



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Thème

Conception et réalisation d'une commande automatique à
base d'Arduino pour un double distillateur

Présenté par :

- Derdour mohamed abdel-illah
- Ammar nacer toufik

Encadré par : Monsieur djelti Benbella

Président : Monsieur Targui boubekker

Examineur : Monsieur Abdellaoui

Année Universitaire 2024/2025

Sommaires

Remerciements.....	4
Résumé.....	5
Introduction générale.....	6
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

Chapitre 1 : Généralités sur l'automatisation industrielle

1.1 Définition de l'automatisation.....	9
1.2 Avantages de l'automatisation des procédés.....	10
1.3 Exemple d'automatisation dans les procédés de distillation....	11

Chapitre 2 : Généralités sur la distillation et l'extraction de l'eau distillée

2.1 Définition de la distillation.....	13
2.2 Principes de fonctionnement de la distillation.....	14
2.3 Différents types de distillation.....	15
2.4 Application de la distillation pour l'extraction de l'eau distillée.....	16
2.5 Importance de l'eau distillée.....	17

Chapitre 3 : Étude et conception du système de commande pour un double distillateur

3.1 Analyse du procédé de distillation d'eau.....	20
3.2 Spécifications fonctionnelles du système.....	21
3.3 Choix des composants matériels (électrovanne, relais, pompe, Arduino, etc.).....	22
3.4 Présentation d'Arduino.....	25
3.5 Capteurs et actionneurs utilisés avec Arduino.....	26
3.6 schémas bloc et schéma de câblage.....	27
3.7 Algorithme de commande.....	28

Chapitre 4 : Réalisation pratique et mise en œuvre

4.1 Introduction	32
4.2 Description du bi-distillateur du laboratoire.....	32
4.3 Installation des capteurs et actionneurs.....	34
4.4 Programmation de la carte Arduino.....	39
4.5 PROGRAMME	41

4.6. conclusion.....	42
<hr/>	
Chapitre 5 : Tests et résultats expérimentaux	
5.1 Introduction.....	44
5.2 Protocole de test.....	44
5.3 Résultats obtenus des tests.....	45
5.4 Interprétation.....	46
5.5. Résultats expérimentaux obtenus.....	46
5.6. Difficultés rencontrées et solutions apportées.....	46
5.7 Conclusion.....	47
<hr/>	
Conclusion générale.....	49
Perspectives.....	51
Références bibliographiques.....	52
Annexes.....	53

Remerciements

Je voudrais remercier mon Seigneur, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la persévérance pour réaliser avec succès ce projet de fin d'études. Ce travail a été réalisé au centre de maintenance de la FST de l'Université de Mostaganem.

En outre, l'amabilité de nos enseignants et de notre encadrant devrait être étroitement reconnue et pleinement appréciée. Ils ont garanti que nous surmonterions les nombreux obstacles techniques et théoriques qui se dressaient sur notre chemin.

Nous tenons également à remercier l'ensemble de l'équipe du département de génie électrique ainsi que nos collègues de cette promotion pour les échanges d'idées et l'entraide. Je remercie aussi ma famille ainsi que mes amis pour la force qu'ils m'ont donnée et pour m'avoir soutenu en toute circonstance. Ainsi qu'à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce projet.

Résumé :

Pour mener à bien ce travail, nous avons étudié le principe de la distillation et son automatisation, apprendre à séparer les composants d'un liquide en fonction de la température d'ébullition de celui-ci. La distillation est un phénomène bien connu et largement utilisé dans de nombreux domaines, y compris pour la purification de l'eau, la fabrication de l'alcool et le traitement des autres produits chimiques.

Dans notre projet nous avons conçu et mis en œuvre un système de commande automatisé basée sur une carte Arduino pour un double distillateur. À l'aide de capteurs et d'actionneurs appropriés, le système est capable de contrôler certains paramètres du distillateur, tels que la température et le niveau d'eau, en temps réel pour distiller automatiquement.

Enfin, le but principal était de rendre le système plus précis, fiable et surtout autonome, c'est-à-dire de réduire au minimum l'intervention humaine. Cela non seulement accélère le processus, mais affecte aussi positivement, la qualité de l'eau distillée obtenue. Ainsi, ce travail nous a permis de combiner des connaissances théoriques avec des faits réels pour créer une solution utile.

Introduction générale

La distillation est un processus largement répandu utilisé pour séparer divers composants d'un mélange liquide en fonction de leurs points d'ébullition. Ce processus est fréquemment utilisé dans l'industrie chimique, entre autres dans, la production d'alcool et la purification de l'eau. Dans notre expérience, la distillation concerne l'eau, c'est-à-dire qu'elle est employée pour éliminer les impuretés de manière à obtenir l'eau la plus propre possible.

Toutefois, ce processus demeure délicat. Plusieurs paramètres devraient être suivis, y compris la température, le niveau de l'eau, le moment du chauffage. Par conséquent, nous cherchions une solution experte en vue d'automatiser tout ce processus et réaliser un meilleur suivi.

En général, l'idée de créer ce projet est survenue lorsque nous avons remarqué que de nombreux systèmes de distillation fonctionnent actuellement manuellement, ce qui rend difficile le fonctionnement d'utilisateurs non qualifiés et les rend également très énergivores. Ainsi, nous avons décidé de développer un système basé sur la plateforme Arduino qui peut fonctionner automatiquement, c'est-à-dire qu'il peut distiller sans la nécessité de l'intervention de l'homme.

Pour cette raison, ce mémoire de fin d'études est rédigé pour couvrir les étapes de notre travail ; de l'analyse du procédé à la réalisation pratique du système. La préoccupation principale était l'exploitation de nos connaissances théoriques avec des outils simples et facilement disponibles, pour offrir une solution intelligente et efficace pour ce sujet.

But du travail

L'objectif principal de ce projet est la **remise en service et l'automatisation d'un système de bi-distillation** afin d'assurer une production fiable et sécurisée d'eau ultrapure, utilisable dans un contexte de laboratoire.

Plus spécifiquement, le projet vise à :

1. **Diagnostiquer l'état initial de l'appareil** et identifier les pannes matérielles affectant les capteurs et le câblage électrique.
2. **Concevoir et mettre en place un nouveau système de commande basé sur Arduino**, permettant de piloter l'ensemble du processus de distillation de manière autonome et sécurisée.
3. **Mettre en œuvre des dispositifs de sécurité** (coupure en cas de surchauffe, contrôle des niveaux, feedback des contacteurs) afin de garantir la protection du système et de l'utilisateur.
4. **Concrétiser les acquis théoriques et pratiques** en électronique, automatisation et programmation à travers une réalisation fonctionnelle, appliquée à un besoin réel.

En résumé, ce projet constitue à la fois une solution technique de remise en service d'un appareil hors d'usage et une contribution pédagogique démontrant la faisabilité d'une automatisation fiable avec des moyens simples et accessibles.

Chapitre 1 :

Généralités sur l'automatisation industrielle

1.1 Définition de l'automatisation

L'automatisation désigne l'utilisation de la technologie pour accomplir des tâches avec une intervention humaine minimale. Elle consiste à mettre en place des systèmes capables d'exécuter de manière autonome des opérations répétitives ou complexes.

Depuis l'Antiquité, avec des inventions comme la roue, jusqu'à la Révolution industrielle (machines à vapeur, chaînes de montage de Ford) puis l'informatisation au XXe siècle, l'automatisation a transformé la production et l'organisation du travail.

Aujourd'hui, avec l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique, on parle d'**automatisation intelligente** : des systèmes capables d'apprendre, de s'adapter et de prendre des décisions, allant bien au-delà de la simple mécanique.

De la robotique aux véhicules autonomes, en passant par les maisons intelligentes et les objets connectés, l'automatisation façonne profondément notre société, en améliorant la productivité mais aussi en posant de nouveaux défis économiques et sociaux.

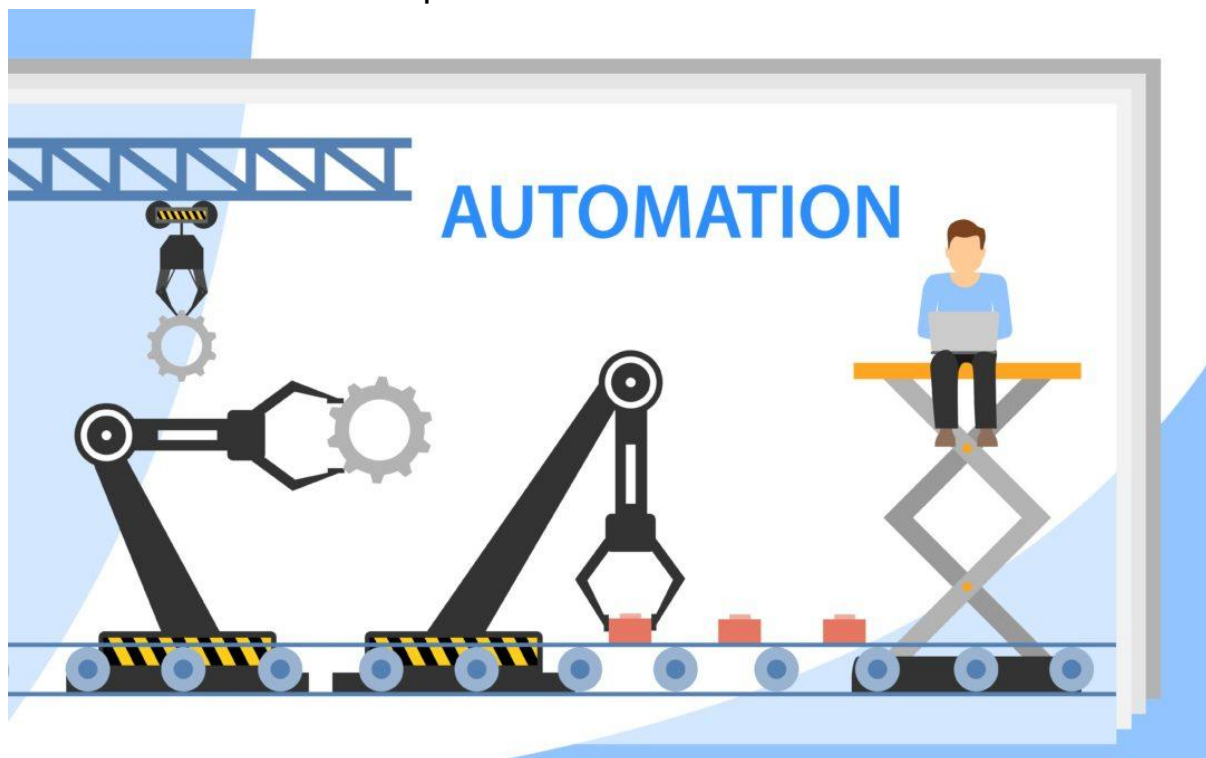


Figure 1.1 : Exemples de systèmes automatisés

1.2. Avantages de l'automatisation des procédés

L'automatisation des processus constitue un levier majeur pour accroître l'efficacité et la compétitivité des entreprises. Elle permet de gagner un temps considérable en supprimant les tâches répétitives, tout en renforçant l'efficacité opérationnelle et la productivité globale.

