

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DU GENIE DE CONSTRUCTION

DEPARTEMENT GÉNIE MÉCANIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productive

Thème

*Conception et réalisation d'une couveuse
automatique pour les œufs de canaris*

Proposé et dirigé par :

M. KACIMI Bachir

M. LATTARI Kamel

Réalisé par :

M. BOURENANE Idir

M. BOUGHEDDA Oussama

Promotion : 2022/2023

Remerciements

En tout premier lieu nous remercions le DIEU, tout puissant, qui nous a éclairé le bon chemin et qui nous a aidé à réaliser ce travail dans les meilleures conditions ainsi que toutes personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre Gratitude à nos chers promoteurs Mr KACIMI et Mr LATTARI pour leurs conseils, leurs orientations ainsi que leur disponibilité tout au long de ce travail. Nous tenons aussi à remercier les membres d'Incubateur de Startups de l'Université Mouloud Mammeri pour leur contribution et implication à nos cotés ainsi que tous les enseignants du département de génie mécanique pour les connaissances qu'on a pu acquérir auprès d'eux.

Nos plus vifs remerciements vont aussi aux membres de jury pour avoir accepté d'honorer par leur jugement ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches plus particulièrement nos parents, nos frères et nos amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce travail

Dédicace

Grace à Dieu le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce travail que je tien très chaleureusement à le dédier à :

Ma mère et mon père qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes études et pour leurs patiences que Dieu les protègent et les gardes pour moi.

A mes adorables frères Amazigh et Mehdi.

Et à mes très chers amis et à mon camarade BOUGHEDDA Oussama, pour tous les moments d'échange et de débat aux personnes qui m'ont toujours aidé et soutenu.

MERCI A TOUS.

BOURENANE Idir.

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce travail à ma grande famille, mes chers parents, mes frères et mes sœurs pour leurs soutiens à mon égard tout au long de mon cursus que Dieu les protège et les garde pour moi.

Je tiens énormément à remercier mes meilleurs amis pour leurs aides et soutiens.

À mon camarade BOURENANE Idir

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

BOUGHEDDA Oussama.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Glossaire	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les couveuses d'œufs

I.1 Introduction	2
I.2 Historique d'incubateur	2
I.3 Les différents types incubations	6
I.3.1 Incubation naturelle	6
I.3.2 Incubation artificielle.....	6
I.4 Facteurs d'incubation	7
I.4.1 Température.....	7
I.4.2 Humidité	8
I.4.3 Ventilation	9
I.4.4 Aération	9
I.4.5 Positionnement et le retournement des œufs	10
I.5 Coupure d'électricité pendant le processus d'incubation	10
I.6 Utilisation du mire œufs	11
I.7 Les étapes de la couvaison.....	12
I.8 Les différents types de couveuses et incubateurs à œufs.....	17
I.8.1 Couveuse à œufs manuelle	17
I.8.2 Couveuse à œufs semi-automatique	17
I.8.3 Les couveuses à œufs automatiques	18
I.9 La couvaison des canaris	18
a. La période de reproduction des canaris.....	18

Sommaire

b. La préparation en amont	19
c. Le nid	19
d. L'alimentation.....	19
e. La lumière	19
f. Le toilettage des parents	19
g. Le déroulement de la reproduction	19
h. Ponte et incubation.....	20
i. Nourrissage	20
I.10 Les étapes de la couvaison artificielle pour les canaris	21
I.11 Conclusion	21

Chapitre II : Conception et Réalisation de la Couveuse d'œufs automatique

II.1 Introduction	22
a. Principe de fonctionnement de la couveuse.....	22
b. Le procédé utilisé pour réaliser l'invention.....	23
II.2 Présentation des différents composants.....	24
II.2.1 Les rails métalliques.....	24
II.2.1.1 Support supérieur	24
II-2-1-2 Support vertical	25
II-2-1-3 Support de tige	25
II-2-1-4 Support intérieur de dessus	25
II-2-1-5 Support de moteur	26
II-2-1-6 Assemblage global des supports	26
II-2-1-7 Alvéole en plastique	27
II-2-1-8 Système de retournement	27

Sommaire

II-2-2 Les parois de la couveuse	28
II-2-2-1 Plaque latérale intérieure droite et gauche	28
II-2-2-2 Plaque intérieure derrière	29
II-2-2-3 Plaque intérieure de dessus	29
II-2-2-4 Plaque extérieure de dessus	30
II-2-2-5 Plaque extérieure latérale droite	30
II-2-2-6 Plaque extérieure de derrière	31
II-2-2-7 Plaque de face.....	31
II-2-2-8 La portière	32
II-2-2-9 L'isolation	32
II-2-2-10 L'assemblage final	33
II-3 Les composants électroniques.....	33
II-3-1 Une carte Arduino	33
II-3-2 Le microcontrôleur ATmega328	34
II-3-3 Afficheur LCD I2C.....	35
II-3-4 Moteur pas à pas	35
II-3-5 Capteur de température et d'humidité (DHT11)	36
II-3-6 Relais électromécaniques	37
II-3-7 Extracteur/ ventilateur	37
II-3-8 Lampe (résistance électrique).....	38
II-4 Évaluation Préliminaire par Simulation.....	39
II-4-1 Simulation numérique du projet ISIS Proteus	39
II-5 Remplacement de la carte Arduino par un microcontrôleur ATmega328p	40
II-6 Conclusion	42
 Chapitre III : Etude et dimensionnement	
III-1 Introduction	43
III-2 Bilan Energétique	43

Sommaire

III.2.1 Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer l'air à l'intérieur de la couveuse.....	43
III.2.2 Calcul de la quantité de chaleur absorbée par les parois	44
III.2.3 Calcul de la quantité de chaleur absorbée par les accessoires	45
a.Alvéole en plastique (PVC)	46
b.Bac à eau en plastique	47
c.Œufs	48
d.Eau	48
e.Tige	48
III.2.4 Dimensionnement de la résistance chauffante	50
III.2.5 Dimensionnement du relais	50
III.2.6 Calcul des déperditions	51
III.2.6.1 Calcul du coefficient global de transmission thermique des parois en plâtre	52
III.2.6.2 Calcul coefficient global de transmission thermique des parois en polystyrène.	53
III.2.6.3 Calcul des différentes superficies de chacune des parois.....	54
III.3. Vérification de la tige de retournement des œufs à la résistance	57
III.3.1 Description de la tige	57
III.3.1.1 Calcul des réactions.....	58
III.3.1.2 Calcul des efforts.....	58
III.3.2 Contrainte de flexion.....	61
III.3.3 Contrainte de cisaillement.....	61
III.4 Dimension géométrique d'une transmission par courroie	62
III.4.1 Description	62
III.4.2 Calcul de la longueur de la courroie.....	63
III.4.3 Calcul de l'angle de rotations.....	64
III.4.3.1 Calcul de la longueur de rotation de la courroie	64
III.4.3.2 Calcul de nombre de pas	65

Sommaire

III.5 Etude techno-économique 65

III.6 Conclusion..... 66

Conclusion Générale 67

Référence bibliographique

Annexe

Liste des figures

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	<i>Couveuse artificielle de Réaumur.....</i>	3
Figure I.2	<i>Une poule couveuse.....</i>	6
Figure I.3	<i>Incubateurs artificiels.....</i>	7
Figure I.4	<i>Solutions pour stabiliser la température dans un incubateur.</i>	8
Figure I.5	<i>Le retournement des œufs.....</i>	10
Figure I.6	<i>Lampe.....</i>	11
Figure I.7	<i>Les différents stades de l'œuf.....</i>	12
Figure I.8	<i>L'œuf fécondé</i>	13
Figure I.9	<i>Caractéristiques d'œuf fécondé.....</i>	14
Figure I.10	<i>Naissance de poussin.....</i>	15
Figure I.11	<i>Les poussins en phase de soin.....</i>	16
Figure I.12	<i>Couveuse d'œufs manuelle.....</i>	17
Figure I.13	<i>Couveuse d'œufs semi-automatique.....</i>	17
Figure I.14	<i>Couveuse d'œufs automatique.....</i>	18
Figure I.15	<i>Type de canaris.....</i>	18
Figure I.16	<i>Les œufs de canaris.....</i>	20
Figure II.1	<i>Assemblage final de notre couveuse</i>	23
Figure II.2	<i>Les deux supports inférieur et supérieur.....</i>	24
Figure II.3	<i>Support vertical.....</i>	25
Figure II.4	<i>Support de tige.....</i>	25
Figure II.5	<i>Support intérieur de dessus.....</i>	26
Figure II.6	<i>Support de moteur.....</i>	26
Figure II.7	<i>Assemblage global des supports.....</i>	27
Figure II.8	<i>Alvéole en plastique.....</i>	27
Figure II.9	<i>Système de retournement /photo réelle</i>	28
Figure II.10	<i>Plaque latérale intérieure droite et gauche.....</i>	28
Figure II.21	<i>Plaque intérieure derrière.....</i>	29
Figure II.32	<i>Plaque intérieure de dessus.....</i>	29
Figure II.43	<i>Plaque extérieure de dessus.....</i>	30

Liste des figures

Figure II.54	<i>Plaque extérieure latérale droite.....</i>	30
Figure II.15	<i>Plaque extérieure de derrière.....</i>	31
Figure II.66	<i>Plaque de face.....</i>	31
Figure II.77	<i>Portière.....</i>	32
Figure II.88	<i>Polystyrène.....</i>	32
Figure II.99	<i>Assemblage final photo réelle de notre couveuse</i>	33
Figure II.20	<i>Description des différents composants d'une carte Arduino</i>	34
Figure II.21	<i>Microcontrôleur ATmega328.</i>	34
Figure II.22	<i>Écran LCD type GDM 1602K (2lignes x 16 colonnes) et son module I2C</i>	35
Figure II.23	<i>Schéma de câblage de l'afficheur LCD.....</i>	35
Figure II.24	<i>Moteur pas à pas ; Schéma de câblage de moteur pas à pas...</i>	36
Figure II.25	<i>Capteur DTH11 ; Schéma de montage de DTH11</i>	36
Figure II.26	<i>Photo réelle de relais ; Schéma électrique d'un relais</i>	37
Figure II.27	<i>Ventilateur.....</i>	38
Figure II.28	<i>Lampe 75 w.....</i>	39
Figure II.29	<i>Schéma électrique de model avec la carte Arduino UNO.....</i>	40
Figure II.30	<i>ATmega328 + Quartz et deux condensateurs.....</i>	41
Figure II.31	<i>Brochage de l'ATmega328.....</i>	42
Figure III.1	<i>Alvéole en plastique (PVC)</i>	46
Figure III.2	<i>Bac à eau en plastique</i>	47
Figure III.3	<i>Tige fileté.....</i>	48
Figure III.4	<i>Tige fileté M6 de longueur 400mm et placée sur deux appuis.</i>	57
Figure III.5	<i>Les réactions des appuis.....</i>	58
Figure III.6	<i>Effort aux appuis.....</i>	58
Figure III.7	<i>Diagramme des efforts.....</i>	60
Figure III.8	<i>Schema d'une transmission par courroie droite</i>	62

Liste des Tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau III.1	Tableau de coefficients de convection intérieure et extérieure	52
Tableau III.2	Les prix des composants de la couveuse	65

Notations

Q_{nec} : Quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage de la couveuse. [J]

Q_{air} : Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer l'air situé à l'intérieur de l'enceinte. [J]

Q_{parois} : Quantité de chaleur absorbée par les parois. [J]

Q_{acc} : Quantité de chaleur absorbée par les différents accessoires. [J]

T_f : Température finale (souhaitée, désirer) °C.

T_i : Température initiale °C.

m_{air} : Masse d'air. [Kg]

ρ_{air} : Masse volumique de l'air. [Kg/m³].

V : Volume de l'enceinte en [m³].

C_p : Chaleur spécifique du matériau. [J/(Kg. °C)].

m_p : masse totale des plaque. [Kg].

Q_{acc} : Quantité de chaleur absorbée par l'accessoire. [J]

m_{acc} : Masse de l'accessoire. [kg]

$Q_{alvéole}$: Quantité de chaleur absorbée par le PVC. [J]

$m_{alvéole}$: Masse de l'alvéole. [Kg]

$C_{p_{pvc}}$: La chaleur spécifique de Pvc. [J/(Kg. °C)].

$m_{recipient}$: Masse du récipient [Kg],

$C_{p_{plastique}}$: Chaleur spécifique de plastique [J/(Kg. °C)].

$C_{p_{œuf}}$: La chaleur spécifique de l'œuf [J/(Kg. °C)].

Z : Nombre d'œufs que peut comporter la couveuse.

$C_{p_{eau}}$: La chaleur spécifique de l'eau [J/(Kg. °C)].

P : Puissance de la lampe [W].

U : Tension d'alimentation en courant alternatif [V].

I : Intensité du courant [A].

R : La résistance [Ω].

D : Déperditions des parois [W/°C].

K : Coefficient global de transmission thermique des parois considérées [W/m² °C].

Glossaires

S : Surface de la paroi considérée [m²].

h_e : Coefficient de convection extérieure [$\frac{W \times m^2}{^\circ C}$].

h_i : Coefficient de convection intérieure de la paroi. [$\frac{W \times m^2}{^\circ C}$]

e_1 : Epaisseur de la paroi en plâtre [mm].

λ_1 : Coefficient de conductivité thermique de la paroi considérée plaque en plâtre [$W/m^\circ C$].

e_2 : Epaisseur de la paroi en polystyrène [mm].

λ_2 : Coefficient de conductivité thermique de la paroi considérée polystyrène [$W/m^\circ C$].

p_{totale} : Poids total. [N]

g : l'intensité de pesanteur.

q : La charge linéaire. [N/mm]

L : La longueur de la Tige. [mm]

F : La force applique.

σ_{eq} : Contrainte équivalente. [MPa]

$[\sigma]$: Contrainte admissible. [MPa]

σ_e : Contrainte élastique.

s : Coefficient de sécurité.

σ_{flex} : Contrainte de flexion. [MPa]

τ_{cis} : Contrainte de cisaillement. [MPa]

ϕ (phi) : l'angle de rotation de la poulie. [°]

Abréviation

DHT11 : Capteur de Température et d'Humidité.

ATmega328 : Microcontrôleur.

UNO : Universal Networks Objects.

GND : Ground.

CFAO : Conception et Fabrication Assisté par Ordinateur.

Introduction générale

Introduction générale

Les couveuses d'œufs sont des machines conçues pour remplacer le processus d'incubation naturelle afin d'accroître la production de poussins et de garantir de bonnes conditions de préservation des oeufs.

En effet, l'idée de concevoir ce genre de machines ne date pas d'aujourd'hui (avant l'ère chrétienne) où nos ancêtres avaient utilisées des grottes comme moyen d'incubation des oeufs.

De nos jours, plusieurs modèles de couveuses sont commercialisées à travers le monde où l'on trouve des gammes très variées que ça soit sur le plan design ou quantité de production.

Cependant, nous avons constaté qu'en Algérie, la gamme de couveuses permettant la production de petites séries est quasiment inexistante ce qui nous a, principalement, poussé à réaliser ce travail.

Nous proposons, dans ce travail, de concevoir et de réaliser une gamme très variée de couveuse, de petite dimension, permettant de garder n'importe quel type d'œuf à des conditions recommandées. Nous songeons plus particulièrement aux oeufs de canaries, de qui détruisent leurs oeufs sous prétexte de les protéger (vu qu'ils se sentent menacer dans les cages).

De plus, notre produit ne sera pas destiné uniquement aux aviculteurs mais il sera également destiné aux particuliers, aux laboratoires de recherche et aux agriculteurs non spécialisés dans l'aviculture.

Pour mieux présenter notre travail, nous l'avons organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation des étapes de couvaisons, les conditions favorables pour une bonne incubation des œufs et les différents types de couveuses d'œufs. Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les étapes suivies pour la conception d'une couveuse d'œufs automatique ainsi que ses différents composants constitutifs. Le troisième chapitre sera réservé aux calculs et expérimentation afin d'assurer et de garantir le bon fonctionnement de notre couveuse d'œufs.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les couveuses d'œufs

I.1 Introduction

Un incubateur est une enceinte thermostatée qu'on trouve aujourd'hui chez les aviculteurs, les laboratoires scientifiques et les champs agricoles. Ces incubateurs ont même envahi le monde industriel, grâce à leur environnement intérieur offrant la possibilité de créer un environnement dont la température et le taux d'humidité sont facilement paramétrés.

L'incubateur que nous allons concevoir, dans ce présent travail, se spécialise dans l'aviculture, plus précisément dans l'incubation artificielle des œufs de canaris. Dans ce qui suit, nous allons présenter les conditions dans lesquelles un embryon peut se développer son processus de croissance et les différents mécanismes qu'un incubateur doit comporter afin d'assurer une bonne éclosion.

En effet, le contenu de ce chapitre sera présenté d'abord d'une façon générale (pour les œufs de poule) ensuite d'une façon particulière pour les œufs de canaris. Ce chapitre présente les principaux modèles de couveuses d'œufs existantes ainsi que leurs principes de fonctionnement. Nous développerons plus particulièrement les couveuses d'œufs automatiques ainsi que leurs caractéristiques et particularités. Nous décrivons également l'histoire et les différents types de couveuses d'œufs. Enfin, nous détaillons leur fonctionnement.

I.2 Historique d'incubateur

L'incubation artificielle est une technique qui permet de remplacer l'incubation naturelle en produisant les conditions nécessaires à l'éclosion des œufs, notamment en maintenant la température et l'humidité à des valeurs adéquates, favorisant le développement embryonnaire jusqu'à l'éclosion des oisillons.

En effet, cette technique est connue depuis l'aire ancienne (400 ans avant J-C) où les égyptiens et les chinois étaient les premiers à la pratiquer en transformant les grottes en immenses couveuses.

Au 17^e siècle, des tentatives d'incubation artificielle ont été entreprises. Des inventeurs tels que Athanasius Kircher ont conçu des appareils mécaniques pour chauffer les œufs et simuler les conditions d'incubation naturelle. Cependant, ces premiers incubateurs artificiels étaient souvent inefficaces et manquait de contrôle précis des paramètres d'incubation.

En France, les premiers essais ont été réalisés vers 1730 par Réaumur. La méthode consistait alors à mettre les œufs à couvrir à l'intérieur d'un tas de fumier de cheval en

fermentation copiant en cela la pratique des mégapodes, oiseaux sauvages qui enterrent leurs œufs et les recouvrent de végétaux en décomposition.

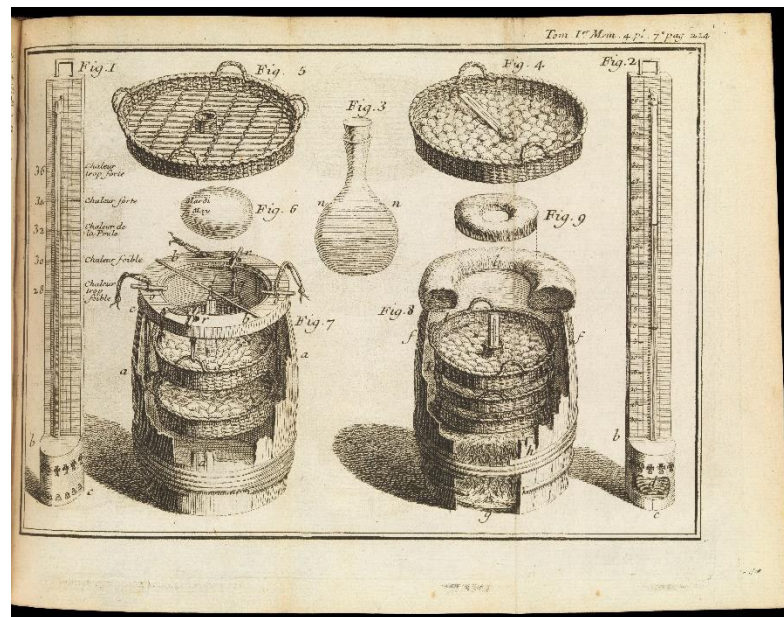


Figure 1.1: couveuse artificielle de Réaumur

Vers 1930, les premières couveuses artificielles fonctionnant au pétrole ont vu le jour.

Et en 1960, les incubateurs à énergie électrique ont commencé à faire leur apparition et à prendre le monopole. Au 19^e siècle, les avancées dans les domaines de la physiologie animale et de la technologie ont permis de mieux comprendre les processus d'incubation. Des chercheurs tels que Louis Pasteur et Charles Darwin ont apporté des contributions importantes à la compréhension de l'incubation des œufs. Parallèlement, l'industrialisation de l'agriculture a conduit au développement d'incubateurs commerciaux plus sophistiqués pour la production de volailles.[1]

Depuis cette année, la conception de ces couveuses a connu plusieurs transformations et améliorations permettant d'automatiser le processus d'incubation. A cet effet, une centaine de brevets ont été déposés utilisant principalement des thermostats pour réguler la température à l'intérieure de la couveuse. De plus, ces dernières années certains travaux ont présenté de nouveaux systèmes permettant de réguler la température et l'humidité par le biais d'un système d'acquisition et de traitement de l'information. En 1999 un brevet n° 25166 concerne une Couveuse - Eclosoir automatique pour œufs. C'est un appareil avicole, fonctionne en Couveuse et Eclosoir selon le désir, les deux emplois sont obtenus par des organes communs, comprenant :

Un cadre fabriqué du bois, nouveau bois et isorel, de dimensions différentes selon le besoin.

Une porte avec joint pour étanchéité, fabriquée de la même matière que le cadre (bois, nouveau bois et isorel).

Un regard vitré pour le contrôle interne.

Deux volets d'aération pour assurer le renouvellement d'air dans l'appareil, l'aération joue un rôle très important dans le développement des embryons.

Une échelle pour alvéoles d'œufs à retournement manuel.

Eléments de chauffage constitué des lampes d'éclairage, les lampes assurent la température désire dans la machine, sont disponibles partout à un prix à la portée et si une lampe s'éteint n'importe qui peut la recharger.

Un déflecteur de ventilation pour régulariser la température, et distribuer l'oxygène et le gaz carbonique dans toute la machine, Ces deux gaz sont indispensables à la croissance des embryons.

Un bac d'eau assure l'humidité nécessaire à la croissance des embryons.

Un thermomètre.

Un thermostat.

En 2016 un brevet n° 39612 a été décerné en Maroc où l'invention porte une couveuse rotative modifiée de façon à couvrir toute sorte d'œufs (quel que soit sa taille) sans pertes ni d'œufs, ni d'énergie. Il s'agit d'un système innovant et autonome d'éclosion des œufs, installé à l'intérieur d'une couveuse, permettant de maintenir l'ensemble d'œufs à couvrir en rotation. Des résistances chauffantes sont installées à l'intérieur de la couveuse afin de chauffer les œufs. Le système est composé de plusieurs unités, sur chaque unité une série d'œufs est positionnée en formant une étoile rotative afin de faciliter la chute du poussin vers le milieu du stockage au moment de l'éclosion. Le maintien de chaque œuf est assuré par un système mécanique actionné par un champ magnétique. La température et l'humidité ambiante sont régulées en fonction de la nature de l'œuf par le biais d'un système d'acquisition et de traitement de l'information. La rotation de l'unité est assurée par un moteur électrique. Les résistances, le système magnétique ainsi que le moteur électrique sont alimentés par un système photovoltaïque isolé avec batterie.

Récemment, en 2021, un autre brevet n° P/2020/000037 a présenté un système de surveillance de la couveuse à distance en utilisant une application androïde Smart, Nous recevons un SMS chaque 3 heures pour vérifier la température, la réception d'un message en cas de défiances machine, pour faire la rotation des plateaux à distance ainsi que pour le contrôle de l'humidité.

Par ailleurs, nous tenons à préciser que plusieurs brevets ont été déposés à travers le monde où plusieurs paramètres ont été développés et améliorés tel que l'utilisation de thermostats, des capteurs d'humidité et de contrôles électroniques a permis un contrôle précis des conditions d'incubation. Des recherches plus approfondies sur les besoins spécifiques des différents espèces animales ont conduit à des designs d'incubateurs adaptés à chaque type d'œuf.

Dans cette étude, nous proposons une mini-couveuse d'œufs de petites dimensions capable d'assurer l'incubation d'environ 20 oeufs de canaris à des conditions de température et d'humidité bien spécifiques jusqu'à ce que ces œufs éclosent après une période d'incubation et ayant une enceinte de forme cubique qui est réalisée en utilisant des plaques en plâtre (BA13), pour avoir une meilleure isolation de ladite couveuse, fixées sur un support en rail métallique et protégées par film d'aluminium. Ces matériaux sont très disponibles sur le marché algérien et à des prix très réduits.

Pour le système de chauffage, nous avons utilisé une lampe électrique, fonctionnant à effet de joule, qui sera placée à l'intérieur de l'enceinte. Sous cette lampe, sera placé un récipient d'eau permettant de dégager l'humidité nécessaire à l'incubation des œufs.

Un extracteur est monté sur la face arrière de l'enceinte afin d'évacuer le surplus d'humidité et de permettre une régénération de l'air situé à l'intérieur de la couveuse.

Les œufs seront placés sur un support en demi-tube (en PVC) accouplé à un moteur électrique dit moteur pas-à pas afin d'effectuer le retournement des œufs.

Un capteur électronique, modèle DHT11, est placé au même niveau que les œufs afin de mesurer les valeurs de la température et d'humidité dans lesquelles sont conservés ces derniers. La régulation de tous ces composants électronique et électrique est assurée à l'aide d'un microcontrôleur ATmega328P.

En effet, nous proposons de concevoir un nouveau modèle de mini-couveuse présentant une isolation thermique inégalée auparavant permettant ainsi de réduire la consommation de l'énergie électrique et avec un prix de revient plus bas comparativement aux produits existants sur le marché algérien.

