

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Faculté de Génie de la Construction.

Département De Génie Mécanique.



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

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

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

*Etude et Conception d'un Moule-Palette en
Polystyrène Expansé pour un Réfrigérateur ENIEM*

Encadré par :

Mr HAMOUR

Réalisé par :

ZAGHOUD Ghiles

ZIDOUD Mouloud

ANN2E 2017/2018

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Nous profitons de cette occasion pour remercier tous nos enseignants de l'université Mouloud Mammeri qui ont contribué à notre formation en particulier, notre promoteur **Mr. HAMOUR** pour sa disponibilité, ses conseils et ces suggestions.*


Nos remerciements également aux ingénieurs de l'entreprise ENIEM (département technique de l'unité froid) pour la confiance qu'ils nous ont accordée en proposant ce sujet.

Il nous est agréable aussi de remercier les membres de jury, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre mémoire de fin d'études.

Nous remercions vont également à nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Enfin nous remercions tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

MERCI



JE dédié ce travail à

Mes chers parent ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien

et leur encouragement

A mon chère frère Karim ,

A mes sœurs Sabrina, Karima, Wahiba ,

A mon binôme et frère mouloud et sa famille,

Mes amis : Samir, Nacer , Karima, Assia ...

A tous mes amis de ma promotion,

Tous membres de ma famille,

Et a tous ceux que j ai connu durant mon cycle

d'étude.

Ghiles



Je dédie ce travail à

Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon chemin et qui' ont tout fait pour que je réussis, que Dieu vous bénisse et vous garde.

A mon chère frère, ami et binôme : Ghiles

A mon chère frère Lounes et a sa femme Nassima.

A mes frères : Achour, Saïd, Hocine, Ahcen, Ahmed et leurs familles.

A ma sœur Zohra et sa petite famille.

A toute ma famille ;

A mes meilleures amis : Samir, Karima, Nacer et Assia.

A tous mes amis(es) et tous ceux que j'aime.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mouloud



Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Présentation de l'entreprise

Introduction générale

Chapitre I : Matières plastiques

I-1- Introduction	2
I-2- Les matières Plastiques.....	4
I-2-1-Généralités	4
I-2-2-Définition de la matière plastique	5
I-3- Origines Des Matières Plastiques	5
I-3-1-Origine animale	6
I.3.2 Origine végétale.....	6
I-3-3-Origine naturelle	6
I-4-Les types de plastique.....	6
I -4-1- Thermoplastiques.....	7
I-4-2- Thermodurcissables	8
I-4-3-Elastomères.....	9
I-6-Caractéristiques des matières plastiques.....	11
I-6-1- Propriétés mécaniques	11
I-6-2- Propriétés chimiques.....	11
I-6-3-Propriétés thermique et physique	12
I-7- Les polymères	12
I-7-2-Définition des polymères.....	13
I-7-3-1- Macromolécules linéaire.....	13

I.7.3.1.1. Homopolymères	14
I-7-3-1-2- Copolymers.....	14
I-7-3-3- Macromolécules ramifiées.....	14
I-7-4-Classification des polymères	15
I-7-4-1- Selon leur nature chimique	15
I-7-4-2- Selon l'origine	16
I-7-4-3- Selon leur domaine d'application	16
I-7-4-4- Selon leur structure des chaines : (dimensionnalité)	17
I-7-4-5-Selon les usages technologiques.....	19
I-7-5- Propriétés des polymères	19
I-7-5-1- Propriétés physiques des polymères	19
I-7-5-2- Propriétés thermiques	19
I-7-5-3-Propriétés mécaniques	20
I-7-6-Applications des polymères.....	20
I-8- Conclusion	20

Chapitre II : Procédés de mise en Ouvre des matières plastiques

II-1-Introduction.....	21
II-2- Le thermoformage.....	21
II-2-1- Principe de thermoformage.....	22
II-3- Principe de l'injection plastique.....	22
II-3-1-l'injection plastique.....	23
II-4- Principe de l'injection soufflage	23
II-5- L'extrusion	24
II-6- Extrusion gonflage	25
II-7 Extrusion soufflage.....	26
II-8- Expansion moulage	27
II-9- Le roto moulage	29
II-10- La compression	29
II-11- Le calandrage	29
II-12- Enduction	30

II-13- La Stratification	30
II -15 - Principaux moyens de mise en œuvre avec les matières associées	31
II -16 - Formes et volumes - moyens de transformation	31
II-17-Conclusion	32

Chapitre III : Le polystyrène

III-1-Introduction.....	33
III-2-Historique	33
III-4-Origine	34
III-5-Monomères constitutifs	35
III-6- Différents types de polystyrène	35
III-6-1-Polystyrène standard (cristal)	35
III-6-2-Le polystyrène choc	36
III-6-3- Polystyrène expansé PSE.....	36
III-7- Etapes de production du polystyrène expansible	38
III-7-1-Polymérisation.....	38
III-7-2-Traitement de finition	39
III.8-Production du polystyrène expansé PSE-M à partir du polystyrène expansible	40
III.8.1-Pré expansion des perles en polystyrène expansible	41
III.8.2-la maturation et le stockage/expéditions	42
III.9- Moulage de blocs	43
III-10- Moulage en forme	46
III-10-1 -Principe.....	46
III-10-2-Machines équipées de vide.....	46
III-10-3-Machines « transfert »	47
III-10-4-Machines de complexage	47
III-10-5-Le séchage du polystyrène expansé	48
III.11-Quelques propriétés du polystyrène	48
III-12- Utilisation du polystyrène	50
III-13-Avantages et inconvénients du polystyrène expansé	51
III.14-Conclusion	52

Chapitre IV : Etude et Conception du Moule

IV-1-Introduction	53
IV-2-Présentation de la palette en PSE	53
IV-2-1-Caractéristiques de la palette.....	54
IV-2-2-Caractéristiques du matériau utilisé (polystyrène expansé PSE)	55
IV-2-3- Avantages de matériaux utilisés.....	55
IV-3-Présentation du produit à emballer	55
IV-3-1-Présentation de la palette montée sur le produit.....	56
IV-4-Etude du moule pour la palette en PSE	56
IV-5- Paramètres du moulage	57
IV-6- Conception du moule.....	58
IV-6-1-Définition du moule	58
IV-6-2-Différentes parties constituant le moule.....	59
IV-6-2-1-Partie fixe.....	60
IV-6-2-1-1-Ejecteur.....	61
IV-6-2-1-2-Chargeuse (injecteur).....	62
IV-6-2-1-3-Tétines	63
IV-6-2-1-4-Système de refroidissement	63
IV-6-2-1-4-a- Sécurité de refroidissement	63
IV-6-2-1-4-b- Bec injecteur.....	64
IV-6-2-2-partie mobile	64
IV-7- Fonctions du moule	65
IV-7-1-Fonction mise en forme.....	65
IV-7-1-1-Notion de dépouilles	66
IV-7-1-2- Lignes de joints.....	66
IV-7-1-2-a- Ligne de joint extérieure ou externe	66
IV-7-1-2-b- Ligne de joint intérieure ou interne	66
IV-7-2-Fonction alimentation.....	66
IV-7-3-Fonction refroidissement.....	67
IV-7-4- Fonction éjection.....	67
IV-8-Choix de la machine	67
IV-9- Partie calculs.....	68
IV-9-1-Masse de la matière mise en œuvre.....	68
IV-9-2-Force de moulage	68

IV-9-3-Résistance des éléments du moule	69
IV-9-3-1-Condition de résistance au matage.....	69
IV-9-3-2- Calcul de la résistance des vis.....	71
IV-9-3-2-1-Poids des pièces constituant le moule.....	72
IV-9-3-2-2- Condition de résistance au cisaillement.....	72
IV-10-Simulation numérique	75
IV-10-1-Simulation	76
IV-10-1-1-Application de la charge	76
IV-10-1-2- Les conditions aux limites	76
IV-10-1-3-Le maillage.....	77
IV-10-2-Résultats obtenus.....	77
IV-11-Conclusion.....	78

Chapitre I : les matières plastiques

N° de la figure	Titre de la figure	N° de la page
Figure I-1	Exemples d'alliages des métaux	03
Figure I-2	Structure chimique de polyoléfine.	08
Figure I-3	Formation du plastique	10
Figure I-4	Les dérivés du pétrole.	10
Figure I-5	Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire.	17
Figure I-6	Représentation schématique d'un polymère Bidimensionnel : le carbone graphite	18
Figure I-6.	Représentation schématique d'un polymère Tridimensionnel.	18

Chapitre II : Procédés de mise en Ouvre des matières plastiques

Figure II-1	Modèles de pièces obtenues par le thermoformage	21
Figure II-2	Schéma des étapes du thermoformage	22
Figure II-3	Exemples des pièces obtenues par injection plastique.	23
Figure II-4	l'injection plastique.	23
Figure II-5	Pièces obtenue par l'injection soufflage	24
Figure II-6	Etapes de l'injection soufflage	24
Figure II-7	Modèle de pièces obtenu par extrusion.	25
Figure II-8	Schéma de l'extrusion	25
Figure II-9	Extrusion gonflage	26
Figure II-10	Schéma l'extrusion gonflage	26
Figure II-11	schéma de l'extrusion soufflage.	27
Figure II-12	Etapes de l'extrusion soufflage	27

Figure II-13	Emballages en PSE	27
Figure II-14	Etapes de fabrication des pièces en PSE.	28
Figure II-15	Parc machine (expanseurs).	28
Figure II-16	Pièces obtenues par roto moulage.	29
Figure II-17	Procédé de compression.	29
Figure II-18	Pièces obtenues par calandrage.	30
Figure II-19	Procédé de stratification.	30

Chapitre III : Le polystyrène

Figure III-1	Polystyrène sous sa forme commerciale	34
Figure III-2	Modèle pelote bâtonnet de Polystyrène	34
Figure III-3	Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène	34
Figure III-4	Quelques exemples de PS standard.	36
Figure III-5	Image de PSE expansé en différents états.	37
Figure III-6	Palette en PS expansé	37
Figure III-7	Exemple de PS extrudé.	37
Figure III.8	Styrène monomère (C ₈ H ₈).	38
Figure III-9	schéma de polymérisation de polystyrène.	39
Figure III-10	Matière première dans des cartons de grande capacité.	40
Figure III-11	Unité de fabrication du polystyrène expansé moulé.	41
Figure III-12-1	Pré expanseur à fonctionnement continu.	42
Figure III-12-2	Pré expanseur à fonctionnement discontinu	42
Figure III-13	Stockage du polystyrène dans les silos à l'ENIEM.	43
Figure III-14	Moule à bloc de PES et installation de vide	44
Figure III-15	Cycle de moulage d'un bloc de polystyrène expansé (PSE).	46

Figure III-16	Moulage polystyrène en forme du expansé (PSE).	46
Figure III-17	Types d’emballage de polystyrène post-consommation	51

Chapitre IV : Etude et Conception du Moule

Figure IV-1	Palettes utilisées par ENIEM	53
Figure IV-2	Conception 3D de la palette en PSE.	54
Figure IV-3-a	Photo du produit à emballer.	56
Figure IV-3-b	Produit (réfrigérateur FB1) placé sur la palette PSE.	56
Figure IV-4	Paramètres utilisés pour la conception du moule en PSE.	57
Figure IV-5	photo réelle du moule	58
Figure IV-6	conception 3D de moule (vue en coupe)	59
Figure IV-7	Conception 3D du moule	59
Figure IV-8	Conception 3D de la partie fixe	60
Figure IV-9	Conception 3D de la partie fixe (vue en coupe)	60
Figure IV-10	Conception 3D de l’éjecteur	61
Figure IV-11	Photos des éjecteurs montés sur le moule	61
Figure IV-12-a	Conception 3D de la chargeuse	62
Figure IV-12-b	Photo de la chargeuse	62
Figure IV-13	Photo des chargeuses montées sur le moule	62
Figure IV-14	Conception 3D de tétine.	63
Figure IV-15	Conception 3D du système de refroidissement.	63

Figure IV-16	Conception 3D du bec éjecteur d'eau.	64
Figure IV-17	Conception 3D de la partie mobile (vue en coupe)	64
Figure IV-18	Conception 3D de la partie mobile	65
Figure IV-19	Schéma de la machine ACE 25AR	67
Figure IV-20	Zone d'application de charges.	76
Figure IV-21	Conditions aux limites imposées sur la palette en polystyrène expansé.	77
Figure IV-22	Maillage adopté pour la palette.	77
Figure IV-23	Concentration de contraintes sur la palette en PSE.	78
Figure IV- 24	Déplacements sur la palette en PSE.	78

Listes des tableaux

N° du tableau	Titre de la figure	N° de la page
---------------	--------------------	---------------

Chapitre I

Tableau I-1	Chronologie de découverte des matières plastiques	04
Tableau I.2	Les principales matières plastiques et leurs abrégés	07

Chapitre II

Tableau II-1	Principaux moyens de mise en œuvre avec les matières associées	31
Tableau II-2	formes et de volumes - moyens de transformation.	32

Chapitre III

Tableau III.1.	Résistances mécaniques pour différentes masses volumiques apparentes du PSE-M.	38
Tableau III.2.	Période de séchage pour le polystyrène expansé moulé.	48

Chapitre IV

Tableau IV.1	Charge en fonction de la masse volumique pour le PSE-M.	54
Tableau IV-2	Calculs du poids et du volume de chaque pièce.	72

Liste des symboles

2D : Deux dimensions.

3D : Trois dimensions.

ABS : Styrène butadiène + styrène acrylonitrile.

ACM : Polyacrylates.

ACE 25AR : Machine (expanseur grand model) utilisé par l'ENIEM.

ACE 7AR : Machine (expanseur petit model) utilisé par l'ENIEM.

AEM : Ethylène acrylate de méthyle.

(AU, EU) : Polyuréthanes malaxables.

BASF, Dow : Compagnies américaine de fabrication du polystyrène. **BD** : Basse densité.

BR : Polybutadiène.

C5H12 : Composition chimique du gaz pentane.

C6H5 : Structure chimique du phényle.

C6H5CH — CH2 : Composition chimique du styrène. (C8H8)

CAO : Conception assistée par ordinateur.

CD : Compact Disc.

CH3 : Composition chimique du méthyle.

CH2 : Monomère de styrène. **Cl** : Chlore.

CO : Oxyde de carbone.

CO2 : Dioxyde de carbone.

D : Diamètre.

DN : Diamètre nominale.

DP : Degré de polymérisation.

E : Module d'Yong.

ECO : ECOPSE, une marque commerciale d'ELIPSO.

ENIEM : L'Entreprise Nationale de l'Industrie de l'Electroménager.

F : Force.

FAO : Fabrication assistée par ordinateur.

FDES : Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires.

GPPS : General Purpose Polystyrène.

H : Hydrogène.

HIPS : High Impact Polystyrène.

HD : Haute densité.

Kgf : Kilogramme force.

[K] : Coefficient de sécurité.

KIC : Facteur de concentration de contrainte.

M : Masse.

M1 : Matériaux dits "non inflammables".

M4 : Matériaux dits "facilement inflammables".

MD : Moyenne densité.

MF : Aminoplastes.

N : Nombre de vis.

n : Nombre de sections cisillées.

P : Pression.

PJ : Plan de joint.

PE : Polyéthylène.

PP : Polypropylène.

PS : Polystyrène.

PC : Polycarbonate.

PET : Polyesters et polyéthylène téréphtalate.

POM : Polyacétals ou polyoxyméthylène.

PCV : Vinyle.

SF : Stable au feu.

PF : pare feu.

CF : coupe feu.

PA : Polyamides.

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle.

PUR : Polyuréthanes.

PF : Phénoplastes.

PF : Partie fixe.

PM : Partie mobile.

PSE : Polystyrène expansé.

PSE-E : (XPS) : Polystyrène expansé extrudé.

PSE-M : Polystyrène expansé moulé.

Re : Résistance élastique.

Rp : Résistance pratique élastique.

S' : Coefficient de sécurité.

S : Surface.

S'' : volume d'un cylindre.

SBR : Copolymère styrène-butadiène.

SW-3 : Sélecteur de mode de commande.

Tf : Température de fusion.

Tg : Température de transition vitreuse (glass transition temperature).

TGV : Voyage à grande vitesse.

V : Volume.

Vm : Volume massique.

ρ : Masse volumique.

α : Angle de dépouille extérieure.

§ : Paragraphe.

σ : Contrainte.

$[\tau]_{\text{cis}}$: Contrainte admissible au cisaillement.

τ : Contrainte au cisaillement.

Présentation de l'entreprise ENIEM

I- Historique

L'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager(ENIEM) est issue de la restructuration organique de la SONELEC (société nationale de fabrication, de montage et de commercialisation des produits électroménagers) et disposait à sa création de :



- Complexe d'Appareils Ménagers (CAM) de TIZI OUZOU, entrée en production en juin 1977.
- Unité Lampes de Mohammadia (ULM), entrée en production en février 1979.

En 1989, l'entreprise ENIEM est devenue une société par actions au capital de 40.000.000DA.

Avec un capital social de 2.957.500.000 DA, détenu en totalité par la société de gestion de participation « Industries électrodomestique » (INDELEC). Son siège social est à TIZI- OUZOU. Ses unités de production issues de I » ex CAM sont implantées au niveau de la zone industrielle « Aissat idir ». Son unité commerciale est située également à la zone industrielle « Aissat Idir ».

Sa filiale lampes est implantée à Mohammadia. Le champ d'activité de l'entreprise ENIEM consiste en la conception, la fabrication et la commercialisation des produits électroménagers, ainsi que la prise en charge de la fonction service après-vente.

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (DG),
- L'unité froid (UF),
- L'unité cuisson (U Cuis),
- L'unité climatisation (UCL),
- L'unité prestation technique (UPT),
- L'unité commerciale (UC),
- L'unité sanitaire (US),
- La filiale FILAMP.

L'effectif de l'entreprise (hors FILAMP et l'unité sanitaire) est de 2830 agents au 31 décembre 2003.

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production. Ses produits sont :

- ★ Les réfrigérateurs petits et grands modèles (RPM et RGM),
- ★ Le congélateur vertical.
- ★ Le combiné.
- ★ Cuisinières à 4 et à 5 feux.
- ★ Climatiseurs type fenêtre et split-système.

Ces produits sont destinés au grand public et la distribution qui se fait par des agents agréés dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale (Département vente).

II- Principales missions et activités de l'entreprise

II-1- Direction générale

La direction générale est responsable de la stratégie et du développement de l'entreprise. Elle exerce son autorité hiérarchique et fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités.

II-2- Unité froid

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits froids domestiques.

Ses activités sont :

- ★ Transformation des tôles.
- ★ Traitement et revêtement de surface (peinture, plastification).
- ★ Injection plastique et polystyrène.
- ★ Fabrication de pièces métalliques.
- ★ Isolation.
- ★ Thermoformage.
- ★ Assemblage.

II-3- Unité cuisson

La mission principale de l'unité est de produire et développer la cuisson à gaz électrique

ou mixte et tout produit de technologie similaire. Ses activités sont :

- Transformation de la tôle.
- Traitement et revêtement de surface (Zingage, Chromage).
- Assemblage.

II-4- Unité climatiseur

La mission globale de l'unité est de développer les produits de climatisation. Ses activités sont :

- Transformation,
- Traitement et revêtement de surface (peinture),
- Assemblage.

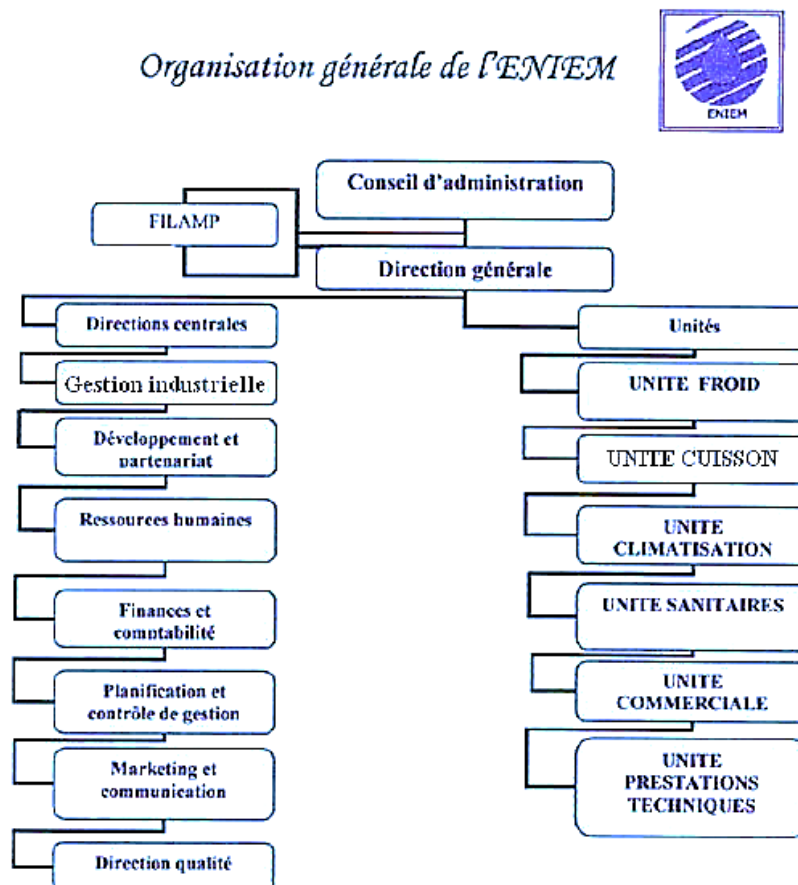
II-5- Unité sanitaire

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise. La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (baignoires, lavabos...).

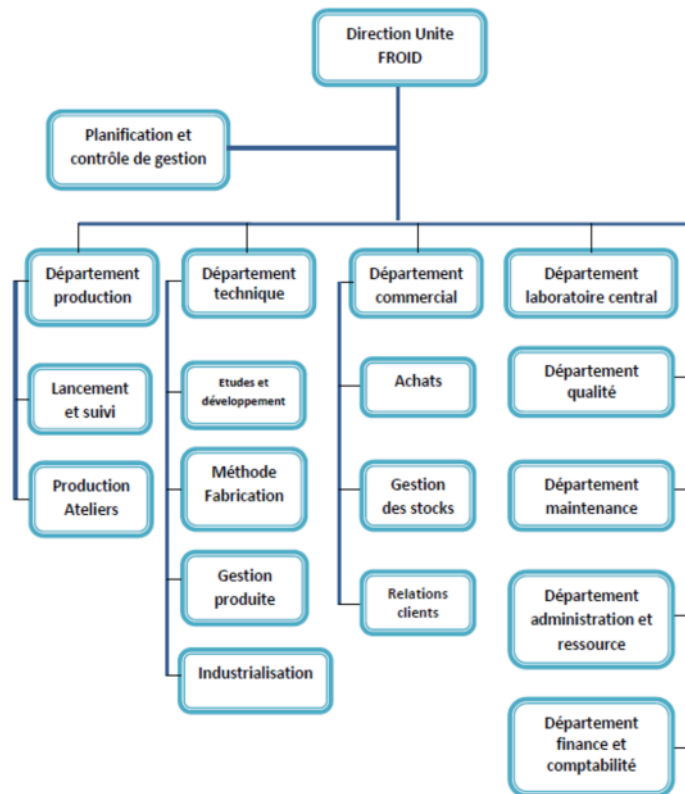
II-6- Filiale Filamp

L'Unité Lampes de Mohammadia (ULM) qui a démarré en février 1979 pour fabriquer des lampes d'éclairage domestiques ainsi que des lampes de réfrigérateurs. L'ENIEM est devenue filiale à 100 % le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée « FILAMP ».

III-Organisation de l'ENIEM



IV-Organisation de l'unité froid



V-Politique de l'entreprise

ENIEM est certifiée ISO 14001/2004 ENVIRONNEMENT et ISO 9001/2008 QUALITÉ.

V-1-Politique qualité

L'entière satisfaction durable du client constitue pour l'entreprise l'objectif essentiel. Face aux enjeux économiques, l'**ENIEM** a mis en œuvre et a développé un système de management de la qualité conforme au référentiel international ISO 9001/2008.

Cette politique qualité basée sur l'amélioration continue des processus se manifeste par la volonté de la Direction Générale à :

Comprendre les besoins présents et futurs de ses clients et y répondre efficacement.

- En mettant à leur disposition des produits et services compétitifs.
- Développer la culture de l'entreprise et le professionnalisme de son personnel.

- Améliorer en continue l'efficacité du système de management de la qualité.

V-1-1-Engagement de la direction

Pour mettre en œuvre sa politique, la Direction Générale de l'ENIEM s'engage à :

- Se conformer aux exigences légales et réglementaires en vigueur.
- Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- Fournir les ressources nécessaires à l'atteinte des objectifs.

V-1-2-Ses objectifs

Pour aboutir les missions précitées, l'ENIEM se fixe les objectifs suivants :

- Accroître la satisfaction des clients.
- Améliorer les compétences du personnel.
- Réduire les rebuts.
- Augmenter la valeur de la production.
- Améliorer le chiffre d'affaire.

V-2-Politique environnementale

La politique environnementale de l'ENIEM s'inscrit dans le développement durable en intégrant un management proactif dans le domaine de la protection de l'environnement. Pour y parvenir, l'ENIEM se base sur la prévention de toute pollution, la préservation des ressources, la sensibilisation et la formation, la responsabilité et l'implication de son personnel. Pour cela, l'ENIEM a décidé de s'engager dans une démarche volontaire d'amélioration continue en mettant en place un système de management environnemental selon le référentiel ISO 14001/2004.

La direction générale met à disposition les moyens nécessaires à la réussite de ce projet.

V-2-1-Engagements

- Respecter les exigences légales et réglementaires en vigueur.
- Prévenir et maîtriser les risques de pollutions qui peuvent être générés par ses activités.
- Améliorer la gestion des déchets (papier, emballages, consommables informatiques, déchets, des processus...).
- Rationaliser les consommations d'énergies.
- Améliorer la communication avec les parties intéressées (interne et externe).
- Continuer la formation pour améliorer la compétence du personnel.
- Continuer l'amélioration de l'efficacité du Système de Management Environnemental.
- Mener des revues de direction.

V-2-2-Objectifs et cibles environnementaux

Dernièrement en 2012, l'ENIEM a fixé des objectifs et cibles environnementaux :

➤ **Objectifs** En conformité avec sa politique environnementale, l'ENIEM se fixe pour l'année 2012 les objectifs suivants :

- L'amélioration de la gestion des déchets.
- La rationalisation de la consommation des énergies et fluides.
- La prévention des risques de pollution.
- La sensibilisation des parties intéressées.
- La formation du personnel sur l'environnement.

➤ **Cibles**

- Réduire les déchets générés de 1%.
- Elever le niveau de tri des déchets de 2%.
- Réduire les stocks morts de 4 %.
- Ratio consommation d'eau/Production < 20 M3/tonne.
- Ratio consommation d'énergie électrique/Production < à 635 KWh/tonne.
- Ratio consommation de gaz/Production < à 1,76 kTh/tonne.
- Mesurer les rejets atmosphériques.
- Former 200 agents sur l'environnement.
- Continuer la sensibilisation des fournisseurs, agents agréés et les sous- traitants sur L'environnement.

Introduction générale

L'application des matériaux polymériques industriels a considérablement augmenté ces dernières années non seulement du fait de leurs bonnes propriétés mécaniques spécifiques, leur commodité de leur mise en œuvre, mais aussi de leur faible coût de production et leur faible densité.

Parmi ces polymères, nous citerons le polystyrène expansé, qui est un polymère thermoplastique le plus utilisé industriellement à l'heure actuelle. Ce matériau est facile à mettre en œuvre par différentes techniques. On peut réaliser des objets sous différentes formes, pièces de géométries et dimensions variées par usinage ou par moulage.

Ces matériaux sont présents presque dans tous les secteurs de l'activité humaine et dans l'industrie. Beaucoup d'entreprises ont recours à ce produit dans le but d'améliorer leurs produits et de réduire leur prix de revient.

Parmi ces entreprises, nous citerons à titre d'exemple l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager(ENIEM), qui s'inscrit dans ce domaine. Elle utilise trois différents types de matériaux dans l'emballage de ses produits réfrigérateurs FB1 et FB2. Ces emballages existants en carton plus la palette en ABS sont très coûteux pour l'entreprise, c'est ce qu'il a poussé de prendre l'initiative de les remplacer par des palettes en polystyrène expansé PSE couvertes avec un film en plastique.

En effet, Le bureau d'études de l'entreprise nous a confié dans le cadre de travail de notre mémoire de fin d'études, d'étudier et de concevoir un moule pour la fabrication de ces palettes de manutention en polystyrène expansé.

Pour accomplir cette mission, nous avons organisé notre travail en quatre chapitres :

Le premier chapitre est un aperçu sur les matières plastiques et leurs domaines d'utilisation. Il nous a permis de distinguer les différents types de matières plastiques et de leurs procédés possibilités de recyclage.

