

Rapport de projet

Sujet :

Conception d'un suiveur solaire



Département Génie électrique

Filière Génie Electromécanique

Réalisé par :

Karima EL Hafiane

Soumia Asraoui

Salah Eddine Sanba

Année universitaire 2019-2020

A nos parents

Pour la patience, l'amour, l'encouragement

Et les circonstances convenables

Que vous nous avez assuré.

Remerciements

Fruit d'une réflexion et d'un travail sérieux, l'élaboration de ce rapport de stage de fin d'études n'aurait pas pu être accomplie sans le soutien d'un grand nombre de personnes, qu'elles trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Sommaire

Introduction.....	7
Chapitre I : Cahier des charges.....	8
I- 1-Cahier des charges.....	8
Chapitre II : Généralités sur les cellules et panneaux.....	9-17
II -1 Introduction	9
II-2 Mouvement du Globe terrestre	9
II.3 Le rayonnement solaire.....	9-10
II.4 Energie solaire photovoltaïque	10-13
II.5 Le rendement d'un panneau photovoltaïque	13-15
II.6 Les différents systèmes de suiveur solaire	15-17
Chapitre III : Analyse fonctionnelle et étude mécanique.....	18-36
III-1 Introduction	18
III- 2 schéma de fonctionnement.....	18
III- 3 -1 La structure de système.....	18-19

III-4 Analyse fonctionnelle	19-21
III-5 Maquette numérique du suiveur	21-24
IV-Étude mécanique	25-36
Chapitre IV : Description des composants électroniques.....	37-50
I-Moteur pas à pas	37
II-Moteur à aimant permanent	37-40
III-Circuit de commande par Le microcontrôleur.....	40-50
Conclusion.....	51

Listes des figures

Figure 1: Variation saisonnière du rayonnement solaire.....	
Figure 2: Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée.....	
Figure 3 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	
Figure4 : Circuit électrique équivalant de la cellule photovoltaïque.....	
Figure5 : La chaîne de fabrication du photovoltaïque.....	
Figure6 : Inclinaison et orientation d'un panneau solaire.....	
Figure 7 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle β	
Figure8 : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction	
Figure10 : Les types de suiveur solaire.....	
Figure11 : Types de suiveurs solaires.....	
Figure12 : schéma de suiveur.....	
Figure 13 : Les composantes de suiveur solaire.....	
Figure 14 : Diagramme Bête à cornes.....	
Figure 15 : Digramme des interactions.....	
Figure16 : Diagramme SADT.....	
Figure 17 : liaison vérin Support vérin.....	

Figure18 : liaison panneau _ structure aluminium.....
Figure19 : liaison structure aliminium _ structure métallique.....
Figure 20 : liaison structure métallique _ support tournant.....
Figure21 : liaison modules _ structure en aluminium.....
Figure22 :Schéma cinématique.....
Figure 23 : Exemple d'un motoréducteur à train d'engrenages.....
Figure 24 :Les réducteurs à train d'engrenages.....
Figure 25,26,27,28,29,30,31,32,33,34 : Etapes de Simulation sur CATIA.....
Figure 35. Structure d'un moteur pas à pas à aimant permanent.....
Figure 36. Formes idéalisées des couples
Figure 37. Mode monophasé.....
Figure 38. Mode demi pas.....
Figure 39. Principe du pont en H.....
Figure 40. Schémas du câblage de l'oscillateur.....
Figure 41 : Schématisation d'un capteur a deux cellules LDR.....
Figure42 : Fonctionnement des capteurs embarqués.....
Figure 43 : le circuit de traitement des signaux.....
Figure 44 : Le circuit de Bloc de puissance.....
Figure45 : Algorithme du suiveur du soleil.....
Figure 46 : Le schéma global du système de poursuite.....

Introduction générale

Aujourd'hui, une des ressources les plus importantes est l'énergie. En raison des ressources limitées en combustibles fossiles, les énergies renouvelables deviennent une alternative intéressante.

Parmi toutes les énergies renouvelables, c'est l'énergie solaire qui a le plus grand potentiel. Ainsi, la puissance solaire disponible sur la surface de la Terre est 36 PW, alors que les puissances relatives des ressources d'énergie éolienne sont de 72 TW, celle de la géothermie de 9,7 TW, et l'utilisation de l'énergie humaine est de 15 TW [1, 2].

Au Maroc, la consommation énergétique s'est élevée à 17 millions de TEP en 2011, assurée essentiellement par les énergies fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon). C'est pourquoi Afin de réduire son empreinte écologique et dans un objectif de baisse de la dépendance historique du Maroc à l'importation des énergies fossiles, ce dernier a depuis 2009 adopté une stratégie nationale de promotion des énergies renouvelables (ENR). L'objectif du royaume est de porter la part des énergies renouvelables à 42% (dont 14% de solaire) du mix électrique en 2020 et à 52% en 2030, et d'atteindre une capacité installée de toits solaires dans le résidentiel de 2500 MWc en 2030 grâce au net meeting.

Le projet marocain de développement intégré de l'énergie solaire vise la mise en place en 2020 d'une capacité de production électrique à partir de l'énergie solaire de 2 000 MW sur cinq sites : Ouarzazate, Ain Bni Mathar, Fom Al Oued, Boujdour et Sebkhath Tah. Les deux technologies "Concentrated Solar Power " (CSP) et Photovoltaïque- sont envisagées pour ces différentes stations. Ce programme augmentera la part de l'énergie solaire dans la capacité électrique totale à 14% à l'horizon 2020 et évitera l'émission de 3,7 millions de tonnes de CO₂ par an.

En outre n'oubliant pas de citer le rôle important de dynamisme actif de l'université marocaine dans le secteur vif de l'électricité marocain , comme moteur de développement et entité du transfert du savoir, compte tirer profit de ces programmes, en s'associant et en s'impliquant dans des recherches nécessaires à la mise à niveau de la structure et au développement du secteur des énergies renouvelables. C'est dans ce cadre général que s'inscrit notre projet de stage, sous le thème : «Etude, conception et réalisation d'un suiveur solaire».

Chapitre I : Cahier des charges.

1-Cahier des charges

Aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques sont fixes et leur rendement dépend de l'inclinaison des supports sur lesquels ils sont posés. Une alternative serait d'asservir ces 15 panneaux de manière à obtenir un angle d'éclairement optimale tout au long de la journée et ce quel que soit la géo localisation des panneaux.

Dans la perspective d'augmenter le rendement des panneaux photovoltaïques domestiques, le suiveur de soleil proposé offre un suivi de la trajectoire du soleil suivant un axe motorisé et un axe saisonnier manuel. Ils engendrent ainsi une augmentation de la production moyenne d'électricité d'une manière considérable, à cet effet le système étudié comporte un panneau photovoltaïque, un support et un système d'asservissement.

Notre projet consiste à faire l'étude de conception ainsi que la réalisation d'un suiveur solaire ce dernier oriente le panneau solaire en le faisant pivoter en direction du soleil.

Partie 1 : Conception de la partie opérative

Partie 2 : choix des composants

Partie 3 : Elaboration de la partie commande

Chapitre II : Généralités sur les cellules et panneaux photovoltaïques.

COMMENT ÇA MARCHE ? PRINCIPES ET COMPOSANTS.

II -1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable, produite par les rayonnements du Soleil. La production de cette énergie peut se faire grâce aux cellules photovoltaïques, composant électrique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité en quantité proportionnelle à la puissance lumineuse incidente. Dans ce chapitre, nous commençons par la présentation de quelques notions générales.

II-2 Mouvement du Globe terrestre :

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 Décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 Juin) qu'elle en est la plus éloignée.

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique.

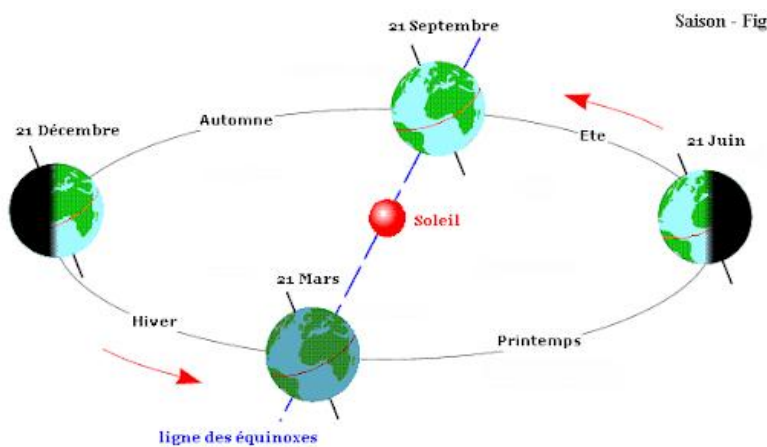


Figure 1: Variation saisonnière du rayonnement solaire

II.3 Le rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égale à 1367 w/m^2 , appelé de ce fait constante solaire.

II 3.1 Types de rayonnements :

II.3.1.1 Rayonnement direct :

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

II .3.1.2 Rayonnement diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

II.3.1.3 Rayonnement global :

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus.

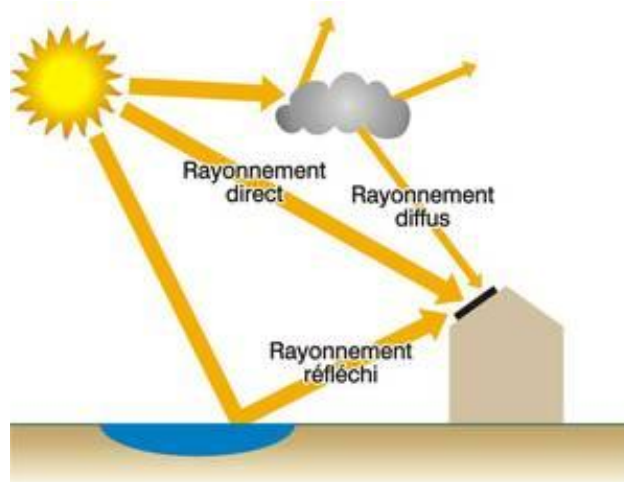


Figure 2: Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée.

II.4 Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être

naturelle (soleil) ou artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des **cellules photovoltaïques**, un composant électronique produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers. La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie. Elle fonctionne sur le principe de l'effet photoélectrique.

Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque, plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. Cette installation produit de l'électricité qui peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution.

II.4 -1-La cellule solaire :

Principe :

L'absorption d'un photon par un semi-conducteur donne naissance à une paire d'électron trou lorsque son énergie est supérieure à celle de la largeur de la bande interdite du matériau. Le champ électrique interne à la jonction, entraîne alors le trou vers la région P et l'électron vers la région N.

Par dopage du semi-conducteur de région de type P et de type N par les atomes phosphore et bore; la cellule solaire est donc une jonction P-N avec des diverses parties représentées sur le schéma de la figure suivante :

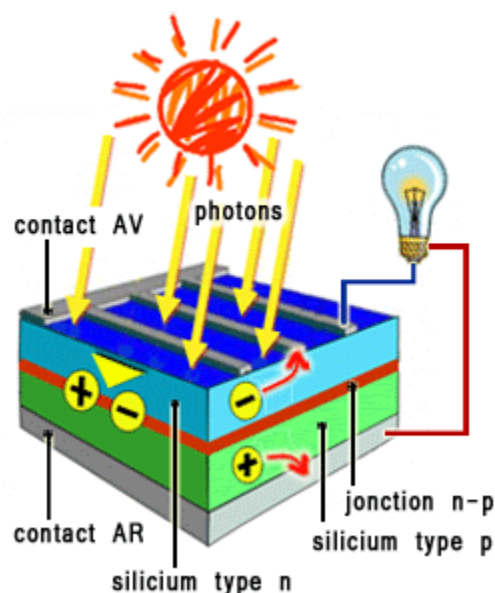


Figure 3 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

II.4.2 Le schéma équivalent électrique d'une cellule PV :

La figure4 illustre le schéma équivalent électrique d'une cellule PV réelle. Dans cette équation, on prend en compte le courant de court-circuit et les différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique. Ainsi, en statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante [2]:

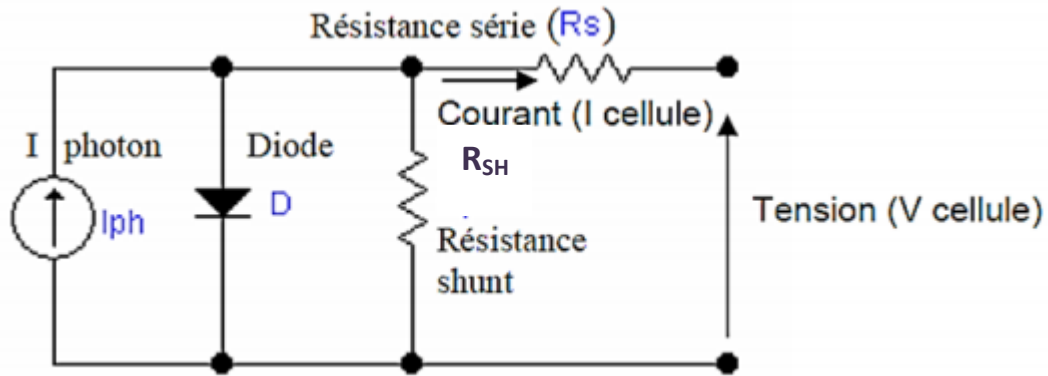


Figure4 : Circuit électrique équivalent de la cellule photovoltaïque.

A partir on déduit les équations suivantes :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad \text{avec : } I = \frac{V_d}{R_p} = \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad \text{Courant traversant la résistance shunt.}$$

Le courant traversant la diode est :

$$I_d = I_s * e^{\left(\frac{V + I.R_s}{R_p}\right) - 1} \quad \text{On en déduit : } I = I_{ph} - I_s * e^{\left(\frac{V + I.R_s}{R_p}\right) - 1} \cdot \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad \text{avec : } V_t = \frac{Kt}{q}$$

$$\text{D'où: } I_s = I_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} \exp\left[\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right) \frac{E_g}{nV_t}\right] \quad I_{ph} = (I_{cc} + K_i \Delta T) \cdot \frac{G}{G_{ref}} \quad \text{Avec : } \Delta T = T - T_{ref}$$

I_s le courant de saturation,
 I_0 le courant inverse,
 V_t est la tension thermique,
 k la constante de Boltzmann,
 K_1 Coefficient d' I_{cc} ,
 T la température effective de la cellule en Kelvin,
 q la charge de l'électron ($q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$),
 E_g l'éclairage de référence,
 n le facteur de non idéalité de la jonction,
 I le courant fourni par la cellule,
 V la tension aux bornes de la cellule,
 I_{cc} le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température,
 R_p la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction,
 R_s la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.
 G_{ref} l'éclairage de référence,
 G l'éclairement sur la cellule W/m^2

II.5 Le rendement d'un panneau photovoltaïque :

• Puissance produite :

Le rendement des panneaux photovoltaïques correspond à la quantité d'électricité produite par rapport à l'énergie solaire reçue.

Aujourd'hui, les rendements des panneaux solaires varient **entre 7 % et 24 %**.

Il est donc primordial de choisir le bon type de panneaux solaires afin de maximiser la production d'électricité.

En particulier, le rendement, qui est généralement le critère de choix, dépend des conditions climatiques du lieu d'installation (dans les régions caractérisées par des températures élevées, les systèmes au Silicium amorphe sont préférés à ceux au mono ou poly cristallin).



Figure5 : La chaîne de fabrication du photovoltaïque.

Pour un panneau PV, le rendement, R exprimé en pourcent (%), est défini par le rapport de la puissance électrique produite par le panneau PV (PEP) à la puissance solaire reçue (PSR).

- **Orientation et inclinaison :**

Une question vient immédiatement à l'esprit après cet exposé : **comment placer les panneaux solaires pour récupérer un maximum de rayonnement solaire et comment savoir quelle énergie on va récupérer ?**

On doit se préoccuper à la fois de l'orientation et de l'inclinaison (**figure 6**). L'orientation indique tout simplement vers quel point cardinal un panneau est exposé : il peut faire face au Sud, au Nord, à l'Est, à l'Ouest... tout comme la façade d'une maison. L'inclinaison, quant à elle, est l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal.

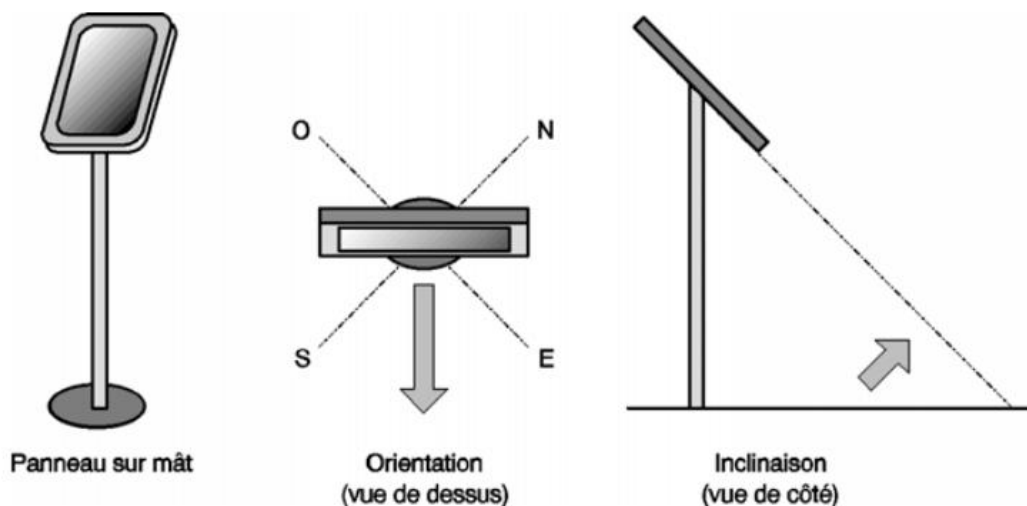


Figure6 : Inclinaison et orientation d'un panneau solaire.

