

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE DE CONSTRUCTION

DEPARTEMENT D'ELECTROMECHANIQUE



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme Master en électromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Thème

Etude et conception d'un chauffe-eau électrique

Proposé et dirigé par :

Mr. LATTARI Kamel Promoteur

Mr. ZAIDI Ali Co-promoteur

Mr. HOCINI Farid Président

Mr. BELGAID Hocine Examineur

Réalisé par :

CHEMAKH Amar

FERHAT Amazigh

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 modeste 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 Lattari et Mr Zaidi pour leurs Conseils, leurs orientations ainsi que leur disponibilité tout au long de ce travail. Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département d'électromécanique 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.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents et ma grand-mère. Ce travail est le fruit de leurs soutiens depuis toujours, leurs présences à mes cotés et leurs affections

A la mémoire de mon grand père, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis

À mes très chères sœurs

À mes très chers amis pour leurs aides et soutiens.

À mon binôme Amazigh

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

CHEMAKH Amar .

Dédicaces

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

Ma mère chérie 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 et ma chère sœur.

Et à mes très chers amis et à mon binôme Chemakh Amar pour tous les moments d'échange et de débat aux personnes qui m'ont toujours aidé et soutenu. MERCI A TOUS.

FERHAT
AMAZIGH

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les chauffe-eaux

I-1 Introduction	2
I-2 Types de systèmes de chauffe-eaux	2
I-2-1 Chauffe-eau solaire	2
I-2-2 Chauffe-eau à gaz.....	3
I-2-3 Chauffe-eau thermodynamique.....	4
I-2-4 Chauffe-eau électrique.....	5
I-3 Histoire des chauffe-eaux électriques.....	6
I-4 Différents types de chauffe-eaux électriques.....	8
I-4-1 Chauffe-eau électrique à réservoir	8
I-4-2 Chauffe-eau électrique instantané	8
I-4-3 Chauffe-eau électrique thermodynamique	8
I-5 Fonctionnement d'un chauffe-eau électrique.....	8
I-6 Différents composants d'un chauffe-eau électrique à réservoir	9
I-6-1 Le réservoir	9
I-6-2 La résistance	9
I-6-3 Le thermostat	10

I-6-4 Anode	10
I-6-5 Une soupape de sécurité	11
I-6-6 Brise-jet	11
I-7 Les avantages d'un chauffe-eau électrique	12
I-8 Les inconvénients d'un chauffe-eau électrique	13
I-9 Conclusion	13

Chapitre II : Conception d'un chauffe-eau électrique

II-1 Introduction	14
II-2 Conception du model par ordinateur (CAO)	14
II-2-1 SOLIDWORKS	15
II-2-1-1 Enveloppe intérieure (réservoir)	16
II-2-1-2 Cache inférieur de l'enveloppe intérieure	16
II-2-1-3 Cache supérieur de l'enveloppe intérieure	17
II-2-1-4 Enveloppe extérieure	17
II-2-1-5 Cache supérieur de l'enveloppe extérieure	18
II-2-1-6 Cache inférieure de l'enveloppe extérieur	18
II-2-1-7 Support de renforcement	19
II-2-1-8 L'isolation	19
II-2-1-9 Raccord M20 avec filetage extérieure	20
II-2-1-10 Résistance électrique.....	21

II-2-1-11 Capteur de température	21
II-2-2 Logiciel Arduino IDE	22
II-2-2-1 Carte Arduino	23
II-2-2-2 Description de la carte Arduino UNO	24
II-3 Conception d'un système de régulation	24
II-3-1 Relais	25
II-3-2 Afficheur LCD	26
II-3-3 Module MAX6675	27
II-4- Simulation du circuit électrique sous le logiciel PROTEUS	27
a- Présentation de PROTEUS	27
b- Simulation numérique du projet sous ISIS Proteus	28
II-5 Prototypage sous la carte arduino	29
II-6 Remplacement de la carte arduino par un microcontrôleur ATmega 328p	30
II-7 Conclusion	31

Chapitre III : Etude et dimensionnements

III-1 Introduction	32
III-2 Variables qui influent sur la consommation	32
III-2-1 Besoins dans les habitations	32
a- Besoins en fonction des habitants	32
b- Besoins en fonction des logements et des équipements	33
III-3 Dimensionnement du réservoir	33

III-3-1 Dimensions finales du réservoir	34
III-3-2 Calcul du temps de chauffe	34
III-4 Calcul de la quantité d'énergie électrique consommée par la résistance	36
III-5 Calcul du flux traversant le réservoir et l'isolant	36
a- Calcul du coefficient global de transmission thermique du réservoir et l'isolant	37
b- Calcul des différentes superficies de chacune des parois	38
c- Calcul des déperditions de réservoir	38
d- Calcul des déperditions totales	38
III-6 Partie mécanique	38
III-6-1 Poids total du chauffe-eau	38
III-6-2 Calcul de résistance	39
III-6-2-1 Dimensionnement des vis murales	39
a- Calcul statique	40
b- Vérification à la fatigue	40
III-6-2-2 Dimensionnement du support de sécurité	41
a- Le cisaillement	41
b- traction	42
c- Flexion	42
III-6-2-3 vérification des cordons de soudure à la résistance	44
a- Description des cordons de soudure	44
b- Calcul de la pression hydrostatique	44
c- Poussée d'un fluide sur une paroi verticale	44

d- Calcul des cordons de soudure.....	46
❖ Vérification des cordons de soudure 1 et 2	46
✓ <i>Calcul de la contrainte de traction</i>	47
✓ <i>Calcul de la contrainte de cisaillement du cordon 1</i>	47
✓ <i>Calcul de la contrainte de cisaillement du cordon 2</i>	48
❖ Vérification du cordon de soudure 3	48
✓ <i>Calcul de la contrainte de traction</i>	49
✓ <i>Calcul de la contrainte de cisaillement</i>	49
III-7 Partie électrique	49
III-7-1 Le Relais	49
III-7-2 Calcul de la valeur de la résistance pour la Led	50
III-8 Etude technico-économique.....	51
III-9 Conclusion	51
Conclusion générale	52
Références bibliographiques.....	53
Annexe 1 : Dessins	55
Annexe 2 : Programme arduino	66

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I-1: Chauffe-eau solaire	3
Figure I-2: Chauffe-eau a gaz.....	4
Figure I-3: Chauffe-eau thermodynamique.....	5
Figure I- 4: Chauffe-eau électrique.....	6
Figure I-5: Résistance blindée	9
Figure I-6: Résistance stéatite	10
Figure I-7 : Thermostat	10
Figure I- 8: Anode magnésium	11
Figure I-9: Soupape de sécurité.....	11
Figure I-10: Brise jet.....	12

Chapitre II

Figure II-11: Fenêtre principale de SOLIDWORKS (chauffe-eau électrique)	15
Figure II-12: Enveloppe intérieure	16
Figure II-3: Tôle inférieure	16
Figure II-4: Tôle supérieure	17
Figure II-5: Enveloppe extérieure.....	17
Figure II-6: Cache supérieur	18
Figure II-7: Tôle inférieure.....	18
Figure II-8: Support de renforcement	19
Figure II-9: Polystyrène expansé.....	20
Figure II.10: Raccord M20.....	20
Figure II-11: Résistance tubulaire	21
Figure II.12: L'environnement de développement (IDE) Arduino	22
Figure II.13: Carte Arduino UNO	23

Figure II-14: Microcontrôleur	23
Figure II-15:Description de la carte Arduino	24
Figure II-16: Relais 5v	25
Figure II-17: Schéma électrique du relais	26
Figure II-18:Ecran LCD 16*2 et son module I2C	26
Figure II-19: Schéma de câblage de l'afficheur LCD	26
Figure II-20:Thermocouple et son module	27
Figure II-21 Schéma de câblage du thermocouple	27
Figure II-22: Interface du Logiciel ISIS Proteus.....	28
Figure II-23: Schéma électrique de model avec carte Arduino UNO	29
Figure II-24 : Prototype sous la carte Arduino	29
Figure II-25 : Schéma électrique de model avec ATMGA328P	30

Chapitre III

Figure III-1: Courbe de Smith.....	41
Figure III-2: Poussée d'un fluide sur une paroi verticale.....	45
Figure III-3 : Différentes cordons de soudure et Répartitions des forces sur les parois	46
Figure III-4: Les forces appliquées sur le cordon.....	48
Figure III-5 : Schéma électrique d'une led avec résistance	50

Liste des tableaux

Tableau III-1 : Besoins journalier par personne en L/jour.....	32
Tableau III-2 : Les quantités journalières d'eaux chaudes par équipement pour 3 personnes	33
Tableau III-3 : Valeurs des coefficients de convection intérieure et extérieure.....	37
Tableau III-4 : Dimensionnement de tous les éléments du chauffe-eau.....	39
Tableau III-5 : Les prix des composants du chauffe-eau électrique.....	51

Glossaires

Notations

a : Epaisseur du cordon de soudure

B : Largeur du réservoir

C_p : La chaleur massique de l'eau

D : Déperdition de réservoir

E_p : Épaisseur du réservoir

E : L'énergie électrique

e_1, e_2 : Epaisseur de la tôle

e_3 : Epaisseur du polystyrène

F : Force appliquer

g : Intensité de la pesanteur

h : La hauteur d'eau

h_e : Coefficient de convection extérieure

h_i : Coefficient de convection intérieure de la paroi

I : Intensité de la led

K : Coefficient de transmission thermique

K : Coefficient global de transmission thermique des parois

l_1 : Largeur de la surface inférieur

l_2 : Longueur de la surface inférieure

M : Masse totale du chauffe-eau plein

M_e : Masse de l'eau

M_v : Masse du chauffe-eau à vide

n : Nombre de couche

P : Puissance de la résistance électrique

P_t : Poids total

P_h : La pression hydrostatique en N/m^2

Q : flux de chaleur

R : Résistance

S_c : Section du cordon de soudure

S : Surface de la paroi considérée

A : Section cisailée de la tige de la vis

s : Coefficient de sécurité

T^* : Une température de référence donnée

Glossaires

T_1 : Température d'entrée d'eau

T_2 : Température finale (consigne)

t_{moy} : Temps moyen de fonctionnement de la résistance

ΔT : Différence de températures

Δt : paramètre temps

U: La tension

U_l: Tension de la led

V : Volume du réservoir

Z: Le nombre de support de renforcement

Z : Le nombre de vis de fixation,

η Rendement de la conversion de l'énergie électrique en énergie thermique

ρ : La masse volumique de l'eau

λ_1, λ_2 : Coefficient de la conductivité thermique de l'acier

λ_3 : Coefficient de conductivité thermique de polystyrène

$[\tau]$: Limite de cisaillement admissible

σ_e : Limite élastique du matériau

$[\sigma]$: Contrainte normale admissible

τ_D : Limite d'endurance en cisaillement du matériau A70

β : Coefficient de réduction d'une soudure d'angle

Abréviations

IDE : Integrated Development Environment

UNO : Universal Network Objects

GND : Ground

CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

BTP : Bâtiment et travaux publics

INTRODUCTION GENERALE

La production d'eau chaude sanitaire, pour les besoins collectifs et individuels, est devenue une exigence plus qu'indispensable pour les habitations actuelles. Parmi les énergies adoptées pour les chauffe-eaux sanitaires, on distingue: la biomasse, l'énergie solaire, le gaz naturel... Ces techniques présentent plusieurs inconvénients dont principalement la non disponibilité de ces énergies et leur impact sur l'environnement.

De nos jours, l'utilisation de l'énergie électrique pour la production d'eau chaude sanitaire est très concurrentielle grâce à ces nombreux avantages, à savoir :

- Non polluante pour l'environnement ;
- Disponible même aux régions les plus écartées ;
- Une longue durée de vie par rapport aux autres énergies.

L'objectif de cette étude est la conception d'un chauffe-eau sanitaire à énergie électrique présentant un prix de revient assez compétitif et un nouveau système de régulation de la température. En effet, ce concept présente un nouveau design de forme parallélépipédique comportant un afficheur numérique. De plus, le système de régulation utilisant habituellement un thermostat a été remplacé par une carte électronique pouvant être exploitée pour une multitude d'options. La capacité du chauffe-eau a été dimensionnée afin de satisfaire une famille composée de trois personnes.

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

-Le premier chapitre est consacré à la présentation des différents types de chauffe-eaux sanitaires, leur principe de fonctionnement et les différentes techniques d'isolation du ballon de stockage.

-Au deuxième chapitre, nous présenterons les étapes suivies pour la conception d'un chauffe-eau à résistance électrique ainsi que ses composants constitutifs.

- Le dernier chapitre sera réservé aux calculs et expérimentation afin d'assurer la sécurité et garantir le bon fonctionnement de notre appareil.

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion générale suivie de quelques perspectives.

CHAPITRE 1

Généralités sur les chauffe-eaux

I-1 Introduction

Les chauffe-eaux sanitaires sont présents dans tous les logements actuels afin de satisfaire les besoins quotidiens et ils deviennent de plus en plus indispensables puisqu'ils nous simplifient la vie.

Ce chapitre présente les principaux modèles de chauffe-eaux existants et leurs différentes sources d'énergies ainsi que leur principe de fonctionnement. Nous développeront plus particulièrement les chauffe-eaux électriques ainsi que leurs caractéristiques et particularités. Nous décrivons également l'histoire et les différents types du chauffe-eau électrique. Enfin, nous détaillerons leur fonctionnement, leurs avantages et leurs inconvénients.

I-2 Types de systèmes de chauffe-eaux

Dans le marché actuel, il existe une variété de chauffe-eaux se distinguant principalement par leurs sources d'énergie et leur mode de fonctionnement. Les types les plus courants de chauffe-eaux sont :

I-2-1 Chauffe-eau solaire

Les chauffe-eaux solaires utilisent l'énergie provenant du soleil comme source de chauffage de l'eau. En adoptant un panneau solaire thermique, l'eau est chauffée sous l'action du soleil. Ensuite l'eau chaude est dirigée vers le réservoir en traversant un serpentin dans le chauffe-eau ou la chaleur qu'il a emmagasinée est émise. Finalement, l'eau remonte vers le panneau, pour recommencer un nouveau cycle. D'une façon générale, l'énergie du soleil est transformée en chaleur afin d'être utilisée comme système de chauffage de l'eau domestique. [1]

Le chauffe-eau solaire est composé de quatre éléments principaux: le capteur solaire thermique, l'échangeur de chaleur, la tuyauterie isolée et le réservoir d'eau chaude [1]. Le capteur solaire thermique permet de capter l'énergie du soleil et la transmettre à l'eau. Généralement, le capteur solaire est installé sur le toit de la maison et sa taille dépend de la capacité du système.

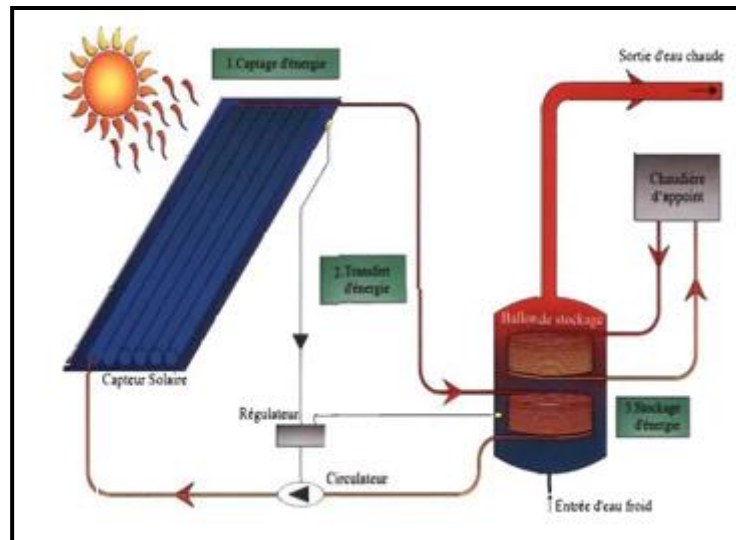


Figure I-1: Chauffe-eau solaire

I-2-2 Chauffe-eau à gaz

Le chauffe-eau à gaz peut être trouvé soit avec réservoir ou instantané. Sa particularité est que la source d'énergie de chauffage provient du gaz naturel à partir d'un bruleur localisé au fond du chauffe-eau où l'eau est chauffée. En général, l'élément chauffant qui compose le chauffe-eau au gaz est un bruleur, accompagné d'un ventilateur et d'une cheminée. Ces derniers permettent de récolter des émissions toxique de brulures et les conduire à l'extérieure.

En ce qui concerne le chauffe-eau à gaz avec réservoir, un thermostat détecte la température de l'eau afin de contrôler la livraison de carburant au bruleur, lequel est allumé par un système d'allumage à étincelle. D'autre part le chauffe-eau à gaz instantané a un capteur qui détecte le débit d'eau froide qui, à son tour, donne le démarrage du processus de chauffage. Ainsi, le bruleur à gaz transmet la chaleur à l'échangeur de chaleur à travers lequel passe l'eau froide provenant de la source. [2]

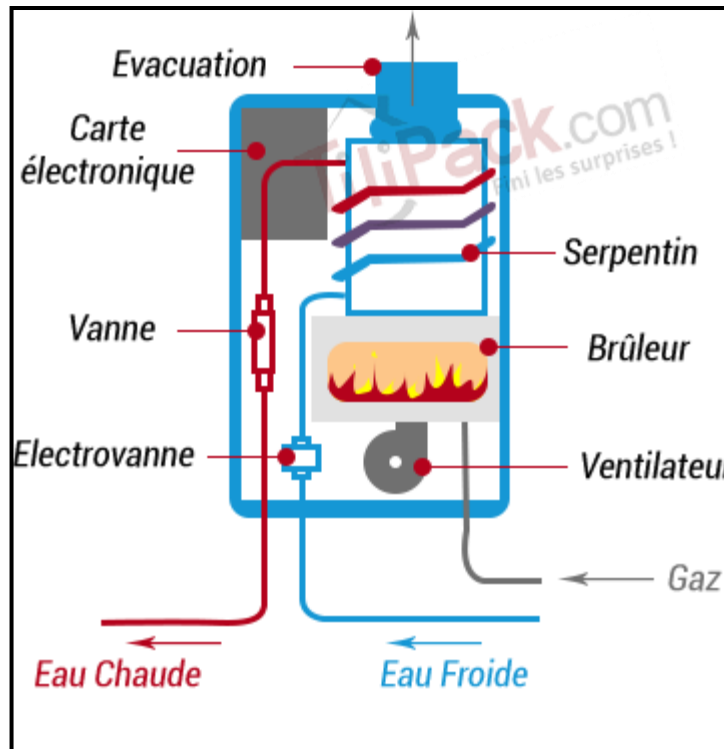


Figure I-2: Chauffe-eau a gaz

I-2-3 Chauffe-eau thermodynamique

Le chauffe-eau thermodynamique utilise comme système de chauffage de l'eau une pompe à chaleur. Le chauffe-eau thermodynamique emploie l'énergie électrique pour le transfert de chaleur au réservoir plutôt que de chauffer l'eau de réservoir. En conséquence, le chauffe-eau thermodynamique est considérablement plus énergétiquement efficace.

Essentiellement, le fonctionnement du chauffe-eau thermodynamique est fondé sur la pompe à chaleur. La pompe à chaleur capte l'énergie provenant de l'air. Elle est composée de quatre éléments principaux : un évaporateur, un compresseur, un condensateur et un détendeur. [3]

En général, le processus de chauffage du chauffe-eau thermodynamique peut être résumé en trois étapes :

1. Les calories de l'environnement extérieur sont captées à partir de l'évaporateur, lequel récupère la chaleur de l'air en passant de l'état liquide d'un fluide frigorigène à un état d'ébullition [3].
2. Le compresseur absorbe la vapeur créée, la comprime et la chauffe, pour ensuite la transférer à haute pression vers le condensateur [3].

3. Le condensateur donne la chaleur au réservoir de stockage de l'eau (transfert d'énergie).

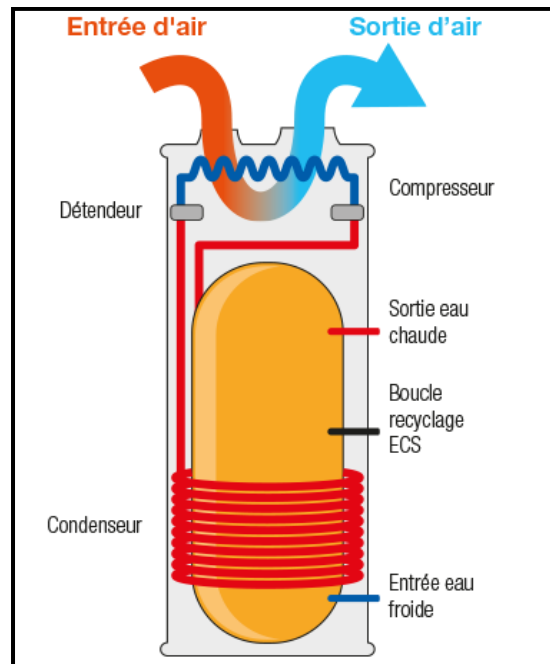


Figure I-3: Chauffe-eau thermodynamique

I-2-4 Chauffe-eau électrique

Le chauffe-eau électrique utilise l'énergie électrique pour chauffer l'eau. Il est plus fréquent de trouver des chauffe-eaux électriques avec réservoir que sans réservoir. Le chauffe-eau électrique instantané n'est pas très efficace dans les pays avec de forts hivers, où la température d'eau qui vient de la source est trop basse et demande beaucoup d'énergie pour être chauffée instantanément. La principale caractéristique d'un chauffe-eau électrique est la présence des éléments chauffants électriquement.