Le deuxième chapitre est consacré aux procédés de la mise en œuvre des matières plastiques.

Les différents types de polystyrènes, leurs caractéristiques thermiques et leur mise en œuvre constitue le troisième chapitre.

Quant au quatrième chapitre, il est consacré à la conception, calcul, vérification des résultats obtenus et simulation à l'aide du logiciel SOLIDWORKS.

En fin, on termine notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

MATIÈRES

PLASTIQUES

Chapitre I : Matières plastiques

I-1- Introduction

Un matériau est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme façonne pour en faire des objets. C'est une matière de base sélectionnée en raison de ses propriétés particulières et de sa mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple) et ainsi que l'état de surface des différentes matières premières qui sont à la base des matériaux confèrent à ces derniers des propriétés particulières.

On distingue quatre grandes familles de matériaux:

a- Les organiques

- Origine végétale

Ils proviennent essentiellement des plantes : bois, écorce, laine, fibre ; Ce sont des matériaux naturels très utilisés et biodégradables.

- Origine animale : corne, cuir,...

b- Les métaux

Les métaux sont des éléments naturels. On les trouve à partir des minéraux et parfois à partir du métal (pépites d'or). Ils sont de très bons conducteurs du courant électrique et de chaleur. Une fois triés, ils peuvent être facilement recyclés.

Parmi ces métaux, on distingue : des aciers, fonte, cuivre, aluminium, zamack, or, argent, plomb, zinc.

En incorporant à un métal un ou plusieurs autres métaux, ou des éléments non métalliques, on obtient des alliages de métaux.

Les métaux les plus courants permettent de distinguer deux familles : Les alliages ferreux (la fonte) et les alliages non ferreux (le zamac, le laiton, le bronze,...



Acier (fer + carbone)
alu+magnésium)



Bronze (cuivre + étain)



Zamac (zinc +



Figure I-1 : Exemples d'alliages des métaux

c -Les céramiques et les verres

Ce sont les matériaux les plus anciennement utilisés par l'homme.

- Les céramiques

Sont très durs, très rigides et résistent à la chaleur, à l'usure et à la corrosion, mais ils sont très fragiles. Ex : terre cuite, porcelaine, plâtre, verre, ciment ...

- Le verre

C'est un mélange de sable, de soude et de calcaire. Ce mélange est broyé et chauffé à 1500°C. Le verre sert à fabriquer des bocaux, des bouteilles et autres récipients. Il est collecté pour être réemployé ou recyclé. (Son recyclage est cependant très polluant, comme sa fabrication).

d- Les composites

- Les plastiques

Les objets relevant du thème des transports comportent souvent certains éléments fabriqués à partir de matières plastiques ; Ce sont des matériaux synthétiques : Ils n'existent pas dans la nature, mais sont obtenus à partir de matières dérivées du pétrole. En contrepartie, ils sont de mauvais conducteurs de chaleur et d'électricité, appelés: Isolants thermique et électrique. Ces matériaux feront l'objet de notre travail.

I-2- Les matières Plastiques

I-2-1-Généralités

A nos jours, les matières plastiques sont les plus utilisées dans la vie courante et dans l'industrie. Elles sont utilisées dans la fabrication des châssis des fenêtres dans le bâtiment, dans les éléments de carrosserie et dans plusieurs domaines, soit de l'automobile, de l'aéronautique et aussi dans l'électroménager et du transport.

En général, l'utilisation de ces matériaux apporte des solutions de fabrication et de réalisations fiables suite à la diversité des procédés de leurs mises en forme. Ils sont obtenus par injection, extrusion et le thermoformage avec des prix de revient compétitifs.

Les matières plastiques sont produites essentiellement à partir du pétrole et elles sont l'un des symboles du XXe siècle.

Les exigences actuelles et les standards internationaux (aéronautique, espace) accélèrent le processus et l'intégration de la matière plastique. La chronologie de ces matières plastiques est illustrée dans le tableau ci- dessous.

Tableau I-1 : Chronologie de découverte des matières plastiques.[1]

Famille	Désignation	Inventeur	Année	Première firme	Pays d'origine Productrice
Nitrate de Cellulose	Celluloïde	Frères HYATT	1870	ALBANY DENTAL	U.S.A.
Galalithe			1889		ALLEMAGNE
Acetate De Cellulose			1905	BAYER	ALLEMAGNE
Phenoplaste	Bakélite	BACKELAND	1909	GENERAL	U.S.A
Cellulose Regeneree	Cellulose	BRANDEN BERGER	1915	La CELLOPHAN E	FRANCE
Alkyde			1926	GENERAL ELECTRIC	U.S.A
Polyméthacrylate De Méthyle	Plexiglas	WULFF	1927	ROHM et HASS	ALLEMAGNE
Aminoplaste	Pollopas	POLLAK	1928		U.S.A
Polystyrène		STAUDINGER	1930	I.G. FARBEN	ALLEMAGNE
Polyvinyle		OSTROMY SLENSKY	1931	I.G. FARBEN	ALLEMAGNE

Polyethylene	Basse et à Haute densité		1937	I.C.I	GRANDE BRETAGNE
Polyvinylidene	Saran		1940	DOW	U.S.A
Polyamide 6	Nylon	CAROTHERS	1941	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A.
Silicone			1941	GENERAL ELECTRIC	U.S.A.
Polyester	Résines		1942	PITTSBURGH GLASS	U.S.A.
Polyfluore	Téflon		1943	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A
A.B.S	DALY		1946		U.S.A.
Polyamide 11	Rilsan	Rilsan et GENAS	1946	ORGANICO	France
Epoxyde	Araldite	CASTAN	1947	CIBA	SUISSE
Polyurethane	Moltopren	Otto BAYER	1950	BAYER	R.F.A.
Polystyrene Expansé	Styropor		1951	BASF	R.F.A.

I-2-2-Définition de la matière plastique [1]

Le terme plastique décrit une grande variété de composés organiques obtenus par synthèse chimique. Produites essentiellement à partir du pétrole, les matières plastiques sont l'un des symboles du XXe siècle. La bakélite (1909) est le plus ancien plastique entièrement synthétique.

Il existe également des plastiques naturels : poix, latex, bitume, brai, résines, laques, ambre, écaille, corne, et des plastiques d'origine animale généralement extraite du lait et utilisé dans la fabrication des produits médicaux.

La matière plastique est composée principalement de polymères, qui a la propriété de se mettre en forme facilement par moulage, extrusion, coulage après un chauffage modéré (100-300 °C).

I-3- Origines Des Matières Plastiques [1]

À l'origine, la plupart des matières plastiques provenaient de résines dérivées de matières végétales, comme la cellulose (extraites du coton), le furfural (extrait de céréales), les huiles (obtenues à partir de graines) les dérivées d'amidon ou le charbon. La caséine (issue du lait) était l'une des seules matières non végétales utilisées.

I-3-1-Origine animale

Pour l'origine animale, le plastique est issu du lait dont on extrait la caséine pour obtenir la galalithe, polymère dont le procédé de fabrication a été découvert en 1889.

I.3.2 Origine végétale

Les plastiques végétaux sont constitués de polymères d'origine totalement ou partiellement renouvelable (sucre, cellulose, amidon...). Selon les cas, la part de matière renouvelable dans un plastique végétal peut représenter une proportion très variable du matériau, aucun seuil minimum n'étant spécifié aujourd'hui pour l'utilisation des Dénominations.

I-3-3-Origine naturelle

Quelques matières plastiques existent à l'état naturel, tel le caoutchouc ou la cellulose des plantes. Le terme désigne surtout les produits de synthèse dérivés du pétrole en ajoutant différentes substances, comme des colorants ou des molécules ignifugeantes.

Aujourd'hui, la plupart des matières plastiques sont synthétisées à partir de produits pétrochimiques. La chimie organique permet de préparer tous les précurseurs des polymères à partir du pétrole, de façon abondante et bon marché.

I-4-Les types de plastique

Le développement extrêmement rapide de l'industrie des matières plastiques et la prolifération des composés macromoléculaires ne permettent pas une classification nette et précise de ces matériaux. Tout classement est incomplet et aucun n'englobe dans un ensemble de catégories définies, toute la gamme des produits connus sous le nom de matières plastiques.

La classification fondée sur la distinction entre polymères ou mélanges polymères thermoplastiques et thermodurcissables, correspond assez bien aux réalités industrielles ; en

effet les propriétés et les méthodes de mise en œuvre qui les concernent respectivement sont différentes.

Tableau I.2 : Les principales matières plastiques et leurs abrégés

famille	Principales matières	Abréviations
Acryliques	Polyméthylméthacrylate	PMMA
Cellulosiques	Acétate de cellulose Acétobutyrate de cellulose Propionate de cellulose	CA CAB CP
Polyacétals	Polyoxyméthylène	POM (homopolymère et copolymère)
Polyamides	Polyamides 6, 6-6,6-10, 11,12	PA
Polycarbonates		PC
Polyesters saturés (ou linéaires)	Polybutène téréphtalate Polyéthylène téréphtalate	PBT PET
Polymères divers	Polyéthersulfone Polyphénylène oxyde Polyphénylène sulfure Polyuréthanes Polysulfone	PESU PPO PPS PUR PSU
Polymères fluorés	Polyfluore de vinylidène Poly (éthylène-propylène) perfluoré Polytrifluorochloréthylène Polytetrafluorethylène	PVDF FEP PTFCE PTFE
Polyoléfine	Polyéthylène basse densité linéaire Polyéthylène basse densité radicalaire Polyéthylène haute densité Polypropylène	PEBDI PEBDr PEHD PP
Styréniques	Copolymères styrène-acrylonitrile Polystyrène-choc Polystyrène expansible Polystyrène standard Terpolymère acrylonitrile butadiène-styrène Terpolymère méthacrylate-butadiène-styrène	SAN SB PSE PS ABS MBS
Vinylques	Copolymère éthylène/acétate de vinyle Polyacétate de vinyle Polychlorure de vinyle Polychlorure de vinyle surchloré Polychlorure de vinylidène	EVA PVAC PVC PVC C PVDC

I -4-1- Thermoplastiques

Les composés thermoplastiques sont un ensemble de macromolécules pouvant passer de l'état solide à l'état fondu sous l'action de la température et/ou du cisaillement de façon réversible. Les caractéristiques sont une mise en œuvre du polymère préalablement synthétisé par un chimiste et la recyclabilité mécanique (broyage, chauffage cisaillement) du matériau. L'exemple type est celui des polyoléfines (polyéthylène et polypropylène) :

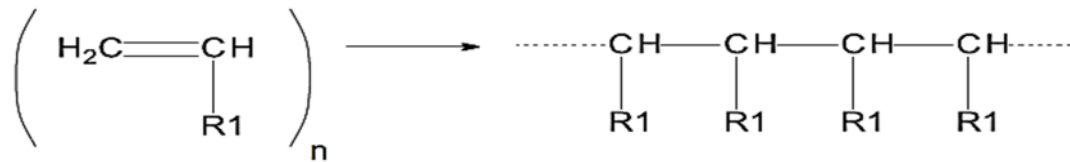


Figure I-2 : Structure chimique de polyoléfine

I-4-2- Thermodurcissables

Les composés thermodurcissables sont constitués d'une seule macromolécule représentée par un réseau tridimensionnel infusible dont la rigidité augmente avec la densité du réseau.

Il existe deux procédés de fabrication des thermodurcissables (le terme de résine étant réservé aux mélanges d'additifs avant la polymérisation) :

- Polycondensation de molécules, dont l'une possède plus de deux sites réactifs : l'exemple type est celui des résines formophénoliques.
- Réticulation de macromolécules linéaires sous l'action de catalyseurs ou de durcisseurs, par création de « ponts », liaisons chimiques, entre les chaînes linéaires ; deux exemples peuvent être cités :
 - Polyesters réticulés avec du styrène ou du méthacrylate de méthyle (par ouverture des doubles liaisons de la chaîne insaturée de départ).
 - Poly époxydes réticulés avec des amines ou des anhydrides d'acide (par ouverture de la liaison « époxy » du produit de départ).

Dans les deux cas, la phase finale de la réticulation ou de la polycondensation tridimensionnelle se situe après la mise en œuvre de la résine. Sous l'action conjuguée du catalyseur et de l'élévation de température, la résine, initialement poudre à mouler fusible, se transforme chimiquement en un objet fini infusible et insoluble. La forme et la rigidité ainsi acquises par la matière pendant la mise en œuvre ne peuvent plus être modifiées par la suite.

I-4-3-Elastomères

D'autre part, ainsi que nous l'avons précisé dans l'introduction, les élastomères thermoplastiques sont des produits intermédiaires entre les caoutchoucs et les matières thermoplastiques.

Ils constituent une famille de matériaux (apparition du concept dans les années 1960) et, de par leur structure hétérogène constituée de domaines souples et rigides, ils se situent à mi-chemin entre les élastomères et les thermoplastiques.

I-5- Pétrole Aux Matières Plastique [1]

Les matières premières nécessaires à la fabrication des matières plastiques sont des produits naturels comme la cellulose, le charbon, le pétrole, le gaz naturel. Ils contiennent tous des composés de carbone (C) et d'hydrogène (H), et parfois aussi de l'oxygène (O), de l'azote (N), du soufre (S) et de la silice (Si).

Toutefois, le pétrole et le gaz naturel sont des premières matières des plastiques.

A la raffinerie, le pétrole est séparé en plusieurs fractions par distillation. Les constituants du pétrole ont des points d'ébullition différents. Par chauffage, on recueille successivement dans la tour de fractionnement des gaz, des essences, des fiouls légers et des fiouls lourds. Le résidu est le bitume (ou asphalte) utilisé comme revêtement routier.

Toutes les fractions se composent d'hydrocarbures qui ne se distinguent que par la taille et la forme des molécules. La fraction du pétrole la plus importante pour la production des matières plastiques est celle des essences (naphta).

Le naphta est transformé par un procédé thermique appelé craquage, en mélange d'éthylène, de propylène, de butylène et d'autres hydrocarbures légers.

Le rendement en éthylène dépend de la température de craquage et il atteint 30% à 850°C. A partir d'éthylène, on obtient par réaction avec d'autres composés des substances comme le styrène ou le chlorure de vinyle, qui sont aussi des produits de départ pour différentes matières plastiques.

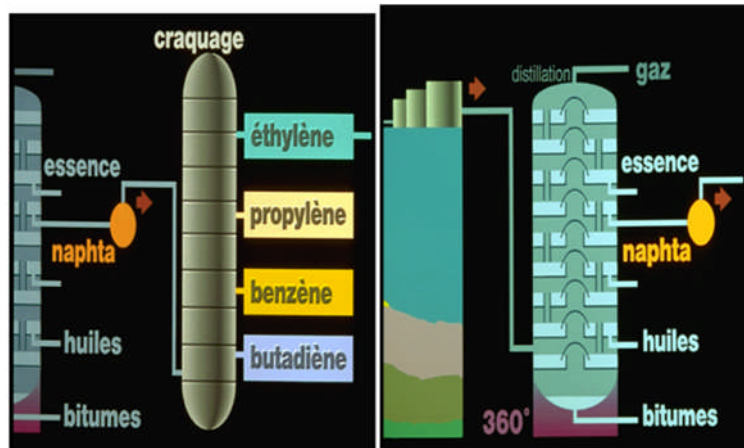


Figure I-3 : Formation du plastique

Le matériau (polymère) se présente à la sortie du réacteur sous forme de poudre solide ou de résine liquide. Pour faciliter les transformations et la manutention, on préfère souvent l'avoir sous forme de particules de dimensions géométriques bien définies.

Dans ce cas, le polymère subit une opération complémentaire de plastification par extrusion sous forme de jonc suivie d'une découpe donnant les classiques granulés (diamètre et longueur de 1 à 2 mm).

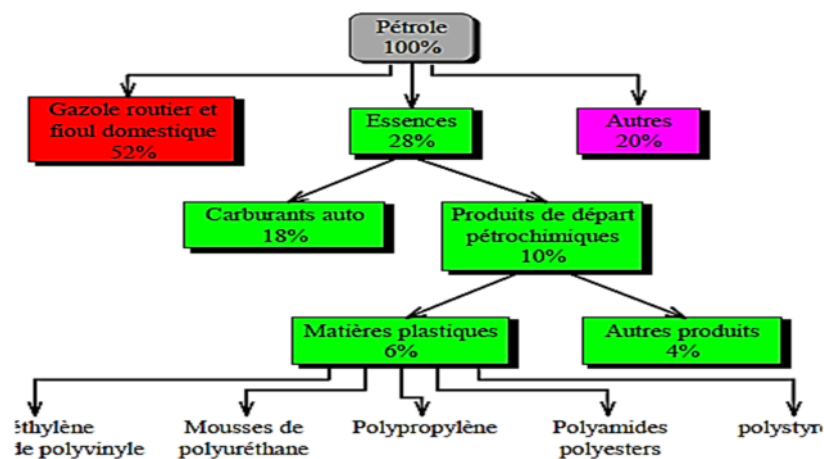


Figure I-4 : Les dérivés du pétrole.

I-6- Caractéristiques des matières plastiques [2]

I-6-1- Propriétés mécaniques

a- Résistance à la traction

La résistance à la traction varie entre 10 à 80 MPa pour un plastique à l'état compact, et entre 200 à 800 MPa pour un plastique renforcé courant.

b- Résistance à la compression

On atteint des valeurs de 50 à 100% plus élevées que la résistance à la traction.

c- Elasticité

La résistance élastique (module) de plastique voisine de 3000Mpa, ce que situe ces matériaux entre les bois et les caoutchoucs. Certaines charges peuvent amener quelques thermoplastiques à 160GPa.

d- Allongement

Voisin de 150% en général, il peut atteindre 400 à 800% avant rupture pour certains produits comme les fils ou les fibres synthétiques.

I-6-2- Propriétés chimiques

a- Sensibilité aux agents extérieurs

Les matières plastiques offrent en général une bonne résistance aux produits chimiques (acides, bases, solvants). L'eau peut les dégrader à la longue. Les plastiques sont insensibles aux bactéries, champignons et parasites.

b- Toxicité

Tous les plastiques n'ont pas le label alimentaire; il existe une législation assez contraignante à ce sujet. Certains plastiques peuvent provoquer chez des sujets sensibles certains troubles : allergies, inflammations, asthme, etc...

c- Humidité

Certains plastiques absorbent naturellement de l'eau. D'une façon générale, le taux d'humidité fait varier les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles des plastiques.

I-6-3-Propriétés thermique et physique

a-Inflammabilité

C'est le plus gros défaut reproché aux plastiques. Certains produits s'enflamment effectivement très vite et dégagent des fumées toxiques; d'autres ne brûlent que si la flamme est entretenue par une source extérieure et ne dégagent pas de gaz toxiques.

b-Résistance au feu

Elle est déterminée par le temps pendant lequel un élément continue de jouer son rôle avant de céder sous l'action des flammes. Les matériaux sont classés en trois catégories:

- SF stable au feu: seule la tenue mécanique est requise.
- PF pare flamme : en plus de la résistance mécanique, l'élément doit être étanche aux flammes et ne pas dégager de gaz inflammables.
- CF coupe feu : en plus des critères précédents, la face non exposée au feu ne doit pas s'échauffer à plus de 1400°C en moyenne.

c- Résistance thermique

La chaleur fait perdre aux matières plastiques leurs caractéristiques mécaniques jusqu'à les décomposer, par contre, le froid leur fait perdre leur souplesse.

I-7- Les polymères [3]

I-7-1- Généralités

On peut considérer que la science des polymères a véritablement commencé dans les années vingt, grâce au chimiste allemand Hermand Staudinger qui fut le premier à imaginer le concept de macromolécule.

La deuxième grande découverte dans le domaine de cette science est due au savant Américain Wallas Hum Carothers qui, à la fin des années vingt (brevet déposé en 1931), synthétisa pour la première fois une de ces fameuses macromolécules (le polymère).

Le physicien et chimiste français Henri Victor Regnault observe la formation d'une substance solide dans un récipient rempli de chlorure de vinyle exposé à la lumière (1838). L'inventeur américain Charles Goodyear découvre le procédé de réticulation du caoutchouc au moyen du soufre (brevet déposé en 1839).

Poursuivant les travaux du français Henri Braconnot (1832), le chimiste allemand Christiane freidrich Schonbein met au point la fabrication du nitrate de cellulose(1846).

I-7-2-Définition des polymères

Le terme polymère désigne une molécule de masse moléculaire élevée généralement organique ou semi-organique. Une macromolécule constituée d'un enchaînement d'un grand nombre d'unités de répétition, d'un ou de plusieurs monomères, unis les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Ainsi l'amidon ou les protéines sont-ils des polymères, au même titre que la soie ou le bois sont constitués de polymères. Les matériaux thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères comptent également parmi les polymères. Et les matrices polymères sont beaucoup utilisées dans les matériaux composites.

Les fibres organiques (aramide) sont constituées de polymères linéaires, les fibres de carbone. Certaines fibres de carbure de silicium sont fabriquées à partir de précurseurs organiques.

I-7-3- Structure Des Polymères

Les différents types de macromolécules sont :

I-7-3-1- Macromolécules linéaire

Dans ce type il y a trois parties:

I.7.3.1.1. Homopolymères

Le polyéthylène, le polychlorure de vinyle et beaucoup d'autres matières plastiques industrielles sont constitués de macromolécules, (molécules géantes), pouvant être considérées en première approximation comme étant des enchaînements linéaires de motifs structuraux identiques correspondant à la petite molécule (monomère) utilisée pour leur synthèse à est le motif monomère :



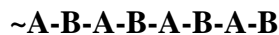
En polycondensation, on utilise fréquemment deux molécules différents A et B pour la synthèse, et l'on obtient un enchaînement régulier alterné des deux motifs.



I-7-3-1-2- Copolymers

La copolymérisation, qui permettent d'incorporer plusieurs motifs différents dans la chaîne, peuvent conduire à une très grande variété de structures. Les cas extrêmes étant présentés par:

a) *le copolymère alterné*



b) *le copolymère séquence*



c) *les copolymères statiques*



I-7-3-3- Macromolécules ramifiées

a-Homopolymères

Dans certains cas, les méthodes industrielles de synthèses ne conduisant pas à des macromolécules rigoureuses en linéaire.

On observe la formation de ramification courte et longue.

Ces dernières peuvent jouer un rôle important au niveau des propriétés rhéologique.

b-Copolymères

La ramification est délibérément recherchée dans certains copolymères sur tronc constitué par une macromolécule linéaire. On greffe des chaînes plus ou moins longues, les sites de ramification étant plus ou moins espacés

c-Polymère à cycle dans la chaîne

Dans certains cas, le squelette des macromolécules est constitué de succession des cycles juxtaposés (structure en échelle)

Ce type de compromis est fréquent dans le domaine des polymères thermostables

I-7-4-Classification des polymères

Il existe plusieurs modes de classification des polymères que peuvent être classés selon divers critères :

I-7-4-1- Selon leur nature chimique

On distingue :

a-Polymères minéraux

Ils sont constitués soit de chaînes renfermant un seul corps simple : diamant, graphite, phosphore, soufre...ou de chaînes renfermant plusieurs hétéroatomes : (silicates acides polyphosphoriques, chlorure de polyphosphonitrile).

b-Polymères organiques

C'est la classe la plus riche comme : les polydiène, les polyacryliques, les polyamides, les polyvinyloxy.

c-Polymères mixtes

Doués de propriétés intéressantes dont une bonne résistance thermique ($\sim 300^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$) comme les silicones.

I-7-4-2- Selon l'origine

On distingue les polymères naturels, les polymères artificiels et les polymères synthétiques :

a -Les polymères naturels

Issus des règnes végétaux, animaux ou minéraux. Le rôle qu'ils jouent dans les mécanismes vitaux est d'assurer une place de premier choix depuis une trentaine d'années.

Exemples

- Les polysaccharides (cellulose, amidon...),
- Les protéines (la laine, la soie ...),
- Le caoutchouc naturel... ,

b -Les polymères artificiels : (dérivés des polymères naturels)

Sont obtenus par modification chimique de polymères naturels de façon à transformer certaines de leurs propriétés.

Exemples

- les esters cellulosiques (nitrocellulose, acétate de cellulose ...etc.).
- ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

c -Les polymères synthétiques

Les molécules monomères qui permettent de les obtenir n'existent pas dans la nature. Cependant, on peut remarquer que les structures réalisées par synthèse sont souvent proches de celles des polymères naturels.

I-7-4-3- Selon leur domaine d'application

On regroupe les polymères en 3 grandes catégories :

a- Les polymères de grande diffusion

Encore appelés polymères de commodité, dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes et sont devenus d'un emploi quotidien pour tous. Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie d'une importance économique considérable.

b- Les polymères techniques

Ont des caractéristiques qui leur permettent de se substituer, de plus en plus aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques...). Pour de nombreuses applications, les polyamides, les polydactyles...font partie de cette famille.

c- Les polymères spéciaux

Ou polymères de fonction ; ils présentent généralement une propriété qui induit leur utilisation pour une application particulière. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, photo actifs, thermostables, adhésifs, etc.

I-7-4-4- Selon leur structure des chaines : (dimensionnalité)

Les polymères peuvent encore être classés en trois catégories :

a- Polymères linéaires ou monodimensionnels

Pour lesquels, chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre (éventuellement) élevé mais fini d'unités monomères ; de tels systèmes correspondent à la polymérisation de monomères bivalents et une macromolécule linéaire qui peut être très schématiquement représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité. La chaîne polymère est constituée de longueur variable, propriété désignée par le terme poly molécularité.

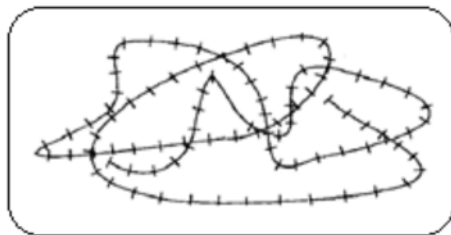


Figure I-5: Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire.

b- Polymères bidimensionnels

Dont certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...). Dans le domaine des polymères synthétiques ce sont encore des curiosités de laboratoire. Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples.

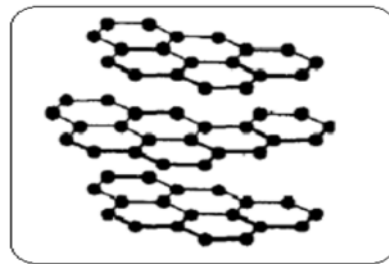


Figure I-6 : Représentation schématique d'un polymère Bidimensionnel : le carbone graphite.

c- Polymères tridimensionnels

Qui résultent de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux ou encore de la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique ou chimique de polymères linéaires.

Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infini puisque toutes les unités monomères constituées d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule.

Les liaisons se développent dans les trois dimensions et un élément de volume d'un tel peut être représenté sur la figure suivante.

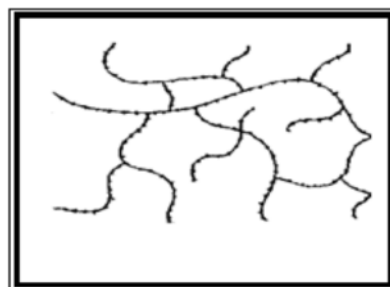


Figure I-7. : Représentation schématique d'un polymère Tridimensionnel.

I-7-4-5-Selon les usages technologiques

On peut distinguer :

- a) Les fibres synthétiques (nylon, tergal) ou naturelles (coton, soie).
- b) Les plastiques: ce sont les plastiques au sens large, regroupant les thermodurcissables et les thermoplastiques.
- c) Elastomères : Doués de propriétés élastiques et / ou caoutchoutiques.

I-7-5- Propriétés des polymères

I-7-5-1- Propriétés physiques des polymères

Avant tout, rappelons qu'il existe une grande variété de matières plastiques, tout comme il existe un grand nombre d'alliages métalliques. Une des caractéristiques physiques générales des polymères est :

I-7-5-2- Propriétés thermiques

La température de transition vitreuse "**T_g**" et la température de fusion "**T_f**" sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères.

La température de transition vitreuse est partiellement importante pour les polymères amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, pour lesquels, il n'existe aucune force de cohésion importante autre que l'enchevêtrement.

Les températures caractéristiques d'un seul et même matériau peuvent être classées de la façon suivante :

Température de transition vitreuse < Température de cristallisation < Température de fusion < Température de décomposition thermique.

Selon la température à laquelle il est soumis, un matériau polymère peut présenter des comportements mécaniques différents.

Ceci peut se produire pour les thermoplastiques semi cristallins dans un domaine même étroit de la température.

I-7-5-3-Propriétés mécaniques

a- Résistance à la traction

La résistance à la traction varie entre 10 et 80 MPa pour un plastique à l'état compact et entre 200 et 800 MPa pour un plastique renforcé courant.

b- Résistance à la compression

On atteint des valeurs de 50 à 100% plus élevées que la résistance à la traction.

c-Elasticité

La résistance élastique (module) de plastique voisine de 3000Mpa, ce que situent ces matériaux entre les bois et les caoutchoucs.