Ce panneau est incliné à 60° par rapport à l'horizontale et orienté au S-E.

Avec : β l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents, l'angle optimal correspond à un angle de 90° comme indiqué dans **la figure 7**.

Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface (m^2) du panneau exposée aux rayons diminue et donc en partant de la puissance produite, le rendement diminue aussi, d'où l'importance **de l'orientation des panneaux par rapport à la position du Soleil**.

Le rendement en puissance solaire exploitée peut être calculé à l'aide de l'équation suivante :
 $RN = \sin(\beta) \times 100$.

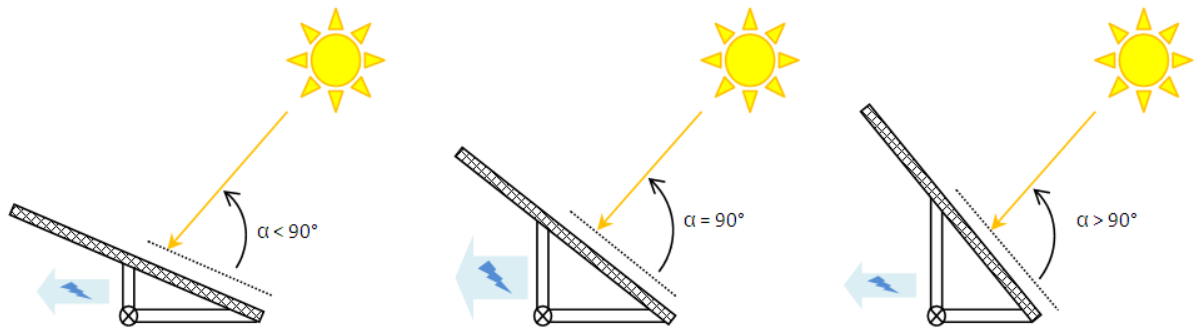


Figure 7 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle β

Le maximum est atteint quand l'angle de l'incidence est de 90° , on peut donc en conclure que lorsqu'un panneau solaire est orienté à 90° par rapport au soleil, son efficacité est au plus haut comme **la figure8** le montre.

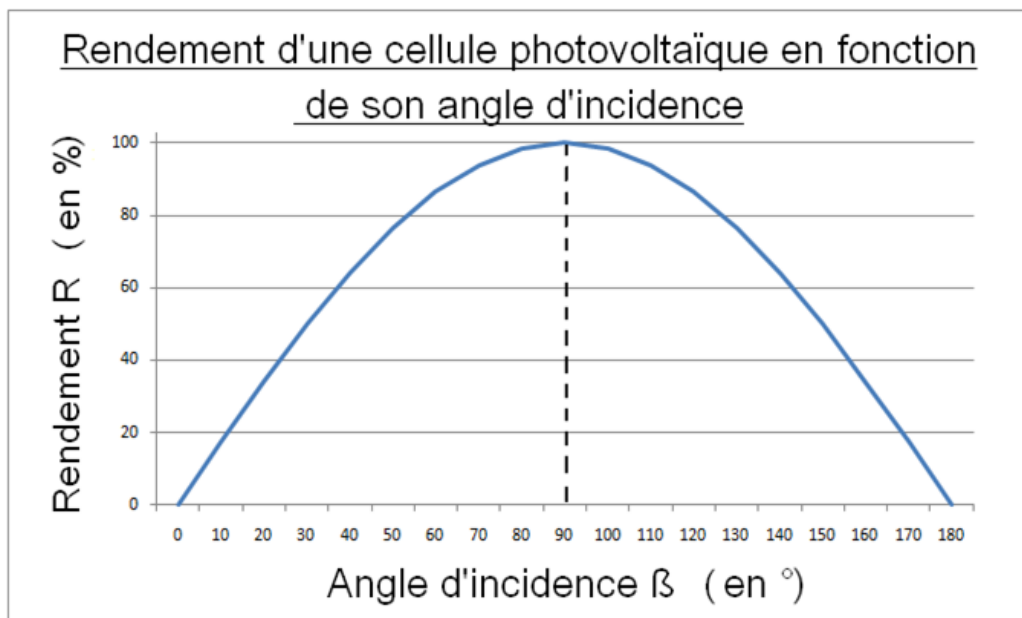
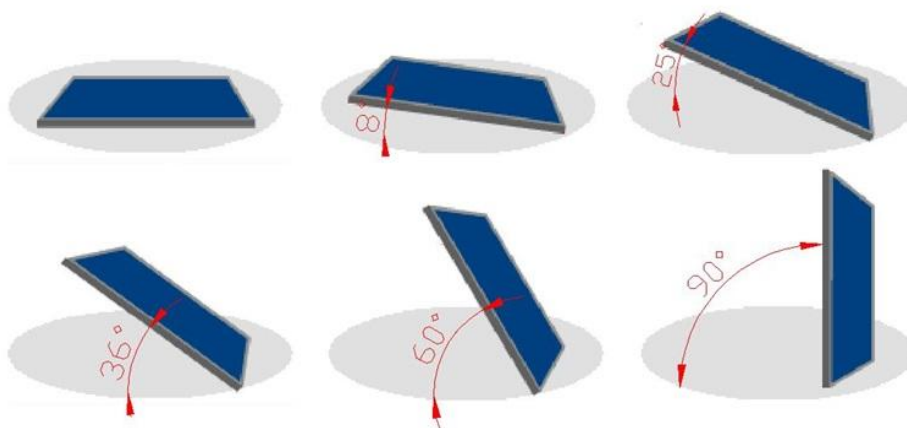


Figure8 : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle β des rayons solaires.

- **Angle d'inclinaison :**

Un
facteur



autre
qui

influence sur les performances du panneau PV est l'angle d'inclinaison, qui correspond à l'angle formé par le plan du panneau solaire par rapport à l'horizontale (le plan du sol).

Figure 9 : Représentation de l'angle d'inclinaison θ .

En effet, l'évolution de la trajectoire du soleil varie selon les saisons (l'inclinaison de la Terre varie), l'angle d'inclinaison est plus réduit en été et plus important en hiver.

Cependant si l'on désire maximiser la puissance générée par un panneau PV et avoir un rendement optimal, il faut tenir compte de tous ces paramètres et contraintes liées à l'orientation du module ainsi que la position du soleil.

II.6 Les différents systèmes de suiveur solaire :

Le rendement des panneaux solaires peut être amélioré en suivant deux logiques. La première consiste à suivre l'azimut (c'est-à-dire la course du soleil), les panneaux doivent donc suivre le soleil d'Est en Ouest. La deuxième consiste à améliorer l'incidence des rayons solaires en ajustant la hauteur des panneaux. L'incidence des rayons solaires dépend des saisons (en hiver le soleil est en moyenne plus bas qu'en été) et de l'heure de la journée. Les différents types de **suiveurs (Figure10) rencontrés sur le marché sont les suivants :**

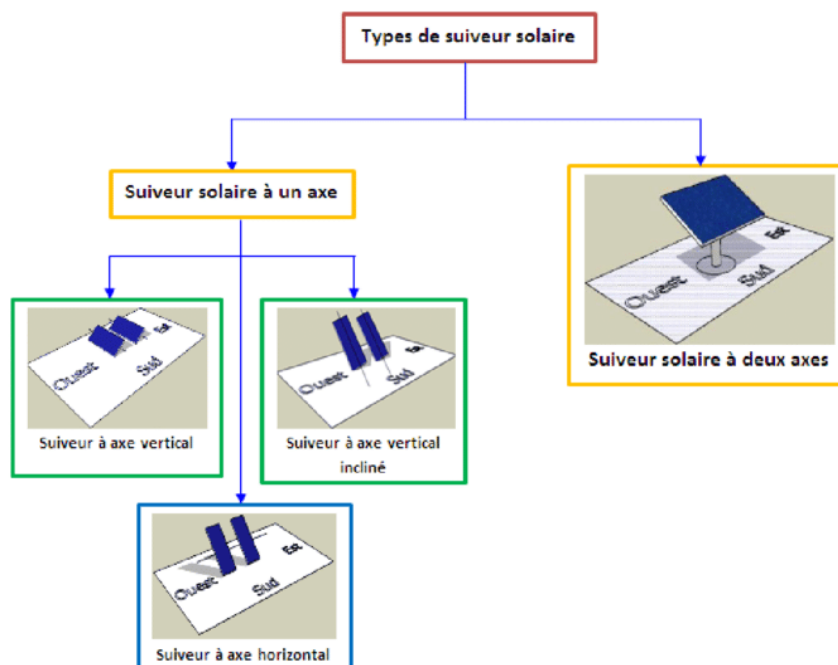


Figure10 : Les types de suiveur solaire.

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires: les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe. (Figure (11)).

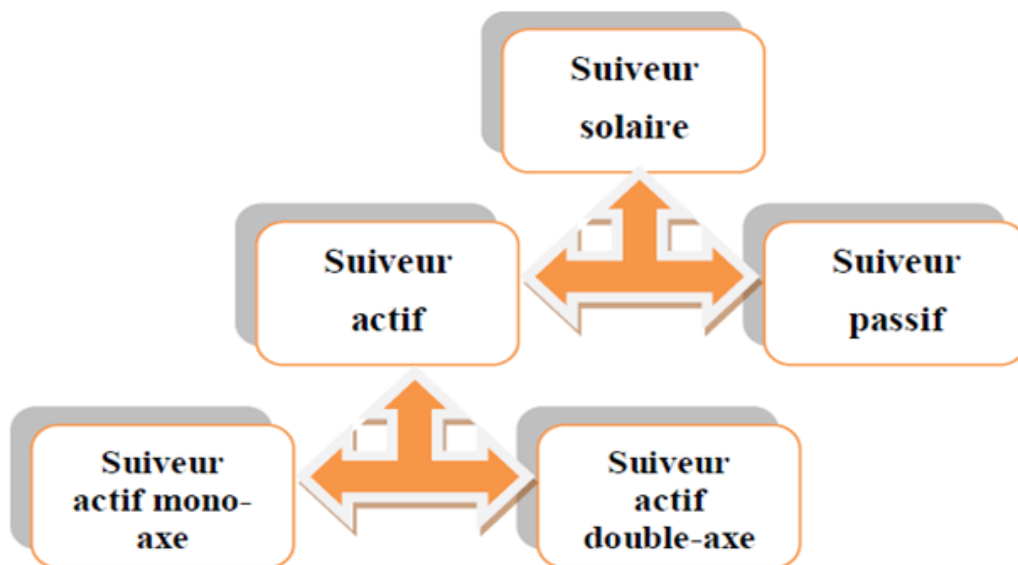


Figure11 : Types de suiveurs solaires.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a pu citer les différents aspects généraux des cellules photovoltaïques en commençant par le mouvement du Globe terrestre et finissant par les types des suiveurs solaires. Nous avons essayé de clarifier ce qui peut l'être, sans aucune langue de bois ni tabous, et sans doute, au passage, couper la tête à quelques fausses idées reçues. Dans le chapitre qui suit, nous allons parler sur l'étude réelle de la conception de la partie opérative.

Chapitre III : Analyse fonctionnelle et étude mécanique.

III-1 Introduction :

Le suiveur est un système électromécanique qui sert à positionner le long de la journée un module photovoltaïque pour avoir une position favorable par rapport au soleil, l'idéal est d'avoir les rayons de soleil perpendiculaire au module photovoltaïque, pour se profiter du maximum de flux de lumière solaire. Pour réaliser son fonction ce mécanisme doit être équipé de deux actionneurs l'un (vérin électrique) a pour fonction de tourner les panneaux solaire afin de suivre l'élévation du soleil, l'autre actionneur (moteur électrique) sa fonction consiste à faire tourner le module photovoltaïque pour qu'il suit le déplacement azimutal du soleil.

III- 2 schéma de fonctionnement :

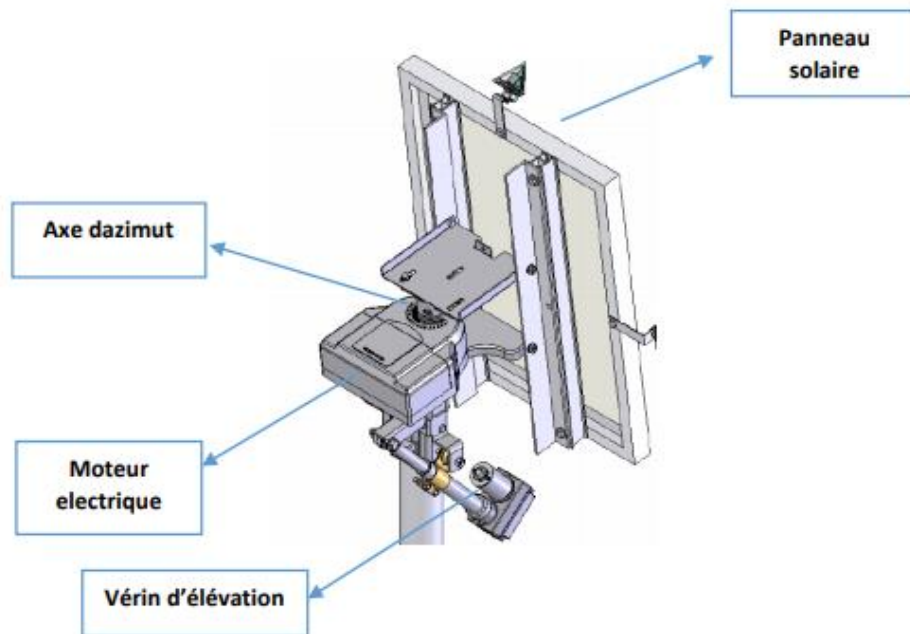


Figure12 : schéma de suiveur.

III- 3 -1 La structure de système :

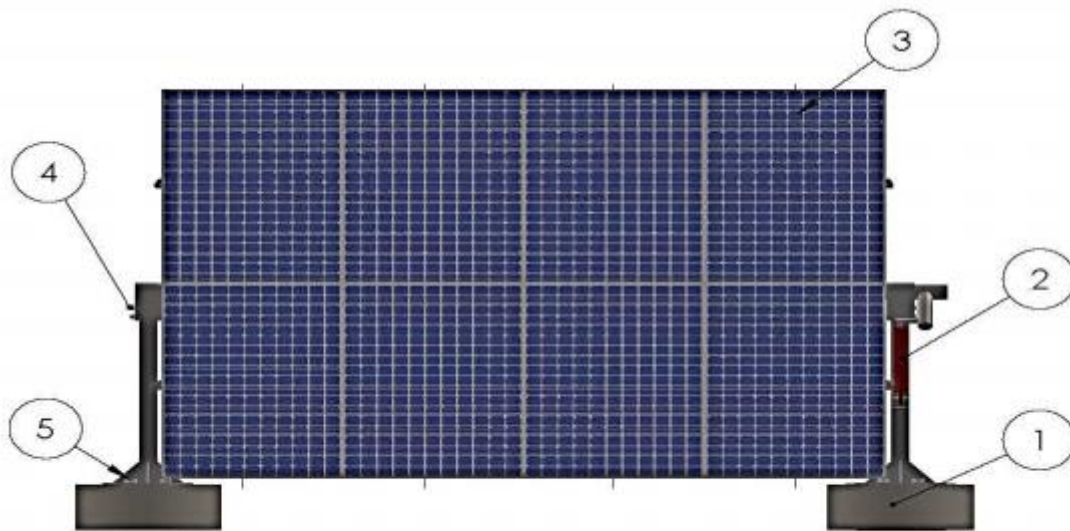


Figure 13 : Les composantes de suiveur solaire.

N° d'article	Nom
1	Fondation
2	Vérin hydraulique
3	Panneau photovoltaïque
4	Boulon à tête hexagonale
5	Tige d'ancrage

III-4 Analyse fonctionnelle :

La partie mécanique est le support du système, il est donc impératif de la concevoir correctement en fonction des pièces les plus optimales et moins chères. Pour cela on va faire une analyse fonctionnelle pour détailler les différentes fonctions ainsi une étude cinématique suivi par le choix des matériaux.

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Elle se devise en deux étapes.

- Analyse interne
- Analyse externe

III-4-1 Analyse externe :

- **Bête à cornes :**

La bête à corne est un outil graphique qui permet énoncer le besoin.