Les éléments chauffants produisent de la chaleur à partir de l'effet Joule généré par le passage du courant électrique dans un matériau conducteur, telle qu'une résistance électrique. Généralement, les éléments chauffants principaux ont une puissance nominale comprise entre 1.5 et 5.5 kW [4]. La quantité des éléments chauffants dépend du type de chauffe-eau. Il est possible de trouver des chauffe-eaux électriques avec un, deux ou trois éléments.

Le chauffe-eau à un ou deux éléments est le plus installé dans les maisons, alors que les chauffe-eaux à trois éléments font partie de la nouvelle technologie de systèmes de chauffage de l'eau. Par rapport au chauffe-eau d'un ou deux éléments, la quantité des éléments chauffants et sa puissance nominale dépendent de la taille du réservoir. Cependant, dans le chauffe-eau à deux éléments, les éléments sont contrôlés à l'aide de deux thermostats avec

une configuration maître/esclave [5], où l'élément supérieur a une priorité sur l'élément inférieur. Ce dernier sera activé si l'élément supérieur est inactif, c'est-à-dire que les deux éléments ne peuvent pas travailler simultanément [4].

D'autre part, le chauffe-eau à trois éléments dispose des éléments de différente puissance nominale, lesquels permettent de garder la température uniformément dans le réservoir. Dans ce système, les éléments du bas et du milieu peuvent travailler simultanément. Cependant, l'élément supérieur a une priorité sur les autres deux. Finalement, la Figure I-4 montre un chauffe-eau électrique typique à un élément.

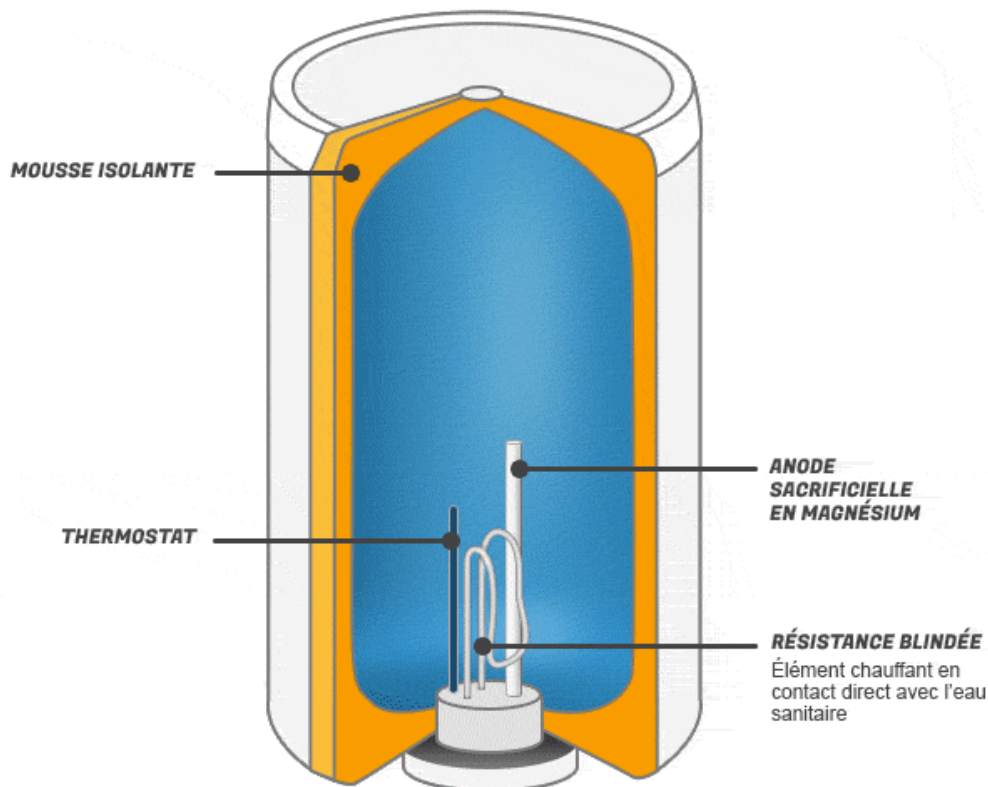


Figure I- 4: chauffe-eau électrique

I-3 Histoire des chauffe-eaux électriques

L'histoire du chauffe-eau électrique remonte aux années 1880, lorsque Thomas Edison a inventé le premier système de chauffage de l'eau électrique. Cependant, ces premiers modèles étaient peu pratiques et peu efficaces, car ils nécessitaient de longues périodes de chauffage pour produire de l'eau chaude. [6]

Au début des années 1900, des avancées technologiques ont permis d'améliorer l'efficacité des chauffe-eaux électriques et de les rendre plus accessibles au grand public. En 1927, Edwin Ruud, un ingénieur norvégien, a conçu le premier chauffe-eau électrique

automatique avec un thermostat intégré, qui permettait de réguler la température de l'eau. Cela a marqué une avancée majeure dans l'industrie du chauffage de l'eau, car cela a permis aux utilisateurs de contrôler la température de l'eau chaude en fonction de leurs préférences. [7]

Au fil des années, les chauffe-eaux électriques ont continué à évoluer, en incorporant des éléments tels que des réservoirs isolés pour améliorer l'efficacité énergétique et des thermostats plus avancés pour une meilleure régulation de la température. Aujourd'hui, les chauffe-eaux électriques sont devenus des appareils courants dans les foyers à travers le monde, fournissant de l'eau chaude pour les besoins quotidiens tels que la douche, le bain et la vaisselle.

En 2011 un brevet a été décerné à M. KIM Yong-Bum et al. Où l'invention porte sur un chauffe-eau équipé d'un dispositif de détection de fuite. Il comprend également un régulateur de débit qui est disposé au niveau d'une entrée et régule le débit d'eau s'écoulant dans le chauffe-eau; un dispositif de détection de fuite qui détecte le moment où de l'eau qui s'est écoulée dans le chauffe-eau fuit à travers des tuyaux dans le chauffe-eau en raison d'un éclatement des tuyaux et est remplie à ou au-dessus d'un niveau prédéterminé par rapport à la surface inférieure d'un boîtier de chauffe-eau, puis transmet un signal à un dispositif de commande; un boîtier qui protège les composants dans le chauffe-eau par protection des composants vis-à-vis de l'extérieur; et le dispositif de commande qui commande une série de traitements de combustion et le fonctionnement du chauffe-eau, et ferme le régulateur de débit, lorsqu'un signal de détection de fuite est transmis en provenant du dispositif de détection de fuite. Selon la configuration ci-dessus, lorsque de l'eau est remplie à un niveau prédéterminé dans le chauffe-eau par éclatement de tuyaux à l'intérieur du chauffe-eau, le dispositif de commande, relié à l'unité de détection de fuite, détecte la fuite et ferme le régulateur de débit, de telle sorte qu'il est possible d'empêcher un endommagement du chauffe-eau lui-même dû à l'éclatement des tuyaux à l'intérieur du chauffe-eau et un endommagement secondaire correspondant.[8]

Récemment, en 2022, Mr RETIERE BERTRAND a breveté un chauffe-eau électrique comprenant une cuve de stockage d'eau en acier inoxydable et un corps de chauffe s'étendant à l'intérieur de la cuve de stockage, le corps de chauffe définissant une cavité intérieure configurée pour recevoir un élément chauffant configuré pour chauffer de l'eau présente dans la cuve de stockage au travers du corps de chauffe, le corps de chauffe étant réalisé en acier émaillé, le chauffe-eau comprenant en outre une anode de protection contre la corrosion

disposée à l'intérieur de la cuve de stockage et au moins un élément d'isolation électrique disposé entre le corps de chauffe et la cuve de stockage. [8]

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 l'énergie solaire ou thermodynamique combinées à l'énergie électrique, chauffe-eau instantané, appareil de commande de nettoyage... Nous constatons également que, pratiquement, tous ces modèles utilisent des thermostats pour la régulation de la température. Dans cette étude, nous proposons de remplacer le système de régulation basé sur un thermostat par un système plus sophistiqué permettant à la fois de placer un indicateur de température (afficheur) et de choisir librement la température souhaitée ce qui est susceptible d'être breveté en Algérie. En effet, nous proposons un nouveau modèle de chauffe-eau électrique présentant une forme parallélépipédique et un prix de revient très compétitif par rapport aux modèles existants dans le marché Algérien.

I-4 Différents types de chauffe-eaux électriques

Il existe plusieurs types de chauffe-eaux électriques disponibles sur le marché. Voici les principaux types [9] :

I-4-1 Chauffe-eau électrique à réservoir : C'est le type de chauffe-eau le plus courant. Il est composé d'un réservoir qui stocke l'eau chaude et d'un élément chauffant qui chauffe l'eau. L'eau est maintenue à une température constante et est prête à l'emploi à tout moment.

I-4-2 Chauffe-eau électrique instantané : également connu sous le nom de chauffe-eau sans réservoir, ce type de chauffe-eau chauffe l'eau sur demande, lorsqu'un robinet est ouvert. Il ne nécessite pas de réservoir de stockage d'eau chaude, ce qui le rend compact et idéal pour les petits espaces.

I-4-3 Chauffe-eau électrique thermodynamique : Ce type de chauffe-eau utilise l'air ambiant pour chauffer l'eau. Il est donc plus économique en énergie que les chauffe-eaux électriques à réservoir et instantanés. Il est également plus écologique.

I-5- Fonctionnement d'un chauffe-eau électrique

Un chauffe-eau électrique fonctionne grâce à une résistance électrique placée dans le réservoir d'eau. Lorsque l'appareil est allumé, un courant électrique passe dans la résistance, ce qui provoque le chauffage de l'eau. Une fois que l'eau atteint la température désirée, le

thermostat coupe l'alimentation électrique de la résistance pour éviter que l'eau ne surchauffe. [10]

Le réservoir est isolé thermiquement pour éviter la perte de chaleur, et une soupape de sécurité est généralement installée pour libérer la pression si elle devient trop élevée. Le chauffe-eau électrique est souvent équipé d'un thermostat réglable pour permettre à l'utilisateur de choisir la température de l'eau souhaitée. [11]

En général, les chauffe-eaux électriques sont équipés d'un réservoir de stockage d'eau chaude. Ce réservoir est rempli d'eau froide, qui est chauffée par la résistance électrique. Une fois que l'eau atteint la température désirée, elle est stockée dans le réservoir jusqu'à ce qu'elle soit utilisée. Lorsqu'un robinet d'eau chaude est ouvert, l'eau chaude sera automatiquement remplacée dans le réservoir pour répondre aux besoins de l'utilisateur.

I-6 Différents composants d'un chauffe-eau électrique à réservoir

Comme tout autre équipement, le chauffe-eau électrique se compose de plusieurs éléments pour assurer son bon fonctionnement.

I-6-1 Le réservoir : Il s'agit d'un réservoir de stockage de l'eau chauffée, composée d'acier émaillé ou d'un revêtement minéral contenant une doublure avec une mousse isolante entre eux (afin de conserver la chaleur produite). Cette cuve possède une certaine capacité relative aux besoins du foyer qu'elle équipe.

I-6-2 La résistance : Son rôle est de chauffer l'eau qui arrive dans le réservoir. Il existe deux types de résistances :

- **La résistance blindée** : La résistance blindée entre directement avec l'eau de la cuve, elle est composée d'un fil résistif enveloppé dans un matériau isolant et protégé par une gaine métallique qui lui confère une protection mécanique et thermique.



Figure I- 5: Résistance blindée

- **La résistance stéatite** : Est un autre type de résistance couramment utilisée dans les chauffe-eaux électriques, cette résistance n'est pas directement en contact avec l'eau. Elle est insérée dans un fourreau en acier emailé ou en céramique, qui est ensuite en contact avec l'eau.



Figure I-6: Résistance stéatite

I-6-3 Le thermostat : Est un dispositif utilisé pour réguler la température de l'eau dans un chauffe eau électrique. Il fonctionne en surveillant la température de l'eau et en activant ou désactivant la source de chaleur pour maintenir la température souhaitée. Il est généralement situé à proximité de la cuve et peut être protégé par un capot ou un boîtier pour éviter les dommages physiques.



Figure I-7 : Thermostat

I-6-4 Anode : Une anode est un dispositif anticorrosion placée dans la cuve du ballon d'eau chaude permettant de protéger le métal qui compose l'enveloppe interne. En effet, avec le temps l'eau qui s'y trouve peut attaquer le métal. La corrosion (la rouille) peut être évitée grâce à la présence d'une anode. Il existe différentes types d'anodes, en magnésium, en titane ou hybride.



Figure I- 8: Anode magnésium

I-6-5 Une soupape de sécurité : Est un dispositif de sécurité qui permet de contrôler la pression interne de l'appareil .Si la pression à l'intérieure du chauffe-eau dépasse la normale, la soupape de sécurité s'ouvre automatiquement pour libérer la pression et éviter toutes risque d'explosion.

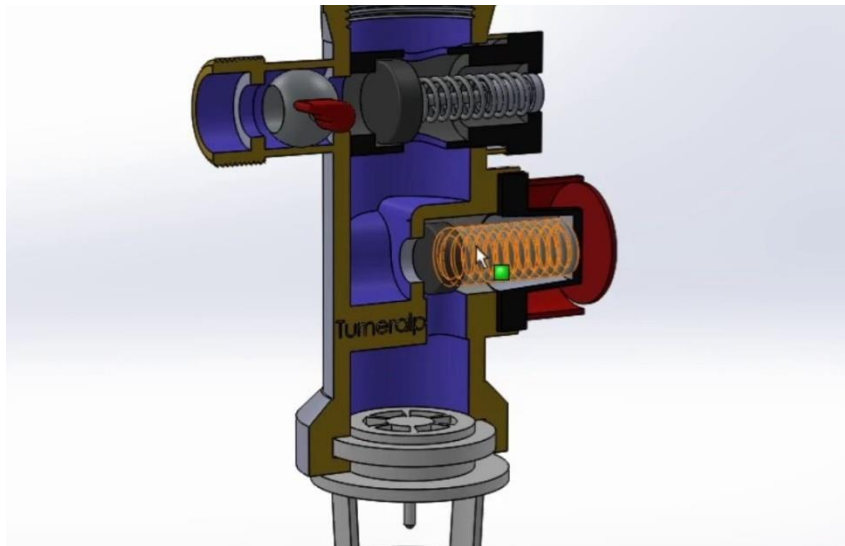


Figure I-9: Soupape de sécurité

I-6-6 Brise-jet : Un brise-jet est un dispositif utilisé pour réguler ou modifier le débit d'eau entrant dans la cuve, il est conçu pour briser le jet d'eau en plusieurs jets fins ce qui peut réduire la forte pression d'eau et permettre une meilleure répartition de l'eau.



Figure I-10: Brise jet

I-7 Les avantages d'un chauffe-eau électrique

Les avantages d'un chauffe-eau électrique sont les suivants : [12]

- **Facilité d'installation** : Le chauffe-eau électrique est facile à installer, ne nécessitant pas de tuyaux de gaz ou d'autres équipements supplémentaires. Il peut être installé dans presque tous les endroits de la maison où il y a une alimentation électrique et un approvisionnement en eau.
- **Coût initial abordable** : Les chauffe-eaux électriques ont un coût initial abordable et peuvent être achetés à des prix raisonnables.
- **Faible coût d'entretien** : Les chauffe-eau électriques ont des coûts d'entretien relativement faibles, car ils ne nécessitent pas de maintenance régulière.
- **Sécurité** : Les chauffe-eaux électriques sont sûrs à utiliser, car ils ne produisent pas de gaz toxiques ou inflammables.
- **Disponibilité** : Les chauffe-eaux électriques sont largement disponibles dans les magasins et en ligne, ce qui les rend faciles à trouver et à acheter.
- **Efficacité énergétique** : Les nouveaux modèles de chauffe-eaux électriques sont de plus en plus efficaces sur le plan énergétique, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie importantes.

Enfin, les avantages du chauffe-eau électrique en font une option attrayante pour les maisons où le gaz naturel n'est pas disponible ou pour ceux qui préfèrent une option plus sûre et plus facile à utiliser.

I-8 Les inconvénients d'un chauffe-eau électrique

Les inconvénients d'un chauffe-eau électrique sont les suivants : [13]

- **Coût d'utilisation** : Les chauffe-eau électriques ont un coût d'utilisation plus élevé que les chauffe-eau à gaz, car l'électricité est plus chère que le gaz naturel.
- **Temps de chauffage** : Les chauffe-eau électriques ont tendance à prendre plus de temps pour chauffer l'eau que les chauffe-eau à gaz, ce qui peut être un inconvénient pour les grandes familles qui ont besoin de beaucoup d'eau chaude en même temps.
- **Capacité limitée** : Les chauffe-eau électriques ont une capacité limitée en termes de quantité d'eau qu'ils peuvent chauffer à la fois. Cela peut être un problème pour les familles nombreuses qui ont besoin d'une grande quantité d'eau chaude à tout moment.
- **Dépendance à l'électricité** : Les chauffe-eaux électriques dépendent entièrement de l'électricité pour fonctionner. En cas de panne de courant, il n'y a aucun moyen de chauffer l'eau, ce qui peut être considéré comme un inconvénient.

En résumé, les inconvénients du chauffe-eau électrique sont principalement liés à son coût d'utilisation plus élevé, sa capacité limitée et sa dépendance à l'électricité.

I-9 Conclusion

En conclusion, le chauffe-eau électrique est un choix courant pour les ménages en raison de sa facilité d'installation et d'utilisation, la disponibilité de l'énergie électrique ainsi que de son coût relativement abordable.

Cependant, il est important de noter ses limites en termes de capacité et d'efficacité énergétique, en particulier pour les ménages de grande taille ou ceux qui ont une forte demande en eau chaude. Il existe également d'autres options de chauffe-eau disponibles, tels que le chauffe-eau solaire, le chauffe-eau au gaz et le chauffe-eau thermodynamique, qui peuvent offrir des avantages supplémentaires en matière de durabilité et d'efficacité énergétique. Le choix final du type de chauffe-eau dépendra des besoins individuels de chaque ménage et de leur budget.

Enfin, ce chapitre nous a permis de comprendre le principe de fonctionnement des chauffe-eaux électriques ainsi que leurs différents composants ce qui nous a permis de concevoir un nouveau modèle qui sera présenté dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 2

Conception d'un chauffe-eau électrique

II-1 Introduction

Les chauffe-eaux électriques sont des appareils utilisés pour chauffer l'eau à l'aide de l'électricité, leur conception implique plusieurs aspects clés pour assurer son bon fonctionnement.

Dans ce chapitre, nous allons examiner les éléments importants pris en compte lors de la conception d'un chauffe-eau électrique

Le but de cette étude est de concevoir un chauffe-eau électrique à réservoir de forme parallélépipédique composé de deux récipients, en acier de construction, de dimensions (64*29*44) cm et (60*25*40) cm séparés par une couche de polystyrène présentant une bonne isolation thermique.

Sur la partie inférieure de ces réservoirs est placé un raccord fileté permettant la sortie de l'eau chaude et sur la partie supérieure est placé un autre raccord permettant l'entrée de l'eau froide.

Une résistance électrique fonctionnant à l'effet joule est placée sur la partie inférieure du réservoir celle-ci étant commandée par une carte électronique reliée à un thermocouple.

II-2 Conception du model par ordinateur (CAO)

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits. Lorsqu'un système est composé d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La (CAO) permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité humaine, et d'apprécier globalement le comportement de l'objet créé avant même que celui-ci existe. En (CAO), on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois de la physique implémentées sur le logiciel utilisé. Dans ce présent travail, nous avons opté pour l'utilisation du logiciel SOLIDWORKS afin de modéliser les différents composants de notre concept.

Dans ce qui suit, nous présenterons des brèves descriptions du logiciel SOLIDWORKS et des différents composants constituant notre chauffe-eau. Les détails de conception de ces composants seront illustrés dans l'annexe 1.

II-2-1 SOLIDWORKS

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) très utilisé dans le domaine de l'ingénierie et de la conception industrielle. Il est développé par la société Dassault Systèmes et est largement utilisé pour la modélisation 3D, la simulation, l'analyse des contraintes et la documentation technique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle [14]

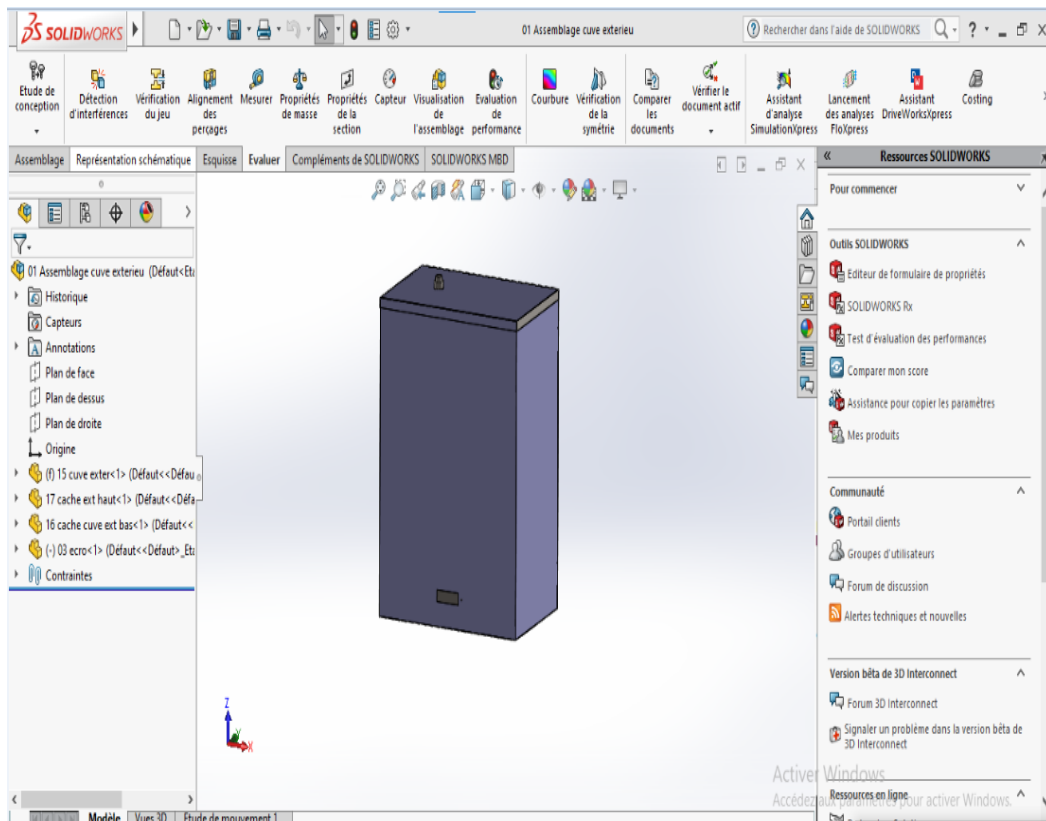


Figure II-1: Fenêtre principale de SOLIDWORKS (chauffe-eau électrique)

II-2-1-1 Enveloppe intérieure (réservoir)

Nous proposons dans ce projet de réaliser le réservoir en utilisant une tôle en acier galvanisé d'épaisseur 1mm, de largeur 131cm et de longueur 60cm. Cette tôle sera pliée avec un angle de 90° à 3 endroits différents tel qu'il est indiqué sur la figure II.2, les deux autres extrémités libres sont assemblées par soudage à l'arc électrique.

