

Travail de fin d'études et stage[BR]- Travail de fin d'études : Conception d'un incubateur pour la promotion du développement rural de pays en voie de développement[BR]- Stage d'insertion professionnelle

Auteur : Dembour, Juliette

Promoteur(s) : Lemort, Vincent

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil électromécanicien, à finalité spécialisée en énergétique

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/11566>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Système mécanique de retournement d'œufs automatique et programmable

Réalisé par

CRUTZEN Tom

JOSENTS Nicolas

LEJEUNE Mathieu

Dans le cadre du projet
multidisciplinaire

Supervisé par

KRESSE Myriam & PIRARD Sophie

HELMo Gramme master 2
finalité électricité
Campus de l'Ourthe
Janvier 2020

Ce travail a été réalisé afin d'aider ingénieur sans frontière à développer les pays sous développer d'Afrique.

Nous remercions Myriam KRESSE tout particulièrement pour le temps passé mais également pour ce beau projet rempli de sens.

Nous voulions également remercier martin SCOHIER pour son temps mais aussi les professeurs responsables de cet UE.

Un grand merci également à notre bienfaiteur qui nous a accueilli chez lui dans son hangar afin que l'on puisse construire notre mécanisme avec un tas d'outils sous la main ainsi que l'achat du matériel. Il n'y aurait pas de produit final sans son aide.

Table des matières

Table des matières	4
1. Contexte et objectif.....	1
2. Cahier des charges et répartition des tâches.....	2
3. Principe de base d'une couveuse artificielle	3
4. Réflexion sur le système mécanique.....	5
4.1 Système de couveuse à vis d'Archimède (vis dans fin)	6
4.2 Système de couveuse à bielle rotative	7
4.3 Système de couveuse par transmission directe	8
5. Première approche 3D du système choisi.....	9
6. Dimensions et matériaux du mécanisme	10
6.1 Dimensions du mécanisme	10
6.2 Matériaux des différentes parties du mécanisme	10
6.2.1 Les plateaux.....	10
6.2.2 Structure verticale.....	11
6.2.3 Rotules.....	12
6.2.4 Arbre et roulements.....	13
6.2.5 Système de blocage des plateaux à 45 degrés de rotation (annulé)	14
6.2.6 Montage avec plusieurs plateaux	14
6.2.7 Design de l'emplacement des œufs de poule/caille/oie	16
6.3 Mise en place d'un dispositif 100% manuel	16
7. Calculs et dimensionnement du moteur utilisé pour le système mécanique	18
7.1 Dimensions de base du mécanisme	18
7.2 Calcul de la charge totale d'un plateau	18
7.3 Calcul de la puissance et du couple du moteur.....	19
8. Plan de secours : moteur essuie-glace	22
9. Étude Electrique du système.....	24
9.1 Moteur.....	24
9.2 Capteurs.....	25
9.3 Arduino	25
9.4 Transformateur 230V/12V.....	26
9.5 Relais électrique	26

9.6	Sélecteur	27
9.7	Coffret électrique	27
10.	Organigramme électronique	29
11.	Programme Arduino pour le retournement automatique.....	30
11.1	Schéma de câblage théorique.....	30
11.2	Analyse du code	32
11.2.1	Déclaration des variables	32
11.2.2	Fonction Setup()	33
11.2.3	Fonction Loop()	34
12.	Étapes réalisées lors de la construction du prototype.....	39
12.1	Étape n°1 : Réalisation des plateaux.....	39
12.2	Étape n°2 : Réalisation de la structure portante	41
13.	Analyse et critique de notre prototype.....	43
13.1	Problème de droiture.....	43
13.2	Problème de soudure.....	43
14.	Analyse de risque	44
15.	Pistes d'amélioration.....	46
15.1	Soudures	46
15.2	Rivets.....	46
15.3	Matériaux.....	47
15.4	Capteurs	47
15.5	Dispositif de dépôt des œufs	48
16.	Conclusion	49
17.	Annexe 1 : Manuel d'utilisation imagé	51
18.	Annexe 2 : Plans électriques du mécanisme automatisé.....	53
19.	Annexe 3 : Plans et dimensions des éléments métalliques utilisés	55

1. Contexte et objectif

Un partenaire de Ingénieur Sans Frontières a dans l'idée de développer une couveuse artificielle qui viendrait remplacer le rôle de la poule lors de la croissance de l'embryon dans l'œuf. Des premiers essais ont été réalisés en Afrique Subsaharienne, au Togo, via un vieux frigo Coca Cola de récupération dans lequel ils avaient installé des plateaux pour accueillir les œufs ainsi que des lampes pour maintenir les œufs à une température constante et un bol d'eau pour assurer un taux d'humidité enclin au bon développement de l'embryon.

Le frigo ne s'est pas avéré très concluant car le partenaire d'ISF s'est rendu compte qu'il fallait tout de même retourner les œufs pour faire en sorte que les embryons ne se collent pas sur les parois intérieures des coquilles. Ce mouvement est totalement naturel et pratiqué par les poules elles-mêmes. C'est pourquoi il a fait dès lors appel à une aide extérieure afin d'imaginer une solution mécanique qui pourrait retourner les œufs à intervalles réguliers durant le cycle entier d'incubation. Ce retournement serait totalement automatisé et programmable ainsi qu'alimenté par de l'énergie solaire.

C'est là que notre groupe intervient afin de trouver une solution facile à mettre en œuvre, qui dure dans le temps et qui est viable par rapport aux conditions climatiques présentes en Afrique. De plus, une étudiante de l'ULG viendra aussi mettre sa main à la pâte et étudiera toute la partie thermique et hygrométrique de la couveuse afin de pouvoir alimenter le tout via l'énergie solaire. Elle fera ce projet en tant que Travail de Fin d'Étude.



Figure 1 logo Ingénieurs sans frontières

2. Cahier des charges et répartition des tâches

Après une entrevue avec la responsable du projet de chez ISF ainsi qu'après avoir lu le document donné par le responsable de l'Unité d'enseignement de Gramme, nous avons plusieurs tâches à réaliser et celles-ci seront réparties entre les 3 membres du groupe. Après avoir bien décrit le principe de base de l'incubation artificielle, nous effectuerons les points suivants.

- 1) Concevoir le système mécanique de retournement des œufs
 - a. Réflexion sur la solution à adopter
 - b. Réalisation du prototype sur un logiciel 3D
 - c. Calculs et dimensionnements des éléments utilisés pour le système mécanique
 - d. Réalisation du circuit électrique du système
- 2) Adapter un système d'automate programmable/une logique programmée pour que le retournement se fasse à intervalles réguliers
 - a. Choix du système à utiliser pour la programmation du système mécanique (Arduino, API, Microcontrôleur, ...)
 - b. Programmation du système électronique choisi
- 3) [Hors du cadre de notre projet] Prévoir une alimentation adaptable au solaire (TFE d'une étudiante de l'ULiège lors du 2^{ème} quadrimestre)
 - a. Réflexion sur le raccord du système à une énergie solaire en collaboration avec l'étudiante de l'ULG
 - b. Calculs des composants
- 4) Développer un prototype et élaborer les instructions de montage permettant la duplication du système
 - a. (Impression des éléments via une imprimante 3D afin de tester le système)
 - b. Réalisation du prototype de la solution mécanique de retournement des œufs
 - c. Réalisation d'un mode d'emploi/marche à suivre pour le montage

Edit : Après finalisation du mécanisme, nous sommes en mesure de dire que nous avons réalisé l'entièreté de ce projet à trois. Nous avons collaboré sur chaque point du cahier des charges et chacun a pris part aux tâches effectuées.

3. Principe de base d'une couveuse artificielle

L'embryon se trouvant dans l'œuf fécondé doit être dans une atmosphère bien précise pendant 20 à 21 jours (cycle d'incubation des poules). Lorsque la poule couve son œuf, elle le déplace de temps à autre, et l'œuf est en permanence surveillé et dans un milieu chaud et humide. Le but de la couveuse artificielle est de venir faire le travail de la poule dans une machine construite par l'homme afin de faire naître des poussins en plus grand nombre. Cela permet à un petit nombre de personnes ou à un village d'avoir une source de nourriture constante dans le temps et de pouvoir également agrandir les élevages.

Le principe de développement de l'embryon doit donc suivre plusieurs étapes avec différents paramètres. Dans un premier temps, il faut savoir que l'embryon se développe dans le jaune de l'œuf. Si l'œuf n'est pas retourné régulièrement (comme le fait la poule), le jaune vient se coller à la coquille et il y a alors un grand risque de malformation à l'éclosion ou même de non-formation tout court. Dans une couveuse artificielle, ce retournement peut être fait soit avec l'œuf posé verticalement sur sa pointe et pivoté de $\pm 45^\circ$ de part et d'autre soit en le positionnant horizontalement sur une plaque horizontale et en le retournant toutes les x heures. Ce retournement doit être effectué au moins 3 fois par jour mais ce chiffre peut être augmenté afin de s'assurer de la bonne croissance du jaune.

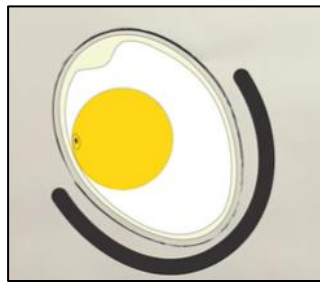


Figure 2 Rotation du jaune de l'œuf côté gauche

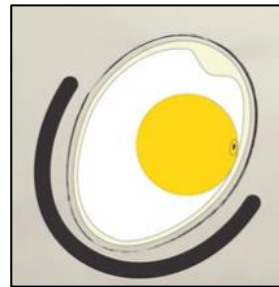


Figure 3 Rotation du jaune de l'œuf côté droit

De plus, l'œuf doit être dans un milieu humide avec un certain degré d'hygrométrie. Cela permet la création de l'importante poche d'air sans laquelle l'embryon ne peut pas se développer. Cette poche d'air grandit jusqu'à faire un tiers du volume de l'œuf à la fin du cycle d'incubation. Le taux d'humidité est augmenté en fin de séjour dans la couveuse afin que la membrane intérieure ne s'assèche pas. Cette précaution est prise pour également éviter les malformations du poussin. Le taux idéal d'humidité est donc de 40% durant quasi l'entièreté

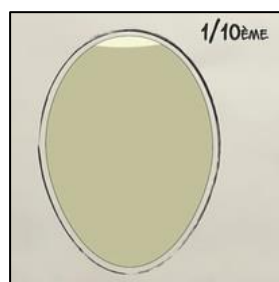


Figure 5 Œuf au premier jour d'incubation

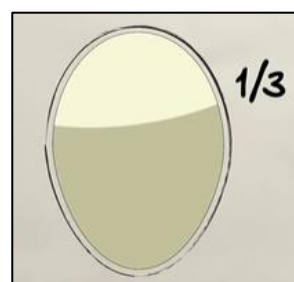


Figure 4 Œuf à la fin de l'incubation

du cycle d'incubation mais il faut minimum 65%h durant les 3 derniers jours. Généralement, l'humidité est apportée via une bassine d'eau avec un ventilateur à ses côtés afin que l'humidité soit répartie de façon uniforme dans la couveuse.

Ensuite, une température constante doit aussi être présente dans l'habitable de la couveuse artificielle. Cette température doit être entre 37 et 38 degrés Celsius, l'idéal étant 37,5°C. Cette température est celle que l'organisme a besoin pour correctement se développer. Dans une couveuse construite par l'homme, il faut donc y ajouter un thermostat permettant la hausse ou la diminution de la température si celle-ci n'est pas dans l'intervalle souhaité. L'apport de température est souvent amené via une résistance chauffante et munie d'un ventilateur également pour venir uniformiser la température en chaque point. Si la température est trop basse d'à peine ½ degré, cela ajoute 12 heures à l'incubation. Si la température est à moins de 35°C, des déformations se produisent aux pattes et orteils et l'éclosion est mise en doute. Si la température est trop haute, la durée d'incubation est raccourcie. Si elle est plus élevée de 2°C, la mortalité augmente grandement.



Figure 6 Thermomètre d'incubation

Ainsi, il est très important de bien surveiller chaque paramètre de la couveuse artificielle si on veut voir l'éclosion de la totalité des œufs fécondés et incubés. Si un paramètre est laissé pour compte, la mortalité des embryons s'élèvera fortement et le risque de voir tous ses œufs jetés à la poubelle sera bien présent.

4. Réflexion sur le système mécanique

Cette première étape est cruciale et c'est pourquoi nous avons pris le temps de poser le problème dans son ensemble. Nous nous sommes réunis deux fois durant trois heures afin de réfléchir au mécanisme sur lequel nous allions partir. Pour cela, nous avons discuté de plusieurs systèmes déjà existants, nous avons comparé les différents modèles, qu'ils soient artisanaux ou industriels et nous avons également demandé autour de nous afin d'opter pour la solution la plus efficace et simple possible.

En effet, le mécanisme que nous allons réaliser doit être simple pour que les locaux puissent comprendre rapidement son fonctionnement. Il faudra également utiliser des matériaux trouvables sur place ou non loin pour que, si problème il y a, ils sachent remplacer eux-mêmes les composants défectueux en suivant un mode d'emploi que nous aurions rédigé.

Dès lors, nous avons pris plusieurs principes et les avons confrontés l'un à l'autre afin de décider sur lequel nous allions partir.

Dans un premier temps, nous sommes partis sur un système comme le montre la Figure 7. On peut voir que les plateaux qui recevront les œufs sont fixes sur leurs parties centrales. Cela permettrait le pivot dans un sens comme dans l'autre de ces plateaux. Ainsi, les œufs seraient tournés de 45 degrés d'un côté et de 45 degrés de l'autre. Nous respecterions donc bien le mouvement que l'œuf doit subir pour une bonne incubation.

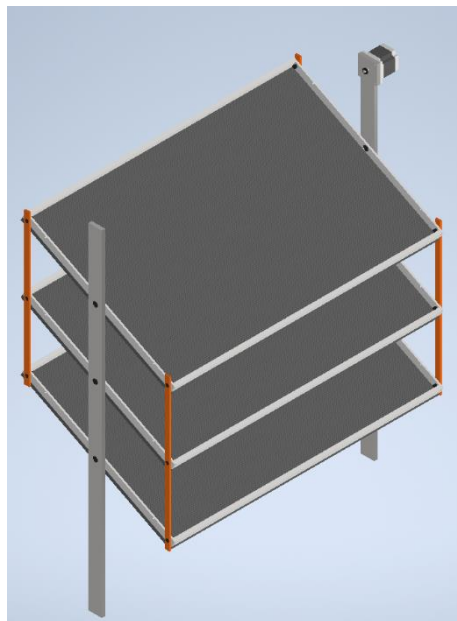


Figure 7 Mécanisme initial

Ensuite, nous avons dû réfléchir à un système automatique actionné par un moteur ou autre afin que le mécanisme soit autonome et tourne sur lui-même suivant un laps de temps déterminé. Les différentes réflexions que nous avons eues sont reprises dans les sections suivantes.

4.1 Système de couveuse à vis d'Archimède (vis dans fin)

Au premier abord, ce système nous a paru une excellente idée tant au point de vue de la simplicité qu'à la puissance du moteur à mettre en œuvre pour la rotation. La figure ci-dessous illustre notre première idée. On peut voir 2 moteurs, sur chacun d'eux est fixé une vis d'Archimède. Ces vis sont reliées aux plateaux avec des éléments rotulés afin que le mouvement puisse avoir lieu sans accrochage. Lorsque les moteurs tourneraient dans un sens ou dans l'autre, les plateaux pivoteraient eux-mêmes également des 2 côtés. La vitesse dépendrait de la vitesse de rotation du moteur et du pas de la vis. N'ayant pas fait les démarches nécessaires pour connaître le nombre de vis nécessaire, la représentation ci-dessous ne reflète pas la réalité quant au nombre de moteur nécessaire.

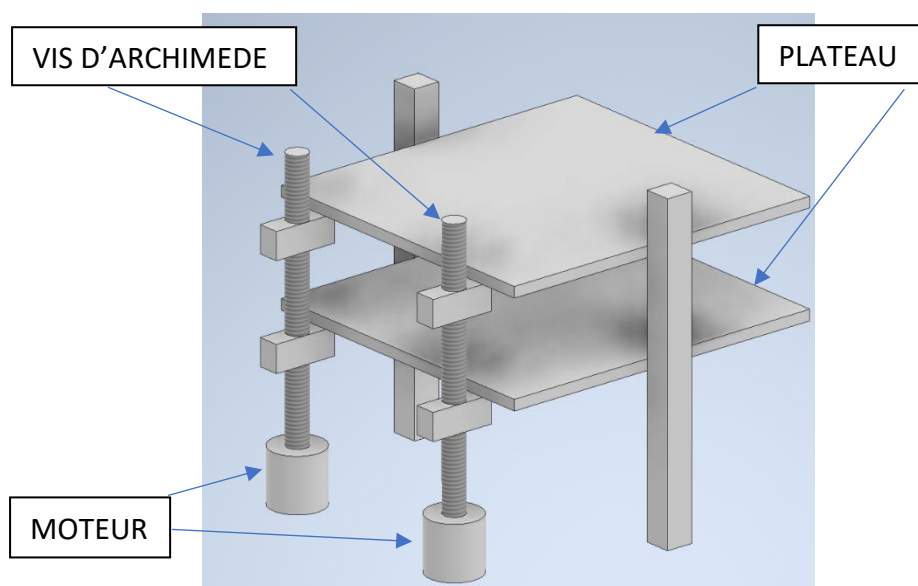


Figure 8 Schéma du système avec vis sans fin

Ce principe est simple et demande peu de couple de la part du moteur. Néanmoins, des vis comme celles-ci et des moteurs d'une telle puissance doivent être difficilement trouvable dans le pays. Cette solution pourrait être envisagée si les calculs nous permettaient d'écarter la maintenance ou le remplacement des composants mais nous savons qu'un imprévu est bien vite arrivé.

4.2 Système de couveuse à bielle rotative

Ce mécanisme est le plus récurrent dans la documentation trouvable sur internet et surement le plus simple à mettre en œuvre. La Figure 10 représente le mécanisme dont on parle. Celui-ci est composé de 2 bielles rotulées entre elles. Celle reliée au plateau est fixée à celui-ci de sorte que lorsque le tout est en train de tourner, le plateau tourne aussi avec. L'autre est reliée et fixée à un disque commandé par un moteur. Lorsque le moteur est mis en marche, le disque tourne dans le sens horlogique et le mécanisme est alors opérationnel. Les dimensions des bielles déterminent l'angle avec lequel les plateaux seraient inclinés et la puissance que le moteur doit fournir. La figure 9 est une autre façon de positionner le dispositif.

