République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseigniemment Supérieure
et de la Recherche Scientifique

Université Dr Yahia FARES de Médéa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de la Matière

Mémoire de Projet de fin d'etude
Pour l'obtention du diplôme Master en Génie Mécanique
Option: Mécatronique

Etude, Conception et Réalisation d'un Support d'un Panneau Solaire Commandé par Caméra et Entraîné par Moteur Pas à Pas

Présenté par :
CHEBOUKI Abderrahmen
BENRAMDANE Abdallah Haroun

Dirigé Par :
Dr BOUMAHDI Mouloud
Dr TCHOKETCH KEBIR Sofian

2013/2014

بسم الله الرحمن الرحيم

وَهُوَ اللَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ لَهُ الْحَمْدُ فِي الْأُولَى
وَالْآخِرَةِ وَلَهُ الْحُكْمُ وَإِلَيْهِ تُرْجَعُونَ

سورة القصص - أية 70



Remerciement

**Avant tout nous remercions Allah
de nous avoir accordé des connaissances
de la science et de nous avoir aidés
à réaliser ce travail.**

Nous tenons à remercier chaleureusement et respectivement tous ceux qui ont contribué prés ou loin à la réalisation de ce modeste projet de fin de synthèse en particulièrement notre promoteurs BOUMEHDI Mouloud et TCHOUKETCHE KBIR Soufian, ainsi notre chef de département Dr ZIRARI Monir.

Nos vifs remerciements aux membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail, qu'ils trouvent ici notre profond respect. Nous exprimons aussi notre gratitude à nos enseignants faculté des sciences de technologie en particulier qui ont contribués à notre formation

DÉDICACE

Je dédie ce
modeste travail a mes très chers
parents qui m'ont aidé et encouragé durant toutes
mes études surtout gratitude à:

SAIDI Madani Amine
LEBOUKH Aboubakr
BAKIR TORKI Othman

Mr. NAZLIUOI Mohamed
Mr. ABDALLAHLHADJ Salim
Dr. ZEROUAL Boualame
Mr. ZOUAOUINE Mahfoudh

AKCHICHE Belkacem
BENCHABANE Mohamed Lamin
DIFALLAH Abdennour
B.Hadjeer

Et tous mes AMIS pour toute l'aide et le soutien
moral qu'ils n'ont cessé de m'apporter.

BENRAMDANE Abdallah Haroun.

Résumé

L'énergie solaire progresse rapidement comme un important moyen de ressources d'énergie renouvelable. Pour améliorer cette énergie produite par les panneaux solaires, un suiveur solaire pour faire tourner un panneau solaire destiné à suivre le déplacement du soleil est proposé. La présente étude décrit en détail la conception et la réalisation d'un prototype à deux degrés de liberté qui permet de détecter et de suivre le mouvement de la lumière du soleil en utilisant une caméra web. Le circuit de commande pour le suiveur solaire est basé sur un microcontrôleur PIC16F628A, il est programmé pour détecter la lumière du soleil à travers la caméra de web puis actionner le moteur afin de positionner le panneau solaire où il peut recevoir un maximum de lumière.

Mots clés : Panneau solaire, Moteur pas à pas, camera, PIC16F628A

Abstract

Solar energy is growing rapidly as an important means of renewable energy resources. To improve the energy produced by solar panels, solar tracker to rotate a solar panel designed to follow the movement of the sun is proposed. This study describes in detail the design and implementation of a prototype with two degrees of freedom that can detect and follow the movement of sunlight using a web camera. The control circuit for the solar tracker is based on a microcontroller PIC16F628A, it is programmed to detect the sunlight through the web camera and then actuate the motor to position the solar panel where it can receive maximum sunlight.

Key words: solar panel, stepper motor, camera, PIC16F628A

الملخص

تتطور الطاقة الشمسية بسرعة في مجال إنتاج الطاقة باعتبارها وسيلة هامة من موارد الطاقة المتجددة . لتحسين الطاقة التي تنتجها الألواح الشمسية، يقترح متعقب الطاقة الشمسية مصمم لتدوير لوحة الطاقة الشمسية لتتبع حركة الشمس. توضح هذه الدراسة بالتفصيل تصميم وتنفيذ نموذج أولي ذو درجتين من الحرية الذي يمكن من كشف وتتبع حركة الشمس باستخدام كاميرا الويب. وتستند دائرة التحكم لتعقب الطاقة الشمسية على المتحكم PIC16F628A ، وتمت برمجة ذلك للكشف عن أشعة الشمس من خلال كاميرا الويب ومن ثم تحفيز المحرك لوضع الألواح الشمسية حيث يمكن أن تستقبل أكبر كمية من ضوء الشمس.

الكلمات المفتاحية: الألواح الشمسية، محرك خطوة بخطوة، كاميرا، متحكم PIC16F628A .

Abréviations

DTU: Un document technique unifié (DTU) est un document applicable aux marchés de travaux de bâtiment en France. Il est établi par la « Commission Générale de Normalisation du Bâtiment/DTU » dont le Centre scientifique et technique du bâtiment assure le secrétariat.

PTFE: Polytétrafluoréthylene, Le PTFE est un matériau tendre, facilement déformable, semi-cristallin, opaque, blanc et alimentaire.

VON: Contrainte de Von Mises $\left[\frac{N}{m^2}\right]$ $s_{von}Mises = \left\{\frac{[(s_1-s_2)^2+(s_2-s_3)^2+(s_1-s_3)^2]}{2}\right\}^{\frac{1}{2}}$.

URES: Déplacement résultant [mm].

ESTRN: Déformation équivalente est définie par : $ESTRN = 2 \times \sqrt{[\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{3}]}$

TTL: Transistor-Transistor Logic.

R_{th}: Résistance Thermique.

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor.

RISC: Reduced instruction set computer.

RGB: Couleur code, Red, Green, Blue.

FOV: Feild of view, champ de vision

SOMMAIRE

Remerciement .....
Dédicaces .....
Résumé i
Abréviations.....ii
Sommaire.....iii
Liste des figures.....vii
Liste des tableaux x
Introduction Générale.....1

Chapitre 1 : Energie Solaire

1.1 INTRODUCTION.....3
1.2 Energie Solaire.....3
1.3 Le rayonnement solaire terrestre.....4
1.3.1 Géométrie de la terre/soleil 4
1.3.2 Mouvement de la terre.....4
1.3.3 Trajectoire apparente du soleil.....5
1.4 Les différentes cellules photovoltaïques.....6
1.4.1 Les cellules monocristallines 8
1.4.2 Les cellules poly-cristallines 8
1.4.3 Les cellules amorphes 8
1.5 Fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque 8
1.6 Supports des panneaux solaires.....10
1.6.1 Cadre mono-pièce 10
1.6.2 Rail d'installation 41 10
1.6.3 Attache périphérique.....11
1.6.4 Attache intermédiaire 11
1.6.5 Attache panneau.....12
1.6.6 Support terrasse.....12
1.6.7 Systèmes suiveur (tracker).....13
1.7 CONCLUSION 14

Chapitre 2 : Etude Mécanique

2.1 INTRODUCTION 16
2.2 Tolérance dimensionnelles des pièces 16
2.2.1 Ajustement 16
2.2.2 Choix d'ajustement 16
2.2.3 Calcule d'ajustement 17
2.2.3.1 Fourche et l'axe d'articulation, via Bague de bronze 19
2.2.3.2 Axe d'articulation et l'articulation 20
2.2.3.3 Arbre principal et le plateau, via Bague de bronze avec épaule 21
2.3 Caractéristique des pièces 23
2.3.1 Arbre principale 23
2.3.2 Axe d'articulation 24
2.3.3 Fourche 25
2.3.4 Plateau 26
2.3.5 La tôle de la base et celle du panneau 27
2.3.6 Tube soudé rectangulaire 28
2.4 Analyse Statique 29
2.4.1 Simulation de l'Arbre principal 29
2.4.1.1 Information sur le modèle 29
2.4.1.2 Propriétés de l'étude 29
2.4.1.3 Propriétés du matériau 30
2.4.1.4 Actions extérieures 30
2.4.1.5 Informations sur le maillage 30
2.4.1.6 Interprétation des résultats 31
2.4.1.6.1 Forces de réaction 31
2.4.1.6.2 Résultats de l'étude 31
2.4.2 Simulation de l'articulation 33
2.4.2.1 Informations sur le modèle 33
2.4.2.2 Propriétés de l'étude 33
2.4.2.3 Propriétés du matériau 34
2.4.2.4 Actions extérieures 34
2.4.2.5 Informations sur le maillage 34
2.4.2.6 Interprétation des résultats 35
2.4.2.6.1 Forces de réaction 35
2.4.2.6.2 Résultats de l'étude 35
2.4.3 Simulation de l'Axe d'articulation 37
2.4.3.1 Information sur le modèle 37
2.4.3.2 Propriétés de l'étude 38

2.4.3.3 Propriétés du matériau.....38
2.4.3.4 Actions extérieures.....38
2.4.3.5 Informations sur le maillage.....39
2.4.3.6 Interprétation des résultats.....39
2.4.3.6.1 Forces de réaction.....39
2.4.3.6.2 Résultats de l'étude.....39
2.4.4 Simulation de la fourche.....41
2.4.4.1 Information sur le modèle.....41
2.4.4.2 Propriétés de l'étude.....42
2.4.4.3 Propriétés du matériau.....42
2.4.4.4 Actions extérieures.....42
2.4.4.5 Informations sur le maillage.....43
2.4.4.6 Interprétation des résultats.....43
2.4.4.6.1 Forces de réaction.....43
2.4.4.6.2 Résultats de l'étude.....43
2.4.5 Simulation du tube soudée rectangulaire.....45
2.4.5.1 Information sur le modèle.....45
2.4.5.2 Propriétés de l'étude.....46
2.4.5.3 Propriétés du matériau.....46
2.4.5.4 Actions extérieures.....46
2.4.5.5 Informations sur le maillage.....47
2.4.5.6 Interprétation des résultats.....47
2.4.5.6.1 Forces de réaction.....47
2.4.5.6.2 Résultats de l'étude.....47
2.5 CONCLUSION.....50

Chapitre 3 : Moteur Pas à Pas

3.1 INTRODUCTION.....52
3.2 Propriétés et applications.....52
3.2.1 Utilisations des moteurs pas à pas.....53
3.3 Les principaux types de moteurs pas à pas.....55
3.3.1 Moteur pas-à-pas à réluctance variable MRV.....55
3.3.1.1 Composition d'un moteur pas à pas à réluctance variable.....55
3.3.1.2 Technologie des moteurs pas-a-pas à réluctance variable.....55
3.3.1.3 Les modes de commande d'un moteur pas à pas à réluctance variable.....56
3.3.2 Moteur pas à pas à aimants permanents MP.....57
3.3.2.1 Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent.....57
3.3.2.2 Les modes de commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent.....58
3.3.2.3 Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas aimant permanent.....59

3.3.3 Moteur pas-à-pas hybride MH.....60
3.3.3.1 Composition d'un moteur pas à pas hybride : 60
3.3.3.2 Fonctionnement d'un moteur pas à pas hybride :.....61
3.3.3.3 Technologie des moteurs pas à pas hybrides.....61
3.3.3.4 Commande d'un moteur pas à pas hybride.....62
3.3.3.5 Avantages et inconvénients du moteur pas à pas hybride 62
3.4 Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas.....63
3.5 CONCLUSION.....64

Chapitre 4 : Réalisation et interprétation des résultats

4.1 INTRODUCTION.....66
4.2 Réalisation du driver.....66
4.2.1 Description sur les blocs.....66
4.2.2 Schéma de commande.....68
4.2.2.1 Principe.....68
4.2.2.2 La réalisation pratique 68
4.3 Description sur les composants.....69
4.3.1 Régulateur de tension Série 78xx (7805) 69
4.3.2 Circuit intégré IC 74LS86.....70
4.3.3 Circuit intégré IC 74LS73.....71
4.3.4 Circuit intégré IC ULN2803A.....72
4.3.5 La liaison RS-232 USB.....72
4.3.6 Le microcontrôleur PIC 16f628a 73
4.3.6.1 Le circuit d'adaptation.....74
4.4 Les essais expérimentaux 74
4.4.1 Première essai 76
4.4.2 Deuxième essais 78
4.4.3 Troisième essais.....79
4.5 L'expérience pratique 81
4.6 CONCLUSION.....84

Conclusion Générale.....86
Bibliographie.....87
Annexe Mécanique.....
Annexe Electronique.....

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1 : Energie Solaire

Figure 1. 1 Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire. 4
Figure 1. 2 Plan d'écliptique : l'orbite terrestre et les saisons. 5
Figure 1. 3 Trajectoires du soleil (36° 15' 52.141" N, 2° 44' 54.493" E, Médéa, Algérie). 6
Figure 1. 4 Vue générale d'un panneau solaire. 6
Figure 1. 5 Vue détaillée d'un panneau solaire. 7
Figure 1. 6 Le courant électrique circule. 9
Figure 1. 7 Cadre mono-pièce. 10
Figure 1. 8 Rail d'installation. 10
Figure 1. 9 Attache périphérique 11
Figure 1. 10 Attache intermédiaire 11
Figure 1. 11 Attache panneau. 12
Figure 1. 12 Support terrasse. 12
Figure 1. 13 Capteurs de lumière pour l'orientation de tracker. 13

Chapitre 2 : Etude Mécanique

Figure 2. 1 Diagramme de prix approximatif d'un usinage en fonction de la tolérance. 17
Figure 2. 2 Ajustement entre la fourche et l'axe. 19
Figure 2. 3 La position de l'IT des cotes correspondants à la fourche et l'axe. 19
Figure 2. 4 Ajustement entre l'axe et l'articulation. 20
Figure 2. 5 La position de l'IT des cotes correspondants à l'articulation et l'axe. 20
Figure 2. 6 Ajustement entre l'axe principal et le plateau 21
Figure 2. 7 La position de l'IT des cotes correspondants à l'arbre principal et le plateau 22
Figure 2. 8 Arbre principale. 23
Figure 2. 9 Axe d'articulation 24
Figure 2. 10 Fourche 25
Figure 2. 11 Plateau 26
Figure 2. 12 Tôle de la base et du support. 27
Figure 2. 13 Tube soudé rectangulaire. 28
Figure 2. 14 le modèle (arbre) 29
Figure 2. 15 Le maillage du modèle (arbre). 31
Figure 2. 16 Contraintes du modèle (arbre). 31
Figure 2. 17 Déplacement du modèle (arbre). 32
Figure 2. 18 Déformations du modèle (arbre) 32
Figure 2. 19 Le modèle (articulation) 33
Figure 2. 20 Le maillage du modèle (articulation). 35
Figure 2. 21 Contraintes du modèle (articulation) 36
Figure 2. 22 Déplacement du modèle (articulation) 36
Figure 2. 23 Déformations du modèle (articulation). 37
Figure 2. 24 Le modèle (axe d'articulation). 37
Figure 2. 25 Le maillage du modèle (axe d'articulation). 39
Figure 2. 26 Contraintes du modèle (axe d'articulation). 40
Figure 2. 27 Déplacement du modèle (axe d'articulation) 40
Figure 2. 28 Déformations du modèle (axe d'articulation). 41
Figure 2. 29 le modèle (fourche). 41
Figure 2. 30 Le maillage du modèle (fourche) 43
Figure 2. 31 Contraintes du modèle (fourche). 44

Figure 2. 32 Déplacement du modèle (fourche).....44
Figure 2. 33 Déformations du modèle (fourche).....45
Figure 2. 34 le modèle (tube soudé).....45
Figure 2. 35 Le maillage du modèle (tube soudé).....47
Figure 2. 36 Contraintes du modèle (tube soudé).....48
Figure 2. 37 Déplacement du modèle (tube soudé).....48
Figure 2. 38 Déformations du modèle (tube soudé).....49

Chapitre 3 : Moteur Pas à Pas

Figure 3. 1 Moteur pas à pas.....52
Figure 3. 2 Schéma d'un moteur bipolaire.....53
Figure 3. 3 Schéma d'un moteur unipolaire.....54
Figure 3. 4 Fonctionnement en pas entier à réluctance variable.....56
Figure 3. 5 Fonctionnement en mode « High Torque » à réluctance variable.....56
Figure 3. 6 Fonctionnement en mode demi pas à réluctance variable.....57
Figure 3. 7 Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent.....58
Figure 3. 8 Fonctionnement en pas entier à aimant permanent.....58
Figure 3. 9 Fonctionnement en mode « High Torque » à aimant permanent.....59
Figure 3. 10 Fonctionnement en mode demi pas m. à aimant permanent.....59
Figure 3. 11 Composition d'un moteur pas à pas hybride.....61
Figure 3. 12 Moteur pas à pas hybride en fonctionnement.....61
Figure 3. 13 Moteur pas à pas hybride 4 fils.....62
Figure 3. 14 Moteur pas à pas hybride 6 fils.....62
Figure 3. 15 Moteur pas à pas hybride 8 fils.....62

Chapitre 4 : Réalisation et Interprétation des Résultats

Figure 4. 1 Diagramme descriptif des blocs.....66
Figure 4. 2 Schéma de l'alimentation stabilisée.....67
Figure 4. 3 Schéma du mécanisme et ces rotations.....67
Figure 4. 4 Schéma du driver.....68
Figure 4. 5 Circuits imprimé du driver et implantation des composants.....69
Figure 4. 6 Régulateur de tension 7805.....69
Figure 4. 7 Dissipateur thermique.....70
Figure 4. 8 Schéma du 74LS86.....70
Figure 4. 9 Schéma du 74LS73.....71
Figure 4. 10 Schéma de l'ULN2803A et chaque paire de Darlington.....72
Figure 4. 11 Port RS-232 USB.....72
Figure 4. 12 Schéma de montage du PIC16F628A.....73
Figure 4. 13 Circuits imprimé de l'adaptation et implantation des composants.....74
Figure 4. 14 Schéma du champ de vision FOV.....74
Figure 4. 15 Les cas possible de captage.....75
Figure 4. 16 Image acquise par la caméra.....76
Figure 4. 17 Localiser et déterminer la position du soleil.....76
Figure 4. 18 Détermination de l'angle nécessaire pour diriger le panneau solaire.....77
Figure 4. 19 Détermination le sens nécessaire pour diriger le panneau solaire.....77
Figure 4. 20 Action des moteurs après le premier essai.....78
Figure 4. 21 Image acquise, localisation et déterminer la position du soleil pour le deuxième essai.....78
Figure 4. 22 Détermination du deuxième angle et le sens nécessaire pour diriger le panneau.....78
Figure 4. 23 Action des moteurs après le deuxième essai.....79
Figure 4. 24 Image acquise, localisation et déterminer la position du soleil.....79

Figure 4. 25 Détermination du troisième angle et le sens nécessaire pour diriger le panneau.....80
Figure 4. 26 Action des moteurs après le troisième essai.....80
Figure 4. 27 Le support désigné par SolideWorks. 81
Figure 4. 28 Le mécanisme réalisé.....81
Figure 4. 29 Le driver désigné par Proteus ISIS. 81
Figure 4. 30 Le driver réalisé.....82
Figure 4. 31 Test pratique. 83
Figure 4. 32 Image acquise par le test. 83
Figure 4. 33 Le taux de réussite de communication. 83

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 2 : Etude Mécanique

Tableau 2. 1 Principaux ajustement.....17
Tableau 2. 2 Les éléments de tolérancement de l'ajustement Axe et Fourche. 19
Tableau 2. 3 Les éléments de tolérancement de l'ajustement Axe et Articulation.....20
Tableau 2. 4 Les éléments de tolérancement de l'ajustement Arbre et Plateau.....21

Chapitre 3 : Moteur Pas à Pas

Tableau 3. 1 Alimentation d'un enroulement à la fois.....54
Tableau 3. 2 Alimentation de deux enroulements à la fois. 54
Tableau 3. 3 Séquence d'alimentation des enroulements. 54
Tableau 3. 4 Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas. 63

Chapitre 4 : Réalisation et interprétation des résultats

Tableau 4. 1 Table de fonction 74LS86.....71
Tableau 4. 2 Table de fonction 74LS73.....71
Tableau 4. 3 Description des pines de DB9. 73

INTRODUCTION GENERALE

En 1881, Camille FLAMARION, astronome français, en parlant du soleil a dit : "*la force silencieusement dispensée pour élever les réservoirs de pluie ... pour fixer le carbone des plantes, pour donner à la nature terrestre sa vigueur et sa beauté, a pu être évaluée à 238 milliards 314 millions de chevaux vapeurs ! Voilà le travail permanent du Soleil sur la Terre*".

Ces jours-ci la production d'électricité est généralement fournie par les combustibles fossiles tels que le charbon, le gaz naturel, le pétrole et le pouvoir aussi nucléaire. Certains des plus graves problèmes environnementaux d'aujourd'hui peuvent être liés à la production mondiale d'électricité basée principalement sur l'utilisation des ressources non-renouvelables.

L'objectif de base est d'exploiter le maximum d'énergie produite à partir de cellules photovoltaïques, en faisant l'ensemble des systèmes plus efficaces et rentables. La plupart des panneaux solaires sont statiquement alignés ; ils ont une position fixe à un certain angle vers le ciel. Par conséquent, la durée et l'intensité de la lumière du soleil n'éclaire directement sur le panneau solaire est considérablement réduit, résultant en une faible puissance de sortie du photovoltaïque (PV) des cellules. Un système de suivi solaire est la solution à ce problème car elle joue un rôle important dans l'optimisation globale de l'énergie solaire.

Afin d'assurer une puissance de sortie maximale à partir de cellules photovoltaïques, l'angle d'incidence de la lumière du soleil doit être constamment perpendiculaire au panneau solaire. Cela nécessite un suivi constant de mouvement apparent diurne du soleil quel que soit le temps et le lieu, et donc se développe un système de poursuite du soleil automatisé qui porte le panneau solaire et le positionne d'une manière telle que la lumière solaire directe est toujours concentré sur les cellules photovoltaïques.

Cette étude porte sur l'orientation d'un panneau solaire le long de la direction de la lumière du soleil, en utilisant deux moteurs pas à pas pour positionner le panneau solaire à travers une acquisition d'une image perpendiculairement aux rayonnes solaires, et transmit les données à partir d'un microcontrôleur PIC16F628a vers le prototype. L'objectif est de concevoir et mettre en œuvre un mécanisme à double axe pour un suivi automatisé en utilisant la conception de systèmes débarqués afin d'optimiser l'efficacité de la production globale d'énergie solaire.

Ce mémoire répond au plan suivant :

- Le premier chapitre, dans lequel on a parlé essentiellement sur l'énergie solaire et les outils de base impliqués dans les installations photovoltaïques.
- Le second chapitre on a étudié le mécanisme et appliqué les forces exigeantes.
- Le troisième chapitre étudie les moteur pas-à-pas avec ces différent type ainsi que leurs diverses technologie et leur mode de commande.
- Le dernier chapitre contient les résultats de la réalisation d'un prototype de suivi solaire et l'interprétation de ces résultats ainsi les essais expérimentaux.

En fin nous terminons par une conclusion générale sur le travail accompli et les perspectifs de ce travail.

Chapitre I



Energie Solaire

1.1 INTRODUCTION

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique et l'autre produit de l'électricité, et c'est cette dernière, énergie solaire photovoltaïque qui fait l'objet de ce chapitre.

Une installation photovoltaïque réussie passe par une conception et une réalisation rigoureuse avec des composantes qui répondent aux besoins et tiennent leurs promesses.

Ce chapitre propose des outils de base aux impliquée dans les installations photovoltaïques. On y trouve beaucoup d'information sur les composants – panneaux solaire et supports, pour bien comprendre leurs caractéristiques et des méthodes pour les sélectionner, les associer, les mettre en place et les entretenir.

Nous souhaitons à travers ce chapitre répondre aux questions de base qui se posent pour savoir ce qu'est l'énergie solaire, estimer ce qu'elle produit, pour quelles applications, et quel type de montage peut fonctionner dans un cas donné. Plus largement, nous nous interrogerons aussi sur la place du photovoltaïque dans le développent durable, car c'est aujourd'hui un enjeu majeur qui peut modifier nos choix.

1.2 Energie Solaire

L'exploitation photovoltaïque de l'énergie solaire, sujet de ce chapitre, consiste à convertir directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce fait des modules ou panneaux photovoltaïques, composés des cellules solaires ou des photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie.

Les cellules solaires et les modules photovoltaïques produisent de l'électricité en courant continu comme les batteries, et non pas comme des secteurs. Pour alimenter les appareils en courant alternatif ou pour se connecter au secteur et y injecter l'électricité produite à partir de l'énergie photovoltaïque, on a besoin de convertisseurs DC/AC qui produisent un courant alternatif à partir de continu, autrement dit des onduleurs, c'est le même qui l'on trouve dans un onduleur employer en informatique, sauf que dans un onduleur informatique, il y a en plus une batterie servant d'énergie de source. L'onduleur y stocker de l'énergie et la restitue en cas de coupeurs. L'onduleur photovoltaïque, lui, n'est qu'un convertisseur continu/alternatif.

Les tensions continues générées par les panneaux photovoltaïques disponibles sur le marché sont variable selon leur emploi : pour la charge des batteries au plomb, les panneaux sont en $12\,V$ ou $24\,V$, alors que pour la connexion au réseau leur tension est souvent plus élevée, $40\,V$ ou $72\,V$ par exemple, selon la taille de champ solaire qui sera construit et la tension d'entrée de l'onduleur [1].

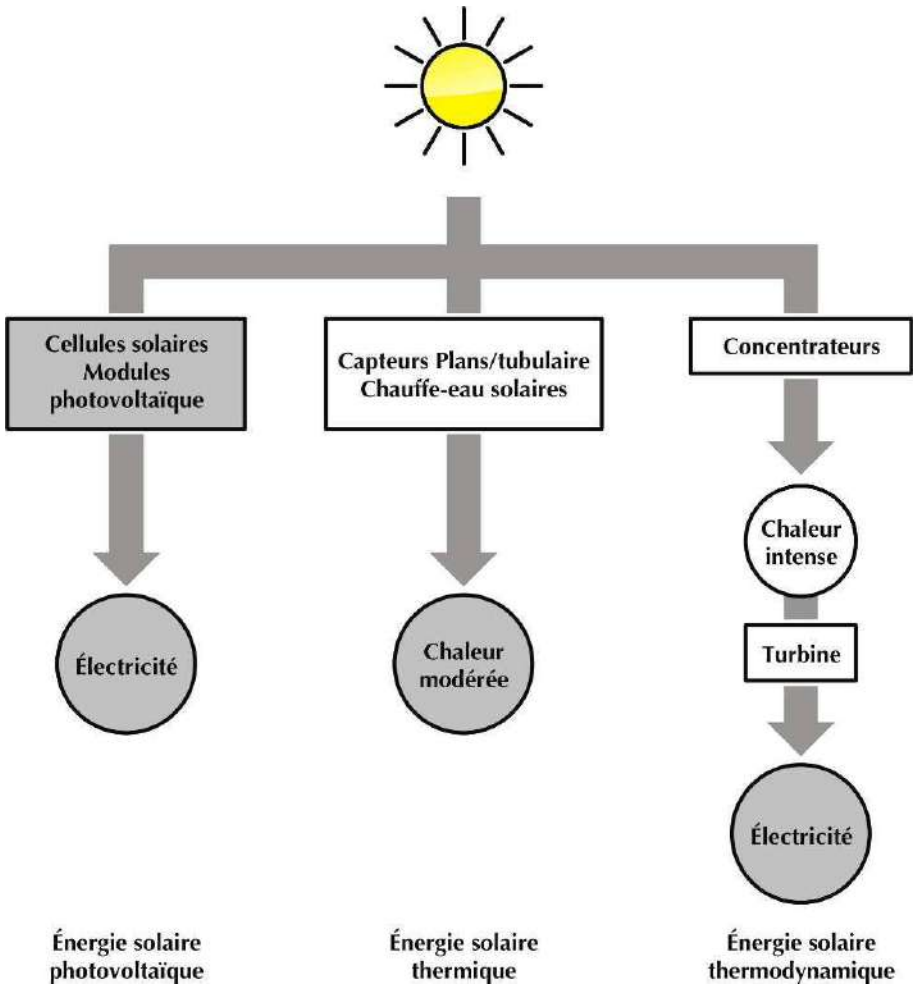


Figure 1. 1 Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.

1.3 Le rayonnement solaire terrestre

1.3.1 Géométrie de la terre/soleil

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000 Km. Il est situé à une distance moyenne de 149598000 Km de la terre. Composé de matière gazeuse, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium, il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 107 K [1].

1.3.2 Mouvement de la terre

La terre décrit autour de soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe un foyer. En fait la distance qui les sépare varie de $\pm 1.69\%$ au cours de l'année du fait de la légère excentricité de l'orbite terrestre ($e = 0.017$).

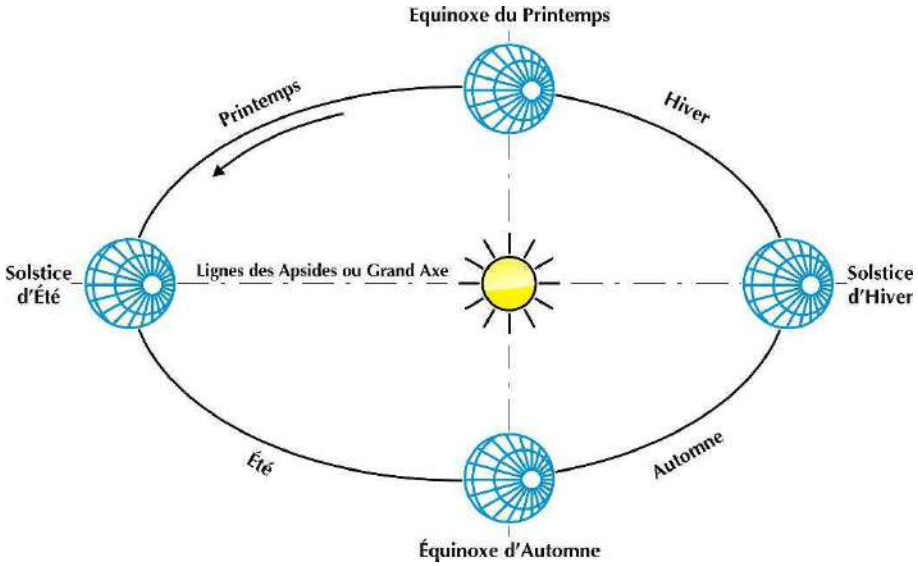


Figure 1. 2 Plan d'écliptique : l'orbite terrestre et les saisons.

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de 23° 27' par rapport au plan de l'orbite terrestre (plan de l'écliptique). On appelle déclinaison S l'angle formé par l'axe Terre/Soleil avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison vaut donc $+23° 27'$ au solstice d'été $-23° 27'$ au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes.

Cette déclinaison est responsable des saisons, car dons l'hémisphère Nord, les rayonnes nous parviennent avec un angle plus élevée en été, et plus bas sur l'horizon en hiver (c'est le contraire dans l'hémisphère sud). Elle explique aussi que les différences saisonnières soient plus marquées vers les hautes latitudes.

On sait également que l'activé solaire n'est pas constante est qu'elle subit des éruptions solaires, mais leurs conséquences ne dépassent pas 4% de variation d'intensité du rayonnement émis [1].

1.3.3 Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0° à 90° dans l'hémisphère nord).

Quant à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich (arc de cercle passant par les deux pôles et la ville de Greenwich en Angleterre) en se déplaçant vers l'est. La position du soleil est définie par deux angles :

- **Sa hauteur angulaire h** : l'angle entre la direction du soleil et le plan horizontale du lieu.
- **Son azimut a** : l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil, compté négativement vers l'est.

La figure 1.3 retrace la trajectoire décrites par le soleil le 28 mai 2014 ; pour un lieu donné (36° 15' 52.141" N, 2° 44' 54.493" E, Médéa, Algérie).

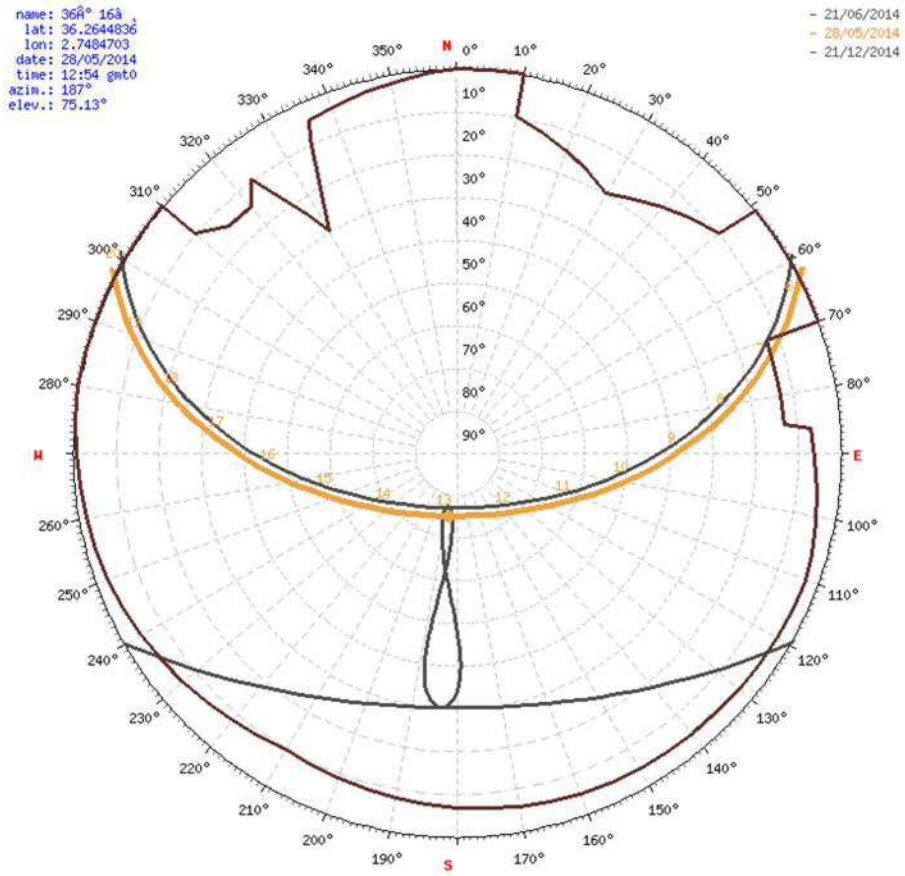


Figure 1. 3 Trajectoires du soleil (36° 15' 52.141" N, 2° 44' 54.493" E, Médéa, Algérie).

1.4 Les différentes cellules photovoltaïques

Suivant leur structure cristalline, on distingue trois catégories de cellules solaires. Les cellules solaires sont composées de semi-conducteurs utilisés lors de la fabrication de puces informatiques. Ces semi-conducteurs transforment la lumière en électricité. Un courant continu est ainsi produit et peut être transformé, au moyen d'un onduleur, en courant alternatif et peut être donc ainsi directement injecté dans le réseau d'électricité public. En général, les semi- conducteurs sont composés de silicium, l'un des éléments les plus présents sur la planète.

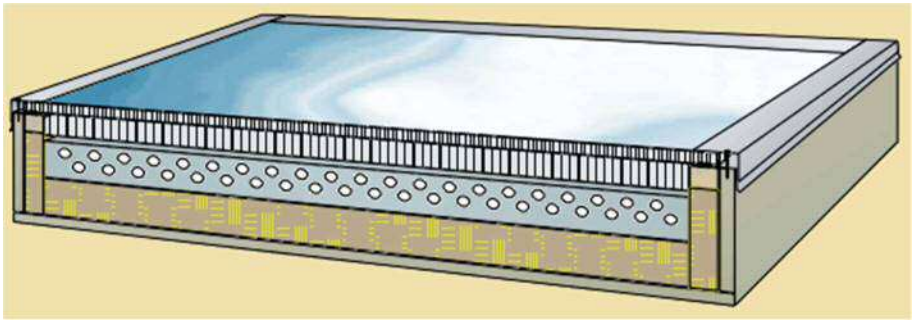


Figure 1. 4 Vue générale d'un panneau solaire.

Pour fonctionner, une cellule photovoltaïque a besoin de lumière. La lumière du soleil est constituée d'une infinité de radiations électromagnétiques qui se propagent par ondes. La décomposition de cette lumière blanche dans l'arc-en-ciel, ou par un prisme nous montre seulement la partie visible du spectre lumineux. Mais l'onde lumineuse véhicule aussi des « grains d'énergie » appelés photons [2].

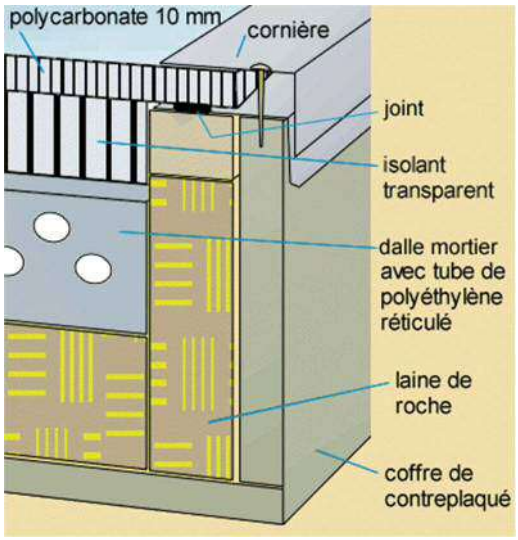


Figure 1. 5 Vue détaillée d'un panneau solaire.

Il faut aussi doper les plaques de silicium, c'est-à-dire créer une face N riche en électron et une face P pauvre en électrons. La surface de séparation s'appelle la jonction. Au voisinage de cette jonction le phénomène est complexe.

Pour simplifier, la jonction constitue une « barrière » empêchant les électrons de la face N d'aller vers les électrons de la face P.

Si l'on introduit des atomes de phosphore ayant 5 électrons de valence, 4 électrons de l'atome forment des liaisons avec l'atome de silicium et il en reste 1 qui pourra assurer la conduction. C'est un dopage de type (N), N comme négatif car la conduction se fera par les électrons supplémentaires.

Si l'on introduit des atomes de bores ayant 3 électrons de valence, 3 électrons de l'atome forment des liaisons avec l'atome de silicium et il y a un « manque » d'électron que l'on appelle trou positif.

Des électrons de valence peuvent venir occuper ces trous, en libérant eux- mêmes des places pour assurer la conduction. C'est un dopage de type (P), P comme positif car la conduction se fera par des trous.

Quand le flux de photons arrive sur les cristaux, de l'énergie est absorbée. On génère des porteurs de charge au voisinage de la jonction : une différence de potentiel apparaît entre les deux faces de la cellule, c'est l'effet photovoltaïque.

1.4.1 Les cellules monocristallines

Ces cellules sont composées d'un seul cristal divisé en deux plaques ultrafines, dopées et connectées entre elles. Elles permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15% à 20%. Ces cellules monocristallines souffrent néanmoins de deux inconvénients.

Premièrement, leur prix reste élevé et deuxièmement, la durée d'amortissement énergétique reste élevée (c'est-à-dire le temps durant lequel une cellule solaire doit produire de l'énergie pur « rembourser » l'énergie nécessaire à sa production. Cette durée peut aller jusqu'à 7 ans.

1.4.2 Les cellules poly-cristallines

Ces cellules ressemblent beaucoup aux cellules monocristallines, mais sont composées d'un agglomérat de cristaux et non pas d'un seul cristal pur, dès lors les plaques sont hétérogènes et les rendements un peu plus faibles, de l'ordre de 10% à 15%. Le seul avantage est que sa production nécessite moins d'énergie et son prix d'achat plus bas.

1.4.3 Les cellules amorphes

On parle de cellules amorphes ou à couches fines lorsque la couche de silicium ne dépasse pas les 1 µm (épaisseur d'un cheveu humain 50 à 100 µm). La production est peu coûteuse grâce à de moindre frais en matériaux.

En revanche, le rendement des cellules amorphes est largement inférieur à celui des autres types de cellules. Les cellules amorphes sont généralement utilisées dans des appareils portables (montre, calculatrice…) ou comme éléments de façade.

1.5 Fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.

Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans Le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et La zone initialement dopée P chargée négativement.

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P.

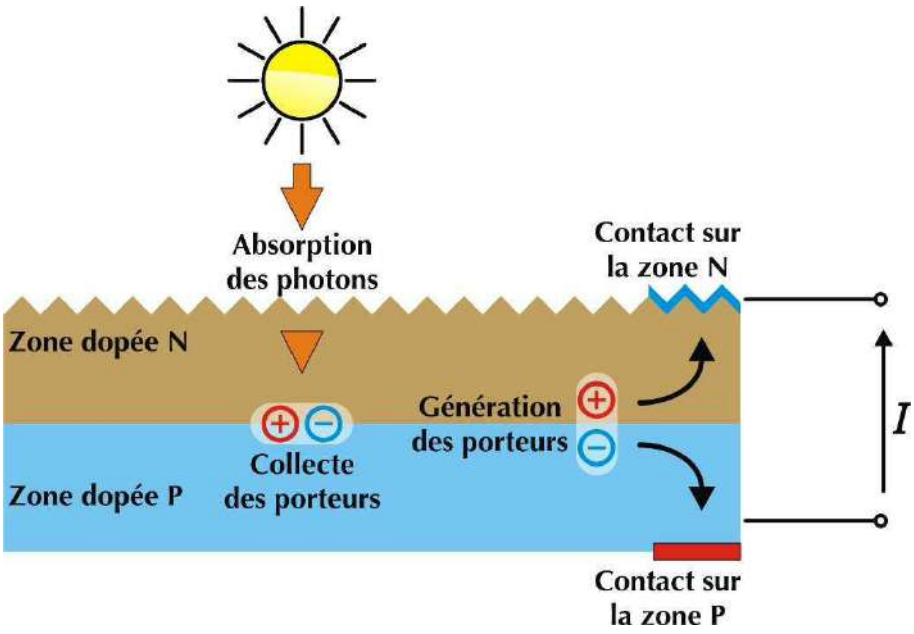


Figure 1. 6 Le courant électrique circule.

Une jonction (dite P-N) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones N et P, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou.

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel.

L'effet repose donc à la base sur Les propriétés semi-conductrices du matériau et son dopage afin d'en améliorer la conductivité. Le silicium employé aujourd'hui dans la plupart des cellules a été choisi pour la présence de quatre électrons de valence sur sa couche périphérique (colonne IV du tableau de Mendeleïev).

Dans Le silicium solide, chaque atome — dit tétravalent — est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons. Si un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne V (phosphore par exemple), un de ses cinq électrons de valence ne participe pas aux liaisons ; par agitation thermique, il va très vite passer dans la bande de conduction et ainsi devenir libre de se déplacer dans le cristal, laissant derrière lui un trou fixe lié à l'atome de dopant. Il y a conduction par un électron, et le semi-conducteur dit dopé de type N.

Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne Iii (bore par exempte) à trois électrons de valence, il en manque un pour réaliser toutes les liaisons, et un électron peut rapidement venir combler ce manque et occuper l'orbitale vacante par agitation thermique.

Lien résulte un trou dans la bande de valence, qui va contribuer à la conduction, et le semi-conducteur est dit dopé de type P. Les atomes tels que le bore ou le phosphore sont donc des dopants du silicium. Les cellules photovoltaïques sont assemblées pour former des modules.

1.6 Supports des panneaux solaires

1.6.1 Cadre mono-pièce

Cadre servant de support pour l'installation de panneaux solaires photovoltaïques, à fixer sur sols/toitures plates ou légèrement inclinées. L'angle du support est réglé à 30°. La fixation du cadre est réalisée par chevilles ou goujons appropriés passant à travers les ouvertures des équerres.

Le système est constitué de deux cadres mono-pièces pliés à plat pour faciliter le stockage et la manutention. D'autres configurations (capacité de charge et angles) sur demande. Le montage est serre de fixer le cadre au bâti en premier coté charnière, ensuite le soulever et terminer en fixant l'équerre 90° [3].

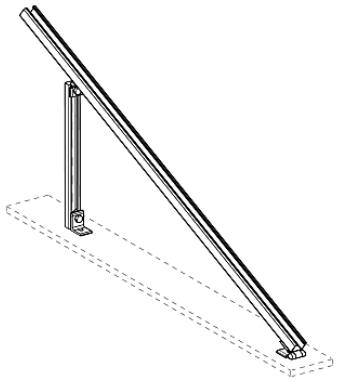


Figure 1. 7 Cadre mono-pièce.