Elle contribue à rationaliser les opérations, en rendant les workflows plus clairs, transparents et traçables, ce qui réduit les coûts et optimise l'utilisation des ressources. L'automatisation limite également les erreurs humaines, améliore la fiabilité des résultats et facilite la conformité réglementaire grâce à une meilleure gestion documentaire et à la traçabilité des actions.

Sur le plan humain, elle favorise un meilleur engagement des collaborateurs en les libérant des tâches fastidieuses, leur permettant de se consacrer à des missions à plus forte valeur ajoutée. Enfin, elle améliore l'expérience client en offrant un service plus réactif, personnalisé et cohérent, renforçant ainsi la satisfaction et la fidélité.

En somme, l'automatisation est un outil stratégique qui combine efficacité, sécurité, réduction des coûts et amélioration de la qualité des services.

1.3 Exemple Automatisation d'une colonne de distillation continue

Objectif du procédé

Ce procédé vise principalement à séparer un liquide mélangé (par exemple, un solvant et de l'eau) en composants purs. La base de la séparation est la différence dans leur point d'ébullition, qui est un processus continu se déroulant dans une colonne de distillation.

Éléments clés du système automatisé

1. Capteurs

Le rôle des différents types de capteurs est essentiel à la surveillance en temps réel des facteurs les plus importants. Ils fournissent des données nécessaires à la conduite du processus :

- **Température** : Un capteur installé sur différents niveaux de la colonne aide à réaliser un profil thermique, grâce auquel l'évaporation et la zone de condensation sont totalement contrôlées.
- **Débit** : le débit d'alimentation et de distillat et du résidu doit également être mesuré et contrôlé pour vérifier un apport optimal de matière aux divers plats.
- **Niveau** : enfin, des capteurs de niveau au fond de la colonne doivent permettre de contrôler précisément la bonne accumulation de liquide pour éviter qu'elle ne s'échelonne ou ne fonctionne jamais à sec.

2. Actionneurs

Les actionneurs sont des organes qui exercent un impact au niveau de la transmission d'activation pour ajuster le procédé selon les informations des capteurs permettant une réaction prompte et précise :

- **Vannes motorisées** : ces vannes régulent les débits des flux (alimentation, distillat, résidu) en s'ouvrant ou se fermant selon la direction du système de contrôle automatisé.

Chapitre 2 :

Généralités sur l'extraction de l'eau distillée

2.1 Définition de la distillation

La distillation est un processus de purification d'un liquide consistant à le chauffer pour le transformer en vapeur, puis à le refroidir pour le condenser de nouveau en liquide. **Ce procédé permet d'obtenir de l'eau distillée.**

La distillation est un moyen de purifier un composé en le séparant des substances qui le contaminent, en le chauffant jusqu'à ce qu'il atteigne son point d'ébullition, sans que les autres matières ne s'évaporent.

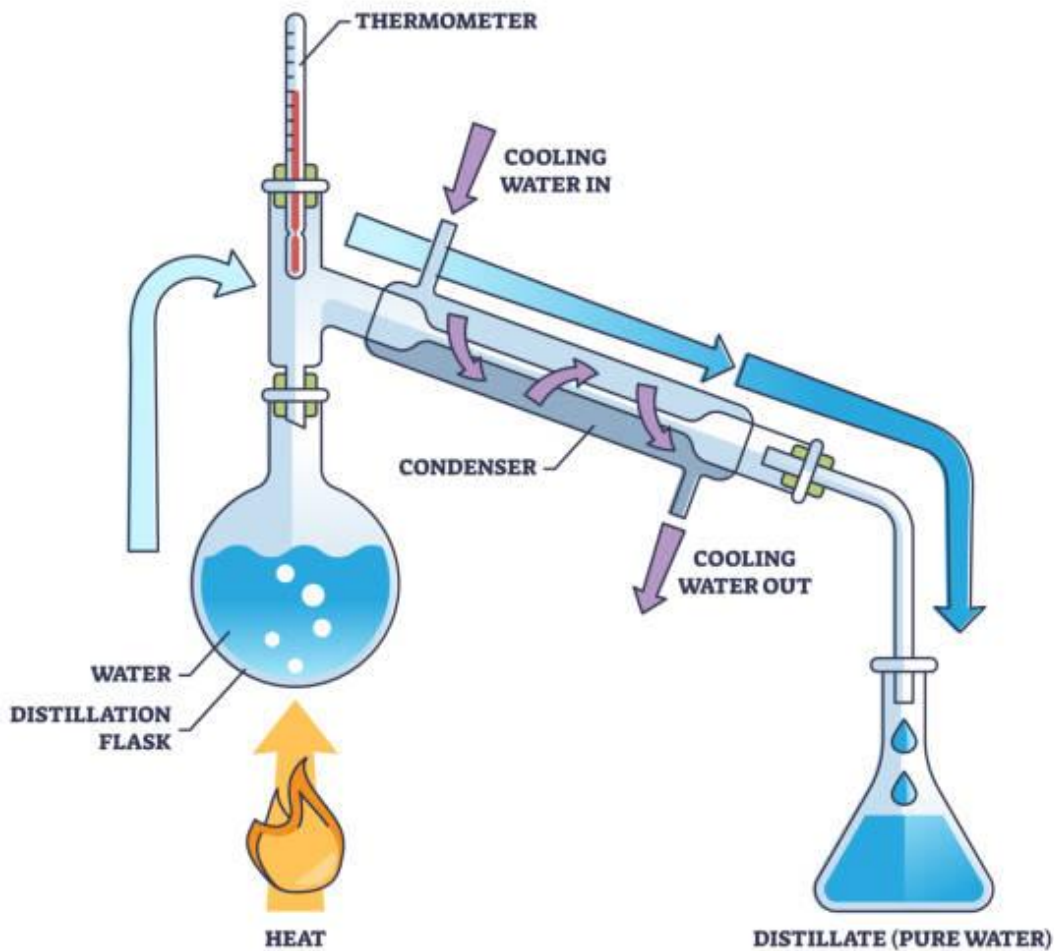
Comme les différents composés ont souvent des points d'ébullition distincts, les composants qui constituent le mélange peuvent être séparés lorsqu'ils sont chauffés.

C'est pourquoi les principes qui sous-tendent la distillation d'une boisson alcoolisée sont relativement simples.

Cependant, en raison de la complexité de ce projet, il est important de prendre en compte tous les éléments associés à sa mise en œuvre.

Ci-dessous la figure 2.1 représente un schéma général d'un procédé de distillation.

WATER DISTILLATION PROCESS



Fig

ure : 2.1. Processus de distillation d'eau

2.2. Principes de fonctionnement de la distillation

La distillation repose sur l'évaporation et la condensation. L'eau est chauffée par un élément électrique (1 000–1 500 W) dans un réservoir en acier inoxydable. La vapeur produite passe dans un serpentin où elle se condense pour donner de l'eau distillée, tandis que les minéraux restent dans la cuve.

Un flotteur coupe automatiquement le chauffage quand l'eau est presque évaporée. La chambre d'ébullition est ensuite rechargée, manuellement ou automatiquement.

Les modèles peuvent être :

- **Portables** (de comptoir), refroidis par air, branchés sur 120 V, produisant 3–4 L par cycle.
- **Fixes** (installés en permanence), reliés à une conduite et permettant un écoulement continu d'eau distillée.

2.3 Types de distillation

1. Distillation simple

- Basée sur l'évaporation-condensation directe.
- Adaptée aux liquides dont les points d'ébullition diffèrent d'au moins **25 °C**.
- Exemples : chloroforme, benzène, toluène, acétone.

2. Distillation fractionnée

- Pour séparer des liquides aux points d'ébullition proches ou éloignés (> 25 °C).
- Utilise une **colonne de fractionnement** avec plusieurs étapes successives (plaques théoriques).
- Permet une meilleure pureté de séparation.

3. Distillation à la vapeur

- Conçue pour les **substances thermosensibles**.
- Température contrôlée par la vapeur, sans surchauffe.
- Exemple : aniline.

4. Distillation sous vide

- Pour les liquides à **points d'ébullition élevés**.
- Réduction de pression → abaissement du point d'ébullition.
- Souvent réalisée avec un **évaporateur rotatif**.
- Exemple : glycérol.

5. Distillation de zone

- Dans un long cylindre chauffé par zones.
- Utilisée pour obtenir une grande pureté par fusion limitée et sélective.

6. Distillation sous vide sensible à l'air

- Pour les composés réactifs à l'air.
- Vide remplacé par un **gaz inerte** à la fin du processus.

- Réalisée avec le dispositif **Perkin Triangle**.

7. Distillation à court chemin

- Parcours de vapeur très court (quelques cm).
- Idéale pour **petites quantités** de composés, avec faibles pertes.
- Utilise l'appareil **Kugelrohr**.

D'autres méthodes existent : **azéotropique, cryogénique, à pression oscillante**, etc.

2.4 Application de la distillation pour l'extraction de l'eau distillée

Les applications incluent la purification de l'eau, comme le dessalement, la production d'eau distillée à des fins industrielles, telles que les batteries au plomb ou les humidificateurs, et la purification de quelque boisson fermentée. La distillation est également utilisée pour extraire les huiles essentielles nécessaires pour les parfums et les condiments, la stabilisation du brut, afin de le stocker et de le transporter en toute sécurité. D'autres exemples peuvent être trouvés, et la séparation de l'air en ses composants, azote, oxygène, argon par distillation cryogénique. Aussi a-t-elle un rôle important en synthèse chimique industrielle pour la purification des produits liquides.

