**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**
Université de Jijel

Faculté des Sciences & de la Technologie

Département d'Electrotechnique

**Spécialité :** Electromécanique

**RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

---

# Multi-Species Smart Egg Incubator

## "Couveuse intelligente multi-espèces pour l'incubation des œufs »

## E*ggo*T*ech*

**Projet labellisé "PME"** | **Diplôme visé : Master 2 en Electromécanique**

**Réalisé par :**

- **Ayoub YENNOUN**
- **Khaled BOUCHABOU**
- **Rabeh ZAROUR**

**Encadré par :**

- **Dr. Lyes AOMAR**
- **Pr. Ammar SOUKKOU**

---

**Année Universitaire : 2025 / 2026**

# Résumé / Abstract / ملخص


## Résumé :

"***La couveuse intelligente multi-espèces pour l'incubation des œufs"*** *est une solution innovante destinée à l'élevage avicole, intégrant des systèmes embarqués, des mécanismes d'automatisation intelligente et des technologies de l'Internet des objets (IoT). Conçue pour l'incubation d'œufs de différentes espèces d'oiseaux, elle garantit le maintien optimal des conditions nécessaires à l'éclosion grâce à la régulation automatique des paramètres critiques tels que la température, l'humidité et la ventilation, ainsi qu'à un système motorisé de retournement des œufs.*

*La plateforme mobile de supervision permet un suivi en temps réel des paramètres de fonctionnement, l'émission d'alertes instantanées en cas d'anomalie et le contrôle à distance de l'équipement. Cette solution contribue ainsi à améliorer les taux d'éclosion, à réduire les interventions manuelles et à optimiser la gestion des élevages avicoles grâce à une surveillance continue et intelligente du processus d'incubation.*

## Abstract:

***"The Smart Multi-Species Egg Incubator"*** *is an innovative poultry incubation solution that integrates embedded systems, intelligent automation, and Internet of Things (IoT) technologies. Designed for the incubation of eggs from various bird species, it ensures optimal hatching conditions through the automatic regulation of critical parameters such as temperature, humidity, and ventilation, as well as a motorized egg-turning mechanism.*

*The mobile monitoring platform enables real-time supervision of operating parameters, instant alerts in the event of anomalies, and remote control of the equipment. This solution helps improve hatching rates, reduce manual intervention, and optimize poultry farm management through continuous and intelligent monitoring of the incubation process.*

## ملخص:

تُعد **الحاضنة الذكية متعددة الأنواع لتفريخ البيض** حلاً مبتكرًا في مجال تربية الدواجن، حيث تجمع بين الأنظمة المدمجة والأتمتة الذكية وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT). وقد صُممت لتفريخ بيض أنواع مختلفة من الطيور، مع ضمان توفير الظروف المثلى اللازمة لعملية الفقس من خلال التنظيم التلقائي للمعلمات الأساسية مثل درجة الحرارة والرطوبة والتهوية، بالإضافة إلى نظام آلي لتقليب البيض.

وتتيح منصة المراقبة عبر الهاتف المحمول متابعةً آنيةً لمختلف مؤشرات التشغيل، وإرسال تنبيهات فورية عند حدوث أي خلل، فضلاً عن إمكانية التحكم عن بُعد في الحاضنة. ويسهم هذا الحل في تحسين معدلات الفقس، وتقليل التدخلات اليدوية، وتحسين إدارة مزارع الدواجن من خلال مراقبة مستمرة وذكية لعملية التفريخ.

# TABLE DES MATIERS


Introduction générale ..... 1

I. Etude biologique ..... 1

I.1 Introduction ..... 2

I.2 Définition d'un incubateur ..... 2

I.3 Types d'incubation ..... 3

I.3.1 Incubation naturelle ..... 3

I.3.2 Type artificielle ..... 4

I.4 Paramètres essentiel de l'incubation ..... 4

I.4.1 Température ..... 4

I.4.2 Humidité ..... 5

❖ Aération ..... 5

❖ Ventilation ..... 5

❖ Retournement ..... 6

I.5 Étapes d'incubation artificielle ..... 6

❖ Tri et désinfection des œufs ..... 6

❖ Stockage des œufs ..... 7

➢ Préchauffage et incubation des œufs ..... 7

➢ Mirage des œufs ..... 8

➢ Eclosion des œufs ..... 9

I.6 Note importante ..... 9

II. Etude technique ..... 10

II.1 Principe de fonctionnement de la couveuse ..... 10

II.2 Matériel Utilise ..... 10

II.2.1 Electronique ..... 11

II.2.1.1 Module de Contrôle ESP32-WROOM-32 ..... 11

❖ Définition et description ..... 11

❖ Caractéristiques techniques principales ..... 11

❖ Rôle dans le système ..... 11

II.2.1.2 Ecran d'affichage TFT LCD 2.4 ..... 12

❖ Définition et description ..... 12

❖ Caractéristiques techniques principales ..... 12

❖ Rôle dans le système ..... 12

II.2.1.3 Capture de température et d'humidité DHT11 ……13
❖ Définition et description ……13
❖ Caractéristiques techniques principales ……...…13
❖ Rôle dans le système ……13
II.2.1.4 Modules Relais (SRD-05VDC-SL-C) ..... 14
❖ Définition et description ……14
❖ Caractéristiques techniques principales ……...14
❖ Répartition des relais dans le système……..14
❖ Rôle dans le système ……14
II.2.1.5 Alimentation électrique stabilise ..... 15
❖ Définition et description ……15
❖ Caractéristiques techniques principales ……...15
❖ Rôle dans le système ……16
II.2.1.6 Clavier matriciel 4X4 ..... 16
❖ Définition et description ……..16
❖ Caractéristiques techniques principales ……...…16
❖ Rôle dans le système ……16
II.2.2. Actionneurs ..... 17
II.2.2.1 Résistance chauffante ..... 17
II.2.2.2 Humidificateur ..... 17
II.2.2.3 Ventilateur ..... 18
II.2.2.4 Moteur de retournement des oeufs ..... 18
❖ Définition et description ..... 18
❖ Importance biologique du retournement ..... 18
❖ Logique de contrôle du retournement ..... 19
II.2.2.5 Lampe LED ..... 19
III. Réalisation pratique ..... 19
III.1 Partie matérielle ..... 19
III.1.1 Mécanisme de retournement (Mécanisme de roulement) ..... 19
III.1.2 Plateauà oeufs (Plateau) ..... 20
III.1.3 Carcasse (Structure extérieure) ..... 20
III.2 Partie logicielle ..... 22

III.2.1 Environnement de développement et bibliothèques ..... 22
III.2.2 Tableau d'affectation des broches (Code-Defined Pinout) ..... 22
III.2.3 Organigramme du système (Flowchart) ..... 23
III.2.4 Algorithme de fonctionnement ..... 23
Phase 1 – Initialisation (Setup) ..... 23
Phase 2 – Boucle principale de contrôle (Main control loop) ..... 23
Phase 3 – Contrôle du retournement des oeufs ..... 24
Phase 4 – Mise à jour affichage et communication ..... 24
III.3 Idée innovante et avantages ..... 25
III.3.1 Connectivité IoT (Internet des Objets) ..... 25
III.3.2 Modes d'incubation multiples ..... 26
III.3.3 Retournement automatique intelligent ..... 26
III.3.4 Interface graphique intuitive ..... 26
III.3.5 Fabrication locale à faible coût ..... 26
IV. Mode d'emploi……..27
Conclusion.....27
Références bibliographiques ..... **Error! Bookmark not defined.**

# Liste des tableaux

**Tableau 1:** Conditions d'incubation ..... 10

# Liste des figures

**Figure 1 :** Incubation naturelle par une poule ..... 3
**Figure 2:** Incubation artificielle. ..... 4
**Figure 3:** Module ESP32-WROOM-32 ..... 12
**Figure 4:** Afficheur TFT 2.4. ..... 13
**Figure 5:** Capteur DHT 11. ..... 14
**Figure 6:** Relais SRD-05VDC-SL-C. ..... 15
**Figure 7:** Alimentation stabilisée ..... 16
**Figure 8:** Clavier matriciel 4X4. ..... 17
**Figure 9:** Résistance Chauffante. ..... 17
**Figure 10:** Ventilateur (25 cm et 12 cm)[16] [15]. ..... 18
**Figure 11:** Moteur de retournement des œufs.[17] ..... 19
**Figure 12:** Mécanisme de retournement. ..... 20
**Figure 13:** Plateau à œufs. ..... 20
**Figure 14 :** Prototype ..... 21
**Figure 15:** Schéma de simulation. ..... 23
**Figure 16:** Algorithme de fonctionnement. ..... 25
**Figure 17**: mode d'emploi ..... 27

# INTRODUCTION GENERALE

L'alimentation constitue un besoin fondamental pour la survie et le bien-être de l'être humain. Pour assurer une croissance harmonieuse chez l'enfant et préserver la santé des adultes, elle doit être variée, équilibrée et riche en éléments nutritifs essentiels. Parmi ces éléments, les protéines occupent une place importante. À ce titre, la viande de poulet représente aujourd'hui l'une des principales sources de protéines animales consommées par la population algérienne en raison de sa valeur nutritionnelle et de son coût relativement accessible.