I.3 Les différents types d'incubations

I.3.1 Incubation naturelle

Selon la taille de la poule, elle peut pondre 8 à 14 œufs. Après avoir fini de pondre des œufs, elle commence à incuber. La phase de couvaision est caractérisée par le maintien dans le nid, une posture agressive pendant la rotation et l'approche des œufs. En effet, les poules quittent le nid en peu de temps pour se nourrir et boire. De plus, elle a besoin d'effectuer la couvaision calmement. Pendant le processus de couvaision, il fournit la température, l'humidité et la ventilation nécessaires au développement normal des œufs. Incuber 21 jours plus tard. Le taux d'éclosion dépend de plusieurs facteurs. Par conséquent, le taux d'incubation rapporté dans la recherche varie entre 50% et 60%. Après la naissance, la poule s'occupe des poussins en leur apprenant à trouver de la nourriture et protège les poussins des agressions extérieures. Les activités de couvaision et d'alimentation des poussins augmentent la durée du cycle de reproduction. Une poule de 58 jours atteint environ 74 jours (16 jours pour la ponte et l'élevage + 21 jours pour l'éclosion + 37 jours pour les poussins = 74 jours). Cette situation limite la productivité des poules et l'incubation artificielle peut être utilisée comme solution pour augmenter la production [2].



Figure I.2: Une poule couveuse

I.3.2 Incubation artificielle

L'incubation artificielle est un ensemble d'opérations extraites d'un grand nombre d'œufs. La ponte des œufs pour produire le plus grand nombre de poussins vivants au coût le plus bas possible. Cette technologie utilise un incubateur conçu pour réguler la température, l'humidité, la ventilation et la rotation des œufs pour atteindre un développement embryonnaire normal.

Les incubateurs artificiels ou « incubateurs » ne sont pas nouveaux. En effet, les Egyptiens fabriquent ces machines depuis des siècles. Dans l'Égypte ancienne, ils étaient appelés « mammifères ». Ce sont de vrais bâtiments en maçonnerie. Il y a un four avec chauffage à bouse de chameau et la salle d'éclosion au-dessus. Une seule personne s'occupe d'un mammifère capable d'incuber plusieurs œufs, bien qu'il ne soit pas payé, il peut produire 80 poussins pour 100 œufs éclos et ainsi en profiter. Actuellement, presque tous les incubateurs dépendent de l'électricité pour fonctionner, et ils existent d'autres modèles pétroliers et gaziers [3].



Figure I.3: incubateur artificielle

I.4 Facteurs d'incubation

Dans l'incubation artificielle, on imite les conditions assurées en mode naturel par les volailles au moment de la couaison naturelle. Les facteurs qui sont assurés par la couaison naturelle sont : La température, l'humidité, la ventilation, le positionnement et le retournement.

I.4.1 Température

Si vous allez incuber, vous devez vous rappeler que le niveau de température de la couveuse est crucial.

Vous devez le surveiller, faire les ajustements nécessaires et vous assurer que les œufs se trouvent à tout moment dans l'environnement le plus approprié pour eux. C'est le seul moyen d'augmenter la probabilité d'éclosion d'un poussin à partir de tous les œufs.

Le point fondamental à retenir est que la température stable la plus recommandée pour l'incubateur est de 37,7°C. Dans certains incubateurs, la température idéale peut fluctuer entre 37,2°C et 37,8°C en fonction des caractéristiques de chaque incubateur.

Il est donc important de vérifier les exigences du modèle que vous possédez. S'il y a une quelconque fluctuation de la température pendant le processus d'incubation, ce ne sera pas un problème tant que la variation est inférieure à un demi-degré. S'il change d'un degré, il y a lieu de s'inquiéter.

Une autre chose à garder à l'esprit est que lorsqu'il reste 2-3 jours avant la fin de l'incubation, la température devra être plus basse. Vous devez garder un œil sur la température, car si elle est trop élevée, l'éclosion sera précoce, et si elle est trop froide, l'éclosion sera tardive.

Le point fondamental à retenir est que la température stable la plus recommandée pour les incubateurs est de 37,7°C [4].

La figure I.4 montre un schéma des solutions pour stabiliser la température dans un incubateur :

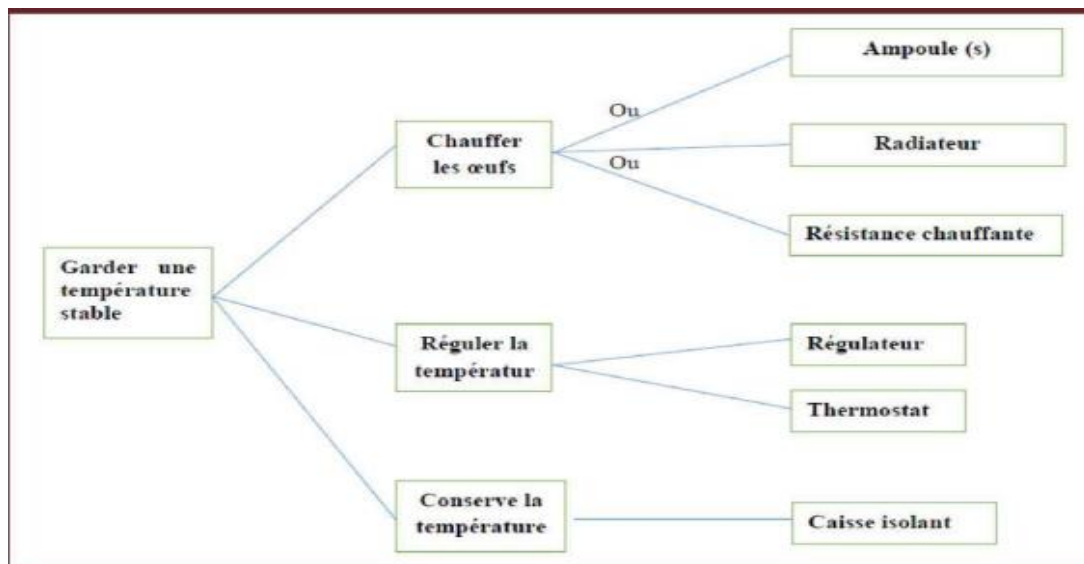


Figure I.4: solutions pour stabiliser la température dans un incubateur.

I.4.2 Humidité

C'est l'autre facteur clé. Vous devez garder ces deux éléments sous contrôle si vous voulez obtenir la meilleure incubation des œufs.

L'humidité moyenne pendant le processus d'incubation doit être maintenue entre 40 et 50% pendant la majeure partie du temps. La seule exception est le cas où la plage de température change également, comme expliqué ci-dessus.

Ainsi, dans les derniers jours de l'incubation, lorsqu'il n'y a plus de réserves d'eau, l'humidité doit être augmentée. Dans ce cas, il doit être porté à 65 %.

Il faut noter que certains modèles de couveuses ou certains œufs spécifiques peuvent vous obliger à adopter d'autres taux d'humidité.

Par exemple, nous avons rencontré des cas où nous avons dû régler le taux d'humidité à 60 % pendant la première phase, puis exiger 70 % à la fin.

La période d'incubation des poules est de 21 jours, divisée en un bloc initial de 18 jours et un bloc final de trois jours, ce qui permet de contrôler facilement la gestion de l'humidité.

L'humidité a pour effet de favoriser le ramollissement des membranes à l'intérieur de l'œuf afin que l'animal puisse éclore de l'intérieur pour éclore et voir la lumière du jour.

Le système de contrôle de l'humidité se fait par le poids des œufs. Le poids diminue au fur et à mesure de l'incubation de l'œuf jusqu'à ce qu'il ait chuté de 12 % par rapport au début de l'incubation [4].

Le contrôle de l'humidité : par hygromètre, thermomètre et DHT11, pour maintenir l'humidité dans la couveuse, nous allons ajouter de l'eau.

I.4.3 Ventilation

Selon la norme, la ventilation est très importante pour fournir suffisamment d'oxygène aux embryons dans l'incubateur. L'oxygène est 21% et 0,3% de dioxyde de carbone. C'est le point clé de la dernière étape de couvrement (régulation de la température et le rejet de dioxyde de carbone) [5].

I.4.4 Aération

Les œufs à couver sont des organismes capables de respirer, une bonne ventilation doit donc être fournie pour assurer le développement normal des embryons. La ventilation apporte de l'oxygène O₂ dans l'embryon et élimine l'excès de dioxyde de carbone CO₂. Le renouvellement de l'air est primordial pour la phase de couvrement. Ceci est réalisé en ajustant l'entrée et la sortie d'air de l'incubateur. De plus, la ventilation aide à réguler la température et l'humidité dans l'incubateur [3].

I.4.5 Positionnement et retournement des œufs

-Le but de l'opération de retournement est d'empêcher l'embryon de coller à la coquille de l'œuf, d'éviter autant que possible la position anormale de l'embryon et de mieux répartir la température sur toute la surface de l'œuf.

- L'œuf bascule entre deux positions possibles, il est à un angle de 45 degrés par rapport à la verticale.

- Elle doit être effectuée au moins 7 fois par jour.

- Tout choc excessif entraînera la mort de l'embryon

La fréquence du tournage dépend du type de l'incubateur, à voir :

- 2 à 4 fois par jour, pour incubateurs de surface.

- 6 à 8 fois pur jour, pour incubateurs de volume de basse capacité.

- 12 à 24 fois par jour, pour incubateurs de volume de chambre, à tournage automate.[3]

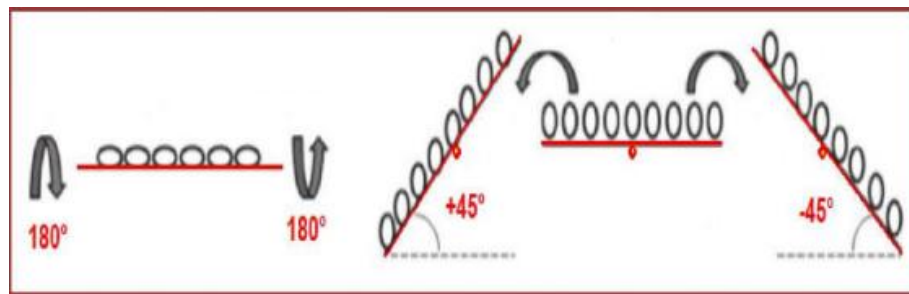


Figure I.5: Le retournement des œufs.

I.5 coupure d'électricité pendant le processus d'incubation

C'est l'une des questions les plus courantes. De nombreuses personnes paniquent car elles pensent que les embryons vont mourir en quelques secondes. Mais d'abord et avant tout, vous devez rester calme.

Vous devez prendre des mesures et effectuer un certain nombre d'actions et de contrôles. C'est à vous de vous assurer que les œufs pourront continuer à être couvés même en cas de panne de courant.

La première chose à faire est de s'assurer que la température reste stable. Elle doit se situer entre les niveaux mentionnés ci-dessus. La pire chose qui puisse arriver est que les œufs deviennent trop chauds.

En outre, vous devrez également vérifier que l'apport d'oxygène et la circulation sanguine se situent dans la fourchette normale.

Si votre chambre, ou la pièce où se trouve la couveuse, a une température moyenne d'environ 23°C, vous n'avez pas à vous inquiéter outre mesure. Vous devrez ouvrir la couveuse pour permettre à la température des œufs de s'ajuster.

Il est également important que la pièce soit ventilée. Ajustez ensuite les autres réglages si nécessaire, en fonction de l'état des œufs et du stade d'incubation dans lequel ils se trouvent.

L'électricité reviendra tôt ou tard, alors quand ce sera le cas, essayez de faire en sorte que le rythme d'incubation revienne à ce qu'il était auparavant, tant en termes de température que d'humidité.[5]



Figure I.6: lampe

I.6 Utilisation du mire œufs

L'inspection à la lumière des bougies est une opération qui utilise un appareil appelé bougie ou un testeur d'œufs avec une source de lumière pour éclairer l'intérieur d'un œuf.

Avant la mise en incubation, le mire œufs peut permettre de déceler si l'œuf est fêlé. Il ne faut pas tenter d'incuber un œuf fêlé.

Au 3^{ème} jour on peut commencer à distinguer si l'œuf est bien fécondé. Au 7^{ème} jour d'incubation, si l'œuf est fécondé, le mire œuf permettra de voir les vaisseaux sanguins signe que l'embryon a commencé son développement.

Si on ne distingue rien de tout cela, on dit que l'œuf est clair et qu'il n'est pas donc fécondé.

A cette date, on peut aussi s'assurer du bon démarrage du développement de la chambre d'air et donc du bon taux d'humidité dans la couveuse.

Au 14^{ème} jour d'incubation, on ne distingue qu'une vague forme opaque même si la formation des plumes est terminée.

Tout comme au 7^{ème} jour, on peut aussi vérifier le bon développement de la chambre d'air et par déduction le bon taux d'humidité dans la couveuse.

Au 19^{ème} jour d'incubation, on ne voit plus qu'une forme totalement opaque occupant les 2/3 du volume de l'œuf, c'est le poussin, prêt à commencer le long processus de l'éclosion.

A ce stade, la chambre à air doit occuper idéalement environ 1/3 de l'œuf [2].

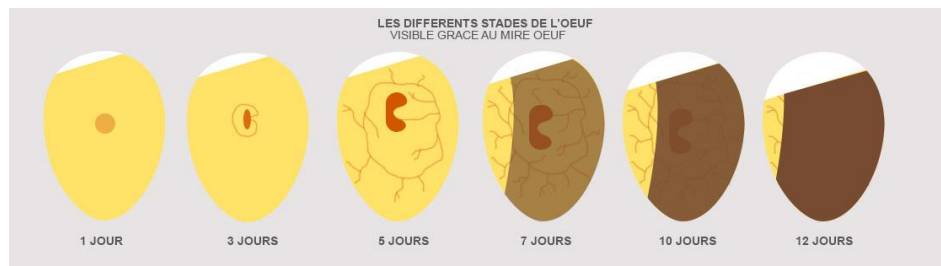


Figure I.7: les différents stades de l'œuf

I.7 Les étapes de la couvaie

Étape 1 - Le mécanisme de ponte

Une poule pond environ un œuf par jour soit jusqu'à 300 œufs au total par an. Ces œufs qui sont expulsés sont des ovules recouverts d'une coquille. S'il y a un coq dans la Basse-Cour et qu'il y a eu accouplement dans les 10 jours qui précèdent la ponte des œufs, ceux-ci seront féconds. Seuls les œufs fécondés donneront naissance à un poussin. Utilisez un pondeur pour récupérer des œufs propres afin qu'ils puissent être mis en incubation.

Les œufs non fécondés seront utilisés en cuisine (omelette, gâteaux).

A noter : Avant la mise en incubation et afin d'obtenir le taux d'éclosion maximal, il est conseillé de stocker les œufs dans une pièce tempérée à l'abri de la lumière et au maximum pendant 10 jours. Pensez à retourner les œufs deux fois par jours pendant le stockage.

Étape 2 - Déterminer si l'œuf est fécondé ou pas

De l'extérieur il n'y a aucune différence entre un œuf féconde ou pas.

Pour le savoir, il faut mirer l'œuf c'est-à-dire utiliser un mire-œuf pour éclairer l'intérieur de l'œuf et observer par transparence ce qui se passe à travers la coquille. Si l'œuf est fécondé vous verrez une tâche rouge au bout de trois jours d'incubation puis des filaments rouges, comme une toile d'araignée, qui apparaîtront au bout de cinq jours.

Vous savez alors que l'œuf est fécondé et qu'il a de bonnes chances de donner naissance à un poussin.



Figure I.8: l'œuf fécondé

Étape 3 - La couvaision ou mise en incubation

La poule devra couvrir 21 jours avant de voir éclore un poussin.

La durée d'incubation est identique dans une couveuse artificielle. Pour devenir poussin, l'embryon contenu dans l'œuf a besoin de 4 ingrédients :

- de chaleur constante, pour se développer
- d'air, pour respirer
- d'un taux d'humidité adéquat, pour un développement correct de la chambre à air
- de mouvement (retournement des œufs), pour éviter que l'embryon ne colle à la coquille

Tous ces paramètres sont artificiellement reproduits dans une couveuse.

Étape 4 - Le développement de l'embryon

L'œuf est constitué :

- du vitellus (jaune), soutenu par les chalazes, sur lequel repose le germe si l'œuf a été fécondé
- de l'albumen (blanc)
- d'une coquille calcaire poreuse
- d'une poche d'air appelée chambre à air située à l'extrémité du gros bout de l'œuf.

L'embryon va se développer jusqu'à devenir poussin en se nourrissant des substances contenues dans le blanc et le jaune de l'œuf.

Durant cette incubation, l'embryon va respirer grâce aux pores de la coquille : l'oxygène va lui parvenir grâce à un réseau de vaisseaux sanguins qui va se développer jusqu'à atteindre la surface intérieure de la coquille

Peu à peu l'eau va disparaître et la taille de la poche à air va augmenter pour permettre au poussin, lors de l'éclosion, de respirer davantage et d'avoir suffisamment d'aisance pour le bêcheage. Le bêcheage étant la première action de perçage de la coquille par le poussin.

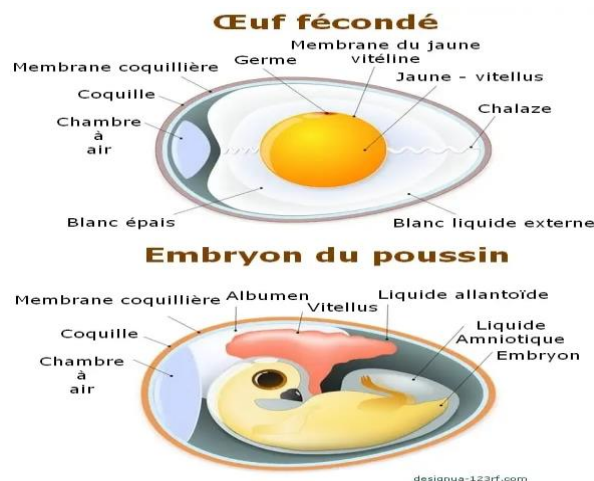


Figure I.9: caractéristiques d'œuf fécondé

Étape 5 - La naissance du poussin

Pendant l'éclosion, il ne faut rien faire.

Il est notamment déconseillé d'aider un poussin à casser sa coquille :

En intervenant trop tôt on risque de provoquer une hémorragie sanguine, l'intérieur de la coquille étant encore abondamment irrigué par des vaisseaux sanguins, et en intervenant à temps, on va aider un poussin qui n'était pas assez développé pour s'en sortir seul et ce sera donc un poussin chétif qui ne survivra pas.

Il est fortement déconseillé d'ouvrir sa couveuse. Si vous ouvrez votre couveuse, vous provoquerez une chute immédiate de l'hygrométrie et un assèchement de la membrane interne des œufs. Vous risquez ainsi de condamner les poussins à rester bloqués dans leur œuf.

Laissez aux poussins le temps d'éclore, même si cela doit prendre des heures.

Observez attentivement le poussin qui vient d'éclore : l'extrémité supérieure de son bec est pourvue d'une petite excroissance nommée "diamant". Ce "diamant" lui a servi à découper sa coquille ... Il tombera peu après l'éclosion.



Figure I.10: naissance de poussin

Étape 6 - Garder les poussins au chaud

Après l'éclosion, maintenez les poussins à 35° C durant 24 heures dans la couveuse (si sa taille le permet) sans boire ni manger. Le poussin a besoin de se reposer, de se sécher et de vider son tube digestif.

Après ces 24 heures, vous placerez les poussins dans une éleveuse, à une température de 35 °C, sur une litière de copeaux secs, ou sur grillage dans une cage éleveuse, à l'abri des courants d'air, en les nourrissant avec de l'aliment spécial poussin et de l'eau propre à volonté dans un abreuvoir spécifique.

A noter : éviter l'abreuvoir trop grand qui pourrait provoquer des noyades et ne pas y mettre de l'eau trop froide pendant les 2 premiers jours.

Pour vous assurer que la température est adéquate, l'observation du comportement des poussins sera le meilleur indicateur :

- Des poussins regroupés au point le plus chaud signifie que la température est trop basse, il faut donc rapprocher l'éleveuse.
- Des poussins qui fuient l'éleveuse signifie que l'éleveuse est trop proche.
- Des poussins qui gambadent et viennent se réchauffer de temps à autre sous l'éleveuse sans chercher à se coller les uns aux autres est un signe que la température est idéale.

La température doit être contrôlée avec un thermomètre et doit baisser progressivement lors des 6 premières semaines : de 35° en semaine 1, puis 32°, puis 28° puis 25° puis 22° ... jusqu'à une température ambiante de 18-19° en semaine 6.



Figure I.11: les poussins en phase de soin

Étape 7 - l'installation dans le poulailler

Au bout de 6-7 semaines, vos poussins seront assez grands et résistants pour retrouver le poulailler.

Vos poules commenceront à pondre à leur tour au bout 5 à 8 mois selon les races [6].

I.8 Les différents types de couveuses et incubateurs d'œufs

Il existe 3 types d'incubateurs d'œufs : les couveuses manuelles, les couveuses à œufs semi-automatiques et les couveuses automatiques.

I.8.1 Couveuse d'œufs manuelle

Ce type de couveuse est simple à utiliser et est idéal pour les débutants ou pour couvrir de petites quantités d'œufs. Le retournement des œufs doit être effectué manuellement plusieurs fois par jour.



Figure I.12: couveuse d'œufs manuelle

I.8.2 Couveuse d'œufs semi-automatique

Ce type de couveuse est équipé d'un système de retournement automatique des œufs, mais nécessite une surveillance régulière pour s'assurer que la température et l'humidité sont correctes.



Figure I.13: couveuse d'œufs semi-automatique

I.8.3 Les couveuses d'œufs automatiques

Ce type de couveuse est entièrement automatique et gère la température, l'humidité et le retournement des œufs de manière autonome. Il est généralement utilisé pour l'incubation de grandes quantités d'œufs [7].



Figure I.14: couveuse d'œufs automatique

I.9 La couvaison des canaris

Les canaris sont très appréciés de par leur chant et la beauté de leur plumage. C'est la raison pour laquelle on les aime et on les adopte.



Figure I.15: type de canaris

a. La période de reproduction des canaris

C'est à la mi-mars que commence la saison des amours des canaris.

b. La préparation en amont

Vous devez séparer votre mâle et votre femelle 1 ou 2 mois avant la période de reproduction. Et surtout, faire en sorte que votre couple soit en bonne santé : qu'il soit bien nourri, qu'il n'ait pas de carences, et qu'il vive dans un environnement propre pour éviter toute maladie.

c. Le nid

Le nid doit être attaché et être extérieur à la cage, ou être placé suffisamment haut dans celle-ci afin de ne pas servir de perchoir et ne pas être souillé. Il prend la forme d'une petite boîte en bois avec un trou circulaire pour y entrer. Vous en tapisserez le fond de laine et de foin séché, qui servira de litière.

d. L'alimentation

La femelle aura besoin de solides apports protéinés jusqu'au début de la reproduction. Pour cela, remplissez-la mangeoire avec de la pâtée aux œufs 2 fois par semaine.

Vous pouvez également ajouter dans l'abreuvoir, des compléments alimentaires à base de vitamine E, pour bien les préparer à la reproduction.

e. La lumière

Un facteur important de la reproduction est l'apport en lumière. Les canaris ont besoin d'au moins 14 heures de jour et une température d'au moins 15°C.

f. Le toilettage des parents

Pour les races au plumage assez développé, comme l'espèce gloster ou norwich, il est conseillé de couper les plumes autour de leurs parties génitales pour faciliter l'accouplement. En toilettant vos oiseaux, faites cependant attention à ne pas couper ce qu'on appelle le plumeau, les plumes entourant le sexe de l'oiseau, car elles permettent une meilleure transmission du liquide séminal lors de l'accouplement.

g. Le déroulement de la reproduction

Le mâle émet un chant caractéristique. Si elle est intéressée, la femelle répondra de la même manière. Elle s'accroupira ensuite pour le laisser grimper sur elle. L'accouplement ne durera que quelques minutes.

h. Ponte et incubation

La femelle pondra un œuf par jour jusqu'à en avoir atteint 3, 4 ou 5. Il est conseillé de remplacer le premier par un œuf factice afin d'éviter une éclosion trop précoce de ce dernier. C'est une fois le dernier œuf pondu que l'on remet le premier œuf avec les autres.

La température du nid doit être de 20°C et l'air suffisamment humide pour faciliter l'éclosion des œufs. Chaque jour, retournez-les pour éviter que l'embryon ne se colle à la coquille.

Vérifiez que les griffes de votre femelle ne soient pas trop longues, sinon coupez-les pour éviter qu'elle ne fêle les coquilles en les couvant.

La période d'incubation durera entre 14 et 18 jours.

Au 12ème jour, vous pouvez poser une petite baignoire dans la cage pour que la femelle s'y baigne et humidifie le nid. Cela va assouplir la membrane des œufs pour aider les oisillons à percer la coquille lors de l'éclosion.



Figure I.16: les œufs de canaris

i. Nourrissage

Les oisillons naissent nus et aveugles. Ils doivent être nourris à la becquée par la mère ou le père. Pour grandir, ils ont besoin d'une alimentation humide riche en protéines, sous forme de pâtée. Optez donc pour du pain trempé dans du lait et un peu de pomme et de carotte râpée.

A partir du 4ème jour, vous avez la possibilité d'ajouter du jaune d'œuf dur à leur régime alimentaire.

Ces derniers sortiront du nid au 18ème jour mais ne seront autonomes, qu'à partir de 25-30 jours qu'ils pourront se nourrir seuls. C'est ce qu'on appelle le sevrage. Les oisillons pourront enfin manger autre chose que de la pâtée, et pourront passer aux mélanges de graines [8].

I.10 Les étapes de la couvaison artificielle pour les canaris

- Préparation de l'incubateur : Avant de commencer la couvaison artificielle, il est important de préparer l'incubateur. Il doit être nettoyé et désinfecté pour éviter toute contamination. Il est également important de vérifier que la température et l'humidité sont correctes.
- Collecte des œufs : Les œufs doivent être collectés dès qu'ils sont pondus. Il est important de les manipuler avec précaution pour éviter de les endommager.
- Placement des œufs dans l'incubateur : Les œufs doivent être placés dans l'incubateur dès que possible après la collecte. Il est important de les placer dans la bonne position et de les retourner régulièrement pour éviter que le jaune ne colle à la coquille.
- Contrôle de la température et de l'humidité : La température et l'humidité doivent être contrôlées régulièrement pour s'assurer qu'elles sont correctes. La température doit être maintenue entre 37,2 et 38 C, et l'humidité doit être maintenue entre 50 et 60%.
- Surveillance de l'incubation : L'incubation dure entre 14 et 18 jours. Pendant cette période, il est important de surveiller régulièrement les œufs pour s'assurer qu'ils se développent correctement.
- Éclosion des œufs : Les œufs éclosent généralement tous en même temps. Il est important de ne pas retirer les oisillons de l'incubateur tant qu'ils ne sont pas tous éclos.
- Soins des oisillons : Une fois que les oisillons ont éclos, ils doivent être nourris et soignés correctement pour s'assurer qu'ils grandissent en bonne santé [9].