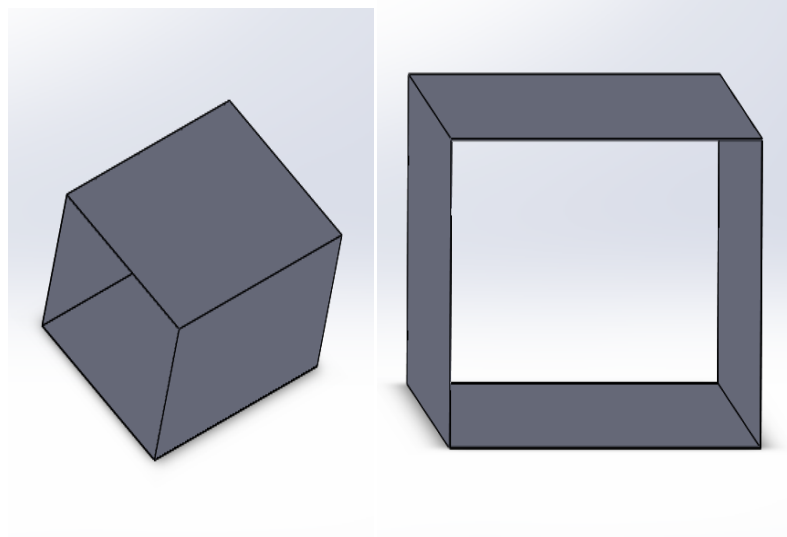


Figure II-2: Enveloppe intérieure

II-2-1-2 Cache inférieur de l'enveloppe intérieure

Ce composant sera réalisé avec la même tôle que l'enveloppe intérieure, de dimensions 40x25cm, ayant deux perçages l'un de diamètre 27mm sur lequel sera soudé un raccord permettant la sortie de l'eau chaude et l'autre de diamètre 8mm permettant à la fois le montage du thermocouple et la vidange du réservoir. Un autre perçage de diamètre 41mm sera également réalisé sur cette plaque pour fixer la résistance électrique. Figure II.3

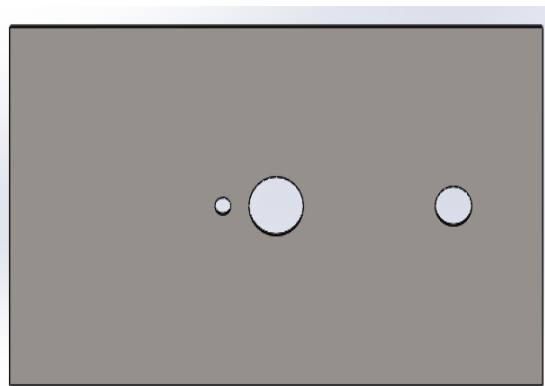


Figure II-3: Tôle inférieure

II-2-1-3 Cache supérieur de l'enveloppe intérieure

Il a les mêmes dimensions que le cache inférieur, mais possède un seul perçage de diamètre 27mm permettant l'entrée de l'eau froide. Figure II.4.

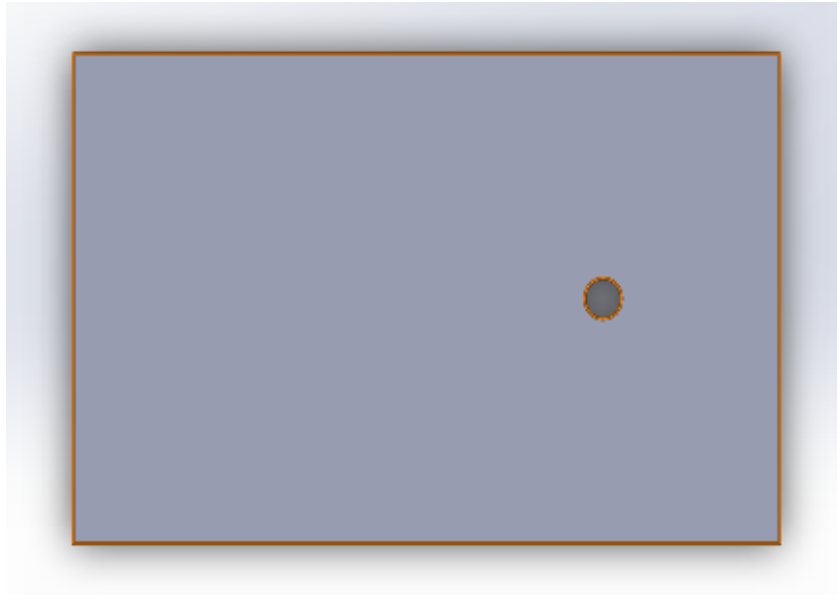


Figure II-4: Tôle supérieure

II-2-1-4 Enveloppe extérieure

Cette enveloppe sera réalisée de la même façon que l'enveloppe intérieure en utilisant une tôle en acier d'épaisseur 1 mm, de largeur 148,2 cm et de longueur 64cm qui sera aussi pliée à 3 endroits avec un angle de 90° comme le montre la figure II.5 et les deux autres extrémités libres sont assemblées par soudage .

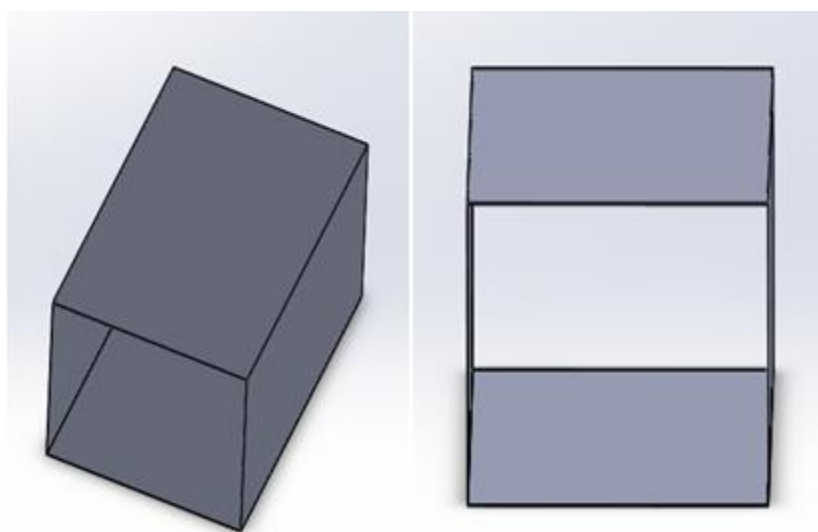


Figure II-5: Enveloppe extérieure

II-2-1-5 Cache supérieur de l'enveloppe extérieure

Ce composant sera réalisé également à partir d'une tôle d'épaisseur 1mm, de largeur 44cm et de longueur 29cm, sur lequel est percé un diamètre de 27mm pour permettre le montage de la conduite de l'eau froide via un raccord.



Figure II-6: Cache supérieur

II-2-1-6 Cache inférieure de l'enveloppe extérieur

Il est de mêmes dimensions que le cache inférieur, il sera percé d'un diamètre de 27mm qui permettra le montage de la conduite d'eau chaude. De plus, une ouverture de forme rectangulaire sera réalisée sur cette pièce afin de permettre l'accès à la résistance électrique et au bouchon de la vidange comme indiqué sur la figure II-7.

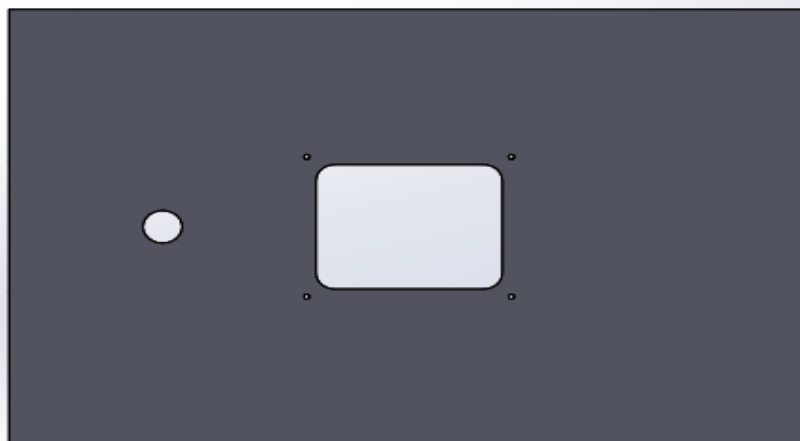


Figure II-7: Tôle inférieure**II-2-1-7 Support de renforcement**

Il est conçu pour le renforcement et la stabilité de réservoir. Il sera percé dans les mêmes endroits avec l'enveloppe extérieure pour assuré une fixation murale. Pour cela, on a opté à utiliser deux supports de même forme réalisés avec un tube carré en acier de dimensions (20*20) mm de forme U obtenue par soudage comme il c'est indiqué sur la figure suivante.

**Figure II-8:** Support de renforcement**II-2-1-8 L'isolation**

Afin de limiter les pertes thermiques du chauffe-eau, on a placé des plaques en polystyrène entre les deux récipients intérieur et extérieur. En effet, le réservoir doit être bien calorifugé pour un rendement optimal et donc un choix judicieux s'impose. Nous avons utilisé des plaques en polystyrène expansé d'épaisseur 15mm à cause de leur disponibilité, efficacité et de leur prix de revient dérisoire. La conductivité thermique du polystyrène est de 0,030 W/m.K.



Figure II-9: Polystyrène expansé

II-2-1-9 Raccord M20 avec filetage extérieure

Pour l'évacuation et l'arrivée de l'eau on a utilisé deux raccords filetés en acier galvanisé de diamètre 20mm et de longueur 50mm qui seront assemblés pas soudage avec le chauffe-eau. Figure (10).

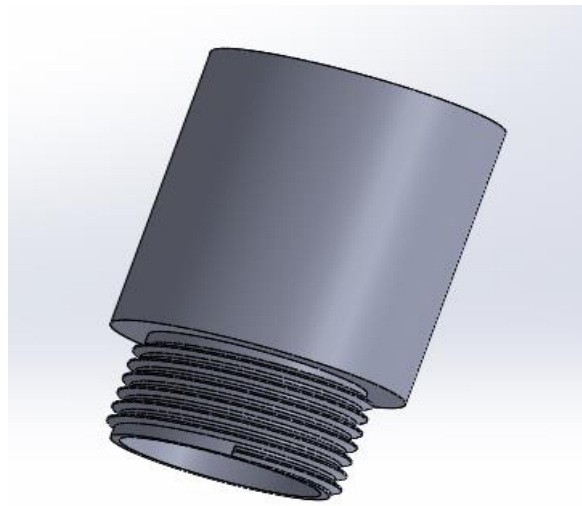


Figure II-10: Raccord M20

II-2-1-10 Résistance électrique

Pour chauffer l'eau à l'intérieur du réservoir, nous avons utilisé une résistance tubulaire blindée en cuivre dont le diamètre du tube est 8mm, de longueur 50 cm et de hauteur 27cm (voir la figure II-11). Cette résistance fonctionne en courant alternatif 220V et développe une puissance de 3000W.



Figure II-11: Résistance tubulaire

II-2-1-11 Capteur de température

Pour pouvoir mesurer la température de l'eau située dans le réservoir, nous avons opté pour l'utilisation d'un thermocouple. Cet instrument est constitué de deux conducteurs filiformes de matériaux différents (l'effet Seebeck), dont les extrémités sont reliées entre elles deux à deux par des soudures. Une soudure est placée sur le point où l'on veut mesurer la température, l'autre étant maintenue à une température fixe. La différence de température entre les deux soudures engendre un transfert de charge électrique, l'importance de ce transfert dépend des caractéristiques électriques des matériaux choisis qui peut être mesuré et converti (par étalonnage) en températures.

Rappelons que la plupart des modèles existants utilisent des thermostats pour la régulation de la température à l'intérieur du réservoir. Dans ce présent modèle, nous proposons de remplacer ce système de régulation par un système plus sophistiqué permettant à la fois de placer un indicateur de température (afficheur) et de choisir librement la température souhaitée. Pour ce faire, nous avons utilisé la carte Arduino UNO qui permet de faire le

prototypage rapide. Notons que cette carte est programmable à l'aide du logiciel Arduino IDE.

II-2-2 Logiciel Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development) est un logiciel utilisé pour programmer les cartes de développement Arduino. Arduino est une plateforme open-source populaire pour le prototypage électronique, permettant aux utilisateurs de créer des projets interactifs en combinant du matériel et du code. L'IDE Arduino fournit un environnement convivial pour écrire, compiler et télécharger du code sur les cartes Arduino. Il est basé sur le langage de programmation Wiring et utilise une version simplifiée du langage de programmation C/C++. L'IDE Arduino comprend un éditeur de code, un compilateur, un chargeur de programme et une interface pour télécharger le code sur la carte Arduino. Avec L'IDE Arduino, les utilisateurs peuvent écrire du code pour contrôler les entrées et les sorties de la carte Arduino, tels que les capteurs, les actionneurs et d'autres composants électronique. Ils peuvent également utiliser les bibliothèques Arduino, qui sont des ensembles de fonctions préécrites, pour faciliter le développement de projet. [15]

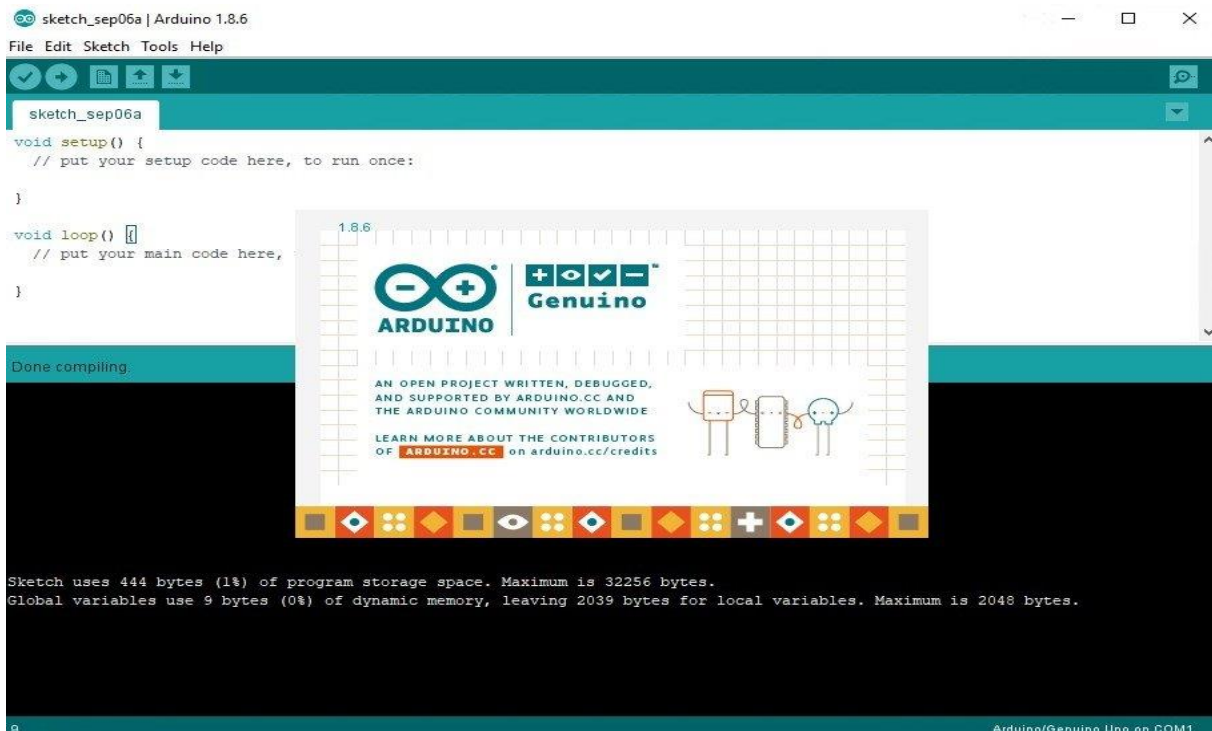


Figure II-12: L'environnement de développement (IDE) Arduino

II-2-2-1 Carte Arduino

Carte Arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques (un signal électrique est un passage d'électricité dans une partie du circuit). Ici l'électricité produite par l'Arduino sera toujours du 5V CC). [15]. Elle ressemble généralement à ça :

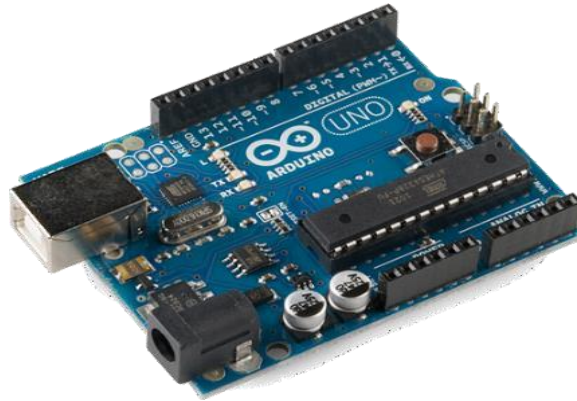


Figure II.13: Carte Arduino UNO

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.

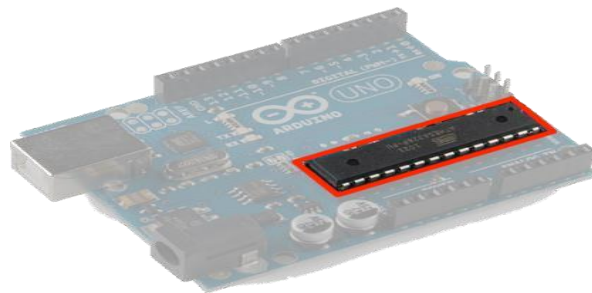


Figure II-14: Microcontrôleur

La carte Arduino est donc une carte qui se connecte sur l'ordinateur pour être programmée, et qui peut ensuite fonctionner seule si elle est alimentée en énergie. Elle permet de recevoir des informations et d'en transmettre depuis ou vers des matériels électroniques : diodes, potentiomètres, récepteurs, servomoteurs, moteurs, détecteurs... La carte Arduino est donc capable de produire ou de capter ces signaux à notre demande grâce à la programmation.

II-2-2-2 Description de la carte Arduino UNO

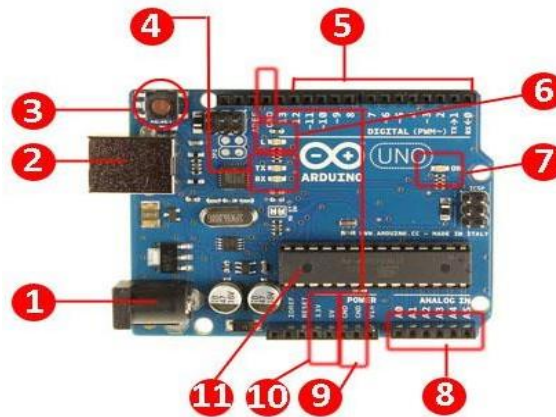


Figure II-15:Description de la carte Arduino

1. Port d'alimentation de la carte entre 5V et 12V
2. Port USB pour brancher la carte à l'ordinateur et pouvoir téléverser le programme.
3. Botton Reset.
4. Diode TX et RX : clignote durant le téléchargement du programme et lors de la communication série.
5. Pins 2-13 : Elles servent à piloter les composants digitaux ou analogiques.
6. LED de la pin 13 : LED interne associée à la pin 13.
7. LED d'alimentation.
8. PIN A0-A5 : Pin analogique, permet de piloter des composants analogiques.
9. PIN GND : Permet d'alimenter les composants électroniques du circuit. Elle représente le négatif.
10. PIN alimentation : Permet d'alimenter les composants électroniques du circuit. Elle représente le positif. L'une à 5V l'autre à 3.3V.
11. Microcontrôleur.

II-3 Conception d'un système de régulation

Pour maintenir la température de l'eau contenue dans le réservoir à la température souhaitée (consigne), une résistance électrique et un thermocouple sont placés à l'intérieur du réservoir. La résistance électrique est reliée à l'aide d'un relais électrique et le thermocouple est relié à la carte arduino à l'aide d'un circuit imprimé nommé MAX6675.

Ainsi, la carte arduino permet de mesurer la valeur de la température via le thermocouple et

son module et de l'affichée par la suite sur un afficheur LCD. Egalement, si la température de l'eau est inférieure à 50° la carte arduino alimente la résistance électrique (allumage) via le relais, sinon si la température est supérieure à 60° la carte arduino interrompte (coupe) l'alimentation de la résistance via le relais. De plus, une Led témoin est utilisée pour indiquer l'état de la résistance électrique.