Cette solution est un peu plus compliquée que la précédente mais elle est aussi la plus répandue sur le marché des couveuses artificielles. Cependant, les éléments mis en œuvre ici sont peut-être moins présents dans le pays.

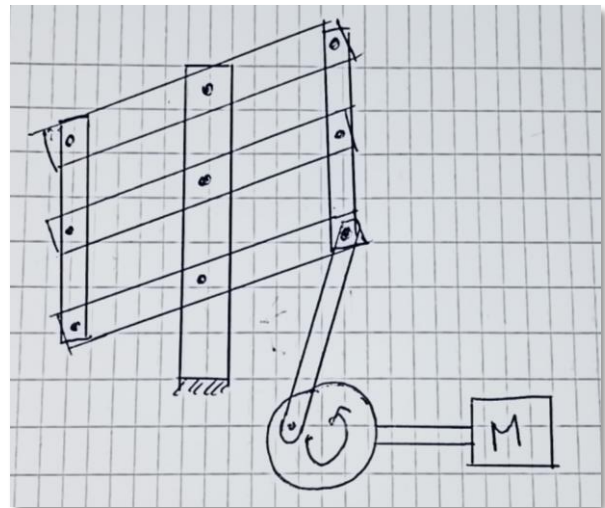


Figure 9 Alternative au système de couveuse à bielle

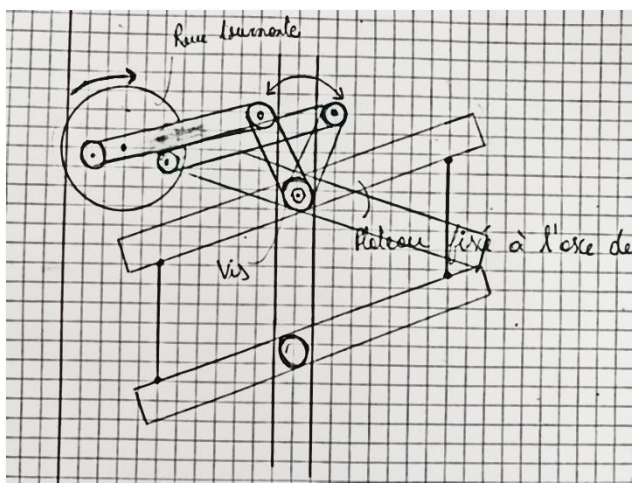


Figure 10 Système de couveuse à bielle

4.3 Système de couveuse par transmission directe

Après une entrevue avec un professeur spécialisé dans tout ce qui est mécanique industrielle, nous sommes ressortis de là perplexes par rapport à l'idée de solution précédente. Comme mentionné, les éléments pourraient être difficilement trouvables et peut-être trop complexes pour le système demandé.

L'idée du fil de nylon est alors sortie durant le rendez-vous et la Figure 9 exprime l'idée du mécanisme. Nous aurions donc toujours la partie fixe au centre des plateaux et nous viendrions placer un moteur dans la partie inférieure ou supérieure du système. Un système de transmission, tel qu'un fil de nylon, une corde ou encore une chaîne de vélo, sera ajouté au système afin de permettre la rotation des plateaux.

En prenant l'hypothèse que le poids sur les plateaux serait correctement réparti, le centre de gravité de la structure resterait sur la partie fixe et il suffirait donc d'une puissance minimale pour faire pivoter le tout d'un côté ou de l'autre. Le moteur ne demanderait pas beaucoup d'énergie et c'est un gros avantage en considérant la volonté d'alimenter le tout principalement via l'énergie solaire. De plus, la corde qui s'enroulerait autour du moteur ne devrait pas être excessivement dimensionnée et un fil de nylon pourrait largement suffire.

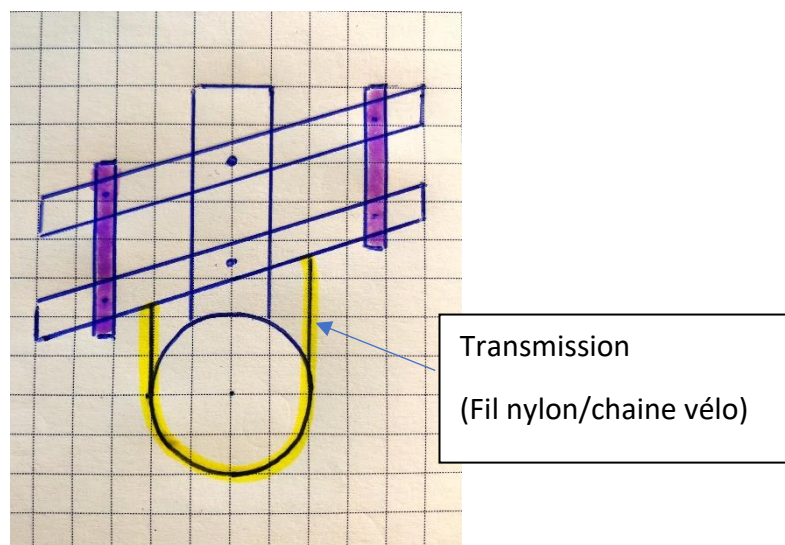


Figure 11 Schéma simple avec fil de nylon

Le système présenté ici est encore plus simple que le précédent et nécessite beaucoup moins d'éléments mécaniques. Ce système permettrait aux autochtones d'utiliser du matériel de récupération tel qu'une chaîne de vélo pour réaliser la transmission ou encore un moteur d'essui glace pour permettre l'automatisation de l'automate. C'est une des principales raisons pour laquelle nous avons décidé d'utiliser ce principe de fonctionnement.

5. Première approche 3D¹ du système choisi

Comme stipulé précédemment, nous avons décidé de développer un système avec une transmission par chaîne de vélo.

Ce choix fut principalement dirigé par la complexité à trouver ou non un matériau par les autochtones ainsi que l'usure des différents matériaux. Un autre élément qui nous a poussé faire ce choix est un choix relatif à l'environnement entourant la machine. Prenons l'exemple du système à vis d'Archimède, cette dernière située dans un milieu poussiéreux, sableux, pourrait s'encrasser rapidement et ainsi créer un blocage au niveau de la translation du système sur la vis. Ce qui ne pouvait pas être envisageable. Ces éléments sont donc des choix purement relatifs à la maintenance du système.

Sur la figure 12 ci-dessous, on peut voir la première esquisse de notre projet. (Cette modélisation n'est pas définitive)

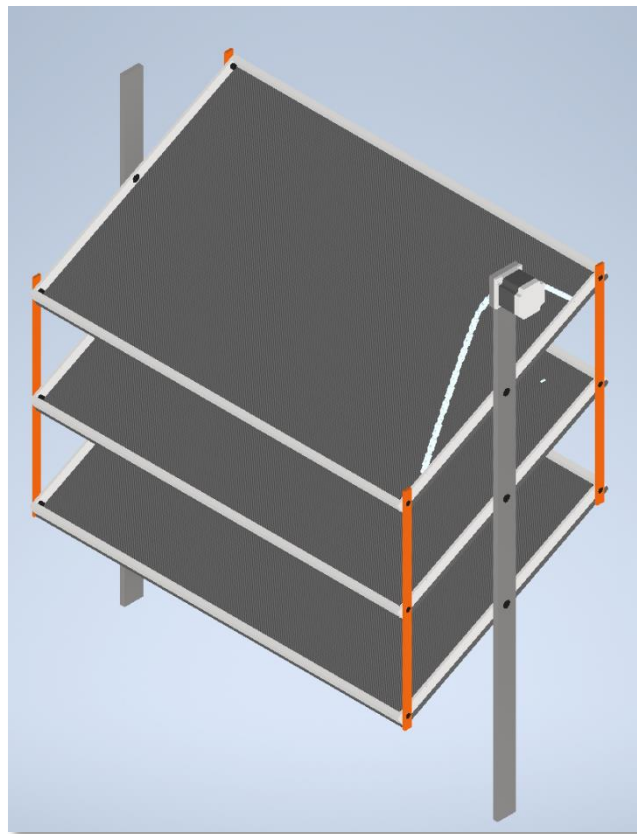


Figure 12 première modélisation 3D

¹ Cette modélisation a été réalisée sur AUTODESK INVENTOR 2021

6. Dimensions et matériaux du mécanisme

Afin d'avoir une vue plus claire du mécanisme global, nous avons imposé différentes dimensions avec lesquelles nous allons faire notre étude des composants du prototype.

6.1 Dimensions du mécanisme

Les dimensions que nous nous sommes fixés sont les suivantes :

- Hauteur totale du mécanisme = 1 m ;
- Largeur d'un plateau = 540 mm ;
- Longueur d'un plateau = 540 mm ;

Ces dimensions permettraient d'avoir un mécanisme de « faible » poids avec des plateaux pouvant accueillir de 70 à 80 œufs chacun (cette valeur sera définie une fois les plateaux dessinés). La hauteur de 1 mètre nous permettrait de venir mettre 3 plateaux les uns en dessous des autres. La longueur et la largeur des plateaux ont été fixées sur base des dimensions standard d'un frigo à boisson. Ces dimensions vont permettre au système de s'intégrer facilement dans un environnement contigu ainsi qu'une facilité lors du transport du système.

6.2 Matériaux des différentes parties du mécanisme

Afin de construire l'intégralité du prototype, nous avons commandé différents matériaux chez le fournisseur LEBOUTTE dont les caractéristiques et dimensions sont reprises ci-dessous :

- Tôle perforée inox : 540mm*540 mm * 1,5mm d'épaisseur * 3 pièces ;
- Cornières Aluminium 40mm*40mm *540mm(longueur) * 12 pièces ;
- Tubes carré inox brossé 40mm* 1 m * 2 pièces ;
- Rond étiré inox brossé 10mm*650mm *3 pièces ;
- Cornières inox brut 25mm*25mm * 1 m ;
- Plat aluminium 20mm*4mm* 500 mm * 4 pièces

L'entièreté des plans de ces pièces sont repris en Annexe 3.

6.2.1 Les plateaux

Les matériaux constituant la couveuse sont régis selon trois éléments : la **résistance**, le **poids** ainsi que **l'influence de l'humidité**.

Pour ce qui est du plateau, beaucoup de possibilités ont été envisagées : ACIER, BOIS, ALUMINIUM.

ACIER : Resistance : ++, Poids : Lourd, humidité : Corrosion

BOIS : Resistance +, Poids : Relativement léger, humidité : Mauvaise

Aluminium : Resistance +, Poids : Relativement léger, humidité : TOP

Sachant que la charge répartie sur le plateau approxime les 15 Kg, les trois matériaux pourraient convenir.

Un quatrième point qui dirige notre choix et pas des moindre est le prix, l'acier et le bois étant bon marché, contrairement à l'aluminium.

L'élément le plus propice pour notre application étant l'ACIER. Cependant, afin de remédier au problème de corrosion, notre choix s'est dirigé vers de l'Acier *INOXYDABLE*.

Afin désormais de remédier au second problème de l'acier, le problème du poids, il a été décidé de choisir un matériau préforé : *Des tôles préforées en Inox*. (Figure13)

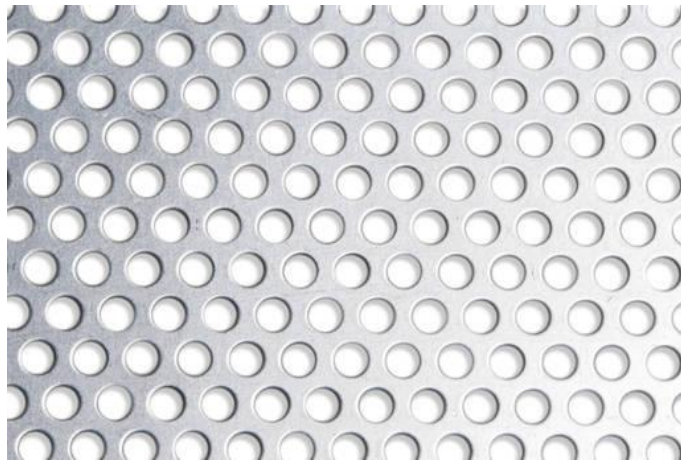


Figure 13 Des tôles préforées en Inox

Avec une tôle d'épaisseur 1,5mm et de l'acier inoxydable de densité 8kg/dm^3 avec les dimensions de 540*540mm, nous arrivons à un poids environnant les 2kg par plateau.

6.2.2 Structure verticale

Les 2 colonnes principales seront placées verticalement comme représenté sur la modélisation (figure12). Ces éléments seront des tubes carrés en inox brossé. Nous avons choisi des dimensions de 40*40mm avec une hauteur de 1 mètre pour chacun. Ceux-ci



Figure 14 Tubes Carré 40*40*2

permettront de réaliser la liaison avec la carcasse de la couveuse ce qui assurera le bon équilibre de la structure.

Comme pour les plateaux, notre choix s'est porté sur l'inox. L'aluminium aurait été plus léger mais plus cher.

6.2.3 Rotules

Afin de donner un appui aux rotules qui vont permettre la rotation des plateaux par rapport à leur centre, nous avons imaginé un système de cornières en inox brut de dimensions 25*25mm avec une longueur encore à déterminer qui permettra de contenir un roulement (cfr. Figure 15).

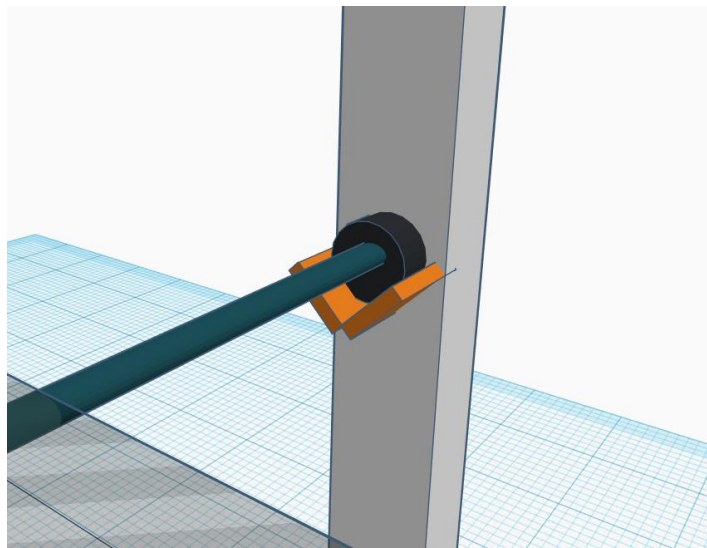


Figure 15 Cornière + roulement

Afin de créer cette rotule, un arbre fixé en ses extrémités à 2 roulements permettra la rotation sans frottement. Ainsi, l'arbre (rond plein étiré en inox brut) assure la rotation des plateaux fixés à l'arbre.

Cet arbre reprendra également deux cornières espacées de 540mm permettant d'asseoir le plateau sur l'arbre tout en stabilité. Ces appuis, des cornières de 40*40*20, seront soudées à l'arbre pour ainsi les bloquer en translation et en rotation.

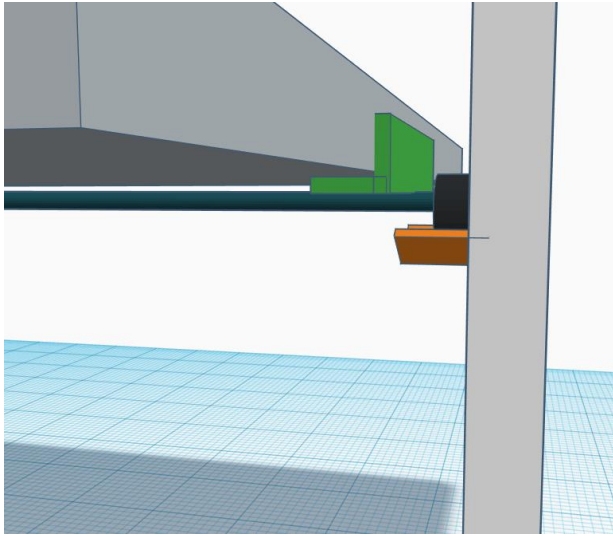


Figure 17 Cornière d'assise vue de coté

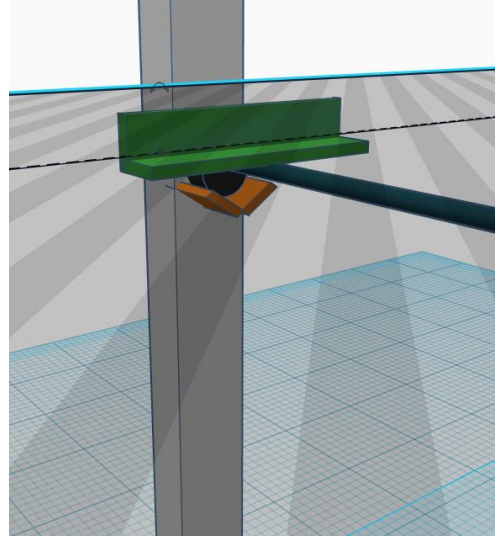


Figure 16 Cornière d'assise vue de face

6.2.4 Arbre et roulements

Pour l'arbre tournant, nous avons opté pour un matériau du type « Rond étiré en INOX brossé ». Nous avons pris un diamètre de 10mm garantissant une bonne résistance mais également un poids raisonnable.

Les roulements aux extrémités de l'arbre ont également été choisis avec un diamètre intérieur de 10mm. Nous chaufferons les roulements de sorte à pouvoir faire rentrer facilement l'arbre dans ceux-ci.



Figure 18 Roulements $\varnothing 10\text{mm}$

6.2.5 Système de blocage des plateaux à 45 degrés de rotation (annulé)

Afin d'arrêter la rotation du plateau à un angle de 45° en mode manuel, tant dans le sens horlogique que dans le sens trigonométrique, les cornières initialement présentes, permettant de contenir les roulements, vont servir de blocage mécanique au système sans l'encombrer. Ainsi, en fin de course, c'est-à-dire à 45° de rotation, le plateau sera stoppé. La vitesse de rotation étant très lente, il n'y aura pas de souci de choc ou autre. Cependant, la présence d'un arrêt en caoutchouc permettra d'éviter de générer des bruits, qui peuvent être inquiétant pour les personnes utilisant le système. Néanmoins, il s'est avéré lors de la construction du prototype que cette solution était beaucoup trop compliquée à mettre en place. Nous avons donc préféré une solution électrique que nous expliquerons dans la suite du rapport.