1.6.2 Rail d'installation 41

Pour la construction simple et rapide de traverses, consoles, portiques, chaises et cadres de supports divers sur chantier, ou dans des ateliers de préfabrication. Servent à la réalisation de structures de support pour panneaux solaires, en particulier pour des installations à l'extérieur dans des régions soumises aux fluctuations de température et d'humidité, ou de pollution atmosphérique, importantes. Cette pièce est livrée en barres de 6 mètres pour découpe sur chantier.

Tous les rails 41 disposent de bords intérieurs retournés et crantés, assurant des fixations sans risques de glissement ou de déplacement sous les effets de charge, et avec repères gravés sur les flancs pour faciliter les mesures et découpes. Les versions de rails doubles sont préassemblées en usine par un système de poinçonnage breveté qui n'entame pas la couche de galvanisation, évitant ainsi tout point potentiel de corrosion. Les rails 41 sont compatibles avec toute la gamme d'accessoires en finition galvanisée à chaud et haute résistance à la corrosion (écrous-rails, équerres, consoles, accessoires solaire… etc.).

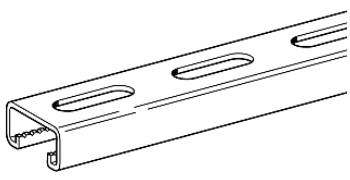


Figure 1. 8 Rail d'installation.

1.6.3 Attache périphérique

Attache encliquetable[1] dans les rails servant de structure de support pour panneaux solaires photovoltaïques dépourvus de cadre, la pièce se posant aux bords périphériques du premier et du dernier panneau dans une batterie pour en assurer le maintien. Tout risque de contact entre les pièces métalliques du panneau et de l'attache est éliminé grâce aux profilés intégrés en élastomère. Adaptée aux panneaux solaires dépourvus de cadre d'épaisseurs comprises entre 6 et 10mm. Pièce complète fournie préassemblée, composée d'un écrou-rail rapide auto positionnant, et plaques d'attache.

Pour assembler, il faut pousser la pièce dans l'ouverture du rail 41 en appuyant légèrement sur la tête de la vis (l'écrou-rail s'enclenchera automatiquement sous l'effet du ressort plat). Pousser le panneau contre l'attache en insérant le rebord dans l'attache et terminer en serrant la vis.

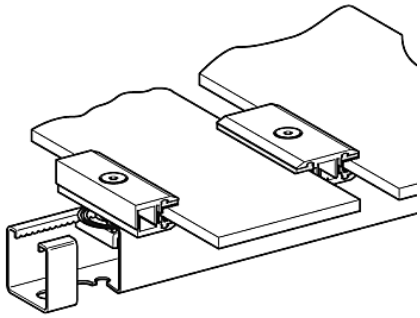


Figure 1. 9 Attache périphérique.

1.6.4 Attache intermédiaire

Attache encliquetable dans les rails 41 servant de structure de support pour panneaux solaires photovoltaïques dépourvus de cadre, la pièce s'intercalant entre deux panneaux adjacents pour en assurer le maintien. Tout risque de contact entre les pièces métalliques du panneau et de l'attache est éliminé grâce aux profilés intégrés en élastomère. Adaptée aux panneaux solaires dépourvus de cadre d'épaisseurs comprises entre 6 et 10 mm. Cette pièce complète fournie préassemblée, composée d'un écrou-rail rapide auto positionnant, et plaques d'attache.

Et pour leur assemblage il faut pousser la pièce dans l'ouverture du rail 41 en appuyant légèrement sur la tête de la vis (l'écrou-rail s'enclenchera automatiquement sous l'effet du ressort plat), et la coulisser en position contre le précédent panneau installé. Poser le panneau suivant sur le cadre en rail en insérant le rebord du panneau dans l'attache et terminer en serrant la vis.

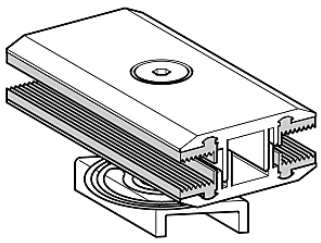


Figure 1. 10 Attache intermédiaire.

[1] *- dispositif ne tourner que dans un sens*

1.6.5 Attache panneau

Attache encliquetable dans les rails 41 pour la fixation rapide de panneaux solaires thermiques. La patte ajustable autorise la fixation de panneaux d'épaisseurs comprises entre 60 et 150mm. La pièce complète fournie pré assemblée, composée d'un écrou-rail rapide auto positionnant, et plaques d'attache. Et pour assembler, pousser la pièce dans l'ouverture du rail 41 en appuyant légèrement sur la tête de la vis (l'écrou-rail s'enclenchera automatiquement sous l'effet du ressort plat), et la coulisser en position.

Régler la patte coulissante sous la vis suivant les cotes extérieures du panneau à installer. Serrer la vis de fixation de la patte posée sur le rail pour la bloquer définitivement en position. Poser le panneau entre les quatre attaches et terminer l'installation en serrant les pattes coulissantes contre les rebords supérieurs du panneau.

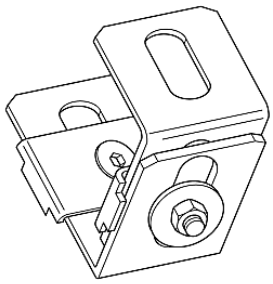


Figure 1. 11 Attache panneau.

1.6.6 Support terrasse

Système modulaire à base d'un profil carré pré-percé galvanisé à chaud 80 x 80 mm, pour la réalisation de portiques et cadres de soutènement à forte capacité de charge sur terrasses ou au sol.

Tous les assemblages sont effectués par vis auto-taraudantes, obviant le recours aux travaux de serrurerie, de soudure et de traitement de surface habituellement nécessaires avec des structures traditionnelles en fers U, H et I du commerce.

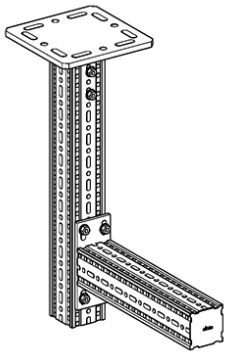


Figure 1. 12 Support terrasse.

Parmi les produits disponibles, une console-platine avec virole répondant aux normes DTU[2] permet la pose de structures surélevées en terrasse en facilitant les travaux de réfection de l'étanchéité de la toiture après travaux.

[2] - *Un document technique unifié (DTU) est un document applicable aux marchés de travaux de bâtiment en France. Il est établi par la « Commission Générale de Normalisation du Bâtiment/DTU » dont le Centre scientifique et technique du bâtiment assure le secrétariat.*

Cette barres de profil est carré 80x80 livrable par longueurs de 6 mètres, platines de jonction et accessoires divers à l'unité ou par conditionnements. Pour le montage, Assemblage par vis auto-taraudantes à l'aide d'un outil portatif électrique ou par clef manuelle.

1.6.7 Systèmes suiveur (tracker)

Un suiveur ou tracker est un champ de panneau montés sur une surface orientable sui suit la trajectoire du soleil selon un ou deux axes. Avec un seul axe, les panneaux peuvent être montés dans un plan incliné à angle fixe sur un poteau vertical qui va orienter le champ photovoltaïque en direction du soleil tout au long de la journée. L'axe peut également être dans le plan des panneaux inclinés qui vont alors basculer de l'est à l'ouest suivant le soleil.

Le suiveur à deux axes est une mécanique plus complexe qui garde le plan des panneaux perpendiculaire aux rayons du soleil quelle que soit sa position dans le ciel. L'orientation du plan perpendiculaire aux rayons du soleil est obtenue par la mesure du courant de quatre capteurs de lumière disposer de part et d'autre de parois d'ombrage les séparant. Les moteurs ou les systèmes hydrauliques entraînant l'orientation sont commandée par les différences de courant de chaque cellule de mesure ; dès que l'une d'entre elle est un petit peu ombrée le système va s'orienter pour compenser cette perte et remettre le système parfaitement dans l'axe du soleil. Évidemment ces systèmes sont plus intéressants quand il y a beaucoup de soleil direct, c'est-à-dire sous des climats peu nuageux.

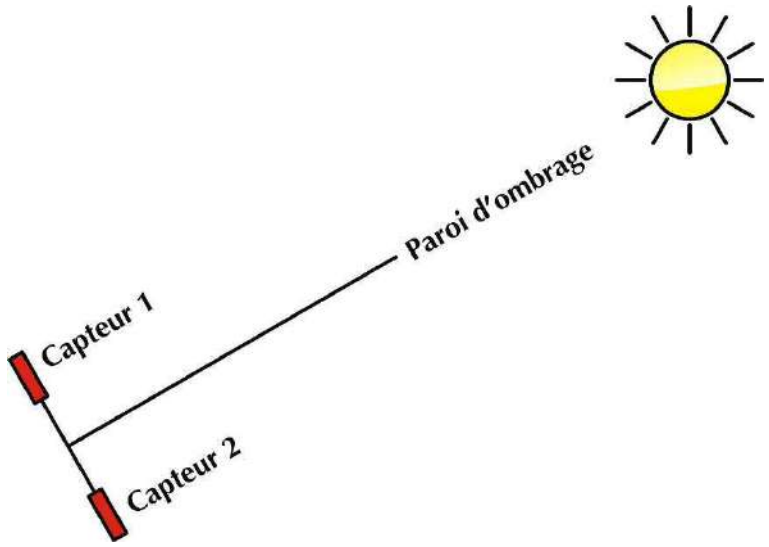


Figure 1. 13 Capteurs de lumière pour l'orientation de tracker.

Lorsque le soleil est caché par les nuages, les systèmes peuvent être orientés à l'horizontale pour capter un maximum d'énergie diffuse. Mais souvent par temps couvert, le système suit le soleil selon un mouvement pré programmé, l'inclinaison et l'orientation étant définie par l'heure et le jour de fonctionnement. La mise à l'horizontale des trackers est parfois choisie en cas de forts vents pour abaisser les efforts mécaniques [1].

1.7 CONCLUSION

L'énergie solaire est donc transformée en électricité grâce à l'effet photovoltaïque, qui consiste à créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule en libérant des électrons sous l'action des photons. Malgré tout, certains domaines d'applications semblent plus adaptés au photovoltaïque comme le spatial, les lieux isolés, les télécommunications, la « petite » électronique, nécessitant peu de puissance.

L'énergie solaire pourrait devenir l'énergie du futur si, d'une part son coût de production diminuait car, pour l'instant, seule une minorité de gens peuvent se procurer ces systèmes, et si d'autre part le rendement des cellules augmentait.

L'énergie solaire serait alors une énergie propre, économique et surtout rentable. Nous pouvons alors nous demander dans quelle mesure les énergies renouvelables peuvent-elles remplacer les énergies fossiles.

Chapitre II



Etude Mécanique

2.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, l'étude est présentée en deux parties :

- ❖ Analyse fonctionnelle des ajustements : On affecte à la pièce une cote nominale choisie autant que possible dans les dimensions linéaires nominales, et l'on définit chaque des deux dimensions limites par son écart par rapport à cette dimension nominale. Cet écart s'obtient en valeur absolue et en signe en retranchant la dimension nominale de la dimension limite considérée.
- ❖ L'étude statique : Par SolidWorks SimulationXpress ; est un outil d'analyse statique qui est inclus dans les solutions Standard et Professional. Il nous permet d'effectuer une analyse des contraintes de base sur des pièces individuelles. Nous pouvons déterminer rapidement les effets de la force et de la pression, et générer des rapports pour documenter les résultats.

2.2 Tolérance dimensionnelles des pièces

L'imprécision inévitable des procédées d'usinage fait qu'une pièce ne peut pas être réalisée de façon rigoureusement conforme aux dimensions fixées aux préalable. Il a donc fallu tolérer que la dimension effectivement réalisée soit compris entre deux dimensions limites, compatible avec une fonction correcte de la pièce [4].

2.2.1 Ajustement

Un ajustement est constitué par l'ensemble de deux pièces de même dimension nominale. Il est désigné par cette dimension nominale suivie des symboles correspondant à chaque pièce, en commençant par l'alésage. La position relative des tolérances détermine :

- Soit un ajustement avec Jeu.
- Soit un ajustement avec Serrage.
- Soit un ajustement Incertain, c'est-à-dire pouvant présenter tantôt un jeu, tantôt un serrage.

2.2.2 Choix d'ajustement

On détermine les jeux ou serrage limites compatibles avec un fonctionnement correct en évitant tout excès de précision inutile.

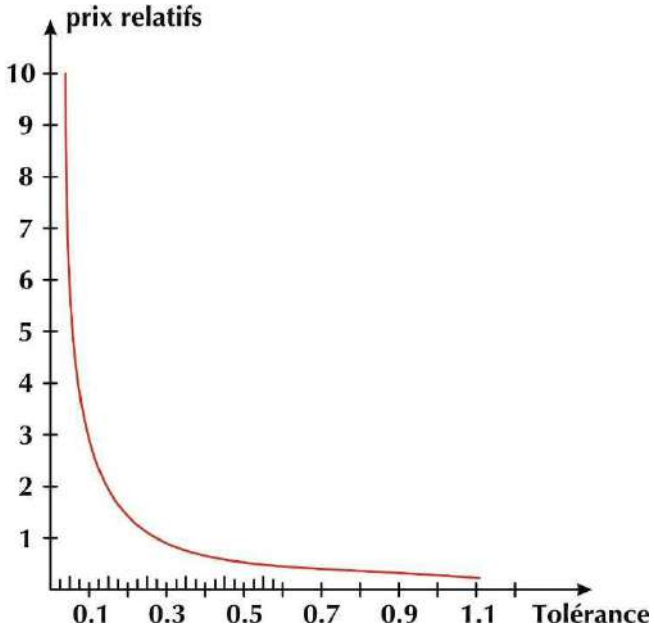


Figure 2. 1 Diagramme de prix approximatif d'un usinage en fonction de la tolérance.

On choisit dans les normes et de préférences dans les valeurs les plus correspondants utilisés, l'ajustement ISO qui comporte des jeux ou serrage aussi voisins que possible des valeurs précédemment déterminées [1].

Tableau 2. 1 Principaux ajustement.

	Principaux ajustement (FD R910-11)			Arbres	H6	H7	H8	H9	H11
Pièces mobiles l'une par rapport a l'autre	Pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu (dilatation, mauvais alignement, portées très longues, etc.)			c				9	11
				d				9	11
	Cas ordinaire des pièces tournant ou glissant dans une bague ou palier (bon graissage assuré)			e		7	8	9	
				f	6	6-7	7		
	Pièces avec guidage précis pour mouvement de fiable amplitude.			g	5	6			
Pièces immobiles l'une par rapport a l'autre	Démontage et remontage possible sans détérioration des pièces	L'emmanchement ne peut pas transmettre d'effort	Mise en place possible à la main	h	5	6	7	8	
				js	5	6			
			Mise en place au maillet	k	5				
				m		6			
	Démontage impossible sans détérioration des pièces	L'emmanchement peut transmettre des effort	Mis en place à la presse	p		6			
			Mise en place à la presse ou par dilatation (vérifier que les contraintes imposées au métal ne dépassent pas la limite élastique)	s			7		
				u			7		
				x			7		

2.2.3 Calcule d'ajustement

L'imprécision inévitable des procédés de fabrication et des machines utilisées font qu'une pièce fabriquée ne peut avoir des cotes rigoureusement exactes. S'il faut fabriquer une série d'objets identiques, il est impossible à une même forme d'avoir toujours exactement la même dimension d'un objet à l'autre. Une cote imposée sera plus facile à réaliser si elle peut varier entre deux valeurs limites : une cote maximale et une cote minimale.

La différence entre les deux s'appelle la tolérance, ou intervalle de tolérance. Plus la précision exigée est grande, plus l'intervalle de tolérance doit être petit.

L'interchangeabilité des objets ou composants est à la base de tous les produits manufacturés construits en série. N'importe quel composant interchangeable d'un mécanisme peut être démonté et remonté sur n'importe quel autre mécanisme du même type.

- **Cote Nominale :** cote théorique définie par le concepteur, qui sert de référence pour l'indication et l'inscription sur le dessin.
- **Ecart Supérieur :** valeur supérieur de l'écart par rapport à la cote nominale, nous le noterons **ES** pour les alésages et **es** pour les arbres.
- **Ecart Inférieur :** valeur inférieur de l'écart par rapport à la cote nominale, nous le noterons **EI** pour les alésages et **ei** pour les arbres.
- **Cote Maximale :** valeur de la cote nominale plus la valeur de l'écart supérieur.
- **Cote Minimale :** valeur de la cote nominale plus la valeur de l'écart inférieur.
- **Cote Moyenne :** valeur moyenne entre la cote maximale et la cote minimale.
- **Cote Effective :** Cote réalisée, elle doit être compris entre la cote maximale et la cote minimale.
- **Intervalle de tolérance :** la variation permise (tolérance, admissible) de la cote effective de la pièce, elle est égale à la différence entre l'écart supérieur et l'écart inférieur.
- **Système d'ajustement :**
    - **Ajustement avec jeu :** La cote effective de l'alésage est toujours supérieure à la cote effective de l'arbre. Les IT ne se chevauchent pas.
    - **Ajustement avec serrage :** La cote effective de l'arbre est toujours supérieure à la cote effective de l'alésage. Les IT ne se chevauchent pas.
    - **Ajustement incertain :** L'ajustement obtenu sera soit avec jeu, soit avec serrage. Les IT se chevauchent.

$$J_{max} = D_{max} - d_{min}$$

$$J_{min} = D_{min} - d_{min}$$

- D pour les Alésages
- d pour les arbres

2.2.3.1 Fourche et l'axe d'articulation, via Bague de bronze

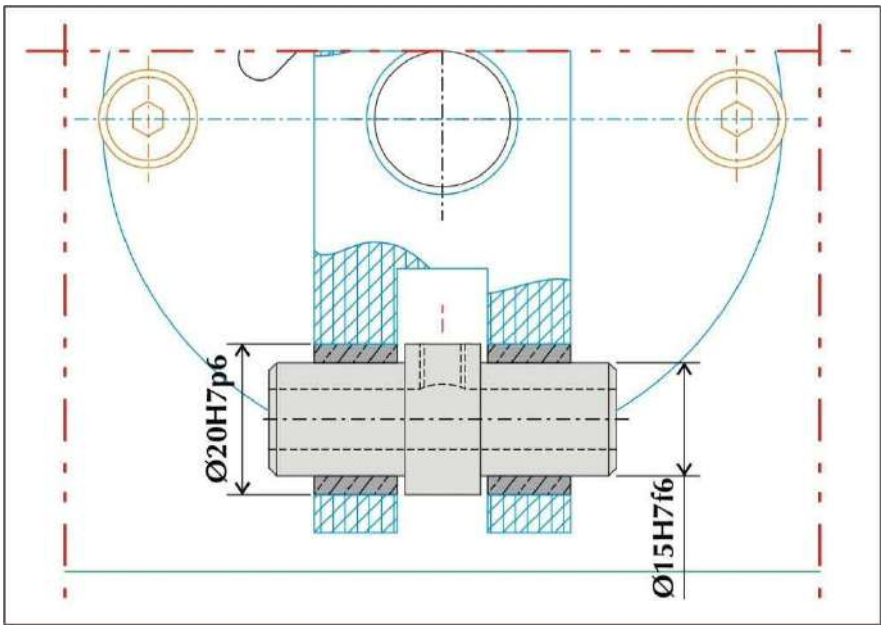


Figure 2. 2 Ajustement entre la fourche et l'axe.

- La première cote entre la fourche et la bague est : Ø20H7p6

$\mathbf{20H7 = 20^{+21}_{0}}$ $\mathbf{20p6 = 20^{+35}_{+22}}$

- La deuxième cote entre la bague et l'axe est : Ø15H7f6

$\mathbf{15H7 = 15^{+18}_{0}}$ $\mathbf{15f6 = 15^{-16}_{-27}}$

Tableau 2. 2 Les éléments de tolérancement de l'ajustement Axe et Fourche.

En [mm]	15H7	15f6	20H7	20p6
Cote Nominale	15	15	20	20
Ecart Supérieur	+0.018	-0.016	+0.021	+0.023
Ecart Inférieur	0	-0.027	0	+0.022
Cote Maximale	15.018	14.984	20.021	20.035
Cote Minimale	15	14.973	20	20.022
Cote Moyenne	15.009	14.978	20.01	20.028
Intervalle de tolérance	0.018	-0.043	0.021	0.057

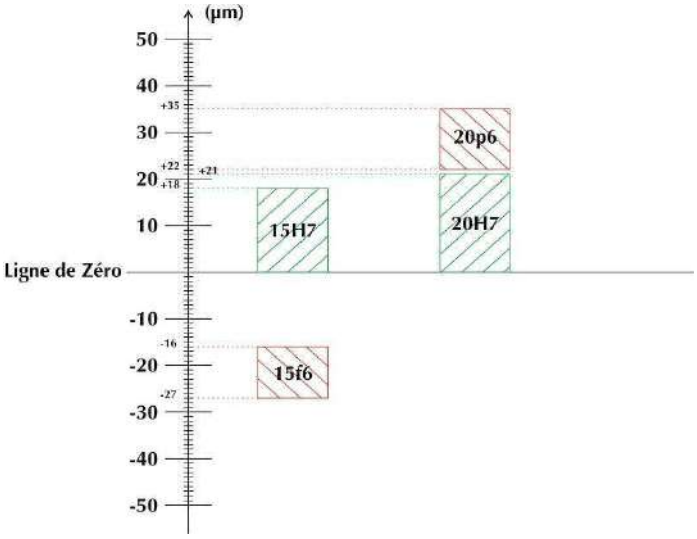


Figure 2. 3 La position de l'IT des cotes correspondants à la fourche et l'axe.

$$15H7f6\begin{cases} Jeu\ \max = 0.045 \\ jeu\ \min = 0.027 \end{cases}$$

L'ajustement avec **Jeu**

$$20H7p6\begin{cases} Jeu\ \max = -0.001 \\ Jeu\ \min = -\ 0.022 \end{cases}$$

L'ajustement avec **Serrage**

2.2.3.2 Axe d'articulation et l'articulation

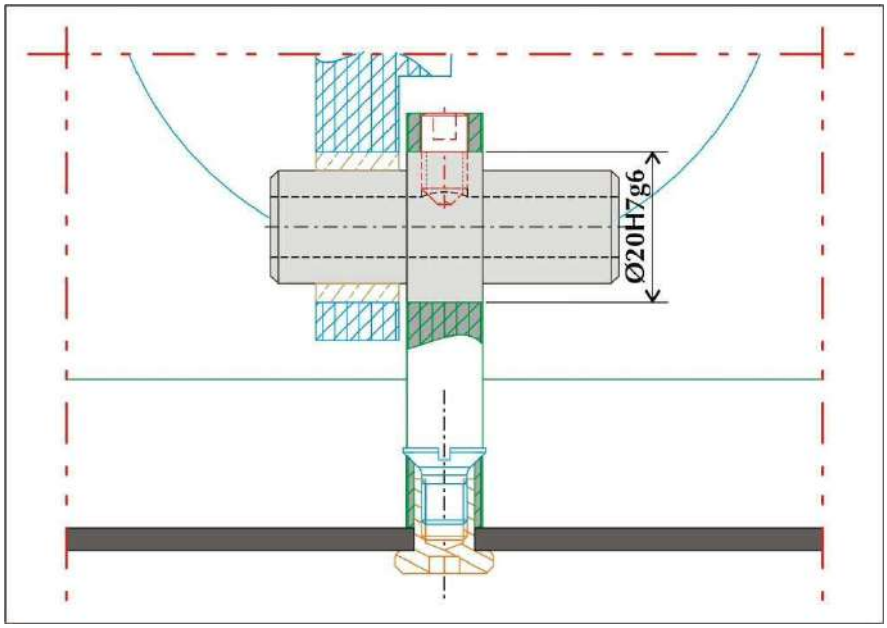


Figure 2. 4 Ajustement entre l'axe et l'articulation.

- La cote entre l'axe et l'articulation est Ø20H7g6

20H7 = 20_{0}^{+21} **20g6 = 20_{+8}^{+21}**

Tableau 2. 3 Les éléments de tolérancement de l'ajustement Axe et Articulation.

En [mm]	20H7	20g6
Cote Nominale	20	20
Ecart Supérieur	+0.021	-0.007
Ecart Inférieur	0	-0.02
Cote Maximale	20.021	19.993
Cote Minimale	20	19.98
Cote Moyenne	20.01	19.986
Intervalle de tolérance	0.021	-0.027

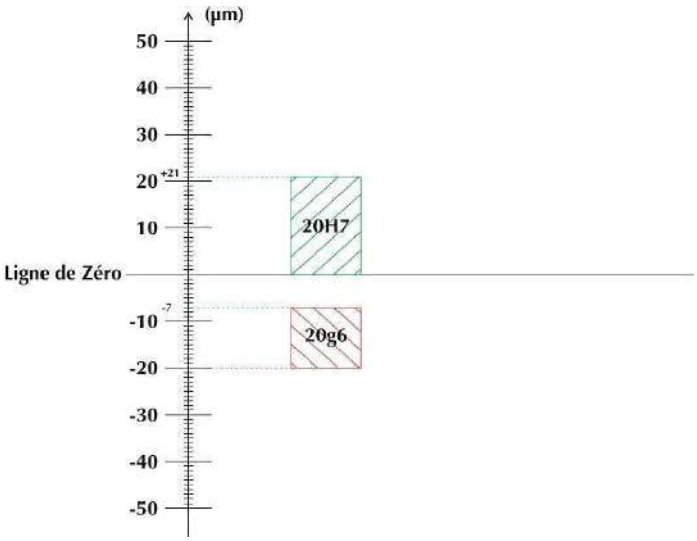


Figure 2. 5 La position de l'IT des cotes correspondants à l'articulation et l'axe.

$$15H7g6\begin{cases}Jeu\ \max = 0.041\\ jeu\ \min = -0.02\end{cases}$$

L'ajustement avec **Jeu**

2.2.3.3 Arbre principal et le plateau, via Bague de bronze avec épaule

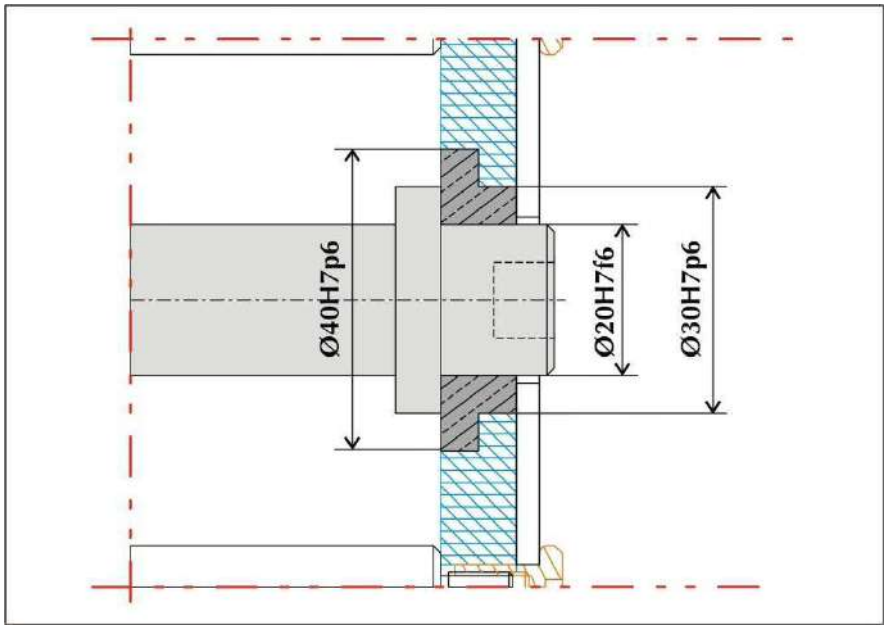


Figure 2. 6 Ajustement entre l'axe principal et le plateau.

- La première cote entre l'axe et l'articulation est Ø40H7p6

40H7 = 40_{0}^{+25} **40p6 = 40_{+26}^{+42}**

- La deuxième cote entre l'axe et l'articulation est Ø30H7p6

30H7 = 30_{0}^{+21} **30p6 = 30_{+26}^{+42}**

- La troisième cote entre l'axe et l'articulation est Ø20H7f6

20H7 = 20_{0}^{+21} **20f6 = 20_{-33}^{-20}**

Tableau 2. 4 Les éléments de tolérancement de l'ajustement Arbre et Plateau.

En [mm]	40H7	40p6	30H7	30p6	20H7	20f6
Cote Nominale	40	40	30	30	20	20
Ecart Supérieur	+0.025	+0.042	+0.021	+0.042	0.021	-0.020
Ecart Inférieur	0	+0.026	0	+0.026	0	-0.033
Cote Maximale	40.025	40.042	30.021	30.042	20.021	19.98
Cote Minimale	40	40.026	30	30.026	20	19.967
Cote Moyenne	40.01	40.008	30.01	30.008	20.01	19.932
Intervalle de tolérance	0.025	0.068	0.021	0.068	0.021	-0.053

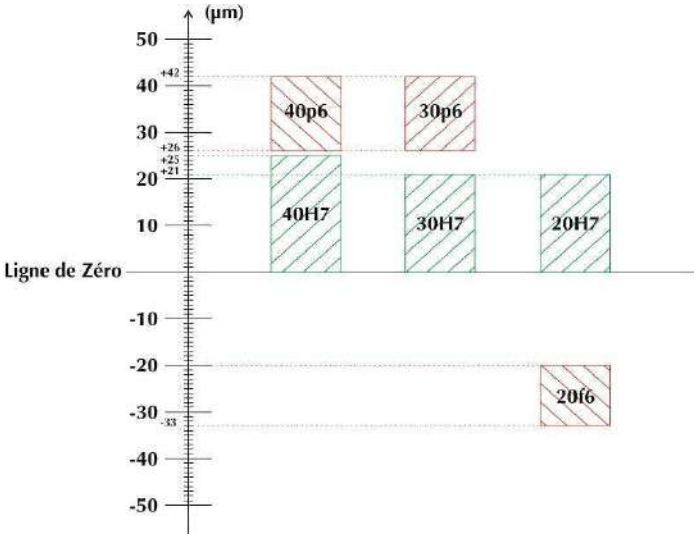


Figure 2. 7 La position de l'IT des cotes correspondants à l'arbre principal et le plateau.

$40H7p6\begin{cases} Jeu\ \max = -0.001 \\ jeu\ \min = -\ 0.026 \end{cases}$

L'ajustement avec **Serrage**

$30H7p6\begin{cases} Jeu\ \max = -0.005 \\ jeu\ \min = -\ 0.026 \end{cases}$

L'ajustement avec **Serrage**

$20H7f6\begin{cases} Jeu\ \max = 0.054 \\ jeu\ \min = 0.033 \end{cases}$

L'ajustement avec **Jeu**

2.3 Caractéristique des pièces

2.3.1 Arbre principale

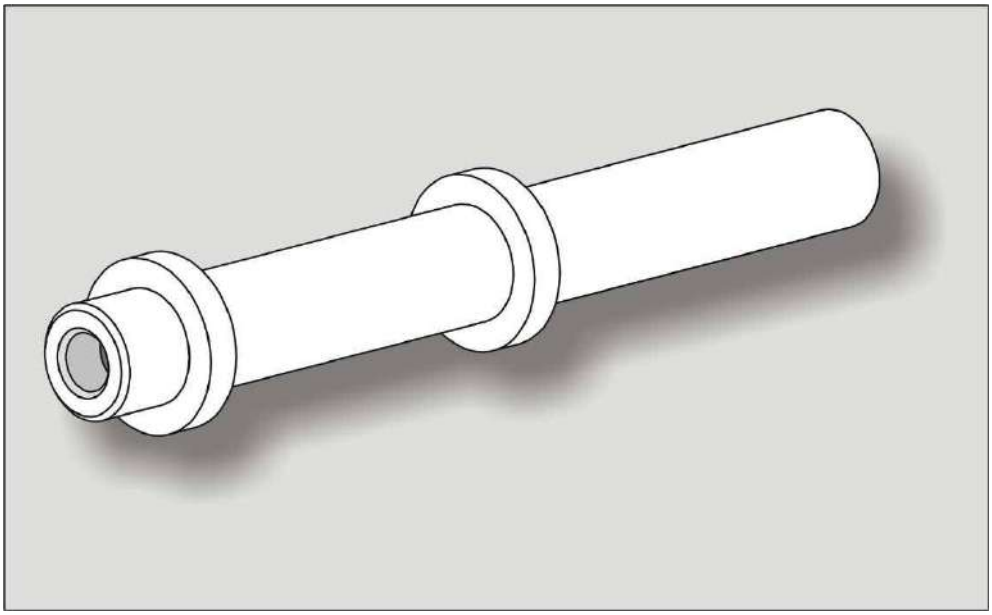


Figure 2. 8 Arbre principale.

- Masse = 75.00 g
- Volume = 59848.39 mm^3
- Superficie = 13949.60 mm^2
- Centre de gravité: (mm)
  X = -6.08
  Y = 0.00
  Z = 0.00

- Principaux axes et moments d'inertie: ($g \cdot mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 4444.82
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 194951.14
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 194951.14

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

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

Lxx = 4444.82	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 194951.14	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 194951.14

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 4444.82	Ixy = 0.00	Ixz = 0.00
Iyx = 0.00	Iyy = 197719.63	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 197719.63

2.3.2 Axe d'articulation

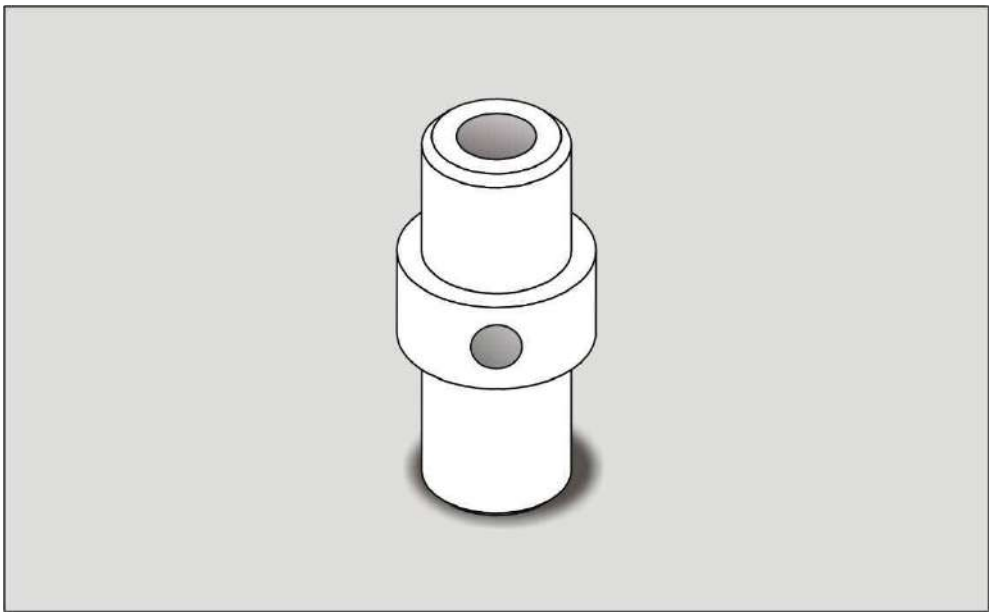


Figure 2. 9 Axe d'articulation.

- Masse = 8.74 g
- Volume = 6971.02 m^3
- Superficie = 4012.30 mm^2
- Centre de gravité : (mm)
  X = 2.30
  Y = -0.17
  Z = -0.00

- Principaux axes et moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (1.00, -0.00, -0.00)	Px = 383.42
Iy = (-0.00, 0.00, -1.00)	Py = 1456.69
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 1467.24

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

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

Lxx = 383.42	Lxy = -0.02	Lxz = -0.00
Lyx = -0.02	Lyy = 1467.24	Lyz = -0.05
Lzx = -0.00	Lzy = -0.05	Lzz = 1456.69

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 383.67	Ixy = -3.44	Ixz = -0.02
Iyx = -3.44	Iyy = 1513.49	Iyz = -0.05
Izx = -0.02	Izy = -0.05	Izz = 1503.19

2.3.3 Fourche

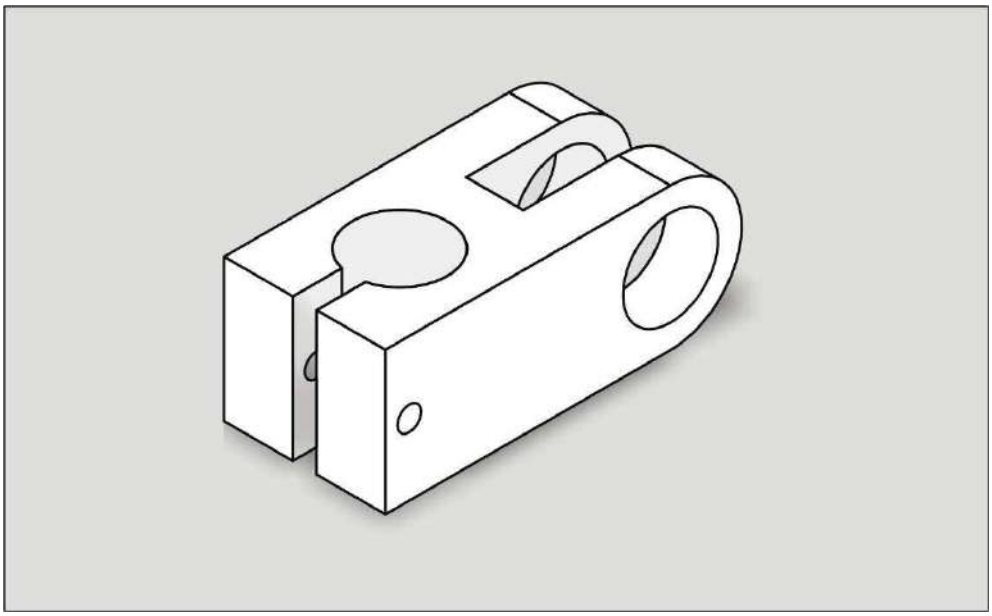


Figure 2. 10 Fourche.

- Masse = 59.05 g
- Volume = 47121.26 mm^3
- Superficie = 14600.99 mm^2
- Centre de gravité : (mm)
  X = -6.70
  Y = 15.00
  Z = 0.00

- Principaux axes et moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 13855.18
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 26868.34
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 31290.34

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

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

Lxx = 13855.18	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 31290.34	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 26868.34

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 27141.96	Ixy = -5937.85	Ixz = 0.00
Iyx = -5937.85	Iyy = 33943.96	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 42808.74

2.3.4 Plateau

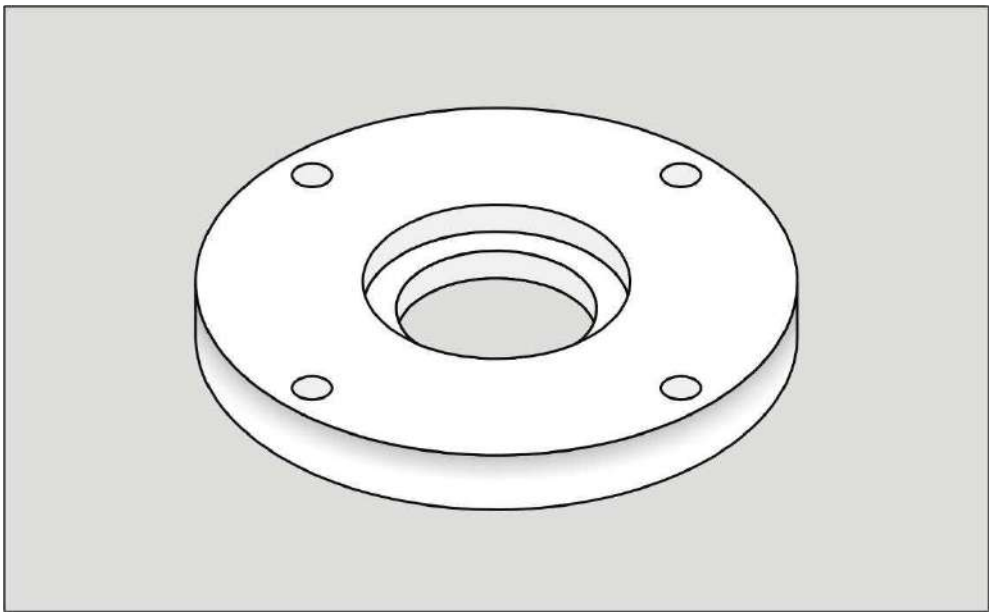


Figure 2. 11 Plateau.

- Masse = 64.90 g
- Volume = 51789.15 mm^3
- Superficie = 15839.91 mm^2
- Centre de gravité : (mm)
  X = 0.00
  Y = 4.87
  Z = 0.00

- Principaux axes et moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (0.00, 0.00, 1.00)	Px = 37937.69
Iy = (1.00, 0.00, 0.00)	Py = 37937.69
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 74795.97

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

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

Lxx = 37937.69	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 74795.97	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 37937.69

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 39475.27	Ixy = 0.00	Ixz = 0.00
Iyx = 0.00	Iyy = 74795.97	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 39475.27

2.3.5 La tôle de la base et celle du panneau

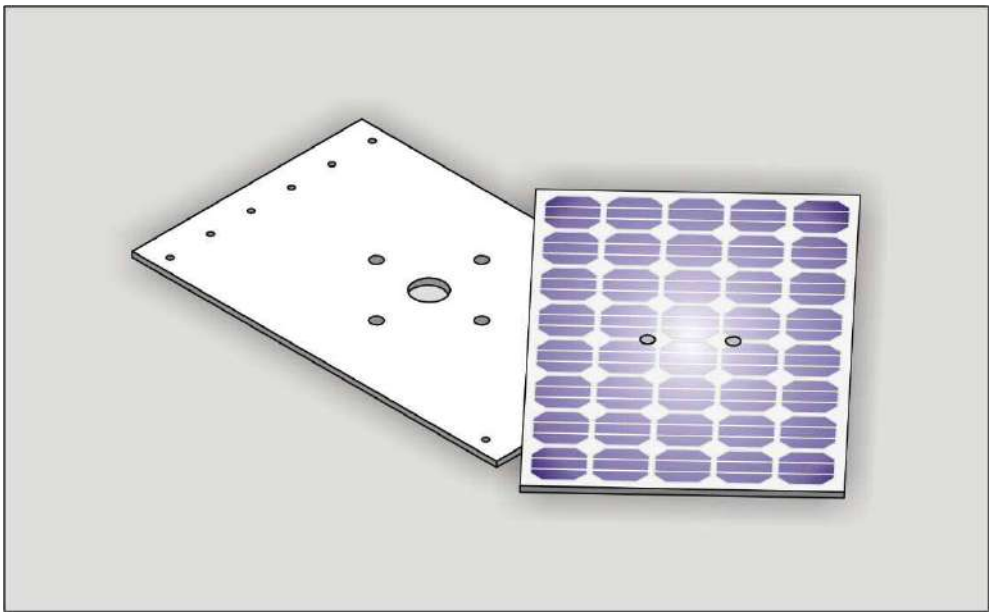


Figure 2. 12 Tôle de la base et du support.

- Masse = 250.98 g
- Volume = 183197.88 mm^3
- Superficie = 95320.00 mm^2
- Centre de gravité : (mm)
  X = 0.00
  Y = 2.00
  Z = 0.00

- Principaux axes et moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 605826.44
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 1528389.34
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 2133546.49

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

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

Lxx = 605826.44	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 2133546.49	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 1528389.34

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 606830.36	Ixy = 0.00	Ixz = 0.00
Iyx = 0.00	Iyy = 2133546.49	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 1529393.26

2.3.6 Tube soudé rectangulaire

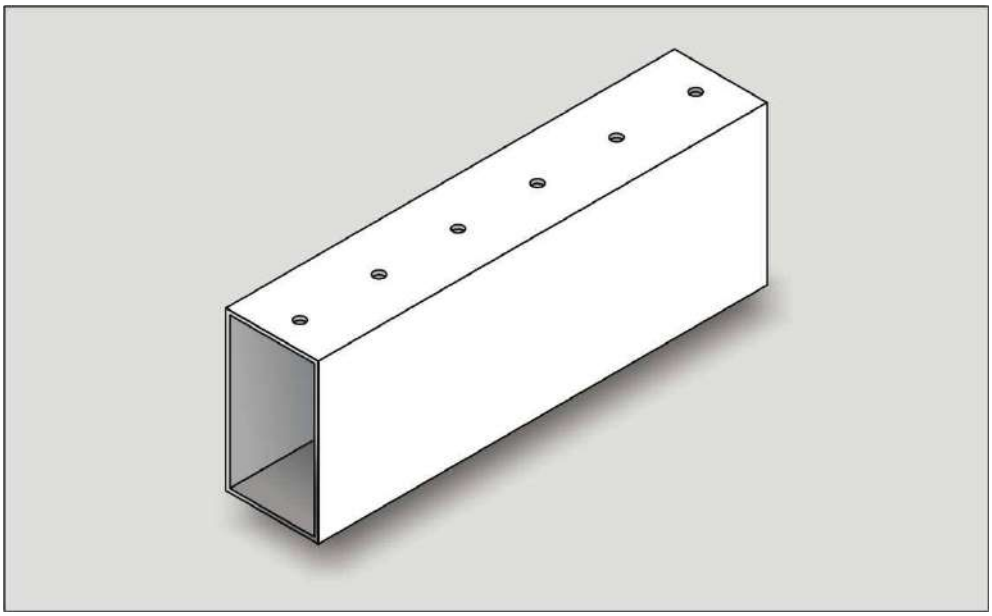


Figure 2. 13 Tube soudé rectangulaire.

