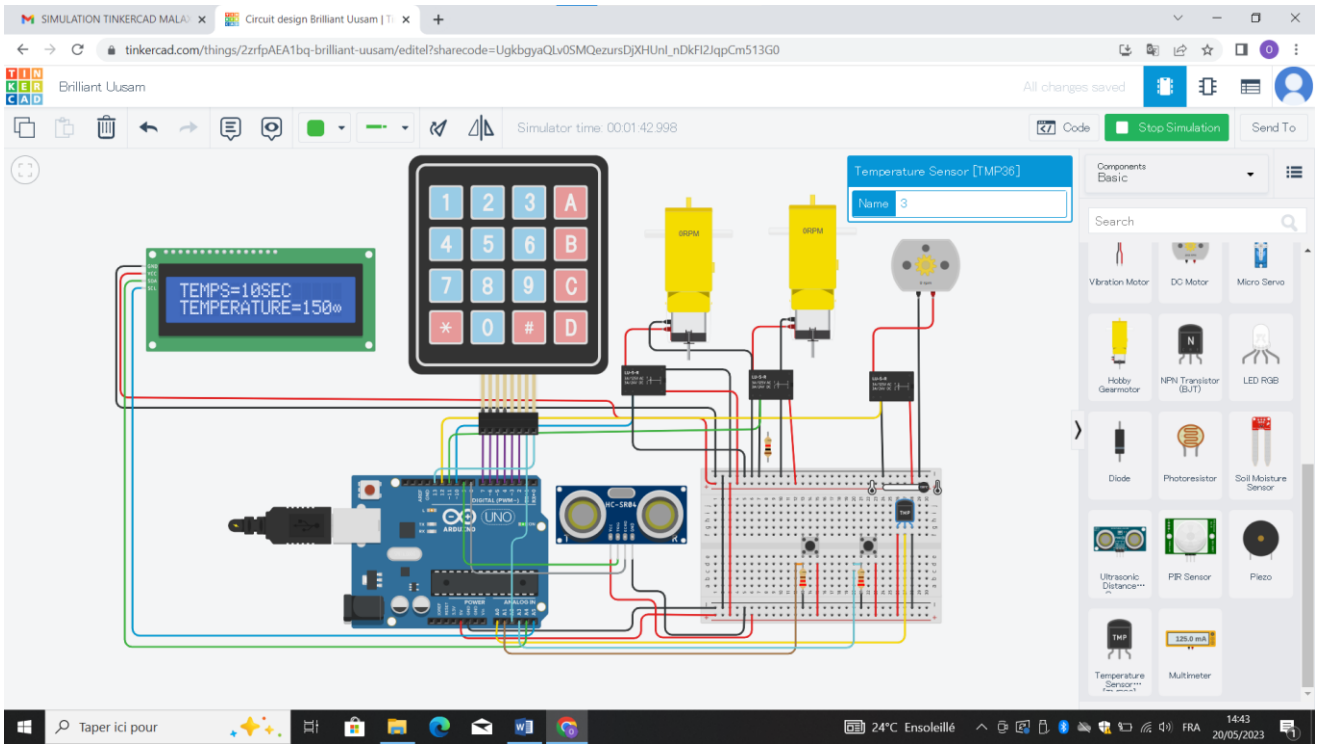


Figure IV 3: simulation de Démarrage de capteur ultras et LM35

IV.1.3Simulation de démarrage de moteur DC

Dans ce cas, on va introduire le temps de marche du moteur, on va choisir par exemple 15 secondes, donc le moteur va commencer à mélanger liquide et poudre après 15 secondes il s'arrête,