Certaines charges peuvent amener quelques thermoplastiques à 160Gpa.

d- Allongement

Voisin de 150% en général. Il peut atteindre 400 à 800% avant rupture pour certains produits comme les fils ou les fibres synthétique.

I-7-6-Applications des polymères

Les polymères constituent une des principales révolutions techniques du XXème siècle.

I-8- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les matières plastiques et leurs domaines d'utilisation. Cette utilisation dépend de leurs propriétés (physiques, chimiques et mécaniques) qui rependent aux différentes exigences, telles que leurs poids très légers, leurs états de surface et leurs coûts de revient.

De plus, il nous a permis de distinguer les différents types de matières plastiques, leurs procédés d'obtention, et leurs possibilités au recyclage.

CHAPITRE II :

PROCÉDÉS DE

MISE EN

OUVRE DES

MATIÈRES

PLASTIQUES

Chapitre II : Procédés de mise en Ouvre des matières plastiques

II-1-Introduction

Les techniques de transformation des plastiques dépendent de l'utilisation des produits finis et de la nature des matières plastiques. Généralement l'obtention des pièces de formes données est faites par des procédés de mise en forme permettant de réaliser des séries importantes ou de produit en continue.

Parmi les principaux procédés de fabrication industrielle, nous citerons:

- L'injection,
- L'extrusion,
- Le thermoformage,
- L'extrusion soufflage,
- L'extrusion gonflage,
- L'expansion moulage,
- La coulée,
- L'enroulement filamentaire,
- Prototypage,

II-2- Le thermoformage

C'est un procédé de seconde transformation. La matière arrive sous forme de plaques, feuilles, tubes ou profilés, puis est ramollie par chauffage avant d'être mise en forme par application sur un moule de géométrie simple. Cette technique est utilisée pour produire toutes sortes d'objets de formes creuses, comme les pots de yaourts ou le nez du TGV.



Figure II-1 : Modèles de pièces obtenues par le thermoformage

II-2-1- Principe de thermoformage

Une plaque en plastique est placée dans un cadre permettant de la maintenir au dessus du moule. Une fois que la cette plaque est chauffée et ramollie, le moule se rapproche. Un vide a été crée entre le moule et la plaque pour permettre le collage de la plaque en plastique au moule. Après refroidissement du moule, la plaque ainsi formée est démoulée et la partie du plastique restante dans le cadre est découpée. Une nouvelle plaque peut alors être placée dans le moule.

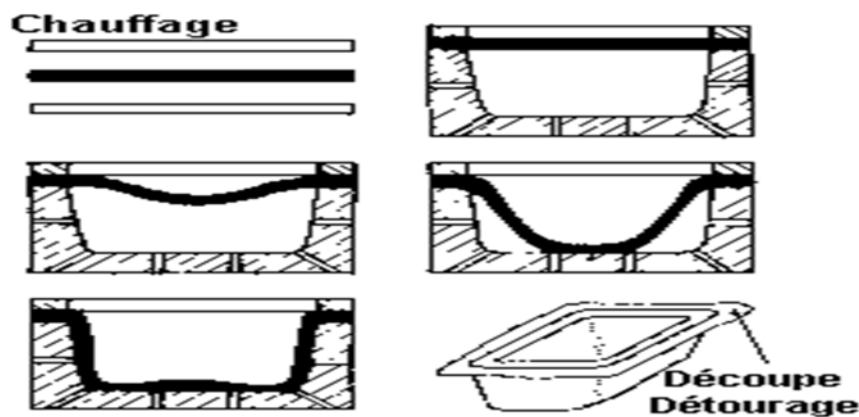


Figure II-2 : Schéma des étapes du thermoformage

II-3- Principe de l'injection plastique

La presse à injecter est utilisée pour produire très rapidement des objets en très grandes quantités. Cette technique permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies, de formes complexes dans une gamme de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. On utilise des presses à injecter dans de très nombreux domaines tels que : l'automobile, les jouets, l'électronique. C'est un procédé très répandu, car il permet de fabriquer des objets moulés de qualité et même de formes compliquées.



Figure II-5 : Pièces obtenue par l'injection soufflage

Dans une première étape, on fabrique une préforme par injection, c'est ainsi que le goulot de la bouteille est déjà formé. Dans une deuxième étape, on chauffe le corps de la préforme puis on étire la préforme avec une tige jusqu'au fond du moule. Un jet d'air très puissant est envoyé à l'intérieur pour plaquer le corps de la préforme contre les parois du moule. Cette préforme finira par prendre parfaitement la forme du moule par la suite. Une fois que le moule est refroidi, la bouteille est dégagée vers l'extérieur.



Figure II-6: Etapes de l'injection soufflage

II-5- L'extrusion

C'est un procédé continu qui sert à fabriquer des pièces de grande longueur comme des tubes, des tuyaux, ou des produits semi-finis comme des profilés (pour les fenêtres par exemple), des baguettes, des fibres optiques, des plaques ou des feuilles...

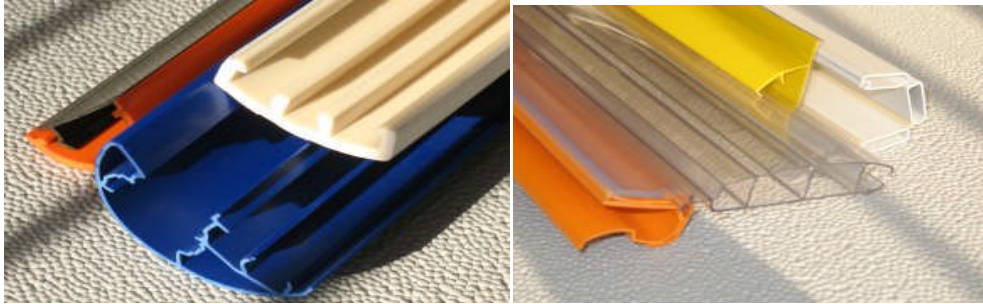


Figure II-7: Modèle de pièces obtenu par extrusion.

La matière plastique arrive à l'entrée de l'extrudeuse sous forme de granulés puis versée dans la trémie pour alimenter la vis de l'extrudeuse. Cette dernière est chauffée et ramollie, grâce à une vis sans fin qui se trouve dans un fourreau (tube) chauffé pour rendre le plastique malléable. La vis entraîne le plastique vers la sortie. La tête de sortie de l'extrudeuse donne sa forme à ce qui en sort. Le tube, ou le profilé sort en continu, il est refroidi pour être ensuite coupé à la longueur voulue.

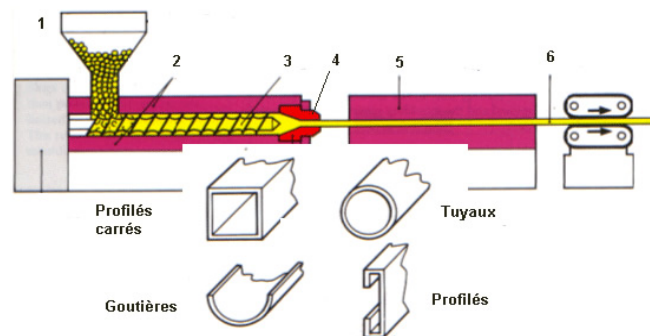


Figure II-8: Schéma de l'extrusion

II-6- Extrusion gonflage

C'est une variante de l'extrusion qui permet de fabriquer des films plastiques et des sacs poubelle.



Figure II-9 : Extrusion gonflage

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment. La matière plastique arrive à l'entrée de l'extrudeuse sous forme de granulés et est versée dans la trémie pour alimenter la vis de l'extrudeuse. A la sortie de la tête verticale de l'extrudeuse, on insuffle de l'air comprimé dans la matière fondue qui se gonfle et s'élève verticalement en une longue bulle de film. Après refroidissement, des rouleaux aplatissent le film en une gaine plane qui s'enroule sur des bobines.

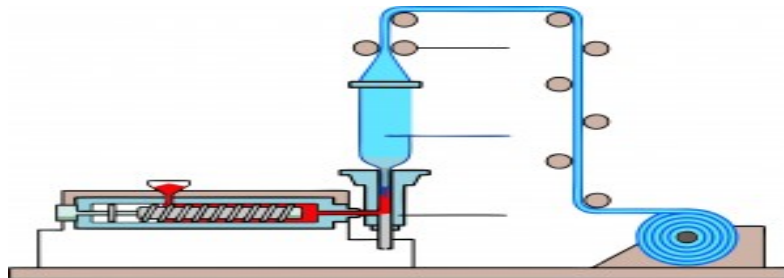


Figure II-10 : Schéma l'extrusion gonflage

II-7 Extrusion soufflage

C'est une variante de l'extrusion qui permet de fabriquer des corps creux comme les bouteilles, les flacons et même les réservoirs d'essence.

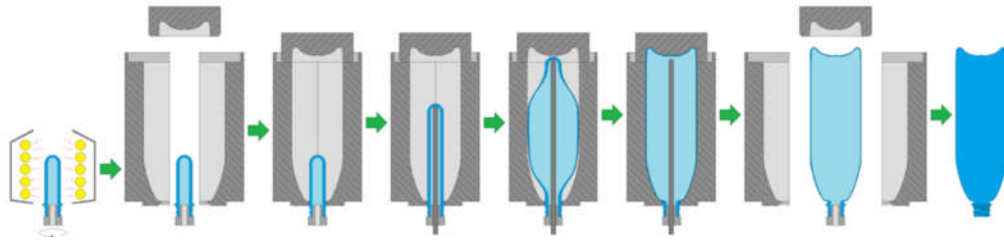


Figure II-11 : schéma de l'extrusion soufflage.

Le principe commence par l'extrusion d'un tube chauffé, puis coupé que l'on enferme dans un moule froid. De l'air est injectée dans le moule pour que le tube se plaque contre les parois où il est très rapidement refroidi, la bouteille ou le flacon est ensuite démoulé.

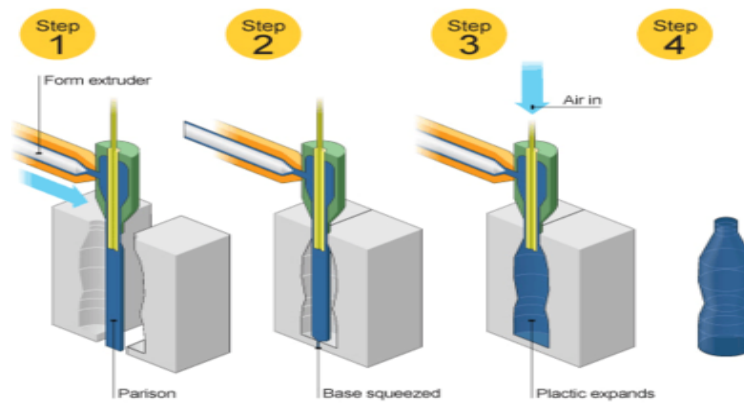


Figure II-12: Etapes de l'extrusion soufflage

II-8- Expansion moulage

Cette technique est surtout utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : caisses à poissons, barquettes...



Figure II-13: Emballages en PSE

Avant d'être expansé, le polystyrène se présente sous forme de petites billes qui renferment des micro-inclusions de gaz (à l'état liquide). Au contact de la vapeur d'eau, la matière plastique se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate. Les petites billes gonflent, comme le pop-corn grâce à l'air qu'il contient tout en gardant une forme plus régulière.

Cette première expansion est réalisée en usine dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial des petites billes de polystyrène.



Figure II-14 : Etapes de fabrication des pièces en PSE.

Après séchage des billes pré-expansées dans un silo, cette matière est introduite dans un moule fermé et est soumise à une nouvelle injection de vapeur d'eau.

Les billes reprennent leur expansion, occupent tout l'espace du moule et se soudent entre elles pour obtenir la forme de l'emballage désiré.



Figure II-15 : Parc machine (expandeurs).

II-9- Le roto moulage

Le moulage par rotation est une méthode de transformation des polymères permettant la production d'articles creux avec des contenances très diversifiées (de quelques dixièmes du litre à des milliers de litres). Il permet de produire des petites et des grandes séries de pièces.



Figure II-16 : Pièces obtenues par roto moulage.

II-10- La compression

Technique surtout très utilisée pour transformer des matières en les comprimant fortement dans un moule. Ces matières (thermodurcissables) pour la plupart auront la particularité de ne plus fondre après moulage (pièces automobiles, électriques, poignées d'ustensiles ménagers, etc...)



Figure II-17: Procédé de compression.

II-11- Le calandrage

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles.

Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle : Calandre. Leur nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée.

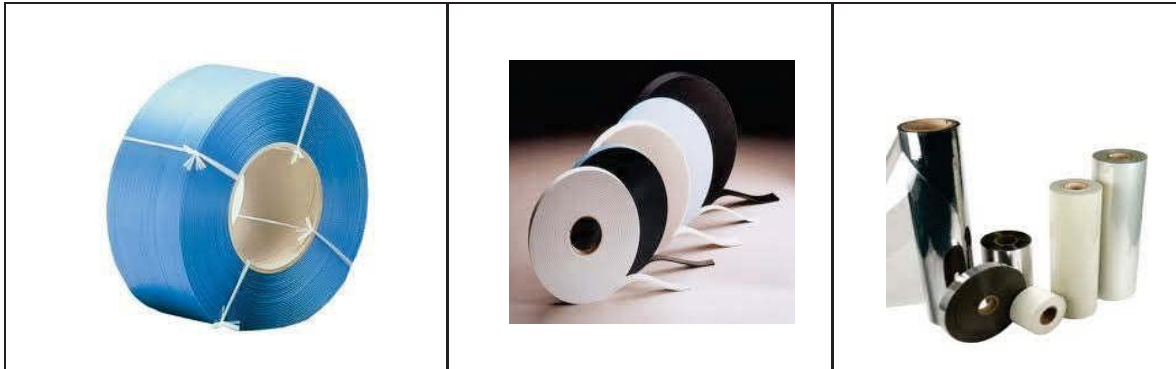


Figure II-18: Pièces obtenues par calandrage.

II-12- Enduction

La matière sous forme de pâte (plastisol) est déposée en couche très mince sur un support (papier, tissu, aluminium, fils). L'ensemble passe ensuite dans un four de cuisson.

II-13- La Stratification [6]

Des couches superposées de supports tels que bois, papier, textiles sont imprégnées de résine thermodurcissable puis pressées et chauffées sous haute pression pour provoquer la polymérisation.

Ce procédé réservé aux thermodurcissables n'est applicable que pour l'obtention de produits plats.



Figure II-19 :l Procédé de stratification.[6]

II -15 - Principaux moyens de mise en œuvre avec les matières associées [6]

Tableau II-1 : Principaux moyens de mise en œuvre avec les matières associées.

Procédés	Base	Polymères les plus utilisés	Type
Injection	granulés	PE, PP, PS, technoplastiques	TP
Extrusion	granulés	PVC, PE	TP
Soufflage	granulés	PVC, Pehd	TP
Rotomoulage	poudres fines	PE, PVC (plastisol)	TP
Calandrage	pâtes	PVC	TP
Thermoformage	feuilles, plaques	PS, ABS	TP
Expansion PSE	perles	PSE	TP
Moussage PU	liquides	Polyols+polyisocyanates	TP
Compression	Poudres	PF, UF, MF	TP

II -16 - Formes et volumes - moyens de transformation [6]

Tableau II-2 : formes et de volumes - moyens de transformation.

Procédés	Types de formes	Polymères les plus utilisés
Injection	moulée 3D	poids : qq g - 1 Kg
Extrusion	Profilée 2D	[Largeur film/feuille ≤ 2,5 m
Soufflage	corps creux	Vol : ≤ 200 l
Rotomoulage	corps creux	Vol : ≤ 5000 l
Calandrage	produit plat 2D	laize ≤ 2,5 m
Thermoformage	emboutie	poids ≤ 20 Kg et ép ≤ 6 mm
Expansion PSE	alvéolaire	volume ≤ ¼ m ³
Moussage PU	alvéolaire	volume ≤ ¼ m ³
Compression.	moulée 3D	poids ≤ 1 Kg

II-17-Conclusion

Les procédés de mise en œuvre permettent d'obtenir des pièces en plastique, parfois même en alliages d'aluminium de formes complexes et généralement en une seule opération.

L'injection plastique est le procédé le plus utilisé dans ce domaine.

Dans un environnement concurrentiel, l'actualisation permanente des designs est nécessaire. Pour cela, il suffit de choisir le moule approprié.

CHAPITRE III :

LE

POLYSTYRÈNE

Chapitre III : Le polystyrène

III-1-Introduction

Le polystyrène est une matière très largement utilisée dans le monde pour différentes applications et dans différents secteurs.

On distingue trois types de polystyrènes : le polystyrène "cristal" (PS, non cristallin mais portant ce nom à cause de son aspect transparent), le polystyrène "choc" et le polystyrène expansé (PSE). Sans aucun ajout, le polystyrène est solide à 20°C et pâteux à 120°C, la fusion s'opérant entre 150°C et 170°C. C'est un matériau qui est généralement inflammable et combustible, sa dégradation commence dès 350°C et l'auto-inflammation vers 490°C. Il est d'une densité réelle de 1,03 à 1,05 et il est soluble dans les hydrocarbures chlorés et aromatiques.

III-2-Historique [6]

La découverte du polystyrène remonte à 1839, mais son exploitation à grande échelle, en Allemagne et aux États-Unis, date des années 30. Sa première fabrication industrielle ayant eu lieu en 1933. Le premier procédé utilisé (suspension aqueuse) fonctionnait en "discontinu".

Dès les années 40 apparaissent des procédés de polymérisation "en masse", continus ou discontinus. Le procédé "masse continu" triomphe dans les années 60, grâce notamment aux progrès technologiques permettant d'évacuer la chaleur produite par la polymérisation (environ 710 kJ/kg).

Le polystyrène expansé a été inventé en 1944 par Ray Mc Intire (1919-1996) alors qu'il travaillait pour Dow Chemical sur les caoutchoucs flexibles. Cette découverte fût le fruit du hasard : l'idée de départ était de copolymériser du styrène et de l'isobutène sous pression.

Le styrène fut le seul à polymériser et l'isobutène se vaporisa, s'immisçant dans la matrice du polymère. Commercialisé sous le nom de Styrofoam, ce matériau rigide de faible densité a d'abord été utilisé comme isolant thermique pour le bâtiment.



Figure III.1 Polystyrène sous sa forme commerciale

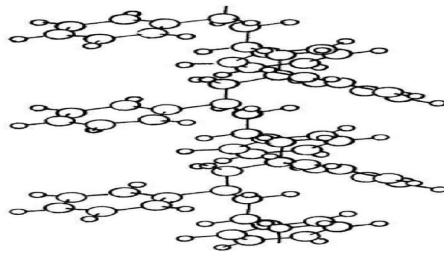


Figure III.2. Modèle pelote bâtonnet de Polystyrène

III-4-Origine [6]

Le PS est obtenu par la polymérisation de styrène issu de la pétrochimie. Plus de 90% de la production de styrène provient de la déshydrogénation de l'éthylbenzène fabriqué à partir du benzène et de l'éthylène (Sfeir et Vignes, 2008). Sa formule chimique est $(C_8H_8)_n$.

Il ne contient que du carbone et de l'hydrogène comme éléments chimiques

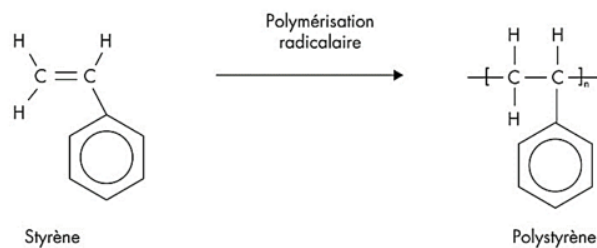


Figure III-3 : Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène

III-5-Monomères constitutifs [6]

a-Styrène

Le styrène, $C_6H_5CH=CH_2$, est le monomère principal des polymères styréniques. Il est obtenu en mélangeant de l'éthylène et du benzène qui se combinent en éthylbenzène, lequel est déshydrogéné ou soumis à un cracking pour obtenir le styrène. La polymérisation radicalaire du styrène seul donne un homopolymère, le polystyrène standard cristal, produit amorphe, atactique, transparent et cassant.

La polymérisation à catalyse métallocène conduit à un polystyrène syndiotactique, produit opaque à structure cristalline, ayant de hautes performances techniques mais beaucoup plus cher que le PS standard. Du fait de la compatibilité du styrène avec de nombreux monomères et polymères, on peut le modifier par copolymérisation pour apporter des propriétés particulières, comme la résistance aux chocs, une meilleure tenue thermique...etc

b-Butadiène

La polymérisation du styrène mélangé avec un élastomère nous donne un copolymère, un polystyrène choc et ainsi qu'un produit opaque qui est résistant aux chocs. L'élastomère employé est le polybutadiène.

c- Autres comonomères

D'autres comonomères, comme l' α -méthylstyrène, l'anhydridemaléique, l'acrylonitrile sont utilisés pour apporter des propriétés particulières au PS.

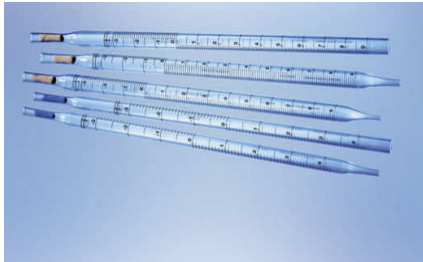
III-6- Différents types de polystyrène

III-6-1-Polystyrène standard (cristal)

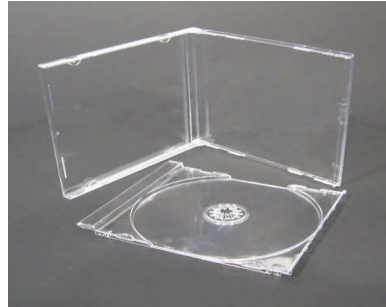
Ce PS est également appelé le polystyrène d'utilisation général (*General Purpose Polystyrène* (GPPS)) ou bien le polystyrène rigide (PSR). C'est un polymère amorphe, transparent, brillant, rigide, cassant et pouvant être coloré. Il est souvent appelé PS cristal à cause de son aspect transparent. C'est le premier PS obtenu suite à la polymérisation. Toutes les autres formes du PS sont obtenues par modification de celui-ci.

Le PS cristal peut également être façonné par injection et des pièces moulées, comme des

gobelets transparents ou des boîtiers de *Digital Versatile Disc* (DVD), sont obtenues. Dans ce cas, il porte le nom de PS injecté.[6]



PIPETTE GRADUÉE
GOUBLET



BOITIER POUR CD

Figure III-4 : Quelques exemples de PS standard.

III-6-2-Le polystyrène choc [7]

Le polystyrène dit Hips, pour *High Impact PolyStyrene*, est un polystyrène spécifique en raison de son opacité et surtout, de sa résistance aux chocs. On l'appelle d'ailleurs également le polystyrène-choc (SB).

Le styrène est l'élément de base de la fabrication du polystyrène. Et sa compatibilité avec d'autres monomères et polymères permet d'imaginer de nombreux composés styréniques aux propriétés variées. Le Hips est l'un d'eux. Il intègre 15 à 25 % de polybutadiène et s'obtient d'ailleurs par greffage de polybutadiène pendant la production de polystyrène.

III-6-3- Polystyrène expansé PSE

- Il est constitué de 98 % d'air.
- On distingue deux types de PSE : les polystyrènes expansés moulés (PSE-M) et les polystyrènes expansés extrudés (PSE-E).

Le PSE-M : est obtenu à partir d'un polystyrène "expansible" qui n'est rien d'autre qu'un polystyrène cristal auquel on a ajouté, en cours de polymérisation, un agent d'expansion, le pentane (C_5H_{12}), dont la température d'ébullition, à la pression atmosphérique, est de 35°C.

Une pré-expansion est opérée à la vapeur d'eau puis une période de stabilisation permet aux perles de PS pré-expansées de perdre leur excédent d'eau. Enfin, dans un moule, on les expande et on les moule à la vapeur.

Le PSE-E : est quant à lui obtenu lors de l'extrusion par injection sous pression d'un gaz (les HCFC ont été remplacés par le pentane) dans le polymère cristall fondu.

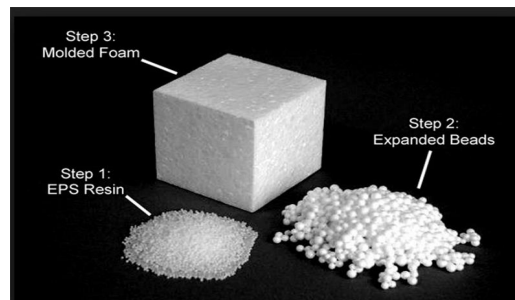


Figure III.5- Image de PSE expansé en différents états.

L'utilisation des catalyseurs métallocènes a par ailleurs permis l'élaboration d'un PS syndiotactique permettant des applications techniques. Le SPS, plastique technique, est doté d'une résistance thermique accrue (point de fusion = 270°C) et d'une résistance chimique élevée. Il est utilisé dans des les appareils électroniques, équipements électriques et dans l'automobile.



Figure III-6 : Palette en PS expansé. **Figure III-7** : Exemple de PS extrudé.

Tableau III.1 Résistances mécaniques pour différentes masses volumiques apparentes du PSE-M.

Densité Volumique (Kg/cm ³)	15 Kg/cm ³	20 Kg/cm ³	30 Kg/cm ³	40 Kg/cm ³
Résistance en compression pour une déformation de 10%(Kpa)	60 à 110	100 à 160	180 à 250	260 à 350
Contrainte à la rupture en flexion(Kpa)	160 à 220	210 à 330	380 à 520	570 à 680
Contrainte à la rupture en traction (Kpa)	160 à 240	215 à 330	350 à 520	520 à 660

III-7- Etapes de production du polystyrène expansible

III-7-1-Polymérisation

Le procédé de polymérisation en suspension dans l'eau est employé pour la polymérisation du PSE. Le styrène monomère (C₈H₈).(Figure III.8) est dispersé en fines gouttelettes dans l'eau.

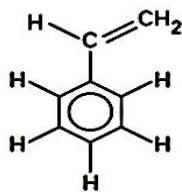


Figure III.8 Styrène monomère (C₈H₈).

La taille des gouttelettes peut être ajustée par de nombreux paramètres comme l'addition d'un agent protecteur qui permet de stabiliser la suspension, comme les conditions de mélange, la forme du réacteur, etc. On peut éventuellement incorporer un système ignifugeant.

La réaction s'opère selon un procédé discontinu dans un réacteur muni d'un agitateur et équipé d'une double enveloppe permettant par chauffage ou par refroidissement, de réguler la température interne du réacteur.

La réaction exothermique se développe suivant un programme de température défini et, lorsqu'un certain taux de conversion est atteint, l'agent d'expansion est introduit sous pression, généralement du pentane (C_5H_{12}). Des mélanges de butane sont utilisés au Japon.

La durée de ces opérations est d'environ 10 h. Ces opérations terminées, le mélange obtenu, constitué de billes sphériques de polystyrène expansible et d'eau, est refroidi et envoyé dans des cuves de stockage intermédiaire. Le diamètre de ces perles varie entre 0,2 mm et 3 mm. [8]

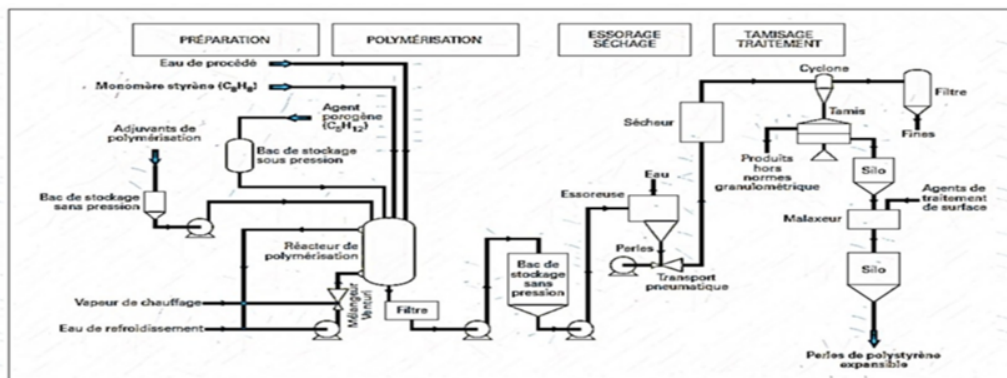


Figure III-9-schéma de polymérisation de polystyrène.

III-7-2-Traitement de finition [8]

Le mélange précédent est ensuite essoré pour séparer l'eau des perles, un séchage est alors réalisé. Il existe une certaine dispersion dans le diamètre des perles obtenues. Un tamisage permet d'obtenir différentes coupes granulométriques destinées à différentes applications. Ces différentes coupes granulométriques reçoivent un traitement de surface destiné à optimiser leur mise en œuvre.

