



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2022

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

**Filière :** Electrotechnique

**Spécialité :** énergie renouvelable

Par : Bentenni Medjda

Khalifa Cherifa

#### Intitulé du sujet

*Contribution à la conception d'un taxi (FST– Centre ville) alimenté par système photovoltaïque*

Soutenu le 11/07/ 2022 devant le jury composé de :

|              |                    |     |                           |
|--------------|--------------------|-----|---------------------------|
| Président :  | Bekkouche benaissa | PRA | Université de Mostaganem. |
| Examineur :  | Missoum Ibrahim    | MCB | Université de Mostaganem  |
| Rapporteur : | Chaouch Abdellah   | MCA | Université de Mostaganem  |

Année Universitaire 2021/2022

## **DEDICACE**

*Je dédie ce précieux travail aux êtres les plus chers au monde, à qui je témoigne mon amour et mon affection pour leur encouragement, leur compréhension et leur patience, qui ont su me comprendre et m'ont poussé à apprendre, c'est de vous dont je parle très*

*Chers parents.*

*A mes sœurs, NOUR. CHAIMA. ROMAÏSSA. HADILE.*

*Et toute la famille « BENTENNI » sans exception.*

*A mon fiancé SIDAHMED qui m'ont toujours soutenu,*

*Sans omettre mon binôme Khalifa Cherifa avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude.*

*En fin à tous ceux qui m'apprécient à ma juste valeur.*

***Bentenni Medjda***

## **DEDICACE**

*C'est avec toute l'ardeur de mes sentiments que je dédie ce modeste travail qui est le fruit de ma Profonde reconnaissance à :*

*Mes parents*

*Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout Au long de ce projet :*

*A mon frères Abdelkader ; mes chère sœurs SABRIA et NABILA*

*Pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral*

*A toute mes famille Khalifa, Bentaleb*

*Et mes amis*

*Et sur tout mon binôme Bentenni.Medjda avec qui j'ai élaboré mon projet de fin d'étude*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour*

*Que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

***Khalifa Cherifa***



## RMERCIEMENTS

*Je commence par le remerciement du bon "DIEU" pour la santé, la volonté et la Patience qui m'a donné pour accomplir ce modeste travail.*

*Ce mémoire a pu, être mené à terme grâce à ceux qui ont, de loin ou de près, voulu nous apporter leurs aides et conseils.*

*Aussi, il nous est particulièrement agréable d'adresser nos remerciements :*

*A nos encadreurs:*

☞ *Monsieur **Chaouch. Abdellah**, qui n'a cessé de nous guider tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Ce travail n'a pas reçu la dimension qu'imposent les jets sans son intervention.*

*Aux membres de jury en personne de:*

☞ *Monsieur le président **Bekkouche.Benaissa***

☞ *Monsieur l'examineur **Missoum.Ibrahim***

*J'espère qu'ils trouveront ici la profondeur de ma reconnaissance qui a jugé.*

*Je remercie tous ces membres de ma famille, ainsi que mes amis et collègues qui m'ont beaucoup aidée t'en courage dans mes études.*



# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| DEDICACE.....  | 1  |
| REMERCIEMENTS.....   | 3  |
| SOMMAIRE.....  | 4  |
| LISTE DES FIGURES.....   | 8  |
| LISET DU TABLEAUX.....   | 9  |
| LISTTE DES ABREVIATIONS.....   | 10 |
| RESUME DU RAPORT.....  | 11 |
| Introduction Générale.....   | 12 |
| <b><i>Chapitre I : Les véhicules solaires</i></b>                            |    |
| I.1 Introduction.....  | 13 |
| I.2 L'évolution de la voiture solaire.....                                   | 13 |
| I.2.1 Les débuts de la mobilité solaire.....                                 | 13 |
| I.2.2 Depuis l'an 2000 : tentatives de renouveau.....                        | 16 |
| I.3 Conclusion.....  | 18 |
| <b><i>Chapitre II : Les éléments constitutants d'une voiture solaire</i></b> |    |
| II.1 Introduction.....   | 19 |
| II.2 Principe du fonctionnement de voiture solaire.....                      | 19 |
| II. 3 Les éléments importants d'un véhicule solaire.....                     | 19 |
| II.3.1 Les panneaux solaires.....  | 20 |
| II.3.1.1 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.....        | 20 |
| II.3.1.2 Types de cellules photovoltaïques.....                              | 20 |
| a. Cellule au silicium mono cristallin.....                                  | 20 |
| b. Cellule au silicium poly cristallin.....                                  | 21 |
| c. Cellule au silicium amorphe.....  | 21 |
| II.3.1.3 Emplacement du panneau solaire.....                                 | 21 |
| II.3.2 Moteur électrique d'un véhicule solaire .....                         | 23 |
| II.3.2.1 Types de moteur électrique utilisée dans les voitures solaires..... | 23 |
| a. Moteurs à courant à balai.....  | 23 |
| b. Moteur à disque.....  | 23 |
| c. Moteur sans balais brushless.....   | 24 |
| d. Moteur roue.....  | 24 |
| d .1) Avantages.....   | 25 |
| d.2) Inconvénients.....  | 25 |
| e. Moteur asynchrone.....  | 25 |
| f. Moteur à courant continu à excitation séparée.....                        | 25 |
| II.3.3 Les batteries.....  | 26 |

|   |    |
|---|----|
| II.3.3.1 Différent type de batterie .....           | 26 |
| a. Accumulateurs Plomb/acide (Pd /PdSO4) .....      | 26 |
| II.3.4 Maximum Power Point tracker (MPPT) .....     | 27 |
| II.3.5 Régulateur de la vitesse.....                | 27 |
| II.3.5.1 Principe de fonctionnement régulation..... | 27 |
| II.3.6 Freinage .....                               | 28 |
| II.4 Conclusion.....                                | 28 |

### ***Chapitre III : Localisation et le gisement solaire***

|  |    |
|--|----|
| III.1 Introduction.....                              | 29 |
| III.2 Relevé métrologique pour notre étude.....      | 30 |
| III.3 Localisation de notre site d'étude.....        | 30 |
| III.4 étude de la région.....                        | 31 |
| III.5. Orientation des panneaux photovoltaïques..... | 32 |
| III.6 Conclusion.....                                | 33 |