I.11 Conclusion

L'objectif de la couvaison artificielle est de permettre l'obtention rapide de poussins ou de continuer à couvrir un grand nombre d'œufs. Cette méthode nous permet de pallier l'absence de la poule et de maintenir un contrôle total sur le processus de couvaison des œufs. Dans ce premier chapitre, nous avons exploré en détail les différentes étapes et les principaux paramètres à prendre en compte pour garantir une couvaison réussie. De plus, nous avons examiné l'historique de cette pratique et les divers types de couveuses disponibles. Dans le prochain chapitre, nous aborderons la conception et la réalisation de notre propre couveuse que nous avons élaborée.

Chapitre II

Conception et Réalisation de la couveuse d'œufs automatique

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler de notre réalisation complète, tout en commençant par la conception, pour bien structurer le projet il est nécessaire de le répartir en plusieurs tâches, ainsi le projet devient plus facilement gérable et maîtrisable.

Pour une première ébauche, nous allons citer le matériel et les différents composants essentielles à la réalisation du projet, puis vient la partie de la conception qui est une étape très importante dans le cycle de la réalisation d'un projet, elle consiste à tracer le chemin qui mène à la phase finale et permet d'éviter tout imprévu pendant la période de réalisation du projet.

Pour cela, nous allons utiliser un logiciel de simulation sur lequel on vérifiera le bon fonctionnement de chaque partie avant d'entamer sa réalisation pratique.

Pour une deuxième ébauche, nous enchaînerons la partie de réalisation pratique où nous allons mettre en œuvre tous les circuits de simulation, les mécanismes que doit équiper notre couveuse et finir par une implémentation temps réel de l'algorithme.

a. Principe de fonctionnement de la couveuse

Notre invention est une couveuse d'œufs de petites dimensions (45x30x25) cm, capable d'assurer l'incubation d'environ 20 œufs de canaris et ayant une enceinte de forme cubique qui est réalisée en utilisant des plaques en plâtre (BA13) fixées sur un support en rail métallique, ces deux matériaux sont très disponibles sur le marché algérien et à des prix très réduits.

Pour le système de chauffage, nous avons utilisé une lampe électrique, fonctionnant à effet de joule, qui sera placée à l'intérieur de l'enceinte. Sous cette lampe, sera placé un récipient d'eau permettant de dégager l'humidité nécessaire à l'incubation des œufs.

Un extracteur est monté sur la face arrière de l'enceinte afin d'évacuer le surplus d'humidité et de permettre une régénération de l'air situé à l'intérieur de la couveuse.

Les œufs seront placés sur un support en demi-tube (en PVC) accouplé à un moteur électrique dit moteur pas-à pas afin d'effectuer le retournement des œufs.

Un capteur électronique, modèle DHT11, est placé au même niveau que les œufs afin de mesurer les valeurs de la température et d'humidité dans lesquelles sont conservés ces derniers. La régulation de tous ces composants électronique et électrique est assurée à l'aide d'un microcontrôleur ATmega328P.

En effet, afin d'éviter le gaspillage du temps et d'argent ce concept a été d'abord réalisé sur ordinateur en utilisant le logiciel SolidWorks pour la partie mécanique et les logiciels ARDUINO et ISIS PROTEUS pour la partie électronique. Ce prototypage virtuel permet d'augmenter les chances de réussite du concept et de valider les choix faits lors de la conception en ayant une vue 3D du modèle.

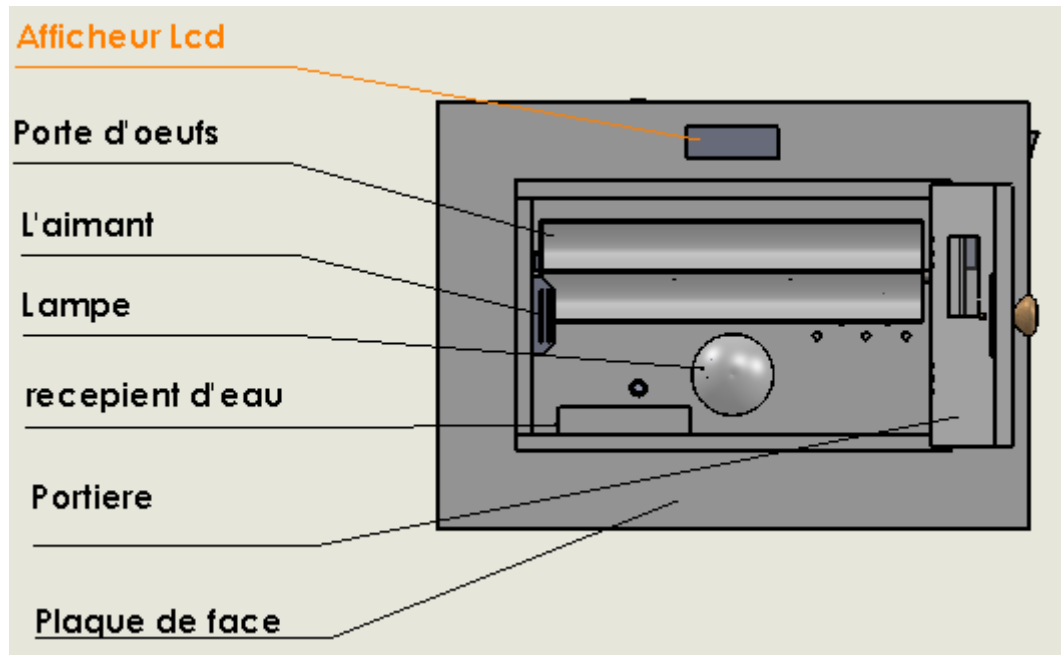


Figure II.1 : assemblage final de notre couveuse

b. Le procédé utilisé pour réaliser l'invention

En premier lieu, les supports métalliques et les plaques en plâtre sont découpés aux dimensions appropriées puis assemblés par des vis de fixation pour former le bâti et l'intérieur de la couveuse.

En second lieu sont montés le moteur, le système de retournement des œufs, la lampe électrique et sa douille d'alimentation.

En troisième lieu sont montés l'extracteur, le capteur de température et d'humidité, l'afficheur LCD, la carte électronique, l'interrupteur, le câble d'alimentation électrique et les plaques de polystyrène.

En dernier lieu seront placés les plaques extérieures, la portière, la protection en aluminium et le récipient d'eau.

II.2 Présentation des différents composants

Nous avons utilisé dans ce projet des composants électroniques pour assurer le bon fonctionnement du système, et des composants pour former le bâti, l'intérieur et l'extérieur de la couveuse. Le projet a été réalisé en utilisant deux logiciels distincts : SolidWorks pour la conception physique et ISIS Proteus pour la partie électronique et électrique. Cette approche a été adoptée afin de faciliter la réalisation du projet, de le rendre gérable et de mieux le maîtriser tout au long de sa réalisation. Les dimensions et les autres détails complémentaires sont représentés sur le dessin de définition de l'enceinte (voir annexe 1).

II.2.1 Les rails métalliques

Nous allons présenter les différents supports à fabriquer pour avoir le bâti de la couveuse en utilisant des rails métalliques.

II.2.1.1 Support supérieur

Le support sera fabriqué de manière similaire au support inférieur, mais avec l'ajout d'un perçage de 13 mm pour l'entrée de la conduite d'eau. Pour cela, une raille en acier de forme U, mesurant 0,70 mm d'épaisseur, 47 mm de largeur et 1348 mm de longueur, sera utilisée. Cette raille sera pliée à trois endroits différents, formant un angle de 90 degrés à ces positions : 250 mm, 674 mm et 924 mm, comme illustré sur la figure. Les deux autres extrémités libres de la raille seront assemblées à l'aide des vis pour compléter la construction du support.

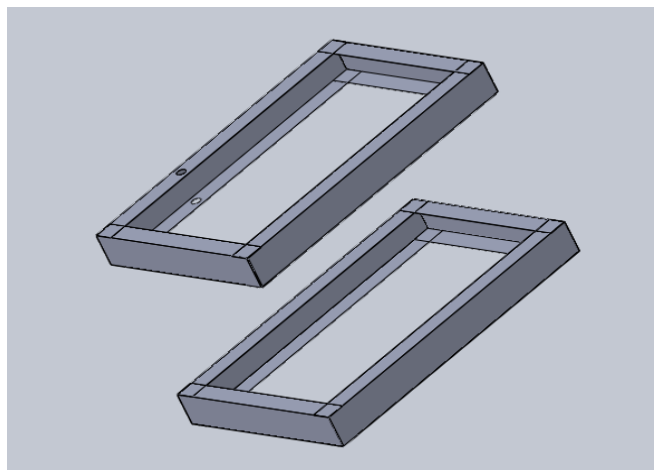


Figure II.2 : les deux supports inférieur et supérieur

II.2.1.2 Support vertical

Le support sera fabriqué en utilisant une raille en acier de forme U, mesurant 0,70 mm d'épaisseur, 47 mm de largeur et 250 mm de longueur. Une coupe de 47 mm sera effectuée sur les extrémités d'un côté de la raille, comme indiqué sur la figure.

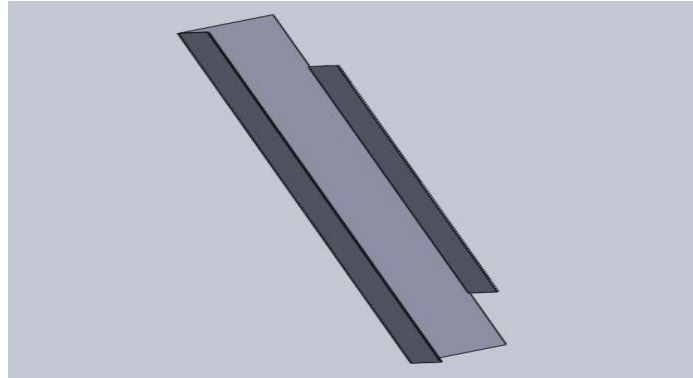


Figure II.3: support vertical

II.2.1.3 Support de tige

Ce support sera réalisé à partir d'une raille en acier de forme U d'épaisseur 0,70mm, de largeur 47mm et de longueur 250mm, sur la partie horizontale de la raille un perçage de 10 mm sera réalisé pour permettre l'entrée de la tige, comme illustré sur la figure.

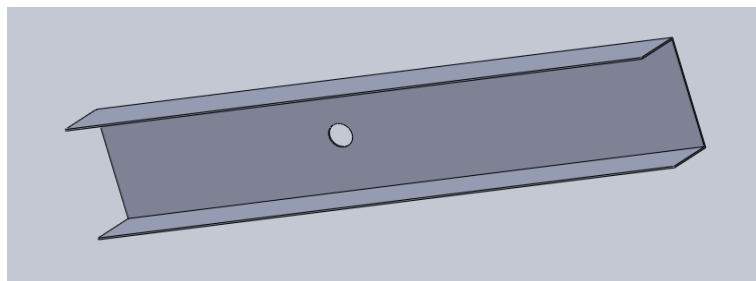


Figure II.4: support de tige

II.2.1.4 Support intérieur de dessus

Le support sera fabriqué de manière similaire au support intérieur de dessous, mais avec l'ajout d'un perçage de 13 mm pour permettre l'entrée de la conduite d'eau. Pour cela, une raille en acier de forme U, mesurant 0,70 mm d'épaisseur, 47 mm de largeur et 305 mm de longueur, sera utilisée, comme indiqué sur la figure.

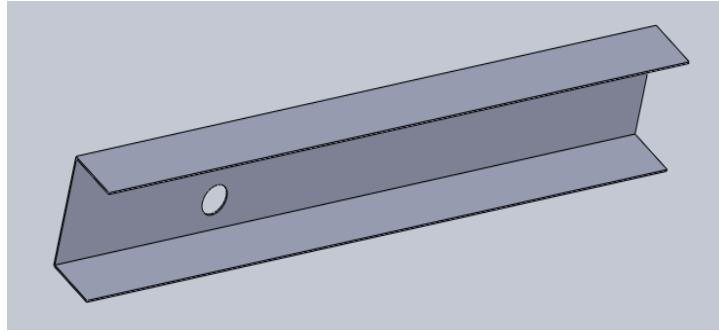


Figure II.5: support intérieur de dessus

II.2.1.5 Support de moteur

Il sera fabriqué en utilisant une raille en acier de forme U, mesurant 0,70 mm d'épaisseur, 47 mm de largeur et 40 mm de longueur. Cette raille présentera deux rainures droites sur les deux côtés, chacune ayant un rayon de 1 mm et des longueurs respectives de 30 mm et 7 mm. De plus, un perçage de diamètre 11 mm sera situé sur le côté horizontal de la raille pour fixer le moteur pas à pas. Le support du moteur sera ensuite fixé sur le support de tige en utilisant des vis, ce qui permettra de l'ajuster pendant l'insertion de la courroie, comme montré sur la figure.

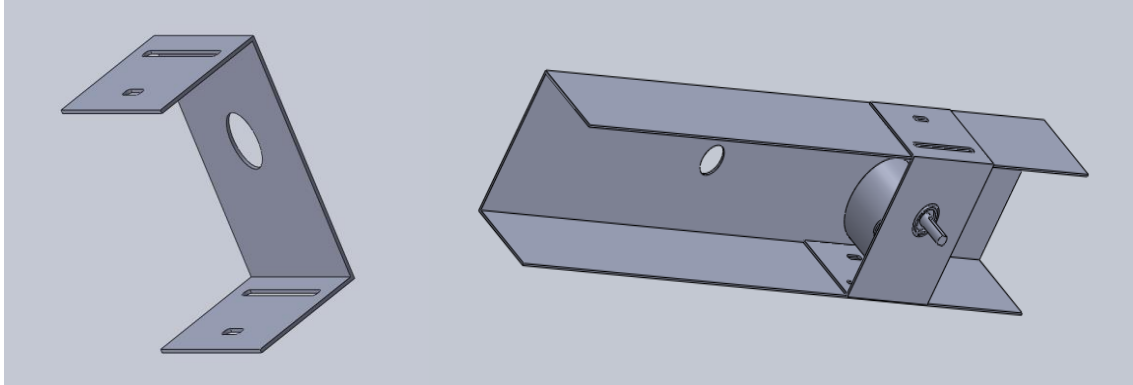


Figure II.6: support de moteur

II.2.1.6 Assemblage global des supports

Voici une vue d'ensemble de l'assemblage des supports, qui permettra de mieux comprendre la réalisation de cette configuration.

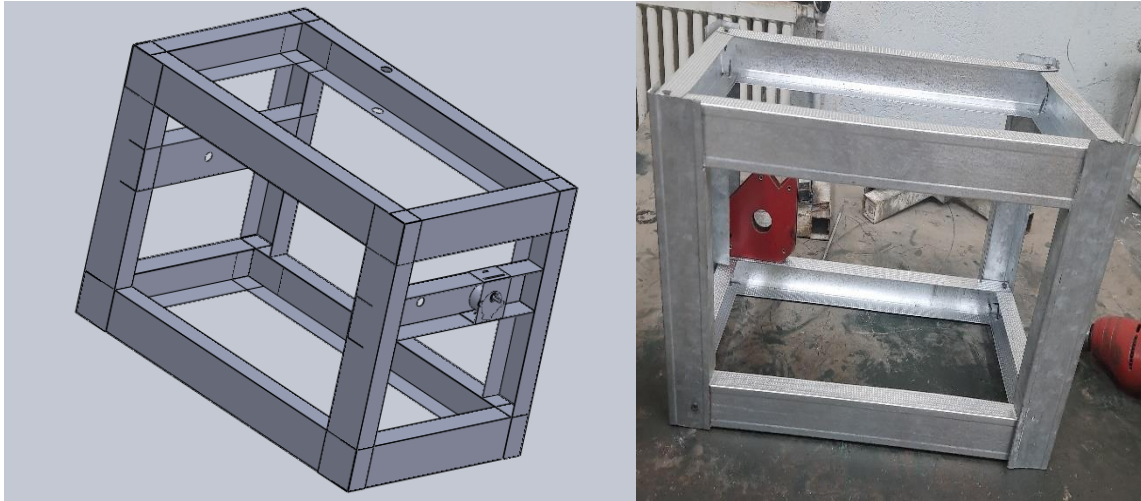


Figure II.7: assemblage global des supports / photo réelle

II.2.1.7 Alvéole en plastique

Ce système est construit à partir de quatre demi-tubes en plastique PVC, ayant un diamètre de 40 mm, qui sont couramment utilisés en plomberie sanitaire. Vous pouvez observer cette configuration dans la figure suivante. Ces demi-tubes sont solidement fixés sur une tige de 450mm de manière à leur permettre de pivoter.

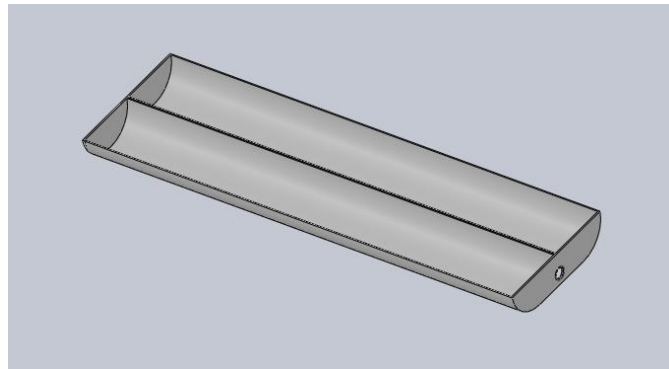


Figure II.8: alvéole en plastique

II.2.1.8 Système de retournement

L'alvéole en PVC sera fixée sur les deux railles en acier à l'aide d'une tige filetée 450 mm qui sera fixée solidement à l'alvéole et qui passera à travers ces deux railles. De plus, une poulie sera attachée à l'une des extrémités de cette tige filetée, tandis que l'autre poulie sera fixée au moteur pas à pas. Enfin, une courroie sera mise en place et reliera les deux poulies, permettant ainsi le mouvement synchronisé de l'alvéole grâce au moteur pas à pas, comme illustré sur la figure.

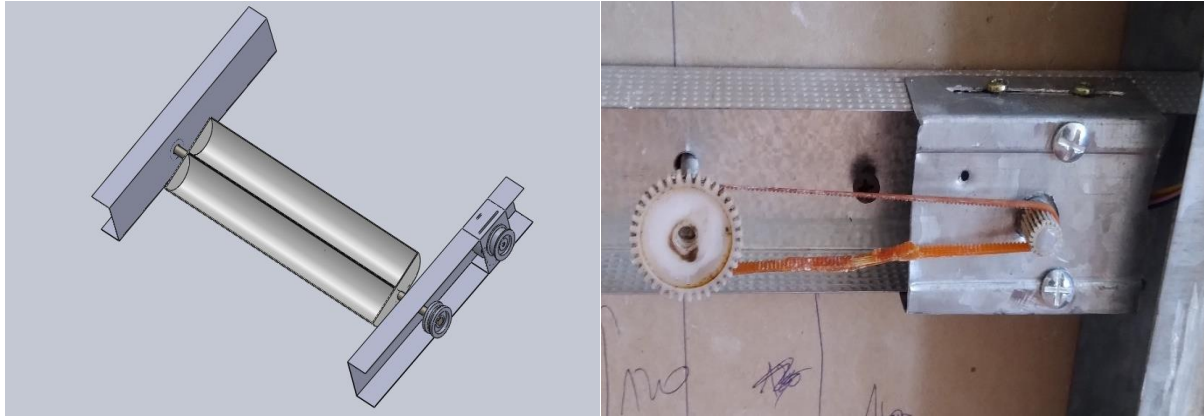


Figure II.9: système de retournement / photo réelle

II.2.2 Les parois de la couveuse

Nous allons présenter les plaques à fabriquer en utilisant des plaques en plâtre.

II.2.2.1 Plaque latérale intérieure droite et gauche

Ces composants seront réalisés à partir d'une feuille de plaque en plâtre d'épaisseur 13mm, de largeur 180mm et de longueur 251.40mm et d'un seul perçage de diamètre 10mm pour l'entrée de la tige filetée.

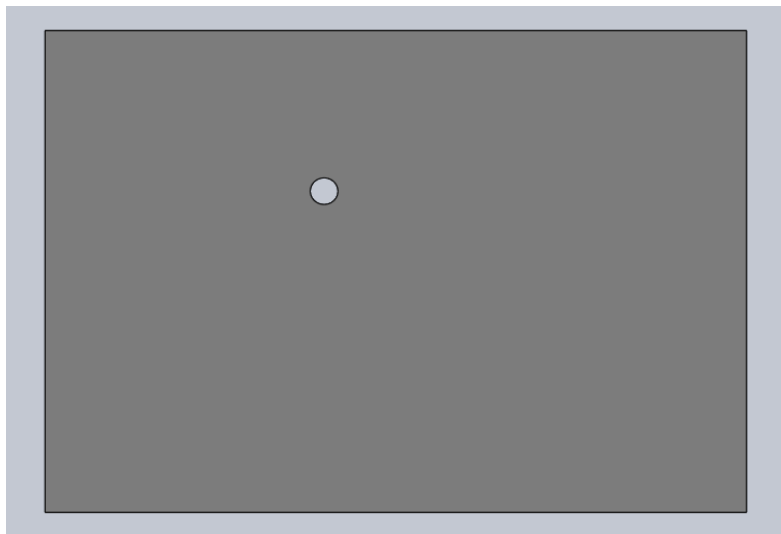


Figure II.10: plaque latérale intérieure droite et gauche

II.2.2.2 Plaque intérieure derrière

Ce composant il sera réalisé également à partir d'une feuille en plâtre d'épaisseur 13mm, de largeur 180mm et de longueur 305.40mm, ayant deux perçages l'un de diamètre 45mm sur lequel sera monté la douille de lampe, et l'autre de diamètre 12mm permettant la sortie de la conduite d'eau vers son récipient. De plus, plusieurs autres perçages de 6 mm de diamètre seront réalisés juste en face du ventilateur pour assurer un apport suffisant en l'oxygène aux embryons dans la couveuse. Tout ceci est représenté sur la figure.

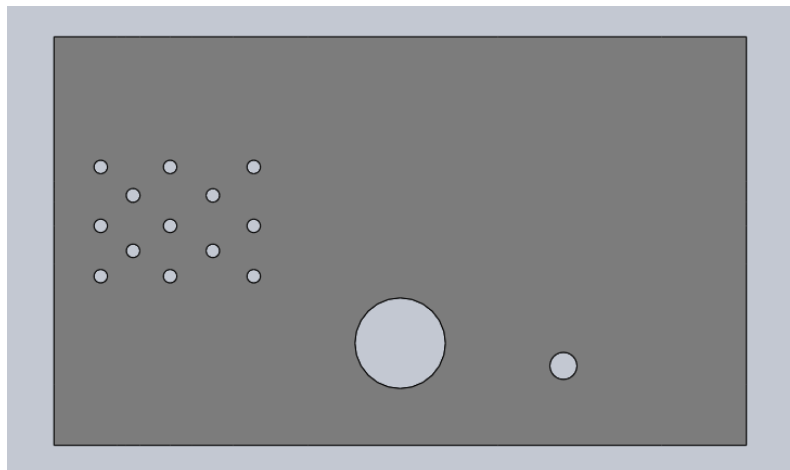


Figure II.11: plaque intérieure derrière

II.2.2.3 Plaque intérieure de dessus

Elle a les mêmes dimensions que la plaque de dessous intérieure de d'épaisseur 13mm, de largeur 252 mm et de longueur 331.40mm, mais possède un seul perçage de diamètre 12mm permettant l'entrée de la conduite d'eau.

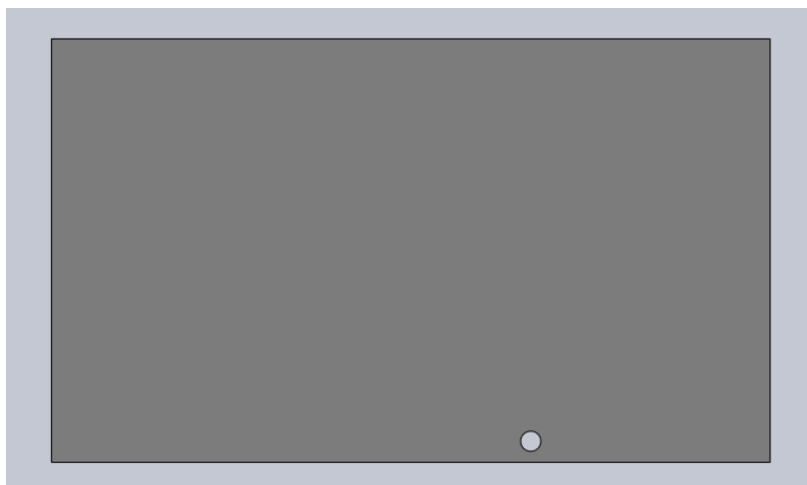


Figure II.12: plaque intérieure de dessus

II.2.2.4 Plaque extérieure de dessus

Elle a les mêmes dimensions que la plaque extérieure de dessous de d'épaisseur 13mm, de largeur 250.70mm et de longueur 425.40mm, mais possède un seul perçage de diamètre 12mm permettant l'entrée de la conduite d'eau.



Figure II.13: plaque extérieure de dessus

II.2.2.5 Plaque extérieure latérale droite

Elle a les mêmes dimensions que la plaque extérieure latérale gauche de d'épaisseur 13mm, de largeur 250.70mm et de longueur 326mm, mais possède un perçage rectangulaire de dimensions 15×30mm pour fixer l'interrupteur.