Nous présenterons dans ce qui suit, l'afficheur LCD, thermocouple avec son module MAX6675 et un relais électrique ainsi que leurs schémas de montage.

II-3-1 Relais

Les relais sont des commutateurs à commande électrique qui permettent à un circuit électrique de commander un ou plusieurs autres circuits en ouvrant et en fermant ses contacts en réponse à la mise sous tension ou hors tension de sa bobine.

Le relais va nous permettre d'isoler la partie commande de la partie électrique, c'est pour ça qu'on va l'utiliser comme composant pour faire le lien entre l'électronique et l'électricité.

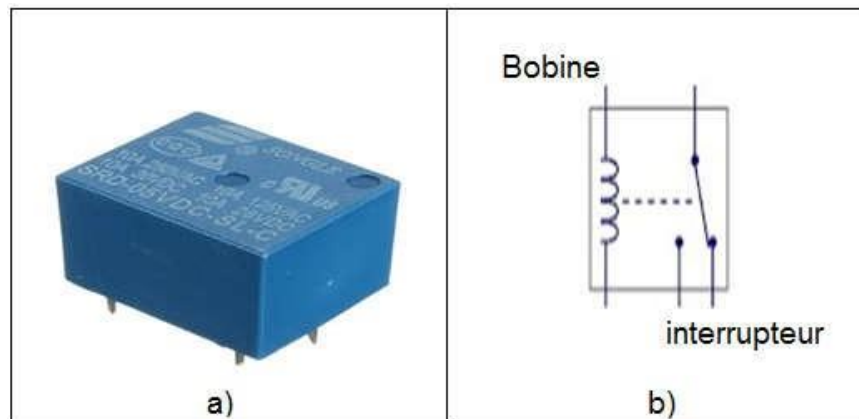


Figure II-16: a) Photo réelle d'un relais ; b) Schéma électrique d'un relais

En effet, les bornes de la bobine seront reliées respectivement au pin8 et GND de la carte arduino et les deux autres bornes du relais seront reliées, l'une à la phase du générateur 220V et l'autre à la résistance électrique qui à son tour est relié à la masse du générateur comme indiqué sur la figure suivante.

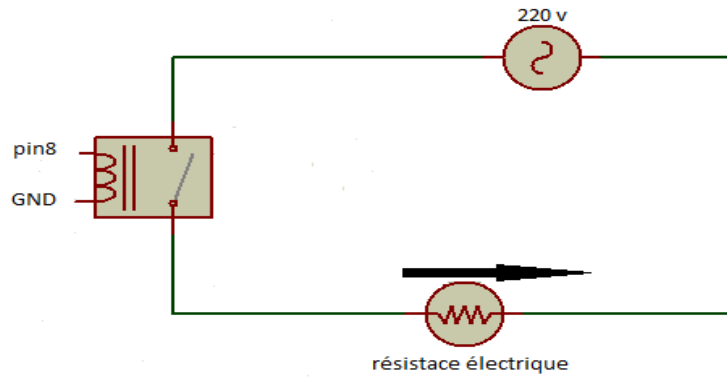


Figure II-17: schéma électrique du relais

II-3-2 Afficheur LCD

L'afficheur LCD utilisé dans ce projet est un type d'afficheur qui peut afficher deux lignes à 16 caractères. Il est utilisé dans de nombreux appareils électroniques.



Figure II-18: Ecran LCD 16*2 et son module I2C

Le schéma de câblage est représenté sur la figure suivante.

Afficheur LCD 16*2

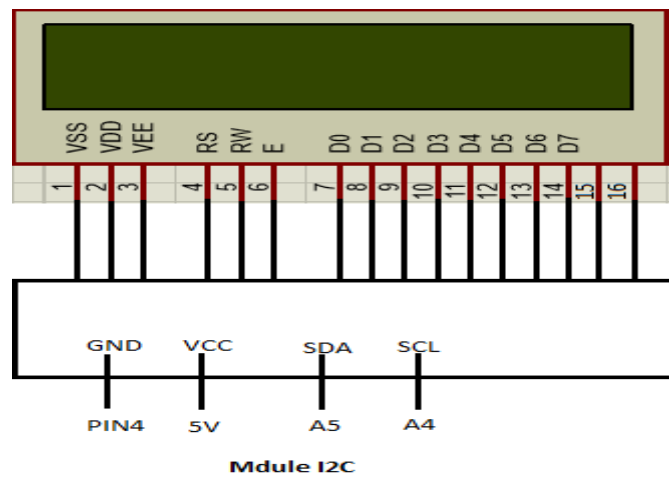


Figure II-19: Schéma de câblage de l'afficheur LCD

II-3-3 Module MAX6675

C'est un circuit imprimé qui permet de relier le thermocouple à la carte arduino.

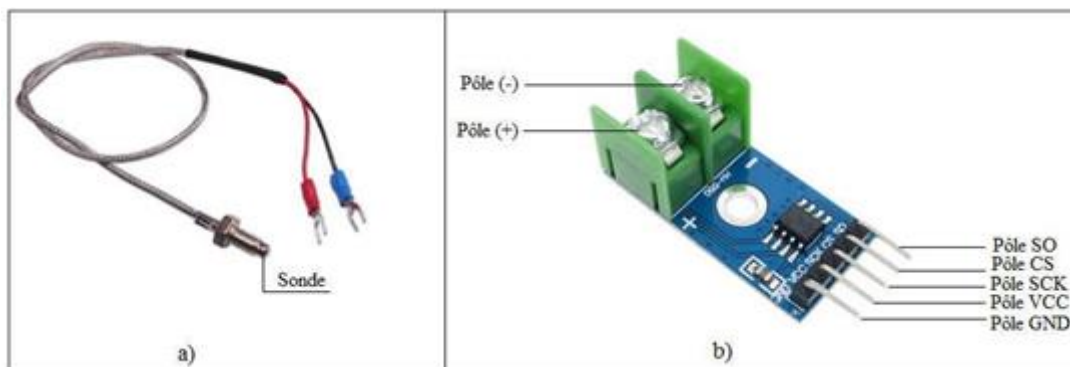


Figure II-20: a) Thermocouple, b) Module MAX6675

Le schéma de câblage est représenté sur la figure suivante.

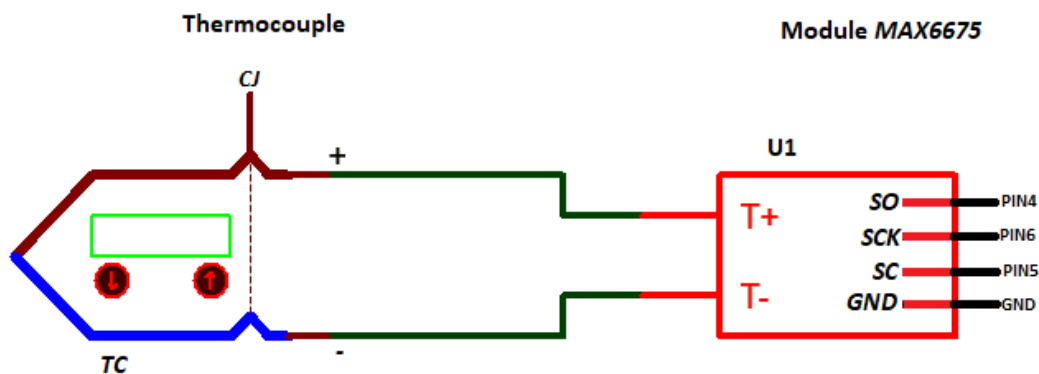


Figure II-21 Schéma de câblage du thermocouple

II-4- Simulation du circuit électrique sous le logiciel PROTEUS

a. Présentation de PROTEUS

Isis Proteus est un logiciel de développement et de simulation largement utilisé ces dernières années comme outil pédagogique, en particulier pour sa simplicité due à son environnement graphique et interactif. Les différents outils mis à la disposition de l'utilisateur permettent, outre la simulation, des analyses dans des domaines différents (temporel, fréquentiel), ainsi que des régimes différents (statique, dynamique) [16]

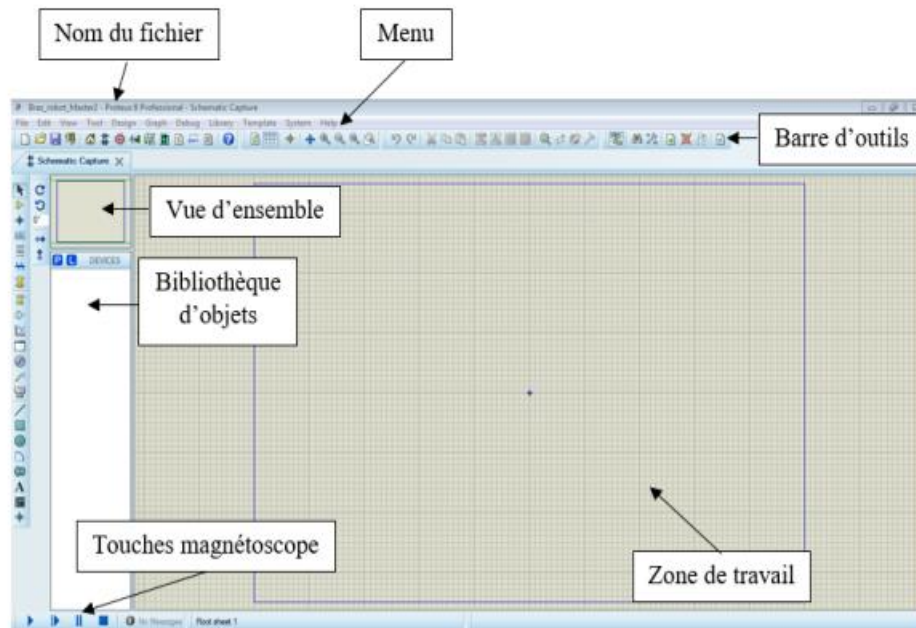


Figure II-22: interface du Logiciel ISIS Proteus

b. Simulation numérique du projet sous ISIS Proteus

Avant de passer à la réalisation de notre projet, il est recommandé d'effectuer une simulation sous ISIS Proteus afin de nous permettra de vérifier le bon fonctionnement des différentes parties du projet avant le passage à la pratique.

En effet ce système est composé principalement d'un relais électrique (qui joue le rôle d'un interrupteur pour la tension 220V), d'un thermocouple (pour mesurer la température de l'eau à l'intérieur du réservoir) et d'une carte Arduino permettant de lire et d'afficher la valeur de la température sur un écran LCD (2*16). Cette carte permet également d'arrêter l'alimentation de la résistance lorsque la température de l'eau atteint 60°C et de la remettre en marche quand la valeur de température chute au dessous de 50°C. De plus, nous avons utilisé une LED pour indiquer l'état de la résistance si elle est en marche ou pas.

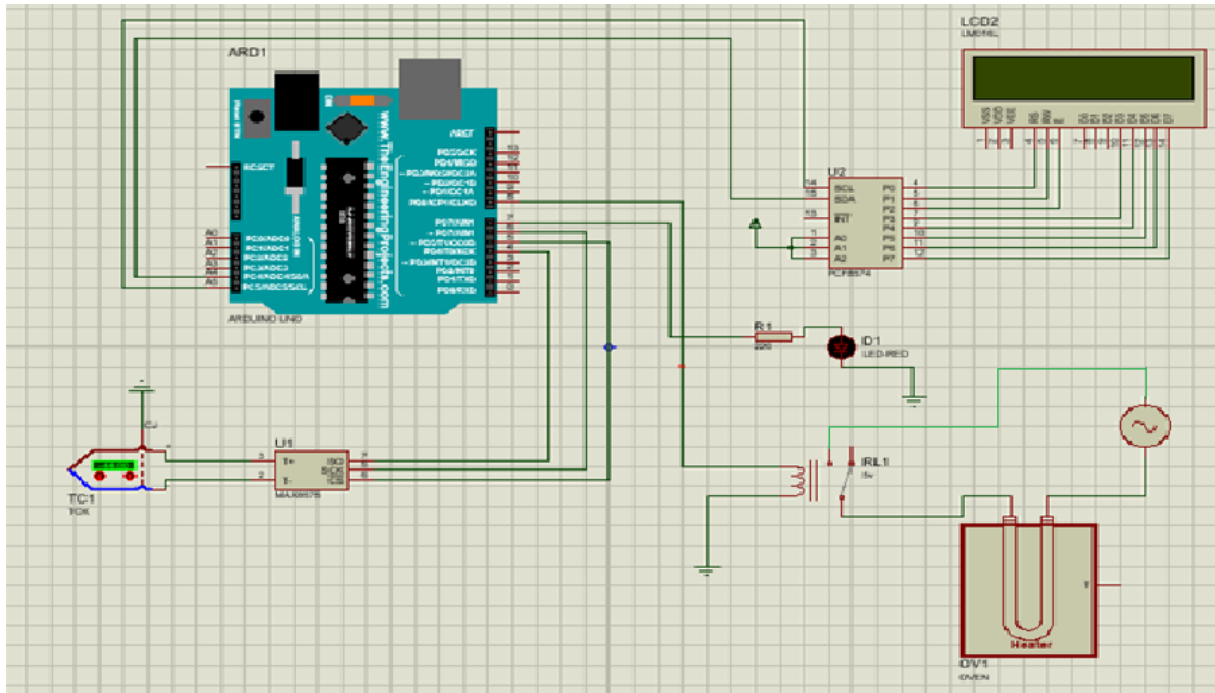


Figure II-23: Schéma électrique de model avec carte Arduino UNO

II-5 Prototypage sous la carte arduino

Avant de passer à la réalisation finale de notre projet il est souhaitable de passer par un prototypage rapide en moyennant la carte arduino. Une photo réelle de l'expérimentation est illustrée ci-dessous :

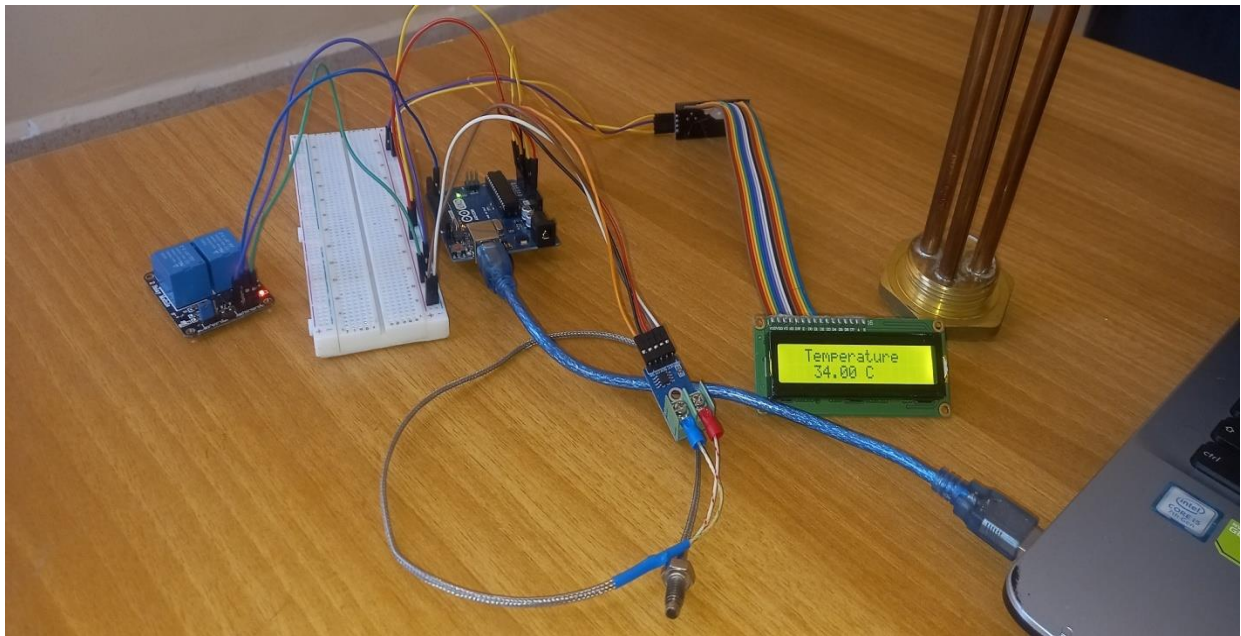


Figure II-24: Prototype sous la carte arduino

II-6 Remplacement de la carte arduino par un microcontrôleur ATmega 328p

Cette étape permet la conception d'un circuit imprimé complètement autonome pouvant être placé directement sur le chauffe-eau. En effet, le chauffe-eau sera alimenté par un courant alternatif 220V qui permet le fonctionnement de la résistance chauffante 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. Enfin, le programme final permettant le fonctionnement de notre chauffe-eau est présenté à l'annexe 2.

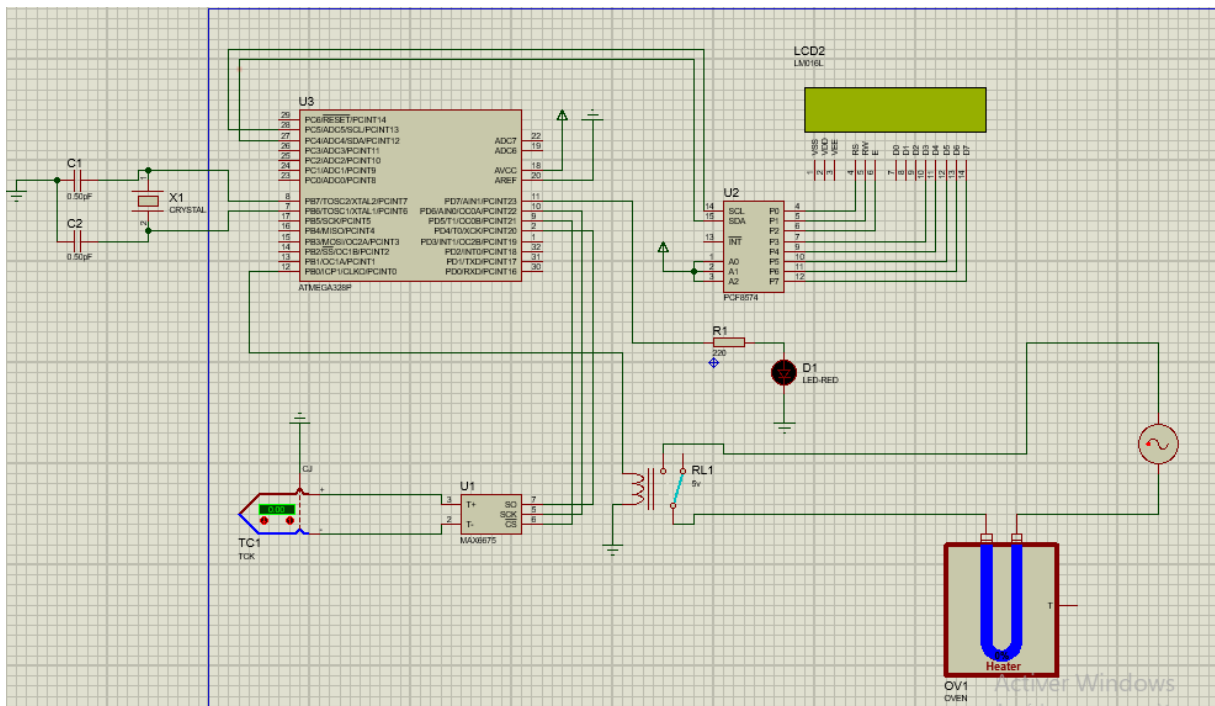


Figure III-2-25 : Schéma électrique de model avec ATMEGA328P

II-7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les différentes étapes et processus impliqués dans la conception d'un chauffe-eau électrique efficace et fonctionnel.

Tout d'abord, nous avons utilisé le logiciel SOLIDWORKS, un logiciel de (CFAO), pour modéliser et concevoir les différents éléments du chauffe-eau électrique. Grâce à ses fonctionnalités avancées, nous avons pu créer des modèles 3D précis du chauffe-eau, 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 du chauffe-eau. 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, la résistance, la led et les éléments de sécurité. Grâce à cette simulation, nous avons pu vérifier le bon fonctionnement du circuit et détecter d'éventuelles erreurs ou problèmes de performances.

Enfin, des expériences ont été réalisées en utilisant le logiciel arduino IDE ainsi que la carte arduino où nous avons constaté un bon fonctionnement du système de régulation de la température.

CHAPITRE 3

Etude et dimensionnement

III-1 Introduction

Lors du dimensionnement d'un chauffe-eau électrique, il est nécessaire de déterminer la consommation individuelle des personnes. Cependant, cette quantité dépend de plusieurs paramètres et sa valeur est différente selon les consommateurs. Nous présenterons dans ce chapitre les besoins en eau chaude en fonction du nombre d'habitants et du type d'habitations. Une fois la capacité du chauffe-eau est déterminée nous allons calculer le temps de chauffe, l'énergie consommée par la résistance chauffante et enfin, le dimensionnement mécanique.

III-2 Variables qui influent sur la consommation

Les besoins individuels en ECS sont aux éléments suivants :

- La nature de l'utilisation qui correspond au type de local (habitation, hôtel, bureau ou hôpital...).
- Le genre de vie des utilisateurs qui tient compte du pays, des coutumes, de la région, du climat et du niveau de vie.
- L'équipement sanitaire thermique.
- La saison : selon qu'on soit en période de froid ou non, la consommation en eau chaude sanitaire varie fortement.

III-2-1 Besoins dans les habitations

Les quantités d'eau chaude sanitaire nécessaires pour une habitation peuvent être déterminées de deux manières différentes : soit par le biais du nombre d'habitants, et soit par celui des équipements. Notons par ailleurs que les valeurs données ci-après doivent être reconsidérées pour les pays en voie de développement.

a) Besoins en fonction des habitants

Le tableau suivant est un récapitulatif des consommations journalières par personne.