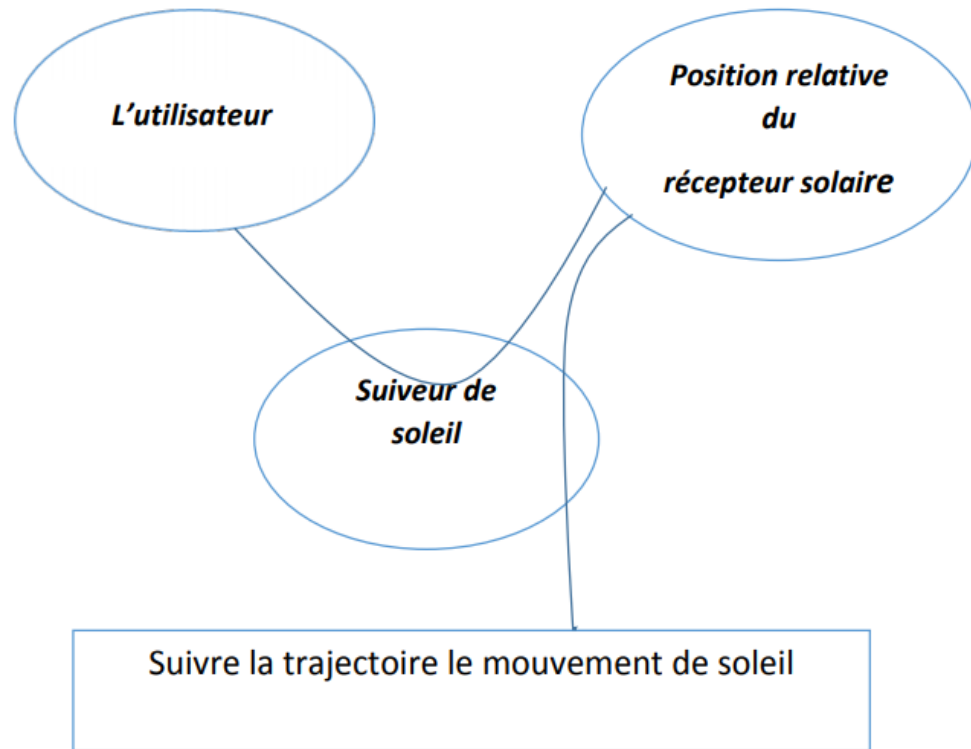


Figure 14 : Diagramme Bête à cornes.

- **Diagramme des interactions :**

Le diagramme des interactions (appelé aussi diagramme pieuvre) permet de chercher et ordonner les fonctions de service d'un produit.

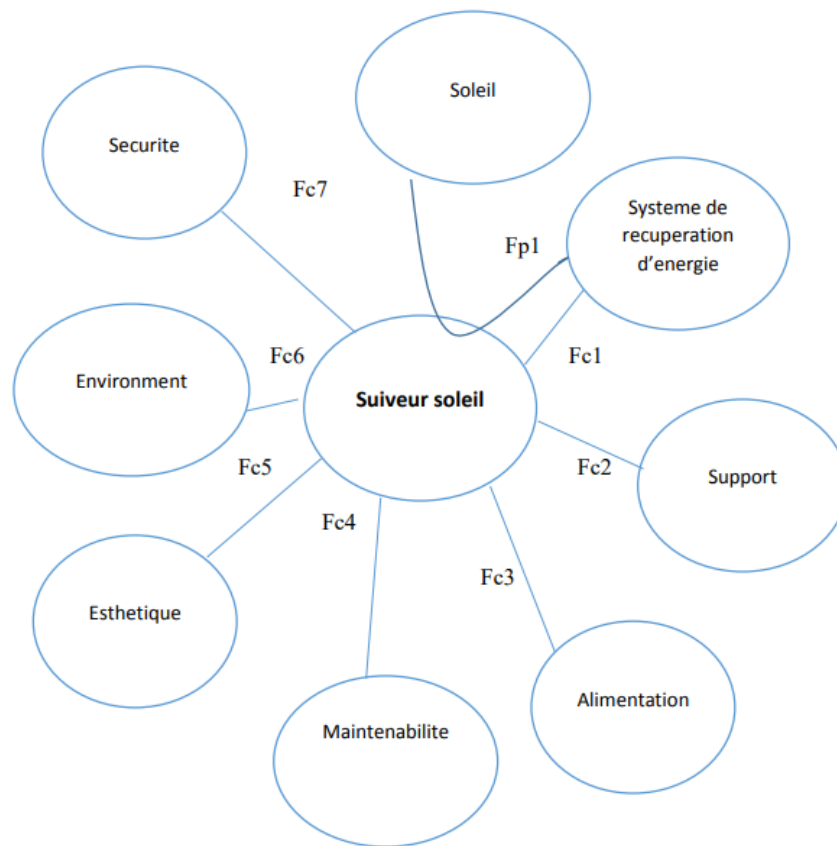


Figure 15 : Digramme des interactions.

Liste des fonctions	
FP1	Permettre l'orientation du système de récupération d'énergie vers la position optimale.
FC1	S'adapter aux différents systèmes de récupération d'énergie.
FC2	Maintenir le suiveur de soleil en position stable sur le système à orienter.
FC3	S'adapter aux sources d'alimentation disponibles.
FC4	Respecter les critères normaux.
FC5	Bien présenté.
FC6	Résister aux effets destructifs de l'environnement.
FC7	Respecter la norme de sécurité.

III-4-2 Diagramme SADT A-0 :

La méthode [SADT](#), ou méthode d'analyse fonctionnelle descendante, est une méthode graphique qui part du général pour aller au particulier. Elle permet de décrire des systèmes complexes où coexistent différents flux de matière d'œuvre : systèmes automatisés, asservis ou intégrant l'informatique.

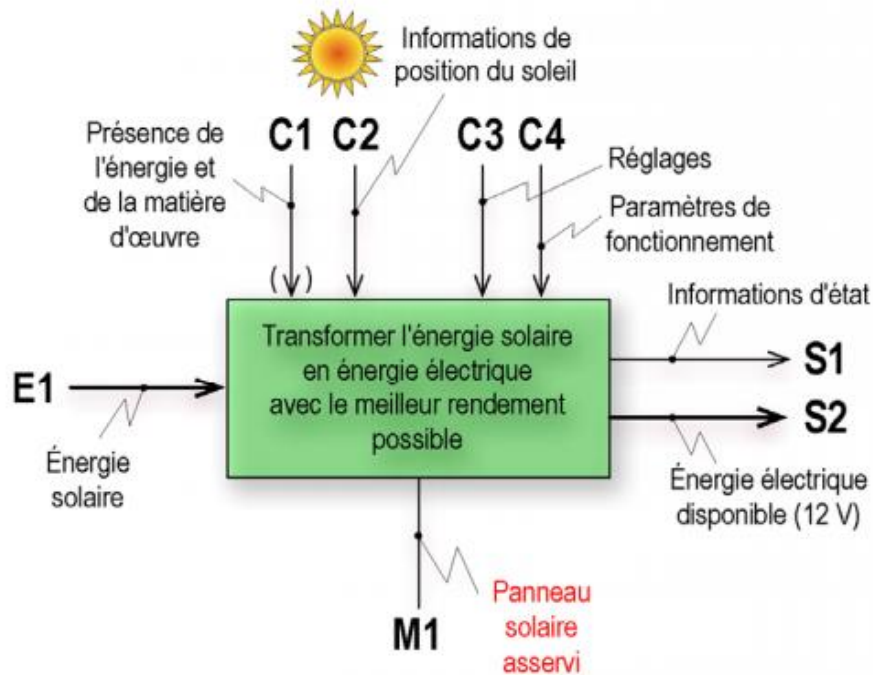


Figure 16 : Diagramme SADT A-0.

III-5 Maquette numérique du suiveur :

III-5-1 Caractéristiques de suiveur solaire :

Puissance nominale	4000---7000W
Type de suivi	2 axes
Surfaces des modules	40 m²
Angle Est/Ouest	300°
Angle d'élévation	10°---90°
Matières	Acier galvanisé-Aluminium.
Poids	800kg
Vérin d'élévation	Levage de 835 mm
Orientation Est/Ouest	Vis sans fin
Vitesse de rotation élévation	13°/min
Vitesse de rotation Azimut	30°/min

- Liaison vérin _ structure métallique :

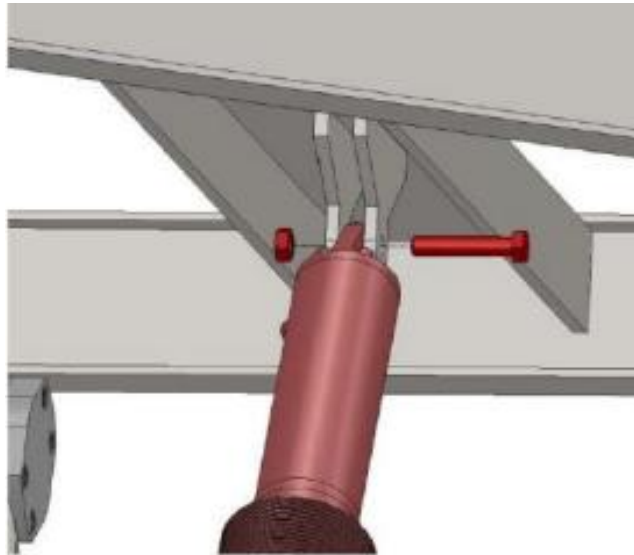


Figure 17 : liaison vérin_Support vérin.

- **Liaison panneau _ structure aluminium.**

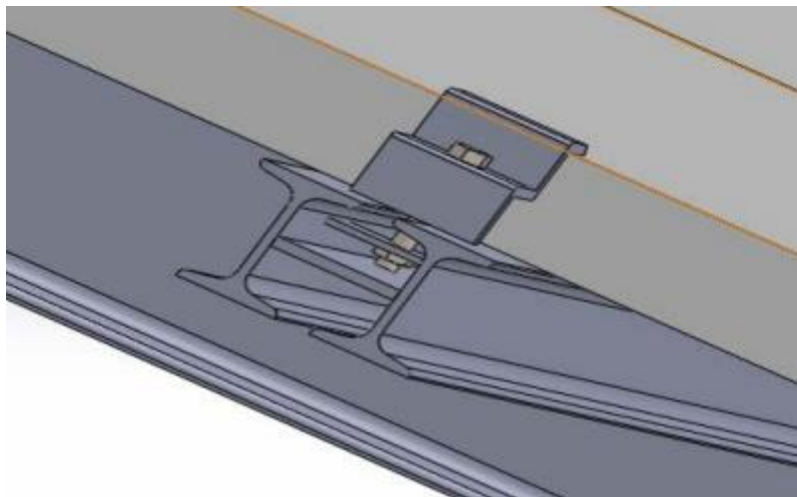


Figure18 : liaison panneau _ structure aliminium.

- **Liaison Structure aluminium _ structure métallique.**

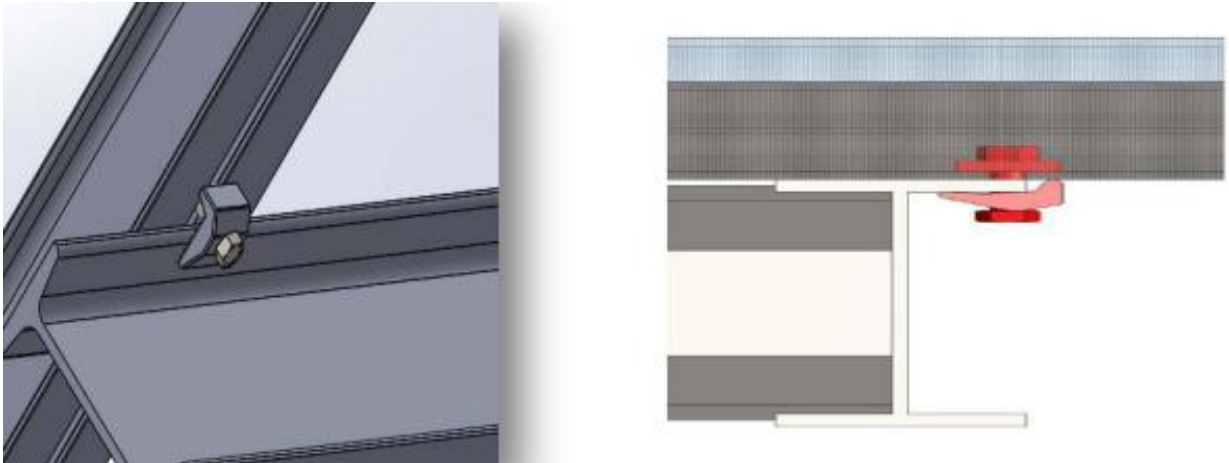


Figure19 : liaison structure aliminium_structure métallique.

- **Liaison structure métallique : support tournant :**



Figure 20 : liaison structure métallique _ support tournant.

- **Liaison modules _ structure en aluminium :**

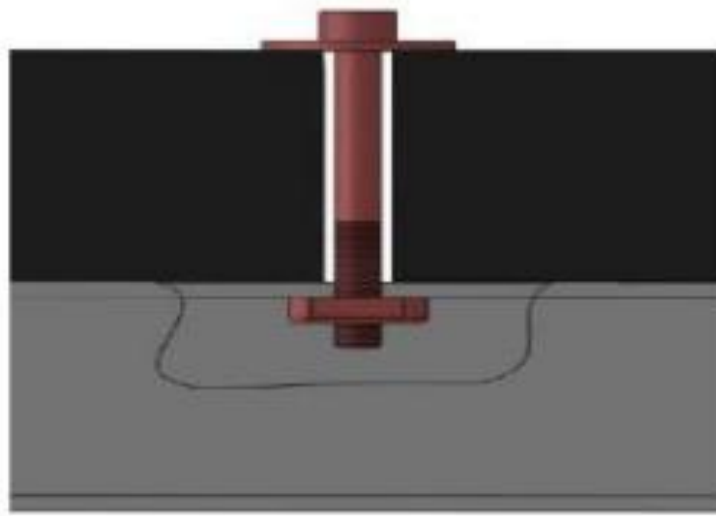


Figure21 : liaison modules _ structure en aluminium.

IV-Étude mécanique :

IV -1-Schéma cinématique :

L'étude cinématique va permettre de décrire les liaisons entre les différents sous-systèmes. Avant tout commençons par une étude des classes d'équivalences, puis le graphe de liaison pour connaître le degré d'hyperstatisme.

Classes d'équivalences:

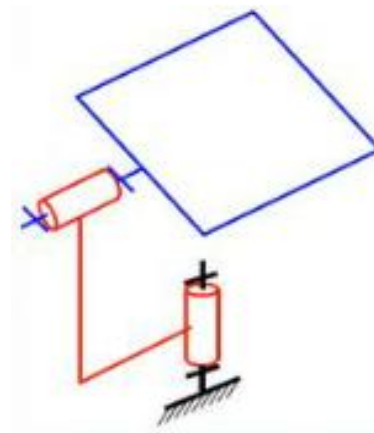
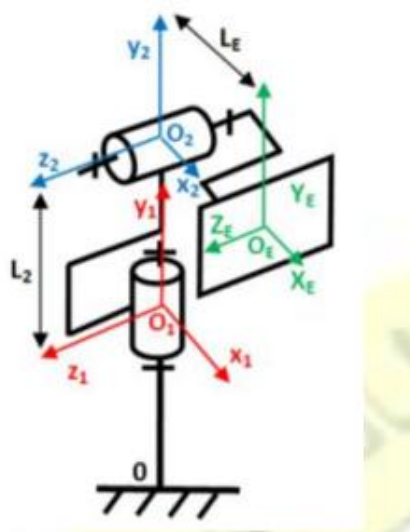
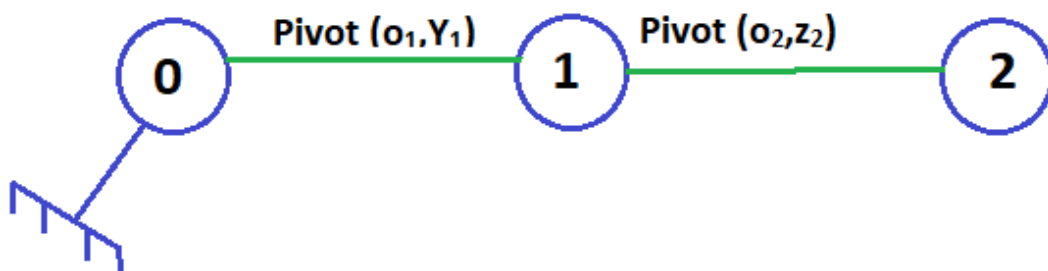
$$0 = \{ \text{bâti} \}$$
$$1 = \{\text{Support}\}$$
$$2 = \{\text{Panneau}\}$$


Figure22 : Schéma cinématique.

IV -2- Schéma cinématique de suiveur solaire :

Le schéma cinématique revêt deux fonctions principales en mécanique:

- aide à la conception en donnant le principe cinématique de fonctionnement.
- aide à la compréhension du dispositif existant.



Graphe de liaison

Le graphe des liaisons est une représentation plane décrivant les liaisons entre les pièces d'un mécanisme. Dans l'optique d'une étude des mouvements ou des conditions d'équilibre, les solides sont regroupés par classes d'équivalence. Ainsi, le graphe des liaisons se compose : de cercles symbolisant les classes d'équivalence d'arcs de courbe, joignant certains des cercles, symbolisant les liaisons.

Dans notre cas plusieurs liaisons sont en série (ou réalisent une chaîne ouverte) entre deux solides 0 et n, si elles sont disposées l'une à la suite de l'autre par l'intermédiaire de (n-1) solides.

Le degré d'hyperstatisme pour un système à chaîne ouverte $h=0$

Alors le système est dit isostatique, un modèle isostatique est un modèle rigide et ne présente aucune liaison inconnue.

Remarque: Dans le reste d'étude on va s'intéresser au Moteur lié au bâti.

Réducteur de vitesse :

Le motoréducteur est un ensemble constitué d'un réducteur déjà équipé d'un moteur électrique et prêt à être monté sur les installations.

L'usage d'un réducteur est rendu nécessaire pour réduire la vitesse de rotation des moteurs électriques.