C'est un enrobage par divers stéarates (organiques ou métalliques). Après un stockage intermédiaire en silos, les produits sont conditionnés en conteneur carton d'une tonne ou bien en fûts métalliques. Le produit doit être conservé à une température modérée; La durée de conservation est limitée :

- à 1 mois pour le stockage en conteneur carton ;
- à 6 mois pour le stockage en fûts métalliques.

En effet, le pentane se diffuse lentement à l'extérieur des emballages et les performances d'expansibilité du produit se dégradent dans le temps.

III.8-Production du polystyrène expansé PSE-M à partir du polystyrène expansible : [8]

Le polystyrène expansé est obtenu à partir du polystyrène expansible après trois étapes de fabrication :

Les différentes billes de polystyrène expansible, matière première nécessaire à la fabrication du PSE-M sont livrées en container dans des cartons de grande capacité pesant environ une tonne (Figure III.10). Élaborées par des fournisseurs selon un cahier des charges très précis.



Figure III-10 : Matière première dans des cartons de grande capacité.

a-Pré-expansion ou pré-moussage

C'est à ce stade que la masse volumique finale est déterminée.

b- La maturation et le stockage

Les perles reposent pendant plusieurs heures pour permettre leur stabilisation.

c- Le moulage

Les perles sont soudées entre elles. Les opérations de pré-expansion, de maturation et de stockage ont trois buts principaux :

- Permettre au pentane en surface de se disperser afin de réduire pendant le moulage la thermo sensibilité des perles pré expansées.
- Eliminer l'excédent d'eau contenu dans les perles afin d'obtenir des perles sèches.
- Laisser à l'air le temps de pénétrer dans les alvéoles pour combler le vide créé pendant la pré-expansion.

La (Figure III.11) représente l'ensemble du procédé de fabrication. [8]

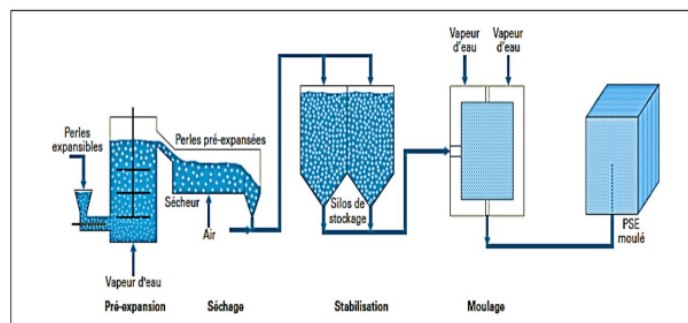


Figure III-11 : Unité de fabrication du polystyrène expansé moulé.

III.8.1-Pré expansion des perles en polystyrène expansible

Le polystyrène expansible est introduit dans une cuve en inox. L'opération consiste à chauffer les perles par de la vapeur d'eau. Il se produit un ramollissement de la matrice polystyrène vers 90 °C et une augmentation de la pression de l'agent d'expansion (appelé encore agent porogène) qui se trouve au-dessus de sa température normale d'ébullition (pour le pentane technique, 35 °C).

Ces deux phénomènes simultanés provoquent l'expansion des perles. La (Figure III.13) représente l'évolution de la masse volumique apparente des perles en fonction du temps de séjour dans le préexpandeur. La masse volumique minimale atteinte est variable selon les produits. Elle dépend des facteurs comme : [8]

- La taille initiale des perles.
- La teneur en agent d'expansion.
- La présence de certains adjuvants.

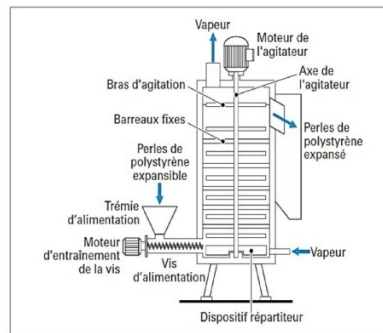


Figure III-12-1 : Pré expanseur à fonctionnement continu. [8]

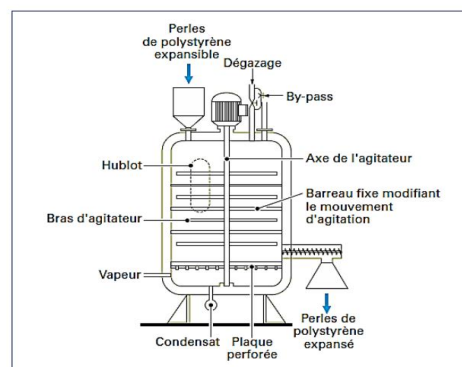


Figure III-12-2 : Pré expanseur à fonctionnement discontinu. [8]

III.8.2-la maturation et le stockage/expéditions

En sortie de préexpanseur, les perles sont ramenées à la température ambiante. Cela provoque à l'intérieur des perles la condensation de l'agent porogène résiduel et de la vapeur d'eau qui y a pénétré, et crée ainsi une dépression.

Un certain temps de stabilisation en silos (Figure III.15) est donc nécessaire pour permettre une diffusion d'air à l'intérieur des perles et rétablir ainsi un équilibre de pression avec l'extérieur, indispensable au bon déroulement de l'étape ultérieure de moulage.

Cette étape de maturation permet aussi d'éliminer l'excédent d'eau contenu dans les perles et nuisible au moulage. Enfin, pour les masses volumiques élevées, il est nécessaire d'éliminer une partie de l'agent porogène, pour ne pas atteindre au moment du moulage des pressions trop élevées dans les moules.

Le temps de stabilisation nécessaires sont généralement compris entre 4 et 24 h. Ils dépendent de la masse volumique et de la taille des perles. Les silos utilisés sont en toile perméable à l'air. Leur taille varie de 10 à 150 m³. [8]



Figure III.13. Stockage du polystyrène dans les silos à l'ENIEM.

III.9- Moulage de blocs

Les moules à blocs (Figure III.15) ont généralement les dimensions suivantes : 1,0 à 1,25 m de hauteur, 0,5 à 1 m de largeur, 6 à 8 m de longueur. Ils sont construits en métaux inoxydables (acier ou alliage d'aluminium).

Les six parois, en contact avec les perles expansées moulées, comportent de nombreux orifices (trous fins, buses ou fentes de moins de 1 mm de largeur), qui vont permettre à l'air de s'échapper et à la vapeur de pénétrer dans le moule.

Derrière chaque paroi se trouve une chambre dite chambre à vapeur, qui comporte une arrivée de vapeur et une sortie de condensats (à la partie inférieure). La plupart des moules à blocs sont équipés d'une installation de vide (réservoir + pompe) (Figure III.16) .

Après fermeture et remplissage du moule, le cycle de moulage I → II → III (Figure III.17) peut commencer. [8]

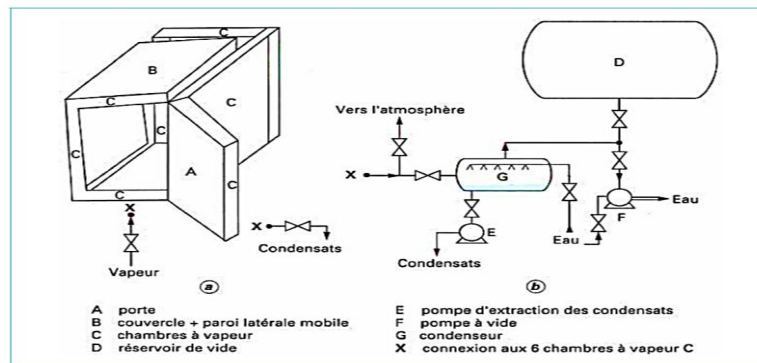


Figure III.14 : Moule à bloc de PES et installation de vide

a- Vide préalable

Le cycle commence par une mise en dépression des chambres à vapeur et donc de l'intérieur du moule. La connexion du réservoir de vide permet une chute rapide de la pression (période 1), puis la pompe à vide seule permet d'accentuer encore un peu plus le niveau de vide (période 2). Cette phase de vide préalable permet d'éliminer l'air et l'eau présents dans le moule, afin de favoriser par la suite le soudage des perles. [8]

b- Vaporisation

Elle commence alors que le moule est encore en dépression (période 3), vannes de sortie des condensats fermées. Puis, lorsque l'équilibre avec la pression atmosphérique est atteint, les vannes de sortie des condensats sont ouvertes (période 4). Ces deux étapes sont appelées phases de rinçage ou désaération. La (période 5) est celle de montée en pression, dite de choc vapeur.

La vapeur est uniquement envoyée dans les deux chambres à vapeur latérales et on laisse ouvertes les vannes de sortie des condensats sur les quatre autres chambres. La vapeur traverse l'intérieur du moule. Sous l'effet de la chaleur, les perles pré expansées se dilatent à nouveau et commencent à se souder.

La (période 6) est celle de stabilisation dite d'autoclave. Toutes les vannes de sortie de condensats sont fermées et l'on maintient la pression de vapeur dans les chambres pendant un court instant (3 à 10 s).

On obtient ainsi le soudage définitif du bloc. [8]

c- Refroidissement

Le bloc doit ensuite être refroidi avant son démoulage, de façon que la pression exercée par la matière sur les parois du moule diminue. Après la détente de la surpression de vapeur avec l'ouverture des vannes de sortie des condensats (période 7), celles-ci sont fermées à nouveau et l'on refait le vide (périodes 8 et 9).

Le condensat chaud présent à l'intérieur du bloc s'évapore et il est évacué. Simultanément, le bloc perd l'énergie de vaporisation correspondante et se refroidit.

Lorsque la pression de la matière sur les parois du moule atteint une valeur voisine de 0,1 bar, le vide est arrêté (période 10).

Une fois, la pression rééquilibrée avec l'atmosphère, le moule peut être ouvert. Habituellement, la porte est ouverte, puis une paroi latérale et le dessus du moule pivotent ensemble (Figure II.16.a). Le bloc est expulsé grâce à un éjecteur.

L'ensemble du cycle dure généralement entre 3 et 15 min (selon le type de moule à blocs, la densité des perles pré expansées et le type de matière première utilisés).

Il est à noter qu'au moment de la sortie du bloc l'intérieur de la matière est encore à 90-95 °C et que la pression interne résultante est supportée par les parois du bloc. Il est donc nécessaire, avant le découpage en plaques, de laisser le bloc poursuivre son refroidissement pendant environ 24h. L'obtention directe de plaques de PSE-M peut aussi être réalisée avec des machines de moulage continu en bande.

Dans ce cas, les perles pré expansées placées entre deux bandes horizontales mobiles passent dans des zones de vaporisation et de refroidissement et sortent sous la forme d'un panneau moulé sans fin.

Les plaques sont ensuite découpées dans ce panneau aux dimensions voulues. Ces installations ont perdu de leur intérêt à l'apparition des grands moules à blocs modernes équipés de vide, souvent plus rentables et, en tout cas, de fonctionnement plus souple. [8]

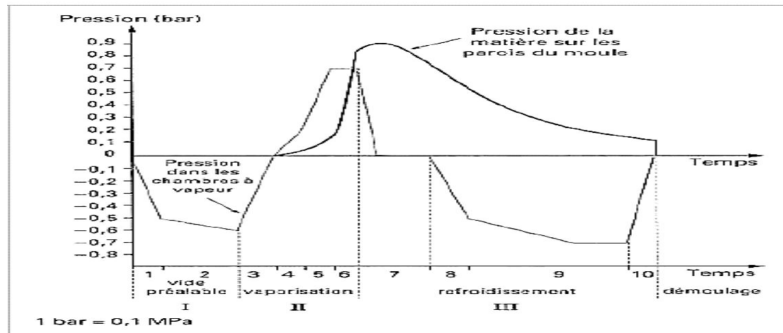


Figure III-15 : Cycle de moulage d'un bloc de polystyrène expansé (PSE). [8]

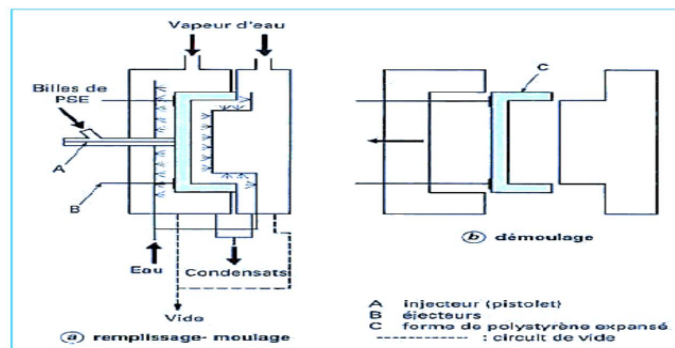


Figure III.16 : Moulage polystyrène en forme du expansé (PSE). [8]

III-10- Moulage en forme [8]

III-10-1 -Principe

Pour le moulage en forme, le principe consiste à fabriquer sur des machines automatiques moyen et grand de séries des objets en forme variées.

Il est de même principe que le moulage en blocs.

III-10-2-Machines équipées de vide

Les perles de polystyrène expansé sont introduites dans le moule fermé par un ou plusieurs injecteurs (ou pistolets). Le cycle de vaporisation se déroule suivant des phases similaires à celles d'un moule à blocs (préchauffage des chambres à vapeur, balayage transversal, montée en pression, maintien en pression).

Le refroidissement de la pièce moulée est réalisé tout d'abord par une projection d'eau sur les parois arrières des moules, puis par une création de vide dans les chambres à vapeur (par l'intermédiaire d'une pompe à vide).

Le moule peut alors être ouvert et la pièce est expulsée par des éjecteurs ou par pression d'air comprimé. [8]

III-10-3-Machines « transfert »

Elles fonctionnent avec deux moules. Le premier, dit moule chaud, sert au moulage des perles. La pièce moulée n'est pas refroidie dans ce moule par les techniques décrites précédemment, mais elle est transférée encore chaude dans le deuxième moule qui, lui, est froid. Après stabilisation, la pièce est expulsée du moule froid et une nouvelle pièce en provenance du moule chaud vient s'y placer.

Le bilan énergétique de ce type de machine est plus intéressant que celui des machines à vide, mais elles demandent un investissement de départ plus important. [10]

III-10-4-Machines de complexage

Elles permettent de réaliser des complexes objets moulés en PSE/film de plastique rigide, mono faces ou bifaces.

Deux procédés existent : on peut réaliser d'abord le moulage de l'objet en PSE (par procédé classique « à vide » ou par « transfert ») puis surmouler sur celui-ci le film de plastique, ou bien thermoformer en premier, sur une empreinte chauffée, le film de plastique et mouler ensuite l'objet en PSE sur la face interne du film.

Le film est généralement en polystyrène, de façon à faciliter l'éventuel recyclage ultérieur de la pièce.

Un tel complexage permet d'améliorer le comportement mécanique de l'objet en PSE-M par rigidification. On peut aussi réaliser des impressions d'excellente qualité sur le film. [10]

III-10-5-Le séchage du polystyrène expansé [10]

Lorsqu'il s'agit d'une pièce à intégrer dans un produit quelque conque, la pièce peut provoquer la rouille des autres pièces à cause de l'eau résiduelle dans les pièces en PS expansé, pour la pièce devant être coupée en tranche, l'eau contenue dans la pièce peut exercer une mauvaise influence sur les opérations de coupe.

Afin d'éviter ces inconvénients, le produit en polystyrène expansé doit être séché et suffisamment après le formage et ça après les avoir misent dans la chambre de séchage avec des chariots ou on indique l'heure et la date de stockage. Les périodes de séchage sont dans le (Tableau III.2) suivant :

Tableau III.2. Période de séchage pour le polystyrène expansé moulé.

Pièce	Temps de séchage
Pièce formée	Trois heures
Pièce formée devant être coupée en tranche ou matière bloc	Six heures

- La température dans la chambre de séchage sera $50\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$

III.11-Quelques propriétés du polystyrène : [6]

a- Propriétés électriques et thermiques

Les polymères styréniques possèdent de bonnes propriétés d'isolation électrique. Ils peuvent recevoir des additifs pour devenir antistatiques ou conducteurs. Ils conduisent faiblement la chaleur.

b- Comportement au feu

Les polymères styréniques sont facilement combustibles et dégagent une odeur sucrée. Lors d'une combustion, ils se décomposent vers 300 °C en formant du dioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau, mais les combustions incomplètes ajoutent de l'oxyde de carbone (CO). Puisque toutes les combustions ouvertes utilisent l'air contenant 78 % d'azote en plus de l'oxygène, des oxydes d'azote sont toujours présents.

Pour améliorer leur tenue au feu, des additifs ignifugeants sont ajoutés pour certaines applications (Heim et autres, 2002). La combustion ajoutera alors les produits de décomposition de ces ignifugeants.

c- Vieillissement

Une exposition prolongée à l'extérieur provoque l'oxydation des polymères styréniques. La couche superficielle des objets devient jaunâtre et s'effrite. L'incorporation d'agents protecteurs ou la coloration permet d'améliorer la résistance au vieillissement (Heim et autres, 2002). Des produits de décomposition complémentaires résulteront de la combustion

d- Résistance aux produits chimiques – Corrosion :

Les PS sont facilement attaqués par de nombreux solvants organiques. Leur résistance aux produits inorganiques (comme des solutions aqueuses) et aux produits alimentaires est bonne. Ils ont une bonne résistance aux acides, bases, aux agents oxydants et réducteurs. Les PS gonflent ou se dissolvent au contact des acides concentrés et des hydrocarbures. Leur stabilité dimensionnelle (capacité à maintenir ses dimensions face aux variations de température, d'humidité et à certaines charges physiques) est excellente (Heim et autres, 2012 et Carraher, 2011).

e- Autres propriétés

Le PS possède un pouvoir calorifique élevé compris entre 31 700 et 41 200 kJ/kg. Ce matériau est imperméable, et il a une très faible absorption d'eau. Comme tous les

polymères basés sur une chaîne d'hydrocarbure, le PS est classé comme non biodégradable dans un horizon séculaire.

III-12- Utilisation du polystyrène : [6]

Les propriétés du PS et son faible coût d'achat permettent son utilisation dans de nombreuses applications et dans différents secteurs.

Le PSE présente certaines caractéristiques qui favorisent son utilisation dans diverses applications :

- Il est léger, **composé de 98 % d'air et de 2 % de matière** solide, ce qui limite d'autant l'impact sur le poids.
- Il est moins dispendieux que d'autres types d'emballages et confère une protection aux produits fragiles suremballés.
- Ses propriétés d'isolant thermique permettent de garder les aliments au chaud ou au froid.
- Le PSE est abondamment utilisé et très prisé pour des emballages alimentaires, des contenants, des plateaux, etc.
- Il est également utilisé pour la fabrication de vaisselles à usage unique.

Sa constitution d'alvéoles remplies d'air procure au PSE d'exceptionnelles propriétés d'amortissement aux chocs. De ce fait, il est utilisé dans les emballages protecteurs pour l'expédition de matériel électronique et autres articles fragiles, pour l'emballage d'équipements électroniques comme les téléviseurs, les ordinateurs et les équipements stéréo.

Les propriétés de stabilité, de durabilité et d'insensibilité à l'action de l'humidité du PSE favorisent sa large utilisation dans l'isolation thermique, dans le secteur du bâtiment, de la construction et du froid (camions frigorifiques, glacières et chambres frigorifiques). Il est également utilisé en milieu agricole (contenants de semis et bacs à afluers) pour le peu de développement des bactéries et moisissures qu'il permet.

Le PS standard est utilisé pour des applications où la transparence et la rigidité sont nécessaires. Il est utilisé dans des produits tels que des couverts, des tasses, des récipients de yogourt, de boulangerie et de fruits et légumes. Les boîtes de Petri et autres contenants de laboratoire tels que tubes à essai et microplaques sont également faits à base de PS.

Le PS est très utilisé dans les jouets, les équipements récréatifs et les articles ménagers. Il est utilisé dans le domaine de l'audio vidéo : boîtiers de *Compact Disc* (CD) et de DVD, parties de téléviseurs, parties de chaîne stéréo. La figure III.17 illustre différents produits selon le type de PS utilisé.

Le PS choc est utilisé lorsqu'une résistance élevée aux chocs est recherchée. Les téléviseurs, dans les modèles les plus récents, sont constitués d'environ 20 % en poids de plastique et de 90 % de PS choc non ignifugé (CRIQ, 2009). On le retrouve également dans les électroménagers.



Figure III-17 : Types d'emballage de polystyrène post-consommation (tiré de : RRPS, 2013).

III-13-Avantages et inconvénients du polystyrène expansé : [9]

Le polystyrène expansé est un produit de très grande diffusion, offrant un vaste champ d'application, outre son utilité dans le secteur de l'emballage, il est utilisé depuis plusieurs

décennies dans le milieu du bâtiment comme coffrage mais aussi et surtout pour les panneaux d'isolation. En effet le polystyrène expansé offre de nombreux et inconvénients :

a- Avantages

- une bonne réflexion thermique grâce à leur couleur blanche naturelle
- une faible conductivité thermique, ils tolèrent une large gamme de températures.
- une bonne résistance à la compression. Ils absorbent assez bien les vibrations.
- un faible coefficient de dilatation.
- une bonne résistance au vieillissement, en effet ils ne pourrissent pas et ne subissent pas de prolifération bactérienne,
- un faible coût de production et un poids plume
- ils sont recyclables car le polystyrène est un matériau facilement transformable.

b- Inconvénients

Même si ce matériau est recyclable, il ne peut quand même pas être considéré comme un matériau vert car le polystyrène étant à la base d'un plastique. Il dérive du pétrole et émet du CO₂ lors de sa fabrication. De plus:

- Les panneaux de PSE sont parfois insuffisants et doivent donc être accompagné d'autres matériaux d'isolation.
- Les billes expansées qui les composent ont tendance à se décoller quand il y a présence d'eau en trop grande quantité, et ils ne permettent pas une bonne isolation phonique.

III.14-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons distingué les différents types de polystyrène et leurs possibilités au recyclage. Nous pouvons dire que ces matériaux sont très utilisés dans divers domaines, et cela à cause de leurs propriétés (physiques, chimiques et mécaniques) qui répondent aux différentes exigences, tels que la légèreté de leurs poids, leurs états de surface et leurs coûts de revient.

CHAPITRE IV :

ETUDE ET

CONCEPTION

DU MOULE

Chapitre IV : Etude et Conception du Moule

IV-1-Introduction

Afin de répondre aux exigences du marché qui requiert sans cesse de nouvelles ou de meilleures propriétés, l'ENIEM doit prendre des décisions et faire des choix dans le but de réduire le coût des emballages utilisés pour la protection de ses produits. L'entreprise a pris des dispositions pour le changement de son emballage existant qui est en carton par des palettes en PSE. Ce nouveau type de matériau est choisi de part sa qualité de rigidité et de sa légèreté.



Figure IV-1 : Palettes utilisées par ENIEM

Le moulage est l'un des procédés mieux adaptés pour l'obtention des pièces en matériau polymère en série utilisées dans l'industrie et dans la vie courante. Dans ce travail, l'étude portera sur la conception d'une palette en PSE qui est un matériau recyclable pour les deux réfrigérateurs ENIEM de types FB1.

Après présentation de la palette en polystyrène expansé, une conception et une étude d'un moule avec ses différentes composantes feront l'objet de ce chapitre.

IV-2-Présentation de la palette en PSE

L'entreprise ENIEM utilise plusieurs types de palettes soit en carton ou en bois afin de protéger ses produits lors du transport et du stockage. Ce type de produit est non seulement difficile à fabriquer mais coûteux aussi, ce qui a un impact direct sur l'économie de l'entreprise et d'une manière indirecte sur la fabrication et son processus. Afin de remédier au problème, une étude de nouvelle palette en matière PSE fut retenue.

La fabrication de ces palettes en polystyrène expansé PSE, permet d'alléger leur poids inférieur à 1 kg et de réduire les coûts de fabrication et de transports.

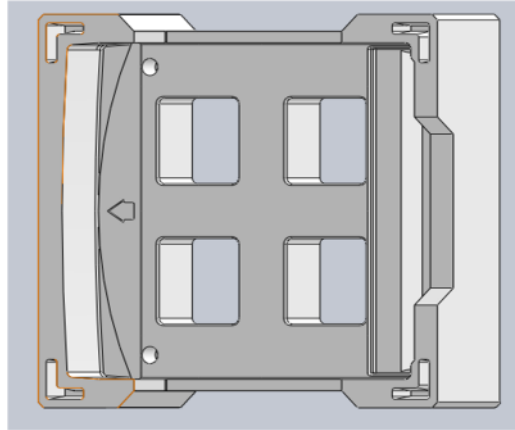


Figure IV-2 : Conception 3D de la palette en PSE.

IV-2-1- Caractéristiques de la palette

Palette légère et économique fabriquée avec matière Polystyrène Expandé (PSE) de caractéristiques suivantes :

- Nom de la matière utilisée : polystyrène expansé PSE.
- Volume de la palette : $0.02847366643 \text{ m}^3 = 28473666.43 \text{ mm}^3$.
- Dimension de la palette : 750x6900x120 mm.
- Poids de la palette : 592g.
- Superficie = 1446656.33 mm^2

Cette palette est conçue pour supporter la charge du produit obtenu et de protéger ses composants lors des opérations de manutention de la chaîne de distribution.

Le (Tableau IV.1) ci-dessous présente la charge que peuvent supporter les palettes en polystyrène expansé-moulé.

Tableau IV.1. Charge en fonction de la masse volumique pour le PSE-M. [6]

Densité du PSE-M	Charge dynamique	Masse moyenne
Densité PSE 30gr/l	300 kg	1,3kg
Densité PSE 60gr/l	600 kg	2,6kg

IV-2-2- Caractéristiques du matériau utilisé (polystyrène expansé PSE)

- Température : Le polystyrène est solide à 20°C et pâteux à 120°C.
- Température de fusion : La fusion s'opérant entre 150°C et 170°C.
- La capacité thermique massique du PSE : est de $1\,210\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Coefficient de dilatation linéique est d'environ $7 \times 10^{-5}\text{ K}^{-1}$.
- Conductivité thermique : 0.038 W/mk.
- Module d'élasticité : 2,8 à 3,4 MPa.
- Densité volumique : 20.8 Kg/m³.

IV-2-3- Avantages de matériaux utilisés

- Légère, économique, résistance mécanique et chimique.
- Hygiénique et inoffensive.
- 100% recyclable.
- Possibilité de recouvrir avec film de polyéthylène (PE) pour augmenter la durée d'utilisation.

IV-3-Présentation du produit à emballer [10]

L'ENIEM est une entreprise nationale spécialisée dans la fabrication de plusieurs gammes de produits électroménagers. Parmi ses gammes de produits, on trouve le réfrigérateur FB1 possédant les caractéristiques ci- dessous :

- Nom du produit : réfrigérateur FB1. (Figure IV-3)
- Dimensions du produit : 1645 x730x590 mm.
- Poids net d produit : 72kg



Figure IV-3-a : Photo du produit à emballer.

IV-3-1-Présentation de la palette montée sur le produit

La maquette ci-dessous représente le produit (réfrigérateur FB1) placé sur la palette

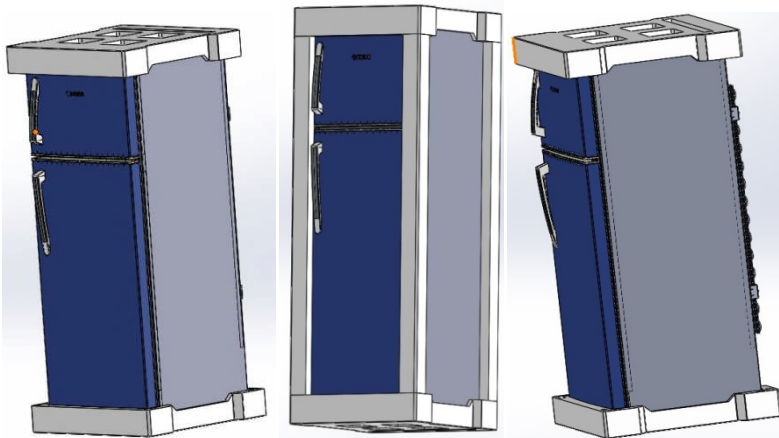


Figure IV-3-b :Produit (réfrigérateur FB1) placé sur la palette PSE.

IV-4-Etude du moule pour la palette en PSE

Le moulage par expansion est un procédé largement utilisé dans la mise en forme des matières plastiques en polystyrène expansé. Cette étude nous ramène à :

- La fabrication d'une pièce finie de forme complexe.
- La fabrication en grande série.
- Minimisation des pertes de matière.
- Minimiser les coûts d'emballage pour le produit réfrigérateur 350S.

- Donner à l'entreprise et à la machine le rendement optimal en créant les conditions en tirant le meilleur parti possible du procédé.