Habitations	Confort minimal	Confort normal	Confort maximal
Consommation (L/jour) Par personne	30	50	75

Tableau III- 1 : Besoins journalier par personne en L/jour [18]

Pour une construction habitée où l'on connaît le nombre d'habitants, les besoins s'obtiennent en faisant le produit du nombre d'habitants par la valeur de la consommation pour le niveau de confort désiré. Pour une construction nouvelle, on utilise la valeur moyenne du taux d'occupation normal qui est d'environ 1.5 personnes par pièce.

b) Besoins en fonction des logements et des équipements

Généralement, on connaît le nombre d'équipements sanitaires installés (ou à installer). Dans ce cas, les besoins constituent le cumul des quantités que nécessite chaque appareil. Le tableau ci-après donne les quantités journalières par équipement.

Estimation des consommations à 55°C (ménage moyen de 3 personnes)	
Puisage	Quantité (Litre)
Douche	110
Lavage main	10
Rinçage divers cuisine	10
Lavage vaisselle	10
Nettoyages	10
Total	150

Tableau III-2: Les quantités journalières d'eaux chaudes par équipement pour 3 personnes

III-3 Dimensionnement du réservoir

Nous allons dans cette section déterminer la capacité du réservoir de telle sorte à satisfaire aisément la consommation journalière d'une famille à trois personnes de confort normal.

En effet, comme la plupart des foyers sont équipés de robinets-mélangeurs qui permettent de mélanger l'eau chaude avec de l'eau froide (pour une meilleure utilisation), nous proposons de fixer la consigne de notre chauffe-eau à 60°C malgré que la température moyenne d'utilisation est de 40°C ce qui nous permettra d'augmenter la quantité d'eau utilisable sans augmenter les dimensions du réservoir.

Le tableau III-1 montre que la consommation moyenne journalière d'une personne de confort normal est de 50L et le tableau III-2 illustre que la plus grande quantité de cette consommation se produit lors d'une séance de douche. En combinant ces deux paramètres et

en tenant compte du temps moyen d'une douche estimé à 20minutes, nous pouvons à priori fixer la capacité de notre chauffe-eau à 60L.

III-3-1 Dimensions finales du réservoir

Pour avoir un design compatible avec la décoration des cuisines actuelles, nous proposons de fixer la largeur et l'épaisseur de notre chauffe-eau aux valeurs respectives suivantes 400 mm et 250 mm et de calculer par la suite sa hauteur pour avoir un volume de 60 Litres. On a :

$$V = E_p \cdot b \cdot h \quad (01)$$

$$\Rightarrow h = \frac{V}{E_p \cdot b} \quad (02)$$

Où

$E_p = 250\text{mm}$: épaisseur du réservoir ;

$b = 400\text{mm}$: Largeur du réservoir ;

$V = 60\text{ L} = 6\,000\,000\text{ mm}^3$: Volume du réservoir converti en mm^3 .

L'équation (02), permet ainsi de déterminer la hauteur du réservoir comme suit :

$$\Rightarrow h = \frac{6\,000\,000}{250 \cdot 400} = 600\text{ mm}$$

La masse de l'eau contenue dans le réservoir peut être calculée en multipliant le volume du réservoir par la densité de l'eau, on obtient :

$$M = \rho \cdot V = 1000 \cdot 0.06 = 60\text{Kg} \quad (03)$$

Avec ρ étant la masse volumique de l'eau et sa valeur est $1000\text{ Kg}/\text{m}^3$.

III-3-2 Calcul du temps de chauffe

Pour calculer le temps de chauffe nous allons utiliser des équations en transfert de chaleur qui régissent le fonctionnement du système. En effet, nous allons commencer par définir un état initial et un état final pour appliquer le premier principe de la thermodynamique.[19]

Etat initial : Nous disposons d'une masse d'eau $M = 60\text{kg}$ qui se trouve à la température T_1 (cette température varie en fonction de la période d'utilisation)

Etat finale : La température finale de l'eau à l'intérieure du réservoir sera fixée à se trouve à

$$T_2 = 60^\circ\text{C}.$$

L'application du premier principe de la thermodynamique permet de lier la variation de l'énergie interne, $U_2 - U_1$, à l'énergie thermique Q de la résistance électrique, reçue par le système entre les deux états initial et final:

$$Q = U_2 - U_1 \quad (4)$$

Où

$$Q = \eta \cdot P \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$U_1 = \rho \cdot V \cdot C_p (T_1 - T^*) \quad (6)$$

$$U_2 = \rho \cdot V \cdot C_p (T_2 - T^*) \quad (7)$$

Avec

P : Puissance de la résistance électrique dont la valeur considérée dans cette étude est 2000W;

$\eta = 85\%$: Rendement de la conversion de l'énergie électrique en énergie thermique ; [20]

Δt : Différence de températures entre les deux états initial et final ;

T^* : Est une température de référence donnée ;

T_1 : Température d'entrée d'eau ;

$T_2=60^\circ\text{C}$: Température finale (consigne) ;

$C_p = 4,18 \text{ [kJ] / kg }^\circ\text{C}$: La chaleur massique de l'eau ;

$V=60 \text{ litres}$: volume de l'eau à chauffer ;

$\rho = 1 \text{ kg/litre}$: La masse volumique de l'eau.

En substituant les équations 6-8 dans 5, on obtient :

$$\eta \cdot P \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot C_p (T_2 - T_1) \quad (8)$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{\rho \cdot V \cdot C_p (T_2 - T_1)}{\eta \cdot P} \quad (9)$$

Nous constatons dans cette équation que le temps de chauffe dépend de la température d'entrée d'eau T_1 . Ainsi, nous proposons dans ce qui suit d'évaluer ce temps de chauffe en

considérant deux situations critiques, à savoir : $T_1=5^{\circ}\text{C}$ cette valeur correspond à la période hivernale et $T_1=30^{\circ}\text{C}$ correspondant à la période estivale. L'application numérique permet d'écrire :

$$\Delta t_1 = \frac{1 \cdot 60 \cdot 4,18 \cdot (60 - 5)}{0,85 \cdot 2} = 8114\text{sec} = 2\text{h}15\text{min}$$

$$\Delta t_2 = \frac{1 \cdot 60 \cdot 4,18 \cdot (60 - 30)}{0,85 \cdot 2} = 4425\text{sec} = 1\text{h}13\text{min}$$

Le temps moyen de chauffe est environ :

$$t_{\text{moy}} = \frac{2\text{h}15 + 1\text{h}13}{2} = 1\text{h}44 \text{ min} \quad (10)$$

III-4 Calcul de la quantité d'énergie électrique consommée par la résistance

L'énergie électrique consommée par le chauffe-eau peut être calculée en multipliant la puissance de la résistance par le temps moyen de fonctionnement :

$$E = P \cdot t_{\text{moy}} \quad [21] \quad (11)$$

Où

E : l'énergie électrique consommée en KWh ;

P : la puissance de la résistance électrique exprimée en KW ;

t_{moy} : temps moyen de fonctionnement en heure ;

$$\Rightarrow E = 2 \cdot 1,74 = 3,48\text{Kwh}$$

Le coût de l'électricité journalière correspondante (C_s) à 50 litres, en Algérie, est :

$$C_s = 3.48 \cdot 5.34 = 18,58\text{Da} \quad (12)$$

III-5 Calcul du flux traversant le réservoir et l'isolant

La relation qui permet de calculer ce flux est : [22]

$$\phi = K \cdot S \cdot \Delta T \quad (13)$$

Où

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

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

ΔT : Différence de températures [$^{\circ}\text{C}$].

a- Calcul du coefficient global de transmission thermique du réservoir et l'isolant

Le coefficient de transmission thermique d'un matériau caractérise la quantité de chaleur traversant ce matériau 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 dudit matériau. Ce coefficient est l'inverse de la résistance thermique totale du matériau, plus sa valeur est faible plus le réservoir est isolée. Nous avons

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i}} \tag{14}$$

Où

h_e : Coefficient de convection extérieure [$W/m^2\text{ }^\circ C$] ;

h_i : Coefficient de convection intérieure de la paroi [$W/m^2\text{ }^\circ C$] ;

$n = 3$: Nombre de couche

$e_1 = e_2 = 0,001m$: Epaisseur des parois en acier ;

$e_3 = 0,015m$: Epaisseur de la plaque isolante (polystyrène) ;

$\lambda_1 = \lambda_2 = 50[W / m^\circ C]$: Coefficient de la conductivité thermique de l'acier ;

$\lambda_3 = 0,033[W / m^\circ C]$: Coefficient de conductivité thermique de polystyrène.

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

	Pari en contact avec :			Pari en contact avec :		
	- l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			- un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, un vide sanitaire.		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_i$	$1/h_i + 1/h_i$
Pari verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60° (FIG)	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Pari horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60° , flux ascendant (toiture) (FIG)	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
flux descendant (plancher bas) (FIG)	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tableau III-3: Valeurs des coefficients de convection intérieure et extérieure

Application numérique

Calculs des coefficients de transmission thermique:

$$K_{hor} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,001}{50} + \frac{0,001}{50} + \frac{0,020}{0,033}} = 1,29 \text{ Wm}^2/\text{°C} \quad (15)$$

$$K_{toit} = \frac{1}{0,14 + \frac{0,001}{50} + \frac{0,001}{50} + \frac{0,020}{0,033}} = 1,34 \text{ Wm}^2/\text{°C} \quad (16)$$

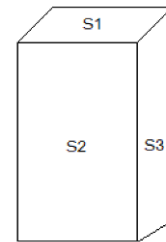
$$K_{plancher} = \frac{1}{0,22 + \frac{0,001}{50} + \frac{0,001}{50} + \frac{0,020}{0,033}} = 1,21 \text{ Wm}^2/\text{°C} \quad (17)$$

b- Calcul des différentes superficies de chacune des parois

$$S_1 = (0,25 \cdot 0,40) = 0,1 \text{ m}^2$$

$$S_2 = (0,40 \cdot 0,6) = 0,24 \text{ m}^2$$

$$S_3 = (0,6 \cdot 0,25) = 0,15 \text{ m}^2$$



c- Calcul des déperditions de réservoir

$$D = K \cdot S \quad (18)$$

$$D_h = K_h \cdot (2S_2 + 2S_3) = 1,29 \cdot 0,78 = 1 \text{ W} \quad (19)$$

$$D_t = K_t \cdot (S_1) = 1,34 \cdot 0,1 = 0,134 \text{ W} \quad (20)$$

$$D_p = K_p \cdot (S_1) = 1,21 \cdot 0,1 = 0,121 \text{ W} \quad (21)$$

d- Calcul des déperditions totales :

$$D_T = 1 + 0,134 + 0,121 = 1,25 \text{ W} \quad (22)$$

En tenant compte de tous ces paramètres dans l'équation (14), nous obtenons la valeur du flux total traversant les parois de chauffe-eau :

$$\phi = 1,25 \cdot (60 - 20) = 50 \text{ W} \quad (23)$$

Nous avons analysé le flux de chaleur échangé par le chauffe-eau avec l'environnement pour évaluer son efficacité énergétique. Des paramètres tels que l'isolation thermique du réservoir et la perte de chaleur ont été pris en compte pour minimiser les pertes d'énergie.

III-6 Partie mécanique

III-6-1 Poids total du chauffe-eau

Le poids total du chauffe-eau peut être déterminé en additionnant les poids de tous ses composants.

Composant	Nbr de Pièce	MATIERE	DENSITE KG/M ³	LA MASSE KG
Enveloppe intérieure	1	ACIER	7850	7.649
Enveloppe extérieure	1	ACIER	7850	9.677
Isolant pièce n°9	4	POLYSTYRENE	20	0.023
Isolant pièce n°10	2	POLYSTYRENE	20	0.034
Isolant pièce n°11	1	POLYSTYRENE	20	0.029
Isolant pièce n°12	1	POLYSTYRENE	20	0.006
Isolant pièce n°13	4	POLYSTYRENE	20	0.027
Isolant pièce n°14	1	POLYSTYRENE	20	0.007
Ecrou de résistance	1	ACIER	7850	0.07
Résistance	1	CUIVRE	8900	0.31
Support de renforcement 1	2	ACIER	7850	1.33
Support de renforcement 2	2	ACIER	7850	0.26
Raccord d'eau	2	ACIER	7850	0.08
TOTAL				21.54

Tableau III-4: Dimensionnement de tous les éléments du chauffe-eau

III-6-2 Calcul de résistance

III-6-2-1 Dimensionnement des vis murales

Deux vis sont prévues pour fixer le chauffe-eau sur le mur, ainsi leur dimensionnement peut être développé en considérant le poids total du chauffe-eau et le poids de la masse d'eau qui peut varier avec le temps. En effet, lors de la mise en place dudit réservoir, les vis auront à supporter uniquement son poids à vide. Après remplissage, ces vis devront supporter le poids total incluant le poids de l'eau contenue dans le réservoir. Notons toutes fois que les éléments chargés dynamiquement sont plus menacés de détérioration que ceux chargés statiquement. À cet effet, il est question ici d'endurance qui est défini comme étant la capacité du réservoir à la fatigue.

En pratique, on procède d'abord au calcul approximatif basé sur la statique puis on détermine les dimensions exactes en tenant compte de la fatigue.

a- Calcul statique

Il est évident que les vis de fixation sont sollicitées par un cisaillement pur, ainsi on peut écrire la condition de la résistance :

$$\tau_{app} = \frac{P_t}{Z \cdot A} \leq [\tau] \tag{24}$$

Où :

$M_t = M_v + M_e = 21.54 + 60 = 81.54$ kg : masse totale du chauffe-eau plein

P_t : Poids total, $P_t = M_t \cdot g = 81.54 \cdot 9.81 \approx 800$ N

$A = \frac{\pi d^2}{4}$: Section cisailée de la tige de la vis,

Z : Le nombre de vis de fixation, $Z = 2$

$[\tau] = 0.8[\sigma]$: Limite de cisaillement admissible ;

σ_e : Limite élastique du matériau des vis (A70 ou E360), $\sigma_e = 360$ MPa ;

S : Coefficient de sécurité, en général on prend $S = 2$;

$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{S} = \frac{360}{2} = 180$ MPa; : Contrainte normale admissible ;

Donc : $[\tau] = 0.8[180] = 144$ MPa

Equation (25) permet d'écrire :

$$d \geq \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot 2 \cdot [\tau]}} \tag{25}$$

Application numérique :

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 701}{3,14 \cdot 2 \cdot 144}} \Rightarrow d \geq 1.76$$
mm

Vu que les vis sont des composants standards et commercialisés, nous allons prendre $d=2$ mm

b- Vérification à la fatigue

La condition de résistance à la fatigue est décrite à l'équation (27). Rappelons tout d'abord que cette condition signifie que les vis pourront supporter un nombre de cycle compris entre 10^7 et 10^9 cycles [23]

$$\tau_{app} \leq [\tau_D] \tag{26}$$

Où

$\tau_D = 260MPa$: Limite d'endurance en cisaillement du matériau A70 (voir la figure2)

$$[\tau_D] = \frac{\tau_D}{s} = \frac{260}{2} = 130MPa \text{ : Limite d'endurance admissible ;}$$

La contrainte appliquée sur les vis de diamètre 2mm est donnée par :

$$\tau_{app} = \frac{P}{Z \cdot A} = \frac{800}{2 \cdot \frac{3,14 \cdot 2^2}{4}} = 127MPa \tag{27}$$

Donc la condition de résistance à la fatigue est vérifiée.

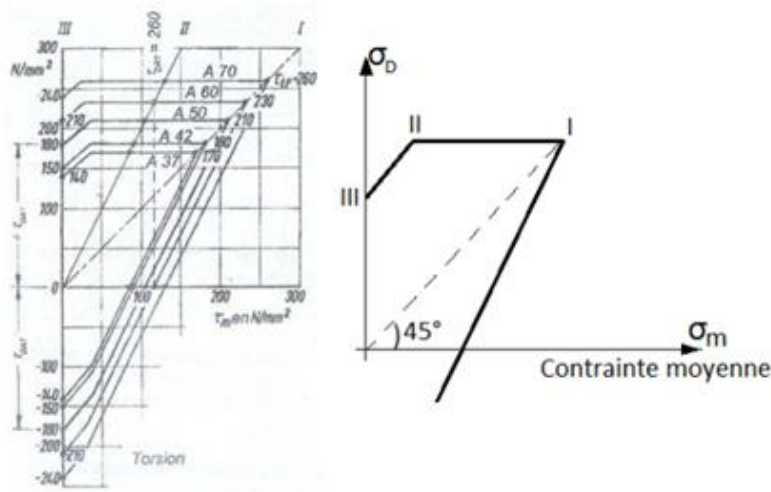


Figure III-1: Courbe de Smith [24]

III-6-2-2 Dimensionnement du support de sécurité

Deux supports sont prévus pour le renforcement et la stabilité de réservoir ainsi leur dimensionnement peut être développé en considérant le poids total du chauffe-eau et le poids de la masse d'eau qui peut varier avec le temps. En effet, lors de la mise en place dudit réservoir, les supports devront supporter le poids total incluant le poids de l'eau contenue dans le réservoir [25].

Il est évident que les supports sont sollicités par un cisaillement, traction et flexion :

a- Le cisaillement :

$$\tau_{app} = \frac{P_t}{Z \cdot A} \leq [\tau]$$

$M_t = M_v + M_e = 21.54 + 60 = 81.54 \text{ kg}$: masse totale du chauffe-eau plein

P_t : Poids total, $P_t = M_t \cdot g = 81.54 \cdot 9.81 \approx 800 \text{ N}$

$A = d^2 * (d - 2)^2$: Section cisailée

Z : Le nombre de support, $Z = 2$

$[\tau] = 0.8[\sigma]$: Limite de cisaillement admissible ;

σ_e : Limite élastique du matériau (A70 ou E360), $\sigma_e = 360 \text{ MPa}$;

S : Coefficient de sécurité, en général on prend $S = 2$;

$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{S} = \frac{360}{2} = 180 \text{ MPa}$; : Contrainte normale admissible.

Donc : $[\tau] = 0.8[180] = 144 \text{ MPa}$

$$\tau_{app} = \frac{P_t}{Z \cdot A} = \frac{800}{2 \cdot (20^2 - 18^2)} = \frac{800}{152} = 5,26 \text{ MPa}$$

Ce qui montre la résistance des supports au cisaillement.

b- La traction :

$$\sigma_{tr} = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

$$N = P_t$$

$$A = d^2 * (d - 2)^2$$

$$\sigma_{tr} = \frac{800}{152} = 5,26 \text{ MPa}$$

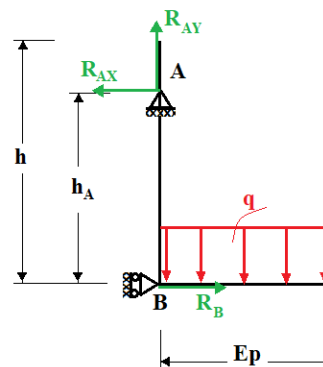
Ce qui montre la résistance des supports à la traction.

c- La Flexion :

1) Calcul des réactions :

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow R_{Ay} - q \cdot E_p = 0$$

$$q = \frac{P_t}{2E_p} = \frac{800}{2 \cdot 250} = 1,6 \text{ N}$$



$$\Rightarrow R_{Ay} = q \cdot E_p = 1,6 \cdot 250 = 400N$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow R_b - R_{ax} = 0$$

$$\sum M/A = 0 \Rightarrow -R_B \cdot 500 + (q \cdot E_p) \frac{E_p}{2} = 0$$

$$R_B = \frac{q \cdot E_p^2}{2 \cdot 500} = \frac{1,6 \cdot 250^2}{2 \cdot 500} = 100N$$

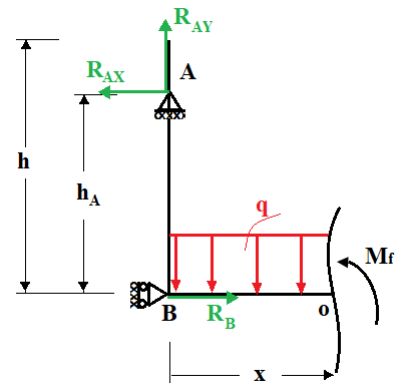
$$(1) \Rightarrow R_{Ax} = R_B = 100N$$

2) Effort interne :

$$\sum M/o = 0 \Rightarrow -M_f - q \frac{x^2}{2} + R_{Ay} \cdot x - R_{ax} \cdot 500 = 0$$

$$M_f = -q \frac{x^2}{2} + R_{Ay} \cdot x - R_{ax} \cdot 500$$

Pour



$$\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \Rightarrow M_f = -R_{ax} \cdot 500 = -50000 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ x = E_p \Rightarrow M_f = -q \frac{E_p^2}{2} + R_{Ay} \cdot E_p - R_{ax} \cdot 500 = 49800 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{Flex} = \frac{M_{Fmax}}{I_q} \cdot V \leq [\sigma]$$

$$I_q = \frac{BH^3}{12} - \frac{bh^3}{12}$$

$$I_q = \frac{20^4}{12} - \frac{18^4}{12} = 4585,33 \text{ mm}^4$$

$$V = \frac{20}{2} = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_{Flex} = \frac{50000}{4585,33} \cdot 10 = 109,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{flex}^2 + \tau^2} = \sqrt{109^2 + 5,26^2} = 109,17 \text{ MPa}$$

III-6-2-3 vérification des cordons de soudure à la résistance

a- Description des cordons de soudure

Le réservoir a été conçu pour être réalisé par une tôle pliée à trois endroits puis soudée par le cordon 1 comme c'est illustré sur la figure III-4. Les faces supérieure et inférieure du réservoir sont également fixées par soudage à l'aide des cordons 2 et 3. En effet, ces cordons sont sollicités par des efforts générés par la pression hydrostatique. Et la compréhension de ces efforts nécessite une définition détaillée de cette pression qui sera présentée dans ce qui suit.

b- Calcul de la pression hydrostatique

Dans un liquide, la pression exercée sur un point quelconque de ce liquide est égale au poids de la colonne de liquide divisé sur la surface qui se trouve à la même profondeur, h , que ce point. La pression hydrostatique a comme formule générale [26]:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{M \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{s} = \frac{\rho \cdot h \cdot s \cdot g}{s} \quad (28)$$

Où F est le poids de l'eau qui est égal sa masse multipliée par l'intensité de la pesanteur g . En simplifiant cette équation, nous obtenons l'expression finale de la pression hydrostatique qui prend la forme suivante :

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (29)$$

Où

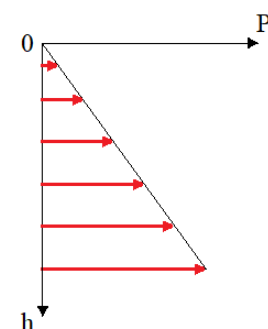
P : La pression en N/m^2

ρ : La masse volumique du liquide en $[kg/m^3]$

h : La profondeur ou la hauteur d'eau en $[m]$

$g = 9.81$: Intensité de la pesanteur (N/kg)

Nous remarquons dans cette expression que la valeur de la pression hydrostatique varie linéairement avec le paramètre h .



c- Poussée d'un fluide sur une paroi verticale

Pour calculer la force appliquée sur la paroi verticale de notre chauffe-eau, nous allons tout d'abord calculer la force appliquée sur un point quelconque M situé sur cette paroi et à

une distance h_m comme indiqué sur la figure suivante. Ensuite, la valeur totale de la force appliquée sur la paroi est définie comme étant la résultante de toutes les forces appliquées.