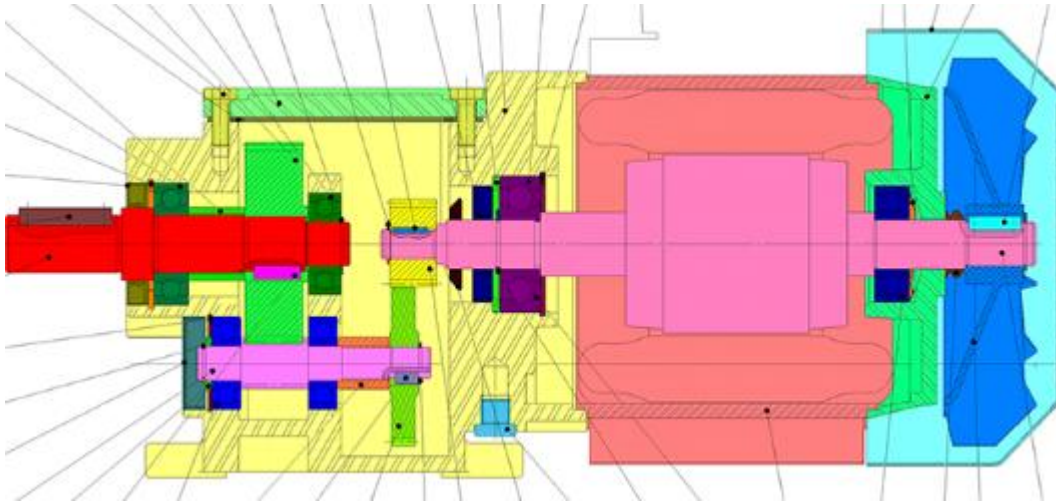


Figure 23 : Exemple d'un motoréducteur à train d'engrenages

Les réducteurs à train d'engrenages : Comprennent un ou plusieurs jeux de pignons et d'engrenages dans lesquels un pignon entraîne un autre pignon. Ces ensembles peuvent être empilés ou montés en cascade pour obtenir des rapports de réduction plus élevés.

Calcul de rapport de réduction :

Le rapport de réduction d'une transmission peut également être défini par le rapport du nombre de dents des roues dentées mises en jeu ainsi $R = Z_{\text{entrée}} / Z_{\text{sortie}}$ avec :

$Z_{\text{entrée}}$: nombre de dents de la roue dentée en liaison avec l'arbre moteur.

Z_{sortie} : nombre de dents de la roue dentée en liaison avec l'arbre de sortie de la boîte de vitesse.

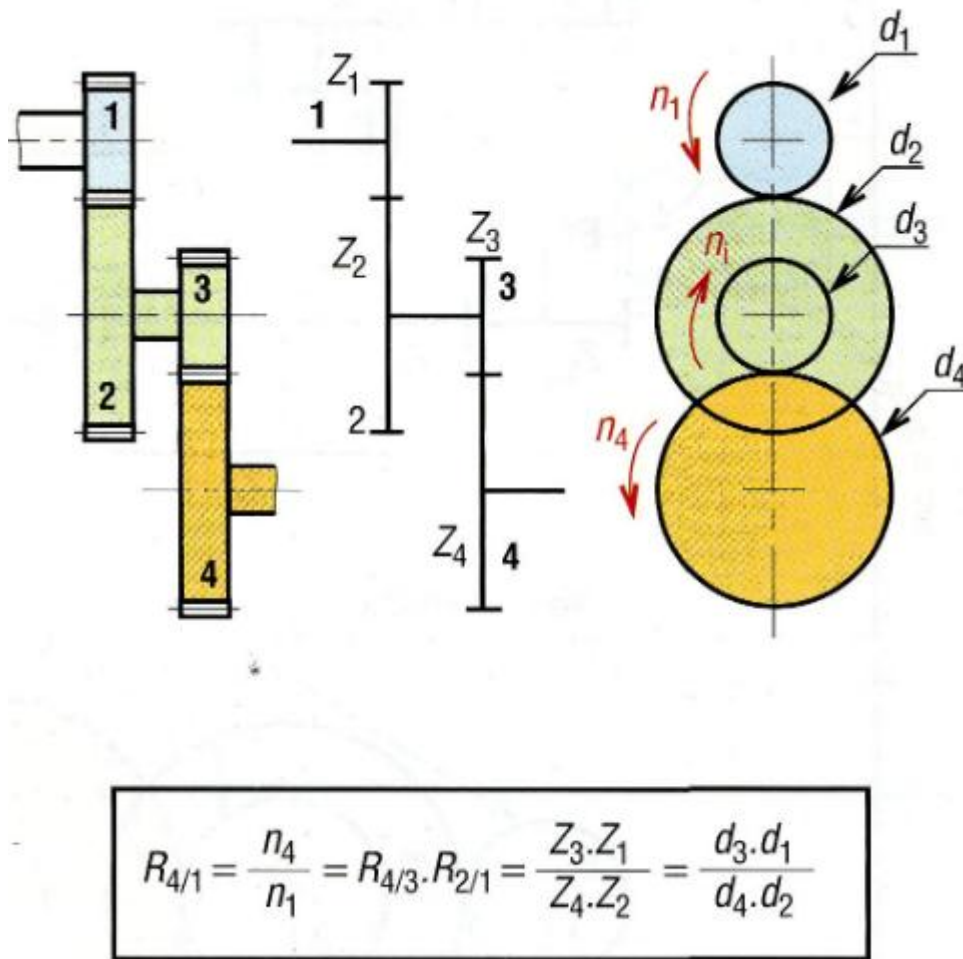


Figure 24 Les réducteurs à train d'engrenages

Vitesse de rotation du panneau :

Afin de calculer la vitesse de rotation du panneau, nous avons besoin de le nombre d'heures à partir du lever du soleil jusqu'à son coucher. Ce nombre est égal à 14 heures en été et à 9 heures en hivers. Ainsi, nous avons pris la moyenne qui est égale à 12h. Cette valeur sera utilisée dans les calculs qui suivent.

$$\omega_{pan} = \frac{180^\circ}{12_h} = \frac{\Pi}{12 \times 3600} \quad \text{Avec } (\omega_{pan} : \text{Vitesse de rotation du panneau rad/s})$$

$$\omega_{pan} = 7.27 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$$

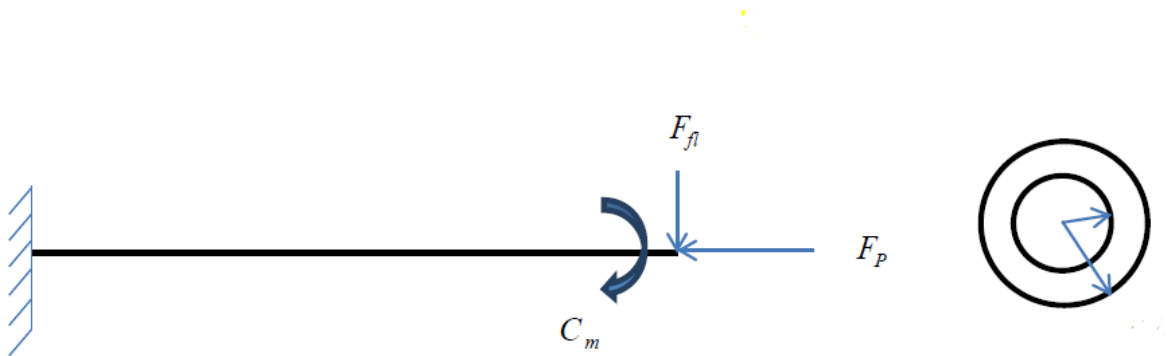
Donc

$$\omega_{\text{pan}} = 15 \text{ Deg/h}$$

Eude RDM de la base :

La base subit :

- un effort de compression due au poids de l'ensemble « panneau, structure métallique, moteur »,
- un effort de flexion due au vent,
- un effort de torsion due au moteur.



On modélise la base par une poutre :

C_m : Couple moteur.

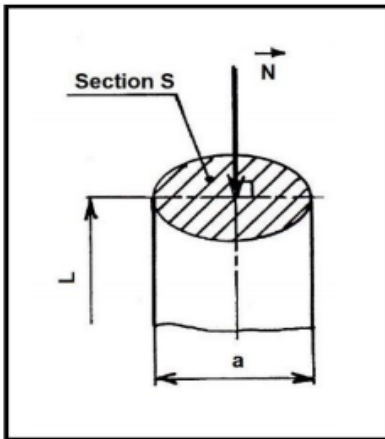
F_{fl} : Effort de flexion due au Vent.

F_p : Effort de compression due au poids.

Effort de compression due au poids :

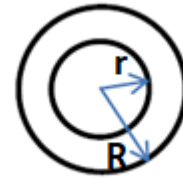
Pour simuler l'étude RDM on va utiliser le logiciel CATIA V5, pour cela on va prendre quelque mesure théorique afin de pouvoir les insérer au logiciel CATIA V5 :

Les mesures théoriques sont :

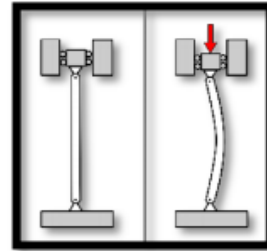


$$\sigma = \frac{N}{S}$$

N : effort normal en N.
 σ : contrainte normale en Mpa.
 S : section en mm².



Remarque : La longueur de la pièce doit être moyenne ($L=3a$ à $8a$) pour éviter le flambage.



$L = 700 \text{ mm}$ $a = D = 150 \text{ mm}$ $d = 120 \text{ mm}$

Le poids exercé par l'ensemble sur la poutre : $N = 150 \text{ N}$

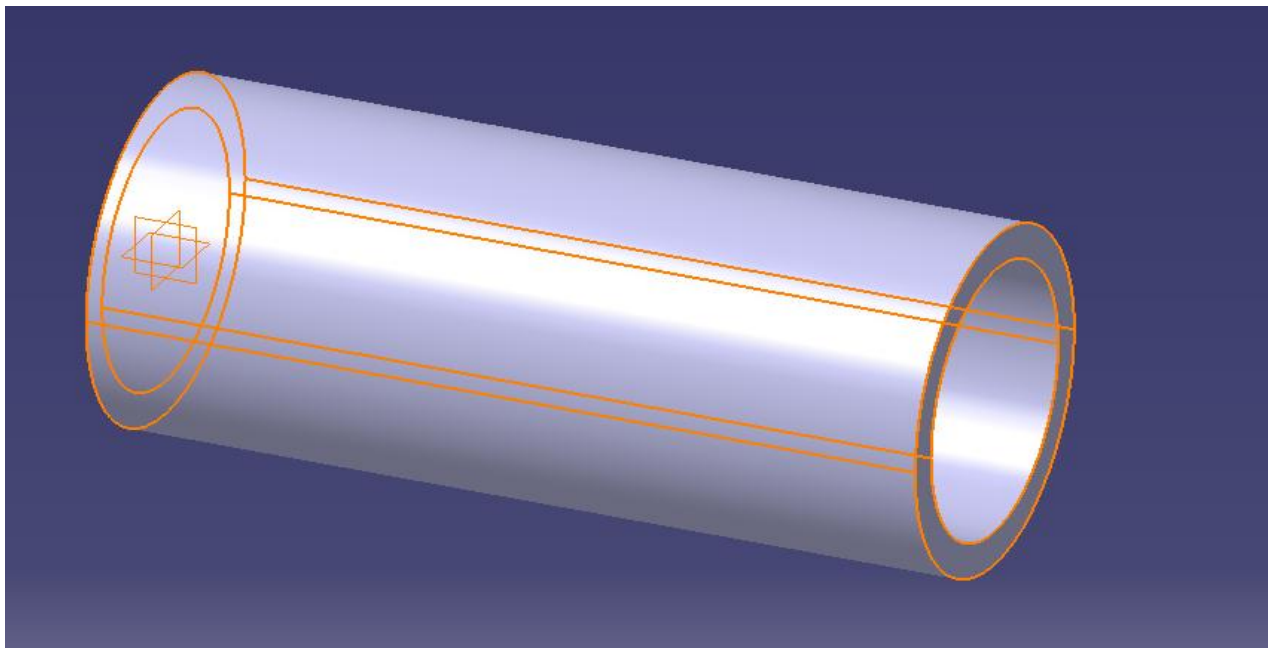


Figure 25 : Première de la simulation sur catia.

On simule maintenant sur CATIA :

Conception Du Support Sur Catia :

Maintenant on va choisir la matière du pièce :

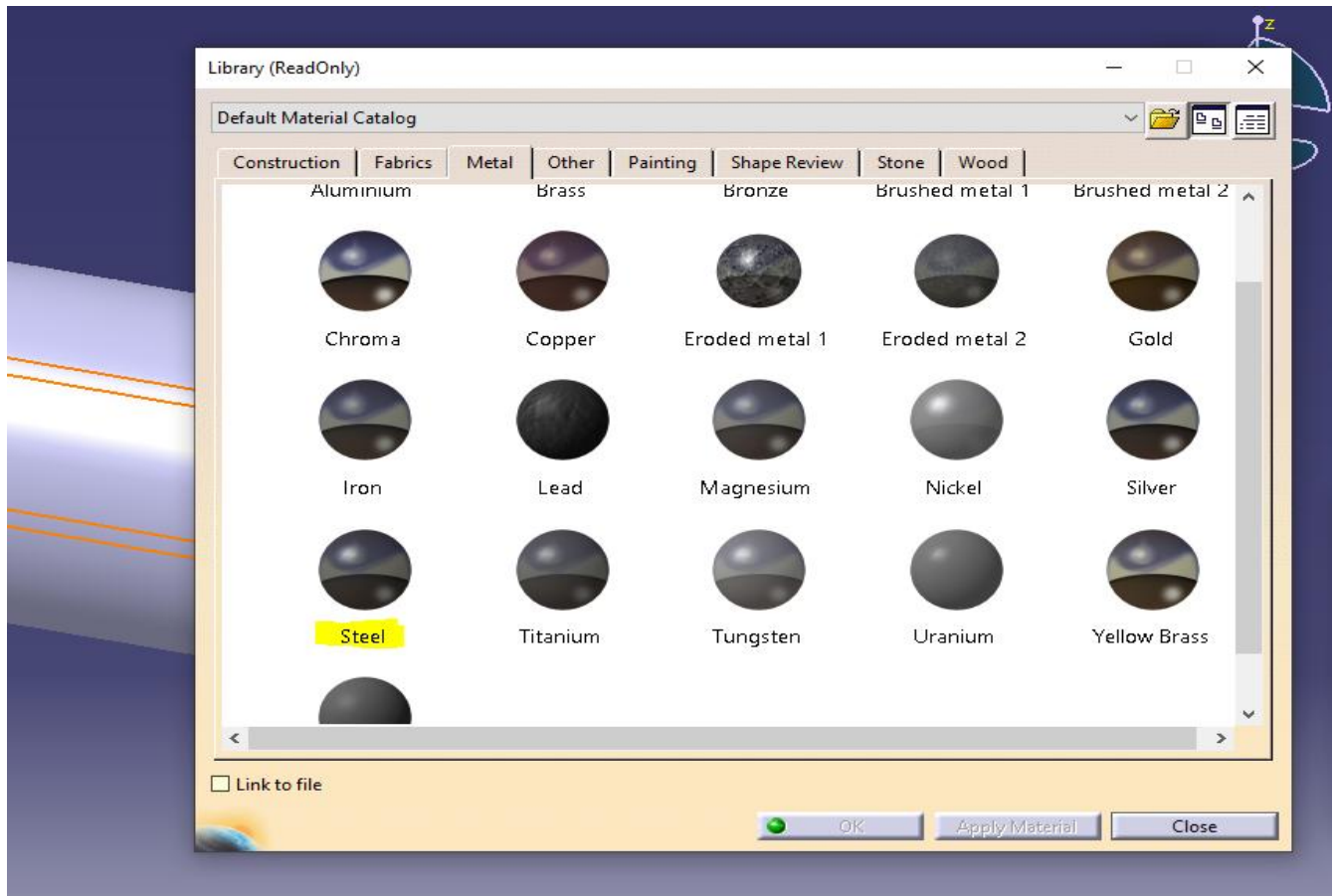


Figure 26 : Choix du matériau : Steel (Acier)

On applique l'étude RDM sur la pièce on utilise l'option : Analysis & Simulation:

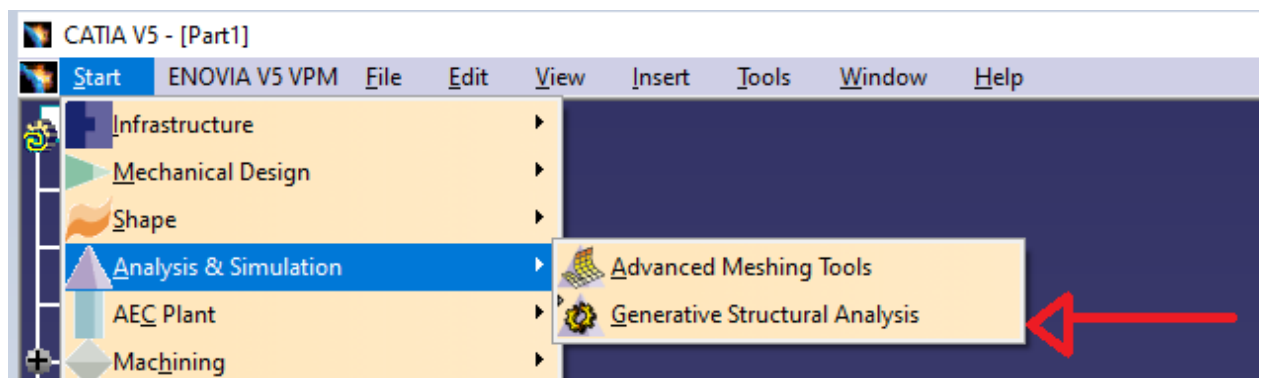


Figure27 : option de Analysis & Simulation:

On va appliquer l'encastrement à l'un des bases de support :

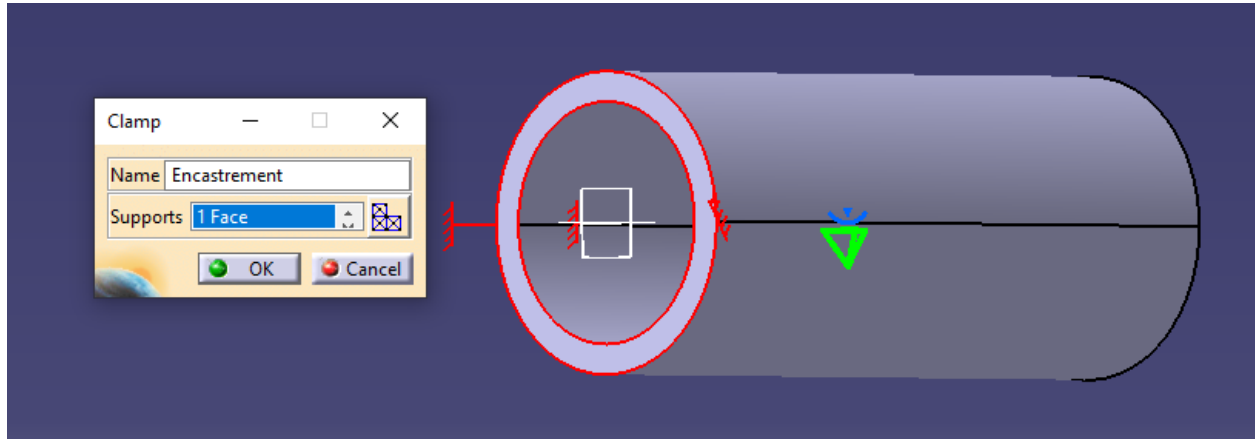


Figure28 : Application de l'encastrement à l'un des bases de support.