La production de poulets de chair joue ainsi un rôle essentiel dans l'approvisionnement du marché en produits alimentaires de qualité. Naturellement, la reproduction des volailles repose sur la couvaison des œufs fécondés par une poule pendant une période d'environ vingt et un jour. Cependant, cette méthode traditionnelle ne permet pas de satisfaire la demande croissante en poussins nécessaire au développement de l'aviculture moderne.

Face à cette problématique, les incubateurs artificiels ont été développés afin d'augmenter la capacité de production et d'assurer une meilleure maîtrise des conditions d'éclosion. Néanmoins, l'utilisation de certaines couveuses importées présente des limites dans notre environnement en raison des variations climatiques locales, qui peuvent affecter leurs performances et réduire les taux d'éclosion.

Grâce aux progrès réalisés dans les domaines de l'électronique, de l'automatisation et des technologies de l'information, les incubateurs modernes sont devenus de plus en plus performants. Leur efficacité repose principalement sur le contrôle précis de paramètres essentiels tels que la température, l'humidité, le renouvellement de l'air et le retournement périodique des œufs. La régulation optimale de ces paramètres constitue un facteur déterminant pour garantir de bonnes conditions d'incubation et améliorer le taux d'éclosion.

Dans le cadre de ce projet, nous proposons la conception et la réalisation d'une couveuse intelligente multi-espèces capable de fonctionner de manière entièrement automatisée. Le système développé est basé sur une architecture embarquée utilisant le microcontrôleur ESP32 comme unité centrale de commande. Il assure la gestion des différents actionneurs, notamment le système de chauffage, l'humidification, la ventilation et le mécanisme automatique de retournement des œufs. Les mesures fournies par les capteurs de température et d'humidité permettent d'adapter en temps réel les conditions internes de la chambre

d’incubation. De plus, l’intégration de la technologie IoT via la plateforme Blynk permet une surveillance à distance et un suivi continu des paramètres de fonctionnement. Afin de présenter le développement de cette solution, ce rapport est organisé en trois parties principales. La première partie est consacrée à l’étude biologique de l’incubation artificielle, où sont présentés les principes de reproduction, les différents types d’incubation ainsi que les paramètres essentiels influençant le développement embryonnaire. La deuxième partie porte sur l’étude technique du système réalisé, en détaillant son principe de fonctionnement, l’architecture électronique, les composants utilisés et le rôle de chaque élément dans la conception de la couveuse. Enfin, la troisième partie présente la réalisation pratique du projet, incluant la conception mécanique, le développement logiciel, l’algorithme de commande, ainsi que les aspects innovants apportés par la solution proposée. Le rapport se termine par une conclusion générale mettant en évidence les résultats obtenus et les perspectives d’amélioration futures.

# I. Etude biologique

## I.1 Introduction

La couvaison des œufs de volaille est un processus biologique fondamental qui assure la continuité de la reproduction. La poule couve les œufs en leur fournissant les conditions optimales de température, d’humidité et de retournement régulier jusqu’à l’éclosion des poussins. Malgré l’efficacité de cette méthode, elle demeure limitée en termes de nombre d’œufs, de maîtrise des conditions d’incubation et de risques de pertes lies aux facteurs environnementaux ou sanitaires.

## I.2 Définition d’un incubateur

Un incubateur est un équipement principalement constitué d'une chambre fermée dont la température et le taux d'humidité peuvent être maintenus à des valeurs stables grâce à un système de régulation. Pendant l'incubation, les œufs y sont placés [1].

Les matériaux utilisés pour la fabrication de l'enceinte doivent être non poreux et faciles à nettoyer ; le PVC et l'aluminium sont particulièrement adaptés à cet usage. Ils doivent également présenter de bonnes propriétés d'isolation thermique.

Il existe différents systèmes de régulation de la température (thermostats), tels que les bilames, les tubes à mercure munis de contacts électriques et les thermostats électroniques intégrant des microprocesseurs. Grâce à leur grande précision et à leur facilité de réglage, ces derniers offrent de meilleures performances que les autres dispositifs.

L'automatisation du retournement des œufs présente davantage d'avantages et s'avère moins coûteuse que le retournement manuel [2].

L'incubateur est équipé d'évents réglables permettant de faciliter les échanges d'air et d'assurer une ventilation adéquate de la chambre d'incubation.

Les incubateurs existent en différentes capacités (50, 100, 250, 1000 œufs ou plus) et peuvent être conçus pour répondre aux besoins d'exploitations de tailles variées.

En résumé, l'incubateur reproduit les conditions naturelles de couvaison en assurant une température appropriée, un taux d'humidité contrôlé, une bonne ventilation et un retournement régulier des œufs jusqu'à leur éclosion.

## I.3 Types d'incubation

### I.3.1 Incubation naturelle

Une poule peut pondre entre 8 et 14 œufs avant d'entrer en période de couvaison. Cette phase est caractérisée par un comportement protecteur, parfois agressif, et par le fait qu'elle ne quitte le nid que brièvement pour se nourrir et s'abreuver. Pendant environ 21 jours, elle maintient les conditions nécessaires au développement embryonnaire des œufs.

Le taux d'éclosion est généralement compris entre 50 % et 60 %, selon différents facteurs liés aux conditions d'incubation et à la qualité des œufs. Après l'éclosion, la poule prend en charge les poussins en les guidant dans leur alimentation et en les protégeant des dangers extérieurs [3]. Le cycle reproductif complet dure environ 74 jours, incluant la ponte, la couvaison, l'éclosion et l'élevage des poussins, ce qui limite la productivité [3].



***Figure 1 :*** *Incubation naturelle par une poule*

### I.3.2 Incubation artificielle

L'incubation artificielle consiste à utiliser un incubateur afin d'augmenter le taux d'éclosion et la production de poussins à partir d'œufs fécondés. Cette technique repose sur le contrôle de paramètres essentiels tels que la température, l'humidité, la ventilation et le retournement des œufs.

Les premières formes d'incubation artificielle remontent à l'Égypte ancienne, où des couvoirs spécialement conçus permettaient de maintenir les conditions nécessaires au développement embryonnaire. Ces installations permettaient de produire environ 80 poussins pour 100 œufs incubés. Aujourd'hui, les incubateurs modernes fonctionnent principalement à l'électricité, bien qu'il existe également des modèles alimentés au pétrole ou au gaz [4][5].



***Figure 2:*** *Incubation artificielle.*

## I.4 Paramètres essentiels de l'incubation

La réussite de l'incubation artificielle dépend du contrôle précis de plusieurs paramètres environnementaux qui conditionnent le développement embryonnaire. Les principaux facteurs sont la température, l'humidité, la ventilation et le retournement des œufs.

### I.4.1 Température

La constitue le paramètre le plus critique dans le fonctionnement d'un incubateur artificiel. Elle doit être maintenue de manière stable afin d'assurer un développement embryonnaire normal. En effet, durant l'incubation, plusieurs précautions doivent être prises :

- ✓ Le temps nécessaire pour refroidir à 16 °C peut atteindre jusqu'à 12 heures. On ne doit pas utiliser l'élévation de la température pour contrebalancer le refroidissement.
- ✓ Si la température atteint 40 °C, on pourrait conclure que notre incubateur est fortement détérioré.
- ✓ Un échauffement excessif provoque une prolifération cellulaire non régulée et entraîne des anomalies chez les poussins.
- ✓ Il est déconseillé de parvenir à une température de 44 ° C, car les œufs doivent être écartés au-delà de cette température [4].

### I.4.2 Humidité

L'humidité relative de l'air (HR) joue un rôle essentiel dans la réussite de l'incubation. Elle influence les échanges hydriques entre l'œuf et l'environnement et conditionne le développement normal de l'embryon.

Une humidité mal contrôlée peut entraîner soit une perte excessive d'eau dans l'œuf, soit une rétention excessive, ce qui affecte le taux d'éclosion. Ainsi, le contrôle de l'humidité constitue un paramètre fondamental pour garantir de bonnes conditions d'incubation. Plusieurs facteurs liés à l'humidité doivent être pris en considération :

- ✓ Les œufs s'évaporent beaucoup d'eau par les pores de leur coquille, le contrôle de l'humidité dans l'incubateur prévient la déshydratation des œufs. Un niveau d'humidité adéquat garantit le développement normal de l'embryon.
- ✓ Durant l'incubation, il est impératif de préserver un niveau d'humidité adéquat. Si l'air est trop sec, les poussins se déshydratent vite et périssent.
- ✓ Pour une incubation optimale, il est conseillé d'avoir une humidité relative de 55% à 65% sur une période de 18 jours, avec un taux d'humidité maximal de 75% pendant les trois derniers jours du processus [4].

### I.4.3 Ventilation

La ventilation est indispensable pour assurer les échanges gazeux au sein de l'incubateur. Les embryons contenus dans les œufs nécessitent un apport continu en oxygène ($O_2$) et l'évacuation du dioxyde de carbone ($CO_2$) produit par leur métabolisme.

L'air atmosphérique est composé d'environ 21 % d'oxygène et de 0,04 % de dioxyde de carbone. Les besoins en ventilation augmentent particulièrement durant la phase finale d'incubation, période caractérisée par une activité métabolique élevée des embryons [6].