- Masse = 360.41 g
- Volume = 46806.90 mm^3
- Superficie = 63074.30 mm^2
- Centre de gravité : (mm)
  X = -0.00
  Y = -0.07
  Z = 0.00

- Principaux axes et moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au centre de gravité.

Ix = (0.00, 0.00, 1.00)	Px = 254348.49
Iy = (0.00, -1.00, 0.00)	Py = 944678.00
Iz = (1.00, 0.00, 0.00)	Pz = 1045281.39

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

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

Lxx = 1045281.39	Lxy = -12.77	Lxz = 0.00
Lyx = -12.77	Lyy = 944678.00	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 254348.49

- Moments d'inertie : ($g \cdot mm^2$)

Pris au système de coordonnées de sortie.

Ixx = 1045283.19	Ixy = -12.74	Ixz = 0.00
Iyx = -12.74	Iyy = 944678.00	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 254350.29

2.4 Analyse Statique

2.4.1 Simulation de l'Arbre principal

2.4.1.1 Information sur le modèle

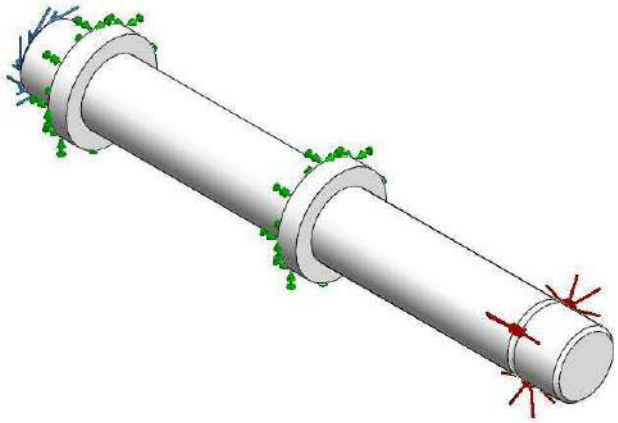


Figure 2. 14 le modèle (arbre).

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
révolution 	Corps volumique	Masse:0.0748836 kg Volume:5.97539e-005 m^3 Masse volumique:1253.2 kg/m^3 Poids:0.733859 N	E:\..\Arbre.SLDPRT Mars 14 2014 a 09:26:53

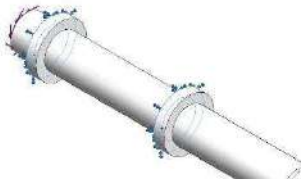
2.4.1.2 Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude statique - arbre principal -
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Type de solveur	FFE Plus
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Activé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)

2.4.1.3 Propriétés du matériau

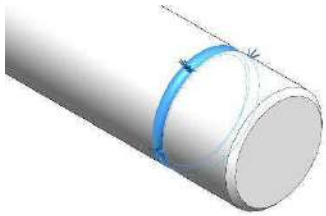
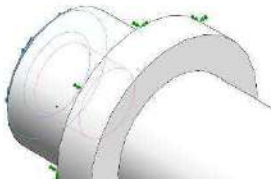
Référence du modèle	Propriétés		Composant
	Nom :	PTFE (Polytétrafluoréthylene)	
	Type de modèle :	Linéaire élastique isotropique	Corps volumique (révolution)
	Limite d'élasticité :	3.14e+008 N/m^2	
	Module d'élasticité :	3.14e+008 N/m^2	
	Coefficient de Poisson :	0.46	
	Masse volumique :	1253.2 kg/m^3	
	Coefficient de dilatation thermique :	11 /Kelvin	

2.4.1.4 Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe		Entités : 2 face(s) Type : Géométrie fixe

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.35301	0.334473	-1.94269	2.00263
Moment de réaction (N·m)	0	0	0	0

Pression		Entités : 1 face(s) Type : Normal à la face sélectionnée Valeur : 314 Unités : N/m^2
Couple		Entités : 1 face(s) Référence : Face< 1 > Type : Moment de torsion Valeur : 628 $N \cdot m$

2.4.1.5 Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé	Maillage standard
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	3.91077 mm
Tolérance	0.195539 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de nœuds	11472
Nombre total d'éléments	7059
Aspect ratio maximum	6.5162
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	98
Durée de création du maillage (hh;mm;ss)	00:00:03

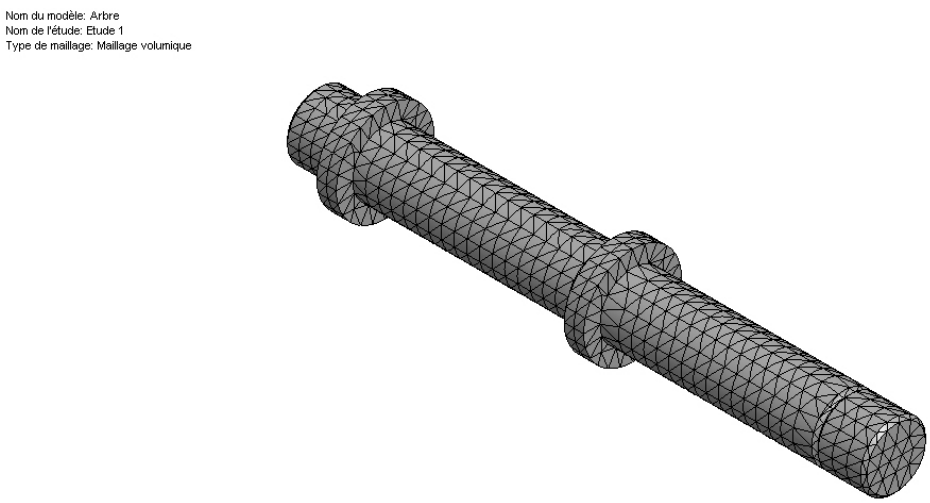


Figure 2. 15 Le maillage du modèle (arbre).

2.4.1.6 Interprétation des résultats

2.4.1.6.1 Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-0.35301	0.334473	-1.94269	2.00263

2.4.1.6.2 Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	0.0730278 N/m^2 Noeud : 8085	2.33344e+008 N/m^2 Nœud: 10967

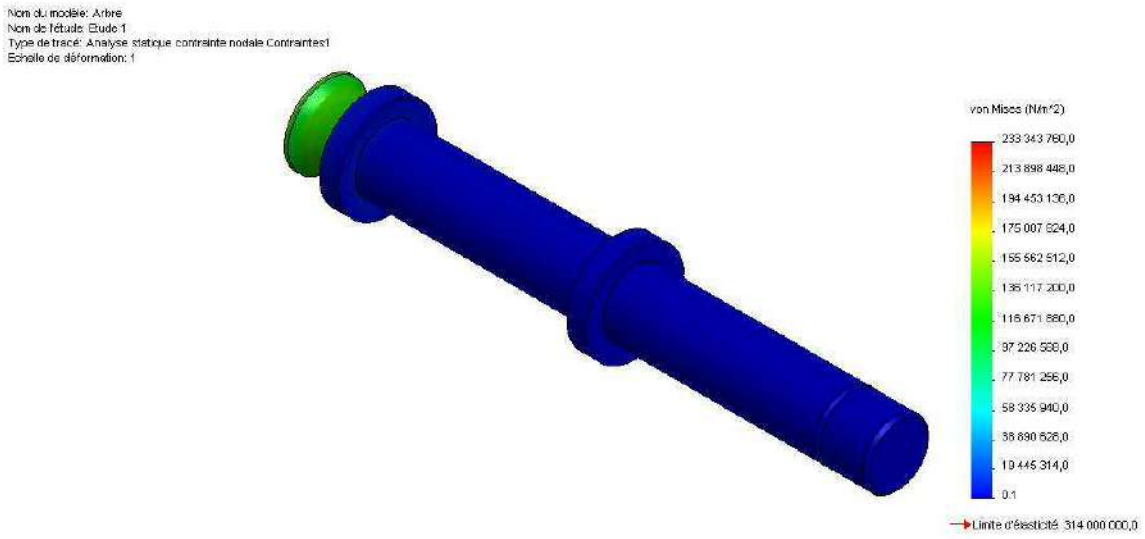


Figure 2. 16 Contraintes du modèle (arbre).

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 122	10.4288 mm Noeud: 10929

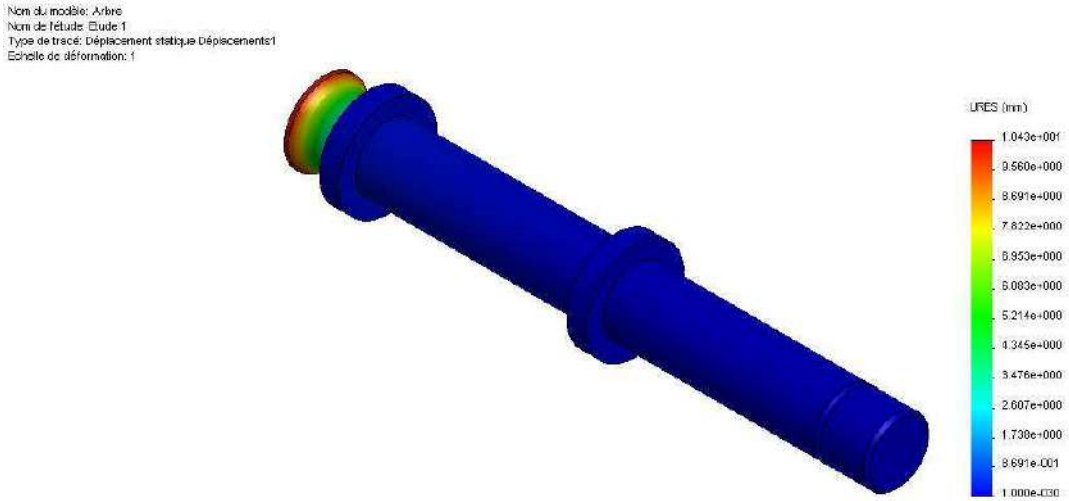


Figure 2. 17 Déplacement du modèle (arbre).

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	1.73597e-010 Elément: 130	0.605931 Elément: 2146

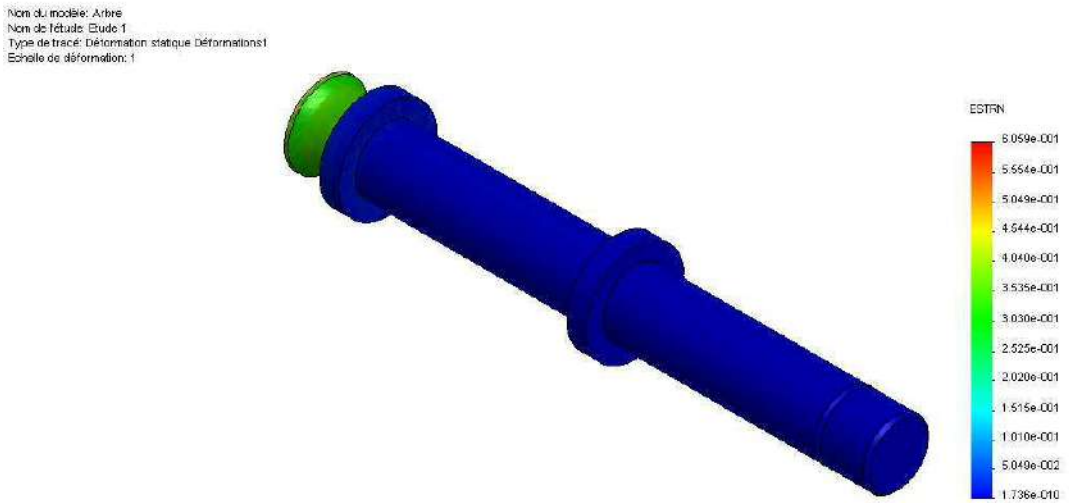


Figure 2. 18 Déformations du modèle (arbre).

2.4.2 Simulation de l'articulation

2.4.2.1 Informations sur le modèle

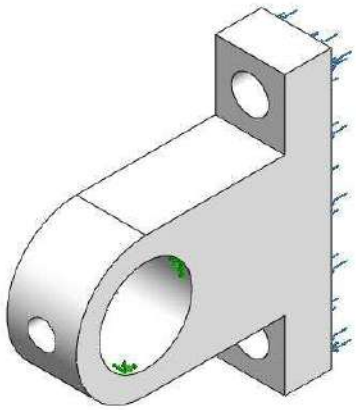


Figure 2. 19 Le modèle (articulation)

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
Enlèv. mat.-Extru. 	Corps volumique	Masse:0.0274968 kg Volume:2.19413e-005 m^3 Masse volumique:1253.2 kg/m^3 Poids:0.269468 N	E:\..\Articulation.SLDPRT Mars 14 2014 a 09:26:53

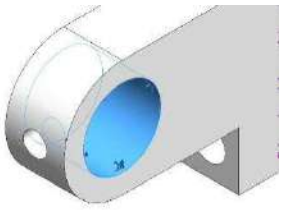
2.4.2.2 Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Type de solveur	FFE Plus
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Activé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)

2.4.2.3 Propriétés du matériau

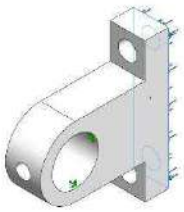
Référence du modèle	Propriétés		Composants
	Nom:	PTFE (Polytétrafluoréthylene)	Enlèvement de la matière Extrudé
	Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique	
	Limite d'élasticité:	3.14e+008 N/m^2	
	Module d'élasticité:	3.14e+008 N/m^2	
	Coefficient de Poisson:	0.46	
	Masse volumique:	1253.2 kg/m^3	
	Coefficient de dilatation thermique:	11 /Kelvin	

2.4.2.4 Actions extérieures

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

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	2.36239e-005	-1.75238e-005	-940.793	940.793
Moment de réaction (N·m)	0	0	0	0

Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: 942 N

2.4.2.5 Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé	Maillage standard
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	2.80055 mm
Tolérance	0.140027 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de noeuds	11880
Nombre total d'éléments	7352
Aspect ratio maximum	3.3128
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	99.9
Durée de création du maillage (hh;mm;ss)	00:00:03

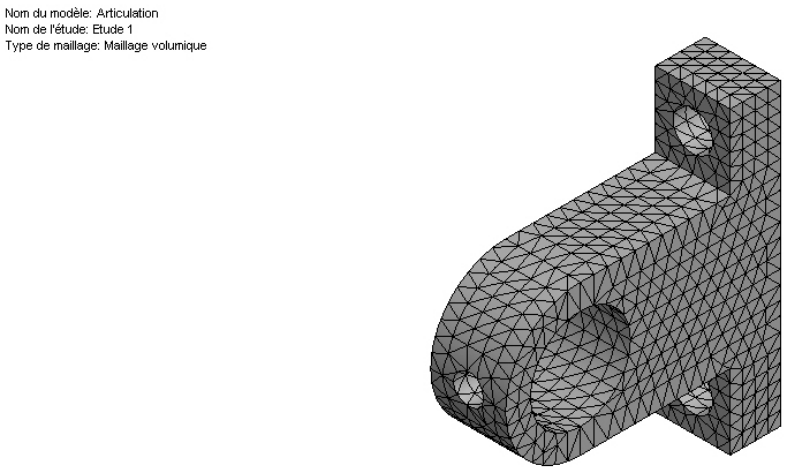


Figure 2. 20 Le maillage du modèle (articulation).

2.4.2.6 Interprétation des résultats

2.4.2.6.1 Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	2.36239e-005	-1.75238e-005	-940.793	940.793

2.4.2.6.2 Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	11664.4 N/m^2 Noeud: 11768	1.02822e+007 N/m^2 Noeud: 7905

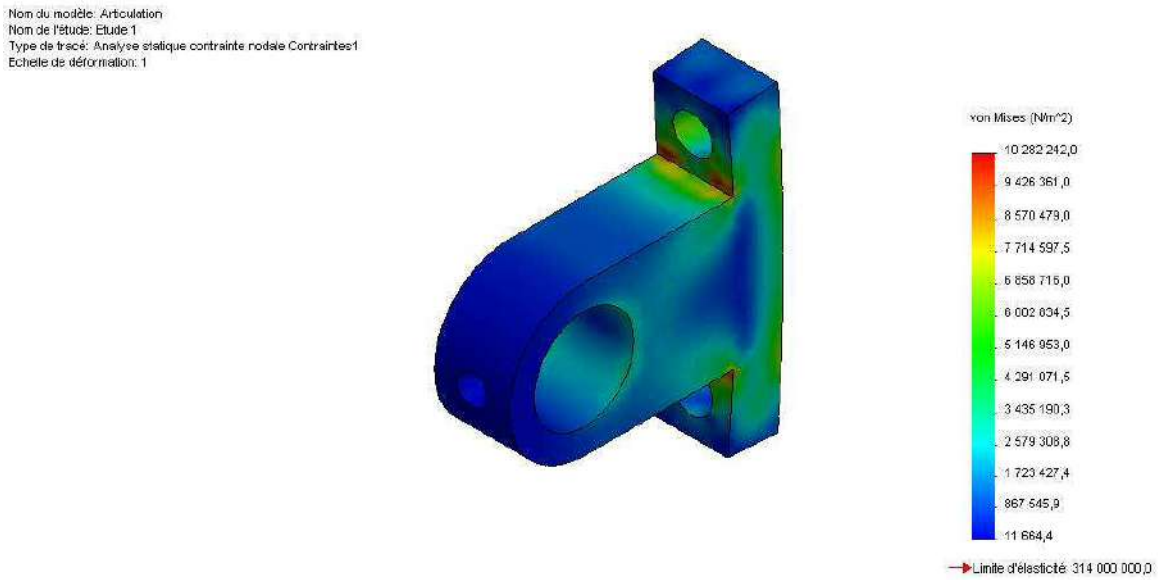


Figure 2. 21 Contraintes du modèle (articulation).

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 6	1.36145 mm Noeud: 437

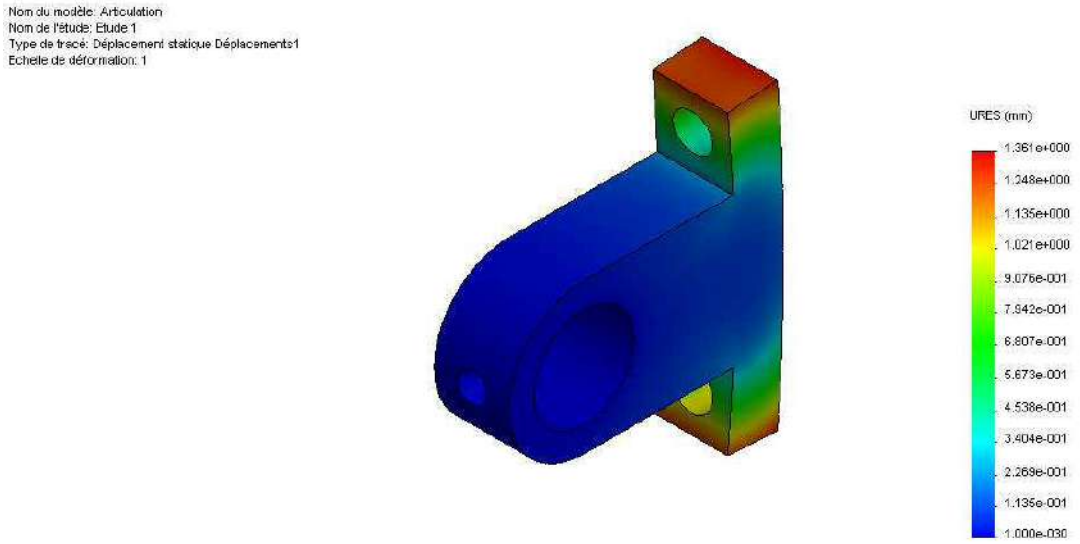


Figure 2. 22 Déplacement du modèle (articulation).

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	9.35765e-005 Elément: 6254	0.0289293 Elément: 2511

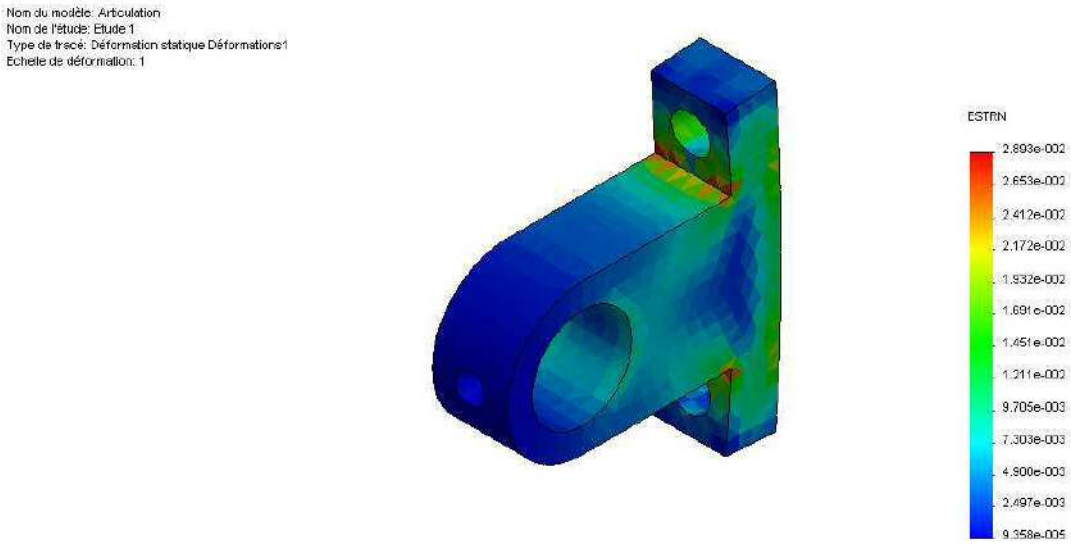


Figure 2. 23 Déformations du modèle (articulation).

2.4.3 Simulation de l'Axe d'articulation

2.4.3.1 Information sur le modèle

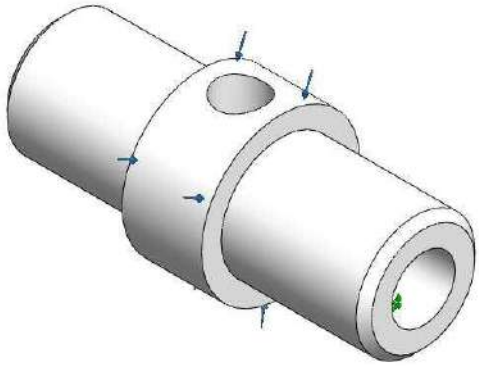


Figure 2. 24 Le modèle (axe d'articulation).

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
révolution 	Corps volumique	Masse:0.00873608 kg Volume:6.97102e-006 m^3 Masse volumique:1253.2 kg/m^3 Poids:0.0856136 N	E:\..\Axe d'articulation.SLDPRT Mars 14 2014 a 09:26:53

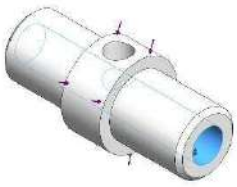
2.4.3.2 Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Type de solveur	FFE Plus
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Activé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)

2.4.3.3 Propriétés du matériau

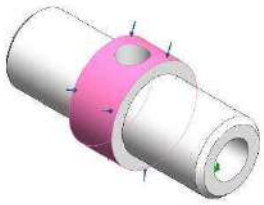
Référence du modèle	Propriétés		Composants
	Nom:	PTFE (Polytétrafluoréthylene) Teflon	Révolution
	Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique	
	Limite d'élasticité:	3.14e+008 N/m^2	
	Module d'élasticité:	3.14e+008 N/m^2	
	Coefficient de Poisson:	0.46	
	Masse volumique:	1253.2 kg/m^3	
	Coefficient de dilatation thermique:	11 /Kelvin	

2.4.3.4 Actions extérieures

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

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.00341612	-44.2831	-0.130097	44.2833
Moment de réaction(N·m)	0	0	0	0

Couple-1		Type:	Force normale
		Valeur:	942 N

2.4.3.5 Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé	Maillage standard
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.91104 mm
Tolérance	0.0955522 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de noeuds	10783
Nombre total d'éléments	6482
Aspect ratio maximum	4.9889
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	99.5
Durée de création du maillage (hh;mm;ss)	00:00:03

Nom du modèle: Axe d'artuculation
Nom de l'étude: Etude 1
Type de maillage: Maillage volumique

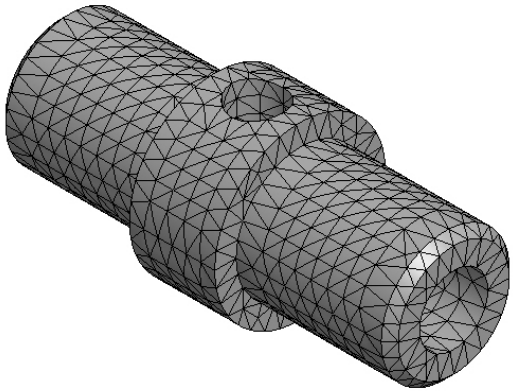


Figure 2. 25 Le maillage du modèle (axe d'articulation).

2.4.3.6 Interprétation des résultats

2.4.3.6.1 Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-0.00341612	-44.2831	-0.130097	44.2833

2.4.3.6.2 Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	1131.95 N/m^2 Noeud: 85	3.40559e+006 N/m^2 Noeud: 10766

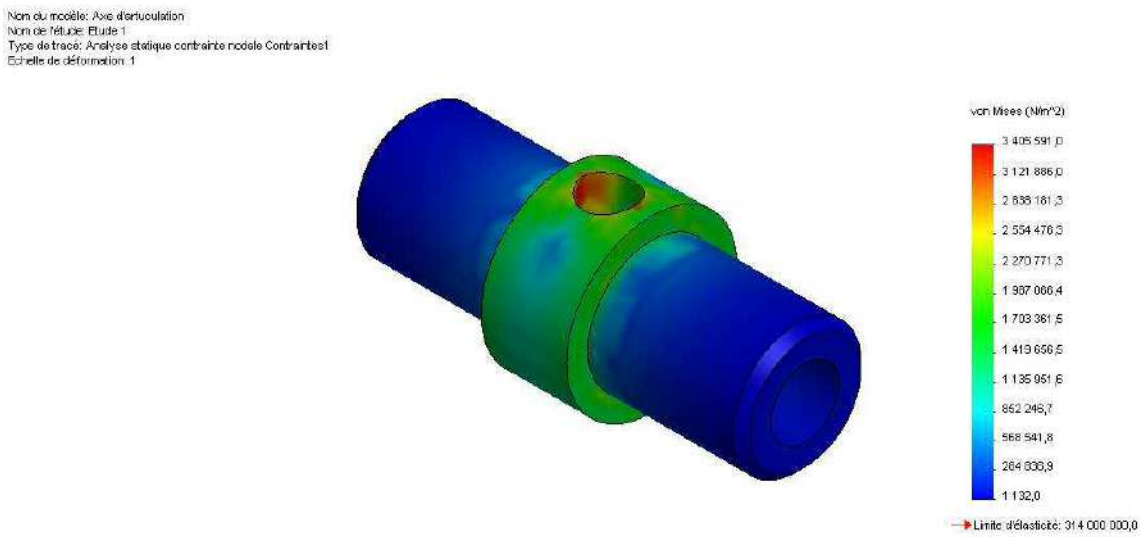


Figure 2. 26 Contraintes du modèle (axe d'articulation).

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 9	0.058944 mm Noeud: 1

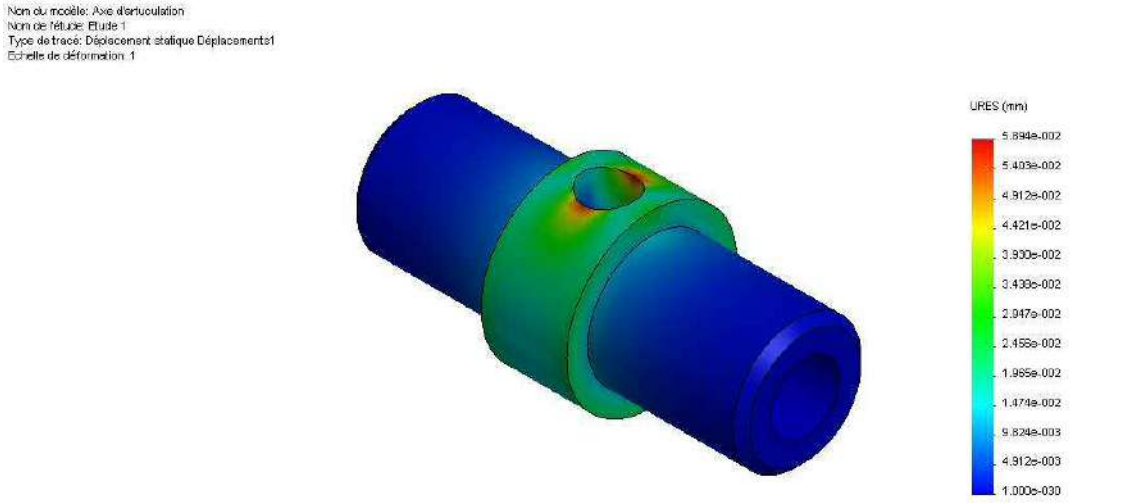


Figure 2. 27 Déplacement du modèle (axe d'articulation).

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	1.61152e-005 Elément: 3729	0.00967894 Elément: 3490

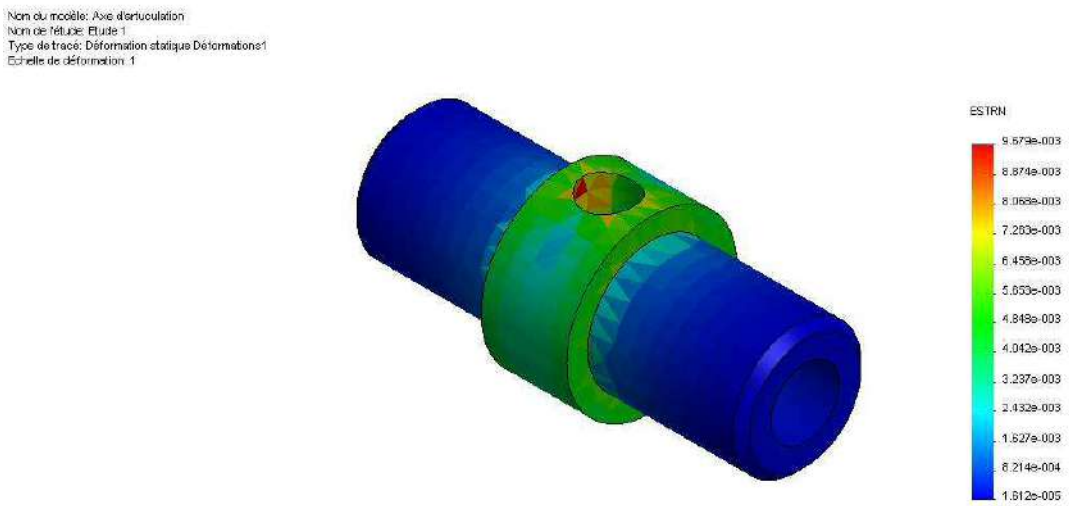


Figure 2. 28 Déformations du modèle (axe d'articulation).

2.4.4 Simulation de la fourche

2.4.4.1 Information sur le modèle

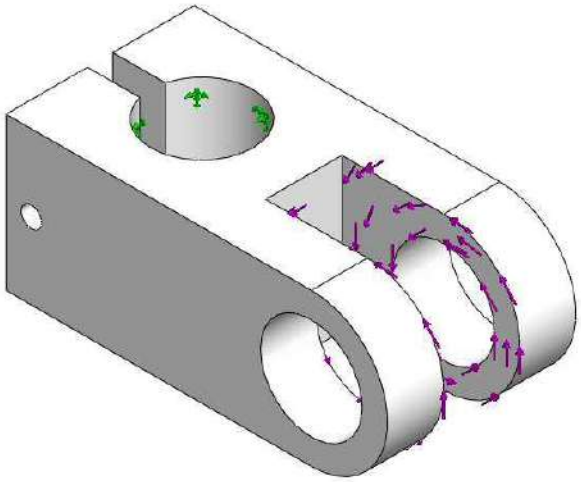
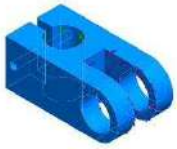


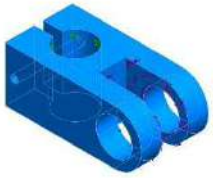
Figure 2. 29 le modèle (fourche).

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
Enlèv. mat.-Extru.2 	Corps volumique	Masse:0.0590524 kg Volume:4.71213e-005 m^3 Masse volumique:1253.2 kg/m^3 Poids:0.578713 N	E:\..\Fourche.SLDPRT Mars 14 2014 a 09:26:53

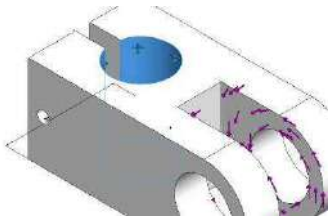
2.4.4.2 Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Type de solveur	FFEPlus
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Désactivé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)

2.4.4.3 Propriétés du matériau

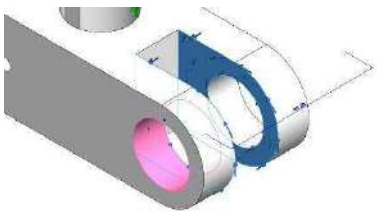
Référence du modèle	Propriétés		Composants
	Nom:	PTFE (Polytétrafluoréthylene) Teflon	Enlève. mat Extrudé
	Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique	
	Limite d'élasticité:	3.14e+008 N/m^2	
	Module d'élasticité:	3.14e+008 N/m^2	
	Coefficient de Poisson:	0.46	
	Masse volumique:	1253.2 kg/m^3	
	Coefficient de dilatation thermique:	11 /Kelvin	

2.4.4.4 Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-2		Entités: 1 face(s) Type: Géométrie fixe

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	0.00601539	42.5681	0.00289266	42.5681
Moment de réaction (N·m)	0	0	0	0

Couple-1		Entités: 2 face(s) Référence: Face< 1 > Type: Moment de torsion Valeur: 942 N·m

2.4.4.5 Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé	Maillage standard
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	3.61313 mm
Tolérance	0.180656 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de noeuds	12786
Nombre total d'éléments	7757
Aspect ratio maximum	6.4972
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	99.3
Durée de création du maillage (hh;mm;ss)	00:00:03

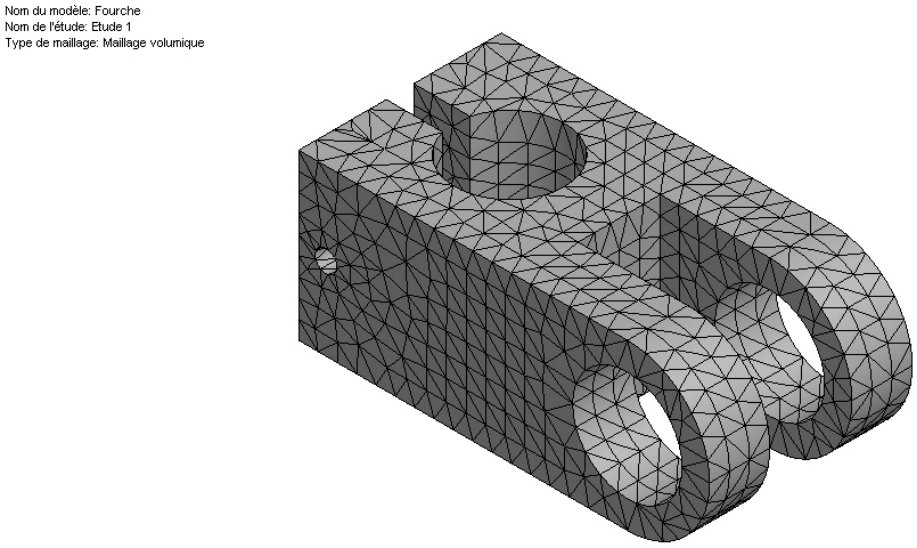


Figure 2. 30 Le maillage du modèle (fourche).

2.4.4.6 Interprétation des résultats

2.4.4.6.1 Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	0.00601539	42.5681	0.00289266	42.5681

2.4.4.6.2 Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	188.087 N/m^2 Noeud: 351	833423 N/m^2 Noeud: 7244

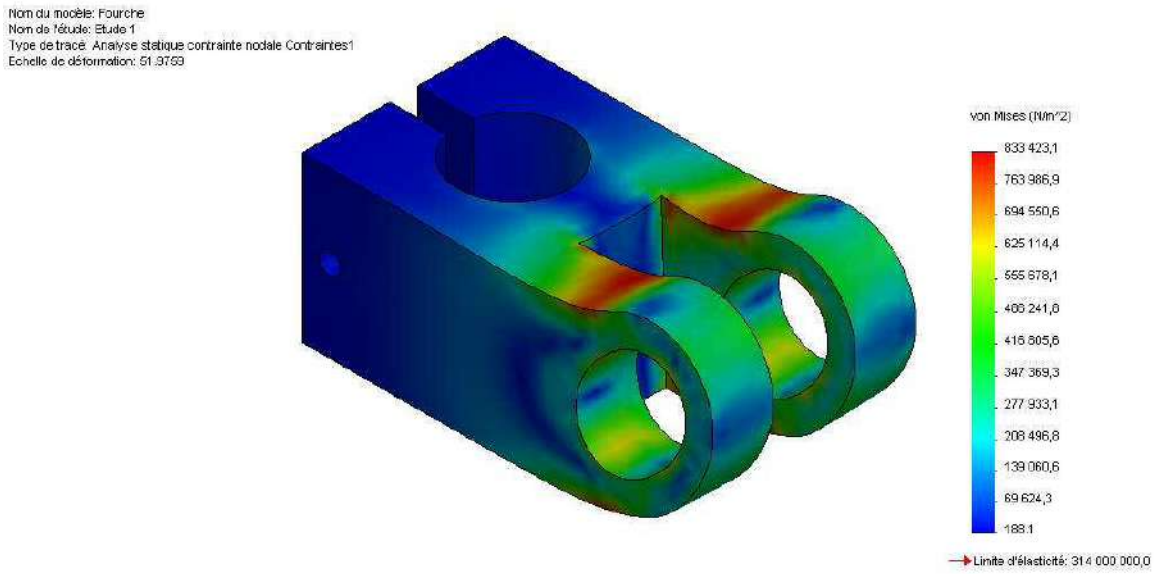


Figure 2. 31 Contraintes du modèle (fourche).

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 237	0.14444 mm Noeud: 11998

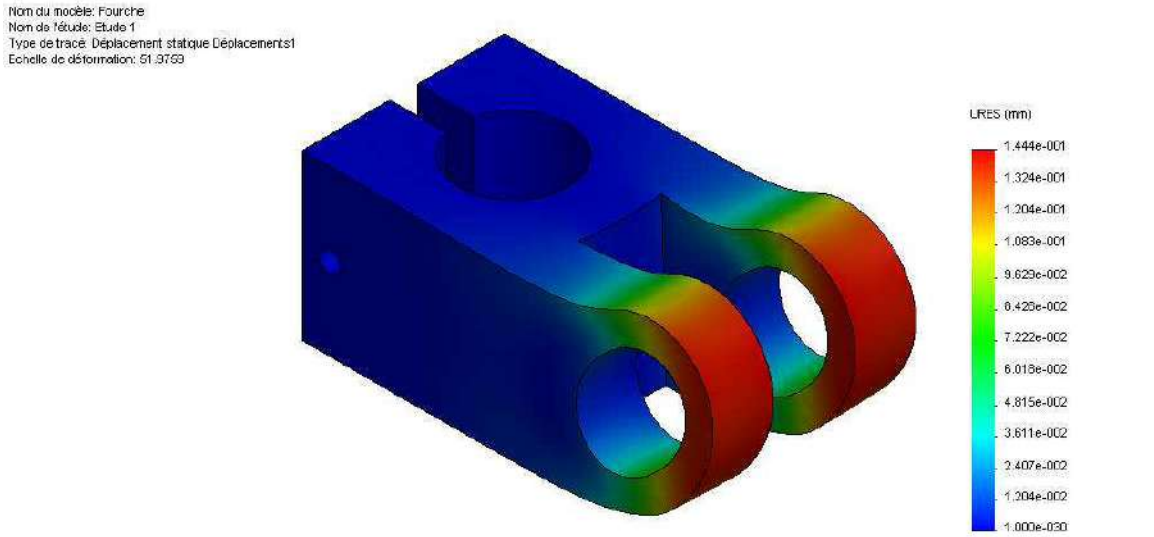


Figure 2. 32 Déplacement du modèle (fourche).

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	3.15974e-007 Elément: 2843	0.0022237 Elément: 3380

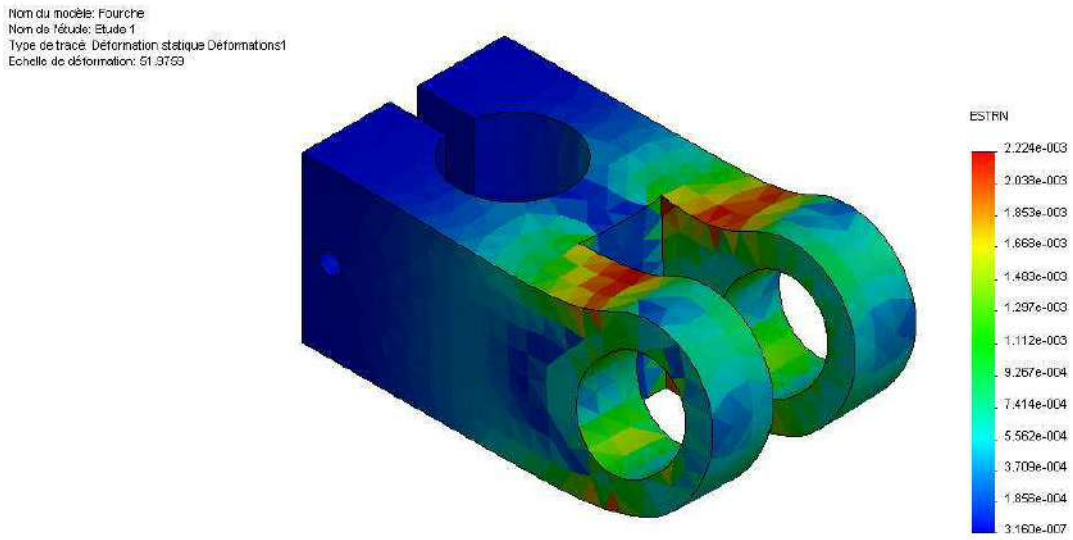


Figure 2. 33 Déformations du modèle (fourche).

2.4.5 Simulation du tube soudée rectangulaire

2.4.5.1 Information sur le modèle

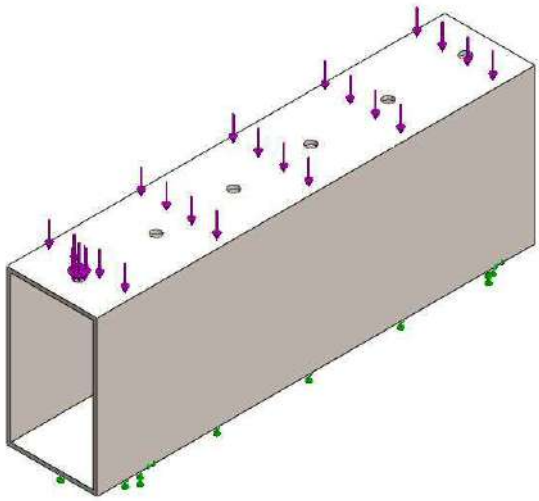
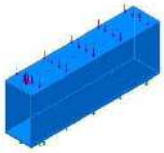


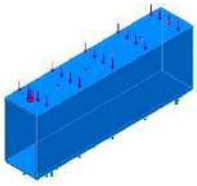
Figure 2. 34 le modèle (tube soudé).