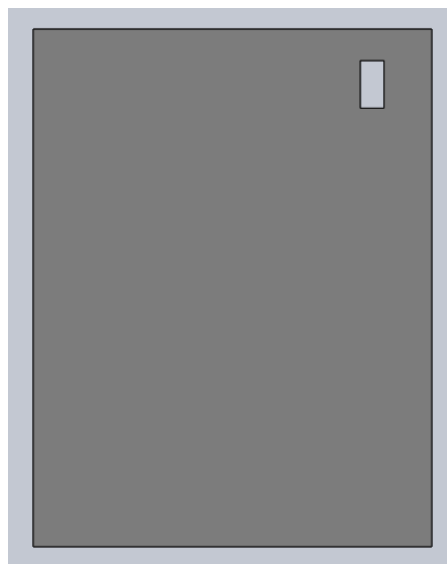


Figure 1: plaque extérieure latérale droite

II.2.2.6 Plaque extérieure de derrière

Ce composant sera réalisé avec la même feuille de plaque en plâtre d'épaisseur 13mm, de largeur 326mm et de longueur 451.40mm, ayant un perçage rectangulaire de dimensions 70×72mm, conçu spécifiquement pour la fixation de ventilateur/extracteur.

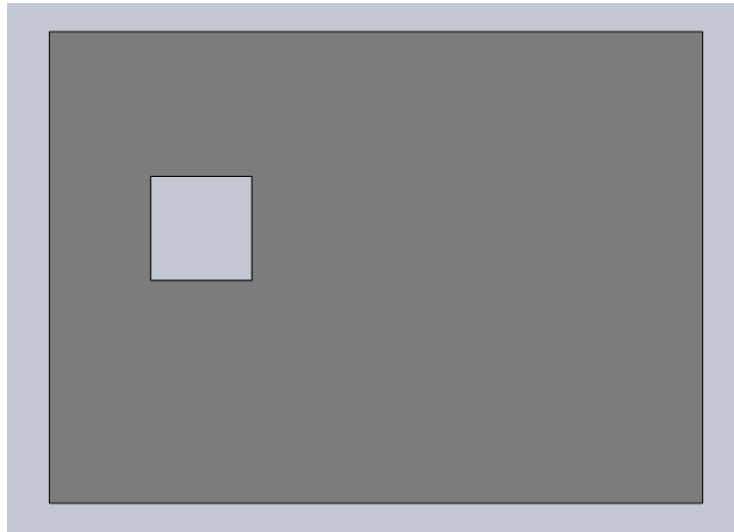


Figure II.15: plaque extérieure de derrière

II.2.2.7 Plaque de face

La pièce sera fabriquée à partir d'une feuille de plaque en plâtre d'une épaisseur de 13mm, d'une largeur de 326 mm et d'une longueur de 451,40 mm, la plaque comprendra six trous de 2 mm de diamètre, placés à l'extrémité droite de la plaque, destinés à la fixation des paumelles. De plus, il y aura un autre trou rectangulaire de dimensions 70×24 mm, conçu pour fixer l'afficheur LCD. Ainsi qu'un autre trou rectangulaire laissant une marge de 60 mm de chaque côté, tel que représenté sur la figure.

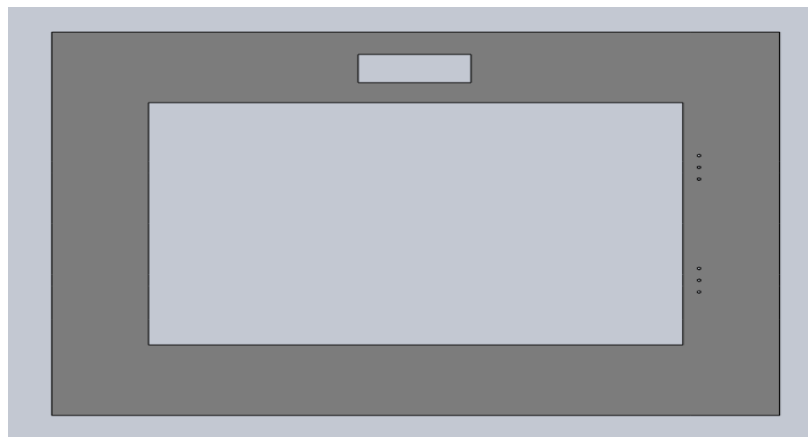


Figure II.16: plaque de face

II.2.2.8 La portière

La porte sera fabriquée à partir d'une feuille de plaque en plâtre mesurant 13 mm d'épaisseur, 200 mm de largeur et de 325 mm de longueur. Elle sera équipée de six trous de 2 mm de diamètre, spécialement conçus pour fixer les paumelles. De plus, la porte comportera trois autres trous l'un de 3 mm de diamètre destiné à la fixation de la poignée, et deux autres de 4 mm de diamètre pour fixer l'acier de l'aimant. En outre, un trou rectangulaire de dimensions 60×150 mm sera prévu pour accueillir le verre de visibilité, tel qu'illustré sur la figure.

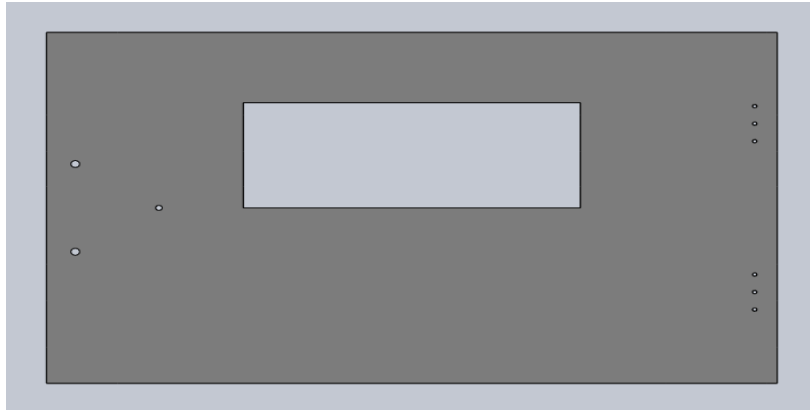


Figure II.17: portière

II.2.2.9 L'isolation

Afin de limiter les pertes thermiques de la couveuse d'œufs, on a des plaques en polystyrène entre les parois. En effet, la couveuse doit être bien calorifugée pour un rendement optimal et donc un choix judicieux s'impose. Nous avons utilisé des plaques en polystyrène expansé d'épaisseur 25mm à cause de leur disponibilité, efficacité et de leur prix de revient dérisoire. La conductivité thermique du polystyrène est de 0.030W/m.K.



Figure 28 : polystyrène

II.2.2.10 L'assemblage final de notre couveuse

Voici la configuration finale de notre couveuse d'œufs.



Figure II.19 : photo réelle de notre couveuse

II.3 Les composants électroniques

Nous allons exposer les composants électroniques qui seront employés pour garantir le bon fonctionnement des systèmes, ainsi que les schémas de câblage correspondants.

II.3.1 Une carte Arduino

Un Arduino est une carte électronique équipée d'un microcontrôleur programmable qui a pour rôle recevoir des signaux externes/internes, les traiter, et prendre des décisions suivant un programme qu'on écrit et qu'on lui téléverse.

Il existe plusieurs types de cartes Arduino, parmi lesquelles on peut citer ArduinoUno, Yun, Méga, Nano...etc. La carte la plus utilisée et la plus connue est la carte ArduinoUno, la Figure 16. La représente avec ces différents éléments.

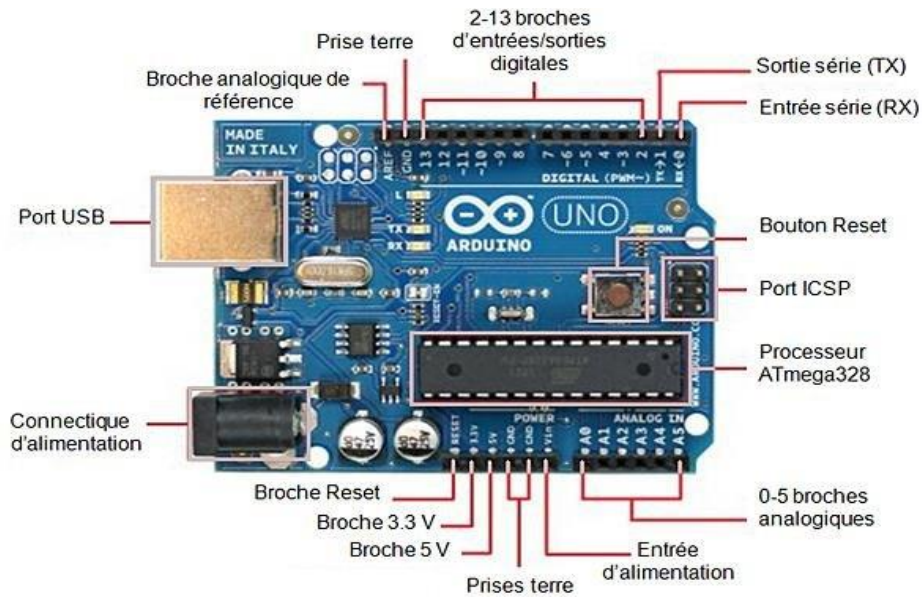


Figure II.20: Description des différents composants d'une carte Arduino

L'avantage de la carte Arduino est de nous proposer un microcontrôleur prêt à l'emploi, où les entrées/ sorties, la connectique et l'alimentation sont tous aménagés sur une seule carte.

La carte Arduino est construite autour d'un microcontrôleur ATmega 328p avec une capacité de mémoire de 32 ko pour l'Arduino UNO.

II.3.2 Le microcontrôleur ATmega328

Durant toutes les phases de développement de ce projet nous avons utilisé la carte ArduinoUno comme l'unité de contrôle de notre système, néanmoins, dans le circuit final nous n'utilisons que l'ATMega328, qui est le cœur de la carte ArduinoUno. Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un Microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328 et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).



Figure II.21: Microcontrôleur ATmega328.

II.3.3 Afficheur LCD I2C

C'est un afficheur à cristaux liquides (Liquid Crystal Display), utilisant le protocole de communication I2C pour afficher les données, dans notre projet, nous allons utiliser un afficheur LCD dont la taille est de 2×16 (2 lignes × 16 colonnes) sera destiné à l'affichage de l'humidité et la température. Le montage est très simple, il suffit de câbler le 5 V de l'Arduino Uno sur la broche VCC, la masse de l'Arduino Uno sur la broche GND et la broche GND du support de l'afficheur, la masse A4 sur la broche SDA, la masse de l'Arduino A5 sur la broche SCL de l'afficheur LCD.



Figure II.22: Écran LCD type GDM 1602K (2lignes x 16 colonnes) et son module I2C

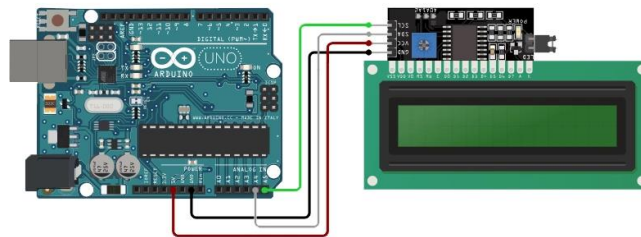


Figure II.23: Schéma de câblage de l'afficheur LCD

II.3.4 Moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est une machine qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique, et qui divise une rotation complète en un nombre d'étapes égales. Le couple moteur et la précision sont les deux paramètres les plus importants qui nous ont poussés à opter pour ce type de moteur. Ce moteur va être utilisé dans un mécanisme permettant de faire translater le plateau afin de retourner les œufs. Le moteur pas-à-pas est programmé à l'aide de la carte Arduino pour effectuer une rotation de 90 degrés en alternance toutes les trois heures.

Le câblage pour le moteur pas à pas

- In1 —————> pin 8
- In2 —————> pin 9
- In3 —————> pin 10
- In4 —————> pin 11
- 5V —————> GND
- 12V —————> 5V

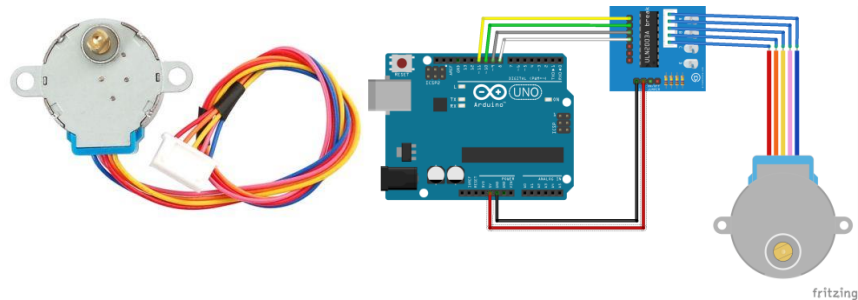


Figure II.24: Moteur pas à pas ; Schéma de câblage de moteur pas à pas

II.3.5 Capteur de température et d'humidité (DHT11)

Le capteur DHT11 est un composant électronique qui permet de mesurer les valeurs de la température et de l'humidité simultanément. Le choix de ce type de capteur est dû principalement à son prix réduit et à sa facilité d'utilisation. Le capteur DHT11 possède 4 broches, mais il est souvent vendu sur une carte support qui possède 3 broches. Il communique avec l'Arduino très simplement au travers d'une de ses broches et les 2 autres broches assurent son alimentation 5 V et la masse (GND). Le montage est très simple, il suffit de câbler le 5 V de l'Arduino Uno sur la broche 5 V, la masse de l'Arduino Uno sur la broche GND et la broche DATA du capteur sur la broche numérique 2 de l'Arduino Uno par exemple.

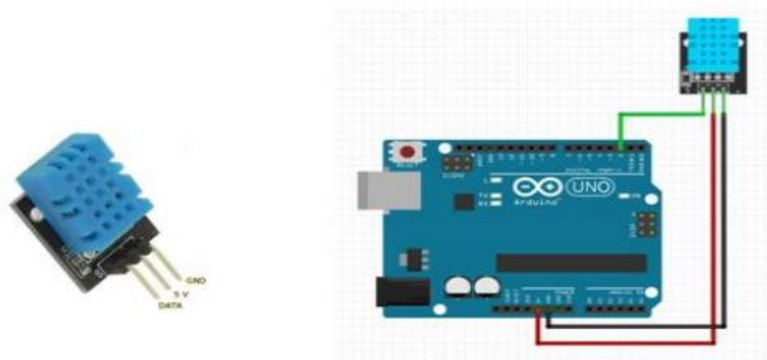


Figure II.25: Capteur DTH11 ; Schéma de montage de DTH11

II.3.6 Relais électromécaniques

Un relais électromécanique, c'est un interrupteur commandé par un électroaimant.

On l'utilise pour isoler l'un de l'autre le circuit de commande (qui actionne l'électroaimant) et le circuit de puissance (qui est contrôlé par l'interrupteur). Il n'existe alors aucune liaison conductrice qui permettrait au courant circulant dans le circuit de puissance d'endommager le circuit de commande.

Le relais permet de résoudre ce problème : l'Arduino contrôle le courant qui circule dans l'électroaimant, et l'interrupteur, situé entre l'ampoule et la prise de courant, permet d'allumer ou d'éteindre l'ampoule (le circuit complet comporte quelques composants supplémentaires visant à protéger la carte Arduino)

VDD -> +5V d'Arduino

GND -> GND Arduino

EN1 -> Pin 7 Arduino (servira à commander le relais 1).

EN2 -> Pin 13 Arduino (servira à commander le relais 2).

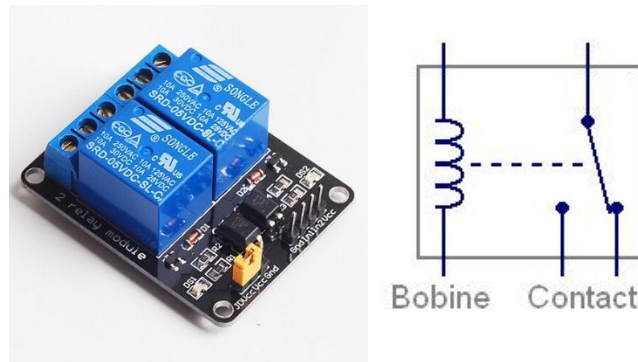


Figure II.26: photo réelle de relais ; Schéma électrique d'un relais

II.3.7 Extracteur/ ventilateur

Un système d'extraction ou d'aération d'air est essentiel pour éliminer l'air humide ou les mauvaises odeurs des pièces équipées et assurer un renouvellement efficace de l'air ambiant. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser un ventilateur dans notre conception. Ce ventilateur est intégré dans un boîtier spécifique qui permet d'assurer un apport suffisant en oxygène aux embryons dans la couveuse. Ainsi, en utilisant ce ventilateur, nous veillons à maintenir un environnement favorable à l'éclosion des œufs et à la santé des poussins à naître.

Le schéma de câblage :

+ —————> pin 13
- —————> in2 relais



Figure II.27: ventilateur

II.3.8 Lampe (résistance électrique)

Nous avons opté pour l'utilisation d'une ampoule à effet Joule classique pour générer une petite quantité de chaleur. Bien que ces ampoules soient principalement conçues pour produire de la lumière, elles contiennent à l'intérieur du globe en verre un filament de métal (tungstène) enroulé en spirales, qui, lorsqu'il est traversé par un courant électrique, génère de la chaleur. Pour éviter tout risque d'incendie, ces ampoules ne s'enflamment pas, car l'intérieur du globe est rempli d'un gaz inerte composé de 1/3 d'azote et 2/3 d'argon, qui empêche la combustion.

La lampe spécifique utilisée dans ce projet est présentée dans la figure suivante. Elle a une puissance de 75W. Positionnée à proximité immédiate du récipient d'eau, elle sert à la fois à générer de la chaleur et à augmenter l'humidité dans l'enceinte. Pour ajuster le taux d'humidité. Tout comme l'extracteur d'air, cette lampe est contrôlée par la carte Arduino. Si la température mesurée à l'intérieur de l'enceinte est inférieure à 38°C, la carte Arduino envoie un courant électrique à la lampe pour qu'elle fonctionne. En revanche, si la température dépasse ce seuil, la carte Arduino coupe le courant électrique pour empêcher la surchauffe.

Schéma de câblage :

+ —————> pin 7
- —————> In1 relais



Figure II.28: lampe 75 w

II.4 Évaluation Préliminaire par Simulation

Pour Assurer l'efficacité avant la Mise en Œuvre Réelle nous avons effectué une simulation du circuit électrique sous le logiciel PROTEUS permettant aux utilisateurs d'observer le comportement des circuits en action et de mesurer les signaux électroniques simulés. Cette fonctionnalité aide à identifier et à corriger d'éventuelles erreurs ou problèmes dans le circuit avant de le mettre en œuvre dans le monde réel [1].

II.4.1 Simulation numérique du projet ISIS Proteus

Avant de procéder à la mise en œuvre de notre projet, il est fortement recommandé d'effectuer une simulation préalable sous ISIS Proteus. Cette étape nous permettra de vérifier le bon fonctionnement des différentes parties du système avant de passer à la réalisation pratique.

Le système est principalement composé des éléments suivants :

- Un relais électrique : Ce relais joue le rôle d'un interrupteur pour contrôler la tension de 220 V dans le circuit.
- Un contrôleur de température et d'humidité DHT11 : Ce capteur est utilisé pour mesurer la température et l'humidité à l'intérieur de la couveuse.
- Une carte Arduino : Cette carte est responsable de la lecture des valeurs de température et d'humidité fournies par le DHT11. Elle affiche ces valeurs sur un écran LCD de 2*16 caractères. De plus, la carte Arduino assure la gestion de l'alimentation de la résistance. Lorsque la température de la couveuse atteint 37,8 °C, elle arrête l'alimentation de la résistance, et lorsque la température chute en dessous de 36 °C, elle la remet en marche.

-Un moteur pas à pas : Ce moteur est utilisé pour faire tourner le plateau d'œufs toutes les 3 heures.

-Un extracteur : Il assure l'aération de la couveuse également toutes les 3 heures.

La simulation préliminaire permettra de s'assurer que tous ces composants fonctionnent correctement ensemble et assurent un contrôle efficace de la température et de l'humidité dans la couveuse pour garantir une incubation optimale des œufs.

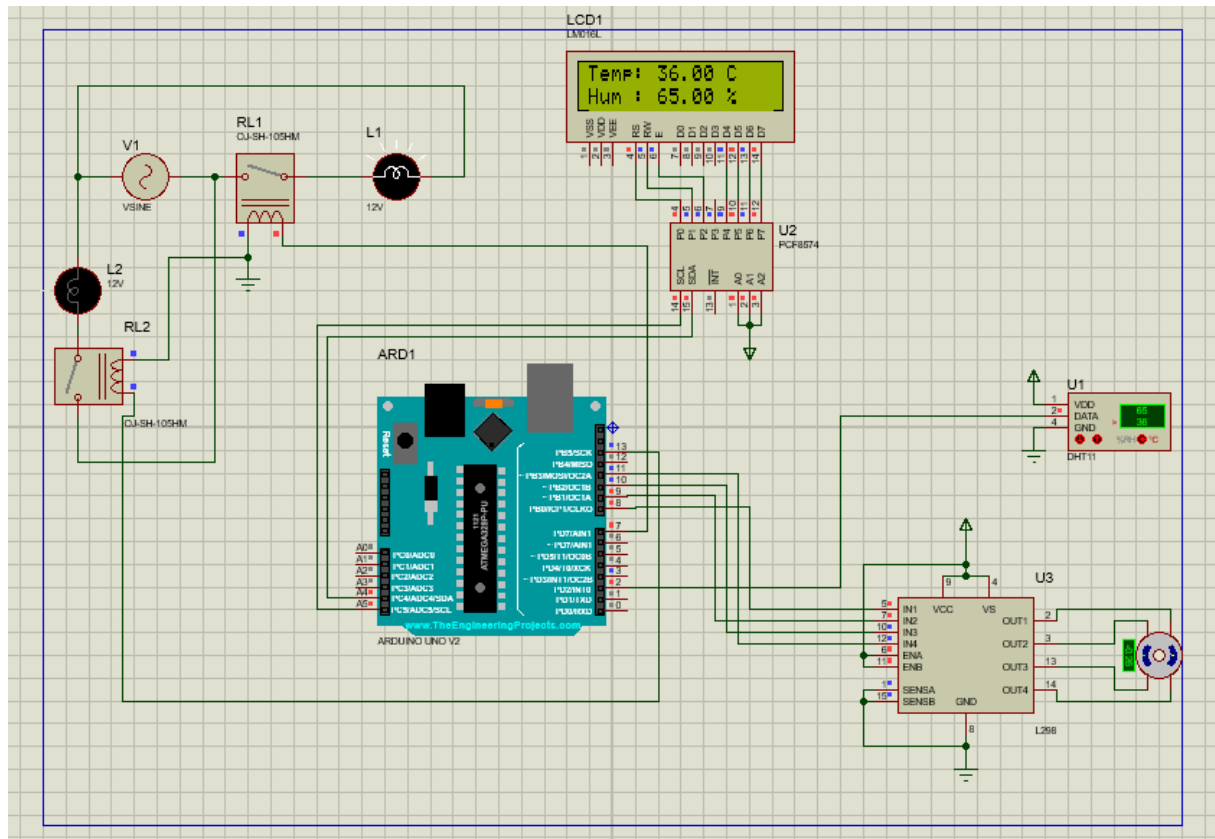


Figure 1.29: schéma électrique de model avec la carte Arduino UNO

II.5 Remplacement de la carte Arduino par un microcontrôleur ATmega328p

Cette étape permet la conception d'un circuit imprimé complètement autonome pouvant être placé directement sur la couveuse. En effet, la couveuse sera alimentée par un courant alternatif 220V qui permet le fonctionnement de la résistance électrique (lampe) et l'alimentation de la carte électronique en 5V via un transformateur électrique. Cependant, l'utilisation d'un microcontrôleur nécessite l'utilisation de deux condensateurs de capacités 22pf et un quartz 16MHz. Comme c'est illustré sur la figure suivante. Une fois le circuit imprimé conçu et les composants assemblés, le programme final permettant le bon fonctionnement de la couveuse pourra être téléchargé sur le microcontrôleur. Ce programme

réagira les différentes actions du système, notamment la gestion de la température et de l'humidité, le contrôle du moteur pas à pas pour la rotation des œufs, ainsi que l'aération de la couveuse par l'extracteur. Enfin, le programme final permettant le bon fonctionnement de notre couveuse est présenté à l'annexe 2.

L'ATmega328 C'est le cerveau de notre projet. Il va recevoir le programme que nous allons créer et va le stocker dans sa mémoire avant de l'exécuter. Grâce à ce programme, il va être capable de faire les tâches nécessaires pour gérer l'incubateur. On peut utiliser le ATmega328 sans Arduino en l'insérant dans un circuit électronique minimal consiste d'une alimentation 5V avec quartz externe de 16MHz et deux condensateurs de 22 pF en céramique. Comme présenté sur la figure.

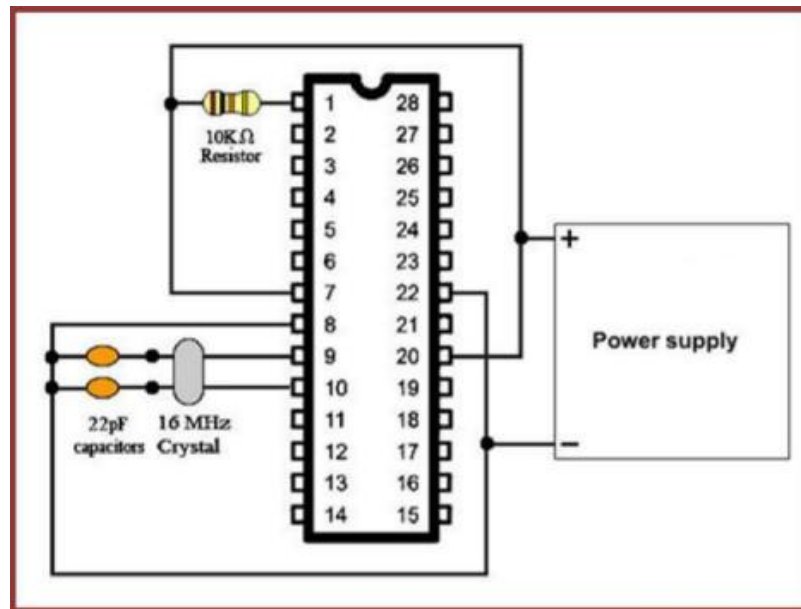


Figure II.30: ATmega328 + Quartz et deux condensateurs.