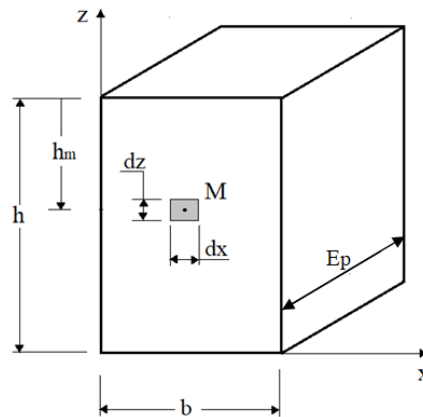


Figure III-2: Poussée d'un fluide sur une paroi verticale

L'application des équations 29 et 30 au point M, permettent d'écrire :

$$\frac{dF_M}{dS_M} = \rho \cdot g \cdot h_m \quad (30)$$

Où

$h_m = (h - z)$: Hauteur du point M comme indiqué sur la figure III-3 ;

dS_M : Surface élémentaire du point M, $S_M = dx \cdot dz$;

dF_M : Force appliquée sur la surface S_M .

D'après l'équation 31, nous pouvons écrire :

$$dF_M = \rho \cdot g \cdot z \cdot dS_M \quad (31)$$

En intégrant cette équation conformément aux limites de la surface latérale, nous obtenons l'expression totale de la résultante des forces appliquées sur celle-ci :

$$F = \int_0^b \int_0^h dF_M dx \cdot dz = \int_0^b \int_0^h \rho \cdot g \cdot h_m \cdot dx \cdot dz = \rho \cdot g \cdot \int_0^h (h - z) \cdot dz \int_0^b dx \quad (32)$$

$$F = \rho \cdot g \cdot \left[h \cdot z - \frac{z^2}{2} \right]_0^h \cdot [x]_0^b$$

$$\Rightarrow F = \frac{\rho \cdot g \cdot b \cdot h^2}{2} \quad (33)$$

De manière similaire, nous pouvons démontrer que la force appliquée sur la deuxième face latérale prend la forme suivante :

$$F = \frac{\rho \cdot g \cdot E_p \cdot h^2}{2} \quad (34)$$

d- Calcul des cordons de soudure

Dans cette partie, nous allons vérifier la résistance mécanique des cordons de soudeur qui sont réalisés sur le réservoir intérieur. En effet le volume d'eau situé à l'intérieur du réservoir va générer une pression hydrostatique qui s'applique simultanément sur les parois inférieure et latérales. De ce fait, on constate une force F1 qui s'applique sur le cache inférieur et deux autres forces F2 et F3 qui s'appliquent sur les parois latérales comme illustré sur la figure III-4.

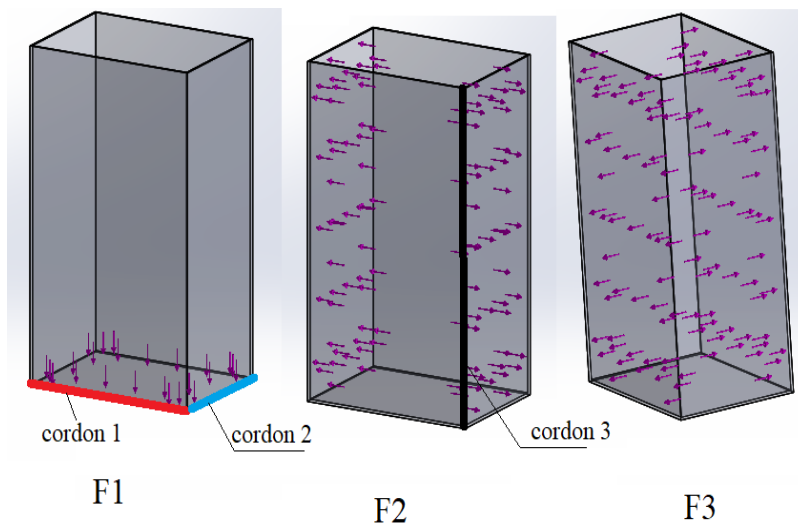


Figure III-3 : Différents cordons de soudure et répartitions des forces sur les parois

❖ **Vérification des cordons de soudure 1 et 2 :**

La section résistante de ces cordons est sollicitée par une traction développée par la force F1 et deux cisaillements, l'un est développé par la force F2 et appliquée sur le cordon 2 et l'autre est développé par la force F3 et appliqué sur le cordon 1, ainsi on peut écrire [27]:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_1^2)} \leq [\sigma^s]$$

Où

$[\sigma^s] = \frac{\sigma_e}{s} \cdot \beta$: contrainte admissible du cordon de soudure ;

$\beta = 0.65$: Coefficient de réduction d'une soudure d'angle ;

σ_e : Limite d'élasticité des plaques soudées ;

$[\sigma^s] = \frac{360}{2} \cdot 0.65 = 117MPa$: Contrainte admissible de cordon de soudeur.

✓ **Calcul de la contrainte de traction**

La force F_1 développée par la pression hydrostatique sera supportée par l'ensemble des cordons 1 et 2, ainsi on peut écrire :

$$\sigma_{tr} = \frac{F_1}{S_c}$$

$$F_1 = P \cdot S_{inf}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0,6 = 5886 \text{ Pa}$$

$$S_{inf} = 0,4 \cdot 0,25 = 0,1 \text{ m}^2$$

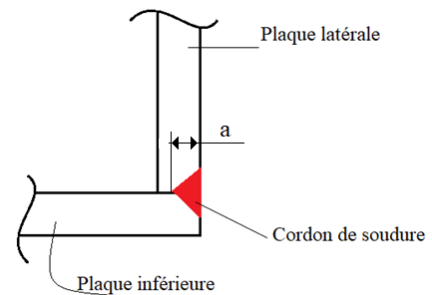
$$S_c = 2Ep \cdot a + 2b \cdot a$$

$Ep = 250 \text{ mm}$: Épaisseur de la surface inférieure

$b = 400 \text{ mm}$: Largeur de la surface inférieure

$a = 0.5 \text{ mm}$: Épaisseur du cordon de soudure

$$S_c = 2 \cdot 250 \cdot 0.5 + 2 \cdot 400 \cdot 0.5 = 650 \text{ mm}^2$$



Application numérique :

$$F_1 = 5886 \cdot 0,1 = 588,6 \text{ N}$$

D'où

$$\sigma_{tr} = \frac{588,6}{650} = 0,905 \text{ MPa}$$

✓ **Calcul de la contrainte de cisaillement du cordon 1**

Le cordon 1 tel qu'il est représenté sur la figure III-4 est sollicité par un cisaillement développé par la force F_3 , ainsi :

$$\tau_1 = \frac{F_3}{S_{c1}}$$

$$S_{c1} = b \cdot a = 400 \cdot 0,5 = 200 \text{ mm}^2$$

$$F_3 = \frac{\rho \cdot g \cdot h^2 \cdot b}{2} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6^2 \cdot 0,4}{2} = 706 \text{ N}$$

$$\tau_1 = \frac{706}{200} = 3,53 \text{ MPa}$$

La condition de résistance du cordon 1 s'écrit :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{0,905^2 + 3(3,53^2)} = 6,18MPa$$

Cette contrainte est inférieure à $[\sigma^S] = 117MPa$ donc la condition est vérifiée.

✓ **Calcul de la contrainte de cisaillement du cordon 2**

Le cordon 2 tel qu'il est représenté sur la figure III-4 est sollicité par un cisaillement développé par la force F2, ainsi :

$$\tau_2 = \frac{F_2}{S_{c2}} \tag{35}$$

$$S_{c2} = Ep \cdot a = 250 \cdot 0,5 = 125mm^2$$

$$F_2 = \frac{\rho \cdot g \cdot h^2 \cdot Ep}{2} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6^2 \cdot 0,25}{2} = 441N$$

$$\tau_2 = \frac{441}{125} = 3,52MPa$$

La condition de résistance du cordon 1 s'écrit :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{0,905^2 + 3(3,52^2)} = 6,18MPa$$

Ce qui montre clairement la résistance du cordon 2.

❖ **Vérification du cordon de soudure 3 :** La section résistante de ce cordon est sollicitée simultanément par une traction développée par la force F3 et un cisaillement développé par la force F2 comme s'est illustré sur la figure suivante :

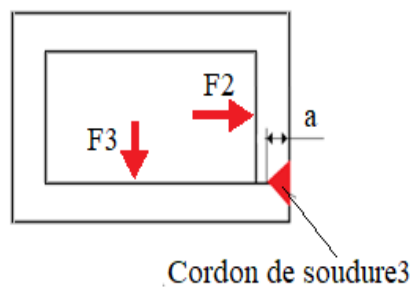


Figure III-4: Les forces appliquées sur le cordon

La condition de résistance de ce cordon de soudeur s'écrit :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_3^2 + 3(\tau_3^2)} \leq [\sigma^S]$$

✓ Calcul de la contrainte de traction

On a

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{S_{c3}} \quad (36)$$

Où

$$F_3 = 441N \text{ Voir l'équation (35)}$$

$$S_{c3} = a \cdot h = 0,5 \cdot 600 = 300mm^2$$

$$\Rightarrow \sigma_3 = \frac{441}{300} = 1,47 MPa$$

✓ Calcul de la contrainte de cisaillement

On a

$$\tau_3 = \frac{F_2}{S_{c3}}$$

Où

$$F_2 = 706N \text{ Voir l'équation (35)}$$

$$S_{c3} = a \cdot h = 0,5 \cdot 600 = 300mm^2$$

$$\Rightarrow \tau_3 = \frac{706}{300} = 2,35 MPa$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{2,35^2 + 3(1,47^2)} = 3,46MPa$$

Ce qui montre clairement la résistance du troisième cordon de soudeur.

III-7 Partie électrique**III-7-1 Le Relais**

Pour pouvoir commander la résistance chauffante, nous avons utilisé un relais dont l'intensité maximale du courant est 10A. Dans cette section, nous allons vérifier la consommation du relais en courant. Nous avons :

$$P = U \times I \quad (37)$$

D'où

$$I = P \div U$$

P : Puissance de la résistance ;

U : La tension électrique ;

I : Intensité.

On remplace

$$I = 2000 \div 220 = 9.09A$$

Donc le courant traversant le relais est de 9,09 A c'est pour cela qu'on a choisi un relais de 10A.

III-7-2 Calcul de la valeur de la résistance pour la Led

La résistance est utilisée pour réguler le courant traversant la led et la protéger. La valeur de la résistance est calculée en fonction de l'alimentation et des caractéristiques de la Led .

En considérant la loi de Kirchhoff (loi des mailles) et la loi d'Ohm, nous pouvons aisément aboutir à l'expression suivante permettant de calculer la valeur de résistance de protection [28]

En utilisant la relation suivant :

$$R = \frac{U - U_L}{I} \tag{38}$$

R : Résistance (Ohm)

U : Tension de l'alimentation (transformateur en V)

U_L : Tension de la led (V)

I : Intensité de la led (A)

Donc :

$$R = \frac{12 - 2,2}{0.02} = 490 \text{ Ohm}$$

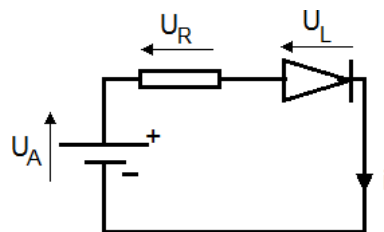


Figure III-5 : Schéma électrique d'une led avec résistance

III-8 Etude technico-économique

Composant	Prix
Réservoir	1600DA
Enveloppe extérieure	1600DA
Isolant	200DA
Thermocouple max6675	1500DA
Resistance 2000W	500DA
Ecrou de résistance	450DA
2 Raccords d'eau	320DA
Microcontrôleur	1000DA
Relais	160DA
Ecran LCD 16*2	900DA
LED	30DA
Transformateur 220v/5v	200DA
TOTAL HT	8430DA

Tableau III-5 : Les prix des composants du chauffe-eau électrique

Ce prix approximatif du produit peut être réduit jusqu'à 50% pour une production en série.

III-9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons effectué une étude détaillée de notre chauffe-eau électrique, en évaluant d'abord la quantité d'eau chaude journalière nécessaire pour une famille composée de trois personnes, en tenant compte d'équipements sanitaires installés. Par la suite, nous avons déterminé le temps nécessaire pour chauffer l'eau à la température désirée en considérant les spécifications du chauffe-eau, cela nous a permis d'estimer la quantité d'énergie requise pour chauffer l'eau. Et nous avons analysé le flux de chaleur échangé par le chauffe-eau avec l'environnement ce qui nous a permis d'évaluer son efficacité énergétique et enfin, pour assurer la sécurité et garantir le bon fonctionnement de notre appareil, nous avons procédé au dimensionnement mécanique.

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous venons de présenter est, 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 un chauffe-eau sanitaire dont le mode de fonctionnement nous est totalement méconnu auparavant. Pour cela, nous avons effectué une recherche sur les différents types de chauffe-eaux et leur principe de fonctionnement pour nous permettre d'imaginer des solutions adéquates, simples et réalisables.

Cette étude nous a permis également d'élargir et d'enrichir nos connaissances dans le domaine de l'électronique et de comprendre la raison pour laquelle il occupe une place importante dans les différents secteurs industriels.

En effet, à travers cette étude nous avons pu concevoir un chauffe-eau sanitaire en utilisant une résistance électrique, comme moyen de chauffage, et un système de régulation afin de maintenir la température du fluide à l'intérieur du réservoir à la température souhaitée. Le concept ainsi élaboré présente un prix de revient concurrentiel par rapport à ceux existants sur le marché.

De plus, dans ce projet nous avons utilisés plusieurs logiciels très répandus dans le milieu professionnel puisqu'ils permettent une grande rentabilité. Ainsi, nous avons 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 concept ce qui nous a permis d'imaginer des solutions appropriées.

Ce qu'on pourrait suggérer comme étude futur pour l'amélioration de ce projet sont les suivantes :

- Réalisation du chauffe-eau électrique ;
- Réalisation d'un transformateur 220V alternatif vers 5V continu ;
- Augmenter la capacité du chauffe-eau en ajoutant d'autres éléments chauffants commandés à distance ;
- Remplacer le matériau du réservoir (enveloppe intérieure) par un matériau plastique.

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

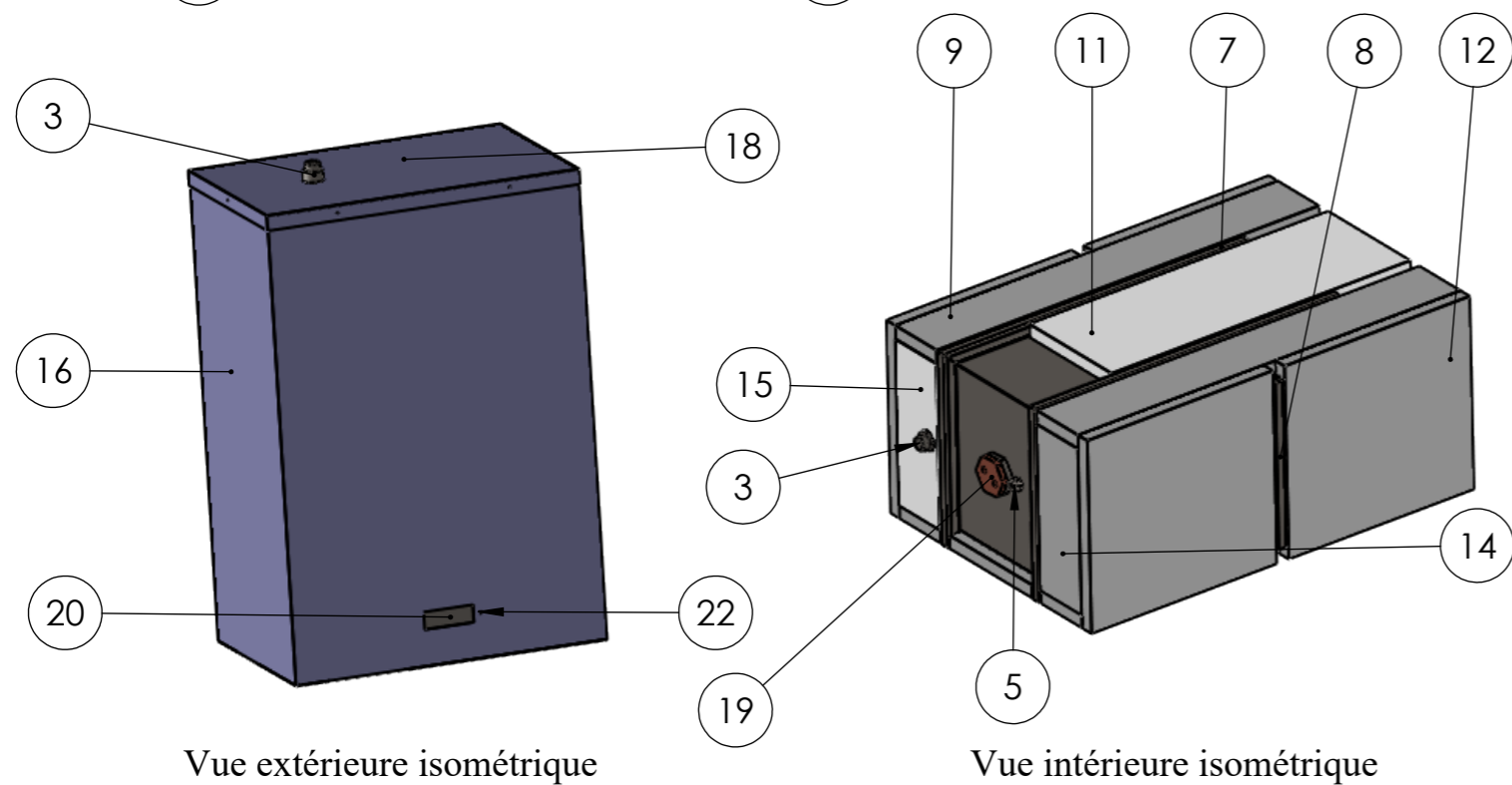
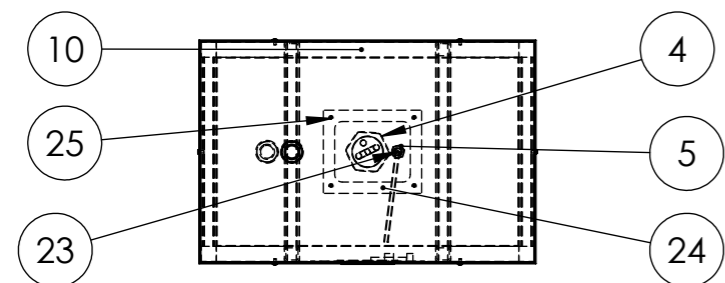
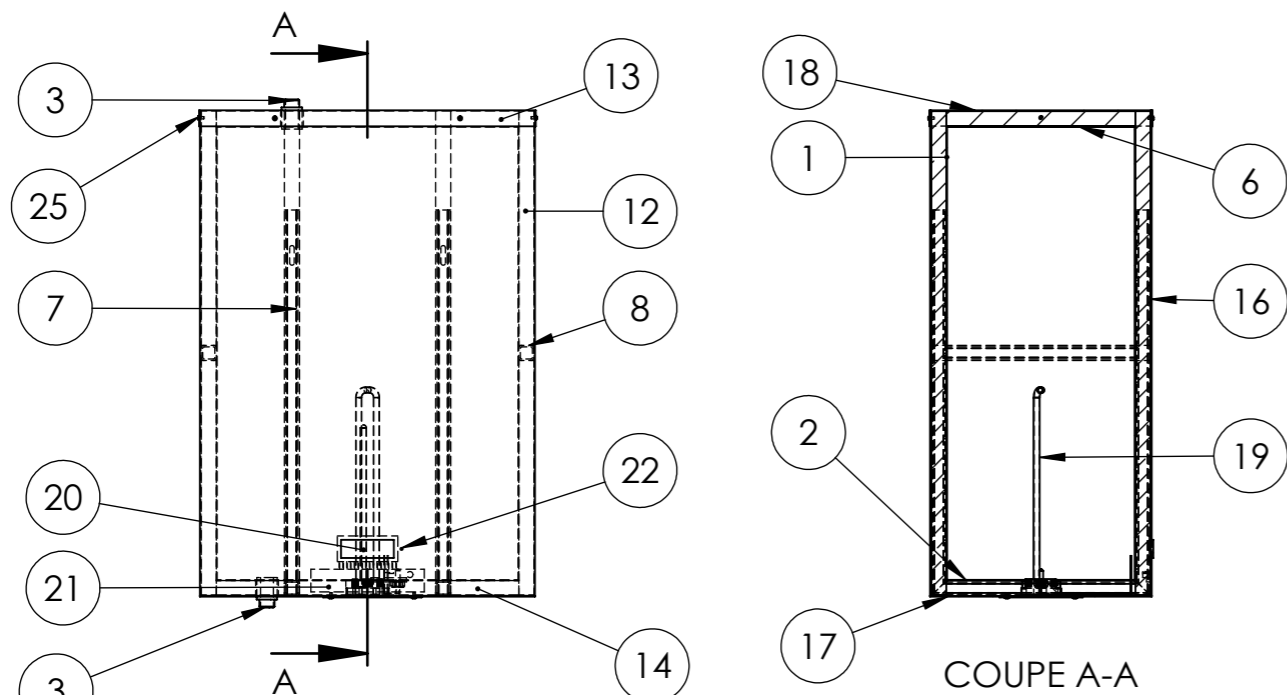
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Dominique Caccavelli, Franck Cheutin, Chauffe-eau solaire individuel: conception, mise en œuvre et entretien, Editeur CSTB, 2009
- [2] Olfa Helal, Développement d'un chauffe-eau solaire à stockage intégré: Énergie solaire thermique, Presses Académiques Francophones, 2013
- [3] Association canadienne du gaz, Conseil consultatif interprovincial du gaz, Chauffe-eau à gaz instantanés, chauffe-eau à circulation et grands chauffe-eau automatiques à accumulation éditer par L'Association canadienne du gaz, 1977
- [4] Jean Lemale, Les pompes à chaleur: Types dimensionnement et performances éditeur Dunod, 2014
- [5] Y. Allard, M. Kummert, M. Bernier, and A. Moreau, "Intermodel comparison and experimental validation of electrical water heater models in TRNSYS," Proceedings of Building Simulation 2011
- [6] A. Prieur, "Utilisation du Potentiel de Stockage Thermique des Chauffe-eau Électriques pour combler une production variable d'énergie renouvelable," Edition Ph.D. dissertation, 2013.
- [7] Benoît Jordan , Histoire de Strasbourg, Editions Jean-paul Gisserot 2006.
- [8] Denis de Rougemont, la Suisse, ou, L'histoire d'un peuple heureux, L'âge d'homme, 1989.
- [9] René Vittone, manuel de la construction, PPUR Presses polytechniques 2010.
- [10] Fabio TOLEDO, Guide international du comptage intelligent édition Lavoisier , 2012.
- [11] Manfred Hegger, Thomas Stark, Matthias Fuchs, Martin Zeumer, Energy Manual, Sustainable Architecture, Walter de Gruyter 2011.
- [12] Alexandre Fernandez, Économie et politique de l'électricité à Bordeaux, Presses Univ de Bordeaux, 1998.
- [13] Frankreich Office National de la Propriété Industrielle, Brevet d'invention Imprimerie nationale, 1902
- [14] <https://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>.
- [15] <https://www.positron-libre.com/electronique/arduino/arduino.php>.

