Republique Algerienne Democratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE YAHIA FARES MEDEA
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE
Département du Génie de la matière



Projet de Fin d'Étude
pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Mécanique
Option : Mécatronique

THEME

Etude, conception et réalisation d'une imprimante 3D

Fait par :

DIFALLAH abd elnour

RAHMANI ayoub

Dirigé par :

Dr. BOUMAHDI MOULOUD

2014-2015

Dédicaces

Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum"
Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie,le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite,...

A MA MÈRE, A MON PÈRE, qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide. Que ALLAH les gardes et les protège.

A mes frère : Mohamed, Okba, chouaib,aness
A ma seour : Soumia
A tous ma famille RAHMANI
A mon binôme : Difallah Abdennour
A tous aidée moi pour faire ce travail : Laboukhe Abobaker et Saidi Madani Amine ; Mr Ridha Rabhi
A mes amis: Abdennour, Khireddine, Youcef, Amin, Aroune, Fadhel, Hamza, Mohamed, Hichem, Toufik, Ishak, Ossama, abderrahmen, Mahmoud.....
A mes amies: Asmaa, Fatima-zohra, Maria, Fatiha
Et à tous mes amis qui ce connu
A tous promo de Génie Mécanique 2014/2015

Je dédie ce travail

RAHMANI AYOUB.

Dédicaces

Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum"
Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie,le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite,...

AMA MÈRE, AMON PÈRE, qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide. Que ALLAH les gardes et les protège.

A mes frère : FELLA, YOUNESS, RAYANNE
A mon binôme : RAHMANI AYOUB
A tous aidée moi pour faire ce travail : Laboukhe Abobaker et Saidi Madani Amine ; Mr Ridha Rabhi.
A mes amis : AMMAZOUZ .DR BOUZIANE BOUSSAHOI, HAMZA .HAMZA .ABD ELHALIM.OUSSAMA. YACINE. SLIMANE. ISMAILE, TOUFIK ; MOHAMED, Bilal et tout la famille difallah
Et à tous mes amis qui ce connu
A tous promo de Génie Mécanique 2014/2015

Je dédie ce travail

DIFALLAH ABD ELNOUR.

REMERCIE

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nos remerciement s'adresse à Monsieur Mouloud BOUMAHDI de nous avoir honorés par son encadrement, pour son soutien moral et les connaissances fructueuses qu'il nous a apportées tout au long de ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement tous les membres du jury d'avoir accepté d'assister à l'évaluation de notre travail.

Nos sincères gratitudes à tous nos professeurs pour nous avoir accompagnés tout le long de notre cursus universitaire avec tant de patience et de compréhension,

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de prés ou de loin.

D.ABD EL NOUR et R.AYOUB

الملخص:

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي أداة ممتازة لصناعة أجسام حقيقية. من بين المزايا القيمة لهذه التقنية، تصنيع الأشياء من جميع الأنواع وطبق القياس وبأقل التكاليف و كذلك صناعة الأجسام المكسورة عموما و التي يتعذر توفرها. هذه الدراسة تقترح تصميم وتصنيع طابعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج الأشياء البلاستيكية. هذه الطابعة تشكل نظام ميكاترونيك يتكون من ثلاثة نظم فرعية هي :آليات نقل الحركة ونظام الكتروني للتحكم في المحركات خطوة بخطوة ونظام سحب و انصهار البلاستيك. في هذه الدراسة تم انجاز الطابعة كما تم اقتراح منهجية لإستخدامها.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد ، التصميم، والآلية والتحكم، محرك خطوة بخطوة.

Résumé

L'impression tridimensionnelle est un excellent outil pour fabriquer des objets réels. Parmi les précieux avantages offerts par cette technique, la fabrication des objets de toutes sortes sur mesure et à moindre coût et fabriquer les objets cassés généralement introuvables. Cette étude propose de concevoir et de réaliser une imprimante tridimensionnelle pour fabriquer des objets en plastique. Ladite imprimante forme un système mécatronique composé de trois sous-systèmes : des mécanismes de transmission de mouvement, une commande électronique des moteur pas-à-pas et un système d'extrusion et de fusion de la matière plastique. Dans cette étude, La réalisation de l'imprimante est faite et une méthodologie pour son utilisation est proposée.

Mots clés : impression 3D, conception, mécanisme, commande, moteur pas à pas.

Summary :

Three-dimensional printing is an excellent tool for developing real objects. Among the valuable benefits of this technology, Manufacture of objects of all kinds of measurement and cost and repair broken items usually not found .This study proposes to design and produce a three-dimensional printer to make plastic objects. The printer as a mechatronic system consists of three subsystems: motion transmitting mechanisms, an electronically controlled step-by-step motor and an extrusion system and fusion of the plastic. In this study, the realization of the printer is made and a methodology for its use is proposed.

Key words: Three-dimensional printing, design, mechanism, command, motor.

Sommaire

Dédicaces
Remerciements
Résumé
Liste des figures
Liste des tableaux
Introduction générale 1
Chapitre I : technologie de l'imprimante 3D 3
1.1Introduction :.... 3
1.2Histoire de l'impression 3D: 3
1.3Les différents types d'impression en 3D : 6
1.3.1Le dépôt de filament fondu :.... 6
1.3.2La stéréo lithographie (SLA) : 7
1.3.3Le frittage laser (SLS) : 8
1.3.4Le procédé polyjet :.... 9
1.3.5Le procédé DLP :.... 9
1.4Les applications : 10
1.4.1Armée:.... 10
1.4.2Aéronautique :.... 11
1.4.3Médecine et recherche : 11
1.4.4Industrie : 11
1.5Les matériaux utilisent : 11
1.5.1ABS :.... 12
1.5.2PLA :.... 12
1.5.3Polyamides : 13
1.5.4Alumide : 13
1.5.5 RÉSINE :.... 14
1.5.6POLYPROPYLÈNE :.... 14
1.5.7Plastiques composites :.... 15
1.6Technologie de l'imprimante 3D :.... 15
1.6.1Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D :.... 16
1.6.2Robot cartésien :.... 17
1.6.3Génie Logiciel : 17
1.7Conclusion :.... 18

Chapitre 2 : conception de la partie mécanique de l'imprimante 3D 19
2.1 Introduction :..... 20
2.2 Conception de la partie mécanique: 20
2.3 Le Détail des éléments de l'imprimant 3D : 22
2.3.1Châssis : 22
2.3.2Etude statique du support :..... 22
2.3.3Le système guidage : 26
2.4 transmition de mouvement……30
2.4.1Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe X :..... 30
2.4.2Étude cinématique de l'axe (X) :..... 31
2.4.3 Plan d'impressions :..... 38
2.5 Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axes-Y : 41
2.5.1L'étude cinématique de l'axe (Y) : 42
2.5.2 étude dynamique……44
2.5.3Support de tête : 48
2.6Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe Z : 51
2.6.1Etude cinématique de l'axe Z : 52
2.7 Dispositif d'extrusion :..... 56
2.7.1Mouvement du filament : 57
2.7.2L'étude thermique de la fusion du filament ABS : 57
2.7.3La structure de la tête : 58
2.8 Simulation thermique :..... 58
2.9 Conclusion : 62
Chapitre 3 : Moteur Pas à pas 63
3.1 INTRODUCTION : 64
3.2 Moteur pas à pas : 64
3.2.1 Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas: 65
3.2.2 Utilisations des moteurs pas à pas : 66
3.2.3 Le rôle de moteur pas à pas : 66
3.2.4. Les principaux technologies des moteurs pas à pas ……67
3.3 Les caractéristiques générales des moteurs pas à pas :..... 72
3.4. Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas : 74
3.5 La commande de moteur pas à pas :..... 74

3.5.1 Le circuit de commande de moteur pas à pas :..... 74
3.5.2 Le circuit intégré L298N :..... 75
3.5.3. Les applications du circuit de commande L297 **:.....75**
3.5.4. Le séquenceur 76
3.5.5. La structure interne de séquenceur 76
3.5.6. Le chronogramme des sorties en mode demi pas.....77
3.6. Le régulateur de température.....77
3.6.1-La structure de tête :..... 78
3.6.2 La résistance chauffante :..... 78
3.6.3. Les différents types de résistances chauffantes:.....79
3.6.4 Régulation de température :..... 80
3.7 Conclusion :..... 83
Chapitre 4 : Réalisation de l'imprimante 3D..... 84
4.1 Introduction :..... 85
4.2 Réalisation de la partie mécanique :..... 85
1. Châssis :..... 85
2. Tige de guidage :..... 86
3. Porte tige:..... 86
4. Support de la tête d'impression (translation suivant l'axe y) 86
5. Support (axe x) 87
6. Support du plan d'impression 87
7. Tige filetée..... 88
8. Accouplement 88
9. Tête d'impression. 89
4.3 Réalisation de la partie électronique: 89
4.3.2. Le choix du contrôleur pas à pas dépend de plusieurs facteurs :.....89
4.3.3. Le choix de l'alimentation :.....90
4.4. Matériel spécifique :.....90
4.4.1. Caractéristiques du moteur pas a pas :.....90

4.5 La simulation de driver du moteur pas à pas : 91
4.6 Fabrication du driver du moteur pas à pas : 93
4.7 Câblage de l'imprimante 3d : 95
4.7.1 Le port parallèle..... 95
1.Historique [15]:..... 96
2.Caractéristiques principales: 96
3.Le nom de périphérique associé: 97
4.Evolution du port [15]: 97
5.Description des Broches dans Centronics et DB25 : [15] 97
6.Les registres de commande [15]: 100
4.8 Les capteurs de fin de course : 101
4.9Conclusion : 101

Chapitre V: Méthodologie d'utilisation De l'imprimante 3D.....102

5-1Introduction 103
5-2Utilisation de l'imprimante 3D.....103
5 -3 Conception de l'objet 3D 106
5 -3 -1Présentation du logiciel SOLIDWORKS.....105
5 -3-2 G code 108
5 -3 -3 Configuration de l'axe de l'extrudeuse 109
5 -3 -4 Configuration de base Slic3r 109
5 -3 -5 Génération du G code 113
5-3 -5-a Exporter G code 113
5 -3 -5 -b Vitesse d'impression 114
5 -3-5-c Qualité d'impression 114
5 -3 -5-d Taux de remplissage 115
5 -4 Interface graphique de commande 115
5 -4-1 Définition 116
5 -4 -2 Utilisation .....116.
5 -4-3 Fonctionnement de Mach3 116
5 -4-4 Fonctionnement des signaux pas et direction (step/dir).....116
5 -5Conclusion 117
Conclusion générale.....119
Références bibliographiques : .....
ANNEXE .....

Liste figures

Figure 1.1. Imprimante FDM…… 06
Figure 1.2. La stéréo lithographie (SLA)…… 06
Figure 1.3. Le frittage laser (SLS)……... 07
Figure1.4. Le procédé polyjet…… 08
Figure 1.5. Le procédé DLP…… 09
Figure 1.6. Filament d'ABS générique…….. 11
Figure 1.7. Filament de PLA……. 12
Figure 1.8. Imprimante 3D…….. 15
Figure 2.1. La conception générale de l'imprimant 3D…….. 20
Figure 2.2. châssis…….. 21
Figure 2.3. tige lisse de guidage…….. 25
Figure 2.4. Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe X…….. … 29
Figure 2.5.système poulie-couroie…….. 32
Figure 2.6. Support d'axe X…… 34
Figure 2.7. plan d'imprission……... 37
Figure 2.8. Mécanisme de l'axe Y……... 41
Figure 2.9. Support d'axe Y…… 43
Figure 2.10. support de tête ……. 47
Figure 2.11. Mécanisme d'axe Z…… 51
Figure 2.12. Système vis-écrou……... 52
Figure 2.13 schéma cinématique…… 52
Figure 2.14. Mécanisme de d'extrusion…….. 56
Figure 2.15. Mouvement de filament ……... 56
Figure 2.16. La structure de la tête…….. 57
Figure 2.17. Tête de fusion de filament…….. 58
Figure 2.18. Le maillage…….. 59
Figure 2.19. Introduction des valeurs de température……. 59
Figure 2.20. Le résultat de simulation thermique…… 60
Figure 2.21. Variation de la température……. 61
Figure 3.1. Moteur pas à pas……... 64
Figure 3.2. Composition de moteur à réluctance variable…….. 66
Figure 3.3. Fonctionnement de moteur pas-à-pas à réluctance variable…….. 68
Figure 3.4. Moteur pas à pas à aimant permanent ……. 68
Figure 3.5. Les modes de commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent.. 69
Figure 3.6 moteur pas à pas hybride…… 71
Figure 3.7. Commande des moteurs hybride…….. 71
Figure 3.8. Couple et positionnement des moteurs pas à pas…….. 72
Figure 3.9. Couple et vitesse des moteurs pas à pas …….. 72
Figure 3.10. Schéma simplifie de driver moteur pas à pas……. 74
Figure 3.11. Structure interne de circuit l298…….. 75
Figure 3.12. Le séquenceur ……. 76
Figure 3.13. Le chronogramme des sorties en mode demi pas…… 76
Figure 3.14. Tête d'impression 3d……... 77
Figure 3.15. Résistance chauffent ……... 77
Figure 3.16. Les types de résistance chauffante…….. 78
Figure 3.17 principe de régulation de température……. 80
Figure 3.18. Comportement en régulation…….. 80
Figure 3.19. Comportement en asservissement…….. 81
Figure 3.20. Schéma synoptique d'un régulateur PID …… 81
Figure 3.21. Schéma de fonctionnement d'un régulateur…… 82

Liste figures

Figure 4.1. Châssis…….....	84
Figure 4.2. Tige de guidage et porte …….	85
Figure 4.3. Support de la tête d'impression……..	86
Figure 4.4. Support (axe x)……...	86
Figure 4.5. Support du plan d'impression……	87
Figure 4.6. Tige filetée…….	87
Figure 4.7. Accouplement……	87
Figure 4.8. Tète d'impression……..	88
Figure 4.9 représentation de dimension d'un moteur pas à pas…….	89
Figure 4.10. La simulation du driver du moteur pas à pas……..	91
Figure 4.11. Le Port parallèle……..	94
Figure 4.12. DB25…….	97
Figure 4.11. Capteur de fin course …….	100
Figure 5.1. Configure action wizard…….	108
Figure 5.2. irmware type…….	109
Figure 5.3. bed size……...	109
Figure 5.4. Diamètre de la tête……	110
Figure 5.5. Diamètre de filament……..	110
Figure 5.6. Température d'extrudeuse……..	111
Figure 5.7. Température de plan d'impressions……...	111
Figure 5.8. Fin de configuration……..	112
Figure 5.9. Exporter format STL……	112
Figure 5.10. Régler la vitesse……...	113
Figure 5.11. Qualité d'impression……	114
Figure 5.12. Taux de remplissage……	114
Figure 5.13. Forme logique d'impulsion…….	116
Figure 5.14. Forme logique d'impulsion mal configuration……	116

Liste de tableaux

Tableau 2-1 : Action extérieures plaque aluminium.....24

Tableau 2-2 : Détails sur le maillage de plaque aluminium.....25

Tableau 2-3 : Résultats de l'étude statique plaque aluminium.....25

Tableau 2-4 : Actions extérieures.....28

Tableau 2-5 : Informations sur le maillage.....29

Tableau 2-6 : résultats de l'étude.....29

Tableau 2-7 : Les avantages et les inconvénients système poulie-courroie.....35

Tableau 2-8 : Action extérieures.....37

Tableau2-9 : Informations sur le maillage–Détails.....38

Tableau 2-10 : Résultats de l'étude.....39

Tableau 2-11 : Actions extérieures plan d'impressions.....41

Tableau 2-12 : Informations sur le maillage–Détails plan d'impressions.....41

Tableau 2-13 : Résultats de l'étude plan d'impressions.....42

Tableau 2-14 :Tableaux2.17. NF ISO.....46

Tableau 2-15 : Informations sur le maillage–Détails sur support y.....49

Tableau 2-16 : Résultats de l'étude.....49

Tableau 2-17 : Actions extérieures support de tête.....51

Tableau 2-18 : Informations sur le maillage–Détails support de tête.....52

Tableau 2-19 : Résultats de l'étude support de tête.....52

Tableau 2-20 : Module normalisé de vis. Module normalisé.....55

Tableau2-21 : Tableaux 2.25. NF ISO261-NFISO262.....57

Tableau 2-22 : Choix écrou normalisé.....58

Tableau 2-23 : Les caractéristiques des matériaux.....61

Tableau 3-1 : Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas.....76

Tableau 4-1 : Composants électroniques.....94

Tableau4-2 : La fabrication les cartes des drivers.....96

Tableau 4-3 : Description des Broches dans Centronics et DB25.....101

Tableau 4-4 : Les registre de commande..... 103

Introduction générale

Introduction générale

Le développement industriel est porté par le souci permanent de trouver de nouvelles procédures de fabrication pour des produits présentant un rapport qualité/prix de plus en plus amélioré.

La fabrication des pièces qui se fait par enlèvement de matière sur des machines-outils prend beaucoup de temps de fabrication et demande une grande expérience des opérateurs pour arriver à une qualité (précision) d'une pièce juste moyenne.

A cet effet et depuis les années 80, un nouveau procédé d'usinage de pièces qui se fait par ajout de matière a été développé. Ce procédé est appelé impression 3D. Il permet de fabriquer des objets avec une grande précision à partir de fichiers en trois dimensions conçus numériquement. Cette technologie a également été adoptée à des fins de prototypage rapide pour l'industrie, les cabinets d'architectes ou les grands noms du design.

Les objectifs de notre étude sont la conception et la réalisation d'une imprimante 3D pour fabriquer des objets en matières plastiques selon le principe de fabrication additive.

Notre mémoire se décline en cinq chapitres; le premier chapitre explique d'une manière générale la technologie de l'impression 3d.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception du la partie mécanique de l'imprimante 3D.

Le troisième chapitre présente des notions générales sur la technologie des moteurs pas-à-pas qui seront montés sur l'imprimante pour assurer le déplacement de la buse dans l'espace.

Le quatrième chapitre, présente le mode d'utilisation de la machine réalisée et explique les logicielles à utiliser pour leur fonctionnement.

Le cinquième chapitre présente les étapes de réalisation de toutes les parties de la machine, à savoir, la partie mécanique et la commande électronique des moteurs pas à pas et du système d'extrusion de la matière plastique.

En fin, nous achevons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

Technologie de l'impression 3D

Chapitre 01

Introduction générale

1.1.Introduction :

Actuellement, il existe deux approches de fabrication des pièces. La première approche est basée sur l'enlèvement de la matière, par exemple par fraisage ou découpage, ou par injection de la matière dans un moule préformé. La deuxième approche est basée sur l'ajout des couches de la matière. L'impression 3D est un procédé qui tombe dans la catégorie de la deuxième approche.

L'impression 3D permet de produire un objet réel : un opérateur dessine l'objet sur un écran en utilisant un outil de Conception assistée par ordinateur (CAO). Le fichier 3D obtenu est envoyé vers une imprimante spécifique qui le découpe en tranches et dépose ou solidifie de la matière couche par couche pour obtenir la pièce finale. Le principe est donc assez proche de celui d'une imprimante 2D classique : les buses utilisées, qui déposent de la colle, sont d'ailleurs identiques à celles des imprimantes de bureau. C'est l'empilement de ces couches qui crée un volume.

Selon le procédé une collection de matériaux peut être utilisée : le plastique (ABS), la cire, le métal, le plâtre de Paris, les céramiques et d'autres encore.

Les applications vont de l'industrie - la production de voitures, d'avions, de bâtiments, de biens de consommation, etc., à la visualisation de projets, de vérification d'ergonomie pour l'architecture ou les études de design.

1.2. Histoire de l'impression 3D :

L'impression 3D existe depuis le milieu des années 80. Voici un bref historique de l'impression 3D présentant les grands tournants techniques ou pratiques.

1983-1986 : La naissance de l'impression 3D :

1983 pour certains, 1984 pour d'autres tout le monde s'accorde toutefois à attribuer la paternité de l'impression 3D à Charles Hull, aujourd'hui vice-président de 3D Systems. La première machine, officiellement commercialisée en 1986, reposait sur le principe de Stéréo lytography. On ne parle pas encore d'impression 3D est la machine est une espèce

de prototype testé par de rares entreprises triées sur le volet. Cette première imprimante 3D débouchera sur le premier modèle de série en 1988 : la SLA-2502 de 3D Systems. L'imprimante sert alors aux industriels à créer des objets pour tester leur design avant de décider la production des pièces en série **[**1].

1990-1992 : l'impression couche après couche :

Ce n'est pas encore parfait loin de là mais le potentiel énorme de l'impression 3D se dévoile avec la création couche après couche d'objets 3D. Un rayon UV tape alors dans un espèce de liquide visqueux ressemblant à du miel. Pas super pratique mais plutôt efficace ; l'impression 3D prouve qu'elle est capable de créer des pièces complexes. C'est toujours le procédé de Stéréo lytographie qui fait ses preuves **[**1].

1999 : La première prothèse implantée sur un être humain :

Les chercheurs et les ingénieurs créent une espèce de prothèse permettant d'accompagner l'agrandissement de la vessie d'un patient. Outre la contrainte de devoir créer un « objet » adapté à la physionomie du malade, il convient de trouver un système réduisant les risques de rejets. La pièce est donc enrobée de cellules du patient. Cette étape constitue une avancée majeure en ouvrant de nouvelles perspectives à la médecine **[**1].

2002 : Un premier rein fonctionnel :

C'est encore la même équipe de scientifique qui est à la base de cette prouesse (bio ?) médicale. Cette fois les universitaires du laboratoire Wake Forest Institute for Régénérative Médicine recréent un rein fonctionnel. Capable de filtrer le sang et de diluer l'urine, il est greffé sur des animaux et ouvre la voie à la création d'organes et de tissus à des buts médicaux **[**1].

2005 : Lancement du RepRap Project :

En 2005 est bien une date clé. Le Dr Adrian Boyier et son équipe de l'Université de Bath imaginent une prouesse technologique en lançant la construction d'une imprimante 3D capable de créer les pièces utiles à son fonctionnement. Leur but ? Rendre le plus accessible possible l'impression 3D où une machine auto-replicante « viraliserait » son usage et les services qu'elle peut apportait **[**1].

2008 : Le RepRap Project abouti / Shapeways.com ouvre :

Le project RepRap réussi son pari. Leur première imprimante auto-réplicante sort. Darwin permet à un possesseur de créer d'autres machines pour son réseau proche. C'est

aussi cette année-là que sort la version Beta de la boutique de plans en ligne Shapeways.com. Designers, architectes et ingénieurs peuvent créer des plans de manière conjointe et faire imprimer des objets complexes à prix abordable **[**1].

2009 : MakerBot Industries à l'assaut du grand public :

Cette année-là, la société MakerBot Industries propose à la vente un Kit DIY (Do It Yourself) à l'attention des particuliers. Tout le monde peut désormais posséder chez soi une imprimante 3D fonctionnelle à prix abordable **[**1].

2010 : Un vaisseau sanguin imprimé avec une imprimante spéciale :

L'impression 3D à vocation médicale fait son petit bout de chemin mais à la fin 2010 tout s'accélère. En décembre 2010, une équipe de chercheur parvient à créer avec une bio-imprimante 3D Organovo un vaisseau sanguin fonctionnel **[**1].

2011 : Un premier drone à 5000 Livres Sterling :

Les ingénieurs de l'Université de Southampton parviennent à créer un avion sans pilote en une semaine pour le prix de 5000 Livres Sterling. Sulsa (c'est le nom de cet avion) mesure prêt de 2m d'envergure et est propulsée par un moteur électrique lui permettant d'atteindre la vitesse de 160km/h. Imprimées grâce à la technologie SLS, les pièces du fuselage ont été produites en un temps record et avec une finesse remarquable **[**1].

2011 : Après l'avion : la voiture

Lors de la conférence TedX de Winnipeg au Canada, la société Kor Ecologic présente Urbee, une voiture dont la carosserie est complètement composée de pièces imprimées à l'aide d'une imprimante 3D. Urbee est « eco-friendly » et est dessinée pour consommer le moins de carburant possible. 1,18 litres au cent kilomètre sur autoroute et moitié moins en ville. On estime qu'elle couterait entre 10000 et 50000 dollars si le projet commercial est viable **[**1].

2011 : L'or et l'argent en impression Grand Public

i.materialise.com propose l'impression d'objets en or ou en argent. Plus que jamais le monde de l'imprimante 3D fait les yeux doux aux artisans, bijoutiers et « breloquiers » indépendants. Plus besoin de moules pour tirer des pièces en série, le bijou est unique et à prix réduit **[**1].

2012 : Une prothèse de maxillaire inférieur posée sur une octogénaire.

C'est l'aboutissement du travail d'une équipe de chercheurs er d'ingénieurs Néerlandais : une prothèse de maxillaire posé sur une femme de 83 ans qui souffrait d'une infection à la mâchoire. Bien entendu, la prothèse est parfaitement ajustée à son hôte mais elle vise principalement à étudier la reconstruction des tissus osseux.

Les procédés d'impression se sont améliorés, les matériaux disponibles se sont multipliés, et le prix des machines a drastiquement chuté. Pour moins de 500 €, il est désormais possible de s'équiper d'une imprimante 3D personnelle offrant de bonnes performances.

1.3. Les différents types d'impression en 3D :

Aujourd'hui dans le domaine d'impressions trois dimensions, il existé plusieurs types d'impressions selon le mode de fonctionnement, la vitesse et la matière première. Dans la suite, nous présentons les différents types d'impression en 3d

1.3.1. Le dépôt de filament fondu :

Plus connue sous l'acronyme FDM (Fused Deposition Modeling), cette méthode a vu le jour il y a une trentaine d'années grâce à S. Scott Crump, cofondateur de la société Stratasys qui a racheté MakerBot Industries en 2013. FDM étant une marque déposée, d'autres appellations sont utilisées, par exemple Fused Filament Fabrication, utilisé dans la communauté RepRap sous licence libre.

Il s'agit du procédé utilisé par une écrasante majorité d'imprimantes 3D dites personnelles. Son principe de fonctionnement est simple : un matériau, souvent présenté sous forme de bobine, passe à travers une buse d'extrusion chauffée entre 170 et 260°C. Il fond et se dépose sur un support par couches dont la finesse varie en fonction du matériel et des réglages (0,02 mm en moyenne). Une fois la première couche terminée, le plateau d'impression descend pour recevoir la seconde et ainsi de suite **[**2].

Le plateau d'impression peut être chauffé pour pallier la déformation due au choc thermique subi par le plastique, en effet, celui-ci passe de plus de 200°C à la température ambiante quasi instantanément. On peut également trouver des imprimantes FDM dotées de 2 buses d'extrusion. Cela permet entre autres d'imprimer un objet dans deux couleurs différentes ou deux matériaux différents. En plus d'être très abordable, comparée aux autres procédés, la FDM permet d'utiliser une grande variété de matériaux et de couleurs.

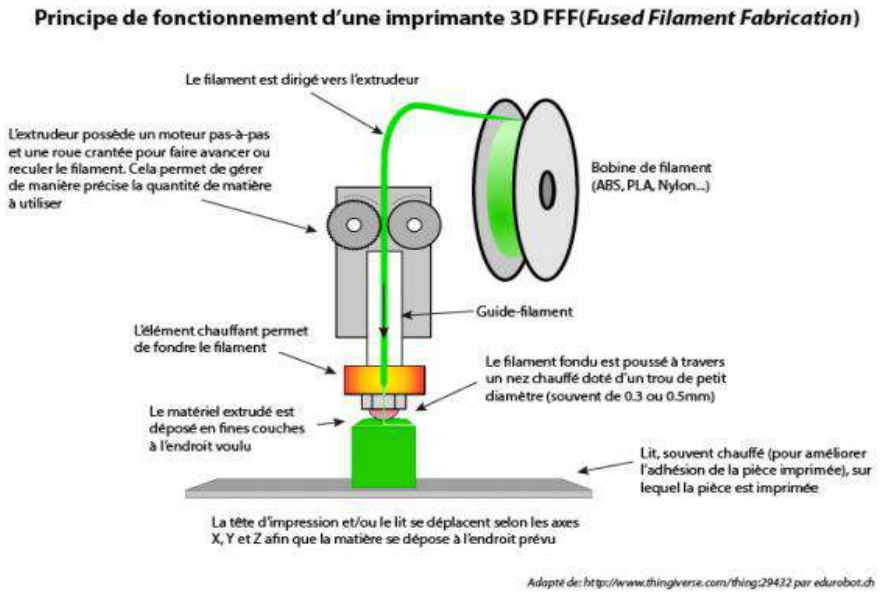


Figure 1.1. Imprimante FDM

1.3.2. La stéréo lithographie (SLA)

Il s'agit de la première technologie d'impression 3D, apparue en 1986 et mise au point par 3D System. Ici, point de buse ni de fil de plastique, mais un laser ultra-violet et un bac de photopolymère liquide. Comme le système à dépôt de filament, ce procédé imprime couche par couche. Le laser frappe le liquide qui se solidifie sous l'effet des ultra-violets. Un plateau immergé dans le bac supporte le matériau ainsi solidifié et descend, comme pour la FDM, pour passer d'une couche à la suivante **[2]**.

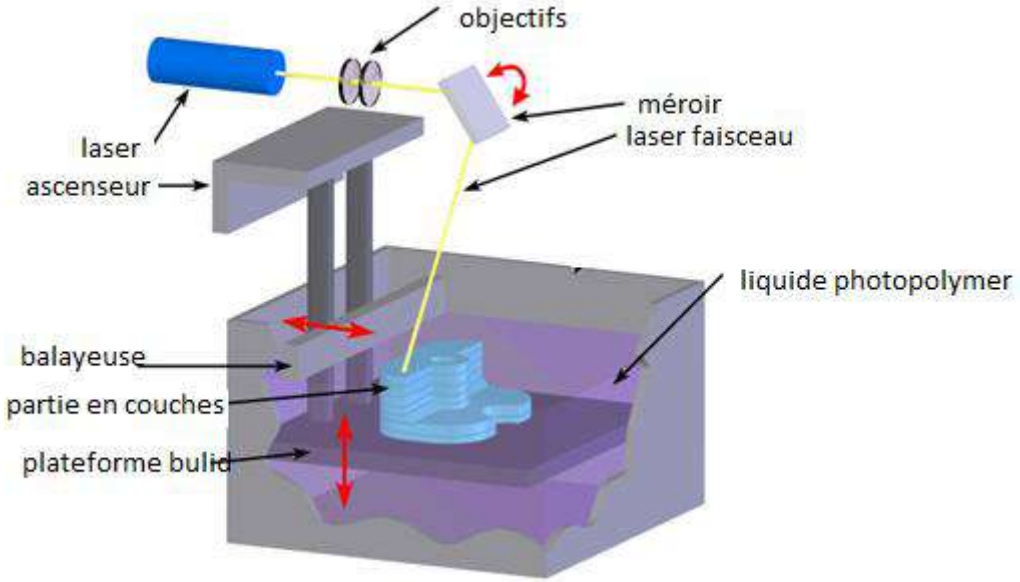


Figure 1.2. La stéréo lithographie (SLA)

Une fois l'impression terminée, il faut rincer l'objet pour le débarrasser des restes de photopolymère avec un solvant. L'objet est ensuite passé au four pour le solidifier. Une contrainte qui s'ajoute à la relative lenteur du procédé. Les matériaux utilisables restent assez peu nombreux et malgré la grande précision offerte. Par la SLA, cette technique délivre des objets relativement fragiles. Elle se limite donc à du prototypage plutôt qu'à la production d'objets.

1.3.3. Le frittage laser (SLS) :

À l'instar de la SLA, le procédé SLS utilise un laser. En revanche, la différence se situe au niveau du matériau, qui n'est plus liquide, mais sous forme de poudre de plastique, de céramique, de verre ou de métal ; pour ce dernier, on parle de DMLS (Direct Metal Laser Sintering).

Là aussi, on trouve un bac qui contient le matériau (la poudre), mais c'est un rouleau qui vient déposer une fine couche (0,1 mm) sur la plateforme d'impression. Le laser entre alors en action pour solidifier la première couche, puis l'opération se répète pour chaque couche. Une fois le processus terminé, on retire l'objet puis on le débarrasse des restes de poudre non fusionnée **[2]**.

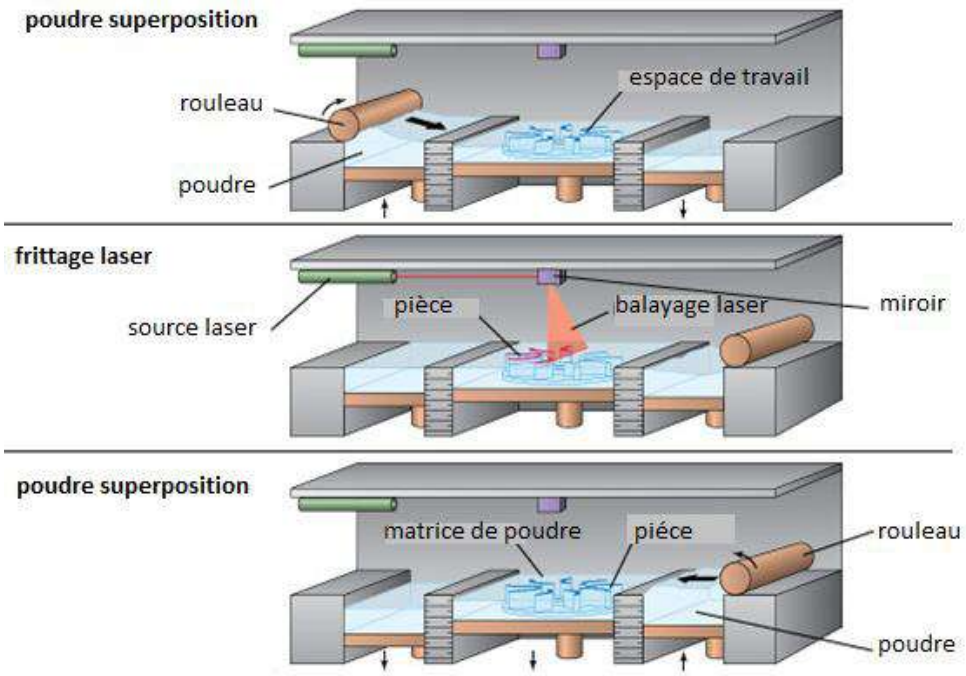


Figure 1.3. Le frittage laser (SLS)

L'avantage de cette technologie est qu'il y a très peu de déchet et que la poudre non fusionnée peut être réutilisée par la suite. En revanche, le SLS demande une poudre aux grains homogènes et un réglage très précis du laser.

1.3.4. Le procédé polyjet :

Breveté par la société Objet en 1999, le procédé dit PolyJet s'appuie sur la photo polymérisation, tout comme le SLA. Ici, des jets de matériau sont projetés sur le support d'impression. Ceux-ci correspondent là encore aux couches définies par le logiciel d'impression. Après chaque jet, le polymère est solidifié grâce à un rayon UV.

Avantage certain de cette technologie, elle ne nécessite pas de post-traitement, comme le ponçage ou le rinçage. Il est également possible d'adjoindre au matériau d'impression un deuxième matériau de support qui se dissout dans l'eau **[**2].

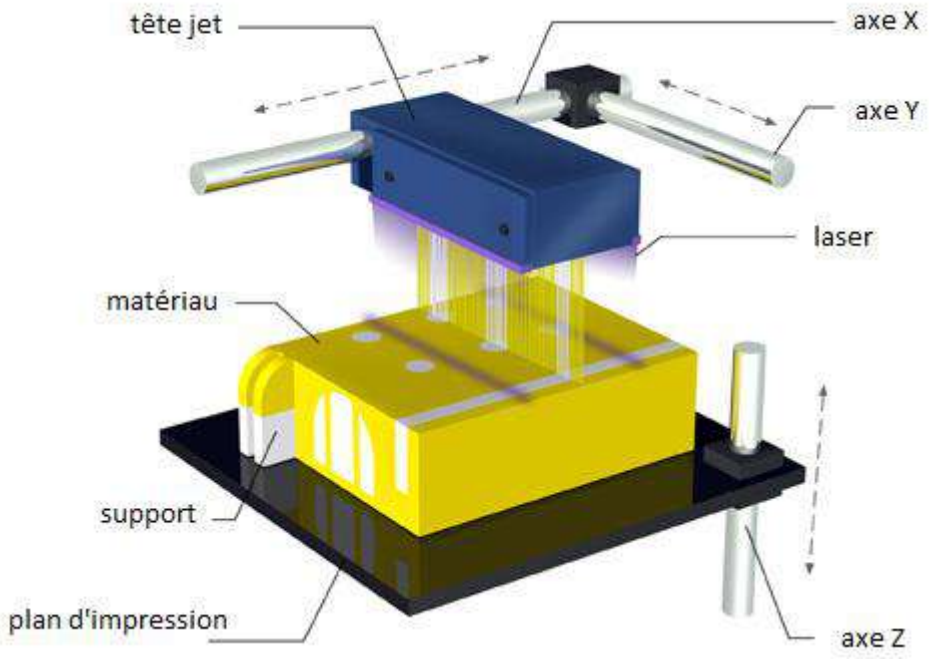


Figure 1.4. Le procédé polyjet

1.3.5. Le procédé DLP :

Développé pour des travaux nécessitant une grande précision, comme la bijouterie ou la fabrication de prothèses, le procédé DLP s'appuie sur la même technologie que celle qui est embarquée dans bon nombre de vidéoprojecteurs.

Le principe est similaire à la SLA, dans le sens où la lumière est utilisée pour solidifier un polymère liquide. Une puce composée d'une matrice de miroirs orientables, parfois plusieurs millions, réfléchit une lumière UV et projette une sorte d'image

correspondant à la forme de la couche à imprimer. Cette lumière vient donc frapper le polymère qui se trouve dans un bac pour le solidifier. Le traitement se fait couche par couche, comme dans le cas du SLA.

L'avantage du procédé DLP sur la stéréo lithographie est sans conteste la rapidité. En effet, une couche peut être solidifiée à chaque projection de lumière. Seul un déplacement vertical de la plateforme est nécessaire **[2]**.

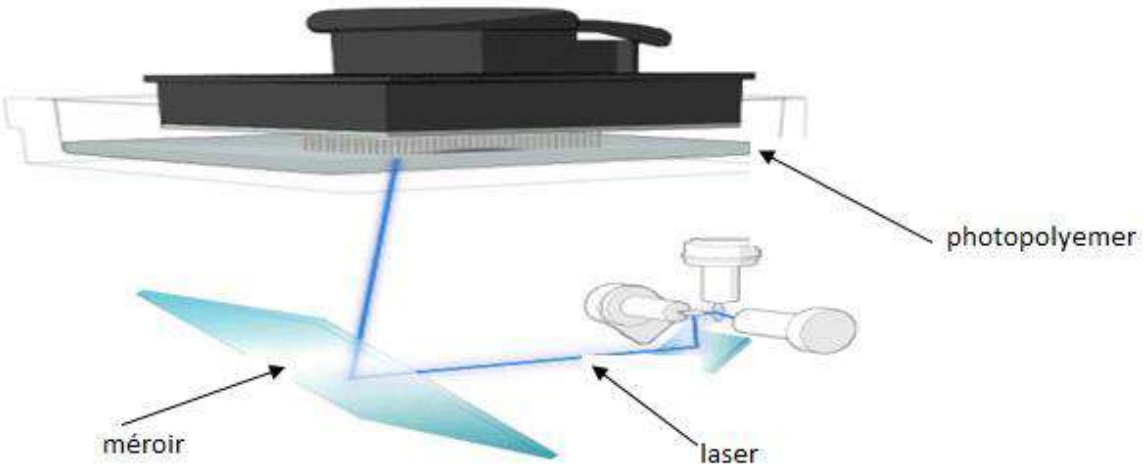


Figure 1.5. Le procédé DLP

1.4. Les applications :

La technologie de l'impartissions 3d il utilisée dans Les différents domaines par apport le poids et les solutions de ce technologie.

1.4.1. Armée :

Le commandement des opérations spéciales de l'armée américaine construit « huit usines mobiles » qui peuvent rentrer dans des conteneurs de transport standard. Ces usines sont basées sur une expérience réussie, le MPH. Ce type de « micro usines » est l'aboutissement de l'idée d'usine, avec des technologies d'impressions tridimensionnelles.
D'après l'armée américaine, l'impression tridimensionnelle réduit de 97 % les coûts de production et de 83 % le temps de production [3].

1.4.2. Aéronautique :

EADS, la maison mère d'Airbus a des projets visant à produire toutes les parties des avions par des techniques d'impression tridimensionnelle (ALM-enabled: additive layer manufacturing).

SpaceX a réussi en 2014 à remplacer certaines composantes (métalliques) de leurs fusées avec des pièces imprimées en 3D [3].

1.4.3. Médecine et recherche :

Le domaine de la médecine profite aussi de l'impression 3D, avec la création d'un matériau semblable à un os ou encore la création de prothèses et implants (hanches artificielles, appareils dentaires et auditifs personnalisés) et exosquelettes personnalisés. Récemment les chercheurs de l'AECS (université de Wollongong) ont conçu un crayon, le BioPen, capable d'imprimer des cellules souches (nerveuses, musculaires, osseuses) sur des zones lésées. L'impression tridimensionnelle, permet de matérialiser des espaces creux ou des organes mous [3].

1.4.4. Industrie :

Rendu public il y a peu de temps, l'impression fait partie en réalité du milieu industriel depuis presque une trentaine d'année. De nombreux géant du secteur de l'impression s'emploient déjà à améliorer leur imprimante 3D. L'automobile et l'aéronautique ont été les premiers à recourir à l'impression 3D car ils évoluent dans un environnement où les contraintes sont énormes et l'innovation la clé de leur succès. Comme le dit la patronne de HP, Meg Whitman : « Le marché de la 3D n'en est qu'à ses balbutiements. Les opportunités sont immenses et toute l'entreprise y travaille» Les toutes premières imprimantes 3D remontent au milieu des années 1980. Et certaines entreprises en sont des utilisatrices convaincues depuis une vingtaine d'années. Le fabricant de jouets Mattel par exemple les utilisent depuis 1992 afin de créer ces jouets, et ces pièces font partie de ses produits les plus connues comme les voitures Hot Wheels ou les poupées Monster High. L'impression 3D s'annonce comme une technologie de rupture pour l'industrie et aucun secteur industriel ne sera épargnée par ce changement [4].

1.5. Les matériaux utilisent :

Pour fabriquer un objet, on doit connaître les matériaux qui le composent. Le 3Dnatives ne vous explique pas seulement les différentes techniques d'impression 3D, mais également les matériaux qui sont au cœur de cette technologie : les plastiques, les

métaux, les matériaux organiques et les céramiques. On s'attaque aujourd'hui aux matériaux les plus usités en impression 3D – les plastiques.

1.5.1. ABS :

C'est le matériau phare des briques de Lego, très utilisé aussi dans la carrosserie des voitures, les appareils électroménagers et dans de nombreuses applications de capotage. Il appartient à la famille des thermoplastiques mais contient une base d'élastomère à base de polybutadiène qui le rend souple et résistant aux chocs.

L'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) fond entre 200 et 250 **ºC** et peut supporter des températures très basses (- 20 ºC) comme élevées (80 ºC). En plus de sa bonne résistance, ce matériau permet d'obtenir une surface polie, est réutilisable et peut être soudé par procédés chimiques (en utilisant l'acétone). Cependant, il n'est pas biodégradable et rétrécit au contact de l'air, raison pour laquelle la plateforme d'impression est chauffée afin d'éviter le décollement des pièces

L'ABS est employé principalement dans la technique de dépôt de matière fondue (FDM) et, en conséquence, il est disponible avec la plupart des imprimantes maisons comme les Replicator 2 de Makerbot et les Ultimaker. En outre, un dérivé de l'ABS, sous forme liquide, est utilisé dans les procédés SLA et Pol88yJet [4].



Figure 1.6 : Filament d'ABS générique

1.5.2. PLA :

Contrairement à l'ABS, ce polymère (acide poly lactique) est biodégradable car il est fabriqué à partir de matières renouvelables (amidon de maïs). L'une de ses caractéristiques principales est son faible rétrécissement à l'impression 3D, raison pour laquelle des plateaux chauffants ne sont pas nécessaires lors de l'impression par la technique FDM (à 185 ºC) et l'on obtient des pièces d'une meilleure précision. Enfin, grâce à sa non-toxicité, ce matériau est couramment utilisé pour des objets destinés au contact alimentaire, mais la tête d'impression doit alors être fabriquée en acier inoxydable.

En comparaison avec l'ABS, le PLA est plus difficile à manipuler du fait de sa vitesse élevée de refroidissement et de durcissement. Il peut également s'abîmer et se déteindre au contact de l'eau. Mais pour autant, ce matériau, souvent translucide, est utilisé pour la Maker Bot Réplication 2 et la CubeX et accepte tout type de finition en plusieurs couleurs **[**4].



Figure 1.7. Filament de PLA

1.5.3. Polyamides :

Les objets en polyamides sont souvent fabriqués à partir d'une poudre fine, granuleuse et blanche en utilisant la technologie du frittage sélectif par laser (SLS), mais certaines familles de ce matériau, comme le nylon, se présentent sous la forme d'un filament et s'utilisent avec la technique de dépôt de matière fondue (FDM).

Grâce à leur biocompatibilité, comme le PLA, les polyamides peuvent être utilisés pour des pièces en contact avec les aliments (sauf ceux contenant de l'alcool), et contrairement au PLA et à l'ABS, des surfaces plus lisses sans effet ondulé sont obtenues.

Etant constitué des structures semi-cristallines, ce matériau présente un bon compromis entre caractéristiques mécaniques et chimiques, d'où sa stabilité, rigidité, flexibilité et sa résistance aux chocs. Ces avantages donnent lieu à une large gamme d'applications et un grand niveau de détail. Une qualité supérieure utilisée, par exemple pour la fabrication d'engrenages, des pièces pour l'aérospatiale, l'automobile, la robotique, des prothèses médicales ou des moules pour l'injection **[**4].

1.5.4. Alumide :

Les objets en alumide sont fabriqués à partir d'une combinaison entre polyamide et aluminium en poudre en utilisant la technologie de frittage sélectif par laser (SLS) , Avec une surface légèrement poreuse et d'un aspect sableux et granuleux, ce matériau offre une grande solidité, une haute résistance à la température (172 ºC max.) et aux chocs et une

relative flexibilité. Cependant, des post-traitements sont généralement nécessaires : meulage, polissage, revêtement et fraisage par exemple.

L'alumide est utilisé pour des modèles complexes, pièces de conception ou pour des petites séries de modèles fonctionnels, ayant besoin d'une rigidité importante et d'un aspect proche de l'aluminium. La technique employée implique des limites géométriques faibles **[**4].

1.5.5. RÉSINES :

Les résines peuvent être thermoplastiques ou thermodurcissables (polymérisation) et elles constituent le matériau de base de plusieurs techniques comme la stéréo lithographie (SLA) et lePolyJet, et permettent d'obtenir des objets en finition mat ou brillant, blancs, noirs et même transparents. Ces dernières, ont une géométrie et une fonctionnalité limitées, mais la qualité et la douceur de la surface, en plus de sa transparence, sont systématiques. Dans tous les cas, il est possible de réaliser un processus de coloration et n'importe quel autre traitement post-impression.

Des résines haute précision sont mises à disposition par i. matérialise, lesquelles sont parfaites pour des modèles réduits (100x100x100 mm max.) nécessitant un grand niveau de détail géométrique avec une surface poli, fine et sans effet d'escalier au niveau des couches. La couleur du matériau est un off-blanc et, même si elle est faisable, la coloration n'est pas recommandée du fait de la possible perte de détail liée à la peinture **[**4].

1.5.6. POLYPROPYLÈNE :

Un autre thermoplastique très utilisé en automobile, pour les emballages, les vêtements professionnels jetables, et dans la fabrication d'une centaine d'objets du quotidien. Le polypropylène (PP) est connu pour sa résistance à l'abrasion et sa capacité à absorber les chocs, en plus d'une relative rigidité et flexibilité.

Un des inconvénients est sa faible résistance aux températures et sa sensibilité au rayonnement UV, raison pour laquelle plusieurs fabricants d'imprimantes ont développé des dérivés de ce matériau, les simili-polypropylènes, afin de renforcer ses propriétés physiques et mécaniques. Entre autres, on trouve la gamme VisiJet de chez 3D Systems dont les matériaux offrent une grande flexibilité comme le VisiJet Flex ou ceux qui ont une grande rigidité et une résistance plus élevée à la chaleur (130 ºC) et à l'humidité comme le VisiJet HiTemp ou la gamme DurusWhite de chez Objet. Enfin, EnvisionTEC propose un

simili-polypropylène (le LS600) pour la fabrication de pièces d'un grand niveau de détail **[**4].

1.5.7. Plastiques composites :

Dans un article précédent, 3Dnatives vous a parlé de la technologie PolyJet et de ses matériaux composites, appelés Digital Matériaux, permettant d'obtenir des prototypes assez performants pour se rapprocher des propriétés du matériau réel (résistance à la température, bio-compatibilité, rigidité ou souplesse…) et aux couleurs multiples.
Parallèlement, la société Z Corporation, rachetée par 3D Systems, a développé une technologie, similaire à celle des imprimantes 2D, exclusive aux imprimantes ZPrinter qui permet d'imprimer en couleur haute définition, avec 390.000 teintes disponibles. L'imprimante convertit chaque couleur à partir de l'espace RVB (Rouge, Vert, Bleu) vers une valeur de couleur CMJN (Cyan,Magenta, Jaune, Noir) pour impression et le logiciel ZEdit™ permet d'ajouter la couleur, des textures colorées et des étiquettes pour des fichiers de modèles en 3D. Pour minimiser les coûts, seul le contour de la pièce est coloré lors de l'impression **[**4].

1.6. Technologie de l'imprimante 3D :

En premier lieu, il convient de dessiner la forme souhaitée sur un logiciel de CAO (Conception Assistée par ordinateur). Il existe un nombre important de logiciels sur le marché qui permettent de créer ses modèles 3D (certains gratuits et/ou Open Source d'autres sont propriétaires). Les plans sont ensuite transmis à l'imprimante. Et la magie logicielle ne ça ne s'arrête pas là. L'imprimante est obligée de traiter cette modélisation 3D conformément à la logique de Fabrication Additive : c'est-à-dire découper la modélisation 3D en couche 2D. Un nouveau logiciel prend alors le pas pour créer ces découpes 2D et envoyer les instructions à l'imprimante.