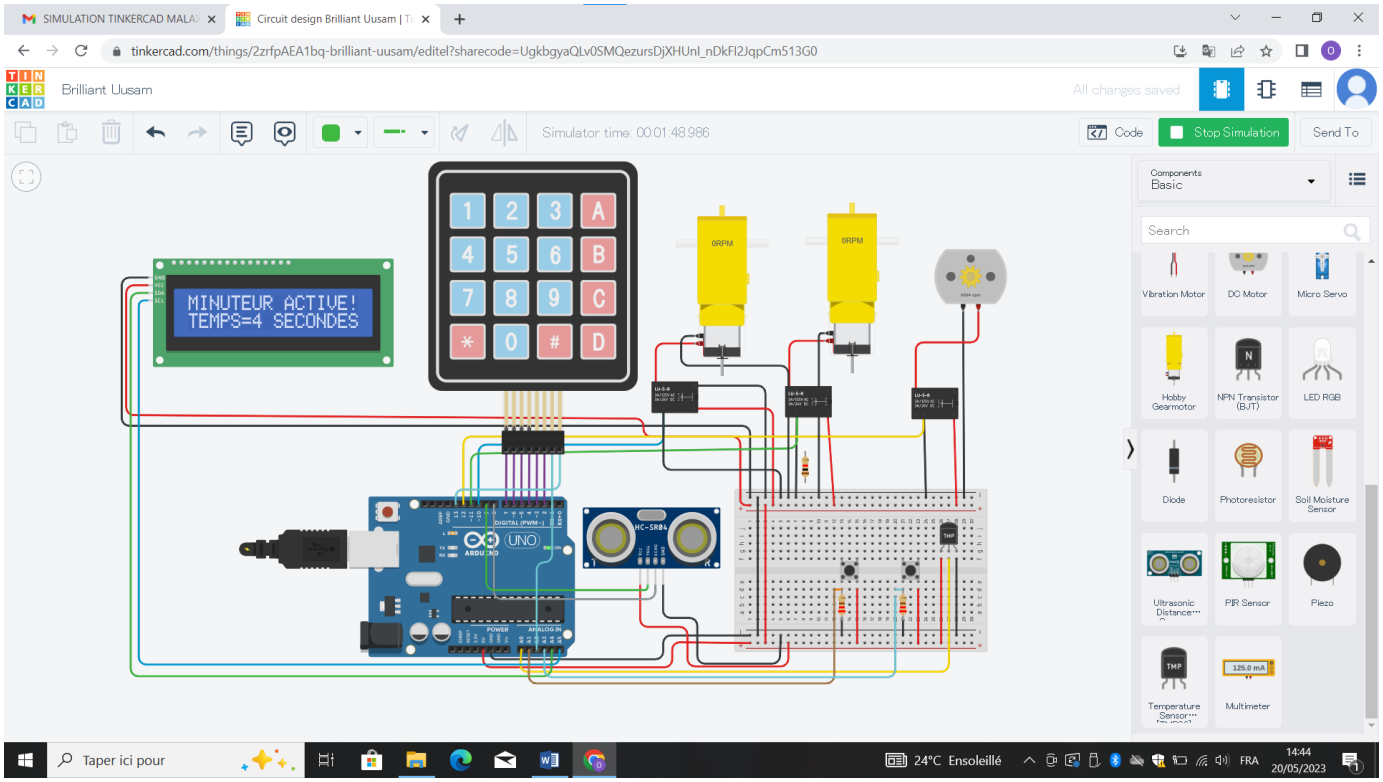


Figure IV 4: moteur démarré

IV.2.Partie de programmation

IV.2.1Program de capteur ultras (ARDUINO)

```
//ULTRASON
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 8;
long duration;
int distance;
```