La figure suivante montre la correspondance entre les broches de l'Atmega328 et les broches de l'Arduino :

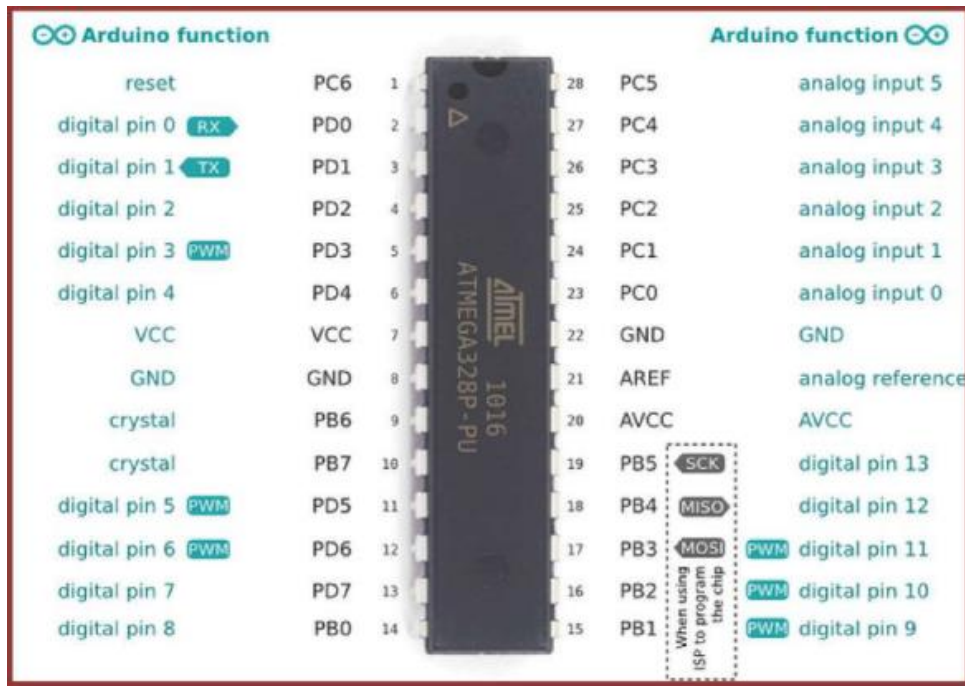


Figure II.31: Brochage de l'ATmega328.

II.6 Conclusion

En cours de ce chapitre nous avons exploré les différents étapes et processus impliqués dans la conception d'une couveuse d'œufs automatique et fonctionnelle.

Tout d'abord, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks un logiciel de (CFAO), pour modéliser et concevoir les différents éléments de la couveuse d'œufs automatique. Grâce à ses fonctionnalités avancées, nous avons pu créer des modèles 3D précis de la couveuse d'œufs, en tenant compte de tous les paramètres importants tels que la capacité, les dimensions, et les matériaux.

Ensuite, nous avons utilisé ISIS Proteus, un logiciel de simulation électronique et électrique, pour concevoir le circuit électrique de la couveuse d'œufs. Ce logiciel nous a permis de créer et de simuler le circuit de commande et de puissance, en intégrant les composants tels que le relais, le capteur de température et d'humidité, la résistance (lampe), moteur pas à pas. Grâce à cette simulation, nous avons pu vérifier le bon fonctionnement du circuit et repérer d'éventuelles erreurs ou problèmes de performances.

Pour conclure, des essais ont été effectués en utilisant la carte électronique, au cours desquels nous avons observé que le système de notre couveuse d'œufs fonctionne de manière satisfaisante et optimale.

Chapitre III

Etude et dimensionnement

III.1 Introduction

Avant de procéder à la fabrication du produit, des études préliminaires doivent être effectuées, conformément à tout processus de conception. Par conséquent, ce chapitre présentera le calcul de la puissance de la résistance électrique nécessaire pour chauffer la couveuse, l'intensité du relais électrique, La vérification de la tige de retournement des œufs à la résistance, Les dimensions géométriques d'une transmission par courroie et l'étude technico-économique.

III.2 Bilan énergétique

L'analyse vise principalement à déterminer le dimensionnement de la résistance électrique nécessaire pour le chauffage de la couveuse. Pour atteindre cet objectif, nous commencerons par évaluer la quantité de chaleur requise pour chauffer l'air à l'intérieur de la couveuse ainsi que ses accessoires, en prenant en compte les échanges de chaleur avec l'air ambiant. Ensuite, nous procéderons à l'évaluation de la puissance requise pour la résistance électrique. Ces étapes nous permettront de présenter les résultats suivants :

$$Q_{nec} = Q_{air} + Q_{parois} + Q_{acc} \quad (01)$$

Avec

Q_{nec} : Quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage de la couveuse [J] ;

Q_{air} : Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer l'air situé à l'intérieur de l'enceinte [J] ;

Q_{parois} : Quantité de chaleur absorbée par les parois [J] ;

Q_{acc} : Quantité de chaleur absorbée par les différents accessoires [J].

III.2.1 Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer l'air à l'intérieur de la couveuse

La quantité de chaleur nécessaire pour chauffer l'air situé à l'intérieur de la couveuse est donnée par la formule suivante :

$$Q_{air} = m_{air} \times Cp_{air} \times (T_f - T_i) \quad (2)$$

D'où :

$$m_{air} = \rho_{air} \times V$$

Le volume intérieur de notre incubateur vaut :

$$V = L \times B \times H = 0.206 \times 0.331 \times 0.252 = 0.0171m^3$$

Avec :

L : longueur intérieure de l'enceinte

B : largeur intérieure de l'enceinte

H : hauteur intérieure de l'enceinte

m_{air} : Masse d'air en [Kg] ;

$\rho_{air} = 1.292 \text{ Kg/m}^3$: Masse volumique de l'air [10];

V : Volume de l'enceinte en [m^3] ;

$Cp_{air} = 1005 \text{ J/ (Kg. } ^\circ\text{C)}$: Chaleur spécifique de l'air [11] ;

$T_f = 37,8 \text{ } ^\circ\text{C}$: Température finale (souhaitée, désiré) ;

$T_i = 5^\circ\text{C}$: Température initiale (cette valeur correspond à la période hivernale, donc la plus critique) ;

Nous remplaçons toutes ces valeurs dans l'équation (2), le résultat obtenu est :

$$Q_{air} = 1.292 \times 0.0171 \times 1005 \times 32.8$$

$$Q_{air} = 728.28J \tag{3}$$

III.2.2 Calcul de la quantité de chaleur absorbée par les parois

La formule suivante permet de calculer la quantité de chaleur absorbée par les parois :

$$Q_{\text{parois}} = m_p \times C_{p_p} \times (T_f - T_i) \quad (4)$$

Avec :

$$m_p = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$$

D'où :

$$m_1 = 2 \times 484.49 = 0.96898 \text{ kilogramme}$$

$$m_2 = 0.89354 \text{ kilogramme}$$

$$m_3 = 0.89446 \text{ kilogramme}$$

$$m_4 = 2 \times 0.57485 = 1.1497 \text{ kilogramme}$$

$$m_p = 0.9689 + 0.89354 + 0.89446 + 1.1497 = 3.90668 \text{ kg}$$

D'où

m_1 : Masse des plaques latérale ; Valeur relevée à partir de logiciel solidworks

m_2 : Masse de la plaque dessous ; Valeur relevée à partir de logiciel solidworks

m_3 : Masse de la plaque dessus ; Valeur relevée à partir de logiciel solidworks

m_4 : Masse des plaque face et arrière ; Valeur relevée à partir de logiciel solidworks

$m_p = 3.90668\text{kg}$: Masse totale des plaques ;

$C_{p_{\text{parois}(ba13)}} = 1000 \text{ J}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$: Chaleur spécifique des parois en plaque en plâtre [12] ;

En substituant tous ces paramètres dans l'équation (4), nous obtenons :

$$Q_{\text{parois}} = 3.90668 \times 1000 \times 32.8$$

$$Q_{\text{parois}} = 128139.104\text{J} \quad (5)$$

III.2.3 Calcul de la quantité de chaleur absorbée par les accessoires

La formule suivante permettra de calculer la quantité de chaleur absorbée par chacun des accessoires afin d'atteindre la température désirée :

$$Q_{acc} = m_{acc} \times Cp_{acc} \times (T_f - T_i) \quad (6)$$

Avec :

Q_{acc} : Quantité de chaleur absorbée par l'accessoire [J] ;

m_{acc} : Masse de l'accessoire [Kg] ;

Cp_{acc} : Chaleur spécifique du matériau de l'accessoire [J/Kg. °C] ;

T_i : Température initiale [°C] ;

T_f : Température finale (recherchée) [°C].

Dans la suite, nous présenterons les calculs concernant les quantités de chaleur absorbées par les accessoires de la couveuse, à savoir : l'alvéole en PVC, les œufs, l'eau, le récipient d'eau et la tige :

a. Alvéole en plastique (PVC)

Voici l'image de l'alvéole. Elle a été fabriquée à partir d'un tube en PVC utilisé couramment en plomberie sanitaire. Cette alvéole est conçue pour accueillir jusqu'à 12 œufs de canaris de taille moyenne :

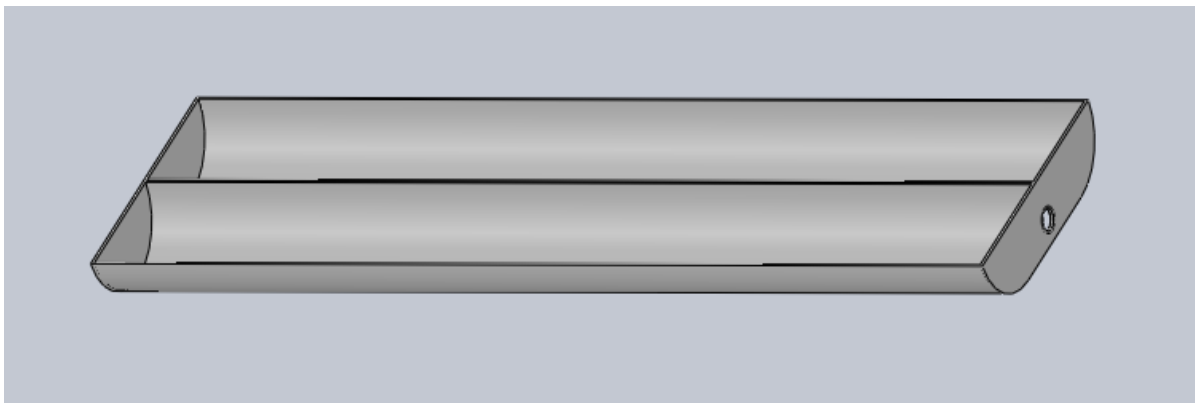


Figure III.1 : Alvéole en plastique (PVC)

$$Q_{alvéole} = m_{alvéole} \times C_{p_{pvc}} \times (T_f - T_i) = 0.04 \times 1004 \times (37,8 - 5)$$

$$Q_{alvéole} = 1317.248J$$

Où :

$Q_{alvéole}$: Quantité de chaleur absorbée par le PVC ;

$m_{alvéole}=0.04kg$: Masse de l'alvéole évaluée directement par le logiciel Solidworks ;

$C_{p_{pvc}}= 1004 [J/Kg. ^\circ C]$: La chaleur spécifique de Pvc ; Valeur relevée à partir de logiciel solidworks.

b. Bac à eau en plastique

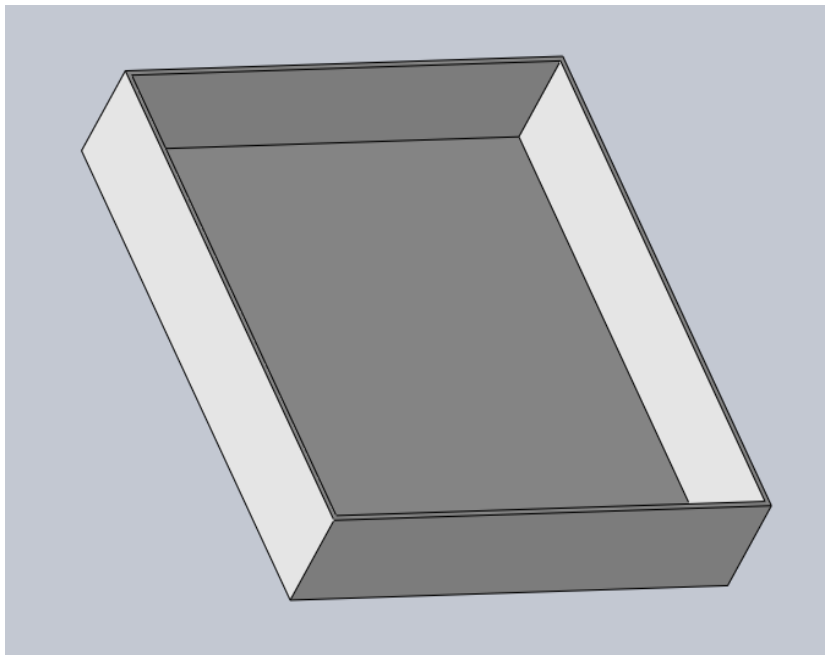


Figure III.2 : Bac à eau en plastique

$$Q_{recipient} = m_{recipient} \times C_{p_{plastique}} \times (T_f - T_i) = 0.17 \times 1386 \times 32.8$$

$$Q_{recipient} = 7728.33J$$

Où

$m_{recipient} = 0.17kg$: Masse du récipient, obtenue depuis le logiciel solidworks;

$C_{p_{plastique}} = 1386 [J/Kg. ^\circ C]$: Valeur relevée à partir de logiciel solidworks ;

c. Œufs :

$$Q_{\text{œufs}} = 12 \times m_{\text{œufs}} \times Cp_{\text{œufs}} \times (T_f - T_i) = 12 \times 0.006 \times 3060 \times 32.8$$

$$Q_{\text{œufs}} = 7226.496 \text{ J}$$

D'Où

$m_{\text{œufs}} = 0,006 \text{ kg}$: Masse moyenne d'un œuf de canari.

$Cp_{\text{œuf}} = 3060 \text{ [J/Kg. } ^\circ\text{C]}$: La chaleur spécifique de l'œuf [13]

$Z=12$: Nombre d'œufs que peut comporter la couveuse.

d. Eau

$$Q_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \times Cp_{\text{eau}} \times (T_f - T_i) = 0.2 \times 4186 \times 32.8$$

$$Q_{\text{eau}} = 27460.16 \text{ J}$$

D'Où

$Cp_{\text{eau}} = 4186 \text{ [J/Kg. } ^\circ\text{C]}$: La chaleur spécifique de l'eau [11] ;

$m_{\text{eau}} = 0.2 \text{ kg}$: Le bac comporte un demi litre d'eau ;

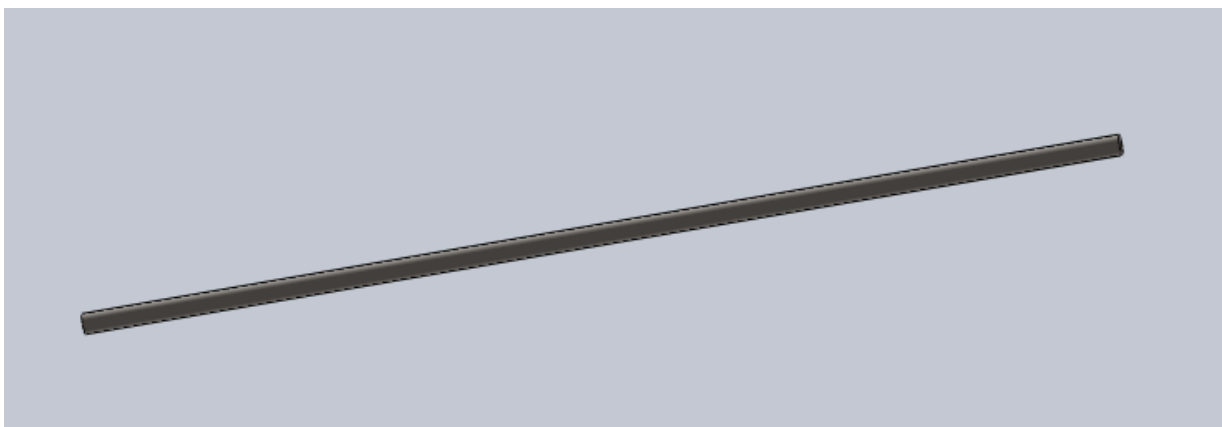
e. Tige

Figure III.3 : tige filetée

$$Q_{tige} = m_{tige} \times Cp_{tige} \times (T_f - T_i)$$

Avec

$$m_{tige} = v \times \varphi = s \times L \times \varphi = \frac{\pi \times d^2}{4} \times L \times \varphi$$

$$m_{tige} = \frac{3.14 \times 0.006^2}{4} \times 0.314 \times 7850 = 0.0696 \text{ kg}$$

m_{tige} : La masse de la tige en acier ;

$Cp_{tige} = 486 \text{ [J / Kg. }^\circ\text{C]}$; Valeur obtenue depuis le logiciel solidworks.

$d = 0.006 \text{ m}$: diamètre de la tige ;

$L = 0.314 \text{ m}$: La longueur de la tige ;

$\varphi = 7850 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$; Masse volumique de la tige ; Valeur obtenue depuis le logiciel solidworks

$$Q_{tige} = 0.0696 \times 486 \times 32.8$$

$$\mathbf{Q_{tige} = 1109.479J}$$

- La quantité de chaleur absorbée par les accessoires vaut :

$$Q_{acc} = Q_{alveole} + Q_{recipient} + Q_{œufs} + Q_{eau} + Q_{tige}$$

$$Q_{acc} = 1317.17 + 7728.33 + 7226.496 + 27460.16 + 1109.479$$

$$\mathbf{Q_{acc} = 44841.713 J} \quad (7)$$

Enfin, la quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage de la couveuse s'obtient en substituant les résultats (02), (5) et (7) des équations dans l'équation (01) :

$$Q_{nec} = Q_{air} + Q_{parois} + Q_{acc}$$

$$Q_{nec} = 728.28 + 128139.104 + 44841.713$$

$$\mathbf{Q_{nec} = 173709.097 J} \quad (8)$$

III.2.4 Dimensionnement de la résistance chauffante

On peut calculer la puissance de la résistance chauffante en se basant sur la quantité de chaleur requise pour chauffer la couveuse et la durée du processus de chauffage, ainsi nous pouvons écrire :

$$P_{resistance} = \frac{Q_{nec}}{t} = \frac{173709.097}{3600} = 48.25w \quad (9)$$

En utilisant une résistance d'environ 60 W, l'enceinte de la couveuse peut être chauffée en une heure.

Le temps de chauffe de la couveuse en utilisant d'une lampe électrique ayant une puissance de 75W, fonctionnant à effet Joule, peut être calculé comme suit :

$$P_{resistance} = \frac{Q_{nec}}{t} \quad (10)$$

D'où

$$t = \frac{Q_{nec}}{P_{resistance}} = \frac{173709.097}{75} = 2316s \quad (12)$$

Cette valeur du temps, 38 minutes, permet de chauffer la couveuse et ses accessoires de 5°C à 37.8°C en utilisant une résistance de 75 watts.

La durée nécessaire pour chauffer une couveuse dépend de la température initiale. Plus la température initiale est élevée plus le temps de chauffage est réduit. Cela est dû au fait que la différence de température entre la température initiale et la température souhaitée est moindre, ce qui nécessite moins de temps pour atteindre la température désirée.

III.2.5 Dimensionnement du relais

Dans cette section, nous allons déterminer l'intensité du relais électrique nécessaire pour la commande de la lampe électrique fonctionnant à 220V. Pour cela, nous allons calculer la consommation de la lampe en courant électrique. Voici les résultats :

$$P = U \times I \quad (13)$$

D'où

$P=75\text{W}$: Puissance de la lampe ;

$U=220\text{V}$: Tension d'alimentation en courant alternatif ;

I : Intensité du courant (A).

Une application directe de l'équation (13) permet de calculer la valeur I :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{75}{220} = 0.34 \text{ A}$$

Ainsi, Le relais électrique à utiliser doit pouvoir supporter un courant électrique de 0,34 A. Cependant, dans ce projet, nous utilisons un relais de 10A, car c'est la valeur minimale disponible sur le marché.

En utilisant la loi d'Ohm, nous pouvons également calculer la valeur de la résistance de la lampe électrique :

$$U = R \times I \tag{14}$$

D'où

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.34} = 647.05\Omega \tag{15}$$

III.2.6 Calcul des déperditions

Les déperditions sont calculées en utilisant la formule suivante :

$$D = k \times S$$

Où

D : Déperditions des parois [$\text{W}/^\circ\text{C}$]

K : Coefficient global de transmission thermique des parois considérées [$\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$] ;

S : Surface de la paroi considérée [m^2]

III.2.6.1 Calcul du coefficient global de transmission thermique des parois en plâtre

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi caractérise la quantité de chaleur traversant une paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de températures entre les ambiances situées de part et d'autre de ladite paroi. Ce coefficient est l'inverse de la résistance thermique totale de la paroi, plus sa valeur est faible plus la paroi est isolée. Nous avons :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{1}{hi} + \sum_{i=0}^n \frac{e_i}{\lambda_i}} \tag{17}$$

Où

he : Coefficient de convection extérieure [$\frac{W \times m^2}{^\circ C}$];

hi : Coefficient de convection intérieure de la paroi [$\frac{W \times m^2}{^\circ C}$];

$\sum_{i=1}^n$ = Somme à considérer dans le cas des différents matériaux utilisés (matériaux composites) [m] ;

$e_1 = 0,013 m$: Epaisseur de la paroi en plâtre ;

$\lambda_1 = 0,25 [W/m. ^\circ C]$: Coefficient de conductivité thermique de la paroi considérée (plaque en plâtre ba13) [12]

Les valeurs des coefficients de convection intérieure et extérieure peuvent être déterminées directement à partir du tableau suivant [14] :

	Paroi en contact avec : L'extérieur Un passage ouvert, Un local ouvert			Paroi en contact avec : Un autre local, chauffé ou non chauffé Un comble un vide sanitaire		
	1/hi	1/he	1/hi+1/he	1/hi	1/he	1/hi+1/he
Paroi Verticale ou faisant avec le plan horizontale un angle supérieur à 60°	0.11	0.06	0.17	0.11	0.11	0.22
Paroi horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal inférieur à 60°, flux ascendant (toiture)	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18
Flux descendant (plancher bas)	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

Tableau III.1 : Tableau de coefficients de convection intérieure et extérieure

En tenant compte de tous ces paramètres dans l'équation (17), nous obtenons :

$$k_{mur} = \mathbf{k}_1 = \frac{1}{0.17 + \frac{0.013}{0.25}}$$

$$\mathbf{k}_1 = 4.50 \left[\frac{\mathbf{w} \times \mathbf{m}^2}{^\circ\mathbf{C}} \right] \quad (18)$$

$$k_{plancher} = \mathbf{k}_2 = \frac{1}{0.22 + \frac{0.013}{0.25}}$$

$$\mathbf{k}_2 = 3.676 \left[\frac{\mathbf{w} \times \mathbf{m}^2}{^\circ\mathbf{C}} \right] \quad (19)$$

$$k_{toiture} = k_3 = \frac{1}{0.14 + \frac{0.013}{0.25}}$$

$$\mathbf{k}_3 = 5.2 \left[\frac{\mathbf{w} \times \mathbf{m}^2}{^\circ\mathbf{C}} \right] \quad (20)$$

III.2.6.2 Calcul coefficient global de transmission thermique des parois en polystyrène

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \sum_{i=0}^n \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

$e_2 = 0,025m$: Epaisseur de la paroi en polystyrène ;

$0.029 \leq \lambda_2 \leq 0.034$ [$W/m^\circ C$] : Coefficient de conductivité thermique de la paroi considérée polystyrène [12].