Autour de ces deux grandes fonctions, d'autres logiciels sont intégrés notamment pour assurer la communication entre l'imprimante et les ordinateurs (généralement dans des logiques de contrôle et de monitoring de l'extruder (le « stylet » de l'imprimante) ou des objets construits et/ou de l'imprimante 3D elle-même)

L'imprimante 3D reçoit donc une série d'instructions mais plusieurs technologies existent pour passer de couches 2D à un objet 3D. Deux grands types de procédés sont en fait utilisés pour former les objets. Soit la matière travaillée peut entrer en fusion et en quel cas, elle peut être fondue peu à peu pour obtenir la forme souhaitée. Soit la matière peut

être solidifiée sous l'action de la chaleur ou de la lumière (laser). Mais systématiquement, l'imprimante 3D « pense » couche par couche pour obtenir la forme 3D **[**2]. Chacun des méthodes implique des qualités propres qui jouent sur la durée nécessaire à l'obtention de l'objet mais aussi la taille limite des objets.

1.6.1. Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D :

Toutes les imprimantes 3D personnelles que nous allons examiner dans ce projet part de nombreuses similitudes avec l'autre, au moins en principe, bien qu'ils puissent chaque aborder les choses un peu différemment.

Derrière cette expression encore confidentielle se cache un procédé assez simple : fabriquer des objets à partir de modélisation 3D créée sur ordinateur.

Avec une subtilité de taille tout de même. On assemble les matériaux couche après couche à la manière d'une mille-feuille. Grossièrement, l'objet en 3D est un assemblage de couches comme si on empilait des feuilles les unes sur les autres.
On touche ici une première petite révolution face aux méthodes de fabrication industrielle classique. En effet, une usine traditionnelle enlève de la matière à une pièce de plastique ou de métal pour obtenir la forme souhaitée (elle soustrait de la matière). L'imprimante 3D ajoute ou solidifie des couches. D'où l'appellation « Fabrication Additive » en opposition à « Fabrication soustractive Jetons un coup d'œil de plus près comment ces imprimantes 3D fonctionnent en utilisant l'exemple de la figure 1.1 [5].

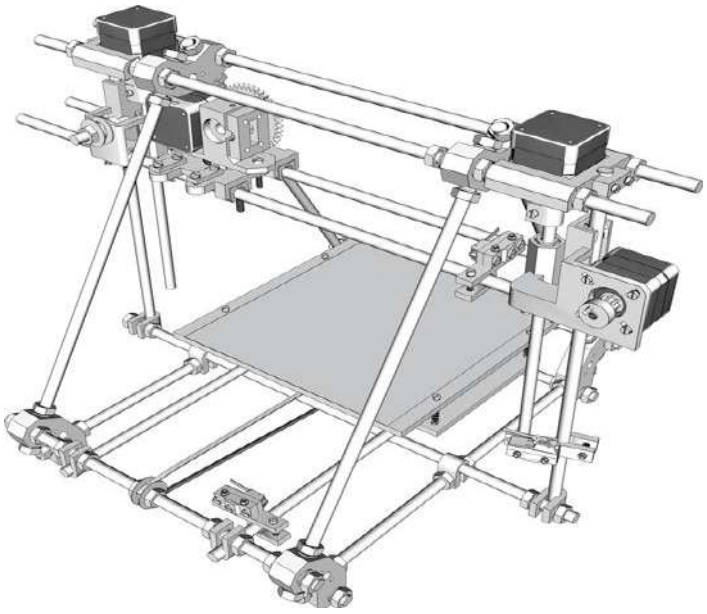


Figure 1.7. Imprimante 3D

1.6.2. Robot cartésien :

Central à une imprimante 3D est l'idée d'un robot cartésien. C'est une machine qui peut se déplacer dans trois directions linéaires, le long de la direction x, y, et z-axes, également connu sous les coordonnées cartésiennes Pour ce faire, ces imprimantes 3D utilisent petites moteurs pas à pas qui peuvent se déplacer avec une grande précision et d'exactitude, habituellement (1,8) degrés par étape, qui se traduit par résolutions dans les fractions d'un ordre du millimètre par la façon unique que ces moteurs pas à pas sont contrôlés Le robot à trois axes est comme tous les' autre commande numérique par ordinateur (CNC) robot et est capable de positionner son extrudeuse thermoplastique long de chacun de ces axes linéaires de mouvement de fixer couche après couche de plastique à chaud Toutes les imprimantes 3D dans l'utilisation du livre courroies et poulies le long de leur x et y axes de fournir rapide mais précis Positionnement, et la plupart l'utilisation tige filetée, ou les vis, pour positionner l'axe z avec encore plus de précision .

Alors qu'il pourrait tout son complexe, il ne est vraiment pas si compliqué que ça, que la quasi-totalité de ces imprimantes 3D bricolage [5].

1.6.3. Génie Logiciel :

En premier lieu, il convient de dessiner la forme souhaitée sur un logiciel de CAO (Conception Assistée par ordinateur). Il existe un nombre important de logiciels sur le marché qui permettent de créer ses modèles 3D. Les plans sont ensuite transmis à l'imprimante. L'imprimante est obligée de traiter cette modélisation 3D conformément à la logique de Fabrication Additive : c'est-à-dire découper la modélisation 3D en couche 2D. Un nouveau logiciel prend alors le pas pour créer ces découpes 2D et envoyer les instructions à l'imprimante.

Autour de ces deux grandes fonctions, d'autres logiciels sont intégrés notamment pour assurer la communication entre l'imprimante et les ordinateurs (généralement dans des logiques de contrôle et de monitoring de l'extruder (le « stylet » de l'imprimante) ou des objets construits et/ou de l'imprimante 3D elle-même) [5].

1.7. Conclusion :

L'impression 3d offre une bonne solution de prototypage et une fabrication efficace et rapide. Cette technologie présente un nouvel outil de fabrications de pièces de différentes matières premières. L'impression 3d est largement utiliser dans différents domaines à cause de sa simplicité de fabrication et de sa précision.

La technologie d’impressions 3d représente une solution idéal et efficace pour diminué les problèmes techniques de fabrication et pour avoir un bon produit (prix/qualité).

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter notre conception de l'imprimante 3D selon le principe FDM.

CHAPITRE 2

Conception de la partie mécanique de l'imprimante 3D

Chapitre 02

Conception de la partie mécanique de l'imprimante 3D

2.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous traitons les deux points suivants : Le premier point consiste à l'étude statique et la conception des pièces mécaniques de l'imprimante (des visses, courroie, roulement,….) afin de choisir les dimensions de ces pièces. Cette étude sera effectuée par le logiciel SolidWorks Simulation Xpress qui permet d'effectuer une analyse des contraintes de base sur des pièces séparée. Nous pouvons déterminer rapidement les effets des forces et établir des rapports regroupant les résultats obtenus. Le deuxième point consiste à l'étude thermique du processus de l'extrusion de la matière plastique. Cette étude sera effectuée par le logiciel ANSYS.

2.2. Conception de la partie mécanique :

La figure 2.1 montre la perspective générale de l'imprimante tridimensionnelle conçue. Dans sa structure, on distingue quatre parties principales :

Trois parties assurent la transformation des mouvements de rotation générés par des moteurs pas-à-pas en mouvement de translations suivants les trois axes de référence. Dans notre système, nous avons adopté les systèmes de transmission suivants :

- Un système de transmission par vis- écrou pour assurer la translation de la table (44) suivant l'axe vertical.
- Deux systèmes de transmission par courroie pour assurer la translation de la table (44) et du support (13) suivant les deux directions horizontales.

La quatrième partie de la structure assure l'extrusion et la fusion de la matière plastique.

Le tableau 1.1 décrit les éléments constitutifs de l'imprimante 3D.

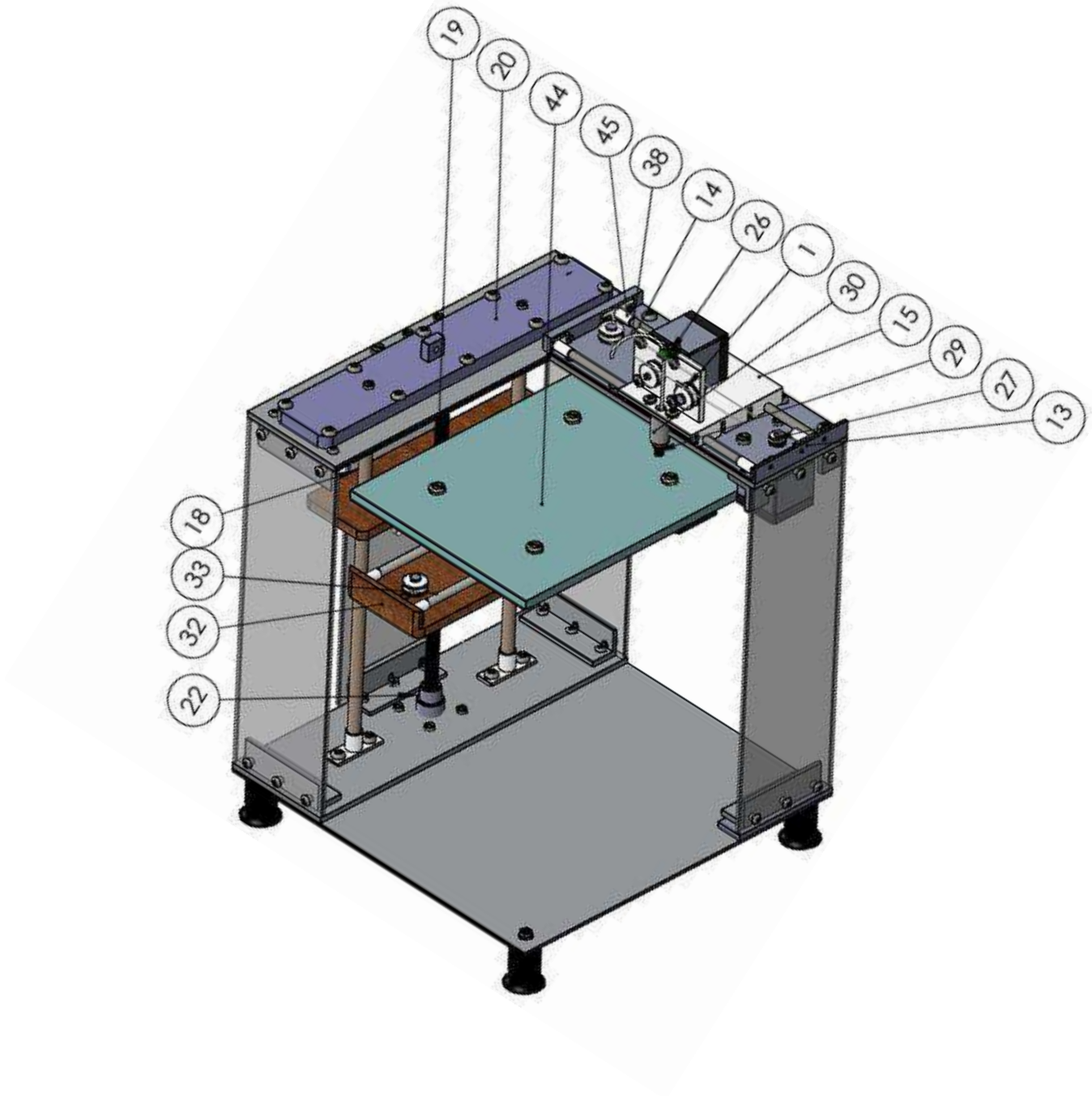


Figure 2.1. La conception générale de l'imprimant 3D

2.3. Le Détail des éléments de l'imprimant 3D :

2.3.1. Châssis :

Le châssis comporte une base et quatre supports sous forme de plaque en aluminium. Il permet de porter les autres éléments de l'imprimante. Les dimensions du châssis sont 400mm × 400mm ×400 mm. La figure 2.2 montre une vue du châssis.

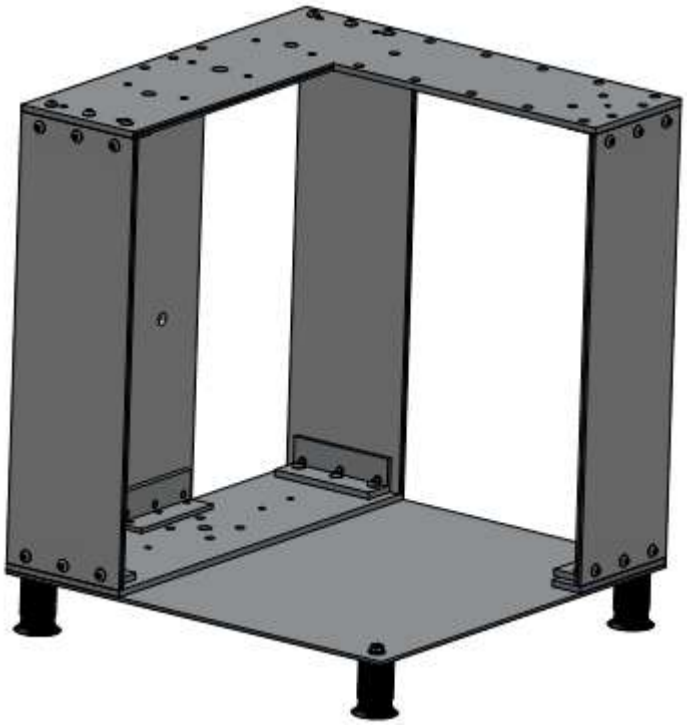


Figure 2.2 châssis

2.3.2 Etude statique du support :

L'étude statique du support a été effectuée par le logiciel Solidwork qui permet de calculer la distribution des contraintes dans le solide.

A-Propriétés du matériau :

Nom:	Alliage 2014
Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique
Limite d'élasticité:	9.65098e+007 N/m^2
Limite de traction:	1.65445e+008N/m^2

Masse = 801.92 g

Volume = 286400.00 mm^3

Superficie = 105432.00 mm^2

Centre de gravité: (mm)

X = 0.00

Y = 0.00

Z = 3.00

Principaux axes et moments d'inertie: (g.mm^2)

Pris au centre de gravité.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 954502.45
Iy = (0.00, 1.00, 0.00)	Py = 10694685.49
Iz = (0.00, 0.00, 1.00)	Pz = 11644350.29

Moments d'inertie: (g.mm^2)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

Lxx = 954502.45	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 10694685.49	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 11644350.29

Moments d'inertie: (g.mm^2)

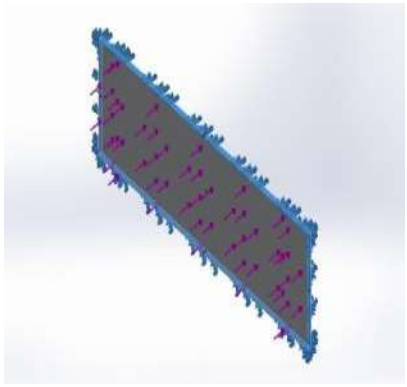
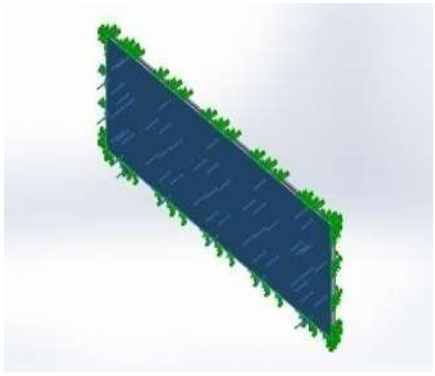
Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 961719.73	Ixy = 0.00	Ixz = 0.00
Iyx = 0.00	Iyy = 10701902.77	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 11644350.29

B-Actions extérieures

Le tableau 2.1 montre le chargement appliqué sur la plaque du support. La masse du châssis est égale à 480g

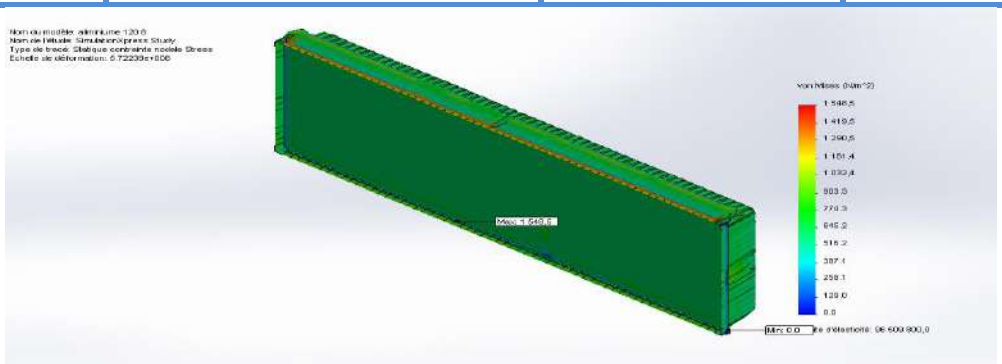
Tableaux 2.1. Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		**Entités:** **7 face(s)** **Type:** **Géométrie fixe**
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force 1		**Entités:** **1 face(s)** **Type:** **Force normale** **Valeur:** **56 N**

Tableaux 2.4. Détails sur le maillage

Nombre total de noeuds	23257
Nombre total d'éléments	13094
Aspect ratio maximum	48.666
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	88.7
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.275
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Type de maillage	Maillage volumique
Points de Jacobien	4 points
	

Tableaux 2.5. Résultats de l'étude :

Nom	**Type**	**Min**	**Max**
Stress	VON: contrainte de von Mises	8.51341e-006 N/m^2 Noeud: 21768	1548.55 N/m^2 Noeud: 5274
Displacement	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 1	7.00968e-008 mm Noeud: 22001
			

2.3.3.Le système guidage :

Le système de guidage est très important pour la facilité de mouvement sans frottement et la fluidité du mouvement des axes de l'imprimante. Nous avons choisi des tiges lisses en acier de diamètre 10 mm. Ces tiges sont utilisées pour porter le poids et résister les forces qui lui sont appliquées.

Nous avons constaté que les guidages des axes X, Y et Z doivent être réalisés par l'intermédiaire des bagues en bronze. En effet, cette solution permet de guider les axes sur les tiges lisses de diamètre de 8mm. Pour assurer un bon déplacement suivant les trois axes, nous avons installé deux tiges pour chaque axe.



Figure 2.3. tige lisse de guidage

2.3.1. Etude statique les tiges de guidage :

Nom:	AISI 321 Acier inoxydable recuit (SS)
Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique
Critère de ruine par défaut:	Inconnu
Limite d'élasticité:	2.34422e+008 N/m^2
Limite de traction:	6.2e+008 N/m^2

Volume = 14272.26 mm^3

Masse:0.114178 kg

Masse volumique:8000 kg/m^3

Poids:1.11894 N

Densité = 0.01 grammes par millimètre cube

Superficie = 7269.65 mm^2

Centre de gravité: (mm)

X = 96.94

Y = 0.00

Z = 0.00

Principaux axes et moments d'inertie: ($g.mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 907.88
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 768231.85
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 768231.85

Moments d'inertie: ($g.mm^2$)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système

de coordonnées de sortie.

Lxx = 907.88	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 768231.85	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 768231.85

Moments d'inertie: ($g.mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 907.88	Ixy = 0.00	Ixz = 0.00
Iyx = 0.00	Iyy = 1841197.68	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 1841197.68

Actions extérieures, voir le tableau 2.6.

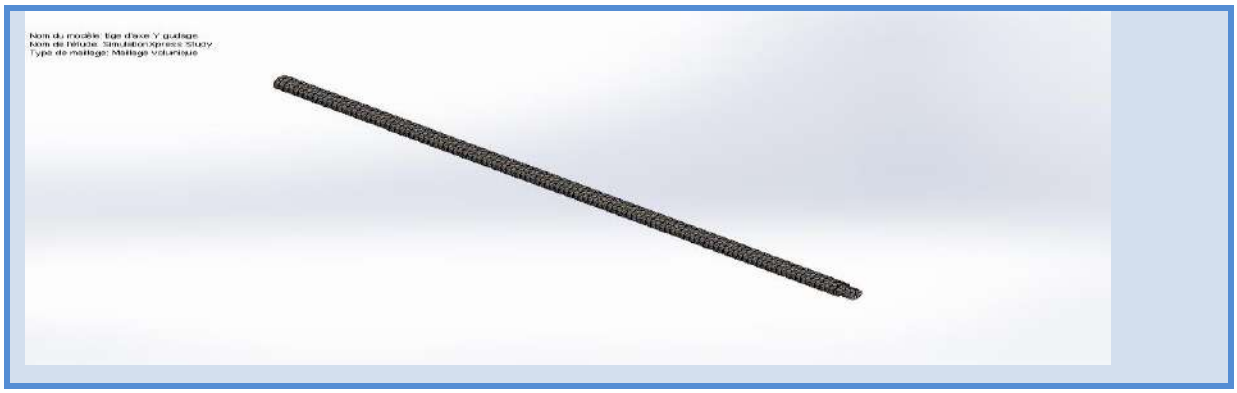
Dans la simulation, on applique une force de 3.2 Kg pour chaque tige par ce que la charge maximale c'est 5.6 Kg divisé par deus pour chaque axe.

Tableau 2.6. Actions extérieures

Nom du déplacement impose	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé	
Fixe-1		**Entités:** **Type:**	4 face(s) Géométrie fixe
Nom du chargement	**Image du chargement**	**Détails du chargement**	
Force-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:**	1 face(s) Force normale 35 N

Tableau 2.7. Informations sur le maillage – Détails

Nombre total de nœuds	9294
Nombre total d'éléments	5165
Aspect ratio maximum	3.8377
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	99.6
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Type de maillage	Maillage volumique
Points de Jacobien	4 Points



Tableaux 2.8. Résultats de l'étude :

Nom	Type	Min	Max
Stress	VON: contrainte de von Mises	27.1827 N/m^2 Noeud: 4197	6581.29 N/m^2 Noeud: 125
Displacement	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 1	6.97854e-008 mm Noeud: 5763



Conclusion :

Grâce à cette étude statique et des simulations, nous notons que le déplacement est très faible pour toute la longueur de la tige. La contrainte de Von Mises maximale ne dépasse pas la limite.

En ce qui concerne la friction résultante du mouvement entre les tiges de guidage et les supports des axes, la solution est d'utiliser des douilles à billes.

Le guidage dans cette imprimante 3d de ce projet se fait par deux tiges lisses diamètres 8 mm pour les deux axes (X, Y). Elles sont fixées dans l'une d'extrémités par les vis

M4×16 et dans l'autre extrémité avec montage forcé. L'écart entre les deux tiges c'est 100mm. .Le matériaux de la tige utilisée c'est acier chromé pour augmenter le glissement entre celui-ci et le support d'axes. L'acier chromé est plus résistant au poids et à la pression.

2.4. Transmission de mouvement :

Le système conçu assure trois mouvements de translation suivant les trois axes de références à savoir : axes horizontales OX et OY et axe vertical OZ.

2.4.1. Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe X :

Le dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe X contient principalement l'espace d'impression. Il doit supporter le poids de l'objet à créer.

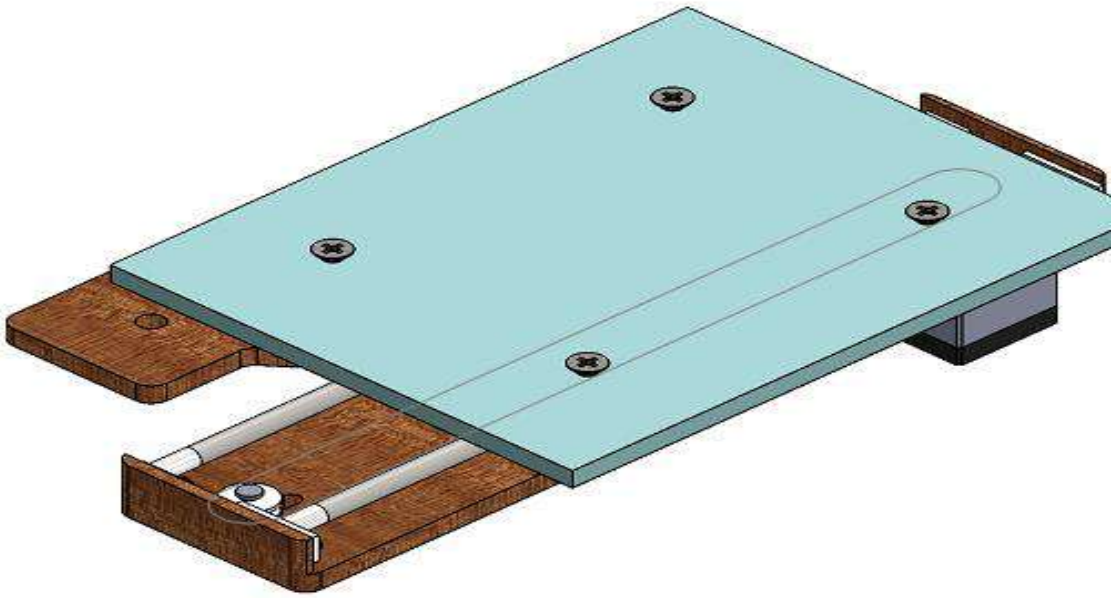


Figure 2.4. Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe X.

Le mécanisme de l'axe OX est constitué par différentes pièces. Le support de toutes les pièces de mécanisme d'axe OX est en aluminium et d'épaisseur 3mm. Le guidage de dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe OX est assurer par deux tiges lisses diamètres 10mm tel que l'entraxe entre les deux tiges est 100mm.

Le plan d'impressions est un élément commun entre l'axe (X) et l'axe (Y).

2.4.2. Étude cinématique de l'axe (X) :

La transmission de mouvement :

Pour produire un mouvement de rotation, nous utilisons des moteurs pas à pas qui sont les plus utilisés dans le domaine de l'impression 3D.

Les transmissions de mouvement se faitent principalement par l'intermédiaire

- soit d'un coupleur (autorise un désalignement de la tige à mettre en rotation) : intéressant dans notre cas.
- soit de système poulie-courroie (bonne précision et utiliser à grande vitesse)

Dans ce contexte, le système le plus approprié reste tout de même le coupleur, moins cher et facile à mettre en œuvre, il convient parfaitement pour notre cahiers des charges.

Dans notre projet, nous avons retenu deux systèmes principaux pour transformer le mouvement de rotation du moteur en un mouvement de translation :

- Le système poulie-courroie
- Le système vis-écrou traditionnel

Ces deux systèmes ont des avantages et des inconvénients.

Tableaux 2.9. Les avantages et les inconvénients

Avantages	Inconvénients
- Possibilité de variation d'entraxe et de position relative entre les arbres moteur et récepteur. - Grande flexibilité et souplesse (choc amorti), - Bonne résistance (hydrocarbure, graisses, acides...), - Pas de lubrification (protection à sec, carters), - Entretien limité (réglage tension périodique), - Fonctionnement silencieux, - Glissement si forte charge (limiteur de couple), - Grande durée de vie et coût d'achat réduit, - Bon rendement jamais inférieur à 95%,	- L'encombrement des éléments de guidage (Roulements, coussinets …) dans les paliers soumis à des efforts radiaux souvent importants (dépendant directement des tensions dans la courroie). - La non garanti d'une transmission parfaitement homocinétique pour les courroies asynchrones, qui entraînent des poulies sans dentures - la possibilité du décollement (courroie-poulies) sous l'effet du « coin d'air » qui soulève la courroie au-delà d'une vitesse linéaire donnée ; il en résulte une

- Masse volumique faible (effet centrifuge mini.), - Non conductibilité électrique, - Résistance thermique (-40° à +90°), - Bonne résistance aux craquelures, - Bonne dissipation de chaleur, - Bonne résistance à la traction, - Bonne résistance à la fatigue (souplesse). [5]	diminution de l'angle d'enroulement entraînant une chute du couple transmissible. [5]

Transmission par courroie :

La courroie de transmission de puissance est un lien flexible réunissant deux poulies en liaison pivot avec le bâti. Cette transmission de puissance se fait par adhérence entre la courroie et la poulie. Contrairement aux chaînes de transmission de puissance, les courroies de transmission ont généralement une rigidité en torsion très faible permettant leur utilisation si les poulies ont leurs axes non parallèles (cas des courroies asynchrones), avec l'aide parfois de galets intermédiaires appelés galopins, ceux-ci étant toujours placés sur le brin mou de la courroie et le plus près possible de la petite poulie.[5]

Le couple transmis à l'arbre récepteur peut varier en intensité et en sens en fonction des valeurs relatives des diamètres primitifs d1 et d2 respectivement des poulies motrices et réceptrices et de leurs positionnements. [5] ISBN 2.09.178965.8

Les caractères de courroie et poulie d'axe (X)

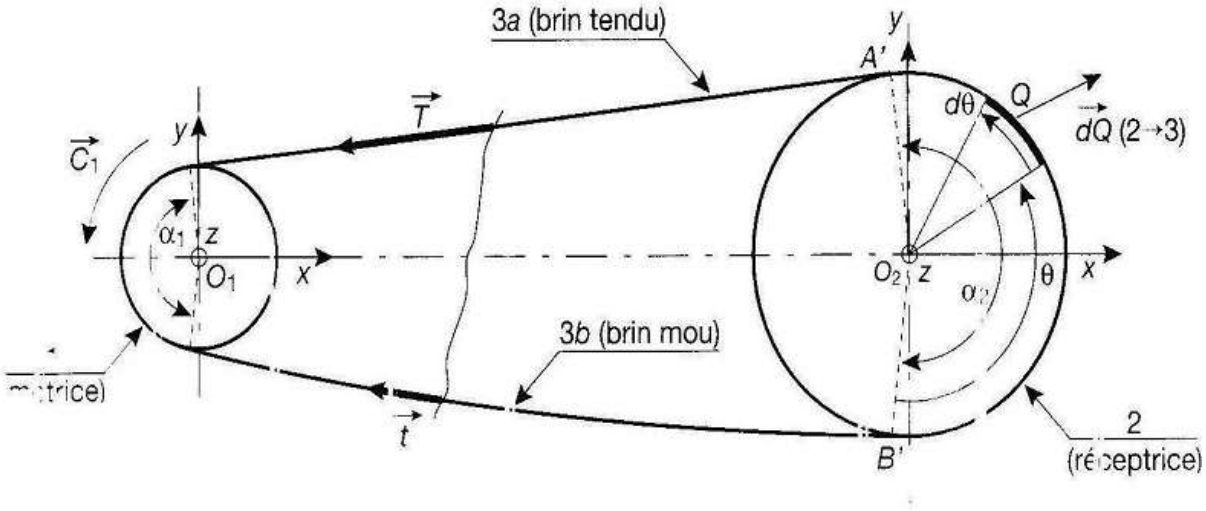


Figure 2.5.système poulie-couroie

D_1 : diamètre de la roue de moteur (X), D_1 = 12 mm

D_2 : diamètre de la roue moteur (X), D2= 22 mm

E : module de Yong courroie E= 5MPA

S : section de courroie S=12 mm^2

G : le glissement entre la courroie et poulie 2% <G>3%

$Б_P$: contrainte pratique en extension [9]

L'entraxe a :

L_{TS} : longueur total de support L_{TS}=340mm (à partir de construction)

$a= L_{TS}-(28+ D_1/2+10+ D_2/2)$…… (2.1)

a=300 mm

Longueur de courroie :

$L= 2a + \pi\left(\frac{D2-D1}{2}\right) + (\frac{D2-D1}{4a})^2$ ……... (2.2)

$\alpha 1 = 2 * arccos\,(\frac{D2}{2a} - \frac{D1}{2a})$…… (2.3)

$\alpha 1 = 2 * arccos\,(\frac{D2}{2a} - \frac{D1}{2a})$ = 178 deg

$\alpha 2= 2 * \pi - \alpha 2$

$\alpha 2= 2 * \pi - \alpha 2$ = 181.9 deg

$L= 2\,a \sin\frac{\alpha 1}{2} + \frac{D1}{2}\alpha 1 + \frac{D2}{2}\alpha 2$

= 615.7 mm

L'angle d'enroulement

$\Theta_d = 180 - 2\sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2a}\right)$ …….....(2.4)

$\Theta_d = 180 - 2\sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2a}\right) = 180$ deg

d/ le rapport de transmission

$R = \frac{D2}{D1} = 1.83$

La tension de courroie

T : tension dans le brin tendu (N)

t : tension dans le brin mou (N)

Modélisation de T et t :

$R = \frac{D2\left(1+\frac{T}{ES}\right)}{D1\left(1+\frac{t}{ES}\right)}$ → $R.D_1.E.S + R.t = D_2.E.S + t.e^{\Theta d\, G}$ ……(2 .5)

$\rightarrow (R.D1 - D2)ES = (e\,\Theta d\, G - R)t$

$t = \frac{(R.D1 - D2)ES}{(e\,\Theta d\, G - R)}$ …… (2.6)

(1) → $t = 6.3*10^{-2}$ N

$T = t \times e^{\Theta dG}$

(2)

En remplace (1) dans (2)

$T = 22.6*10^{-2}$ N

T_0 : tension à vide

$T_0 = \frac{1}{2}(T + t)$ → $T_0 = 14.45*10^{-2}$ N

La résistance en traction d'une courroie $Б_M$:

$Б_M = \frac{T}{S} \leftrightarrow Б_M = 1.88*10^4$ N.mm

Condition de résistance en traction d'une courroie s'écrit $Б_M \leq Б_p$

A partir de ce caractéristique en trouve les configurations réale de courroie par le tableaux NF ISO [6]

Suite à l'étude cinématique de ce axe nous avons choisi le type de courroie à partir le tableau iso suivant :

Tableaux 2.10. NF ISO

Armature	Revêtement	Diamètre min. des poulies	Épaisseur standard	Température d'utilisation	Largeur min.	Résistance à la rupture*	Effort de traction**
Coton	Silicone	10	0,8	– 20 °C à + 120 °C	5	800	135

Le couple poulie motrice [8] :

$C_1 = T. \frac{D1}{2}$ ……...(2.7)

$C_1 = 135.6*10^{-5}$ N.m

b/Le couple poulie :

$C_2 = t. \frac{D2}{2}$ ……...(2.8)

$C_2 = 69.3*10^{-5}$ N.m

2.4.3. Etude statique du support de l'axe X :

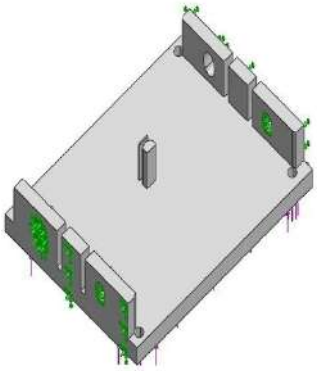


Figure 2.6. Support d'axe X

Informations sur le modèle :

Nom:	Résine polyester
Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique
Critère de ruine par défaut:	Inconnu
Limite de traction:	1.9e+008 N/m^2

Masse:0.397892 kg

Volume:0.00034301 m^3

Masse volumique:1160 kg/m^3

Poids:3.89934 N

Centre de gravité: (mm)

X = -0.01

Y = 6.97

Z = 0.01

Principaux axes et moments d'inertie: (gr× mm^2)

Pris au centre de gravité.

Ix = (-0.00, 0.00, 1.00) Px = 735063.63

Iy = (1.00, -0.00, 0.00) Py = 1613458.93

Iz = (0.00, 1.00, -0.00) Pz = 2318576.70

Moments d'inertie: (gr× mm^2)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

Lxx = 1613458.05 Lxy = -42.46 Lxz = -882.83

Lyx = -42.46 Lyy = 2318576.70 Lyz = 53.80

Lzx = -882.83 Lzy = 53.80 Lzz = 735064.52

Moments d'inertie: (gr× mm^2)

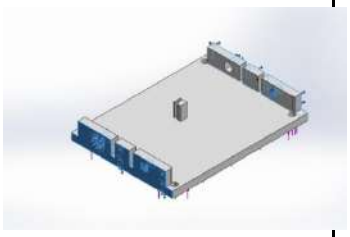
Pris au système de coordonnées de sortie.

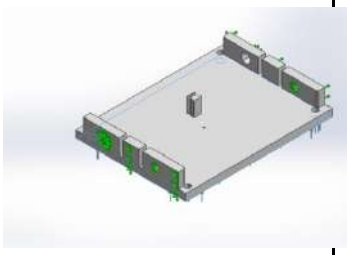
Ixx = 1632803.04 Ixy = -63.85 Ixz = -882.86

Iyx = -63.85 Iyy = 2318576.76 Iyz = 82.60

Izx = -882.86 Izy = 82.60 Izz = 754409.50

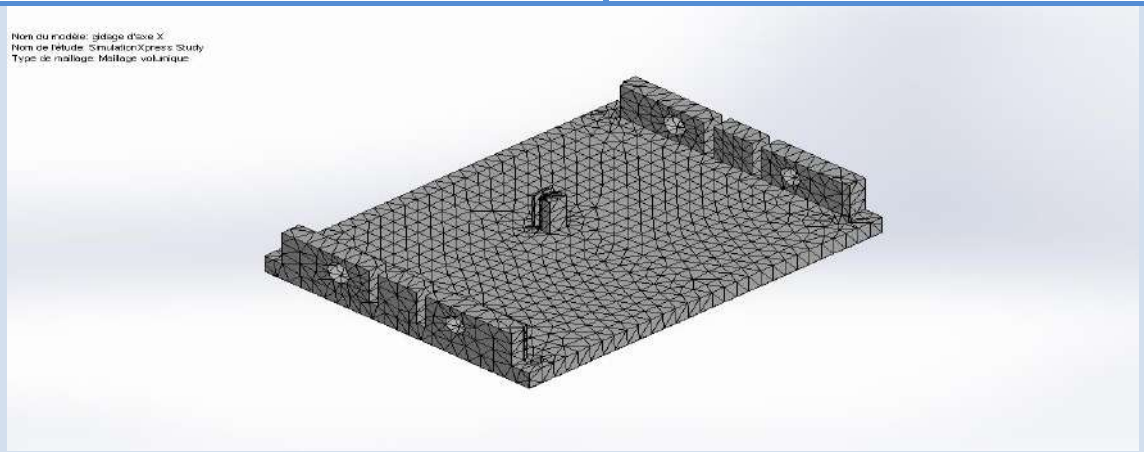
Tableaux 2.11. Actions extérieures :

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		**Entités:** 5 face(s) **Type:** Géométrie fixe
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé	
Force-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:**	1 face(s) Force normale 40 N

Tableaux 2.12. Informations sur le maillage – Détails :

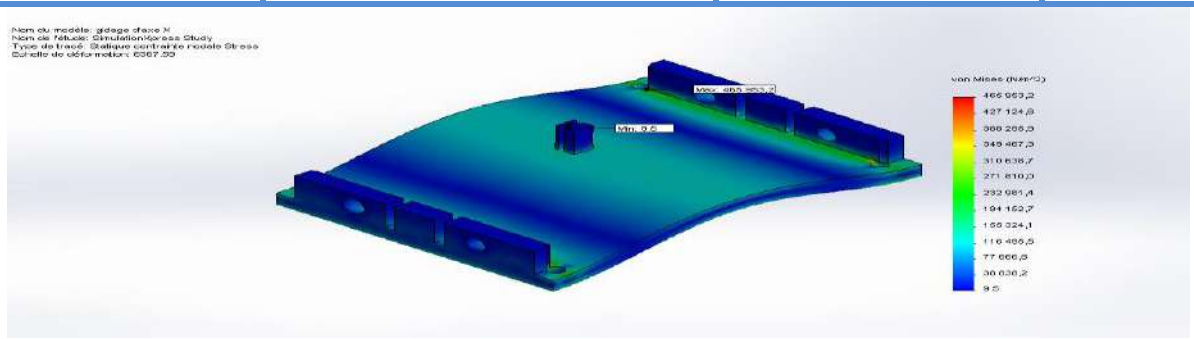
Nombre total de noeuds	18029
Nombre total d'éléments	10241
Aspect ratio maximum	19.827
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	88
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	1.63
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Taille d'élément	7.00193 mm
Type de maillage	Maillage volumique



D-Tableaux (2-13) Résultats de l'étude :

Nom	Type	Min	Max
Stress	VON: contrainte de von Mises	9.53301 N/m^2 Noeud: 5282	465953 N/m^2 Noeud: 16704
Displacement	URES: Déplacement résultant	0 mm	0.00314092 mm

Nom	Type	Min	Max
		Noeud: 1	Noeud: 7186



gidage d'axe X-SimulationXpress Study-Contraintes-Stress

Après ce simulation en remarque que cette élément ou le support d'axe x c'st rigide et le déplacement est très petit et la contrainte de von Mises supporte les actions extérieures.

2.4.3 Plan d'impressions :

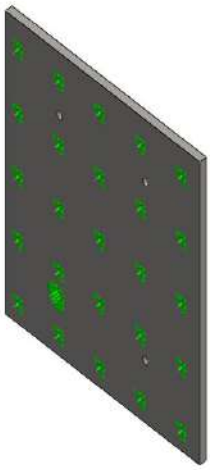


Figure 2.7. plan d'imprission

Informations sur le modèle :

Nom: 1.7319 (20MoCrS3)

Type de modèle: Linéaire élastique isotropique

Critère de ruine par défaut: Inconnu

Limite d'élasticité: 2.95594e+008 N/m^2

Limite de traction: 9.00826e+008 N/m^2

Masse:70.0432 kg

Volume:0.000897989 m^3

Masse volumique:7800 kg/m^3

Centre de gravité: (millimètres)

X = -0.01

Y = 6.97

Z = 0.01

Principaux axes et moments d'inertie: (g.mm^2)

Pris au centre de gravité.

Ix = (-0.00, 0.00, 1.00) Px = 735063.63

Iy = (1.00, -0.00, 0.00) Py = 1613458.93

Iz = (0.00, 1.00, -0.00) Pz = 2318576.70

Moments d'inertie: (g.mm^2)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

Lxx = 1613458.05 Lxy = -42.46 Lxz = -882.83

Lyx = -42.46 Lyy = 2318576.70 Lyz = 53.80

Lzx = -882.83 Lzy = 53.80 Lzz = 735064.52

Moments d'inertie: (g.mm^2)

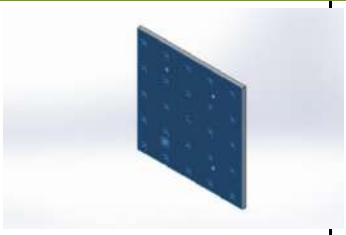
Pris au système de coordonnées de sortie.

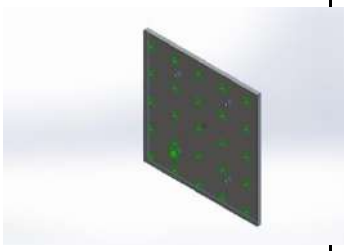
Ixx = 1632803.04 Ixy = -63.85 Ixz = -882.86

Iyx = -63.85 Iyy = 2318576.76 Iyz = 82.60

Izx = -882.86 Izy = 82.60 Izz = 754409.50

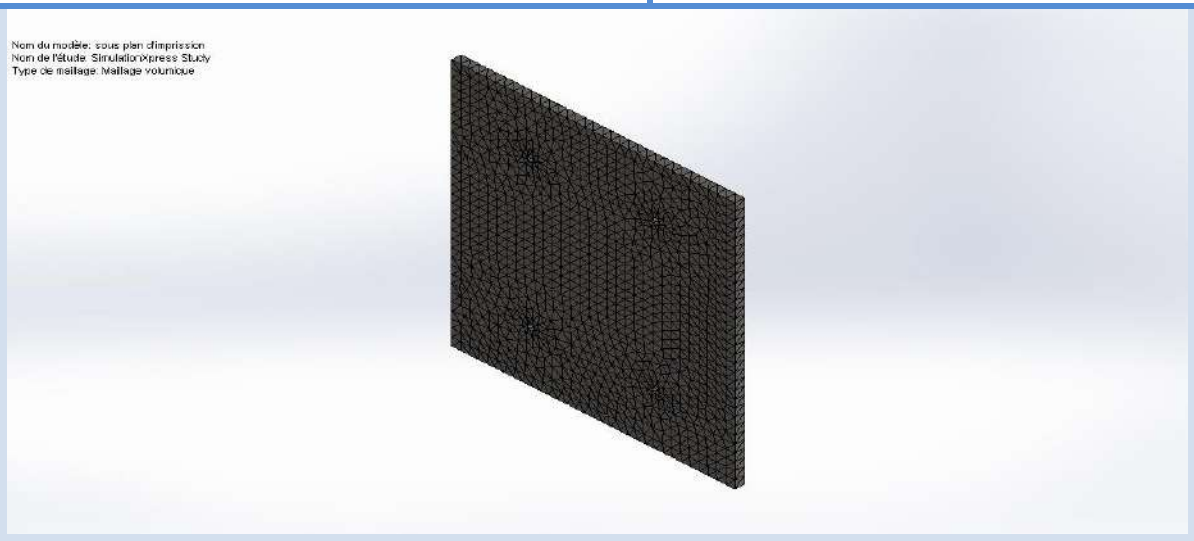
Tableaux 2.14. Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		**Entités:** 1 face(s) **Type:** Géométrie fixe
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé	
Force-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:**	1 face(s) Force normale 40 N

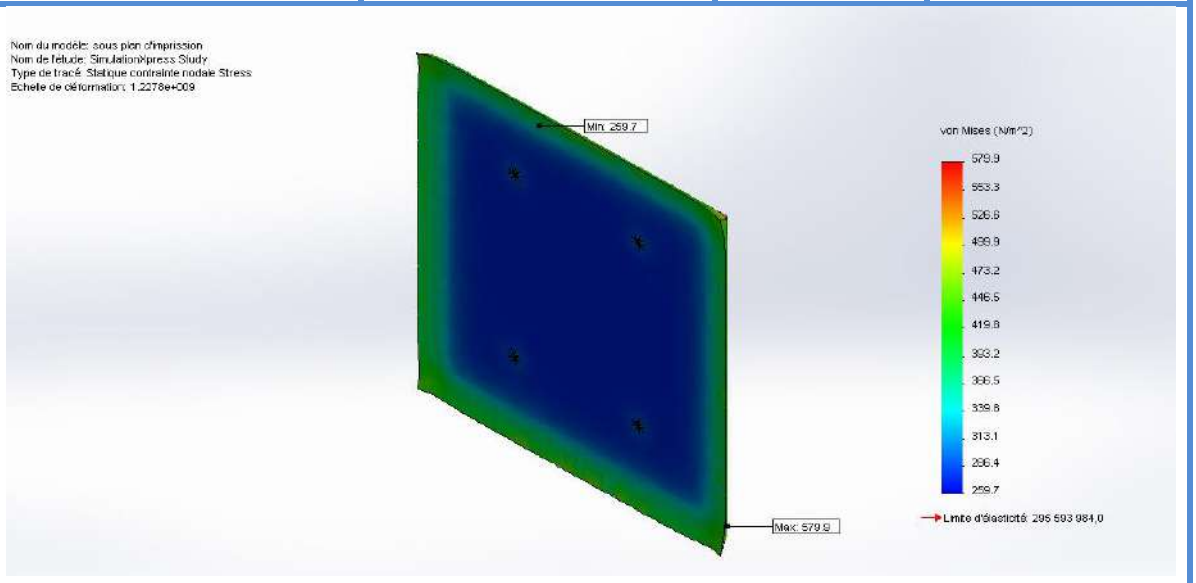
C-Tableaux (2-15) Informations sur le maillage – Détails :

Nombre total de nœuds	17997
Nombre total d'éléments	10026
Aspect ratio maximum	7.8242
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	99.1
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Taille d'élément	9.64996 mm
Qualité de maillage	0.482498 mm



Tableaux 2.16. Résultats de l'étude :

Nom	Type	Min	Max
Stress	VON: contrainte de von Mises	259.733 N/m^2 Noeud: 12507	579.942 N/m^2 Noeud: 133
Displacement	URES: Déplacement resultant	0 mm Noeud: 1	2.80992e-008 mm Noeud: 1251



sous plan d'imprission-SimulationXpress Study-Contraintes-Stress

Conclusion :

Les résultats de l'étude statique, à savoir, le déplacement et la Contrainte de von Mises maximale sont acceptables.

2.5. Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axes-Y :

L'axe OY se déplace dans les deux directions +Y et –Y. Le système guidage est identique à celui de l'axe X.

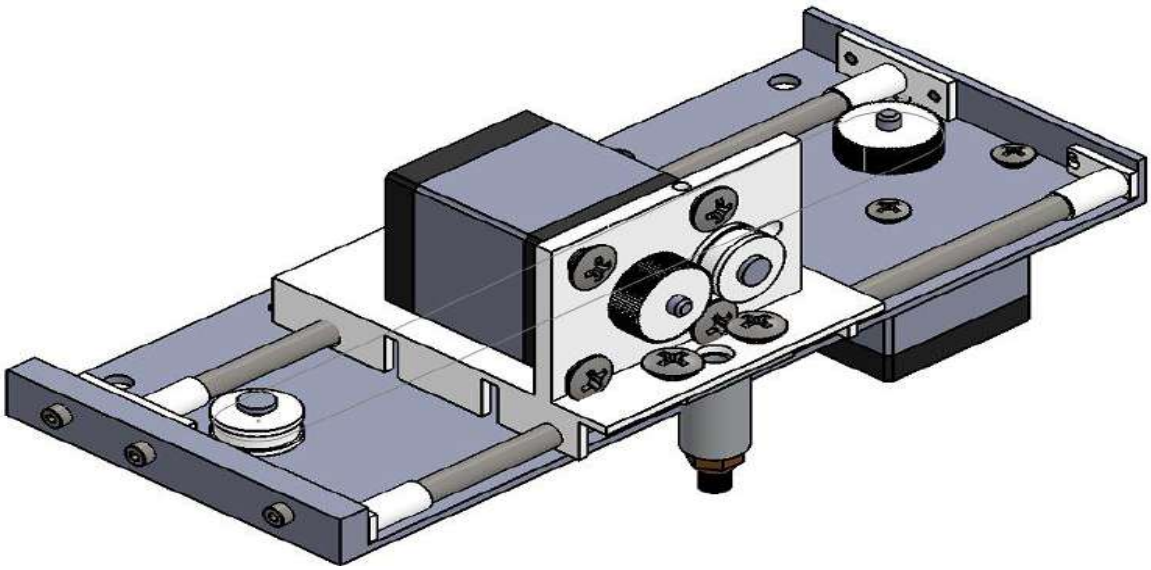


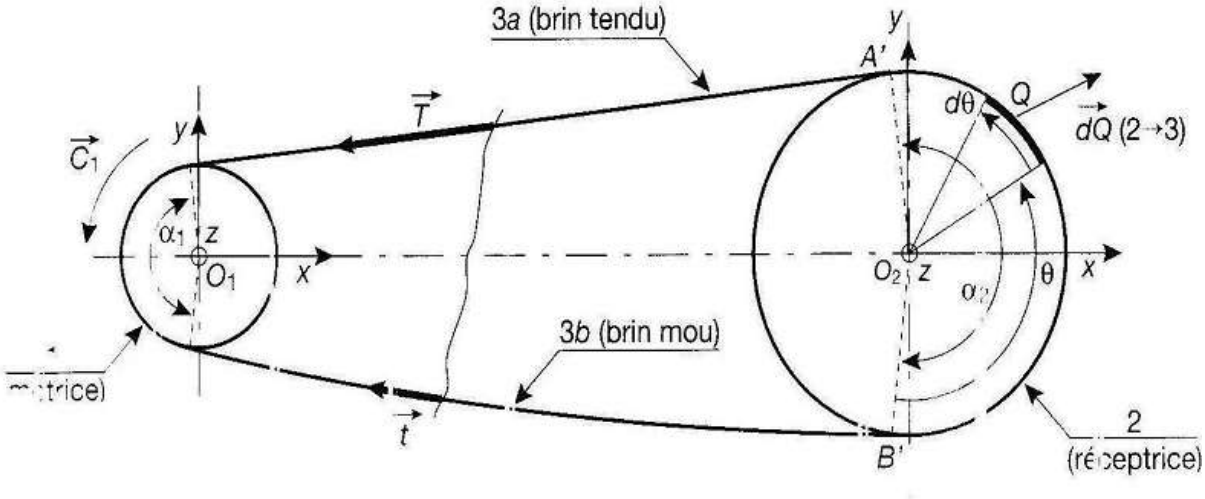
Figure 2.8. Mécanisme de l'axe Y

2.5.1. L'étude cinématique de l'axe (Y) :

La transmission de mouvement :

Le système de transmission de mouvement utilisé dans l'axe Y c'est une poulie-courroie à cause de leurs plus précision et la possibilité d'utilisation pour des grandes vitesses et pour la simplicité de montage.