IV.2.2Program d'électrovanne

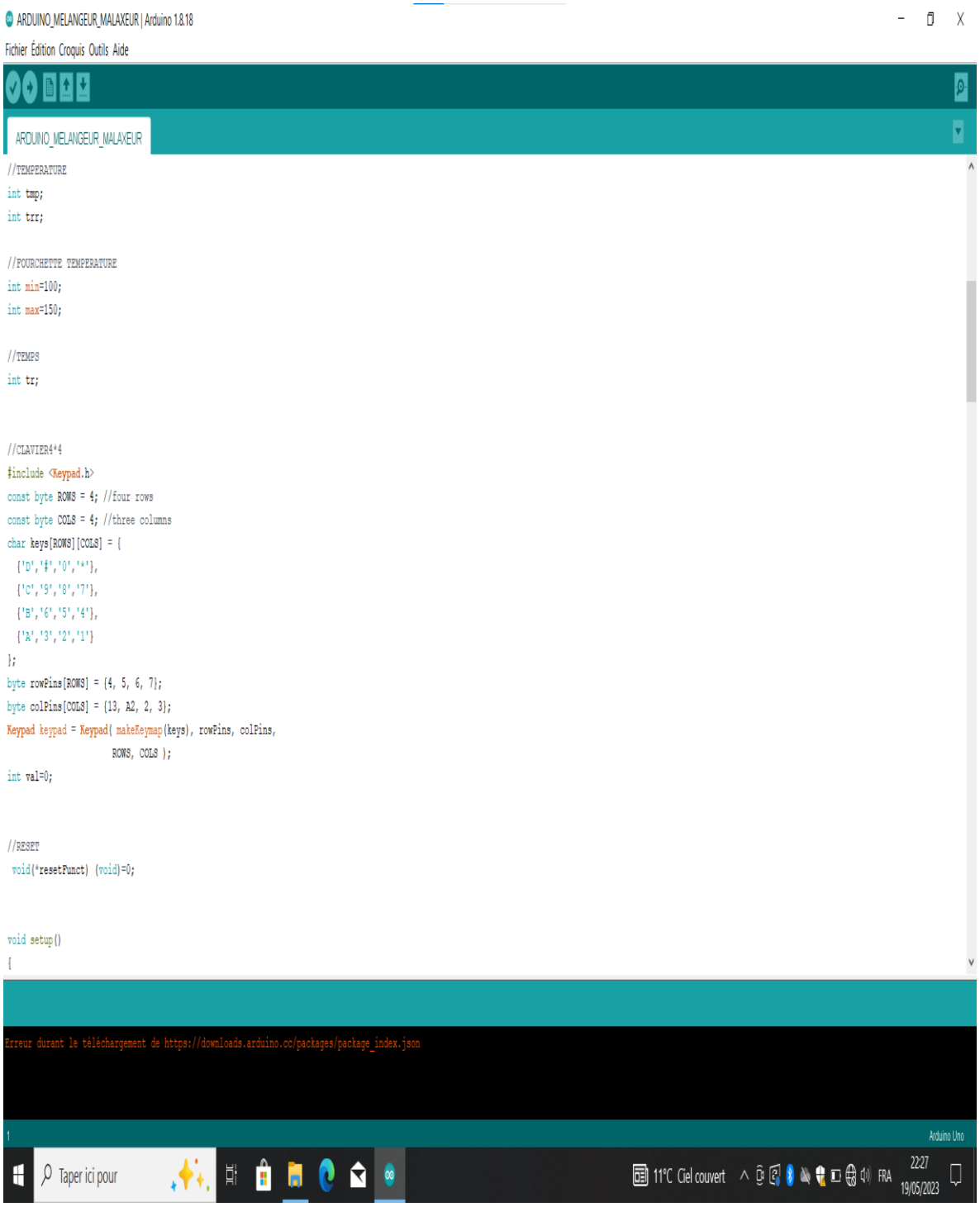


Figure IV 5: program d'électrovanne (arduino)

IV.2.3.program de capteur température lm35

```
//TEMPERATURE
int tmp;
int trr;

//FOURCHETTE TEMPERATUR
int min=100;
int max=150;

//TEMPS
int tr;
```