Maintenant appliquons l'effort de compression sur l'autre base du support simulé :

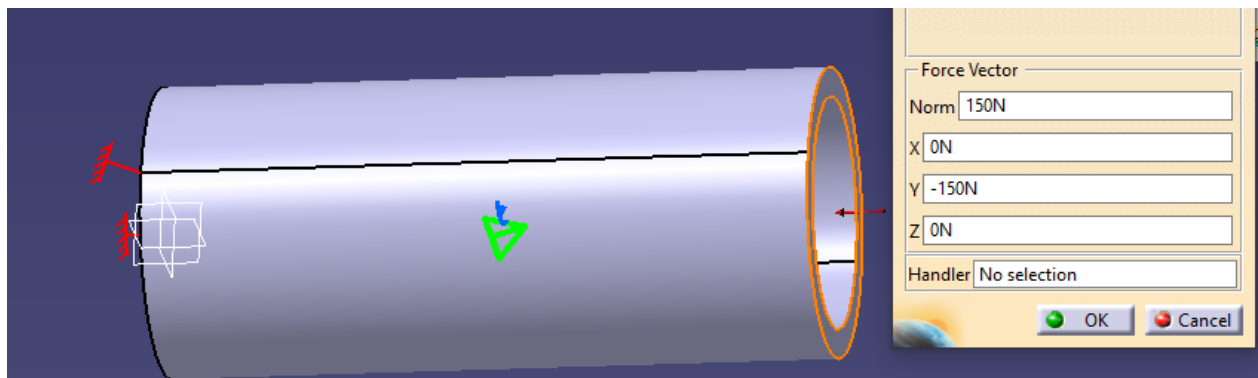


Figure 29 : Application de l'effort de compression.

Les résultats suivant nous donnent les efforts appliqués sur les différentes surfaces du support ainsi que le déplacement de matériau dû à l'effort :

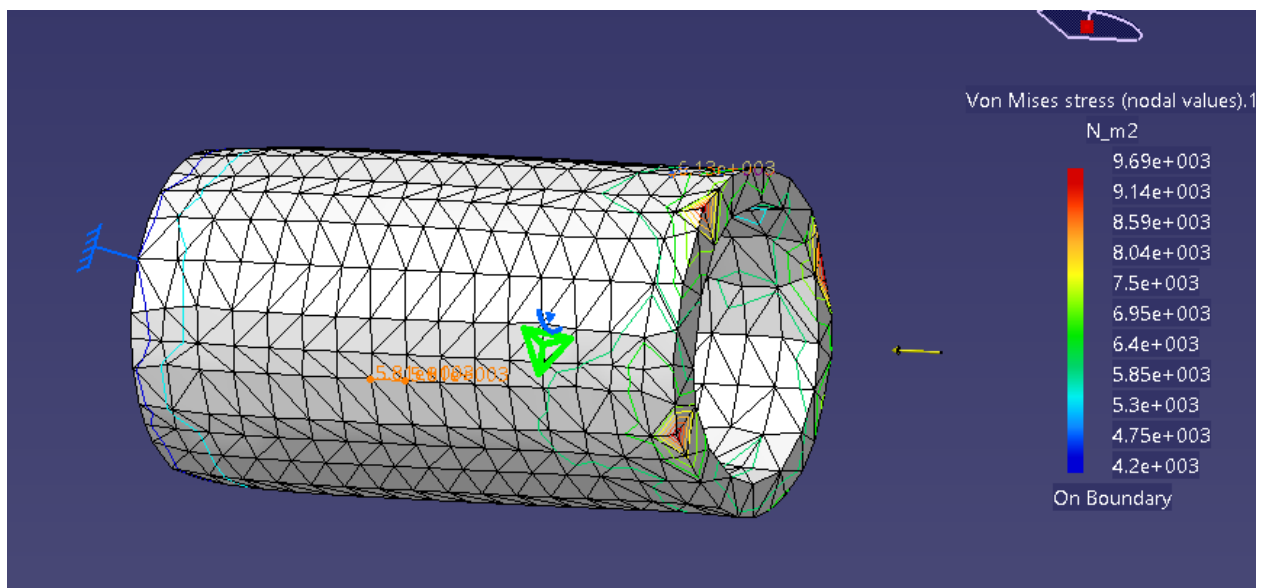


Figure30 : Les efforts appliqués sur les différentes surfaces du support.

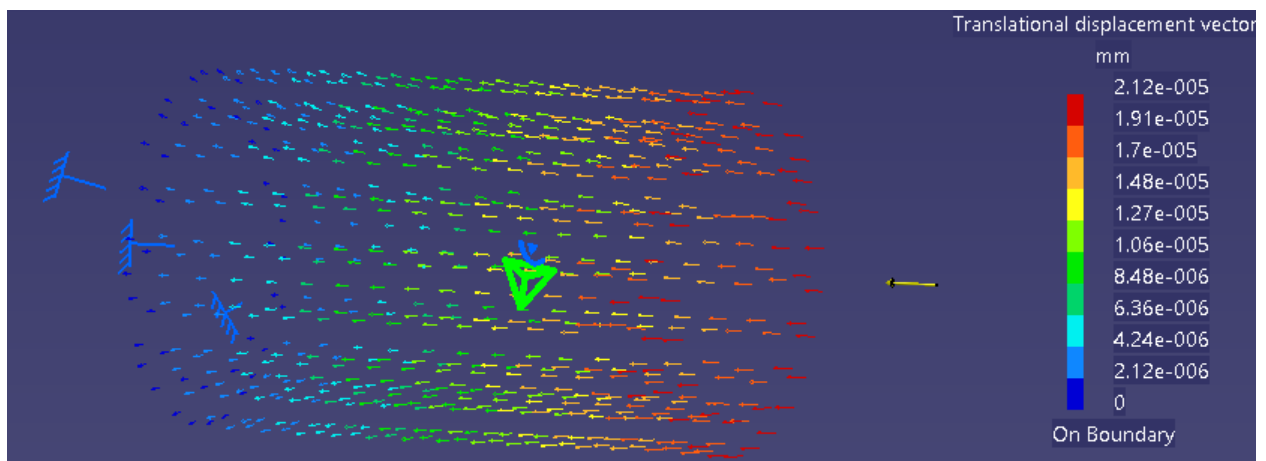


Figure31 : Déplacement de matière en mm.

Effort de flexion due au Vent :

De la même façon on simule l'essai de flexion sur CATIA :

Précisons d'abord la vitesse du vent pour calculer la pression qui exerce, sachant que la vitesse maximal sur la ville Casablanca est 27km/h donc calculons l'effort exercé par le vent suivant la relation suivante :

$$F = A \times P \times C_d$$

A : la surface à deux dimensions que le vent frappe

P : la pression du vent P en Newtons

C_d : le coefficient de trainée de l'objet concerné

A est l'air de la face latérale du cylindre donc $A = 2\pi Rh$

Alors $A = 2 \times \pi \times 0.15 \times 0.7 = 0.66\text{m}^2$

P la pression du vent est généralement calculé par la formule $P = 0.613V^2$

Avec V vitesse de l'air en m/s donc :

$P = 0.613 \times 7.5^2 = 34.5 \text{ Pa}$

C_d la trainée est la force que l'air exerce sur le bâtiment et est affectée par la forme de l'immeuble, la rigidité de sa surface et par de nombreux autres facteurs. Généralement, les ingénieurs calculent directement la trainée grâce aux expériences, mais pour un calcul approximatif, vous pouvez rechercher un coefficient de trainée typique de la forme que vous mesurez [6] .

- Le coefficient de trainée standard d'un long cylindre est de 1,2 tandis que pour un court, il est de 0,8. Ceci s'applique aux antennes en forme de tube trouvées sur de nombreux bâtiments.
- Le coefficient standard pour une plaque plate telle que celle trouvée sur la façade d'un immeuble est de 2 dans le cas où elle est longue ou de 1,4 dans le cas d'une plaque plus courte.
-

Pour l'étude on prend $C_d = 1.2$

Donc $F = 0.66 \times 34.6 \times 1.2 = 27.3\text{N}$

Saisons le résultat sur CATIA, on trouve les résultats suivant :

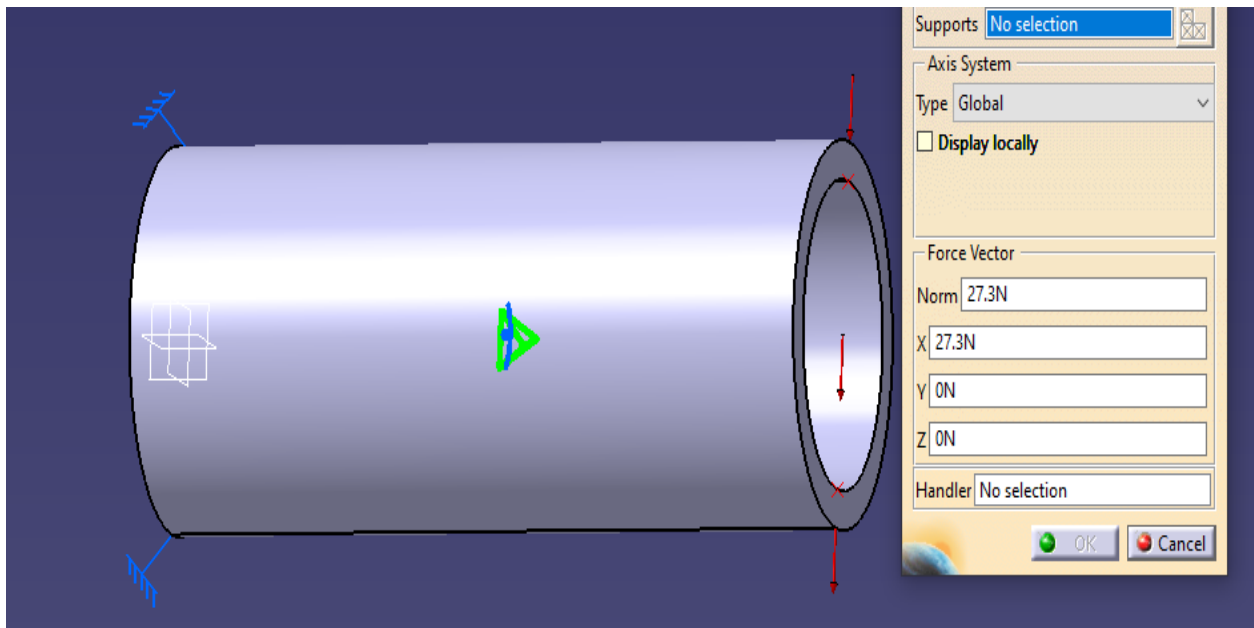
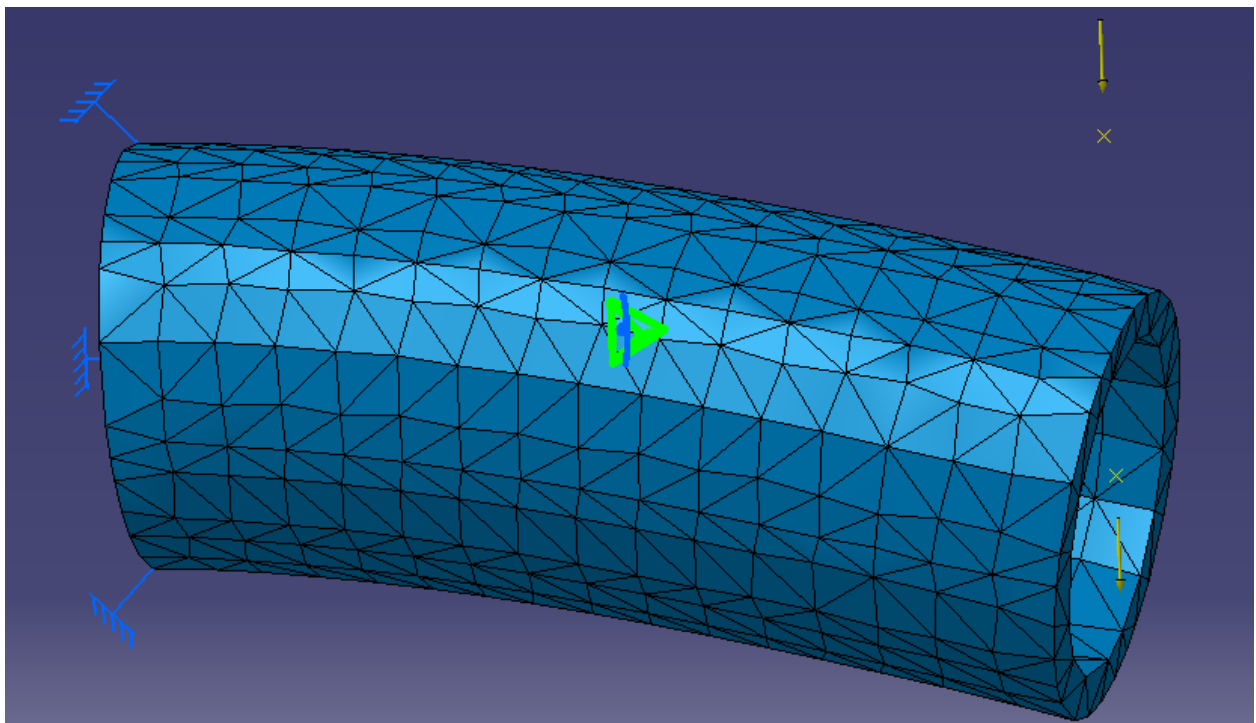


Figure 32 : Simulation de l'effort du vent : Flexion.



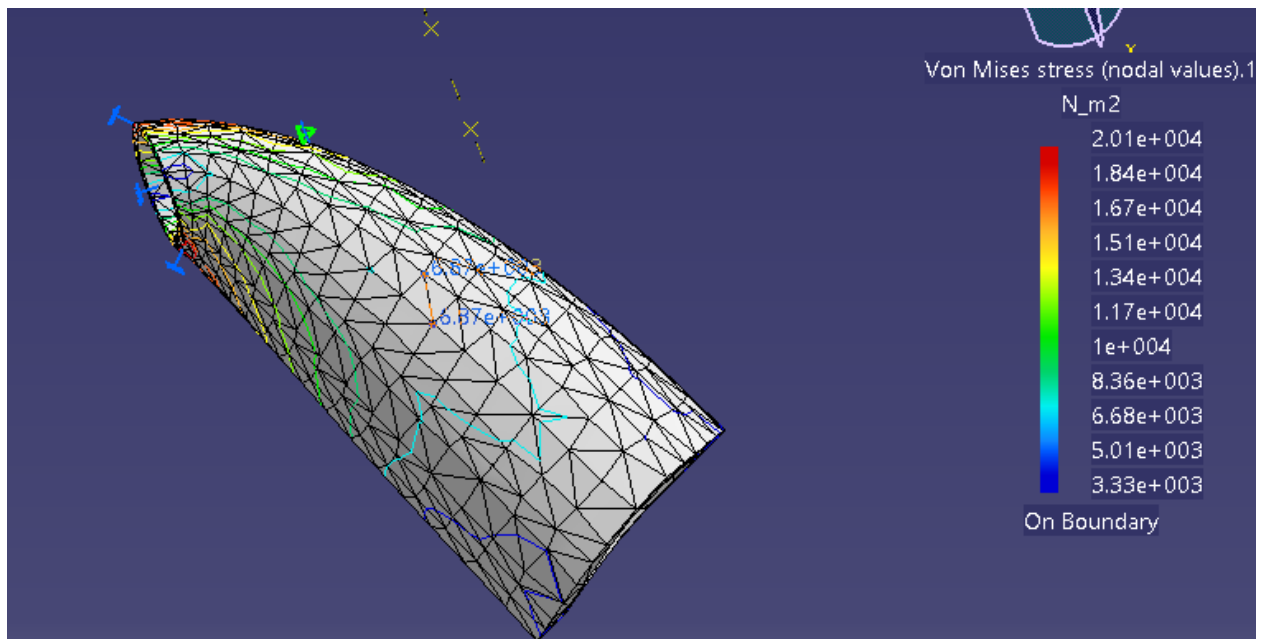


Figure 33 : Les efforts appliqués sur les différentes surfaces du support.