Les caractères de courroie et poulie d'axe (Y)



D_1 : diamètre de la roue de moteur (X), D_1 = 12 mm

D_2 : diamètre de la roue moteur (X), D2= 22 mm

E : module de Yong courroie E= 5MPA

S : section de courroie S=12 mm^2

G : le glissement entre le courroie et poulie 2% <G>3%

$Б_P$: contrainte pratique en extension

l'entraxe a :

L_{TS} : longueur total de support L_{TS}=340mm (à partir de construction)

$a= L_{TS}-(28+ D_1/2+10+ D_2/2)$

a=300 mm

longueur de courroie :

$$L= 2a + \pi\left(\frac{D2-D1}{2}\right) + \left(\frac{D2-D1}{4a}\right)^2$$

$$\alpha 1 = 2 * arccos\left(\frac{D2}{2a} - \frac{D1}{2a}\right)$$

$$\alpha 1 = 2 * arccos\left(\frac{D2}{2a} - \frac{D1}{2a}\right) = 178 \text{ deg}$$

$$\alpha 2= 2 * \pi - \alpha 2$$

$$\alpha 2= 2 * \pi - \alpha 2 = 181.9 \text{ deg}$$

$$L= 2a \sin\frac{\alpha 1}{2} + \frac{D1}{2}\alpha 1 + \frac{D2}{2}\alpha 2$$

= 615.7 mm

l'angle d'enroulement

$$\Theta_d = 180-2\sin^{-1}\left(\frac{D2-D1}{2a}\right)$$

$$\Theta_d = 180-2\sin^{-1}\left(\frac{D2-D1}{2a}\right) = 180 \text{ deg}$$

le rapport de transmission

$$R= \frac{D2}{D1} = 1.83$$

La tension de courroie

T : tension dans le brin tendu (N)

t : tension dans le brin mou (N)

Modélisation de T et t :

$$R=\frac{D2\left(1+\frac{T}{ES}\right)}{D1\left(1+\frac{t}{ES}\right)} \rightarrow R.D_1.E.S+R.t = D_2.E.S + t.e^{\Theta d\, G}$$

$$\rightarrow (R.D1 - D2)ES = (e\,\Theta d\, G - R)t$$

$$t = \frac{(R.D1-D2)ES}{(e\,\Theta d\, G-R)}$$

(1)

$$\rightarrow t= 6.3*10^{-2} \text{ N}$$

(2) $T=t \times e^{\Theta d\, G}$

En remplace (1) dans (2)

$T=22.6*10^{-2}$ N

T_0 :tension à vide

$T_0 = \frac{1}{2}(T + t)$ $\leftrightarrow T_0 = 14.45*10^{-2}$ N

La résistance en traction d'une courroie $Б_M$:

$Б_M = \frac{T}{S} \leftrightarrow Б_M = 1.88*10^4$ N.mm

Condition de résistance en traction d'une courroie s'écrit $Б_M \leq Б_p$

A partir de ce caractéristique en trouve les configurations réale de courroie par le tableaux NF ISO [6]

Suite à l'étude cinématique de ce axe nous avons choisi le type de courroie à partir le tableau iso suivant :

Tableaux 2.17. NF ISO :

Armature	Revêtement	Diamètre min. des poulies	Épaisseur standard	Température d'utilisation	Largeur min.	Résistance à la rupture*	Effort de traction**
Coton	Silicone	10	0,8	– 20 °C à + 120 °C	5	800	135

2.5.2 Etude dynamique de l'axe Y :

Le couple de la poulie motrice :

$C_1 = T. \frac{D1}{2}$ [8]

$C_1 = 135.6*10^{-5}$ N.M

Le couple la poulie réceptrice:

$C_2 = t. \frac{D2}{2}$

$C_2 = 69.3*10^{-5}$ N.M

. Étude statique du support d'axe Y :



Figure 2.9. Support d'axe Y

Informations sur le modèle :

Nom	Acier allié (SS)
Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique
Critère de ruine pardéfaut:	Contrainte de von Mises max.
Limite d'élasticité:	6.20422e+008 N/m^2
Limite de traction:	7.23826e+008 N/m^2

Masse:0.958491 kg

Volume:0.000124479 m^3

Masse volumique:7700 kg/m^3

Poids:9.39321 N

Centre de gravité: (mm)

X = -0.11

Y = 3.14

Z = 14.39

Principaux axes et moments d'inertie: (gr. mm^2)

Pris au centre de gravité.

Ix = (-0.00, 0.01, 1.00)	Px = 149494.52
Iy = (1.00, -0.00, 0.00)	Py = 1131588.82
Iz = (0.00, 1.00, -0.01)	Pz = 1277319.32

Moments d'inertie: (gr. mm^2)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

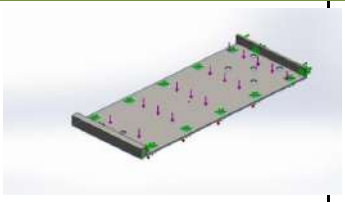
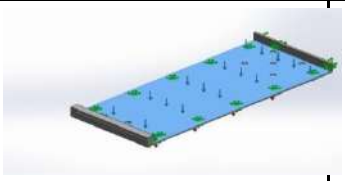
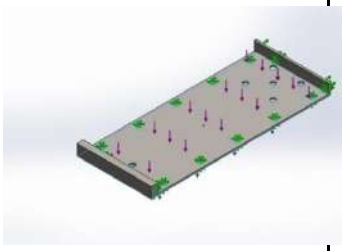
Lxx = 1131588.80	Lxy = -79.85	Lxz = -241.56
Lyx = -79.85	Lyy = 1277179.50	Lyz = 12555.10
Lzx = -241.56	Lzy = 12555.10	Lzz = 149634.37

Moments d'inertie: (gr. mm^2)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 1158581.35	Ixy = -122.57	Ixz = -437.50
Iyx = -122.57	Iyy = 1302948.46	Iyz = 18173.58
Izx = -437.50	Izy = 18173.58	Izz = 150860.94

Tableaux 2.18. Actions extérieures :

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé	
Fixe-1		**Entités:** **Type:**	**1 face(s)** **Géométrie fixe**
Fixe-2		**Entités:** **Type:**	**17 face(s)** **Géométrie fixe**
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement	
Force-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:**	**1 face(s)** **Force normale** **15 N**
Pression-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:** **Unités:**	**1 face(s)** **Normal à la face sélectionnée** **-3.5** **N/m^2**

Tableaux 2.19. Informations sur le maillage – Détails :

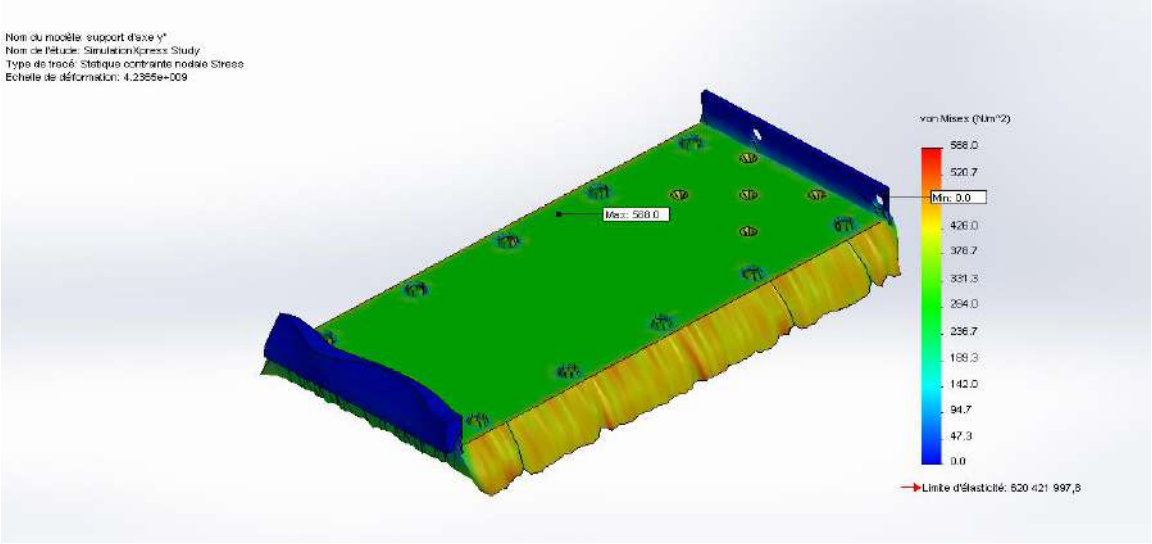
Nombre total de nœuds	16734
Nombre total d'éléments	8137
Aspect ratio maximum	7.5962
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	94.9
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Taille d'élément	5.63731 mm
Tolérance	Haute



Tableaux 2.20. Résultats de l'étude :

Nom	**Type**	**Min**	**Max**
Stress	VON: contrainte de von Mises	0.00132743 N/m^2 Noeud: 16564	568.021 N/m^2 Noeud: 349
Displacement	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 1	7.79646e-009 mm Noeud: 349

Nom	Type	Min	Max



support d'axe y"-SimulationXpress Study-Contraintes-Stress

Conclusion

Après cette simulation, le support d'axe Y supporte les forces et le poids des mécanismes de l'axe Y. on remarque que le déplacement est très petit par apport aux forces appliquées.

2.5.3. Support de tête :

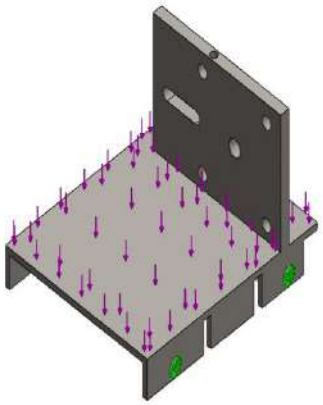
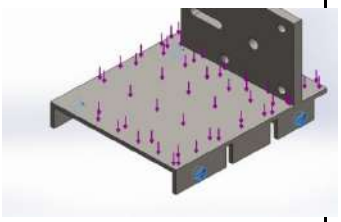
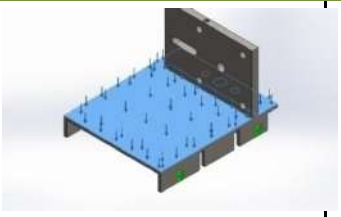


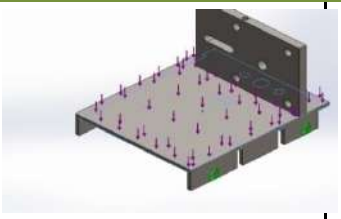
Figure 2.10. support de tête

Informations sur le modèle :

Nom:	Acier allié (SS)
Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique
Critère de ruine par défaut:	Contrainte de von Mises max.
Limite d'élasticité:	6.20422e+008 N/m^2
Limite de traction:	7.23826e+008 N/m^2

Tableaux 2.21. Actions extérieures :

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé	
Fixe-1		**Entités:** **Type:**	4 face(s) Géométrie fixe
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement	
Force-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:**	1 face(s) Force normale 5 N

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé	
Pression-1		**Entités:** **Type:** **Valeur:** **Unités:**	1 face(s) Normal à la face sélectionnée -0.5 N/m^2

Tableaux 2.22. Informations sur le maillage – Détails :

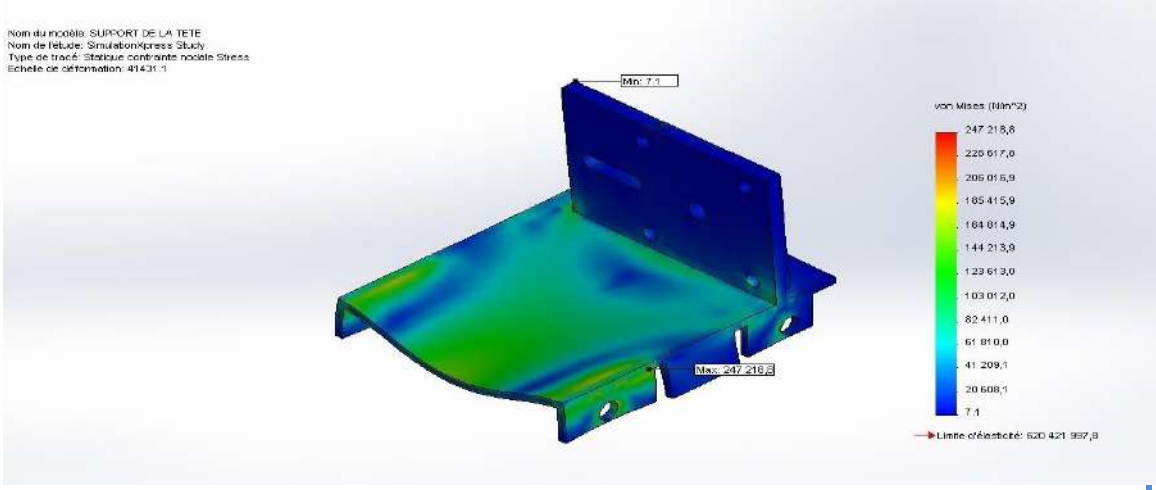
Nombre total de noeuds	20275
Nombre total d'éléments	10547
Aspect ratio maximum	34.4
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	90.6
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.408
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Taille d'élément	4.22898 mm
Tolérance	0.211449 mm



Tableaux 2.23 résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Stress	VON: contrainte de von Mises	7.1074 N/m^2 Noeud: 1949	247219 N/m^2 Noeud: 17946

Nom	Type	Min	Max
Displacement	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 39	0.000289657 mm Noeud: 17767



SUPPORT DE LA TETE-SimulationXpress Study-Contraintes-Stress

Conclusion

Après cette simulation, nous constatons que le support de la tête supporte les forces et le poids des mécanismes de l'extrudeuse (le moteur, poulie, la tête..). on remarque aussi que le déplacement est très petit par rapport aux forces appliquée.

2.6. Dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe Z :

La conception du dispositif de transmission de mouvement suivant l'axe Z est constituée par deux tiges lisse de guidage comme les deux autres axes (X,Y) de diamètre 10 mm assemblés avec le châssis par les presse-étoupes et l'autre côté par une plaque de fixation des deux tiges et un vis sans fin monté avec un roulement à bille pour éviter les frottements et simplifier le mouvement et un accouplement qui lie le moteur avec le vis sans fin.

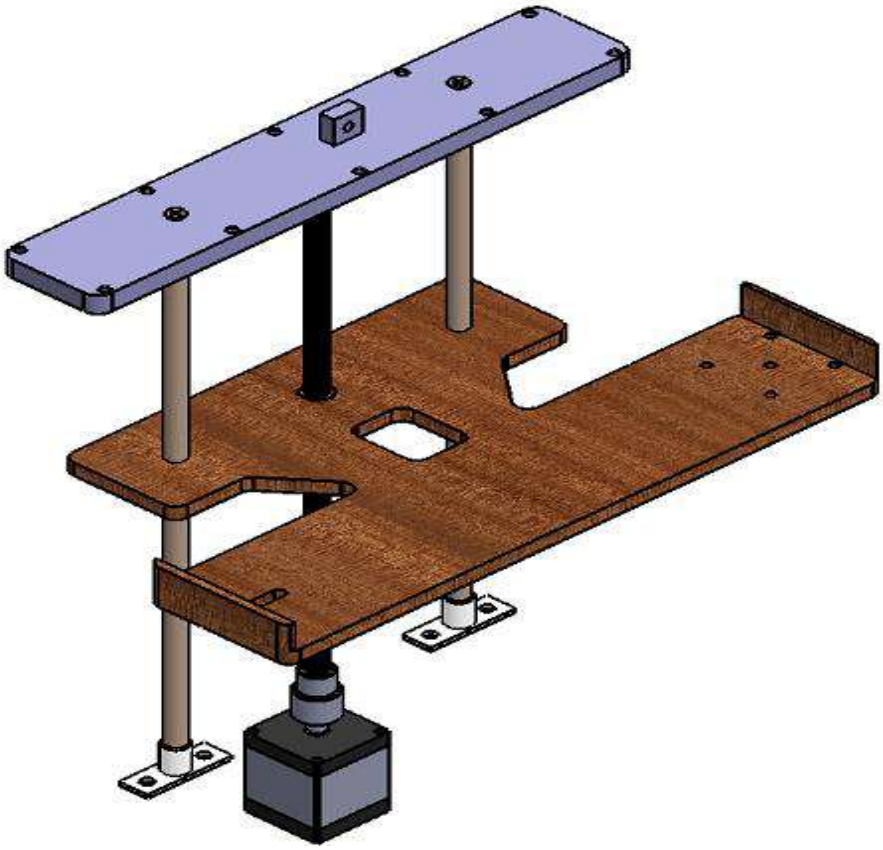


Figure 2.11. Mécanisme d'axe z

2.6.1. Etude cinématique de l'axe Z :

Transmission de mouvement :

Pour la transmission de mouvement suivant la direction Z, nous avons choisi le système de transmission de mouvement par vis-écrou. Ce type de transmission permet de supporter des forces et des pressions importantes.

Le système vis- écrou :

Le diamètre nominal d'une vis ou d'un écrou est une notion utilisée pour la désignation. La valeur du diamètre nominal correspond, aux tolérances prés, au diamètre extérieur de la vis.

Par définition, la vis et l'écrou ont le même diamètre Nominal : **d = D** [7]



Figure 2.12. Système vis-écrou

Les avantages et les inconvénients :

1-avantages

- Ce mécanisme permet d'exercer des forces et des pressions importantes.
- Il permet aussi des ajustements fins.

2-inconvénients

- Ce mécanisme génère beaucoup de frottement.
- Sa fragilité peut entraîner des problèmes de guidage.
- Le système est lent à moins d'avoir un pas de vis important

Alors le type de système de transmission de mouvement dans l'axe Z c'est un vis – écrou pour supporter la charge des pièces des deux axes X,Y et la charge de l'objet imprimé. Pour cette raison nous avons choisi un système vis-écrou en acier.

Le schéma cinématique :

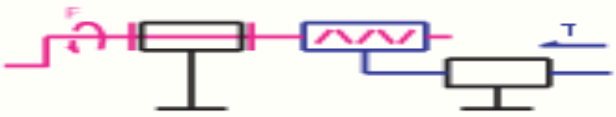


Figure 2.14 schéma cinématique

Les caractéristiques de la vis:

Module réale : le module est le quotient du pas exprimé en mm par le nombre π

Tableaux 2.24. Module normalisé [6]

Série principal	Module normalisé							
	0.3	0.5	0.8	1	1.25	1.52	2	
	2.5	3	4	5	6	8	10	

Calcule le module m : $m=2.34\times \sqrt{\frac{FT}{K.R\rho}}$

FT : la force tangentielle en Newton c'est la force maximale dans ce projet de la charges de mécanisme les deux axes X,Z avec la force appliquée par la masse maximale de l'objet imprimé (56N).

K : coefficient de largeur de denture, valeur choisie entre 6-10. En choisie 8

R_p : la résistance à l'extension des matériaux en acier 350Mpa

$m_n = 2.34\times \sqrt{\frac{56}{8.350}} = 0.33mm$

a partir de tableaux passé en choisie un module normalisé m=0.5mm

Pas réale : $P_n=m_n\times\pi$

$P_n=0.5\times3.14 = 1.57mm$

Pas axial : $P_x=P_n\times\pi$

$P_x=1.57\times\pi=4.92mm$

Z_a : le nombre des filets $Z_a=\frac{L}{Pn}$ avec L c'est la longueur totale de partie filetée a partir le construction

$Z_a=\frac{300}{1.57}$ = 191 filets

P_z : Pas de l'hélice $P_z = P_x\times Z_a$

$P_z = P_x\times Z_a = 4.92\times191 = 940.1mm$

L_t : longueur de la vis $L_t=5\times P_x$

$L_t=5\times 4.92=24.6mm$

d_a : diamètre extérieur : d_a par les tableaux NF ISO 261-NF ISO262

Tableaux 2.25. NF ISO 261-NF ISO262 :

d ou D	Dimensions normalisées (NF ISO 261 - NF ISO 262)										
	Filetage à pas gros (boulonnerie et autres applications courantes) - Tolérances 6H/6g (µm)										Filetage à pas fins
	Pas	Section du noyau mm²	d2 = D2	Tolérances sur d2		Tolérances sur D2		D1	Tolérances sur D1		Pas fins recommandés
				Max.	Min.	Max.	Min.		Max.	Min.	
2	0.4	1.79	1.740	- 19	- 86	+ 90	0	1.567	+ 112	0	0.25
2.5	0.45	2.98	2.208	- 20	- 91	+ 95	0	2.013	+ 125	0	0.35
3	0.5	4.47	2.675	- 20	- 95	+ 100	0	2.459	+ 140	0	0.35
4	0.7	7.75	3.545	- 22	- 112	+ 118	0	3.242	+ 180	0	0.5
5	0.8	12.7	4.480	- 24	- 119	+ 125	0	4.134	+ 200	0	0.5
6	1.0	17.9	5.350	- 26	- 138	+ 150	0	4.918	+ 235	0	0.75
8	1.25	32.9	7.188	- 28	- 146	+ 160	0	6.647	+ 265	0	0.75 - 1
10	1.5	52.3	9.026	- 32	- 164	+ 180	0	8.376	+ 300	0	0.75 - 1 - 1.25
12	1.75	76.2	10.863	- 34	- 184	+ 200	0	10.106	+ 335	0	1 - 1.25 - 2.5
14	2.0	105	12.701	- 38	- 198	+ 212	0	11.835	+ 375	0	1 - 1.25 - 2.5
16	2.0	144	14.701	- 38	- 198	+ 212	0	13.835	+ 375	0	1 - 1.5

on choisi le type M12 c'est-à-dire : d_a =12 mm ; le pas réale P_n=1.57mm [6]

D_F : Diamètre intérieur $D_F = d_a - 2.5 \times m_n$

D_F= 12-2.5×0.33 =8.04mm

γ_a : $\tan \gamma_a = \frac{Pz}{\pi . da}$

$\tan \gamma_a = \frac{940}{3.14 \times 12}$ =24.9 donc γ_a =87.7 deg

β_A : l'angle d'hélice $\beta_A = \gamma_a$

module axiale : $m_x = \frac{m}{cos\, \gamma a}$

$m_x = \frac{0.33}{0.04}$ =8.25 mm

Les caractéristiques de l'écrou:

L'écrou possède les mêmes caractéristiques que la vis. Le sens d'hélices de vis est identique à celui de l'écrou.

Le choix de l'écrou à partir le tableaux NF 1661 suivant :[6]

Tableaux 2.26. Choix écrou normalisé : [6]

d	a	b_1	b_2	e	f	g	i	j	k	R	u
M1,6	3,2	1,3	1	–	–	–	–	–	–	–	–
M2	4	1,6	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–
M2,5	5	2	1,6	–	–	–	–	–	–	–	–
M3	5,5	2,4	1,8	2,4	5,1	–	–	–	–	–	–
M4	7	3,2	2,2	3,2	6,7	–	–	–	–	–	–
M5	8	4,7	2,7	4	8	11,8	5	15	9,25	7	2,5
M6	10	5,2	3,2	5	10	14,2	8	17	11	14	4
M8	13	6,8	4	6,5	13	17,9	11	23	24,5	14	5
M10	16	8,4	5	8	16,5	21,8	13	28	18,5	22	5
M12	18	10,8	6	10	19,5	26	15	35	20	22	6
M16	24	14,8	8	13	25	34,5	21	45	26	30	7
M20	30	18	10	16	31	42,8	25	50	31	44	8
M24	36	21,5	12	19	37	–	29	60	37	44	10
M30	46	25,6	15	24	47	–	35	68	48	66	10

L_e : longueur de l'écrou L_e=20mm

Z_e nombre des filets de l'écrou $Z_e = \frac{Le}{Pn}$

$Z_e = \frac{20}{1.75}$ =12 filets

Rapport de vitesse angulaire $n = \frac{Ze}{Za}$

$n = \frac{12}{191}$ = 0.06

2.7. Dispositif d'extrusion :

Le mécanisme de la tête est un élément principal dans la constitution de l'imprimante tridimensionnelle. Il est constitué particulièrement par un système d'extrusion composé de deux roues dentés pour extruder de filament, une résistance électrique chauffante accouplé avec la buse de diamètre de 0.3mm.

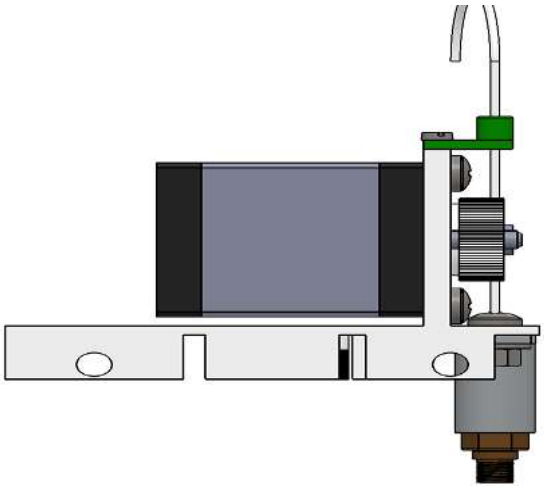


Figure 2.14. Mécanisme de d'extrusion

2.7.1. Mouvement du filament :

Alors la dépréciation de filâmes selon le coche imprimé ou le pas de vis sans fin. Pour dépréciations le filâmes ver le bas il faut créer deux forces radial par la roue denté de moteur et la poulie de roue libre sur le diamètre de filâmes. Et ce distance entre la roue dentée et la poulie variable selon ce diamètre, comme la figure suivant :

La trajectoire de filâmes ver le bas qui entrer dans le support de la tête avec une vitesse constante avec le bousions de quantité Fusion de filâmes

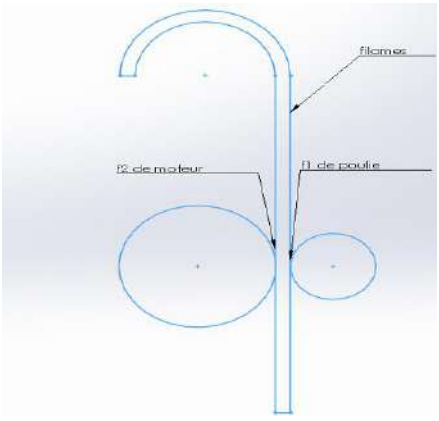


Figure 2.15. Mouvement de filament

2.7.2. L'étude thermique de la fusion du filament ABS :

ABS c'est le matériau phare des briques de Lego, très utilisé aussi dans la carrosserie des voitures, les appareils électroménagers et dans de nombreuses applications de capotage. Il appartient à la famille des thermoplastiques mais contient une base d'élastomère à base de polybutadiène qui le rend souple et résistant aux chocs.

L'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) fond entre**200** et **250 °C** et peut supporter des températures très basses (- 20 ºC) comme élevées (80 ºC). En plus de sa bonne résistance, ce matériau permet d'obtenir une surface polie, est réutilisable et peut être soudé par procédés chimiques (en utilisant l'acétone). Cependant, il n'est pas biodégradable et rétrécit au contact de l'air, raison pour laquelle la plateforme d'impression est chauffée afin d'éviter le décollement des pièces.

L'ABS est employé principalement dans la technique de dépôt de matière fondue (FDM) et, en conséquence, il est disponible avec la plupart des imprimantes maisons comme l'imprimante de ce projet En outre, un dérivé de l'ABS, sous forme liquide, est utilisé dans les procédés SLA et PolyJet.[8]

2.7.3. La structure de la tête :

À structure de la tête pour fusion le filament est constitué par les composantes principales comme le montre la figure 2.17. On distingue la buse, le support de la buse et la résistance chauffante.

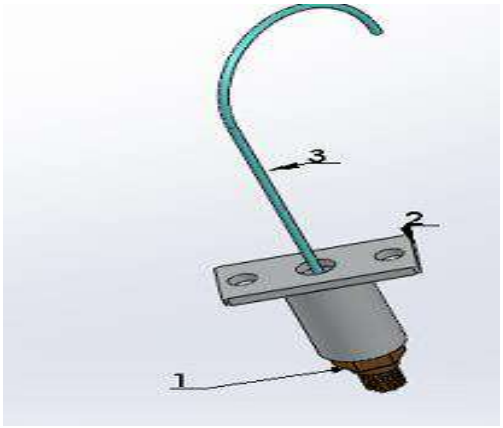


Figure 2.17. La structure de la tête

2 .8 Simulation thermique :

Afin de choisir la résistance chauffante nécessaire à la fusion de l'ABS à 180 C^0, nous avons fait une étude thermique par utilisation du logiciel ANSYS. Cette simulation suit les étapes suivantes :

Etape 01 : Dessiner l'objet, tête de fusion de filament.

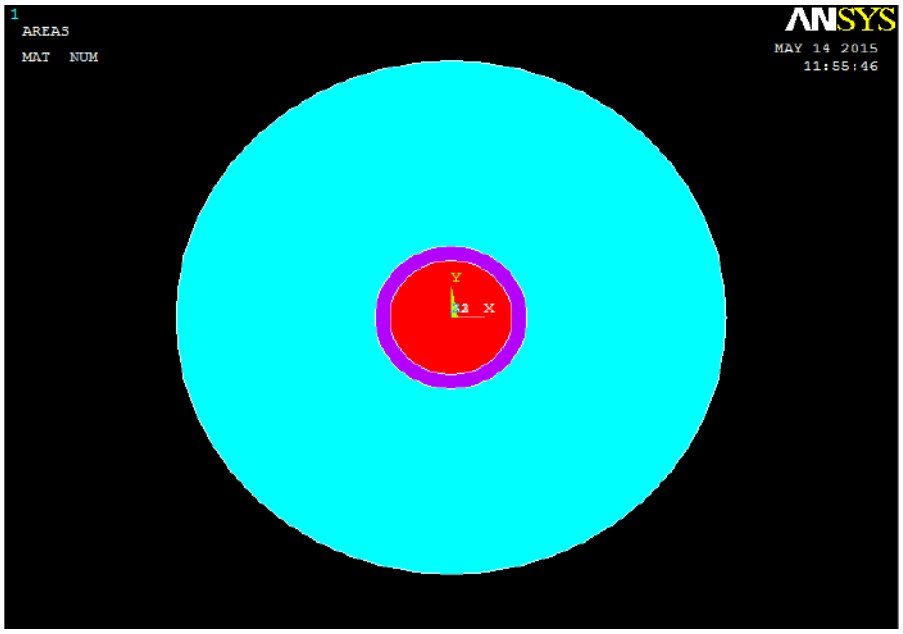


Figure 2.17. Tête de fusion de filament**.**

Etape 02: introduit les caractéristiques de chaque matière

Tableau 2.28. Les caractéristiques des matériaux

Martiaux	caractéristiques	Conductivité (W/m.k)	Densité (Kg/m^2)	Chaleur spécifique (j/Kg.K)
Aluminium		237	2700	904
L'air		0.0261	1.185	1004
Plastique ABS		0 ,16	1060	1386

Etape 03: Choisir le maillage de simulation

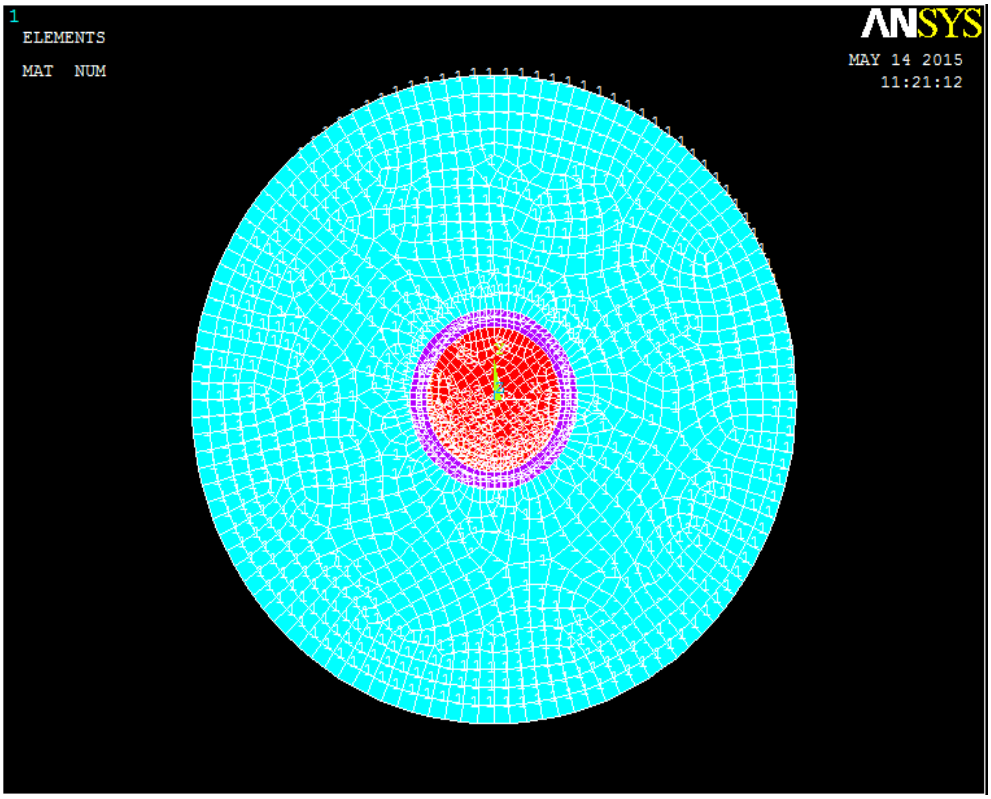


Figure 2.18. Le maillage

Etape 04 : Saisir les valeurs de température.

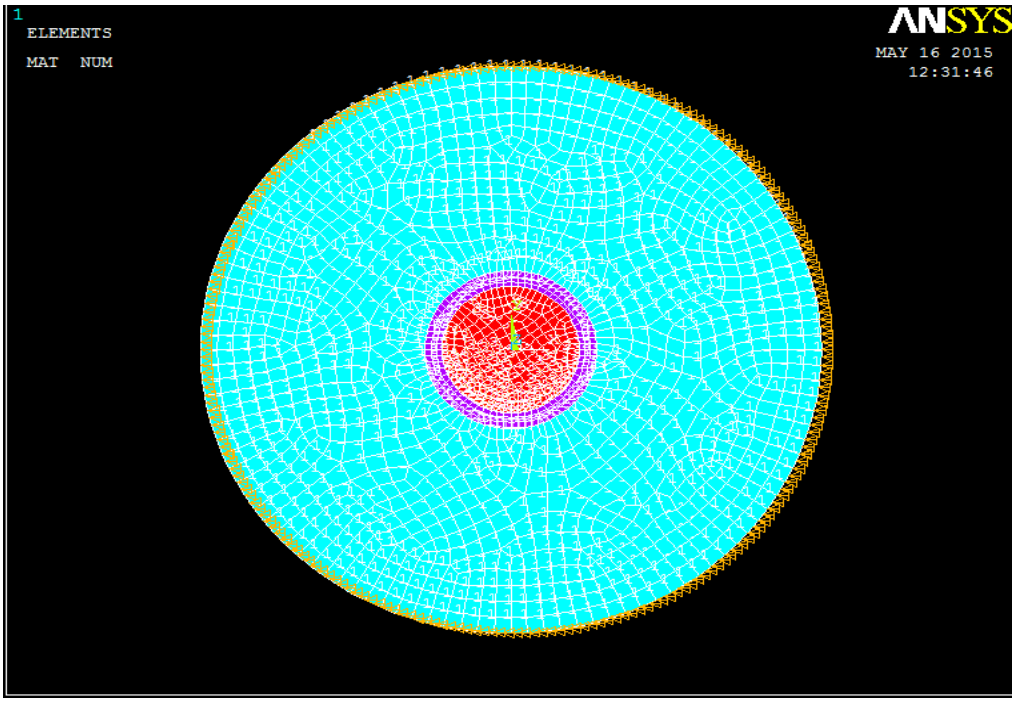


Figure 2.19. Introduction des valeurs de température

Etape 05: Configurer le temps de simulation 40 s et le pas de temps 0.04s

Etape 06: Exécuter la simulation

Etape 07: Obtenir le résultat final de simulation.

Comme le but principal de la simulation thermique est de déterminer la valeur de la température la paroi externe de la tête afin de choisir la résistance chauffante.

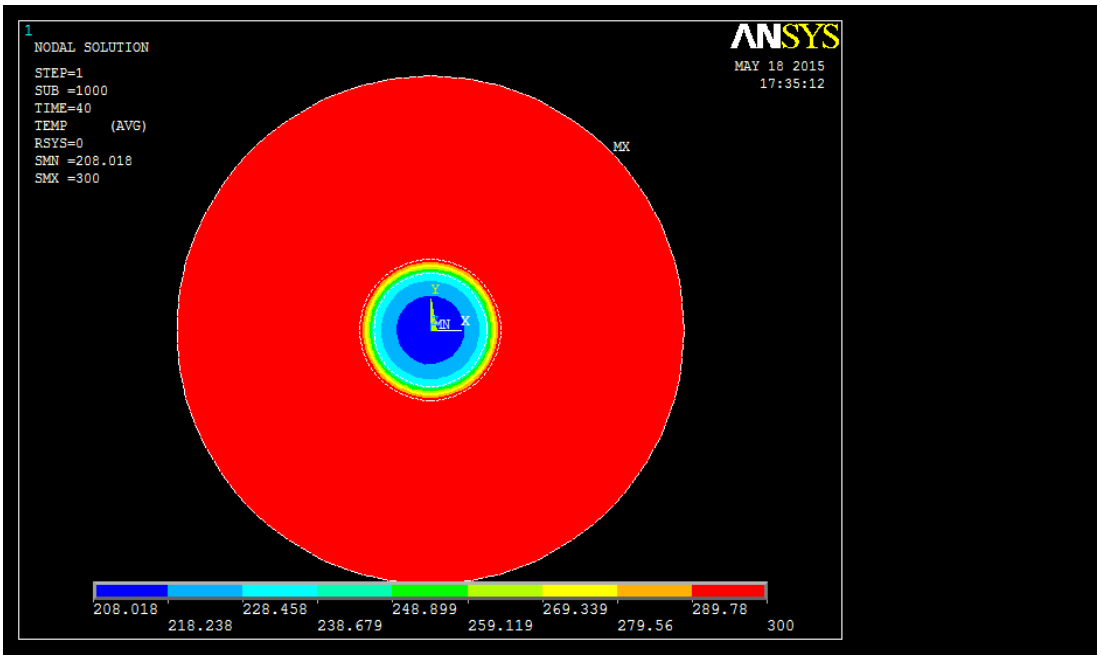


Figure 2.20. Le résultat de simulation thermique

La figure 2.21 montre l'évolution de la variation de température en fonction la distance à partir de paroi externe vers le centre de filament.

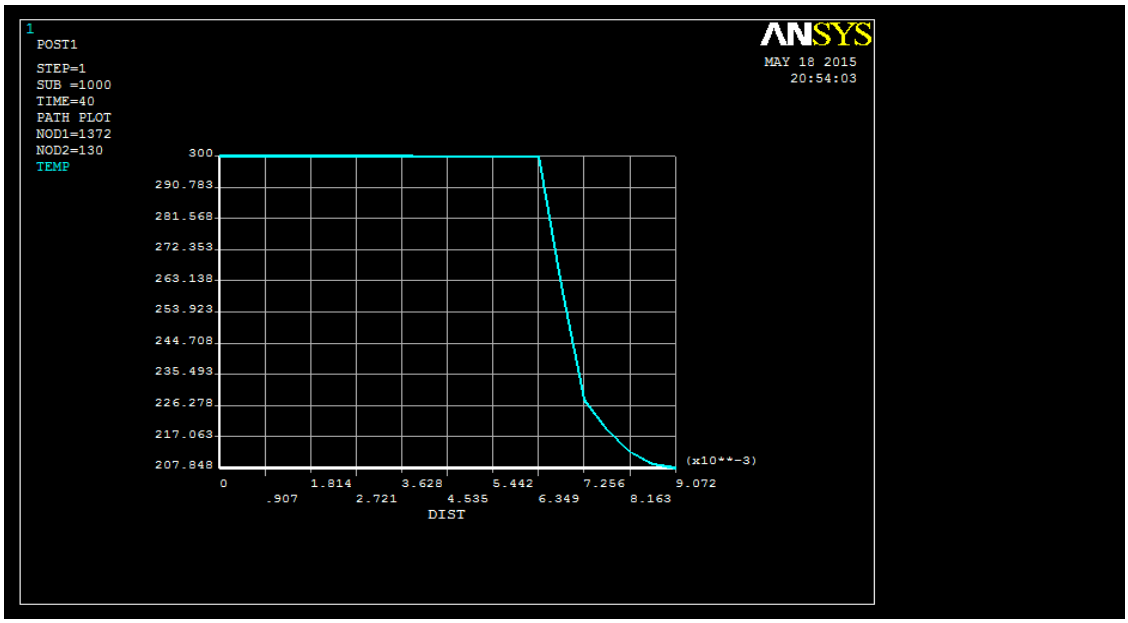


Figure 2.21. Variation de la température

Alors après cette simulation thermique sur le mécanisme de la tête en vous conclue que la valeur nécessaire ajouté sur la paroi externe de support c'est $300C^0$ pour la fusion de filament ABS dans le diamètre intérieur de 180 C^0.

2.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une analyse statique des systèmes constitutifs de l'imprimante par l'utilisation du logiciel SOLIDWORKS, l'analyse cinématique des systèmes de transmission et enfin l'analyse thermique de la tête de fusion par l'utilisation du logiciel ANSYS pour déterminer les caractéristiques de la résistance chauffante pour fusionner le ABS à 180 C°.

CHAPITRE 3

Moteurs pas à pas et résistances chauffantes

Chapitre 03

Moteurs pas à pas et résistances chauffantes

3.1. Introduction :

Dans la conception de notre imprimante 3D, le système comporte des moteurs pas à pas et une résistance chauffante. Dans ce chapitre nous allons décrire la technologie de ces deux éléments.

Les moteurs pas à pas sont très utilisés dans l'industrie. Les raisons principales de leur succès tiennent à leur faible coût et à leur facilité de mise en œuvre pour des positionnements de précision élevée. Dans ce chapitre, nous allons présenter les points suivants :

- Les différents types des moteurs pas à pas et le mode de fonctionnement.
- Le choix des moteurs pas à pas selon la machine utilisé.
- Conception d'un circuit électronique pour la commande des moteurs pas à pas.
- Etude du circuit électronique pour la régulation du flux thermique exigé par l'utilisation d'une résistance thermique fixée sur porte buse.

Les résistances sont des éléments chauffants d'épaisseur et de forme différents, rigides ou souples selon les modèles, particulièrement adaptées aux installations disposant d’un faible encombrement. La majorité des résistances échangent leur chaleur avec la pièce à chauffer par conduction.

3.2. Les moteurs pas à pas :

Le moteur pas à pas est à la base un moteur synchrone polyphasé à plusieurs groupes de pôles. Il est devenu "pas à pas" lorsqu'on s'est avisé qu'il était facile de le faire tourner en commutant en tout ou rien l'alimentation des enroulements. Il s'est alors diversifié en trois types majeurs dont deux restent couramment employés de nos jours [10].



Figure 3.1. Moteur pas à pas

3.2.1. Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas:

Les avantages:

- Asservissement de position ou de vitesse en boucle ouverte
- Fort couple à basse vitesse
- Simplicité de mise en œuvre
- Fiabilité
- Faible prix
- Rotation constante pour chaque commande (précision meilleure que 5% d'un pas).
- Existence de couple à l'arrêt.
- Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (pas de besoin de contre-réaction).
- Moteur sans balais [2].

Les inconvénients :

- Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur a courant continu.
- Vitesse et couple relativement faible.
- Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.
- Résonance mécanique.
- Positionnement discret.
- Bruyant, source d'oscillations.
- Faible puissance.
- Faible rendement.

3.2.2. Utilisations des moteurs pas à pas [11]:

A l'époque de leur création, les moteurs pas à pas devaient leur succès à la simplicité du circuit de commande pour une application de positionnement. En effet, ce sont les seuls moteurs capables de fonctionner en boucle ouverte dans les utilisations de positionnement, de ce point de vue, ils constituent la transposition dans le mouvement circulaire continu de ce que l'électro-aimant est pour le mouvement alternatif. Pour les applications d'entraînement, bien que les autres types de moteurs (continu, asynchrone) soient satisfaisants, le moteur pas à pas est beaucoup plus précis. Seul le moteur synchrone lui est comparable, mais il ne peut fonctionner qu'à vitesse fixe.

Actuellement, ces qualités sont toujours un atout majeur, mais on sait faire des circuits de commande plus raffinés qui augmentent encore les performances des moteurs ; on peut aussi les coupler à des codeurs optiques de position pour augmenter la précision du positionnement.

Les performances d'un moteur pas à pas dépendent grandement du circuit de commande. Aussi, l'étude des moteurs pas à pas est indissociable de celle des circuits de commande. C'est ce qui justifie le plan du présent exposé.

3.2.3. Le rôle de moteur pas à pas [4] :

Le convertisseur d'énergie à basse vitesse et le transmetteur de l'information sont devenu un moteur pas à pas moderne vers les années 1970, grâce au développement conjugué de l'électronique de puissance et, surtout, grâce à l'apparition de l'électronique numérique à forte intégration.

Le moteur pas à pas est actuellement le principal élément intermédiaire entre les dispositifs de traitement d'information et le monde électromécanique extérieur. Par ailleurs, ses capacités à contrôler la position et la vitesse, par un train d'impulsions de commande, assurent à ce convertisseur des applications comme :

- la traction des robots mobiles.
- le fonctionnement en moteur couple de grande puissance.
- l'indexage rotatif ou linéaire.

Dans sa version classique, le moteur pas à pas est alimenté à partir d'une source (de courant ou de tension) continue et le contrôle de la vitesse ou/et de la position s'effectue en boucle ouverte.

Le pilotage en boucle ouverte, qui constitue un des principaux avantages du moteur pas à pas, aussi bien du point de vue économique (coût et fiabilité d'installation) que fonctionnel

(commande naturelle par "tout ou rien" à partir d'une horloge séparée ou intégrée dans un microprocesseur), présente un certain nombre d'inconvénients comme la limitation du couple de démarrage, des instabilités de fonctionnement à certaines fréquences, des accélérations relativement modestes.

3.2.4. Les principaux technologies des moteurs pas à pas : [10]

Trois types principaux de moteurs seront abordés, les moteurs pas-à-pas réluctances, les moteurs pas-à-pas à aimants permanents, les moteurs pas à pas réluctances polarisés.

3.2.4.1. Moteur pas à pas à réluctance variable (MRV) :

Il est constitué d'un rotor plein en fer doux muni de pôles saillants, non aimanté. Le stator est semblable à celui d'un moteur à courant continu à excitation avec des épanouissements polaires et une bobine sur chaque pôle. Le stator est souvent triphasé. Le nombre de systèmes de pôles est de 6 ou 12 le plus souvent.

Ce moteur est susceptible d'une grande vitesse comparativement à celui à aimant permanent. Il n'est plus utilisé car remplacé par le moteur hybride.

Composition d'un moteur pas à pas à réluctance variable : [10]

Un moteur pas à pas à réluctance variable est composé d'un rotor feuilleté en fer doux comportant un certain nombre de dents, et d'un stator également en fer doux feuilleté comportant un certain nombre de bobines. Le nombre de bobines doit être différent du nombre de paires de dents du rotor. L'alimentation de chacune des bobines va permettre la création d'un champ magnétique dans le stator, et le rotor s'oriente suivant les lignes de champ. On peut noter que lorsque le moteur n'est pas alimenté, comme il n'y a pas d'aimant permanent, le rotor peut prendre n'importe quelle position : un moteur pas à pas à réluctance variable n'a pas de couple résiduel ou couple de détente. Voire la figure 3.2.

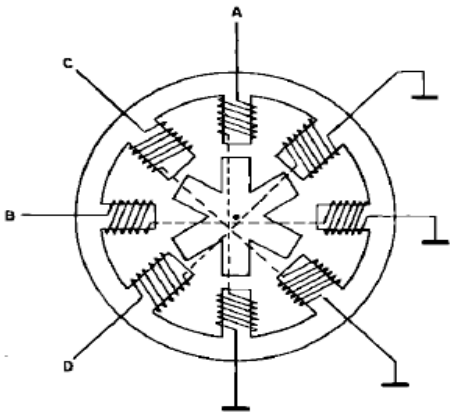


Figure 3.2. Composition de moteur à réluctance variable

Technologie des moteurs pas-a-pas à réluctance variable : [10]

Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont assemblés à partir de tôles magnétiques de haute perméabilité (fer-silicium ou même fer-cobalt). Certaines machines, destinées au positionnement ou a une rotation très lente, peuvent avoir un rotor ou/et un stator en fer massif. Il existe un grand nombre d'astuces de construction pour augmenter le nombre de pas par tour, comme par exemple les structures bifilaires qui ne seront pas étudiées dans ce cours. Pour minimiser la force magnétomotrice et augmenter la puissance massique, l'entrefer des moteurs pas à pas à reluctance variable doit être aussi petit que possible. Plusieurs géométries du rotor et du stator ont été ainsi imaginées par les constructeurs pour remplir des cahiers des charges particuliers. On distingue trois géométries de base, à savoir :

- ❖ Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques non dentés
- ❖ Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques dentés
- ❖ Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques non denté décalés

Les modes de commande d'un moteur pas à pas à réluctance variable :

Pas entier : Comme pour le moteur pas à pas à aimant permanent, on alimente successivement les différentes bobines. Par contre, ici le sens d'alimentation n'a pas d'importance car le rotor n'est pas polarisé. Le rotor va prendre une position telle qu'une des paires de dents soit alignée avec la bobine alimentée.