- Purification de l'eau et dessalement
- la distillation est une méthode incontournable pour la purification de l'eau, surtout pour les procédés de dessalement transformant l'eau de mer en eau potable
- Elle est utilisée pour élimination des impuretés, des sels et des contaminants pour en faire une boisson et l'utiliser dans les applications industrielles.

Exemple : Dans le **cas** des batteries au plomb-acide et des humidificateurs à faible volume, l'eau distillée est naturellement la seule eau à utiliser en raison de sa très grande pureté. Pour obtenir l'eau distillée en eau purifiée,

- -l'eau distillée industrielle est produite ; celle-ci est indispensable où l'eau pure est concernée.
- -Par exemple, les applications comprennent :

- Batteries plomb-acide : Empêche l'accumulation de minéraux et prolonge la longévité des batteries.
- Humidificateurs : Garantit qu'aucune impureté n'est communiquée à l'air. Il a une telle polyvalence dans n'importe quel secteur d'activité, notamment les suivants. La distillation occupe une place privilégiée dans les secteurs d'activité tels que :
 - Raffinage du pétrole
 - Aliments et boissons. Division
 - Produits pharmaceutiques
 - Fabrication de produits chimiques Distillation comme son aptitude à fractionner et purifier les substances – en fait, est vraiment indispensable à la fabrication de produits chimiques modernes.

Pour conclure, la distillation est une technologie de base aux applications multiples allant de la purification de l'eau et de la production de boissons à la synthèse chimique industrielle et à la séparation de l'air. La réallocation possible des substances selon leurs différences de volatilité assure sa pertinence dans un grand nombre d'industries.

2.5 Importance de l'eau distillée

L'eau distillée est précieuse en raison des nombreux avantages de sa pureté. Étant un milieu exempt de toute contamination, de minéraux ou de micro-organismes, l'eau distillée est universellement utilisée dans l'industrie et les ménages. À titre d'exemple, l'eau distillée n'accumule pas de dépôts minéraux, il peut donc être utilisé dans les batteries et les systèmes de refroidissement pour prolonger leur durée de vie et maximiser leur efficacité.

En laboratoire, l'eau distillée est nécessaire pour préparer des solutions chimiques précises et mener des analyses de laboratoire fiables, ce qui garantit des résultats précis et reproductibles.

Figure 2.2 : Exemples d'utilisation d'eau distillée



L'eau distillée, grâce à sa **pureté**, est largement utilisée :

- **Industrie pharmaceutique et cosmétique** : comme base de fabrication, elle garantit la sécurité, la stabilité et la qualité des produits en évitant toute contamination ou réaction indésirable.
- **Usage domestique** : particulièrement appréciée pour le repassage à la vapeur, car elle ne laisse aucun dépôt et prolonge la durée de vie des appareils.
- **Automobile et machines** : utilisée dans les batteries, radiateurs et climatiseurs pour limiter les dépôts minéraux, prévenir la corrosion et réduire les coûts de maintenance.

Chapitre 3 :

Conception d'un système de commande pour un bi-distillateur

3.1 Analyse du procédé de distillation de l'eau

L'analyse du procédé de distillation de l'eau vise à comprendre les différentes étapes nécessaires ainsi que les paramètres influençant la séparation de l'eau pure des impuretés et substances dissoutes. Cette méthode repose essentiellement sur l'écart de points d'ébullition entre les différents composants du mélange.

3.1.1 Principes fondamentaux

La distillation est un procédé de séparation basé sur deux phénomènes : **l'évaporation** et **la condensation**. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène en exploitant leurs différences de température d'ébullition.

3.1.2 Étapes clés du procédé

1. **Chauffage** : l'eau est portée à ébullition (100 °C à pression atmosphérique).
2. **Évaporation** : la vapeur se sépare des impuretés non volatiles (sels, métaux lourds, etc.) qui restent dans le résidu.
3. **Condensation** : la vapeur est refroidie dans un condenseur pour redevenir liquide.
4. **Collecte** : l'eau distillée est recueillie dans un récipient propre.

3.1.3 Facteurs influençant l'efficacité

- **Différence de points d'ébullition** : plus l'écart est grand, plus la séparation est aisée.
- **Température et pression** : une distillation sous vide réduit la température d'ébullition et économise l'énergie.
- **Équipement** : l'utilisation de colonnes de distillation améliore la qualité de séparation.

3.1.4 Applications pratiques

La distillation de l'eau est largement utilisée pour :

- la production d'eau potable,
- l'élimination des contaminants dans l'industrie pharmaceutique,
- la préparation d'eau stérile en laboratoire,
- l'obtention d'eau ultrapure pour les expériences sensibles.

3.2 Spécifications fonctionnelles du système

Le système de distillation automatisé à base d'Arduino doit répondre aux spécifications fonctionnelles suivantes :

- **Alimentation et mise en marche :**

Le système doit être alimenté électriquement et permettre un démarrage sécurisé de l'ensemble du dispositif (chauffage, capteurs et contrôleur).

- **Surveillance des niveaux d'eau :**

Le système doit intégrer des capteurs de niveau pour détecter la présence ou l'absence d'eau dans le réservoir d'alimentation, dans la chambre de distillation et dans le récipient collecteur.

- **Contrôle du chauffage :**

Le chauffage doit être activé uniquement si le niveau d'eau dans la chambre de distillation est suffisant. Le système doit couper automatiquement le chauffage en cas de niveau bas pour éviter la surchauffe ou la détérioration de la résistance.

- **Processus de distillation :**

Le système doit assurer la séquence complète :

1. Chauffage de l'eau jusqu'à ébullition,
2. Production et transfert de la vapeur vers le condenseur,
3. Refroidissement et condensation de la vapeur,

4. Collecte de l'eau distillée dans un réservoir propre.

- **Sécurité et protection :**

Le système doit intégrer des mécanismes de protection en cas de défaillance d'un capteur ou d'anomalie de fonctionnement (absence d'eau, surchauffe, câblage défectueux).

- **Interface de contrôle :**

Le système doit offrir une interface simple (par LED témoin ou affichage) permettant à l'opérateur de suivre l'état du processus (marche, chauffage en cours, distillation, défaut).

- **Autonomie et fiabilité :**

Le dispositif doit être capable de fonctionner de manière autonome, sans intervention humaine constante, tout en garantissant la qualité et la sécurité de l'eau distillée produite.

3.3 Choix des composants matériels (relais, électrovanne, Arduino, etc.)

Une liste de composants matériels utilisés dans notre système de contrôle de distillation automatique basé sur une plateforme Arduino :

1. Le microcontrôleur (Arduino UNO)

Dispose de multiples entrées/sorties numériques et analogiques. Elle est facile à programmer et à déboguer.

2. Les capteurs de température (thermostats)

Un thermostat à contact sec, réglable, surveille un seuil de température, dans chacun des cuves.

Ces quatre relais sont utilisés pour commander :

- L'électrovanne d'admission d'eau brute
- Les lampes de signalisation
- Les contacteurs alimentant les résistances chauffantes
- Les Thermostats

5. Contacteurs (KM1, KM2)

- **Contacteurs à bobines 220V avec retour de signal (contact auxiliaire NO/NC)**
 - Les contacts principaux permettent de piloter les résistances de puissantes chauffantes.
 - Les **auxiliaires de KM1/KM2** sont exploités pour envoyer un feedback ; Ils sont connectés aux entrées d'Arduino pour s'assurer des états réels des contacteurs.



Figure 3.4 : a) deux Contacteurs GMC-22
b) Résistance bobinée (16Ω) et sonde du thermostat

6. Lampes témoin

- **Lampes 220V**
 - L1 = Signale la distillation en cours
 - L2 = signale la fin de distillation

Figure 3.5 : Lampes de signalisation



7. Électrovanne

- **Électrovanne 220V AC,**

L'électrovanne contrôle l'admission de l'eau brute, utilisée à la fois pour l'alimentation du procédé de distillation et pour la condensation (refroidissement des vapeurs). Son fonctionnement est commandé par un relais.

Figure 3.6 : Electrovanne d'admission



8. Alimentation électrique

- Disjoncteur principal 230Vac/ 20A avec différentiel,
- Interrupteur de Marche/Arrêt,
- **Alimentation 5V/2A régulée** pour l'Arduino et les relais



Figure 3.7 : a) Disjoncteur principal différentiel

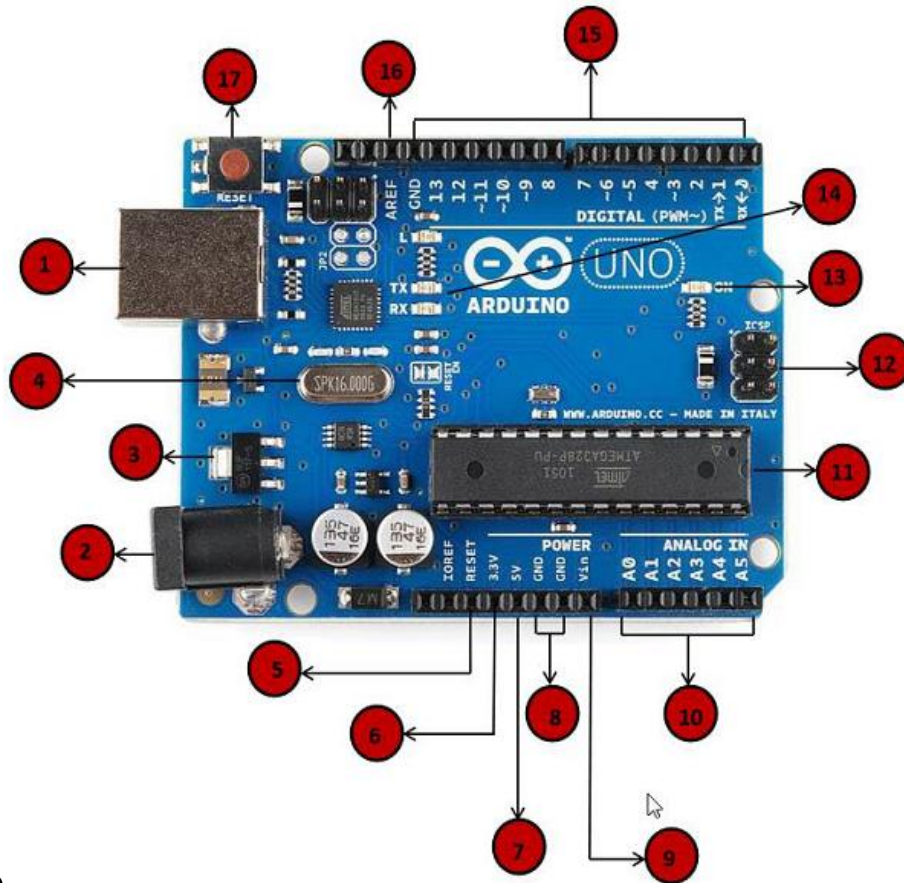
b) Interrupteur Marche-Arrêt de l'appareil

3.4 Présentation d'Arduino

La plateforme **Arduino** constitue une solution matérielle et logicielle libre, reposant sur un microcontrôleur de la famille **AVR** « ATmega 328 ». Elle offre la possibilité de traiter et de générer des signaux électriques. L'un de ses principaux atouts réside dans l'intégration, sur une seule carte, du microcontrôleur, des interfaces d'entrées/sorties, de la connectique ainsi

que du système d'alimentation, ce qui en fait un outil polyvalent et accessible pour le développement de systèmes électroniques.