On prend $\lambda_2 = 0.030 W / m^\circ C$

$$k_{mur} = k_4 = \frac{1}{0.17 + \frac{0.025}{0.030}}$$

$$\mathbf{k}_4 = 0.996 \left[\frac{\mathbf{w} \times \mathbf{m}^2}{^\circ\mathbf{C}} \right] \quad (21)$$

$$k_{\text{plancher}} = k_5 = \frac{1}{0.22 + \frac{0.025}{0.030}}$$

$$k_5 = 0.949 \left[\frac{\text{W} \times \text{m}^2}{^\circ\text{C}} \right] \quad (22)$$

$$k_{\text{toiture}} = k_6 = \frac{1}{0.14 + \frac{0.025}{0.030}}$$

$$k_6 = 1.02 \left[\frac{\text{W} \times \text{m}^2}{^\circ\text{C}} \right] \quad (23)$$

III.2.6.3 Calcul des différentes superficies de chacune des parois

- La surface de l'extracteur est :

$$S_1 = 0.070 \times 0.072 = 0.00504 \text{ m}^2 \quad (24)$$

- La surface des quatre murs de plâtre latéraux intérieure vaut :

$$\begin{aligned} S_2 &= 2 \times (L \times H) + 2 \times (B \times H) = 2 \times (0.18 \times 0.252) + 2 \times (0.18 \times 0.305) \\ &= 0.09 + 0.10 \end{aligned}$$

$$S_2 = 0.19 \text{ m}^2 \quad (25)$$

- La surface du plancher intérieure est :

$$S_3 = (L \times l) = 0.252 \times 0.331 = 0.083 \text{ m}^2 \quad (26)$$

- La surface de la toiture intérieure est :

$$S_4 = (L \times l) = 0.252 \times 0.331 = 0.083 \text{ m}^2 \quad (27)$$

- La surface des quatre murs latéraux extérieure est calculée en tenant compte (la surface de l'extracteur et la surface d'une paroi latéraux intérieure) :

$$S_5 = 2 \times (L \times H) + [(B \times H) - (0.070 \times 0.072)] + [(B \times H) - (0.305 \times 0.18)]$$

$$S_5 = 2(0.326 \times 0.250) + [(0.326 \times 0.451) - (0.070 \times 0.072)] \\ + [(0.326 \times 0.451) - (0.305 \times 0.18)]$$

$$S_5 = 0.397 \text{ m}^2 \quad (28)$$

- La surface du plancher extérieure est :

$$S_6 = (L \times l) = (0.425 \times 0.250) = 0.1062 \text{ m}^2 \quad (29)$$

- La surface de la toiture extérieure est :

$$S_7 = (L \times l) = 0.425 \times 0.250 = 0.1062 \text{ m}^2 \quad (30)$$

- La surface des 3 murs latéraux en polystyrène est :

$$S_8 = 2 \times (L \times H) + (B \times H) = 2 \times (0.250 \times 0.206) + (0.2 \times 0.178) \\ = 0.138 \text{ m}^2 \quad (31)$$

- La surface du plancher polystyrène est :

$$S_9 = (L \times l) = 0.424 \times 0.250 = 0.106 \text{ m}^2 \quad (32)$$

- La surface de la toiture polystyrène est :

$$S_{10} = (L \times l) = 0.424 \times 0.250 = 0.106 \text{ m}^2 \quad (33)$$

En prenant en compte tous ces paramètres dans l'équation (16), nous obtenons la déperdition des parois :

- Déperditions des parois intérieures en plâtre

$$D_{\text{mur}} = D_1 = k_1 \times S_2 = 0.855 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (34)$$

$$D_{\text{plancher}} = D_2 = k_2 \times S_3 = 0.3051 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (35)$$

$$D_{\text{toiture}} = D_3 = k_3 \times S_4 = 0.431 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (36)$$

- Déperditions des parois extérieures en plâtre

$$D_{\text{mur}} = D_4 = k_1 \times S_5 = 1.77 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (37)$$

$$D_{\text{plancher}} = D_5 = k_2 \times S_6 = 0.39 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (38)$$

$$D_{\text{toiture}} = D_6 = k_3 \times S_7 = 0.55 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (39)$$

- Déperditions de parois en polystyrènes

$$D_{\text{mur}} = D_7 = k_5 \times S_8 = 0.996 \times 0.138 = 0.137 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (40)$$

$$D_{\text{plancher}} = D_8 = k_6 \times S_9 = 0.949 \times 0.106 = 0.10 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (41)$$

$$D_{\text{toiture}} = D_9 = k_7 \times S_{10} = 1.03 \times 0.106 = 0.108 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (42)$$

- La déperdition totale est :

$$D_{\text{totale}} = \sum_{i=1}^{n=9} D_i \quad (43)$$

$$D_{\text{totale}} = 4.6461 \text{ W}/^\circ\text{C} \quad (44)$$

III.3 Vérification de la tige de retournement des œufs à la résistance

III.3.1 Description de la tige

La tige utilisée pour le retournement des œufs est une tige filetée M6 de longueur 400mm et placée sur deux appuis comme c'est illustré sur la figure ci-après :

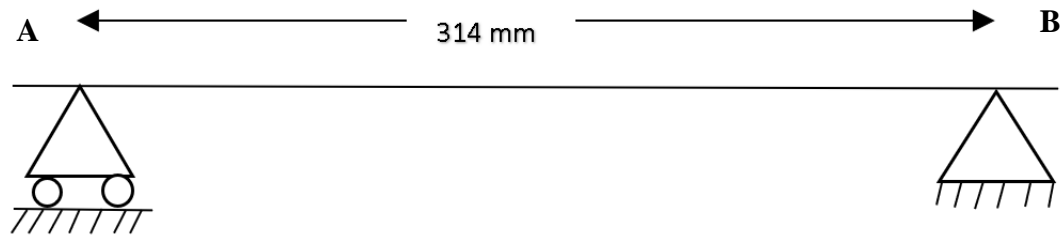


Figure III.4 : Tige filetée M6 de longueur 400mm et placée sur deux appuis.

D'où

$m_{oeufs} = 0.006 \times 12 = 0.072$ kg, Masse totale de 12 œufs de canaris ;

$m_{alvéole} = 0.04$ kg,

$$m_{tige} = 0.0696 \text{ kg}$$

$$m_{total} = m_{oeufs} + m_{alvéole} + m_{tige} = 0.1816 \text{ kg} \quad (45)$$

Le poids total :

$$p_{total} = m_{total} \times g = 0.1816 \times 9.81 = 1,78 \text{ N}$$

$$p_{total} = 1.78 \text{ N} \quad (46)$$

$$g = 9.81 \text{ m/sec}^2 \quad (47)$$

Ce poids total est appliqué sur toute la longueur de la travée de la tige, ainsi la charge linéaire correspondante sera notée q est-elle est donnée par :

$$q = \frac{p_{total}}{L} = \frac{1.78}{314} = 0.0056 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (48)$$

III.3.1.1. Calcul des réactions

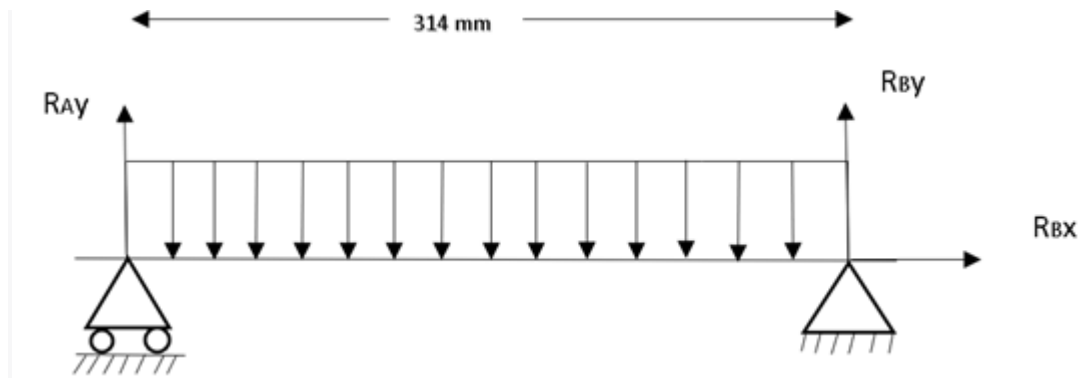


Figure III.5 : Les réactions des appuis

$$\bullet \quad \sum F_m = 0 \rightarrow R_{Bx} = 0 \quad (49)$$

$$\bullet \quad \sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} - q \times L = 0 \quad (50)$$

$$\bullet \quad \sum M/B = 0 \rightarrow R_{Ay} \times L - \frac{q \times L^2}{2} = 0 \quad (51)$$

Donc on trouve :

$$R_{Ay} = \frac{q \times L}{2} \quad (52)$$

$$R_{By} = \frac{q \times L}{2} \quad (53)$$

III.3.1.2. Calcul des efforts

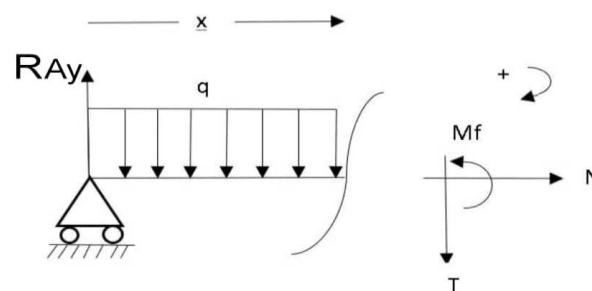


Figure III 6 : effort aux appuis

$$\bullet \quad \sum F_m = 0 \rightarrow N = 0$$

$$\bullet \quad \sum F_y = 0$$

$$\frac{q \times L}{2} - q \times x - T = 0 \quad (54)$$

D'où

$$T = \frac{q \times L}{2} - q \times x \quad (55)$$

Pour

$$\begin{array}{lll} x = 0 & \text{on trouve} & T(0) = \frac{q \times L}{2} \\ x = L & \text{on trouve} & T(L) = -\frac{q \times L}{2} \end{array}$$

$$T_{max} = \frac{q \times L}{2} = 0.87 \text{ N} \quad (56)$$

- $\sum M/B = 0$ on trouve

$$-M_f - q \times \frac{x^2}{2} + R_{Ay} \times x = 0 \quad (57)$$

D'où

$$M_f = R_{Ay} \times x - q \times \frac{x^2}{2}$$

$$M_f = \frac{q \times L \times x}{2} - q \times \frac{x^2}{2} \quad (58)$$

Pour

$$x=0 \quad M_f = 0$$

$$x=L \quad M_f = 0$$

$$\frac{dM_f}{dx} = 0 \quad (59)$$

D'où

$$\frac{q \times L}{2} - q \times x = 0$$

$$\text{On trouve} \quad x=L/2$$

$$M_{F_{max}} = M_f \left(x = \frac{L}{2} \right) = \frac{q \times L^2}{8} \quad (60)$$

$$M_{F_{max}} = 69.01 \text{ N} \times \text{mm}$$

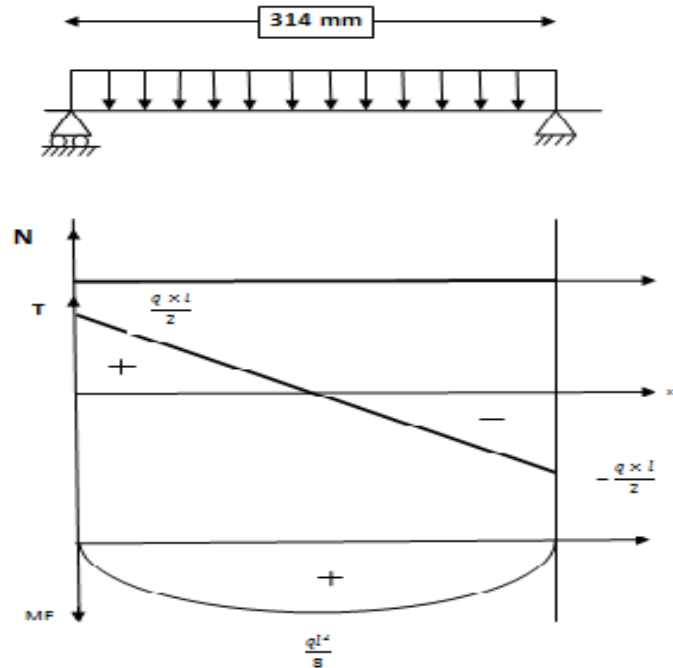


Figure III.7 : Diagramme des efforts

La tige est sollicitée simultanément par une flexion et un cisaillement, ainsi la condition de résistance s'écrit :

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma] \quad (61)$$

D'où :

σ_{eq} : Contrainte équivalente, son expression est donnée par le critère de Von Mises :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (62)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{s} = \frac{350}{2} = 177,5 \text{ MPa} : \text{Contrainte admissible du matériau S235}$$

σ_e : Contrainte élastique

s : Coefficient de sécurité

III.3.2. Contrainte de flexion

$$\sigma_{flex} = \frac{M_f}{I_q} \cdot v \quad (63)$$

D'où, pour une tige filetée M6 :

$$d_2 = 6 - 0.6495 \times pas = 5.35mm \quad (64)$$

$$d_3 = 6 - 1.2268 \times pas = 4.918mm \quad (65)$$

$$d_{res} = \frac{d_2 + d_3}{2} = \frac{5.35 + 4.918}{2} = 5.13mm \quad (66)$$

$$v = \frac{d_2}{2} = 2.67 mm \quad (67)$$

$$M_f = \frac{q \times l^2}{8} = 69.01 Nmm \quad (68)$$

$$I_q = \frac{\pi \times d_{res}^4}{64} = 33.97 mm^4 \quad (69)$$

$$\sigma_{flex} = \frac{69.01 \times 2.67}{33.97} = 5.42 MPa \quad (70)$$

III.3.3 Contrainte de cisaillement

$$\tau_{cis} = \frac{T}{S_r} \quad (71)$$

D'où

$$T = 0.87 N$$

$$S_r = \frac{\pi}{4} \times \frac{d_{res}^2}{2} = \frac{3.14}{4} \times \frac{5.13^2}{2} = 10.32 mm^2 \quad (72)$$

$$\tau_{cis} = \frac{0.87}{10.32} = 0.084 MPa \quad (73)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{5.42^2 + 3 \times 0.084^2} = 5.42 \text{ MPa} \quad (74)$$

En comparant σ_{eq} à la contrainte admissible du matériau S235, nous constatons la résistance de la tige vis-à-vis des sollicitations appliquées.

III.4. Dimension géométrique d'une transmission par courroie

III.4.1 Description

Une transmission par courroie est un mécanisme utilisé pour transmettre un mouvement et de la puissance entre deux poulies. La dimension géométrique d'une transmission par courroie fait référence aux mesures et aux caractéristiques importantes liées à la géométrie de la courroie et des poulies.

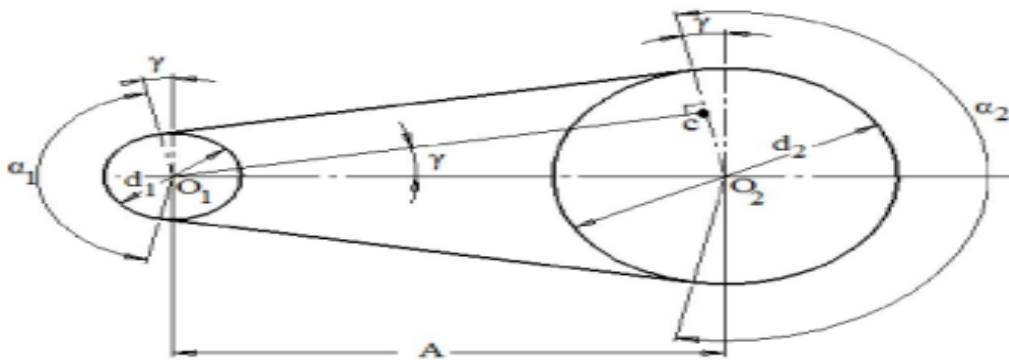


Figure III.8 : Schéma d'une transmission par courroie droite

$d_1 = d_m = 9 \text{ mm}$: Diamètre de la poulie du moteur pas-à-pas ;

$d_2 = d_s = 20 \text{ mm}$: Diamètre de la poulie de sortie ;

$A = 95 \text{ mm}$: L'entraxe entre les deux poulies ;

$J = 20 \text{ mm}$: La mesure de jeu ajoutée à la longueur de la courroie pour la fixation ;

III.4.2. Calcul de la longueur de la courroie

Les angles d'enroulement (α_1 et α_2) et la longueur de la courroie L , dépendent des diamètres des deux poulies (d_m et d_s), de l'entraxe A , du type de transmission droite,

A partir de la figure ci-contre, on a :

$$\alpha_1 = \pi - 2\gamma \quad (75)$$

$$\alpha_2 = \pi + 2\gamma \quad (76)$$

En considérant le triangle O_1cD_2 , rectangle, nous aurons :

$$\sin \gamma = \frac{O_2c}{O_1D_2} = \frac{ds - dm}{2 \times A} = \frac{20 - 9}{190} = 0.0578 \quad (77)$$

D'où

$$\gamma = 3.31$$

On remplace (77) dans les équations (75) et (76) on trouve :

$$\alpha_1 = 173.38 \text{ radian} \quad (78)$$

$$\alpha_2 = 186.62 \text{ radian} \quad (79)$$

Nous pouvons également évaluer la longueur de la courroie à partir du graphe :

$$L = 2 \times O_1c + \frac{dm}{2} \times \alpha_1 + \frac{ds}{2} \times \alpha_2 + j \quad (80)$$

Pour calculer la longueur O_1c , nous allons utiliser le théorème de Pythagore

$$O_1c = \sqrt{A^2 - O_2c^2} = \sqrt{A^2 - \left(\frac{ds - dm}{2}\right)^2} \quad (81)$$

Donc nous aurons :

$$L = 2 \times \sqrt{4 \times A^2 - (ds - dm)^2} + \frac{dm}{2} \times \alpha_1 + \frac{ds}{2} \times \alpha_2 + j \quad (82)$$

Après la simplification, nous obtenir la formule de TEXPORE :

$$L \approx 2 \times A + \frac{(ds - dm)^2}{4 \times A} + \frac{\pi}{2} \times (ds + dm) + j \quad (82)$$

$$L \approx 190 + 0.318 + 45.53 + 20$$

$$L = 255.848 \text{ mm} \quad (83)$$

La longueur de la courroie est de 255.848mm

III.4.3. Calcul de l'angle de rotations

Pour calculer l'angle de rotation de la poulie, nous allons utiliser la formule suivante :

$$x = R_m \times \varphi \quad (84)$$

Applique

$$\varphi = \frac{x}{R_m} \quad (85)$$

D'où

x : représente la longueur de rotation de la courroie ;

φ (phi) : l'angle de rotation de la poulie en radians ;

$R_m = dm/2 = 4.5\text{mm}$: le rayon de la poulie du moteur :

III.4.3.1. Calcul de la longueur de rotation de la courroie

Pour calculer la longueur de rotation de la courroie sur la poulie, nous utilisons la formule :

$$x = \frac{\pi}{2} \times R_s \quad (86)$$

D'où

$R_s = ds/2 = 10\text{mm}$: c'est le rayon de la poulie de sortie ;

$$x = \frac{3.14}{2} \times 10 = 15.7\text{mm} \quad (87)$$

la longueur de rotation de la courroie sur la poulie est de 15.7 mm.

On remplace (87) dans (85) nous aurons :

$$\varphi = \frac{15.7}{4.5} = 3.48 \text{ radian} \quad (88)$$

$$\varphi = 200^\circ$$

III.4.3.2. Calcul de nombre de pas

Pour calculer le nombre de pas pour que le moteur pas-à-pas tourne 90° , nous savons que le moteur effectue 2048 pas pour tourner un angle de 360° .

On peut établir une proportionnalité :

$$Y = \frac{(2048 * 90)}{360} = 512 \text{ pas} \quad (89)$$

Le nombre de pas pour que le moteur tourne 90° est de 512 pas

III.5. Etude techno-économique

Le tableau ci-dessous représente le coût de production approximatif du produit manufacturé.

Composant	Prix
Plaque en plâtre (BA13)	1200DA
Rail métallique	350*2=700 DA
Moteur pas-à-pas	1000 DA
Capteur dht11	700 DA
ATMega328	1200 DA
Extracteur	1300 DA
Afficheur LCD I2C	750 DA
Tige filetée	100 DA
Bac d'eau	50 DA
Resistance électriques	10*3=30 DA
Poulie de retournement	50*2=100DA
Les frais d'usinage	1000 DA
TOTAL HT	8130 DA

Tableau III.2: les prix des composants de la couveuse

Le coût approximatif du produit peut être réduit jusqu'à 40% pour une production en série.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réussi à déterminer les puissances adéquates des résistances chauffantes pour assurer un temps de chauffe d'environ 38 minutes, grâce à une analyse énergétique de la couveuse. De plus, nous avons calculé le courant nécessaire pour activer le relais électrique, responsable de la commande de la résistance chauffante avec une alimentation de courant alternatif de 220V.

Pour assurer la sécurité et garantir le bon fonctionnement de notre couveuse, nous avons procédé au dimensionnement mécanique, ou nous avons calculé la dimension géométrique de la transmission par courroie et la vérification minutieuse de la tige de retournement des œufs à la résistance

Enfin, nous avons mené une étude technico-économique approfondie visant à estimer le coût de production approximatif de la couveuse. Cette analyse a permis d'évaluer l'impact de divers facteurs sur le prix final du produit, offrant ainsi une vue globale de la viabilité économique du projet.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons proposé dans ce projet de concevoir et de fabriquer une couveuse d'œufs automatique, de petites dimensions, ayant une enceinte de forme cubique réalisée à partir des plaques en plâtre où une lampe électrique, fonctionnant à effet de joule, est placée à l'intérieur de l'enceinte afin d'assurer son chauffage. Sous cette lampe, est placé un récipient d'eau permettant de dégager l'humidité nécessaire à l'incubation des œufs. Un extracteur est monté sur la partie supérieure de l'enceinte afin d'évacuer le surplus d'humidité. Les œufs sont placés sur un support préalablement conçu pour effectuer leur retournement à l'aide d'un moteur pas-à-pas. Un capteur électronique, DHT11, est placé au même niveau que les œufs afin de mesurer les valeurs de la température et d'humidité. Enfin, la régulation de tous ces composants électronique et électrique est assurée à l'aide d'une carte Arduino.

Afin d'atteindre l'objectif tant attendu d'une conception, avoir un produit de bonne qualité à un prix réduit, nous avons imaginé des solutions adéquates, simples et réalisables en utilisant un matériel standard où le prix de revient de la couveuse est concrètement réduit. Par ailleurs, cette étude était pour nous, une occasion de faire nos premiers pas dans le vaste terrain de la conception, dans le sens où nous étions amenés à concevoir et à réaliser un mécanisme comportant deux parties mécanique et biologique et à maîtriser la trilogie électricité, électronique et mécanique.

De plus dans ce projet nous avons utilisés plusieurs logiciels très rendus dans le milieu professionnel puisqu'ils permettent une grande rentabilité. Ainsi, nous utilisé le logiciel ISIS Proteus pour la simulation des circuits électriques et électroniques. Nous avons aussi utilisé le logiciel Arduino pour tester facilement la partie commande et la partie puissance. En outre, le logiciel SolidWorks nous a permis de modéliser d'une façon réaliste les composants de notre conception ce qui nous a permis d'imaginer des solutions appropriées.

Enfin, nous espérons que ce travail soit une référence pour les promotions à venir et nous souhaitons qu'ils le trouvent utile et efficace.

Références

Références bibliographiques

- [1] Nau F, Dubiard C.G., FloreneeBouron,Jean-louis Thapon, incubation artificielle science et technologie de l'œuf . production et qualité, TFC et DOC,V.01, p .67-69. 2010
- [2] Yoda Seydou, Etude des performances d'une couveuse solaire dans l'incubation des œufs de poule, Burkina-Faso. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, juin 2011.
- [3] HUBBARD S.A.S, guide d'incubation. 2022
<https://www.hubbardbreeders.com/media/ps-guide-incubation-fr-20221014.pdf>
- [4] Température et humidité pour l'incubation des œufs de poules. (2022, 21 octobre).
[https://choisir-son-poulailler.com/temperature-et-humidite-pour-lincubation-des-oeufs-de-poules#La temperature pour lincubation des oeufs de poule](https://choisir-son-poulailler.com/temperature-et-humidite-pour-lincubation-des-oeufs-de-poules#La%20temperature%20pour%20lincubation%20des%20oeufs%20de%20poule)
- [5] Velthuis A.G.J., Boerjan M., van Riel J. Et Huirne R.B.M., 2008. Field study on broileregghatchability. Poultry Science, 87, 2408-2417.
- [6] Guide Couveuse - Ducatillon.
<https://www.ducatillon.com/guide-couveuse.html#etape3>
- [7] ELHADI LAB Sidahmed, FEKIRI Khadija« Etude et réalisation d'un incubateur automatique a œufs » memoire de master Université de Ain-Temouchent, année 2015/2016.
- [8] Dureau,La reproduction des canaris. Animal-Valley. (2022, 29 mars).
<https://www.animal-valley.com/francais/guide-animaux/la-reproduction-des-canaris/#:~:text=Ponte%20et%20incubation&text=C%27est%20une%20fois%20le,se%20coll e%20%C3%A0%20la%20coquille>. Consulté en juin 2019.
- [9] POUSSINS ET COUVEUSE À ŒUFS, LES PARAMÈTRES INDISPENSABLES POUR UNE BONNE INCUBATION. (s. d.). <https://www.animal-valley.com/francais/guide-animaux/poussins-parametres-indispensables-incubation-couveuse-oeufs/> Consulté en juin 2023
- [10] Contributeurs aux projets Wikimedia. Masse volumique de l'air. fr.wikipedia.org. (2023b).
https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_volumique_de_l%27air Consulté en juin 2023

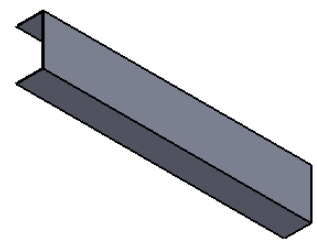
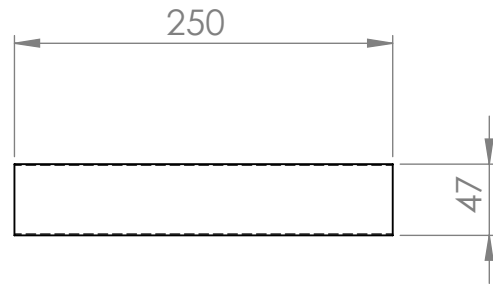
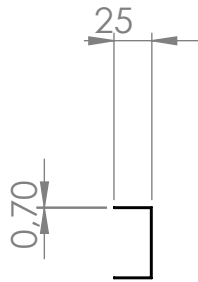
[11] Contributeurs aux projets Wikimedia. (2023). Capacité thermique massique. https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_thermique_massique

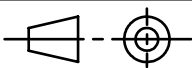
[12] Jean-Michel Pupille , Qualités thermiques comparées des matériaux de construction | Le blog des concepts associés aux maisons passives. - Architecte D.P.L.G.
<https://passivact.fr/Concepts/files/QualiteThermique-ComparaisonsMateriaux.html>