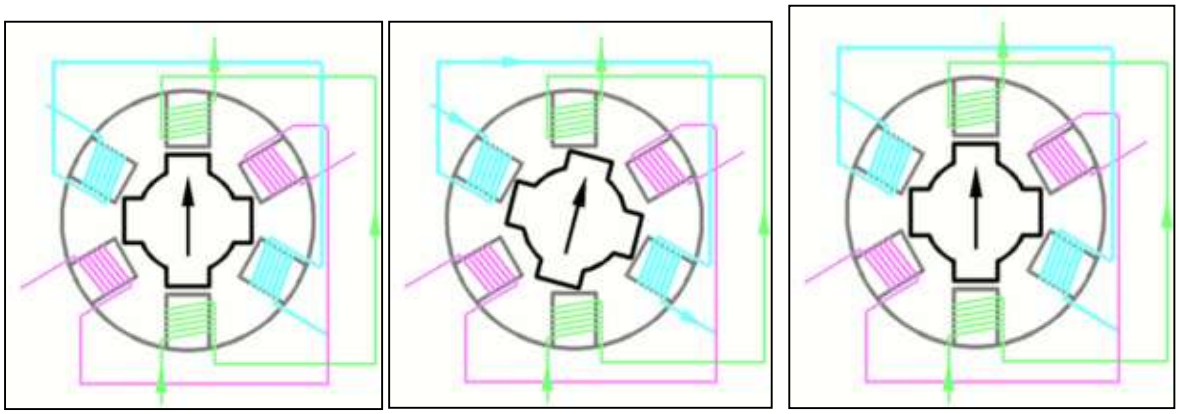
Mode paire pas : De même, on peut utiliser un moteur pas à pas à réluctance variable en mode « High torque » en alimentant ***2*** bobines. Le rotor prendra donc les positions intermédiaires, et comme pour le moteur à aimant permanent, le couple sera plus élevé dans ce mode que dans le mode précédent.

Mode demi-pas : En combinant les deux modes précédents, on obtient un fonctionnement en *24 pas*, et donc une résolution de *15°*. Le fonctionnement est illustré par l'animation ci-contre. Voir la figure 3.3. Globalement le nombre de pas (en fonctionnement pas entier) d'un moteur pas à pas *MRV* est donné par la formule suivante :

$$N_p = \frac{N_s - N_r}{N_s \times N_r} \quad \text{.....(3.1)}$$

Avec :

- N_p **:** Nombre de pas.
- N_s : Nombre de dents du stator.
- N_r: Nombre de dents du rotor.



1- Pas entier **2- pair pas** **3- demi pas**

Figure 3.3. Fonctionnement de moteur pas-à-pas à réluctance variable

3.2.4.2. Moteur pas à pas à aimant permanent (MP) : [10]

C'est le modèle le plus simple dans son fonctionnement. Sa constitution est très simple, et la rotation est obtenue en contrôlant l'alimentation des bobines ainsi que le sens du courant dans celles-ci, Il est constitué d'un rotor aimanté en ferrite à plusieurs paires de pôles (couramment ***6*** ou ***12***) et de deux stators indépendants comportant chacun une bobine cylindrique et des pièces polaires en tôle découpée donnant autant de paires de pôles qu'il y en a sur le rotor. C'est un moteur de construction économique et de performances modestes. Il n'est fabriqué que pour de petites puissances ***(<10 W).***

Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent : [10]

C'est le modèle le plus simple dans son fonctionnement. Le rotor est constitué d'un aimant permanent, et le stator comporte deux bobinages (ou deux groupes de bobinages). En contrôlant l'alimentation des bobines, et le sens du courant dans celles-ci, on peut faire varier le champ dans le moteur figure.

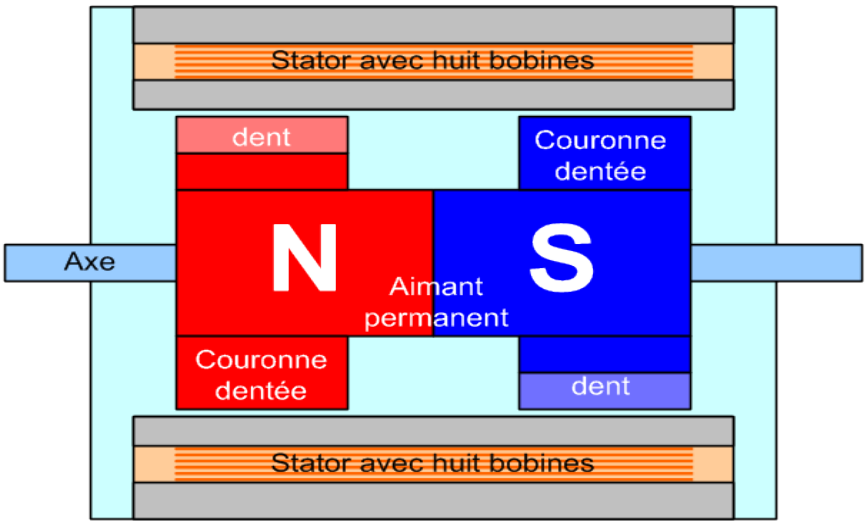


Figure 3.4. Moteur pas à pas à aimant permanent

Les modes de commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent : [10]

Pas entier :

Dans ce mode de fonctionnement, les bobines sont alimentées l'une après l'autre dans un sens puis dans l'autre. L'aimant permanent suit le déplacement du champ magnétique créé par ces bobines et s'oriente selon une de ses 4 positions stables.

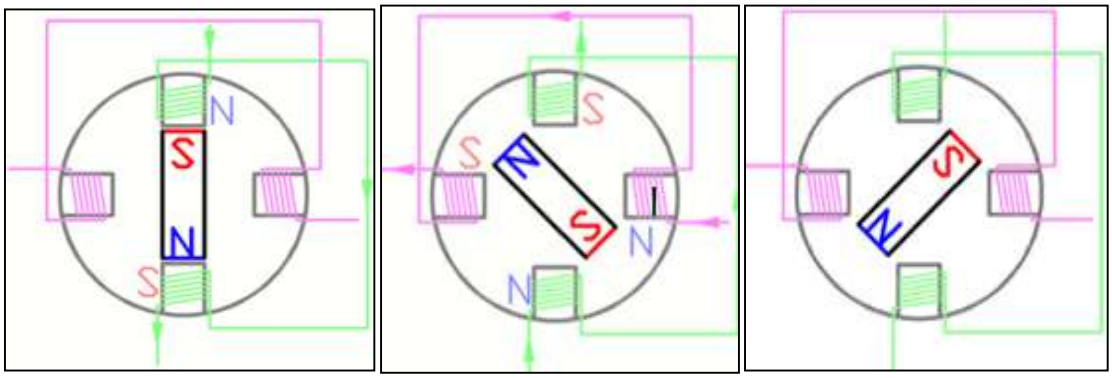
Comme le rotor est aimanté, lorsque le moteur n'est pas alimenté le flux magnétique du à l'aimant permanent va à lui seul créer un couple résiduel ou couple de détente, en se mettant dans l'axe de l'une des bobines**.** Voir la figure 3.5.

Pair pas :

Pour augmenter l'intensité du flux magnétique créé par le stator, et donc le couple moteur, on peut alimenter les deux bobines en même temps, en faisant varier uniquement le sens du courant dans chacune d'entre elles. Le rotor prendra donc également l'une des 4 positions de la vidéo suivante, suivant le sens d'alimentation de chacune des bobines. Voir la figure 3.9.

Demi-pas : Pour augmenter le nombre de positions stables et donc de pas du moteur à aimant permanent, on peut combiner les deux modes précédents dans un mode de commande appelé « demi-pas ». L'animation suivante montre le fonctionnement de ce mode.

Les moteurs pas à pas à aimant permanent ont un couple moteur important, mais une résolution (nombre de pas par tour) faible, et une fréquence de rotation faible. La commande de ces moteurs pas à pas nécessite de contrôler le sens du courant dans chaque bobine. Voir la figure 3.9.



1. Pas entier **2. Pair pas** **3. demi-pas**

Figure 3.5. Les modes de commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent

3.2.4..3. Moteur pas-à-pas hybride MH : [10]

C'est une combinaison des deux modes de construction. On utilise un rotor aimanté à pôles saillants et un stator aussi à pôles saillants. Chaque pôle (ils sont le plus souvent 8) reçoit un enroulement et ceux-ci sont associés un pôle sur deux de façon à constituer deux enroulements diphasés. Le rotor et le stator sont pourvus d'encoches constituant autant de petits pôles mais le pas angulaire est différent au stator et au rotor, de sorte que seuls certains micropôles se correspondent. Par exemple, le rotor comporte ***50 dents***, et le stator a un pas de ***1/48*** de tour entre deux dents. Ceci provoque un effet de vernier qui multiplie le nombre apparent de pôles, de sorte à avoir le plus souvent ***50*** systèmes de pôles. C'est pourquoi on les appelle parfois "moteurs vernier.

Ces moteurs ont une plus grande puissance massique que les précédents et tournent plus lentement à cause du nombre de pôles, ce qui est très souvent avantageux car l'entraînement direct de la charge (sans réducteur) est souvent possible. De plus, ils fonctionnent sur une large gamme de vitesses et existent pour des puissances variées, de ***1 W à 1 kW***.

Un nouveau mode de construction comporte un rotor en forme de disque passant dans l'entrefer du stator. Le rotor lisse comporte ***25*** paires de pôles ce qui rend ce type de moteur comparable avec les types traditionnels mais avec des performances plus élevées, en particulier une très faible inertie qui permet de très grandes accélérations.

Les moteurs hybrides sont les plus répandus actuellement pour les applications demandant une précision et une puissance moyennes.

Composition d'un moteur pas à pas hybride : [10]

Le rotor présente plusieurs dents comme pour un moteur pas à pas à réluctance variable, mais chaque dent est polarisée comme pour un moteur pas à pas à aimants permanents. Physiquement le rotor est composé de deux éléments identiques à un rotor de moteur à réluctance variable (rouge et bleu ici), reliés ensemble par un aimant permanent (noir), avec un déphasage d'une ***1/2*** dent. De ce fait ces deux éléments ont une polarisation différente (nord et sud) et vont réagir à la polarisation de chacune des dents du stator. C'est cette polarisation qui permet de n'utiliser que deux bobines, qui forment en réalité ***4*** états différents puisque le sens du courant entre ici en jeu. Voir la figure 3.6.

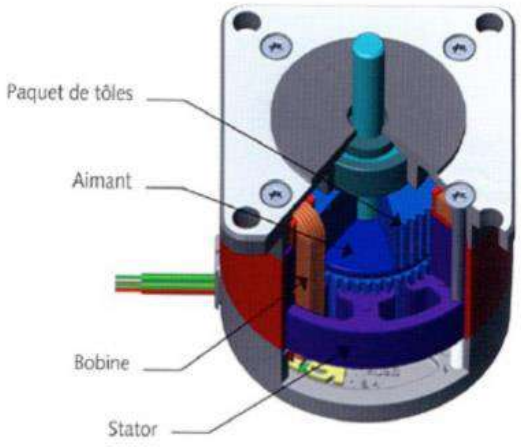


Figure 3.6 moteur pas à pas hybride

Commande moteur pas à pas hybride : [10]

Nous venons de voir que pour commander un moteur pas à pas hybride, comme pour un moteur à aimant permanent, on doit contrôler le sens courant dans chacune des bobines. En pratique, le bobinage est généralement réalisé sur une pièce en fer doux dentée, et polarise cette pièce suivant le sens du courant. Pour cela, il existe trois types de câblages pour les moteurs pas à pas. Voir la figure 3.7.

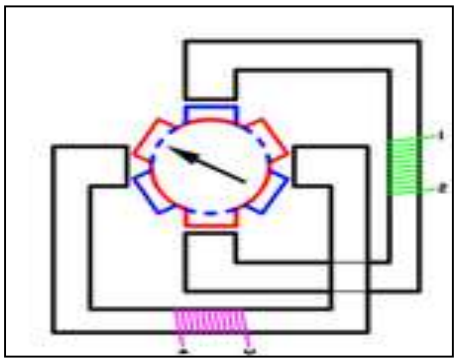


Figure 3.7. Commande des moteurs hybride

3.3. Les caractéristiques générales des moteurs pas à pas :

Couple et positionnement :[14]

Le couple exercé par un moteur pas à pas est fonction du décalage entre la Position idéale du moteur et sa position réelle (angle entre le champ électrique généré par les bobines et l'aimant tournant).

• Un moteur pas à pas (en charge) n'est jamais positionné sur un pas,

• Lors d'une commande d'un pas, le moteur atteint sa position d'équilibre après une oscillation amortie. Il y a risque de résonance et perte complète de puissance (en général vers 100 à 200 pas/seconde) , voir la figure 3.8.

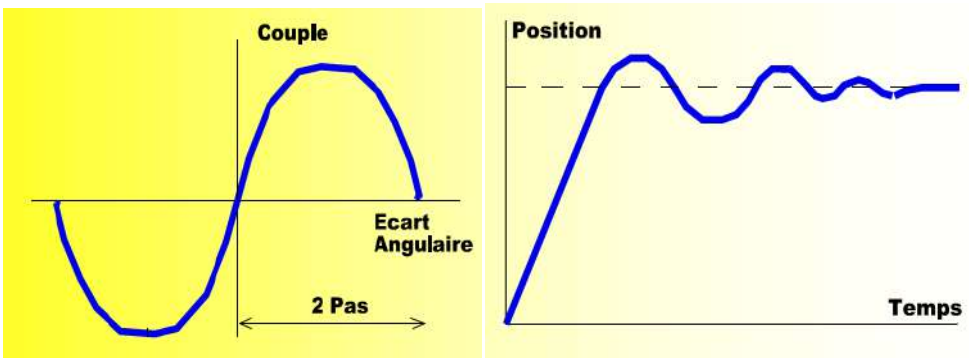


Figure 3.8. Couple et positionnement des moteurs pas à pas

Couple et vitesse de rotation :[14]

– En vert et bleu, effet du mode d'alimentation sur le couple moteur.

– «En dessous» de la courbe rouge du bas, zone de démarrage instantané du moteur. Entre les 2 courbes rouges, ne peut être atteint que par accélération progressive.

– En violet effet de la résonance du moteur. Si vous rencontrez ce soucis, passer en mode de commande par demi-pas , voir la figure 3.9.

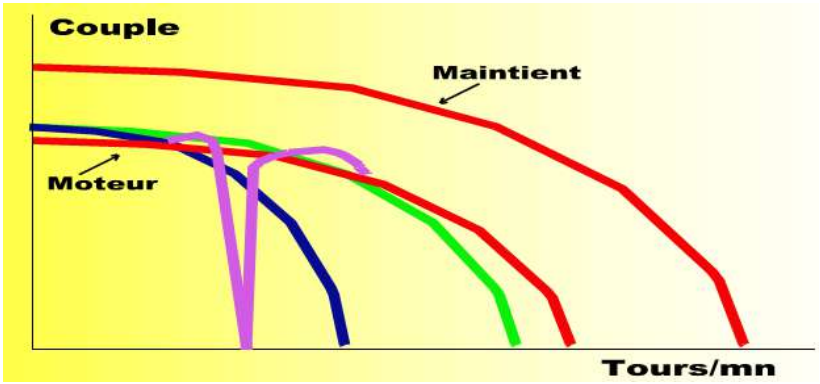


Figure 3.9. Couple et vitesse des moteurs pas à pas

Les informations indiquée dans la plaque d'identification du moteur: [14]

Electrique:

– Définies par le voltage le courant et la résistance de chaque bobine.

Le paramètre important est le courant qui à ne jamais dépasser.

Mécanique:

– Pas par tour (valeurs classiques: 12, 24, 48, 100, 200).

– Parfois la taille, c'est le diamètre en 1/10 de pouce.

– Dans le monde amateur les paramètres suivants sont rarement indiqués:

• le couple

• la vitesse de rotation maximum

• la fréquence de résonance, rarement indiquée.

3.4. Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas :

Le tableau 3.1. montre une comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas.

Tableau 3.1. Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas

Type de moteur pas à pas	Les 'avantages	Inconvénients
A réluctance variable	Une bonne précision du positionnement, un couple développé proportionnel au carré du courant, Nombre de pas important, Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation des bobines.	Pas de couple résiduel, **faible** inerties pour des couples importants, Rendement faible, Fonctionne à des fréquences élevées
Aiment permanant	Bon emmarchement, Dimensions réduites. Bon rendement, Bon amortissement des oscillations, Grand angle de pas (nombre de pas faible : 48).	Puissance faible, Paliers en bronze ou plastique (pas de roulement), Couple résiduel sans courant, Vitesse faible
Hybride	Couple important, Plus de puissance Rendement assez bon, Courbe START/STOP assez élevée, Bon amortissement, Adapté au fonctionnement micro-pas, Roulement à billes pour une meilleure charge radiale et plus longue durée de vie, Petit angle de pas	Inertie élevée, Couple résiduel sans courant, Plus couteux, Plus volumineux

3.5. La commande de moteur pas à pas [12]

Le circuit de commande de moteur pas à pas L297 est un circuit qui contient toute la circuiterie de commande et de contrôle de moteurs pas à pas unipolaire et bipolaire. Utilisé conjointement avec un driver double pont tel que le L298, l'ensemble forme une interface idéale pour le contrôle d'un moteur pas à pas bipolaire par microprocesseur ou microcontrôleur.

Il est possible de contrôler un moteur pas à pas unipolaire avec un L297 en lui adjoignant quatre transistors DARLINGTON ou MOSFET.

3.5.1. Le circuit de commande de moteur pas à pas : [12]

Le circuit de commande de moteur pas à pas L297 est initialement prévu pour être utilisé avec un driver L298 ou L293E. Il reçoit les signaux de contrôle en provenance d'un système à base de microprocesseur et génère tous les signaux nécessaires pour l'étage de puissance.

Ce circuit inclue deux régulations à découpage type PWM (modulation de largeur d'impulsion) pour réguler le courant des enroulements moteur. Avec un étage de puissance adapté le L297 commande un moteurs pas à pas bipolaire à aimant permanent, un moteur unipolaire à quatre phases à aimant permanent ou un moteur à reluctance variable à quatre phases.

De plus il est capable de gérer le mode demi pas et pas complet. Le L297A est une version spéciale pour le positionnement des têtes de lecteur de disquette .voir la figure 3.13.

3.5.2. Le circuit intégré L298N [12]

Le circuit intégré L298N est un étage de puissance (driver) pour les moteurs à courant continu. Toutefois, le L297 est utilisable avec toute sorte d'étage de puissance et peut s'affranchir la commande des composants discrets tel que des transistors de puissance ; il fourni jusqu'à 20 mA sur ces sorties. Le schéma suivant représente une configuration typique du circuit de commande de moteur pas à pas L297 et le double pont L298 pour former une interface avec microprocesseur. Voir la figure 3.10.

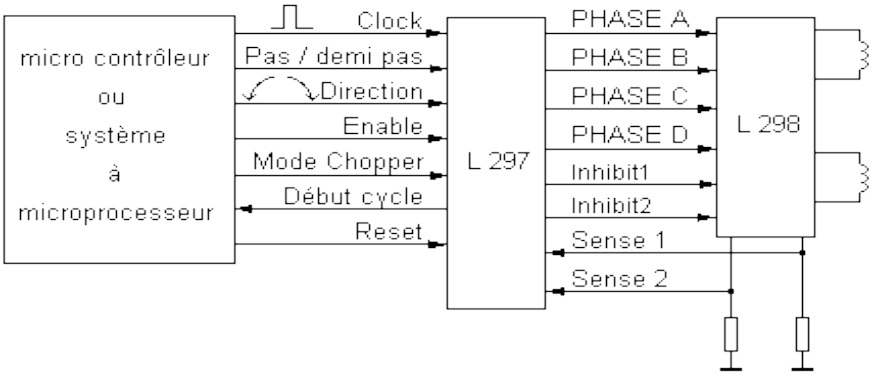


Figure 3.10. Schéma simplifie de driver moteur pas à pas

Pour des moteurs bipolaires avec des courants de l'ordre de 2 A max dans les enroulements, le L297 serait à utiliser avec le L298N. Pour des courants jusqu'à 1 A le L293 est recommandé. Des courants plus élevés sont obtenus avec des transistors de puissance ou des darlingtons (pour des moteurs unipolaires voir le pont ULN2075B).

3.5.3. Les applications du circuit de commande L297 :

Les applications du circuit de commande L297 sont multiples et nous pouvons citer les exemples suivants : imprimante (chariot et positionnement des têtes d'impression ; entraînement papier ; entraînement de ruban), machines à traitement de texte, tables traçantes, machines à commande numérique, robots, scanner de document.

Le circuit L297 est disponible en boîtier DIP plastique 20 pins. Il s'alimente avec une tension de 5 volts et les lignes d'entrées sont compatibles TTL, CMOS et s'interface aussi avec des transistors en collecteur ouvert. La haute densité d'intégration du L297 est l'une des caractéristiques technologique clé de ce circuit.

3.5.4. Le séquenceur : [12]

Le cœur du l298 est le block appelé translator sur le schémas block c'est lui qui génère les séquenceur appropriées pour l'alimentation des phases en mode demi pas, pas entier une phase / biphase.

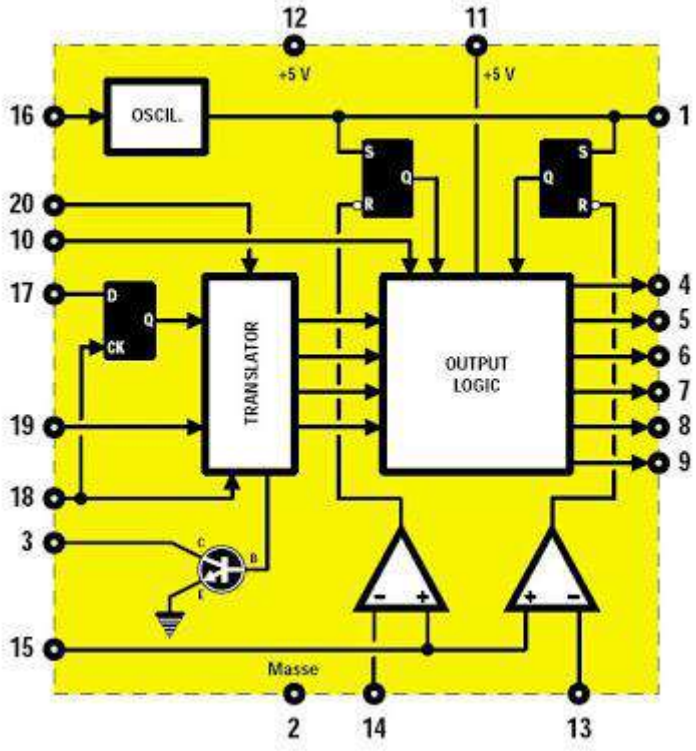


Figure 3.11. structure interne de circuit l298

Ce bloc est contrôlé par deux entrées - le mode de direction (HALF/FULL) et l'entrée clock dont l'impulsions d'horloge qu'on lui applique font évoluer le séquenceur vers le prochain pas. Quatre sorties sont fournies par le séquenceur et attaquent le block logique qui contient les fonction 'inhibe' et 'chopper'.

3.5.5. La structure interne de séquenceur : [12]

La structure interne de séquenceur consiste en un compteur trois bits plus un logique combinatoire qui génère les huit étapes de base en code gray comme nous les voyons sur la figure suivante :

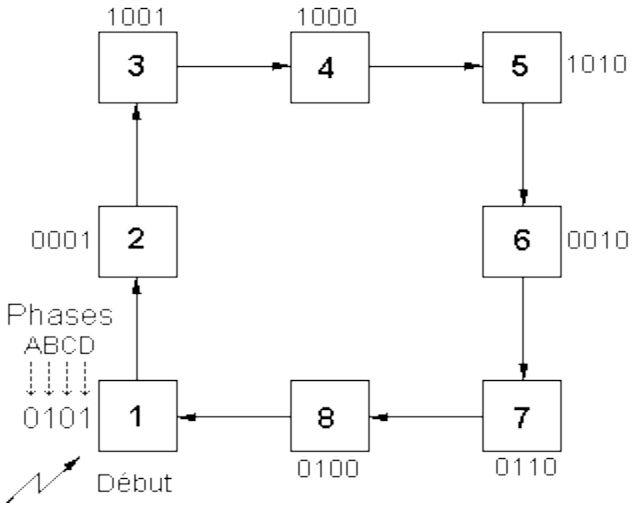


Figure 3.12. Le séquenceur

Dans ce diagramme nous sommes en mode demi pas (half) et en sens horaire (CW) les trois séquences de commande possible sont extraites directement de cette séquence principale.

3.5.6. Le chronogramme des sorties en mode demi pas [12] :

Le chronogramme des sorties en mode demi pas est visible dans la figure 3.13.

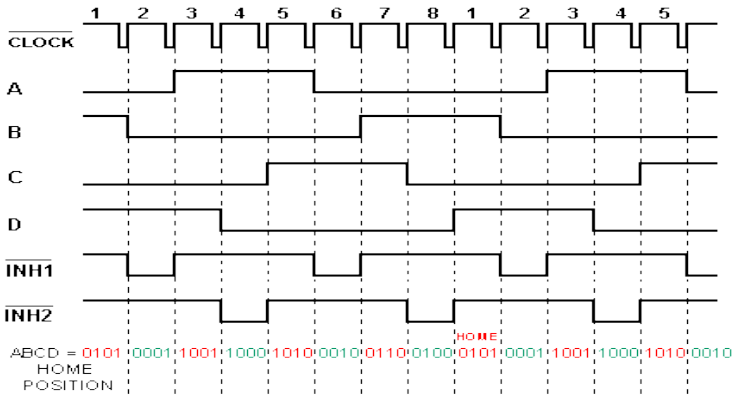


Figure 3.13. Le chronogramme des sorties en mode demi pas

Nous remarquons deux signaux supplémentaires INH1 et INH2 générés dans cette séquence. Alors le choix et la commande des moteurs pas à pas c'est un point essentiel pour assurer la fiabilité de l'impriment 3d.

3.6. Le régulateur de température

L'imprimante 3D comporte une tête d'impression qui assure l'injection de filament sur le plan d'impressions par une commande électronique pour les deux parties : La fusion de filament et l'extrusion de filament fondu**.**

3.6.1. La structure de tête :

La tête d'impression est constituée par l'assemblage des trois composants essentiels suivants:

- Un cylindre creux en aluminium avec des ailettes pour assurer le transfert de chaleur et le refroidissement.
- Une buse en bronze de diamètre 0.3mm en extrémité.
- Une résistance chauffante montées ur la paroi externe de support pour assurez la température nécessaire de fusion. Voir la figure 3.14.

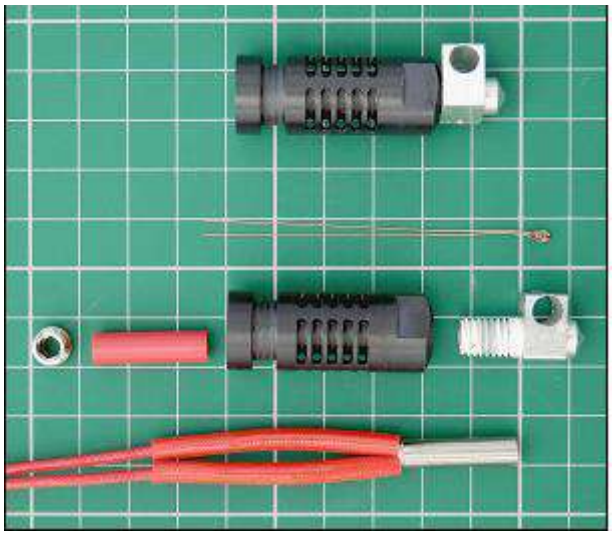


Figure 3.14. Tête d'impression 3d

3.6.2. La résistance chauffante :

Les résistances sont des éléments chauffants d'épaisseur et de forme différents, rigides ou souples selon les modèles, particulièrement adaptées aux installations disposant d'un faible encombrement. La majorité des résistances échangent leur chaleur avec la pièce à chauffer par conduction. Voir la figure 3.15.



Figure 3.15. Résistance chauffent

Domaine d'utilisation :

Elles sont utilisées dans de nombreuses applications telles que le chauffage de moules, de plateaux de presse, d'outils de scellage, dans des installations de thermoformage ou pour le chauffage de cuves.

Selon les applications et leur dimensionnement, certaines résistances sont utilisées pour émettre par rayonnement, pour chauffer ou cuire de la matière, dans des installations telles que des tunnels ou des fours.

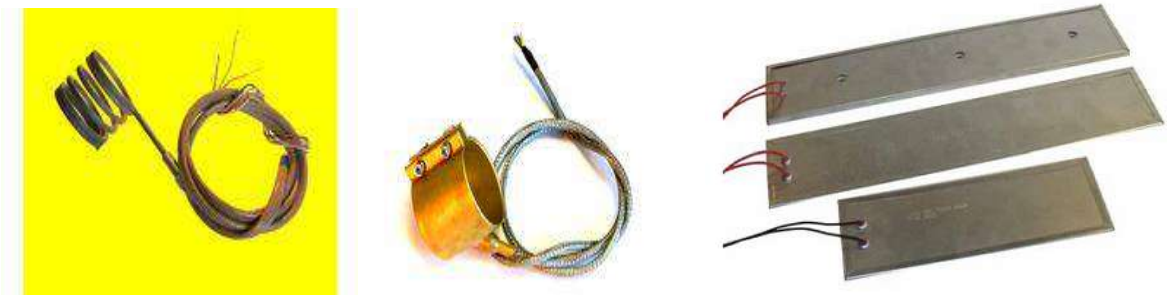
3.6.3. Les différents types de résistances chauffantes :

Il ya plusieurs types de résistance chauffantes, voir la figure 3.16.

La forme géométrique : cylindrique plaine ou creuse, plats rond ou carrée, selon le lieu et le mécanisme utilisé.

Les propriétés électrique et thermique :

- L'alimentation : 12V, 24V, ….220V
- La puissance 30W ,60W…….
- La température $60C^0$, $200C^0$ …….



Collier chauffent **cylindrique creuse** **plat**

Figure 3.16. Les types de résistance chauffante.

Principe de fonctionnement :

Une résistance chauffante permet de transformer une énergie électrique à une énergie thermique.

La puissance d'une résistance chauffante est définie comme suit :

$P = RI^2 = R(\frac{V}{R})^2$

$P = \frac{V^2}{R}$

P : la puissance de la résistance (watt)

V : la tenson d'alimentation de la résistance chauffent (volte)

R : la résistance interne (ohm)

I : l'intensité du courant (ampère)

3.6.4. Régulation de température :

D'après l'étude thermique de partie citée dans le chapitre 2, pour la fusion d'une matière plastique qui possède une température de fusion de 180 C° il faut installer sur la paroi extérieure du cylindre d'écoulement de cette matière une résistance chauffante qui doit permet de fournir une température qui dépasse 300 C^0.

Pour éviter l'influence de l'augmentation excessive de la température, nous avons proposé d'intégrer dans notre système un régulateur de température réglable.

3.8.4.1. Principe général de la régulation : [13]

Dans la plupart des régulateurs et installations industrielles, tertiaires et mêmes domestiques, il est nécessaire de maintenir de température à des valeurs déterminées, en dépit des variations externes ou internes influant sur ce grandeur, la température d'une étuve, étant par nature variables, doivent donc être réglés par des actions convenables sur le processus considéré. Si les perturbations influant sur la grandeur de température à contrôler sont lentes ou négligeables, un simple réglage (dit en boucle ouverte) permet d'obtenir et de maintenir la valeur demandée (par exemple : action sur résistance chauffant).

Dans la majorité des cas, cependant, ce type de réglage n'est pas suffisant, parce que trop grossier ou instable. Il faut alors comparer, en permanence, la valeur mesurée de la grandeur réglée à celle que l'on souhaite obtenir et agir en conséquence sur la grandeur d'action, dite grandeur réglant. On a, dans ce cas, constitué une boucle de régulation et plus généralement une boucle d'asservissement. Cette boucle nécessite la mise en ouvre d'un ensemble de moyens de mesure, de traitement de signal ou de calcul, d'amplification et de commande d'actionneur, constituant une chaine d'éléments associés : la chaine de régulation (ou d'asservissement).

Toute chaîne de régulation (ou d'asservissement) comprend trois maillons indispensables : l'organe de mesure, l'organe de régulation et l'organe de contrôle. Il faut donc commencer par mesurer les principales grandeurs servant à contrôler le processus. L'organe de régulation récupère ces mesures et les compare aux valeurs souhaitées, plus communément appelées valeurs de consigne. En cas de non concordance des valeurs de mesure et des valeurs de consigne, l'organe de régulation envoie un signal de commande à l'organe de contrôle (vanne, moteur, etc.), afin que celui-ci agisse sur le

processus. Les paramètres qui régissent le processus sont ainsi stabilisés en permanence à des niveaux souhaités. Voir la figure 3.17.

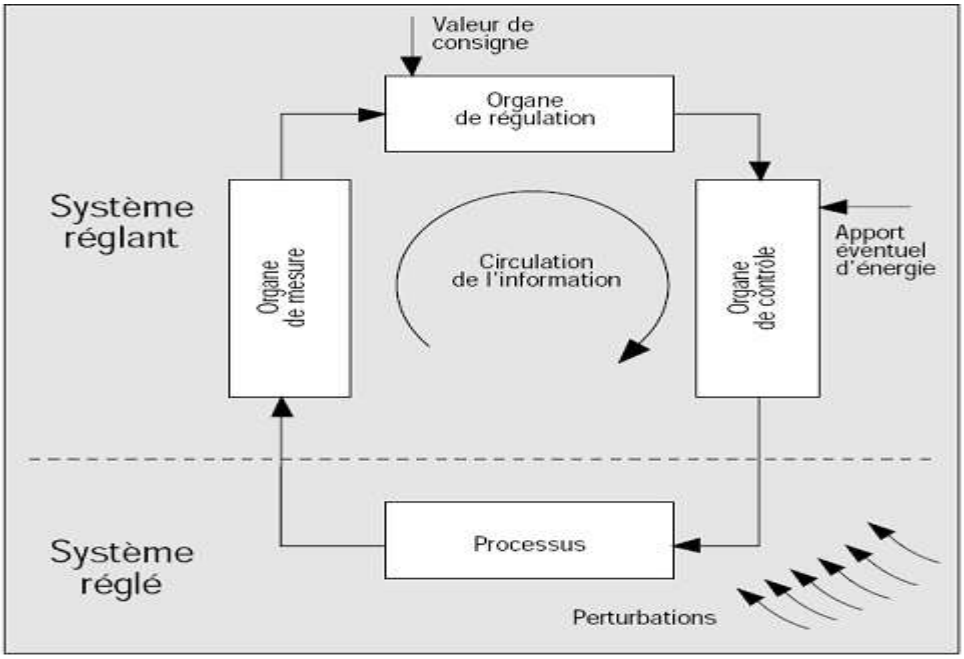


Figure 3.17 principe de régulation de température

3.8.4.2. Comportement en régulation :

La consigne est maintenue constante et il se produit sur le procédé une modification(ou une variation) d'une des entrées perturbatrices.

L'aspect régulation est considéré comme le plus important dans le milieu industriel, car les valeurs des consignes sont souvent fixes. Néanmoins, pour tester les performances et la qualité d'une boucle de régulation, on s'intéresse à l'aspect Asservissement. Voir la figure 3.18

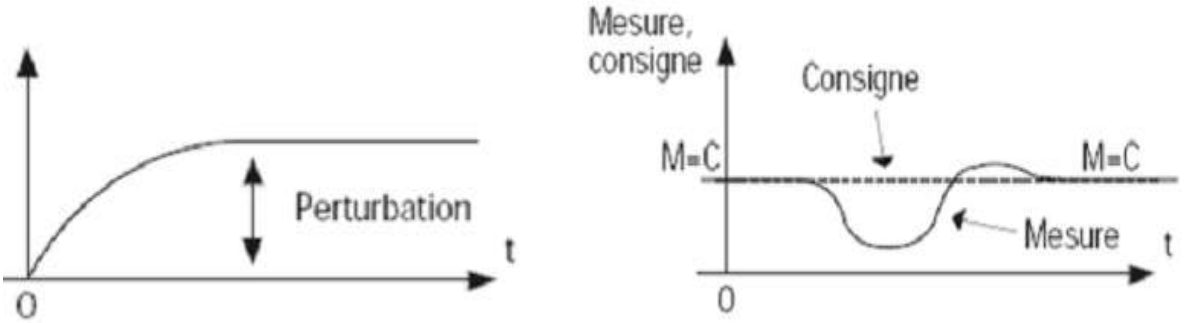


Figure 3.18. Comportement en régulation

3.8.4.3. Comportement en asservissement : [13]

L'opérateur effectue un changement de la valeur de la consigne, ce qui correspond à une modification du point de fonctionnement du processus. Si le comportement en asservissement est correct, on démontre que la boucle de régulation réagit bien, même lorsqu'une perturbation se produit. Voir la figure 3.19.

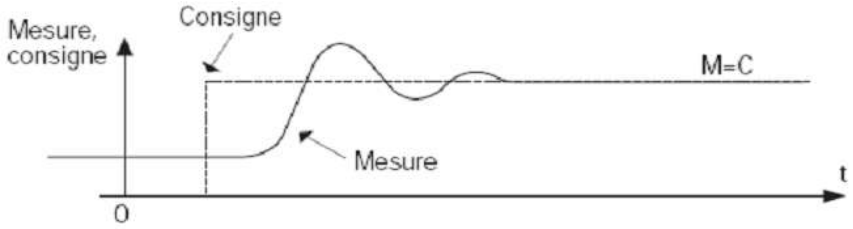


Figure 3.19. Comportement en asservissement

3.8.4.4. Le régulateur de température PID : [13]

Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (proportionnel intégral dérivé), car il permet de régler à l'aide de ses trois paramètres les performances (amortissement, temps de réponse, ...) d'un processus modélisé par un deuxième ordre. Nombreux sont les systèmes physiques qui, même en étant complexes, ont un comportement voisin de celui d'un deuxième ordre. Par conséquent, le régulateur PID est bien adapté à la plupart des processus de type industriel et est relativement robuste par rapport aux variations des paramètres du procédé, quand on n'est pas trop exigeant sur les performances de la boucle fermée par rapport à celles de la boucle ouvert . Voir la figure 3.20.

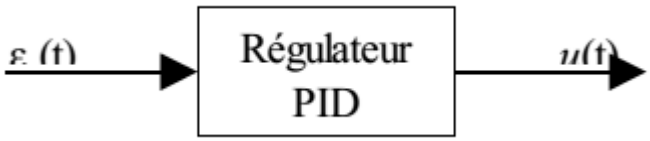


Figure 3.20. Schéma synoptique d'un régulateur PID

Description sur le régulateur de température :

Le principe de fonctionnement en générale d'un régulateur de température permet d'avoir une valeur de température constante dans un volume donné. Le régulateur fonctionne selon le schéma suivant. Voir la figure 3.21.

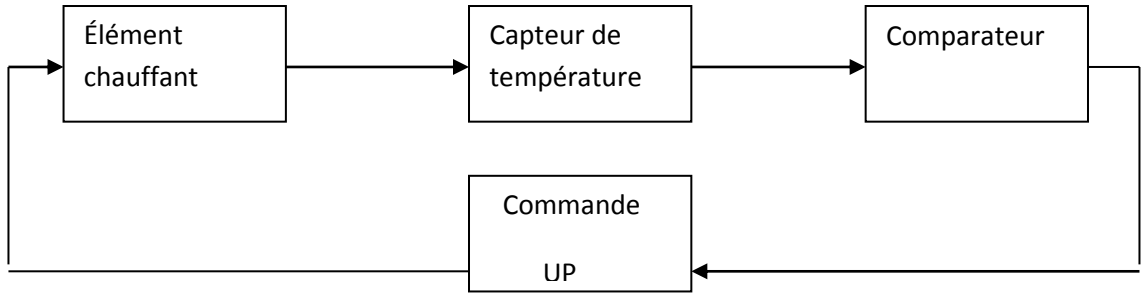


Figure 3.21. Schéma de fonctionnement d'un régulateur.

3.7. Conclusion :

Nous avons vus dans ce chapitre la description des moteurs pas-à-pas avec ces divers et principaux types qui sont les moteurs pas-à-pas à réluctance variable '***MRV***', les moteurs pas-à-pas à aimant permanant '***MP***' et les moteurs pas-à-pas hybrides '***MH***'. En deuxième étape, on a vu le mode de fonctionnement de chaque type en un pas entiers et en mode demi-pas.

Nous avons fait une petite comparaison entre ces trois types et le pilotage des moteurs pas à pas par le driver L298N pour les trois axes. Enfin, nous avons décrit la technologie d'une résistance chauffante la régulation de sa température.

CHAPITRE 4

Réalisation
De l'imprimante 3D

Chapitre 04

Réalisation de l'imprimante 3D

4.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons en détail les différentes phases de réalisation de notre imprimante 3D. Cette dernière comporte les parties suivantes :

- Partie mécanique.
- Partie électronique.
- Partie commande.

4.2. Réalisation de la partie mécanique :

1. Châssis :

On a choisi une tôle en fer de 1.5 mm. Les étapes de réalisation du châssis sont comme suit:

1- Tracer les tôles selon les dimensions indiquées dans le dessin industriel.
2- Couper les tôles après le traçage.
3- Percer les tôles suivant les dimensions définies. .
4- Pliage des tôles après le traçage.



Figure 4.1. Châssis

2. Tige de guidage :

On a choisi des arbres en acier chromé lisse de diamètre de 10mm. Les étapes de réalisation sont :

1- Couper les tiges suivant les dimensions définies.
2- Usiner les chanfreins par machine de tour.



Figure 4.2. Tige de guidage et porte tige

3. Porte tige:

On a choisi des tubes noirs de diamètre de 10 mm. Les étapes de réalisation sont comme suit:

1- Couper le tube noir selon les dimensions.
2- Couper la lame de la base
3- Perçage des trous après le pointage.
4- Souder le tube avec la lame de la base.

4. Support de la tête d'impression (translation suivant l'axe y)

On a choisi une tôle d'épaisseur de 1.5mm. Les étapes de réalisation sont comme suit:

1- Tracer la tôle selon le dessin
2- Couper la tôle par une cisaille
3- Perçage des trous après le pointage.

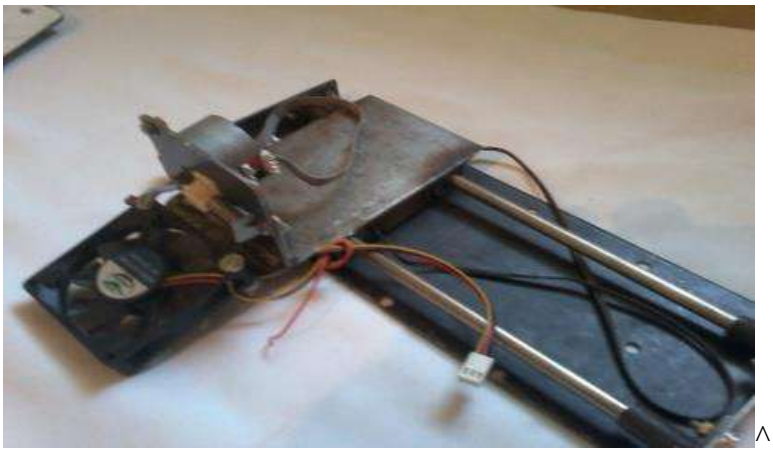


Figure 4.3. Support de la tête d'impression

5. Support (axe x)

On a choisi une tôle d'épaisseur de 1.5mm. Les étapes de réalisation sont comme suit:

1- Tracer la tôle selon le dessin de définition,
2- Couper la tôle par une cisaille,
3- Pointer les axes des trous,
4- Perçage des trous.



Figure 4.4. Support (axe x).

6. Support du plan d'impression

Les étapes de réalisation sont comme suit:

1- Tracer une plaque en aluminium,
2- Couper la plaque,
3- Plier la plaque selon les dimensions,
4- Pointer les trous selon le dessin,
5- Percer les trous.



Figure 4.5. Support du plan d'impression

7. Tige filetée

On a choisi une tige filetée M12, pas = 1.25 mm. Les étapes de réalisation sont comme suit:

1- Couper la tige
2- Réaliser un chanfrein par tournage.



Figure 4.6. Tige filetée.

8. Accouplement

L'accouplement est en aluminium. Il a été usiné par tournage.



Figure 4.7. Accouplement.

9. Tête d'impression.

La tète d'impression est en aluminium. Il a été usiné par tournage.



Figure 4.8. Tète d'impression

Après la réalisation de tous les éléments constitutifs de l'imprimante, on a procédé à monter ces éléments.

4.3. Réalisation de la partie électronique:

La partie électronique consiste à réalisée les drivers des moteurs pas à pas.

4.3.1. Choix de la puissance des moteurs :

Sur la plupart des imprimantes 3d utilisent des moteurs 3 ou 5 volts avec un courant supérieur à 1 ampère par phase. Ce sont des moteurs de 200 pas par tour (les plus courants) avec un pas de 1.8 degrés.

Les couples des moteurs sont donnés dans différentes unités, ce qui n'en facilite pas la lecture. On lit parfois des Kg/cm, des N/cm (Newton par centimètre) des mN / m (milli newtons par mètres). Comme le poids en Kg est égal à la masse en Newton multipliée par 9.81 (Kg = 9.81 x N), ceci nous donne les équivalences suivantes :

3Kg / cm = 3000 g / cm = 0.03 Kg / m = 0.2943N/m = 294.3 mN / m = 2.943 mN / cm.

4.3.2. Le choix du contrôleur pas à pas dépend de plusieurs facteurs :

- Le mode de commande;
- Le niveau d'isolation souhaité avec le PC;
- La puissance des moteurs;
- Les fonctionnalités annexes fournies pas le contrôleur ;
- Les pièges ont évité...

4.3.3. Le choix de l'alimentation :

Les moteurs pas à pas choisis sont caractérisés par un courant de 2.5 ampères pour chacun. Alors il faut réaliser une alimentation de 7.5 ampères.

4.4. Matériel spécifique :

4.4.1. Caractéristiques du moteur pas a pas :

- Moteur pas à pas bipolaire - 200 pas de 1,8°.
- Dimensions : 57x57mm.
- Axe diamètre 8mm.
- Sortie 4 fils.
- Tension : 24V.
- Courant : 3A.
- Résistance : 1 Ohms.
- Inductance : 3,5mH.
- Couple : 180N.cm.
- Poids : 1050g.
- Longueur : 76 mm

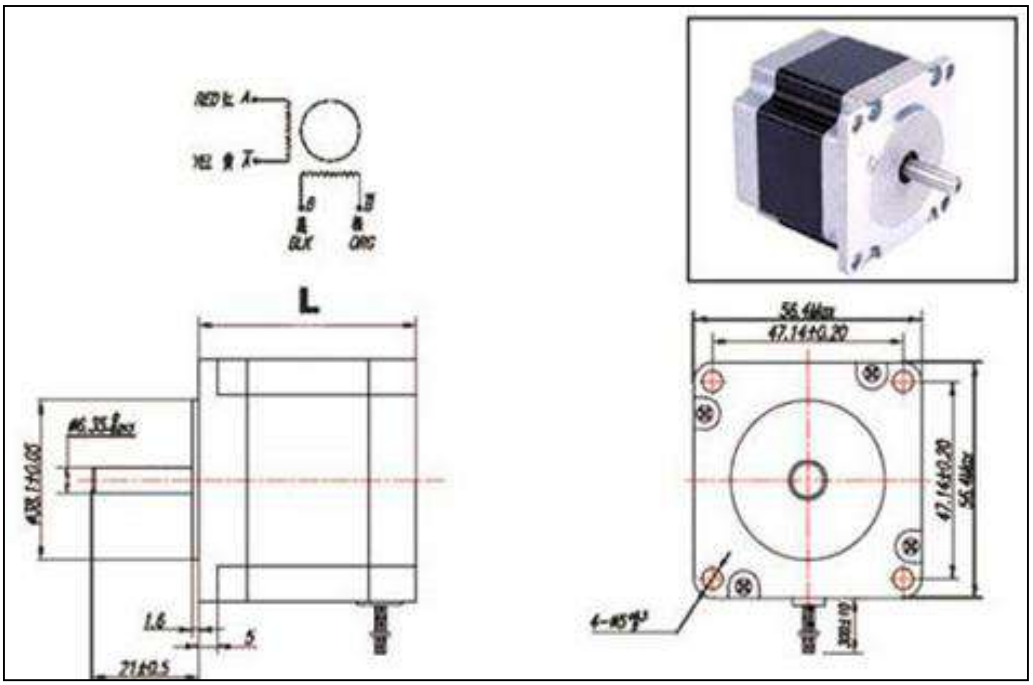
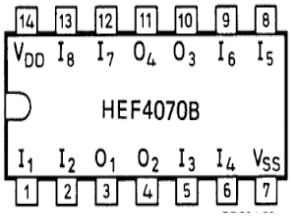
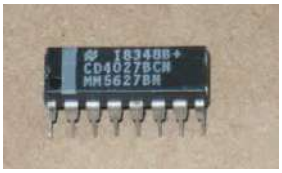
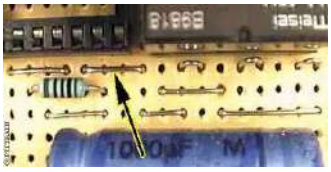


Figure 4.9. Représentation de Dimension d'un Moteur pas à pas [16]

4.5. La simulation de driver du moteur pas à pas :

La conception des driver a été fait par l'utilisation du logiciel ISIS PROTUSSE pour la vérifier le fonctionnement du circuit électronique par simulation et pour choisir les composants du circuit.

Tableau 5.1. Composants électroniques

Numéro	Désignation de composent	Quantité	image
01	L298	01	
02	CI 4070	01	
03	CI 4027	01	
04	Condensateur 10nF	02	
05	Résistance 3R3/10w	02	
06	Les strapes	-	

07	Diodes fr204	08	
08	Connecteur -4sorties -3sorties	 02 01	

La simulation du circuit électronique suit les étapes suivantes:

1- Choisir tous les composants du circuit dans la bibliothèque du logiciel ISIS PROTUSSE.

2- Raccorder les composantes.

3- Alimenter le circuit par deux tensions 5, 12v.

4- Trouver un signale carré de 5v impulsion dans l'entré de circuit.

5- Choisir un moteur pas à pas .

6- Lancement de la simulation et changer la fréquence.