La ventilation contribue également à homogénéiser la température et l'humidité à l'intérieur de l'incubateur.

### I.4.4 Retournement

Le retournement des œufs a pour objectif d'éviter l'adhérence de l'embryon à la membrane de la coquille, de prévenir les anomalies de positionnement embryonnaire et d'assurer une répartition homogène de la chaleur à l'intérieur de l'œuf.

Les œufs sont généralement inclinés d'environ 45° par rapport à la verticale lors du processus de retournement. Celui-ci doit être réalisé au moins 7 fois par jour, voire de manière plus fréquente dans les systèmes automatisés. Toute manipulation excessive ou brutale peut entraîner la mort de l'embryon [4].

## I.5 Étapes d'incubation artificielle

### I. 5.1 Tri et désinfection des œufs

Le tri des œufs a pour objectif d'améliorer le taux d'éclosion en sélectionnant les œufs les plus aptes à l'incubation. Les œufs destinés à être incubés doivent être frais, propres, de poids approprié et ne présenter ni anomalie de forme ni défaut de coquille. Les œufs fissurés, déformés ou présentant des irrégularités de coquille doivent être écartés. Pour obtenir un taux d'éclosion optimal, il est recommandé de sélectionner des œufs âgés de 3 à 4 jours et dont le poids est compris entre 30 et 70 g, selon la race considérée. Les œufs pesants entre 55 et 60 g présentent généralement un meilleur taux d'éclosion que ceux dont le poids est compris entre 60 et 70 g. Par ailleurs, les œufs doivent être fécondés et provenir de poules reproductrices en bonne santé et correctement alimentées. En effet, la malnutrition des poules peut réduire la production d'œufs et augmenter le taux de mortalité embryonnaire.

La désinfection des œufs a pour but d'éliminer les agents contaminants et les micro-organismes, présents à la surface de la coquille, susceptibles d'affecter le taux d'éclosion. Cette opération doit être réalisée le plus rapidement possible après la collecte des œufs. Il est toutefois déconseillé de laver les œufs à l'eau, car cela risque d'éliminer la fine couche protectrice naturelle de la coquille, appelée cuticule, qui constitue une barrière contre les contaminations microbiennes.

Plusieurs méthodes de désinfection peuvent être utilisées. Cette opération doit être effectuée dans un local dont la température est comprise entre 22 et 26 °C, pendant une durée de 20 à 30 minutes [1].

### I.5.2 Stockage des œufs

Après leur désinfection, les œufs doivent être conservés dans un local propre, sec et bien aéré, tout en évitant les courants d'air, l'exposition directe au soleil et l'accumulation de poussière. Les conditions de stockage influencent fortement la capacité d'éclosion des œufs et, par conséquent, les performances de l'incubation.

Lorsque les œufs sont conservés à une température comprise entre 7 et 15 °C, leur potentiel d'éclosion peut être maintenu pendant environ six jours. Pour des durées de stockage plus longues, notamment au-delà d'une semaine, il est recommandé de maintenir une température comprise entre 17 et 18 °C afin de préserver la viabilité embryonnaire.

Le taux d'humidité relative du local de stockage doit être maintenu entre 70 % et 85 % afin de limiter les pertes d'eau par évaporation, susceptibles d'affecter l'éclosion et la vitalité des poussins.

Dans le cas d'un stockage de courte durée, les œufs doivent être disposés sur des plateaux avec la grosse extrémité (où se trouve la chambre à air) orientée vers le haut. Pour les périodes de stockage dépassant sept jours, il est recommandé de retourner régulièrement les œufs ou d'utiliser un système de retournement automatique afin de limiter les pertes de capacité d'éclosion liées à la conservation. Cette opération permet d'éviter l'adhérence du jaune aux membranes internes de la coquille.

Enfin, les œufs ne doivent jamais être déposés directement sur le sol. Ils doivent être placés sur des plateaux de stockage adaptés, de préférence en plastique, afin de garantir de bonnes conditions d'hygiène et de conservation [1].

### I.5.3 Préchauffage et contrôle de la température d'incubation

Afin d'obtenir un taux d'éclosion optimal, il est recommandé de préchauffer les œufs avant leur mise en incubation. Cette opération permet d'éviter les chocs thermiques susceptibles d'affecter le développement embryonnaire et favorise un démarrage plus rapide et plus homogène de l'incubation. En général, les œufs sont préchauffés à une température comprise entre 25 °C et 28 °C pendant environ une heure. La maîtrise de la température constitue l'un des facteurs les plus importants pour la réussite de l'incubation,

particulièrement durant la première semaine du développement embryonnaire. Dans un incubateur à ventilation naturelle, la température doit être maintenue à environ 37,9 °C durant les deux premières semaines d'incubation, puis abaissée à 36,1 °C à partir du dix-neuvième jour.

Cette diminution de température s'explique par le fait que les embryons produisent progressivement de la chaleur métabolique au cours de leur croissance. Dans les incubateurs à ventilation forcée, la température optimale se situe généralement entre 37,7 °C et 37,8 °C, ce qui permet d'assurer un développement embryonnaire normal et d'obtenir de bonnes performances d'éclosion.

Toute variation importante de la température peut avoir des conséquences négatives sur le développement des embryons. Une température trop basse ralentit leur croissance et retarde l'éclosion, tandis qu'une température excessive peut provoquer des malformations, réduire le taux d'éclosion et entraîner la mortalité embryonnaire [1].

### I.5.4 Mirage des œufs

Le mirage des œufs est une opération de contrôle qui consiste à examiner l'intérieur des œufs à l'aide d'un appareil appelé mire-œuf ou ovoscope. Cet appareil utilise une source lumineuse permettant d'observer le contenu de l'œuf à travers la coquille.

En général, deux opérations de mirage sont réalisées. Le premier mirage est effectué entre le 7$^{e}$ et le 9$^{e}$ jour d'incubation. Il permet d'identifier et d'éliminer les œufs non fécondés ainsi que ceux dont le développement embryonnaire est anormal. Le second mirage est généralement réalisé vers le 18$^{e}$ jour d'incubation afin de détecter les embryons morts et de vérifier le bon développement des œufs avant leur transfert en éclosoir.

L'observation de la chambre à air aux 7$^{e}$, 14$^{e}$ et 19$^{e}$ jours d'incubation permet également de suivre l'évolution normale de l'embryon et d'évaluer les conditions d'incubation.

Le mirage doit être effectué avec précaution afin de limiter les manipulations excessives des œufs, qui peuvent provoquer un faible taux de mortalité embryonnaire estimé entre 1 % et 3 % [1].

### I.5.5 Éclosion des poussins

Après le dernier mirage, réalisé généralement au 18e jour d'incubation, les œufs présentant un développement embryonnaire normal sont transférés vers l'éclosoir ou maintenus dans l'incubateur selon le type d'installation utilisée. À partir de cette étape, le retournement des œufs est interrompu afin de permettre aux embryons de se positionner correctement pour l'éclosion.

Chez la poule, l'éclosion survient généralement au 21e jour d'incubation. Le poussin commence alors à percer la coquille à l'aide de son bec et peut nécessiter plusieurs heures pour s'en libérer complètement.

Au moment de l'éclosion, le poussin absorbe les réserves nutritives contenues dans le sac vitellin, reliquat du jaune d'œuf. Ces réserves lui fournissent l'énergie nécessaire durant les premiers jours de vie et lui permettent de survivre pendant une courte période sans alimentation externe immédiate.

Grâce à ces réserves nutritives, les poussins nouvellement éclos peuvent être transportés pendant plusieurs heures, voire quelques jours dans des conditions appropriées, avant leur mise en élevage [1].

## I.6 Paramètres d'incubation des espèces étudiées

Dans le cadre de ce projet, nous nous intéressons à trois espèces avicoles couramment élevées : la poule, le canard et la caille. Bien que le principe de l'incubation artificielle soit similaire pour ces espèces, chacune présente des exigences particulières en matière de température, d'humidité relative, de ventilation, de retournement des œufs et de durée d'incubation.

Afin d'assurer des conditions optimales de développement embryonnaire et d'obtenir un taux d'éclosion élevé, il est essentiel de respecter les paramètres spécifiques à chaque espèce. Les principales caractéristiques d'incubation des œufs de poule, de canard et de caille sont présentées dans le tableau ci-dessous.

***Tableau 1 :*** *Conditions d'incubation.*

| Type d'œuf | Durée | Température | Humidité Phase initial | Humidité Phase final (Les 3 derniers jours) | Arrêt Retournement |
|---|---|---|---|---|---|
| **Poule** | 21 jours | 37,5 - 37,8 °C | 50-55% | 60-65% | Jour 18 |
| **Cane** | 28 jours | 37,5 °C | 55-60% | 65-75% | Jour 25 |
| **Caille** | 18 jours | 37,5 °C | 45-55% | 65-70% | Jour 15 |

# II. Etude technique

## II.1 Principe de fonctionnement de la couveuse

Dans ce projet, nous proposons un incubateur d'œufs de taille moyenne d'une capacité de 264 œufs. Il est de forme cubique avec une conception simple utilisant des panneaux sandwich (Panneau Sandwich), un matériau doté d'une excellente isolation thermique et également disponible sur le marché à bas prix. Une résistance chauffante de 400W sera placée pour assurer la fourniture de la chaleur nécessaire à l'intérieur de l'incubateur. Nous avons également placé un récipient d'eau contenant un brumisateur pour libérer l'humidité nécessaire à l'incubation des œufs ; ce récipient est alimenté en eau depuis un réservoir situé en haut de l'incubateur. Deux ventilateurs ont été installés : un ventilateur d'un diamètre de 25 cm pour assurer la distribution de la chaleur et de l'humidité, et un autre petit de 12 cm de diamètre pour la ventilation ainsi que pour expulser l'excès d'humidité et de chaleur. L'humidité et la température sont mesurées à l'aide d'un capteur DHT11. Les œufs sont placés sur une base en fer reliée à un moteur rotatif pour le retournement des œufs. Tous ces composants électroniques et électriques utilisent une carte ESP32, entièrement programmée pour un fonctionnement automatique ; il vous suffit de sélectionner le type d'œufs placés.