- [16] LAKHDARI.F « Introduction à la simulation et routage des circuits avec le logiciel PROTEUS V7 et V8 », Cours, Université Des Sciences Et De La Technologie D'oran Faculté Du Génie Electrique Département D'électronique Licence, 2016/2017.
- [17] <https://energieplus-lesite.be/etudes-de-cas/eau-chaude-sanitaire4>
- [18] Claude-Alain Roulet Éco-confort: pour une maison saine et à basse consommation d'énergie, PPUR Presses polytechniques, 2012
- [19]] Abdelhanine Benallou, Transferts d'énergie et de matière éditeur ISTE Editions Limited
- [20] Council of Europe, Assemblée Parlementaire Documents de séance Session ordinaire de (deuxième partie, Volume III), avril 2005.
- [21] Juliette Talpin, Economies d'énergie sur l'exploitation agricole, 2010, 391.
- [22] SACADURA, Transferts thermiques : Initiation et approfondissement, Edition l'avoisier, 2015
- [23] JEAN-LOUIS FANCHON, guide de mécanique, NATHAN, 1996.
- [24] Gilbert Drouin, éléments de machines, école polytechnique de Montréal, 1986
- [25] Nouredine Bourahla, Resistance des matériaux de base, Edition GECOTEC,
- [26] Riadh Ben Hamouda, Notions de Mécanique des fluides, UVT, 2008.
- [28] Gustav Kirchhoff, lois des mailles, 1845

ANNEXE 1

Dessins techniques



Cotes d'encombrement: 642x293x443mm
 Poids approximatif à vide: 21.54kg
 Poids approximatif plein: 81.54kg

25	10	Vis CHC M3-L6	Acier	
24	01	Cache	Acier Allié	
23	01	Thermocouple		
22	01	Led rouge		
21	01	Carte électronique		
20	01	Afficheur Lcd 2*16		
19	01	Résistance électrique	Cuivre	
18	01	Cache supérieur de l'enveloppe extérieure	Acier Allié	
17	01	Cache inférieur de l'enveloppe extérieure	Acier Allié	
16	01	Enveloppe extérieure	Acier Allié	
15	01	Plaque isolante	polystyrène	
14	01	Plaque isolante	polystyrène	
13	01	Plaque isolante	polystyrène	
12	04	Plaque isolante	polystyrène	
11	01	Plaque isolante	polystyrène	
10	01	Plaque isolante	polystyrène	
09	04	Plaque isolante	polystyrène	
08	02	Cale d'épaisseur (L=250mm)	Acier	Tube carré 20x20mm
07	02	Support de renforcement	Acier	Tube Carré
06	01	Cache supérieur de l'enveloppe intérieure	Acier Allié	Galvanisé
05	01	Ecrou de thermocouple	Acier	
04	01	Ecrou de la résistance	Acier	
03	02	Raccord M20	Acier	
02	01	Cache inférieur de l'enveloppe intérieure	Acier Allié	Galvanisé
01	01	Enveloppe intérieure	Acier Allié	Galvanisé

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
-----	-----	-------------	---------	--------------

Echelle:
1:10



A3

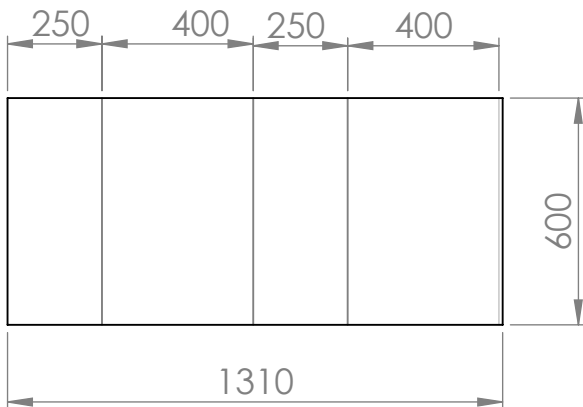
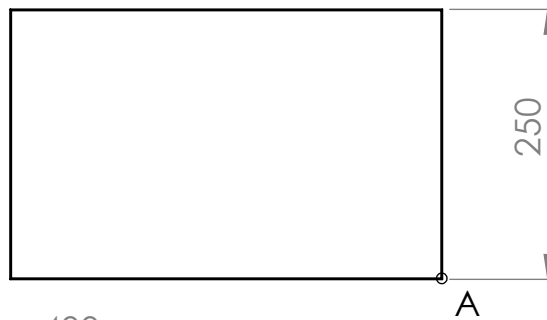
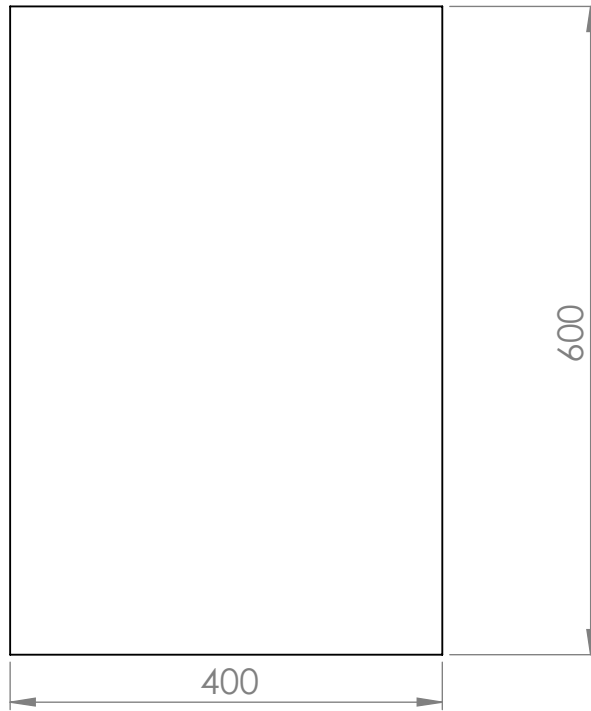
**CHAUFFE-EAU
ELECTRIQUE**

Réalisé par
Chemakh Amar
Ferhat Amazigh

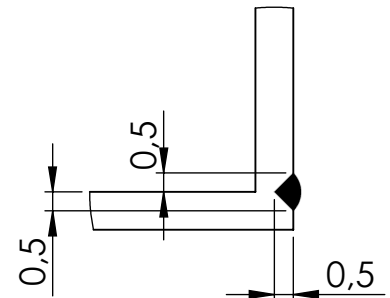
Département de ELM

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

05/06/2023



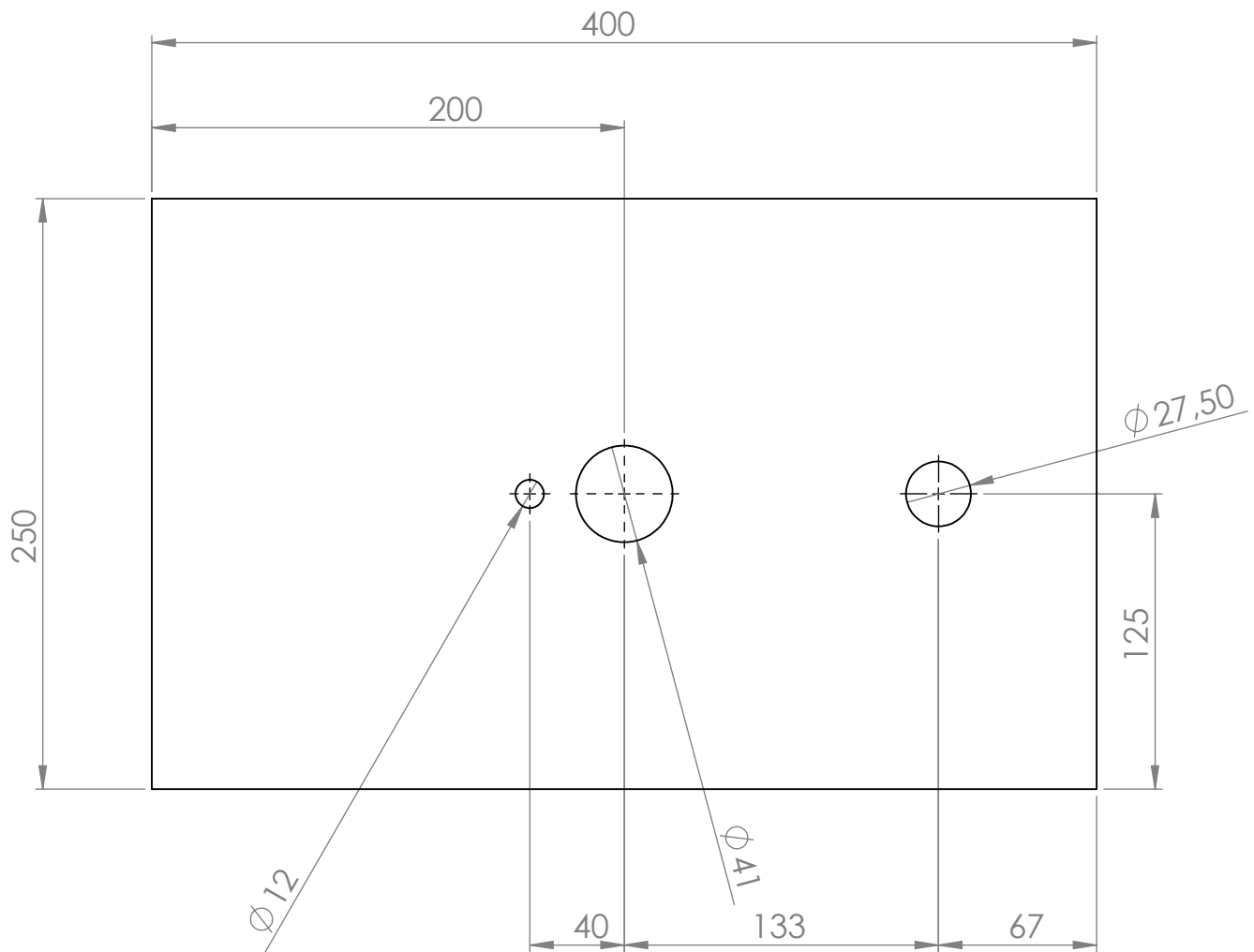
Surface développée
Echelle 1:20



DÉTAIL A
ECHELLE 5 : 1

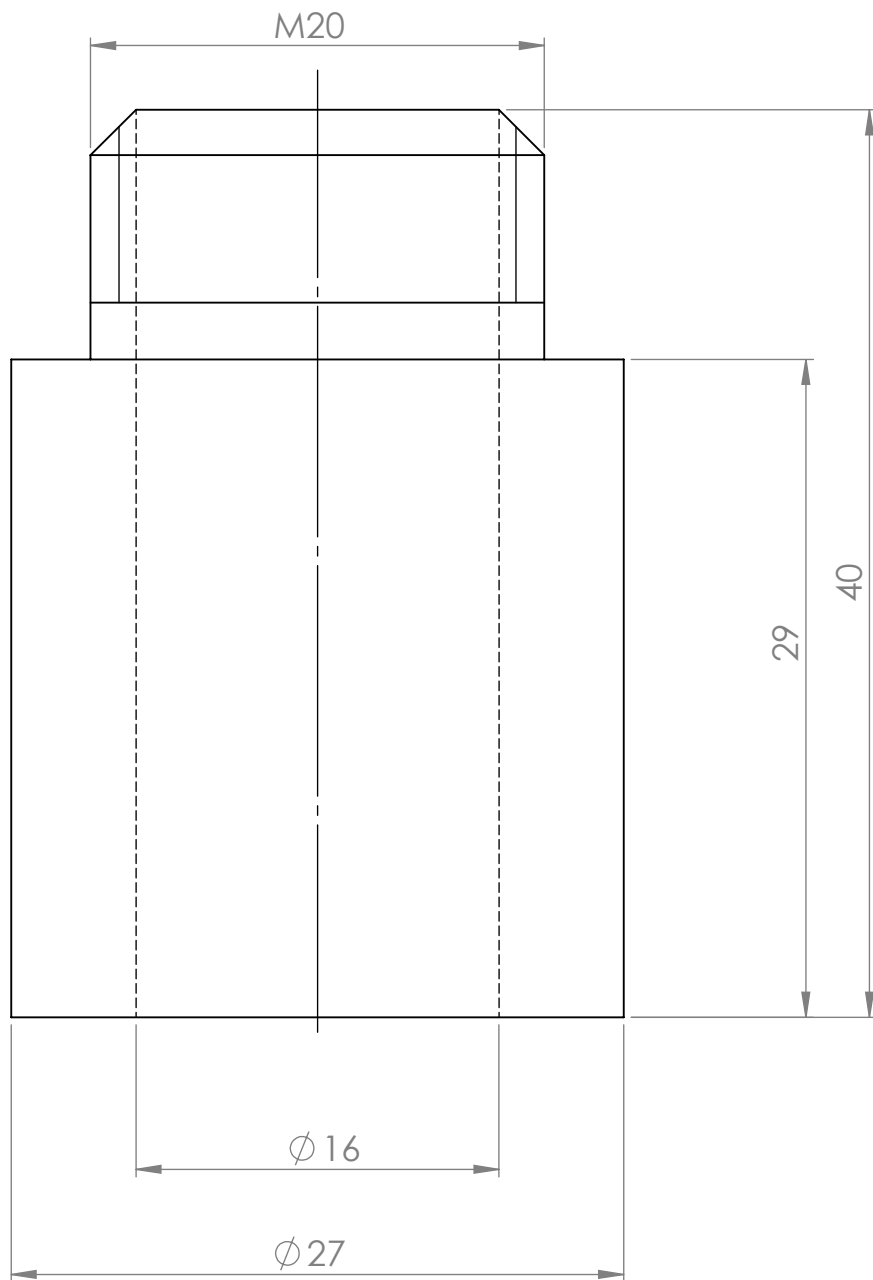
Epaisseur de la plaque 1mm
Cotes sans tolérances $it = \pm 0.5$

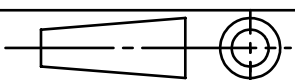
01	01	Enveloppe intérieure	Acier Allié	Galvanisé
Echelle: 1:7		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	05/06/2023	

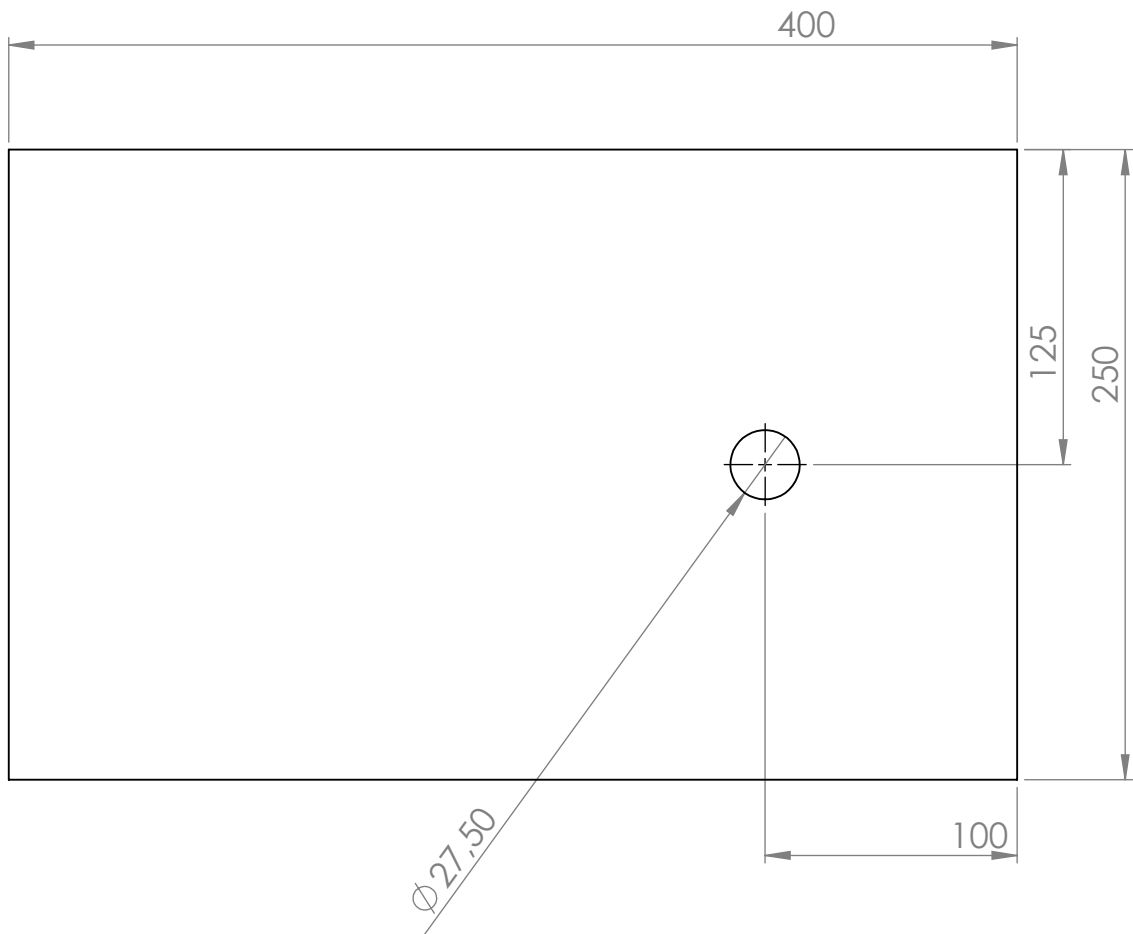


Epaisseur de la plaque 1mm
Cotes sans tolérances it= ±0.5

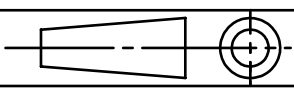
02	01	Cache inférieur de l'enveloppe intérieure	Acier Allié	Galvanisé
Echelle: 1:3		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE	Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh	
			Département de ELM	
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	05/06/2023	

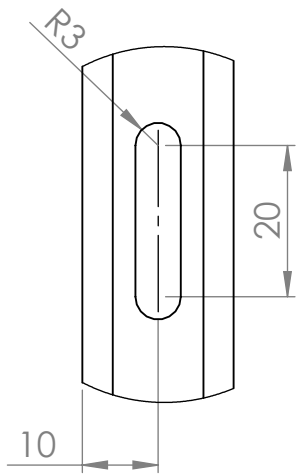


03	02	Raccord M20	Acier	
Echelle: 3:1		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou		05/06/2023