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
Enlèv. mat.-Extru.1 	Corps volumique	Masse:0.360413 kg Volume:4.68069e-005 m^3 Masse volumique:7700 kg/m^3 Poids:3.53205 N	E:\..\Tube soudé rectangulaire.SLDPRT Mars 14 2014 a 09:26:53

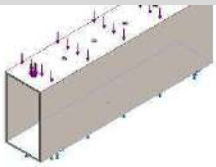
2.4.5.2 Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Type de solveur	FFE Plus
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Désactivé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)

2.4.5.3 Propriétés du matériau

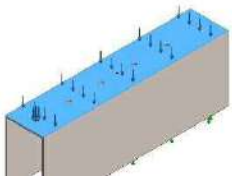
Référence du modèle	Propriétés		Composants
	Nom:	Acier allié	Corps volumique 1(Enlèv. mat.-Extru.1) Tube soudé rectangulaire
	Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique	
	Limite d'élasticité:	6.20422e+008 N/m^2	
	Limite de traction:	7.23826e+008 N/m^2	
	Module d'élasticité:	2.1e+011 N/m^2	
	Coefficient de Poisson:	0.28	
	Masse volumique:	7700 kg/m^3	
	Module de cisaillement:	7.9e+010 N/m^2	
	Coefficient de dilatation thermique:	1.3e-005 /Kelvin	

2.4.5.4 Actions extérieures

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

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.0141265	941.911	0.0402369	941.911
Moment de réaction (N·m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: 942 N

2.4.5.5 Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé	Maillage standard
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	5.02292 mm
Tolérance	0.251146 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de noeuds	16510
Nombre total d'éléments	8218
Aspect ratio maximum	47.646
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	9.11
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.596
Durée de création du maillage (hh;mm;ss)	00:00:10

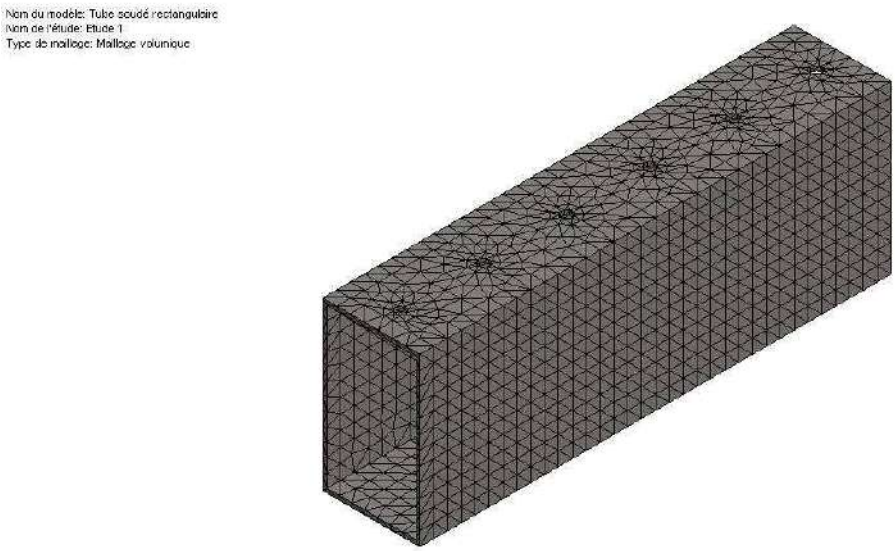


Figure 2. 35 Le maillage du modèle (tube soudé).

2.4.5.6 Interprétation des résultats

2.4.5.6.1 Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-0.0141265	941.911	0.0402369	941.911

2.4.5.6.2 Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	103.609 N/m^2 Noeud: 775	5.93689e+007 N/m^2 Noeud: 16076

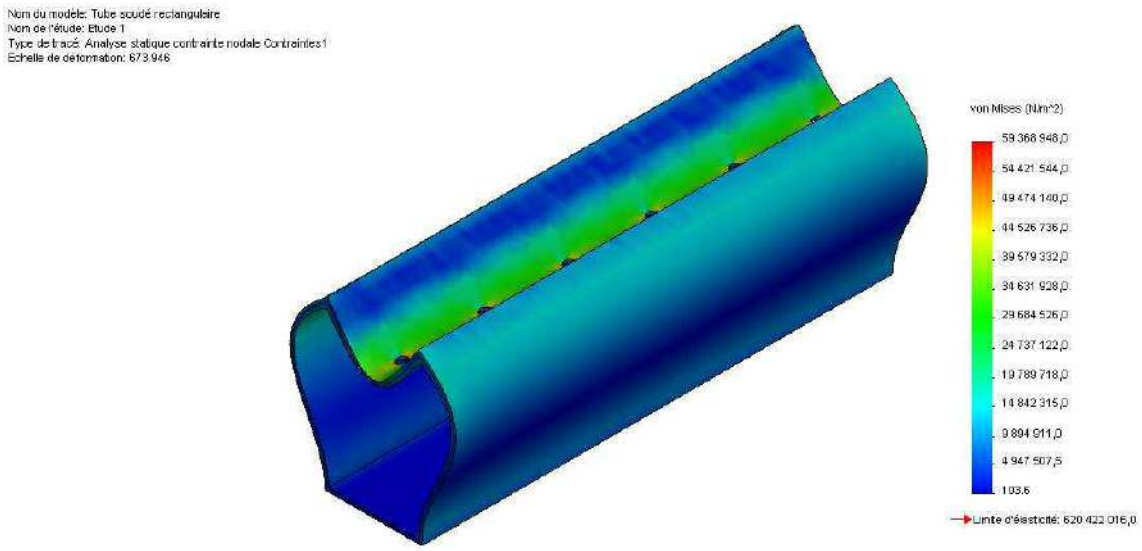


Figure 2. 36 Contraintes du modèle (tube soudé).

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 131	0.0252248 mm Noeud: 8235

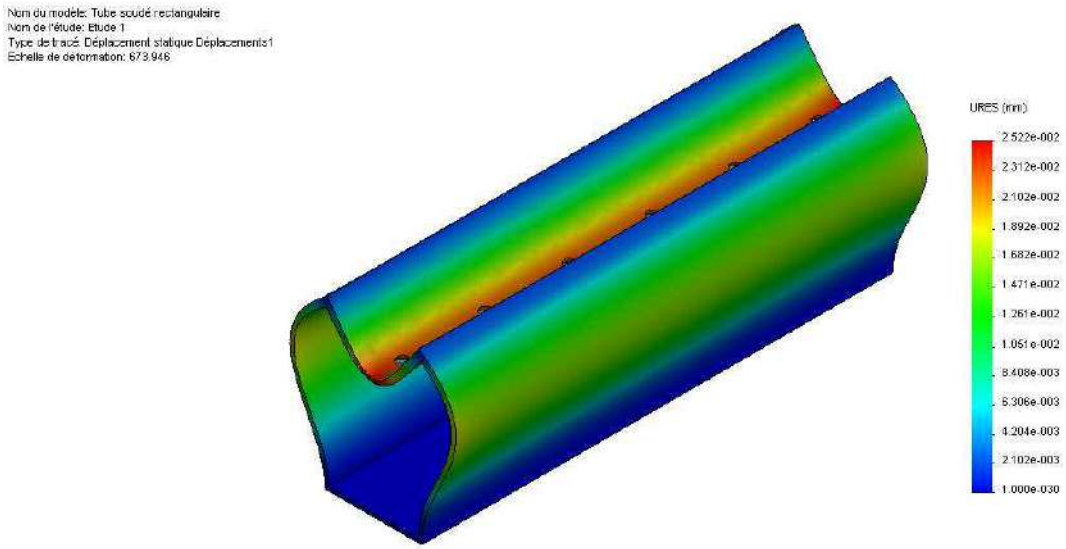


Figure 2. 37 Déplacement du modèle (tube soudé).

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	3.67119e-010 Elément: 6643	0.000140881 Elément: 134

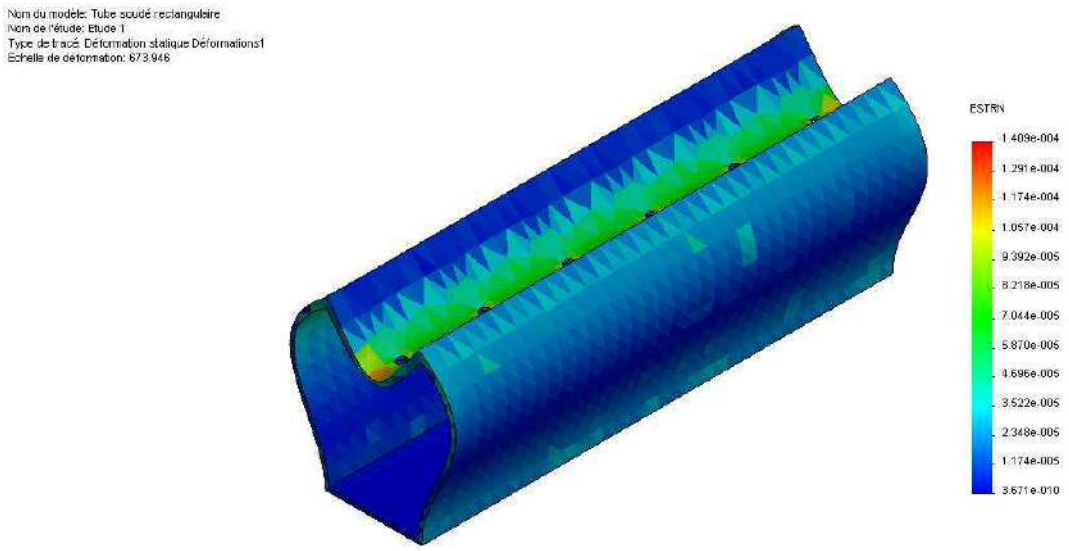


Figure 2. 38 Déformations du modèle (tube soudé).

2.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons exposé les calculs d'ajustement ainsi que les calculs des jeux. Ces paramètres sont nécessaires pour un bon fonctionnement du mécanisme et pour assurer les rotations suivant les axes désirés. Une étude statique du mécanisme est faite par l'utilisation du logiciel SolidWorks.

Chapitre III



Moteur Pas à Pas

3.1 INTRODUCTION

Les moteurs pas à pas sont utilisés depuis une trentaine d'années dans des applications de positionnement et d'entraînement à vitesse variable. 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.

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.



Figure 3. 1 Moteur pas à pas

3.2 Propriétés et applications

Le moteur pas à pas a été conçu à partir de deux démarches logiques très différentes. D'une part, on a cherché un moteur capable de développer un couple important à faible vitesse, voire même à l'arrêt. D'autre part, on a étudié un dispositif capable de convertir des informations de caractère discret. 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 [5], 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.

3.2.1 Utilisations des moteurs pas à pas

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 [6, 7], 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.

On peut classer les moteurs pas à pas en deux types selon l'alimentation de bobinage :

- **Les moteurs bipolaires**

Ils ont en général 4 fils et se commandent en inversant le sens du courant dans une des deux bobines, qui sont alimentés une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire.

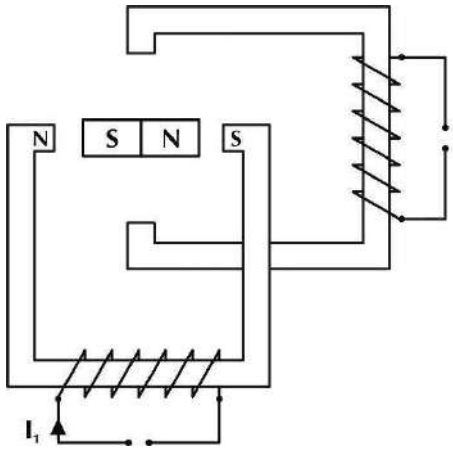


Figure 3. 2 Schéma d'un moteur bipolaire.

La commande du moteur s'effectue par envoie successif, une à une, des combinaisons Suivantes :

- ***Mode 1 :*** On alimente un enroulement à la fois :

Tableau 3. 1 Alimentation d'un enroulement à la fois.

Séquence	$I_1 > 0$	$I_1 < 0$	$I_2 > 0$	$I_2 < 0$	Angle
1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	90°
3	0	1	0	0	180°
4	0	0	0	1	270°

- ***Mode 2 :*** On alimente deux enroulements à la fois :

Tableau 3. 2 Alimentation de deux enroulements à la fois.

Séquence	$I_1 > 0$	$I_1 < 0$	$I_2 > 0$	$I_2 < 0$	Angle
1	1	0	1	0	45°
2	0	1	1	0	135°
3	0	1	0	1	255°
4	1	0	0	1	315°

❖ Les moteurs unipolaires

Ils ont en général 6 fils, dont deux sont reliés au milieu des bobines. Ils se commandent en les alimentant tour à tour, mais les bobinages sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire.

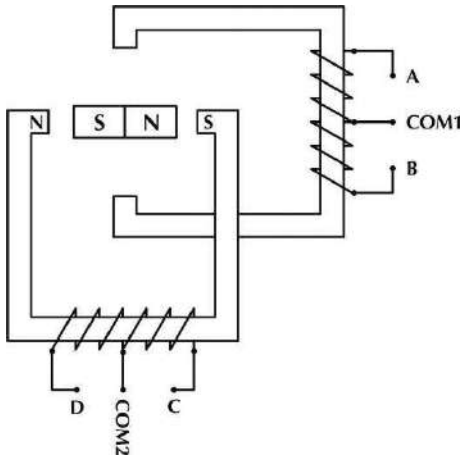


Figure 3. 3 Schéma d'un moteur unipolaire

Séquence d'alimentation des enroulements :

Tableau 3. 3 Séquence d'alimentation des enroulements.

Séquence	A	B	C	D	Angle
1	1	0	0	0	90°
2	0	0	1	0	0°
3	0	1	0	0	180°
4	0	0	0	1	270°

3.3 Les principaux types de moteurs pas à pas

Trois types principaux des moteurs seront abordés, les moteurs pas-à-pas à réluctance variable, les moteurs pas-à-pas à aimants permanents, les moteurs pas-à-pas hybride.

3.3.1 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.

3.3.1.1 Composition d'un moteur pas à pas à réluctance variable

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.

3.3.1.2 Technologie des moteurs pas-a-pas à réluctance variable

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 à 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 [6].

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

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

- **Fonctionnement en 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.

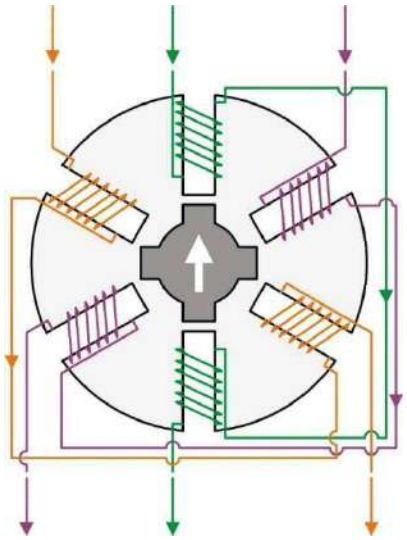


Figure 3. 4 Fonctionnement en pas entier à réluctance variable.

- **Fonctionnement en mode « High Torque » (fort couple)**

De même, on peut utiliser un moteur pas à pas à réluctance variable en mode « High torque » en alimentant deux 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.

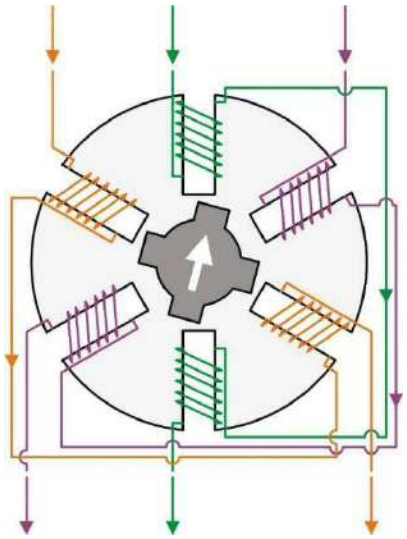


Figure 3. 5 Fonctionnement en mode « High Torque » à réluctance variable.

- **Fonctionnement en 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'image suivante.

Globalement le nombre de pas (en fonctionnement pas entier) d'un moteur pas à pas MRV est donné par la formule suivante :

$$N_p = \frac{N_s \times N_r}{N_s - N_r} \qquad (3.01)$$

Np : nombre de pas.
Ns : nombre de dents du stator.
Nr : nombre de dents du rotor.

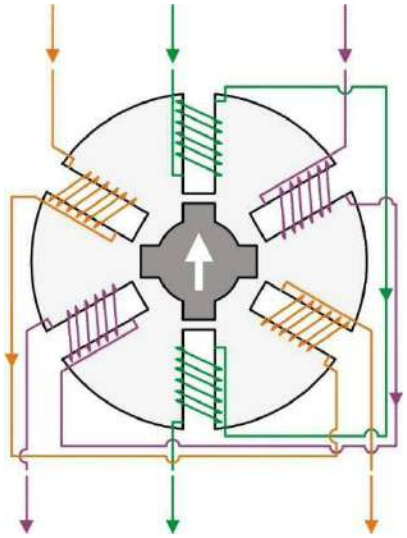


Figure 3. 6 Fonctionnement en mode demi pas à réluctance variable.

3.3.2 Moteur pas à pas à aimants permanents MP

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 ($< 10W$).

3.3.2.1 Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent

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.

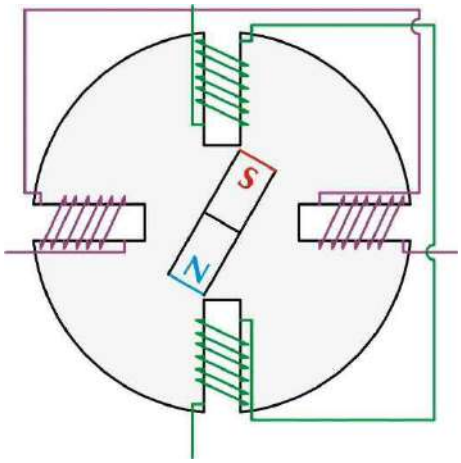


Figure 3. 7 Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent.

3.3.2.2 Les modes de commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent

- **Fonctionnement en 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 dû 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.

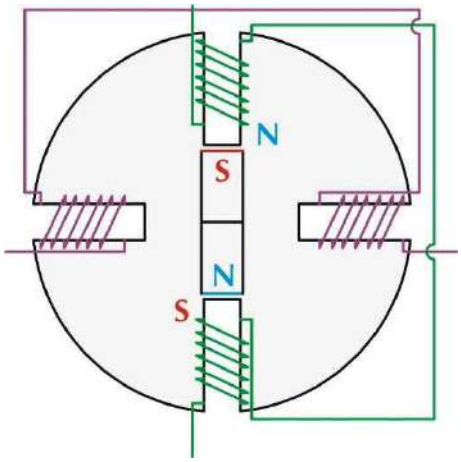


Figure 3. 8 Fonctionnement en pas entier à aimant permanent.

- **Fonctionnement en mode « High Torque » (fort couple)**

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 figure 3.9, suivant le sens d'alimentation de chacune des bobines.

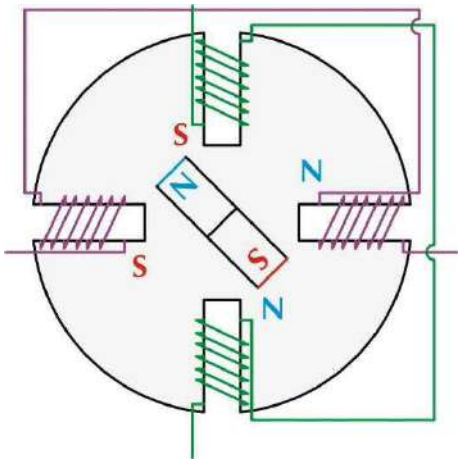


Figure 3. 9 Fonctionnement en mode « High Torque » à aimant permanent.

- **Fonctionnement en mode 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 ». La figure 3.10 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.

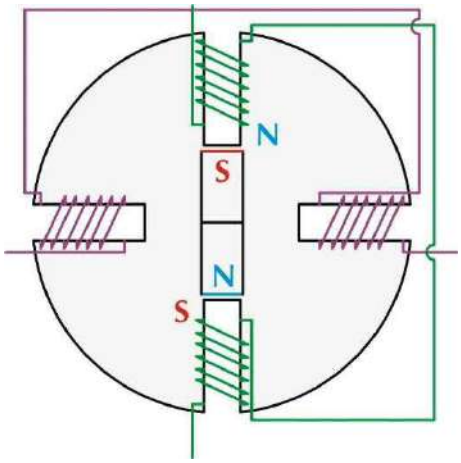


Figure 3. 10 Fonctionnement en mode demi pas m. à aimant permanent.

3.3.2.3 Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas aimant permanent

Avantages du moteur à aimant permanent

- Dimensions réduites.
- Bon rendement.
- Bon amortissement des oscillations.

Inconvénients du moteur à aimant permanent

- Puissance faible
- Paliers en bronze ou plastique (pas de roulement).
- Couple résiduel sans courant.

- Vitesse faible.

3.3.3 Moteur pas-à-pas hybride MH

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 micro-pôles se correspondent.

Par exemple, le rotor comporte 50 dents, et le stator à 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 $1W$ à $1kW$.

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.

3.3.3.1 Composition d'un moteur pas à pas hybride :

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), 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.

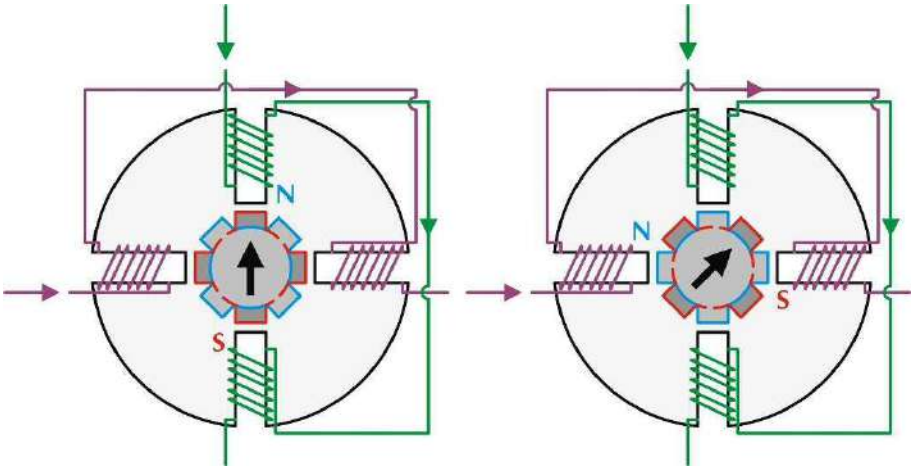


Figure 3. 11 Composition d'un moteur pas à pas hybride.

3.3.3.2 Fonctionnement d'un moteur pas à pas hybride :

En mode pas entier, les bobines sont alimentées une par une alternativement, dans un sens puis dans l'autre. On voit bien ici l'intérêt d'avoir un rotor polarisé : quand on coupe l'alimentation de la bobine verte et qu'on alimente la bobine mauve, en l'absence de polarisation du rotor on n'aurait aucun contrôle sur le sens de rotation, les deux dents bleues et rouges étant attirés de la même façon par la bobine.

Avec un rotor polarisé, on peut choisir une de ces deux dents en agissant sur le sens du courant dans la bobine. Il en résulte le mouvement décrit sur l'image suivante.

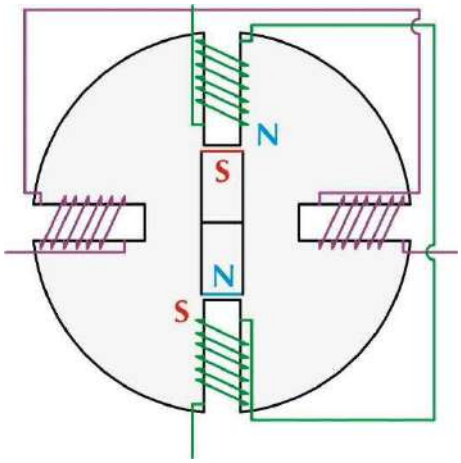


Figure 3. 12 Moteur pas à pas hybride en fonctionnement.

3.3.3.3 Technologie des moteurs pas à pas hybrides

Les moteurs pas à pas hybrides réunissent, au moins en partie, les avantages des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimants permanents, à savoir :

- Un grand nombre de pas par tour,
- Une fréquence propre mécanique importante,
- Un couple massique élevé,
- Un amortissement interne important, une mémoire de position.

3.3.3.4 Commande d'un moteur pas à pas hybride

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 :

- **Câblage 4 fils**

Il n'y a qu'une seule bobine pour chaque pôle. Ce type de configuration impose de pouvoir changer le sens du courant au niveau du système d'alimentation.

Ces moteurs sont appelés moteurs pas à pas bipolaires, car lors de leur rotation chacune des bobines va être polarisée de deux façons différentes.

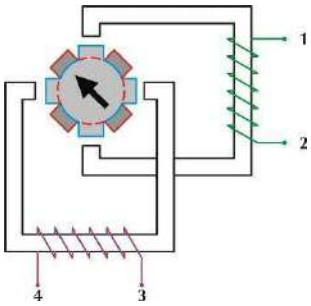


Figure 3. 13 Moteur pas à pas hybride 4 fils.

- **Câblage 6 fils**

Un point milieu est créé sur chacun des bobinages. Généralement ces deux points milieux (2 et 5) sont reliés à une borne du dispositif d'alimentation. En alimentant un des 4 autres points on peut choisir le sens du courant sans avoir d'inversion de polarité.

L'inconvénient est qu'on n'utilise que la moitié du cuivre, ces moteurs pas à pas unipolaires ont donc un rendement massique plus faible.

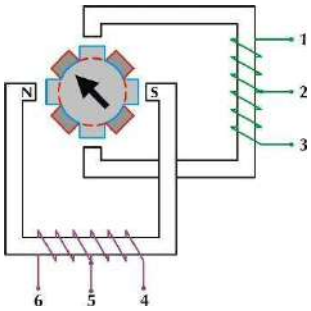


Figure 3. 14 Moteur pas à pas hybride 6 fils.

- **Câblage 8 fils :**

Cette configuration de moteur pas à pas permet de choisir entre les deux configurations précédentes au moment du câblage. On peut relier les bobines de chaque groupe en série ou en parallèle pour utiliser le moteur en bipolaire, ou les relier en série en gardant le point milieu pour l'utiliser en unipolaire.

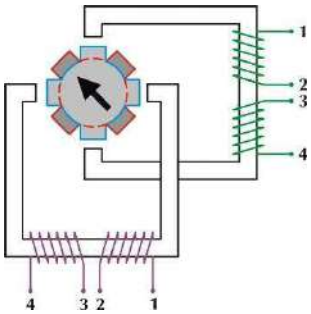


Figure 3. 15 Moteur pas à pas hybride 8 fils.

3.3.3.5 Avantages et inconvénients du moteur pas à pas hybride

Avantage :

- Couple important
- Plus de puissance
- Rendement assez bon
- Courbe Démarrage/Arrêt, 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

Inconvénients :

- Inertie élevée
- Couple résiduel sans courant
- Plus couteux
- Plus volumineux

3.4 Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas

Le Tableau donne une comparaison entre les divers types de moteurs pas à pas [5, 7].

Tableau 3. 4 Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas.

Type de moteur pas à pas	Moteur à réluctance variable	Moteur à aimants permanents	Moteur hybride
Résolution (N pas/tr)	Bonne	Moyenne	Elevée
Couple moteur	Faible	Elevée	Elevée
Sens de rotation	Dépend de l'ordre d'alimentation des phases	Dépend de l'ordre d'alimentation des phases et du sens du courant dans les bobines	
Fréquence de travail	Grand	Faible	Grande
Puissance	Quelque Watts	Quelques dizaines de Watts	Quelques K Watts
Inconvénients	Pas de mémoire de position		

3.5 CONCLUSION

Nous avons vus dans ce chapitre les moteurs pas à pas avec ses 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.

Enfin, nous avons fait une petite comparaison entre ces trois types.

Chapitre IV



Réalisation et interprétation des résultats

4.1 INTRODUCTION

Ce chapitre sera consacré à la présentation expérimentale du travail accompli selon différents phases de réalisation, généralement, on peut dire que notre projet est constitué de deux principales parties :

- Partie Programmations (coté soft).
- Parie Mécatroniques (coté hard).

Ce dernier est pour le but de commander un moteur pas à pas à l'aide d'une commande extraite à partir d'une acquisition d'image en utilisant l'outil de programmation MATLAB.

Le langage MATLAB, ou « MATRIX LABORATORY », est un langage de programmation et de développement de quatrième génération. Développé par la société « The Math Works », MATLAB permet la manipulation de matrice, afficher des courbes et des données, mettre en œuvre des algorithmes, créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Au cours de notre projet, nous avons utilisé MATLAB R2013a qui est plus développé que les anciennes versions surtout dans le domaine de l'ingénierie, ce qui nous a aidés bien à travailler dans le domaine du traitement d'image.

4.2 Réalisation du driver

4.2.1 Description sur les blocs

Notre driver est constitué de quatre blocs :

- **Bloc 01** : Programmation PC
- **Bloc 02** : Réalisation de l'alimentation
- **Bloc 03** : Driver
- **Bloc 04** : Mécanisme

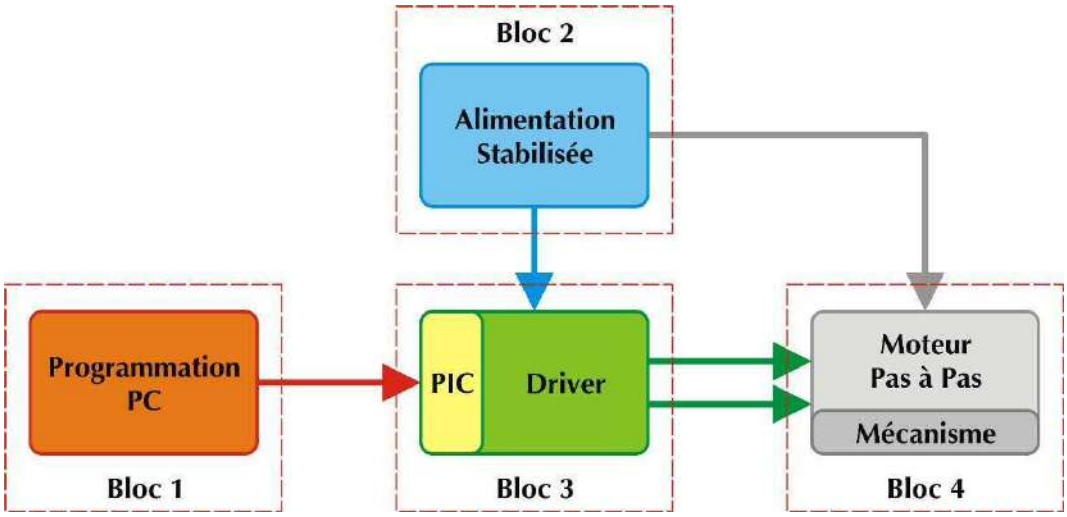


Figure 4. 1 Diagramme descriptif des blocs.

- **bloc 01 : Programmation PC**

Cette étape consiste à traiter le rayonnement du soleil prise par appareil photo à l'aide du programme MATLAB, c'est à dire réaliser un programme MATLAB qui peut détecter et repérer la forme circulaire du soleil dans l'image acquise.

- **bloc 02 : L'alimentation Stabilisé**

Le montage devra être alimenté par une tension de $+12V$ et sous un ampérage minimum de $1A$. La tension $+VCC$ ne sera pas obligatoirement stabilisée par contre, la tension $+5V$ d'alimentation des circuits TTL devra l'être. Pour cela, on utilisera tout simplement un régulateur de tension 7805. Un transformateur fournissant une tension de $+10V$ sur son enroulement secondaire et d'une puissance de $12VA$ fera amplement l'affaire.

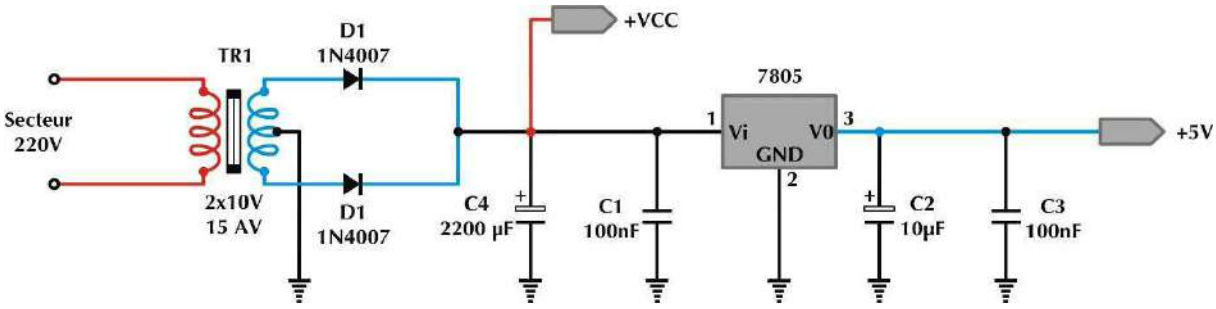


Figure 4. 2 Schéma de l'alimentation stabilisée.

- **bloc 03 : Driver**

Est un circuit permet de générer les différentes séquences de commande du moteur à partir d'un signal d'horloge et faire la commande des deux moteurs pas à pas à l'aide des circuits intégrés gérés par un microcontrôleur.

- **bloc 04 : Mécanisme**

Le prototype usiné en matière léger et dure (PTFE), au centre d'usinage (Tour universelle, Fraiseuse vertical et Perceuse multibroches). Il assure la rotation suivant les deux axes Z et Y. L'arbre principal et l'ensemble de la planche fait tournés sur l'axe Z, et seule la planche du panneau qui fait tourné suivant l'axe Y.

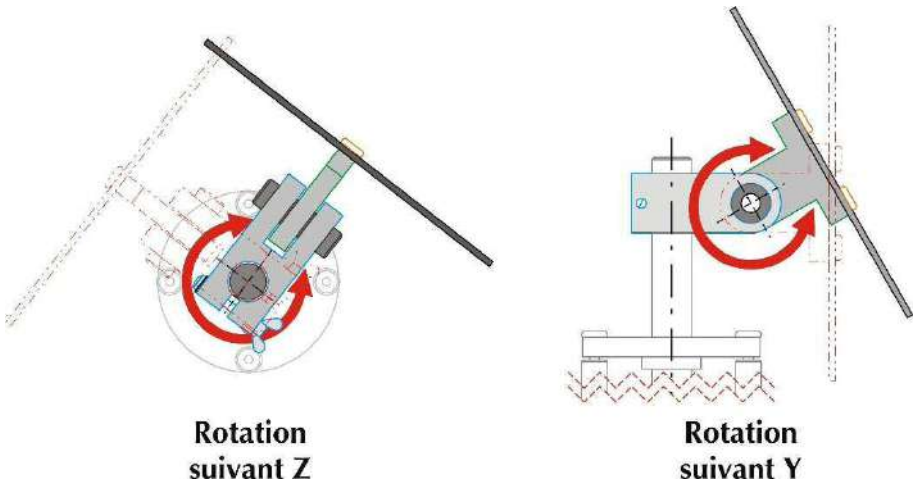


Figure 4. 3 Schéma du mécanisme et ces rotations.

4.2.2 Schéma de commande

Pour le bon fonctionnement du moteur pas à pas, nous avons utilisés le schéma de commande suivant :

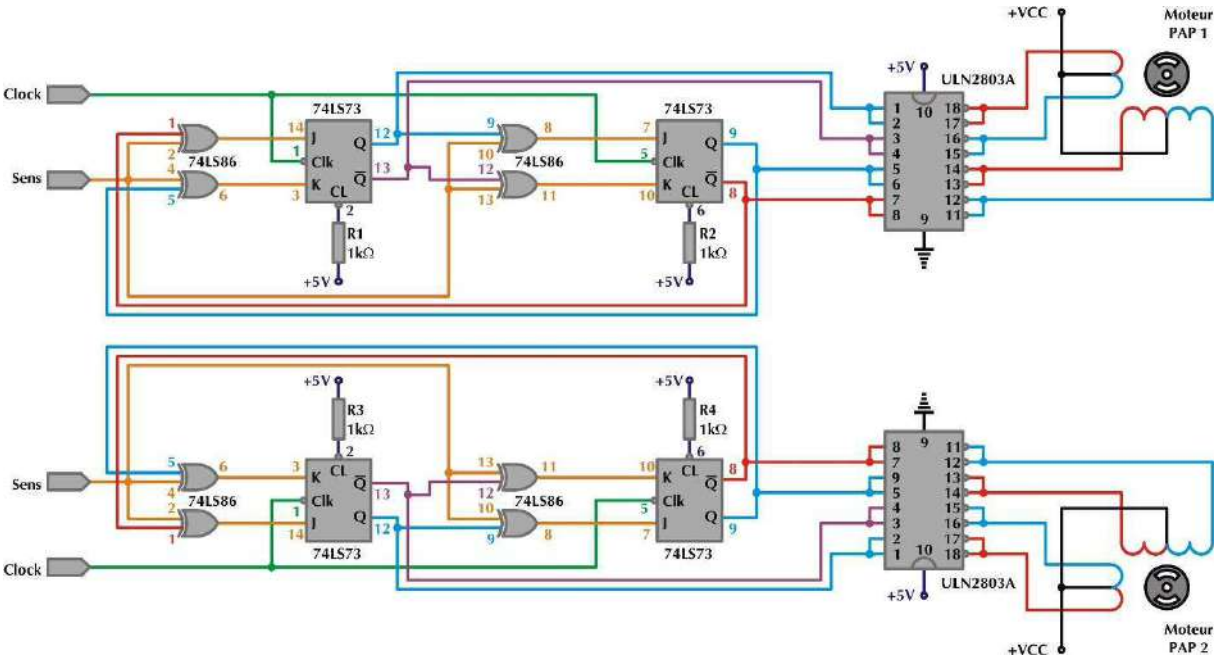


Figure 4. 4 Schéma du driver.

4.2.2.1 Principe

Le schéma du driver de la figure 4.4 est d'une grande simplicité puisqu'il ne nécessite que quatre circuits intégrés très courants : deux de type TTL et deux de puissance. Ce circuit est un ensemble de quatre portes contenus dans un boitier de type 74LS86 combiné à deux bascules 74LS73 permet de générer les différentes séquences de commande du moteur à partir d'un seul signal d'horloge. De plus, l'application d'un niveau bas ou haut sue deux portes Ou-Exclusif permet d'inverser le sens de rotation.

Le circuit de puissance utilise un circuit intégré ULN2803A, comportant un octuple réseau de transistors Darlington[3] connectés en parallèle deux à deux. Ce circuit supporte une tension maximale de $50V$ et un courant de $500mA$ par transistor [8].

4.2.2.2 La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé et l'implantation des composants est représentés en figure 4.5. Les strapes seront implantés en premier lieu, puis viendra le tour des résistances, des condensateurs de petite capacité et des diodes de redressement.

Les supports de circuits intégrés, le régulateur de tension, les borniers à vis seront ensuite soudés sur la platine. La mise en place des composants s'achèvera par l'implantation du condensateur chimique de filtrage.

On terminera par un contrôle rigoureux des soudures afin de s'assurer de l'absence de court-circuit, surtout au niveau des broches des circuits intégrés.

[3] - *Le transistor Darlington est la combinaison de deux transistors bipolaires de même type (tous deux NPN ou tous deux PNP), résultant en un composant hybride qui a encore des caractéristiques de transistor. Ces deux transistors peuvent être intégrés dans un même boîtier*

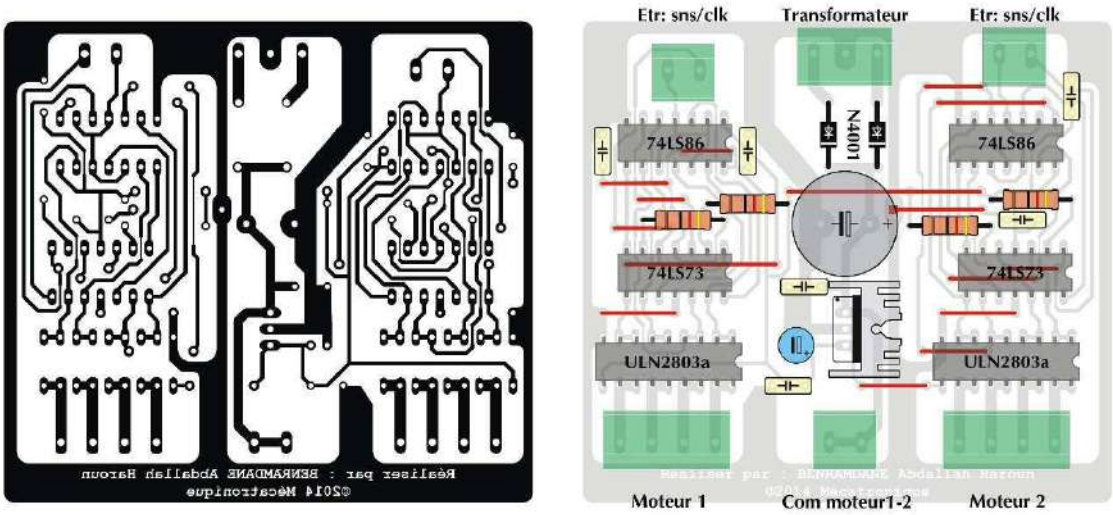


Figure 4. 5 Circuits imprimé du driver et implantation des composants.

Les essaies selon le mode choisi pour la commande de la carte, on la raccordera à la sortie parallèle de l'ordinateur de type RS-232, et un petit circuit avec le PIC16F628A capable de générer les impulsions nécessaires à la génération des pas.

4.3 Description sur les composants

Pour commander un moteur pas-à-pas, il y'a plusieurs montages ainsi que plusieurs types de commande. Et pour ce projet, on a utilisé différents types des composants :

4.3.1 Régulateur de tension Série 78xx (7805)

Il s'agit d'un membre de 78xx série de circuits intégrés régulateurs de tension linéaires fixes. La source de tension dans un circuit peut avoir des fluctuations et ne donnerait pas la sortie de tension fixe. Le régulateur de tension IC maintient la tension de sortie à une valeur constante. Le xx en 78xx indique la tension de sortie fixe, il est conçu pour fournir. 7805 fournit +5 V alimentation régulée. Les condensateurs de valeurs appropriées peuvent être connectés à des broches d'entrée et de sortie en fonction des niveaux de tension respectifs [9].

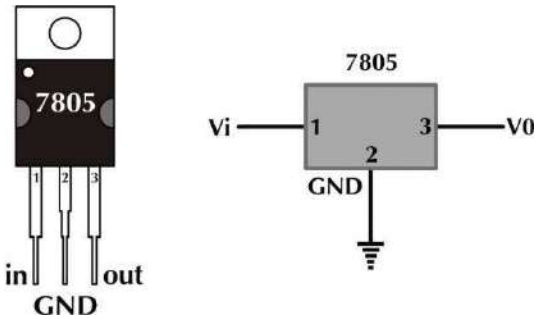


Figure 4. 6 Régulateur de tension 7805.

Ces régulateurs fixes positifs sont sans doute les plus utilisés. Ils disposent tous d'une limitation interne du courant et d'une protection thermique. Seule contrainte : la tension d'entrée minimale V_{in} min doit être égale ou supérieure à $(V_{out} + 2V)$. Ces modèles bénéficient d'une tolérance à 5% (suffixe C).

$\boldsymbol{V_{in}\ max}$	$\boldsymbol{30V}$ ($\boldsymbol{40V}$ pour 7824)
$\boldsymbol{V_{out}\ XX}$	05, 06, 08, 09, 10, 12, 15, 18, 24 V
$\boldsymbol{I_{out}\ max}$	$1A$ ($2A$ en pointe) ; $100mA$ pour 78LXX

Par mesure de précaution, on équipera les régulateurs fixes d'un radiateur à visser sur le boîtier, dans le trou prévu à cet effet, dès lors que V_{in} sera nettement supérieur à V_{out} et/ou que le courant de sortie sera susceptible de dépasser la moitié de sa valeur maximale. On pourra choisir, sans s'embarrasser de calculs, un modèle de radiateur de résistance thermique R_{th} égale à $37°C/W$. En cas de doute sur la puissance maximale dissipée, choisir la taille au-dessus ($R_{th}15°C/W$).