## II.2 Matériel Utilisé

Le cœur du système repose sur une carte électronique sur mesure équipée d'un microcontrôleur principal chargé de l'acquisition des données des capteurs, de l'exécution des algorithmes de contrôle, de la gestion de l'affichage local et de la communication sans fil.

Le choix des composants électroniques et mécaniques constitue le fondement de tout système de contrôle automatisé. La section suivante présente une description technique détaillée de chaque composant employé dans le système.

### II.2.1 Electronique

#### II.2.1.1 Module de Contrôle ESP32-WROOM-32

❖ **Définition et description**

L'ESP32-WROOM-32 est un module System-on-Chip (SoC) intégré, développé par Expressif Système, basé sur un processeur dual-core Xtensa® LX6 cadencé jusqu'à 240 MHz. Il intègre nativement le Wi-Fi (802.11 b/g/n) et le Bluetooth 4.2 (Classic + BLE), ce qui en fait une plateforme particulièrement adaptée aux applications IoT embarquées nécessitant une connectivité sans fil. Sa mémoire Flash de 4 Mo et sa SRAM de 520 Ko lui confèrent une capacité de traitement élevée pour un très faible encombrement physique [7].

❖ **Caractéristiques techniques principales**

- Processeur : Dual-Core Xtensa® LX6 @ 240 MHz ;
- Mémoire : Flash 4 Mo – SRAM 520 Ko ;
- Connectivité: Wi-Fi 802.11 b/g/n + Bluetooth 4.2 BLE;
- Entrées/Sorties : 34 broches GPIO (PWM, ADC 12 bits, DAC, I²C, SPI, UART) ;
- Tension de fonctionnement : 3,3 V – Alimentation : 5 V via USB ;
- Consommation en veille profonde : < 10 µA.

❖ **Rôle dans le système**

L'ESP32 constitue le cerveau central du système EGGOTECH. Il assure la lecture des données des capteurs, l'exécution des algorithmes de contrôle, la commande des relais d'actionneurs, la mise à jour de l'afficheur TFT, ainsi que la transmission des données vers l'application mobile via la plateforme Blynk Cloud [7, 8].

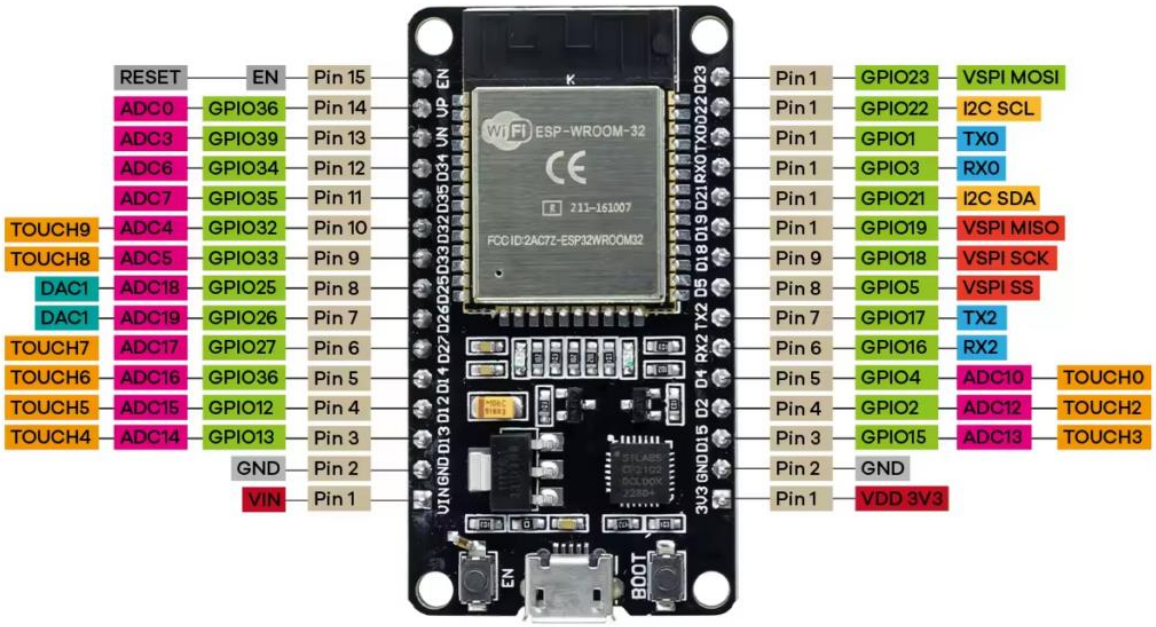


***Figure 3:*** *Module ESP32-WROOM-32.*

### II.2.1.2 Ecran d'affichage TFT LCD 2.4

❖ **Définition et description**

L'écran TFT (Thin Film Transistor) de 2,4 pouces est basé sur le contrôleur ILI9341, un pilote LCD couleur 16 bits largement utilisé dans les systèmes embarqués. Il communique avec le microcontrôleur via le protocole SPI (*Serial Peripheral Interface*), permettant un rafraîchissement rapide des données à des vitesses pouvant atteindre 80 MHz. Sa résolution de 240×320 pixels et sa profondeur de couleur de 65 536 couleurs (RGB 5-6-5) permettent un affichage graphique clair et lisible [9].

❖ **Caractéristiques techniques**

- Taille : 2,4 pouces – Résolution : 240 × 320 pixels ;
- Contrôleur : ILI9341 ;
- Interface de communication : SPI (MOSI, MISO, SCK, CS, DC, RST) ;
- Tension de fonctionnement : 3,3V – Rétroéclairage : LED intégré ;
- Profondeur de couleur : 16 bits (65 536 couleurs).

❖ **Rôle dans le système**

L'écran affiche en temps réel la température et l'humidité mesurées sous forme de jauges circulaires graphiques (gauges), accompagnées du compteur de jours (Day Counter) et du mode d'incubation sélectionné (Poulet / Caille / Canard) [8][9].

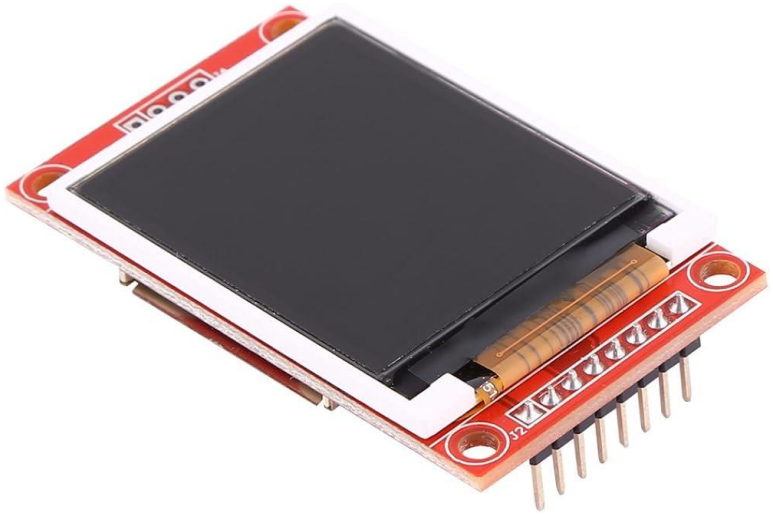

***Figure 4:*** *Afficheur TFT 2.4.*

### II.2.1.3 Capture de température et d'humidité DHT11

❖ **Définition et description**

Le DHT11 est un capteur numérique tout-en-un capable de mesurer simultanément la température ambiante et l'humidité relative. Il intègre un élément de détection d'humidité de type résistance capacitive et un thermistor NTC (Négative Température Coefficient) pour la mesure de la température. Le signal de sortie est un protocole numérique propriétaire sur un seul fil (*Single-Wire*), simplifiant le câblage au prix d'une fréquence d'échantillonnage limitée à 1Hz. Une résistance de tirage (*pull-up*) de 10 kΩ est indispensable sur la ligne de données [10].

❖ **Caractéristiques techniques**

- Plage de mesure de la température : 0 ~ 50 °C (précision ±2 °C) ;
- Plage de mesure de l'humidité : 20 ~ 90 % HR (précision ±5 %) ;
- Interface de communication : Single-Wire Digital (protocole propriétaire) ;
- Tension de fonctionnement : 3,3V ~ 5V.