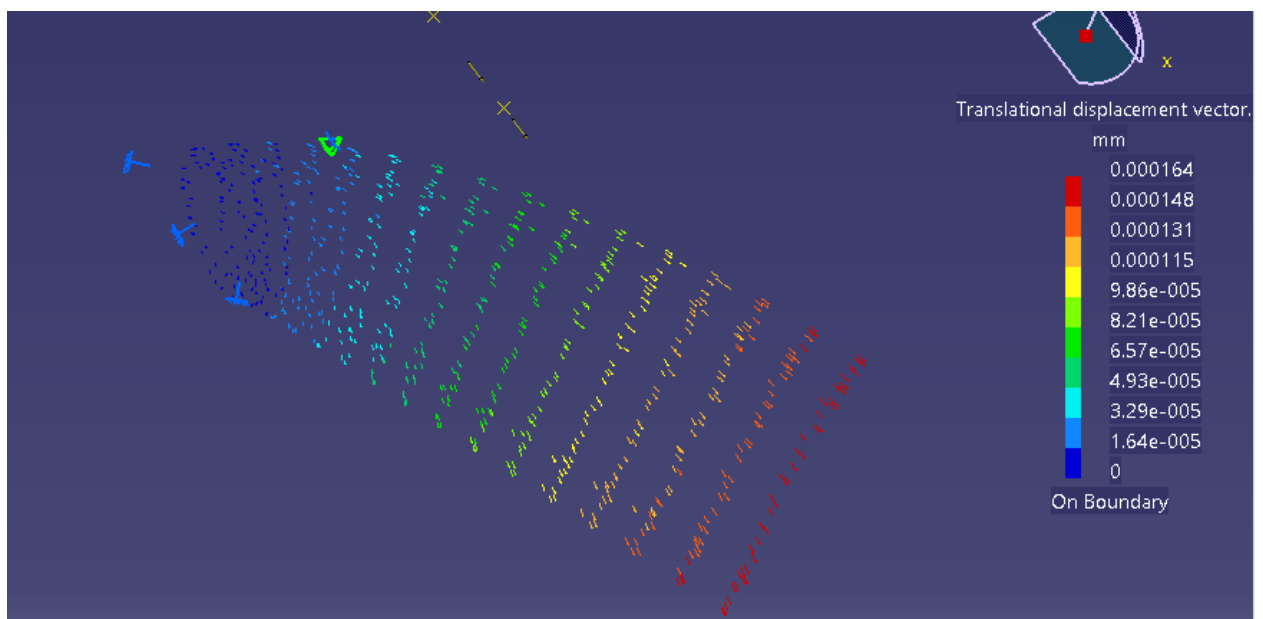


Figure 34 : Déplacement de matière en mm.

D'après les résultats de l'étude RDM on trouve que les dimensions choisi pour le support sont compatibles et ils ne possèdent aucun risque de flexion ou compression du support.

Chapitre IV : Description des composants électroniques et modélisation du moteur et programmation sur mikroC.

I-Moteur pas à pas :

Le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique qui assure la transformation d'un signal électrique impulsionnel en un déplacement mécanique (angulaire ou linéaire). Sa structure de base se présente sous la forme de deux pièces séparées mécaniquement, le Stator et le Rotor. L'interaction électromagnétique entre ces deux parties assure la rotation. Les moteurs pas à pas sont classés selon le principe physique à l'origine de l'interaction stator – rotor ; il existe trois types de moteur pas à pas.

- Moteur à Réductance variable : Il utilise le principe du flux maximum (M.R.V).
- Moteur à aimant Permanent : Il utilise le principe de l'action d'un champ magnétique sur un aimant (M.P).
- Moteur Hybride : C'est la superposition des deux principes ci-dessus (MH).

Remarque : On va choisir le Moteur à Aimant permanent pour la suite.

II-Moteur à aimant permanent :

1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du moteur à aimant permanent se situe au niveau du rotor, qui, par la présence d'aimants, a tendance à s'aligner sur le champ stator que si les bobines sont alimentées. La Figure 35 représente la structure d'un moteur pas à pas diphasé. Le moteur comporte quatre plots au stator portant les deux phases α et β . L'alimentation d'une phase oblige le rotor, par la loi du flux maximum, à s'orienter face au plot correspondant à cette phase. L'alimentation simultanée des deux phases permet de définir des positions stables intermédiaires figure 38, appelées demi pas.

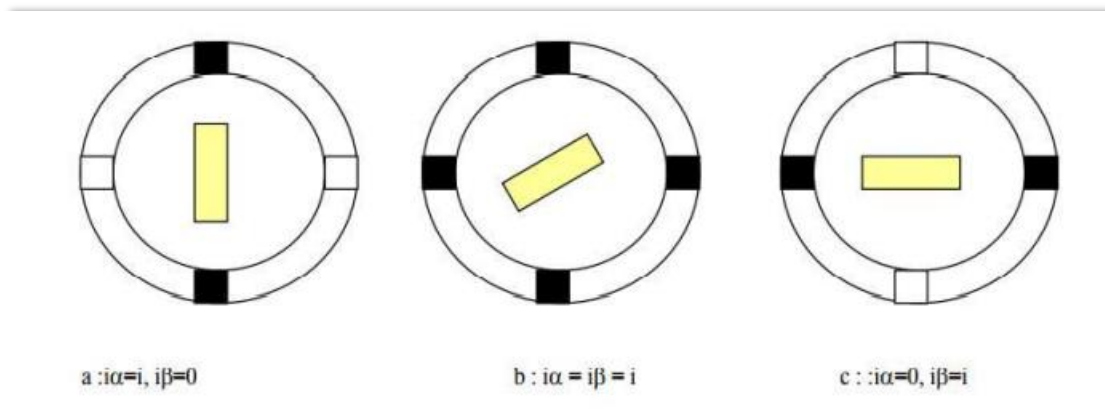


Figure 35. Structure d'un moteur pas à pas à aimant permanent

La présence de l'aimant génère un couple même lorsque les phases ne sont pas alimentées, c'est le couple de détente qui s'exprime par la relation suivante :

$$C_d = -k \sin 4\theta_e$$

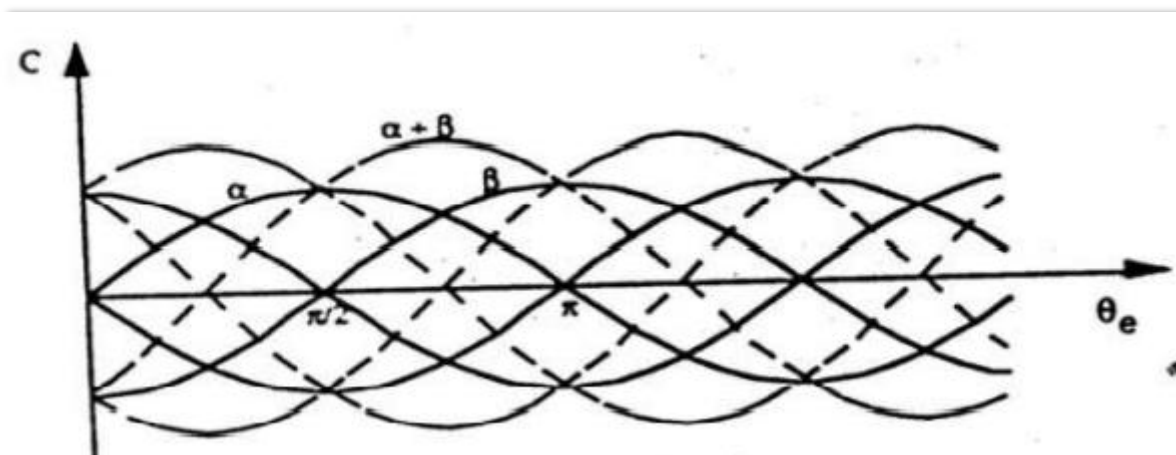


Figure 36. Formes idéalisées des couples Pour d'autres géométries de moteurs à aimants, le couple de détente peut avoir une périodicité en $2\theta_e$, au lieu de $4\theta_e$, [Abi-86].

a) Mode monophasé

L'alimentation d'une seule phase à chaque pas le couple développé par le moteur, n'est pas très importante. La figure (37) montre la chronologie à respecter (AB, CD, BA ,DC ,puis AB...)

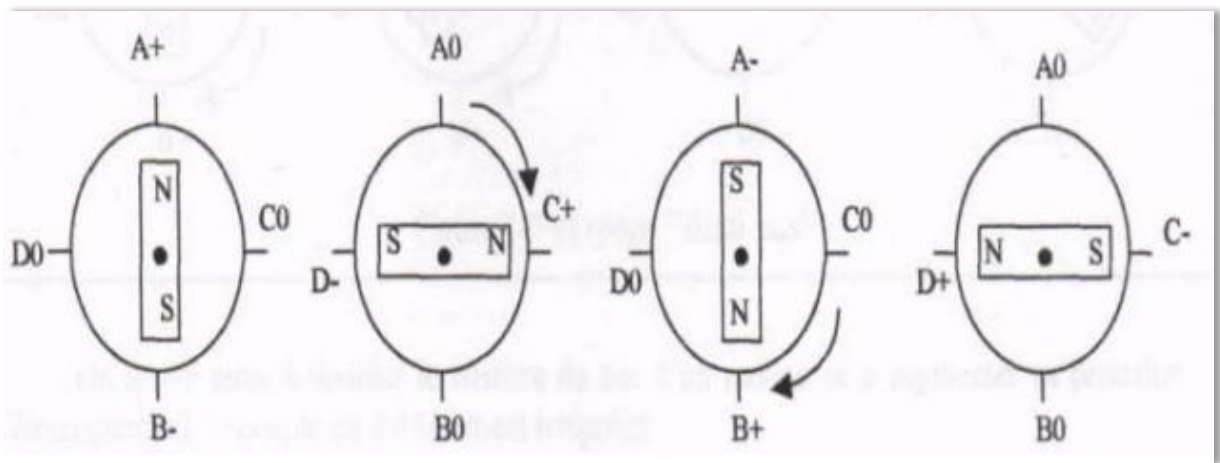


Figure 37. Mode monophasé

b) Mode demi pas

Le moteur est alimenté en biphasé puis en monophasé, dans ce mode on augmente la précision du moteur (nombre de pas) mais le couple irrégulier.

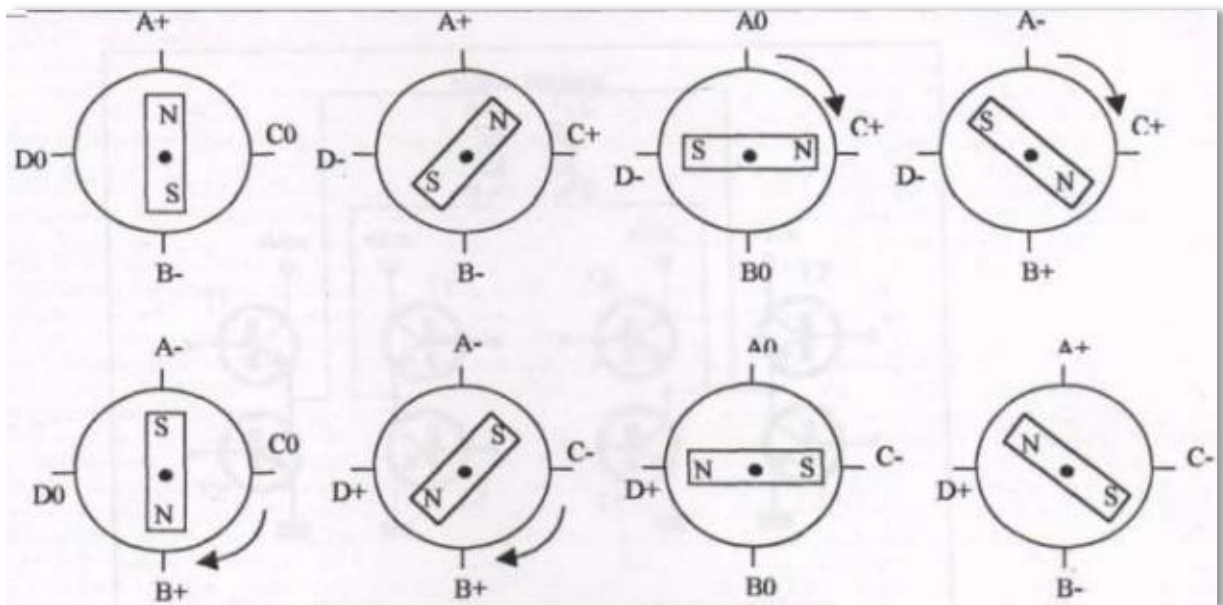


Figure 38. Mode demi pas

Caractéristiques principales du moteur à aimant Permanent

- Un couple développé proportionnel au carré du courant
- De faibles inerties pour des couples importants
- La présence de couple en l'absence du courant
- Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation
- Sens du courant
- Nombre de pas réduit dû à la difficulté de loger les aimants

- Fréquence de travail faible

Lorsqu'on veut commander le sens de rotation d'un moteur (à courant continu ou pas à pas) on est souvent obligé d'inverser la polarité. De plus il est généralement préférable de pouvoir faire varier la vitesse du moteur. La solution est d'utiliser le pont en H.

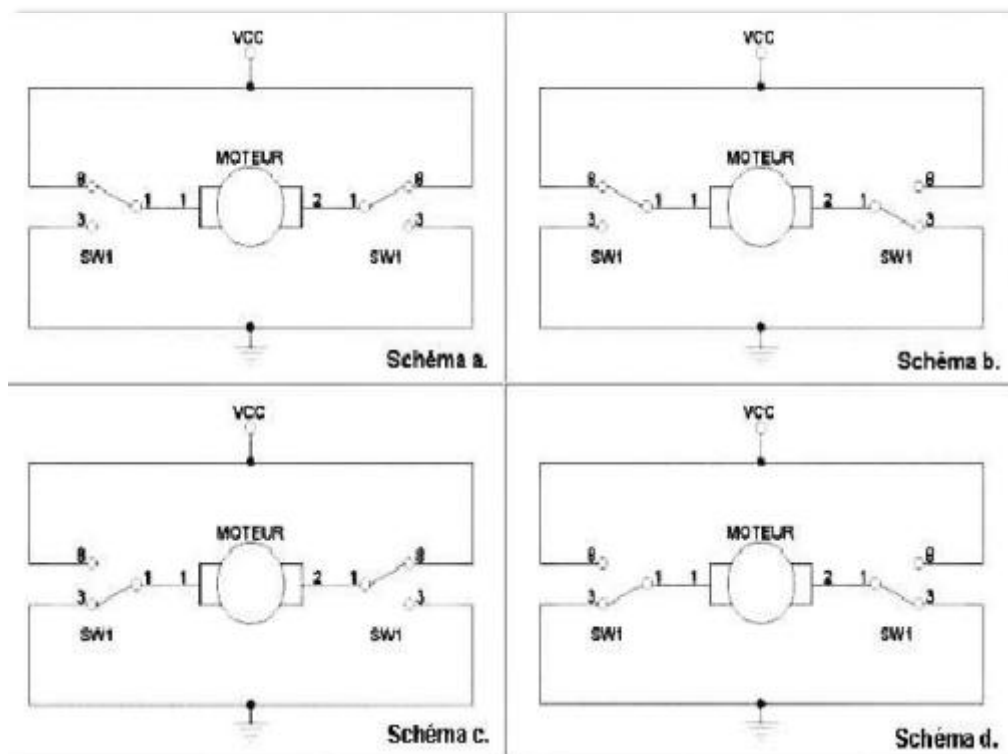


Figure 39. Principe du pont en H

III-Circuit de commande par Le microcontrôleur

Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des applications grand public ou professionnelles, il en existe plusieurs familles.

La société Américaine Micro chip Technologie a mis au point dans les années 90 un microcontrôleur : le PIC (Peripheral Interface Contrôler). Ce composant encore très utilisé à l'heure actuelle, est un compromis entre simplicité d'emploi, rapidité et prix de revient.

Dans notre cas on a utilisé le microcontrôleur PIC 16F876, dont le numéro 16 signifie qu'il fait partie de la famille "MID-RANGE", est la famille de PIC qui travaille sur des mots de 14 bits. La lettre F indique que la mémoire programme de ce PIC est de type "Flash».

Les trois derniers chiffres permettent d'identifier précisément le PIC, ici c'est un PIC de type 876. La référence 16F876 peut avoir un suffixe du type "-XX" dans lequel XX représente la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir.

III -1-Le choix d'un PIC.

Le choix d'un PIC est directement lié à l'application envisagée. Il faut dans un premier temps déterminer le nombre d'entrées/sorties nécessaires pour l'application. Ce nombre d'entrées/sorties nous donne une première famille de PIC. Il faut ensuite déterminer si l'application nécessite un convertisseur Analogique/Numérique ce qui va centrer un peu plus vers le choix d'une famille de PIC. La rapidité d'exécution est un élément important, il faut consulter les DATA-BOOK pour vérifier la compatibilité entre la vitesse maximale du PIC choisie et la vitesse max nécessaire au montage.