D'abord, il convient de rappeler qu'un régulateur, comme tout composant, est susceptible de s'échauffer, sous l'influence de l'effet Joule, et que cela n'est pas bon. Pour prévenir tout emballement thermique qui pourrait dégrader les performances du composant concerné, l'endommager, voire même le détruire, il est nécessaire de veiller à ce qu'il ne dépasse pas les limites de résistance thermique fixées par le fabricant [9].



Figure 4. 7 Dissipateur thermique.

4.3.2 Circuit intégré IC 74LS86

Ce dispositif comporte quatre portes indépendantes dont chacune remplit, la fonction logique OU-EXCLUSIF. Il exerce les fonctions booléennes

$$\boldsymbol{Y = A \oplus B\ =\ A\bar{B}\ +\ \bar{A}B}$$

En logique positive, une application courante est aussi un élément vrai complément. Si l'une des entrées est faible, l'autre entrée sera reproduite en vraie forme à la sortie. Si une des entrées est élevée, le signal sur l'autre entrée sera reproduit inversé à la sortie.

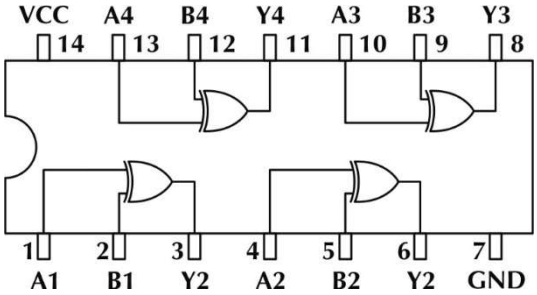


Figure 4. 8 Schéma du 74LS86.

Tableau 4. 1 Table de fonction 74LS86.

Input		Output
A	**B**	**Y**
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

4.3.3 Circuit intégré IC 74LS73

Ce dispositif comporte deux front négatif indépendant déclenché bascules JK avec sorties complémentaires. Les données J et K sont traitées par les bascules sur le front descendant de l'impulsion d'horloge. L'horloge de déclenchement se produit à un niveau de tension, et n'est pas directement lié à la durée de transition du bord de sens négatif de l'impulsion d'horloge.

Les données sur les entrées J et K sont autorisés à changer alors que l'horloge est haut ou bas sans affecter les sorties tant que configuration et maintenez fois ne sont pas violés. Un niveau logique bas sur l'entrée d'effacement permet de réinitialiser les sorties indépendamment des niveaux des autres intrants.

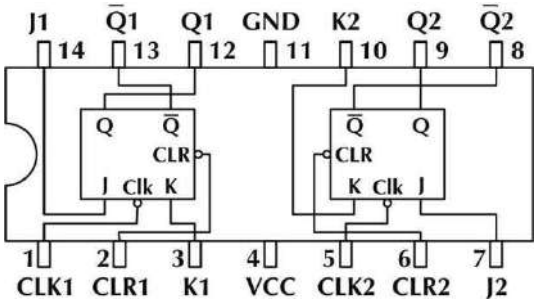


Figure 4. 9 Schéma du 74LS73.

Tableau 4. 2 Table de fonction 74LS73.

Input				Output	
CLR	**CLK**	**J**	**K**	**Q**	**$\bar{Q}$**
L	X	X	X	L	H
H	↓	L	L	Q_0	$\bar{Q}0$
H	↓	H	L	H	L
H	↓	L	H	L	H
H	↓	H	H	Basculer	
H	H	X	X	Q0	$\bar{Q}0$

H = Niveau logique haut L = Niveau logique bas
X = Niveau logique faible ou élevé ↓ = Négatif bord de l'impulsion en cours.
Q0 = Niveau logique de sortie avant que les conditions d'entrée indiqués ont été établis.
Basculer = Chaque évolution de la production au complément de son niveau précédent sur chaque front descendant de l'impulsion d'horloge.

4.3.4 Circuit intégré IC ULN2803A

Le dispositif se compose de huit paires NPN Darlington qui comportent des sorties à haute tension avec courant cathode des diodes de serrage pour la commutation de charges inductives. La note collecteur de courant de chaque paire Darlington est de 500 mA. Les paires Darlington peuvent être connectées en parallèle pour une capacité de courant élevée. L'ULN2803A a une résistance de base de la série 2,7-kΩ pour chaque paire Darlington pour l'opération directement avec TTL.

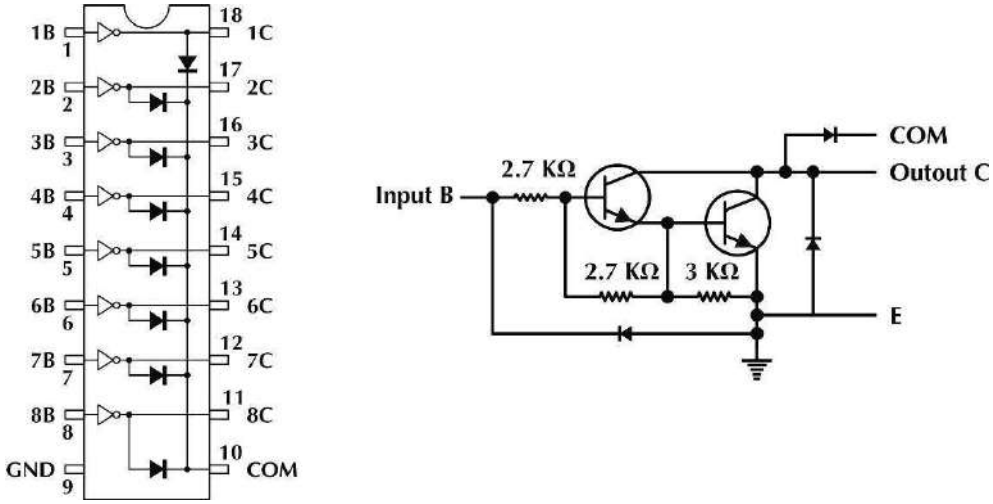


Figure 4. 10 Schéma de l'ULN2803A et chaque paire de Darlington.

4.3.5 La liaison RS-232 USB

La liaison utilisée pour notre projet est la liaison RS232. Elle définit la transmission sous forme de trame comprenant un paquet de 5 à 8 bit, cette liaison est de forme USB d'un côté et d'un DB9 de l'autre côté. Le RS-232 est une norme standardisant un bus de communication de type série sur trois fils minimum (électrique, mécanique et protocole), il est communément appelé le « port série ».



Figure 4. 11 Port RS-232 USB.

Sur les systèmes d'exploitation MS-DOS et Windows, les ports RS-232 sont désignés par les noms COM1, COM2, etc. Cela leur a valu le surnom de « ports COM », encore utilisé de nos jours. Cependant, il est de plus en plus remplacé par le port USB. Les liaisons RS-232 sont fréquemment utilisées dans l'industrie pour connecter différents appareils électroniques (automate, appareil de mesure, etc.).

Tableau 4. 3 Description des pines de DB9.

Numéro de pine	Nom	Description
1	DCD	le support d'informations détecte
2	RD	recevoir les données
3	TD	transmettre les données
4	DTR	prêt terminal
5	SGND	la terre
6	DSR	modem prêt
7	RTS	demande d'envoyer
8	CTS	le prêt à émettre
9	RI	indicateur d'anneau

4.3.6 Le microcontrôleur PIC 16f628a

Les P1C16F628A sont les membres Flash-basés de la famille souple de P1C16F627A / 628A / 648A de peu coûteux, à rendement élevé, CMOS, entièrement charge statique, microcontrôleurs à 8 bits. Tous les microcontrôleurs de PICS utilisent une architecture avancée de RISC.

Les PIC16F628A ont augmenté des dispositifs de noyau, une pile profonde de huit niveaux, et des sources arides internes multiples d'interruption externe. Les bus séparés d'instruction et de données de l'architecture de Harvard permettent à un bit 14 le mot d'instruction large avec les données larges à 8 bits séparées.

La canalisation à deux étages d'instruction permet toutes les instructions de s'exécuter dans un cycle simple, excepté les branches de programme (qui exigent deux cycles). Un total de 35 instructions (jeu d'instructions réduit) sont disponibles, complété par un grand ensemble de registre.

Les microcontrôleurs de PIC16F628A réalisent typiquement une compression de code de 2:1 et une amélioration de vitesse de 4:1 au-dessus d'autres microcontrôleurs à 8 bits dans leur classe.

Les dispositifs de PIC16F628A ont intégré des dispositifs pour réduire les composants externes, de ce fait réduisant le coût de système, augmentant la puissance de fiabilité de système et d'énergie de réduction.

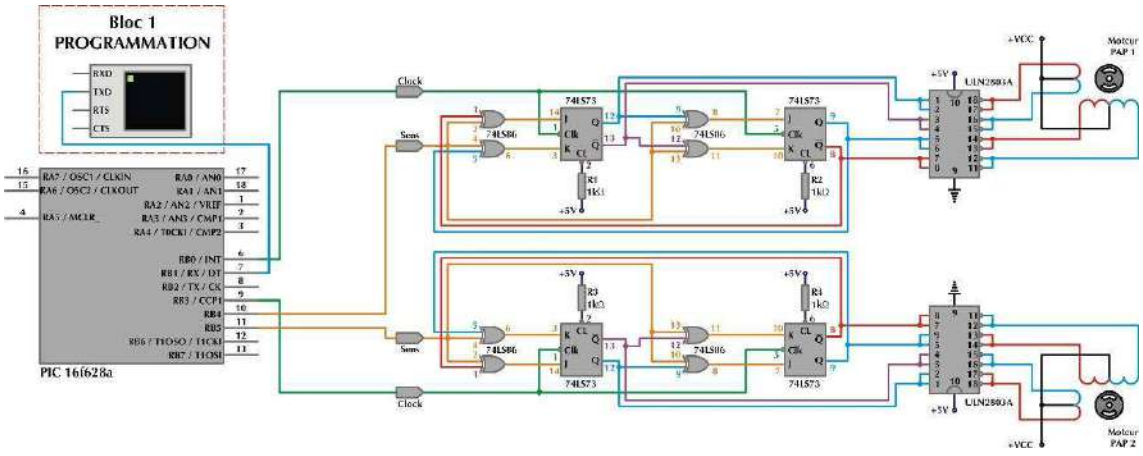


Figure 4. 12 Schéma de montage du PIC16F628A.

4.3.6.1 Le circuit d'adaptation

Afin d'avoir une liaison entre notre programme et la commande, on a réalisé un circuit d'adaptation qui se présente ci-dessus

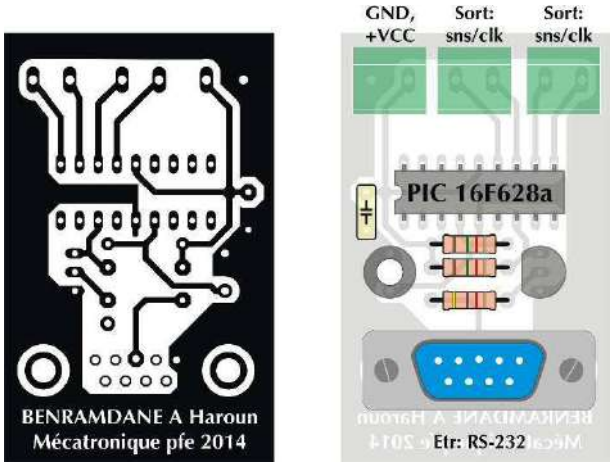


Figure 4. 13 Circuits imprimé de l'adaptation et implantation des composants.

4.4 Les essais expérimentaux

L'expression est basée sur la détection de la lumière du soleil à travers une caméra web, un programme MATLAB, qui fait la prise de cette photo en RGB puis il la fait la conversion vers le niveau GRAY, pour éliminer les couleurs indésirables, c'est-à-dire l'intensité maximale pondre est celle du soleil, puis le même programme MATLAB qui fait la détection le cercle du soleil et donné ces cordonnés suivant les axes X et Y en Pixel, la conversion Pixel vers Pas est une partie de ce programme.

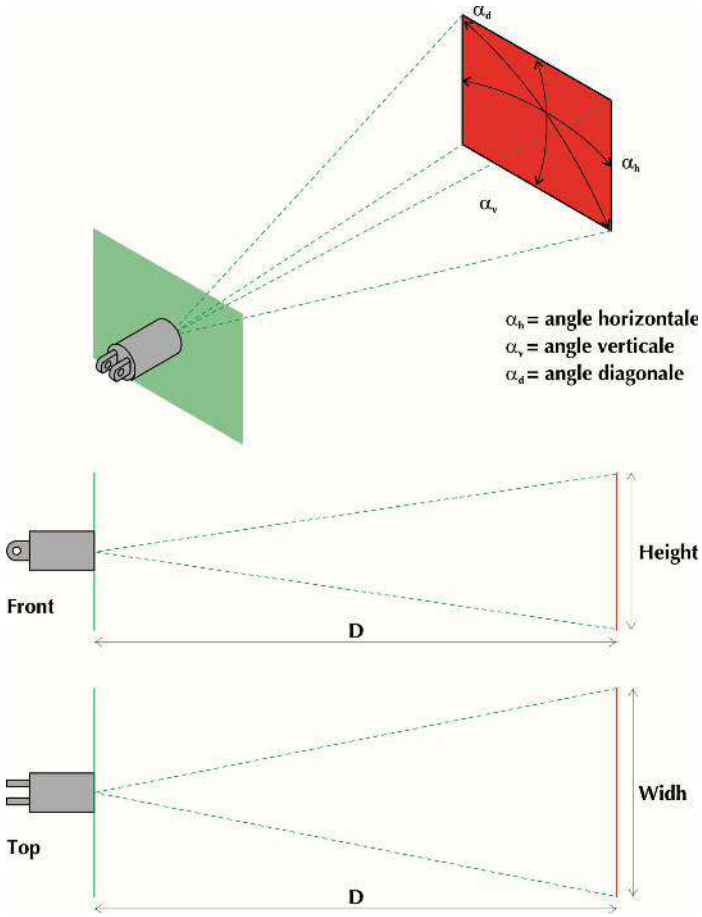


Figure 4. 14 Schéma du champ de vision FOV.

D'après les caractéristiques de la caméra et la taille prise sur MATLAB, on peut déterminer le champ de vision (FOV : Feild of view)

$$Widh = 240\ px$$

$$Height = 320\ px$$

$$Angle\ pour\ une\ seule\ pas\ =\ 7.5°$$

$$\alpha_h\ =\ Angle\ horizontale\ =\ 31°$$

$$\alpha_v\ =\ Angle\ verticale\ =\ 23.23°$$

$31° \longmapsto 320\ px$

$$7.5 \longmapsto X\ px \qquad \Rightarrow X = \frac{7.5° \times 320}{31°} = 77.41\ px$$

$23.23° \longmapsto 240\ px$

$$7.5 \longmapsto X\ px \qquad \Rightarrow X = \frac{7.5° \times 240}{23.23°} = 77.48\ px$$

$1\ Pas \longmapsto 77.41\ px$

$n\ Pas \longmapsto X_p, Y_p\ px$

On a des cas pour capturer la position du soleil pour actionner les deux moteur pas à pas suivant les axes X, Y. La figure suivante présente les cas possible de capteur.

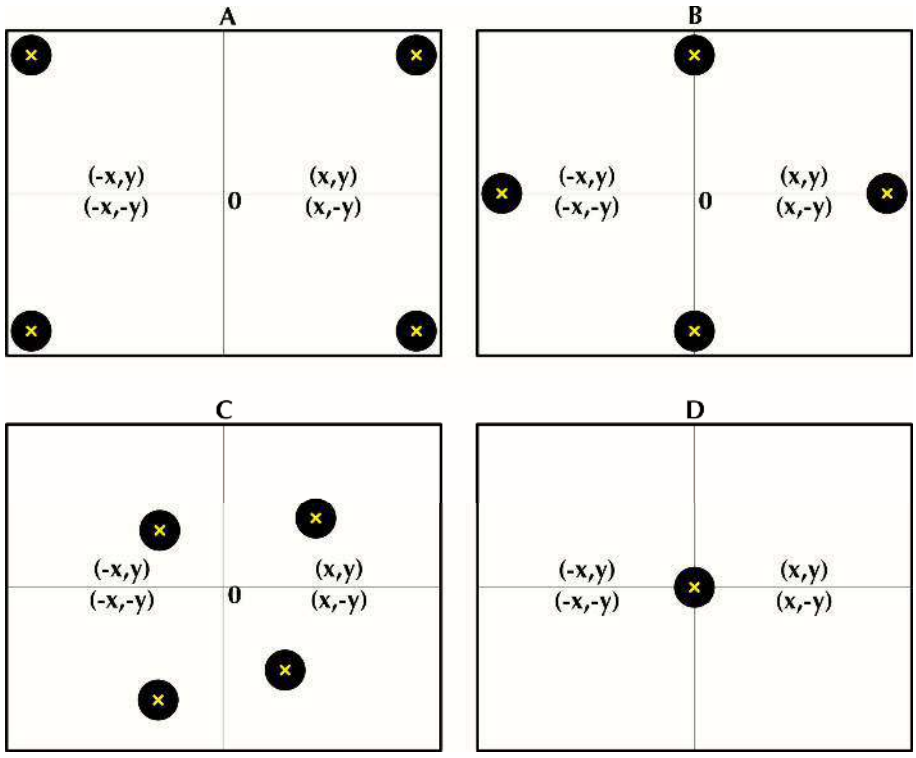


Figure 4. 15 Les cas possible de captage.

Fig 15 – A : Positionnement du soleil à la bordure du champ de vision. Les deux moteurs seront actionnés.

Fig 15 – B : Positionnement du soleil au centre de l'un des axes. Un seul moteur sera en action tell que la position de l'un des axes été nulle.

Fig 15 – C : Positionnement aléatoire et les deux moteurs seront actionnés.

Fig 15 – D : Position final après l'action des moteurs.

4.4.1 Première essai

On suppose que la position d'équilibre des panneaux solaire est au milieu de l'image acquise. Notre programme doit focaliser les rayons solaires vers le point d'équilibre afin de rendre les rayonnes solaire perpendiculaire au panneau solaire.

Après l'acquisition du soleil on à l'image suivante :



Figure 4. 16 Image acquise par la caméra.

Une étape de traitement de l'image acquise est nécessaire pour localiser et déterminer la position du soleil dans l'image acquise. Le résultat de la localisation et présenter par la figure suivante :

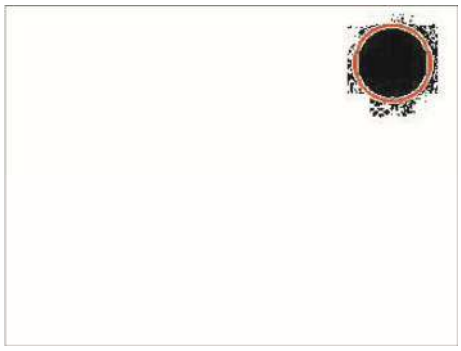


Figure 4. 17 Localiser et déterminer la position du soleil.

Notre objectif est de déterminer les deux angles (Angle M1, Angle M2) pour actionner des deux moteurs, afin de mettre le soleil au point d'équilibre de l'image acquise (les rayonnes doivent être perpendiculaires au panneau solaire).

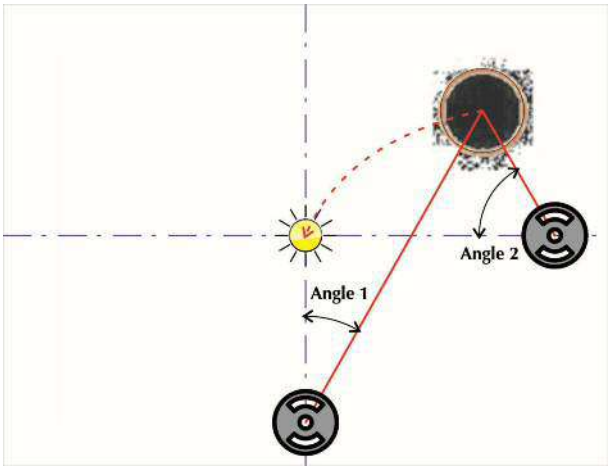


Figure 4. 18 Détermination de l'angle nécessaire pour diriger le panneau solaire.

Par la suite de travail, notre algorithme a fourni la commande nécessaire pour corriger la position du panneau solaire, en actionnant les moteurs M1 et M2. Suivant les résultats de traitement d'image obtenue :

- la position du soleil dans l'image : les cordonnés (X, Y) = [273.0000 42.9909].

Notre algorithme de commande doit être dirigé pour orienter les deux moteur dans les deux sens positif et sens négatif, afin de choisi un chemin optimal suivant la figure suivante.

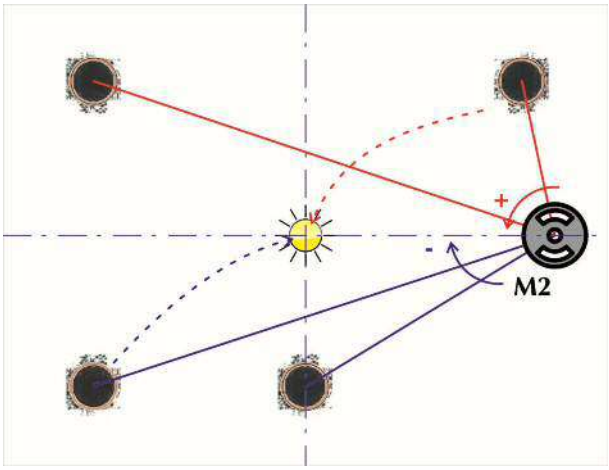


Figure 4. 19 Détermination le sens nécessaire pour diriger le panneau solaire.

Dès que le repérage du soleil est terminé, notre algorithme gère une commande vers le PIC, pour actionner les deux moteurs ; la commande est la suivant :

La commande vers le PIC $\begin{cases} M1 = 3.9783 \cong 4pas \\ sens\ M1 = positif \\ M2 = 7.8138 \cong 8pas \\ sens\ M2 = positif \end{cases}$

Cette commande suis l'position du soleil dans l'image acquise ainsi les caractéristiques des moteurs pas à pas :

- Les angles d'action : Angle d'action M1 = 29.8376°. Angle M2= 58.6036°.
- Les caractéristiques des moteurs pas à pas : 7.5°/pas

Une fois que la commande été envoyer vers le PIC, l'exécution actionne les deux moteurs et les résultats sont représenté par la figure suivante

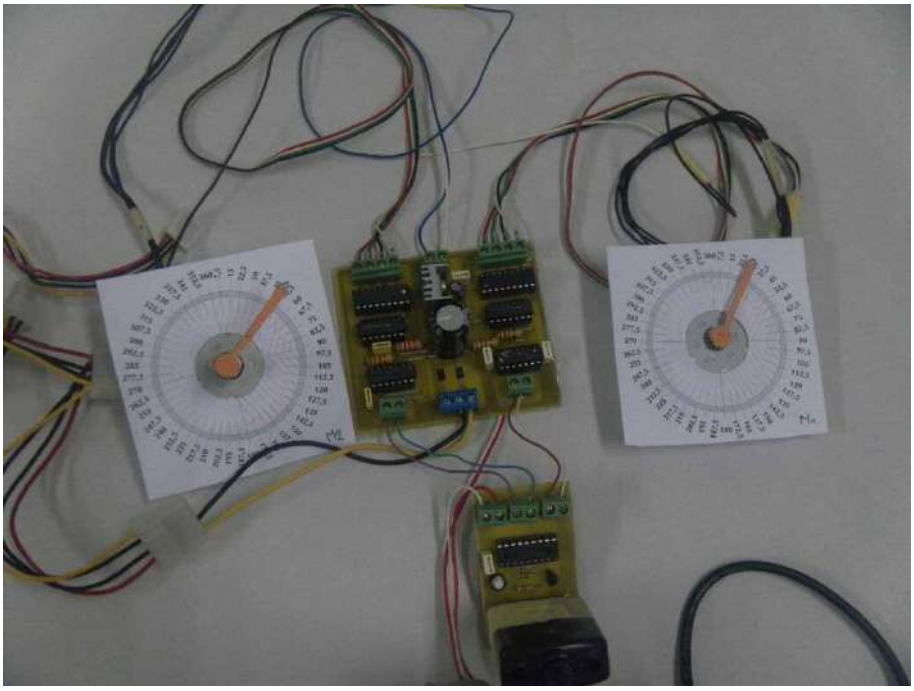


Figure 4. 20 Action des moteurs après le premier essai.

4.4.2 Deuxième essais

Après l'acquisition de la nouvelle position du soleil, et la détection de la position, le résultat de la localisation et présenter par la figure suivante :

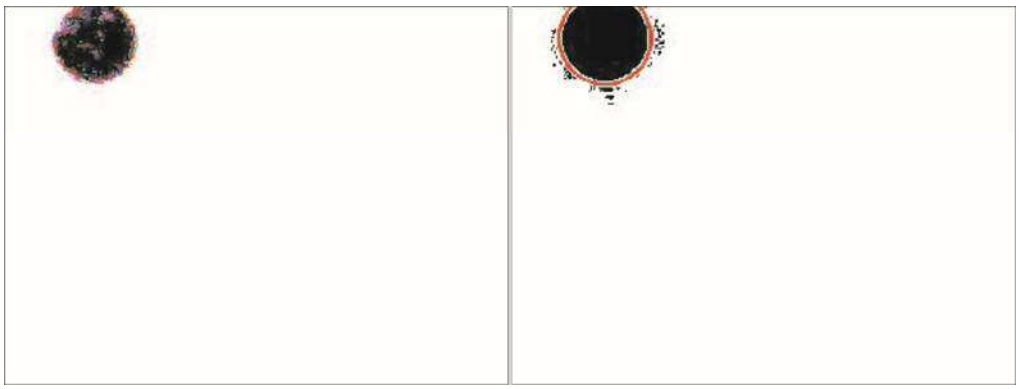


Figure 4. 21 Image acquise, localisation et déterminer la position du soleil pour le deuxième essai.

Les nouvelles angles et sens M1, M2 sont déterminées

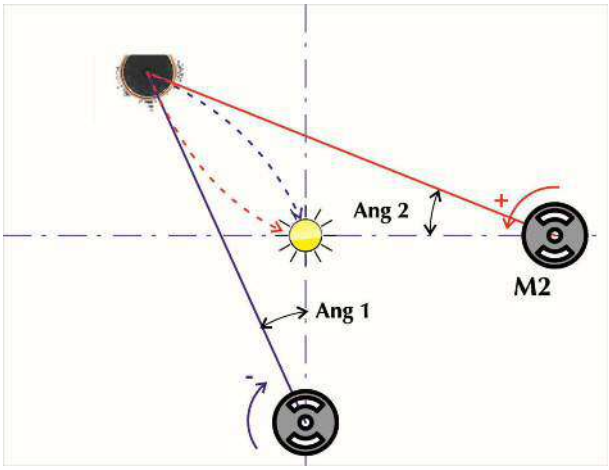


Figure 4. 22 Détermination du deuxième angle et le sens nécessaire pour diriger le panneau.

- La position du soleil dans l'image : les cordonnés (X, Y) = [58.4350 22.5019]

- La commande vers le PIC $\begin{cases} M1 = 3.3375 \cong 4pas \\ sens\ M1 = négatif \\ M2 = 2.7257 \cong 3pas \\ sens\ M2 = positif \end{cases}$
- Les angles d'action : Angle d'action M1 = 25.0312°. Angle M2= 20.4429°.
- Les caractéristiques des moteurs pas à pas : 7.5°/pas

Une fois que la nouvelle commande été envoyer vers le PIC, l'exécution actionne les deux moteurs et les résultats sont représenté par la figure suivante

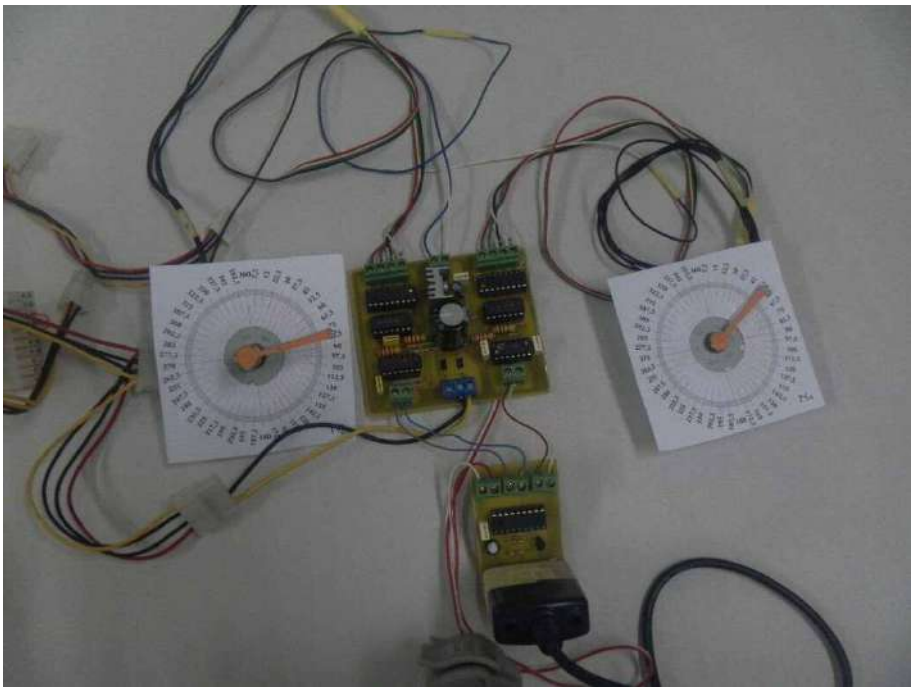


Figure 4. 23 Action des moteurs après le deuxième essai.

4.4.3 Troisième essais

Après l'acquisition de troisième position du soleil, et la détection la position, le résultat de la localisation et présenter par la figure suivante :

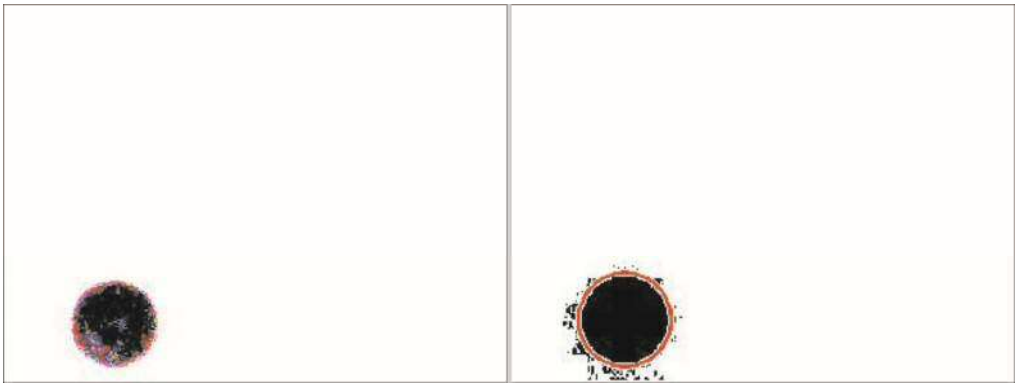


Figure 4. 24 Image acquise, localisation et déterminer la position du soleil.

Les nouvelles angles et sens M1, M2 sont déterminées

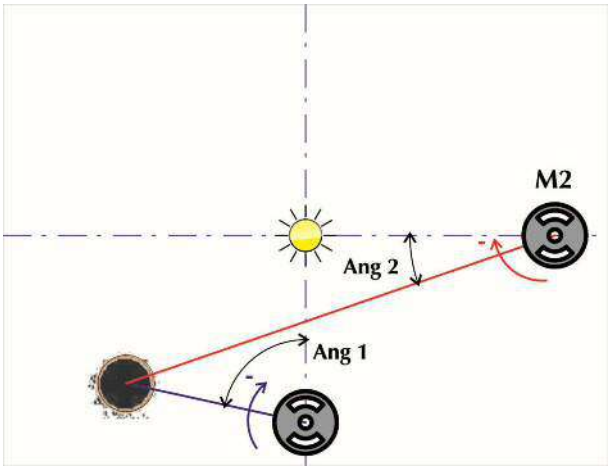


Figure 4. 25 Détermination du troisième angle et le sens nécessaire pour diriger le panneau.

- La position du soleil dans l'image : les cordonnés (X, Y) = [268.5419 192.5163]
- La commande vers le PIC $\begin{cases} M1 = 8.8496 \cong 9pas \\ sens\ M1 = négatif \\ M2 = 7.2854 \cong 8pas \\ sens\ M2 = négatif \end{cases}$
- Les angles d'action : Angle d'action M1 = 66.3721°. Angle M2= 54.6402°.
- Les caractéristiques des moteurs pas à pas : 7.5°/pas

Une fois que la nouvelle commande été envoyer vers le PIC, l'exécution actionne les deux moteurs et les résultats sont représenté par la figure suivante

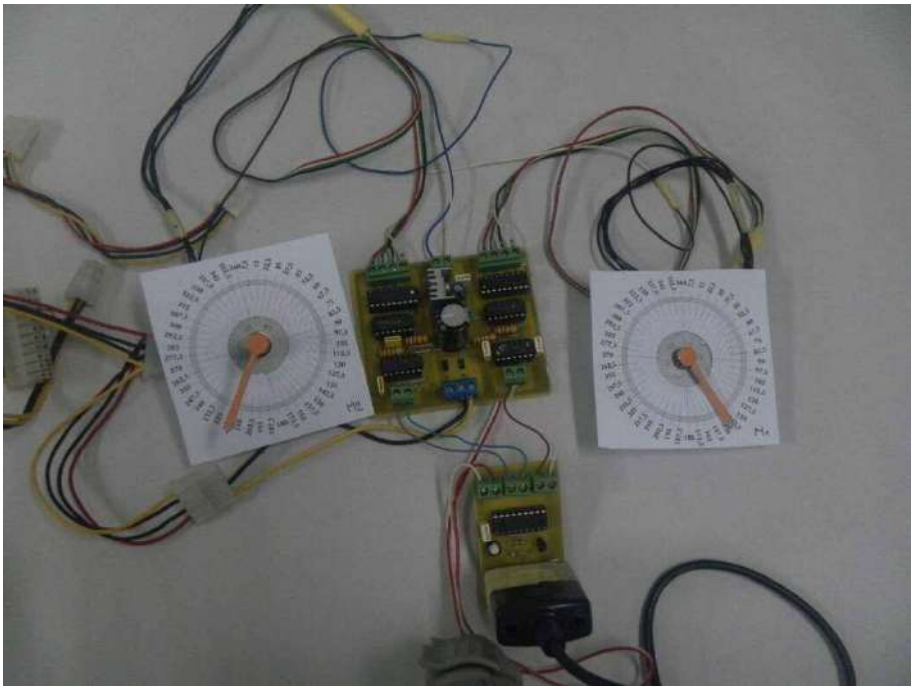


Figure 4. 26 Action des moteurs après le troisième essai.

4.5 L'expérience pratique

Après la vérification des différents étages de réalisation de notre projet, l'étape suivante consiste à rassembler les différents étages et les protocoles montrés précédemment afin d'obtenir notre prototype final d'un suiveur solaire.

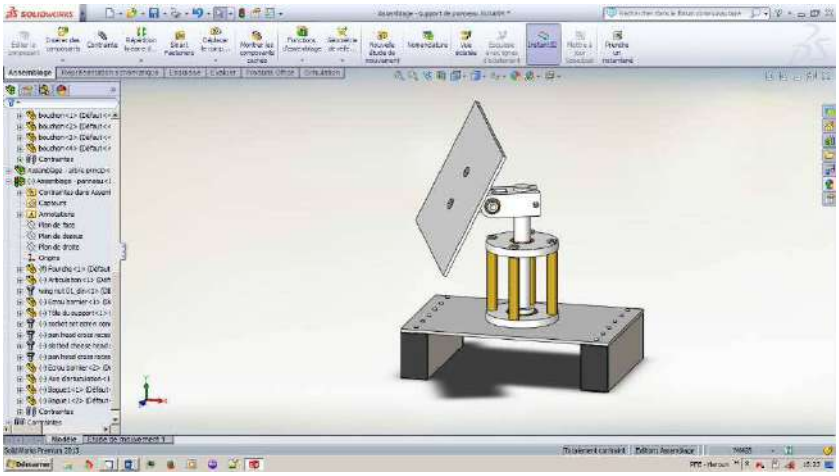


Figure 4. 27 Le support désigné par SolideWorks.

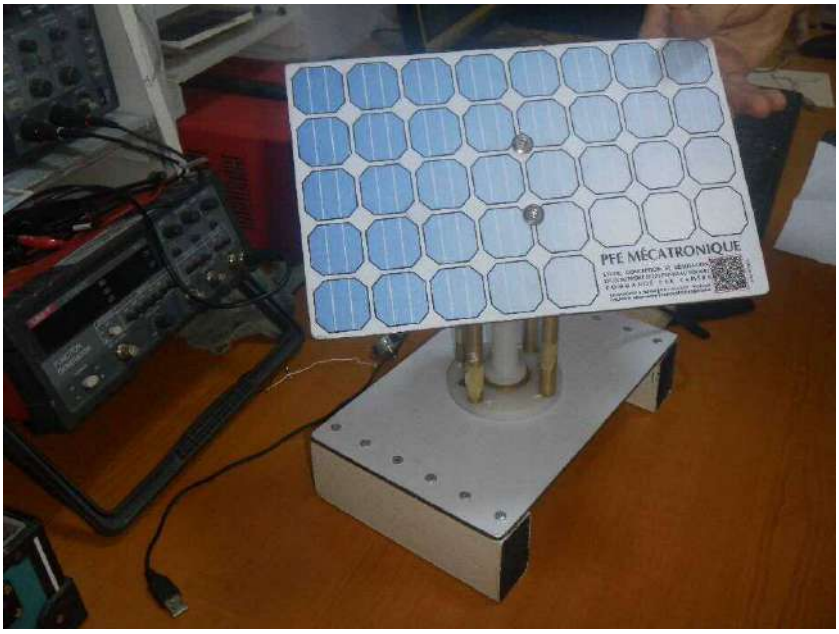


Figure 4. 28 Le mécanisme réalisé.

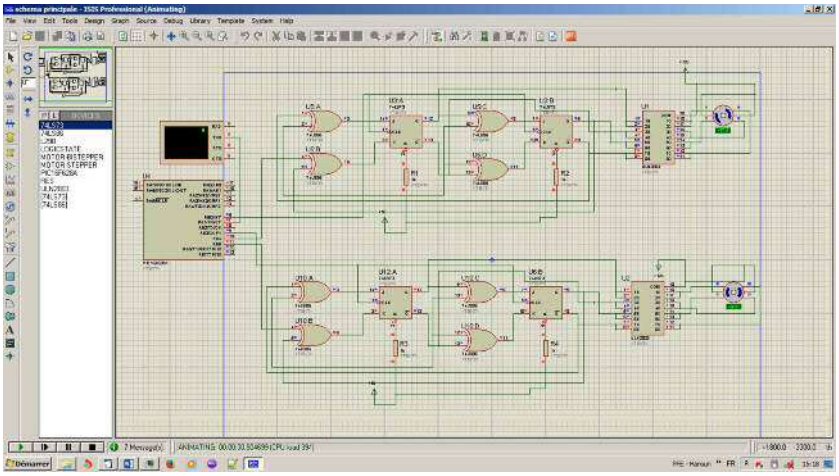


Figure 4. 29 Le driver désigné par Proteus ISIS.

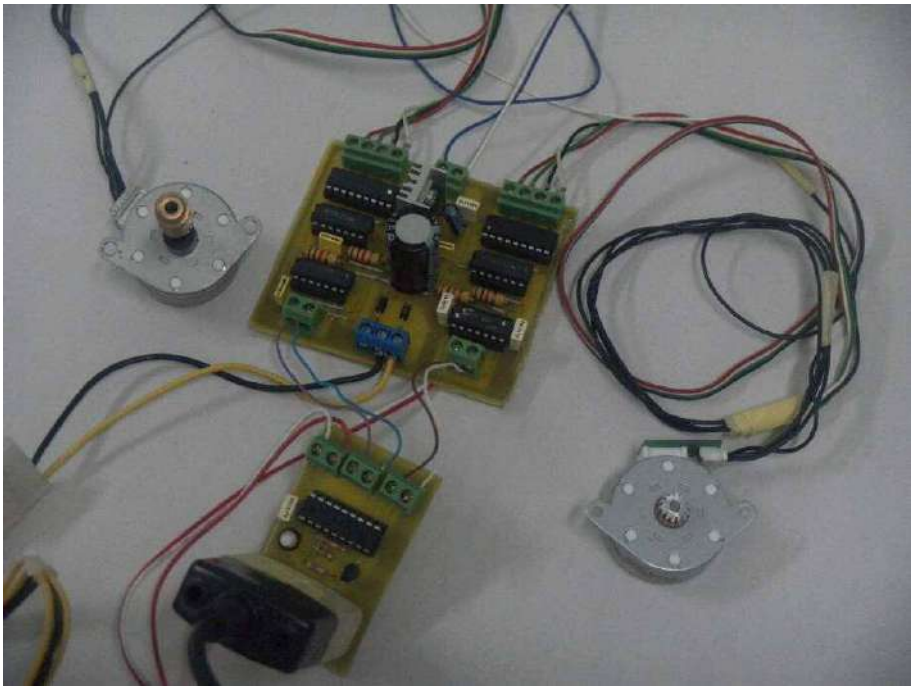


Figure 4. 30 Le driver réalisé.

Un essai pratique nous a fournie l'image suivante

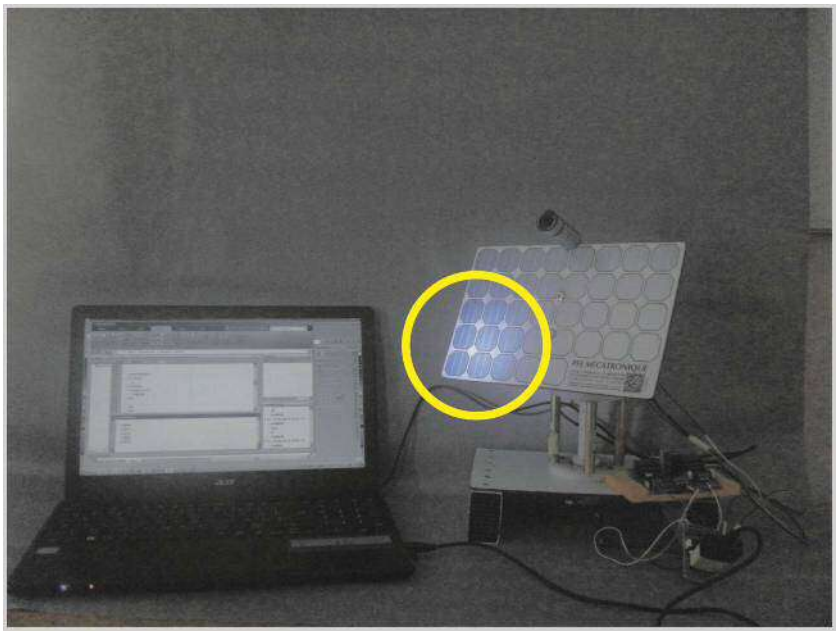


Figure 4. 31 Test pratique.

L'image fournie dans le test pratique est montré ci-contre par le système d'acquisition, notre système de suivi va rediriger le panneau solaire de telle façon à positionner les rayons solaire au point d'équilibre. Cette dernière expérience nous a montré le taux de réussite de communication des déférents étages de notre travail pour diriger le panneau solaire en assurant un rendement maximal.

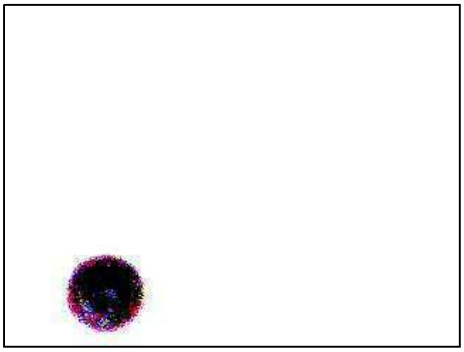


Figure 4. 32 Image acquise par le test.