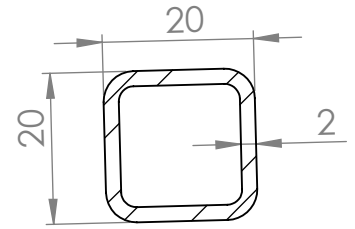


Epaisseur de la plaque 1mm
Cotes sans tolérances it= ±0.5

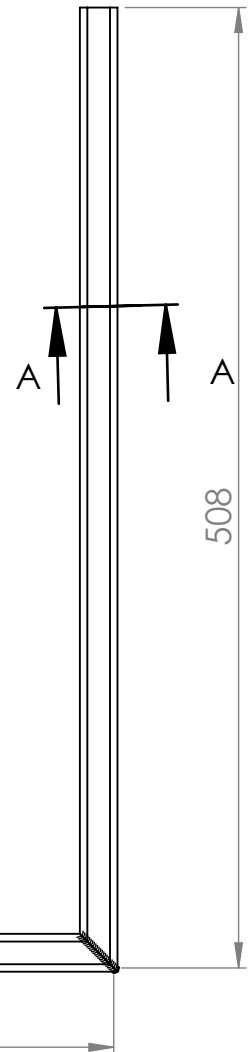
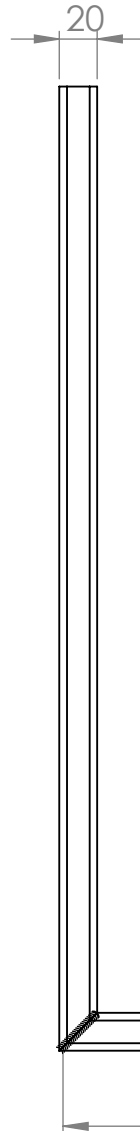
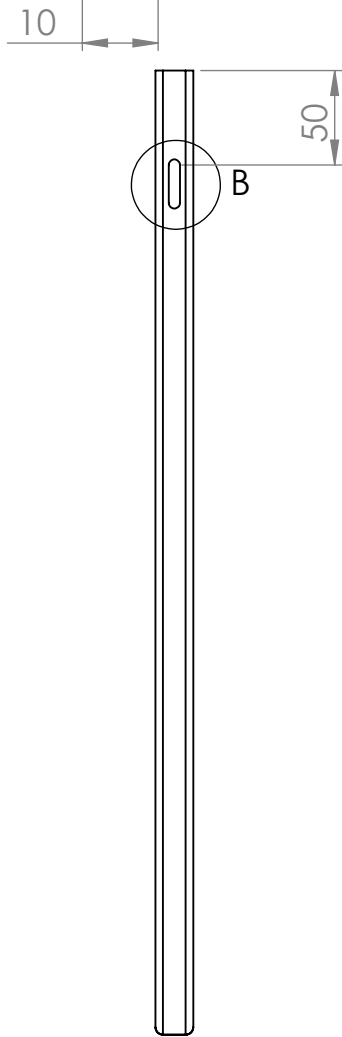
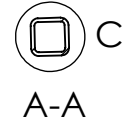
06	01	Cache supérieur de l'enveloppe intérieure	Acier Allié	Galvanisé
Echelle: 1:3			CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE	
A4				
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	05/06/2023	

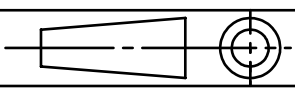


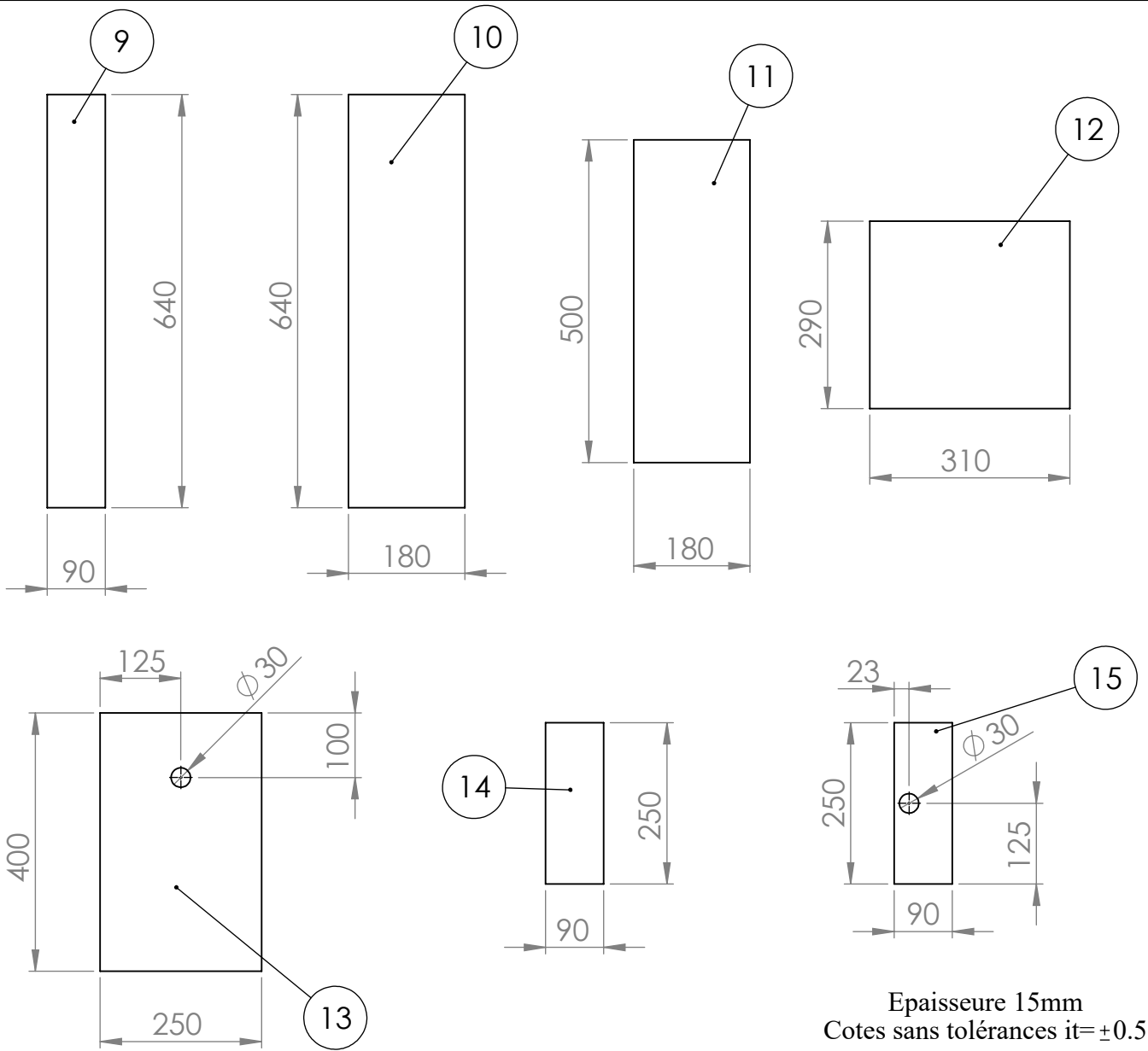
DÉTAIL B
ECHELLE 1 : 1

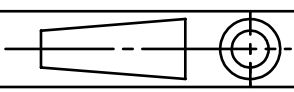


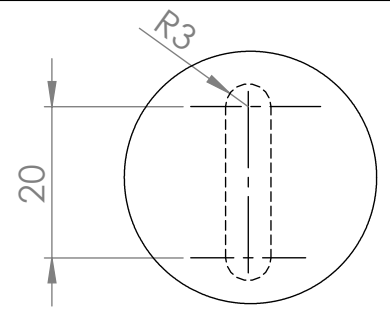
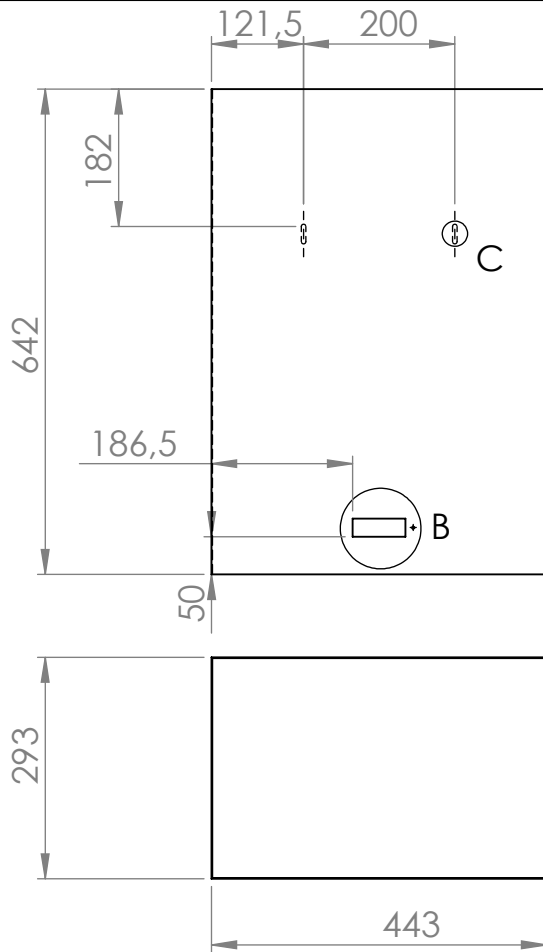
DÉTAIL C
ECHELLE 1 : 1



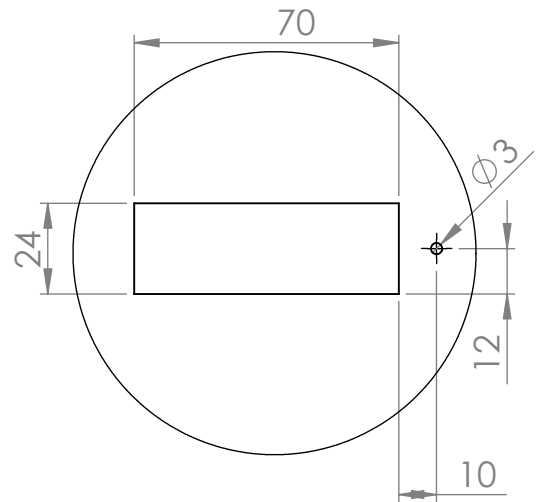
07	02	Support de renforcement	Acier	Tube carré
Echelle: 1:4		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	05/06/2023	



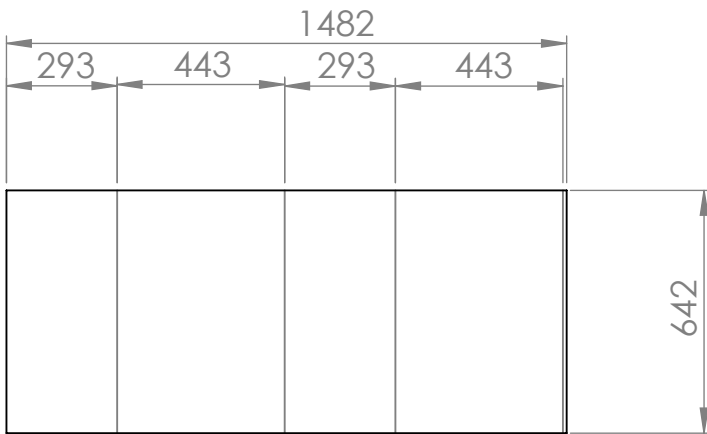
15	01	Plaque isolante	Polystyrène	
14	01	Plaque isolante	Polystyrène	
13	01	Plaque isolante	Polystyrène	
12	04	Plaque isolante	Polystyrène	
11	01	Plaque isolante	Polystyrène	
10	01	Plaque isolante	Polystyrène	
09	04	Plaque isolante	Polystyrène	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:10		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou	05/06/2023	



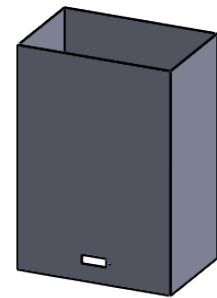
DÉTAIL C
ECHELLE 1 : 1



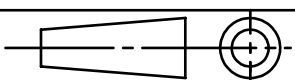
DÉTAIL B
ECHELLE 1 : 2

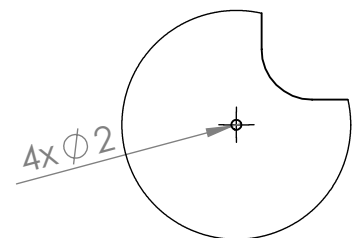
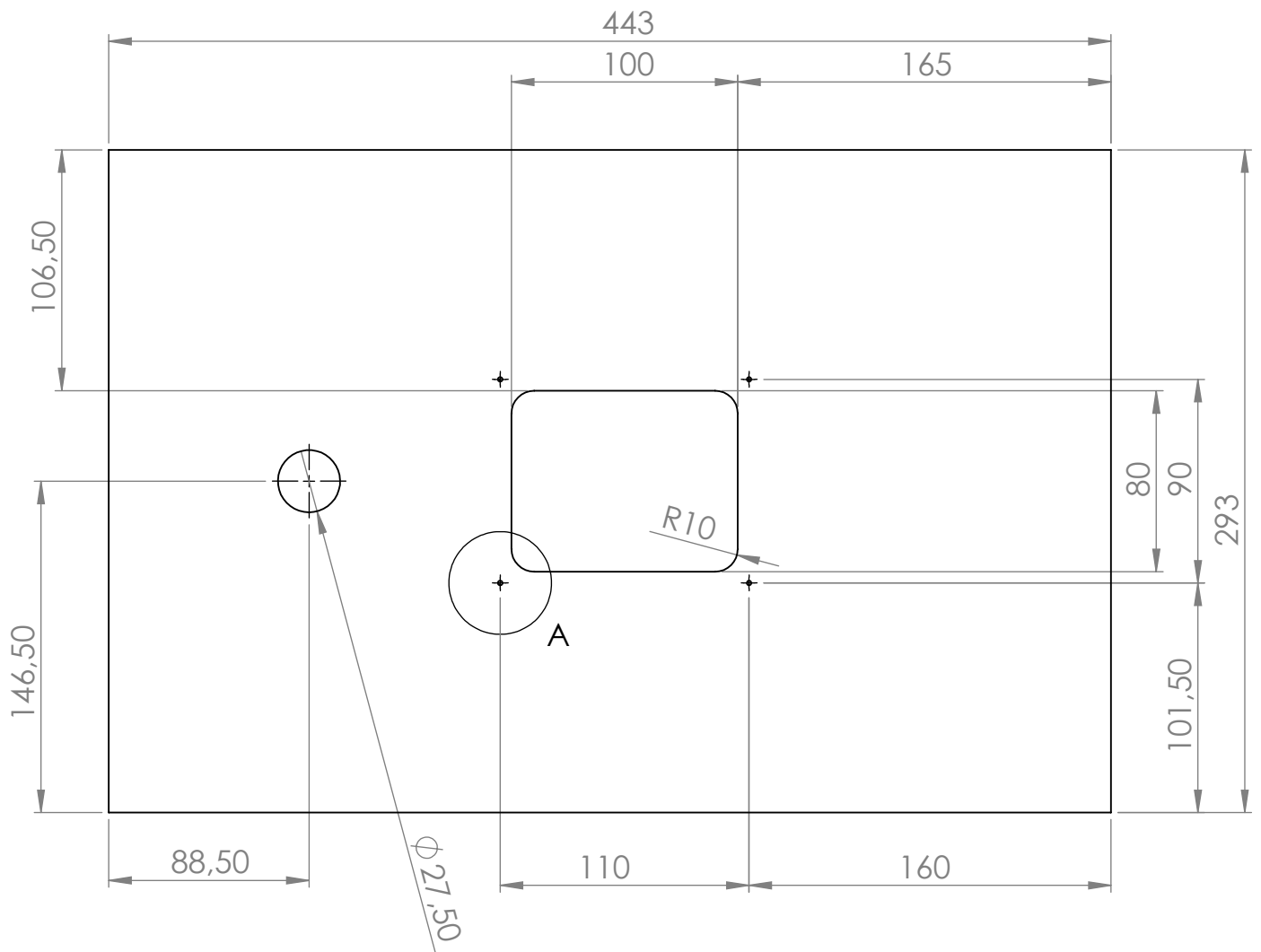


Surface développée
Echelle 1:20



Epaisseur de la plaque 1mm
Cotes sans tolérances $it = \pm 0.5$

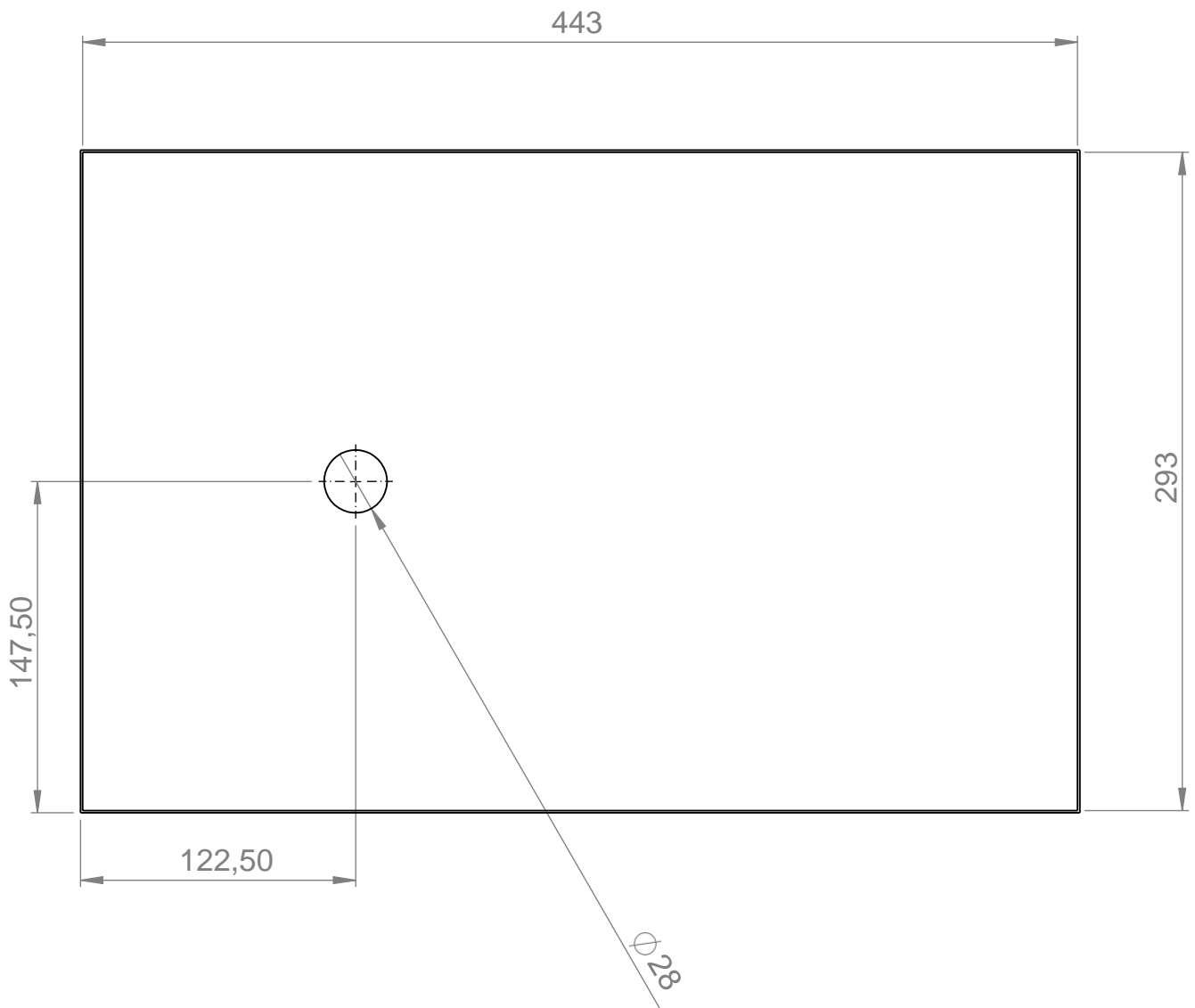
16	01	Enveloppe extérieure	Acier Allié	
Echelle: 1:10		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou		05/06/2023



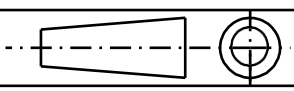
DÉTAIL A
ECHELLE 2 : 3

Epaisseur de la plaque 1mm
Cotes sans tolérances $it = \pm 0.5$

17	01	Cache inférieur de l'enveloppe extérieure	Acier Allié	
Echelle: 1:3		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou		05/06/2023



Epaisseur de la plaque 1mm
Cotes sans tolérances $it_{\pm 0.5}$

18	01	Cache supérieur de l'enveloppe extérieur	Acier Allié	
Echelle: 1:3		CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE		Réalisé par Chemakh Amar Ferhat Amazigh
				Département de ELM
A4		Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou		05/06/2023

ANNEXE 2

Programme Arduino

PROGRAMME ARDUINO

```
#include "max6675.h"
int thermoDO = A0;
int thermoCS = A1;
int thermoCLK = A2;
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int relais1=8;
int led=7;
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
void setup() {
    delay(500);
    pinMode(relais1,OUTPUT);
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    pinMode(led,OUTPUT);
}

void loop() {
    float T= thermocouple.readCelsius();
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print("Temperature");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(T);
    lcd.print(" C");
    delay(3000);
    if(T<50){
        digitalWrite(relais1,1); // relais activé
        digitalWrite(8,1);
    }
    else
    if(T>60){
        digitalWrite(relais1,0); // relais desactivé
        digitalWrite(8,0);
    }
}
```