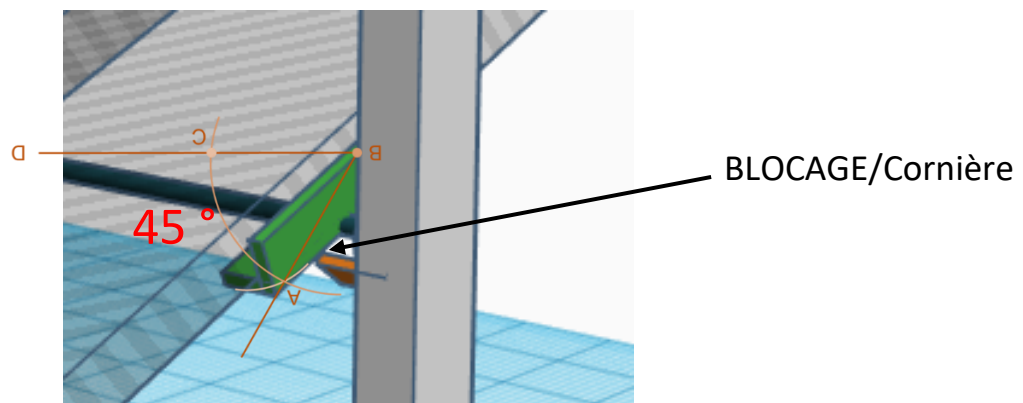


Figure 19 Blocage pour mode manuel

6.2.6 Montage avec plusieurs plateaux

Afin que notre système puisse accueillir plusieurs plateaux, des éléments permettent de lier les plateaux entre eux afin d'assurer une rotation de l'ensemble du système. Ces composants sont dimensionnés afin que l'utilisateur puisse travailler sur le système ou encore manipuler les œufs à incuber sans être gêné par le manque de place.

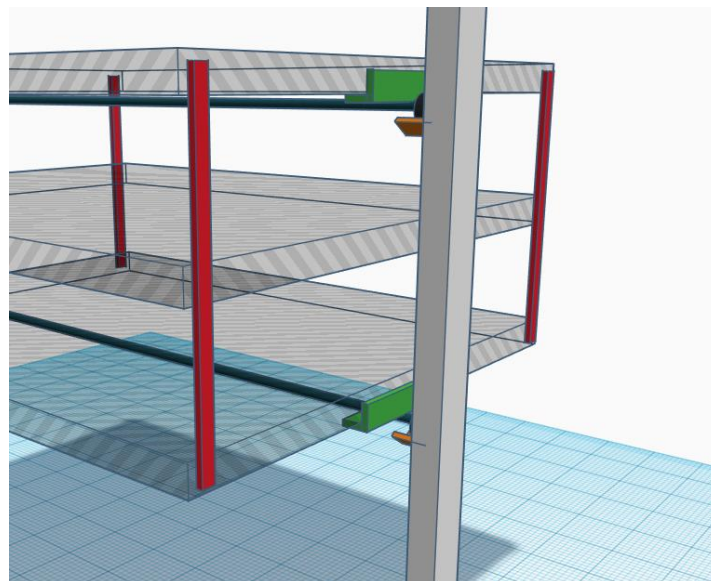


Figure 20 Montage avec bielle d'assemblage

Ces éléments sont réalisés grâce à des plats en aluminium. Ces plats seront fixés avec de la visserie à chaque plateau de sorte que leur rotation n'en soit pas bloquée.

Grâce à ce système, seul le plateau du haut aura besoin d'être entraîné par le moteur, les autres suivront ainsi le mouvement.

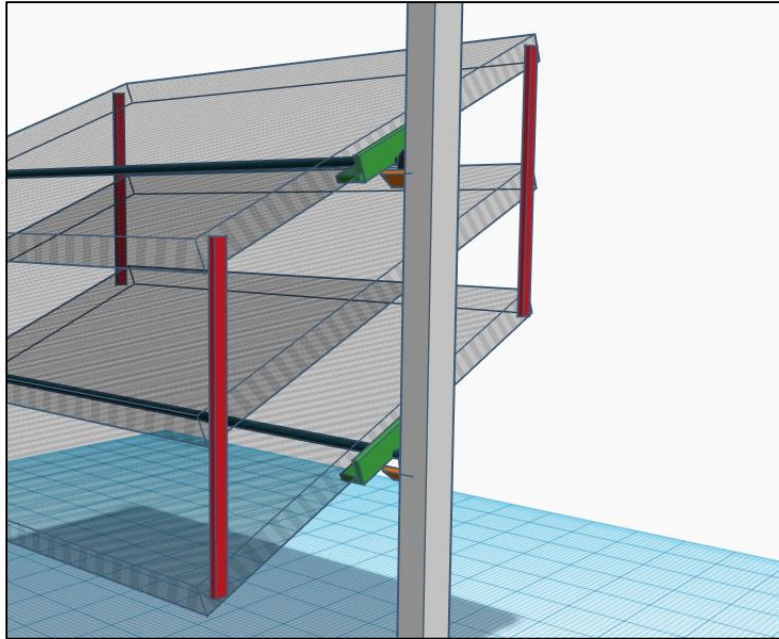


Figure 21 Montage avec bielle d'assemblage mouvement

On remarquera qu'il n'est pas nécessaire de positionner un système de rotule à chacun des étages, seul les étages aux extrémités en nécessitent. En effet, vu que celui-ci est accroché par les plats en aluminium aux deux autres plateaux, il n'est pas nécessaire de lui ajouter ce système de rotation. Par conséquent, nous pourrions économiser des matériaux et donc de l'argent et du poids.

6.2.7 Design de l'emplacement des œufs de poule/caille/oie

Afin de pouvoir accueillir les œufs d'une façon telle qu'ils ne puissent pas bouger durant leur cycle d'incubation, nous allons mettre des mousses dans lesquels nous aurons au préalable découpé des trous d'un diamètre adéquat. Comme cela, il suffira à l'utilisateur de venir enfoncer correctement les œufs dans chaque socle découpé sur les mousses qui eux-mêmes seront placés sur les plateaux du mécanisme de retournement.



Figure 22 Mousse utilisés pour le dépôt des œufs sur les plateaux

6.3 Mise en place d'un dispositif 100% manuel (système de manivelle ?)

Dans le code informatique que nous allons implanter dans le mécanisme de retournement des œufs, nous allons y intégrer un mode manuel et un mode automatique. Si le mode manuel est activé, il sera possible via un sélecteur de faire pivoter les plateaux dans les 2 sens. Le choix sera dès lors donné à l'utilisateur et ce mode servira surtout pour placer correctement les plateaux pour venir y placer les œufs sans devoir être contorsionniste.

Néanmoins, s'il y a une panne d'électricité ou si l'alimentation est tout simplement hors d'usage, il serait nécessaire d'avoir un système complètement manuel afin de pouvoir continuer manuellement le retournement des œufs. Cela n'aurait pas beaucoup de sens vu que les apports de température et d'humidité ne pourraient pas avoir lieu sans électricité non plus mais nous allons quand même penser à un système permettant de ne plus faire usage du moteur et de venir tourner les plateaux à la main.

Pour ce faire, nous allons attacher la chaine de vélo aux plateaux avec de la visserie simple. En effet, la chaine métallique sera reliée aux bords du plateau et fixée via un écrou et son boulon. S'il y a donc une coupure d'électricité ou un problème au moteur, il sera dès lors tout à fait possible de venir enlever la visserie de fixation et l'utilisateur pourra donc faire tourner le plateau d'une manière totalement manuelle, sans résistance de la part du système chaine/moteur. Cette solution est présentée sur les images ci-dessous.

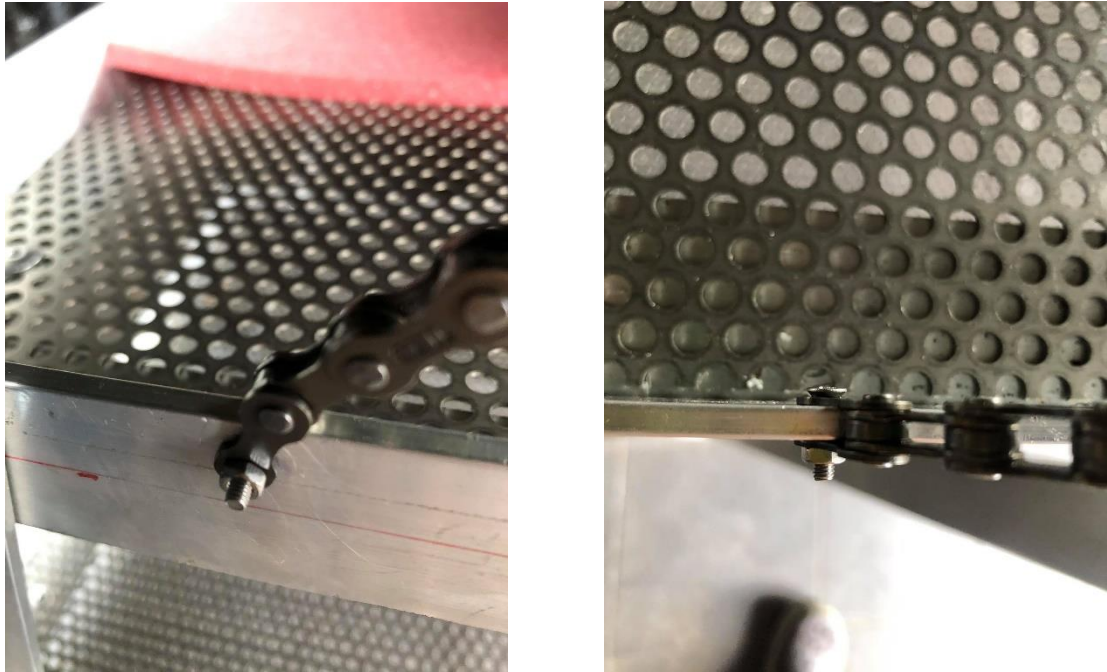


Figure 23 Système de fixation de la chaine aux plateaux

7. Calculs et dimensionnement du moteur utilisé pour le système mécanique

Les premières des données à fixer sont les dimensions du système. Nous avons donc créé un fichier Excel avec les données que nous avons choisies. Nous pourrions donc ainsi venir les modifier directement si celles-ci ne correspondent pas avec les plans de Juliette ou de ISF.

Ensuite, dans ce même Excel, nous viendrons estimer le poids qu'un plateau devra supporter en le remplissant entièrement d'œufs de poule.

Grâce au poids que nous trouvons, nous pourrions venir calculer la puissance et le couple minimum dont notre moteur DC aura besoin. Nous dimensionnerons également le pignon de vélo que nous utiliserons.

Pour le moteur DC, nous prendrons l'hypothèse d'un mouvement quasi statique étant donné la faible vitesse de rotation de celui-ci. Nous effectuerons donc les calculs avec les méthodes de l'analyse statique.

7.1 Dimensions de base du mécanisme

Elles sont reprises dans le Tableau 1 suivant :

Dimensions du système [m]	
Hauteur	1
Largueur	0,54
Longueur	0,54
Aire (1 plateau) [m ²]	0,2916

Tableau 1 Dimensions de base

7.2 Calcul de la charge totale d'un plateau

Des hypothèses réelles ont été faites sur la taille et le poids des œufs et le Tableau 2 reprend ces valeurs.

Poids d'un œuf [g]	70
Diamètre d'un œuf [cm]	6
Nb œufs largeur	9
Nb œufs longueur	9
Nb total œufs	81
Poids total (1 plateau) [kg]	5,67
Poids total [N]	55,6227
Charge surfacique [N/m ²]	190,75
Charge linéique q [N/m]	103,005

Tableau 2 Calculs charge totale pour un plateau

7.3 Calcul de la puissance et du couple du moteur

Certaines hypothèses sont faites également pour le moteur que nous allons choisir. Le Tableau 3 les reprend toutes.

Hypothèses sur le moteur	
Vitesse de rotation [tour/min]	2,5
Vitesse de rotation [rad/s]	0,26179939
Rayon du pignon [m]	0,05

Tableau 3 Caractéristiques du moteur DC

Ainsi, nous pouvons commencer le calcul de la puissance du moteur. Plusieurs formules vont être utilisées et celles-ci sont reprises ci-dessous.

$$P_M = F * V \text{ avec } V = r * \omega$$

$$P_M = C * \omega$$

Notre schéma simplifié de départ est celui représenté à la Figure 24. Nous avons une force répartie ainsi qu'un moteur avec un vitesse de rotation ω .

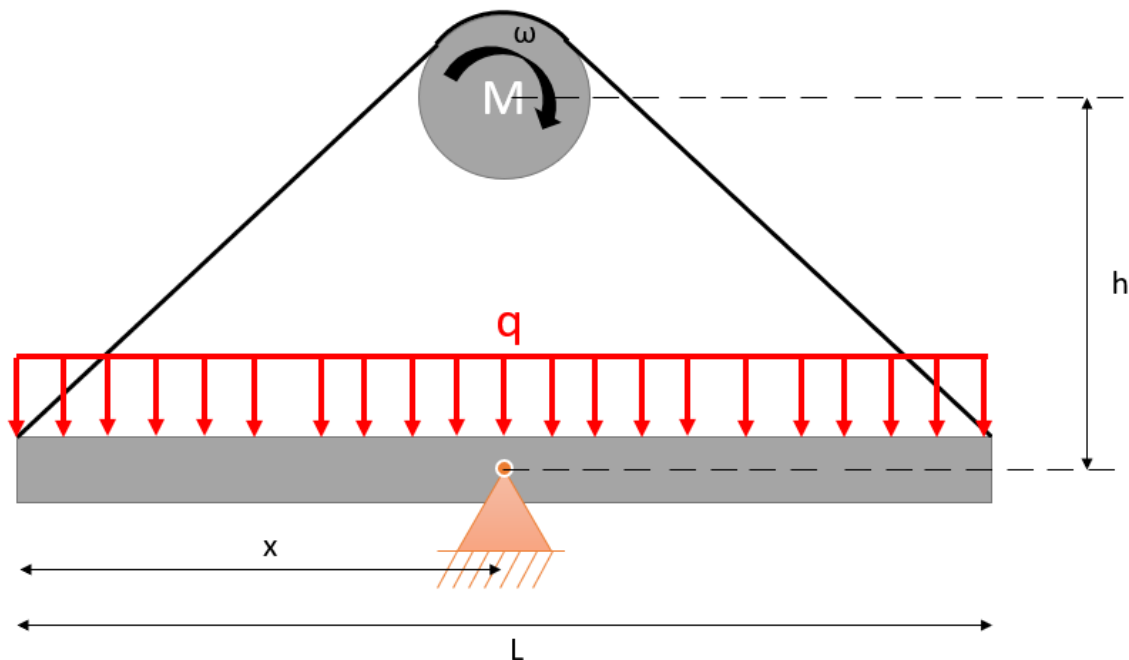


Figure 24 Schéma des forces s'exerçant sur le plateau

Nous prenons dès lors le cas le plus défavorable, celui où le moteur aura le plus de puissance à fournir pour faire tourner les plateaux, à l'angle maximum autorisé (Figure 23).

$$\text{avec } F_{rés} = q * x$$

Dès lors, nous pouvons nous ramener à l'étude du plateau qui reprend ainsi les tractions dans la chaîne de vélo ainsi que les réactions d'appuis.

Cas le plus défavorable

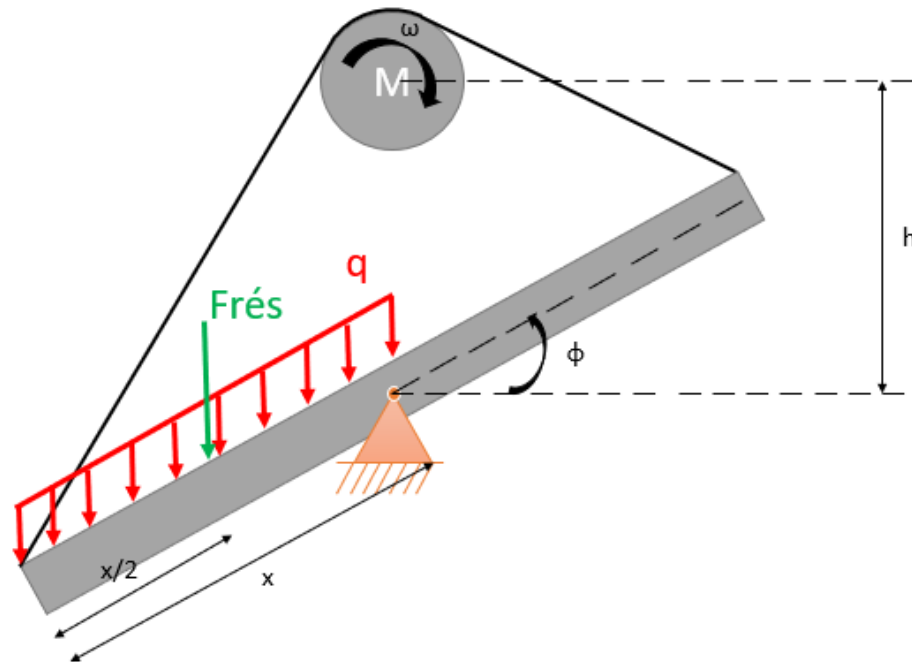


Figure 26 Cas le plus défavorable

Schéma rendu libre

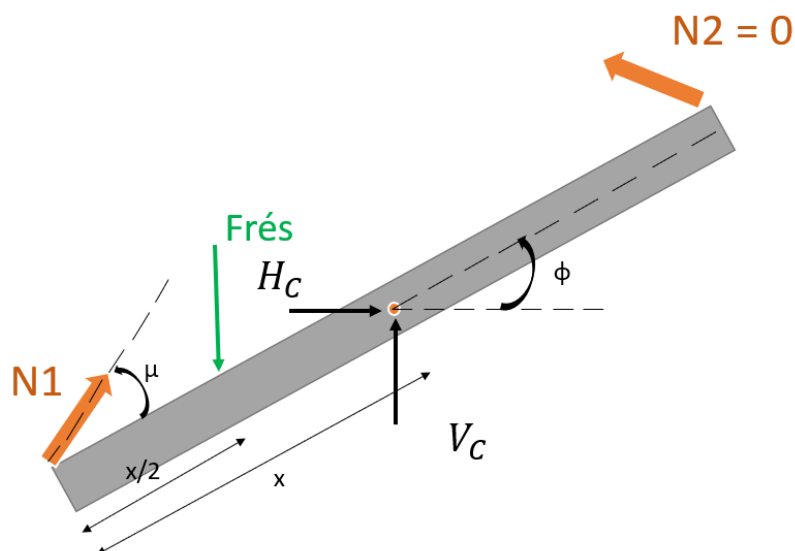


Figure 25 Schéma rendu libre

Nous faisons alors un équilibre moment au point C et nous en déduisons la force N1 dans la chaîne de vélo. Nous pouvons faire l'hypothèse que N2 est nul car dans le cas le plus

défavorable, seulement la partie gauche de la chaîne vient reprendre une charge. Le côté droit n'est pas tendu et donc avec une force négligeable.

$$F_{rés} * \cos \varphi * \frac{x}{2} - N_1 * \sin \mu * x = 0$$

$$\frac{F_{rés} * \cos \varphi * \frac{x}{2}}{\sin \mu * x} = N_1$$

Le Tableau 4 suivant donne les valeurs de calcul que nous trouvons.