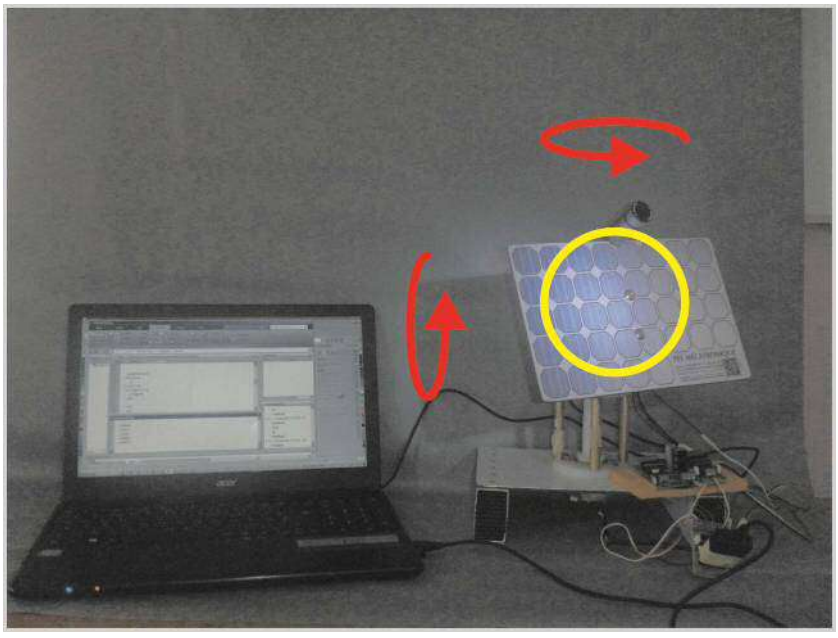


Figure 4. 33 Le taux de réussite de communication.

4.6 CONCLUSION

Nous avons décrit dans ce chapitre tous les étapes de notre réalisation telle que les circuits utilisés ainsi que les schémas internes de chaque élément jusqu'au l'étude et l'implémentation des logiciel de simulation et programmation d'une part, d'autre part la réalisation d'un mécanisme capable d'adapter toutes une réalisation et une commande électronique afin de construire un système Mécatronique répond à nos besoin.

Enfin on a pu faire des tests sur le prototype malgré les difficultés de réalisation qu'on a trouvées dans ce travail.

CONCLUSION GENERALE

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique et l'autre produit de l'électricité, c'est l'énergie solaire photovoltaïque.

Les installations photovoltaïques comportent différents types de composants, panneaux solaire et supports. Le choix de ces éléments joue un rôle primordial pour améliorer le rendement de ces installations. Dans ce contexte, nous avons développé un support de panneaux solaires orienté par deux moteurs pas à pas et une caméra web.

Durant cette étude, les tâches effectuées sont:

1. Conception et réalisation du support.
2. Conception et réalisation des cartes électroniques de la commande
3. Tester le dispositif réalisé.

Les tests effectués sur le dispositif développé ont permis de vérifier les différents paramètres de fonctionnement. Ils ont montré l'efficacité du dispositif réalisé.

En fait, ce projet a été une occasion pour découvrir plusieurs domaines d'études tels que la conception par SolidWorks, conception des cartes électroniques et la programmation des Microcontrôleur. Nous espérons que le système développé sera amélioré par d'autres projets complémentaires.

Bibliographie

[1] Anne Labouret, Michel Villoz. « Energie Solaire Photovoltaïque », DUNOD Paris 2009, ISBN-13 : 978-2100490523.

[2] Patrick Jourd, « Les trois voies de l'énergie solaire » (01/02/2014), [en ligne] (URL : http://www.cea.fr/content/download/3146/14977/file/112a115jourde.pdf).

[3] Sikla « Supportage panneaux solaires » (14/03/2014), [en ligne] (URL : http://www.sikla.fr/services/tlchargements/publications/fiches-techniques/supportage-panneaux-solaires/101811).

[4] A.CHEVALIER, J. BOHAN. « Guide de dessinateur industriel », ETICA, France 1984, ISBN : 2 01 16 7583 9.

[5] Marcel Jufer. « Traite d'électricité », ELECTROMECANIQUE, volume IX, Mars 1995, ISBN 2-28074-285-4.

[6] Nicolas Wavre. « Entrainements Electrique II » Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne, 2012.

[7] J.R. Hendershot and Tje Miller. « Design of Brushless Permanent-Magnet Motors». Oxford Science Publication, Mars 2010, ISBN 1-881-885-03-01.

[8] Patrice Oguic. « Moteurs pas à pas et PC » DUNOD Paris 2004, ISBN : 2 10 007174 2.

[9] Christian, « Les Régulateurs de tension » (29/04/2014), [en ligne] (URL : http://www.engineersgarage.com/electronic-components/7805-voltage-regulator-ic).

Mécanique

Annexe I



MICHAUD CHAILLY
PLASTIQUES TECHNIQUES

PTFE
Polytétrafluoroéthylène

www.michaud-chailly.fr

DÉSIGNATION NORMALISÉE
- Polytétrafluoroéthylène.

TYPE DE PRODUIT
- Polymère fluoré.

COULEURS
- Naturel.

CARACTÉRISTIQUES
- Points forts :
  Haute résistance aux températures extrêmes.
  Haute résistance aux agents chimiques et solvants.
  Anti-adhérence élevée.
  Propriété diélectrique élevée.
  Coefficient de friction très bas.
  Sans conséquences physiologiques.
- Points faibles :
  Résistance à l'usure limitée (sous charge).
  Collage impossible ou presque.
  Sensible au fluage et ne servira donc pas à la construction d'éléments mécaniquement solicités.
  Densité élevée.

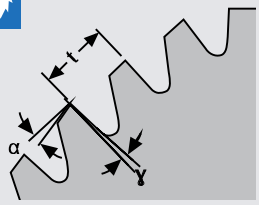
DOMAINES D'APPLICATIONS TYPES
- Industrie chimique : joints, bagues d'étanchéité, sièges et disques de vannes, appareillage de laboratoires, pièces isolantes, revêtements anti-adhérents.
- Etc.

GÉNÉRALES	NORMES	VALEURS	UNITÉS
Densité	DIN EN ISO 1183-1	2,14 à 2,18	g/cm³
Absorption d'humidité	DIN EN ISO 62	-	%
MÉCANIQUES	**NORMES**	**VALEURS**	**UNITÉS**
Résistance à la traction	DIN EN ISO 527	≥20	MPa
Allongement à la rupture	DIN EN ISO 527	≥200	%
Module d'élasticité à la traction	DIN EN ISO 527	-	MPa
Résistance au choc (4)	DIN EN ISO 179	-	kJ/m²
Dureté à la bille	DIN EN ISO 2039-1	-	MPa
Dureté shore D	DIN EN ISO 868	51-60	Echelle D
Coefficient de frottement à sec		0,06	
Taux d'usure ou Sand-Slurry		-	µm/km
THERMIQUES	**NORMES**	**VALEURS**	**UNITÉS**
Température de fusion	ISO 11357-3	-	°C
Conductibilité thermique	DIN 52612-1	0,2	W / (m * K)
Capacité thermique spécifique	DIN 52612	1,05	kJ / (kg * K)
Coefficient de dilatation thermique linéaire	DIN 53752	130	$10^{-6}K^{-1}$
Température d'utilisation à long terme	Moyenne	-200 à 260	°C
Température d'utilisation à court terme	Moyenne	-	°C
Température de déformation sous charge	DIN EN ISO 75 méthode A	-	°C
ÉLECTRIQUES	**NORMES**	**VALEURS**	**UNITÉS**
Constante diélectrique	IEC 60250	-	-
Facteur de perte diélectrique 50Hz	IEC 60250	-	-
Résistivité volumique	IEC 60093	10^{18}	Ω*cm
Résistivité superficielle	IEC 60093	10^{17}	Ω
Résistance aux courants de cheminement CTI	IEC 60112	-	-
Rigidité diélectrique	IEC 60243	20 à 40	kV/mm

(4) Charpy-entaillé

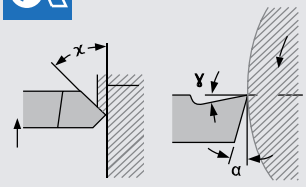
Caractéristiques d'usinage
PTFE
Polytétrafluoroéthylène

Scier



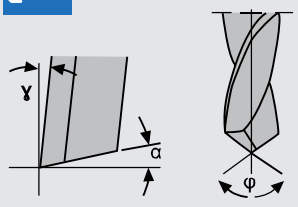
	mini	maxi
α	20	30
γ	5	8
v	300	300
t	2	5

Tourner



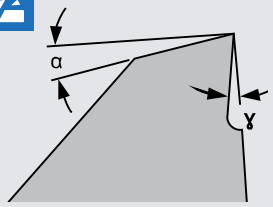
	mini	maxi
α	10	10
γ	5	8
χ	10	10
v	150	500
S	0,1	0,3

Percer



	mini	maxi
α	10	16
γ	5	20
φ	130	
v	150	200
S	0,1	0,3

Fraiser



	mini	maxi
α	5	15
γ	5	15
v	250	500

Symbole	α	χ	γ	φ	v	t	S
Désignation	Angle de dépouille	Angle de réglage	Angle de dégagement	Angle de pointe	Vitesse de coupe	Pas	Avance
Unité	°	°	°	°	m/min	mm	mm/U mm/r mm/tr

Particularité d'outillage : Néant.
Valeurs indicatives - Informations et conseils d'usinage page 163.

Informations données à titre indicatif, pour plus de précisions, contactez-nous :
N° Indigo 0 825 002 555 (0,15 € TTC / MN)
N° Indigo FAX 0 825 340 785 (0,15 € TTC / MN)

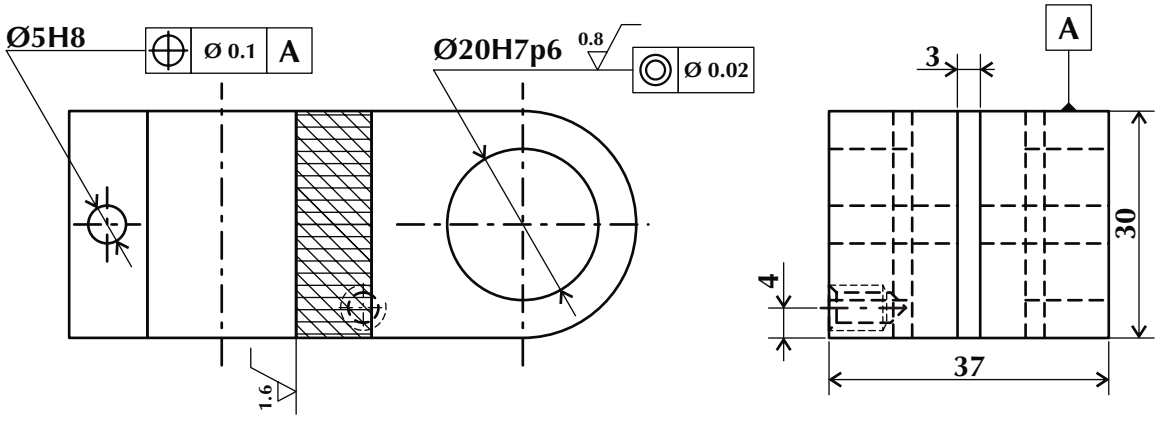
SHAFT TOLERANCE TABLE (ISO)

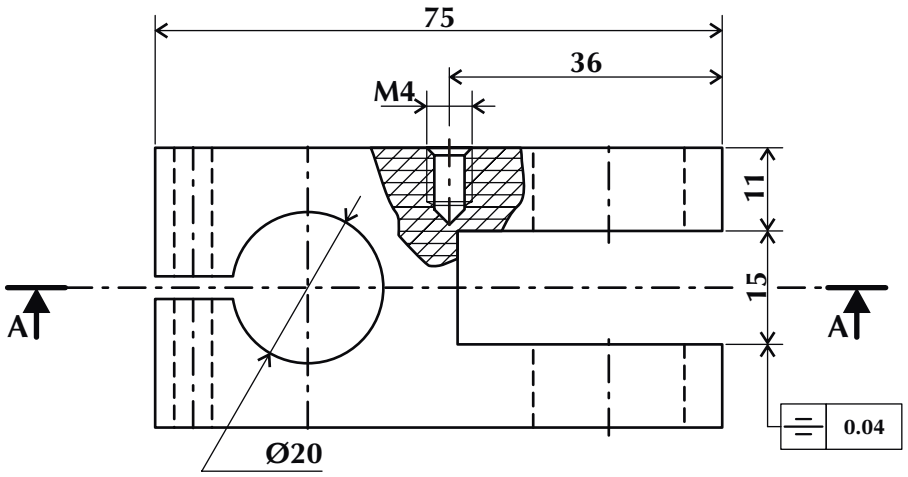
≥	<	c9	d8	e7	e8	f7	g6	h5	h6	h7	h8	js6	js7	k6	m6	n6	p6	p7	r6	s6
-	3	-60 -85	-20 -34	-14 -24	-14 -28	-6 -16	-2 -8	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	± 3	± 5	+6 0	+8 +2	+10 +4	+12 +6	+16 +6	+16 +10	+20 +14
3	6	-70 -100	-30 -48	-20 -32	-20 -38	-10 -22	-4 -12	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	± 4	± 6	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+20 +12	+24 +12	+23 +15	+27 +19
6	10	-80 -116	-40 -62	-25 -40	-25 -47	-13 -28	-5 -14	0 -6	0 -9	0 -15	0 -22	± 4.5	± 7	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+24 +15	+30 +15	+28 +19	+32 +23
10	18	-95 -138	-50 -77	-32 -50	-32 -59	-16 -34	-6 -17	0 -8	0 -11	0 -18	0 -27	± 5.5	± 9	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+29 +18	+36 +18	+34 +23	+39 +28
18	24	-110 -162	-65 -98	-40 -61	-40 -73	-20 -41	-7 -20	0 -9	0 -13	0 -21	0 -33	± 6.5	± 10	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+35 +22	+43 +22	+41 +28	+48 +35
24	30																			
30	40	-120 -182	-80 -119	-50 -75	-50 -89	-25 -50	-9 -25	0 -11	0 -16	0 -25	0 -39	± 8	± 12	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+51 +26	+50 +34	+59 +43
40	50	-130 -192																		
50	65	-140 -214	-100 -146	-60 -90	-60 -106	-30 -60	-10 -29	0 -13	0 -19	0 -30	0 -46	± 9.5	± 15	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+51 +32	+62 +32	+60 +41	+72 +53
65	80	-150 -224																	+62 +43	+78 +59
80	100	-170 -257	-120 -174	-72 -107	-72 -126	-36 -71	-12 -34	0 -15	0 -22	0 -35	0 -54	± 11	± 17	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+59 +37	+72 +37	+73 +51	+93 +71
100	120	-180 -267																	+76 +54	+101 +79
120	140	-200 -300	-145 -208	-85 -125	-85 -148	-43 -83	-14 -39	0 -18	0 -25	0 -40	0 -63	± 12.5	± 20	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+68 +43	+83 +43	+88 +63	+117 +92
140	160	-210 -310																	+90 +65	+125 +100
160	180	-230 -330																	+93 +68	+133 +108
180	200	-240 -355	-170 -242	-100 -146	-100 -172	-50 -96	-15 -44	0 -20	0 -29	0 -46	0 -72	± 14.5	± 23	+33 +14	+46 +17	+60 +31	+79 +50	+96 +50	+106 +77	+151 +122
200	225	-260 -375																	+109 +80	+159 +130
225	250	-280 -395																	+113 +84	+169 +140
250	280	-300 -430	-190 -271	-110 -162	-110 -191	-56 -108	-17 -49	0 -23	0 -32	0 -52	0 -81	± 16	± 26	+36 +14	+52 +20	+66 +34	+88 +56	+108 +56	+126 +94	+190 +158
280	315	-330 -460																	+130 +98	+202 +170
315	355	-360 -500	-210 -299	-125 -182	-125 -214	-62 -119	-18 -54	0 -25	0 -36	0 -57	0 -89	± 18	± 28	+40 +4	+57 +21	+73 +37	+98 +62	+119 +62	+114 +108	+226 +190
355	400	-400 -540																	+150 +114	+244 +208
400	450	-440 -595	-230 -327	-135 -198	-135 -232	-68 -131	-20 -60	0 -27	0 -40	0 -63	0 -97	± 20	± 31	+45 +5	+63 +23	+80 +40	+108 +68	+131 +68	+166 +126	+272 +232
450	500	-480 -635																	+172 +132	+292 +252

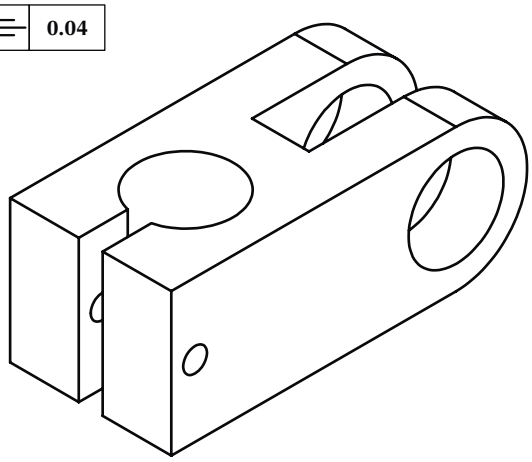
HOUSING TOLERANCE TABLE (ISO)

≥	<	B10	C9	D8	E7	E8	F7	G7	H6	H7	H8	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7
-	3	+180 +140	+85 +60	+34 +20	+24 +14	+28 +14	+16 +6	+12 +2	+6 0	+10 0	+14 0	± 5	0 -10	-2 -12	-4 -14	-6 -16	-10 -20	-14 -24	-
3	6	+188 +140	+100 +70	+48 +30	+32 +20	+38 +20	+22 +10	+16 +4	+8 0	+12 0	+18 0	± 6	+3 -9	0 -12	-4 -16	-8 -20	-11 -23	-15 -27	-
6	10	+208 +150	+116 +80	+62 +40	+40 +25	+47 +25	+28 +13	+20 +5	+9 0	+15 0	+22 0	± 7	+5 -10	0 -15	-4 -19	-9 -24	-13 -28	-17 -32	-
10	14	+200 +150	+138 +95	+77 +50	+50 +32	+59 +32	+34 +16	+24 +6	+11 0	+18 0	+27 0	± 9	+6 -12	0 -18	-5 -23	-11 -29	-16 -34	-21 -39	-
14	18																		
18	24	+244 +160	+162 +110	+98 +65	+61 +40	+73 +40	+41 +20	+28 +7	+13 0	+21 0	+33 0	± 10	+6 -15	0 -21	-7 -28	-14 -35	-20 -41	-27 -48	-
24	30																		-33 -54
30	40	+270 +170	+182 +120	+119 +80	+75 +50	+89 +50	+50 +25	+34 +9	+16 0	+25 0	+39 0	± 12	+7 -18	0 -25	-8 -33	-17 -42	-25 -50	-34 -59	-39 -64
40	50	+280 +180	+192 +130																-45 -70
50	65	+310 +190	+214 +140	+146 +100	+90 +60	+106 +60	+60 +30	+40 +10	+19 0	+30 0	+46 0	± 15	+9 -21	0 -30	-9 -39	-21 -51	-30 -60	-42 -72	-55 -85
65	80	+320 +200	+224 +150														-32 -62	-48 -78	-64 -94
80	100	+360 +220	+257 +170	+174 +120	+107 +72	+125 +72	+71 +36	+47 +12	+22 0	+35 0	+54 0	± 17	+10 -25	0 -35	-10 -45	-24 -59	-38 -73	-58 -93	-78 -113
100	120	+380 +240	+267 +180														-41 -76	-66 -101	-91 -126
120	140	+420 +260	+300 +200	+208 +145	+125 +85	+148 +85	+83 +43	+54 +14	+25 0	+40 0	+63 0	± 20	+12 -28	0 -40	-12 -52	-28 -68	-48 -88	-77 -117	-107 -147
140	160	+440 +280	+310 +210														-50 -90	-85 -125	-119 -159
160	180	+470 +310	+330 +230														-53 -93	-93 -133	-131 -171
180	200	+525 +340	+355 +240	+242 +170	+146 +100	+172 +100	+96 +50	+61 +15	+29 0	+46 0	+72 0	± 23	+13 -33	0 -46	-14 -60	-33 -79	-60 -106	-105 -151	-149 -195
200	225	+565 +380	+375 +260														-63 -109	-113 -159	-163 -209
225	250	+605 +420	+395 +280														-67 -113	-123 -169	-179 -225
250	280	+690 +480	+430 +300	+271 +190	+162 +110	+191 +110	+108 +56	+69 +17	+32 0	+52 0	+81 0	± 26	+16 -36	0 -52	-14 -66	-36 -88	-74 -126	-138 -190	-198 -250
280	315	+750 +540	+460 +330														-78 -130	-150 -202	-220 -272
315	355	+830 +600	+500 +360	+299 +210	+182 +125	+214 +125	+119 +62	+75 +18	+36 0	+57 0	+89 0	± 28	+17 -40	0 -57	-16 -73	-41 -98	-87 -144	-169 -226	-247 -304
355	400	+910 +680	+540 +400														-93 -150	-187 -224	-273 -330
400	450	+1010 +760	+595 +440	+327 +230	+198 +135	+232 +135	+131 +68	+83 +20	+40 0	+63 0	+97 0	± 31	+18 -45	0 -63	-17 -80	-45 -108	-103 -166	-209 -272	-307 -370
450	500	+1090 +840	+635 +480														-109 -172	-229 -292	-337 -400

Coupe A-A
Echelle 1:1





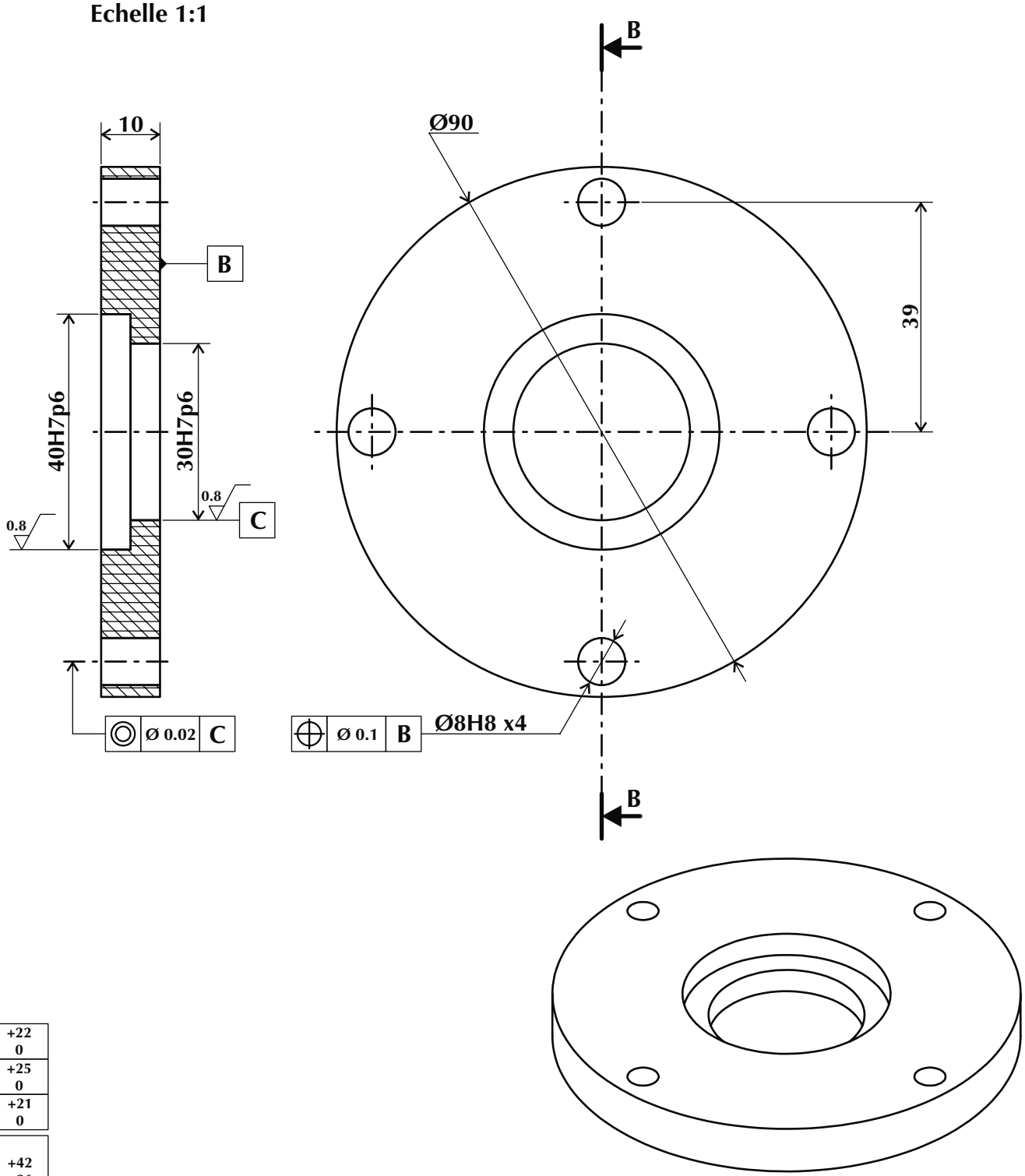


5H8	+18 0
20H7	+21 0
20p6	+35 +22

Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1	MTR: PTFE		FOURCHE
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 50g	01	BENRAMDANE Abdallah Haroun

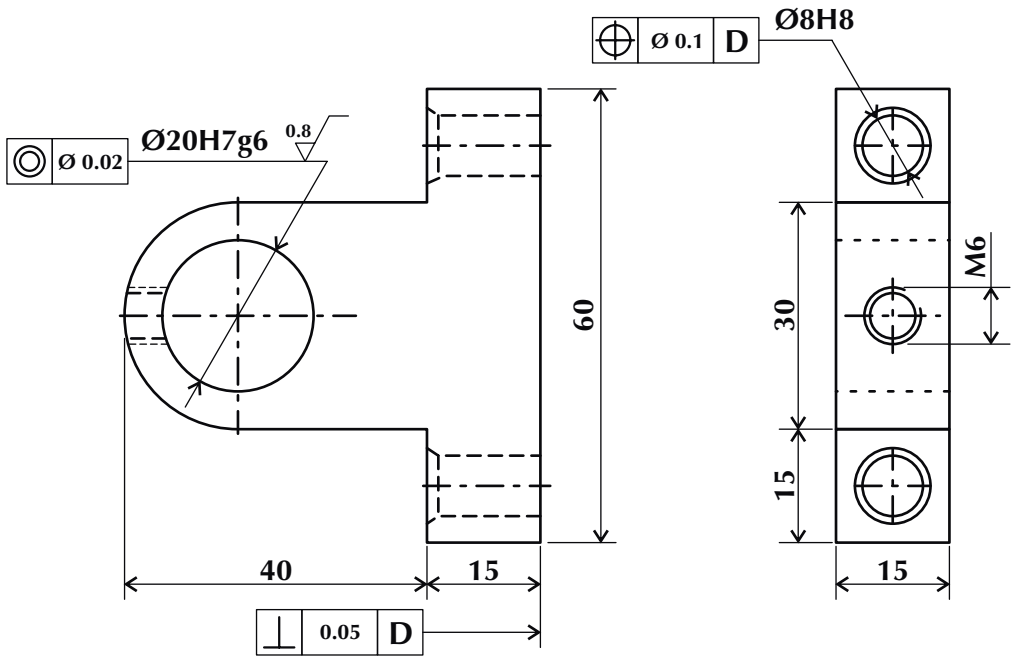
Coupe B-B
Echelle 1:1

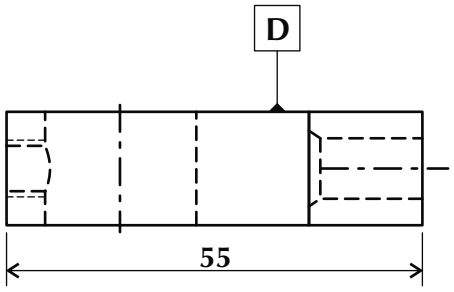


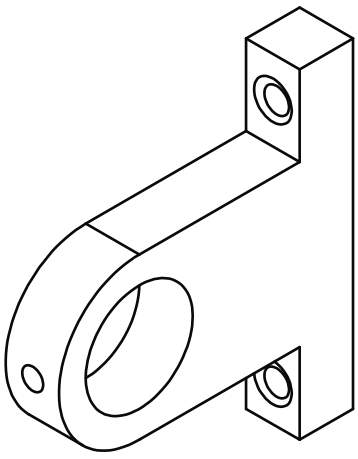
8H8	+22 0
40H7	+25 0
30H7	+21 0
40p6	+42 +26
30p6	

Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1	MTR: PTFE		PLATEAU
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 60g	02	BENRAMDANE Abdallah Haroun



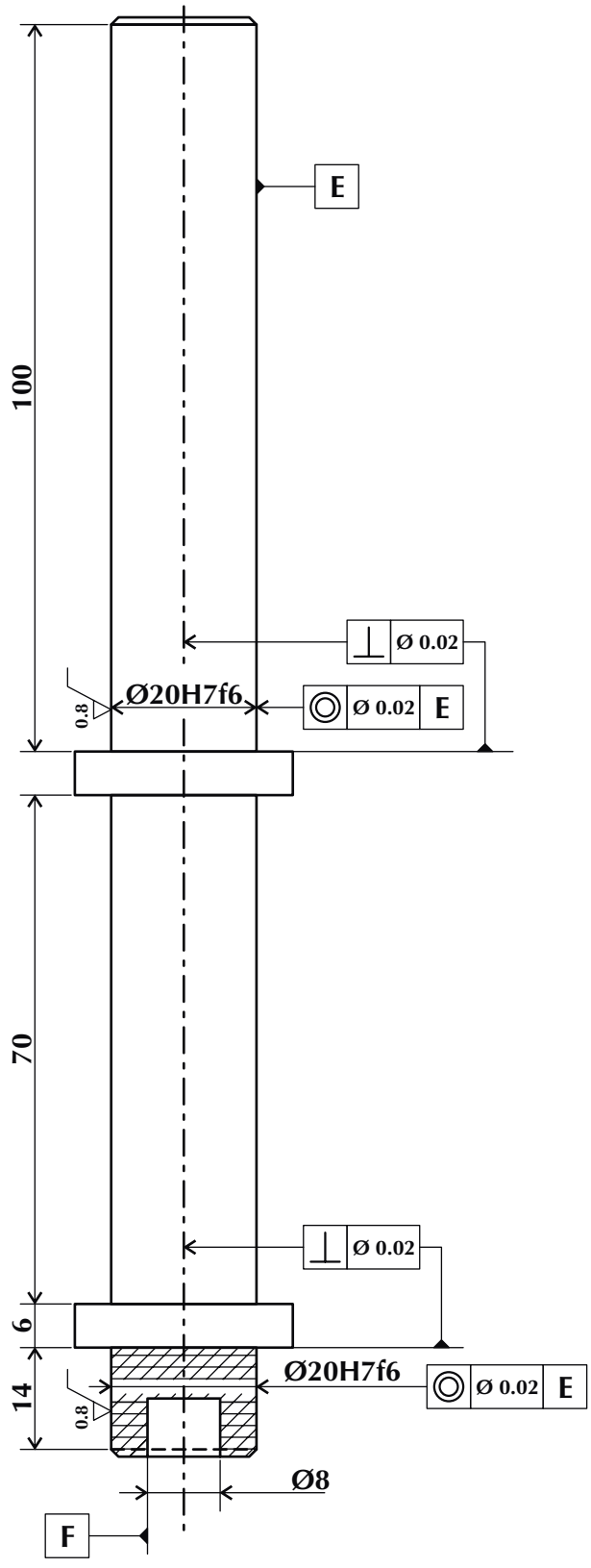




8H8	+22 0
20H7	+21 0
20g6	-7 -20

Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1	MTR: PTFE		ARTICULATION
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 25g	03	BENRAMDANE Abdallah Haroun



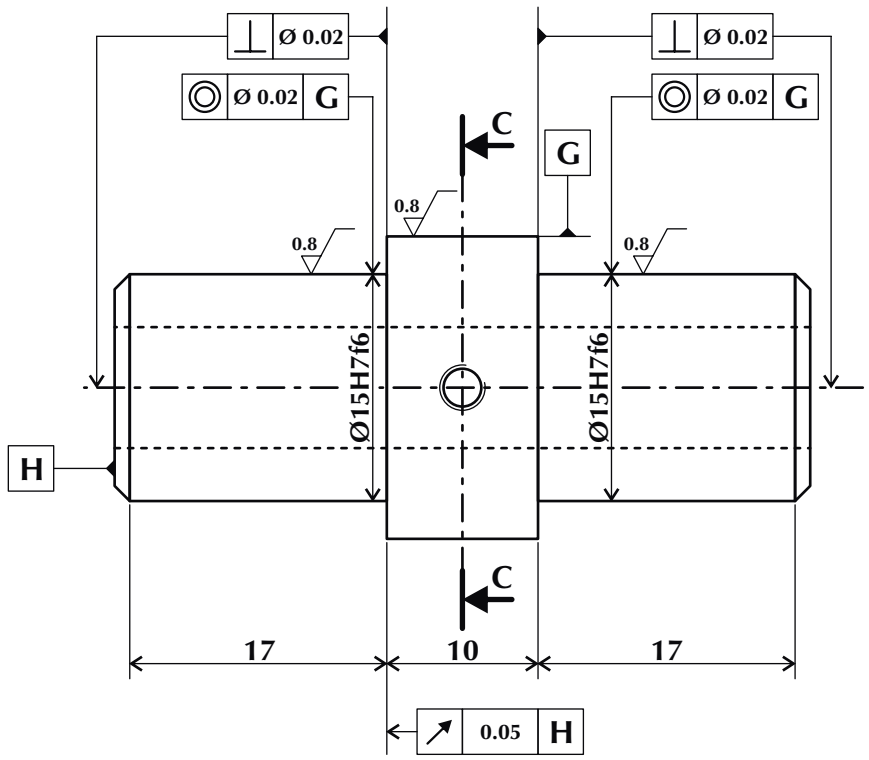
F	◎	Ø 0.02	E

20H7	+21 0
20f6	-20 -33

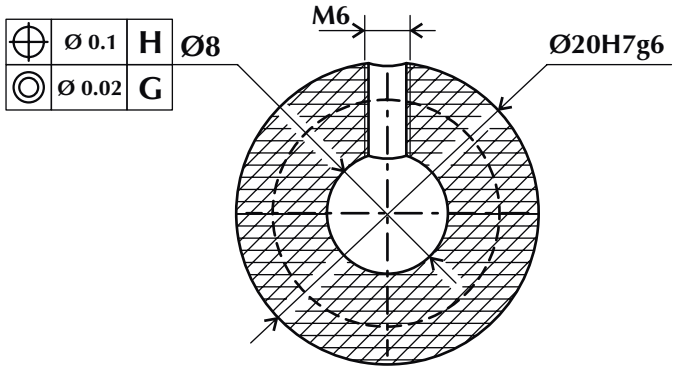
Toutes les chanfreins : 1x45°

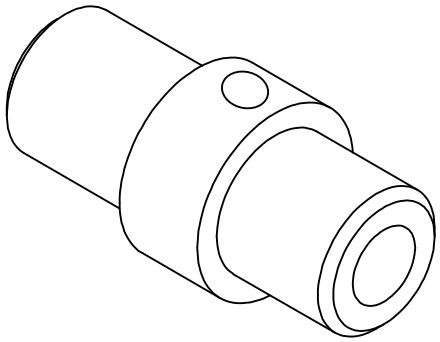
Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1	MTR: PTFE		ARBRE PRINCIPAL
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 75g	04	BENRAMDANE Abdallah Haroun



Coupe C-C
Echelle 2:1



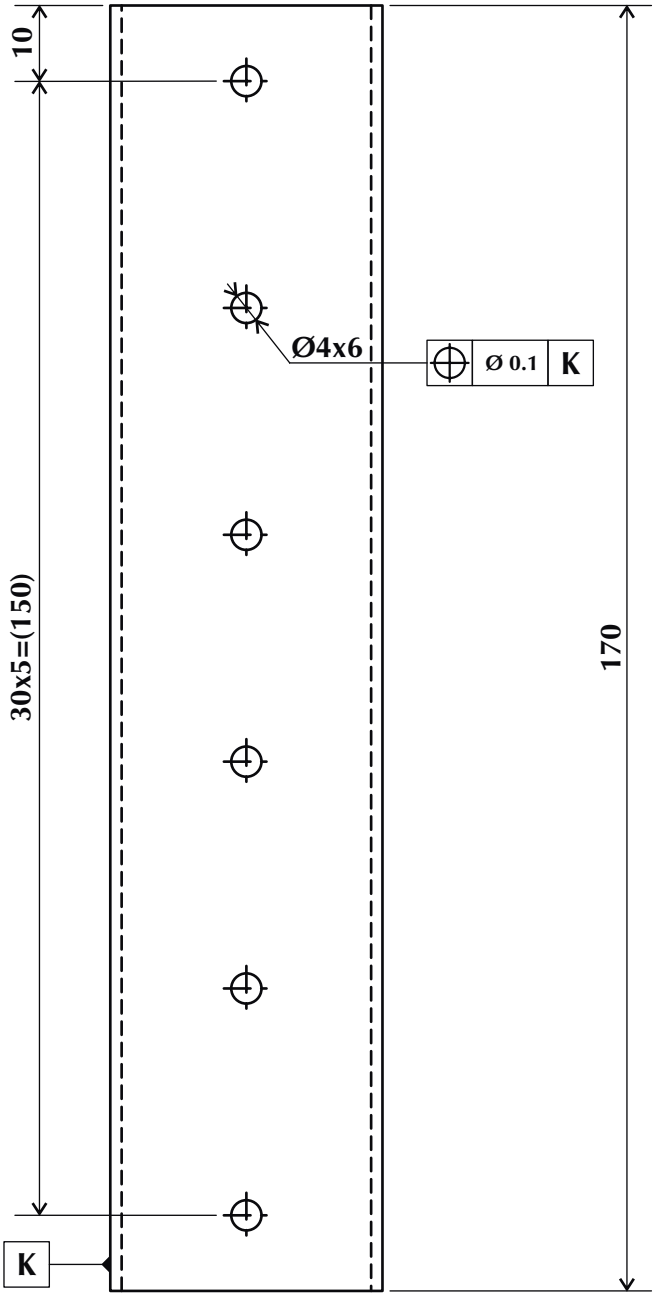


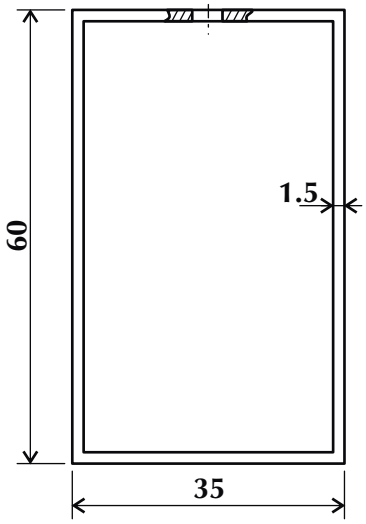
20H7	+21 0
15H7	+18 0
15f6	-16 -27
20g6	-7 -20

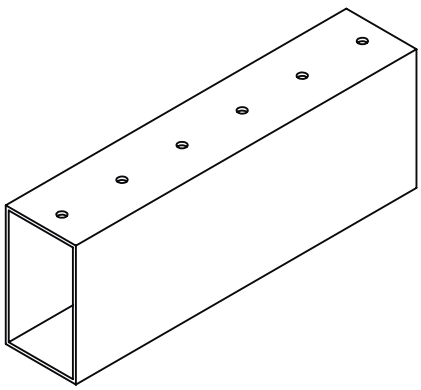
Toutes les chanfreins : 1x45°; Ecl 2:1

Université Dr Yahia Faress De Médéa

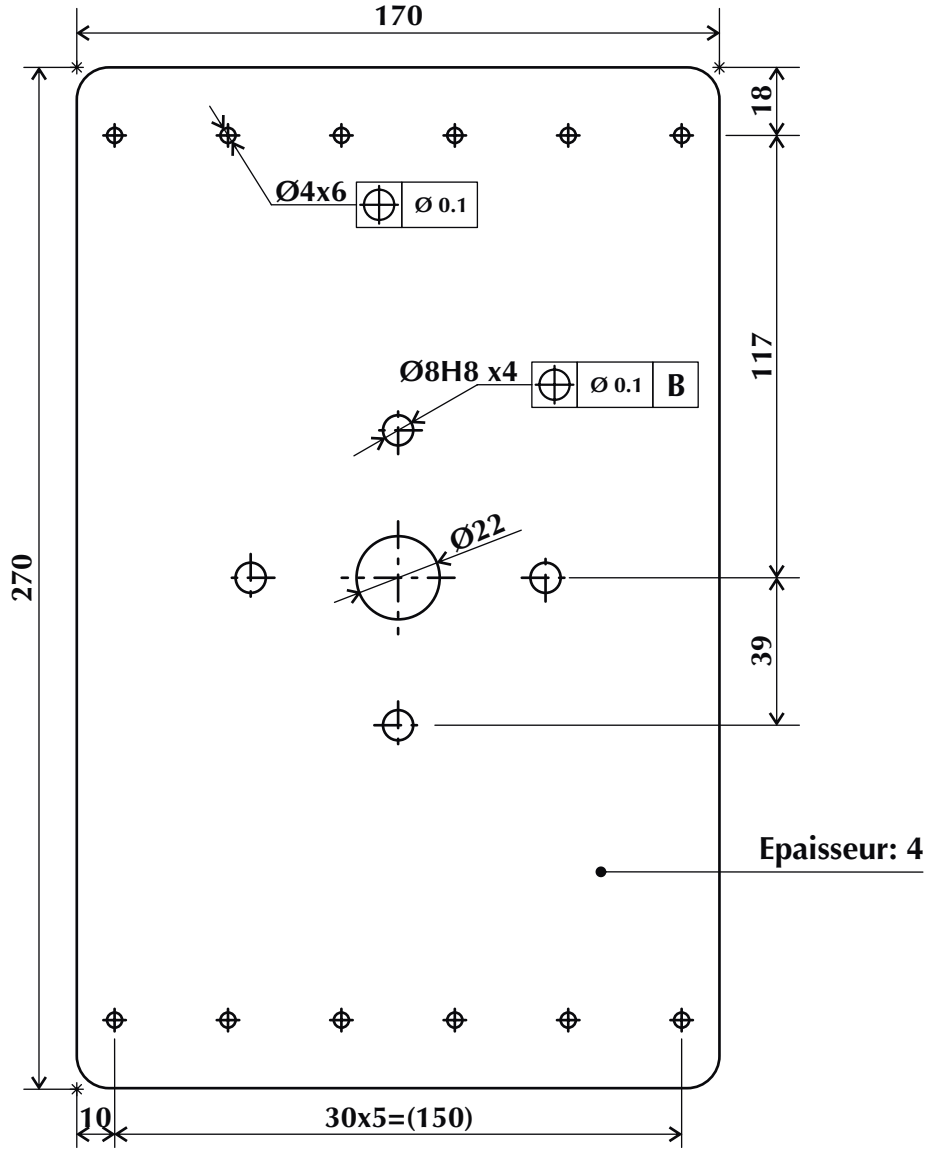
Ech : 2 : 1	MTR: PTFE	AXE D'ARTICULATION
	Format A4	
01/02/2014	Poids: 05g 05	BENRAMDANE Abdallah Haroun