Le choix de plusieurs paramètres peut améliorer considérablement le bon déroulement de l'expansion, ainsi la qualité finale et la quantité des pièces moulées. Ces paramètres sont présentés dans la figure ci-dessous :

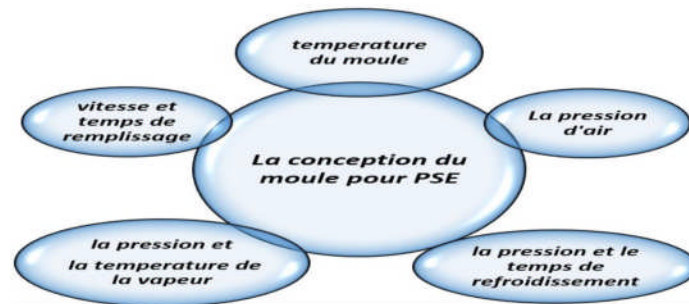


Figure IV-4 : Paramètres utilisés pour la conception du moule en PSE.

IV-5- Paramètres du moulage [10]

- Température de chargement de la matière principale : 30°C (température ambiante).
- Température des parois du moule : ces parois sont chauffées après passage de la vapeur d'eau à 95°C, la matière à l'entrée trouve le moule à une température ambiante
- Temps du chauffage du moule : 2 Sec.
- Pression de chargement : 0.7 bar.
- Pression de la partie mobile : 0.4 bar.
- Pression de la partie mobile : 0 bar.
- Chauffage d'un côté opposé : 2 Sec.
- Chauffage des deux côtés : 5 Sec.
- Temps de remplissage de la matière : 30 Sec.
- Temps de maintien de la pression : 03 Sec.
- Temps du refroidissement : 30 Sec.
- Temps de refroidissement par air : 2 min.
- Source de pression de vapeur : 0.7 bar.
- Source de pression de refroidissement : 0.5 bar.
- Source de pression d'air : 0.5 bar.

- Pression à la sortie du moule : 0.1 bar.
- Temps total du cycle : 3- 15 min.

IV-6- Conception du moule

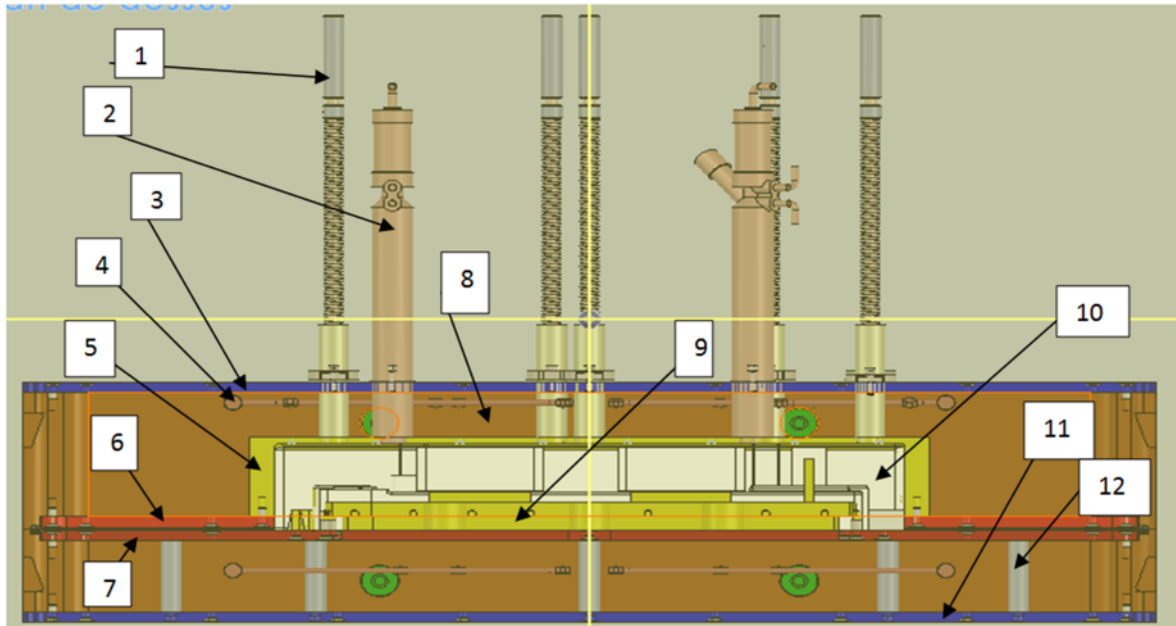
Pour la conception du moule, nous avons opté pour le logiciel SolidWorks qui est un logiciel utilisé dans la conception mécanique. Il permet de réaliser de la modélisation 2D et 3D. Ce logiciel de CAO est réputé pour sa simplicité d'utilisation et se veut intuitif.

IV-6-1-Définition du moule

Le moule est un ensemble des pièces mécaniques de grande précision qui permet de fabriquer des pièces en série et de forme complexe en injectant de la matière PSE dans les empreintes prévues à cet effet. Il est monté sur une machine appelée expasseur. Ce dernier est composé de deux parties principales, une partie fixe pour l'injection de la matière et une partie mobile pour la fermeture de l'empreinte.



Figure IV-5 : photo réelle du moule



- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1- Ejecteur | 7- Plaque porte empreinte mobile |
| 2- Chargeuse | 8- Cadre fixe |
| 3- Plaque cache cadre fixe | 9- Empreinte mobile |
| 4- Système de refroidissement | 10- Volume occupé par la pièce |
| 5- Empreinte fixe | 11- Plaque cache cadre mobile |
| 6- Plaque porte empreinte fixe | 12- Tasseaux |

Figure IV-6 : conception 3D de moule (vue en coupe)

IV-6-2-Différentes parties constituant le moule

Le moule est constitué de deux parties, partie fixe et partie mobile. Ces appellations sont faites en fonction de leur utilisation sur la machine.

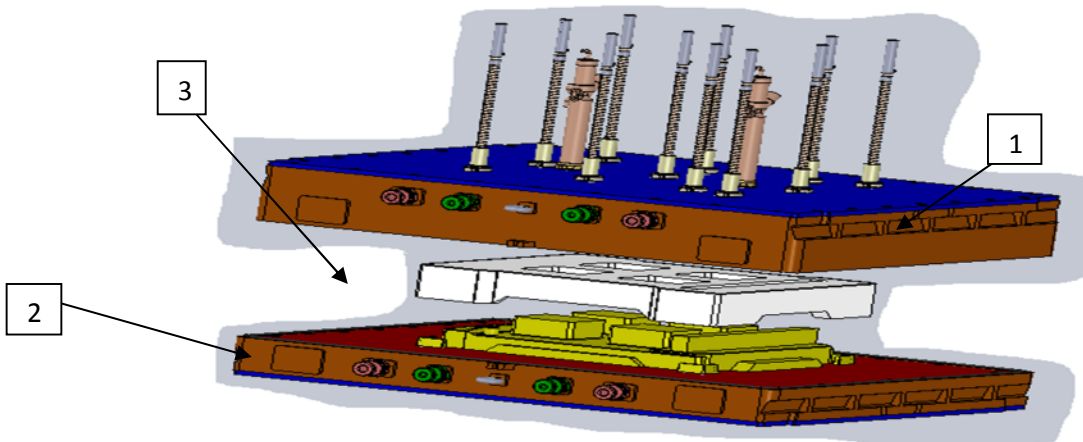


Figure IV-7 : Conception 3D du moule

IV-6-2-1-Partie fixe

Cette partie est composée de :

- Deux chargeuses (injecteur) qui permettent de charger le moule en PSE.
- Onze éjecteurs qui permettent d'éjecter la pièce à l'ouverture du moule.
- Deux systèmes de refroidissement (par air, par eau).

Cette partie est alimentée par deux sécurit, sécurit de vapeur et un circuit d'eau.

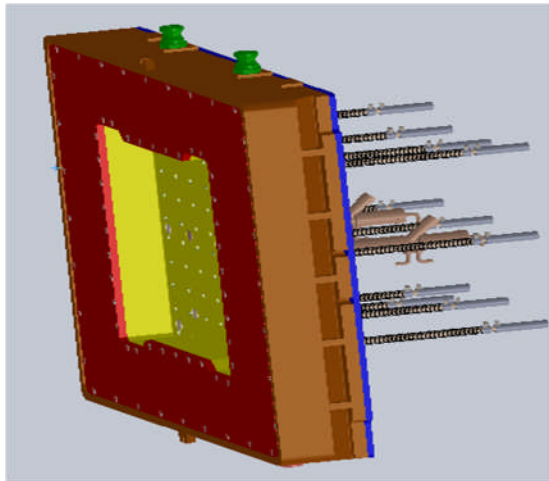


Figure IV-8 : Cconception 3D de la partie fixe

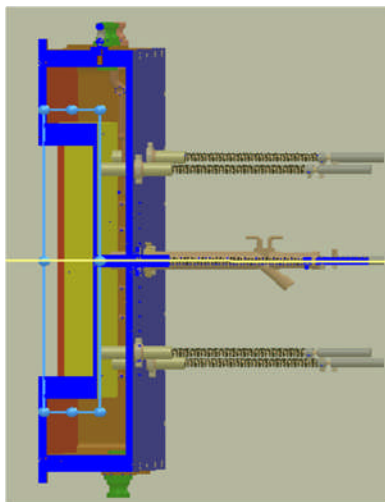


Figure IV-9 : Conception 3D de la partie fixe (vue en coupe)

IV-6-2-1-1-Ejecteur

Cet éjecteur permet de dégager la pièce de la partie fixe.

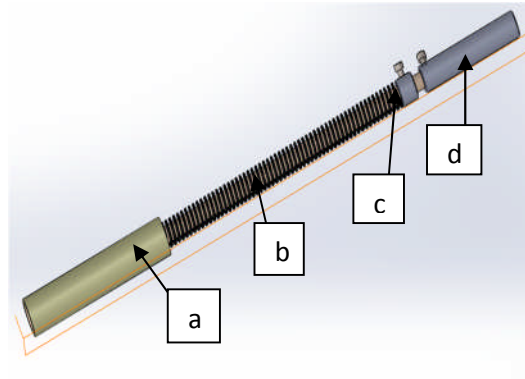


Figure IV-10 : conception 3D de l'éjecteur

- a- Corps d'éjecteur,
- b- Ressort,
- c- Butée servant de réglage de la force de rappel du ressort,
- d- Butée servant de réglage du pas d'éjecteur.



Figure IV-11 : Photos des éjecteurs montés sur le moule

IV-6-2-1-2-Chargeuse (injecteur)

Elle assure le remplissage du moule.

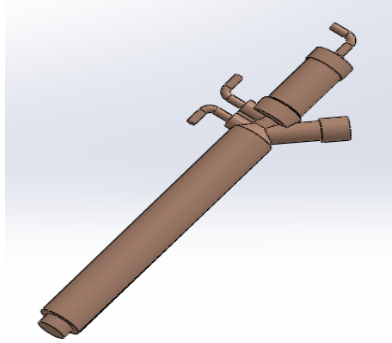


Figure IV-12-a :Conception 3D de la chargeuse



Figure IV-12-b-Photo de la chargeuse



Figure IV-13 :Photo des chargeuses montées sur le moule

IV-6-2-1-3-Tétines

Les tétines servent d'alimenter le moule en eau et en air et de le vidanger.

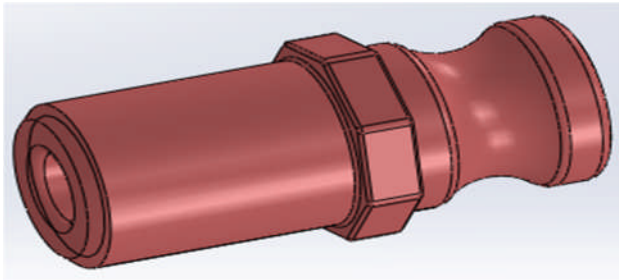


Figure IV-14 : Conception 3D de tétine.

IV-6-2-1-4-Système de refroidissement

Il est conçu pour refroidir l'empreinte du moule.

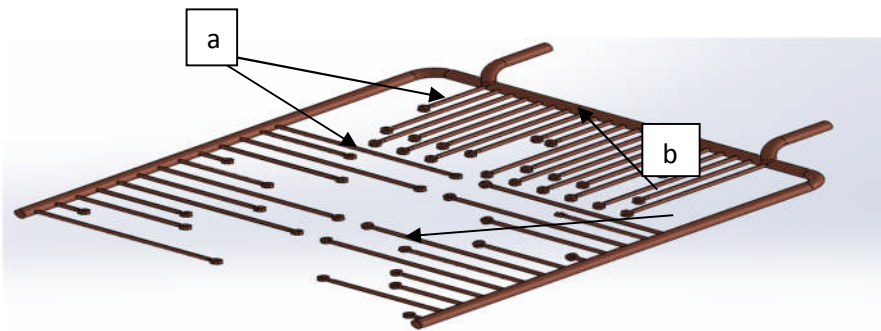


Figure IV-15 : Conception 3D du système de refroidissement.

IV-6-2-1-4-a- Sécurité de refroidissement

Le serpentin que nous avons conçu est de forme carrée avec des canaux de section circulaire pour de nombreux avantages telle que leur facilité d'usinage. La section des canaux ne doit pas être très grande au risque d'un affaiblissement du moule. Des buses de pulvérisation sont soudées sur le serpentin de sorte que l'eau passant dans ce dernier puisse refroidir tous les coins de l'empreinte.

IV-6-2-1-4-b- Bec injecteur

Permet d'éjecter de l'eau sur l'empreinte.

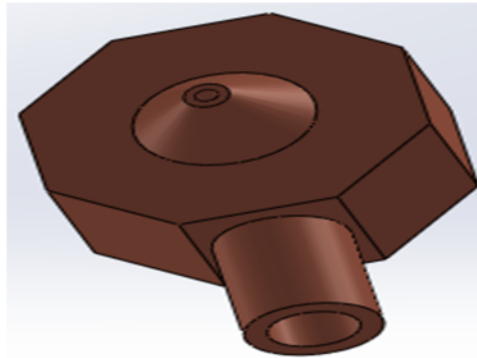


Figure IV-16 : Conception 3D du bec éjecteur d'eau.

IV-6-2-2-partie mobile

Cette partie possède l'empreinte mobile et elle est alimentée par de sécurité (vapeur, eau).

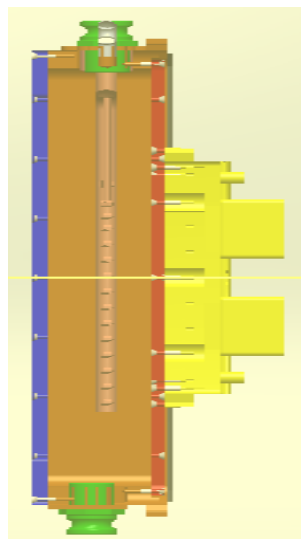


Figure IV-17 : conception 3D de la partie mobile (vue en coupe)

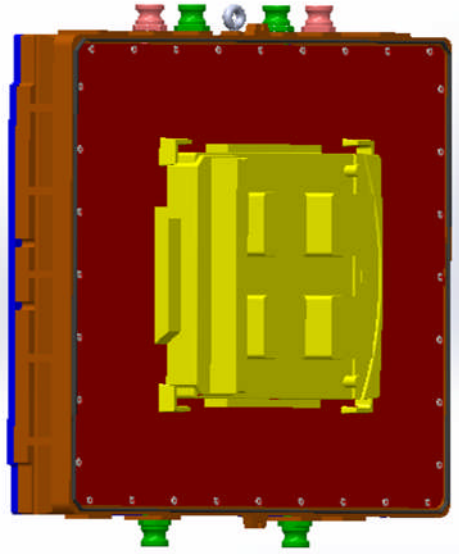


Figure IV-18 : Conception 3D de la partie mobile

IV-7- Fonctions du moule

Un moule doit remplir plusieurs fonctions :

- Fonction mise en forme,
- Fonction alimentation,
- Fonction refroidissement,
- Fonction éjection.

IV-7-1-Fonction mise en forme

Dans un moule à expansion, le nombre d'empreintes est généralement en fonction du volume de la pièce. On peut avoir une ou plusieurs empreintes dans un moule dans le but de réduire le coût et la durée de fabrication. La forme de la pièce obtenue est le volume qui sépare les deux empreintes.

IV-7-1-1-Notion de dépouilles

Pour faciliter le démoulage de la pièce, on fait une dépouille sur les deux empreintes avec des angles de dépouille précis. Cette notion est faite pour minimiser les frottements entre la pièce et l'empreinte et pour éviter une éventuelle déformation de la pièce.

IV-7-1-2-Lignes de joints

Les lignes de joints sont des marques sur la pièce démoulée qui résultent du contact de différents éléments de l'outillage participant au morcellement de l'empreinte.

Il existe deux types de lignes de joints :

- Joints extérieurs.
- Joints intérieurs.

IV-7-1-2-a-Ligne de joint extérieure ou externe

On appelle ligne de joint extérieure, la trace que le plan de joint de l'outillage laisse sur les pièces. Elle résulte du contact entre la partie mobile et la partie fixe de l'outillage. Elle est toujours une ligne dite fermée.

IV-7-1-2-b-Ligne de joint intérieure ou interne

On appelle ligne de joint interne, la trace que laissent les éléments de formes moulant tels que les broches, les poinçons et les noyaux lorsque ces derniers viennent en contact avec la partie opposée du moule (fermeture).

IV-7-2-Fonction alimentation

Le moule est alimenté par quatre sources :

- une source de matière première (PSE),
- une source d'air pour refroidissement,
- une source de vapeur,
- une source d'eau.

IV-7-3-Fonction refroidissement

Le moule contient deux circuits de refroidissement :

- Refroidissement par eau (les températures d'eau varient entre 20°C 30°C).
- Refroidissement par air.

Cette fonction est nécessaire pour garder la géométrie de la pièce.

IV-7-4-Fonction éjection

Lors de l'ouverture du moule, la pièce reste dans l'empreinte fixe, la fonction d'éjection est conçue afin de permettre l'extraction des pièces de moule. Cette extraction assurée par des éjecteurs.

IV-8-Choix de la machine [10]

L'entreprise ENIEM utilise deux types de machines (ACE 25AR et ACE 7AR). Le choix de la machine repose sur les dimensions du moule. Vu les dimensions de notre moule qui sont 51350 mm/1150 mm), nous avons opté pour le choix de l'expandeur (ACE 25AR).

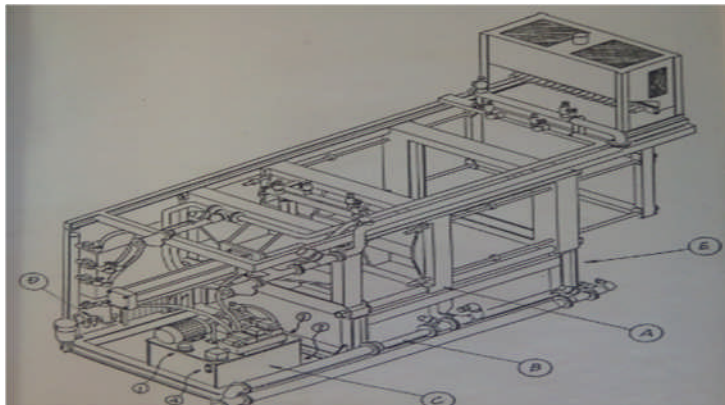


Figure IV-19 : schéma de la machine ACE 25AR

IV-9- Partie calculs

IV-9-1-Masse de la matière mise en œuvre

Masse de la matière = (volume de la pièce × masse volumique de la matière) + perte

La perte (bavures) doit être déterminée expérimentalement pour chaque moule et pour chaque matière.

$$\rho = M/V \quad M = \rho \cdot V \quad \rightleftharpoons$$

$$\text{Avec } \left\{ \begin{array}{l} \rho = 20,80 \text{ Kg/m}^3 \\ V = 0,028 \text{ m}^3 \end{array} \right. \quad \rightleftharpoons \quad M = 20,80 \cdot 0,028 = 0,592 \text{ Kg}$$

$$M = 592\text{g}$$

IV-9-2-Force de moulage

La pression de moulage **P** est calculée comme suit :

$$P = F/S \cdot [K] \rightleftharpoons F = [K] \cdot P \cdot S$$

Pour une pression recommandée par le constructeur de **0,7 bar**

$$P = 0,7 \text{ bar} = 7,13 \text{ tonnes/m}^3$$

$$P = 0,7 \text{ tonnes/m}^3$$

F : est la force totale appliquée sur le moule.

S : est la surface projetée de la moulée (plan horizontal), égale à la somme de la surface projetée de toutes les empreintes. Donnée par **SolidWorks**.

$$S = 1,44 \text{ m}^2$$

[K] : Coefficient de sécurité. Entre **1,5 et 2**

AN :

- Pour [K] = 2

$$F = 2 \cdot 7,13 \cdot 1,44 \Rightarrow F = 20,53 \text{ tonnes}$$

$$\Rightarrow F = 21 \text{ tonnes} = 21000 \text{Kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2$$

$F = 210000 \text{ N}$

IV-9-3-Résistance des éléments du moule

La force exercée par les plateaux de la machine sur les différentes plaques du moule, engendre des contraintes à l'intérieur de celui-ci qui provoquent des déformations caractérisées d'une plaque à une autre. La force de fermeture qu'exerce une machine à expansion est égale à son tonnage. Partant de ce principe, l'expanseur fournit une force de fermeture de 21Tonnes. Donc la force de fermeture F du moule est de $20 \cdot 10^4 \text{N}$.

IV-9-3-1-Condition de résistance au matage

La condition de résistance s'écrit :

$$\sigma \leq [\sigma] \Rightarrow \sigma = F / S \leq R_p$$

Avec : $R_p = R_e / S'$,

Où R_e : résistance limite à la traction ($R_e \leq 100 \text{ MPa}$ pour l'aluminium).

S' : coefficient de sécurité

Pour l'Aluminium, le coefficient de sécurité est compris entre **1,5 et 2**.

Pour $S' = 2$

$$\Rightarrow R_p = 100 / 2 = 50 \text{ MPa}$$

1- Les deux plaques arrière fixe et mobile sont soumises à une compression.

La condition de résistance à la compression s'écrit comme suit :

$$\sigma = F / S$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F} : \text{force exercée sur la plaque. } F = \mathbf{210000 \text{ N}} \\ \mathbf{S} : \text{surface de la plaque soumise au matage. } S = \mathbf{l \cdot e} \\ \mathbf{e} : \text{épaisseur de la plaque. } e = \mathbf{15 \text{ mm.}} \\ \mathbf{l} : \text{longueur de la plaque. } l = \mathbf{1350 \text{ mm.}} \end{array} \right.$$

A.N :

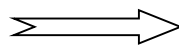
$$\sigma = F / S \leq R_p$$

$$\sigma = 210000 / (15 \cdot 1350) = 210000 / 20250$$

$$\sigma = 10,37 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = 10,37 \text{ Mpa}$$

$$10,37 < 50 \text{ MPa } \sigma < R_p$$



Condition vérifiée

2- Cadre partie fixe

$$\sigma = F / S \leq R_p$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F} : \text{force exercée sur le cadre. } F = \mathbf{210000 \text{ N}} \\ \mathbf{S} : \text{surface de la plaque soumise au matage. } S = \mathbf{l \cdot e} \\ \mathbf{e} : \text{épaisseur de la plaque. } e = \mathbf{51 \text{ mm.}} \\ \mathbf{l} : \text{longueur de la plaque. } l = \mathbf{1350 \text{ mm.}} \end{array} \right.$$

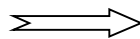
AN :

$$\sigma = F / S \leq R_p$$

$$\sigma = 210000 / (51 \times 1350) = 210000 / 68850$$

$$\sigma = 3,05 \text{ MPa}$$

$$3,05 \text{ MPa} < 50 \text{ MPa}$$



Condition vérifiée.

3- Tasseaux partie mobile : (formes cylindriques)

$$\sigma = F / (S \cdot S'') \leq R_{ep}$$

Avec

- F: force exercée sur les tasseaux. $F = 210000$. $d = 25 \text{ mm}$.
- S'': volume du cylindre, $S'' = \pi \cdot 25^2 / 4 = 490,625 \text{ mm}^2$
- L: longueur du cylindre, $L = 104 \text{ mm}$
- N: Nombre de tasseaux, $N = 12$

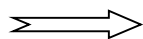
AN :

$$\sigma = F / (S \cdot S'') \leq R_p$$

$$\sigma = 120000 / (490,625 \cdot 12) = 210000 / 5887,5$$

$$\sigma = 35,66 \text{ MPa}$$

$$35,66 \text{ MPa} < 50 \text{ MPa}$$



Condition vérifiée.

IV-9-3-2- Calcul de la résistance des vis

Afin de vérifier la résistance des vis du moule, il est nécessaire de définir le comportement de quelques pièces sollicitées mécaniquement.

IV-9-3-2-1-Poids des pièces constituant le moule

Le poids est déterminé par la relation suivante (Tableau.) :

$$P = \rho \cdot V$$

P : poids de la pièce en [Kg].

Avec ρ : masse volumique en [Kg/m³] . $\rho = 2700\text{Kg /m}^3$.

V:volume de la pièce en m³.données de Solidworks.

Tableau IV-2. Calculs du poids et du volume de chaque pièce.

Nom de la pièce	Matière	Volume[m ³]	ρ densité volumique [Kg/m ³]	Poids [Kg]
Plaque cache cadre fixe	Al Mg 5	0.022	2700	59.4
Plaque porte empreint fixe	Al Mg 5	0.016	2700	43.2
cadre partie fixe	Al Mg 5	0.040	2700	108
Empreinte fixe	Al Mg 5	0.018	2700	48.6
Cadre partie mobile	Al Mg 5	0.022	2700	59.4
Empreinte mobile	Al Mg 5	0.0134	2700	36.18
Plaque porte empreinte mobile	Al Mg 5	0.0176	2700	47.52
Plaque cache cadre mobile	Al Mg 5	0.023	2700	62.1
tasseaux	Al Mg 5	0.000031	2700	0.0837

IV-9-3-2-2- Condition de résistance au cisaillement

Données : Vis **CHC** à têtes fraisées à 6 pans creux **ISO 10642**.

Condition de résistance :

$$\tau = F / (S \cdot N \cdot n) \leq [\tau] \text{ cis}$$

Avec

- Re** : limite d'élasticité la vis. **Re = 250 MPa.**
- S** : Coefficient de sécurité; **S = 2.**
- N** : Nombre de vis.
- n** : Nombre de sections cisillées.
- F** : Poids des pièces.
- d** : diamètre de la vis

$$[\tau]_{\text{cis}} = (Re/2) \times 0,8 = (250/2) \times 0,8 = 100 \text{ MPa}$$

$[\tau]_{\text{cis}} = 100 \text{ MPa}$

IV-9-3-2-2-1- Partie mobile

a- Plaque cache cadre mobile

$$F = 621 \text{ N}$$

Avec

- N = 32**
- n = 1**
- S = 51,71 mm²**
- D = 8,5 mm**

$$[\tau] = F / S \cdot n \cdot S \leq [\tau] \text{ cis}$$

$$[\tau] = 621 / (32 \times 1 \cdot 56,71)$$

$[\tau] = 0,342 \text{ MPa}$

$$0,342 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

⇒ Condition vérifiée.

b- Plaque porte empreinte mobile

$$F=475,2\text{N}$$

$$\text{avec } \left\{ \begin{array}{l} N=85 \\ n=1 \\ S=56,71\text{mm}^2 \\ D=8,5\text{mm} \end{array} \right.$$

$$\tau = F / (N \cdot n \cdot S) \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

$$\tau = 475,2 / (85 \cdot 1 \cdot 56,71)$$

$$\tau = 0,098 \text{ MPa}$$

$$0,098 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

⇒ Condition vérifiée.

IV-9-3-2-2-2-Partie fixe

1-Plaque cache cadre fixe

Avec

$$\left\{ \begin{array}{l} F=594\text{N} \\ N=58 \\ n=1 \\ S=56,71\text{mm}^2 \\ D=8,5\text{mm} \end{array} \right.$$

$$\tau = F / (N \cdot n \cdot S) \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

$$\tau = 594 / (58 \cdot 1 \cdot 56,71)$$

$$\tau = 0,180 \text{ MPa}$$

$$0,180 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

⇒ Condition vérifiée.

2- Plaque porte empreinte fixe

$$\text{Avec } \left\{ \begin{array}{l} F=432\text{N} \\ N=68 \\ n=1 \\ S=56.71\text{mm}^2 \\ D=8.5\text{mm} \end{array} \right.$$

$$\tau = F/N \times n \times S \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

$$\tau = 432 / (68 \times 1 \times 56.71)$$

$$\tau = 0.112 \text{ MPa}$$

$$0.112 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

⇒ Condition vérifiée.

IV-10-Simulation numérique

Après vérification aux différentes conditions de résistance des différents constituants du moule, il est nécessaire de faire une simulation numérique du comportement mécanique de la palette en polystyrène expansé, qui est soumise à une compression durant sa manutention. Cette simulation est obtenue par le logiciel solidWorks.

IV-10-1-Simulation

IV-10-1-1-Application de la charge

Les flèches représentées sur la figure IV.20 montre l'aire sur laquelle le poids duréfrigérateur est appliqué.