7- La simulation a montré que la fréquence de résonance du moteur en régime permanant est 350 Hz. Voir la figure (5-3)

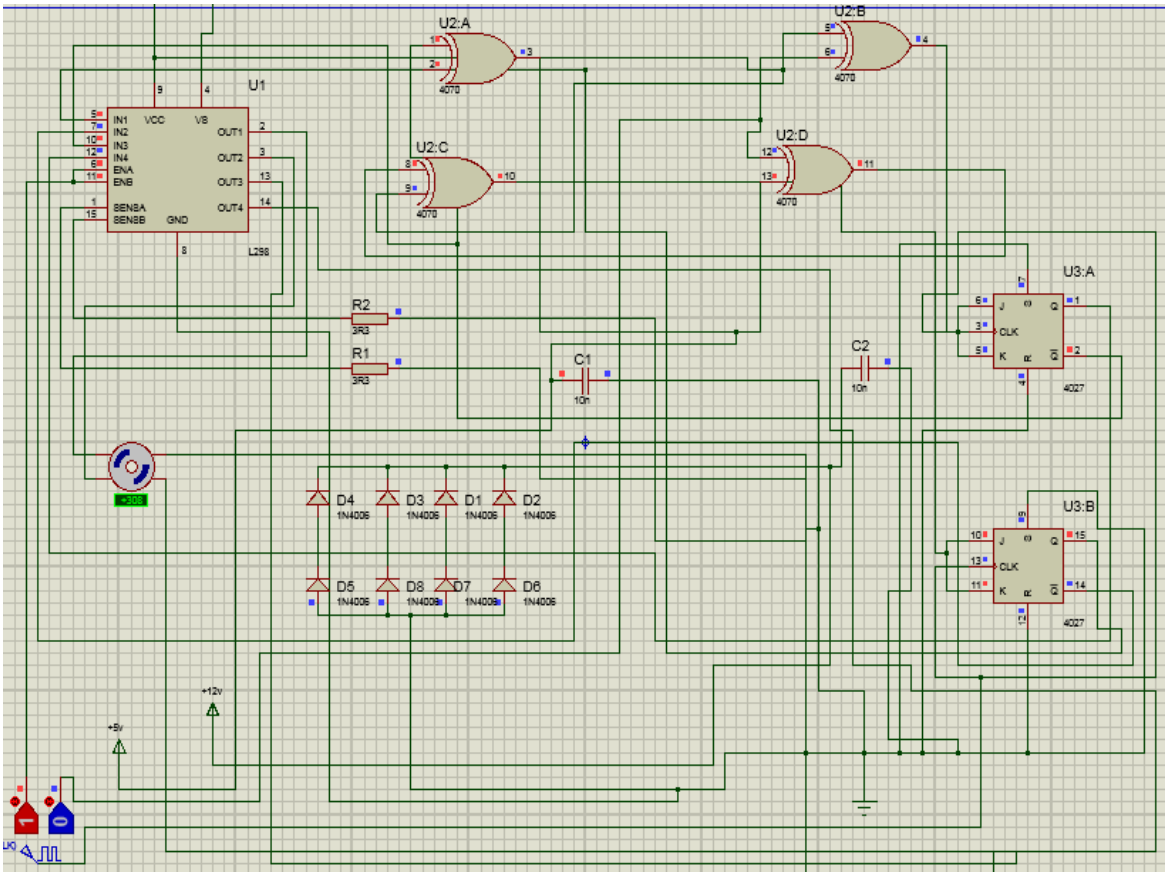
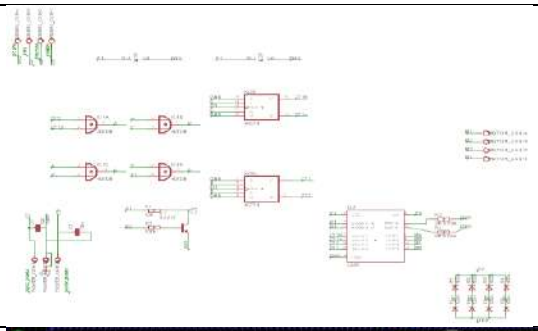
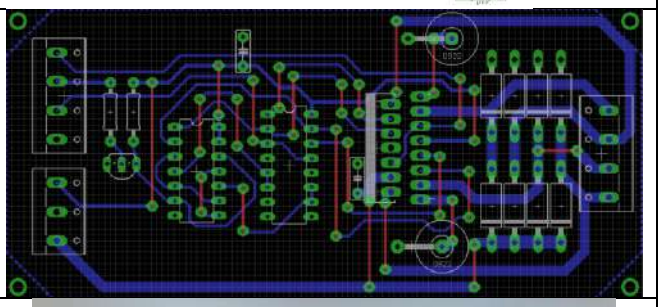


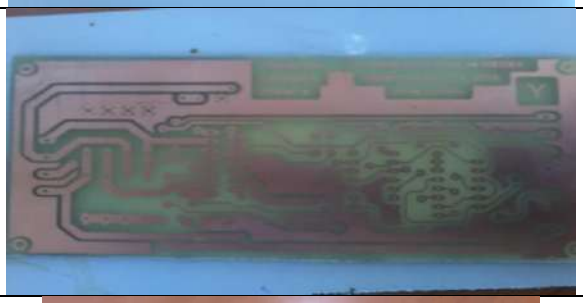
Figure 4.10. La simulation du driver du moteur pas à pas.

4.6. Fabrication du driver du moteur pas à pas :

Pour fabriquer la carte imprimée du circuit électronique du driver de moteur pas à pas, on utilise le logiciel EAGLE. La fabrication de cette carte suit les étapes cités en détail dans le tableau 5.2.

Tableau 4.2. La fabrication les cartes des drivers :

N d'opération	Tâches	Figure
01	Dessiner le circuit par le logiciel EAGLE	
02	Routage sur EAGLE	
03	Imprimer le circuit sur un papier transparent par imprimante laser.	
04	Couper la plaque du circuit selon les dimensions du circuit dessiné par le logiciel EAGLE	
05	Enlever le papier collant Coller par le ruban collant le papier transparent à la place du papier collant.	

06	Poser la carte dans une insoleuse. la carte est soumise à une lumière ultraviolette.	
07	Poser la carte insolé dans un récipient contenant de produit chimique (révélateur) pour enlevé la matière et obtenir le circuit imprimé.	
08	Poser la carte insolé dans un récipient contenant un autre produit chimique .	
09	Nettoyer la carte par un diluant pour la suppression du vernier	
10	-Percer les trous de plaque - Poser puis souder les strappes -Poser ensuite souder les composantes	
11	La dernière consiste à essayer les trois drivers -câbler selon le schéma électrique avec une alimentation 5,12v -régler la fréquence par un oscilloscope à 350 hz -trouver un signale carré - raccorder le moteur pas à pas avec le driver - varier la fréquence pour	

	différentes vitesses.	

4.7. Câblage de l'imprimante 3d :

Pour commander notre imprimante 3d par l'ordinateur, il faut accorder cette machine avec l'ordinateur par un port de commande. Il existe plusieurs ports dans le PC:

- Le port parallèle
- Le port série
- Le port USB

Dans notre projet, nous avons utilisé le port parallèle.

4.7.1. Le port parallèle

Le Port parallèle est un connecteur situé à l'arrière des ordinateurs compatibles PC reposant sur la communication parallèle. Il est associé à l'interface parallèle Centronics. La communication parallèle a été conçue pour une imprimante du texte, caractère par caractère. Les imprimantes graphiques (pouvant imprimer des images) ont ensuite continué à utiliser ce système pour profiter de l'interface parallèle normalisée. Le port parallèle est à l'origine unidirectionnel. Ce type d'interface a évolué vers le standard IEEE 1284, à la fois bidirectionnel et plus rapide. Voir la figure 4.11.



Figure 4.11. Le Port parallèle

Pour connecter des périphériques externes tels que les imprimantes ou le scanner. on utilise un connecteur à 25 broches (DB-25).

Le port parallèle est parfois appelé une interface Centronics ou port d'imprimante, car l'imprimante est le dispositif le plus souvent branché sur le port parallèle. La dernière norme du port parallèle, qui prend en charge les mêmes connecteurs

que l'interface Centronics, est appelé le port parallèle EPP (Enhanced). Cette norme prend en charge la communication bidirectionnelle et peut transférer des données jusqu'à dix fois plus rapide que le port Centronics originale. Toutefois, depuis le port parallèle est une technologie plutôt daté, ne soyez pas surpris de voir les interfaces USB ou FireWire remplacer Complètement les ports parallèles à l'avenir.

1. Historique [15] :

• Le port parallèle a été introduit en 1981 par IBM afin de contrôler des imprimantes à ruban (dot matrix printer). Ce port est plus rapide que le port série et il a été créé afin de suppléer au manque de vitesse de ce dernier.

• Par la suite, le port parallèle a été utilisé pour des disques portables, des tape backups, des lecteurs de CD-ROM et dans plusieurs applications maisons.

• La version standard du protocole pour le port parallèle (SPP = Standard Parallel Port), sortie en 1981, avait plusieurs faiblesses: manque de spécifications électriques, bus de donnée unidirectionnel, lent, très exigeant au niveau software (E/S programmée nécessitant une séquence de plusieurs opérations d'E/S). Pour ces raisons, différents protocoles de 38 communications ont été créés afin de communiquer avec un appareil connecté au port parallèle.

• Le comité IEEE1284 a standardisé le port parallèle en 1994. Ce comité a établi la norme IEEE1284.Cette norme définit cinq protocoles utilisables sur le port parallèle, incluant le protocole standard, afin de rester compatible avec le passé. Ces protocoles sont décrits plus loin.

2. Caractéristiques principales [15]:

• Le port parallèle est un port point-à-point. Il sert à relier un unique périphérique à un PC.

• La vitesse maximale de communication sur le port parallèle est autour de 2 Mbps. La vitesse maximum de communication sur le port parallèle en utilisant le premier protocole établi en 1981 était autour de 150kbps.

• Le port parallèle utilise habituellement un connecteur DB25 femelle sur le PC et un connecteur Centronics 36 broches mâle sur le périphérique.

• Il y a 8 lignes de données sur les 25 lignes du port parallèle. Ce port est donc parallèle.

• La longueur maximum des câbles utilisés sur ce port est de 10 pieds. Avant 1994, elle était autour de 6 pieds.

• Les premières versions du port étaient unidirectionnelles: le PC envoyait des données à une imprimante! Les protocoles les plus récents pour le port parallèle sont bidirectionnels.

3. Le nom de périphérique associé [15]:

Sous les systèmes d'exploitation de Microsoft (MS-DOS puis Windows), le port parallèle est désigné par les lettres LPT pour Line Printing Terminal. Ce nom vient des limitations de l'imprimante qui ne pouvait à l'origine imprimer que du texte, une ligne après l'autre. De manière semblable, ce port est désigné sous les systèmes d'exploitation de type UNIX et Linux par le « fichier spécial » /dev/lp.

4. Evolution du port [15]:

Le port parallèle fut remplacé par des interfaces de type USB et FireWire (IEEE 1394) qui permettent de plus grands débits, sont plus maniables, moins coûteuses et surtout bien moins encombrantes. Ce ne sont pas seulement les connecteurs qui changent, mais aussi la logique de flux sous-jacente, qui de parallèle devient série et multiplexée, ce qui demande davantage d'électronique, mais se traduit par une nette baisse de la quantité de matières premières nécessaires à la fabrication.

5. Description des Broches dans Centronics et DB25 : [15]

La figure 4.12 montre le port parallèle DB25. Au point de vue des performances électriques, chaque broche du port est capable de fournir un courant maximal de 12 mA environ. Il faut donc faire attention à la charge que l'on applique et calculer les résistances de limitations adéquates. Une solution pour éviter tout problème de consommation est de placer un circuit buffer juste à la sortie du port. Les niveaux de tension sont compatibles TTL : cela signifie qu'un bit mis à 1 provoquera une mise à +5V sur la broche correspondante, et un 0 logique mettra cette broche à 0V (la masse du PC). Pour la lecture de données, il faut faire un peu plus attention car cela dépend de la technologie utilisée. En effet, certaines broches du port possèdent une résistance interne dite de "pull-up" (tirage au +5V) sur leurs broches tandis que d'autres ont leurs sorties dites en "collecteur ouvert" (sans

aucune résistance). Une résistance de pull-up à l'entrée de ces broches, de l'ordre de 4,7 K Ohms, rendra votre montage compatible sur tous les ports parallèles.

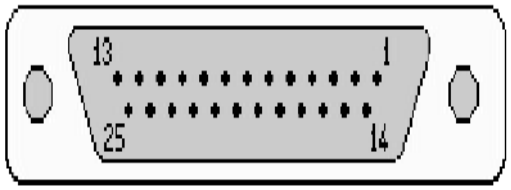


Figure 4.12. DB25

Tableau 4.3. Description des Broches dans Centronics et DB25

Broche				
DB25	**Centronics**	**Nom**	**type**	**Description**
1	1	S	STROBE	Un 0 logique (impulsion) doit être envoyé sur cette ligne pour signaler à l'imprimante que des données valides sont présentes sur les lignes D0 à D7. Le signal doit normalement durer au moins 0,5 µs.
2	2	D0	S/(E)	C'est le bus de données sur lequel véhicule-la valeur à imprimer. On ne peut écrire sur ce port, à moins d'avoir un port parallèle étendu (ECP/EPP).
3	3	D1	S/(E)	
4	4	D2	S/(E)	
5	5	D3	S/(E)	
6	6	D4	S/(E)	
7	7	D5	S/(E)	
8	8	D6	S/(E)	
9	9	D7	S/(E)	
10	10	ACK	E	L'imprimante envoie une impulsion négative sur cette ligne pour indiquer qu'elle a bien reçu le caractère transmis et que la transmission peut continuer.
11	11	BUS Y	E	Cette ligne est mise à 0 par l'imprimante lorsque son buffer de réception est plein. L'ordinateur est ainsi averti que celle-ci ne peut plus recevoir de

				données. Il doit attendre que cette ligne revienne à 1 pour recommencer à émettre.
12	12	PE	E	Signifie "Paper End". L'imprimante indique par cette ligne que l'alimentation en papier a été interrompue.
13	13	SELECT	E	Cette ligne indique à l'ordinateur est "on line" ou "off line".
14	14	AUTOFEED	S	Lorsque ce signal est à 0, l'imprimante effectue un saut de ligne à chaque caractère CR (Carrier Return = #13) reçu. Dans le cas contraire, le saut de ligne doit être envoyé explicitement par l'ordinateur via le caractère LF (Line Feed =#10).
15	32	ERROR	E	Cette ligne indique à l'ordinateur que l'imprimante a rencontré une erreur.
16	31	INIT	S	Un 0 logique (impulsion) peut être envoyé sur cette ligne pour réinitialiser l'imprimante.
17	36	SELECT IN	S	L'ordinateur peut mettre l'imprimante hors ligne en plaçant un 0 sur cette ligne. Il peut aussi servir à sélectionner un deuxième périphérique si le port parallèle est partagé entre deux périphérique (cas d'un scanner par exemple).
18-25	16.17.19. 30.33	GND	-	C'est la masse du PC.
-	35	-	-	Mis au +5V par l'imprimante, par l'intermédiaire d'une résistance de 4,7 kohms

6. Les registres de commande [15]:

Ces lignes sont commandées directement par un bit, dans trois registres différents, comme précisé dans la dernière colonne, et dans le tableau suivant, et le niveau de repos correspond au niveau de la ligne lorsque le bit dans le registre est à 0, c'est à dire que si le niveau de repos est un le niveau de la ligne et le bit correspondant dans le registre sont Inversés

Tableau 4.4. Les registres de commande

Registre de données Adresse 888	Bit0	D0
	Bit1	D1
	Bit2	D2
	Bit3	D3
	Bit4	D4
	Bit5	D5
	Bit6	D6
	Bit7	D7
Registre d'état Adresse 889	Bit3	Error
	Bit4	Select
	Bit5	Paper end
	Bit6	Acknowledge
	Bit7	Busy
Registre de contrôle Adresse 890	Bit0	Strobe
	Bit1	Autofeed
	Bit2	Initialize
	Bit3	Select input
	Bit4	Autorisation d'interruption
	Bit5	Direction donnée 0=sortie, 1=entrée

Alors pour assurez la transformation des donné ou le code l'engage par l'opérateur ver l'imprimante 3d et après cette étude la liaison utilisé pour le câblage l'imprimante 3d par l'ordinateur c'est le port parallèle.

- **DB25 :** coté ordinateur.
- **Centronics :** coté imprimante.

4.8. Les capteurs de fin de course :

Afin de ne rien casser, il est plus prudent de disposer des capteurs de fin de course sur les différents axes. Ainsi, si le logiciel commande des coordonnées hors limite, les moteurs seront stoppés avant un éventuel incident. Nous avons utilisons des interrupteurs de fin de course classiques, pour éviter ce problème. Voir la figure (5-2)

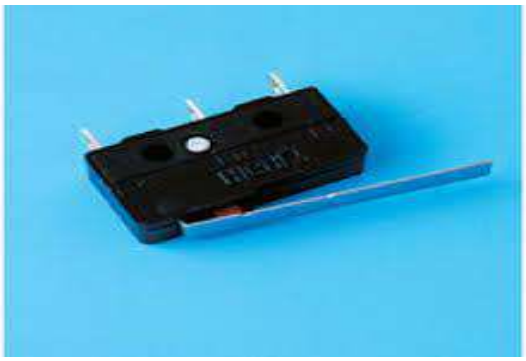


Figure 4.11. Capteur de fin course

4.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les étapes de réalisation de la partie mécanique et de la partie électronique de l'imprimante 3d.

La partie mécanique comporte des éléments de formes différentes. C'est pourquoi, nous avons utilisé des procéder de fabrication différentes: le tournage, le perçage, le pliage et le soudage.

Pour la partie électronique, l'utilisation du logiciel ISIS PROTUSSE a permet de vérifier le fonctionnement du circuit électronique par simulation et de choisir les composants du circuit. En plus, le logiciel EAGLE nous a aider à graver notre première carte électronique.

CHAPITRE 5

Méthodologie d'utilisation

De l'imprimante 3D

Chapitre 5 :

Méthodologie d'utilisation de l'imprimante 3D

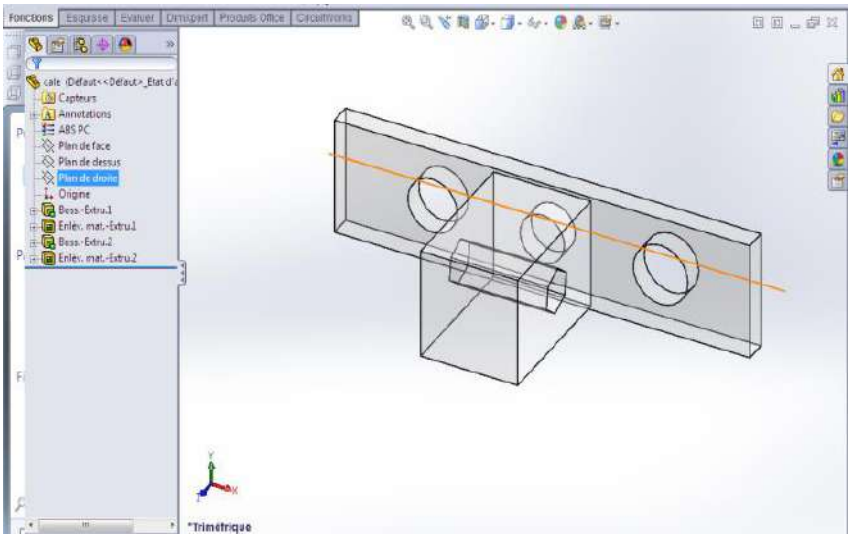
5.1. Introduction :

Comme quatrièmes chapitre, nous présentons la méthodologie à suivre pour créer des objets de qualité. Cette méthodologie s'appuie sur la maitrise d'un certain nombre de logiciel et la préparation de l'imprimante 3D avant l'utilisation. Dans les paragraphes suivants nous décrivons brièvement les logiciels nécessaires dans le processus de création des objets par l'imprimante 3D.

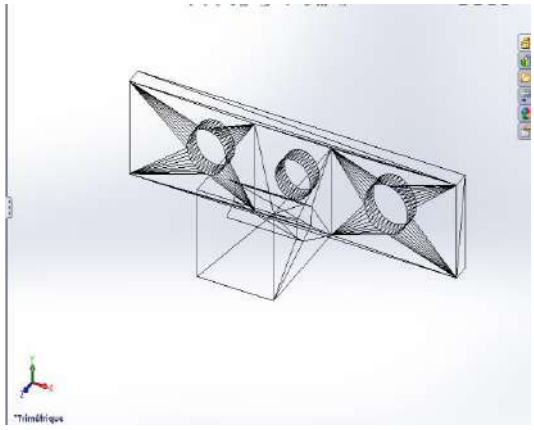
5.2. Utilisation de l'imprimante 3D :

Pour utiliser l'imprimante 3D, nous présentons la méthodologie à suivre pour crées un objet:

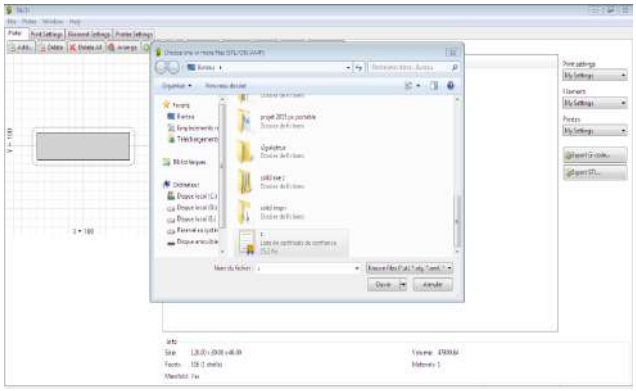
1- Installation certains logiciels (solidworks, slic3r,mach3)
2- Configurer mach3 et slic3r selon le guide de ce logiciel
3- Câbler l'imprimante 3d avec le PC par un port parallèle
4- Créer un objet en 3d par logiciel solid works CAO



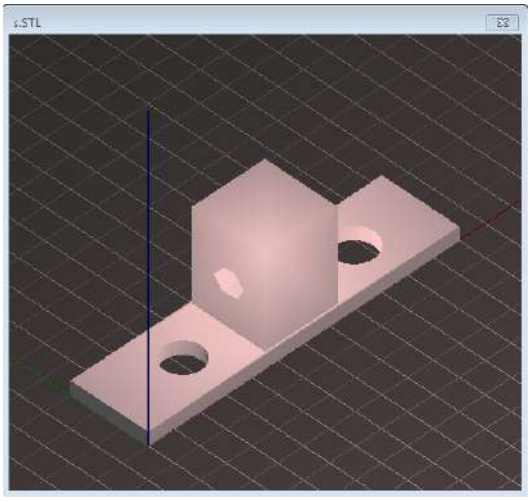
5-Enregistrer cet objet en format STL.



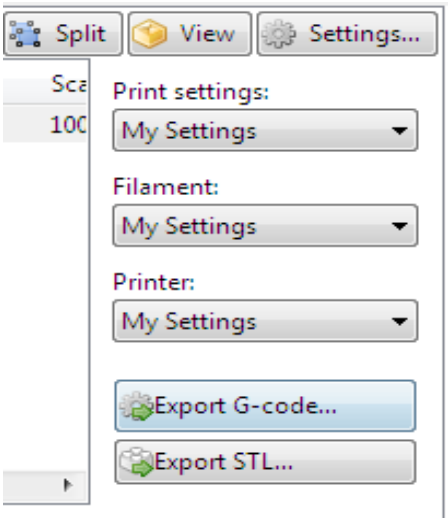
6-Après la configuration de slic3r avec l'imprimant, en clique sur Add pour trouver le format stl de l'objet.



7- cliquer sur view pour la conformation.



8-Exporter le code G par le logiciel slic3r.



9- Ouvrir l'interface de mach3 et charger le code G en format 'TXT' exporté.



10-Alimenter l'imprimant par la prise de 220v-60hz.

11-Remettre à zéro les trois axes.

12-Activer le bouton de la tête de chauffage.

Après 5min la tête extrude le filament et le moteur de l'extrudeuse est lancé automatiquement.

13-Lancer l'impression par le mach3 en cliquant sur le bouton départ

Dans les paragraphes suivants, nous présentons une description sur les logiciels utilisés.

5.3. Conception de l'objet 3D :

Il existe un nombre important de logiciels permettant de création une pièce volumique ou un objet 3d. Compatible avec l'imaginaire du concepteur. Comme CATIA, FREE CAD, SOLIDE WORKS. Dans notre projet, nous avons utilisé le logiciel SOLIDWORKS.

5.3.1. Présentation du logiciel SOLIDWORKS.

5.3.1.1. Définition [16]:

C'est un outil informatique de conception assisté par micro ordinateur. Il permet de faire les tâche suivantes: création des objets en 3d, la simulation des études statique, dynamique , thermique .

5.3.1.2. Historique [16] :

Le logiciel SOLIDWORKS a été Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme puis il a été acheté le 24 juin 1997 par société Dassault Systèmes. Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Franckie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, Mega Bloks, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud , l'université et l'éducation.

5.3.1.3. Fonctionnement [16] :

SOLIDWORKS est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur Solid Works. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

5.3.1.4.Les pièces [16] :

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette

organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.

5.3.1.5.Les notions de base [16] :

1- **extrusion :** déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. La section est définie dans une **esquisse** (qui apparaît alors dans l'arbre de création comme élément générateur de la fonction). Cette esquisse contient l'ensemble des spécifications géométriques (cotation) nécessaires à la complète définition de la section. Cet ensemble de cotes auquel il faut ajouter la (ou les) longueur d'extrusion constitue l'ensemble des paramètres de la fonction ; il est possible de les modifier une fois la fonction validée.
2- la révolution : déplacement d'une section droite autour d'un axe, ou extrusion suivant un cercle ou un arc de cercle.
3- le balayage : déplacement d'une section droite le long d'une ligne quelconque. Lorsque la génératrice de balayage est gauche, l'esquisse est en 3 dimensions.
4- congés et chanfreins,
5- nervure,
6- dépouille,
7- coque (permettant d'évider un objet en lui conférant une épaisseur constante),
8- trous normalisés (perçages, mortaises...),
9- plis de tôle.

5.3.1.6. Autres fonctions : [16]

Des fonctions d'ordre logiciel comme la répétition linéaire, circulaire, curviligne ou par symétrie. Les dernières versions autorisent la réalisation de pièces momentanément disjointes, ce qui permet de concevoir un objet fonctionnellement, c'est-à-dire en définissant d'abord les éléments fonctionnels, puis en joignant les différentes parties par de la matière (nervures, carter...).

L'édition de familles de pièces est possible en associant à SolidWorks, le tableur Microsoft Excel : Un tableau devient ainsi éditeur des références (lignes) donnant la valeur des paramètres variables des fonctions (colonnes) :

- valeur de certaines cotes ;
- valeur de certaines propriétés (nombre d'occurrence...) ;
- état de suppression d'une fonction.

Ainsi, il est possible d'obtenir à partir d'un seul fichier de type pièce, l'ensemble des modèles de vis d'assemblage (toutes forme de tête ou dimensions), ou encore toutes les combinaisons de briques Lego (1x1, 1x2 etc).

Avec tous ces outils, la méthode de conception d'une pièce très proche du métier du concepteur qui ne se soucie plus de savoir où placer les traits du dessin mais les formes de la pièce.

Les possibilités d'éditions sont complétées par un ensemble d'outils de mesures géométriques. Ainsi il est possible de connaitre le volume de la pièce, son poids, la position de centre de masse, sa matrice d'inertie, la surface...

5.3.1.7.Utilisation : [16]

L'utilisation de logiciel solide Works dans différant domaine

1- conception insisté par micro-ordinateur CAO
2- simulation statique
3- la simulation dynamique
4- la simulation dynamique
5- macro fabrication
6- méthode d'usinages…

Le format de l'objet 3d créé par logiciel solideworks: stl, dfx … et l'interface graphique de commande de l'imprimante il supporté ce format mais la commande par G code comme la plupart des machine numérique, pour cela en utilise n'autre logiciel de cette opération

5.3.2. G code [17] :

Il existe un nombre important de logiciels permettant de transformer une pièce volumique en un fichier compatible avec une imprimante 3D traditionnelle.

Dans le cadre d'utilisation d'une imprimante 3D, il faut s'assurer que le logiciel choisi pourra générer un fichier G code le plus standard possible pour que le logiciel de pilotage puisse le « digérer » sans mal, ce n'est pas le cas de tous les logiciels de conversion actuellement disponibles.

Nous avons sélectionné Slic3r. Slic3r est un slicer, dont la traduction stricte en Français est « trancheur », ce « trancheur » va donc découper en « tranches, ou « couches » l'objet que l'on aura choisi d'imprimer.

5.3.2.1. définition :

Le « slicer » puisse générer du G code standard, du G code compatible avec un logiciel de pilotage traditionnel sur nos imprimante numériques. Slic3r génère du G code standard et permet même d'ajouter du Gcode « personnel » en cas de besoin.

5.3.2.2. Configuration de l'axe de l'extrudeuse : [17]

Nous avons vu dans la partie matérielle tous les éléments nécessaires pour obtenir une extrudeuse (extrudeuse+ buse). Le moteur pas à pas de l'extrudeuse est connecté sur l'axe A. Il est généralement possible de configurer l'axe A de deux manières, soit en mm soit en rotation (°).

Avec le logiciel de conversion choisi pour ce dossier (Slic3r), la configuration de l'axe A doit être en « mm ».

Ensuite, il faut configurer l'axe A dans le logiciel de pilotage, c.à.d. le nombre de pas à envoyer au moteur pour que le filament avance bien de 1 mm dans l'extrudeuse lorsqu'on demande à l'axe A de ce déplacer de 1 mm. Ce réglage est déterminant pour la réussite de l'impression 3D.

5.3.2.3. Configuration de base Slic3r [17] :

Au premier démarrage de Slic3r, le configurateur « rapide » va s'ouvrir immédiatement, sinon il est accessible dans le menu « Help / Configuration Wizard ».voir figure 5.1.



Figure 5.1. Configure action wizard

Cliquer sur « Next »

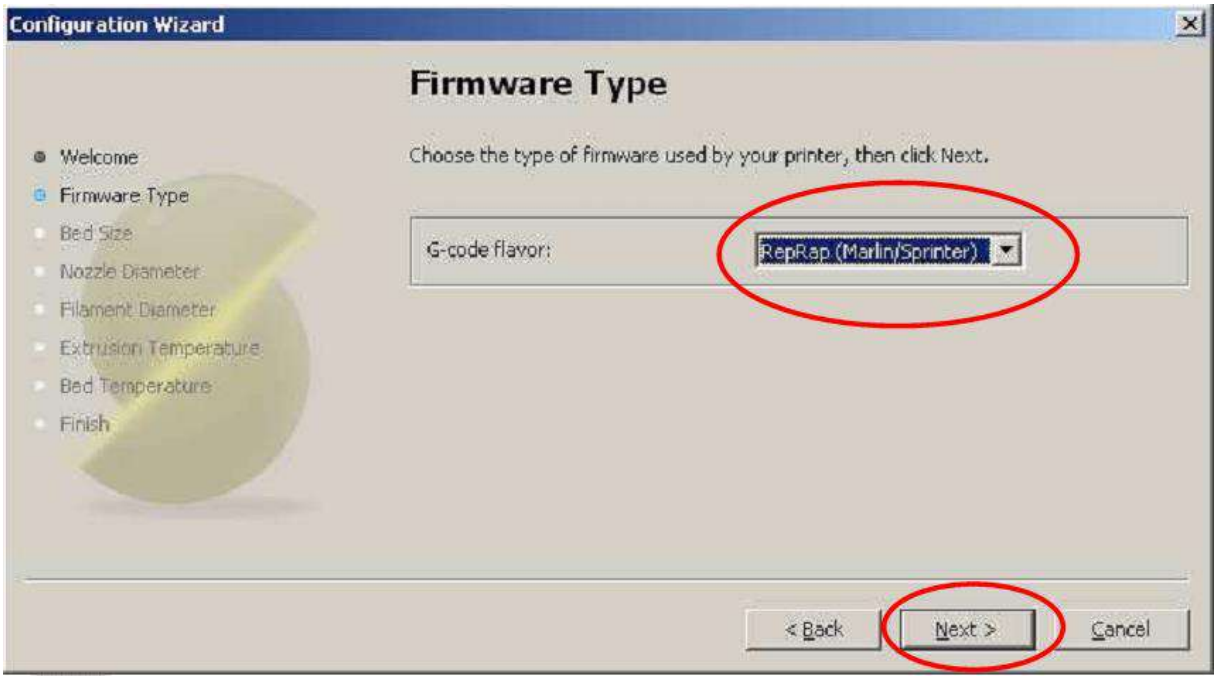


Figure 5.2. irmware type

Slic3r vous demande quel type de « Firmware » vous avez, dans notre cas, nous n'utilisons pas un Firmware dédié, mais nous souhaitons la génération de Gcode « standard », pour cela, il faut sélectionner « Mach3/EMC »dans la liste déroulante G-code flavor. Puis cliquez sur « Next ».



Figure 5.3. bed size

Saisir la taille de votre zone de travail ou la taille de votre lit chauffant, si vous en avez un.

Cliquer sur « Next ».



Figure 5.4. Diamètre de la tête

Saisir le diamètre de votre buse d'extrusion.

Avec une buse CNC Fraises, le paramètre standard (0.5 mm) est déjà bon.

Cliquer sur « Next ».

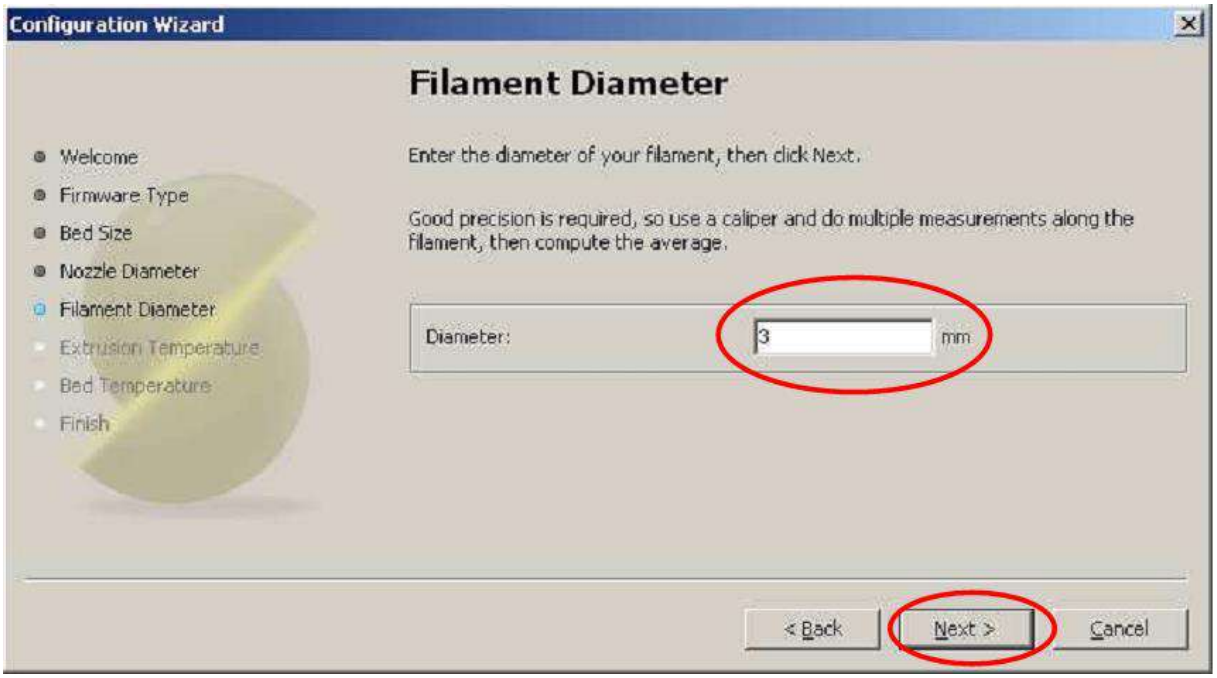


Figure 5.5. Diamètre de filament

Saisir le diamètre de votre jonc (filament) d'ABS ou PLA. Cliquez sur « Next ».

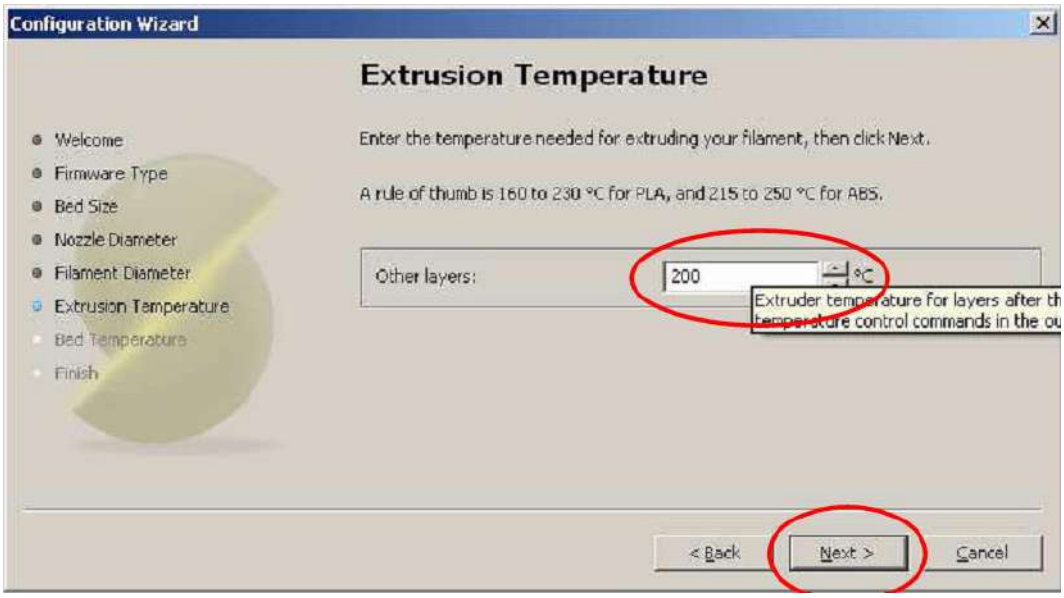


Figure 5.6. Température d'extrudeuse

Même si la température n'est pas asservie automatiquement par des commandes G code, comme c'est le cas lorsqu'on utilise une carte de commande dédiée à l'impression 3D, il est tout de même intéressant de spécifier la température d'extrusion de la matière que vous allez utiliser, Si vous n'avez aucune idée de la température d'extrusion, vous pouvez configurer votre régulateur de température de la buse à 190° pour du PLA ou 220° pour de l'ABS. Cliquez sur « Ne xt ».

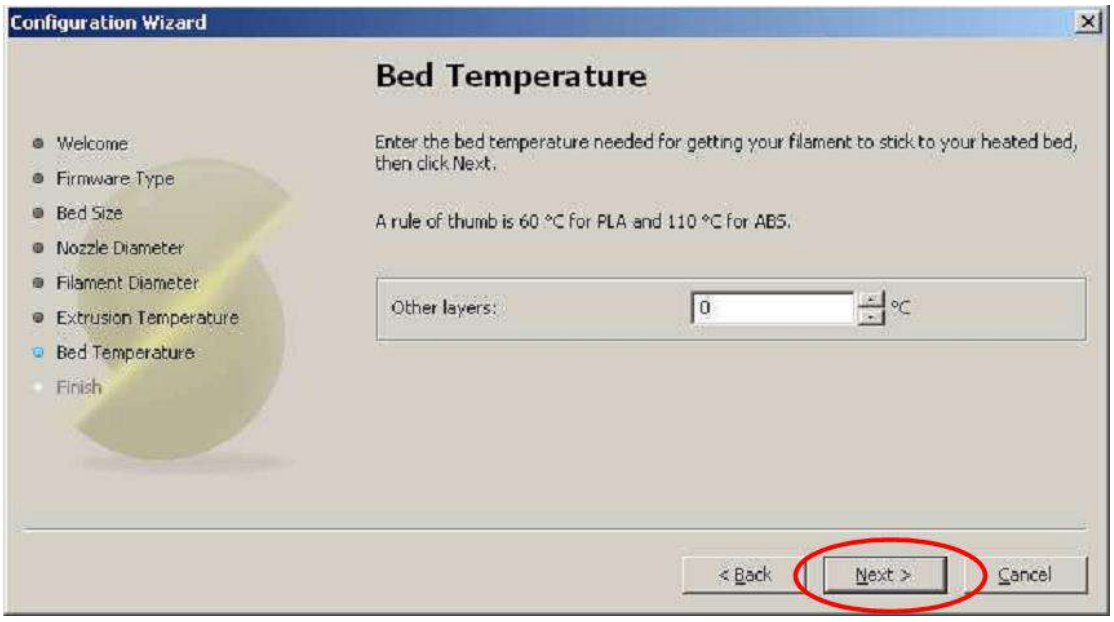


Figure 5.7. Température de plan d'impressions

Même remarque pour le lit chauffant. La température indiquée n'est saisie qu'à titre informatif, la chauffe du lit n'étant pas asservie automatiquement dans notre cas.

Cliquer sur « Next »



Figure 5.8. Fin de configuration

Et c'est déjà terminé, cliquez sur finish.

5.4. Génération du G code : [17]

5.4.1.Exporter G code : [17]

Les pièces a été créée sous SolidWorks et exportée en STL, donc on transformé cette format en G code par slic3r

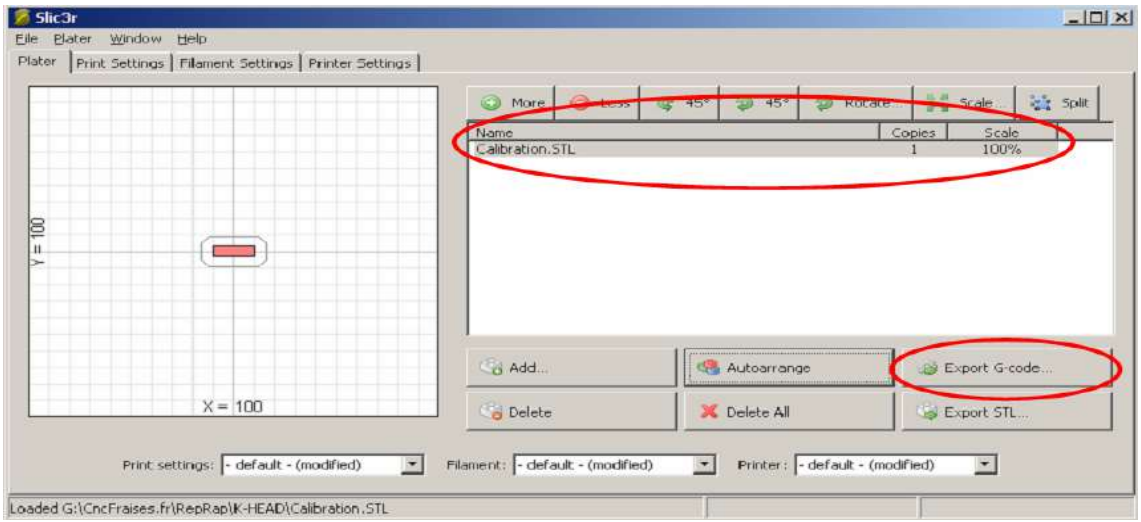


Figure 5.9. Exporter format STL

Poser le fichier STL dans la zone « Plater » de Slic3r, sans toucher à aucun autre paramètre, cliquez sur « Export G-code ». Un fichier nommé « Calibration.gcode » est généré.

5.4.2. Vitesse d'impression

Pour augmenter la vitesse d'impression, les paramètres se trouvent « Print Setting » / Speed : La vitesse d'extrusion sera automatiquement calculée par rapport aux vitesses choisies. Vérifiez que votre machine supporte les vitesses que vous souhaitez configurer avant de lancer une impression.

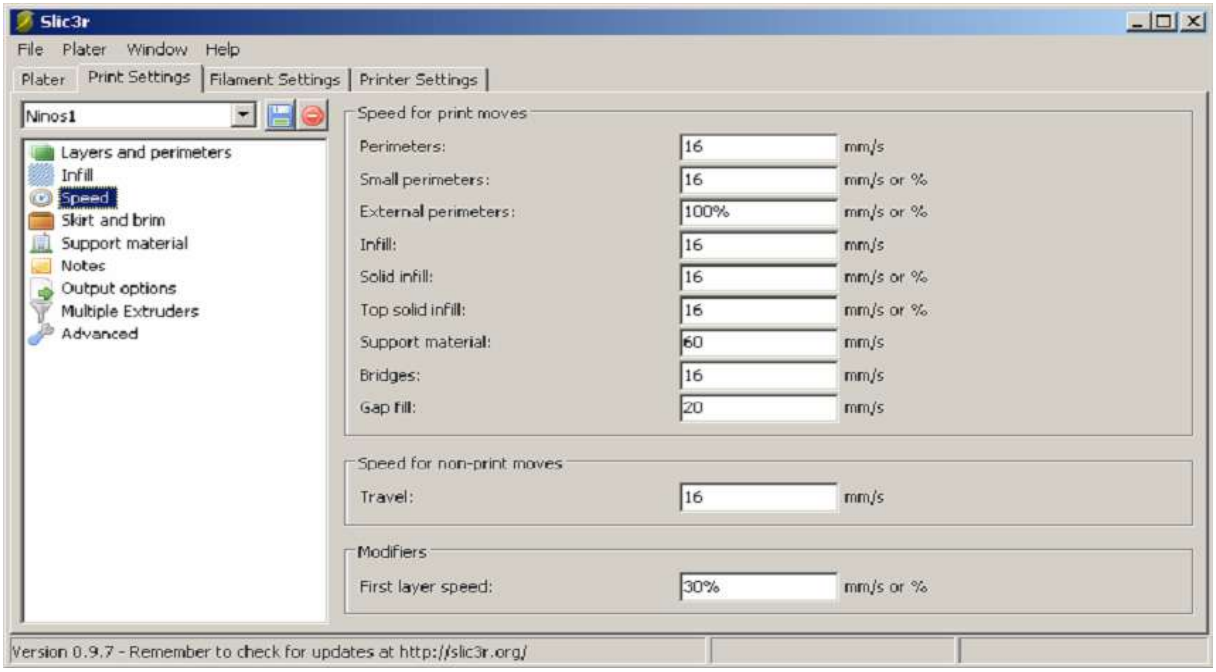


Figure 5.10. Régler la vitesse

5.4.3. Qualité d'impression :

Pour avoir des pièces de bonne qualité, il faut réglée la machine en ajustant les paramètres cités ci-dessus. Nous pourronb augmenter le nombre de couches « Layer Height », configurable dans l'onglet « Print Settings » / Layers and perimeters

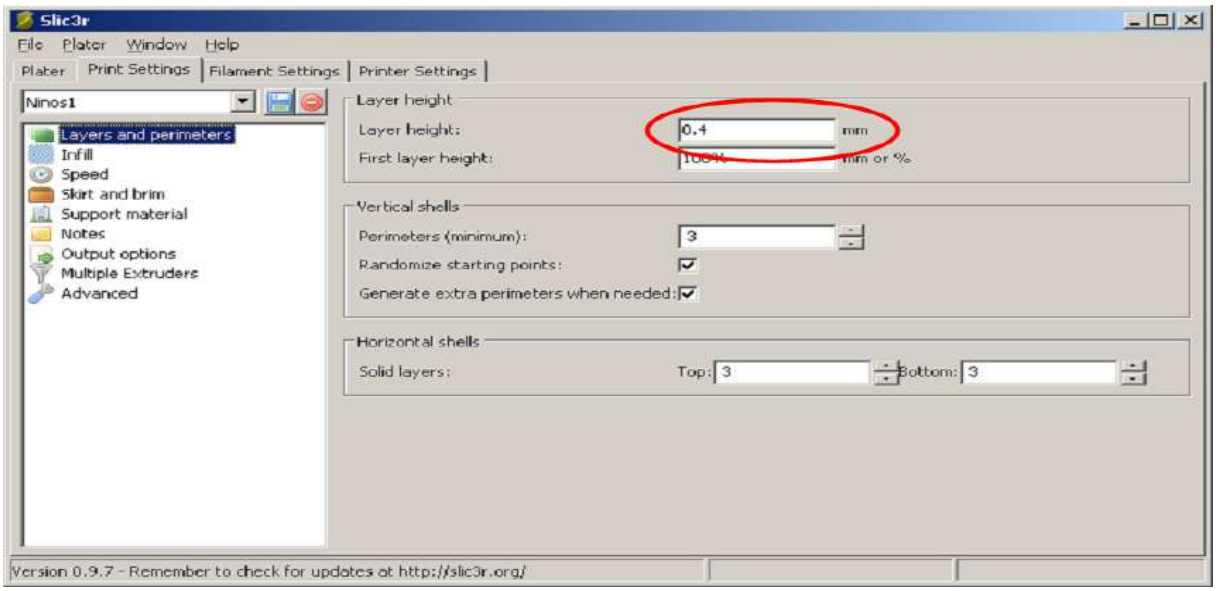


Figure 5.11. Qualité d'impression

5.4.4.Taux de remplissage :

il est possible de changer le taux de remplissage, cela peut être intéressant pour certaines pièces, pour les rendre plus ou moins rigides. Ce paramètre est disponible dans « Print Settings » / Infill, Quoi qu'il en soit, plus vous augmenterez le nombre de couches et/ou le taux de remplissage, plus l'impression sera longue.

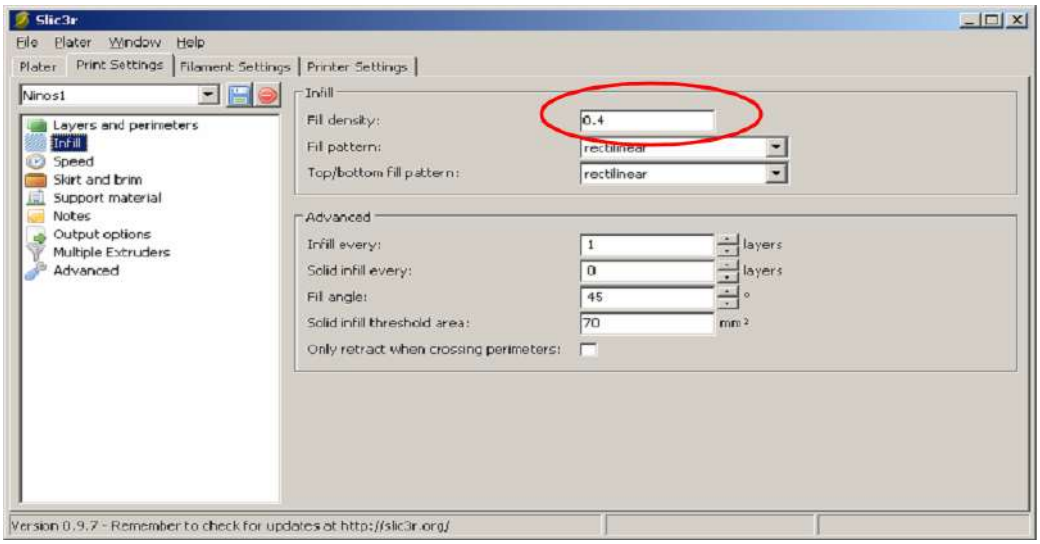


Figure 5.12. Taux de remplissage

5.5. Interface graphique de commande :

Pour généré le G code exporté par le logiciel, il faut utiliser une autre interface graphique pour lire ce code de manière correcte, en utilisent ici le logiciel MACH3 de commande numérique .