Description détaillée de la carte



Arduino

Figure 3.8 : Carte de commande (Arduino)

- 1- Port USB pour brancher la carte à l'ordinateur **afin de téléverser** le programme,
- 2- Port d'alimentation de la carte entre 7V et 12V,
- 3- Bouton Reset,
- 4- LED TX et RX : clignotent pendant le téléchargement du programme et durant la communication série,
- 5- Pins GND : Ce port représente le négatif de l'alimentation.
- 6- 3,3v : Fournit une tension de 3.3v pour les composants à basse tension.
- 7- 5V : Fournit une tension de 5 V pour n'importe quel composant externe. Cette sortie est souvent utilisée pour alimenter des capteurs ou actionneurs.

- 8- GND : Deuxième pin de masse.
- 9- Vin : Une Led s'allume si la carte est alimentée par une source extérieure via ce pin. Cette source peut être une batterie, une pile ou toute autre alimentation. Sa tension ne doit pas dépasser 12 V ni descendre en dessous de 7 V.
- 10- Pins A0-A5 : Broches d'entrées analogiques. Elles permettent de connecter des composants analogiques. Afin d'utiliser ces broches, on emploie la fonction *analogRead()*, qui renvoie la valeur analogique du composant connecté à la broche spécifiée entre les parenthèses.
- 11- Microcontrôleur : ATmega-328, Les pins d'alimentation délivreront toute du 5V CC.
- 12- La LED 12 : LED associée à la pin 13
- 13- Le régulateur de tension : délivre une tension stable de 5V/500 mA pour le microcontrôleur,
- 14- Pins 0-13 : 14 pins digitaux dont 6 peuvent délivrer des signaux PWM.

Pour les utiliser on utilise les instructions ci-dessous :

digitalRead() : lit la valeur digitale du composant situé sur le pin entre parenthèse.

digitalWrite() : envoie ou écrits la valeur digitale du composant situé sur le pin entre parenthèse soit par HIGH pour alimenter la sortie en électricité ou LOW pour lui couper l'électricité.

analogWrite() : permet de délivrer un signal analogique simulé en PWM, au composant situé sur le pin entre parenthèse.

- 15- Pin d'alimentation AREF 15 : tension de référence pour les entrées analogiques.
- 16- Pin GND supplémentaire 16 : une autre masse.
- 17- Pin RESET externe : permet de redémarrer la carte depuis un autre composant externe.

3.5 Conception électrique et schéma de câblage

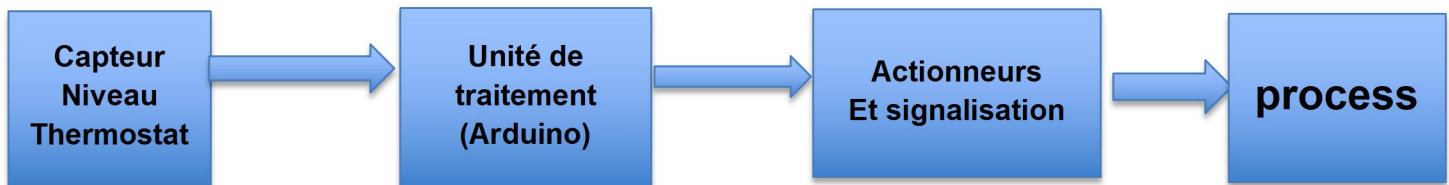


Figure 3.9 : Schéma bloc du projet

3.6 Algorithme de commande

Nous décrivons, en un ensemble d'étapes, l'algorithme principal qui traduit le fonctionnement de notre programme Arduino :

Boucle principale :

1. **Vérifier si le bouton ON/OFF est appuyé :**
 - Si **OFF** → Tout désactiver (vanne, résistances, lampes) et revenir à la vérification.
 - Si **ON** → Continuer vers l'étape 2
2. **Activer l'électrovanne** (toujours ON pendant le cycle actif)
3. **Contrôle de la résistance 1 (KM1) :**
 - S'il n'y a pas assez d'eau dans le bac 1 (Capteur **bas L1** est désactivé) garder l'électrovanne ouverte.

- **Si :**
 - Il y a assez d'eau dans le bac 1 (Capteur **bas L1** est actif) et,
 - L'évacuation n'est pas bouchée suite à un défaut (Niveau **haut H1** n'est **pas atteint**) et,
 - Thermostat T1 actif (fermé),
- Alors → Commencer à chauffer l'eau dans le bac1 (**Activer KM1** « GMC-22 »)
- Sinon → Désactiver KM1

4. Contrôle de la résistance 2 (KM2) :

- **Si :**
 - Il y a assez d'eau (distillée) dans le bac 2 (Capteur **bas L2** est actif) et,
 - Niveau **haut H2** n'est **pas atteint** et,
 - Thermostat T2 actif (fermé),
- Alors → chauffer l'eau dans le bac2 (**Activer KM2** « GMC-22 »)
- Sinon → Désactiver KM2

5. Contrôle des lampes :

- Tant que les niveaux d'eaux dans les deux bacs n'atteignent pas la valeur max (H1 et H2 **désactivés**) → signaler « distillation en cours » (Distillation : L1 = ON, Fin de distillation : L2 = OFF)
- Si H1 et H2 **activés tous les deux** → Distillation : L1 = OFF, Fin de distillation : L2 = ON

6. **Sécurité** (Vérification des retours de KM1, KM2) :

- Si le retour de KM1 ne correspond pas à l'ordre donné par l'unité de commande → Couper tout (EV, KM1, KM2) et signaler une alarme.
- Pareil pour KM2.

Chapitre 4 :

Réalisation pratique et mise en œuvre

4.1 Introduction :

Après avoir présenté les aspects théoriques et conceptuels relatifs à l'automatisation d'un système de bi-distillation, ce chapitre est consacré à la concrétisation pratique du projet. Il décrit les différentes étapes de la mise en œuvre, depuis le choix des composants matériels et logiciels jusqu'à l'assemblage et la programmation du dispositif.

L'objectif est de traduire les spécifications établies lors de la phase de conception en un système fonctionnel, capable de réaliser les opérations de distillation de manière fiable et sécurisée. Ce chapitre présente ainsi le câblage des différents éléments (capteurs, actionneurs, microcontrôleur), l'élaboration du programme de commande, ainsi que les essais effectués pour valider le fonctionnement global du système.

Enfin, une attention particulière est accordée aux difficultés rencontrées et aux solutions mises en place, afin de mettre en évidence les contraintes réelles de l'implémentation et d'ouvrir la voie aux perspectives d'amélioration.

4.2 Description du bi-distillateur du laboratoire

L'appareil double distillateur, en panne, existant dans le laboratoire de chimie est composé essentiellement de quatre réservoirs. Deux d'entre eux sont dotés chacun d'une résistance chauffante servant à l'évaporation. Chacun des évaporateurs communique, à l'aide de deux tubes, avec une cuve de condensation dotée d'un serpentin de refroidissement.



bi-distillateur d'eau inox automatique – 4L/h ref : LWD-3005D



Figure 4.1 :

Description du montage :

Les réservoirs sont montés sur une base solide résistante à la chaleur. Les deux réservoirs d'évaporation ont une capacité de 5 litres chacun. Le premier reçoit de l'eau brute du robinet qui passe dans les deux serpentins avant d'arriver à une colonne où le niveau d'eau est surveillé par deux capteurs (l'un pour le niveau bas, l'autre pour le niveau haut). Cette colonne communique directement avec le premier réservoir. Le second reçoit l'eau distillée de la première paire (évaporateur-condenseur). Les deux résistances chauffantes sont fixées au fond de chaque réservoir permettant de chauffer l'eau jusqu'à l'ébullition.



Figure 4.2 : L'intérieur du bi-distillateur (LWD-3005D)

- L'arrivée d'eau brute au premier réservoir est commandée par une électrovanne. Elle traverse d'abord un filtre monté à l'extérieure de l'appareil.

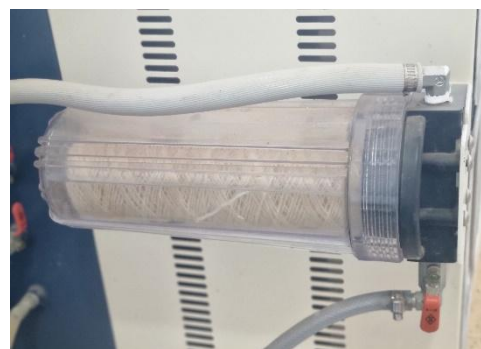


Figure 4.2 : Filtre d'entrée d'eau brute

- Deux tubes placés au sommet de chaque paire de réservoirs assurent la communication de la vapeur entre les deux. Ainsi le réservoir de condensation récupère la vapeur générée dans l'évaporateur.



Figure 4.2 : Tubes de communication de

la vapeur entre l'évaporateur et le condenseur

- L'appareil est doté de deux lampes de signalisation :
 - Lampe 1 (rouge) indique que la distillation est en,
 - Lampe 2 (verte) signale la fin de la distillation.