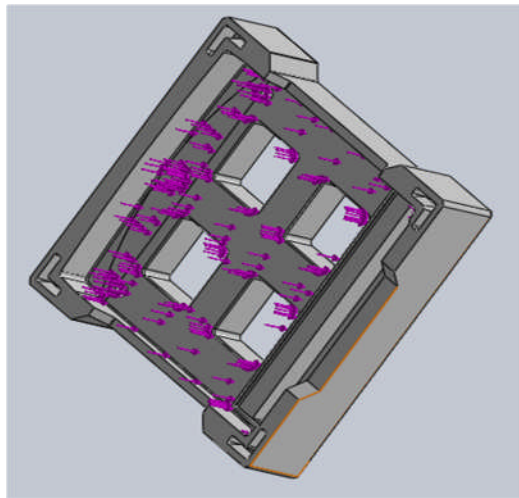


Figure IV-20 : Zone d'application de charges.

IV-10-1-2- Les conditions aux limites

La figure IV-21, représente les conditions aux limites imposées sur la palette en PSE. Comme le contact palette-sol est un contact plan, les déplacements suivant X et Y sont libres, et celui suivant Z est bloqué.

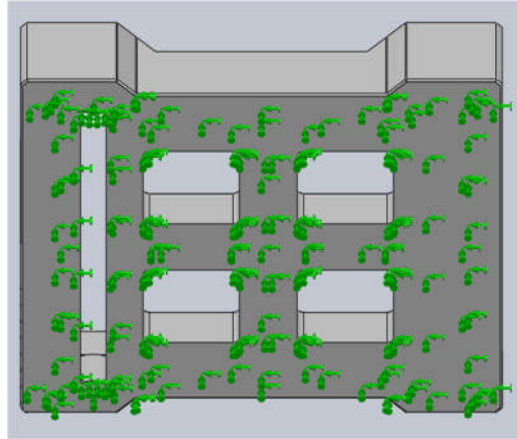


Figure IV-21 : Conditions aux limites imposées sur la palette en polystyrène expansé.

IV-10-1-3-Le maillage

Nous avons adopté pour un maillage tétraédral pour la discrétisation de la palette en éléments finis de type tétraédraux. Ce maillage est illustré par la figure IV-22.

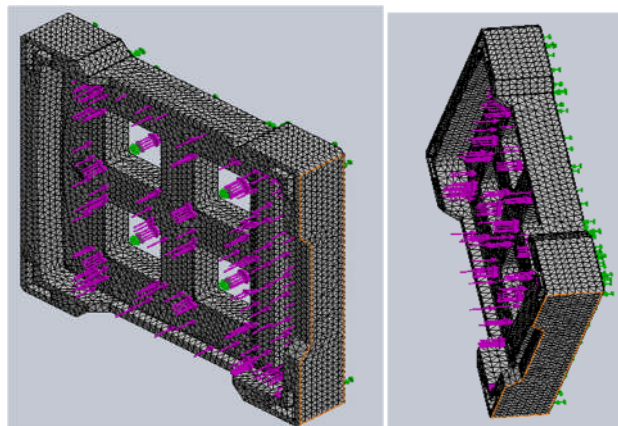


Figure IV-22 : Maillage adopté pour la palette.

IV-10-2-Résultats obtenus

Les figures IV- 23,24, représentent les différents résultats obtenus à l'aide du SOLIDWORKS.

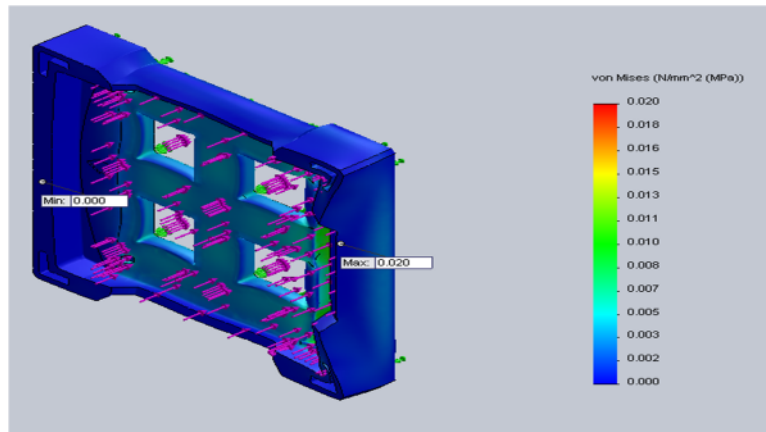


Figure IV-23 : Concentration de contraintes sur la palette en PSE.

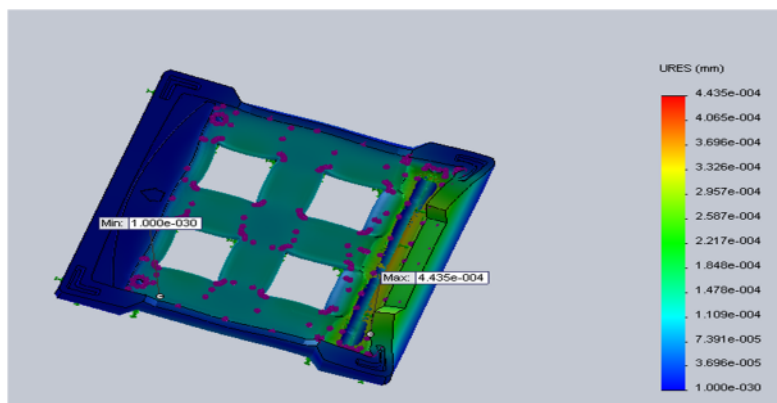


Figure IV- 24:Déplacements sur la palette en PSE .

IV-11-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié et conçu le moule et la palette en PSE avec le logiciel Solidworks, et on a pu vérifier les différents éléments aux efforts causés lors de l'ouverture et de fermeture du moule.

Après cette étude, une simulation numérique a été utilisée en deuxième lieu pour vérifier la résistance de la palette en PSE. Les résultats obtenus, justifient la résistance de cette dernière aux différentes conditions lors de sa manutention.

Conclusion générale

Le stage de fin d'études que nous avons effectué au niveau de l'entreprise ENIEM s'est déroulé dans un bureau d'étude en collaboration des ingénieurs et techniciens spécialisés dans la conception et la maintenance des systèmes de production. Durant cette période, nous avons approfondi nos connaissances dans notre domaine de construction mécanique sur le plan pratique que théorique.

Notre travail est divisé en deux parties. La première partie est consacrée à l'étude et à l'analyse de la matière plastique qui est le polystyrène expansé qui fera l'objet de la suite de notre travail.

La deuxième partie consiste en une conception et à l'étude d'un nouveau moule permettant la production par moulage d'un nouveau produit en polystyrène expansé. Ce produit servira de palettes d'emballage pour les réfrigérateurs. Cette conception est faite avec le logiciel Solidworks. Afin de valider notre travail, une vérification à la résistance des différents constituants du moule a fait également l'objet de cette partie.

Enfin, nous souhaitons que la réalisation de ce produit (palette) et le moule devienne effectifs pour l'entreprise (ENIEM) et que ce mémoire soit bénéfique et servira comme référence pour les promotions à venir.

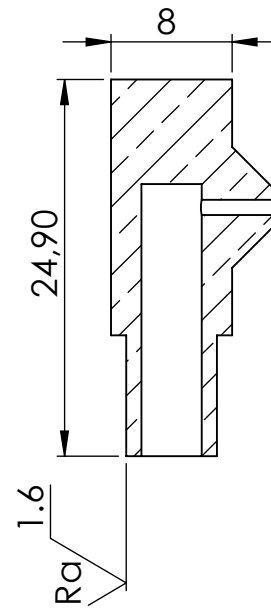
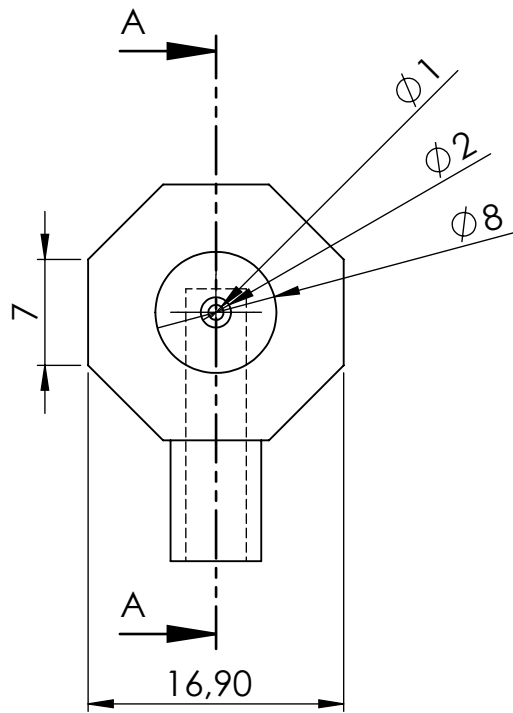
Références Bibliographiques

- [1] : AUBRY Jacky :les matières plastiques/ technologie des matériaux
- [2] : Mémotech matières plastiques Edition : CASTEILLA, Claude CORBET
- [3] : WILLAY Caroline : Les polymères/ Physique-chimie STIDD-STL 12/2011.
- [4] : GRIDAINE .D :Mise en Œuvre des polymères/2010.
- [5] : plasturgie2010-ENSILc_simplifie ; UNIVERSITE DE LIMOGES ENSIL
MECATRONIQUE
- [6] : MAHIOUT Soraya : Mettre en valeur ou bannir le polystyrène-Approche dans un cadre de développement durable, thèse de doctorat, université SHERBOCK, 2014.
- [7] : © Société Chimique de France. Les types de polystyrène
- [8] : BEGHIN Bertrand polystyrène expansé, techniques de l'ingénieur, Haute étude Industrielles Ile de France (HEI), 2008, référence internet AM3341.
- [9] : NOVA CHEMICAL®, le stockage et la manutention du polystyrène expansé, guide de sécurité, France, 2005.
- [10] : ENIEM, documents fournies par l'entreprise ENIEM, fiche technique des outillages.

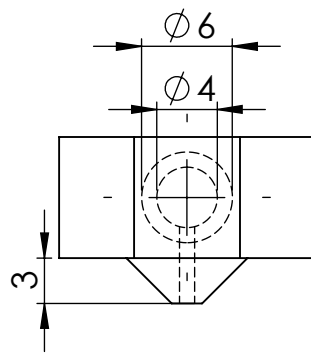
LES

MISES

EN PLAN

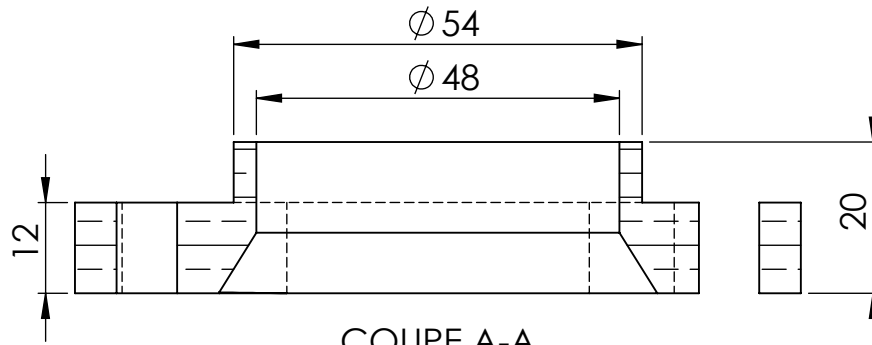
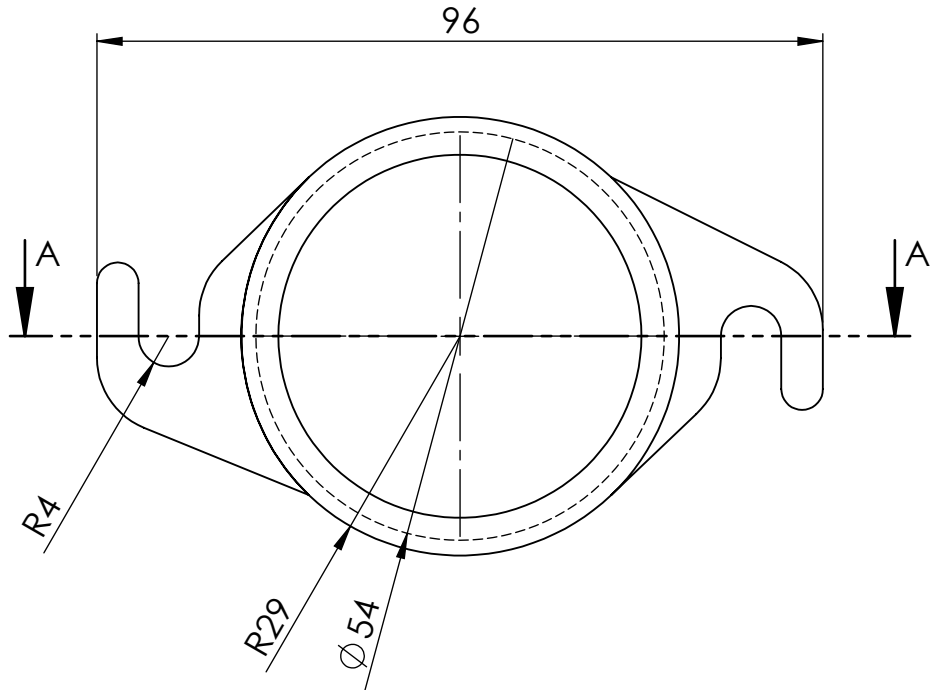


COUPE A-A



IT= 0.05

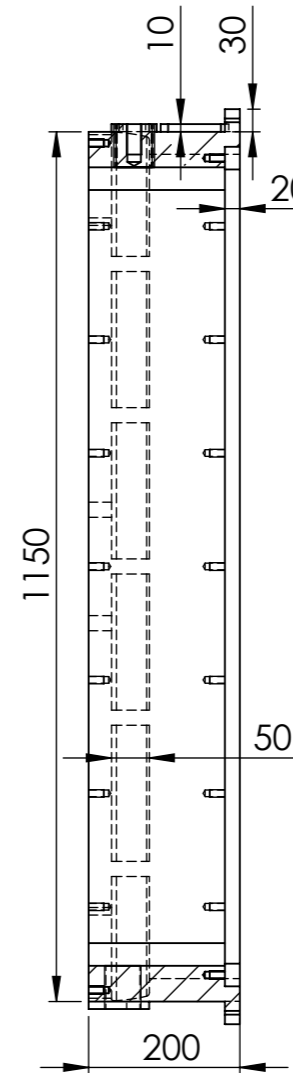
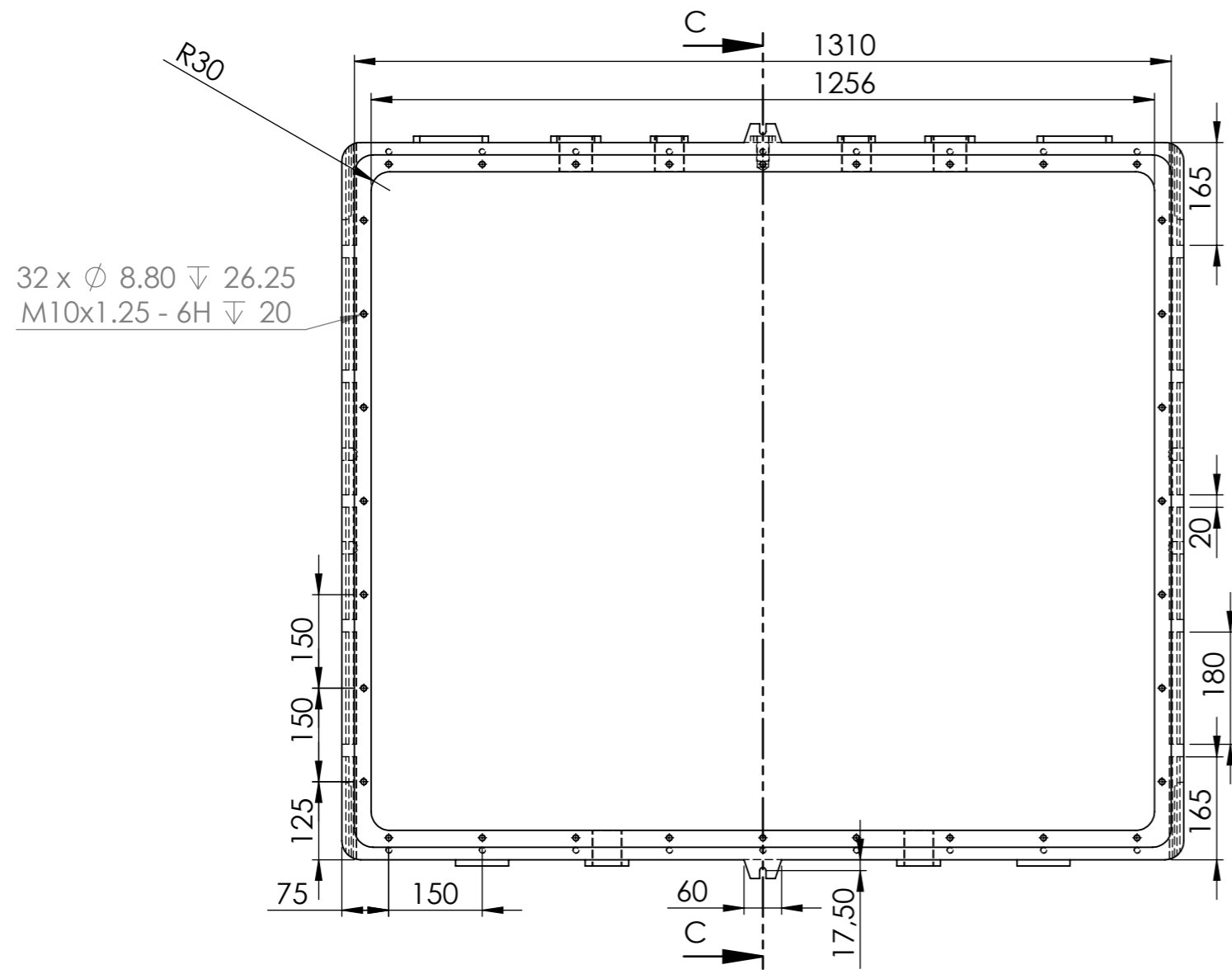
10	60	BEC EJECTEUR D'EAU	Bronze	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2/1	MOULE A EXPANSION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGERATEUR FB1-350 ST-A			ZAGHOUD GHILES ZIDOUUD MOULOUD
				2017/2018
A4	FGC-GM-CM-UMMTO			MASTER 2



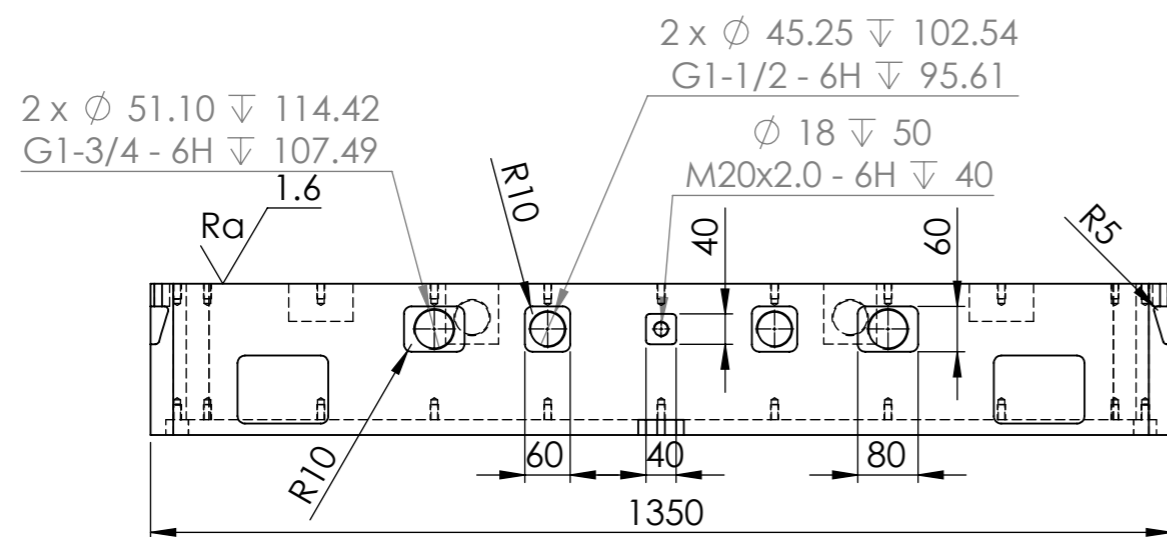
COUPE A-A

IT= 0.1

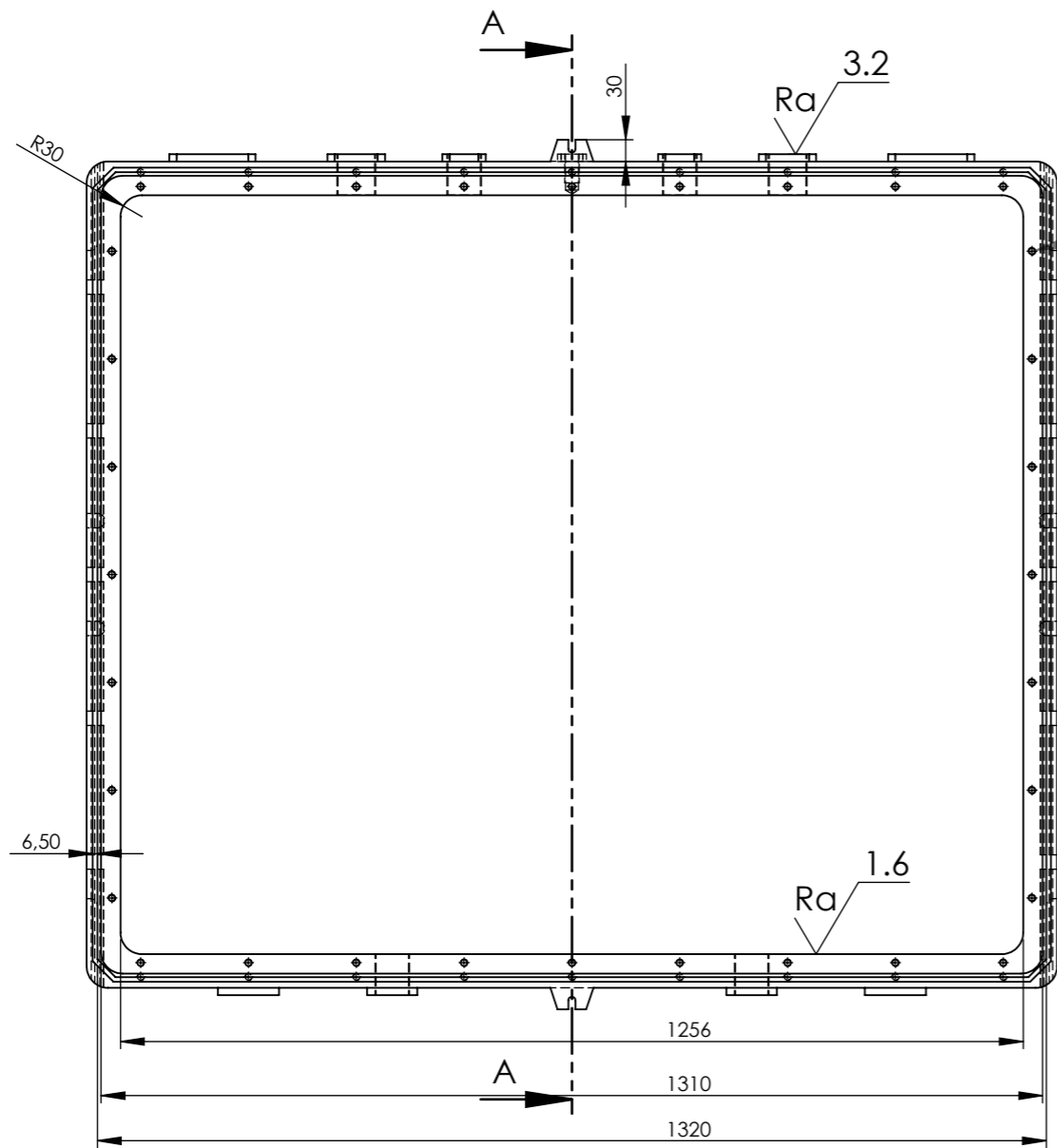
20	02	Bride chargeuse	Bronze	
RF	NB	Désignation	Matière	Observations
ECH: 1/1		MOULE A EXPANSION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGERATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOU MOULOU	
			2017/2018	
A4			MASTER 2	
		FGC-GM-CM-UMMTO		



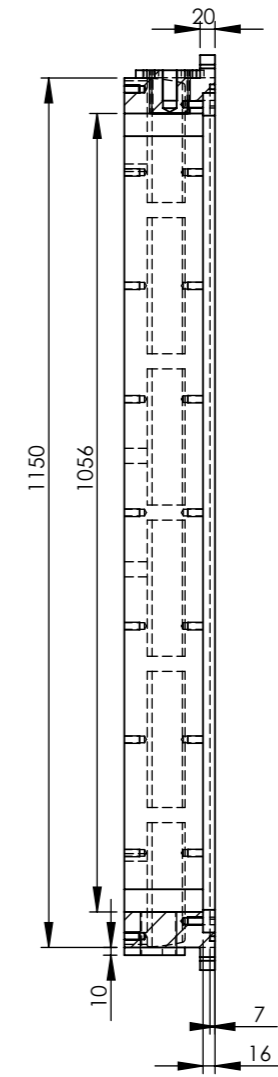
COUPE C-C



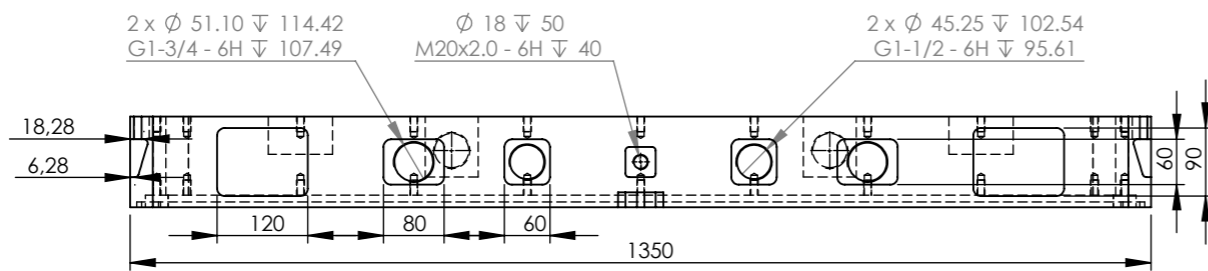
16	01	cadre fixe	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
Ech:1/10	MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A			ZAGHOUD GHILES ZIDOUUD MOULOUD
				2017/2018
A3	FGC-GM-CM-UMMTO			MASTER 2