Valeurs schéma rendu libre	
q [N/m]	103,005
Frés pour 1 plateau [N]	27,81135
Frés pour 3 plateau [N]	83,43405
Angle ϕ (radians)	0,78539816
Angle ϕ (degrés)	45
Angle chaîne/plateau (rad)	0,27925268
Angle chaîne/plateau (deg)	16
Calcul de N1	
N1 [N]	107,018844
Puissance et couple	
Vitesse du moteur [m/s]	0,01308997
Puissance [W]	1,4008734
Couple [Nm]	5,35094222

Tableau 4 Résultats des calculs

Conclusion :

Notre moteur devra avoir une puissance minimale de 1,4 Watts, ce qui est vraiment peu. Étant donné que les moteurs en vente ont généralement une puissance supérieure à celle que l'on a calculé et que leur prix n'est pas si cher que ça, nous prendrons un moteur de 14 Watts. De plus, le moteur que nous choisissons a directement une vitesse de rotation de 2,5t/min. Cela nous convient parfaitement car nous n'avons dès lors pas besoin d'ajouter un réducteur de vitesse. Ainsi, nous sommes du côté de la sécurité et nous nous assurons que les forces de frottements ainsi que les pertes dans le mécanisme soient largement supportées par notre moteur. De plus, si la charge surfacique vient à augmenter, le moteur sera facilement capable de la reprendre.

Un paramètre clé du système sera le rayon du pignon que nous viendrons placer sur le moteur. En effet, si le rayon augmente, le couple que devra reprendre le moteur augmentera également. La puissance étant liée au couple, elle augmentera aussi. Par exemple, si le rayon vaut dès lors non pas 5 cm mais 10 cm, la puissance du moteur devra être de minimum 2,8 Watts.

8. Plan de secours : moteur essuie-glace

Il est toujours possible que le moteur que l'on mettrait dans notre mécanisme automatisé puisse tomber en panne voire ne plus fonctionner du tout. Le problème serait tel que les locaux devraient en trouver un autre à portée de main. Nous avons donc pensé à un plan B pouvant permettre le remplacement du moteur inhérent à la couveuse automatique.

En effet, les moteurs d'essuie-glace peuvent être facilement trouvables en Afrique sur de vieilles voitures hors d'usage. Ces moteurs pourraient devenir le moteur de remplacement pour permettre le bon fonctionnement de la couveuse et nous avons analysé les particularités de celui-ci.

La Figure 27 suivante montre à quoi ressemble un moteur d'essuie-glace retiré du dessous du capot de la voiture.



Figure 27 Moteur d'essuie-glace

Ce type de moteur demanderait un système mécanique non présent dans notre approche de base. En effet, le moteur que nous utilisons pour faire tourner les plateaux est un moteur avec 3 phases (un neutre+ deux sens de rotation). Dans le code informatique, nous venons seulement changer le sens de fonctionnement du moteur de manière software. Pour le moteur d'essuie-glace, il n'en est rien et nous allons devoir ajouter un petit système électrique permettant de palier à ce problème.

Nous viendrons donc entourer le moteur de 4 contacteurs. Cela s'appelle un pont en H et permet l'inversion de l'alimentation sur un moteur ne possédant pas de neutre. Le câblage électrique de l'image suivante montre le fonctionnement de ce pont en H.

1. Si l'on veut un sens de rotation précis, il suffit par exemple d'activer les contacteurs KA1. Le courant pourra dès lors passer dans le moteur de gauche à droite. Le moteur tournera donc dans un sens.

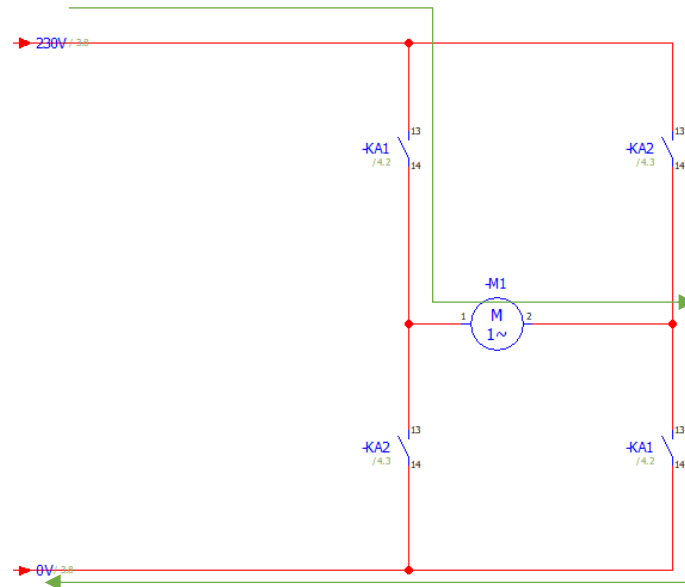


Figure 28 pont en H sens 1 de rotation

2. Si l'on veut tourner dans l'autre sens, les contacteurs KA1 seront déconnectés et les KA2 seront connectés. Le courant passera donc dans l'autre sens dans le moteur et celui-ci tournera donc dans le sens opposé au précédent.

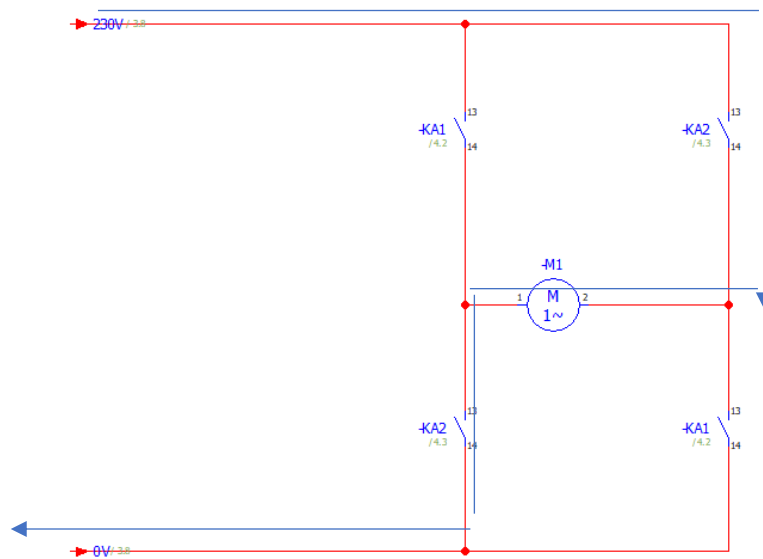


Figure 29 pont en H sens 2 de rotation

9. Étude Electrique du système

Après avoir étudié la partie mécanique de la couveuse, penchons-nous désormais sur la partie électrique du système. Les plans électriques de l'installations se trouvent en Annexe et il est intéressant d'y jeter un coup d'œil afin de se faire une idée de notre installation électrique.

Afin d'assurer la sécurité de l'utilisateur et le bon fonctionnement de notre système, nous avons dû utiliser bon nombre de composants électriques et nous allons expliquer ci-après l'utilité de tout un chacun.

9.1 Moteur

Le moteur que nous utilisons pour faire tourner le mécanisme de retournement est un moteur possédant les caractéristiques reprises sur l'image suivante.

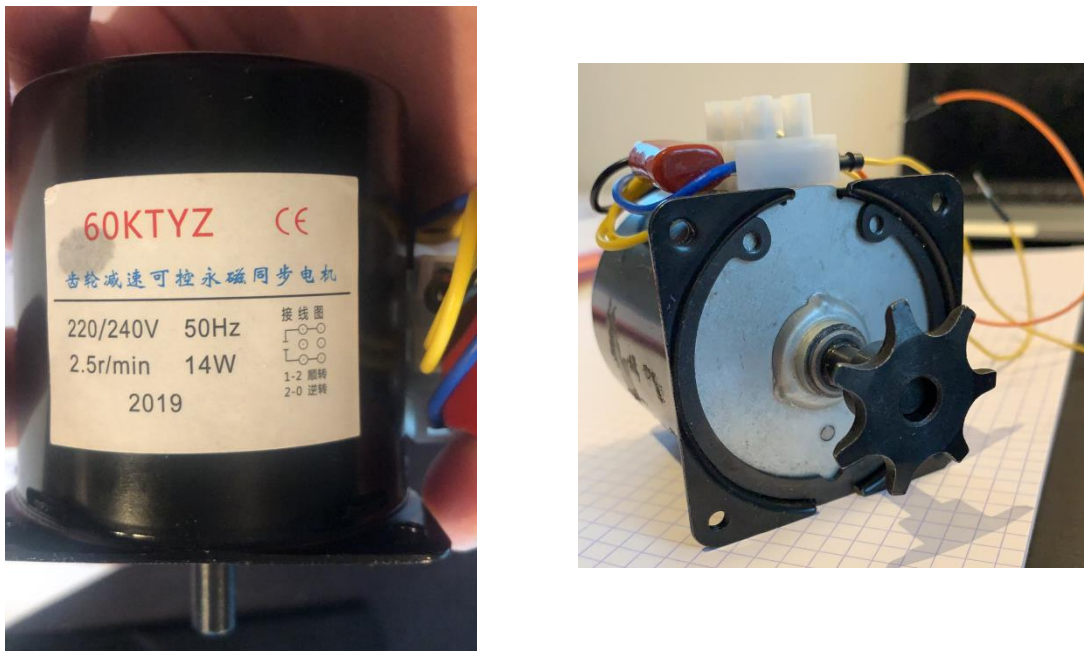


Figure 30 Moteur de notre application

Celui-ci a besoin d'une tension à ses bornes de 220V à 240V. Il sera donc le seul élément électrique de notre système à être relié directement à l'alimentation directe. Les plans électriques reprennent bien cette particularité et il est facile de remarquer le branchement du moteur au 230V. De plus, ces plans reprennent bien la configuration en pont en H dont nous avons parlé précédemment dans le cas où il devrait y avoir un remplacement du moteur par un moteur d'essuie glaces.

9.2 Capteurs

Les capteurs sont de types capacitifs et viendront renvoyer un 1 logique si le plateau a atteint les 45° d'inclinaison dans un sens et un 0 logique lorsque le plateau ne sera pas devant lui et



Figure 31 Capteurs capacitifs

donc en train de tourner. C'est pourquoi nous avons deux capteurs pour détecter la position des plateaux dans les deux sens de retournement des œufs. Les capteurs que nous avons commandés sont repris sur l'image suivante.

9.3 Arduino

Afin de réaliser la partie automatique du mécanisme, nous utilisons un système Arduino permettant la liaison de tous nos composants (moteur, capteurs, boutons poussoirs, bouton d'arrêt d'urgence, ...). L'Arduino que nous utilisons demande une tension d'alimentation (Vin) entre 7 et 12V et fourni une tension de fonctionnement de 0 à 5V (logique binaire). Il nous faudra donc un transformateur afin d'abaisser la tension de 230V à 9V.

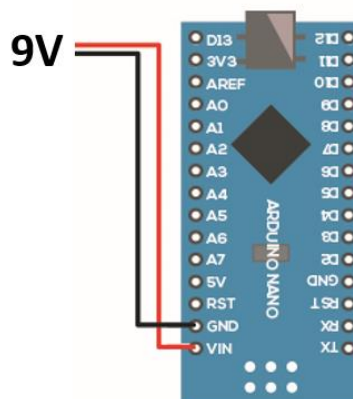


Figure 32 Tension d'alimentation 9V sur Arduino

9.4 Transformateur 230V/12V

Comme expliqué ci-dessus, nous avons donc pris un transformateur capable de ramener la tension de 230V à 12V pour ainsi alimenter notre Arduino dans les bonnes conditions. L'image suivante est le composant qui nous a été livré.



Figure 33 Transformateur 230V/12V

Nous pouvons remarquer que celui-ci sort du 12V mais possède également un régulateur permettant de venir prendre une tension de 8V ou de 4V en sortie. Nous nous servirons de cette particularité pour alimenter notre Arduino.

9.5 Relais électrique

Le relais est l'élément phare de ce coffret électrique. Il se compose de deux parties, l'embase et la bobine. Ce relais est un relai 12V qui va permettre d'actionner le moteur. Un sens de



Figure 34 Relais électrique

rotation correspond à un relais. Il va également servir en cas de changement de moteur à inverser les sens de rotation. Cela sera possible en créant un pont H ce qui inversera le sens d'alimentation du moteur et donc son sens de rotation.

9.6 Sélecteur

Le sélecteur est un sélecteur 3 positions, sur lequel est accouplé des contacts NO afin de permettre de commande le système et ainsi pouvoir faire fonctionner dans un sens ou dans l'autre le système.



Figure 35 Sélecteur de sens de rotation

9.7 Coffret électrique

Finalement, nous avons également fait l'acquisition d'un coffret électrique permettant de regrouper tous les composants cités auparavant afin d'assurer l'isolation des éléments électriques mais surtout d'assurer la sécurité de l'utilisateur.

Ce coffret électrique possède différents composants tels que des boutons poussoirs, un bouton d'arrêt d'urgence, un sélecteur. Nous allons en faire usage dans notre code informatique afin d'assurer le mode automatique mais également un mode manuel.



Figure 36 Coffret électrique

10. Organigramme électronique

Afin d'avoir une première idée sur le fonctionnement électrique de notre installation, il est judicieux de réaliser un organigramme pour représenter schématiquement les liens et les relations fonctionnelles.

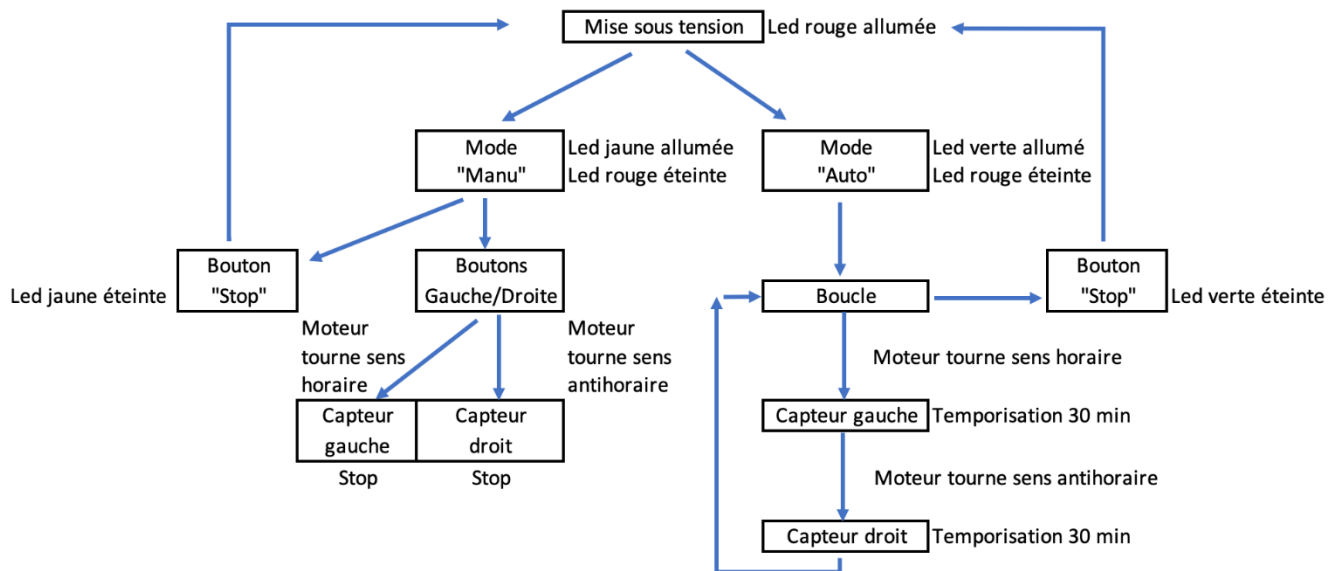


Figure 37 Organigramme programmation

Tout commence avec la mise sous tension de l'installation, une led rouge s'allume pour prévenir l'utilisateur que le programme est allumé. C'est la position intermédiaire.

Ensuite, si l'utilisateur décide d'enclencher le mode « automatique » par l'appui sur un bouton, la led verte s'allume et la rouge s'éteint. La boucle s'enclenche automatiquement. Le moteur tourne dans le sens horaire jusqu'à ce que le capteur de fin de course gauche ne réagisse, indiquant que la position extrême gauche est atteinte. Les plateaux sont à l'arrêt inclinés de 45° et une temporisation de 30 minutes s'enclenche. Après celle-ci, le moteur tourne dans le sens antihoraire jusqu'à atteindre la position extrême opposée et une autre temporisation de 30 minutes s'enclenche à nouveau. Le cycle recommence ainsi sans interruptions à moins que l'utilisateur n'appuie sur le bouton « Stop » auquel cas le programme de basculement s'arrête. La led verte s'éteint et la led rouge s'allume signalant la position intermédiaire du programme.

L'utilisateur peut également effectuer le basculement manuel des plateaux. En effet, en appuyant sur le mode « manuel », la led rouge s'éteint et la led jaune s'allume. Le sélecteur droite/gauche permet de faire faire tourner le moteur dans le sens horaire ou antihoraire jusqu'aux positions extrêmes signalées par les capteurs de fin de course. Suivant la même logique, le bouton « Stop » éteint la led jaune et allume la led rouge.

11. Programme Arduino pour le retournement automatique

Nous avons décidé de réaliser le programme de retournement automatique avec une carte Arduino en langage C pour plusieurs raisons :

- La simplicité : Le projet a été conçu pour que des débutants en électronique puissent comprendre et interagir rapidement avec le programme.
- Le prix : De nos jours la domotique peut paraître cher et les composants électroniques assez onéreux. Une carte Arduino ne coûte qu'une vingtaine d'euros et les principaux composants du programme (résistances, leds) sont très peu cher (1€/pièce).
- L'essentiel : Le programme doit rester simple et se doit d'éviter le superflu.

11.1 Schéma de câblage théorique

Grâce à un outil en ligne, nous avons pu simuler le câblage et ainsi visualiser les failles possibles du programme.