IV.2.4 Program de RIM

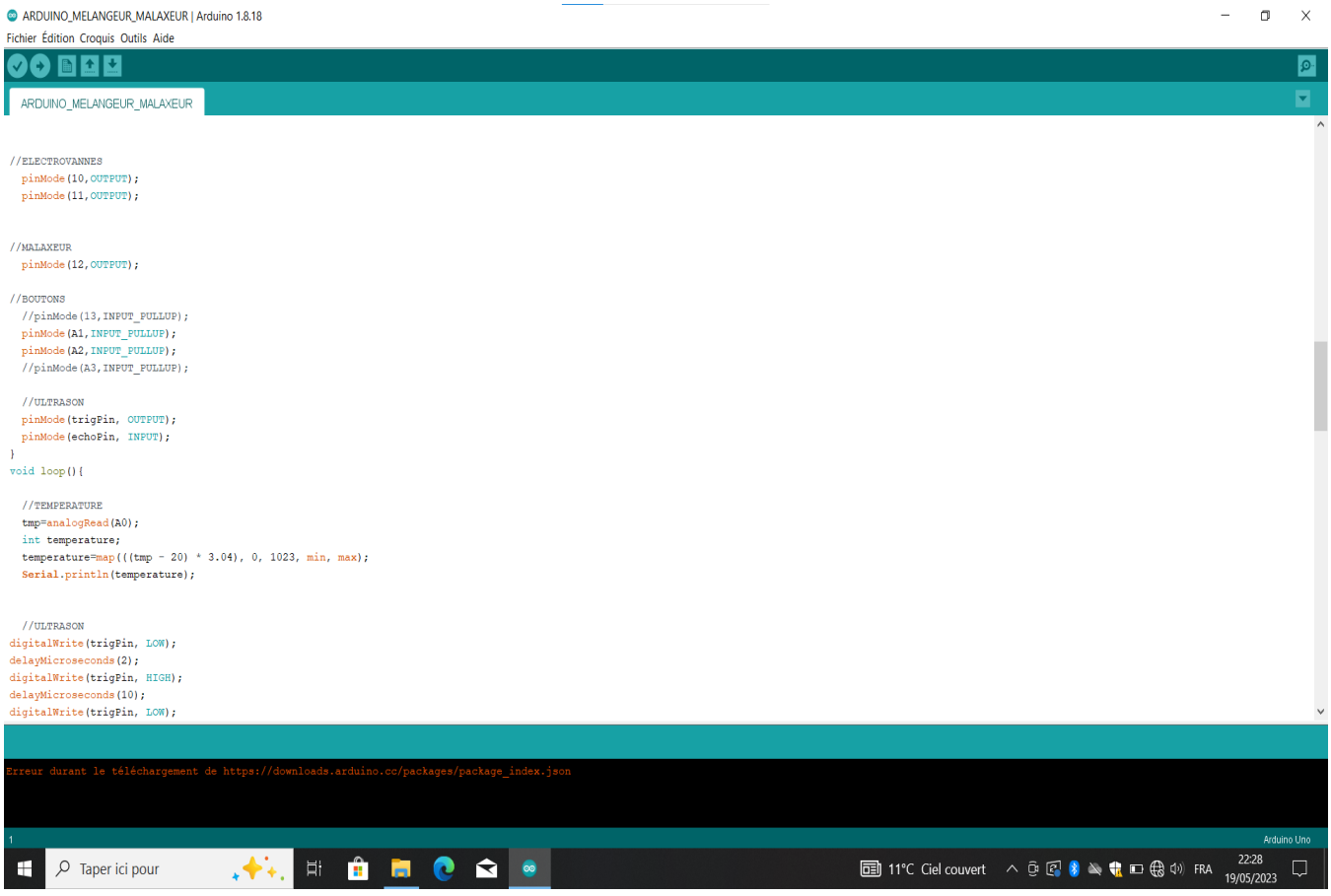


Figure IV 6: program arduino de RIM

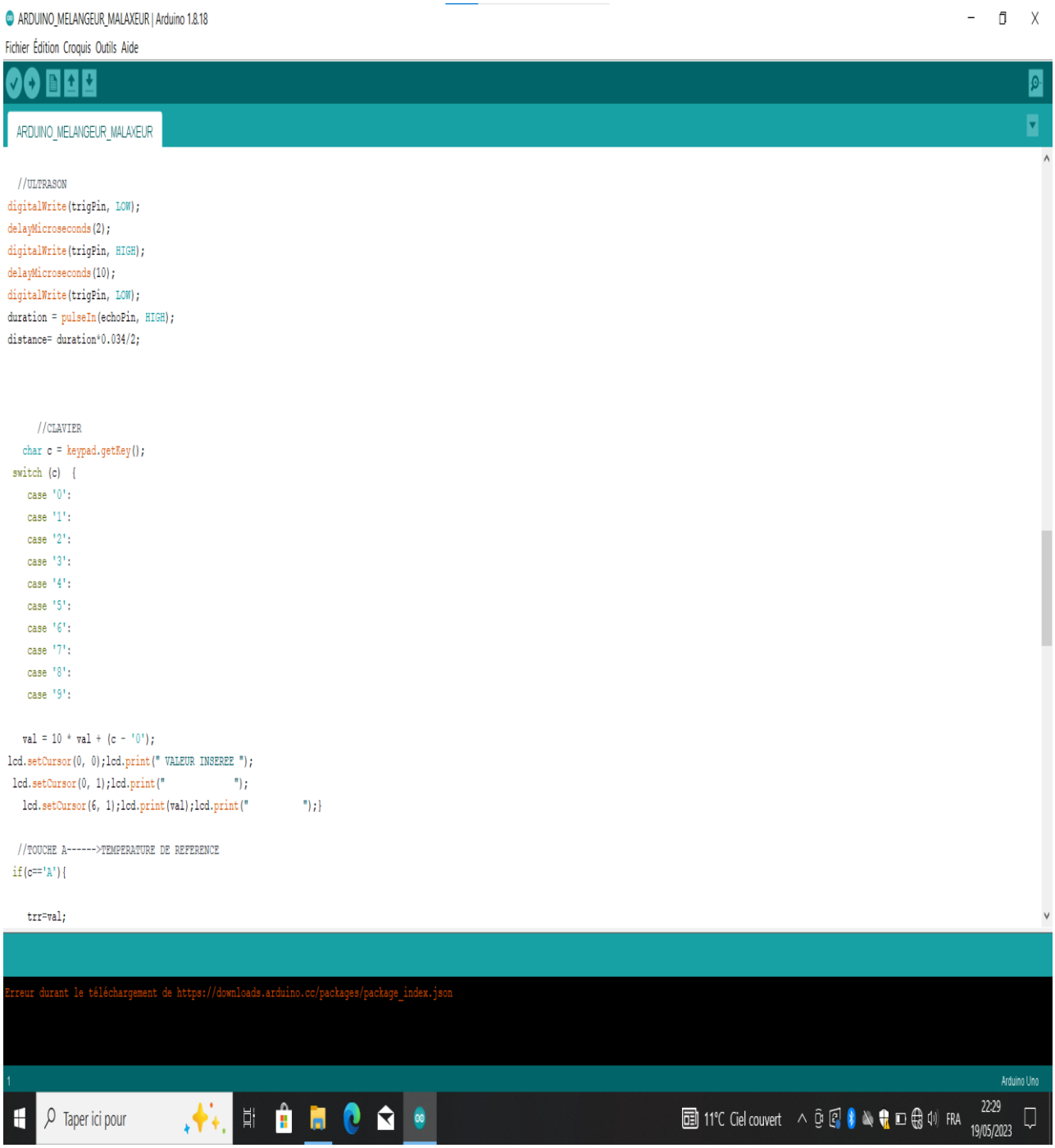


Figure IV 7: program arduino de clavier

IV.3.Installation de pièces électriques

Le document suivant décrit comment installer les pièces électriques avec carte aurduino