32 x Ø 8.80 ∇ 26.25
M10x1.25 - 6H ∇ 20

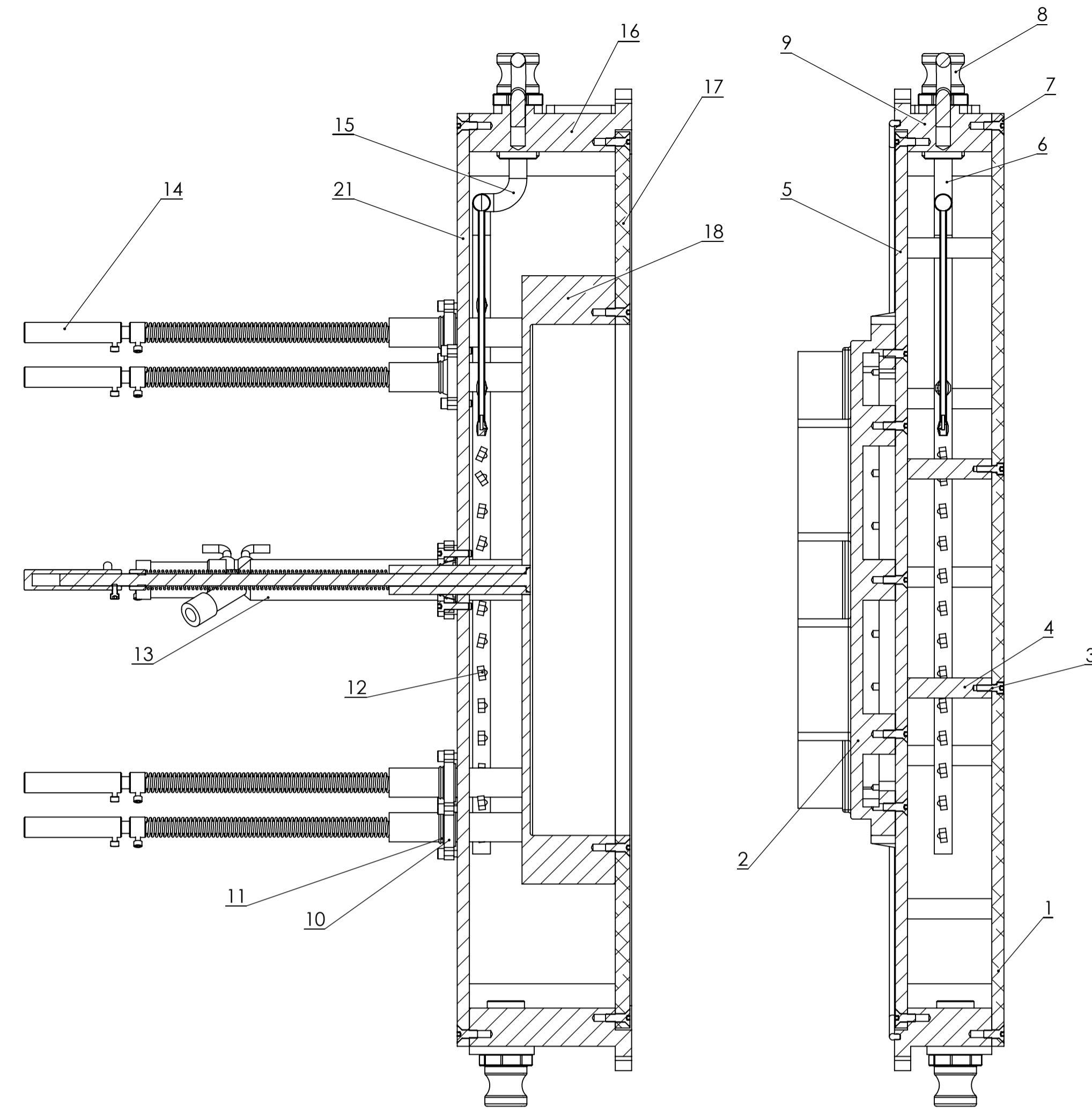
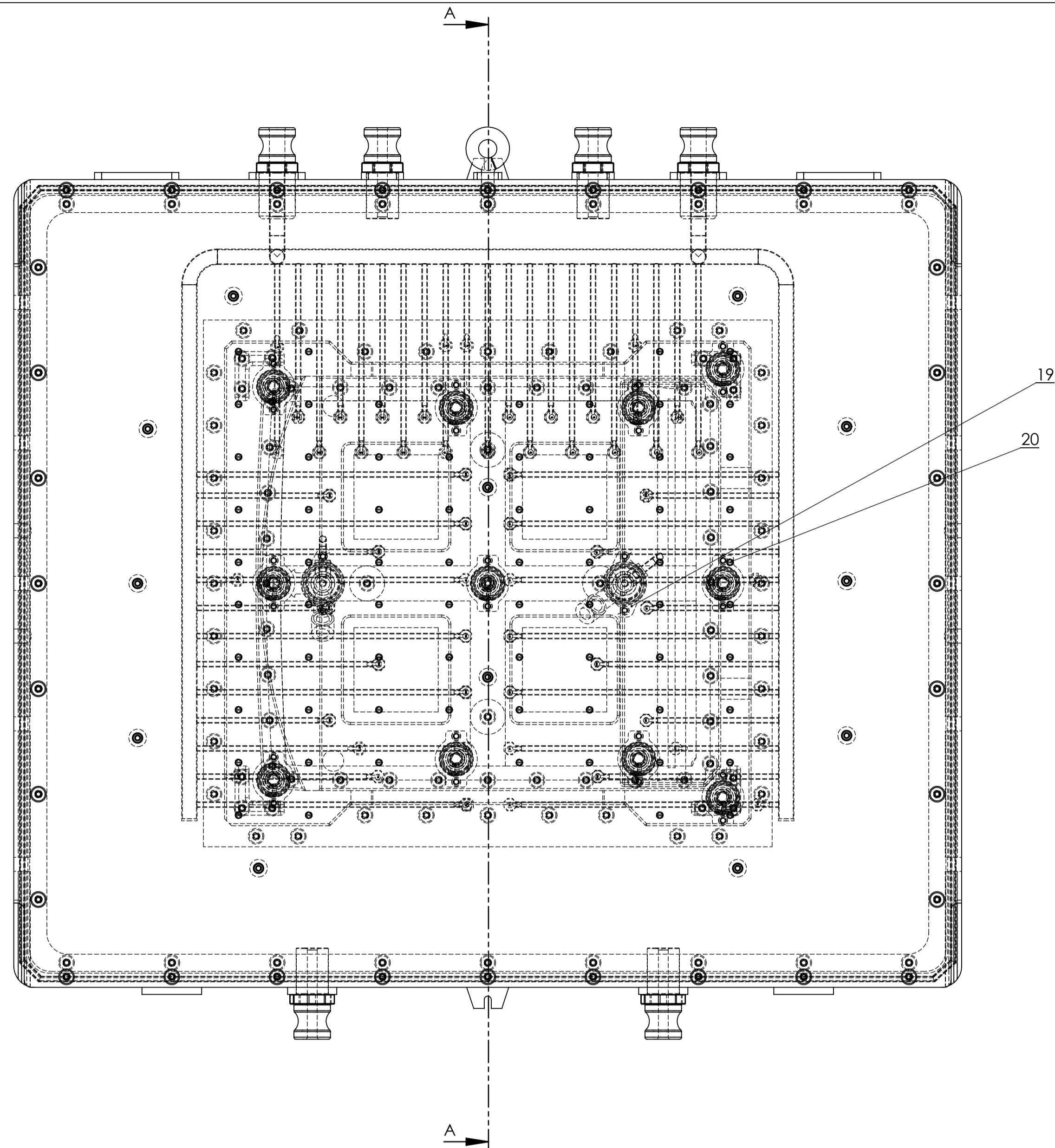


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 10



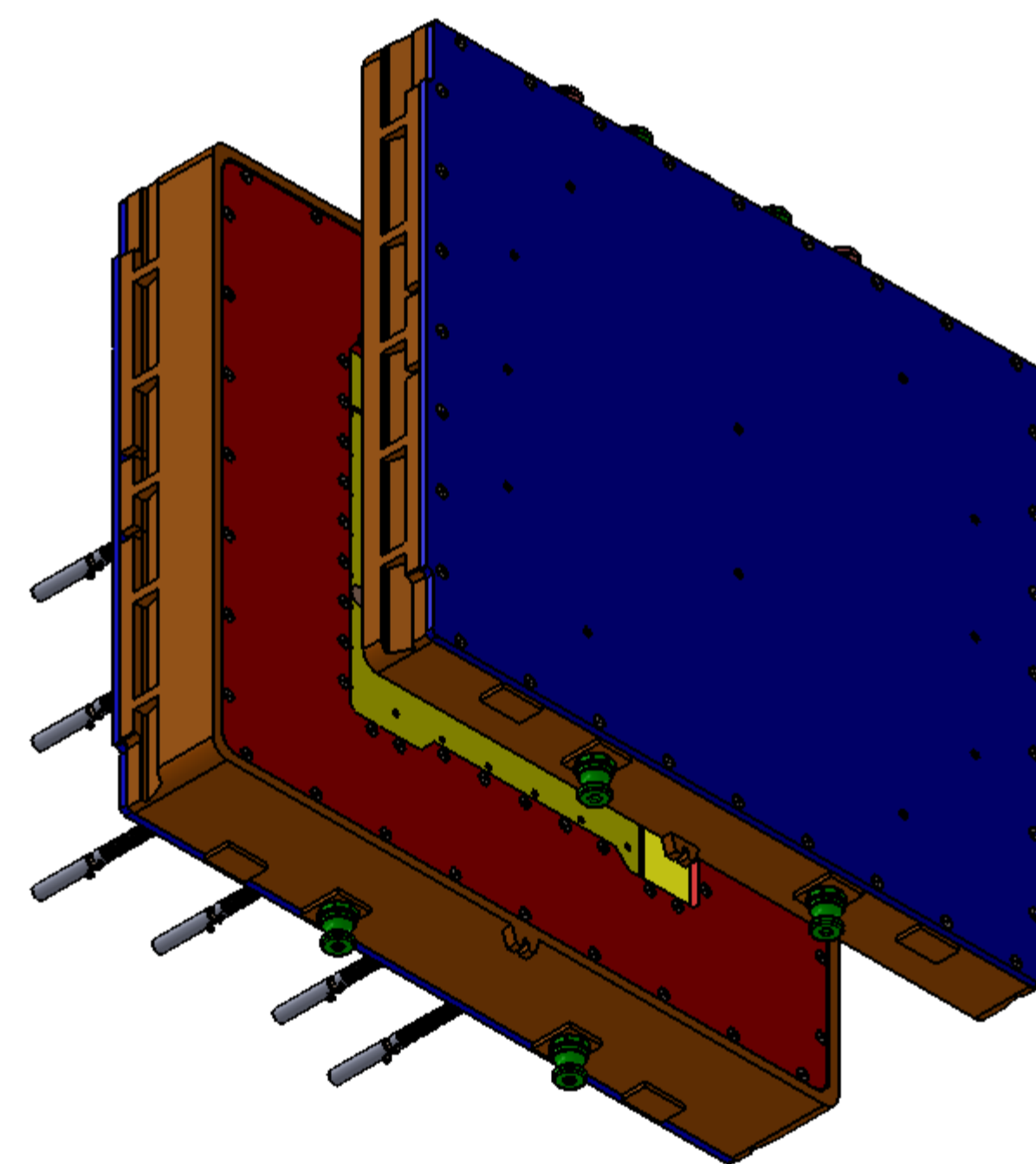
IT= 0.1

09	01	Cadre mobile	AL Mg 5	
Rep	Nb	Designation	Matiere	Observations
Ech:1/10		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUD MOULOU	
			2017/2018	
A3			MASTER 2	
		FGC-GM-CM-UMMTO		



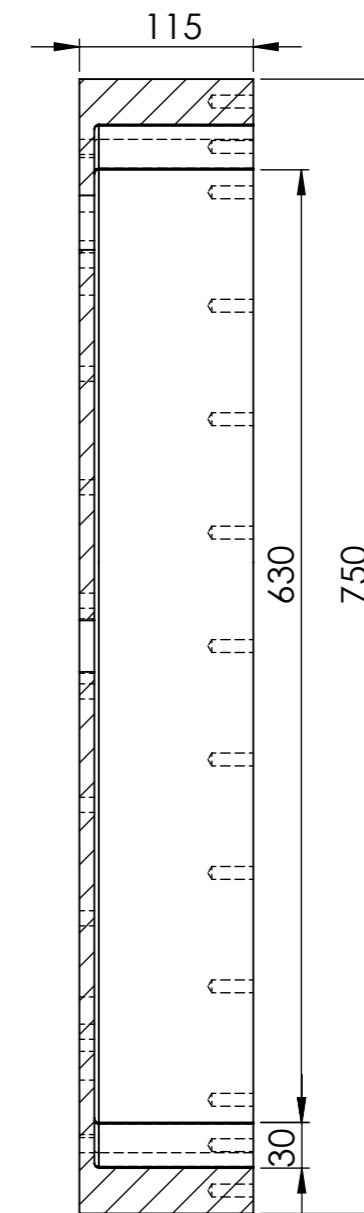
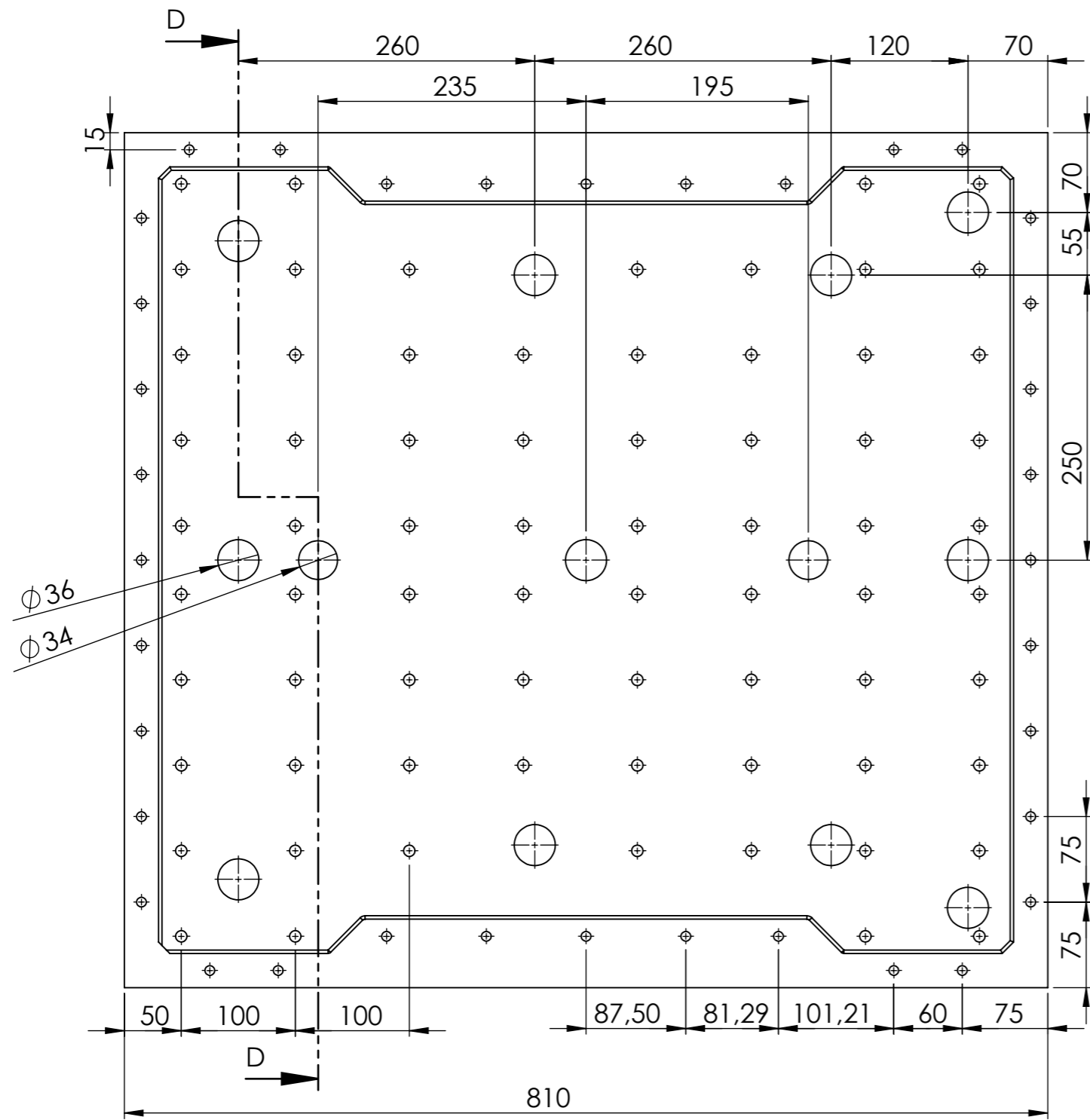
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

Moule ACE 25 AR
Dimension de mole:
Largeur:1150 mm
Langueur:1350 mm
Masse aproximativement du moule:312 kg
Mtiere :PSE
Masse de moulée: 592 g
Epaisseur de la pièce:120mm



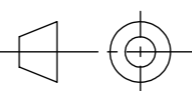
21	01	plaque cache cadre	AL MG 5	
20	02	bride de chargeuse	Bronze	
19	02	bague de serage chargeuse	Bronze	
18	01	empeinte fixe	AL MG 5	
17	01	plaque porte empeinte fixe	AL MG 5	
16	01	cadre fixe	AL MG 5	
15	01	systeme de refroidissement partie fixe	cuivre	
14	11	ejecteur		
13	02	chargeuse(injecteur)	Bronze	piece acheté
12	11	bride de serage ejecteur	Bronze	
11	11	bague de serage ejecteur	Bronze	
10	60	bec ejecteur d'eau	CUIVRE	
09	01	cadre mobile	AL MG 5	
08	12	tétine	BRANZE	
07	154	vis CHCm10*30	CUAL 10NIFE4	
06	01	system de refroidissement parti mobile	cuivre	
05	01	plaque porte empeinte monile	AL MG 5	
04	12	tasseux	AL MG 5	
03	38	vis CHC m8*30	CU AL10NI FE4	
02	01	emprunte mobile	AL MG 5	
01	01	plaque cache cadre mobile	AL MG 5	
Rep	NB	Nom de la piece	Matière	Observation

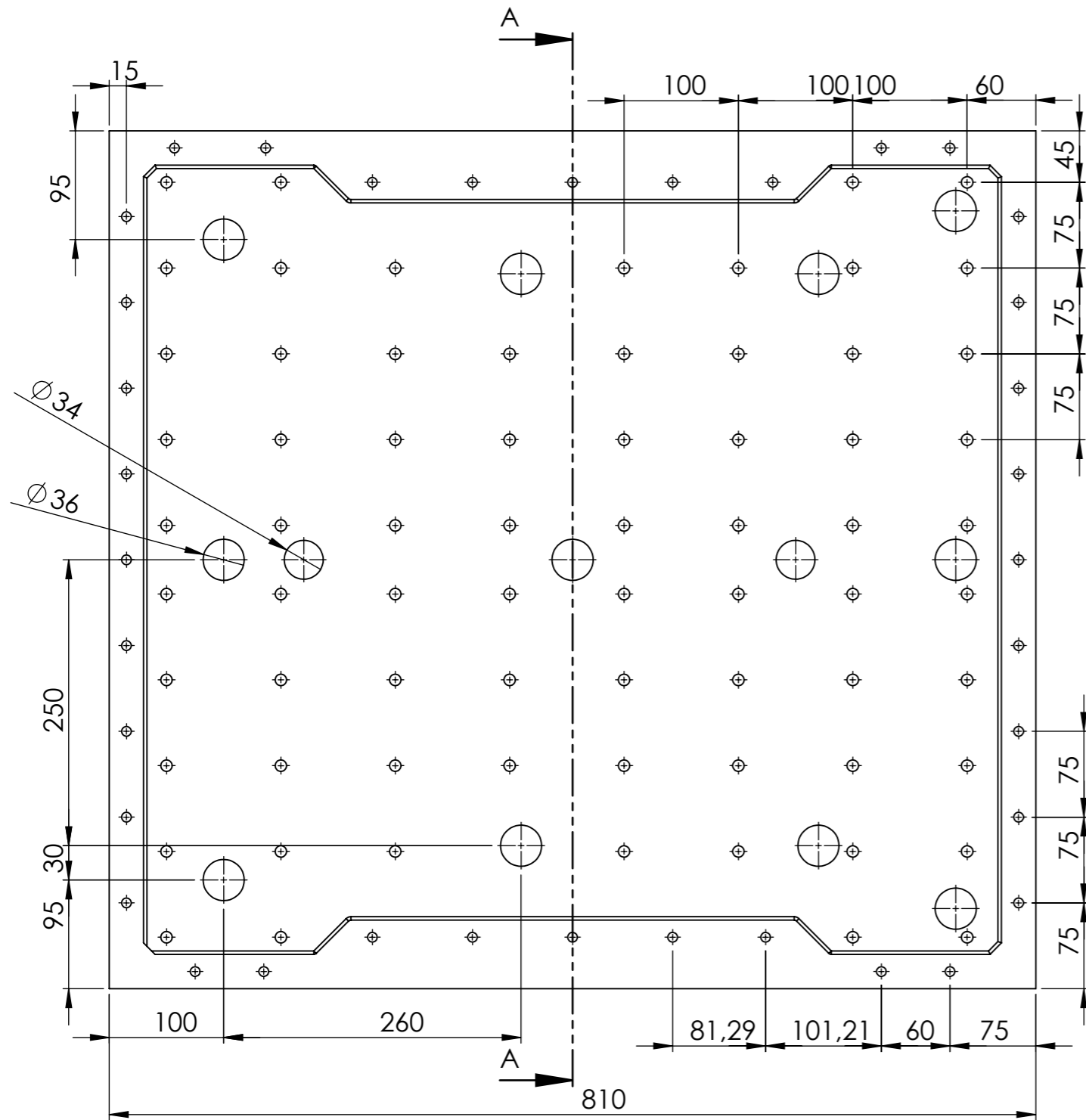
Echelle:1/5	MOULE A EXPANSION D4UNE PALETTE POUR UN REFRIGERATEUR FB1-350ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDDOUD MOULOU
A1	FGC-GM-CM-UMMTO	MASTER 2



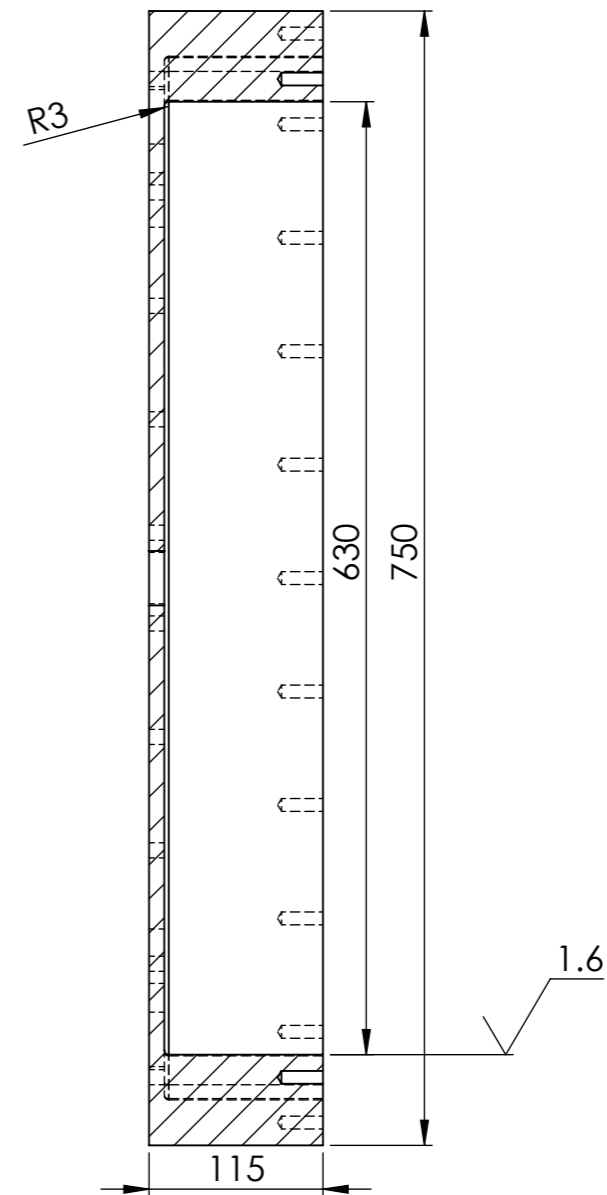
COUPE D-D

IT= 0.1

18	01	Empreinte fixe	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1/5		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUUD MOULOUD	
			2017/2018	
A3			FGC-GM-CM-UMMTO MASTER 2	

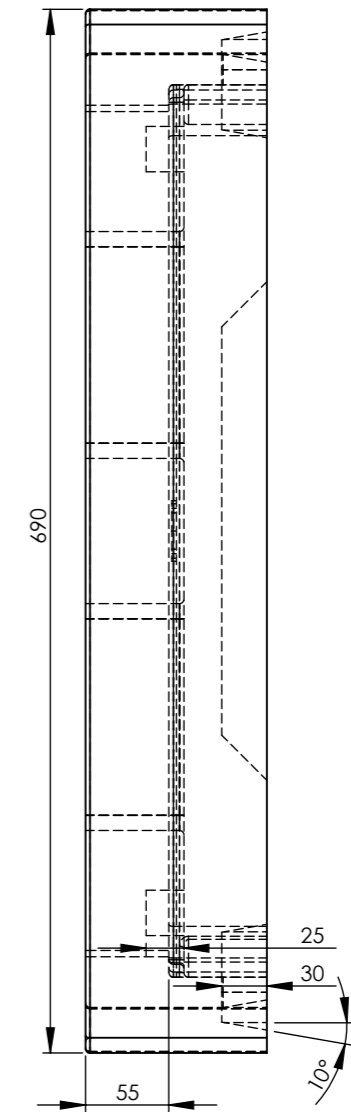
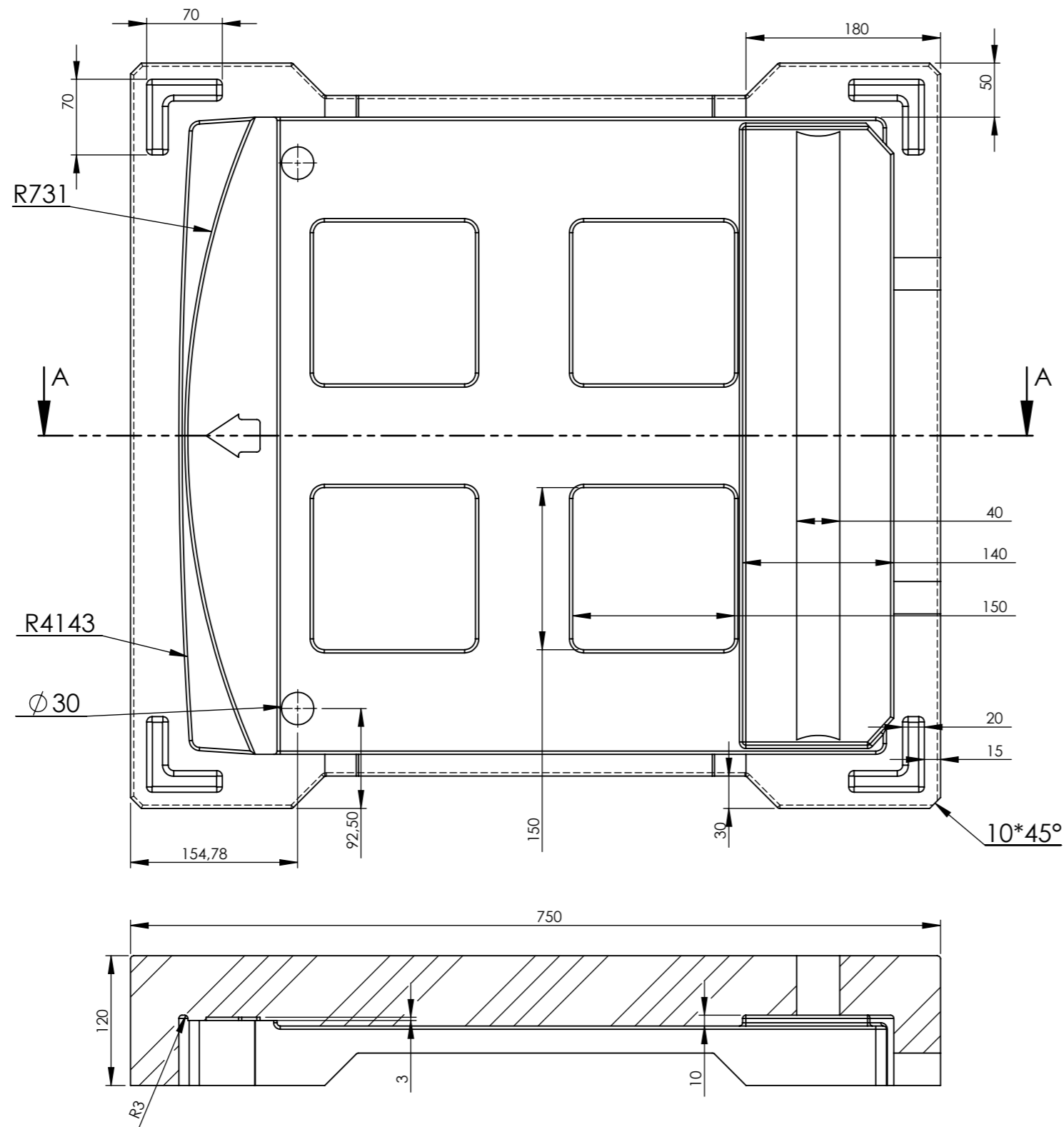