❖ **Rôle dans le système**

Le DHT11 fournit des relevés continus de température et d'humidité à l'intérieur de l'incubateur. Ces données sont exploitées par l'algorithme de contrôle pour activer ou désactiver les relais de chauffage, d'humidification et de ventilation afin de maintenir les conditions optimales d'incubation [10][11].

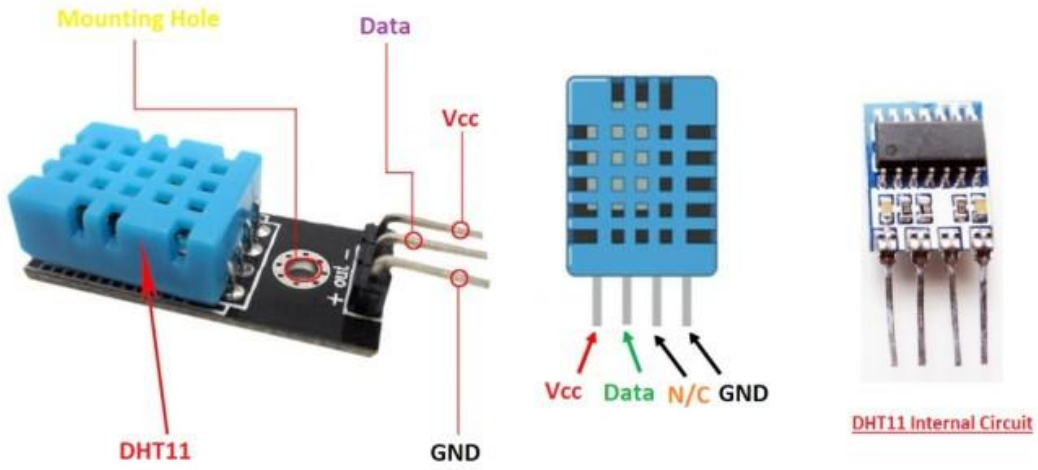


***Figure 5:*** *Capteur DHT 11.*

### II.2.1.4 Modules Relais (SRD-05VDC-SL-C)

❖ **Définition et conscription**

Un relais est un interrupteur électromécanique commandé électriquement. Il permet à un circuit basse tension (3,3V / 5V) de contrôler un circuit haute tension et fort courant (jusqu'à 250V AC / 10A). Le principe de fonctionnement repose sur l'effet électromagnétique : lorsqu'un courant parcourt la bobine, le champ magnétique généré attire l'armature mobile, fermant ainsi le contact électrique. Les modules utilisés (SRD-05VDC-SL-C) intègrent un optocoupleur assurant l'isolation galvanique entre l'ESP32 et la partie haute tension [11].

❖ **Caractéristiques techniques**

- Référence : SRD-05VDC-SL-C ;
- Tension de commande de la bobine : 5V DC ;
- Charge maximale commutée : 10A / 250V AC ou 10A / 30V DC ;
- Isolation : Optocoupleur (isolation galvanique) ;
- Logique de commande : *Active LOW* (niveau BAS = relais activé).

❖ **Répartition des relais dans le système**

- GPIO 16 – *TEMP_RELAY* : commande l'élément chauffant ;
- GPIO 17 – *HUM_RELAY* : commande l'humidificateur ;
- GPIO 21 – *VENT_RELAY* : commande le ventilateur de ventilation ;
- GPIO 22 – *MOTOR_RELAY* : commande le moteur de retournement des œufs ;

❖ **Rôle dans le système**

Les relais constituent l'interface de puissance entre l'unité de contrôle (ESP32) et les actionneurs haute tension (résistance chauffante, ventilateurs, moteur). Ils garantissent la séparation électrique de sécurité et protègent les circuits électroniques contre les surtensions et parasites [11].

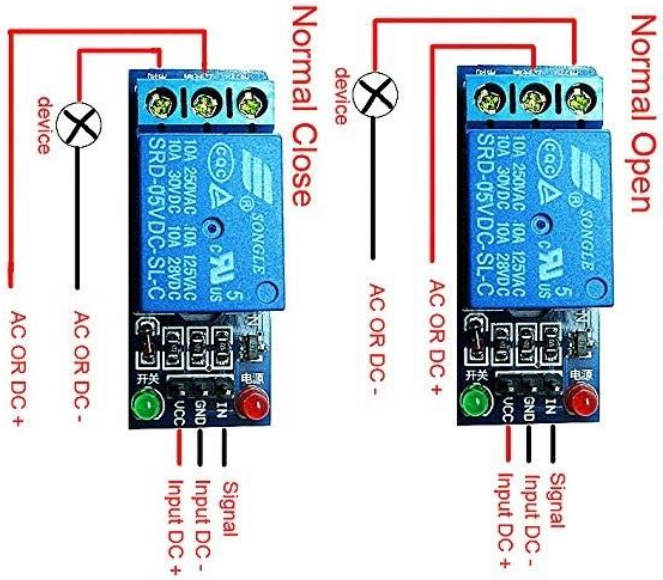


***Figure 6:*** *Relais SRD-05VDC-SL-C.*

### II.2.1.5 Alimentation électrique stabilise

❖ **Définition et description**

L'alimentation régulée est un bloc d'alimentation multi-sorties convertissant le secteur alternatif 220V / 50 Hz en tensions continue stables utilisées par les différents composants du système. Elle est composée d'un transformateur abaisseur, d'un pont de diodes (Pont de Graetz) pour le redressement, de condensateurs de filtrage pour lisser le signal, et de régulateurs de tension intégrés (LM7805 pour 5V, LM7812 pour 12V) [12].

❖ **Étapes de la chaîne de conversion**

1. Transformation : Transformateur 220V AC → 12V / 1 V AC ;
2. Redressement : Pont de diodes (double alternance) → tension continue ondulée ;
3. Filtrage : Condensateurs 1000µF + 100µF → tension continue lissée ;
4. Régulation : LM7805 → 5V DC (carte de contrôle) / LM7812 → 12V DC (moteurs) ;
5. Protection : Fusible 1A + condensateurs de découplage (100pF) ;

❖ **Rôle dans le système**

Cette alimentation garantit une tension parfaitement stable, indépendante des variations de charge, assurant ainsi un fonctionnement fiable et continu du système de contrôle même lors des commutations fréquentes des relais [12].

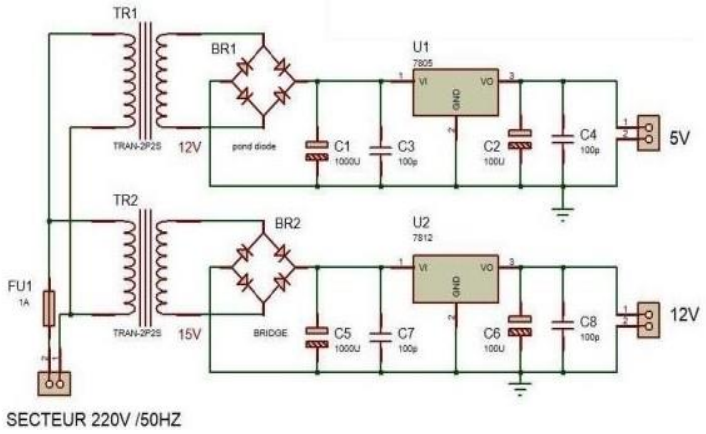


***Figure 7:*** *Alimentation stabilisée.*

### II.2.1.6 Clavier matriciel 4X4

**❖ Définition et description**

Le clavier matriciel à membrane (Membrane Key pad) 4×4 comportes 16 touches disposées en 4 lignes et 4 colonnes, reliées au microcontrôleur via 8 fils (4 lignes + 4 colonnes). Le principe de détection repose sur le balayage de matrice (*Matrix Scanning*) : le microcontrôleur active successivement chaque ligne en sortie et lit l'état des colonnes en entrée. L'intersection d'une ligne active et d'une colonne à l'état bas identifie la touche pressée. Les touches disponibles sont : 0–9, *, #, A, B, C, D [13].

**❖ Caractéristiques techniques**

- Configuration : 4 lignes × 4 colonnes = 16 touches ;
- Interface : 8 fils (4 lignes + 4 colonnes) ;
- Principe : *Matrix Scanning* (balayage ligne par ligne) ;
- Type : Membrane (contact résistif) ;

**❖ Rôle dans le système**

Le clavier permet à l'utilisateur de sélectionner le mode d'incubation (Poulet – 21 jours, Caille – 17 jours, Canard – 28 jours), d'accéder aux paramètres de configuration et de réinitialiser le système. Les touches A et B servent respectivement à changer de mode et à réinitialiser [9] [13].