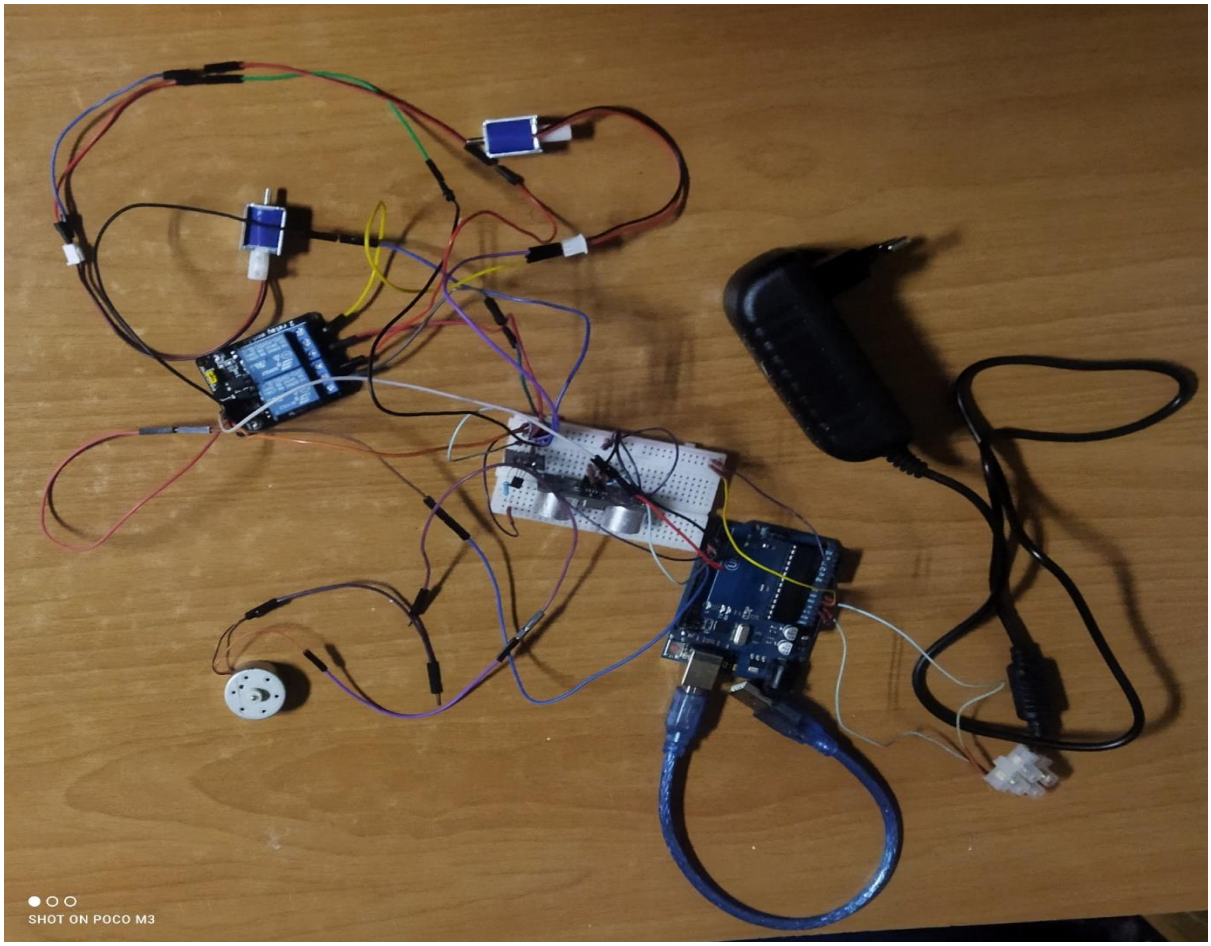


Figure *IV*8: installation de pièce électrique

Conclusion

Le mélangeur chimique télé-contrôlé <<RIM>> présente une bonne solution de protection contre les dangers des réactions chimiques, il permet de les gérer à distance d'une façon plus sure pour les opérateurs et d'avoir les meilleurs attendus.

C'était un grand challenge pour nous de réaliser ce projet sur une durée aussi courte, en partant de la recherche des idées jusqu'à la simulation qui demandait des notions approfondis des différents Domain en électronique et mécanique et en programmation.

La conception d'un tel système qui peut réduit les dégâts des réactions chimiques nous motive de plus en plus pour l'optimiser.

Chapitre V :

Etude économique

IV. Etude économique

IV.1. Problématique

Les problèmes des mélangeurs précédents sont résumés par deux problèmes :

- Le temps nécessaire pour que le mélange reste dans le mélangeur :