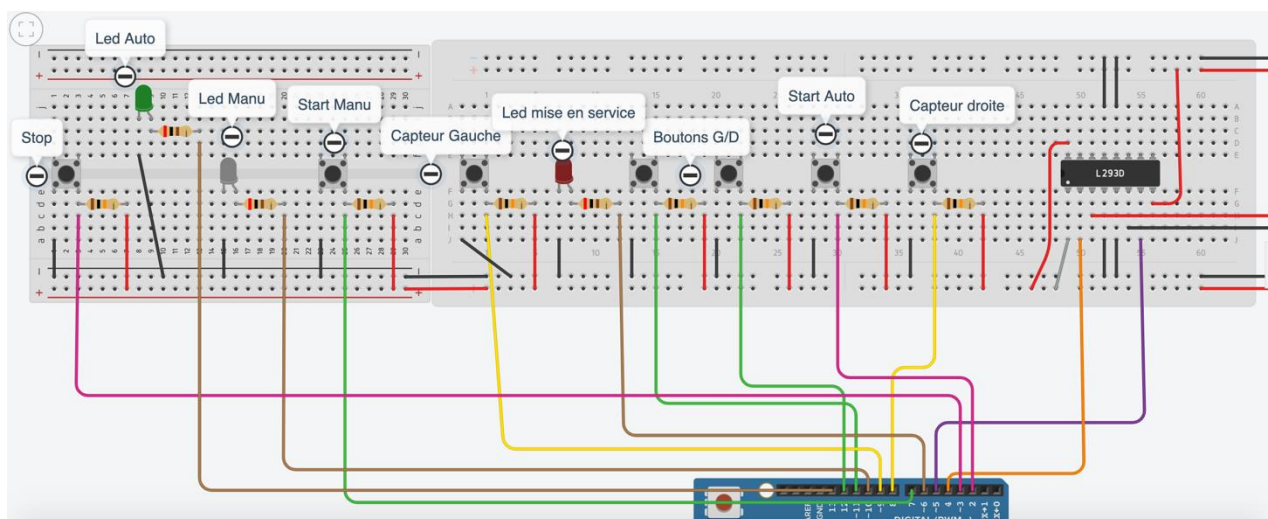


Figure 38 Câblage électronique pour simulation

Comme expliqué plus haut dans l'organigramme, le nécessaire physique au bon fonctionnement comportait :

- 2 boutons pour les modes automatique et manuel
- 1 bouton « Stop »
- 2 capteurs de fin de courses
- 2 boutons (ou un sélecteur) gauche/droite pour faire tourner le moteur manuellement dans les deux sens
- 3 leds (rouge, verte, jaune)
- Des résistances de 10k Ω pour les boutons poussoirs
- Des résistances de 200 Ω pour les leds

- 1 microcontrôleur L293D pour piloter le moteur
- 1 carte Arduino UNO
- 1 pile de 9V
- 1 moteur à courant continu

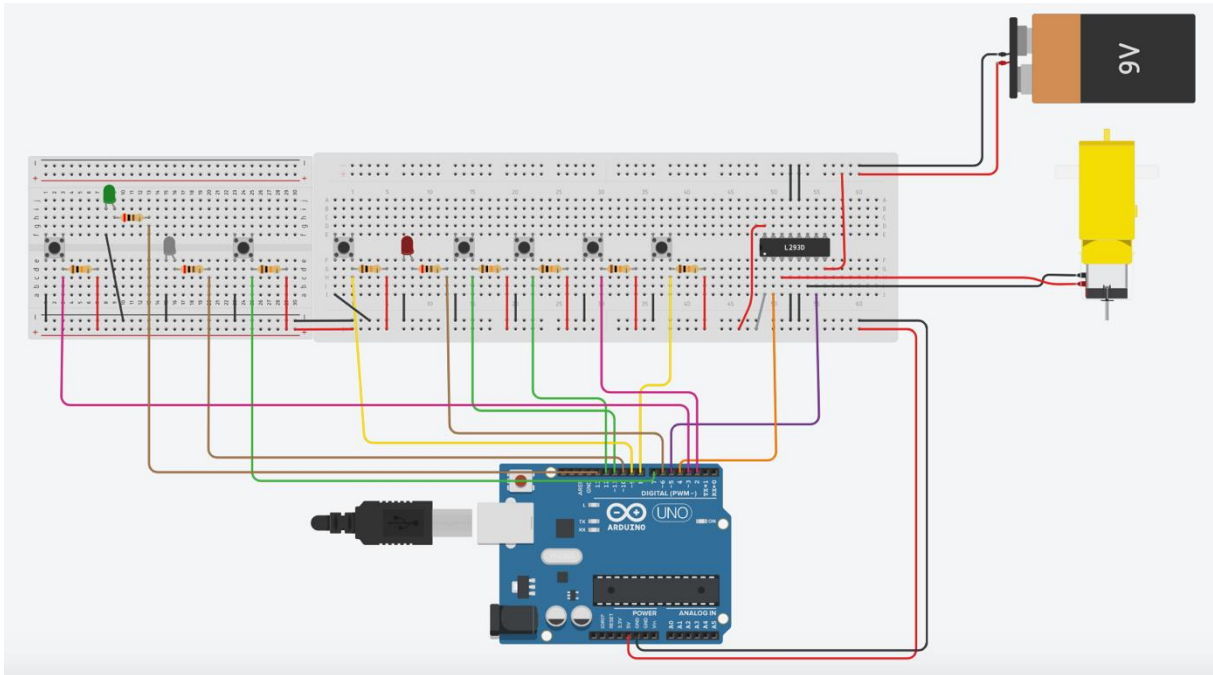


Figure 39 Câblage simulation avec moteur et alim

11.2 Analyse du code

11.2.1 Déclaration des variables

La première étape consiste à déclarer toutes les constantes et les variables. Il s'agit dans un premier temps d'assigner chaque constante à une broche de l'Arduino.

```
// Variables d'état des entrées:

int etat_bp_g;           // Déclaration des variables d'etat droite et gauche
int etat_bp_d;
int mem_g = 1;           // Déclaration des mémoires gauche et droite
int mem_d = 1;
int etat_capt_g;         // Déclaration des variables d'etat fin de course droite et gauche
int etat_capt_d;
int mem_capt_g = 1;      // Déclaration des mémoires fin de course droite et gauche
int mem_capt_d = 1;

// Déclaration de sorties

int Moteur_sens1 = 4;     // Pin 4 Arduino vers broche A+ du L293D
int Moteur_sens2 = 5;     // Pin 5 Arduino vers broche A- du L293D

// Variable d'états de contrôle

int cap_gauche;          // Variables capteurs gauche/droite
int cap_droite;
int go_gauche;           // Variables boutons gauche/droite
int go_droite;
int etap;                // Variable pour les macro-etat du mode auto
int i;                   // Variable pour la temporisation

// Déclaration des constantes d'entrée pour la led de mise en service

const int ledPin = 6;     // Led rouge sur la broche 6

// Déclaration des constantes d'entrée pour le mode start/automatique

const int start_auto = 2; // Bouton start auto sur la broche 3
const int led_auto = 13;  // Led auto (verte) sur la broche 13

int etat_auto;           // Variable d'état du bouton auto
int mem_auto = 1;        // Mémoire du dernier bp_mode (=1 par défaut)

// Déclaration des constantes d'entrée pour le mode automatique

const int mode_manu = 7;  // Bouton mode manu sur la broche 7
const int led_manu = 10;  // Led manu (jaune) sur la broche 10

int etat_manu;           // Variable d'état du bouton manu
int mem_manu = 1;        // Mémoire du dernier bp_mode (=1 par défaut)

// Declaration des constantes d'entrée pour le bouton STOP

const int bp_stop = 3;    // Bouton stop sur la broche 3

int etat_stop;           // Variable d'état du bouton stop
int mem_stop = 1;        // Mémoire du dernier etat (=1 par défaut)
int stoop;               // Variable d'état pour tester le bp stop

// Déclaration des constantes d'entrée

const int commande_gauche=11; // Bouton Gauche sur la broche 11
const int commande_droite=12; // Bouton Droit sur la broche 12
const int capteur_gauche = 9; // Capteur Gauche sur la broche 9
const int capteur_droit = 8;  // Capteur droit sur la broche 8
```

11.2.2 Fonction Setup()

Une fois les variables et les constantes déclarées, il faut ensuite les initialiser comme des entrées ou des sorties de l'Arduino. Cette action sera réalisée une seule fois au démarrage.

```
void setup()
{
  // Valeurs de sortie pour la Led "mise en service"
  pinMode(ledPin, OUTPUT);

  // Valeurs pour le mode "start/auto"
  pinMode(start_auto, INPUT);
  pinMode(led_auto, OUTPUT);

  // Valeurs pour le mode "manu"
  pinMode(mode_manu, INPUT);
  pinMode(led_manu, OUTPUT);

  // Valeur d'entrée du bouton "stop"
  pinMode(bp_stop, INPUT);

  // Valeur d'entrée des commandes
  pinMode(commande_gauche, INPUT_PULLUP); // On définit la broche 11 en entrée digitale
  pinMode(commande_droite, INPUT_PULLUP); // On définit la broche 12 en entrée digitale
  pinMode(capteur_gauche, INPUT_PULLUP); // On définit la broche 9 en entrée digitale
  pinMode(capteur_droit, INPUT_PULLUP); // On définit la broche 8 en entrée digitale

  // Valeurs de sortie
  pinMode(Moteur_sens1, OUTPUT); // Pin 4 Arduino en sortie digitale
  pinMode(Moteur_sens2, OUTPUT); // Pin 5 Arduino en sortie digitale

  Serial.begin(9600);

  //Par défaut, quand on met sous tension la led rouge s'allume "MISE SOUS TENSION"
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  digitalWrite(led_auto, LOW);
  digitalWrite(led_manu, LOW);

  etape = 0; // On met la variable à 0 par défaut
}
```

Les leds sont branchées comme des sorties. Le programme peut écrire un chiffre binaire au moyen de « digitalWrite(...) », chiffre qui dans le programme sont nommées HIGH pour le 1 et LOW pour le 0, qui se traduira en une tension de 5V ou de 0V. L'allumage d'une des deux sorties sur lequel est branché le moteur (pin 4 et 5) fait tourner le moteur dans un sens ou dans l'autre.

Les boutons poussoirs sont branchés comme des entrées. Le programme peut lire une tension présente sur cette broche en utilisant « digitalRead(...) ». Lors de l'appui sur un bouton, un chiffre binaire (0 ou 1) est lu avec une tension lui correspondant.

Par défaut, la led rouge est allumée lors de la mise sous tension et les deux autres sont éteintes.

11.2.3 Fonction Loop()

Il faut savoir que tout ce qui se trouve à l'intérieur de la fonction Loop() de l'Arduino sera effectué sans arrêt de haut en bas comme son nom l'indique (boucle).

```
void loop()
{
// MODE "DEMARRAGE" => QUAND ON APPUIE SUR START/AUTO, LA LED VERTE S'ALLUME

etat_auto = digitalRead(start_auto);

if ((etat_auto != mem_auto) && (etat_auto == 1) && (digitalRead(led_manu) == LOW))
{
    Serial.println("Bouton auto -> Mode AUTO");
    if(!digitalRead(led_auto))
    {
        digitalWrite(ledPin, LOW);    // On éteint la led rouge
        digitalWrite(led_auto, !digitalRead(led_auto));
        etap = 1;
    }
}
mem_auto = etat_auto;    // FS, On met le nouvel état dans la mémoire

// ALLUMAGE LED "MANU"

etat_manu = digitalRead(mode_manu);

if ((etat_manu != mem_manu) && (etat_manu == 1) && (digitalRead(led_auto) == LOW))
{
    Serial.println("Bouton manu -> Mode MANU");
    if(!digitalRead(led_manu))
    {
        digitalWrite(ledPin, LOW);
        digitalWrite(led_manu, !digitalRead(led_manu));
    }
}
mem_manu = etat_manu;    // FS, On met le nouvel état dans la mémoire

// STOP -> ON ETEINT LES DEUX LED (MANU,AUTO) ET ON ALLUME LA LED ROUGE

etat_stop = digitalRead(bp_stop);

if ((etat_stop != mem_stop) && (etat_stop == 1))
{
    Serial.println("Bouton stop");
    stoop = 1;
}
mem_stop = etat_stop;

// Capteur -> ON STOP

etat_capt_g=digitalRead(capteur_gauche);
etat_capt_d=digitalRead(capteur_droit);

if ((etat_capt_g != mem_capt_g) && (etat_capt_g == 1))
{
    Serial.println("Capt G");
    cap_gauche = 1;
}
mem_capt_g = etat_capt_g;    // FS - il faut tjs mémoriser le nouvel éta bouton

if ((etat_capt_d != mem_capt_d) && (etat_capt_d == 1))
{
    Serial.println("Capt D");
    cap_droite = 1;
}
mem_capt_d = etat_capt_d;
```

Pour gérer les différents boutons, la logique est similaire à tous.

L'état d'un bouton (0 ou 1) est lu grâce à la fonction « digitalRead ».

Si cet état diffère de sa mémoire, par un front montant, c'est que le bouton a été appuyé.

Dans ce cas (if), on réalise l'action du bouton.

Pour le bouton « auto » comme pour le « manu », on éteint la led rouge de mise en service et on allume la led correspondante. On n'oublie pas de mettre le nouvel état du bouton dans sa mémoire. Pour le mode auto, on incrémente une variable de contrôle « etap » à 1.

Pour le « Stop », on met la variable de contrôle « stop » à 1 pour dire que le bouton a été enclenché.

Idem pour les capteurs et les boutons gauche/droite, une variable de contrôle passe à 1. Sans oublier de mettre le nouvel état du bouton dans sa mémoire.

```
// Boutons gauche/droite
etat_bp_g=digitalRead(commande_gauche);
etat_bp_d=digitalRead(commande_droite);

if ((etat_bp_g != mem_g) && (etat_bp_g == 1))
{
    Serial.println("Bouton G");
    go_gauche = 1;
}
mem_g = etat_bp_g;
if ((etat_bp_d != mem_d) && (etat_bp_d==1))
{
    Serial.println("Bouton D");
    go_droite = 1;
}
mem_d = etat_bp_d;
```

Retrouvons désormais les parties élémentaires pour automatiser le système.

D'abord le mode « boucle automatique ». Si la led verte est allumée et la led jaune est éteinte, on rentre dans la condition. La variable « etap » que nous avons incrémentée lors de l'allumage de la led verte est à 1 et permet de faire tourner le moteur dans le sens 1. Si on appuie sur « Stop » le cycle s'arrête et la variable « etap » retourne à 0. Si le capteur gauche s'enclenche (cap_gauche = 1), le moteur s'arrête, la variable « etap » passe à 4 et on rentre dans une macro-état qui nous permet de faire une temporisation. Pendant celle-ci on contrôle que le bouton « stop » n'est pas appuyé. A la fin de la temporisation la variable « etap » passe à 2. S'en suit la même logique mais dans le sens de rotation 2 et pour le capteur droit. A la fin de la deuxième temporisation la variable « etap » repasse à 1 et on reprend le cycle du début.

Lorsqu'une variable de contrôle passe à 1 ce qui veut dire qu'on a appuyé sur un bouton, il ne faut pas oublier de la remettre à 0 afin qu'un prochain appui soit pris en compte.

```
// MODE "BOUCLE" => Led verte allumée

if(digitalRead(led_auto) == HIGH && digitalRead(led_manu) == LOW)
{
  if(etap==1)
  {
    Rotation_Sens_1();
    if(stoop==1)
    {
      Serial.println("Etape 1 ... STOP");
      stoop=0;
      Arret();
      Stop_RST_LED();
      etap =0;
    }
    else if(cap_gauche==1)
    {
      Serial.println("Etape 1 ... Capt G");
      cap_gauche=0;
      Arret();
      //Tempo();
      i=0;
      etap =4; // tempo
    }
  }
  else if(etap==4) // l'étape de tempo -> boucle de tempo
  {
    if (i== 30) // Tempo 30 min
    {
      Serial.println("Etape 1-4 ... Fin Tempo");
      etap=2;
      i=0; // pas nécessaire, car je le fais encore après
    }
    else if(stoop==1)
    {
      stoop=0;
      Arret();
      Stop_RST_LED();
      etap =0;
    }
    else
    {
      delay(100);
      i=i+1;
    }
  }
}

else if(etap==2)
{
  Rotation_Sens_2();
  if(stoop==1)
  {
    Serial.println("Etape 2 ... STOP");
    stoop=0;
    Arret();
    Stop_RST_LED();
    etap =0;
  }
  else if(cap_droite==1)
  {
    Serial.println("Etape 2 ... Capt D");
    cap_droite=0;
    Arret();
    //Tempo();
    i=0;
    etap =5;
  }
}
else if(etap==5) // l'étape de tempo -> boucle de tempo
{
  if (i==30) // Tempo 30 min
  {
    Serial.println("Etape 2-5 ... Fin Tempo");
    etap=1; // on recommence
    i=0; // pas nécessaire, car je le fais encore après
  }
  else if(stoop==1)
  {
    stoop=0;
    Arret();
    Stop_RST_LED();
    etap =0;
  }
  else
  {
    delay(100);
    i=i+1;
  }
}
```

Ensuite le mode « manuel ». Si la led jaune est allumée et que la led verte est éteinte, on rentre dans la condition. Ce mode test simplement les variables de contrôle. Si la variable du bouton gauche est passée à 1 c'est qu'on a appuyé dessus auquel cas on fait tourner le moteur dans le sens 1. Idem pour le droit. Si la variable de contrôle du capteur gauche est passée à 1 c'est qu'il s'est déclenché auquel cas on stop le moteur. Pour finir, si le bouton stop a été appuyé (stooop = 1) alors on sort du cycle et la led jaune s'éteindra, la led rouge s'allumera, comme expliqué plus haut.

```
// MODE MANU  => Led jaune allumée

if (digitalRead(led_manu) == HIGH && digitalRead(led_auto) == LOW)
{
    // en mode manu, tu dois simplement tester les boutons et les états des capteurs
    if(go_gauche == 1)
    {
        go_gauche = 0;
        Rotation_Sens_1();
    }
    if(cap_gauche ==1)
    {
        Arret();
        cap_gauche = 0;
    }
    if(stoop == 1)
    {
        stoop = 0;
        Arret();
        Stop_RST_LED();
    }
    if(go_droite == 1)
    {
        go_droite = 0;
        Rotation_Sens_2();
    }
    if(cap_droite ==1)
    {
        Arret();
        cap_droite = 0;
    }
}
```

Pour finir, nous avons utilisé quatre fonctions pour simplifier le code. Elles nous permettent de faire tourner le moteur dans un sens ou dans l'autre, de l'arrêter et d'éteindre les deux led des modes « auto » et « manu » pour revenir à la position intermédiaire (led rouge allumée).

```
// Fonctions pour le sens de rotation, l'arrêt et le stop

void Rotation_Sens_1()
{
    digitalWrite(Moteur_sens1, HIGH); // Activation de la broche A+ du L293D
    digitalWrite(Moteur_sens2, LOW); // Désactivation de la broche A- du L293D
    Serial.println("Moteur marche avant");
}

void Arret()
{
    digitalWrite(Moteur_sens1, LOW); // Désactivation de la broche A+ du L293D
    digitalWrite(Moteur_sens2, LOW); // Désactivation de la broche A- du L293D
    Serial.println("Moteur arrêt");
}

void Rotation_Sens_2()
{
    digitalWrite(Moteur_sens2, HIGH); // Activation de la broche A+ du L293D
    digitalWrite(Moteur_sens1, LOW); // Désactivation de la broche A- du L293D
    Serial.println("Moteur marche arrière");
}

void Stop_RST_LED()
{
    digitalWrite(led_manu, LOW);
    digitalWrite(led_auto, LOW);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
```

12. Étapes réalisées lors de la construction du prototype

Toutes les étapes précédentes ont permis d'étudier le prototype que nous allions construire. Après le passage de la commande pour avoir tous les matériaux nécessaires au commencement du mécanisme, nous nous sommes attelés à la tâche durant trois journées complètes de 10 heures. Ne sachant pas utiliser nos mains de façon productive par manque de pratique durant les études ou durant nos temps libres, nous avons passé beaucoup de temps à apprendre à mesurer, à utiliser une foreuse de la façon adéquate ainsi qu'à chercher comment faire les différentes opérations que nous devions effectuer.