IT=0.1





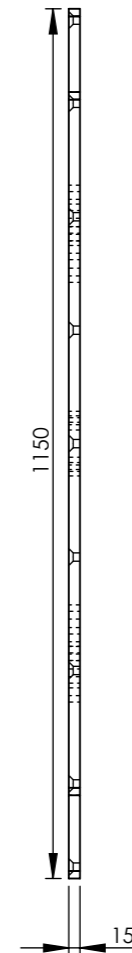
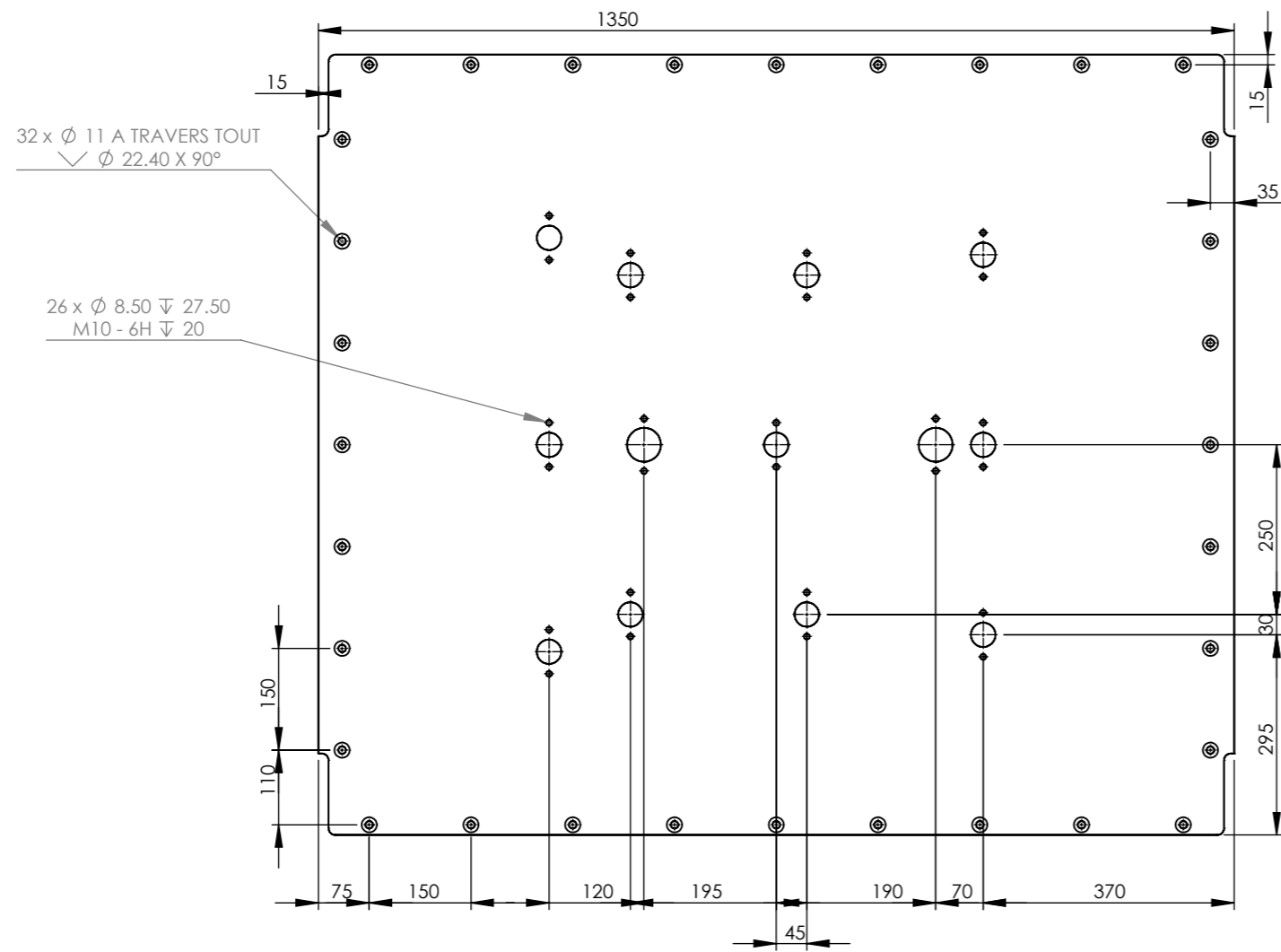
COUPE A-A

02	01	Empriente mobile	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
Ech:1/10		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUD MOULOUD	
			2017/2018	
A3			FGC-GM-CM-UMMTO MASTER 2	



COUPE A-A

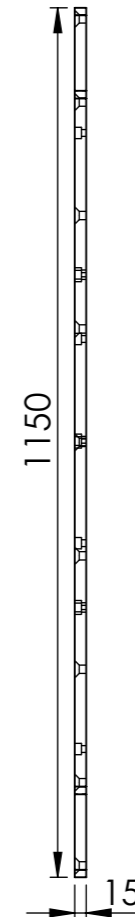
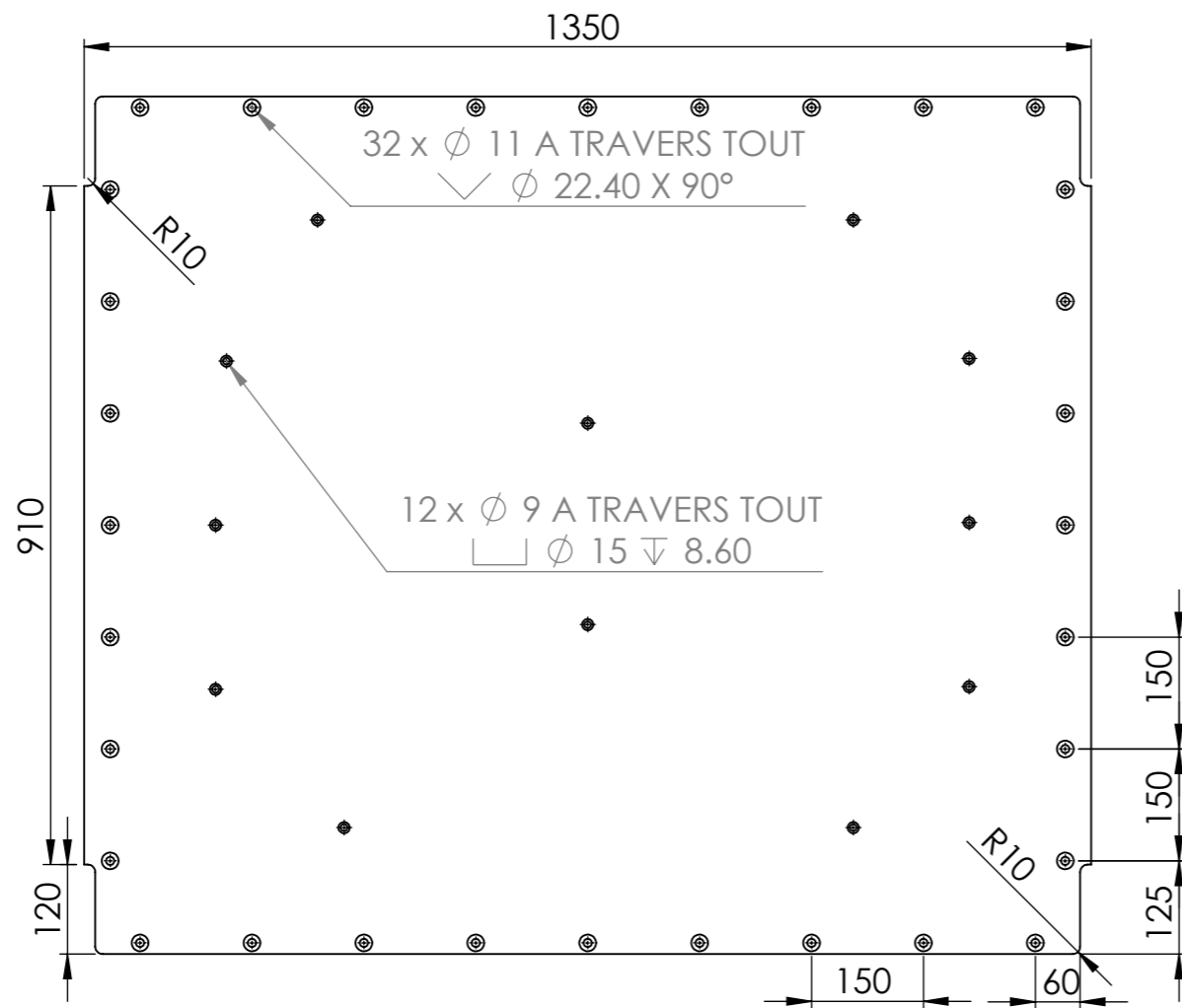
	01	Palette	PSE	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
	Ech: 1/5	MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A		ZAGHOUD GHILES ZIDOU MOULOU
	 			2017/2018
	A3	FGC-GM-CM-UMMTO		MASTER 2



IT= 0.1

Ra \sphericalangle 1.6

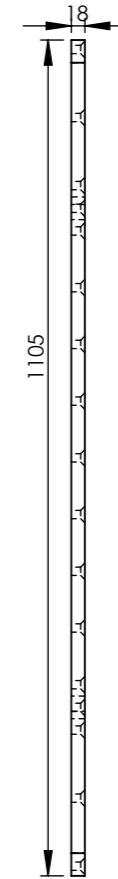
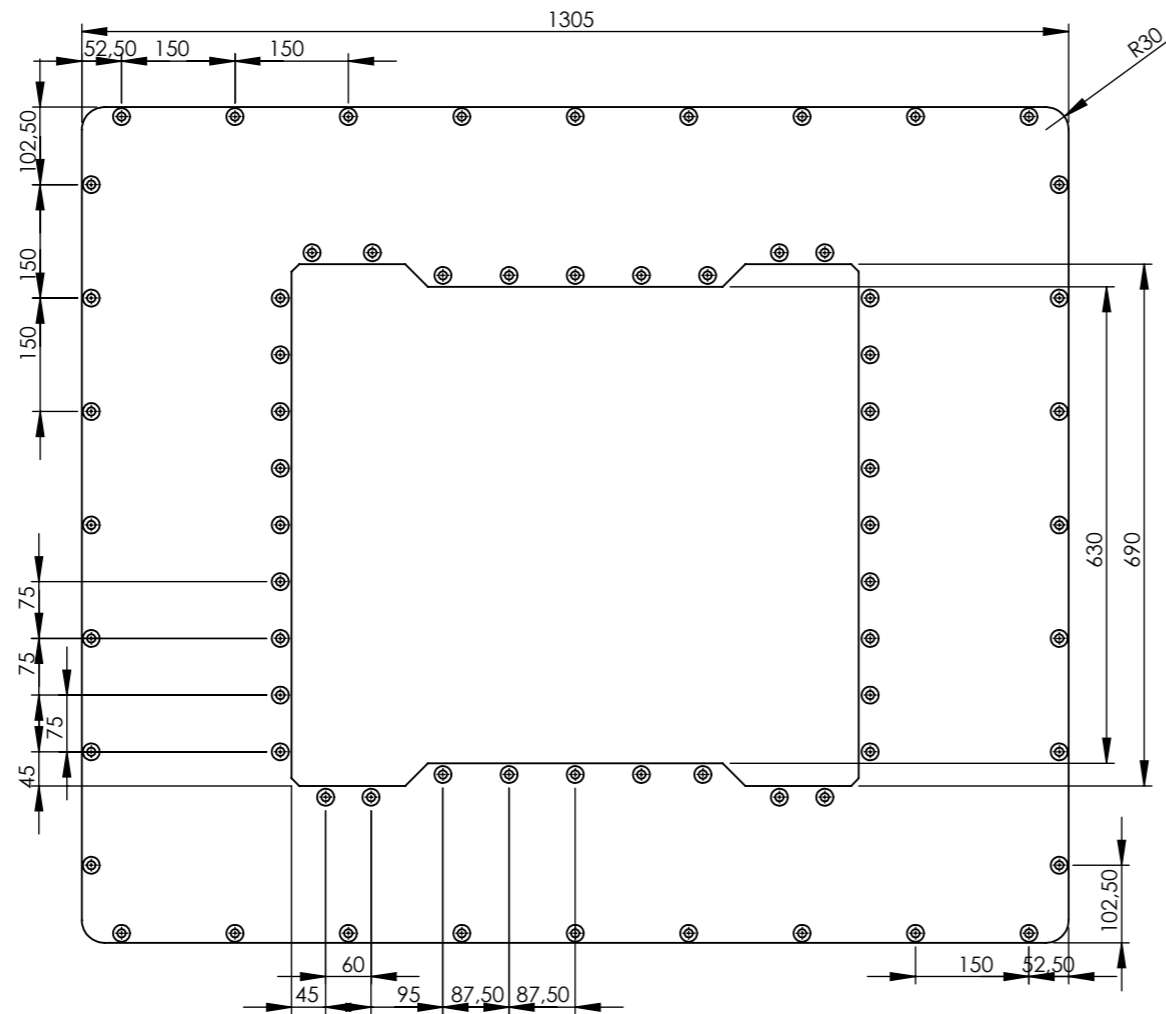
21	01	Plaque cache cadre fixe	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignatuon	Matière	Observation
Echelle:1/10		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUD MOULOUD	
A3			FGC-GM-CM-UMMTO	MASTER 2



IT= 0.1

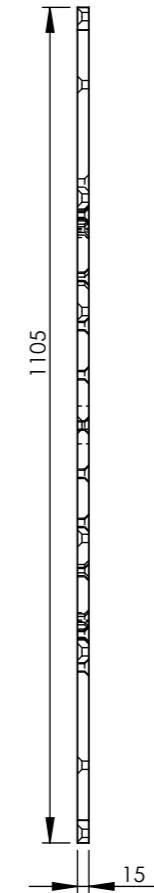
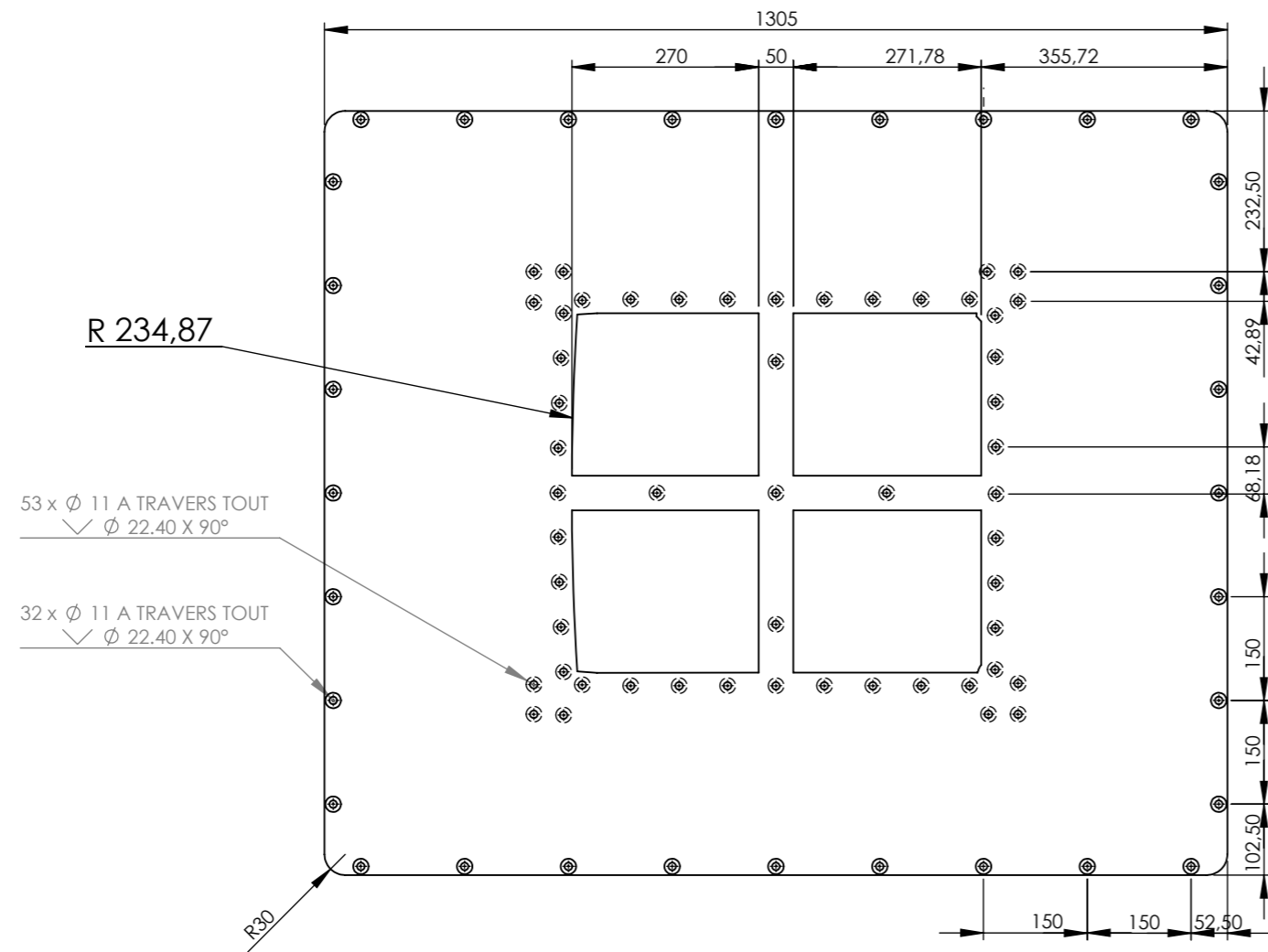
Ra 1.6

	01	plaque cache cadre mobile	AL Mg 5	
Rep	NB	Designation	Matière	Observations
Echelle:1/5		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A		ZAGHOUD GHILES ZIDOUD MOULOUD
				2017/2018
A3				FGC-GM-CM-UMMTO



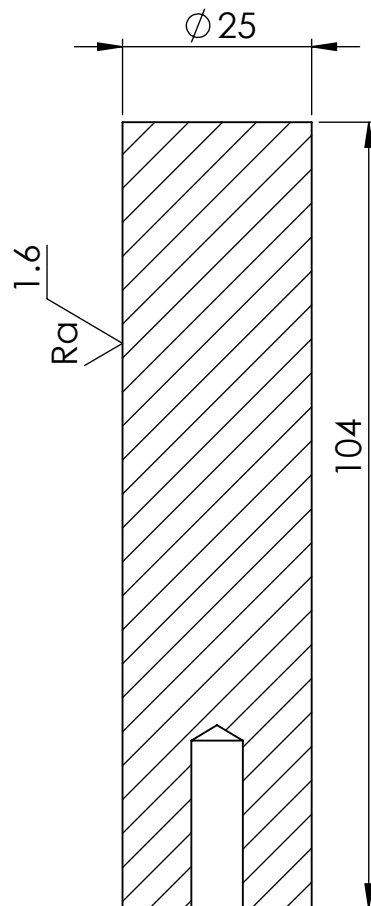
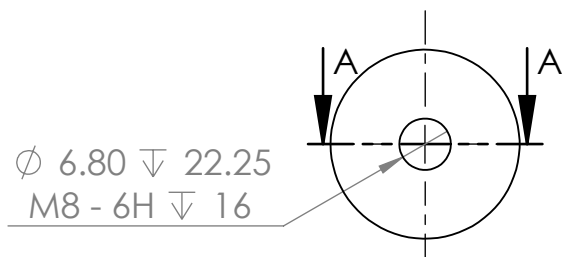
IT= 0.1 \sqrt{Ra} 1.6

17	01	plaque porte empreinte fixe	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observation
Ech:1/10		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUUD MOULOUD	
A3			FGC-GM-CM-UMMTO	MASTER 2



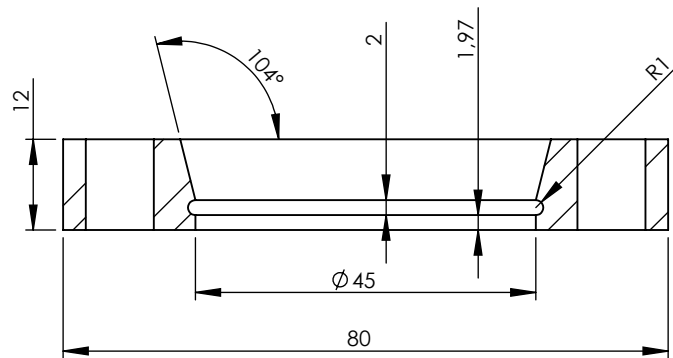
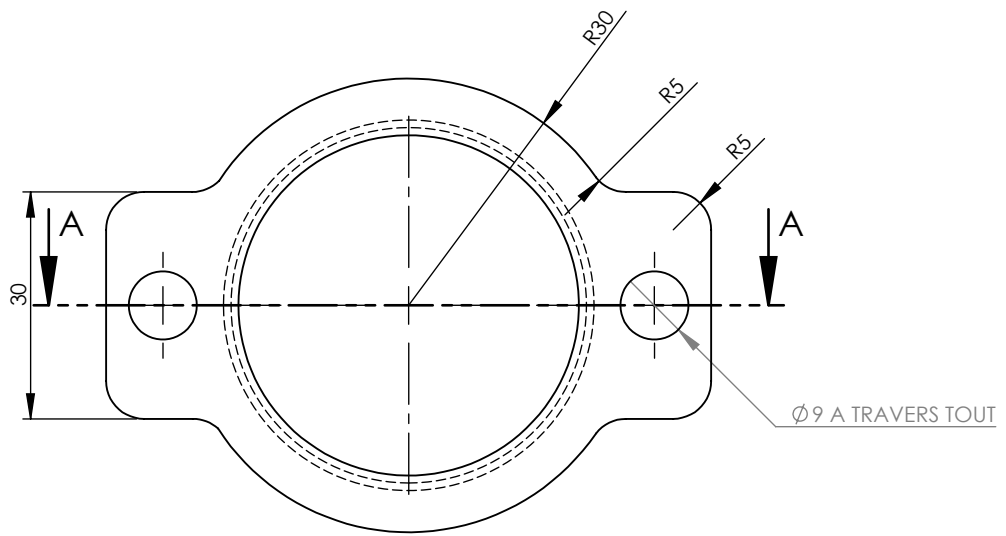
IT= 0.1 $Ra \sqrt{1.6}$

06	01	Plaque porte empreinte mobile	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observation
Ech: 1/10		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUUD MOULOUD	
			2017/2018	
A3			FGC-GM-CM-UMMTO	
		MASTER 2		



COUPE A-A

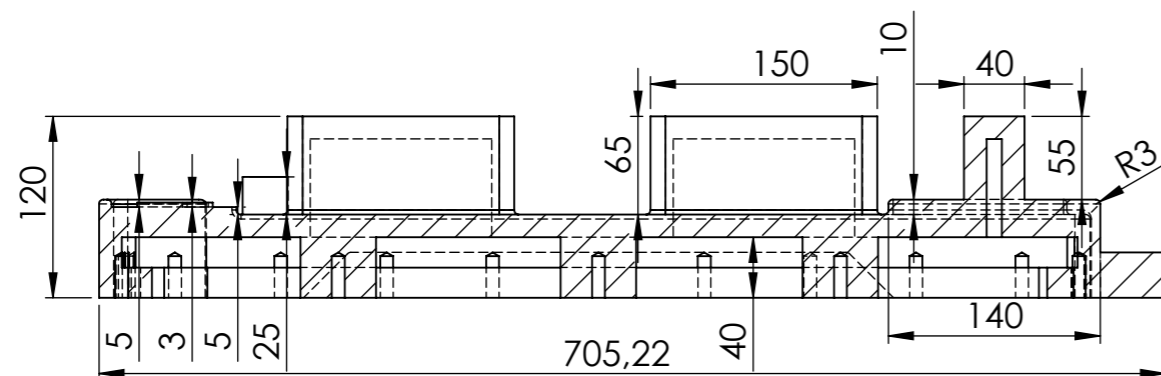
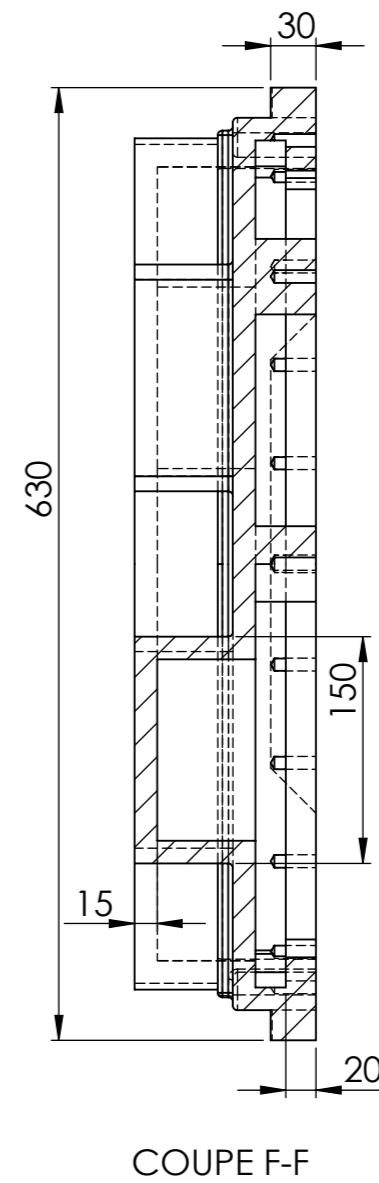
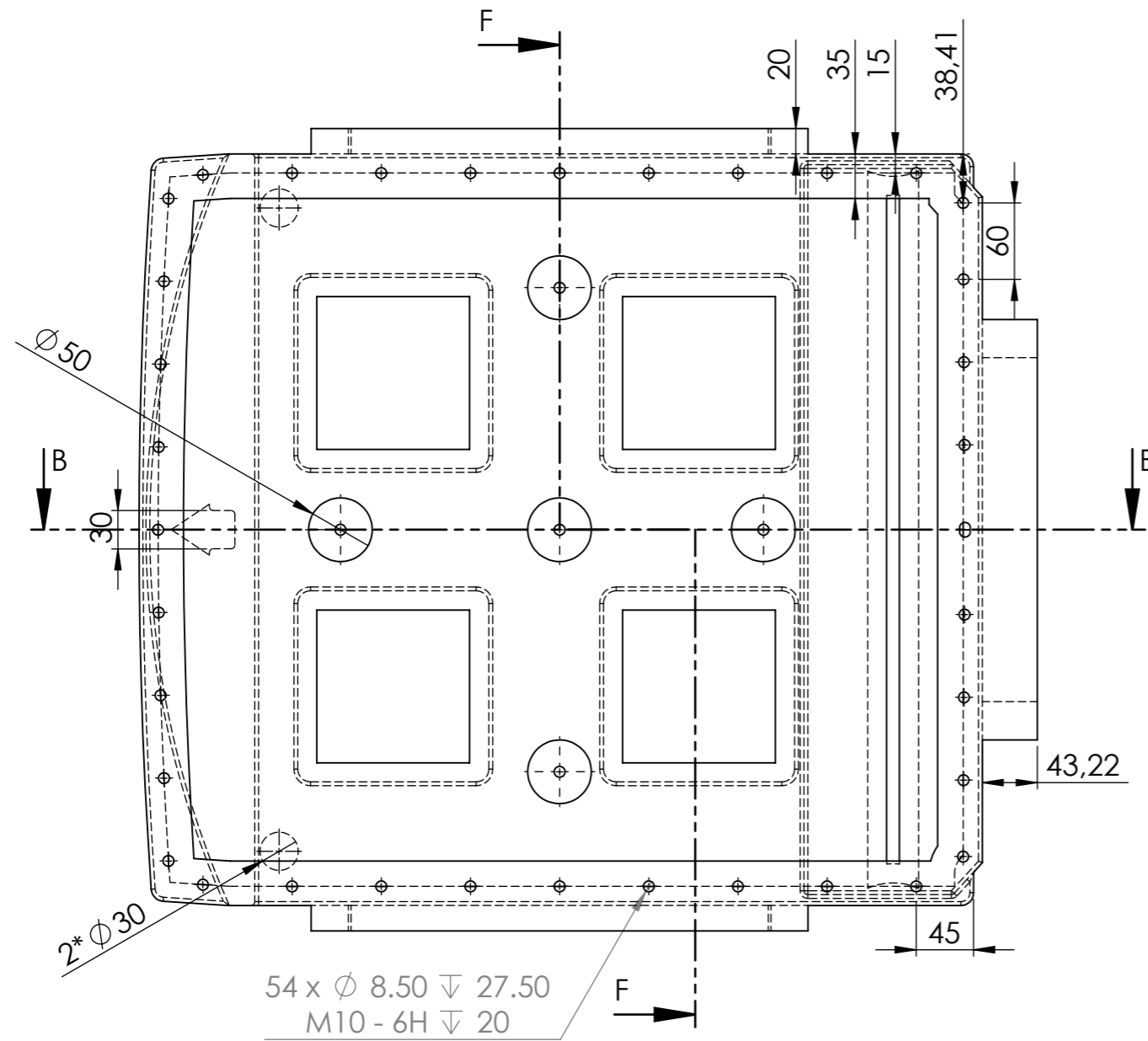
04	12	Tasseux	Al Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1/1		MOULE A EXPANSION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGERATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUD MOULOUD	
			2017/2018	
A4		FGC-GM-CM-UMMTO	MASTER 2	



COUPE A-A

IT= 0.1 \sqrt{Ra} 1.6

12	11	Bride d'ejecteur	Bronze	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1/1		MOULE A EXPANSION D4UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUD MOULOUD	
			2017/2018	
A4		FGC-GM-CM-UMMTO	MASTER 2	



tolérances générales= 0.05

Ra 1.6

02	01	Empreinte mobile	AL Mg 5	
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1/5		MOULE A EXPANTION D'UNE PALETTE POUR UN REFRIGIRATEUR FB1-350 ST-A	ZAGHOUD GHILES ZIDOUUD MOULOUD	
			2016/2018	
A3		FGC-GM-CM-UMMTO	MASTERE 2	