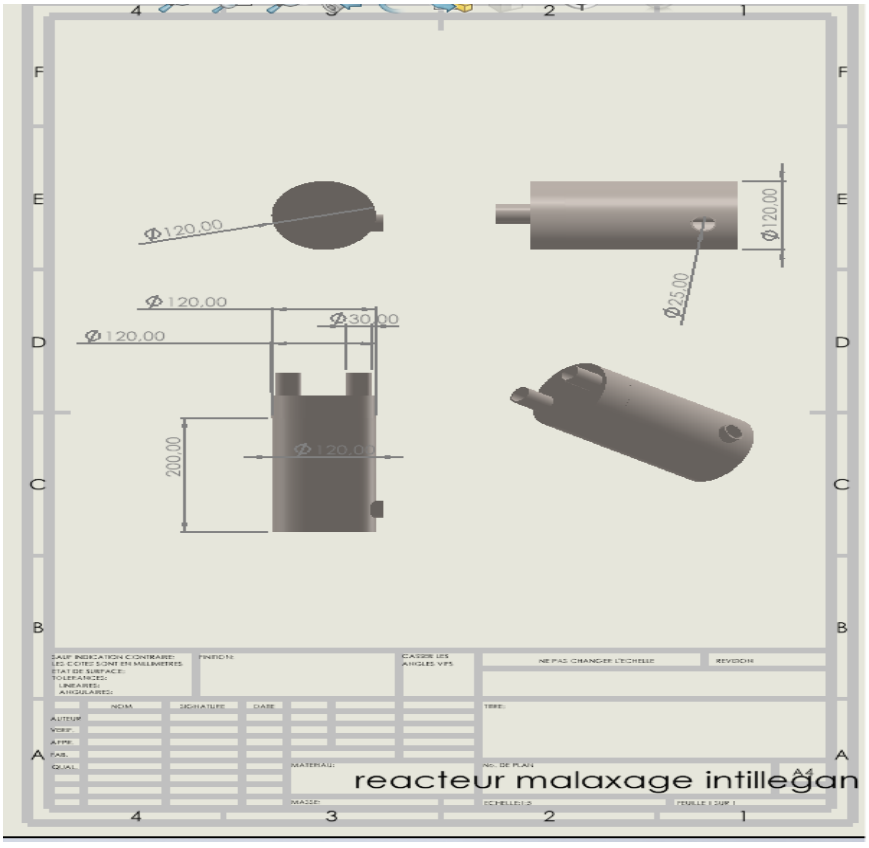
Parce qu'il y a des matériaux qui sont contrôlés par le temps de la ligne, ils sont transformés d'un état à un autre comme (Lait et médecine liquide ...)

- La méthode de mélange :

Il existe plusieurs façons de mélanger Ils diffèrent selon la qualité de la matière première et sa dureté. Il existe des matériaux qui nécessitent des mélangeurs puissants pour casser la matière première solide, En plus de la présence de matériaux qui doivent atteindre la vitesse maximale pour se mélangé à cause de la vitesse interactive

IV.2 Solution

La solution est de faire un mélangeur contrôlé Par le type de matière première et la vitesse de sa réaction et solide en plus de l'élément de chaleur pour contrôler la vitesse de la réaction Ce mélangeur est le mélangeur montré dans conception :



FigureV.1 : conception RIM

IV.3.Éléments de force de RIM

- Qualité du mélange

-Mélanger parfaitement

- Cela fonctionne automatiquement

- Mélanger tous les solides et liquides

- Contrôler tous les facteurs externes affectant le mix

-Facilité de travail et contrôle du mélangeur

IV.4.Éléments de vulnérabilité

- difficultés d'installation et de réinstallation

- complexité à faire

- Difficulté à fournir des pièces de rechange

IV.5.Le facteur de projet :

Ce tableau représente les prix de pièce selon le taux de change et les prix récents dans un marché qui connait une forte demande pour ces produits

Les pièces	Le nombre de pièce	Le prix (€)
Electrovanne	3	360
Capteur de température	1	120
Capteur ultras	2	360
Moteur DC	1	120
Les filles	70	100
Les ventilateurs	2	120
Le cylindre	2	700
Le couver	1	200
Les relais	3	300
La carte de logiciel	1	400
La somme	86	2780

Tableau V.1 :la facteur de projet

IV.6. Segment cible

Il comprend trois segments importants, et vous connaissez le forte demande pour eux centrée sur :

- Labo-pharmaceutique

- Labo-articles cosmétique

- Labo –produits alimentaires

IV.7. Taille du marché national & Vos Concurrents (alternatives)

L'Algérie dispose d'un large marché pour les produits alimentaires et pharmaceutiques en raison de la croissance démographique et de la forte demande pour ces produits

IV.8. Plus grands concurrents

- Société Saidal

- Entreprise de fabrication de cosmétiques

Selon les chiffres, la qualité et les performances du mélangeur applicable, en plus du prix compétitif, nous souhaitons continuer travailler sur ce projet, soutenons l'idée que ce projet peut entrer en concurrence dans le marché national et pourquoi pas marché mondial

CONCLUSION GENERALE

La présente étude avait comme objectif de concevoir une machine de malaxage de différentes matières afin d'avoir un mélange homogène.