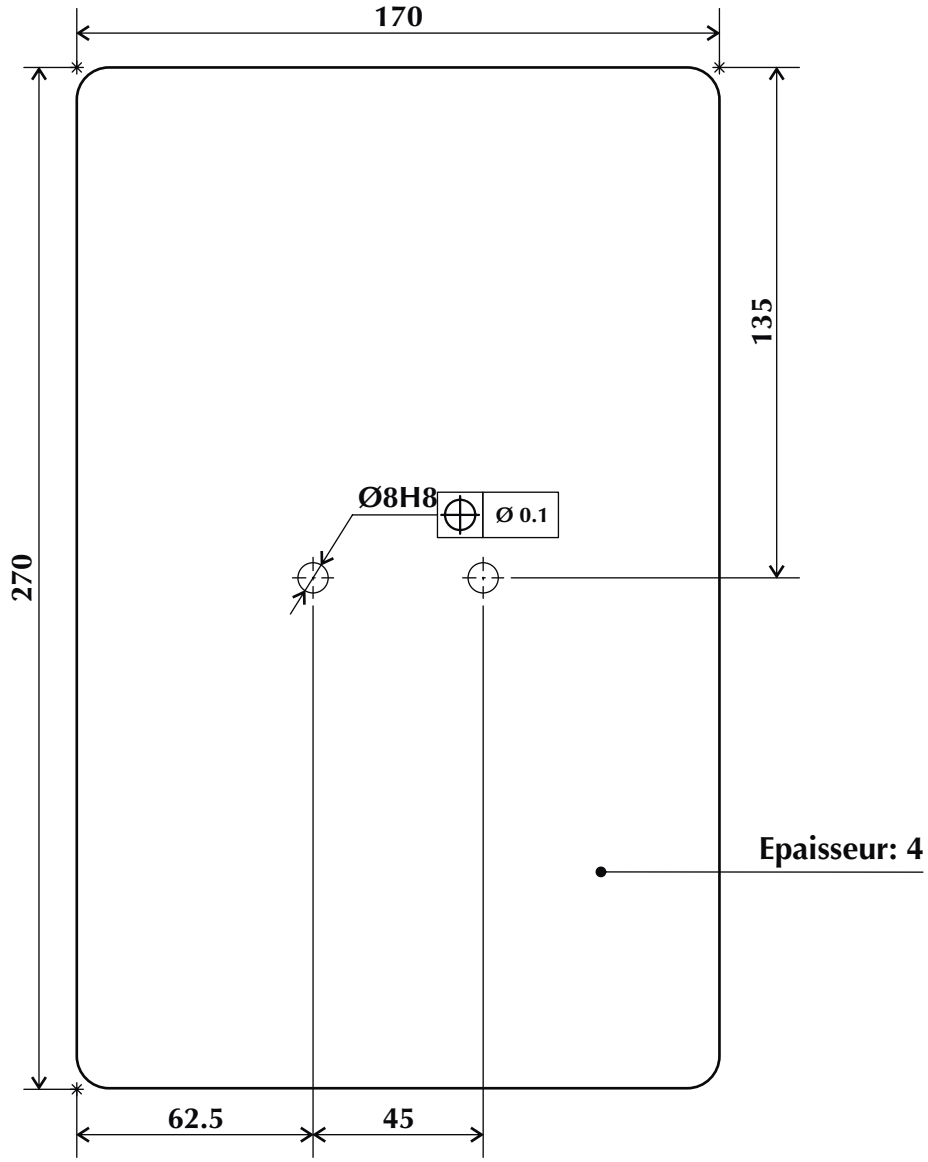
Université Dr Yahia Faress De Médéa			
Ech : 1 : 1	MTR: Acier allié		TUBE SOUDÉ RECTANGULAIRE
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 310g	06	BENRAMDANE Abdallah Haroun



8H8	+22 0

Université Dr Yahia Faress De Médéa

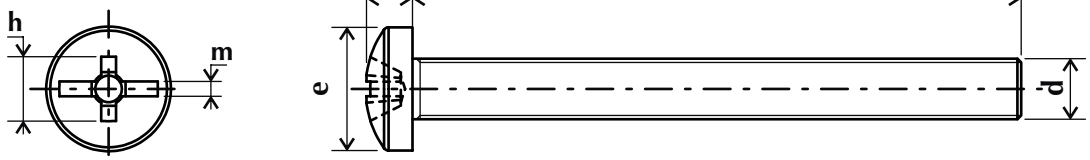
Ech : 1 : 2	MTR: Alucobonde		TÔLE DE LA BASE
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 250g	07	BENRAMDANE Abdallah Haroun



8H8	+22 0

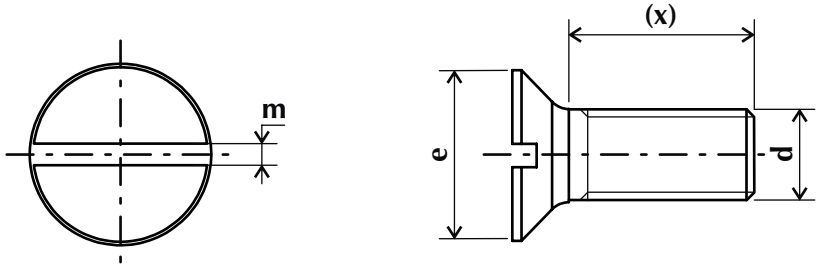
Université Dr Yahia Faress De Médéa			
Ech : 1 : 2	MTR: Alucobonde		TÔLE DU SUPPORT DE PANNEAU
	Format A4		
01/02/2014	Poids: 255g	08	BENRAMDANE Abdallah Haroun

d	4
(x)	40
f	3
e	9
h	5
m	1.5



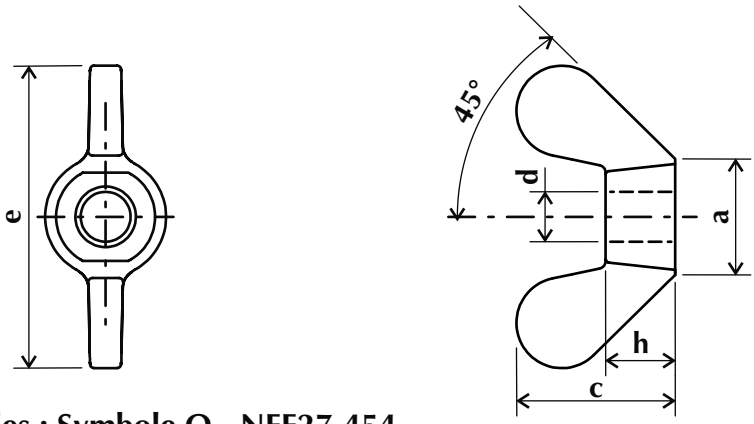
Vis à tête Cylindrique Fendue ; Symbole CL - NFE27-116

d	6
(x)	12
e	10
m	2



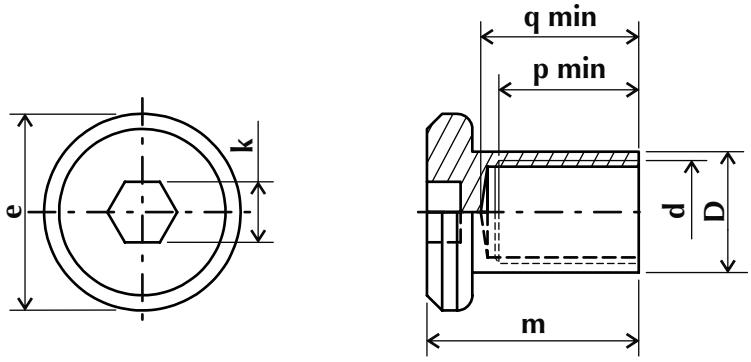
Vis à tête Cylindrique Large Fendue ; Symbole F - NFE27-113

a	9
d	4
h	4
c	10
e	22



Ecrou a Oreilles ; Symbole O - NFE27-454

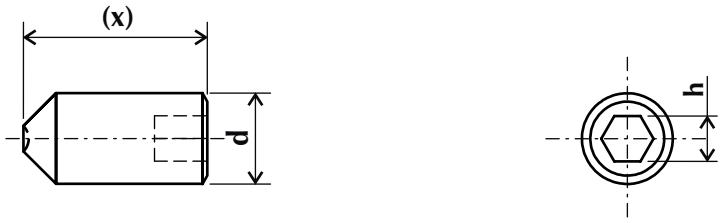
D	8
d	6
q	10
p	9
m	14
k	4
e	13



Ecrou Borgne - NFE27-453

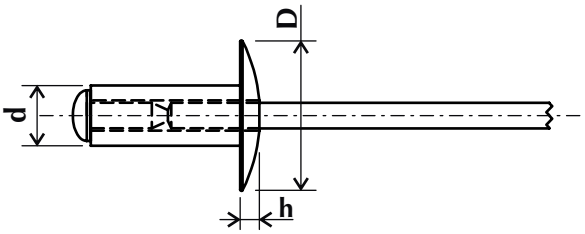
Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1		TOOLSBOX
	Format A4	
01/02/2014	N°= 10	BENRAMDANE Abdallah Haroun



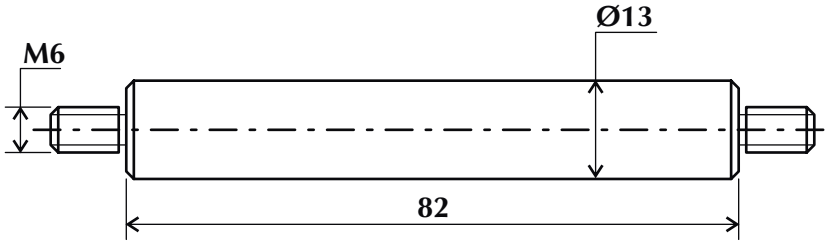
d	6
(x)	12
h	3

Vis sans tête à six pans creux à bout cuvette ; Symbole CU - NFE27-180

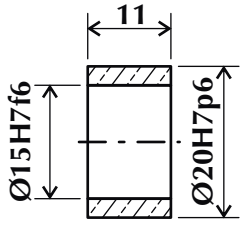


D	7.5
d	4
h	1.5

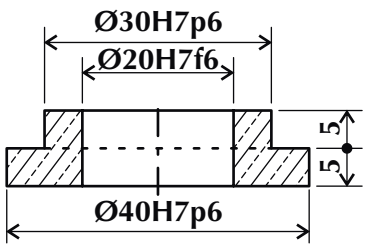
Rivet aveugle à tête bombée ; Symbole POP - NF ISO 15977



Axe d'ajeustement en Laiton



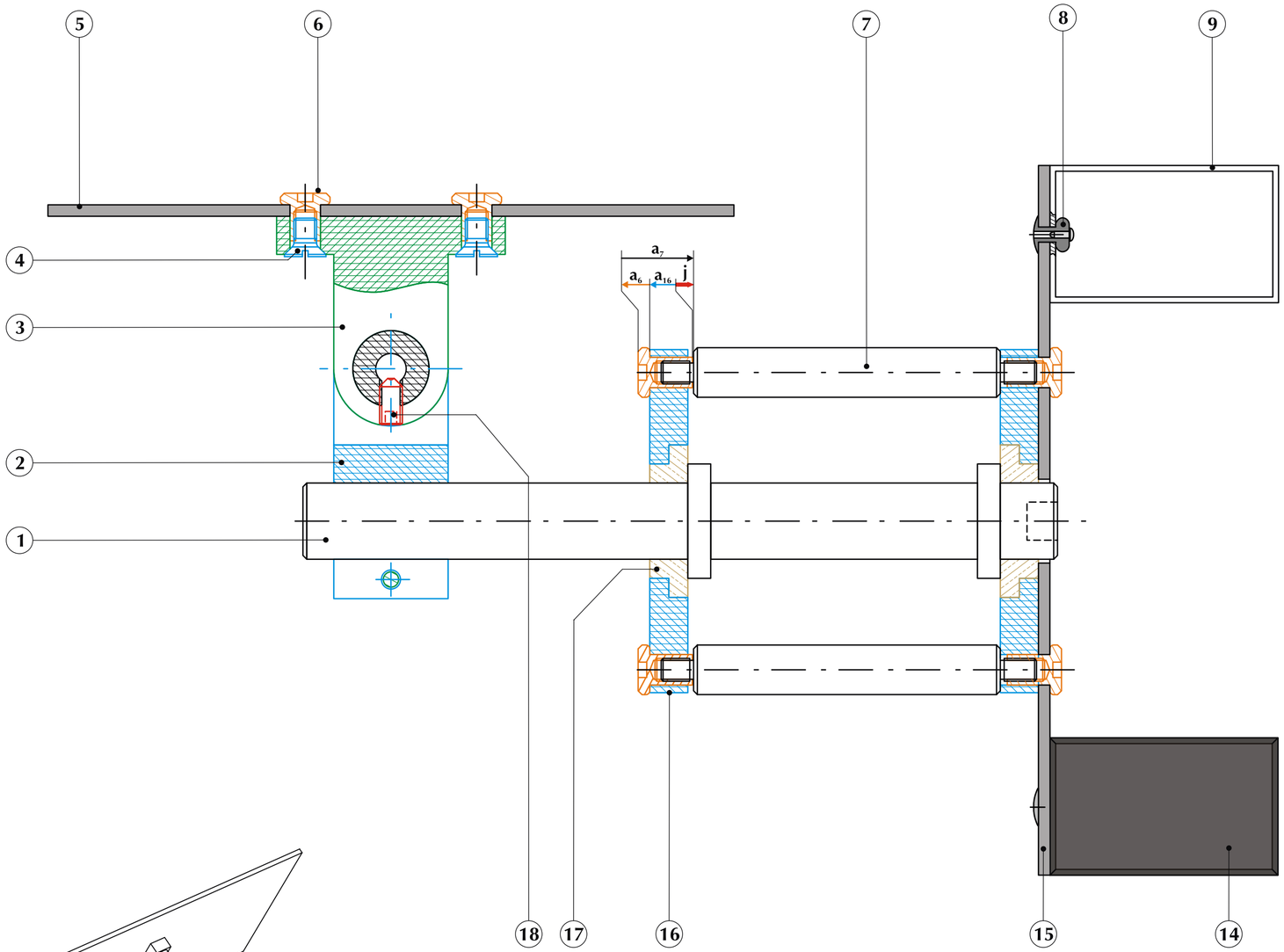
Bague de bronze

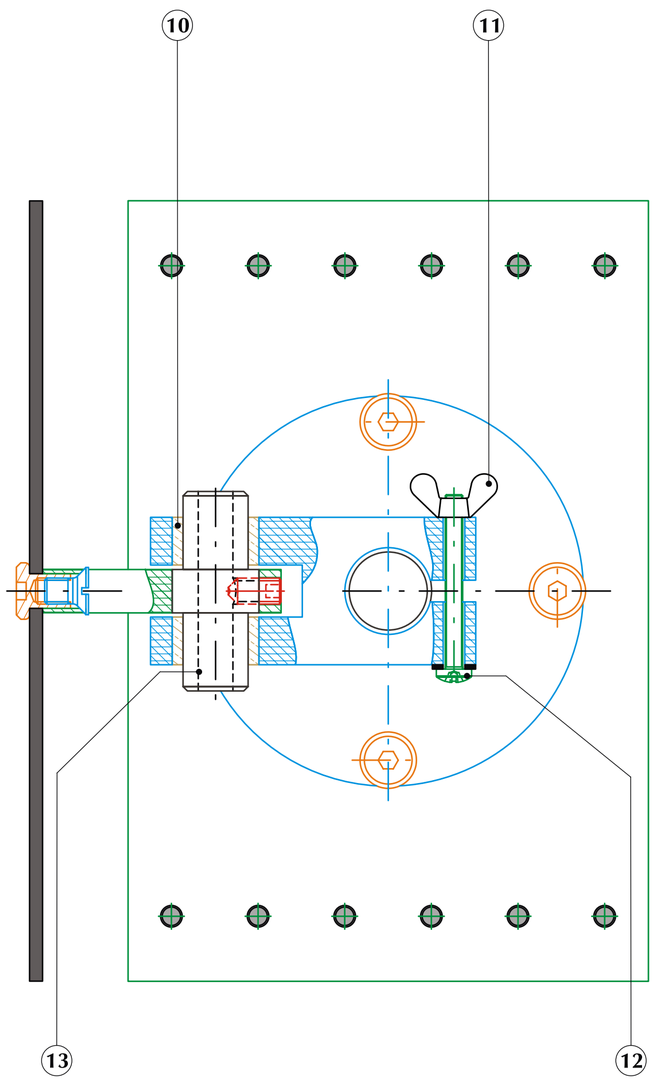


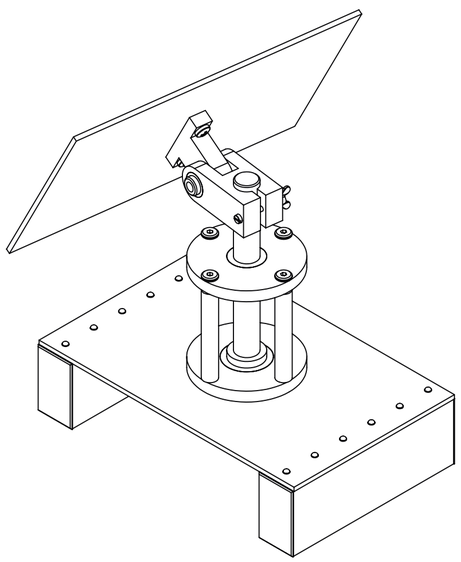
Bague de bronze avec épaule

Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1		TOOLSBOX
	Format A4	
01/02/2014	N°= 09	BENRAMDANE Abdallah Haroun





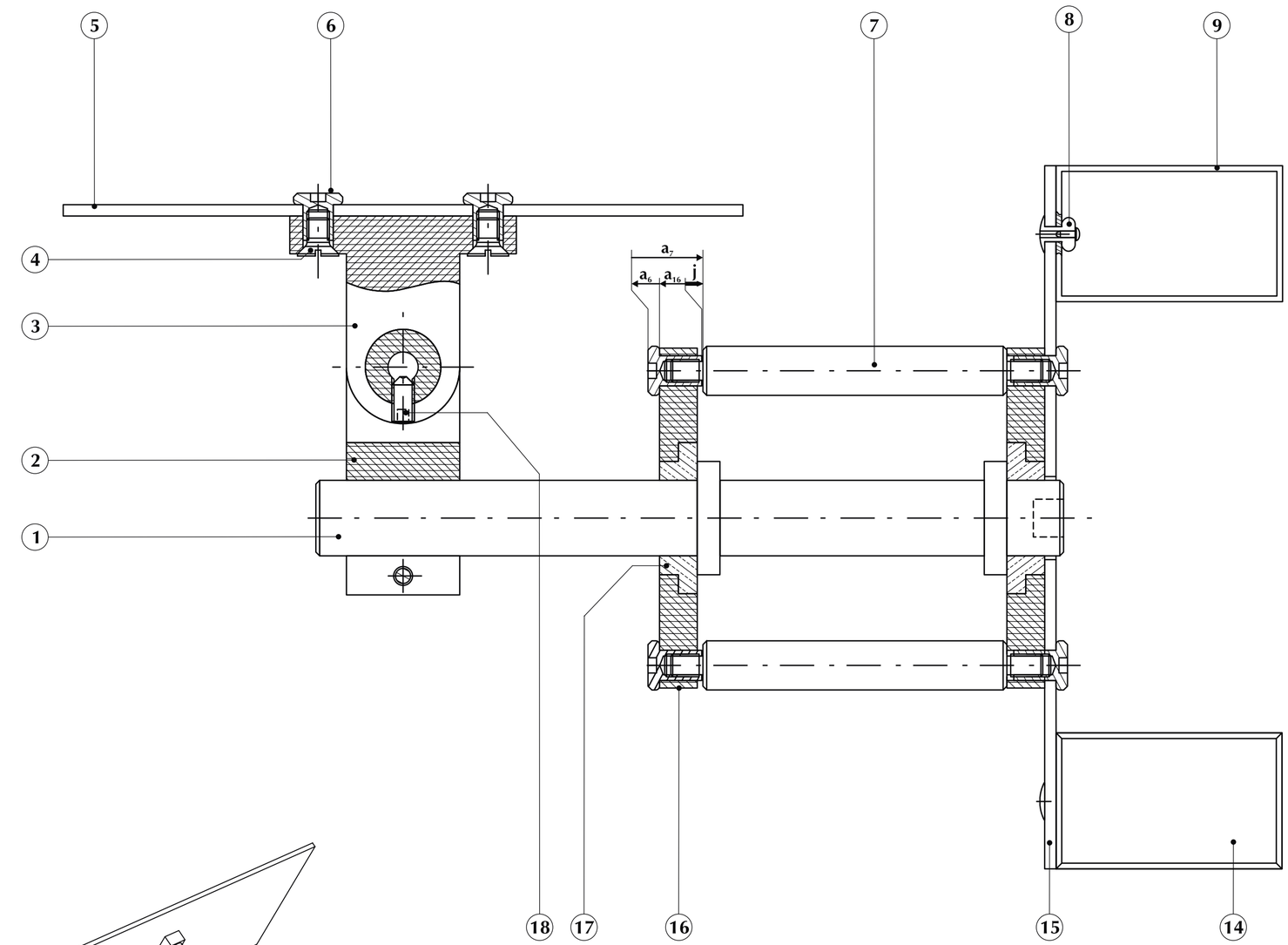


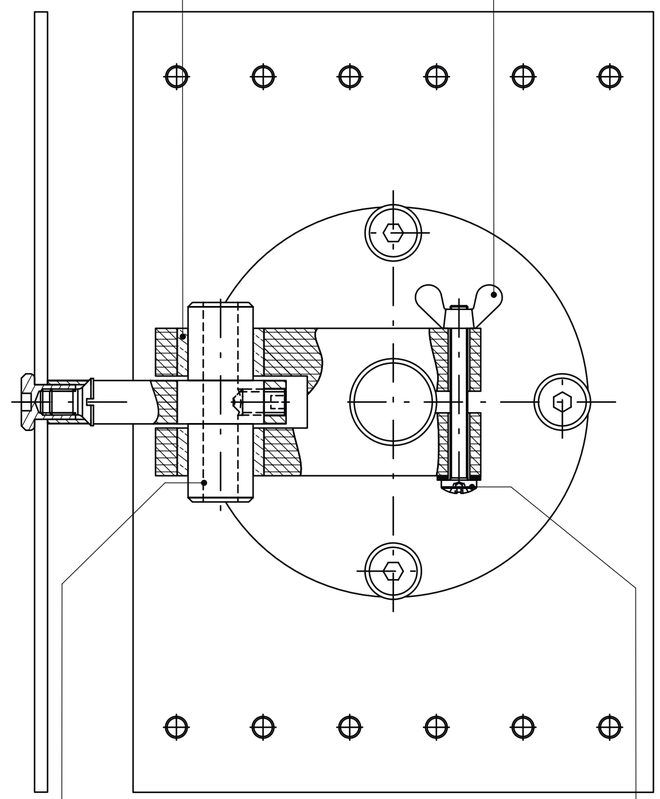
N°	NOM DE L'ARTICLE	DESCRIPTION	QTE
18	VIS DE PRESSION À BOUT CUVETTE	SYMBOLE CU - NFE27-180	1
17	BAGUE DE BRONZE AVEC ÉPAULE		2
16	PLATEAU		2
15	TÔLE DE LA BASE		1
14	BOUCHON		4
13	AXE D'ARTICULATION		1
12	VIS À TÊTE CYLINDRIQUE FENDUE	SYMBOLE CL - NFE27-116	1
11	ECROU A OREILLES	SYMBOLE O - NFE27-454	1
10	BAGUE DE BRONZE		2
N°	NOM DE L'ARTICLE	DESCRIPTION	QTE

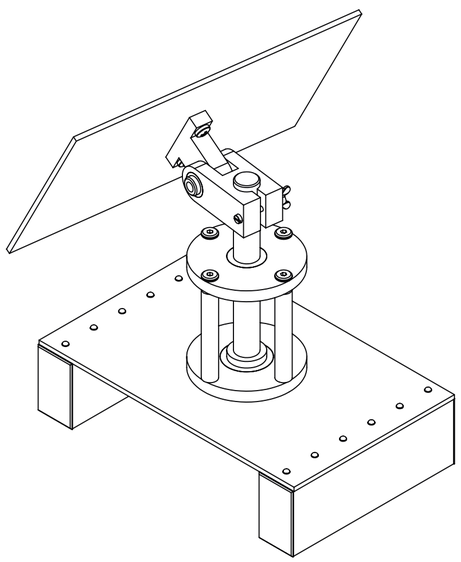
N°	NOM DE L'ARTICLE	DESCRIPTION	QTE
9	TUBE SOUDÉ RECTANGULAIRE	NF A 49-643	2
8	RIVET A EXPANSION	POP 4-20 - NF ISO 15977	12
7	AXE D'AJEUSTEMENT		4
6	ECROU BORGNE	NFE27-453	6
5	TÔLE DU SUPPORT DE PANNEAU		1
4	VIS À TÊTE CYLINDRIQUE LARGE FENDUE	SYMBOLE F - NFE27-113	2
3	ARTICULATION		1
2	FOURCHE		1
1	ARBRE PRINCIPAL		1

Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1	Format A2	SUPPORT D'UN PANNEAU SOLAIRE
	Poids : 2Kg	
01/02/2014	N°= 00	BENRAMDANE Abdallah Haroun







18	VIS DE PRESSION À BOUT CUVETTE	SYMBOLE CU - NFE27-180	1
17	BAGUE DE BRONZE AVEC ÉPAULE		2
16	PLATEAU		2
15	TÔLE DE LA BASE		1
14	BOUCHON		4
13	AXE D'ARTICULATION		1
12	VIS À TÊTE CYLINDRIQUE FENDUE	SYMBOLE CL - NFE27-116	1
11	ECROU A OREILLES	SYMBOLE O - NFE27-454	1
10	BAGUE DE BRONZE		2
N°	NOM DE L'ARTICLE	DESCRIPTION	QTE

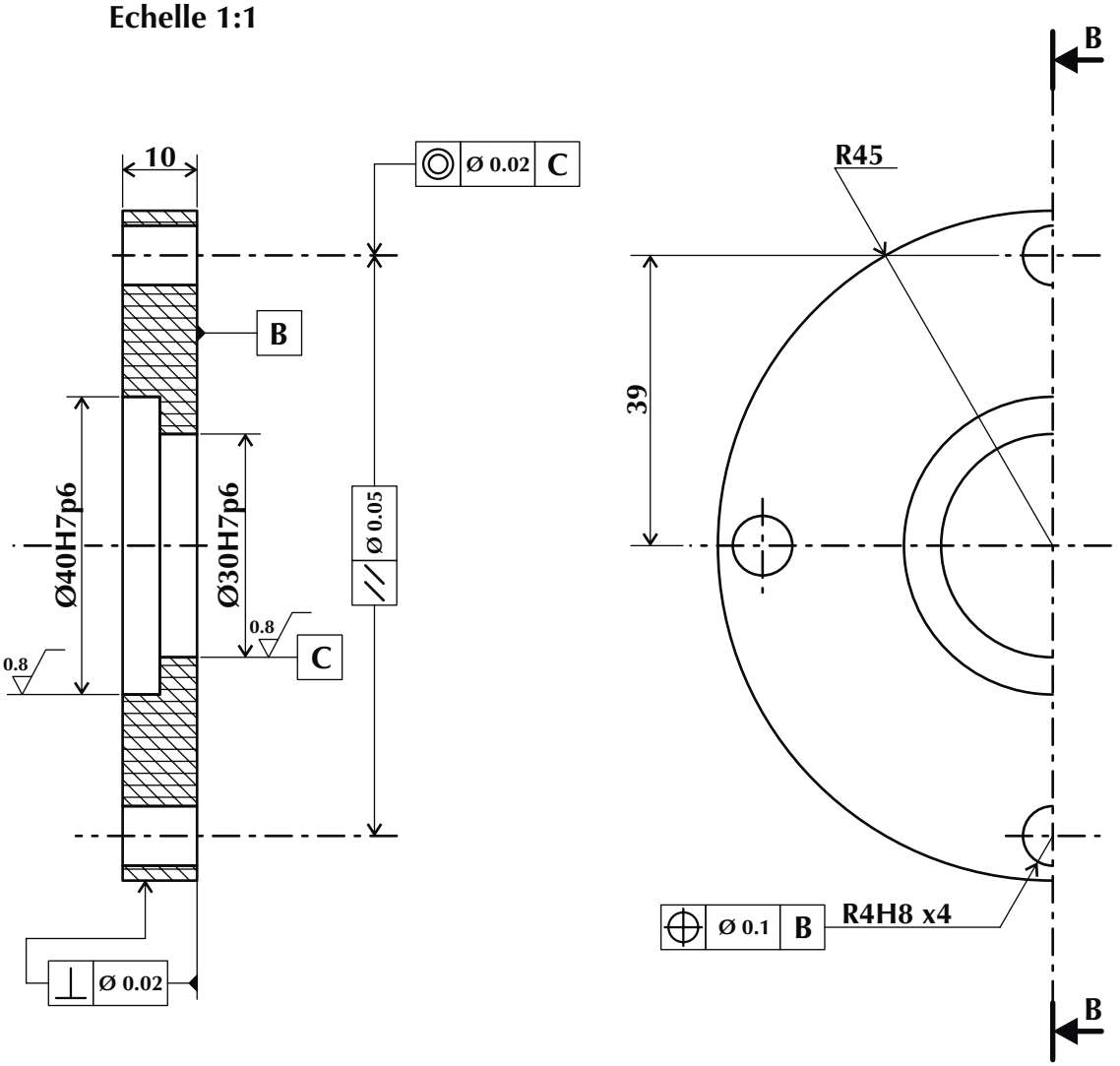
9	TUBE SOUDÉ RECTANGULAIRE	NF A 49-643	2
8	RIVET A EXPANSION	POP 4-20 - NF ISO 15977	12
7	AXE D'AJEUSTEMENT		4
6	ECROU BORGNE	NFE27-453	6
5	TÔLE DU SUPPORT DE PANNEAU		1
4	VIS À TÊTE CYLINDRIQUE LARGE FENDUE	SYMBOLE F - NFE27-113	2
3	ARTICULATION		1
2	FOURCHE		1
1	ARBRE PRINCIPAL		1
N°	NOM DE L'ARTICLE	DESCRIPTION	QTE

Université Dr Yahia Faress De Médéa

Ech : 1 : 1	Format A2	SUPPORT D'UN PANNEAU SOLAIRE
	Poids : 2Kg	
01/02/2014	N°= 00	BENRAMDANE Abdallah Haroun

Ensemble : Support d'un panneau solaire	A-01/01

Coupe B-B
Echelle 1:1



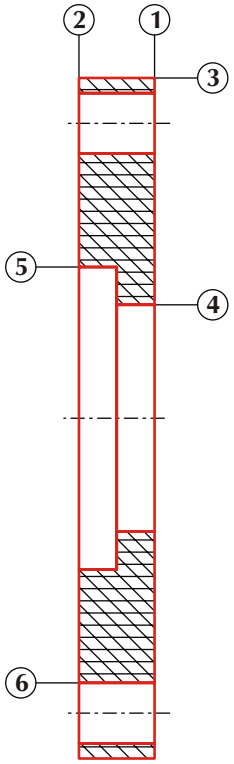
B ⊥ Ø 0.02 C

ISO 2768 mk

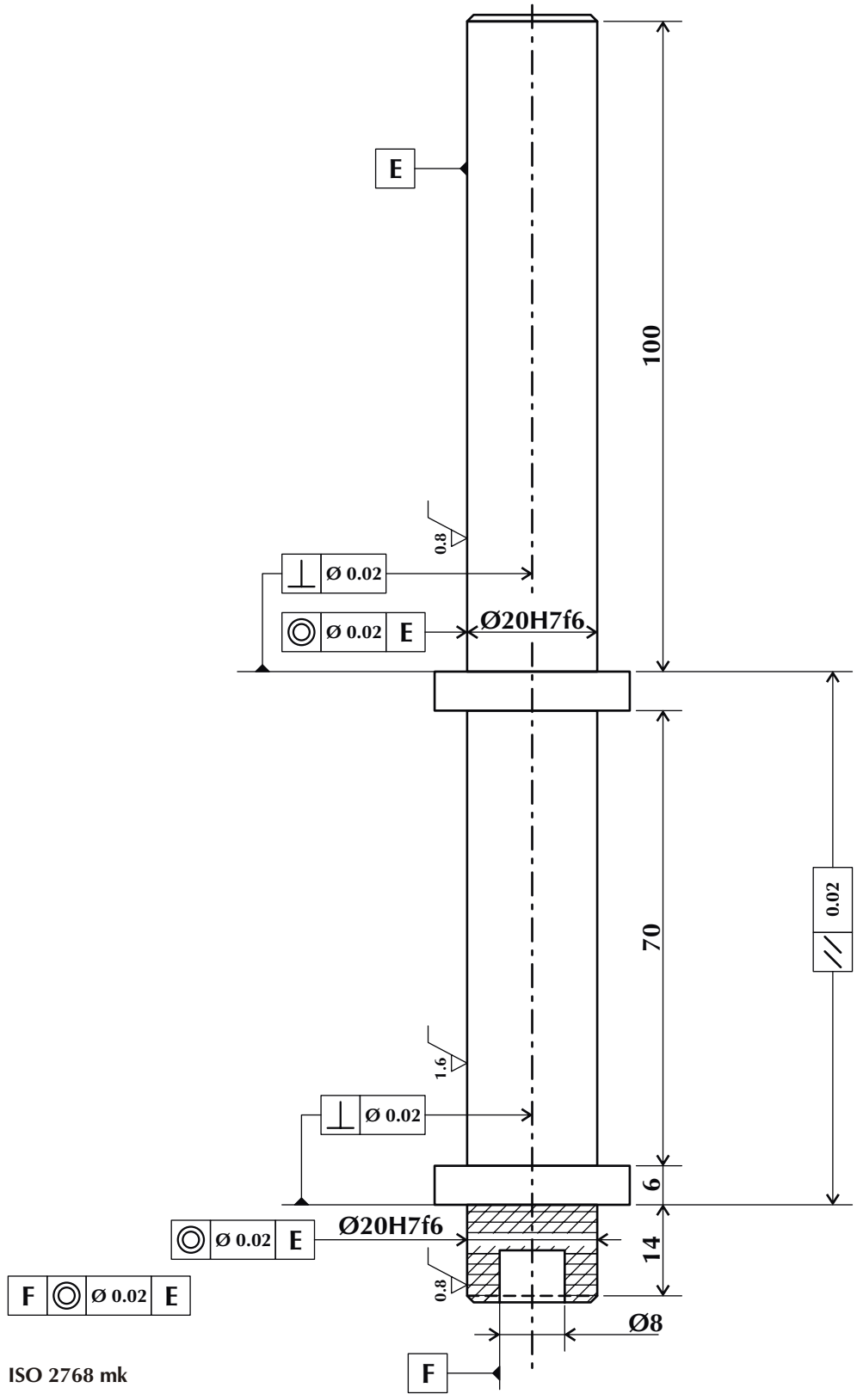
Rep.	Nbre.	Désignation	Matière	Observation
2	16		PTFE	
A4		PLATEAU		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	A-01/02

GAMME D'USINAGES		Pièce :Plateau support d'un panneau solaire
02 Pièces	PTFE	Brute : Moulage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100	Contrôle de brute	Centre d'usinage Tour transversale Perceuse multibroche Outils de dressage, chariotage et d'alésage Foret de centrage Foret Ø28, Ø8 Pied à coulisse, jauge de profondeur, tampon	
200 **201** **211**	Pose pièce Dressage ① en ébauche Dressage ① en finition		
202 **212** **222**	Chariotage ③ en ébauche Chariotage ③ en 1/2 finition Chariotage ③ en finition avec Ø90		
203 **213** **223**	Perçage ④ Alésage ④ en 1/2 finition Alésage ④ en finition Ø=30H7p6		
300 **301** **302** **312** **322**	Pose Pièce Coupe ② Dressage ② en ébauche Dressage ② en 1/2 finition Dressage ② en finition avec L=10		
303 **313** **323**	Alésage ⑤ en ébauche Alésage ⑤ en 1/2 finition Alésage ⑤ en finition avec Ø40H7p6		
400 **401**	Pose Pièce Perçage ⑥ avec Ø8H8		

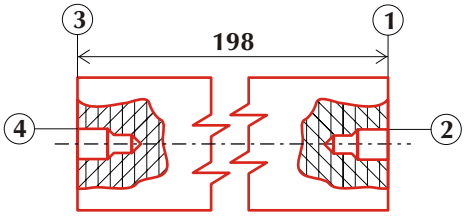
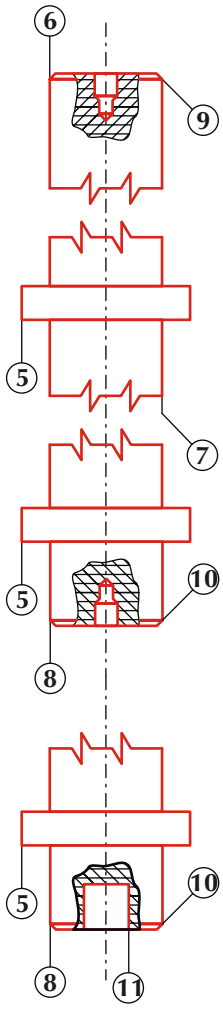
Ensemble : Support d'un panneau solaire	B-01/01



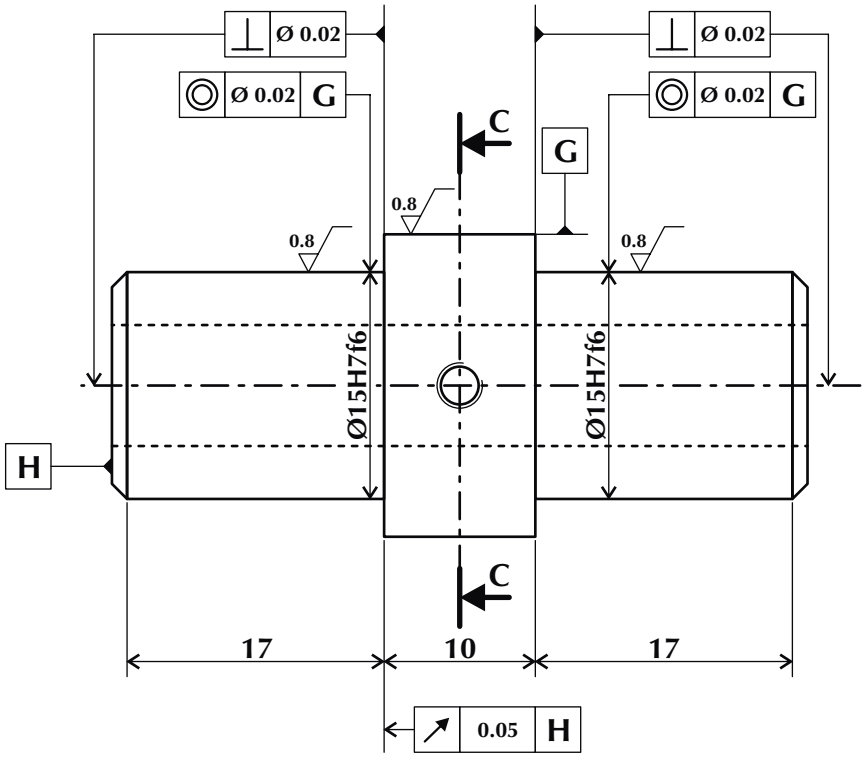
1	1		PTFE	Toutes les chanfreins : 1x45°
Rep.	Nbre.	Désignation	Matière	Observation
A4		ARBRE PRINCIPALE		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	A-01/02

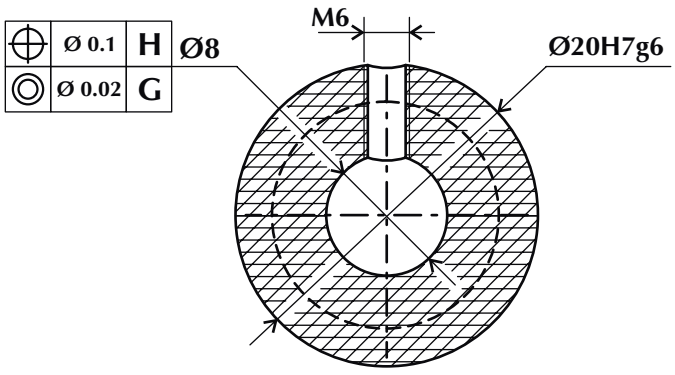
GAMME D'USINAGES		Pièce :Arbre principale support d'un panneau solaire
01 Pièce	PTFE	Brute : Moulage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100	Contrôle de brute	Centre d'usinage Tour transversale Outils de dressage, chariotage, alésoir Ø8 Foret de centrage Pied à coulisse, pied à coulisse de profondeur,	
200 201 211 221	Pose pièce (Montage Libre) Dressage ① en ébauche Dressage ① en 1/2 finition Dressage ① en finition		
202	Centrage ②		
203 213 223	Dressage ③ en ébauche Dressage ③ en 1/2 finition Dressage ③ en finition; avec L=198		
204	Centrage ④		
300 301 302 312 322	Pose Pièce (entre points) Chariotage ⑤ en finition Ø=30 Chariotage ⑥ en ébauche Chariotage ⑥ en 1/2 finition Chariotage ⑥ en finition avec L=100; Ø=20H7p6		
303	Chariotage ⑦ en finition avec L=70; Ø=20		
304 314 324	Chariotage ⑧ en finition Ø=30 Chariotage ⑧ en ébauche Chariotage ⑧ en 1/2 finition		
305	Chanfrein ⑨, ⑩ = 1x45°		
400 401	Pose Pièce Alésage ⑪ avec Ø= 8; L =10		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	C-01/01



Coupe C-C
Echelle 2:1

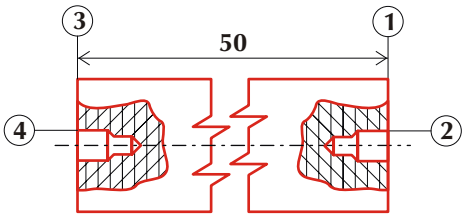
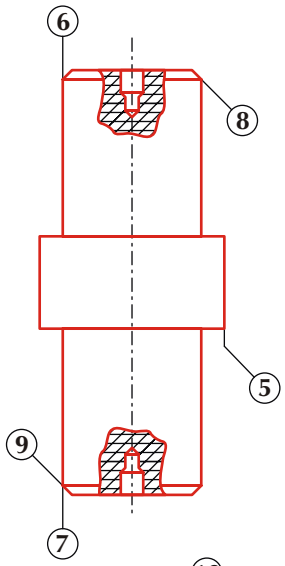
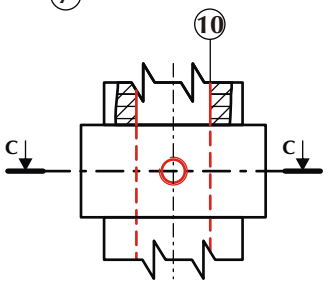
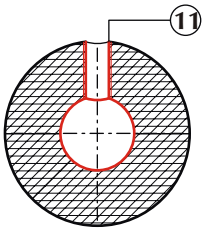


ISO 2768 mk

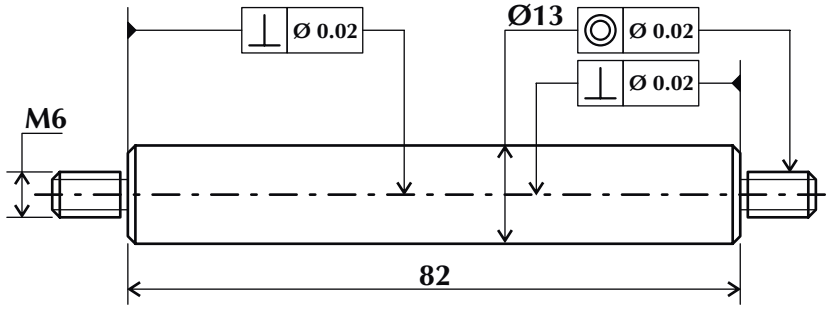
1	13		PTFE	Toutes les chanfreins : 1x45°
Rep.	Nbre.	Désignation	Matière	Observation
A4		AXE D'ARTICULATION		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	C-01/02

GAMME D'USINAGES		Pièce :Axe d'articulation support d'un panneau solaire
01 Pièce	PTFE	Brute : Moulage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100	Contrôle de brute	Centre d'usinage Tour transversale Outils de dressage, chariotage Foret de centrage Foret Ø8 Taraud M6 Pied à coulisse	   Coupe C-C Echelle 2:1 
200 201 211 221	Pose pièce (Montage Libre) Dressage ① en ébauche Dressage ① en 1/2 finition Dressage ① en finition		
202	Centrage ②		
203 213 223	Dressage ③ en ébauche Dressage ③ en 1/2 finition Dressage ③ en finition; avec L=50		
204	Centrage ④		
300 301 311 321	Pose Pièce (entre points) Chariotage ⑤ en ébauche Chariotage ⑤ en 1/2 finition Chariotage ⑤ en finition avec L=10; Ø=20H7g6		
302 312 322	Chariotage ⑥ en ébauche Chariotage ⑥ en 1/2 finition Chariotage ⑥ en finition avec L=18; Ø=15H7f6		
303 313 323	Chariotage ⑦ en ébauche Chariotage ⑦ en 1/2 finition Chariotage ⑦ en finition avec L=18; Ø=15H7f6		
304	Chanfrein ⑧, ⑨ =1x45°		
400 401	Pose Pièce Perçage ⑩ avec Ø= 8; L =10		
500 501	Pose pièce perçage ⑪ Ø5 Taraudage ⑪ M6		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	D-01/01

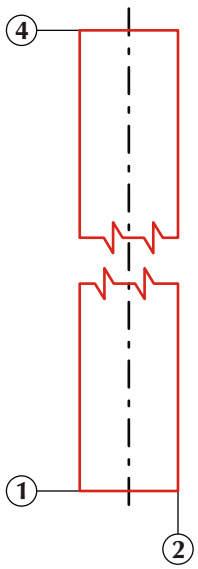
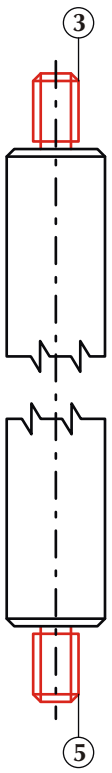