La taille de la RAM interne et la présence ou non d'une EEPROM pour mémoriser des données est également important pour l'application souhaitée. La longueur de programme de l'application détermine la taille de la mémoire programme du PIC recherché. Il est parfois judicieux de réaliser l'application en ajoutant un circuit externe au PIC, cette solution peut faciliter la programmation et diminuer le coût du revient.

Dans tous les cas il est indispensable de disposer soit d'un DATA-BOOK ou bien d'un tableau comparatif pour choisir le PIC le plus adapté à l'application envisagée.

Dans notre cas, notre choix a été porté sur L'EEPROM/FLASH, car c'est le plus fiable tout en étant flexible. En effet, il n'y a pas besoin de pile pour sauvegarder les données, ni besoin de L'UV pour l'effacer.

Les 16f876 possèdent en plus des instructions très puissantes, donc un programme à développer réduit, une programmation simple. Les 16f876 dispose plus de ROM par rapport aux autres, microcontrôleurs, ce qui est nécessaire pour développer des programmes plus longs, ainsi que la présence d'un convertisseur analogique/numérique indispensable pour la mesure de valeur de la photo résistance.

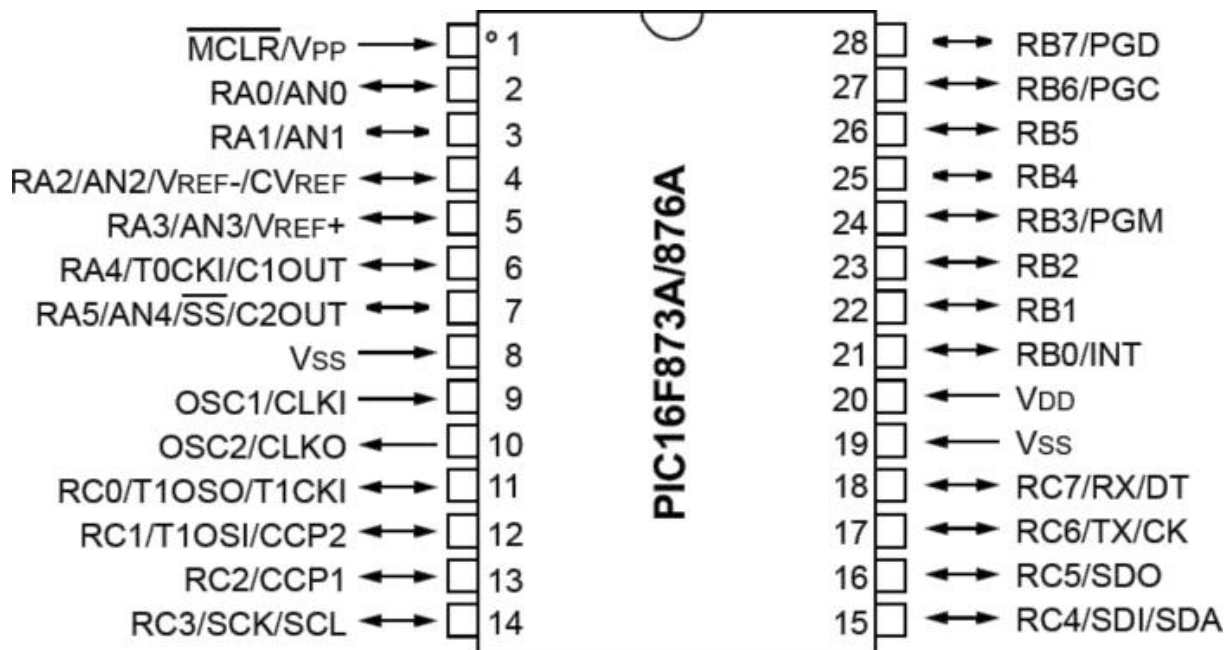
III-2-Caractéristiques du PIC 16F876 :

Il fonctionne à 20 Mhz maximum. Il possède :

- 35 instructions (composant RISC)
- 8Ko de mémoire Flash pour le programme
- 368 octets de RAM, 256 octets de d'Eprom
- 2 compteurs/ timers de 8 bits (timer0 et timer2)
- 1 compteurs/ timers de 16 bits (timer1)
- 14 sources d'interruption
- 22 entrées/sorties configurables individuellement, dont 5 analogiques.

1. Brochage du PIC 16F876

Ce microcontrôleur se présente sous la forme d'un boîtier DIL à 18 broches comme schématisé sous dessous



Avec :

- RA0 à RA5 sont les pattes d'entrées/sorties du port A.
- RB0 à RB7 est les pattes d'entrées/sorties du port B.
- RC0 à RC7 sont les pattes d'entrées/sorties du port C.
- Individuellement, chaque broche des ports A, B et C ne peut débiter plus de 20 mA ou absorber plus de 25 mA. Le total des intensités débitées par le port A ne peut

dépasser 50 mA et par le port B, 100 mA. Le total des intensités absorbées par le port A ne peut dépasser 80 mA et par le port B, 150 mA.

- OSC1/CLOCKIN et OSC2/CLOCKOUT sont les pattes d'horloges. Plusieurs types d'horloges peuvent être utilisées : externes, à quartz ou à circuit RC. Les figures 28 (A, B et C) montrent les schémas de câblage en version RC et quartz. L'oscillateur à quartz présente une meilleure précision que l'oscillateur RC.

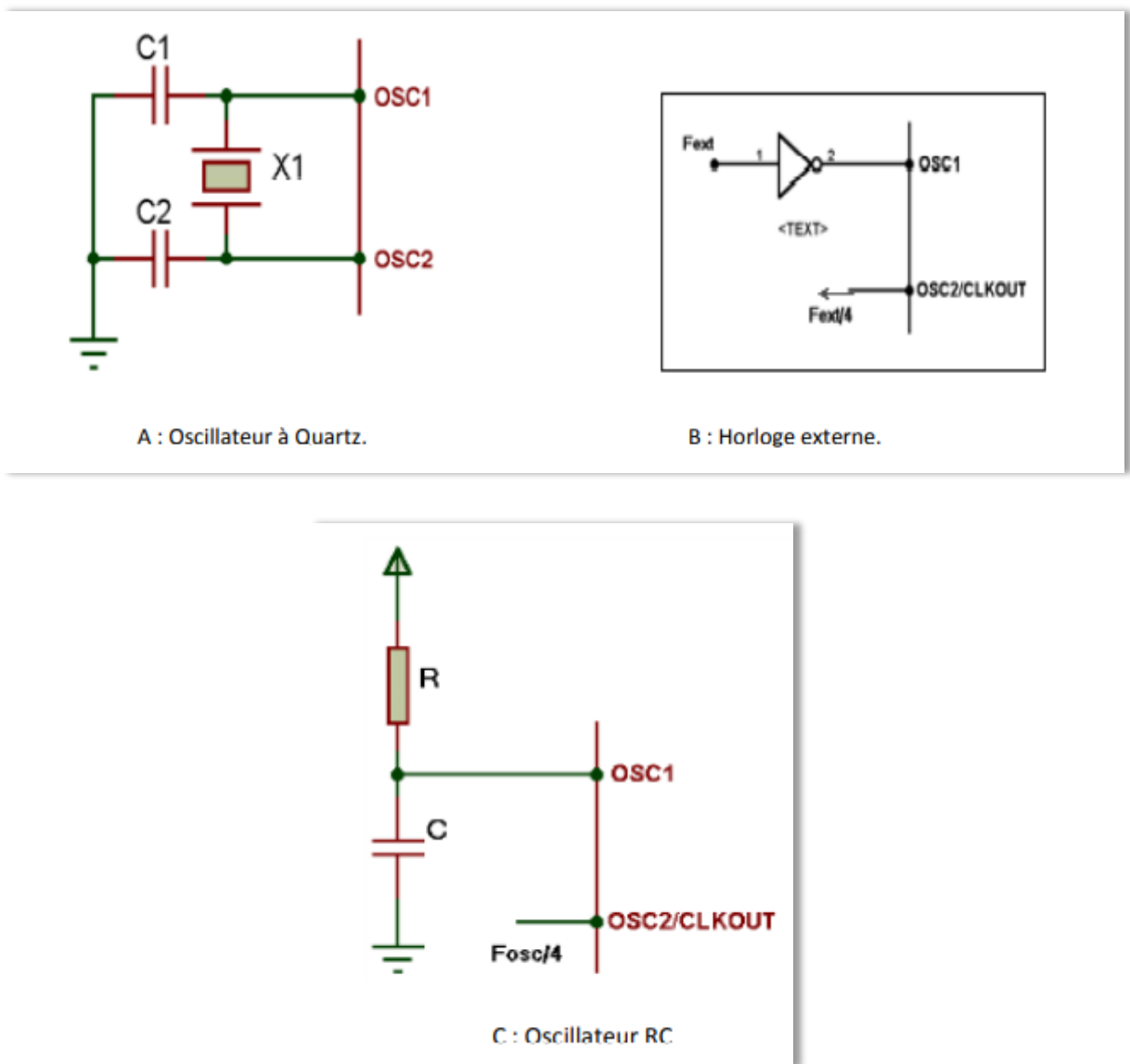


Figure 40. Schémas du câblage de l'oscillateur.

La fréquence de l'horloge interne du PIC est obtenue en divisant par 4 la fréquence de l'horloge externe. Pour un quartz à 4 MHz, la fréquence interne est donc de 1 MHz et la durée d'un cycle est de 1 μ s.

MCLR/VPP est la patte de Reset et d'entrée de la tension de programmation. Les circuits PIC intégrant en interne le circuit de Reset automatique à la mise sous tension, cette broche doit être reliée à la VDD en utilisation normale.

VSS et VDD sont les pattes d'alimentation. VDD doit être compris entre 2 et 6 V en utilisation. Lors de la programmation, VDD doit être comprise entre 4,5 V et 5,5 V et VSS comprise entre 12 V et 14 V.

Architecture interne : La figure (Architecture interne) présente l'architecture interne du PIC 16F876, commune à la majorité des microcontrôleurs PIC. Le PIC 16F876 est un microcontrôleur 8 bits d'architecture de type RISC (Reduced Instructions Set Computer), ce qui signifie « calculateur à jeu réduit d'instructions » Les instructions sont en effet au nombre de 35.

Parmi les principaux constituants, on remarque :

- La mémoire de type Flash ROM pour le programme.
- La mémoire de type RAM pour les registres.
- La mémoire de type EEPROM pour les données à sauvegarder.
- Des registres particuliers : W, FSR.
- L'Unité Arithmétique et Logique (ALU).
- Les ports d'entrées / sorties

2-Le capteur optique (LDR):

Le principe utilisé pour le capteur plan repose sur l'exploitation du déséquilibre créé entre les deux cellules séparées par une paroi opaque. La résistance LDR varie sa résistance en fonction de l'éclairement qu'elle reçoit (**Figure 41**), ainsi une paroi de LDR montrée sur la (**figure 42**) nous permet de poursuivre le mouvement du soleil selon l'ombrage produit par la paroi qui est séparée.

Les **LDR** envoient un signal électrique à la carte conditionnement qui fait l'interfaçage entre **LDR** et le **PIC**. Celui-ci lit le signal logique de la carte d'acquisition et fixe le fonctionnement selon le cas.

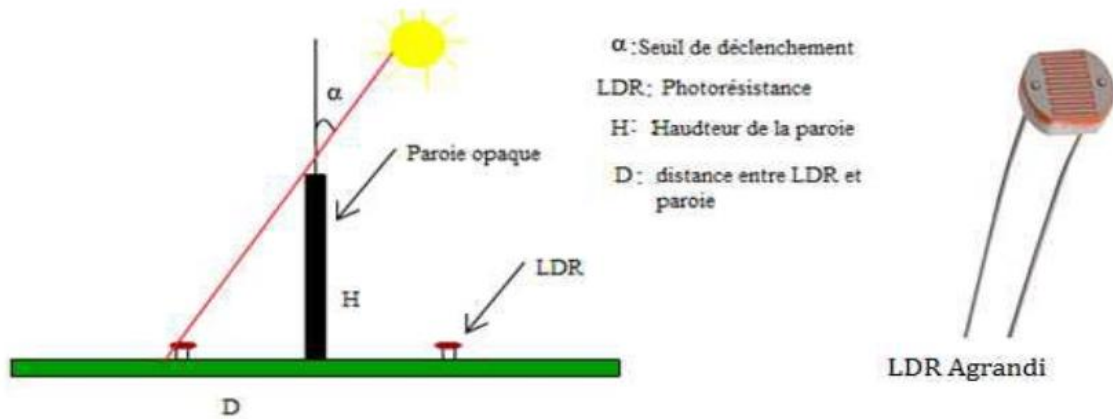


Figure 41 : Schématisation d'un capteur a deux cellules LDR.

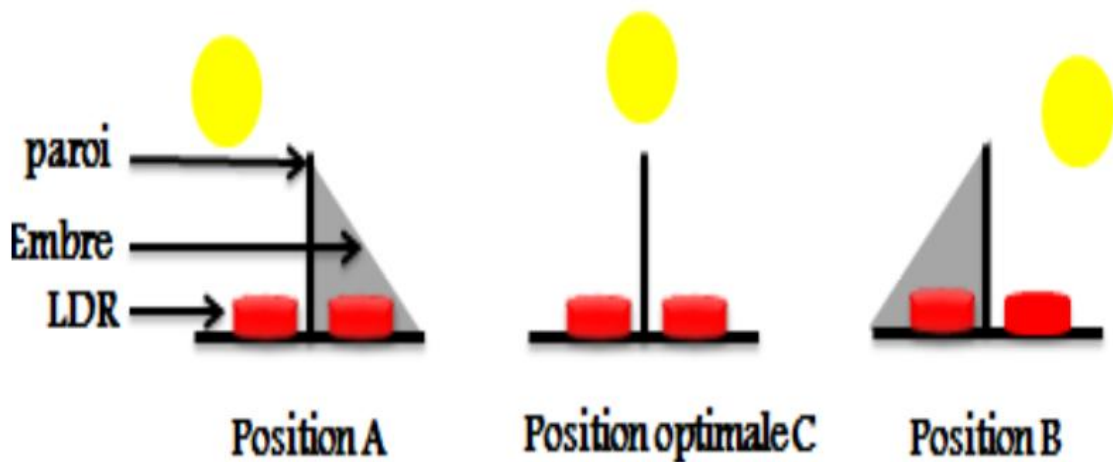


Figure42 : Fonctionnement des capteurs embarqués.

❖ La carte de conditionnement :

La carte de conditionnement joue le rôle d'une interface entre le capteur solaire et le microcontrôleur. L'information du capteur, après le conditionnement, est transmise au microcontrôleur qui fonctionne avec le changement du niveau de tension (0V, 5V).

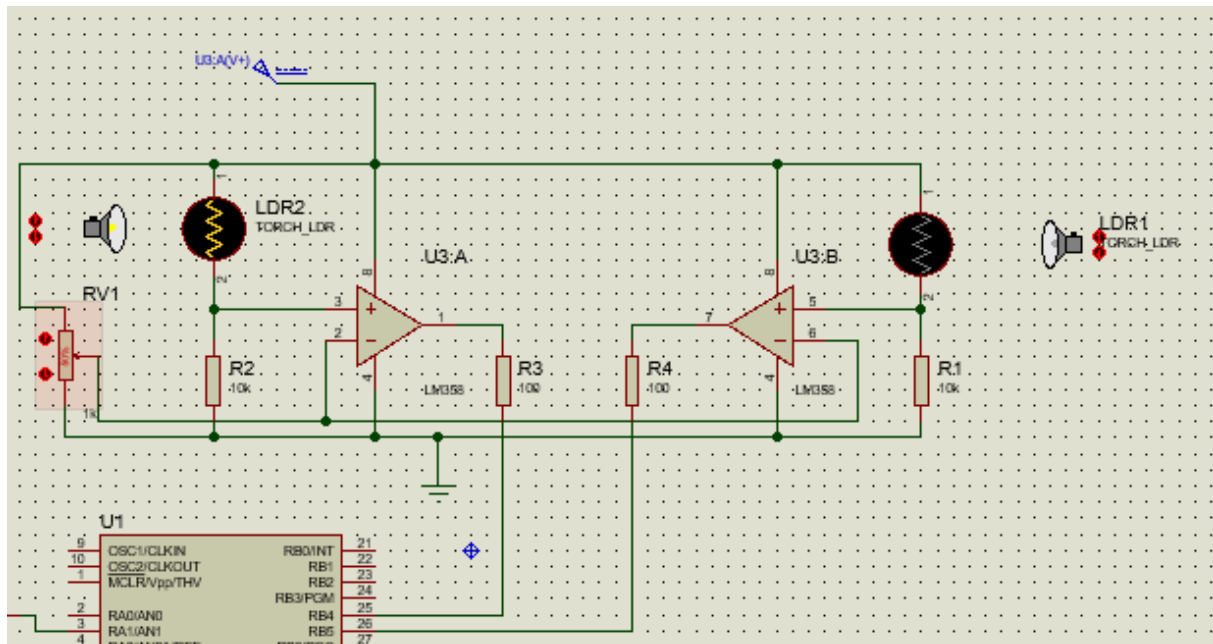


Figure 43 : le circuit de traitement des signaux

Selon la position de capteur solaire (figure 42) les deux AOP montré en comparateur (sans boucle de retour) comparent les tensions à leur entrée :

- Entrée non inverseurs variable par l'effet de l'éclairement (variation du rapport du diviseur de tension "LDR1, R1, LDR2, R2")
- Entrée inverseurs dont la tension d'entrée est fixée par le potentiomètre RV1 de sorte que le seuil de tension soit à mi-chemin entre les positions A/B et celle optimale.