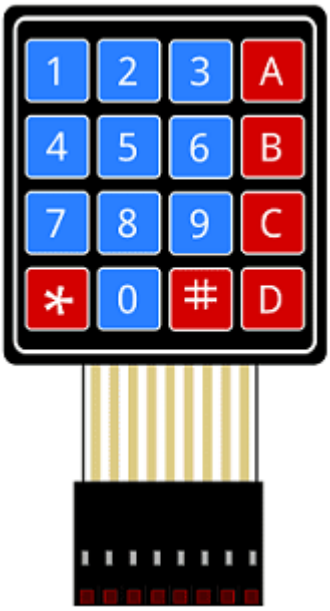


**Figure 8:** Clavier matriciel 4X4.

### II.2.2 Actionneurs

#### II.2.2.1 Résistance chauffante

La résistance chauffante est un convertisseur d'énergie électrique en chaleur, fonctionnant selon la loi de Joule : $P = R \times I^2$ (la puissance dissipée est proportionnelle au carré du courant). Elle est pilotée en mode tout-ou-rien (*Bang-Bang Control*) par le relais *TEMP_RELAY* : elle s'active lorsque la température mesurée est inférieure au seuil minimal et se désactive dès que le seuil supérieur est atteint. Les seuils varient selon le mode d'incubation : Poulet (37,5 ~ 38,5 °C), Caille (37 ~ 38 °C), Canard (37,5 ~ 38 °C) [11, 14].

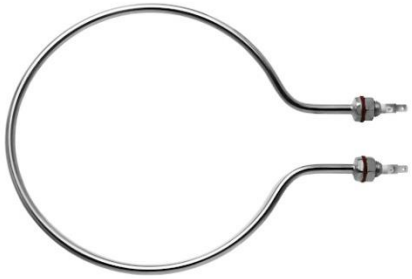

***Figure 9:*** *Résistance Chauffante.*

#### II.2.2.2 Humidificateur

L'humidificateur élève le niveau d'humidité relative à l'intérieur de l'incubateur lorsque celle-ci descend en dessous du seuil minimal. Il est commandé par le relais *HUM_RELAY*. L'humidité requise varie selon la phase d'incubation : elle se maintient entre 55 ~ 60 % HR durant la période de développement embryonnaire, puis monte à 65 ~ 70 % HR dans les

derniers jours précédant l'éclosion (phase de mise en place). Cette augmentation facilite le ramollissement de la coquille et assure l'hydratation du poussin lors de sa sortie [14].

### II.2.2.3 Ventilateur

Deux ventilateurs remplissent des fonctions distinctes dans le système :

- Ventilateur de ventilation (*VENT_RELAY*) : assure le renouvellement de l'air intérieur, évacuant le $CO_2$ produit par la respiration des embryons et apportant l'$O_2$ nécessaire à leur développement. Il s'active automatiquement lorsque la température dépasse le seuil supérieur.
- Ventilateur de circulation (interne) : distribue uniformément l'air chaud à l'intérieur de l'incubateur pour éviter les gradients thermiques entre les différentes zones d'œufs, garantissant un développement homogène.



***Figure 10:*** *Ventilateur (25 cm et 12 cm)*[16] [15].

### II.2.2.4 Moteur de retournement des Œufs

❖ **Définition et description**

Le moteur utilisé est un moteur synchrone 220V AC à très faible vitesse de rotation (2,5 tr/min), équipé d'un réducteur de vitesse mécanique intégré. Il est commandé par le relais *MOTOR_RELAY* et entraîne via un bras mécanique (came ou bielle) le plateau à œufs dans un mouvement alternatif angulaire de ±45° [14].

❖ **Importance biologique du retournement**

Le retournement périodique des œufs est une opération biologiquement indispensable : il empêche l'embryon d'adhérer à la membrane de la coquille, garantit une distribution uniforme des nutriments du jaune, et simule le comportement naturel de la poule couveuse. L'absence de retournement réduit drastiquement le taux d'éclosion [14].

❖ **Logique de contrôle du retournement**

- Jours 1 à N-3 : retournement automatique toutes les heures (aux heures paires, quand minutes = 0 et secondes < 15)
- Derniers jours avant éclosion : arrêt complet du moteur pour permettre au poussin de se positionner et de sortir.




***Figure 11:*** *Moteur de retournement des œufs.*[17]

#### II.2.2.5 Lampe LED

La lampe LED est employée à deux fins dans le système : d'une part comme indicateur visuel de l'état de fonctionnement de l'incubateur (alimentation active, alarme), et d'autre part comme source lumineuse d'appoint pour le mirage des œufs (*Candling*), technique permettant d'inspecter le développement embryonnaire en Trans illuminant la coquille [11].

# III. Réalisation pratique

## III.1 Partie Matérielle (*Hardware*)

### III.1.1 Mécanisme de retournement (Mécanisme de roulement)

Le mécanisme de retournement transforme le mouvement rotatif continu du moteur synchrone en un mouvement alternatif angulaire appliqué au plateau à œufs. Un réducteur à engrenages abaisse la vitesse de rotation à 2,5 tr/min, puis une bielle-manivelle (ou came excentrique) convertit la rotation en oscillation. Le plateau pivote ainsi d'environ ±45° par rapport à l'axe horizontal, simulant le geste naturel de la poule couveuse [14].

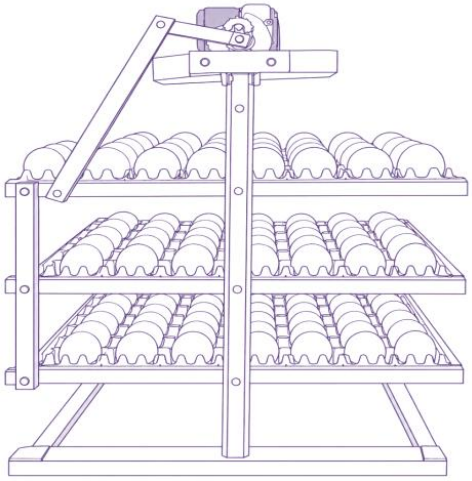

***Figure 12:*** *Mécanisme de retournement.*

### III.1.2 Plateau à œufs (Plateau)

Les plateaux à œufs sont fabriqués en plastique alimentaire résistant à la chaleur et à l'humidité. Ils maintiennent les œufs en position légèrement inclinée pour faciliter le retournement automatique. La capacité varie de 48 à plusieurs centaines d'œufs selon le modèle d'incubateur. Les plateaux de type "retourneur automatique" s'équipent de berceaux individuels maintenus par un cadre mobile coulissant solidaire du bras motorisé [14].



***Figure 13:*** *Plateau à œufs.*

### III.1.3 Carcasse (Structure extérieure)

La carcasse de l'incubateur est réalisée en matériaux thermiquement isolants – mousse polyuréthane (PUR) expansée ou aluminium avec isolation intégrée – afin de minimiser les

déperditions thermiques et de réduire la consommation énergétique de l'élément chauffant. Elle est équipée d'un hublot en verre ou polycarbonate transparent pour l'observation intérieure sans ouverture de la trappe, préservant ainsi les conditions climatiques internes [14].

### III.1.4 Prototype

Le prototype réalisé représente une couveuse intelligente conçue pour assurer des conditions optimales d'incubation des œufs. Il intègre un système de contrôle basé sur un microcontrôleur ESP32 permettant la surveillance et la régulation automatiques de la température, de l'humidité et du retournement des œufs. Les données sont affichées en temps réel sur une interface utilisateur et peuvent être consultées à distance grâce à une application mobile. La structure du prototype a été conçue pour garantir une bonne isolation thermique, une maintenance facile et une utilisation adaptée aux besoins des éleveurs.



**Figure 14 :** Prototype

## III.2 Partie logicielle (Software)

### III.2.1 Environnement de développement et bibliothèques

L'ESP32 est programmé en C++ sous Arduino IDE ou PlatformIO. Les bibliothèques logicielles employées sont :

- TFT_eSPI : bibliothèque graphique haute performance pour les écrans SPI (pilote ILI9341), permettant tracés géométriques, textes et images
- DHT.h : gestion du protocole Single-Wire et lecture des données du capteur DHT11/DHT22
- Keypad.h : gestion du balayage matriciel et détection des frappes du clavier 4×4 (auteurs : Mark Stanley, Alexander Brevig)
- Blynk.h : communication avec la plateforme Blynk IoT Cloud via Wi-Fi pour la supervision à distance
- WiFi.h : gestion de la connexion Wi-Fi de l'ESP32 (bibliothèque Espressif officielle).

### III.2.2 Tableau d'affectation des broches (*Code-Defined Pinout*)

La correspondance entre les fonctions du système et les GPIO de l'ESP32 est définie comme suit dans le *firmware* EGGOTECH :

- GPIO 15 → DHT11 (broche Data du capteur) ;
- GPIO 16 → TEMP_RELAY (Relais chauffage) ;
- GPIO 17 → HUM_RELAY (Relais humidificateur) ;
- GPIO 21 → VENT_RELAY (Relais ventilation) ;
- GPIO 22 → MOSI_S – SPI MOSI (écran TFT) ;
- GPIO 23 → SCK – SPI Clock (écran TFT);
- GPIO 5 → VCC – LED Backlight (rétroéclairage TFT);
- GPIO 4 → DC – Data/Command (commande TFT);
- GPIO 2 → CS – Chip Select (selection TFT);
- GPIO 13 → Ligne 1 du clavier (Row 1);
- GPIO 14 → Colonne 1 du clavier (Column 1);
- GPIO 25 → Ligne 2 du clavier (Row 2).