ISO 2768 mk

4	7		LAITON	Toutes les chanfreins : 1x45°
Rep.	Nbre.	Désignation	Matière	Observation
A4		AXE D'AJEUSTEMENT		

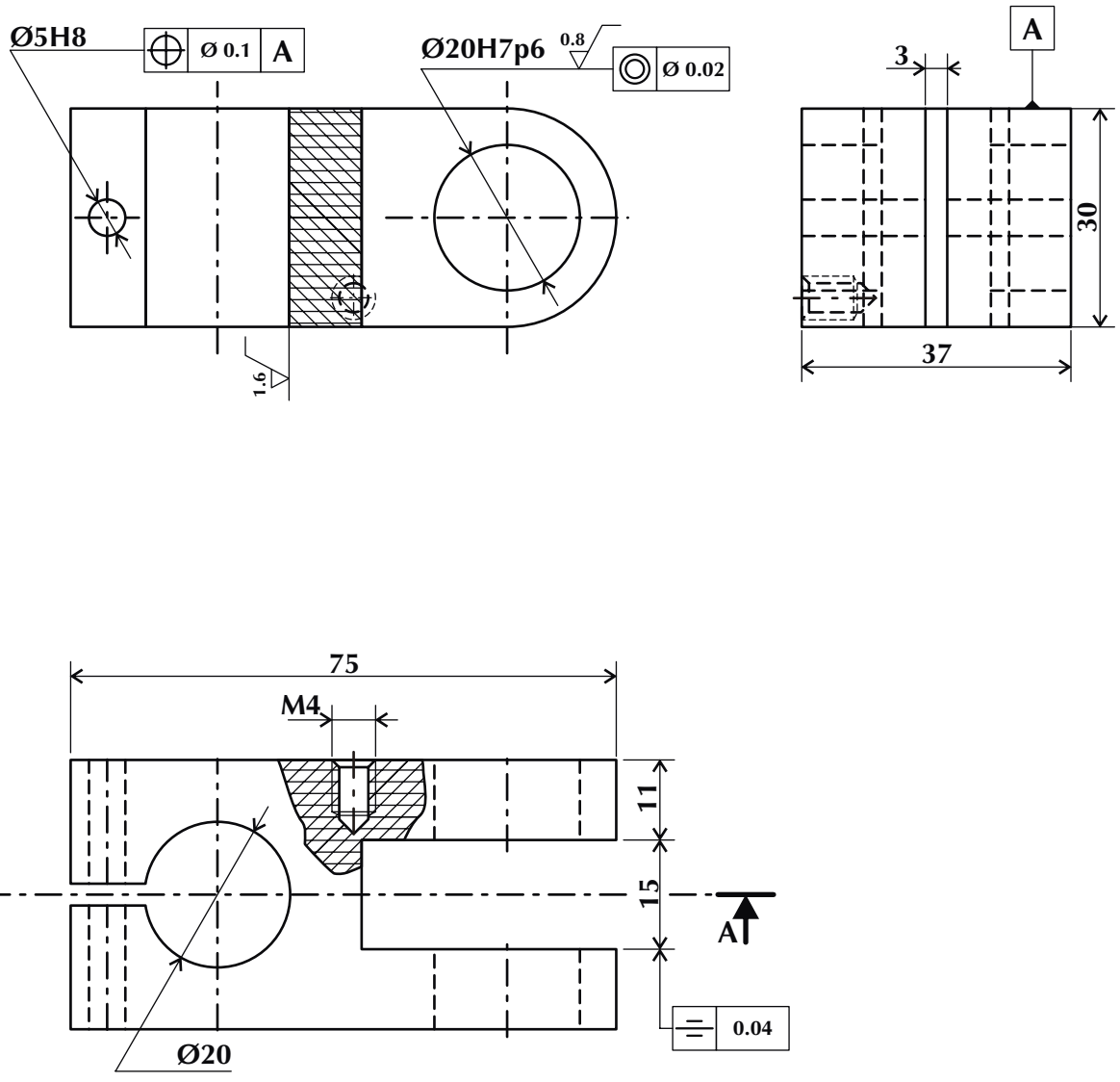
Ensemble : Support d'un panneau solaire	D-01/02

GAMME D'USINAGES		Pièce :Axe d'ajeustement support d'un panneau solaire
04 Pièces	LAITON	Brute : Laminage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100	Contrôle de brute	Centre d'usinage Tour transversale Outils de dressage, chariotage et filetage Pied à coulisse	
200 201 202 212 222 203 213 223 204	Pose pièce (Montage Libre) Dressage ① en finition Chariotage ② en ébauche Chariotage ② en1/2 finition Chariotage ② en finition Chariotage ③ en ébauche Chariotage ③ en 1/2 finition Chariotage ③ en finition Filetage ③ M6		
300	Coupe ④		
400 401 402 412 422 403	Pose pièce Dressage ④ en finition L=82 Chariotage ⑤ en ébauche Chariotage ⑤ en1/2 finition Chariotage ⑤ en finition Filetage ⑤ M6		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	E-01/01

Coupe A-A
Echelle 1:1

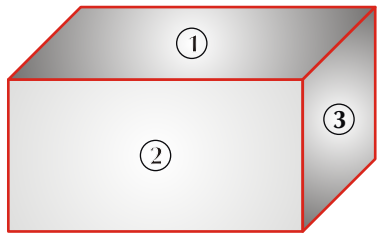
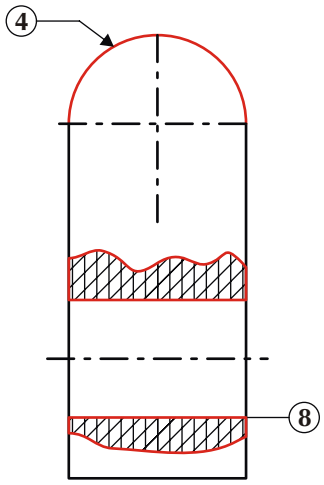
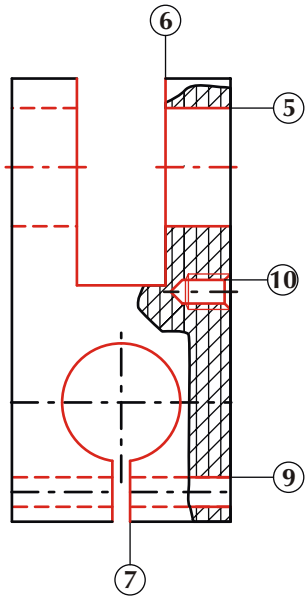


ISO 2768 mk

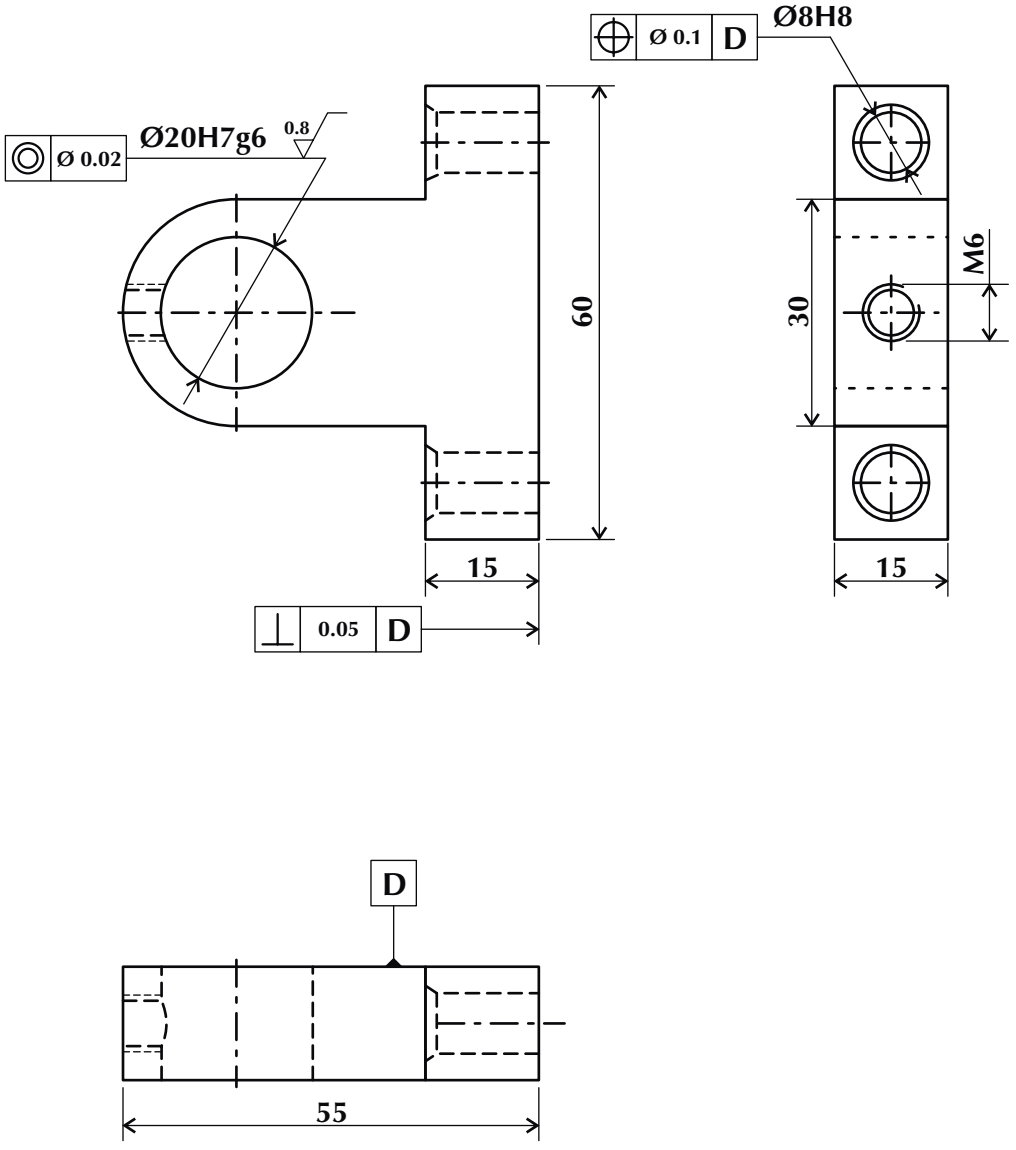
1	2		PTFE	
Rep.	Nbre.	Désignation	Matière	Observation
A4		FOURCHE		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	E-01/02

GAMME D'USINAGES		Pièce :Fourche support d'un panneau solaire
01 Pièce	PTFE	Brute : Moulage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100	Contrôle de brute	Centre d'usinage Fraiseuse multi-axe verticale et horizontale Perceuse multibranche Fraise deux tailles Fraise trios tailles Disque Fraise L=3 Alésoir Taraud M4 Foret Ø5, Ø3 Pied à coulisse, jauge de profondeur	
200 201 211 221	Pose pièce Fraisage ①,②,③ en ébauche Fraisage ①,②,③ en 1/2 finition Fraisage ①,②,③ en finition ABC=75x37x30		
300 301 302 312 322	Pose pièce (montage sur plateau circulaire) Fraisage de l'arondu ④ Ø=30 Alésage ⑤ en ébauche Alésage ⑤ en 1/2 finition Alésage ⑤ en finition Ø=20H7p6		
400 401	Pose pièce Fraisage la rainure ⑥ L_1=15, L_2=35		
500 501	Pose pièce Fraisage la rainure ⑦ L_1=3, L_2=11		
600 601 611	Pose pièce Alésage ⑧ en ébauche Alésage ⑧ en finition Ø=20H7		
700 701	Pose pièce Perçage ⑨ Ø5 Persage ⑩ Ø3 Taraudage ⑩ M4		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	F-01/01

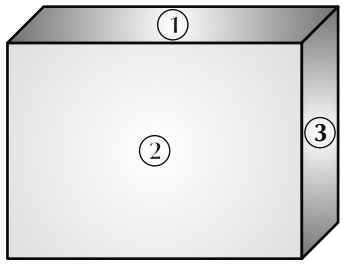
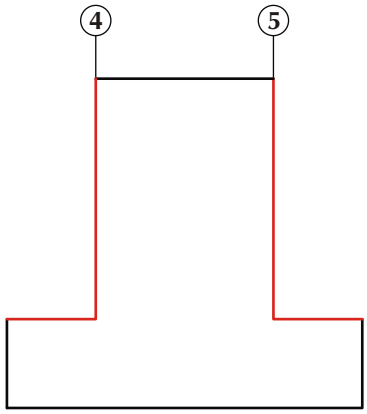
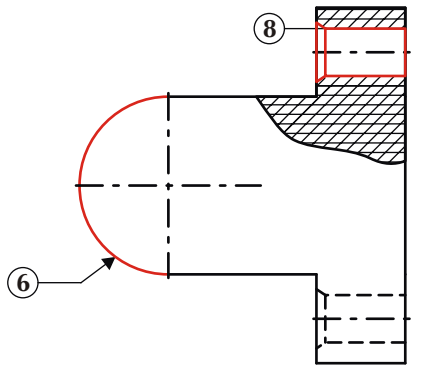
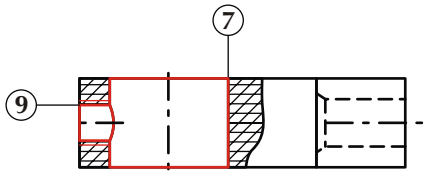


ISO 2768 mk

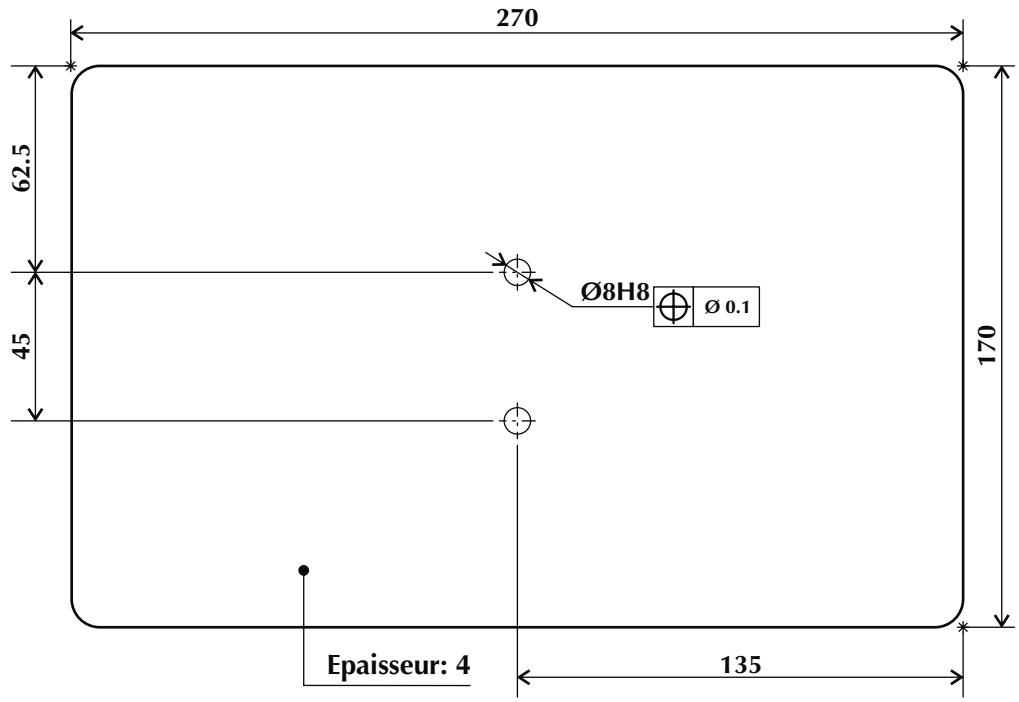
1	3		PTFE	
Rep.	Nbre.	Désignation	Matière	Observation
A4		ARTICULATION		

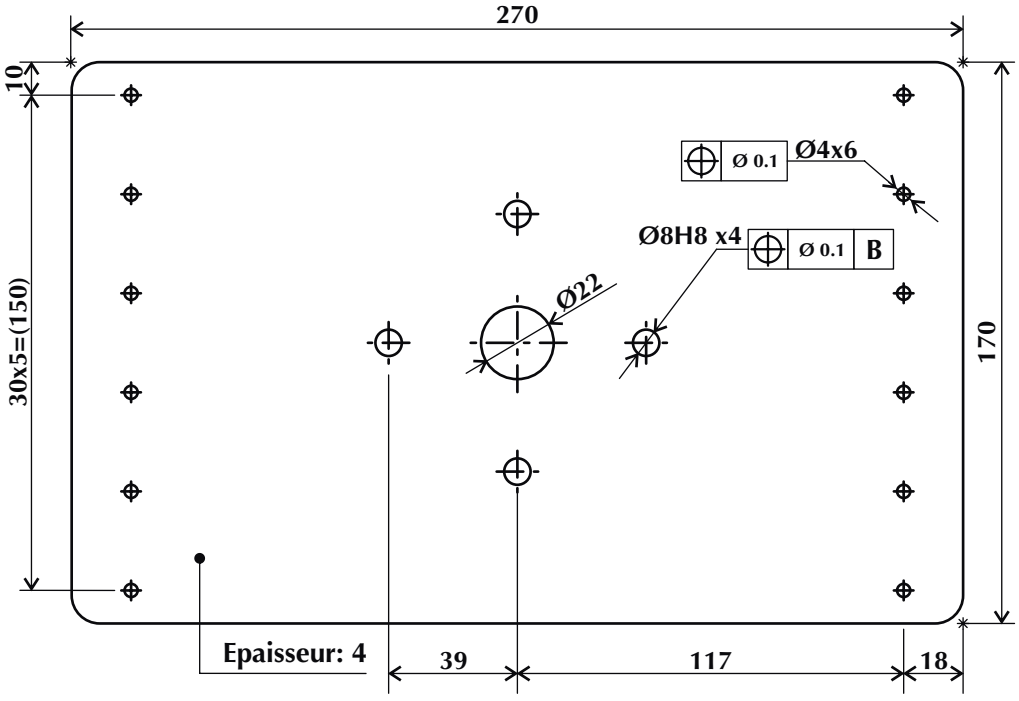
Ensemble : Support d'un panneau solaire	F-01/02

GAMME D'USINAGES		Pièce :Articulation support d'un panneau solaire
01 Pièce	PTFE	Brute : Moulage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100	Contrôle de brute	Centre d'usinage Fraiseuse multi-axe verticale et horizontale Perceuse multibranche Fraise deux tailles Alésoir Taraud M6 Foret Ø8, Ø5 Pied à coulisse, jauge de profondeur	
200 201 211 221	Pose pièce Fraisage ①,②,③ en ébauche Fraisage ①,②,③ en 1/2 finition Fraisage ①,②,③ en finition ABC=60x55x15		
300 301 302	Pose pièce Fraisage ④ L_1=15, L_2=40 Fraisage ⑤ L_1=15, L_2=40		
400 401 402 412 422	Pose pièce (montage sur plateau circulaire) Fraisage de l'arondu ⑥ Ø=30 Alésage ⑦ en ébauche Alésage ⑦ en 1/2 finition Alésage ⑦ en finition Ø=20H7g6		
400 401 402 412	Pose pièce Perçage ⑧ Ø8 Perçage ⑨ Ø5 Taraudage ⑨ M6		 

Ensemble : Support d'un panneau solaire	G-01/01



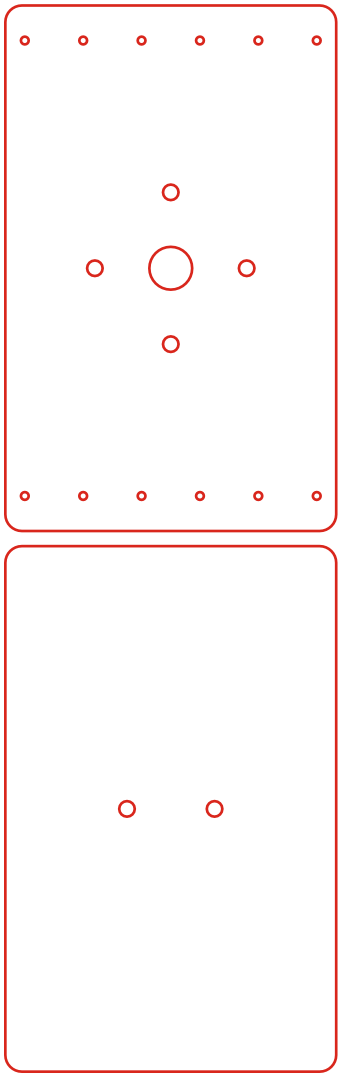


ISO 2768 mk

1	5	15		ALUCOBONDE	
Rep.	Nbre.		Désignation	Matière	Observation
A4			Les tôles		

Ensemble : Support d'un panneau solaire	G-01/02

GAMME D'USINAGES		Pièce :Les tôles
		support d'un panneau solaire
02 Pièces	ALUCOBONDE	Brute : Laminage

N°	Désignation	Machines et outils	Croquis
100 101 111	Contrôle de brute Contrôle de la surface Contrôle de la planéité	Centre d'usinage Fraiseuse CNC	
200 201	Pose pièce (Montage sur table Aspirante) Exécution de dessin sous form **[*.DXF]**		
300	Contrôle de la coaxialité		

Électronique

Annexe II



NMB-MAT

Minebea Motor Manufacturing Corporation

eMINEBEA.COM

PM35L-048



PM Motor

PM Type

Reference Characteristics

Motor Size	PM35L-048	
Number of Steps per Rotation	48(7.5°/Step)	
Drive Method	2-2 PHASE	
Drive Circuit	UNIPOLAR CONST. VOLT.	BIPOLAR CHOPPER
Drive Voltage	24[V]	24[V]
Current/Phase		500[mA]
Coil Resistance/Phase	30[Ω]	5.5[Ω]
Drive IC	2SC3346	UDN2916B-V
Magnet Material	Ferrite plastic magnet (MSPL) Polar anisotropy ferrite sintered magnet (MS50) Nd-Fe-B bonded magnet (MS70)	
Insulation Resistance	100M[Ω] MIN	
Dielectric Strength	AC 500[V] 1[min]	
Class of Insulation	CLASS E	
Operating Temp.	-10[°C] ~ 50[°C]	
Storage Temp.	-30[°C] ~ 80[°C]	
Operating Hum.	20[%] RH ~ 90[%] RH	

Applications

OA Equipment : Printers / Scanners

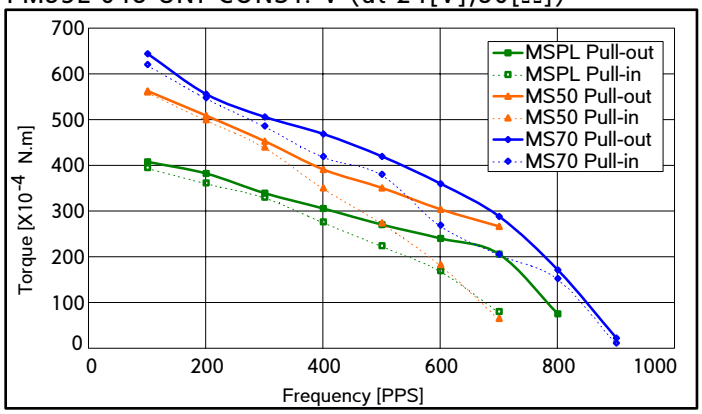
Automotive : Meters / Optic axis control device

Industrial equipment : Flow control valves

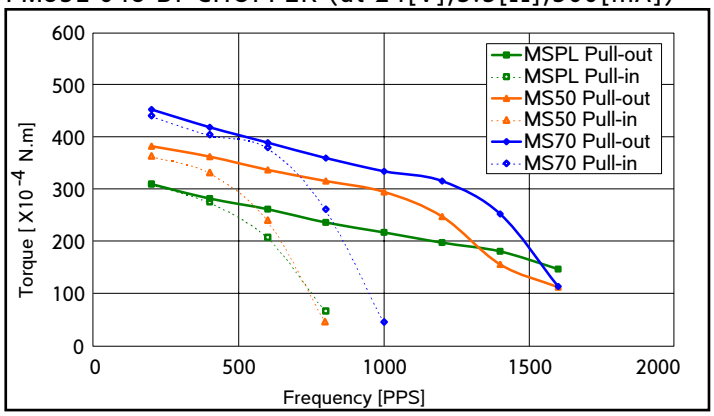
Home automation appliances : Sewing machines

Torque Characteristics

PM35L-048 UNI-CONST. V (at 24[V],30[Ω])

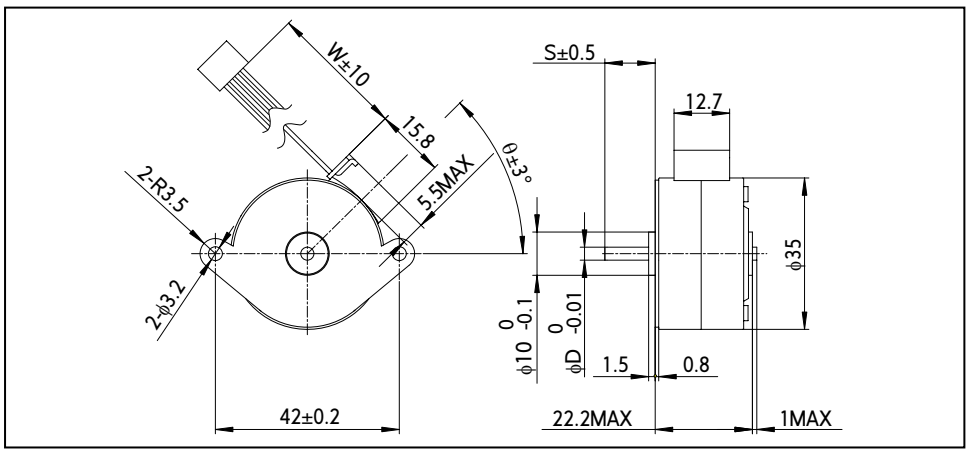


PM35L-048 BI-CHOPPER (at 24[V],5.5[Ω],500[mA])



These torque values are reference only. Heat radiation conditions and temperature rise effect by duty are different on each equipment, therefore please select motors after considering the heat conditions in the actual equipment.

Dimensions



If you would like to know this Dimensions(D,S,W,θ), Please see Standerd Dimensions in our Home Page.

Copyright 2004, Minebea Co., Ltd.

NMB-MAT

Minebea Motor Manufacturing Corporation

eMINEBEA.COM

PM55L-048



PM Motor

PM Type

Reference Characteristics

Motor Size	PM55L-048	
Number of Steps per Rotation	48(7.5°/Step)	
Drive Method	2-2 PHASE	
Drive Circuit	UNIPOLAR CONST. VOLT.	BIPOLAR CHOPPER
Drive Voltage	24[V]	24[V]
Current/Phase		800[mA]
Coil Resistance/Phase	30[Ω]	5.5[Ω]
Drive IC	2SC3346	UDN2916B-V
Magnet Material	Ferrite plastic magnet (MSPL) Polar anisotropy ferrite sintered magnet (MS50) Nd-Fe-B bonded magnet (MS70)	
Insulation Resistance	100M[Ω] MIN	
Dielectric Strength	AC 500[V] 1[min]	
Class of Insulation	CLASS E	
Operating Temp.	-10[°C] ~ 50[°C]	
Storage Temp.	-30[°C] ~ 80[°C]	
Operating Hum.	20[%] RH ~ 90[%] RH	

Applications

OA Equipment : Printers / Scanners

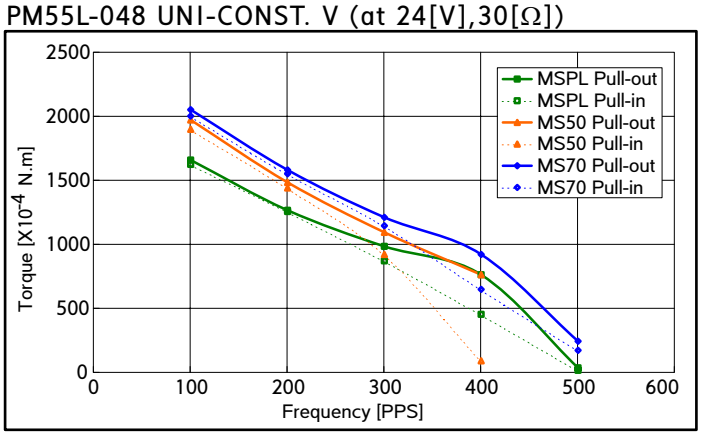
Industrial equipment : Flow control valves

Toys : Slot machines

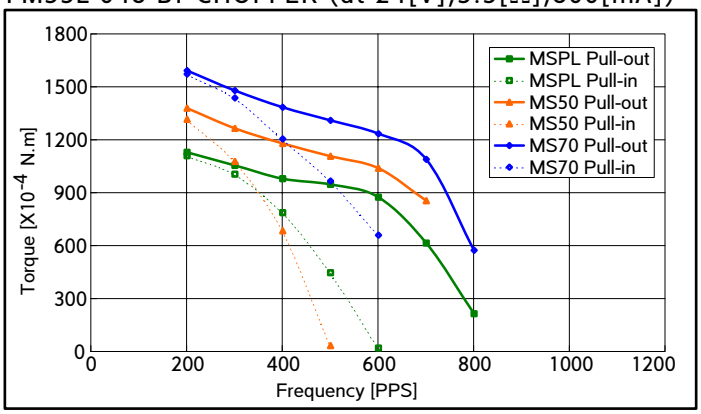
Home automation appliances : Sewing machines

Torque Characteristics

PM55L-048 UNI-CONST. V (at 24[V],30[Ω])

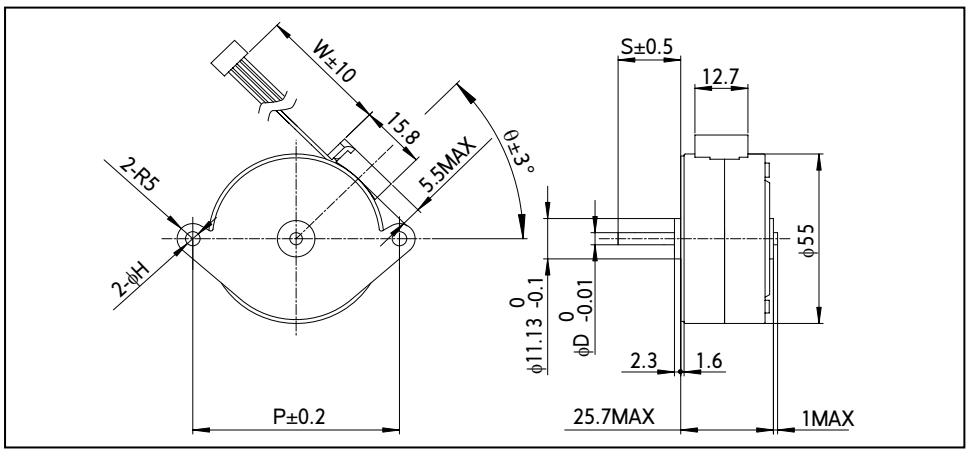


PM55L-048 BI-CHOPPER (at 24[V],5.5[Ω],800[mA])



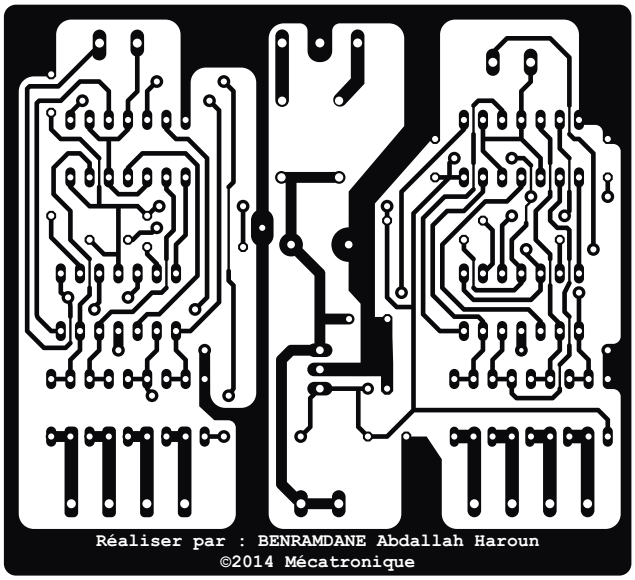
These torque values are reference only. Heat radiation conditions and temperature rise effect by duty are different on each equipment, therefore please select motors after considering the heat conditions in the actual equipment.

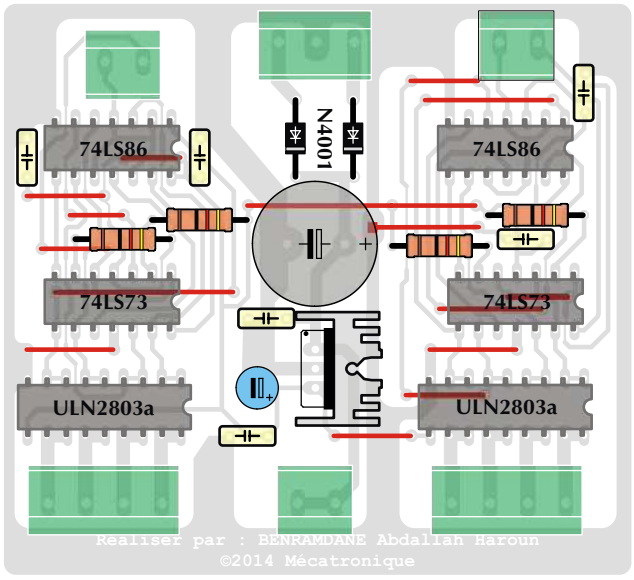
Dimensions



If you would like to know this Dimensions(D,S,W,θ), Please see Standerd Dimensions in our Home Page.

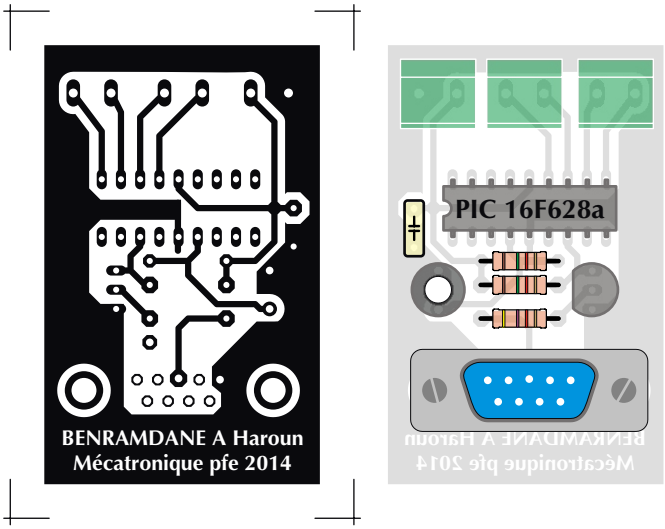
Copyright 2004, Minebea Co., Ltd.





Circuit du DRIVER
echelle 1:1

Circuit d'ADAPTATION
echelle 1:1



FAIRCHILD SEMICONDUCTOR™

August 1986
Revised March 2000

DM74LS73A
Dual Negative-Edge-Triggered Master-Slave J-K Flip-Flops with Clear and Complementary Outputs

General Description

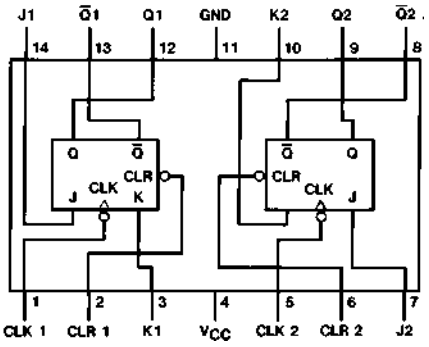
This device contains two independent negative-edge-triggered J-K flip-flops with complementary outputs. The J and K data is processed by the flip-flops on the falling edge of the clock pulse. The clock triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the negative going edge of the clock pulse. The data on the J and K inputs is allowed to change while the clock is HIGH or LOW without affecting the outputs as long as setup and hold times are not violated. A low logic level on the clear input will reset the outputs regardless of the levels of the other inputs.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS73AM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS73AN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

Inputs				Outputs	
CLR	CLK	J	K	Q	$\overline{Q}$
L	X	X	X	L	H
H	↓	L	L	Q_0	$\overline{Q}_0$
H	↓	H	L	H	L
H	↓	L	H	L	H
H	↓	H	H	Toggle	
H	H	X	X	Q_0	$\overline{Q}_0$

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level
X = Either LOW or HIGH Logic Level
↓ = Negative going edge of pulse.
Q_0 = The output logic level before the indicated input conditions were established.
Toggle = Each output changes to the complement of its previous level on each falling edge of the clock pulse.

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR™

August 1986
Revised March 2000

DM74LS86
Quad 2-Input Exclusive-OR Gate

General Description

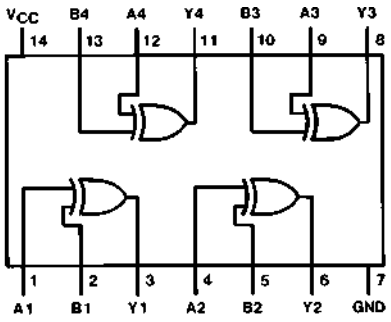
This device contains four independent gates each of which performs the logic exclusive-OR function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS86M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS86SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS86N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = A \oplus B = \overline{A}\,B + A\overline{B}$$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

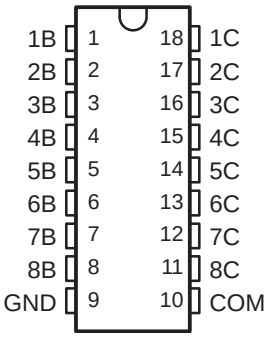
H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

SLRS049C − FEBRUARY1997 − REVISED AUGUST 2004

- **500-mA Rated Collector Current (Single Output)**
- **High-Voltage Outputs . . . 50 V**
- **Output Clamp Diodes**
- **Inputs Compatible With Various Types of Logic**
- **Relay Driver Applications**
- **Compatible with ULN2800A Series**

DW OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The ULN2803A is a high-voltage, high-current Darlington transistor array. The device consists of eight npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of each Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs may be connected in parallel for higher current capability.

Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. The ULN2803A has a 2.7-kΩ series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices.

ORDERING INFORMATION

T_A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
−40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 20	ULN2803AN	ULN2803AN
	SOIC (DW)	Tube of 40	ULN2803ADW	ULN2803A
		Reel of 2000	ULN2003ADWR	

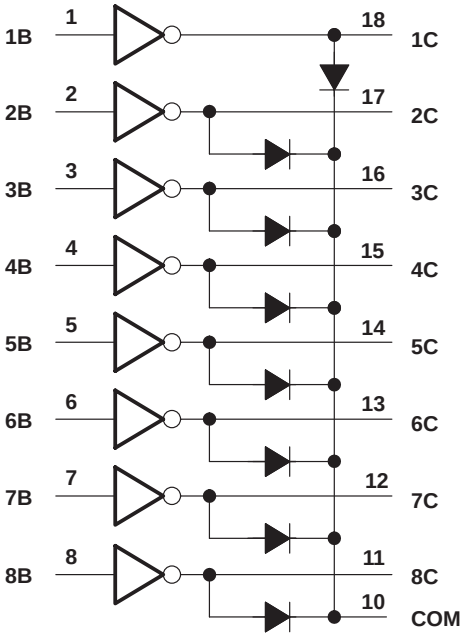
† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

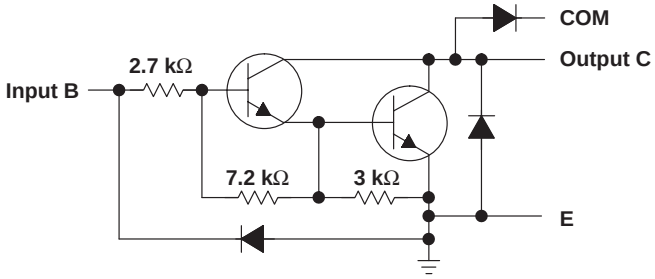
PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

logic diagram



schematic (each Darlington pair)



PIC16F627A/628A/648A

18-pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Operating speeds from DC – 20 MHz
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- 35 single-word instructions:
  - All instructions single cycle except branches

Special Microcontroller Features:

- Internal and external oscillator options:
  - Precision internal 4 MHz oscillator factory calibrated to ±1%
  - Low-power internal 48 kHz oscillator
  - External Oscillator support for crystals and resonators
- Power-saving Sleep mode
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Multiplexed Master Clear/Input-pin
- Watchdog Timer with independent oscillator for reliable operation
- Low-voltage programming
- In-Circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Programmable code protection
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer and Oscillator Start-up Timer
- Wide operating voltage range (2.0-5.5V)
- Industrial and extended temperature range
- High-Endurance Flash/EEPROM cell:
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - 40 year data retention

Low-Power Features:

- Standby Current:
  - 100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 12 µA @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 120 µA @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
  - 1 µA @ 2.0V, typical
- Timer1 Oscillator Current:
  - 1.2 µA @ 32 kHz, 2.0V, typical
- Dual-speed Internal Oscillator:
  - Run-time selectable between 4 MHz and 48 kHz
  - 4 µs wake-up from Sleep, 3.0V, typical

Peripheral Features:

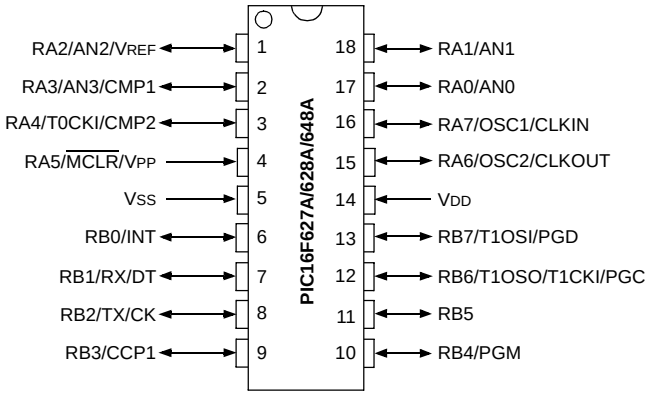
- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (V_{REF}) module
  - Selectable internal or external reference
  - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM module:
  - 16-bit Capture/Compare
  - 10-bit PWM
- Addressable Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	CCP (PWM)	USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F627A	1024	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F628A	2048	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F648A	4096	256	256	16	1	Y	2	2/1

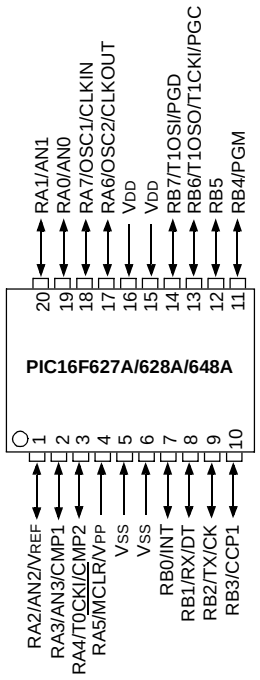
© 2007 Microchip Technology Inc.

Pin Diagrams

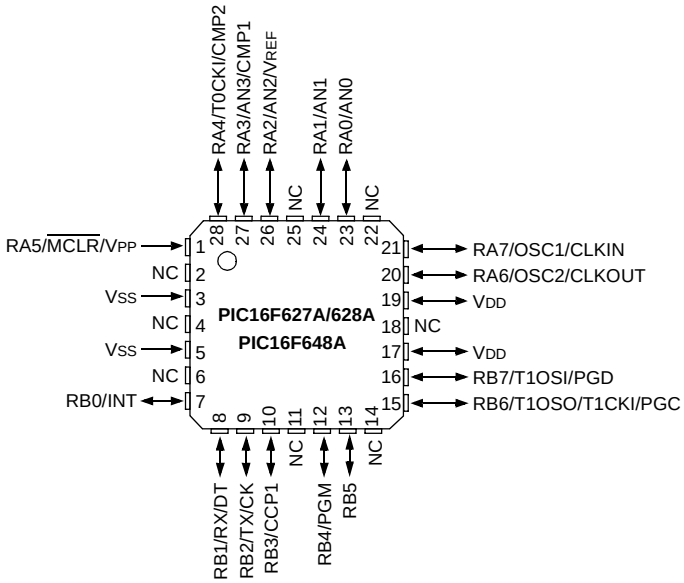
PDIP, SOIC



SSOP



28-Pin QFN



© 2007 Microchip Technology Inc.