Le **tableau suivant** récapitulé des états des sortie des **AOP** selon la position de capteur ainsi que le sens de rotation de moteur

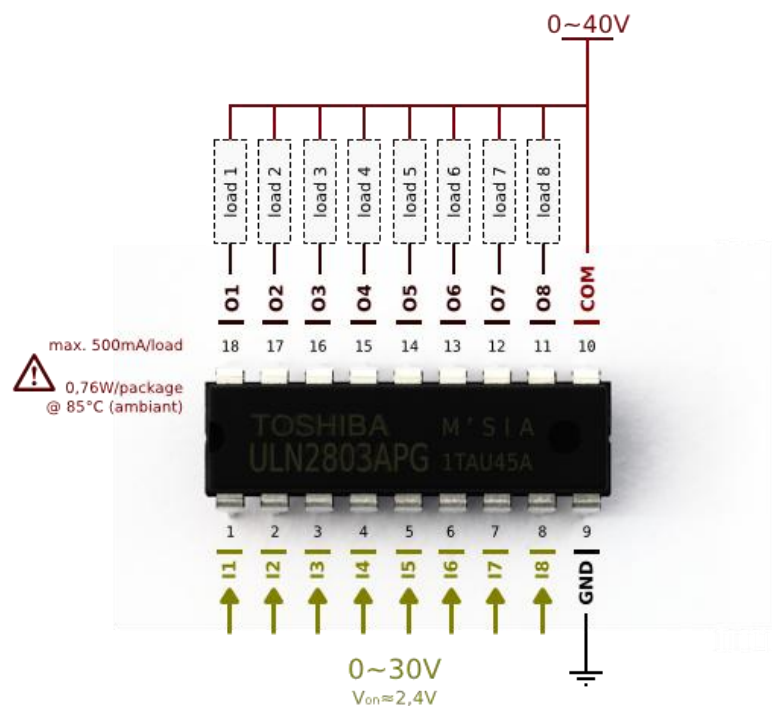
Position	AOP1	AOP2	Relai 1	Relai 2	Moteur
A	1	0	1	0	Marche
B	0	1	0	1	Marche
C	0	0	0	0	Arrête

Les états de sortie de AOP selon la position de capteur

❖ ULN2803(driver)

L'ULN2803 est un composant classique produit par de nombreux fabricants. Ce composant permet de piloter jusqu'à 8 charges indépendantes pour une intensité pouvant aller jusqu'à 500mA sur un canal et avec une tension de coupure maximale de 40V. La limite de puissance que le circuit peut dissiper en boîtier DIP se situe autour de 0,76W à une température ambiante de 85°C dans le cas du modèle produit par Toshiba qui est illustré ici. Ces

caractéristiques peuvent varier légèrement d'un modèle à l'autre, et il est donc conseillé de vérifier les données constructrices lorsque vous vous approchez de ces limites.



Bloc de puissance :

La carte de puissance se compose de circuit, qui assure le pilotage de moteur

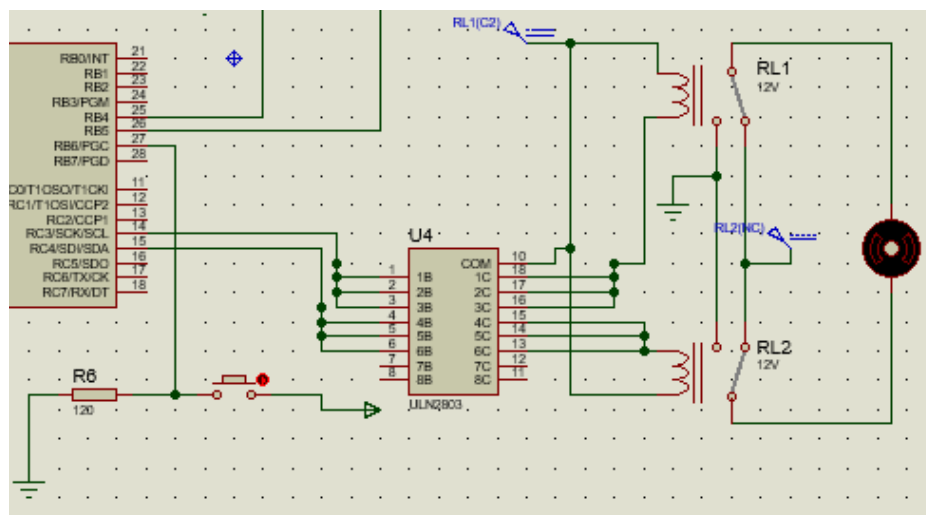


Figure 44 : Le circuit de Bloc de puissance

❖ **Algorithme du suiveur du soleil :**

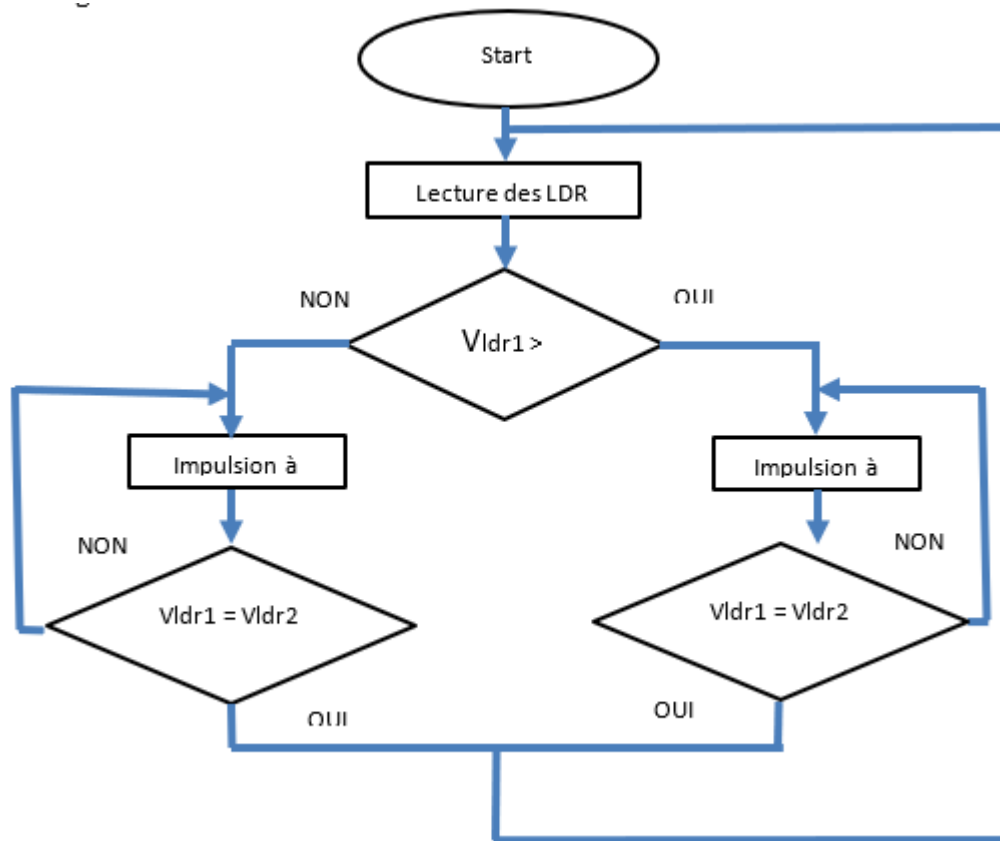


Figure45 : Algorithme du suiveur du soleil

❖ **Le schéma global du système de poursuite :**

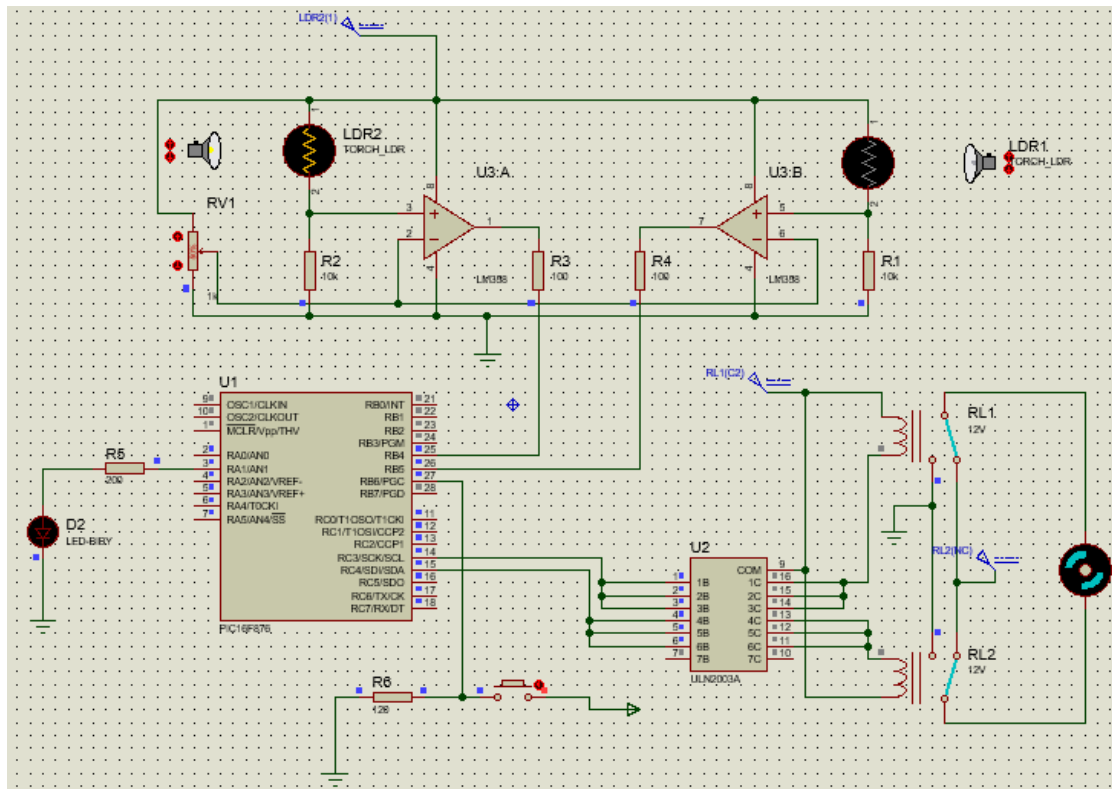


Figure 46 : Le schéma global du système de poursuite.

❖ Programme en mikroC

```
void interrupt()
{
    if (INTCON.RBIF)
    {
        if (PORTB.B4==1 && PORTB.B5==0) {PORTC.B3=1; PORTC.B4=0; delay_ms(100);}
        if (PORTB.B4==1 && PORTB.B5==1) {PORTC.B3=0; PORTC.B4=0; delay_ms(100);}
        if (PORTB.B4==0 && PORTB.B5==0) {PORTC.B3=0; PORTC.B4=0; delay_ms(100);}
        if (PORTB.B4==0 && PORTB.B5==1) {PORTC.B3=0; PORTC.B4=1; delay_ms(100);}
        if (PORTB.B6==1) {PORTC.B3=1; PORTC.B4=0; delay_ms(2000);}
    }
    INTCON.RBIF=0;
}

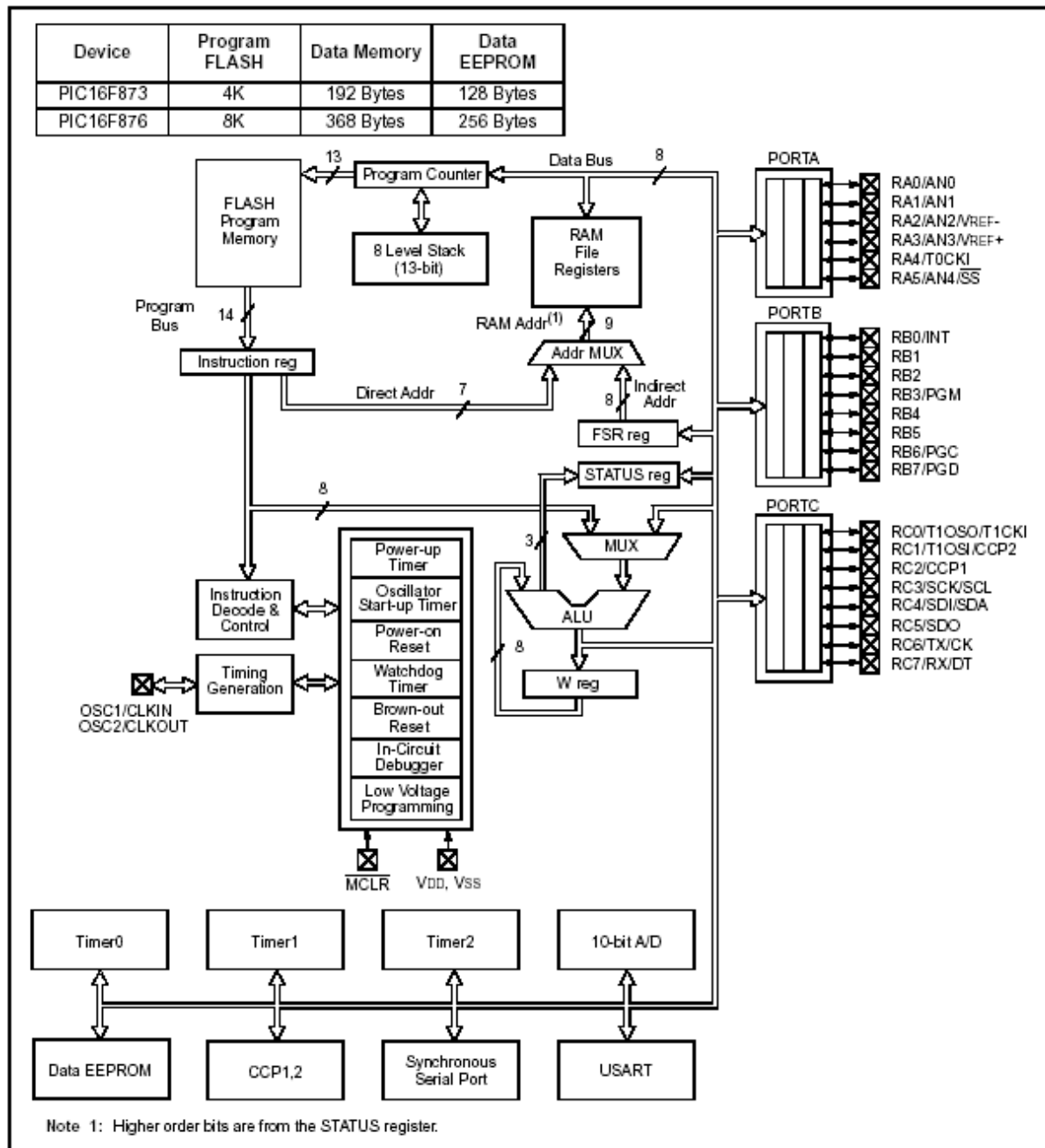
void main() {
    TRISC=0;
    PORTC=0;
    TRISA=0;
    PORTA=0;
    OPTION_REG.B6=0;
    INTCON=0B10001000;
    for (;;)
    {
        PORTA.B1=1; delay_ms(100); PORTA.B1=0; delay_ms(100);
    }
}
```

```

void interrupt()
{
    if(INTCON.RBIF)
    {
        if(PORTB.B4==1&&PORTB.B5==0){PORTC.B3=1;PORTC.B4=0;delay_ms(100);}
        if(PORTB.B4==1&&PORTB.B5==1){PORTC.B3=0;PORTC.B4=0;delay_ms(100);}
        if(PORTB.B4==0&&PORTB.B5==0){PORTC.B3=0;PORTC.B4=0;delay_ms(100);}
        if(PORTB.B4==0&&PORTB.B5==1){PORTC.B3=0;PORTC.B4=1;delay_ms(100);}
        if(PORTB.B6==1){PORTC.B3=1;PORTC.B4=0;delay_ms(2000);}
    }
    INTCON.RBIF=0;
}

void main() {
    TRISC=0;
    PORTC=0;
    TRISA=0;
    PORTA=0;
    OPTION_REG.B6=0;
    INTCON=0B10001000;
    for(;;)
    {
        PORTA.B1=1;delay_ms(100);PORTA.B1=0;delay_ms(100);
    }
}

```



Architecture interne du PIC 16F876

Conclusion

Pour conclure, on a effectué ce projet **de stage de la conception d'un support des panneaux solaire avec un système de commande d'un suiveur de soleil**. Lors de ce projet, on a pu mettre en pratique nos connaissances théoriques acquises durant notre formation à **l'école nationale supérieure d'arts et métiers**, tout en étant confronté aux difficultés réelles des circonstances sanitaires au Maroc et du management d'équipes.

Ce projet a été très enrichissant pour nous, car il nous a permis de découvrir à **vrai dire le domaine électrique et mécanique**, ses acteurs, contraintes. Il nous a permis de participer concrètement à ses enjeux au travers les différentes étapes de ce projet, à partir de l'accumulation des informations nécessaires pour l'entamer, conception, et **ensuite la programmation sur ISIS**.

Cette expérience nous a permis de répondre aux questionnements que nous avons posé en ce qui concerne **LE CHALLENGE de notre pays ,le premier et le seul LEADER des pays de la région du Maghreb dans le domaine** des énergies renouvelables . La seule contrainte choquante est que nous avons réalisé ce projet sans encadrant et sans soutien scolaire au niveau financier pour pouvoir acheter le matériel nécessaire afin de le réaliser pratiquement .Mais ajoutant le « mais » qui est selon les écrivains et les poètes tue l'espoir, mais éventuellement et malgré tout cela on a réussi la mission voulue derrière la réalisation de ce projet.