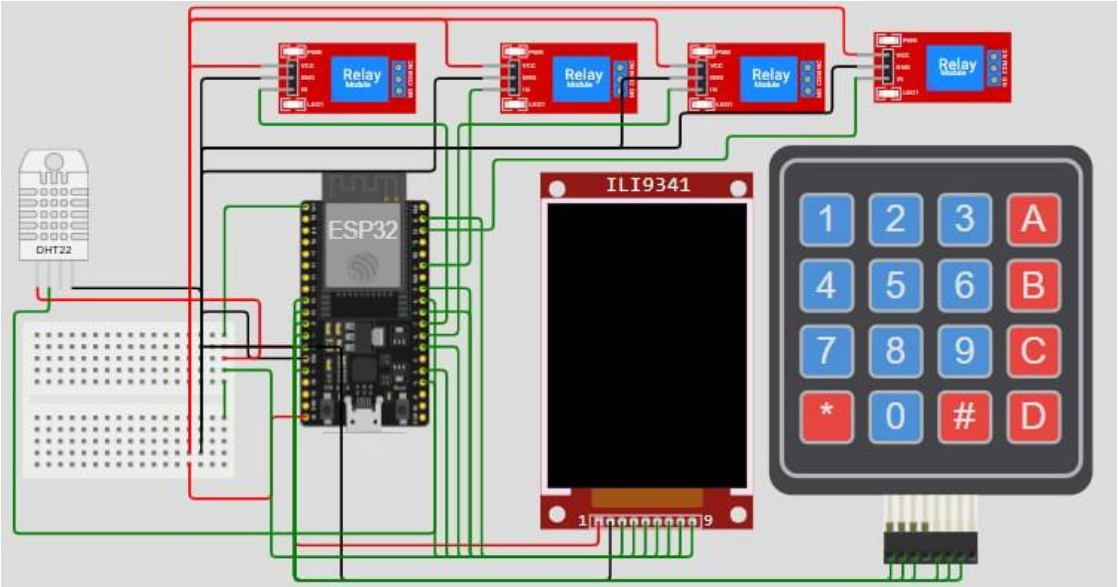


***Figure 15:*** *Schéma de simulation.*

### III.2.3 Organigramme de fonctionnement du système (*Flowchart*)

L'organigramme ci-après décrit le comportement global du f*irmware* EGGOTECH, depuis l'initialisation (*SETUP*) jusqu'à la boucle principale (*LOOP*), en passant par tous les sous-systèmes de contrôle. Il constitue la représentation graphique de l'algorithme de fonctionnement et sert de référence pour la compréhension du code source [8].

### III.2.4 Algorithme de fonctionnement

L'algorithme de contrôle s'articule en quatre phases successives illustrées ci-dessous.

**Phase 1 – Initialisation (Setup)**

- Initialisation des bibliothèques SPI, TFT, DHT11 et du clavier matriciel
- Connexion au réseau Wi-Fi et au serveur Blynk Cloud
- Affichage de l'écran de démarrage (*Splash Screen* : logo EGGOTECH)
- Remise à zéro du compteur de jours (Day Counter = 0)

**Phase 2 – Boucle principale de contrôle (Main Control Loop)**

- Lecture de la température et de l'humidité via DHT11 toutes les 2 secondes ;
- Comparaison des mesures avec les seuils de référence selon le mode sélectionné ;
- Si Température < seuil minimal → activation de *TEMP_RELAY* (chauffage ON) ;
- Si Température > seuil maximal → désactivation de *TEMP_RELAY* + activation de *VENT_RELAY* ;

- Si Humidité < seuil minimal → activation de *HUM_RELAY* (humidificateur ON) ;
- Si toutes les valeurs sont dans les plages optimales → désactivation de tous les relais.

**Phase 3 – Contrôle du retournement des œufs**

- Jours 1 à N-3 : activation de MOTOR_RELAY toutes les heures (heures paires, minutes = 0, secondes < 15) ;
- 3 derniers jours avant éclosion : désactivation permanente de *MOTOR_RELAY* ;
- Jours 1 à 3 : le moteur est également désactivé pour laisser les œufs se stabiliser.

**Phase 4 – Mise à jour affichage et communication**

- Mise à jour de l'écran TFT avec les données actuelles (température, humidité, jours, mode) ;
- Envoi des données vers Blynk Cloud pour supervision et alertes à distance ;
- Traitement des frappes clavier (changement de mode / réinitialisation du système).

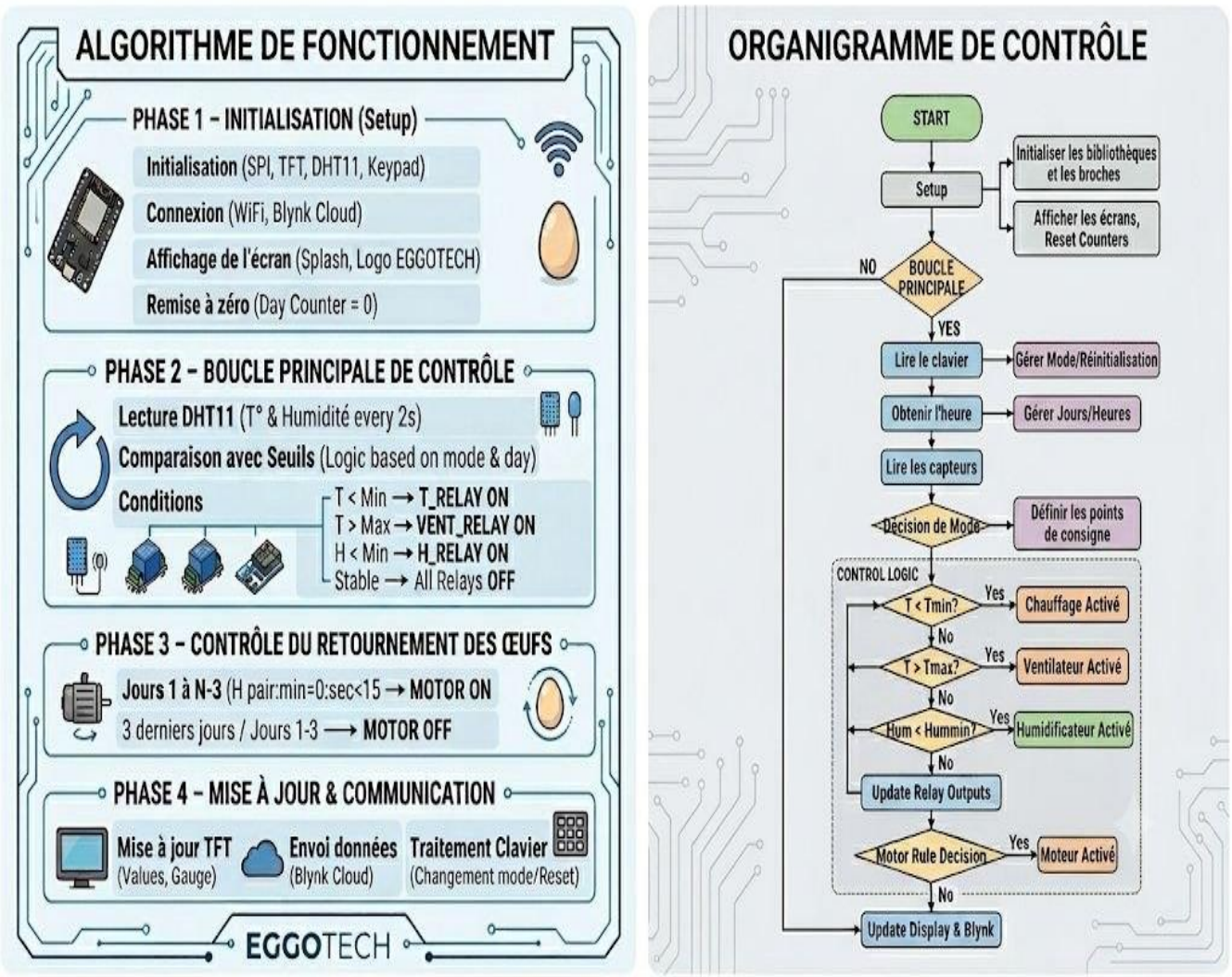


***Figure 16:*** *Algorithme de fonctionnement.*

## III.3 Idée innovante et avantages

Le système EGGOTECH présente plusieurs avantages techniques innovants qui le distinguent nettement des incubateurs traditionnels disponibles sur le marché :

### III.3.1 Connectivité IoT (Internet des Objets)

L'intégration du Wi-Fi natif de l'ESP32 associé à la plateforme Blynk Cloud permet une surveillance et un contrôle à distance de l'incubateur via une application smartphone. L'utilisateur reçoit des alertes instantanées en cas d'anomalie (chute de température, panne d'humidificateur) et peut consulter l'historique des données à tout moment, sans présence physique. Cette fonctionnalité est particulièrement précieuse pour les éleveurs professionnels gérant plusieurs incubateurs simultanément [7, 8].

### III.3.2 Modes d'incubation multiples

Le système intègre nativement trois profils d'incubation commutables via le clavier sans reprogrammation : Poulet (Gallus Gallus, 21 jours, 37,5~38,5 °C / 55~65 % HR), Caille (Coturnix coturnix, 17 jours, 37~38 °C / 50~60 % HR) et Canard (Anas platyrhynchos, 28 jours, 37,5~38 °C / 55~70 % HR). Chaque profil inclut ses propres seuils thermiques, hygrimétriques et son compteur de jours dédié [8, 14].