Heureusement, nous avons pu bénéficier des conseils d'une personne en connaissance de cause. Cette personne nous a gentiment prêté son atelier le temps nécessaire à la construction du prototype et nous a avisé de ses conseils pertinents durant la quasi-totalité de l'élaboration. Ainsi, nous avons commencé la construction et nous avons suivi deux étapes bien distinctes qui nous menées au résultat final que nous analyserons par après. Ces deux étapes sont l'élaboration des plateaux et l'élaboration de la structure portante.

12.1 Étape n°1 : Réalisation des plateaux

Pour la réalisation des plateaux, nous avons à disposition :

- De la tôle perforée en Inox 540mm*540 mm * 1,5mm (épaisseur) ;
- Des cornières en Aluminium 40mm*40mm *540mm ;
- De la visserie et des rivets ;

Avec ces matériaux, nous avons commencé par découper les cornières aux dimensions voulues (54cm de long). Afin de pouvoir emboîter les différentes cornières les unes dans les autres pour former le plateau carré, nous avons coupé à la scie à métaux des morceaux tel que représenté ci-dessous.

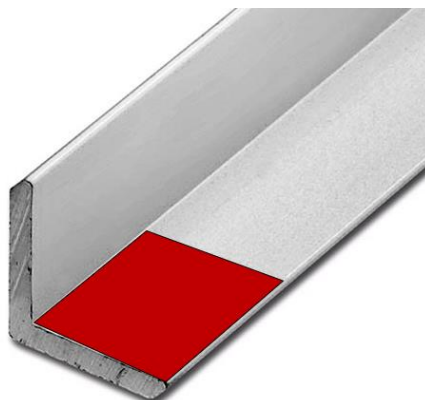


Figure 40 Morceaux coupés sur les cornières en Aluminium

De cette façon, nous avons pu mettre les 4 cornières pour former la forme carrée de nos plateaux. Ensuite, pour solidariser ces 4 morceaux, nous avons également utilisés des parties de cornières en aluminium. Nous avons percé les différents éléments de sorte à avoir des trous concentriques pour venir ensuite solidariser le tout avec des rivets comme montré ci-dessous.



Figure 41 Solidarisation entre cornières avec rivets

Après avoir effectué l'opérations le nombre de fois nécessaires, nous avons la structure finale de notre premier plateau. Nous avons alors découpé la tôle en inox trouée pour que celle-ci puis rentrer parfaitement dedans. Nous avons ensuite solidarisé cette tôle avec la cornière de la même façon qu'auparavant (via rivets).

Le premier plateau étant terminé, nous en avons fait deux de plus. Cela nous a pris un temps considérable en tenant compte du temps de réflexion que nous avons pris à imaginer la solution la plus pratique avec les moyens dont on disposait.

Dès lors, nous avons nos trois plateaux. Il ne restait « plus qu'à » relier les trois avec nos plats en aluminium pour ainsi propager le mouvement du premier dans les deux autres.

Pour cela, nous avons de nouveau percé plusieurs trous dans les cornières afin de venir placer les plats découpés aux dimensions voulues. Nous avons fait en sorte de laisser 25cm entre chaque plateau. Cette distance permettra ainsi la bonne mise en place des œufs dans les plateaux par l'utilisateur.

Ainsi donc, nous avons le résultat suivant :



Figure 42 Plateaux reliés entre eux

12.2 Étape n°2 : Réalisation de la structure portante

Comme nous l'avons expliqué auparavant, nous avons utilisé des tubes carrés en inox brossé pour les piliers de la structure. Sur ces tubes, nous sommes venus fixer des bouts de cornières également en inox afin de venir créer l'appui de notre futur arbre tournant. Cette fixation a été faite via un poste portatif de soudure. Nous disposons grâce à notre hôte d'un poste à souder et des baguettes de soudure permettant la liaison de deux éléments en Inox. Il nous a fallu beaucoup de temps pour comprendre le fonctionnement du poste et encore plus de temps pour s'entraîner à réaliser une soudure plus ou moins acceptable. Nous avons donc obtenu le résultat suivant :



Figure 43 Création de l'appui

Ensuite, Nous avons dû réfléchir à un moyen de faire tenir la structure portante droite. Nous avons donc créé un cadre à hauteur du sol avec des cornières permettant la bonne tenue de notre structure.

Après avoir tout solidarisé via le procédé de soudage, nous avons notre structure portante terminée. Cela nous a pris bien plus de temps qu'il n'y paraît et nous avons à plusieurs reprises failli abandonner. Néanmoins, le travail fût mené à bien via des efforts acharnés et nous avons pu finalement venir placer nos plateaux dans sur notre structure portante après avoir souder deux

à l'arbre tournant et le résultat final ne nous a pas déçu.



Figure 44 Mécanisme final de retournement d'œufs

Comme on peut le voir, nous avons également fixé un plat sur le haut de la structure et nous y avons intégré le moteur qui viendra faire tourner le système après avoir placé la chaîne métallique et avoir alimenté le tout.

13. Analyse et critique de notre prototype

Le résultat final est très satisfaisant et le mécanisme fonctionne quasiment à la perfection. Néanmoins, nous avons jugé bon d'analyser notre œuvre après coup afin de distinguer les erreurs que nous avons commises pour que notre prototype puisse servir à l'avenir afin de ne pas reproduire les mêmes fautes. Deux problèmes principaux sont mis en avant dans les sections qui suivent, ceux-ci étant la droiture et les soudures du prototype.

13.1 Problème de droiture

Le premier problème que nous avons observé est un problème de droiture dans notre mécanisme. En effet, même en ayant fixé chaque partie de notre structure avant une opération de sorte que rien ne puisse bouger, nous avons quand même des défauts de dimensions. Ceux-ci sont certainement dus à la soudure. De fait, lorsqu'on soude, on chauffe les éléments métalliques et ceux-ci se dilatent avec la chaleur. Lorsqu'ils refroidissent, ils se rétractent et il y a alors apparition de défauts inhérents au phénomène de rétraction. Afin d'éviter ces défauts, il faudrait dans un premier temps du matériel apte à fixer de manière plus stable les éléments soumis à la chaleur de soudage. Ainsi, les phénomènes de dilatation et de rétraction seraient évités le plus possible.

Ce défaut n'est pas gênant aux premiers abords mais lors de l'utilisation répétée du mécanisme de rotation, nous pouvons remarquer un déséquilibre lors de la rotation. En effet, le mécanisme devrait être parfaitement à l'équilibre lorsque celui-ci se trouve à l'horizontale mais dans notre cas, il s'avère que nous avons un léger déséquilibre. Celui-ci est minime mais il n'empêche qu'il est possible d'éviter cela dans le futur et c'est pourquoi nous en faisons part dans cette analyse.

13.2 Problème de soudure

L'action de souder n'est pas facile. Nous avons dû recommencer à plusieurs reprises les mêmes soudures et donc jeter une quantité non négligeable de matériaux. Néanmoins, nous avons toujours essayé d'être le plus économe possible et c'est pourquoi les soudures présentes sur notre mécanisme ne sont pas toutes dignes d'un professionnel en la matière. Ces mêmes soudures ont été retravaillées et polies de sorte que cela puisse être acceptable à l'œil nu pour un novice mais celles-ci seraient à refaire pour un mécanisme destiné à la vente. Il faudrait donc l'expérience d'un soudeur de métier pour réaliser les soudures adéquates.

14. Analyse de risque

Le mécanisme que nous avons élaboré ne présente pas de grands risques en lui-même comme pourrait présenter une machine-outil possédant des vitesses de rotation élevées. En effet, nous avons défini une vitesse très lente dans notre cas pour ne pas bousculer les œufs dans un premier temps et pour demander le minimum de puissance dans un second temps.

D'un point de vue mécanique, il n'y a pas de réel danger à notre connaissance qui pourrait demander une analyse de risque approfondie. Par contre, concernant la partie électrique, il est intéressant de s'intéresser aux risques auxquels l'utilisateur pourrait être confronté.

Nous avons néanmoins réalisé une analyse de risque par la méthode Van Kinney :

P x F x E	Probabilité P	0,1	à peine concevable		
		0,2	pratiquement impossible		
		0,5	concevable mais peu probable		
		1	peu probable mais possible dans des cas limites		
		3	peu courant		
		6	tout à fait possible		
		10	prévisible		
	Fréquence d'exposition F	0,5	très rare (moins d'une fois par an)		
		1	rare (annuel)		
		2	parfois (mensuel)		
		3	occasionnel (hebdomadaire)		
		6	régulier (journalier)		
		10	continu		
	Effet E	1	petit	blessure sans perte	dégâts < 250€
		3	important	blessure avec perte	dégâts entre 250€ et 2.500€
		7	sérieux	blessure irréversible invalidité	dégâts entre 25.000€ et 100.000€
		15	très sérieux	1 mort	dégâts entre 125.000€ et 250.000€
		40	catastrophe	plusieurs morts	dégâts > 250.000€
R	Score du risque	1	R ≤ 20	risque très limité	acceptable
		2	20 < R ≤ 70	risque possible	attention requise
		3	70 < R ≤ 200	risque important	mesures requises
		4	200 < R ≤ 400	risque élevé	amélioration immédiate requise
		5	R > 400	risque très élevé	cesser les activités

La méthode nous dit bien que le risque est très limité. Cependant cette méthode n'est pas vraiment adaptée à notre application car les risques de blessures ou de danger sont minimes.

Une deuxième méthode dite AMDEC est un outil de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité. Le but étant d'analyser, pour chaque fonction, les risques de dysfonctionnement.

1. Gravité des effets de la défaillance (G)

Niveau	Valeur	Définition
Mineure	1	La défaillance arrête le composant mais pas l'installation qui continue à fonctionner en mode dégradé
Moyenne	2	La défaillance arrête l'équipement mais pas la production qui continue à fonctionner en mode dégradé
Majeure	3	La défaillance arrête la production et nécessite une intervention de maintenance
Importante	4	La défaillance arrête la production impliquant des problèmes graves pour les hommes ou l'installation

2. Fréquence d'apparition de la défaillance (F)

Niveau	Valeur	Définition
Exceptionnel	1	Pas de mémoire de participant
Rare	2	Cela est déjà arrivé 1 ou 2 fois
Fréquent	3	Cela est déjà arrivé plusieurs fois
Certain	4	Cela arrivera à coup sûr

3. La capacité de détection de la défaillance (D)

Niveau	Valeur	Définition	Valeur	Définition
			$1 < C < 8$	Négligeable : on les laisse de côté
Evident	1	Détection certaine	$8 < C < 14$	Moyenne : on se pose les questions de les laisser ou conserver
Possible	2	Délectable par l'opérateur	$14 < C < 27$	Élevée : il faut trouver des actions à mettre en œuvre et regarder l'importance de mettre en stock les composants ou organes
Improbable	3	Difficilement détectables		
Impossible	4	Indétectable	$27 < C < 64$	Interdit : il faut trouver des actions à mettre en œuvre et mettre obligatoirement en stock les composants ou organes

Prenons par exemple le mode de transmissions par chaîne et la nécessité de son graissage :

On a $G = 2$, $F = 2$ (hypothèse), $D = 2$ pour obtenir après multiplication $C = 8$. La méthode nous renseigne donc sur le fait que le graissage de la chaîne n'est pas un problème en soit mais mérite cependant d'y faire attention. Le graissage des roulements obtient le même score et nécessite la même attention. Le graissage des roulements obtient le même score et nécessite la même attention.

Ensuite on peut étudier par cette méthode le risque de panne du matériel électronique pour le retournement automatique des œufs :

On a $G = 2$, $F = 2$ (hypothèse), $D = 3$ pour obtenir après multiplication $C = 12$. Le problème nécessite donc de se poser des questions pour l'optimisation. Si une panne apparaît, il est nécessaire qu'elle soit indiquée par un voyant lumineux éteint (ou allumé). En effet, le retournement s'effectuant seulement toutes les heures, il est difficilement observable et la panne risquerait de ne pas être relevée. Un voyant éteint permettrait d'agir directement en conséquence lors d'une panne en effectuant, par exemple, un retournement manuel afin d'éviter que les œufs ne se développent pas correctement. Toutes les pannes électriques obtiennent le même score car elles arrêtent le retournement et nécessite une attention particulière pour le bon développement des œufs.

15. Pistes d'amélioration

Après avoir fabriqué le premier prototype de la couveuse, nous avons réalisé qu'il était nécessaire d'analyser notre conception pour optimiser celle-ci. En effet, nous nous sommes rendu comptes tout au long du travail que malgré notre volonté d'être en constante recherche du meilleur compromis, il y a toujours des choses à améliorer et ce premier prototype en est la preuve. Même si nous avons tenté de penser à tout avant la première mise en œuvre, ce n'est qu'après la première utilisation et du recul que d'autres pistes nous ont sautées aux yeux. Ces pistes sont répertoriées ci-après.

15.1 Soudures

Durant la fabrication de notre mécanisme, nous avons utilisé la soudure car nous avions du matériel à disposition. Cette méthode de solidarisation d'éléments est courante dans les pays développés et est dans la plupart des cas utilisée sans trop se poser de questions afin de pouvoir relier deux éléments pour n'en faire qu'un. Néanmoins, en Afrique, ce procédé n'est pas aussi répandu qu'en Europe occidentale.

Par souci de temps et d'argent, nous avons préféré utiliser le soudage afin d'achever notre prototype et d'avoir quelque chose de convenable à nos yeux. Cependant, il serait appréciable pour les locaux d'avoir un mécanisme de retournement d'œufs entièrement réparable avec des matériaux qu'ils possèderaient sur place. C'est pourquoi une piste d'amélioration essentiel serait le fait de venir remplacer toutes les liaisons que nous avons fait via la soudure par une solidarisation à base de visserie et d'éléments facilement trouvables dans ces pyas en voie de développement.

Remarque : Dans les pays développés, l'utilisation d'une « colle à métaux » est de plus en fréquente quand il s'agit de solidariser plusieurs éléments. Cette solution serait envisageable en Europe mais il est clair qu'elle ne l'est pas en Afrique.

15.2 Rivets

Pour construire les plateaux du mécanisme, nous avons utilisé des rivets. Ceux-ci permettent de maintenir ensemble les quatre côtés des paniers ainsi que les grilles. Malheureusement



Figure 45 Rivets

cette technique n'est peut-être pas abordable en Afrique, dans un atelier moins complet que celui dans lequel nous avons réalisé notre prototype.

En effet, le principe des rivets est simple mais demande une machine capable d'exercer une pression suffisante pour déformer le métal. Nous avons dans notre cas eu la possibilité d'utiliser une telle machine et cela nous a épargné beaucoup de temps et de mise en œuvre. Pour une question d'adaptabilité à l'Afrique, il pourrait être envisagé de remplacer ces rivets par des boulons et des écrous. Cela prendrait de la place supplémentaire (les rivets ne prennent quasiment pas de place) mais la présence de tels éléments de visserie serait plus facile pour les locaux.

15.3 Matériaux

Concernant les matériaux que nous avons utilisés, nous nous sommes efforcés à prendre de l'acier inoxydable malgré son poids conséquent. Ceci car de l'acier sera plus présent dans les pays avec lesquels travaillent ISF que de l'aluminium. Ce dernier est un métal cher très répandu dans nos contrées mais moins en Afrique. Si nous voulions faire un mécanisme très résistant et très léger, nous aurions tout fait en aluminium. Cependant, nous avons construit la structure portante avec principalement de l'inox. La conséquence de ce choix est bien sûr le poids du prototype. Celui-ci n'est pas abasourdissant non plus. Nous avons utilisé de l'aluminium tout de même pour les plateaux. Sans ce dernier choix, le poids aurait été beaucoup trop important.

Ainsi, une amélioration de notre prototype serait de venir mettre le tout en acier inoxydable pour une question de facilité pour les locaux mais il va sans dire que le poids augmenterait considérablement.

15.4 Capteurs

Pour un souci de facilité et surtout de prix, nous avons mis des capteurs capacitifs dans notre mécanisme. Ces capteurs sont présents pour venir arrêter la rotation du moteur lorsque les 45° sont atteints. Il va sans dire que ces capteurs sont une source d'erreur à prendre en compte. Cela car premièrement, ces capteurs sont électriques. Ils enverront donc un 1 ou un 0 logique au moteur pour qu'il tourne dans un sens ou dans l'autre. Cette électronique est une première source d'erreur car si le capteur grille ou s'il y a un dysfonctionnement, une réparation est impensable et il faut dès lors le remplacer. Le problème étant que ce genre de capteur ne cours pas les rues dans les pays en voie de développement. Deuxièmement, ces capteurs sont dits capacitifs car ils mesurent un delta de capacité et ils sortent un 1 ou un 0 pour certaines tranches de valeurs. Dans une couveuse artificielle, il y a un taux d'humidité variable et également une température variable. Le milieu dans lequel est mesurée la capacité est donc variable et donc la capacité calculée l'est tout autant.

Dans notre cas, ce choix de capteurs a été fait avec le souci du prix en tête. Dans l'optique de quelque chose de plus fiable, il faudrait placer des capteurs infrarouges ou des capteurs mécaniques pour être certain de ne pas avoir de soucis électroniques.

15.5 Dispositif de dépôt des œufs

Notre priorité n'a pas été l'élaboration d'un dispositif capable de recevoir les œufs en bonne et due forme. Nous nous sommes d'abord concentrés sur la partie la plus importante étant le mécanisme en lui-même. Nous avons donc commandé des mousses capables de venir accueillir correctement les œufs sur les plateaux.