4.3 Installation des capteurs et actionneurs

L'appareil comporte un ensemble de capteurs et d'actionneurs destinés à assurer son contrôle automatique et sa surveillance. Toutefois, au début de notre intervention, ces dispositifs étaient hors service : la majorité était déconnectée et certains présentaient des défaillances. Notre tâche a donc consisté à effectuer une vérification complète de l'ensemble des composants, à remplacer ceux qui étaient défectueux, puis à réaliser le câblage conformément à notre schéma de conception basé sur Arduino.

1. Capteurs de niveau d'eau (x4)

- **L1** et **H1** pour le réservoir 1 (niveau bas et niveau haut)
- **L2** et **H2** pour le réservoir 2
Installation : Ils sont fixés sur les parois des réservoirs, à des hauteurs spécifiques pour détecter le minimum et le maximum d'eau.

2. Thermostats (x2)

- Un pour chaque réservoir, permettant de détecter si la température d'ébullition est atteinte.
Installation : Fixés en contact direct avec la surface externe ou interne du réservoir (ou insérés dans une douille en inox pour immersion sécurisée).

3. Bouton marche/arrêt (x1)

- Pour activer ou désactiver le système manuellement.
Installation : Placé sur le panneau de commande accessible à l'utilisateur.

4. Capteurs de retour (Feedback) KM1 et KM2 (x2)

- Permettent de vérifier si les relais (ou contacteurs) de puissance fonctionnent bien.
Installation : Connectés aux sorties des relais pour détecter la présence de courant.

4.3.1. Actionneurs utilisés :

1. Résistances chauffantes (16Ω x2)

- Alimentées via les contacteurs KM1 et KM2, elles assurent la chauffe de l'eau.
Installation : Montées au fond de chaque réservoir et câblées via relais de puissance (contacteurs GMC-22).

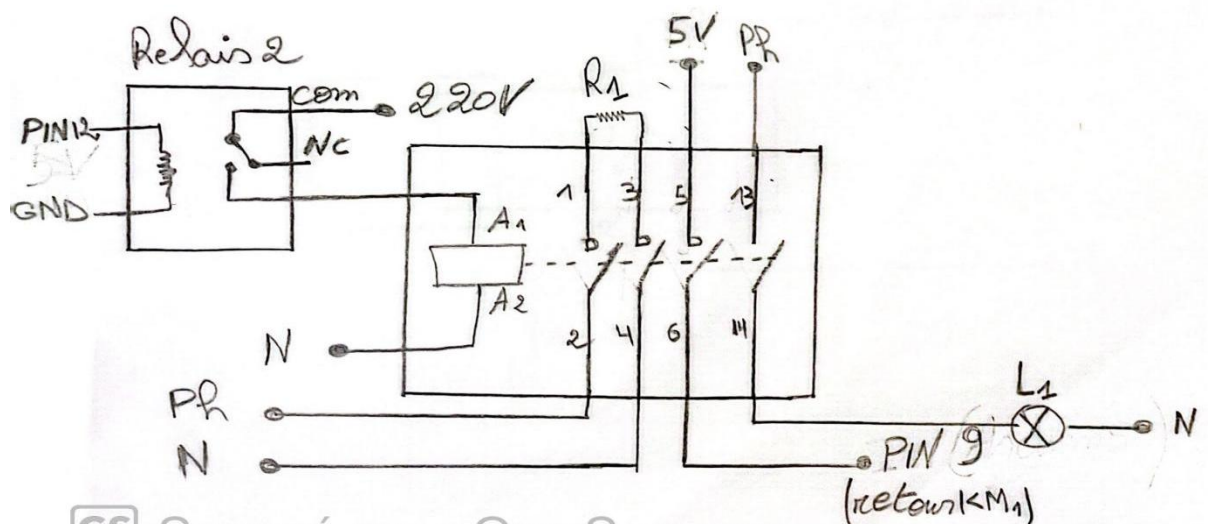


Figure 4.3: Commande des résistances et la lampe distillation en cours par un contacteur via relais2

2. Électrovanne (x1)

- Commande le remplissage automatique du premier réservoir et assure le refroidissement de la vapeur (condensation).

Installation : Placée en amont de l'arrivée d'eau après le filtre, branchée via un relais.

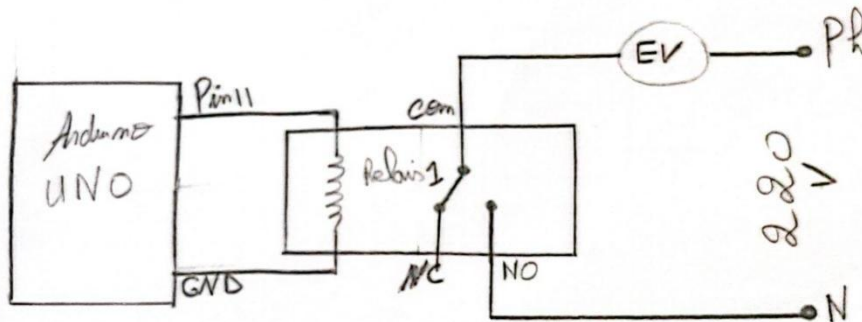


Figure 4.4 : Commande de l'électrovanne via une interface de puissance (Relais 1)

3. Lampes de signalisation (L1 et L2)

- Donnent un retour visuel de l'état du processus.

Installation : Fixées sur le boîtier de contrôle (L1 = en cours, L2 = fin de distillation)

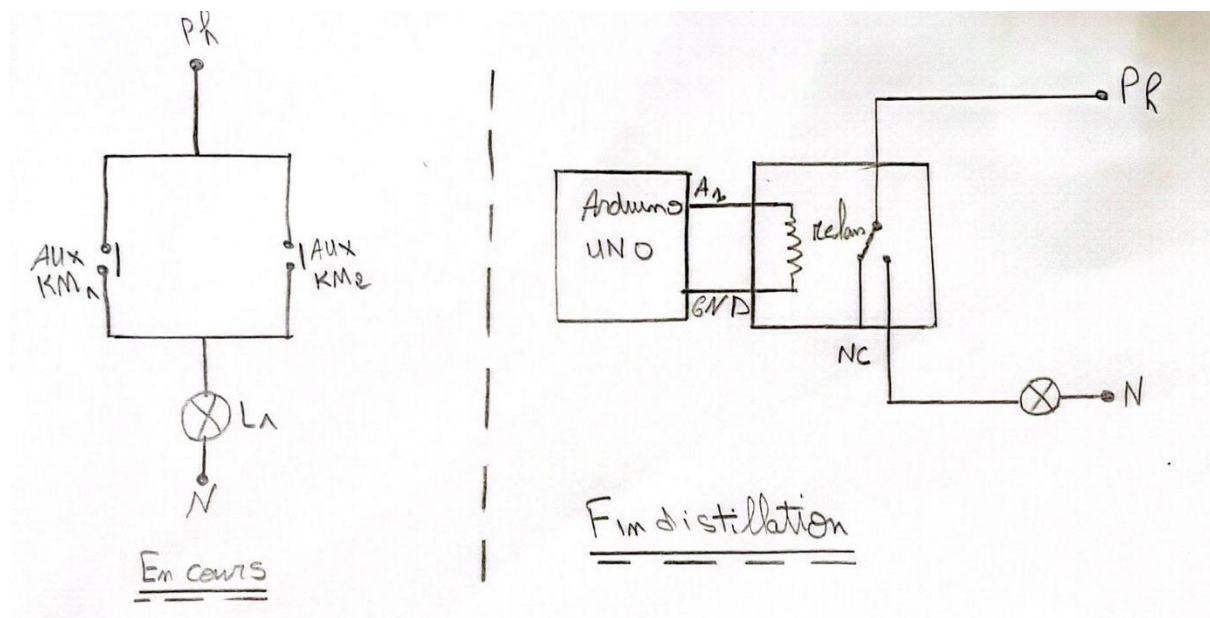


Figure 4.5: branchement des Lampes L1 et L2

4.3.2. Branchement des entrées de contrôle

Élément	Type de capteur	Alimentation	Raccordement à Arduino
bouton ON/OFF (DCY SW°)	Bouton Poussoir	5V/GND	Pin 2
Niveau bas réservoir 1	Détecteur de niveau	5V/GND	Pin 5
Niveau haut réservoir 1	Détecteur de niveau	5V/GND	Pin 6
Niveau bas réservoir 2	Détecteur de niveau	5V/GND	Pin 7
Niveau haut réservoir 2	Détecteur de niveau	5V/GND	Pin 8
Retour KM1	Auxiliaire	-	Pin 9
Retour KM2	Auxiliaire	-	Pin 10

Remarque : Tous les capteurs sont connectés en INPUT_PULLUP (état bas=actif)

4.3.3- Les sorties de contrôle (via relais)

Actionneur	Type	Commandé par Arduino	Relais/sortie
Électrovanne	230V AC	Oui	Pin 11
Résistance	230V AC	Oui	Pin 12

chauffante KM1			
Résistance chauffante KM2	230V AC	Oui	Pin 13
Lampe de distillation (L1)	230V AC	Oui	Pin A0
Lampe de fin (L2)	230V AC	Oui	Pin A1

Remarque : Il est important de souligner que chaque sortie de puissance est reliée à une interface dédiée, constituée d'un relais équipé d'un optocoupleur. Ce dispositif permet d'assurer l'isolation galvanique entre la carte Arduino et les circuits de puissance soumis à la haute tension.