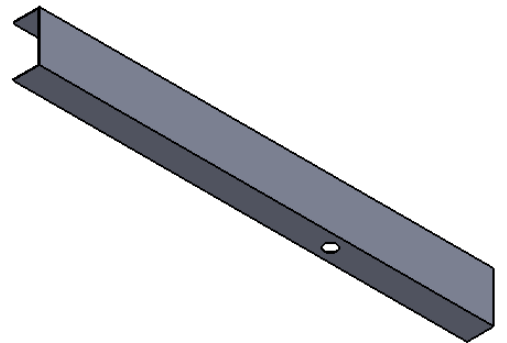
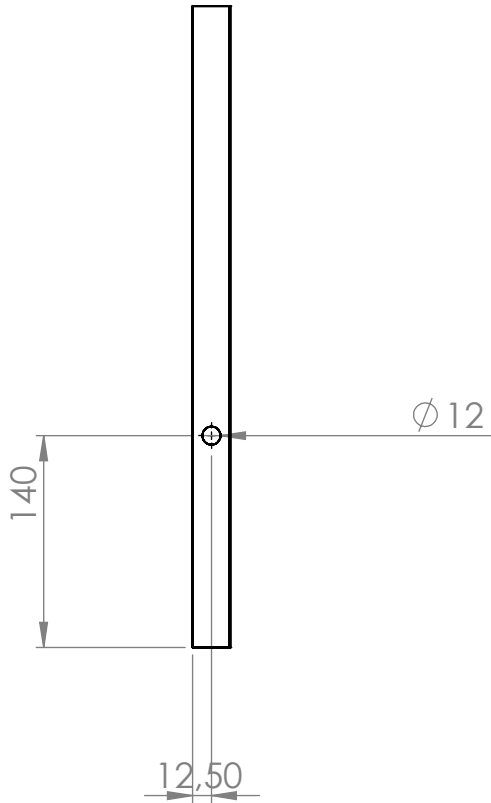
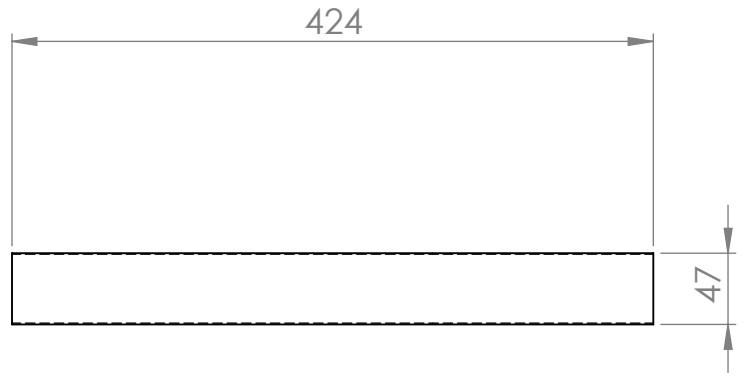
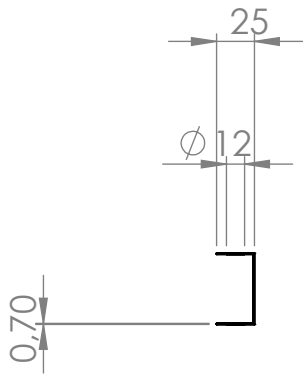
[13] Conditions de conservation des denrées – T.F.C.A. technicien du froid et du conditionnement d’Air.
<https://www.tfca.fr/2-p-o-p/conditions-de-conservation-des-denrees>

[14] Messe, T. J. Y. Calculs thermiques et déperditions, calcul coefficient de transmission thermique, vitrages, bilan, bilans.
<https://www.thermexcel.com/french/ressourc/deperdit.htm>

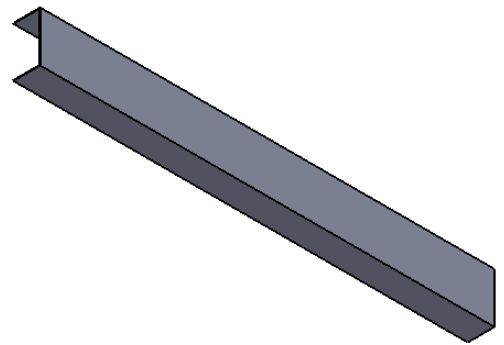
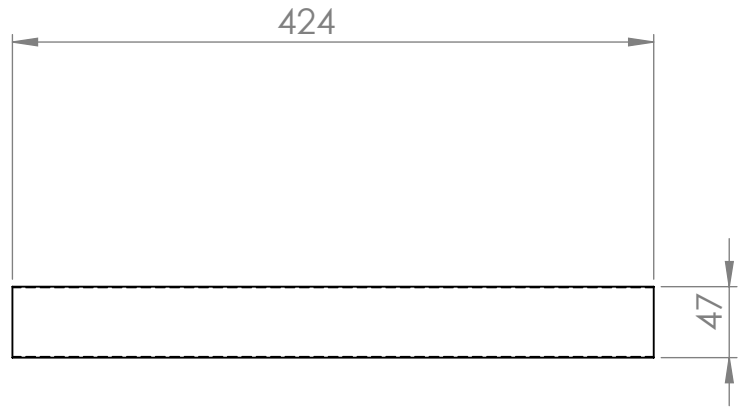
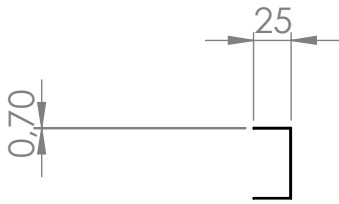
ANNEXE 01
Dessins techniques



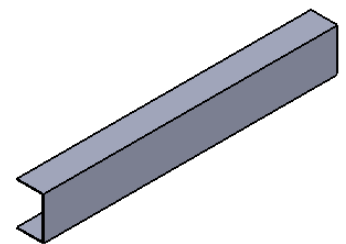
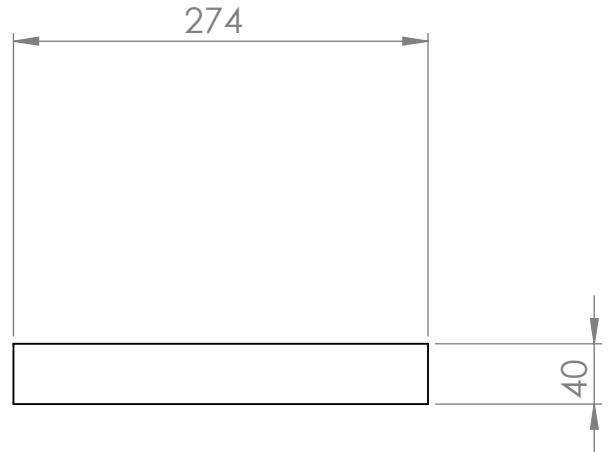
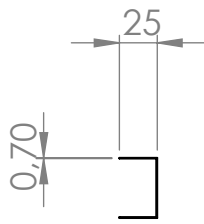
01	04	Support 1	Acier inoxydable	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



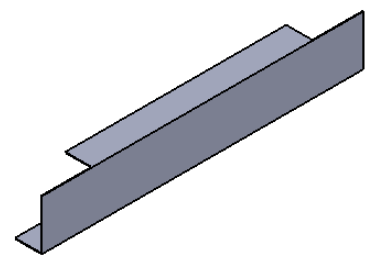
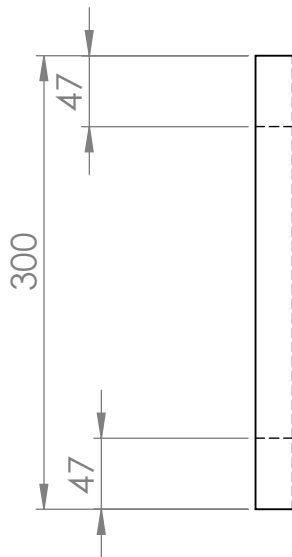
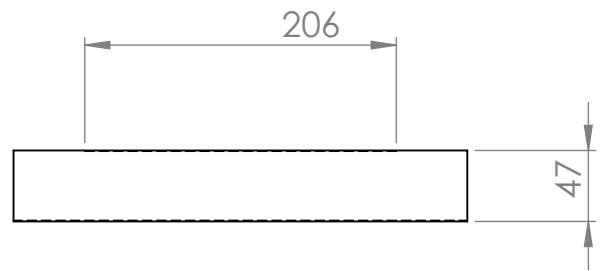
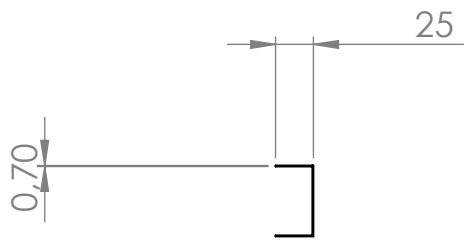
02	01	SUPPORT	Acier inoxydable	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS	Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda	
			Dépt. GM	
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou	09/07/2023	



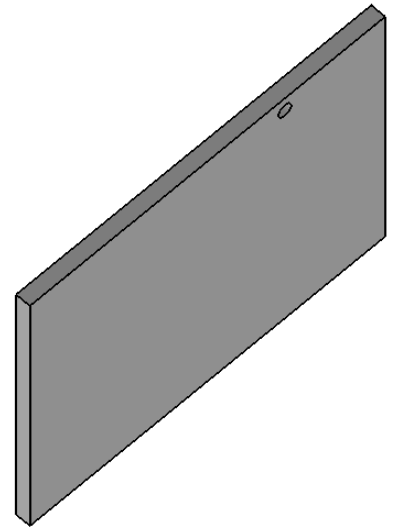
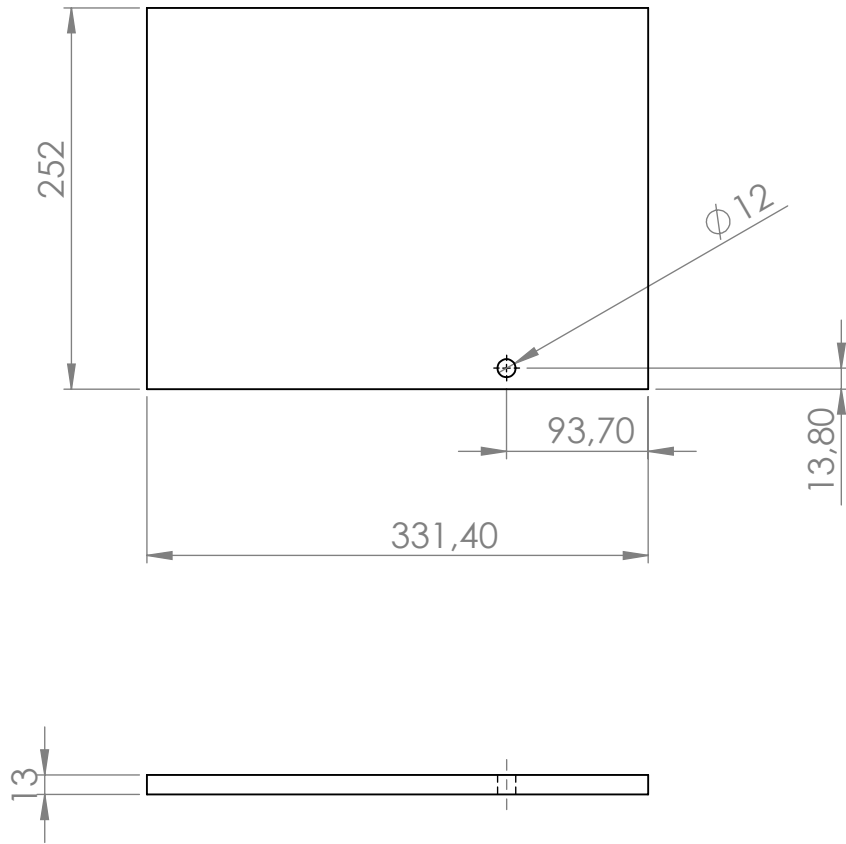
03	03	Suport	Acier inoxydable	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS	Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda	
			Dépt. GM	
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou	09/07/2023	



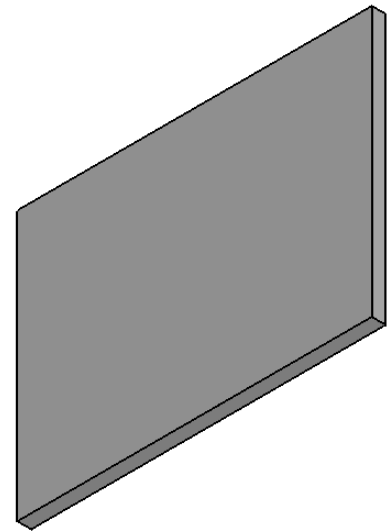
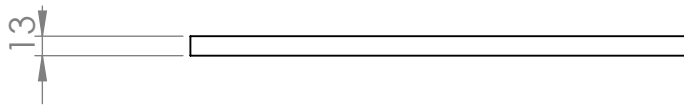
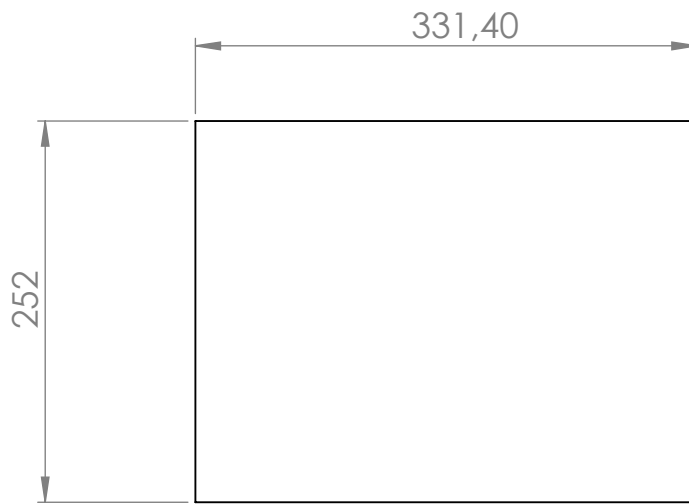
04	01	support	Acier inoxydable	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUF DE CANARIS	Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda	
			Dépt. GM	
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou	09/07/2023	



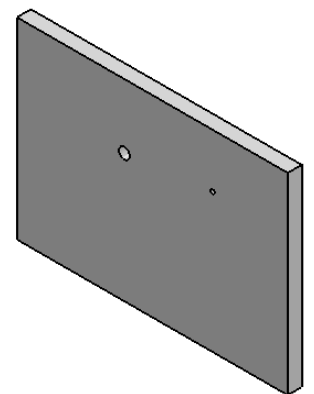
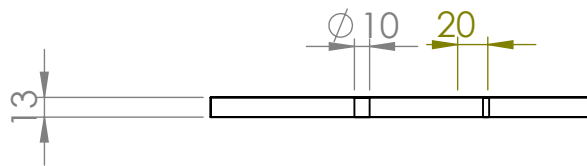
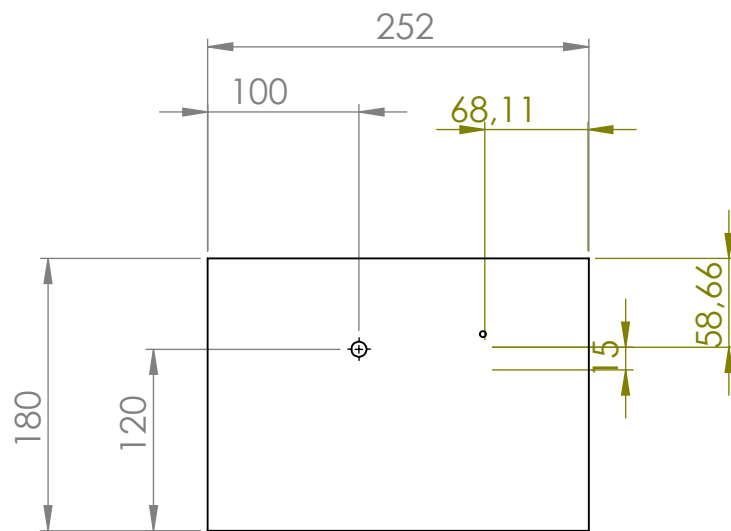
05	04	Suport vertical	Acier inoxydable	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



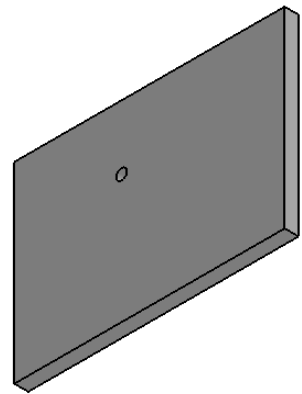
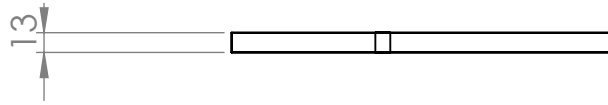
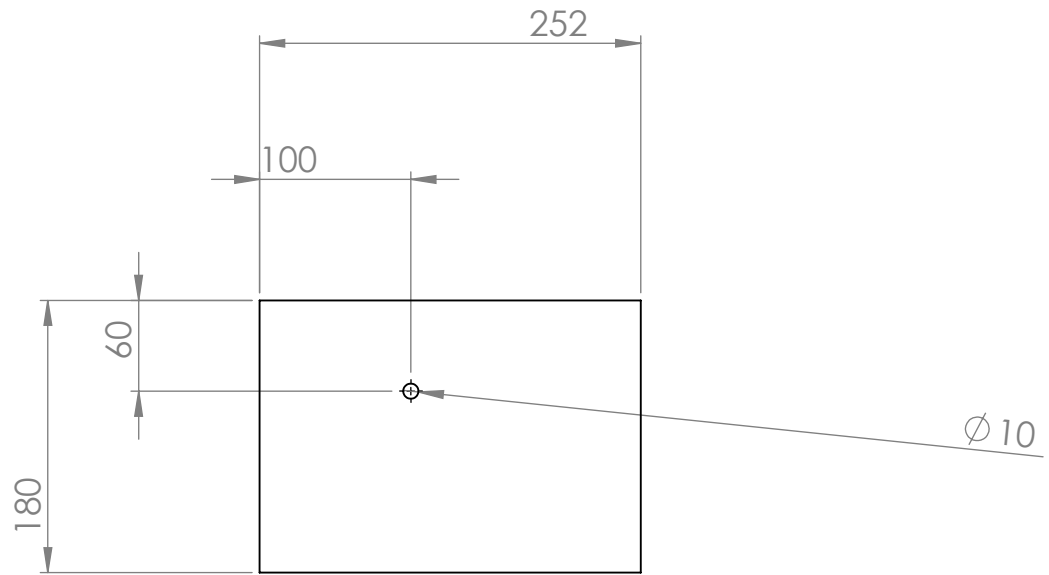
01	01	Plaque de dessus intérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



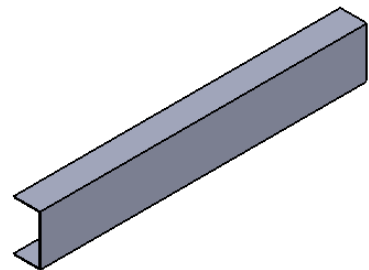
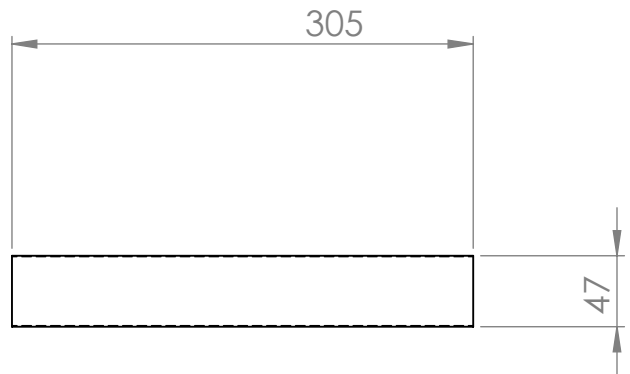
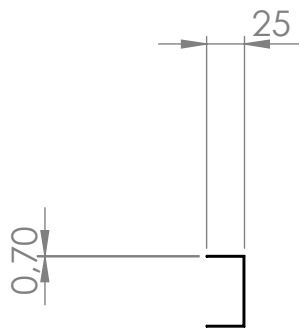
01	01	Plaque de dessous intérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



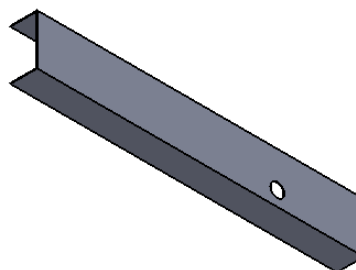
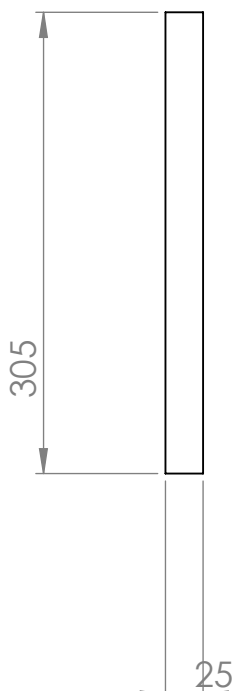
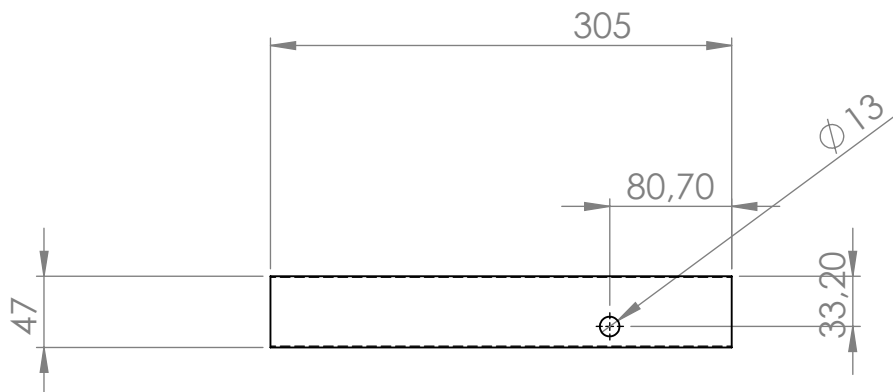
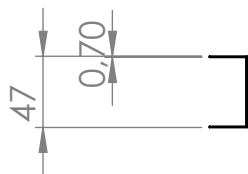
01	01	Plaque de latérale intérieure gauche	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023

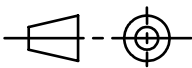


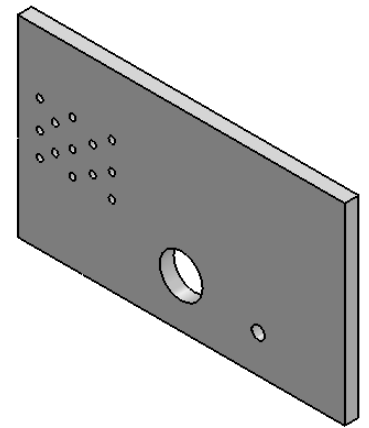
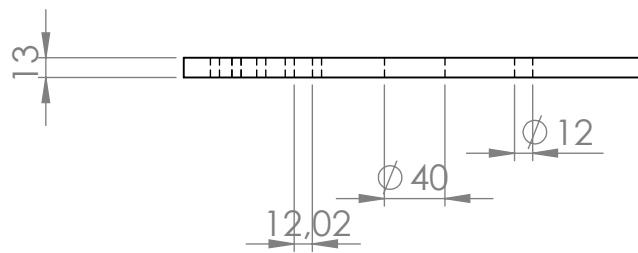
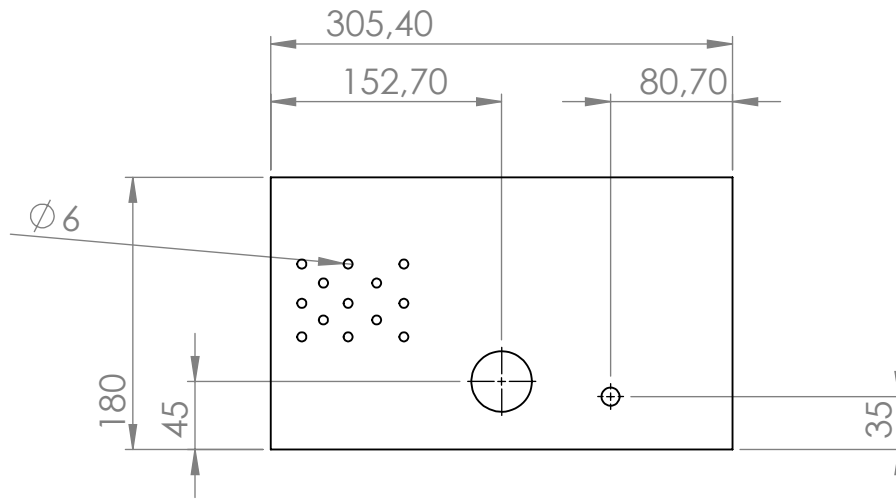
01	01	Plaque de latérale intérieure droite	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023

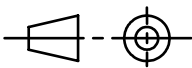


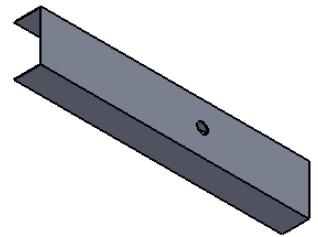
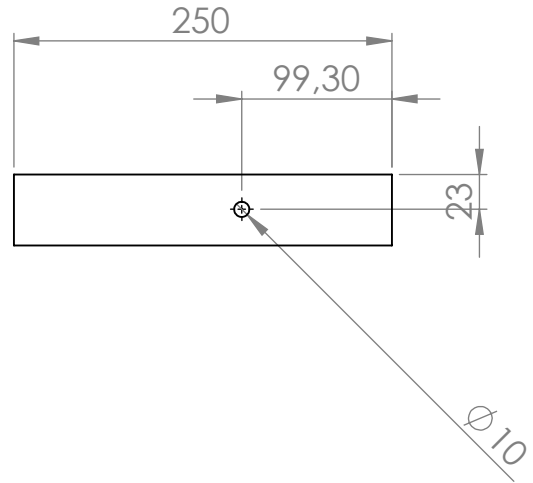
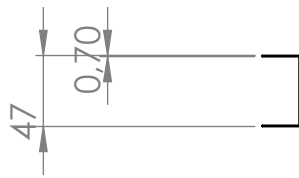
01	01	support intérieure dessous	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