Le système proposé comporte un mécanisme de réalisation de mélanges contrôlés en densité et en poids.

Un contrôle automatique est effectué d'une façon continue par un système de régulation intelligent.

La machine à petite échelle (PROTOTYPE) a été réalisée avec succés malgrés qu'elle necessite des améliorations et developpement afin d'atteindre le niveau de commercialisation.

En outre, Cette machine est polyvalente et capable de s'adapter à certaines variations de ses conditions de fonctionnement (poids, multi phases, température, pression, vitesse de rotation des ailettes de malaxage, ..). Elle est dotée de fonctions intelligentes de perception, de décision et d'action.

Ce projet consiste en la conception et la réalisation d'un réacteur malaxeur commandé à l'aide de cartes électroniques "Arduino ».

D'autre part, le but de cette étude est de modéliser le modèle de réacteur standard basé sur les études applicables précédentes et de le développer en se basant en grande partie sur la mise en œuvre des condition électromécaniques à travers une conception technique du réacteur au moyen d'un programme solideWorks et l'utilisation d'équipements modernes et avancés, et l'ajout de nouvelles fonctionnalités centrées sur le temps nécessaire au mélange et le contrôle de la qualité des réactions selon le type de matériaux mélange initial et facilité d'utilisation et efficacités des résultats souhaités.

Références Bibliographiques

Bibliographique

[1] L. Edward Paul, A. Victor Atemi-Beng, and M. Suzanne Krista, *Hand book of Industrialo Mixing: Science and Practice*, Wiles-Inter science, New York, NY, USA, 2004.

[2] G. Montante and F. Magelli, "Liquida homogénéisation caractéristiques in vessels stirred with multiple Rushton turbines mounted at different spacings: CFD study and comparaison with experimental data," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 82, no. 9, pp. 1179–1187, 2004

[3] http://WWW.allorf.qc.ca/BV/pages/sOOOO.aspx

[4]A.BELLIL. « Méthodologie spécifique globale de caractérisation des écoulements gaz/solides pour l'optimisation d'enceintes thermique », thèse de Doctorat, Université de Technologie Compiègne (2014).

[5]P. TRAMBOUZE. « Chemical Reactors from Design to opération » (2004).

[6] A.KAYODE-COKER. « Modling of Chemical Kinetics and reactor Design ». Gulf Publishing company (2001).

[7]A.R.KHALED. « Contribution de l'outil bond graph pour la modélisation des réacteurs chimiques en vue de leur supervision », thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille (2007).

[8]M. GUISNET, S.LAFORGE, D. COUTON « Réactions et réacteurs chimiques »: cinétique chimique (2007).

[9]D. RONZE. « Introduction au génie des procédés ». Tec Doc Lavoisier (2008).

[10]J.RIBA. « Réacteurs enzymatique et fermenteur ». Technique de l'ingénieur(1998).

[11]P.V. DANCKWERTS. « Continuous flow systems : distribution of residence times. Chemical Engineering Science » (1953).

[12] O. LEVENSPIEL. Chemical reaction engineering (1999).

[13]R.N.MARRETO, P.G. PEIXOTO, L.A. TACON. «Paste residence time in a spouted bed dryer. I : the stimulus-response methodology ». Drying Technology (2007). 25 (5): p. 821-830.

[14]C.CARLOU. « Caractérisation et modélisation de l'écoulement de boues résiduaires dans un sécheur à palettes », thèse de doctorat, université de Toulouse (2014).

[15]http://blog.ac-versailles.fr/technopeguy/public/Programmation/Arduino.pdf

[16]http://www.monclubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.Materi el Uo

[17]http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2016/08/13/32001-20160813ARTFIG00034ces-objets-connectes-utilises-par-les-sportifs-olympiques.php

[18] http://WWW.electrotechfr/moteur a courant continu

[19]Ramakrishna, Hoang Minh Tarn, Suhas P. Wani, Tranh Dinh Long “The application of soil temperature measurement by LM35 temperature sensors”. "Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam," Field Crops Research, 95, 2006, pp. 115-125.

[20] docs.google HCSR04 Ultrasonic Sensor Elijah J. Morgan Nov. 16 2014