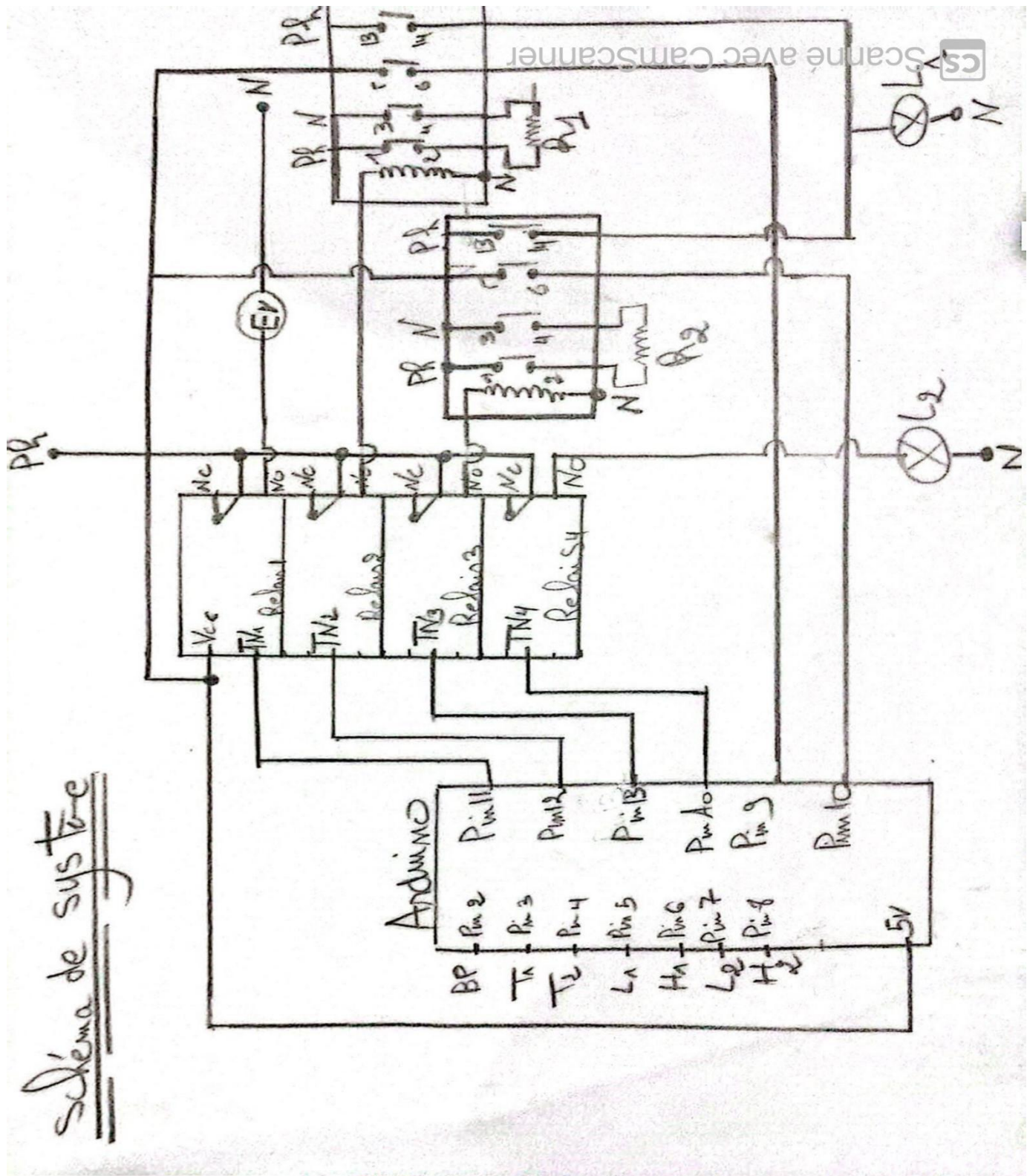


Figure 4.6 : schéma globale du projet

4.4 Programmation de la carte Arduino

Au cours de cette étape, on procède au développement et à l'implémentation du programme de commande du système bi-distillateur. Concrètement, l'Arduino assure la lecture des capteurs et pilote les actionneurs (activation ou désactivation) en fonction d'un algorithme logique prédéfini.

Objectif du programme :

Lorsque le système est sollicité (enclenchement par le biais d'un bouton ON/OFF) :

- Le programme contrôle du niveau d'eau dans les deux réservoirs.
- Lorsque les niveaux d'eau sont conformes et que la température reste inférieure à la valeur maximale, le programme enclenche le chauffage assuré par les deux résistances.
- Affichage de l'état du processus.
- Pour garantir la sécurité, le programme contrôle systématiquement l'état réel des contacteurs KM1 et KM2 après chaque ordre (mise en marche ou arrêt), grâce à deux lignes de retour servant de feedback de sécurité.

Structure du code :

1. Initialisation (setup)

Au démarrage du système, une phase d'initialisation est effectuée afin de garantir que le programme démarre dans des conditions sûres, en évitant les erreurs de logique ou les comportements imprévus :

- **Déclaration et configuration des broches** : chaque broche de la carte Arduino est définie selon son rôle (entrée pour les capteurs, sortie pour les actionneurs). Cette étape permet une identification claire et une gestion fiable des signaux.
- **Mise à l'état initial des actionneurs** : avant toute commande, tous les actionneurs (contacteurs des résistances, électrovanne, Lampes,

etc.) sont remis à leur état de repos afin d'éviter tout déclenchement intempestif.

2. Boucle principale (Loop)

Une fois l'initialisation achevée, le système entre dans sa **boucle de fonctionnement continu**. C'est à ce niveau que l'algorithme de commande exécute en temps réel la surveillance et la gestion des différents éléments :

- **Lecture des capteurs** : l'Arduino acquiert périodiquement l'état des capteurs (niveaux d'eau, thermostats, bouton, feedbacks, etc.) pour disposer d'informations fiables sur le processus.
- **Traitement logique** : les données collectées sont comparées aux seuils et conditions prédéfinies (niveaux corrects, température en dessous du maximale, état des contacteurs est conforme...).
- **Activation des actionneurs** : en fonction de la logique programmée, les actionneurs (électrovannes, résistances chauffantes, lampes de signalisation, etc.) sont commandés.
- **Contrôles de sécurité** : des vérifications de retour (feedback) sont réalisées pour s'assurer que les ordres envoyés sont effectivement exécutés. En cas d'anomalie, le système adopte un comportement sûr (arrêt et activation d'une alarme).
- **Répétition continue** : cette séquence est exécutée en boucle afin d'assurer un suivi permanent du processus de distillation.

4.5. PROGRAMME :

Voir programme détaillé d'Arduino en Annexe A.

4.6. conclusion

La phase de réalisation pratique et de mise en œuvre a permis de concrétiser la conception théorique du système de bi-distillation. Grâce à l'intégration des capteurs, actionneurs, modules d'interface et du microcontrôleur Arduino, le dispositif est désormais capable de surveiller et de contrôler automatiquement l'ensemble du processus.

Les différentes étapes – installation matérielle, câblage, programmation, ainsi que la mise en place des interfaces de sécurité – ont abouti à un système fonctionnel, fiable et modulable. Ainsi, ce chapitre illustre le passage de la conception théorique à une solution opérationnelle, validant la faisabilité du projet et ouvrant la voie à des perspectives d'optimisation et d'industrialisation.

Chapitre 5 :

Tests et résultats expérimentaux

5.1. Introduction

Après la conception et la réalisation pratique du système de bi-distillation, il est essentiel de procéder à une série de tests afin de valider son bon fonctionnement. Ces essais visent à vérifier la conformité du dispositif par rapport aux objectifs fixés, tout en évaluant sa fiabilité, sa sécurité et son efficacité opérationnelle.

Les tests portent principalement sur trois aspects :

- **La conformité du fonctionnement du système avec le cahier des charges** (Fonctionnement préalable, avant la panne).
- **La vérification des capteurs et actionneurs**, garantissant la justesse des mesures et l'exactitude des commandes ;
- **L'évaluation des dispositifs de sécurité**, afin d'assurer une protection optimale en cas d'anomalie (surchauffe, défaut de niveau, etc.) ;
- **La validation de la logique de commande**, en confirmant que l'algorithme implémenté sur Arduino pilote correctement le système selon les conditions réelles.

L'analyse des résultats obtenus permettra de juger de la robustesse de l'installation et de dégager des pistes d'amélioration.

5.2 Protocole de test

Le protocole adopté comprend plusieurs étapes :

1. **Vérification des niveaux d'eau** : introduction progressive de l'eau brute dans les cuves afin de contrôler la détection par les capteurs de niveau.
2. **Test des résistances chauffantes** : activation contrôlée des résistances via le programme et observation de la montée en température.
3. **Validation des sécurités** : simulation de dépassement de température et de défaut de niveau pour vérifier l'arrêt automatique de la chauffe.

4. **Test de l'électrovanne** : ouverture et fermeture commandées afin d'assurer un fonctionnement correct de l'alimentation en eau et du refroidissement.
5. **Contrôle du feedback de sécurité** : vérification du retour d'état des contacteurs KM1 et KM2 pour confirmer la bonne exécution des ordres.

5.3 Résultats obtenus des tests

- **Capteurs** : tous les capteurs de niveau et de température fonctionnent correctement après remplacement des éléments défectueux.
- **Actionneurs** : l'électrovanne et résistances répondent de manière satisfaisante aux commandes envoyées.
- **Programme** : le code Arduino exécute l'algorithme prévu avec une bonne réactivité et sans erreurs de logique.
- **Sécurités** : les coupures automatiques en cas de surchauffe ou de niveau incorrect se déclenchent correctement.

Le tableau suivant récapitule les tests réalisés :

Test	Résultat attendu	Résultat obtenu	Remarques
Remplissage automatique 1	L'électrovanne s'ouvre quand le niveau est bas (L1 ou L2) et se ferme à niveau haut (H1 et H2)	Fonctionne correctement	Réagir correctement à l'état des capteurs de niveau
Chauffe jusqu'à température 2 cible	La résistance 1 ou 2 s'active si le niveau est suffisant et la température est inférieure au seuil	Fonctionne bien	Effet de contrôle des thermostats
Arrête à niveau haut	Lorsque les deux niveaux H1 et H2 sont atteints, le chauffage s'arrête et la lampe "fin de distillation" s'allume	Conforme	Le passage de L1 à H1 et de L2 à H2 est bien détecté
Transition d'une lampe à l'autre	Lampe "en cours" s'éteint, lampe "fin" s'allume quand la distillation est finie	Fonctionne comme prévu	Bonne indication visuelle
Comportement en cas de coupure d'alimentation	Le système redémarre correctement avec le bouton ON	OK	Testé manuellement

5.4 Interprétation

Les tests réalisés démontrent que le système conçu répond globalement aux exigences initiales.

Il permet d'automatiser le processus de bi-distillation avec un bon niveau de sécurité et de fiabilité.

Cependant, certaines améliorations restent envisageables, notamment en termes d'ergonomie et de supervision avancée ou la connexion à distance via le Web.