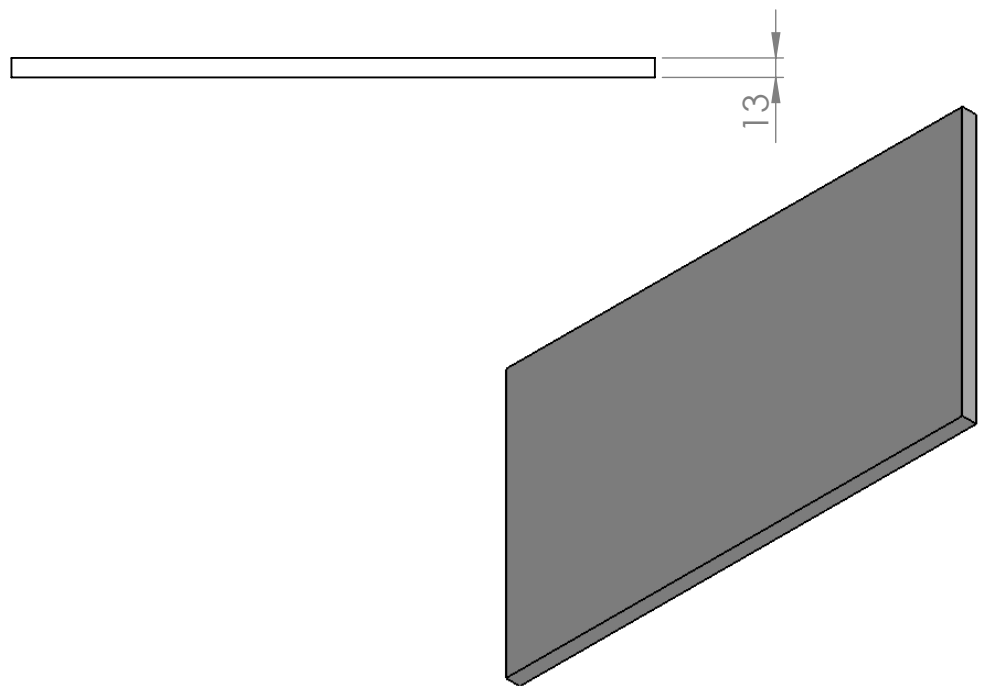
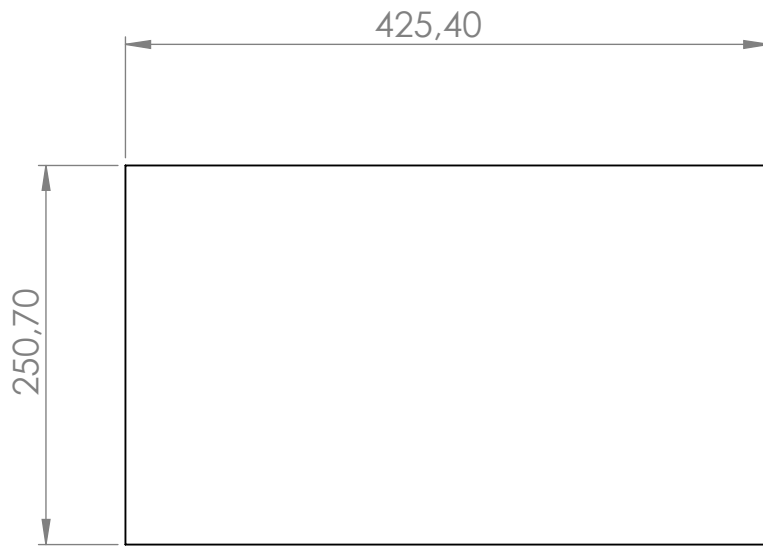
01	01	support intérieure dessus	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023

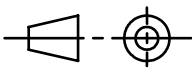


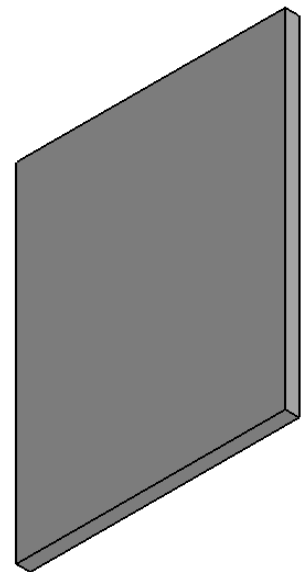
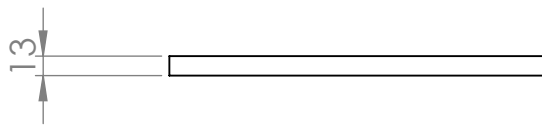
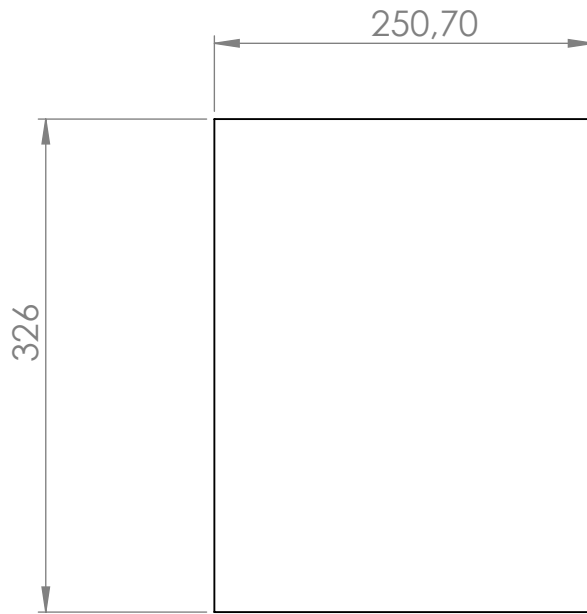
01	01	Plaque de derriere interieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023

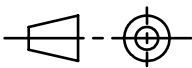


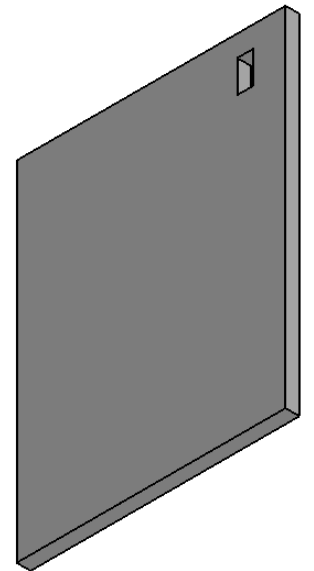
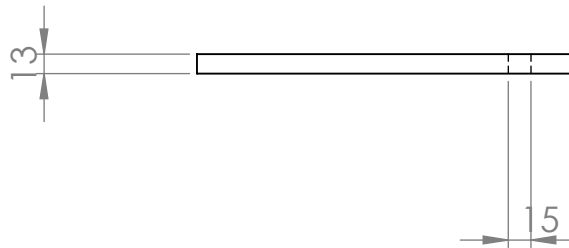
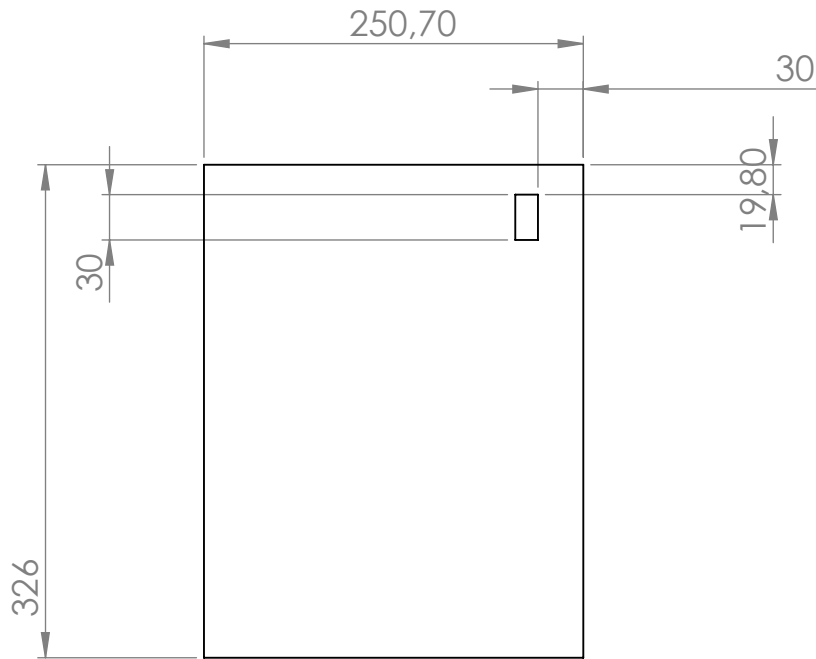
01	01	support moteur	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



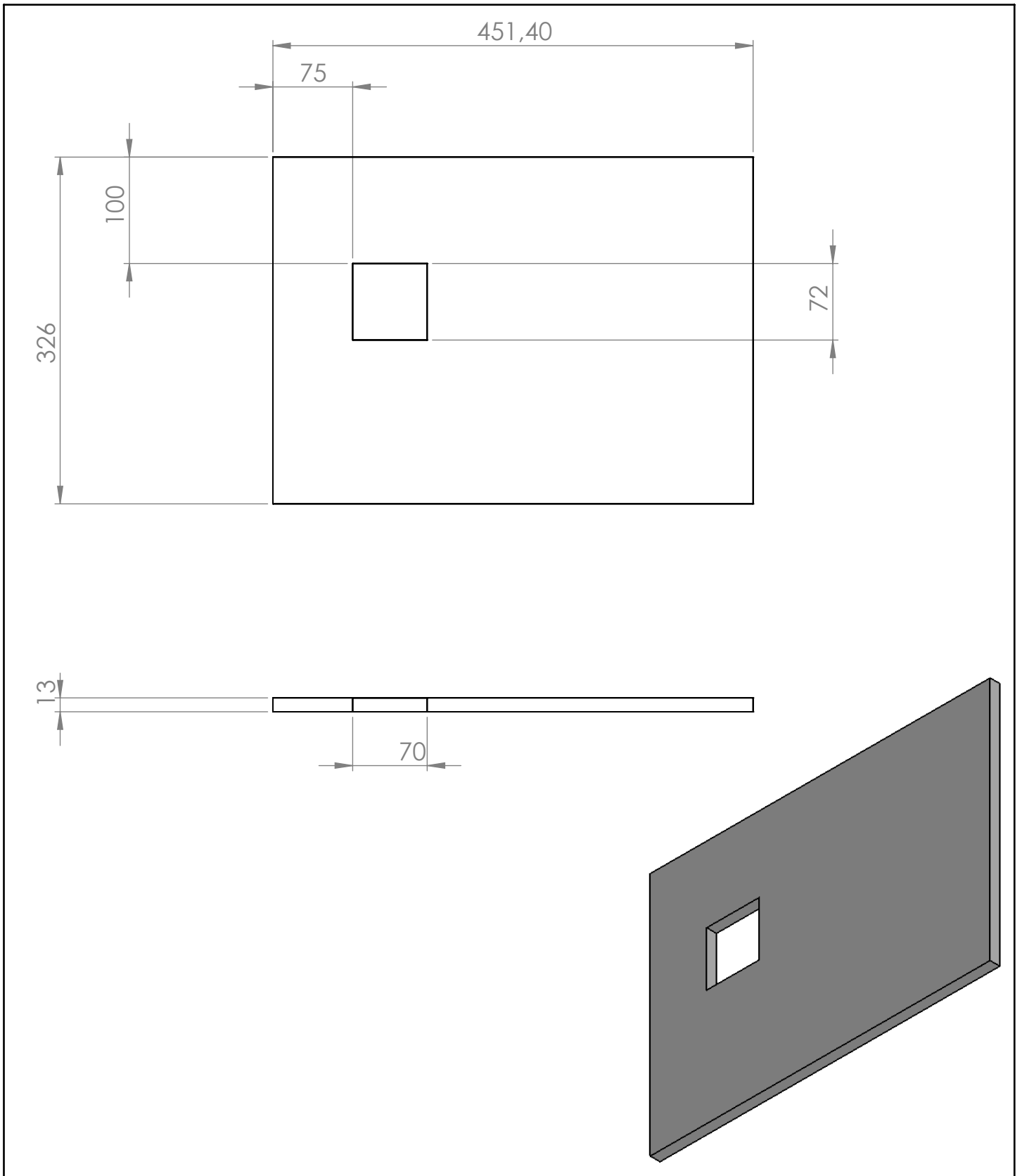
01	01	Plaque de dessous extérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023

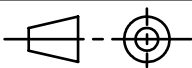


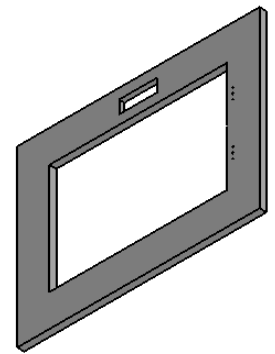
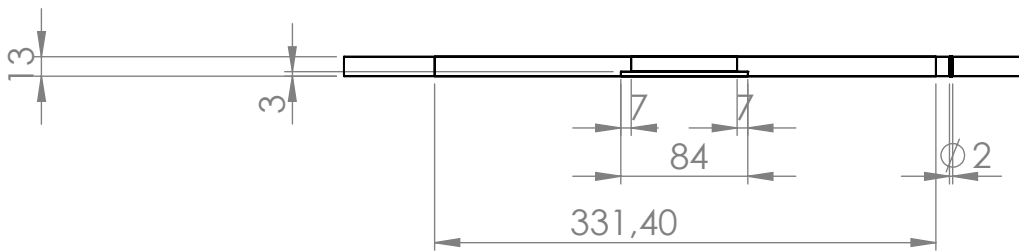
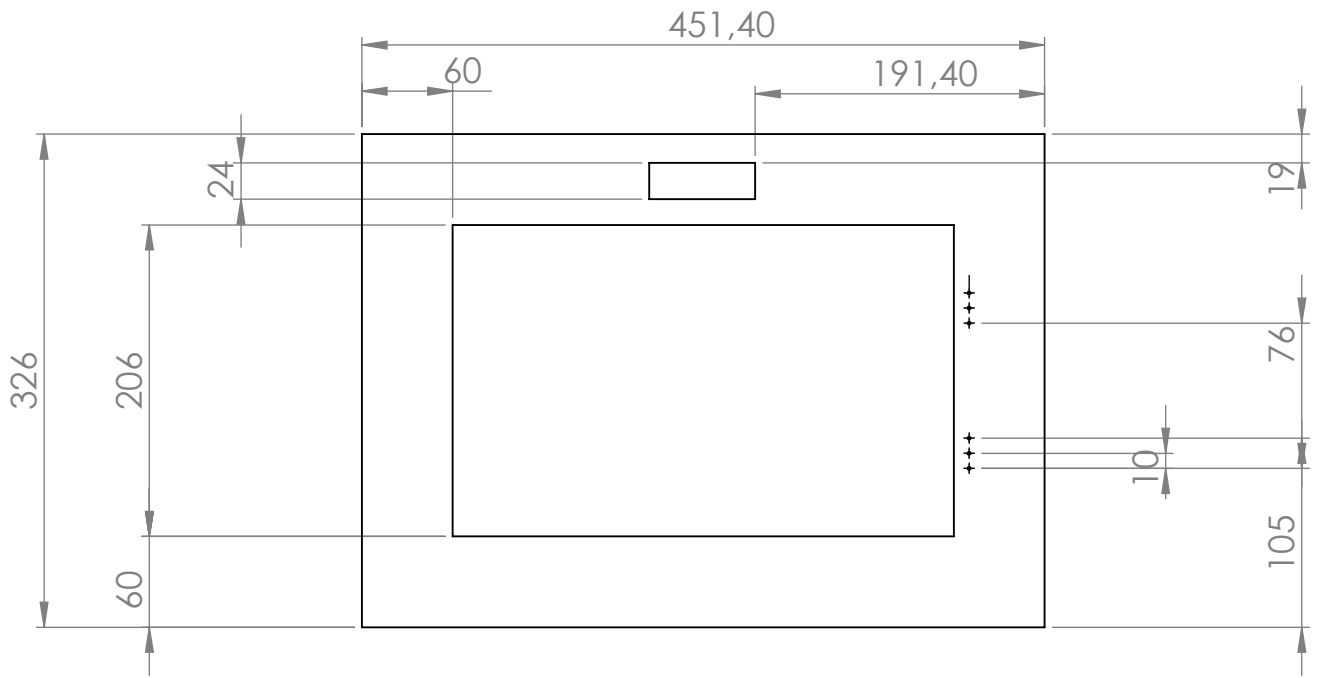
01	01	Plaque larérale gauche extérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFS DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



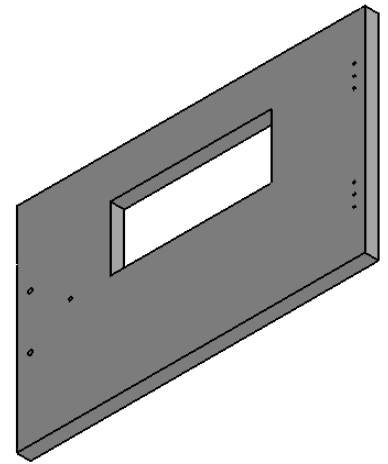
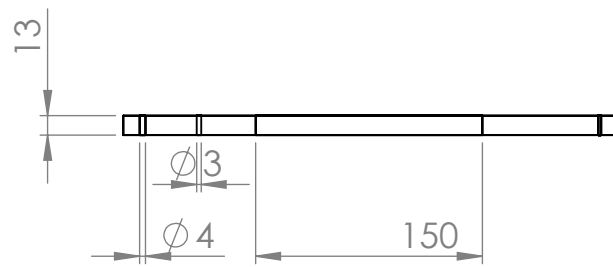
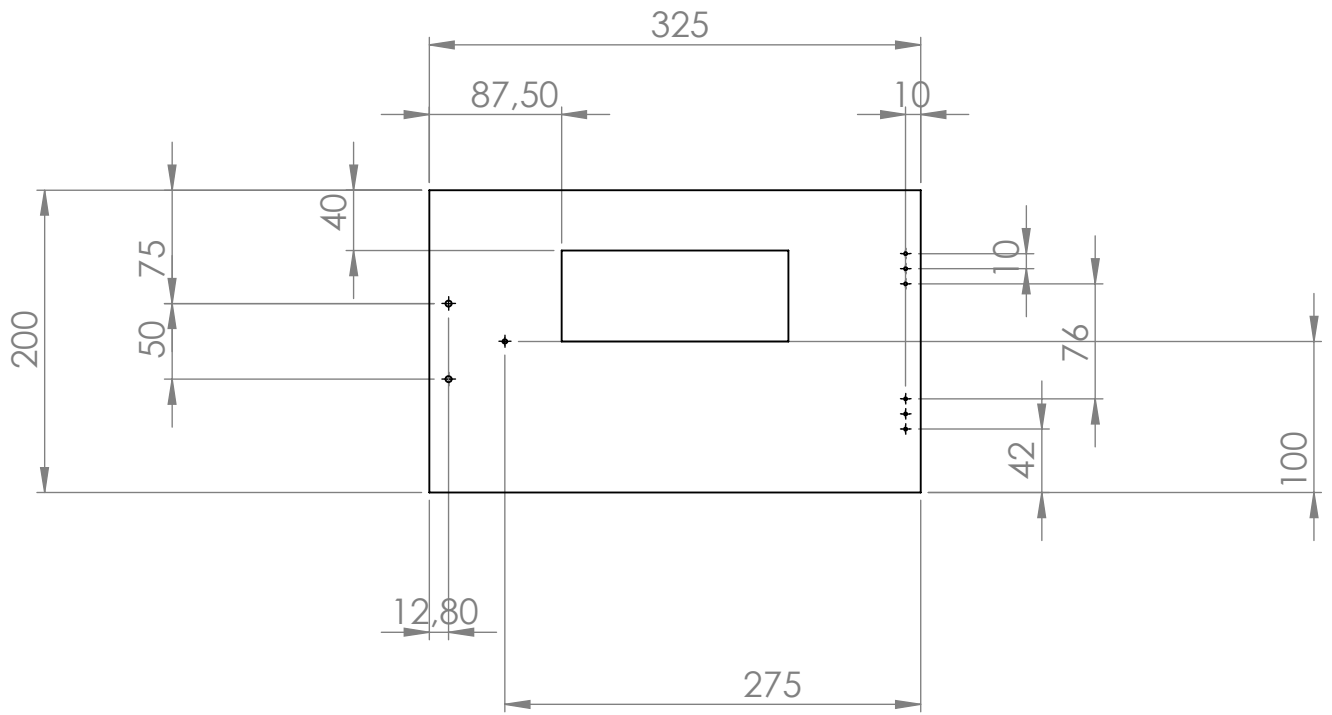
01	01	Plaque latérale droite extérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS	Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda	
			Dépt. GM	
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou	09/07/2023	



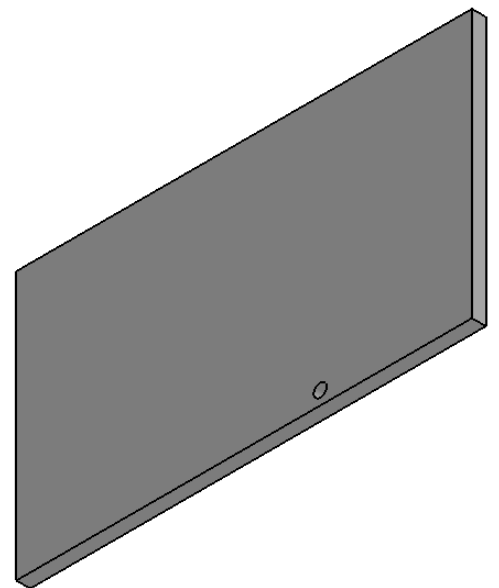
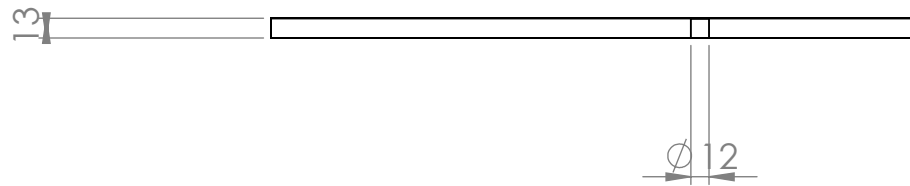
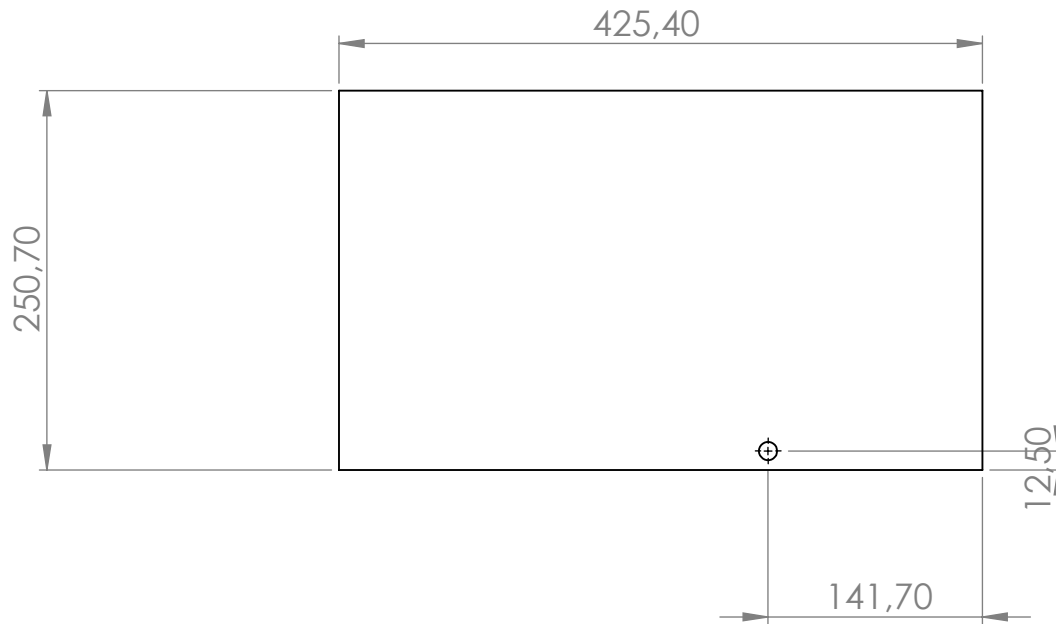
01	01	Plaque de derriere extérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



01	01	Plaque de face extérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023



01	01	porte	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS	Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda	
			Dépt. GM	
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou	09/07/2023	



01	01	Plaque de dessus extérieure	Plâtre (BA13)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		COUVEUSE D'OEUFs DE CANARIS		Réalisé par: M. Bourenane M. Boughedda
				Dépt. GM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou		09/07/2023

ANNEXE 02
Programme Arduino

Annexe 02

Programme de régulation de système de notre couveuse

```
#include <Stepper.h>
int compt1=0;
int compt2=0;
int compt3=0;
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 2
int lamp = 7;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
const int stepsPerRevolution = 512;
const int motorPin1 = 8;
const int motorPin2 = 9;
const int motorPin3 = 10;
const int motorPin4 = 11;
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);
DHT dht(DHTPIN, DHT11);
#define DHTTYPE DHT11

void setup()
{
  lcd.init();
  Stepper myStepper(stepsPerRevolution, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);
  dht.begin();
  pinMode (lamp , OUTPUT);
  pinMode (3 , OUTPUT);

  pinMode (2,OUTPUT);
  pinMode (13,OUTPUT);
}

void loop()
{
  compt1 = compt1 + 1;
  compt2 = compt2 + 1;
  compt3 = compt3 + 1;

  float temp = dht.readTemperature();
  float hum = dht.readHumidity();

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(temp);
  lcd.print(" C ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hum : ");
  lcd.print(hum);
  lcd.println(" % ");
}
```

Annexe 02

```
if (temp < 37)
{
    digitalWrite(lamp, HIGH);
}
else if (temp >= 38)
{
    digitalWrite(lamp, LOW);
}

if (compt1 == 10800 && compt3<=950400) {

    myStepper.setSpeed(15);
    myStepper.step(stepsPerRevolution);
}

if (compt1 == 21600 && compt3<=950400) {

    myStepper.setSpeed(15);
    myStepper.step(-stepsPerRevolution);

    compt1 = 0;
}

if (compt2 == 10800)
{
    digitalWrite(13, HIGH);
}
else if (compt2 == 10860)
{
    digitalWrite(13, LOW);
    compt2 = 0;
}
delay(1000);
}
```