5.5.1. Définition : [18]

C’est une interface graphique pour généré G code de manier simple et efficace par le port parallèle, riche par les informations principale des machines outille industriel.

5.5.2. Utilisation :

Le MACH3 est utilisé pour plusieurs machines outils à commande numérique comme par exemple:

- Fraiseuse numérique
- Tour numérique
- Paresseuse numérique
- Imprimante 3d ……

5.5.3 Fonctionnement de Mach3: [18]

Mach3 est un assortiment de logiciels qui fonctionne sur un ordinateur et transforme celui–ci en un très puissant et économique système de contrôle pour remplacer le contrôleur.

Pour faire fonctionner Mach3, nous avon besoin de Windows XP (ou Windows 2000) idéalement avec un processeur de 1GHz et un écran avec une résolution de 1024 x 768. Un ordinateur de bureau donnera de meilleures performances que la plupart des portables et sera considérablement moins cher. Nous pouvons, évidemment utiliser cet ordinateur pour d'autres fonctions à l'atelier (tel que cocepteur – faire fonctionner un programme (CAD/CAM) quand il ne contrôle pas la machine.

Le Mach3 communique principalement via un (ou optionnellement deux) ports parallèle (Imprimante) et un port série (COM).

Les contrôleurs des moteurs d'axe de notre machine doivent accepter les signaux PAS (pulse) et DIRECTION (dir). Pratiquement tous les contrôleurs de moteur pas à pas fonctionnent comme cela, aussi bien avec le courant continu moderne que le courant alternatif.

5.5.4. Fonctionnement des signaux pas et direction (step/dir) [18]

Le Mach3 génère une impulsion (1 logique) sur la sortie pas (step) pour chaque pas que l'axe doit accomplir. La sortie dir (direction) aura été définie avant que l’impulsion de pas ne soit envoyée.

La forme logique ressemblera à celle de l'image 4.4. L'espace entre les impulsions sera plus petit à grande vitesse de pas comme la figure (4-)

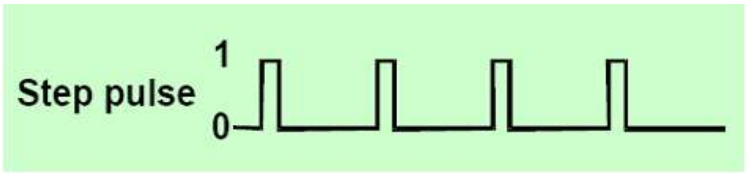


Figure 5.13. Forme logique d'impulsion

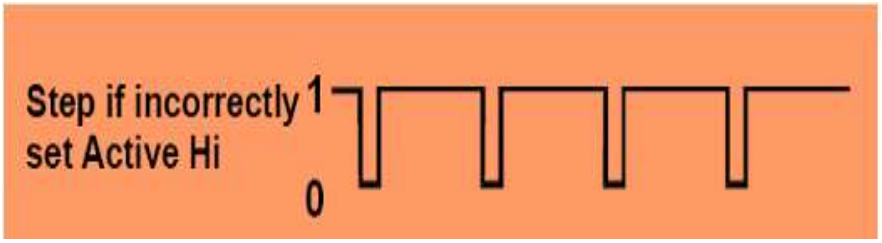


Figure 5.14. Forme logique d'impulsion mal configuration

5.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie pour créer des objets par l'imprimante 3D. Dans cette méthodologie, nous utilisons trois types de logiciels SolidWorks, slic3r, mach3. La maitrise de ces derniers est indispensable pour avoir des objets de qualité.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'impression tridimensionnelle (3D) est une nouvelle technologie appelée également fabrication additive. C'est un excellent outil pour développer des objets réels. Parmi les précieux avantages offerts par cette technique, elle fabrique des objets de toutes sortes sur mesure et à moindre coût et répare les objets cassés généralement introuvables. Le développement de l'impression 3D a créé une nouvelle génération de « faites le vous-même ».

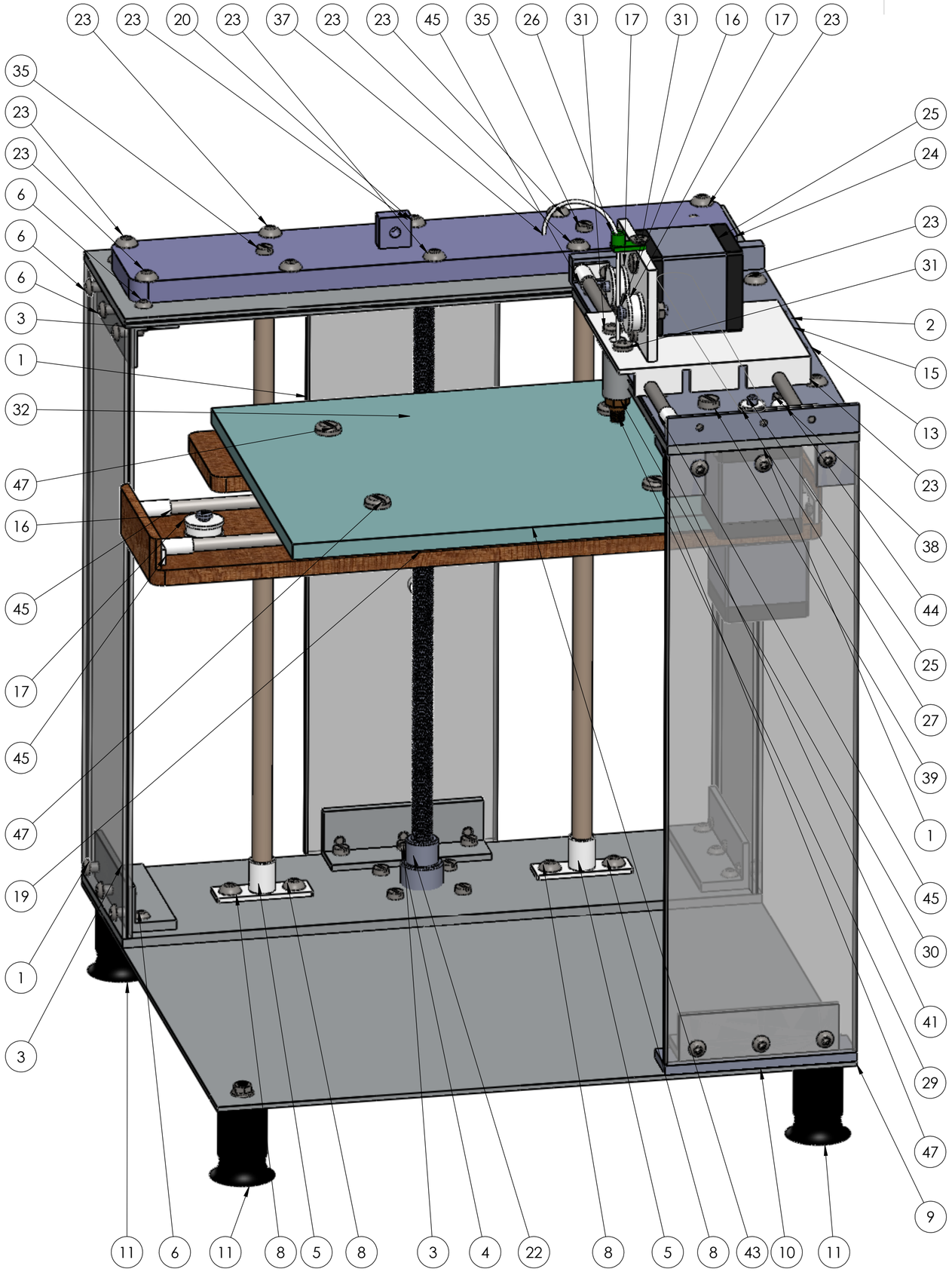
C'est pourquoi, nous avons procédé à la fabrication de notre imprimante 3D. Durant ce projet de fin d'étude, les tâches effectuées sont comme suit :

- Etude et conception du mécanisme de l'imprimante par l'utilisation du logiciel SOLIDWORKS. Ce mécanisme comporte cinq parties principales. Trois parties assurent la transmission de mouvement suivant les trois directions de références, à savoir, les axes X, Y et Z, la quatrième partie représente le châssis et la cinquième partie assure l'extrusion et la fusion de la matière plastique.
- Etude thermique du système de fusion par l'utilisation du logiciel ANSYS.
- Conception de la partie commande des moteurs pas à pas par l'utilisation des logiciels ISIS et EAGLE.
- Réalisation et montage des éléments constitutifs de l'imprimante,
- Présentation d'une méthodologie pour l'exploitation de l'imprimante.

On peut conclure que ce projet a été une occasion pour concevoir et fabriquer notre propre imprimante 3d. Aussi, ce projet nous a permis de découvrir plusieurs domaines (mécanique, électronique et électrique) et de se familiariser avec plusieurs logiciels.

Nous espérons que l'imprimante développée sera améliorée par d'autres projets.

Annexe



No. ARTICLE	désignation DE PIECE	quantité
1	profile aliminiume 120* 6	4
2	tole haut L	1
3	piece montage	7
4	plaque bas	1
5	presse étoupe	2
6	ISO 7380 - M6 x 16 --- 16N	14
7	ISO 7380 - M6 x 12 --- 12N	25
8	ISO 7380 - M8 x 12 --- 12N	4
9	la base	1
10	cale	1
11	pied	4
12	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M6 - N	4
13	support d'axe y''	1
14	tige d'axe Y guidage	2
15	SUPPORT DE LA TETE	1
16	goupiell	3
17	poulie d'axe y	4
18	tige lisse l'axes'z'	2
19	vis sans fin	1
20	fixation des tiges	1
21	ISO 15 ABB - 29 - 8,SI,NC,8_68	1
22	demi accouplement 1	1
23	ISO 7380 - M8 x 16 --- 16C	20
24	coté moteur	7
25	moteur pas à pas	4
26	guide de fil	1
27	la roue de moteur	2
28	ISO 7046-1 - M6 x 8 - Z --- 8N	1
29	la tete	1
30	support de la tete	1
31	ISO 7045 - M6 x 12 - Z --- 12C	6
32	support de plan d'impressions	1
33	tige guidage x	2
34	demi accouplement2	1
35	ISO 1207 - M6 x 20 --- 20C	2
36	Hexagon Nut ISO - 4034 - M16 - C	1
37	abc2	1
38	ISO 1207 - M6 x 16 --- 16C	2
39	ISO 1207 - M8 x 10 --- 10N	3
40	ISO 1207 - M6 x 8 --- 8N	13
41	montage 2	2
42	ISO 1207 - M6 x 10 --- 10N	1
43	sous plan d'imprission	1
44	persse-étoupe y	3
45	persse-étoupe2	5
46	ISO 2009 - M4 x 6 --- 6C	9
47	ISO 1580 - M8 x 10 --- 10N	4
48	ISO 2009 - M4 x 8 --- 8C	1

UNIVERSITE DR YAHIA FARES DE MEDEA

déssiné par:
-DIFALLAH ABD ELNOUR
-RAHMANI AYOUB

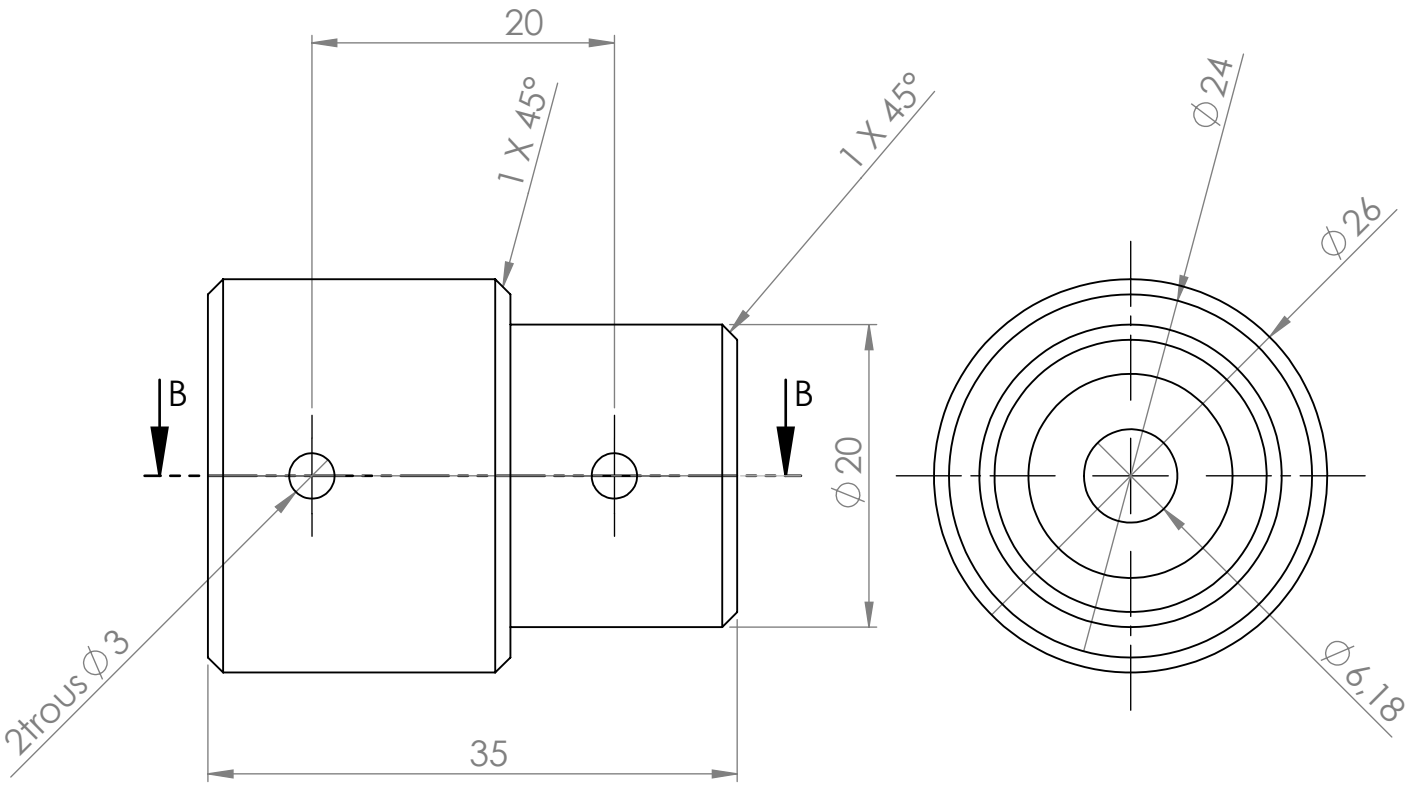
diségnation:
IMPREMANTE 3D 'FDM'

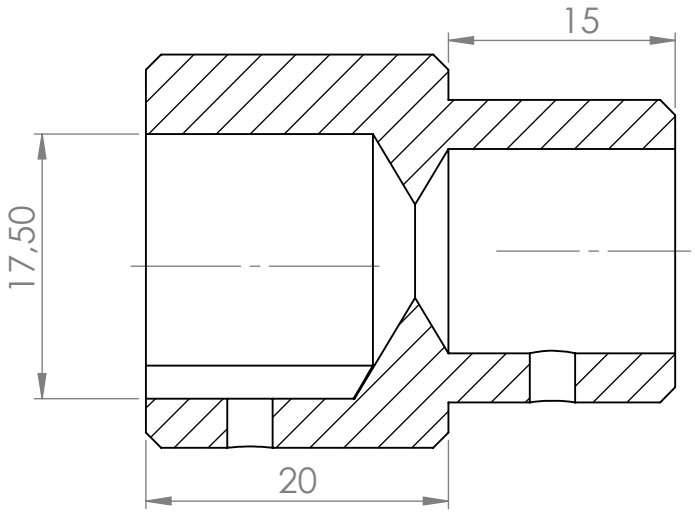
la date: 19/05/2015

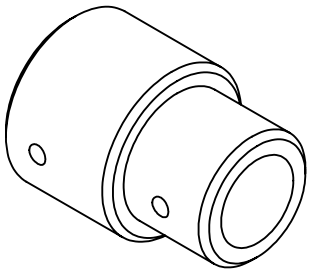
echelle: 1:2

DN: 09/09-2015

Annexe (A) Dessin industriel

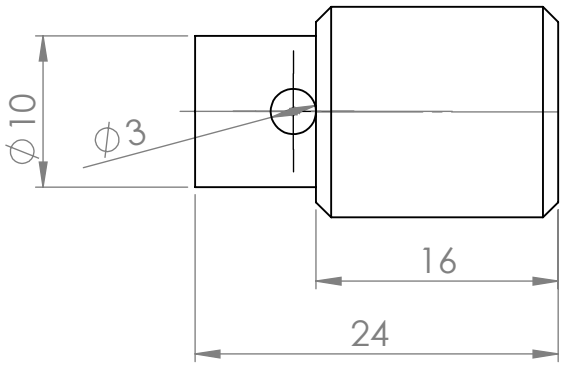


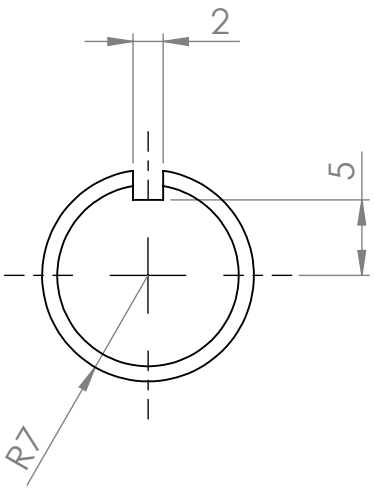


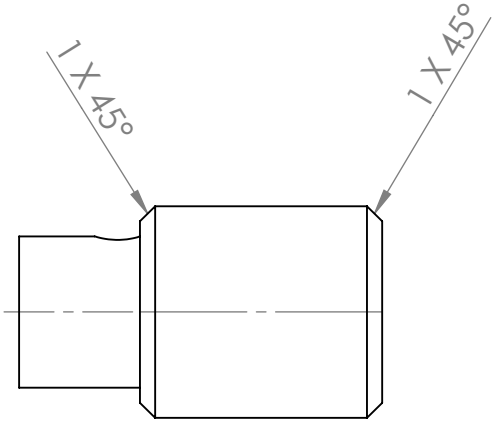


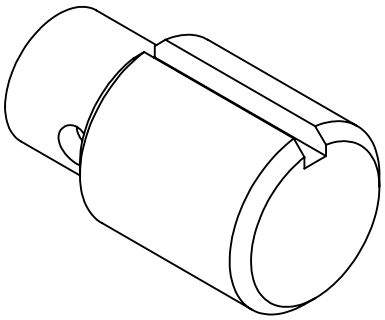
COUPE B-B
ECHELLE 2 : 1

Pour:				Dessin N°:		Poids brut Masse kg	Poids final
				Ecarts pour mesures sans tolerances		N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière	
				Dessiné	D . abd elnour	Designation	
				verifié constr.		demi accouplement 01	
				verifié technol.			
				verifié standard.			
				approuvé		Dessin N°	
Ind.	N°d'instruct.	Dates	Signat.	université yahia fares de medea		Echange pour:	
Modification							

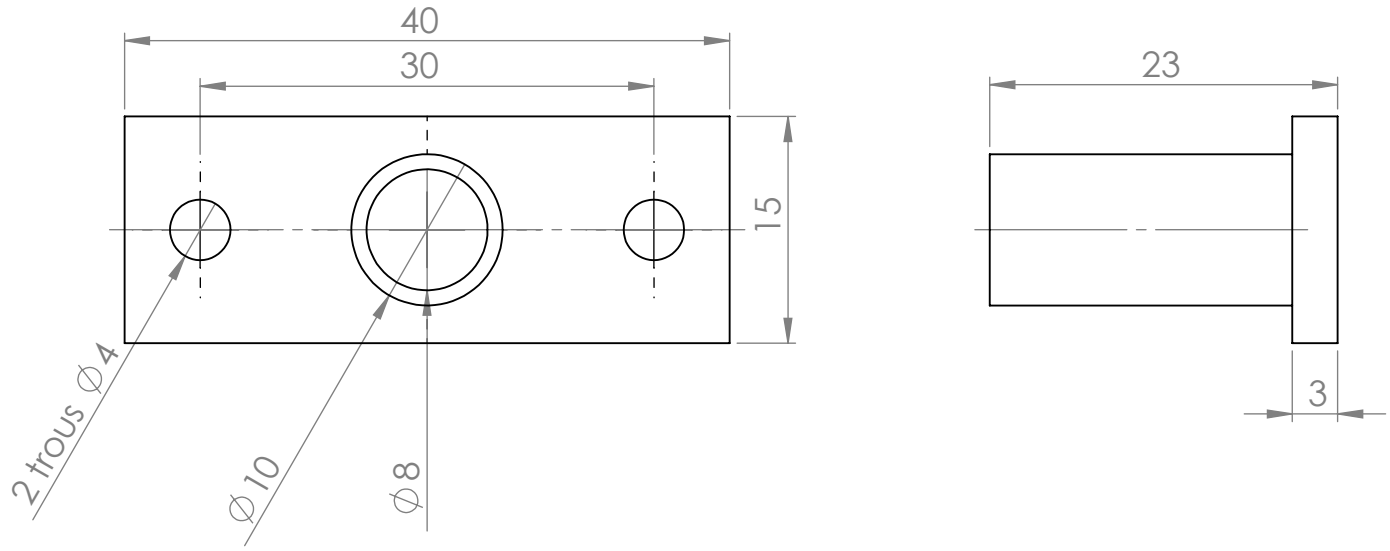


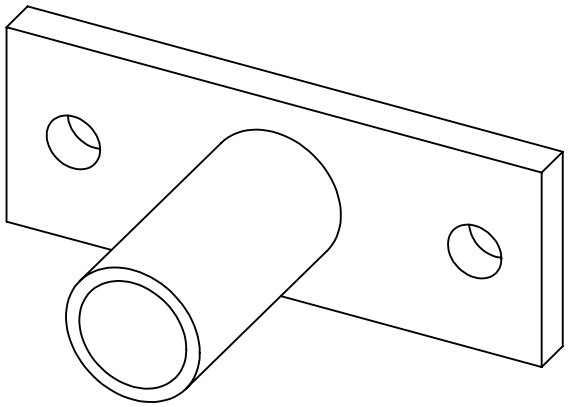






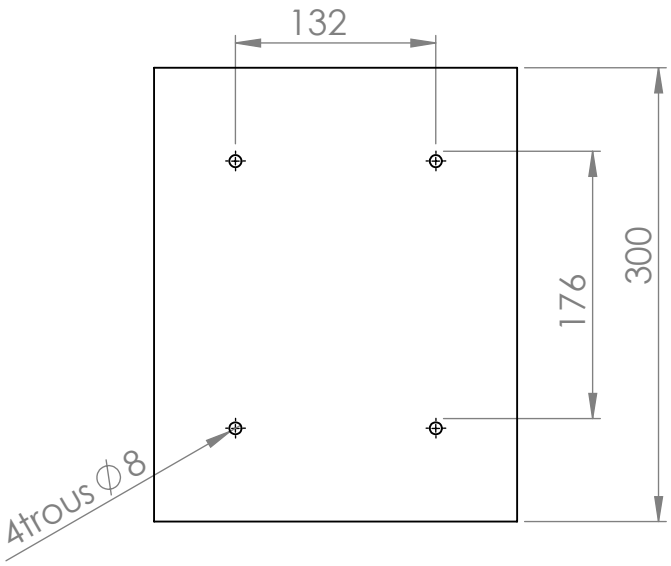
Pour:				Dessin N°:		Poids brut Masse kg	Poids final
				Ecarts pour mesures sans tolerances		N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière	
				Dessiné	d. abd elnour	Designation	
				verifié constr.		demi accouplement 02	2-1
				verifié technol.			
				verifié standard.			
				approuvé		Dessin N°	
Ind.	N°d'instruct.	Dates	Signat.	université dr yahia fares de medea		Echange pour:	
Modification							

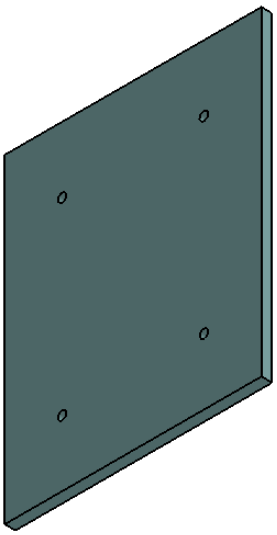


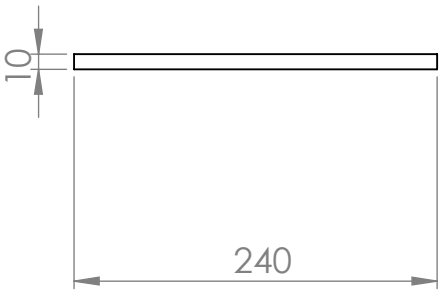


Pour:	Dessin N°:	Poids brut Masse kg	Poids final

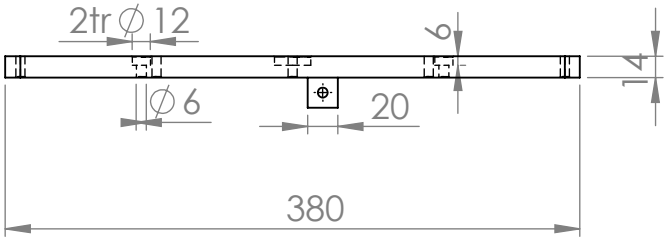
				Ecarts pour mesures sans tolerances			N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière
				Dessiné	r. ayoub		Designation
				verifié constr.			**presse-étoupe**
				verifié technol.			
				verifié standard.			
				approuvé			Dessin N°
				université dr yahia fares de medea			
Ind.	N°d'instruct.	Dates	Signat.				Echange pour:
Modification							

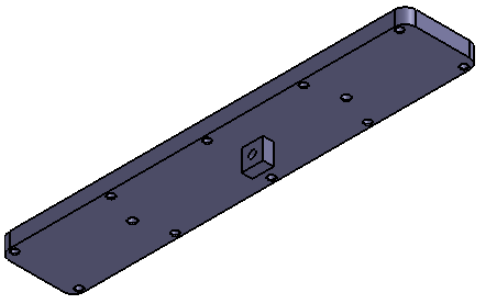


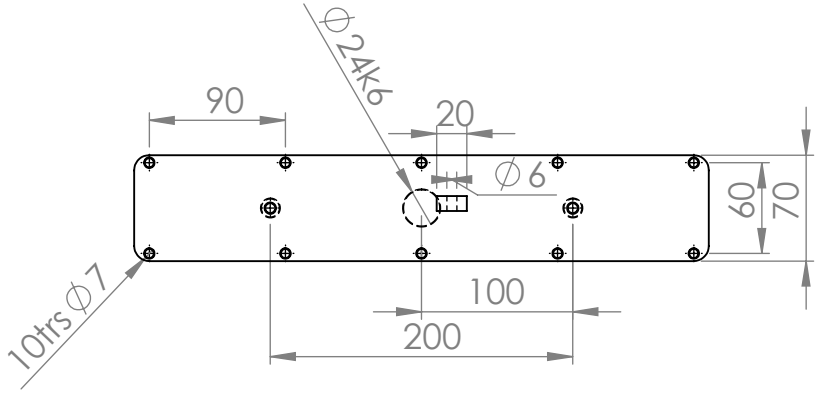




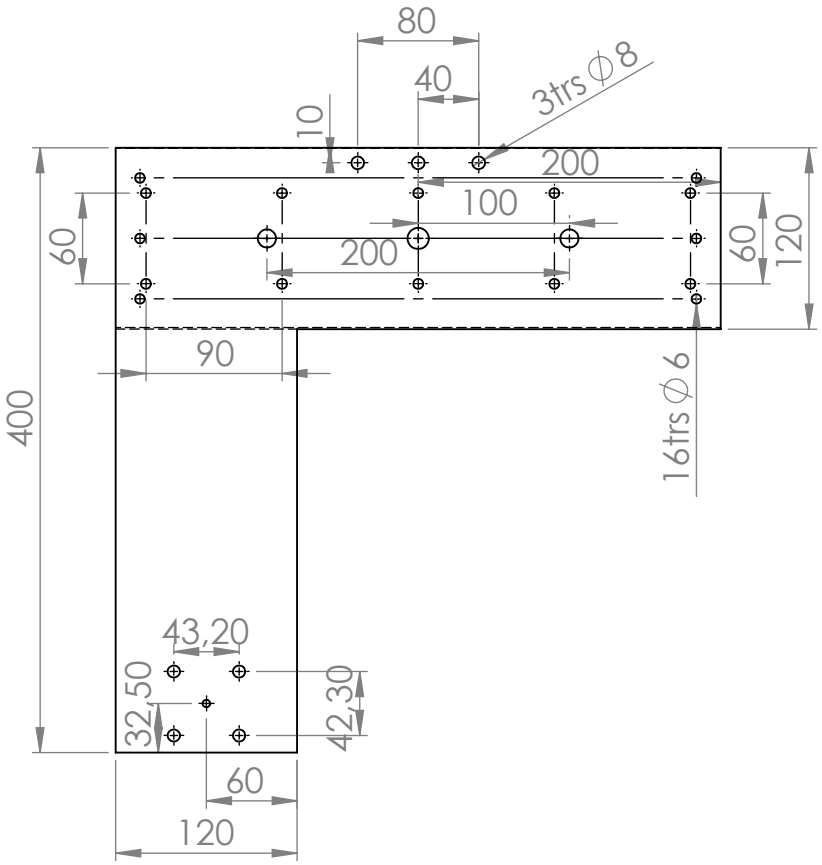
date: 19/03/2015	concepteur: D.abd elnour
titre: plan d'imprission	
ech: 1: 5	fieulle: 1: 1

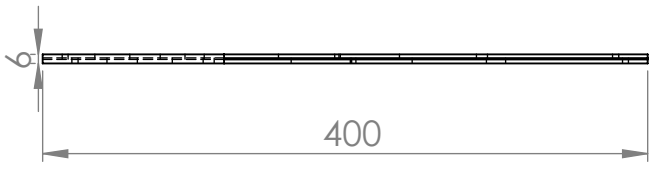




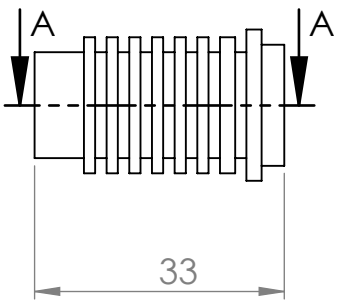


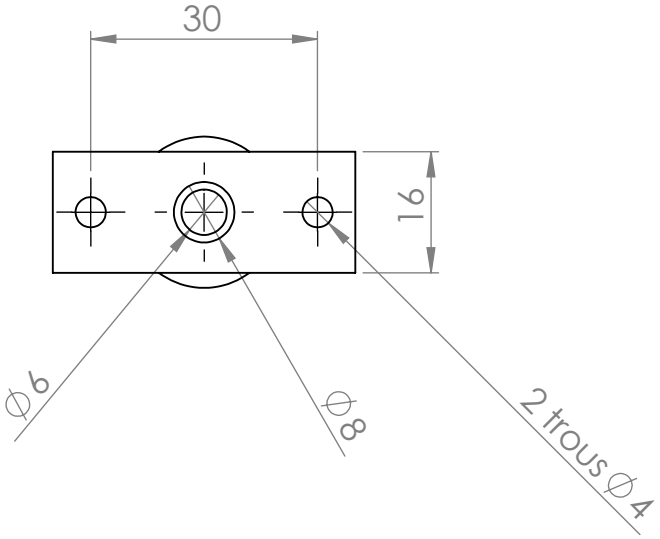
date: 20/03/2015	concepteur: D.abd elnour
titre: fixation des tiges	
ech: 1: 5	fieulle: 1: 1

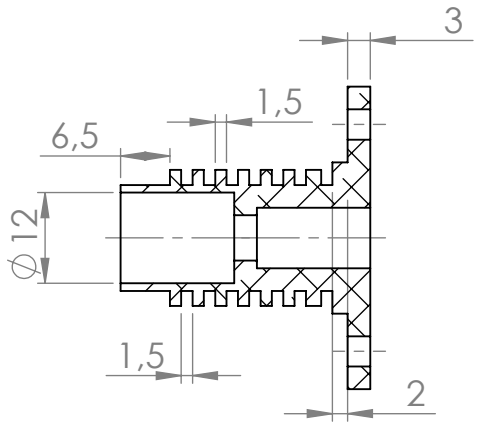




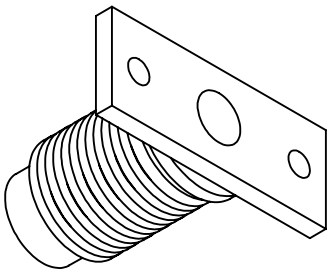
date: 20/03/2015	concepteur: R.ayoub
titre: plaque haut de chassis	
ech: 1: 5	fieulle: 1: 1





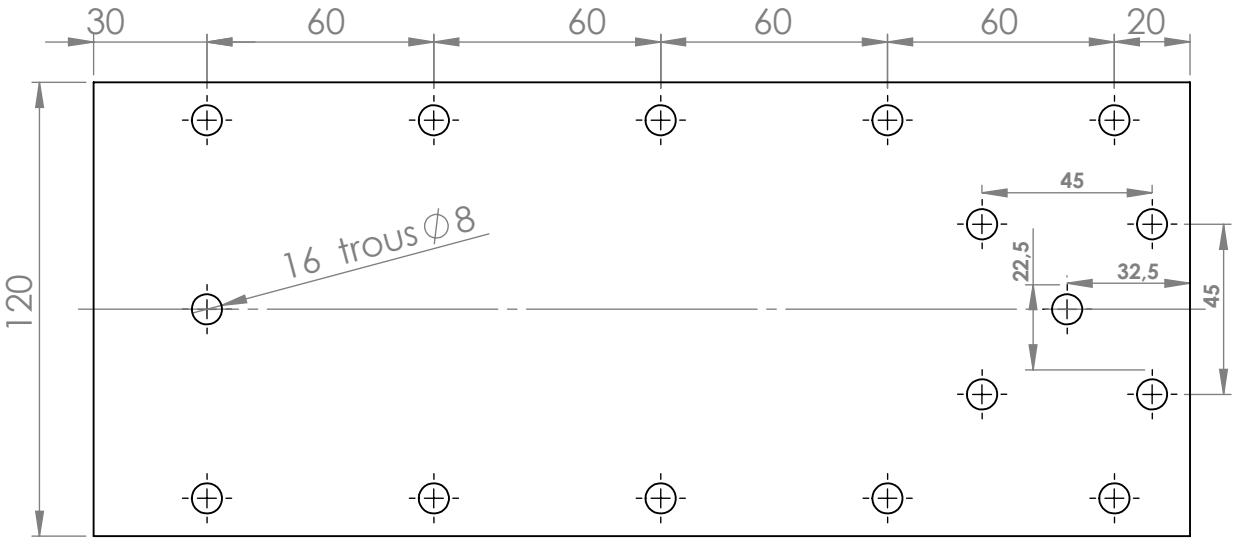


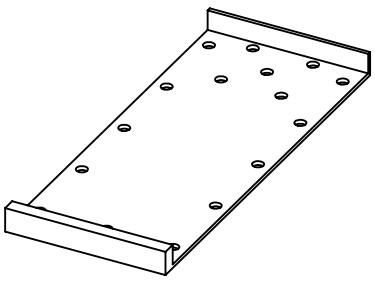
COUPE A-A



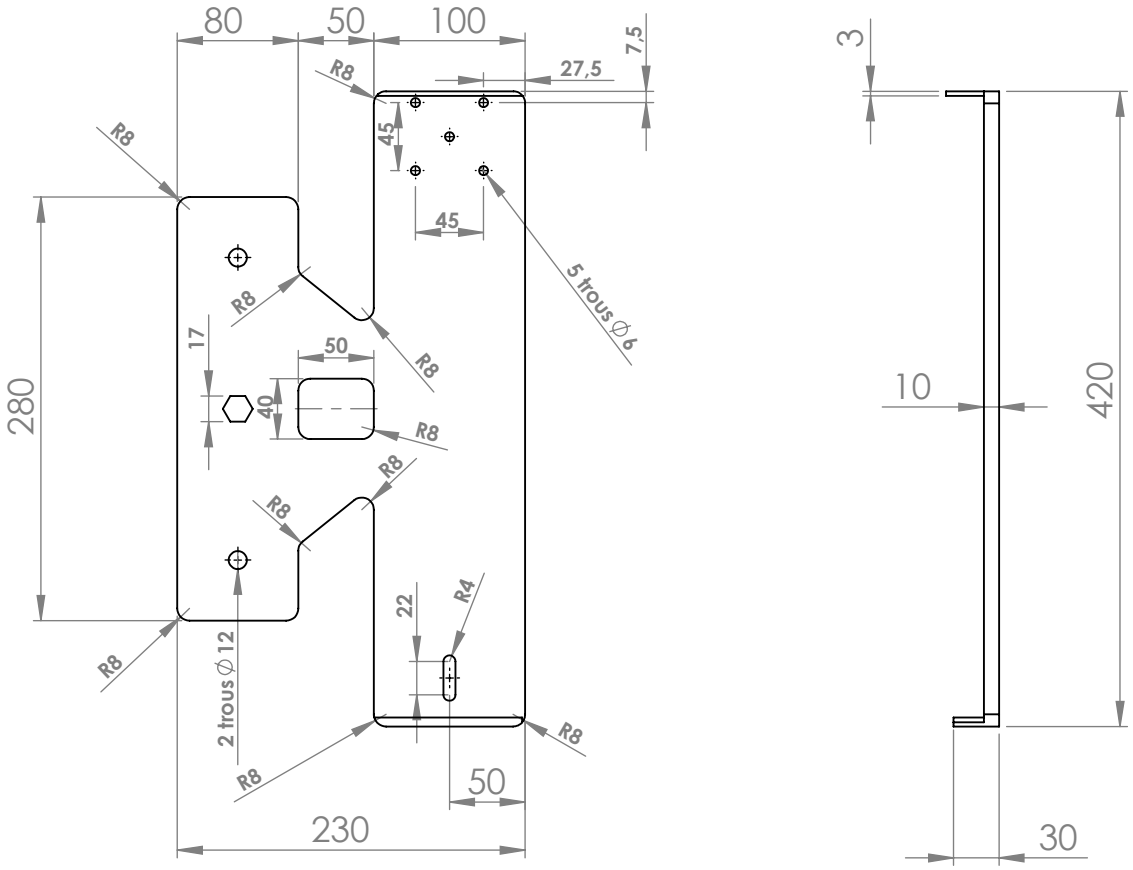
Pour:				Dessin N°:		Poids brut Masse kg	Poids final
				Ecarts pour mesures sans tolerances		N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière	
				Dessiné	D.abd elnour	Designation	
				verifié constr.		**support busa**	**1-1**
				verifié technol.			
				verifié standard.		Dessin N°	
				approuvé			
Ind.	N°d'instruct.	Dates	Signat.	**université dr yahia fares de medea**		Echange pour:	
Modification							

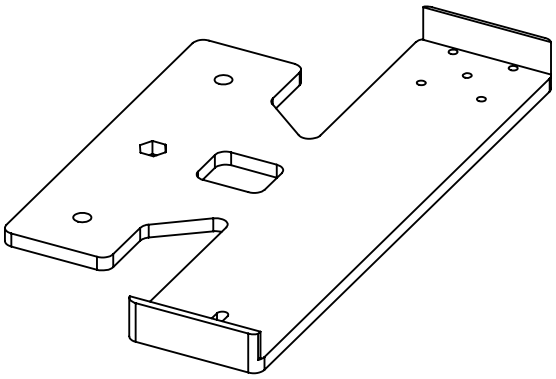




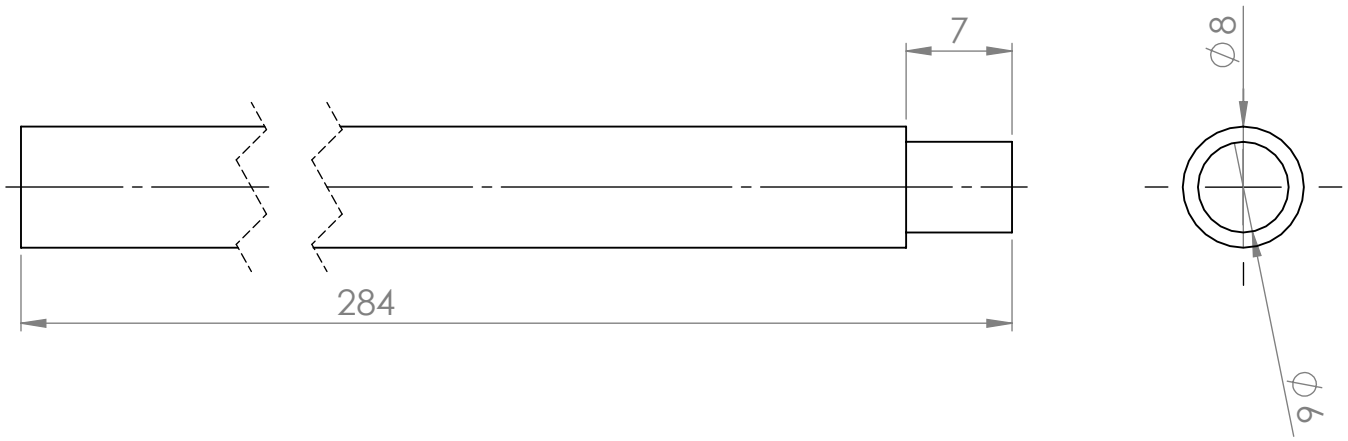


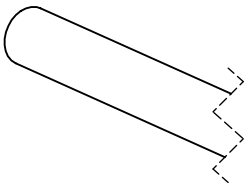
Pour:	Dessin N°:	Poids brut Masse kg	Poids final
Ecarts pour mesures sans tolerances		N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière	
Dessiné	r. ayoub	Designation	
verifié constr.		**support d'axe y**	**1-2**
verifié technol.			
verifié standard.		Dessin N°	
approuvé			
Ind. / N°d'instruct. / Dates / Signat.	**université dr yahia de medea**	Echange pour:	
Modification			

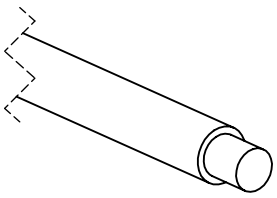




Pour:				Dessin N°:		Poids brut Masse kg	Poids final
				Ecarts pour mesures sans tolerances		N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière	
				Dessiné	D .abd elnour	Designation **support d'axe z**	**1-5**
				verifié constr.			
				verifié technol.			
				verifié standard.			
				approuvé		Dessin N°	
Ind.	N°d'instruct.	Dates	Signat.	**université dr yahia fares de medea**		Echange pour:	
Modification							







Pour:				Dessin N°:		Poids brut Masse kg	Poids final
				Ecarts pour mesures sans tolerances		N°de pièce brute ou produit semi-fini Matière	
				Dessiné	r.ayoub	Designation	2-1
				verifié constr.		tige de guidage	
				verifié technol.			
				verifié standard.		Dessin N°	
				approuvé			
Ind.	N°d'instruct.	Dates	Signat.	université dr yahia fares de medea		Echange pour:	
Modification							

Annexe (B) Datasheet circuit intégré

TEXAS INSTRUMENTS
Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS032C − Revised October 2003

CD4027B Types

CMOS Dual J-K Master-Slave Flip-Flop

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD4027B is a single monolithic chip integrated circuit containing two identical complementary-symmetry J-K master-slave flip-flops. Each flip-flop has provisions for individual J, K, Set, Reset, and Clock input signals. Buffered Q and $\overline{Q}$ signals are provided as outputs. This input-output arrangement provides for compatible operation with the RCA-CD4013B dual D-type flip-flop.

The CD4027B is useful in performing control, register, and toggle functions. Logic levels present at the J and K inputs along with internal self-steering control the state of each flip-flop; changes in the flip-flop state are synchronous with the positive-going transition of the clock pulse. Set and reset functions are independent of the clock and are initiated when a high level signal is present at either the Set or Reset input.

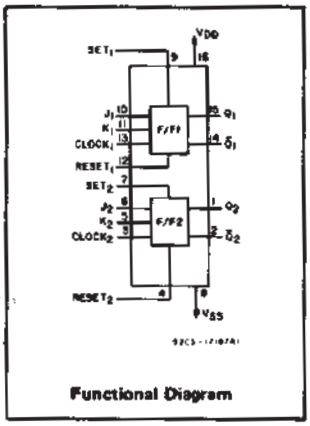
The CD4027B types are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 16-lead small-outline packages (M, M96, MT, and NSR suffixes), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

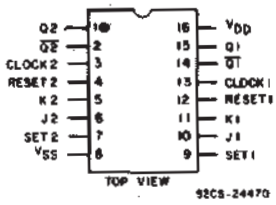
- Set-Reset capability
- Static flip-flop operation – retains state indefinitely with clock level either "high" or "low"
- Medium speed operation – 16 MHz (typ.) clock toggle rate at 10 V
- Standardized symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μA at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (over full package-temperature range):
  1 V at V_{DD} = 5 V
  2 V at V_{DD} = 10 V
  2.5 V at V_{DD} = 15 V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

- Registers, counters, control circuits



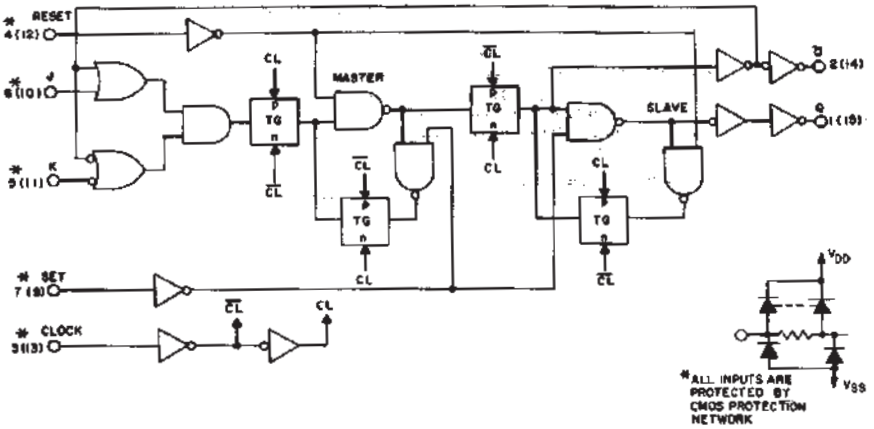
Functional Diagram



TERMINAL ASSIGNMENT

MAXIMUM RATINGS, *Absolute-Maximum Values:*

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})
(Voltages referenced to V_{SS} Terminal) ..... −0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS ..... −0.5V to V_{DD} +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT ..... ±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D):
For T_A = −55°C to +100°C 500mW
For T_A = +100°C to +125°C ..... Derate Linearity at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR
FOR T_A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types) 100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A) ..... −55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg}) ..... −65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79mm) from case for 10s max ..... +265°C



PRESENT STATE					CL*	NEXT STATE	
INPUTS				OUTPUT		OUTPUTS	
J	K	S	R	Q		Q	Q̄
1	X	0	0	0	↑	1	0
X	0	0	0	1	↑	1	0
0	X	0	0	0	↑	0	1
X	1	0	0	1	↑	0	1
X	X	0	0	X	↓	← NO CHANGE	
X	X	1	0	X	X	1	0
X	X	0	1	X	X	0	1
X	X	1	1	X	X	1	1

LOGIC 1 = HIGH LEVEL
LOGIC 0 = LOW LEVEL
↑ = LEVEL CHANGE
X = DON'T CARE

92CM-27559R

Fig. 1 – Logic diagram and truth table for CD4027B (one of two identical J-K flip flops).

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS at T_A = 25°C, Except as Noted.
For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC		V_{DD} (V)	LIMITS All Packages Min.	LIMITS All Packages Max.	UNITS
Supply-Voltage Range (For T_A = Full Package Temperature Range)		–	3	18	V
Data Setup Time	t_S	5	200	–	ns
		10	75	–	
		15	50	–	
Clock Pulse Width	t_W	5	140	–	ns
		10	60	–	
		15	40	–	
Clock Input Frequency (Toggle Mode)	f_{CL}	5		3.5	MHz
		10	dc	8	
		15		12	
Clock Rise or Fall Time	t_rCL*, t_fCL	5	–	45	μs
		10	–	5	
		15	–	2	
Set or Reset Pulse Width	t_W	5	180	–	ns
		10	80	–	
		15	50	–	

* If more than one unit is cascaded in a parallel clocked operation, t_rCL should be made less than or equal to the sum of the fixed propagation delay time at 15 pF and the transition time of the output driving stage for the estimated capacitive load.

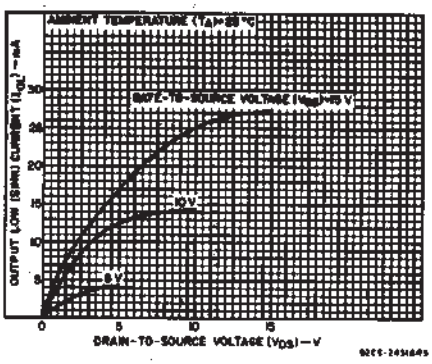


Fig.2 – Typical output low (sink) current characteristics.

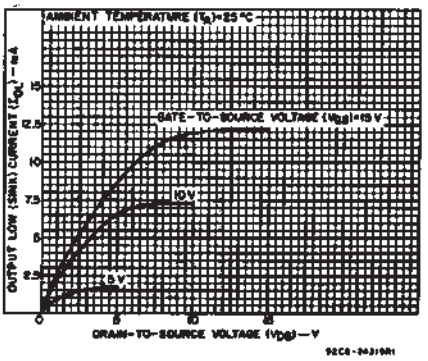


Fig.3 – Minimum output low (sink) current characteristics.

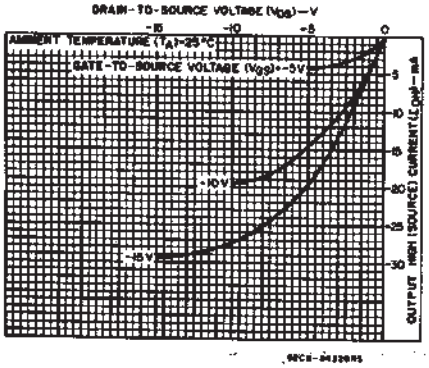


Fig.4 – Typical output high (source) current characteristics.