5.5. Résultats expérimentaux obtenus

Après la mise sous tension de l'appareil et l'appui sur le bouton marche, le remplissage automatique démarre tant que les détecteurs des niveaux haut ne sont pas actifs.

La chauffe d'eau démarre automatiquement pour atteindre à peu près la température cible d'environ 100°C.

L'arrêt automatique se produit lorsque le niveau d'eau distillée atteint le capteur haut, ou le cycle est terminé.

Durant le cycle, L'état du processus est clairement indiqué par les deux lampes :

- **lampe rouge** « distillation en cours » : allumée pendant le cycle,
- **lampe verte** « fin de distillation » : s'allume à la fin du cycle.

Le temps de chaque cycle de distillation est environ 1 heure et la quantité distillée récupérée est de 4L par cycle.

5.6. Difficultés rencontrées et solutions apportées

Au cours de la réalisation du projet, plusieurs difficultés majeures ont été rencontrées :

- **État initial de l'appareil** : le dispositif a été trouvé hors service, avec

plusieurs capteurs de niveau défectueux et l'ensemble du câblage électrique totalement déconnecté.

- **Absence de documentation technique** : aucun schéma de câblage d'origine n'était disponible, ce qui a rendu la compréhension du fonctionnement initial particulièrement difficile.
- **Diagnostic matériel** : l'identification des capteurs et actionneurs en état de marche a nécessité un travail minutieux de test et de vérification unitaire.

Face à ces contraintes, plusieurs solutions ont été mises en œuvre :

- Remplacement des capteurs défectueux par des modèles fonctionnels afin d'assurer la fiabilité des mesures.
- Reconstruction complète du câblage électrique, réalisée selon une nouvelle logique de commande adaptée à notre conception.
- Conception d'un système de contrôle autonome à base d'Arduino, permettant de s'affranchir de l'architecture d'origine et d'obtenir une solution plus simple, évolutive et adaptée aux objectifs pédagogiques du projet.

Ainsi, malgré les difficultés rencontrées, ces choix techniques ont permis non seulement de remettre en service le dispositif, mais aussi de lui apporter une amélioration notable en termes de flexibilité, de sécurité et de potentiel d'évolution.

Conclusion

Les différents tests réalisés ont permis de valider le bon fonctionnement du système automatisé de bi-distillation. L'ensemble des capteurs, actionneurs et dispositifs de sécurité a répondu de manière conforme aux attentes, garantissant à la fois la fiabilité et la sécurité du processus.

Les résultats obtenus démontrent la cohérence entre la conception théorique et la mise en œuvre pratique. Ils confirment également la capacité

du système à assurer un fonctionnement automatique efficace, tout en intégrant des dispositifs de protection essentiels.

Conclusion générale

Dans ce projet, nous avons automatisé un système de bi-distillation en utilisant une carte Arduino. L'appareil finalisé est capable de réaliser lui-même un cycle complet de distillation sans la nécessité d'un opérateur. Cette approche d'automatisation simpliste, rend plus formelle et plus sécurisée l'opération actuellement réalisée d'une manière plus visuelle et plus ou moins convenue.

Ainsi, la première phase du projet a été l'analyse de l'appareil (en panne) existant et son processus de fonctionnement, la modélisation du fonctionnement souhaité, le choix des composants appropriés : capteur de niveau, capteur de température, résistance chauffante, voyants lumineux, et le développement d'une solution électronique et logicielle cohérente. Tout en utilisant des modules simples et économiques. L'implémentation présentée peut être reproduite dans d'autres dispositifs.

En outre, les expériences effectuées prouvent la fiabilité du système testé, sa réaction à un état donné, et son efficacité dans le processus d'automatisation de la distillation. En pratique, le système automatisé est plus rapide et sécurisé que la commande manuelle avec une moindre consommation d'énergie.

Le système de bi-distillation automatisé conçu dans le cadre de ce projet a permis de valider l'efficacité de la solution proposée, tout en mettant en évidence certaines limites inhérentes à sa conception. En particulier, l'absence de dispositifs de sécurité avancés, tels qu'une alarme sonore ou une coupure d'urgence, ainsi que le manque d'un affichage précis et d'outils de monitoring, constituent des points perfectibles.

Des améliorations pourront être apportées dans des travaux futurs, parmi lesquelles :

- L'intégration d'un afficheur LCD destiné à présenter en temps réel les températures relevées dans les cuves, l'état du système ainsi que les causes éventuelles de défaillance ;
- La mise en œuvre d'une supervision à distance via une application Web ou mobile, offrant une meilleure traçabilité et une accessibilité accrue.

Ce projet s'inscrit dans une démarche pédagogique en permettant de confronter les acquis théoriques aux contraintes de la pratique. Il témoigne également d'une contribution, certes modeste, mais significative au développement de solutions d'automatisation applicables tant dans un contexte domestique que dans un environnement de laboratoire. Enfin, il met en lumière la faisabilité de concevoir, avec des ressources limitées, des systèmes à la fois fonctionnels, évolutifs et adaptés à des besoins réels.

Perspectives

Même si ce projet a réussi ses objectifs ; il accepte plusieurs possibilités d'amélioration et de développement technologique, que ce soit du point de vue matériel ou logiciel. Ces perspectives se résument à :

- L'ajout d'une interface utilisateur : L'utilisation d'un écran LCD ou d'un écran tactile pour afficher les températures en direct, niveaux d'eau, états du système (distillation en cours, distillation en pause, distillation terminée, défaut. Etc.).
- **Commande à distance** : Application mobile ou web permettant de suivre et de commander le système à distance via Wi-Fi.
- **Optimisation de l'énergie** : Intégration d'un algorithme de régulation (tel qu'un PID) pour réduire la consommation aux niveaux des résistances et de garantir une bonne stabilité de la température.
- **Sécurité** : Capteurs supplémentaires pour signaler les défauts possibles (fuite, surchauffe, manque d'eau) et une sirène d'alarme.
- **Stockage** : Enregistrement des données du fonctionnement sur une carte SD ou en ligne pour une analyse postérieure.

Ces améliorations pourraient non seulement augmenter les performances du système, mais aussi le rendre plus attractif et pertinent dans un cadre réel d'utilisation, qu'il soit pédagogique, industriel ou domestique.

Références bibliographiques

1. https://www.studysmarter.fr/resumes/ingenierie/genie-chimique/procedes-de-distillation/?utm_source=chatgpt.com
2. <https://www.maxicours.com/se/cours/utiliser-des-capteurs-et-des-actionneurs/>
3. <https://rtmfm.cnrs.fr/wp-content/uploads/2021/12/Tutoriel-1-presentation-de-larduino.pdf>
4. <https://fr.kindle-tech.com/articles/the-importance-of-water-distillation-in-the-laboratory-ensuring-purity-and-quality-for-accurate-results>
5. <https://fr.kindle-tech.com/faqs/what-are-the-applications-of-distillation#:~:text=Les%20principales%20applications%20comprennent%20la,La%20distillation%20est%20%C3%A9galement%20cruciale>
6. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/9805/distillation>

ANNEXES

Annexe A : Programme

```
// Définition des broches des entrées
const int pinSW = 2;          // Bouton ON/OFF (DCY SW)
const int pinThermo1 = 3;    // Thermostat 1 (Capteur T1)
const int pinThermo2 = 4;    // Thermostat 2 (Capteur T2)
const int pinLevelL1 = 5;    // Niveau bas réservoir 1 (Level L1)
const int pinLevelH1 = 6;    // Niveau haut réservoir 1 (Level H1)
const int pinLevelL2 = 7;    // Niveau bas réservoir 2 (Level L2)
const int pinLevelH2 = 8;    // Niveau haut réservoir 2 (Level H2)
const int pinFB_KM1 = 9;     // Retour KM1 (aux1)
const int pinFB_KM2 = 10;    // Retour KM2 (aux2)

// Définition des broches des sorties
const int pinEV = 11;        // Relais pour électrovanne
const int pinKM1 = 12;       // Relais résistance 1 (KM1)
const int pinKM2 = 13;       // Relais résistance 2 (KM2)
const int pinL2 = A0;        // Lampe 2 (Fin de distillation)
const int pinBuzzer = A1;    // Buzzer de sécurité

// Variables d'état
bool systemOn = false;
bool thermo1Active = false;
bool thermo2Active = false;
bool levelL1Active = false;
bool levelH1Active = false;
bool levelL2Active = false;
bool levelH2Active = false;

// Détection défauts thermostats
bool detecterDefautThermostat() {
    if (thermo1Active && !thermo2Active) return true; // TH1 seul actif → défaut
    if (thermo1Active && thermo2Active) return true; // Les deux actifs → défaut
    return false; // État normal : TH1 LOW et TH2 LOW
}

void setup() {
    // Initialisation des entrées avec résistance pull-up
    pinMode(pinSW, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinThermo1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinThermo2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinLevelL1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinLevelH1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinLevelL2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinLevelH2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinFB_KM1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pinFB_KM2, INPUT_PULLUP);

    // Initialisation des sorties
```

```

pinMode(pinEV, OUTPUT);
pinMode(pinKM1, OUTPUT);
pinMode(pinKM2, OUTPUT);
pinMode(pinL1, OUTPUT);
pinMode(pinL2, OUTPUT);
pinMode(pinBuzzer, OUTPUT);

// Mettre toutes les sorties à l'état bas
digitalWrite(pinEV, LOW);
digitalWrite(pinKM1, LOW);
digitalWrite(pinKM2, LOW);
digitalWrite(pinL1, LOW);
digitalWrite(pinL2, LOW);
digitalWrite(pinBuzzer, LOW);
}

void loop() {
  // Lecture des entrées
  systemOn = digitalRead(pinSW) == LOW;
  thermo1Active = digitalRead(pinThermo1) == LOW;
  thermo2Active = digitalRead(pinThermo2) == LOW;
  levelL1Active = digitalRead(pinLevelL1) == LOW;
  levelH1Active = digitalRead(pinLevelH1) == LOW;
  levelL2Active = digitalRead(pinLevelL2) == LOW;
  levelH2Active = digitalRead(pinLevelH2) == LOW;

  bool retourKM1 = digitalRead(pinFB_KM1) == LOW;
  bool retourKM2 = digitalRead(pinFB_KM2) == LOW;

  bool default = detecterDefautThermostat();

  if (systemOn && !default) {
    digitalWrite(pinBuzzer, LOW);

    // Activer électrovanne
    digitalWrite(pinEV, HIGH);

    // Résistance 1 (KM1)
    if (levelL1Active && thermo1Active && !levelH1Active) {
      digitalWrite(pinKM1, HIGH);
    } else {
      digitalWrite(pinKM1, LOW);
    }

    // Résistance 2 (KM2)
    if (levelL2Active && thermo2Active && !levelH2Active) {
      digitalWrite(pinKM2, HIGH);
    } else {