Pour bien faire, il faudrait dimensionner un moule pouvant accueillir tant les œufs de poules que les œufs de cailles ou d'oies. Pour cela, il suffit de regarder sur la toile et il est possible de trouver un paquet de moules disponibles à petits prix. Il pourrait être envisagé d'en designer un à part entière mais là n'est pas notre travail principal. C'est donc une piste d'amélioration pour l'avenir.

16. Conclusion

Le but de ce projet multidisciplinaire était l'application des connaissances théoriques acquises durant notre formation d'ingénieur industriel à Gramme en collaboration avec Ingénieurs Sans Frontière. L'intitulé du cours présente bien la caractéristique « multidisciplinaire » et l'ensemble de ce rapport confirme effectivement l'utilisation de plusieurs domaines de compétences. En effet, la structure de cet écrit est divisée en trois grandes parties : la mécanique du prototype liant inventivité et dimensionnement, l'électrique du système mêlant calculs de puissance ainsi que le choix des composants et bien d'autres notions, et finalement, l'électronique dans laquelle la capacité de réflexion d'écriture d'un programme informatique mais également de câblage a été de mise. Ainsi, nous avons réussi à analyser la problématique et l'objectif que l'on nous demandait et nous avons fini par arriver à un prototype de mécanisme de retournement des œufs automatique et fonctionnel en mettant nos connaissances en pratique.

Ce projet nous a donc amené à imaginer et construire de toute pièce un mécanisme de retournement automatique des œufs destiné à être placé dans une couveuse artificielle à destination du Togo. Cette couveuse devra donc être robuste et adaptable afin de supporter les conditions climatiques présentes dans ce pays d'Afrique et c'est pourquoi nous avons réfléchi de façon à être le plus en adéquation possible avec cette contrainte de conditions plus rudes qu'en Europe.

Notre prototype a donc été imaginé et dimensionné afin d'être résistant mais également assez léger avec des matériaux métalliques en inox et en aluminium. Ce compromis est pour nous tout à fait acceptable dans l'état actuel des choses. Le mécanisme est résistant, fonctionnel et assez léger que pour être transporté facilement et c'est vers là que l'on voulait aller dès le départ.

Nous avons également mis un point d'honneur sur la sécurité de l'utilisateur en optant pour un coffret électrique permettant la protection des composants électriques assurant le bon fonctionnement du mécanisme automatisé. Ainsi, ceux-ci sont protégés des conditions climatiques non-désirées (poussière, pluie, vent, ...) et l'interface n'est donc pas accessible avec un accès direct pour l'utilisateur.

Le programme écrit en intégralité par nos soins permet l'automatisation du mécanisme en prenant en compte l'ensemble des composants mais surtout, en mettant une priorité absolue au bouton d'arrêt d'urgence. Nous tenions principalement à garantir encore une fois la sécurité de l'utilisateur et c'est pourquoi nous avons créé ce code afin d'être le plus à l'abri possible d'accidents.

Ainsi, nous avons appris un grand nombre de choses grâce à ce projet. Le côté manuel a été le plus éprouvant mais également le plus passionnant et le plus enrichissant. Le fait de construire un système imaginé par nous-mêmes et voir le résultat final est plus que satisfaisant. Certes, notre mécanisme n'est pas parfait mais à quoi servirait le verbe

« améliorer » si tout était parfait ? C'est pourquoi nous avons émis plusieurs hypothèses de perfectionnement du prototype en essayant de lister toutes les améliorations qu'il serait possible de mettre en place. De plus, nous avons remarqué plusieurs rectifications directement possibles sur notre concept de système pivotant. Ces quelques observations pourraient tout à fait être corrigées dans le futur lors de la création d'un prototype 2.0.

17. Annexe 1 : Manuel d'utilisation imagé

Manuel d'utilisation

Ce manuel d'utilisation explique via des images bien détaillées comment se servir du mécanisme automatisé. L'activation de chaque mode est expliquée avec des couleurs et avec le dessin d'une main afin que l'utilisateur n'ait pas de difficulté à comprendre le fonctionnement de la machine.

Mise sous tension :



Mode automatique :





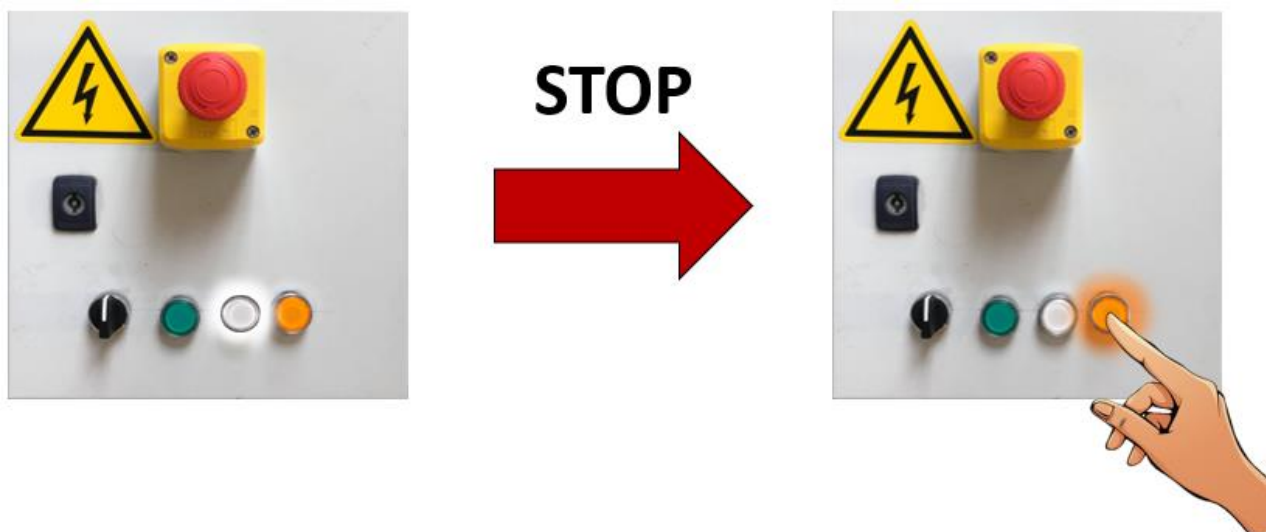
STOP



Mode manuel :

①

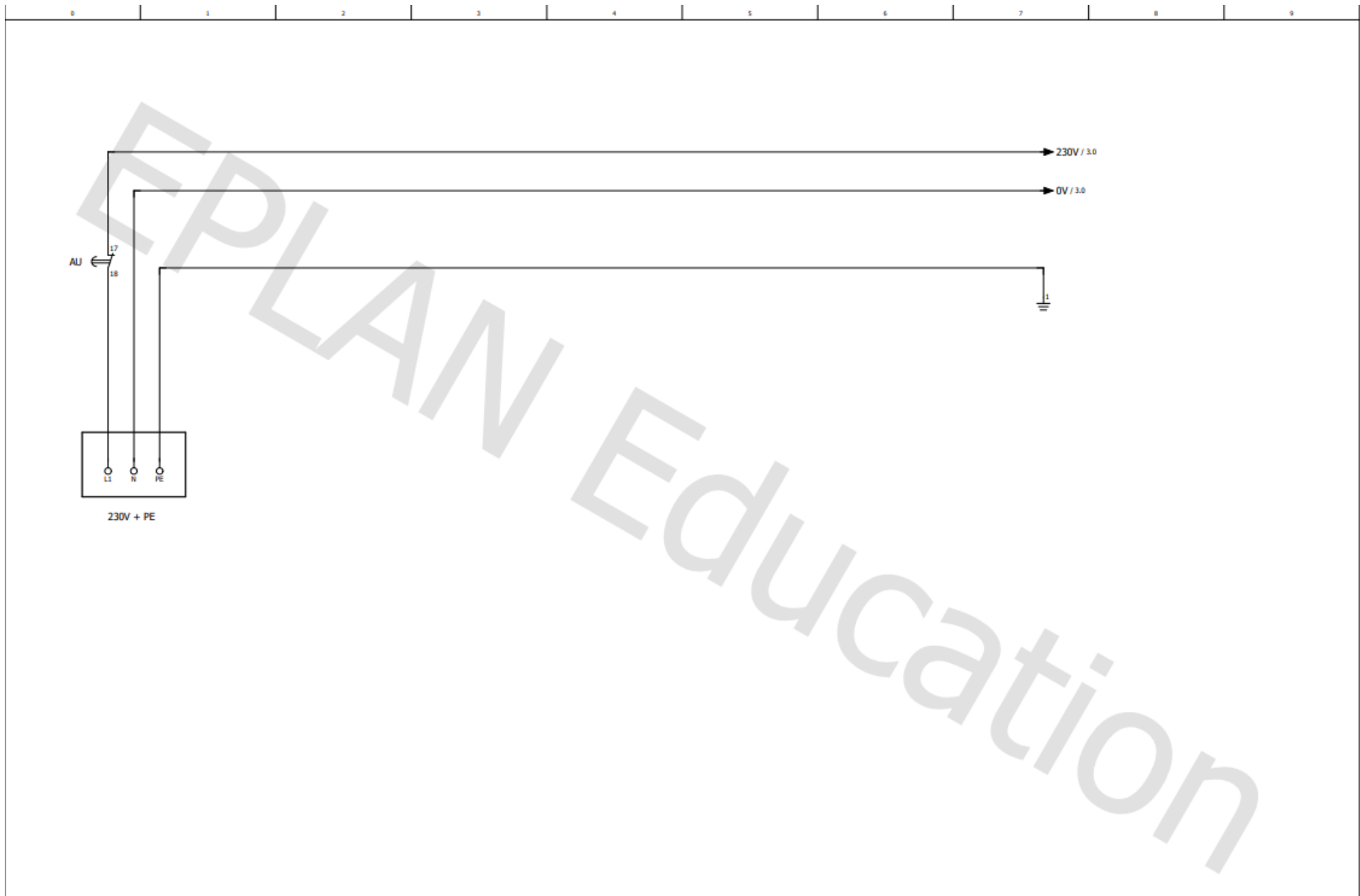




Arrêt d'urgence :

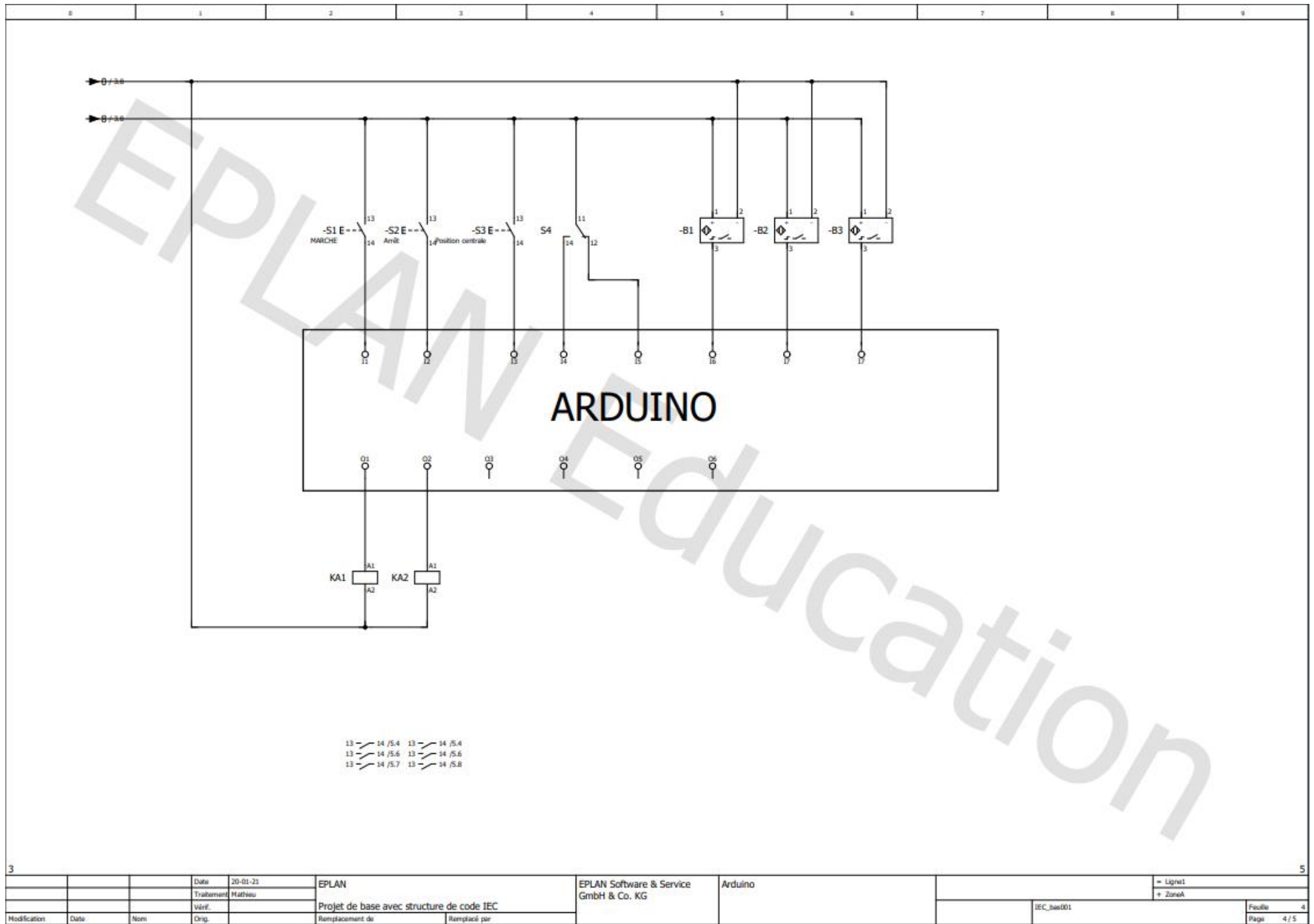


18. Annexe 2 : Plans électriques du mécanisme automatisé



1				3			
Date		20-01-21		EPLAN		= Ligne1	
Traitement		Mathieu		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		+ ZoneA	
Vérif.				Projet de base avec structure de code IEC			
Orig.				Remplacement de		IEC_bas001	
Remplacé par						Feuille 2	
Modification	Date	Nom	Orig.	Remplacement de	Remplacé par	Page 2 / 5	