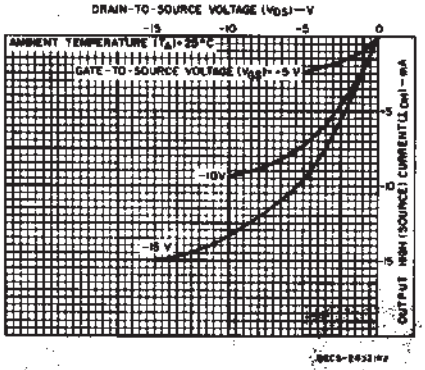


Fig.5 – Minimum output high (source) current characteristics.

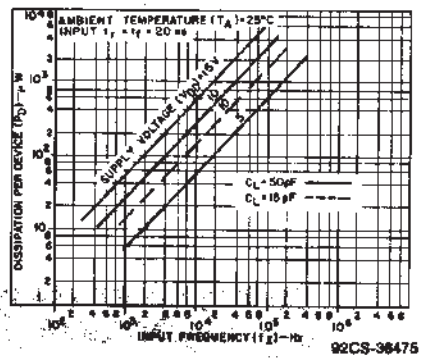


Fig.6 – Typical power dissipation vs. frequency.

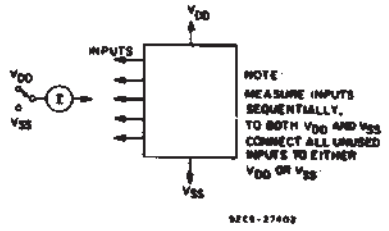


Fig.7 – Input current test circuit.

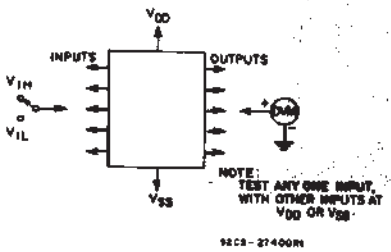


Fig.8 – Input-voltage test circuit.

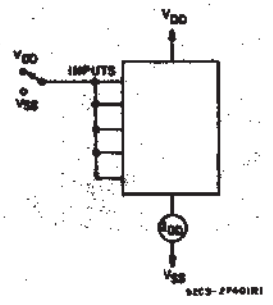
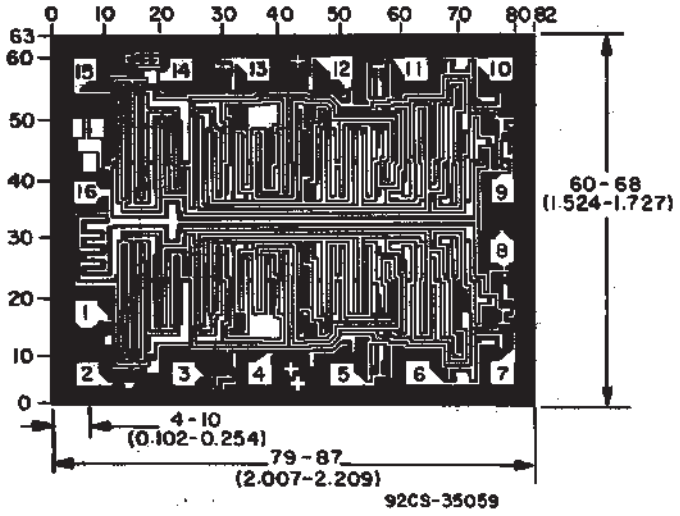


Fig.9 – Quiescent device current test circuit.

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V_O (V)	V_{IN} (V)	V_{DD} (V)	−55	−40	+85	+125	+25 Min.	+25 Typ.	+25 Max.	
Quiescent Device Current I_{DD} Max.	–	0,5	5	1	1	30	30	–	0.02	1	μA
	–	0,10	10	2	2	60	60	–	0.02	2	
	–	0,15	15	4	4	120	120	–	0.02	4	
	–	0,20	20	20	20	600	600	–	0.04	20	
Output Low (Sink) Current, I_{OL} Min.	0.4	0,5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	–	mA
	0.5	0,10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	–	
	1.5	0,15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	–	
Output High (Source) Current, I_{OH} Min.	4.6	0,5	5	−0.64	−0.61	−0.42	−0.36	−0.51	−1	–	
	2.5	0,5	5	−2	−1.8	−1.3	−1.15	−1.6	−3.2	–	
	9.5	0,10	10	−1.6	−1.5	−1.1	−0.9	−1.3	−2.6	–	
	13.5	0,15	15	−4.2	−4	−2.8	−2.4	−3.4	−6.8	–	
Output Voltage: Low-Level, V_{OL} Max.	–	0,5	5	0.05				–	0	0.05	V
	–	0,10	10	0.05				–	0	0.05	
	–	0,15	15	0.05				–	0	0.05	
Output Voltage: High-Level, V_{OH} Min.	–	0,5	5	4.95				4.95	5	–	
	–	0,10	10	9.95				9.95	10	–	
	–	0,15	15	14.95				14.95	15	–	
Input Low Voltage, V_{IL} Max.	0.5,4.5	–	5	1.5				–	–	1.5	V
	1,9	–	10	3				–	–	3	
	1.5,13.5	–	15	4				–	–	4	
Input High Voltage, V_{IH} Min.	0.5,4.5	–	5	3.5				3.5	–	–	
	1,9	–	10	7				7	–	–	
	1.5,13.5	–	15	11				11	–	–	
Input Current, I_{IN} Max.	–	0,18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	–	$\pm 10^{-5}$	±0.1	μA



Dimensions in millimeters are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3}).

Dimensions and Pad Layout for CD4027BH

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at T_A = 25°C; Input t_r, t_f = 20 ns, C_L = 50 pF, R_L = 200 kΩ

CHARACTERISTIC	V_{DD} (V)	LIMITS All Packages Min.	Typ.	Max.	UNITS
Propagation Delay Time: Clock to Q or $\overline{Q}$ Outputs t_{PHL}, t_{PLH}	5	–	150	300	ns
	10	–	65	130	
	15	–	45	90	
Set to Q or Reset to $\overline{Q}$ t_{PLH}	5	–	150	300	ns
	10	–	65	130	
	15	–	45	90	
Set to $\overline{Q}$ or Reset to Q t_{PHL}	5	–	200	400	ns
	10	–	85	170	
	15	–	60	120	
Transition Time t_{THL}, t_{TLH}	5	–	100	200	ns
	10	–	50	100	
	15	–	40	80	
Maximum Clock Input Frequency# (Toggle Mode) f_{CL}	5	3.5	7	–	MHz
	10	8	16	–	
	15	12	24	–	
Minimum Clock Pulse Width t_W	5	–	70	140	ns
	10	–	30	60	
	15	–	20	40	
Minimum Set or Reset Pulse Width t_W	5	–	90	180	ns
	10	–	40	80	
	15	–	25	50	
Minimum Data Setup Time t_S	5	–	100	200	ns
	10	–	35	75	
	15	–	25	50	
Clock Input Rise or Fall Time t_{rCL}, t_{fCL}	5	–	–	45	μs
	10	–	–	5	
	15	–	–	2	
Input Capacitance C_I		–	5	7.5	pF

Input t_r, t_f = 5 ns.

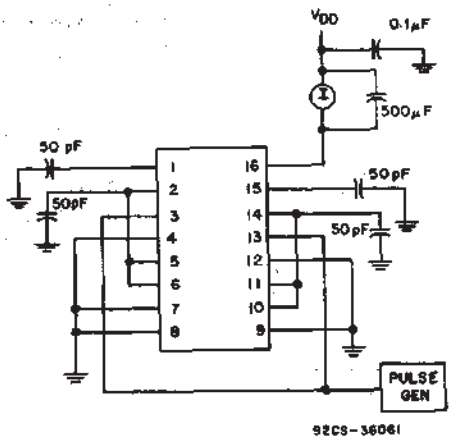


Fig. 13—Dynamic power dissipation test circuit.

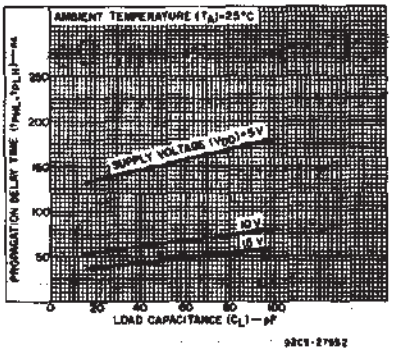


Fig. 10 – Typical propagation delay time vs. load capacitance (CLOCK or SET to Q, CLOCK or RESET to $\overline{Q}$.

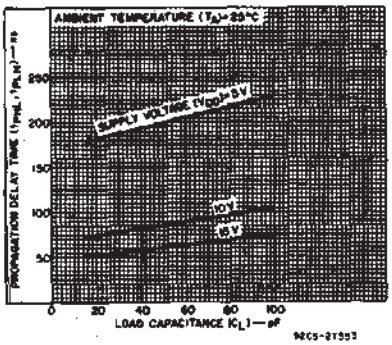


Fig. 11 – Typical propagation delay time vs. load capacitance (SET to $\overline{Q}$ or RESET to Q).

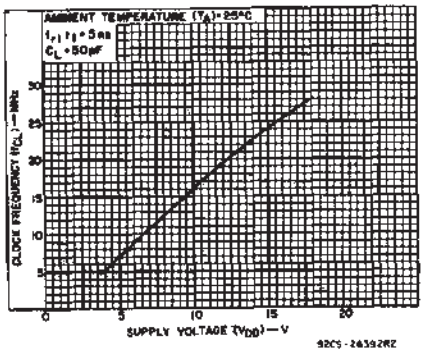


Fig. 12 – Typical maximum clock frequency vs. supply voltage (toggle mode).

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status [1]	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan [2]	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp [3]
CD4027BE	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
CD4027BEE4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
CD4027BF	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	Call TI	Level-NC-NC-NC
CD4027BF3A	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	Call TI	Level-NC-NC-NC
CD4027BM	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BM96	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BM96E4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BME4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BMT	ACTIVE	SOIC	D	16	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BMTE4	ACTIVE	SOIC	D	16	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BNSR	ACTIVE	SO	NS	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BNSRE4	ACTIVE	SO	NS	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BPW	ACTIVE	TSSOP	PW	16	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BPWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	16	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4027BPWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
JM38510/05152BEA	ACTIVE	CDIP	J	16	1	TBD	Call TI	Level-NC-NC-NC

[1] The marketing status values are defined as follows:
ACTIVE: Product device recommended for new designs.
LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.
NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.
PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.
OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

[2] Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS) or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check http://www.ti.com/productcontent for the latest availability information and additional product content details.
TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.
Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.
Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

[3] MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

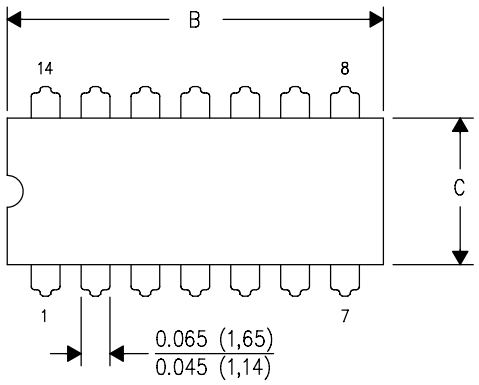
Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

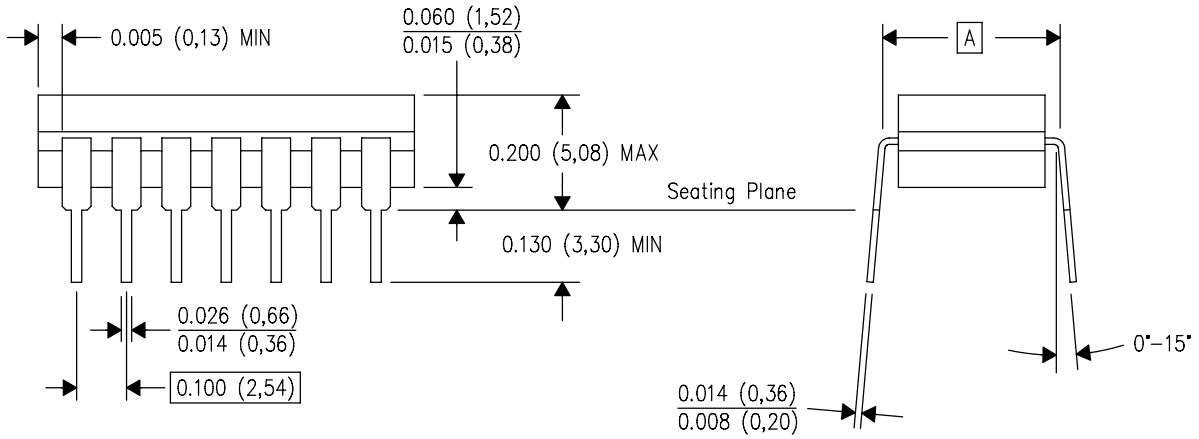
J (R–GDIP–T**)

14 LEADS SHOWN

CERAMIC DUAL IN–LINE PACKAGE



DIM \ PINS **	14	16	18	20
A	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC
B MAX	0.785 (19,94)	.840 (21,34)	0.960 (24,38)	1.060 (26,92)
B MIN	—	—	—	—
C MAX	0.300 (7,62)	0.300 (7,62)	0.310 (7,87)	0.300 (7,62)
C MIN	0.245 (6,22)	0.245 (6,22)	0.220 (5,59)	0.245 (6,22)



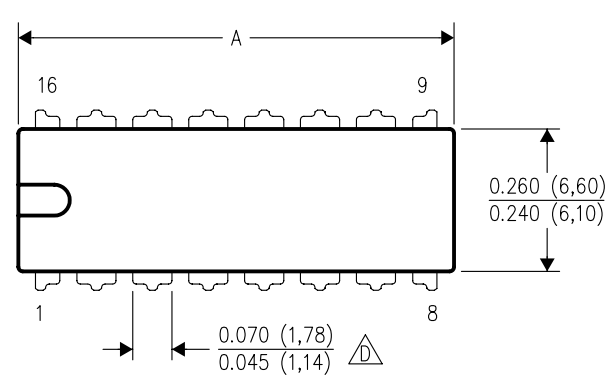
4040083/F 03/03

NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
D. Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1–T14, GDIP1–T16, GDIP1–T18 and GDIP1–T20.

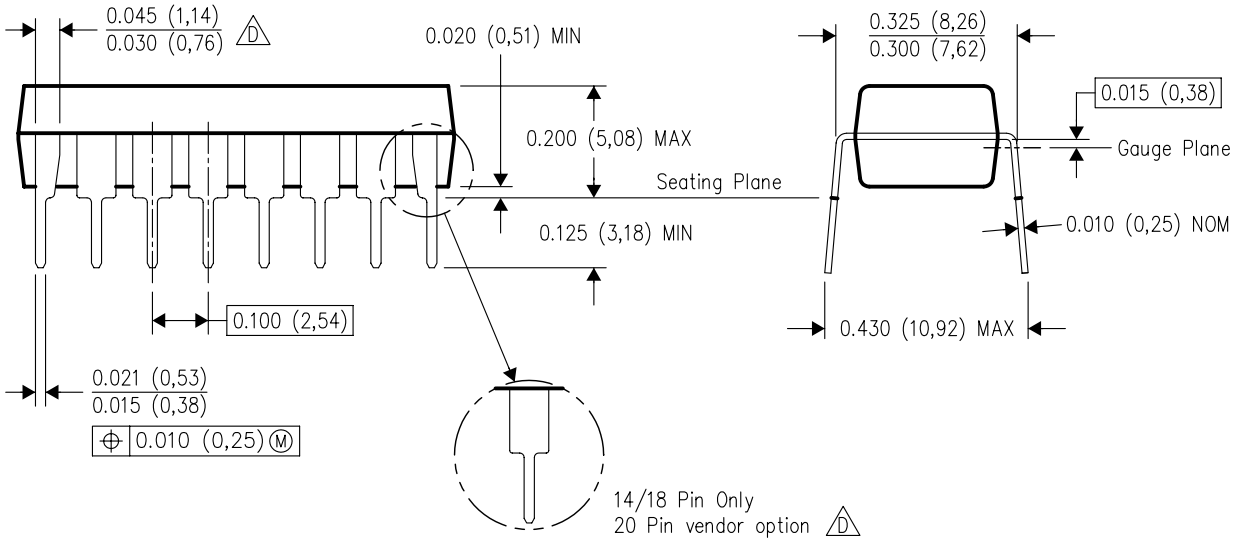
N (R–PDIP–T**)

PLASTIC DUAL–IN–LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN



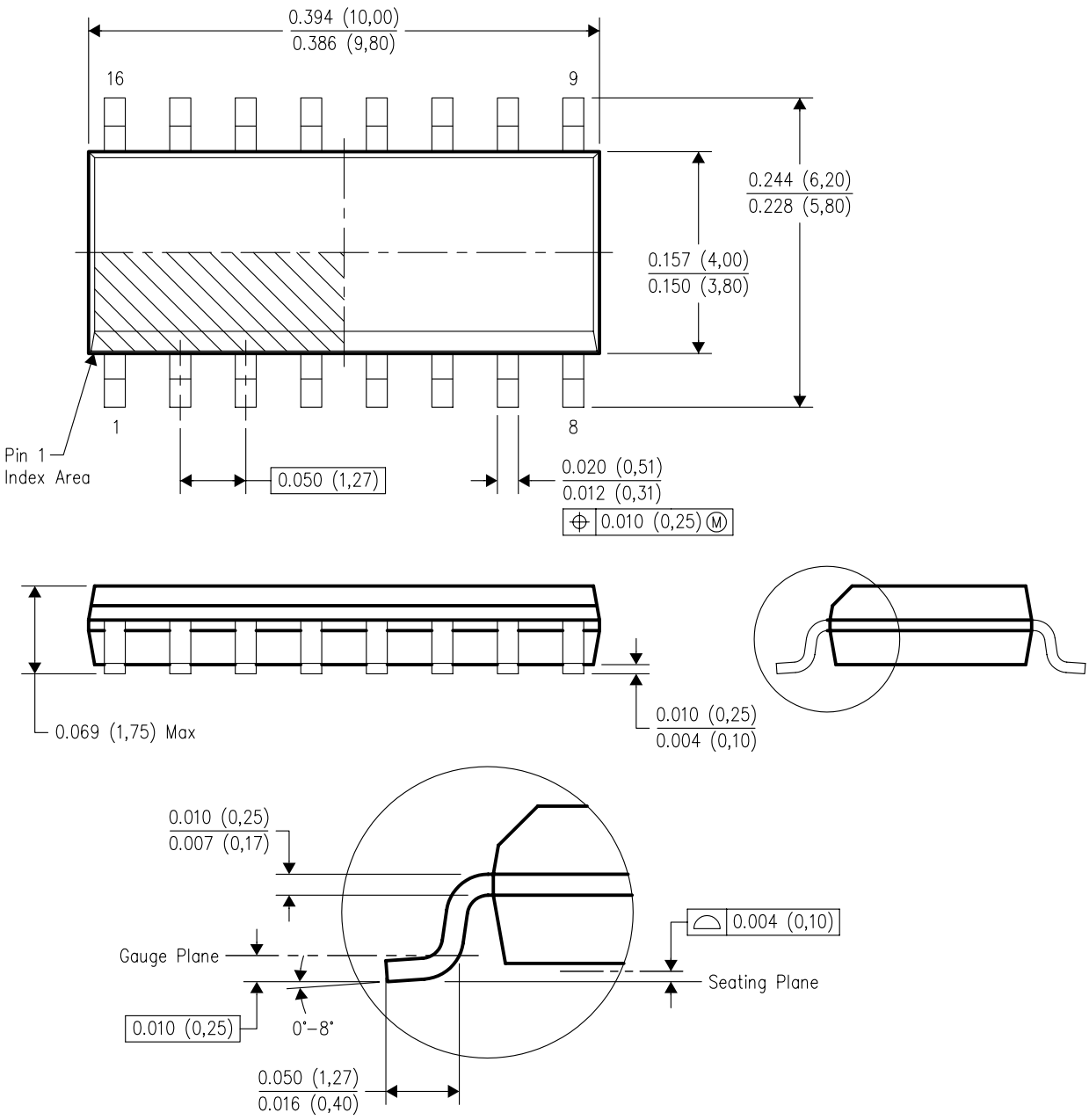
DIM \ PINS **	14	16	18	20
A MAX	0.775 (19,69)	0.775 (19,69)	0.920 (23,37)	1.060 (26,92)
A MIN	0.745 (18,92)	0.745 (18,92)	0.850 (21,59)	0.940 (23,88)
MS–001 VARIATION (C)	AA	BB	AC	AD



4040049/E 12/2002

NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Falls within JEDEC MS–001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
D. The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

D (R–PDSO–G16) PLASTIC SMALL–OUTLINE PACKAGE

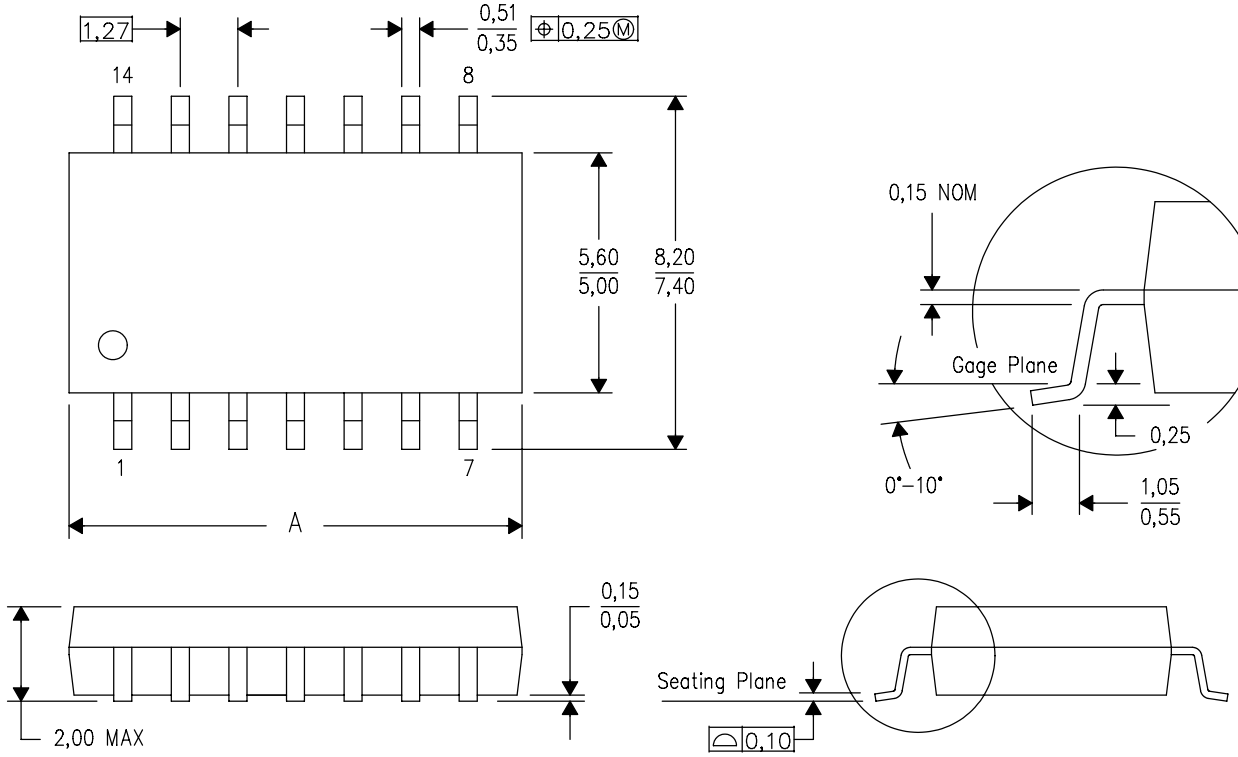


NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
D. Falls within JEDEC MS–012 variation AC.

MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G)** **PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE**

14-PINS SHOWN



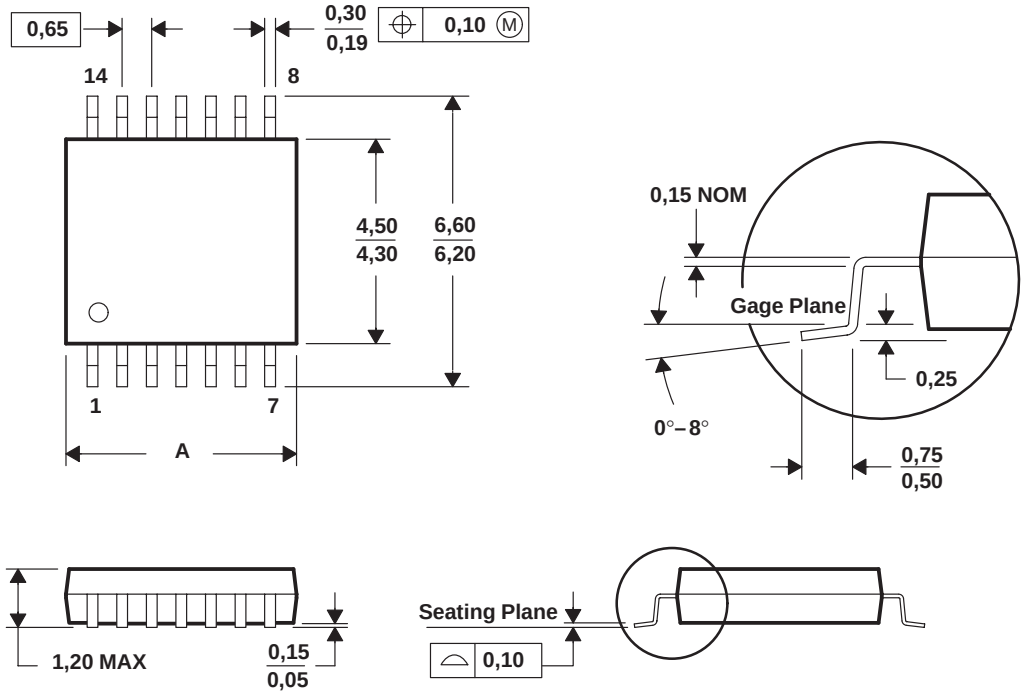
DIM \ PINS **	14	16	20	24
A MAX	10,50	10,50	12,90	15,30
A MIN	9,90	9,90	12,30	14,70

4040062/C 03/03

NOTES:
A. All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

PW (R-PDSO-G)** **PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE**

14 PINS SHOWN



DIM \ PINS **	8	14	16	20	24	28
A MAX	3,10	5,10	5,10	6,60	7,90	9,80
A MIN	2,90	4,90	4,90	6,40	7,70	9,60

4040064/F 01/97

NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
D. Falls within JEDEC MO-153

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		**Applications**	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
		Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2005, Texas Instruments Incorporated

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS055

January 1998

CD4070B, CD4077B

CMOS Quad Exclusive-OR and Exclusive-NOR Gate

Features

- **High-Voltage Types (20V Rating)**
- **CD4070B - Quad Exclusive-OR Gate**
- **CD4077B - Quad Exclusive-NOR Gate**
- **Medium Speed Operation**
  - **t_{PHL}, t_{PLH} = 65ns (Typ) at V_{DD} = 10V, C_L = 50pF**
- **100% Tested for Quiescent Current at 20V**
- **Standardized Symmetrical Output Characteristics**
- **5V, 10V and 15V Parametric Ratings**
- **Maximum Input Current of 1μA at 18V Over Full Package Temperature Range**
  - **100nA at 18V and 25°C**
- **Noise Margin (Over Full Package Temperature Range)**
  - **1V at V_{DD} = 5V, 2V at V_{DD} = 10V, 2.5V at V_{DD} = 15V**
- **Meets All Requirements of JEDEC Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices**

Applications

- **Logical Comparators**
- **Adders/Subtractors**
- **Parity Generators and Checkers**

Description

The Harris CD4070B contains four independent Exclusive-OR gates. The Harris CD4077B contains four independent Exclusive-NOR gates.

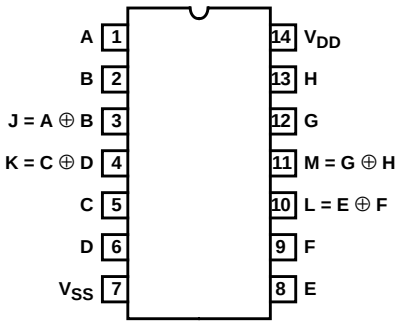
The CD4070B and CD4077B provide the system designer with a means for direct implementation of the Exclusive-OR and Exclusive-NOR functions, respectively.

Ordering Information

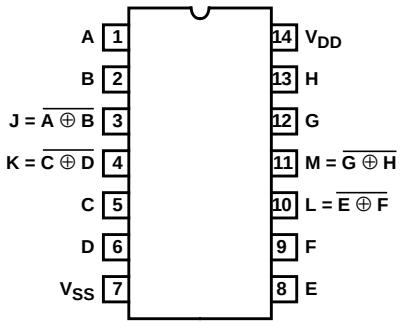
PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CD4070BE	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CD4077BE	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CD4070BF	-55 to 125	14 Ld CERDIP	F14.3
CD4077BF	-55 to 125	14 Ld CERDIP	F14.3
CD4070BM	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15
CD4077BM	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15

Pinouts

CD4070B
(PDIP, CERDIP, SOIC)
TOP VIEW



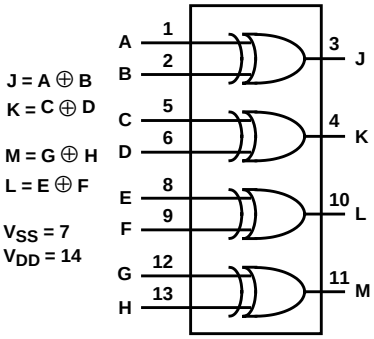
CD4077B
(PDIP, CERDIP, SOIC)
TOP VIEW



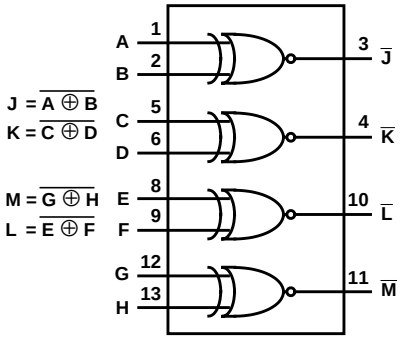
CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.
Copyright © Harris Corporation 1998

Functional Diagrams

CD4070B



CD4077B



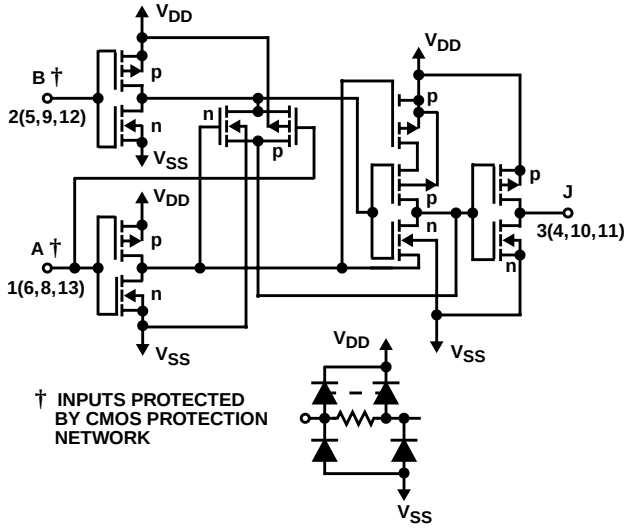


FIGURE 1. SCHEMATIC DIAGRAM FOR CD4070B (1 OF 4 IDENTICAL GATES)

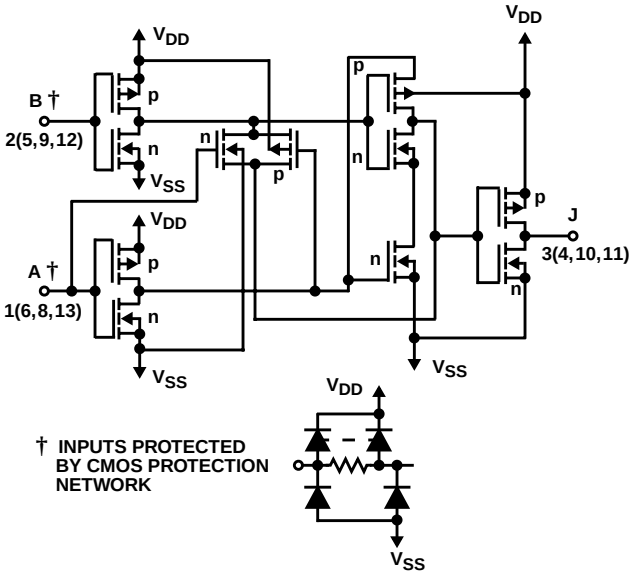


FIGURE 2. SCHEMATIC DIAGRAM FOR CD4077B (1 OF 4 IDENTICAL GATES)

CD4070B TRUTH TABLE (1 OF 4 GATES)

A	B	J
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

NOTE:
1 = High Level
0 = Low Level
J = A ⊕ B

CD4077B TRUTH TABLE (1 OF 4 GATES)

A	B	J
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

NOTE:
1 = High Level
0 = Low Level
J = $\overline{A \oplus B}$

Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range (V_{DD}) . . . . . -0.5V to 20V
Input Voltage Range, All Inputs . . . . . -0.5V to V_{DD} 0.5V
DC Input Current . . . . . ± 10mA

Operating Conditions

Temperature Range (T_A) . . . . . -55^oC to 125^oC
Supply Voltage Range (Typical) . . . . . 3V to 18V

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} ($^oC/W$)	θ_{JC} ($^oC/W$)
PDIP Package	90	N/A
CERDIP Package	95	38
SOIC Package	175	N/A

Maximum Junction Temperature (Hermetic Package or Die) 175^oC
Maximum Junction Temperature (Plastic Package) . . . . . 150^oC
Maximum Storage Temperature Range . . . . . -65^oC to 150^oC

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

DC Electrical Specifications

PARAMETER	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (^oC)							UNITS
								25			
	V_O (V)	V_{IN} (V)	V_{DD} (V)	-55	-40	85	125	MIN	TYP	MAX	
Quiescent Device Current I_{DD} Max	-	0, 5	5	0.25	0.25	7.5	7.5	-	0.01	0.25	µA
	-	0, 10	10	0.5	0.5	15	15	-	0.01	0.5	µA
	-	0, 15	15	1	1	30	30	-	0.01	1	µA
	-	0, 20	20	5	5	150	150	-	0.02	5	µA
Output Low (Sink) Current I_{OL} Min	0.4	0, 5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	-	mA
	0.5	0, 10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	-	mA
	1.5	0, 15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	-	mA
Output High (Source) Current I_{OH} Min	4.6	0, 5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	-	mA
	2.5	0, 5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	-	mA
	9.5	0, 10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	-	mA
	13.5	0, 15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	-	mA
Output Voltage: Low Level, V_{OL} Max	-	0, 5	5	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
	-	0, 10	10	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
	-	0, 15	15	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
Output Voltage: High Level, V_{OH} Min	-	0, 5	5	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	5	-	V
	-	0, 10	10	9.95	9.95	9.95	9.95	9.95	10	-	V
	-	0, 15	15	14.95	14.95	14.95	14.95	14.95	15	-	V
Input Low Voltage, V_{IL} Max	0.5, 4.5	-	5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-	1.5	V
	1, 9	-	10	3	3	3	3	-	-	3	V
	1.5, 13.5	-	15	4	4	4	4	-	-	4	V
Input High Voltage, V_{IH} Min	0.5, 4.5	-	5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	V
	1, 9	-	10	7	7	7	7	7	-	-	V
	1.5, 13.5	-	15	11	11	11	11	11	-	-	V
Input Current, I_{IN} Max	-	0, 18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	$\pm 10^{-5}$	±0.1	µA

AC Electrical Specifications

$T_A = 25^oC$, Input t_r, t_f = 20ns, C_L = 50pF, R_L = 200kΩ

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	LIMITS ON ALL TYPES		UNITS
		V_{DD} (V)	TYP	MAX	
Propagation Delay Time	t_{PHL}, t_{PLH}	5	140	280	ns
		10	65	130	ns
		15	50	100	ns
Transition Time	t_{THL}, t_{TLH}	5	100	200	ns
		10	50	100	ns
		15	40	80	ns
Input Capacitance	C_{IN}	Any Input	5	7.5	pF

Typical Performance Curves

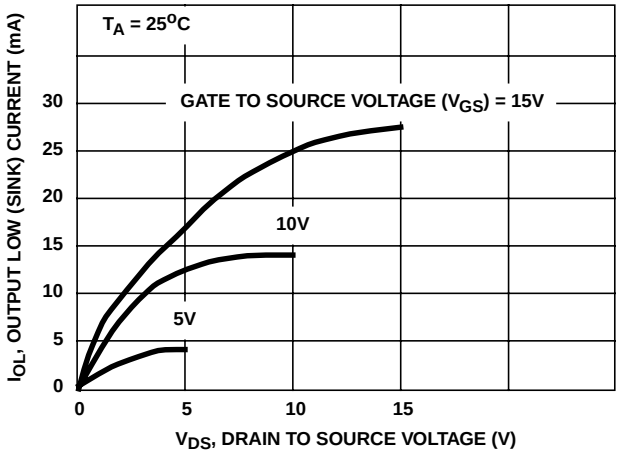


FIGURE 3. TYPICAL OUTPUT LOW (SINK) CURRENT CHARACTERISTICS

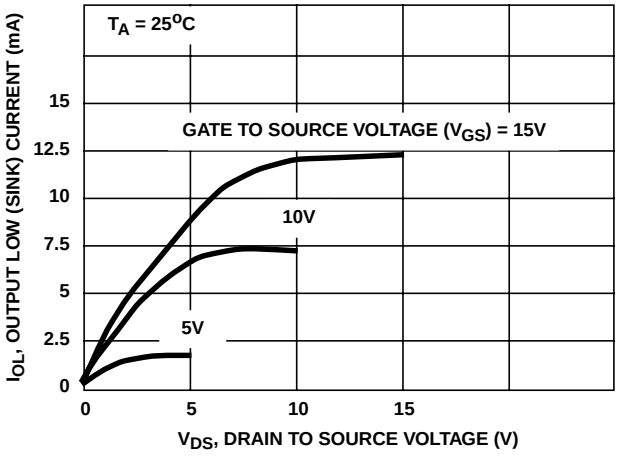


FIGURE 4. MINIMUM OUTPUT LOW (SINK) CURRENT CHARACTERISTICS

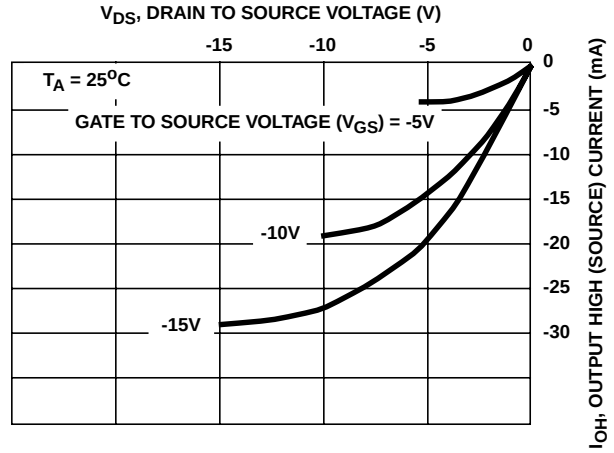


FIGURE 5. TYPICAL OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT CHARACTERISTICS

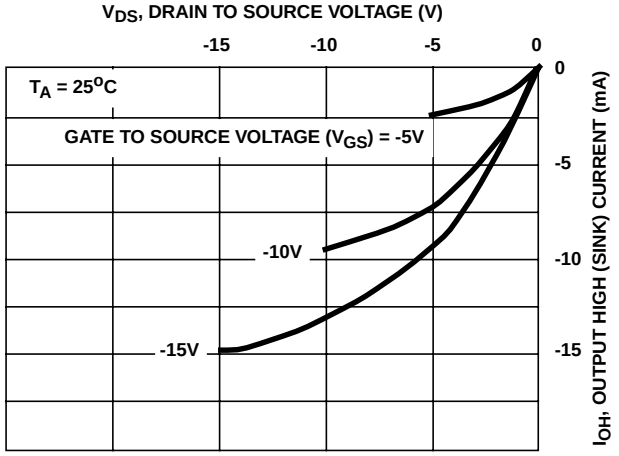


FIGURE 6. MINIMUM OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT CHARACTERISTICS

Typical Performance Curves (Continued)

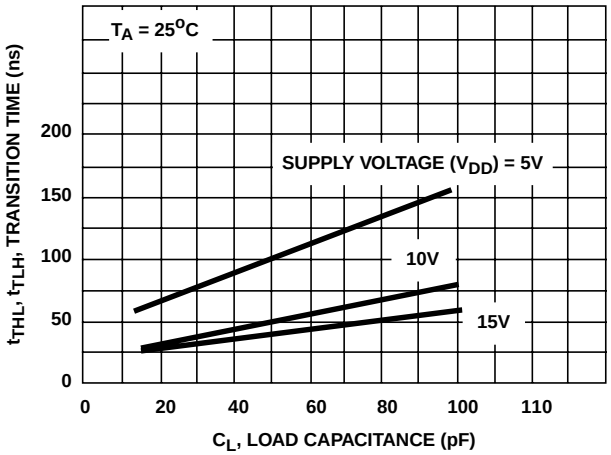


FIGURE 7. TYPICAL TRANSITION TIME AS A FUNCTION OF LOAD CAPACITANCE

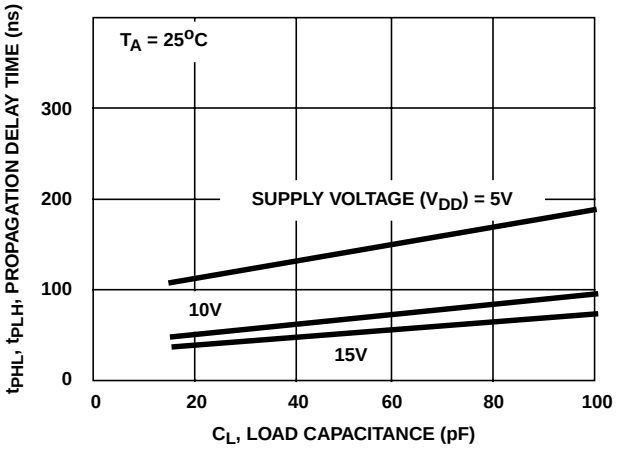


FIGURE 8. TYPICAL PROPAGATION DELAY TIME AS A FUNCTION OF LOAD CAPACITANCE

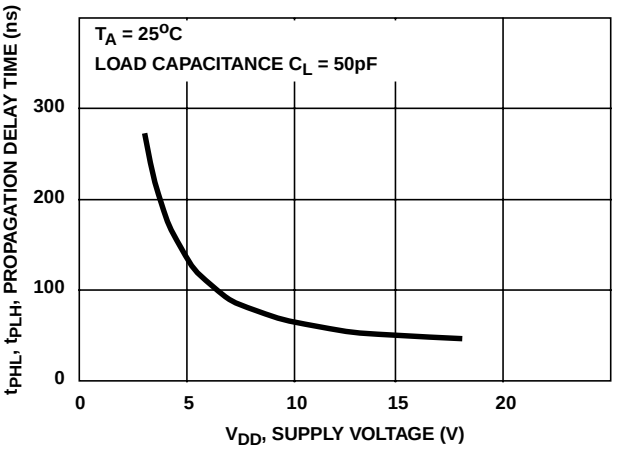


FIGURE 9. TYPICAL PROPAGATION DELAY TIME AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE

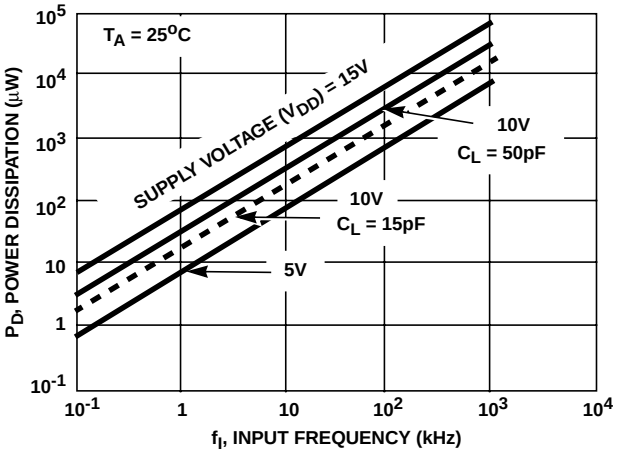
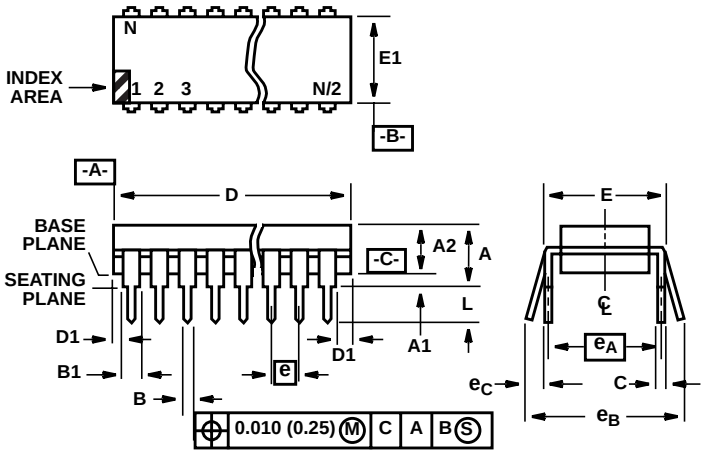


FIGURE 10. TYPICAL DYNAMIC POWER DISSIPATION AS A FUNCTION OF INPUT FREQUENCY

Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



NOTES:

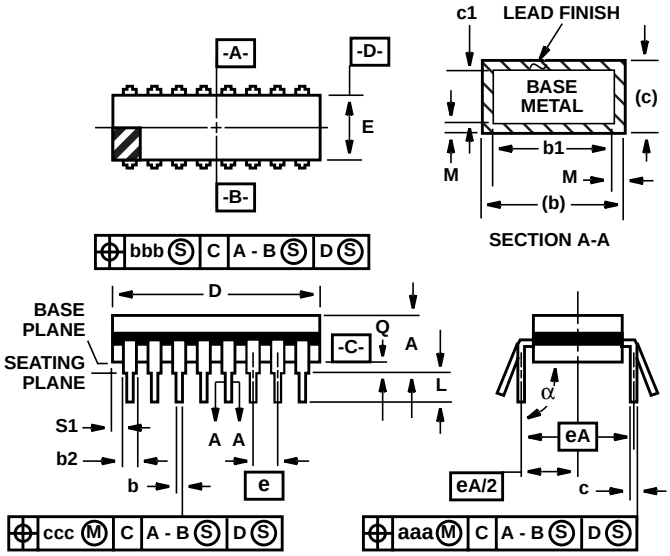
1. Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
4. Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
5. D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
6. E and e_A are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum -C-.
7. e_B and e_C are measured at the lead tips with the leads unconstrained. e_C must be zero or greater.
8. B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
9. N is the maximum number of terminal positions.
10. Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

E14.3 (JEDEC MS-001-AA ISSUE D)
14 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.210	-	5.33	4
A1	0.015	-	0.39	-	4
A2	0.115	0.195	2.93	4.95	-
B	0.014	0.022	0.356	0.558	-
B1	0.045	0.070	1.15	1.77	8
C	0.008	0.014	0.204	0.355	-
D	0.735	0.775	18.66	19.68	5
D1	0.005	-	0.13	-	5
E	0.300	0.325	7.62	8.25	6
E1	0.240	0.280	6.10	7.11	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
e_A	0.300 BSC		7.62 BSC		6
e_B	-	0.430	-	10.92	7
L	0.115	0.150	2.93	3.81	4
N	14		14		9

Rev. 0 12/93

Ceramic Dual-In-Line Frit Seal Packages (CERDIP)



NOTES:

1. Index area: A notch or a pin one identification mark shall be located adjacent to pin one and shall be located within the shaded area shown. The manufacturer's identification shall not be used as a pin one identification mark.
2. The maximum limits of lead dimensions b and c or M shall be measured at the centroid of the finished lead surfaces, when solder dip or tin plate lead finish is applied.
3. Dimensions b1 and c1 apply to lead base metal only. Dimension M applies to lead plating and finish thickness.
4. Corner leads (1, N, N/2, and N/2+1) may be configured with a partial lead paddle. For this configuration dimension b3 replaces dimension b2.
5. This dimension allows for off-center lid, meniscus, and glass overrun.
6. Dimension Q shall be measured from the seating plane to the base plane.
7. Measure dimension S1 at all four corners.
8. N is the maximum number of terminal positions.
9. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M - 1982.
10. Controlling dimension: INCH.