```

```

    digitalWrite(pinKM2, LOW);
}

// Lampe 1 : distillation en cours si retour KM1 ou KM2
if (retourKM1 || retourKM2) {
    digitalWrite(pinL1, HIGH);
} else {
    digitalWrite(pinL1, LOW);
}

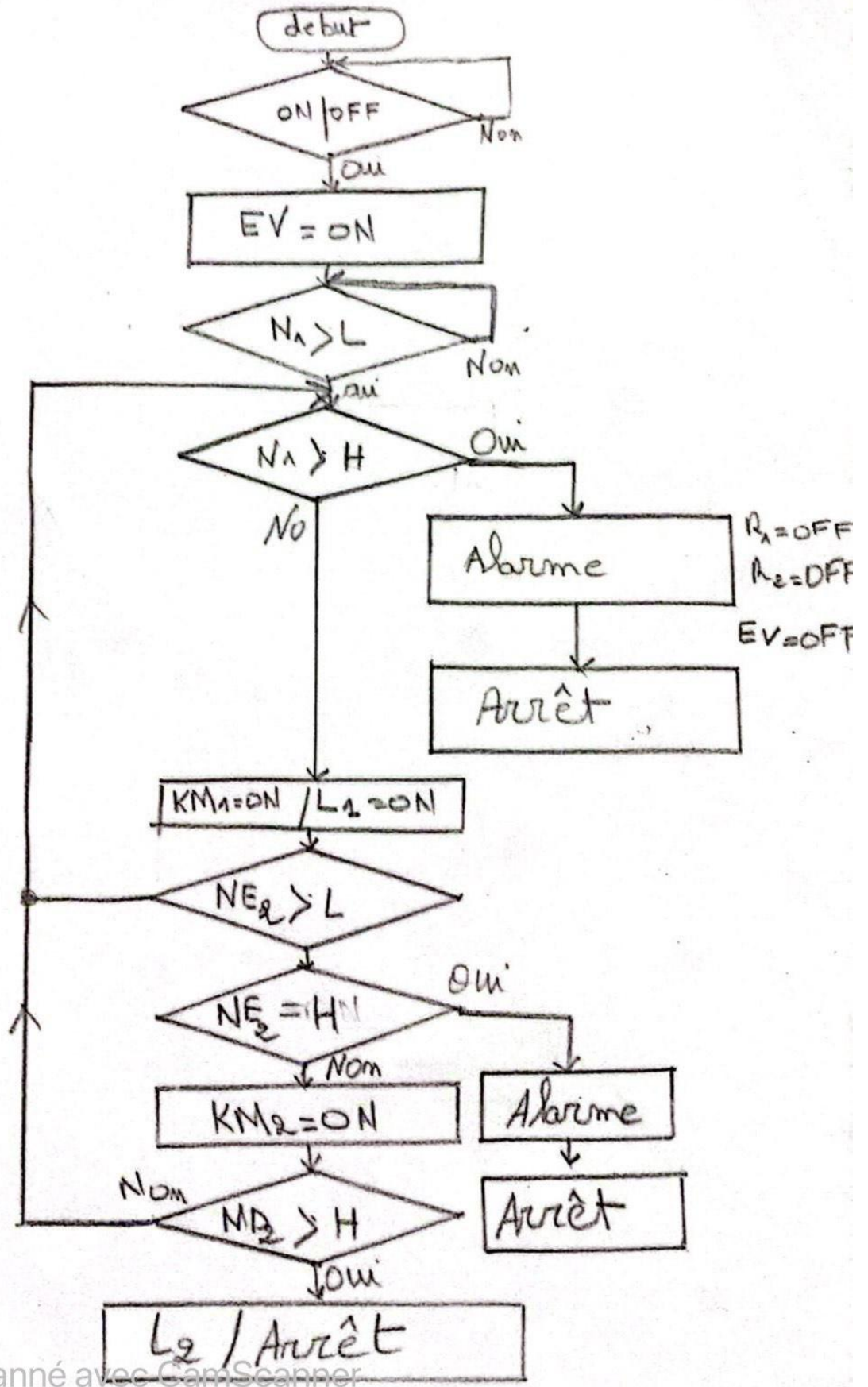
// Lampe 2 : fin de distillation si les deux niveaux hauts atteints
if (levelH1Active && levelH2Active) {
    digitalWrite(pinL2, HIGH);
} else {
    digitalWrite(pinL2, LOW);
}

} else {
    // Problème ou OFF : tout couper
    digitalWrite(pinEV, LOW);
    digitalWrite(pinKM1, LOW);
    digitalWrite(pinKM2, LOW);
    digitalWrite(pinL1, LOW);
    digitalWrite(pinL2, LOW);

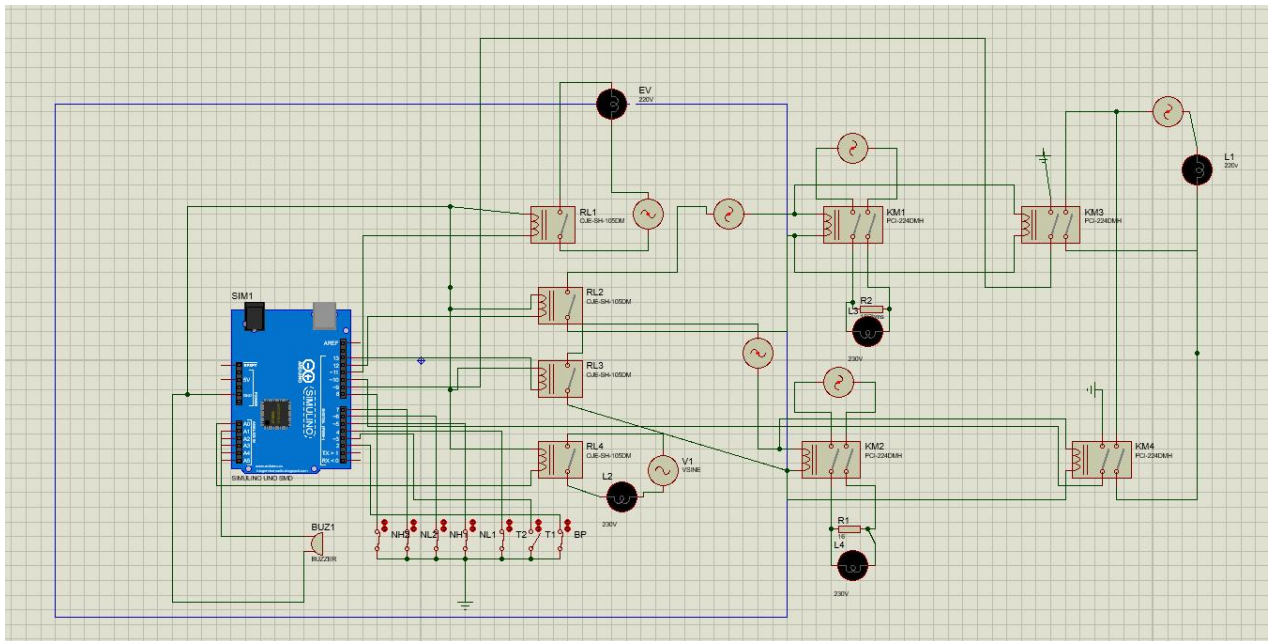
    if (default) {
        digitalWrite(pinBuzzer, HIGH); // Activer buzzer alarme
    } else {
        digitalWrite(pinBuzzer, LOW); // Sinon le garder éteint
    }
}
}
}

```

Annexe B : Organigramme



Annexe C : Une capture de simulation



Annexe D : Caractéristiques du bi-distillateur

- Sensing water level in boiling chamber to protect heater from over heating
- Sensing water supply to control distillation process
- sensing water level in reservoir to start and stop distillation automatically
- Easy to use and maintenance free
- Built-in Large Storage Tank for Distilled Water, Ready for use
- Safety Devices with over current leakage breaker and water level switch

Model	LWD-3005D	LWD-3010D
Dimensions (W x D x H mm)	570x600x600	680x720x650
Capacity	4.0l /hour	8.0l /hour
Heater	6kW	12kW
Cooling Water	Approx. 35 ~ 60 l	Approx. 60 ~ 90 l
Material	Interior	Stainless Steel Boiler

Exterior	Stainless Steel Storage Tank Powder Coating Steel Case	
Reservoir	8ℓ SUS Storage Tank	14ℓ SUS Storage Tank
Operation	Fully Automatic Operation	
Signal Lamp	Distill, Full, Water	
Safety	Over Temp Protector Water Flow Level Sensor Water Supply Cut Off	
Electric Supply	220V 50/60Hz	

Annexe E : Dépannage et résolution des dysfonctionnements

Résultat	Solution apporté	Cause	Difficulté rencontrée
Lecture correcte après correction	Vérification du câblage, remplacement d'un capteur	Mauvais branchement ou capteur défectueux	Problème de lecture des capteurs de niveau
Chauffe désormais conforme aux condition	Revoir la logique de programmation, tester les relais séparément	Condition de température non respectée ou relais mal connecté	Résistance ne s'active pas
Signal lumineux stable	Ajout de résistance pull-down amélioration de la mise à la terre	Interférences électriques ou mauvais masse	Clignotement aléatoire des lampes
Système fonctionne sans surchauffe ni coupure	Alimentation séparée pour les résistances, sécurisation avec relais de puissance	Consommation de courant élevée	Surcharge du circuit avec deux résistances chauffantes
Chauffe plus rapide, temps de cycle réduit	Ajout d'une deuxième résistance, meilleure isolation thermique	Résistance faible puissance	Long temps de chauffe
Passage fluide entre les étas lumineux	Ajout de temporisation dans le code, relecture des niveaux avant bascule	Mauvais timing dans le code ou état mal détecté	Bascule incorrecte entre les deux lampes ("en cours" "fin")