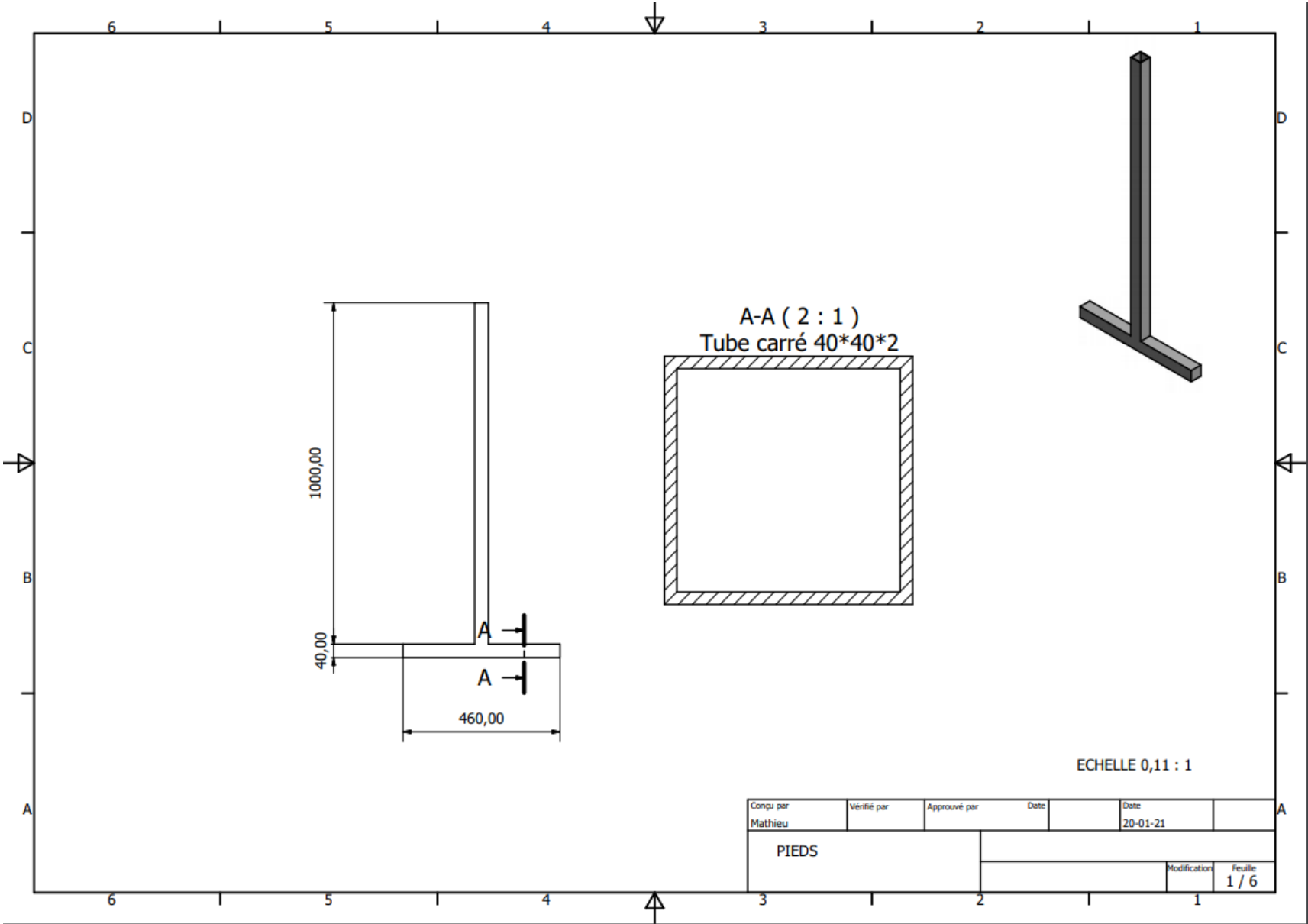


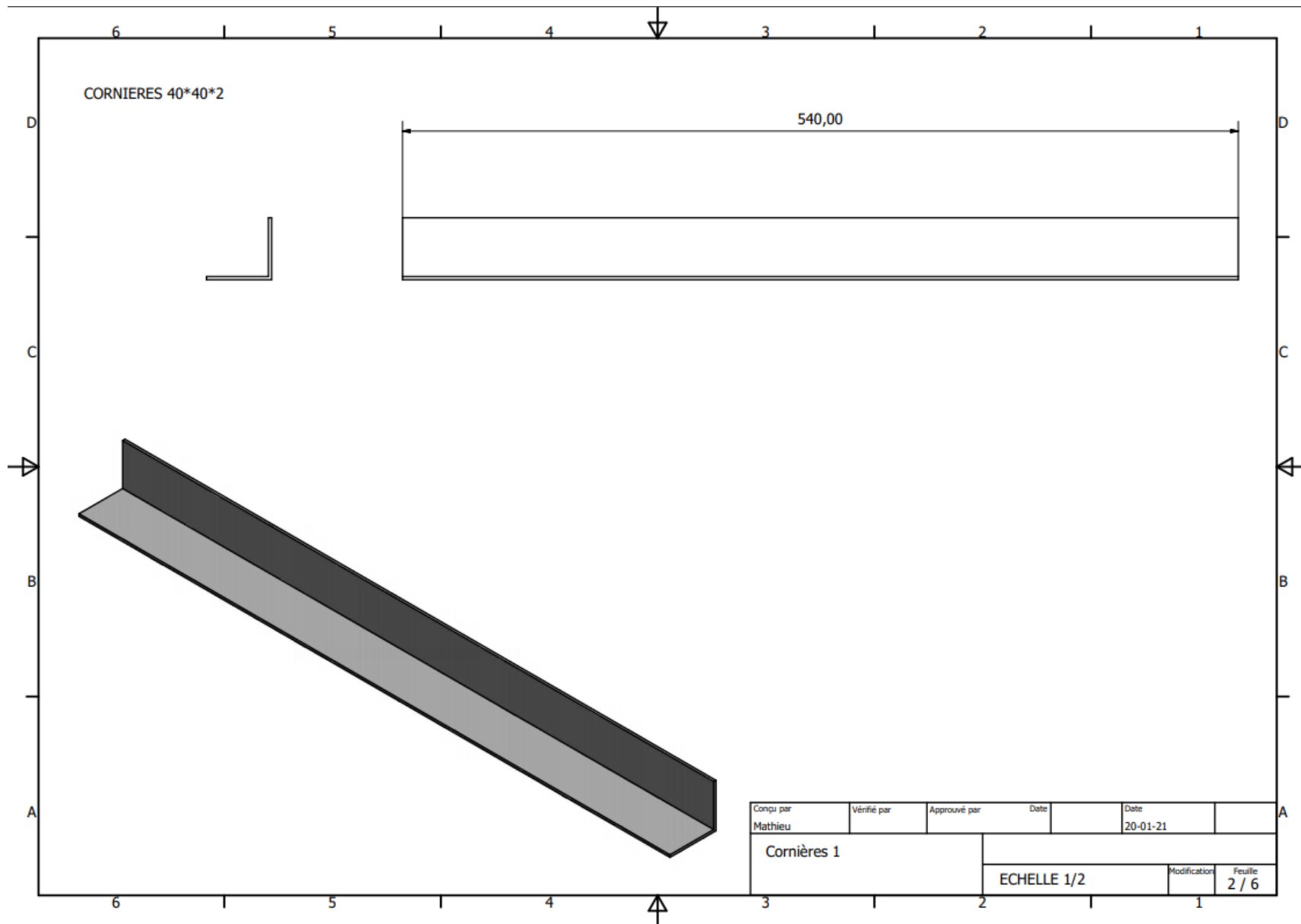


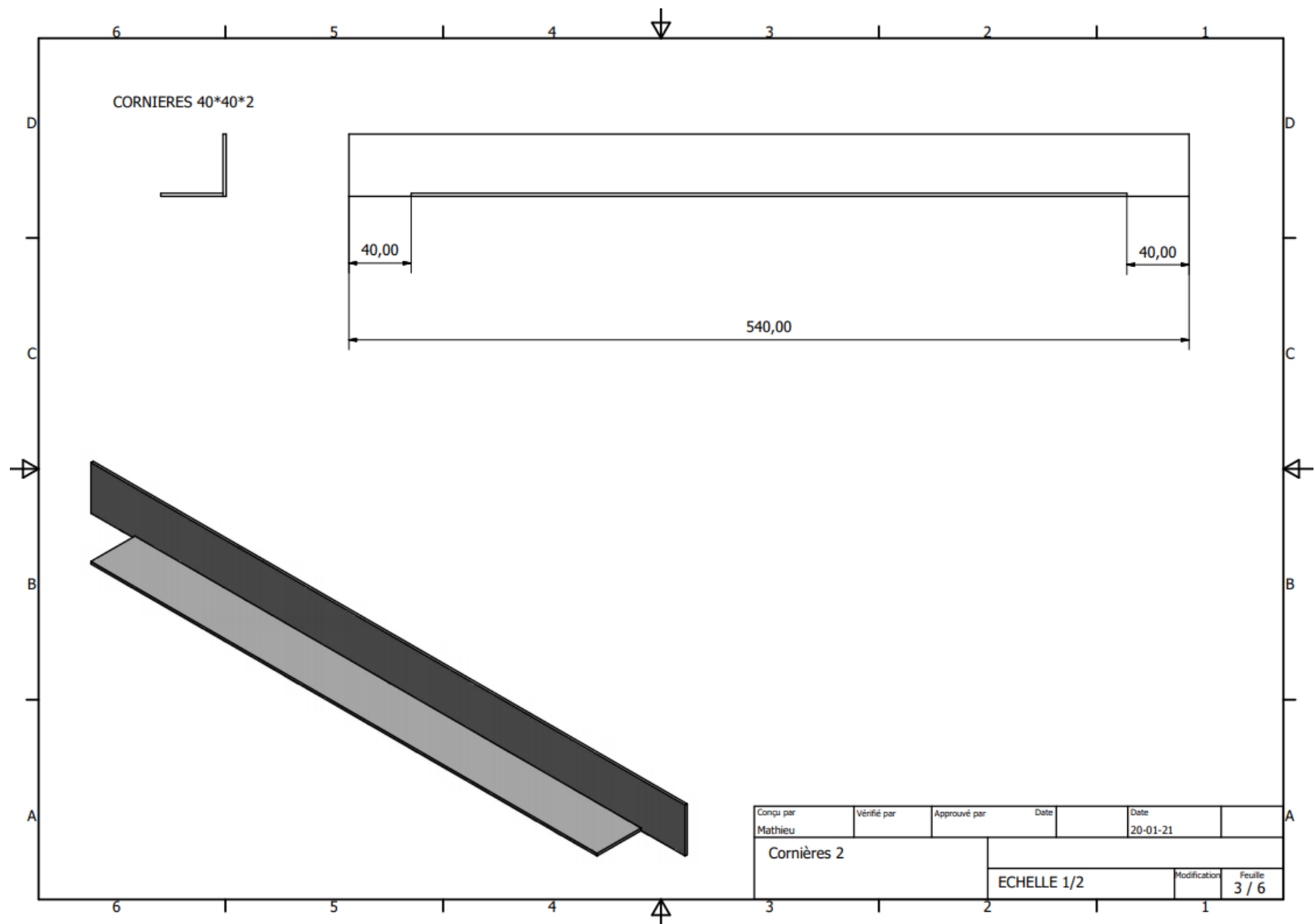


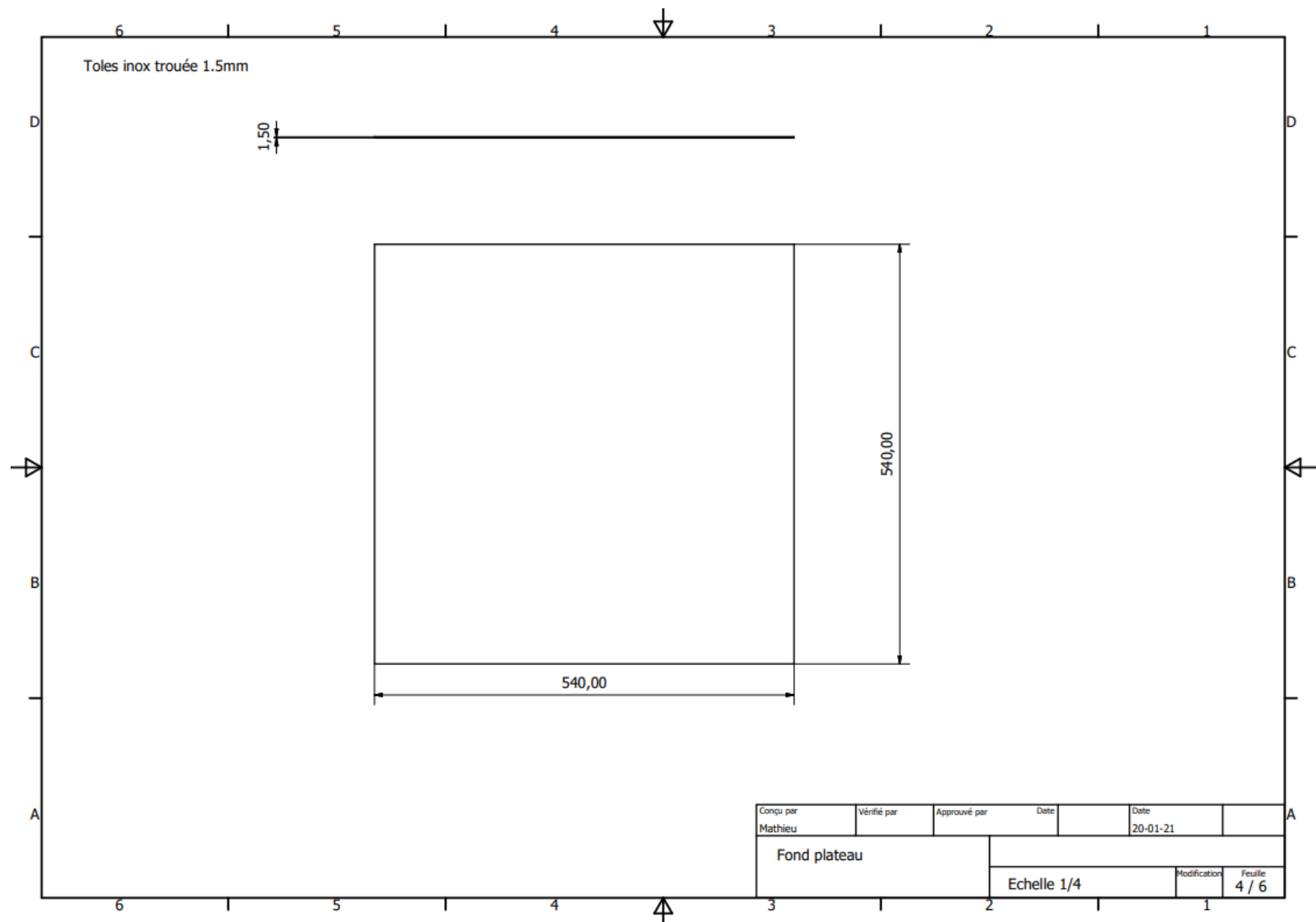
			Date	20-01-21	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Commande			= Ligne1	
			Traitement	Mathieu							+ ZoneA
			Vérif.		Projet de base avec structure de code IEC						
Modification	Date	Nom	Orig.		Remplacement de	Remplacé par			IEC_bas001	Fauille 5 Page 5/5	

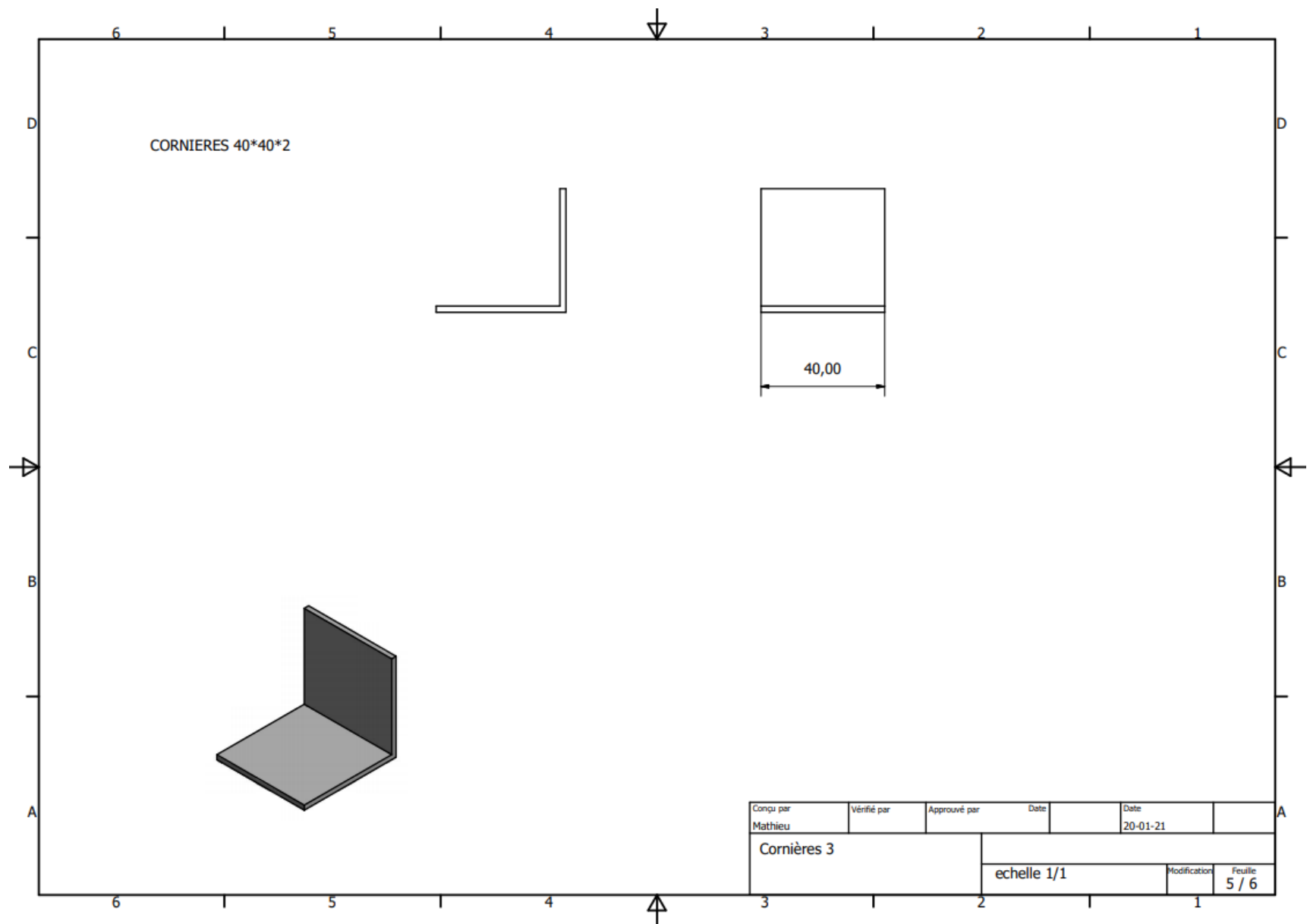
19. Annexe 3 : Plans et dimensions des éléments métalliques utilisés

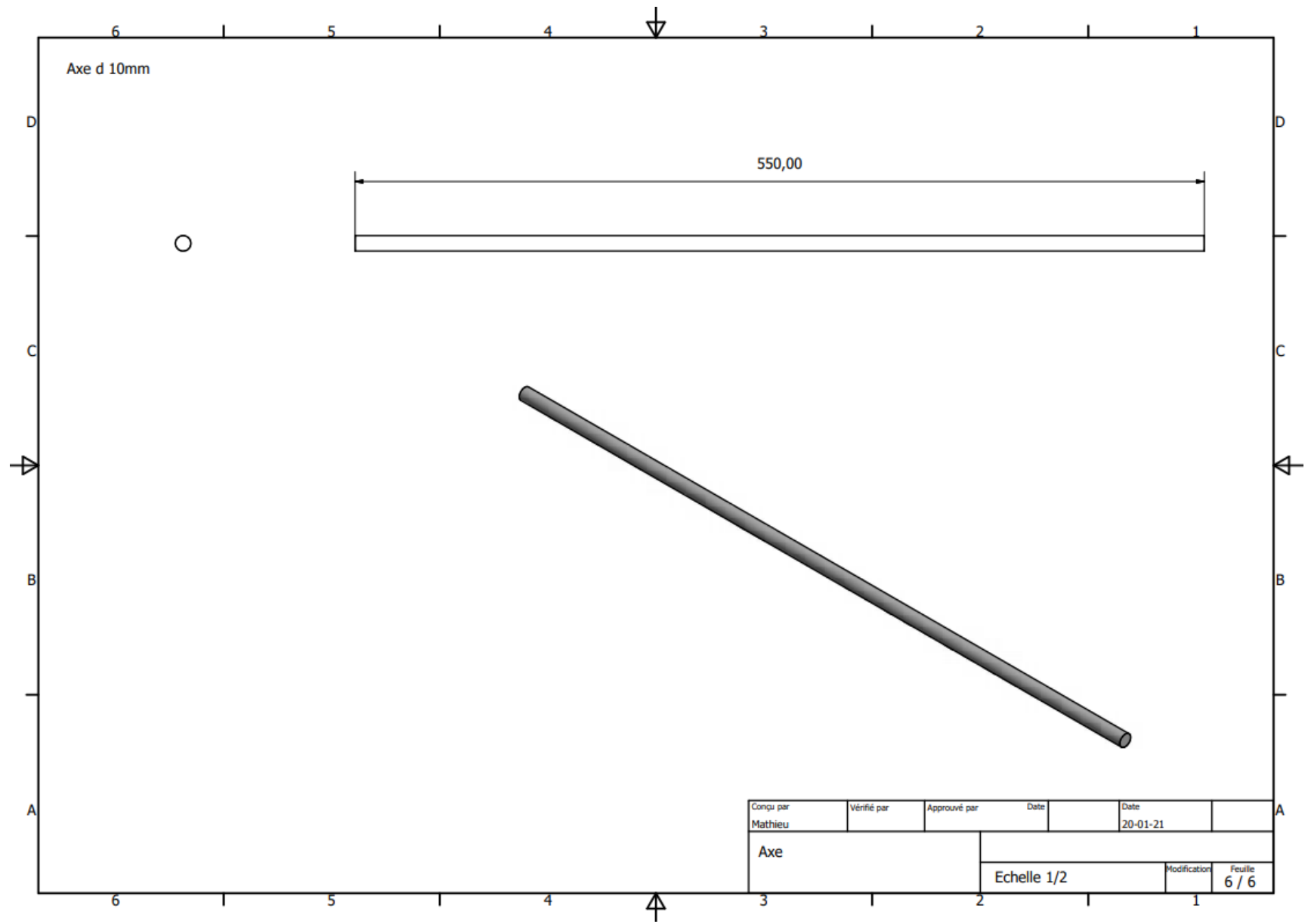












Conçu par Mathieu	Vérifié par	Approuvé par	Date 20-01-21	
Axe		Echelle 1/2		Feuille 6 / 6