### III.3.3 Retournement automatique intelligent

L'algorithme gère automatiquement l'arrêt du retournement dans les 3 derniers jours d'incubation (phase de mise en place), sans intervention manuelle. Cette précision temporelle, difficile à maintenir manuellement, améliore significativement le taux d'éclosion en permettant au poussin de prendre sa position finale pour percer la coquille [11, 14].

### III.3.4 Interface graphique intuitive

L'écran TFT ILI9341 offre une interface utilisateur graphique élaborée avec des jauges circulaires animées pour la température et l'humidité, un affichage du compteur de jours et du mode en cours. Cette visualisation immédiate permet une évaluation rapide de l'état du système sans nécessiter d'interprétation de chiffres bruts [9].

### III.3.5 Fabrication locale à faible coût

L'ensemble du système est conçu à partir de composants commerciaux accessibles localement (ESP32, DHT11, relais, écran TFT) pour un coût total très inférieur aux contrôleurs d'incubation industriels importés. Ce choix délibéré rend le projet reproductible et scalable, particulièrement adapté aux petits éleveurs et aux exploitations agricoles traditionnelles en Algérie et dans les pays en développement. L'ensemble de la conception, du prototypage et de la programmation a été réalisé localement.

## IV. Mode d’emploi :

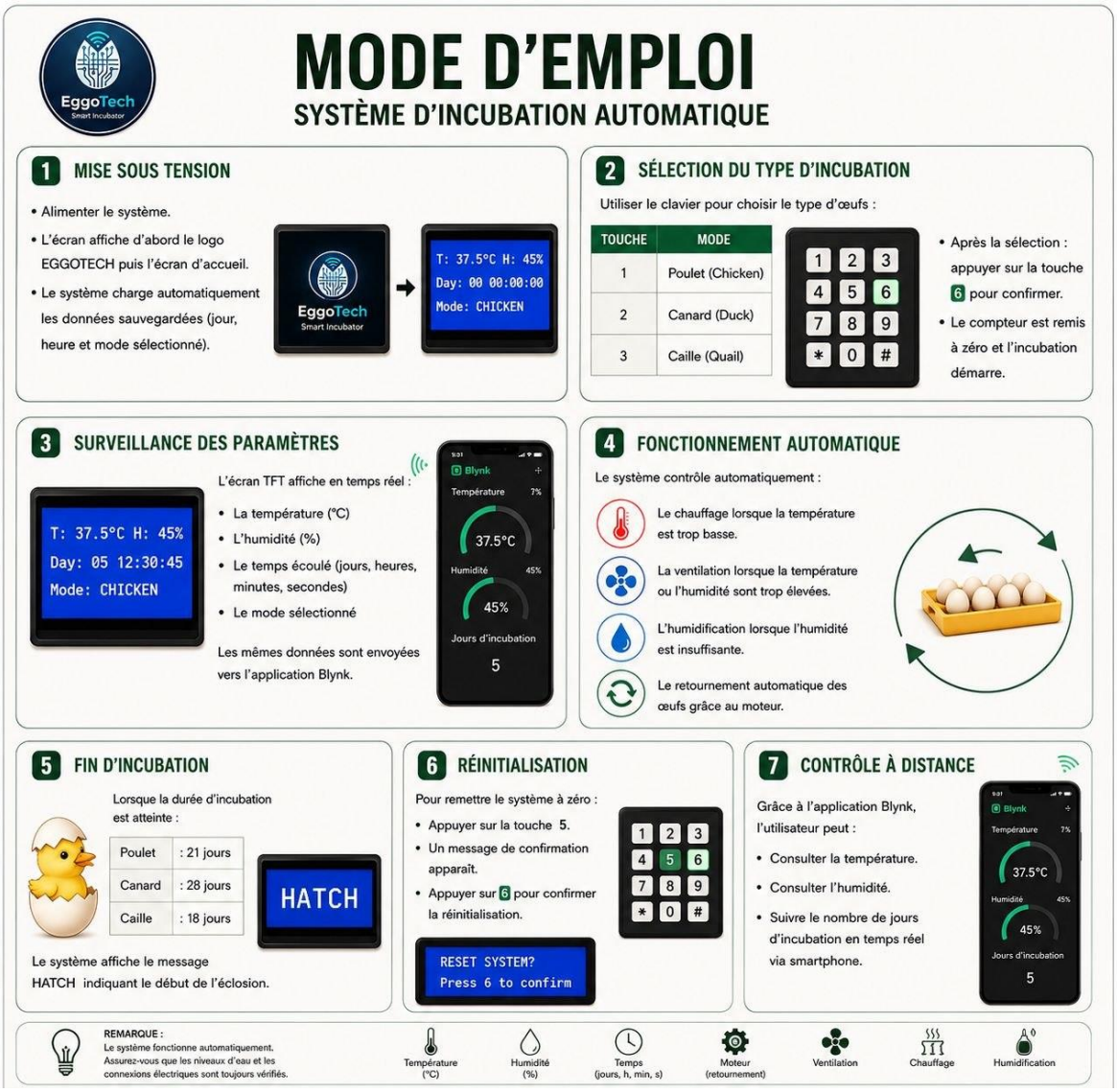


**Figure 17**: mode d’emploi

## CONCLUSION

Le projet EggoTech représente une solution d'ingénierie locale complète alliant biologie et électronique. Grâce au microcontrôleur ESP32 et au capteur DHT11, le système assure un contrôle précis de la température (±0,5 °C) et de l'humidité pour trois espèces d'oiseaux — poule, canard et caille — avec des paramètres qui s'adaptent automatiquement à chaque phase, d'incubation.

Sur le plan économique, EggoTech offre une alternative locale dont le coût est inférieur de plus de 50 % aux incubateurs importés, avec une maintenance simple et des

pièces disponibles localement. Sur le plan scientifique, il intègre un algorithme de retournement en trois phases, une surveillance à distance via Blynk, et une sauvegarde des données en mémoire interne protégeant le cycle d'incubation contre les coupures de courant.

Ce projet constitue une première étape vers un produit commercial évolutif, et une preuve concrète que l'ingénierie algérienne est capable d'innover et de produire. Jijel, ville de science et d'industrie.

# Références Bibliographiques.


[1]. Galinette.net. L'incubateur ou couveuse pour le bien-être de nos poulettes [Internet]. [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : http://www.gallinette.net/forum/showthread.php?t=6877

[2]. Azeroule. Incubation et couvaison [Internet]. 2006 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : http://www.aviculture aumaroc.com

[3] Yoda S. Étude des performances d'une couveuse solaire dans l'incubation des œufs de poule (Gallus gallus). Burkina Faso; [s.d.].

[4] Hubbard. Guide d'incubation. [S.l.] : Hubbard; [s.d.].

[5] Ovo-site. Couveuse œuf – Incubation artificielle des œufs de poule [Internet]. 2018 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://www.ovo-site.net/incubation-artificielle-oeufs-poule/

[6]Velthuis AGJ, Boerjan M, van Riel J, Huirne RBM. Field study on broiler eggs hatchability. Poultry Science. 2008;87:2408-17.

[7] Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual v5.2 [Internet]. Espressif Systems Pvt Ltd; 2023 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

[8] Blynk Documentation Team. Blynk IoT Platform – Official Documentation [Internet]. Blynk Inc; 2024 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://docs.blynk.io

[9] ILITEK Corporation. ILI9341 – TFT LCD Single Chip Driver Datasheet v1.11 [Internet]. 2020 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf

[10]AOSONG Electronics Co Ltd. DHT11 Humidity & Temperature Sensor – Product Specification Manual [Internet]. 2022 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf

[11] Songle Relay Co Ltd. SRD-05VDC-SL-C Relay Module – Technical Datasheet [Internet]. 2021 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://datasheetspdf.com/pdf/503827/SRD-05VDC-SL-C

[12] Razavi B. Design of Analog CMOS Integrated Circuits. 2e éd. New York : McGraw-Hill Education; 2020.

[13] Stanley M, Brevig A. Keypad Library for Arduino [Internet]. Arduino *Playground*; 2023 [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://playground.arduino.cc/Code/Keypad/

[14] Luc H, Benoît A. Guide pratique de l'élevage des volailles et de l'incubation artificielle. Paris : Éditions France Agricole; 2019.

[15] Eliko. Résistance tubulaire en forme d'oméga [Internet]. [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : http://www.eliko.pl/fr/produits/lments-chauffants-tubulaires/rsistancetubulaire-en-forme-domga-petite

[16] Alief DZ. Cooling Fan 220V/50/60Hz [Internet]. [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://www.aliefdz.com/produit/cooling-fan-220v5060hz/

[17] Maico Ventilatoren. Ventilateur axial de paroi DZQ 25/2 B (DN 250) [Internet]. [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://www.maico-ventilatoren.com/fr/produits/p/dn-250-g5901/dzq-25-2-b-p6756

[18] HobbyStart Tunisia. Micro moteur à engrenages synchrone 220V AC 14W 50Hz 60KTYZ [Internet]. [cité le 14 juillet 2026]. Disponible sur : https://hobbystart.tn/product/micro-moteur-a-engrenages-synchrone-220v-ac14w-50hz-60ktyz/