F14.3 MIL-STD-1835 GDIP1-T14 (D-1, CONFIGURATION A)
14 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE FRIT SEAL PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.200	-	5.08	-
b	0.014	0.026	0.36	0.66	2
b1	0.014	0.023	0.36	0.58	3
b2	0.045	0.065	1.14	1.65	-
b3	0.023	0.045	0.58	1.14	4
c	0.008	0.018	0.20	0.46	2
c1	0.008	0.015	0.20	0.38	3
D	-	0.785	-	19.94	5
E	0.220	0.310	5.59	7.87	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
eA	0.300 BSC		7.62 BSC		-
eA/2	0.150 BSC		3.81 BSC		-
L	0.125	0.200	3.18	5.08	-
Q	0.015	0.060	0.38	1.52	6
S1	0.005	-	0.13	-	7
α	90^o	105^o	90^o	105^o	-
aaa	-	0.015	-	0.38	-
bbb	-	0.030	-	0.76	-
ccc	-	0.010	-	0.25	-
M	-	0.0015	-	0.038	2, 3
N	14		14		8

Rev. 0 4/94

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

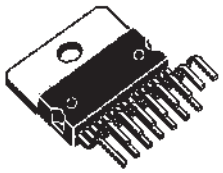
TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

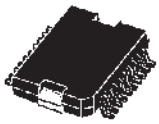
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)



Multiwatt15



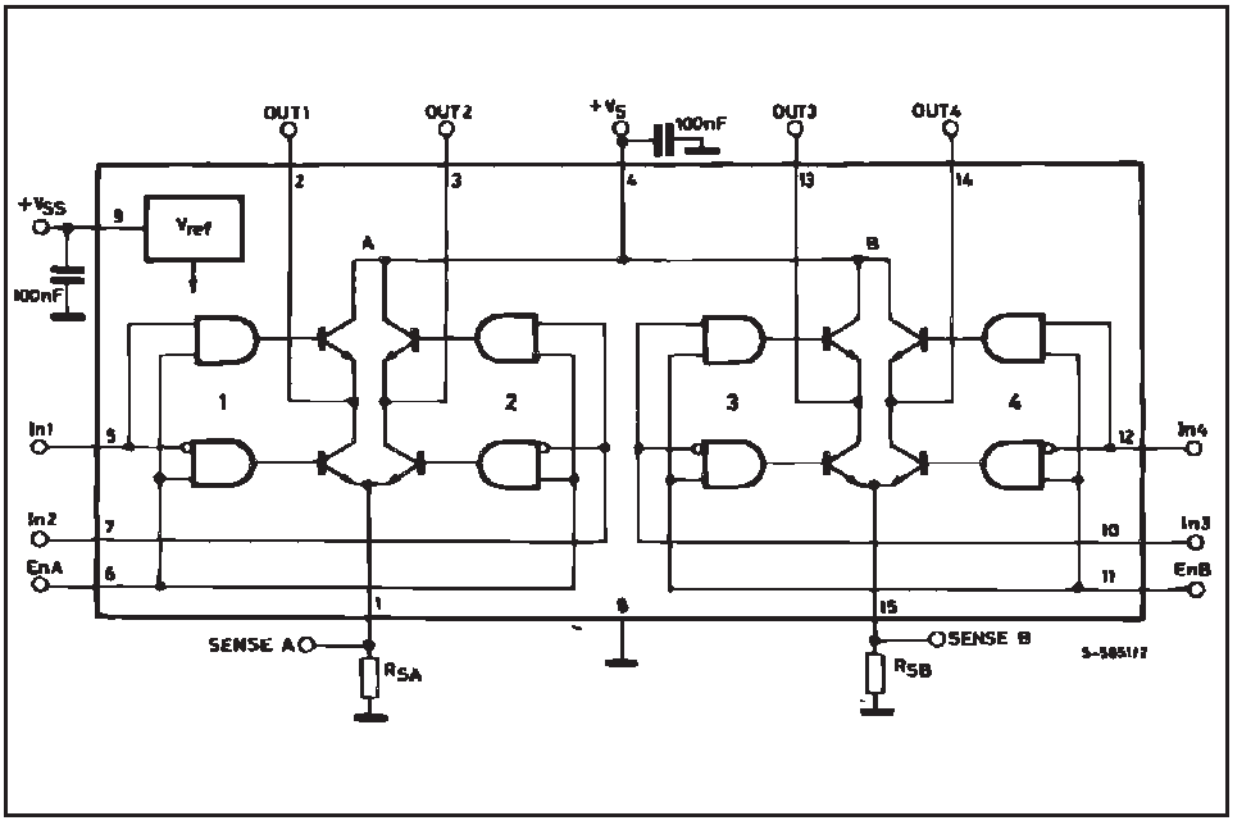
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

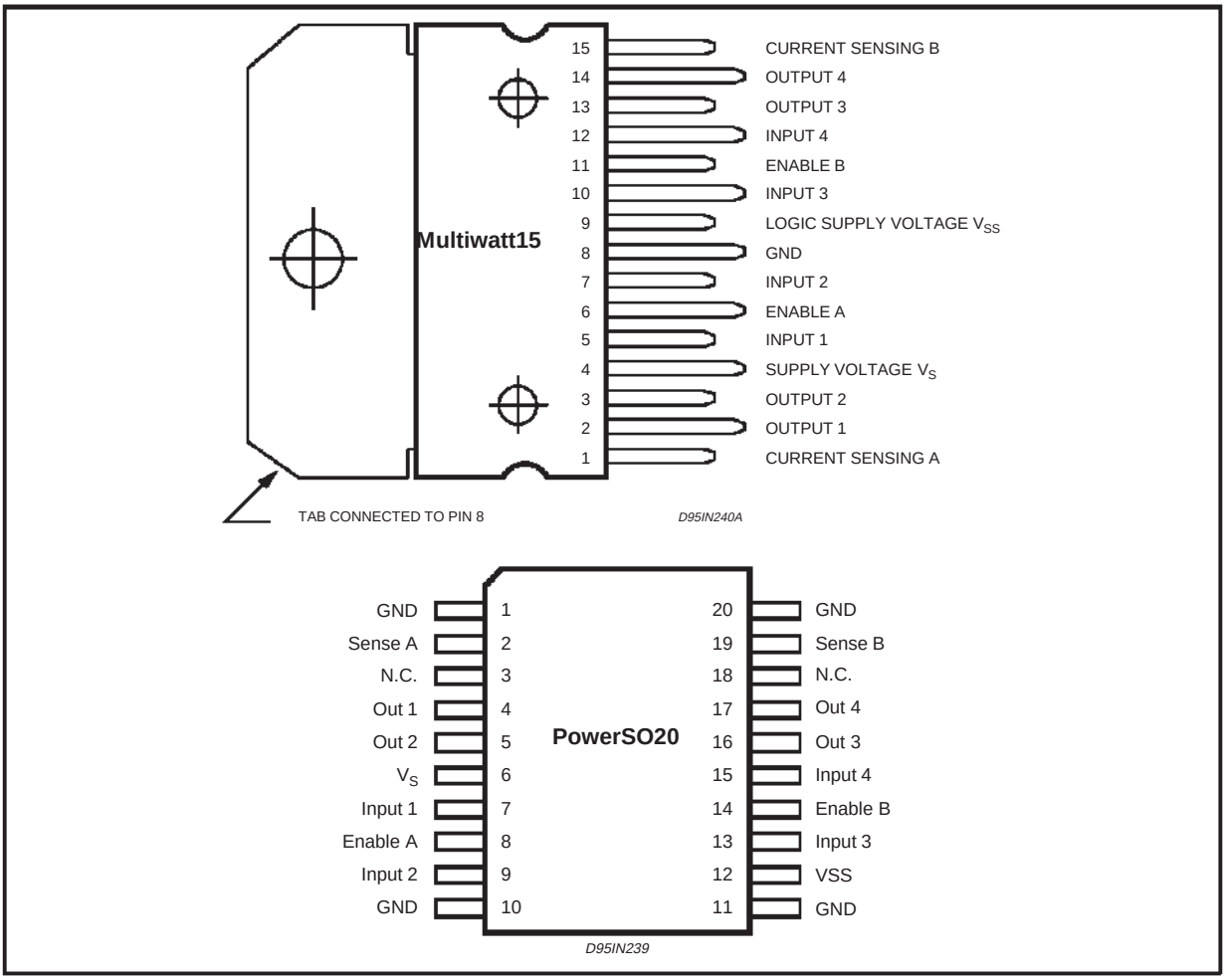
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and Enable Voltage	–0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) – Non Repetitive (t = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	–	3	°C/W
$R_{th\ j\text{-}amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V_S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V_{IH} +2.5		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		13 50	22 70	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		24 7	36 12	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			6	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		VSS	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L			–10	µA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	Vi = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L			–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A I_L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V_i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
T_2 (V_i)	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
T_3 (V_i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
T_4 (V_i)	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
T_5 (V_i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
T_6 (V_i)	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_7 (V_i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
T_8 (V_i)	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (V_i)	Commutation Frequency	I_L = 2A		25	40	KHz
T_1 (V_{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (2); (4)		3		µs
T_2 (V_{en})	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		1		µs
T_3 (V_{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.1 I_L (2); (4)		0.3		µs
T_4 (V_{en})	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.4		µs
T_5 (V_{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		2.2		µs
T_6 (V_{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.35		µs
T_7 (V_{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_8 (V_{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.1		µs

1) 1)Sensing voltage can be –1 V for t ≤ 50 µsec; in steady state V_{sens} min ≥ –0.5 V.
2) See fig. 2.
3) See fig. 4.
4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

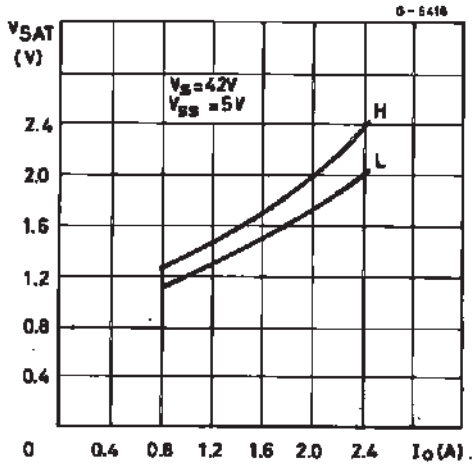
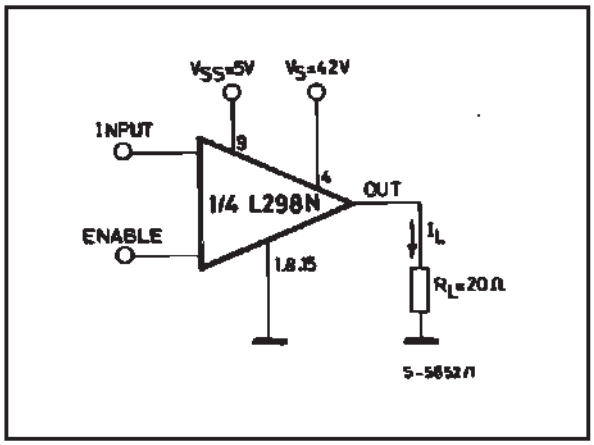


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

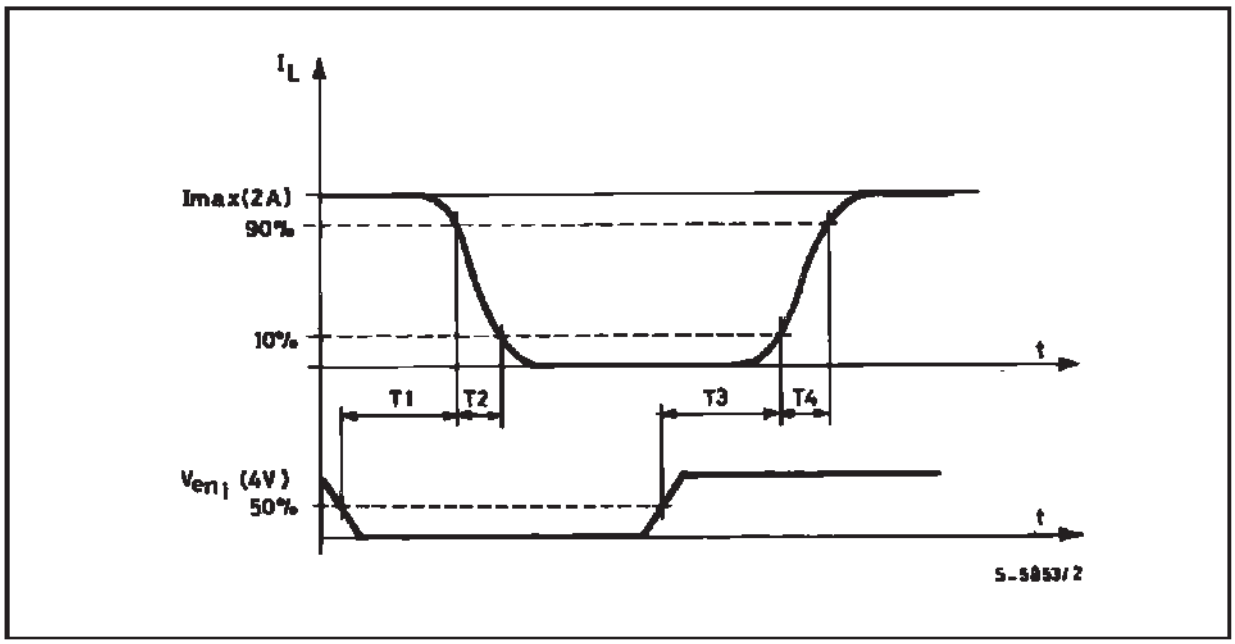
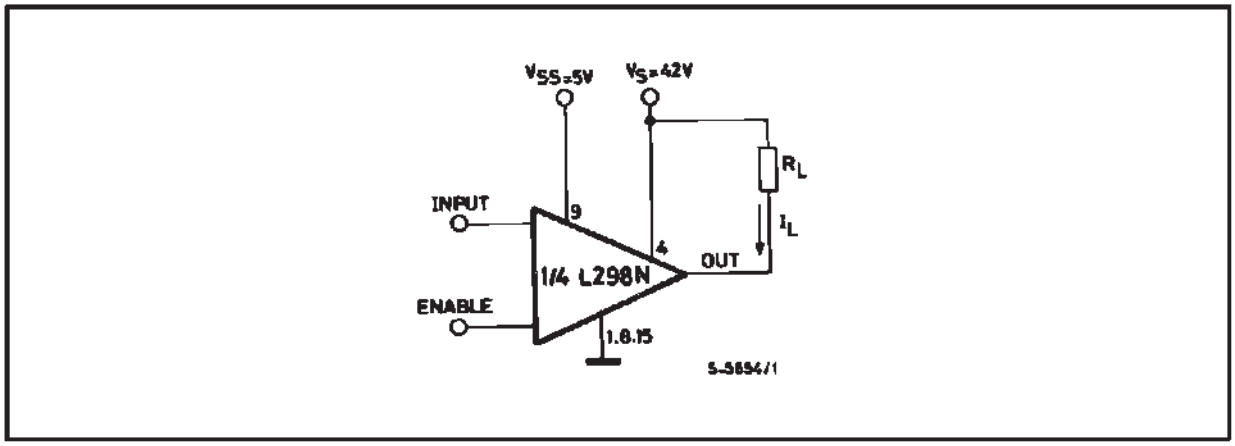


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

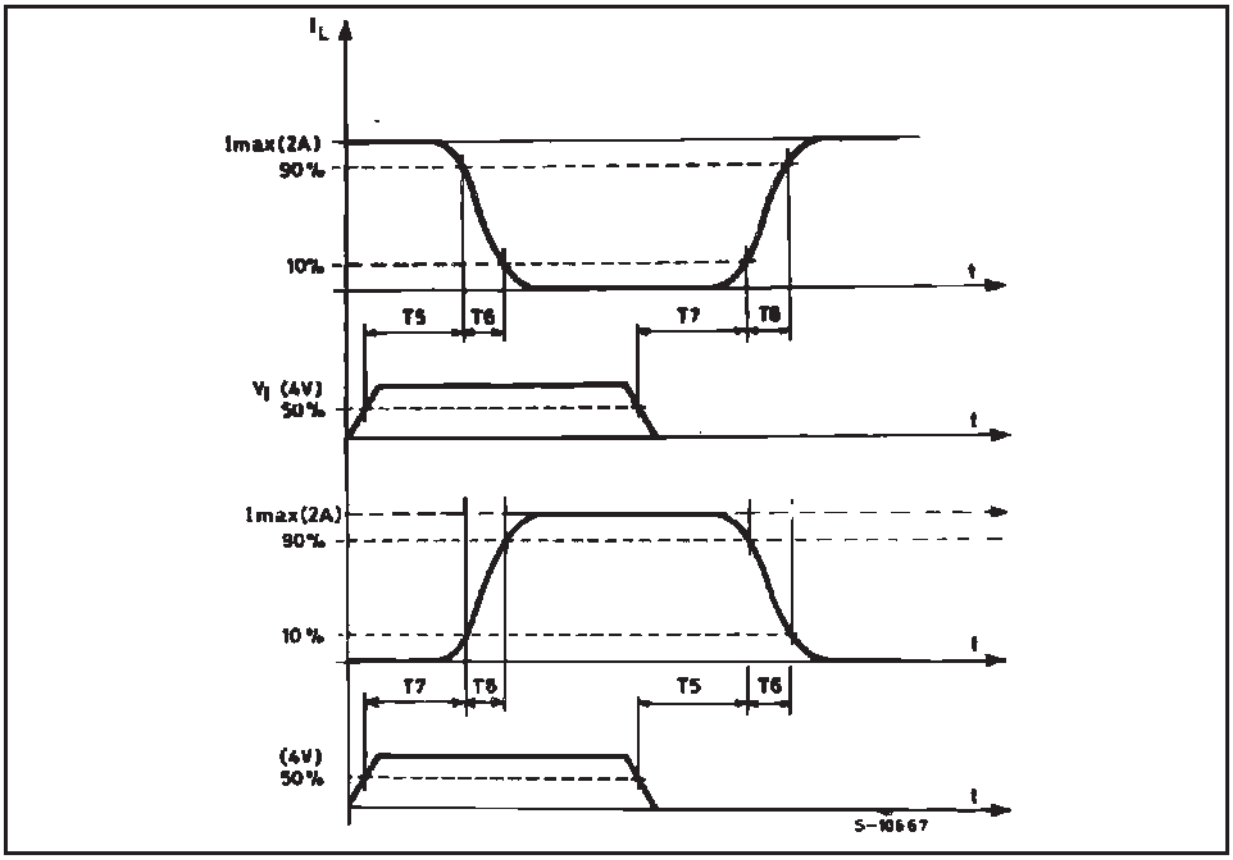
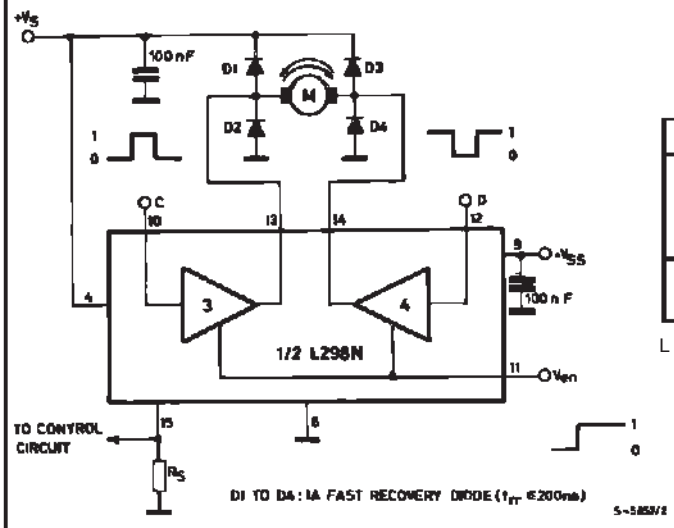


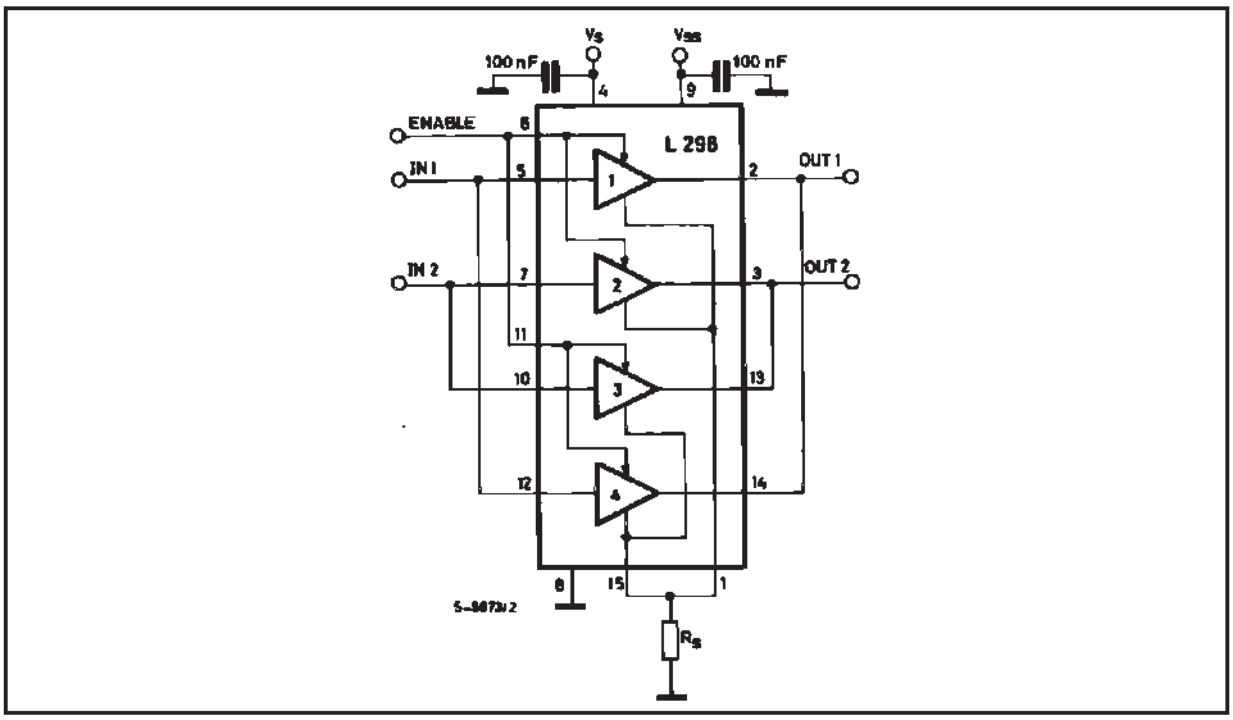
Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differenzial mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}.) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both Vs and Vss, to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of Vs that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements (trr $\leq$ 200 nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Shottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

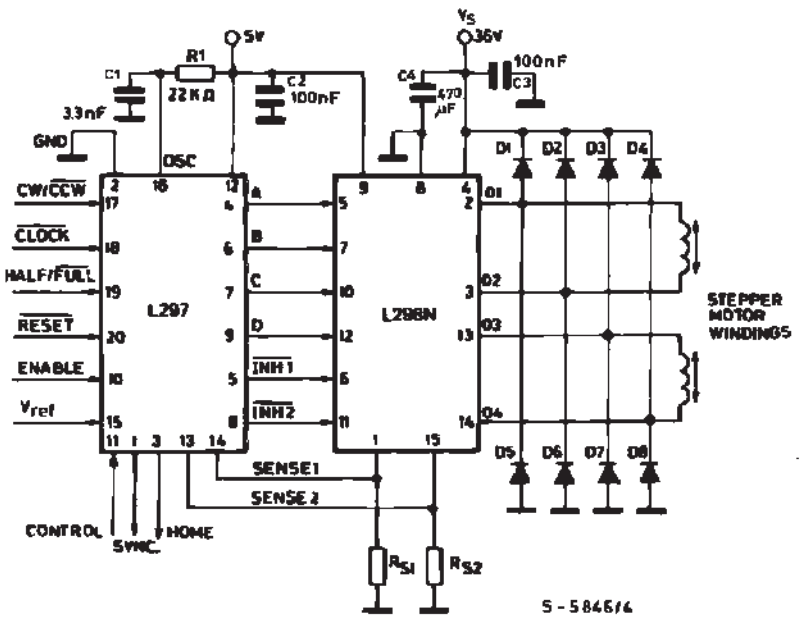
On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.



$R_{S1} = R_{S2} = 0.5\ \Omega$

D1 to D8 = 2 A Fast diodes { $V_F \leq 1.2$ V @ I = 2 A
trr ≤ 200 ns

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

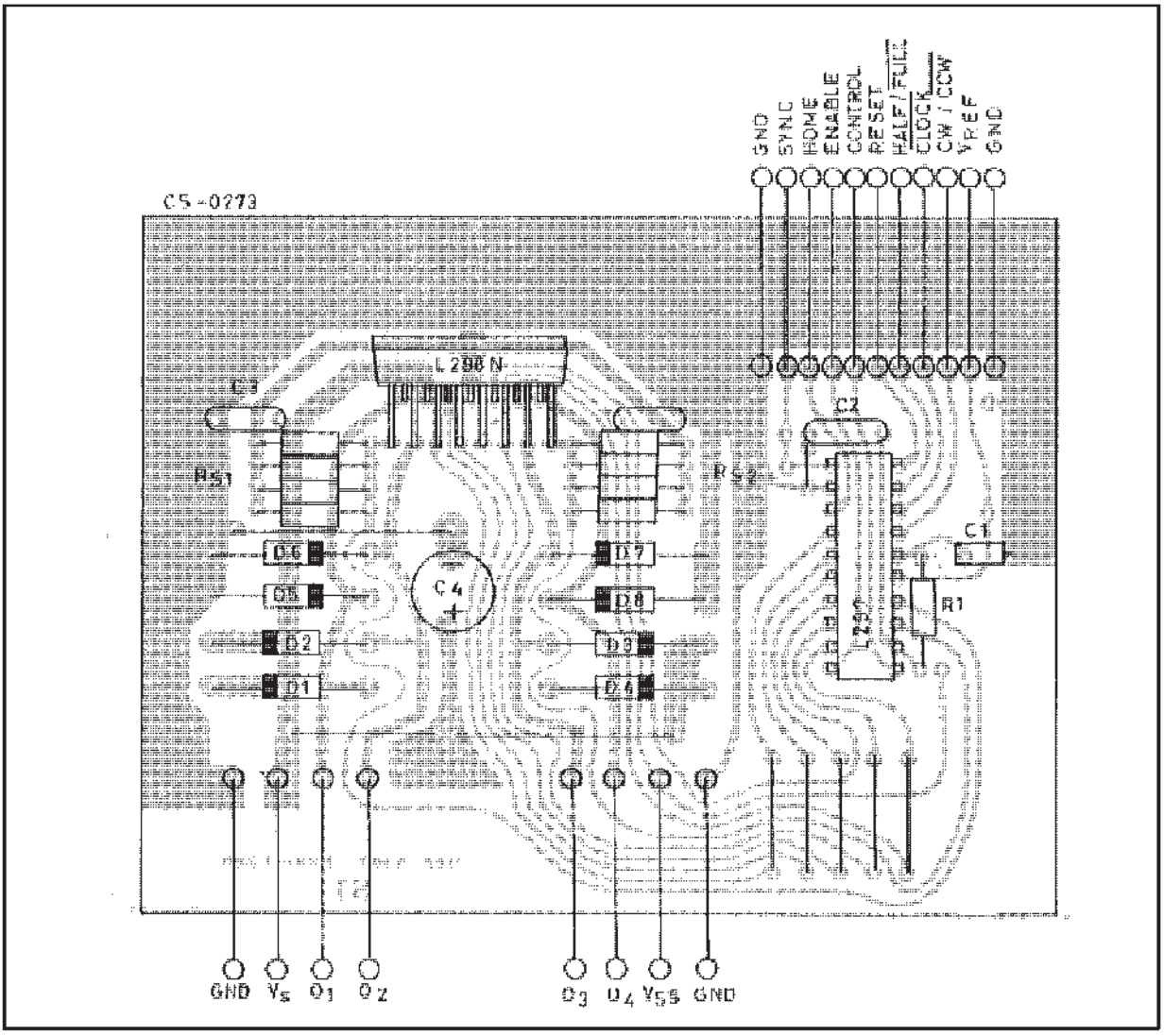
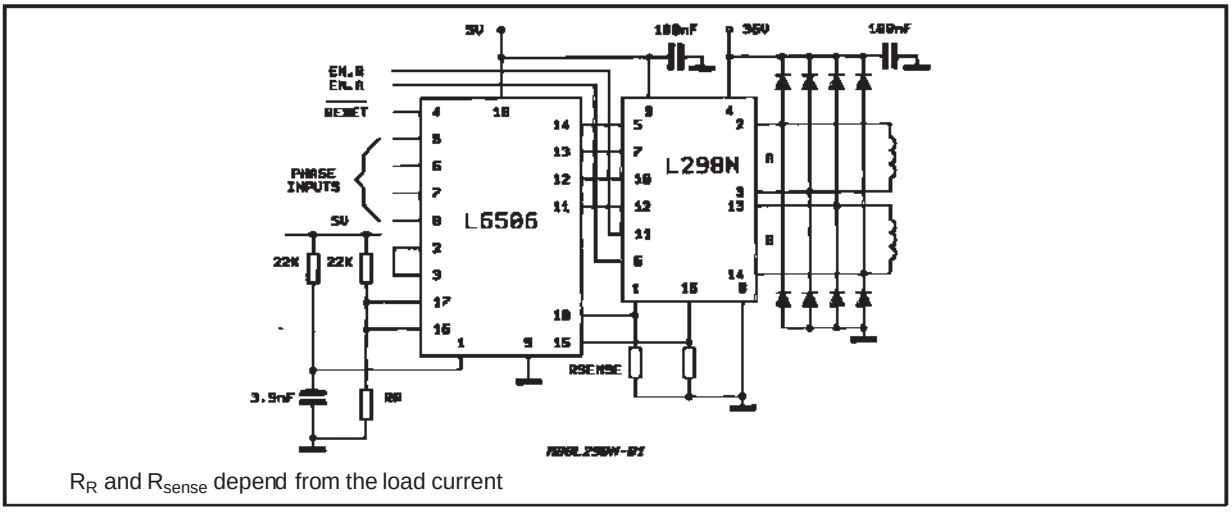


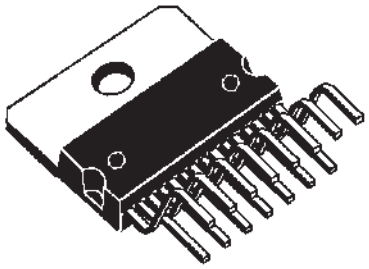
Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



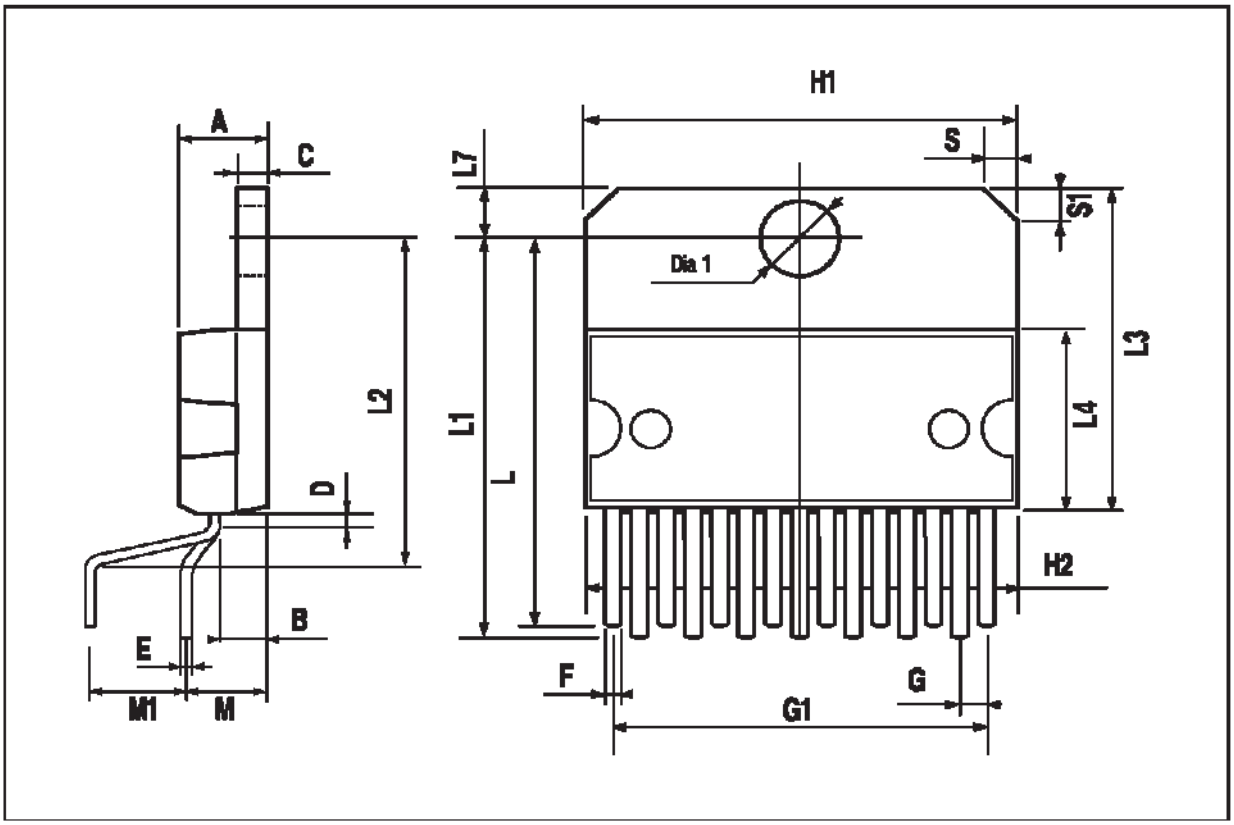
R_R and R_{sense} depend from the load current

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

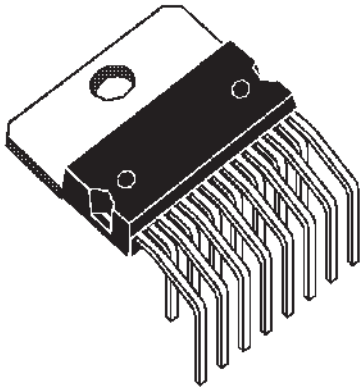


Multiwatt15 V

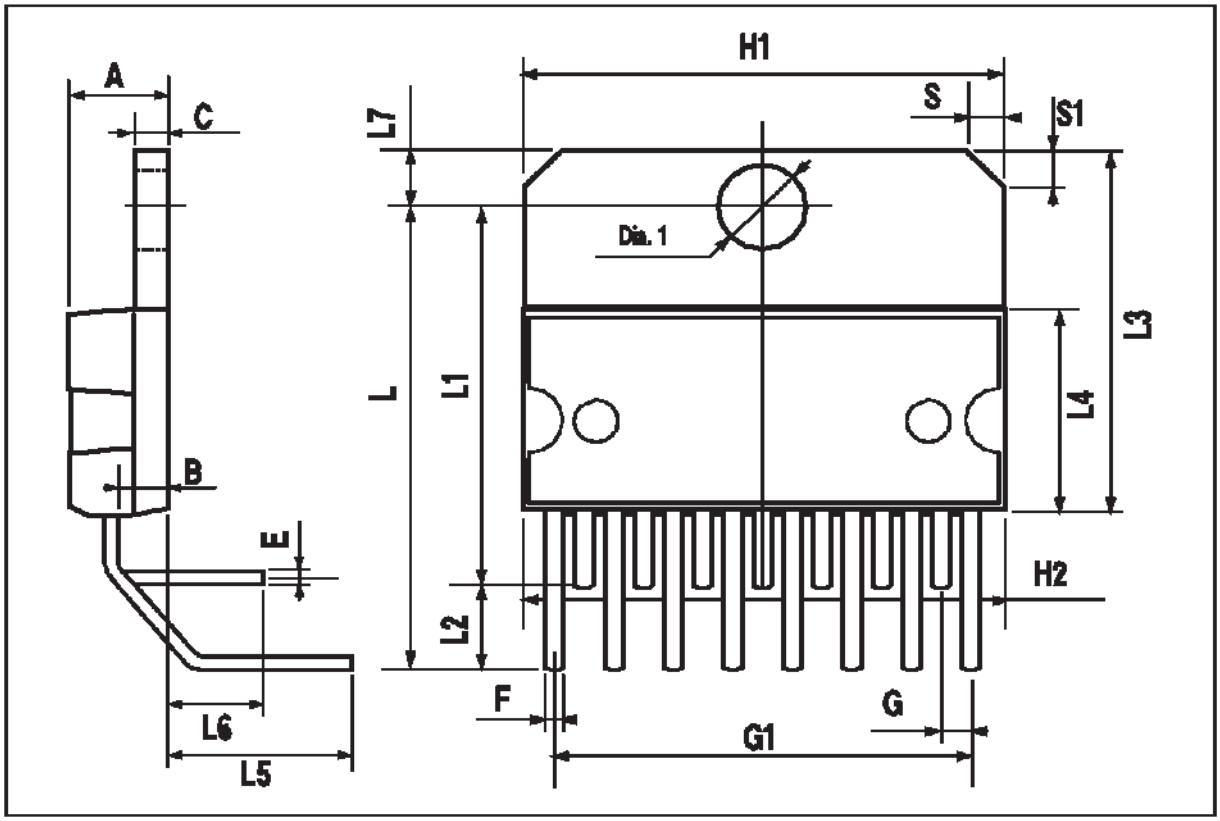


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



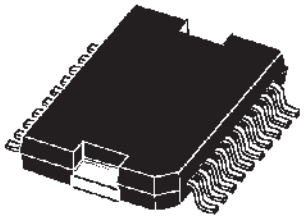
Multiwatt15 H



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

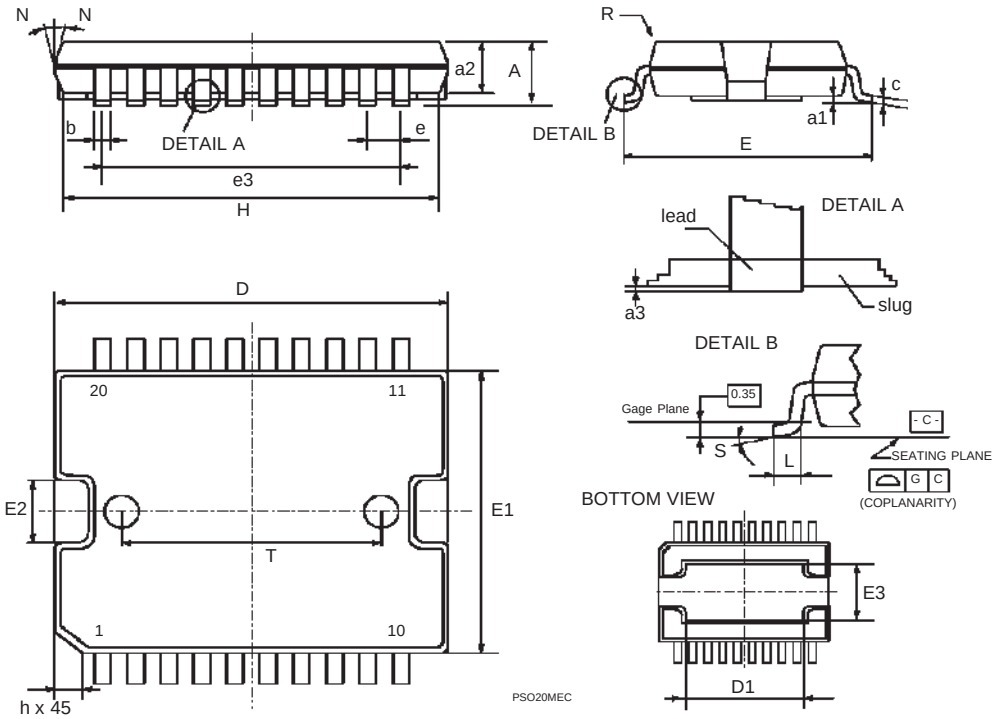
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

Annexe (C) Plastique

Nom	abré-viation	 plaques	films	joncs	profilés	tubes	fittings	robi-nettrie	fil à souder
chlorure de polyvinyle dur	PVC-U	X	x	x	x	x	x	x	x
chlorure de polyvinyle	PVC-HI	X	-	-	-	x	-	-	x
chlorure de polyvinyle chloré	PVC-C	X	-	x	-	x	x	x	-
chlorure de polyvinyle mou	PVC-P	X	-	-	-	-	-	-	x
polyéthylène à haute densité	PE-HD	X	-	x	x	x	x	x	x
polypropylène homopolymère	PP-H	X	-	x	x	x	x	x	x
polypropylène difficile-ment inflammable	PPs	X	-	-	-	x	x	-	x
polyméthacrylate de méthyle extrudiert	PMMA-XT	X	-	x	-	x	-	-	-
polyméthacrylate de méthyle coulé	PMMA-GS	X	-	x	-	x	-	-	-
polycarbonate	PC	X	-	x	-	-	-	-	-
polycarbonate renforcé par fibres de verre	PC+30%GV	X	-	x	-	-	-	-	-
acrylonitrile-butadiène-strène	ABS	X	-	x	-	x	x	x	-
Polystyrène	PS	X	x	x	-	-	-	-	-
polyamide PA 6	PA 6	X	-	x	-	-	-	-	-
polyamide PA 6.6	PA 6.6	X	-	x	-	-	-	-	-
polyoximéthylène	POM	X	-	x	-	-	-	-	-
polyéthylène 1000	PE-UHMW	X	-	x	x	-	-	-	-
polyéthylène 500	PE-HMW	X	-	x	-	-	-	-	-
ether de polyphénylène	PPE	X	-	x	-	-	-	-	-
polytétrafluoréthylène	PTFE	X	-	x	-	-	-	-	-
polyétheréther-cétone	PEEK	X	-	x	-	-	-	-	-
sulfone polyéther	PES	X	-	x	-	-	-	-	-
Polysulfone	PSU	X	-	x	-	-	-	-	-
polyétherimide	PEI	X	-	x	x	x	x	x	x
sulfure de polyphénylène	PPS	X	-	x	-	-	-	-	-
polyfluorure de vinylidène	PVDF	X	-	x	-	-	-	-	-
polyéthylènetéréphtalate modifié au glycol	PET-G	X	-	-	-	-	-	-	-

abréviation DIN 7728	propriétés générales			propriétés mécaniques					
	physio-logiquement neutre	densité	absorption d'eau	résistance à la traction	allongement à la rupture	module d'élasticité	résilience sur barreau lisse	résilience sur barreau entaillé	durté à la bille
DIN:		53479	53714	53455	53455	53457	53453	53453	53456
unité:		**g / cm²**	**%**	**N / mm²**	**%**	**N / mm²**	**kJ / m²**	**N / mm²**	**N / mm²**
PVC-U	A / B	1,40	0,03	55	15	3000	sans rupture	4	120
PVC-HI	B	1,40	0,20	45	25	2500	s. rupt.	10	100
PVC-C	B	1,55	0,20	70	15	3400	30	2	170
PVC-P	C	1,30	0,1 - 1,0	26	450	–	s. rupt.	s. rupt.	–
PE-HD	A	0,95	0,01	28	800	1000	s. rupt.	s. rupt.	37
PP-H	A	0,95	0,15	33	800	1200	s. rupt.	7	64
PPs	C	0,95	0,15	30	1000	1600	s. rupt.	10	68
PMMA-XT	A	1,19	0,3	70	4	3300	10	2	190
PMMA-GS	A	1,19	0,3	75	5	3000	12	2	200
PC	A	1,20	0,15	70	100	2500	s. rupt.	>30	95
PC+30%GV	–	1,40	0,10	110	3,5	5500	30	6	145
ABS	A	1,06	0,40	41	50	1650	s. rupt.	20	72
PS	–	1,06	0,10	42	25	2400	s. rupt.	8	86
PA 6	B	1,14	3,00	80	>50	3000	s. rupt.	>3	150
PA 6.6	B	1,14	2,50	90	>30 >150	3300	s. rupt.	>3	170
POM	A	1,41	0,30	70	25	–	s. rupt.	9	170
PE-UHMW	A	0,95	0,01	28	600	3300	s. rupt.	s. rupt.	51
PE-HMW	A	0,94	0,01	22	450	1000	s. rupt.	s. rupt.	38
PPE	A	1,06	0,10	45	50	750	s. rupt.	15	85
PTFE	A	2,20	–	20	>250	2400	s. rupt.	13	25
PEEK	–	1,30	0,18	100	36	400	s. rupt.	9	–
PES	A	1,37	0,80	85	>40	4000	–	85	150
PSU	A	1,24	0,25	70	>50	2600	s. rupt.	69	140
PEI	–	1,27	1,25	105	60	2700	s. rupt.	27	165
PPS	A	1,34	0,20	75	3	3300	15	27	–
PVDF	A	1,75	0,04	50	20	3400	s. rupt.	20	110
PET-G	A	1,27	0,20	53	40	2200	s. rupt.	11,5	115

annotation: A = physiologiquement neutre; B = utilisation restrainte; C = physiologiquement critique

abréviation DIN 7728	propriétés thermiques				propriétés électriques				
	temp. de ramollissement Vicat VST/B/50	temp. d'utilisation (maxi/mini)		coefficient de dilatation linéaire	conductibilité thermique	résistivité	résistance superficielle	rigidité diélectrique	constante diélectrique 10^6HZ	facteur de pertes diélectriques 10^6 HZ
	53460	53446		53752	52612	53482	53482	53481	53483	53483
	°C	**°C**	**°C**	**$K^{-1} \cdot 10^{-4}$**	**W/(m · K)**	**Ω · cm**	**Ω**	**kV/mm**	**–**	**–**
PVC-U	75	+60	-15	0,70	0,16	10^{16}	10^{12}	35-40[3]	3,3	0,02-0,05
PVC-HI	75	+65	-40	0,80	0,16	10^{16}	10^{13}	45[3]	2,9	0,022
PVC-C	105	+90	-15	0,80	–	10^{16}	–	25	–	0,0015
PVC-P	–	+60	-20	1,50	0,15	10^{14}	10^{11}	20-25	3,6-7,5	0,02-0,11
PE-HD	75	+65	-40	2,00	0,43	10^{16}	10^{13}	80[1]	2,3-2,5	0,0003
PP-H	90	+80	0	1,60	0,22	10^{18}	$5x10^{13}$	75[1]	2,3	0,001
PPs	86	+80	0	1,60	0,23	10^{16}	10^{13}	45[1]	2,4	0,003
PMMA-XT	111	+70	-20	0,65	0,16	10^{15}	10^{15}	20-25	2,6	0,025
PMMA-GS	120	+80	-20	0,80	0,19	10^{15}	10^{15}	20-25	2,6	0,02
PC	138	+125	-40	0,67	0,21	10^{17}	10^{15}	35	2,92	0,009
PC+30%GV	150	+130	-40	0,27	0,24	10^{16}	10^{14}	35	3,3	0,012
ABS	95	+80	-40	0,75	0,16	10^{14}	10^{13}	22	3,3	0,015
PS	96	+70	-10	0,70	0,17	10^{16}	10^{14}	40[1]	2,5	0,0003
PA 6	180	+110	-30	0,70	0,23	10^{14}	$5x10^{12}$	35[2]	3,6	0,03
PA 6.6	200	+120	-30	0,70	0,23	10^{15}	10^{13}	40[2]	3,4	0,025
POM	165	+100	-40	1,10	0,30	10^{15}	10^{13}	20[1]	3,7	0,0048
PE-UHMW	130	+80	-200	2,00	0,43	10^{14}	10^{14}	100[4]	2,3	0,0002
PE-HMW	79	+80	-200	2,00	0,42	10^{18}	10^{13}	80[1]	2,3	0,00025
PPE	145	+105	-30	0,70	0,16	10^{17}	10^{17}	50[1]	2,64	0,0009
PTFE	110	+250	-200	1,40	0,25	10^{18}	10^{17}	20	2,1	0,0003
PEEK	–	+250	-20	0,45	0,21	4-$9x10^{16}$	10^{15}	19[4]	3,2	0,003
PES	222	+180	-100	0,56	0,18	10^{17}	10^{13}	17	3,5	0,006
PSU	195	+160	-100	0,56	0,26	$5x10^{16}$	$3x10^{16}$	17	3,14	0,0056
PEI	219	+170	-100	0,25	0,22	10^{17}	10^{17}	33	3,15	0,001
PPS	–	+200	-100	0,54	0,25	10^{16}	10^{16}	23	3,05	0,00076
PVDF	132	+150	-60	1,20	0,13	10^{15}	10^{13}	65[1]	7,6	0,185
PET-G	82	+65	-20	0,68	0,32	10^{15}	10^{16}	-	3,5	0,020

annotation: [1] = 0,2 mm film; [2] = 1 mm plaque; [3] = 1 minute; [4] = 0,5 mm film

abréviation DIN 7728	Caractéristiques	applications typiques
PVC-U	sans plastifiant, bonne résistance mécanique, résistant contre acides et bases	conduites d'eau potable, stations d'épuration, décheteries, piscines, appareillages pour l'industrie chimique
PVC-HI	bonne résistance au choc et au froid	applications extérieures
PVC-C	meilleure résistance chimique et thermique	industrie chimique, galvano, électrotechnique, stations d'épuration
PVC-P	bonne résistance à l'abrasion, mou	portes à battants, main courante, revêtement de sol
PE-HD	bonne résistence chimique, léger, bonne résistence au choc et au froid	épuration des eaux, conduites sous pression, industrie alimentaire, construction d'appareils et installations
PP-H	bonne résistence chimique et résistence thermique meilleure que pour le PVC et le PE-HD	fabrication d'accumulateurs, usines de chauffage à distance, installation des eaux, appareillage et installatique
PPs	comme PP-H, mais difficilement inflammable	installation de ventilation
PMMA-XT	bonne transparence, beaucoup de couleurs, grande dureté et haute rigidité, excelente résistance aux intempréries	aménagement pour foires et magasins, construction et assainissement, toiture, protection de balcons et rampes d'escaliers
PMMA-GS	comme PMM-XT, en plus facilement polissable, et sans tensions internes	vitrage, caissons lumineux, display
PC	bonne transparence, très résistant au choc, bonne résistance aux températures autes et basses	vitrage de sécurité, génie civil, toiture
PC+30%GV	encore plus résistant grace au renforcement par 30% de fibres de verre	construction de machines
ABS	léger, bonne résilience et dureté, se laisse galvaniser, résistant aux rayures, bonne stabilité dimensionelle, thermoformable	conduite, aménagement intérieur de foires et de magasins, revêtements
PS	transparent, léger, thermoformable, difficilement inflammable	aménagement pour foires et magasins, caissons lumineux intérieurs, sérigraphie et construction de panneaux
PA 6	bonne résilience, bonne résistance à l'abrasion, contre les solvants et les lubrifiants, bonne capacité d'amortissement mécanique	pièces techniques comme rouleaux, roues dentés, glissières, etc.
PA 6.6	bonne dureté et rigidité, bonne résistance à l'abrasion et stabilité dimensionelle au chaud	comme PA6 mais pour applications avec des températures plus élevées et de plus grandes exigeances de la dureté
POM	bonne rigidité et facile à travailler	similaire au PA avec une absorption d'humidité plus faible
PE-UHMW	bonne résistance mécanique et à l'abrasion, bonne résilience bon glissement	construction de rouleaux, roues, glissières, revêtement de parois
PE-HMW	comme PE-UHMW mais moindre dureté et rigidité	comme PE-UHMW
PPE	bonne stabilité dimensionelle et faible absorption d'eau	électronique et électrotechnique, constr. automobile et aéronautique
PTFE	meilleure résistence chimique et thermique, et le plus faible coefficient de frottement	glissières, rouleaux, revêtements de vannes
PEEK	bonne résilience, et excellente résistance chimique et thermique	appareillage médical pour la stérilisation, pièces à haute résistance thermique et au feu
PES	bonne résilience et rigidité, bonne stabilité dimensionelle au chaud, bonne résistence chimique	pompes à haute résistance mécanique et corrosive, clappets et pièces diverses pour l'industrie électronique
PSU	bonne rigidité et résilience, transparent, bonnes propriétés électriques	comme PES mais avec une résistance à la température, à la corrosion et aux agents chimiques inférieure
PEI	exellente résistance thermique, ininflammable, bonne rigidité et résilience	pièces techniques pour la construction électronique, chimique et automobile
PPS	bonne résistance chimique, exellente stabilité dimensionelle	pour pièces techniques de haute précision ainsi que bonne résistance chimique
PVDF	bonne résistance chimique et thermique, bonne stabilité dimensionelle, thermoformable	conduites, appareillage et installation
PET-G	bonne transparence, résistant au choc	vitrage de sécurité, display, publicité, toiture