### ***Chapitre IV : L'étude dynamique de véhicule solaire***

|  |    |
|--|----|
| IV.1 Introduction.....   | 34 |
| IV.2 Les forces physiques.....   | 34 |
| IV.2.1 La force de roulement ( <i>frottement</i> ) .....                   | 35 |
| a. Le coefficient de résistance au roulement.....                          | 35 |
| b. La masse du véhicule.....   | 35 |
| IV.2.2 La force aérodynamique.....   | 35 |
| a. La vitesse .....  | 35 |
| b. Le coefficient de résistance aérodynamique.....                         | 36 |
| IV.2.3 La force d'accélération.....  | 36 |
| IV.2.4 La force de freinage.....   | 36 |
| a. Le freinage mécanique.....  | 36 |
| b. Le freinage moteur.....   | 36 |
| IV.2.5 La force de gravité.....  | 36 |
| a. L'inclinaison de la pente.....  | 37 |
| b. La masse du véhicule.....   | 37 |
| IV.2.6 La force motrice.....   | 37 |
| IV.3 Force mouvement et référence.....                                     | 37 |
| IV.3.1 Le principe des actions mutuelles entre la route et la voiture..... | 37 |
| IV.3.1.1. Explication du frein de voiture.....                             | 38 |
| IV.4 Agissant les force appliquées au VE.....                              | 39 |
| IV.4.1 Sur plan non incliné.....   | 39 |
| IV.4.2 Sur plan incliné.....   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| IV.5 Les résultats des calculs de la force agissant sur la voiture solaire.....          | 41 |
| IV.5.1 La force aérodynamique.....   | 41 |
| IV.6 Conclusion.....   | 42 |
| <b>Chapitre V : Dimensionnement des composants d'un véhicule solaire</b>                 |    |
| V.1. Hypothèses.....   | 43 |
| V.2. moteur propulseur.....  | 43 |
| V.2.1. Détermination du couple moteur utile.....   | 43 |
| V.2.1.1. Couple dû à l'inclinaison de la pente (Cp).....                                 | 44 |
| V.2.1.2. Couple dû à la résistance au roulement (Cr).....                                | 44 |
| V.2.1.3. Couple dû au frottement de l'air (Ca).....                                      | 44 |
| V.2.1.4. Couple total à exercer (C).....   | 45 |
| V.3. Panneau solaire.....  | 45 |
| V.3.1. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....                               | 45 |
| V.3.1.1. Schéma simulink de simulation du champ PV.....                                  | 47 |
| V.3.1.2. Caractéristique courant - tension $I = f(v)$ de la cellule.....                 | 47 |
| V.3.2. Les étapes du dimensionnement de la puissance crête.....                          | 48 |
| V.3.2.1. Puissance maximale du panneau solaire (Pm).....                                 | 48 |
| V.3.2.2. Détermination de la puissance crête du générateur photovoltaïque.....           | 48 |
| V.3.3. Détermination de l'éclairement global incident dans le plan des modules (Ei)..... | 49 |
| V.3.4. Estimation de l'énergie que doit fournir le générateur (Ej).....                  | 49 |
| V.4. Les batteries.....  | 49 |
| V.4.1. Caractéristiques générales des batteries au plomb.....                            | 49 |
| V.4.1.1. Capacité d'une batterie.....  | 49 |
| V.4.1.2. Durée de vie d'une batterie à plomb (électrolyte liquide ou ouverte).....       | 50 |
| V.4.1.3. Rendement.....  | 50 |
| V.5. Le régulateur.....  | 50 |
| V.5.1. Régulation de charge (R.C) et limitation de décharge (L.D).....                   | 51 |
| V.6. Résultats des calculs des composants du véhicule solaire.....                       | 51 |
| V.6.1. Couple dû à l'inclinaison de la pente Cp.....                                     | 51 |
| V.6.2. Couple dû à la résistance au roulement Cr.....                                    | 51 |
| V.6.3. Couple dû au frottement de l'air Ca.....  | 52 |
| V.6.4. Spécifications du véhicule.....   | 52 |
| V.7. Installation solaire pour véhicule.....   | 52 |
| V.7.1. La consommation .....   | 52 |
| V.8. La zone disponible pour mettre les panneaux sur le toit de la voiture .....         | 53 |
| V.9. Dimensionnement de panneaux photovoltaïque .....                                    | 54 |
| V.9.1. Le nombre total des modules utilisés Nt .....                                     | 54 |
| V.9.2. Branchement du panneau solaire.....   | 54 |
| V.9.2.1. Le Nombre de modules PV en série .....  | 56 |
| V.9.2.2. Le Nombre de modules PV en parallèle.....                                       | 56 |
| V.9.3. Récapitulation des résultats du panneau .....                                     | 56 |
| V.10. Dimensionnement de Batterie.....   | 56 |

|  |    |
|--|----|
| V.10.1. Choix de batterie .....                      | 56 |
| V.10.1.1. Nombre de batterie en série.....           | 57 |
| V.10.1.2. Nombre de batterie en parallèle .....      | 57 |
| V.11. Dimensionnement de régulateur.....             | 57 |
| V.11.1.Choix de Régulateur .....                     | 58 |
| V.11.2. Les résultats des calculs de régulateur..... | 58 |
| V.12.Interprétation des résultats.....               | 59 |
| V.13. Conclusion.....                                | 59 |
| CONCLUSION GENERALE.....                             | 61 |
| BIBLIOGRAPHIE.....                                   | 63 |



## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure I.1 : Le premier véhicule solaire de l’histoire. [1].....                      | 13 |
| Figure I.2 : Le premier véhicule solaire pouvant transporter un être humain. [1]..... | 14 |
| Figure I.3 : Le modèle de voiture solaire la Citicar. [1].....                        | 14 |
| Figure I.4 :The quiet achiever d’hanstholstrup et larry perkins. [2].....             | 15 |
| Figure I.5 : La sunrunner de gregjohanson et joeldavidson. [2].....                   | 15 |
| Figure I.6 : Spirit-of-Biel/Bienne III. [2].....                                      | 16 |
| Figure I.7 : Louis palmer concepteur et pilote de solarTaxi. [3].....                 | 16 |
| Figure I.8 : Le modèle de voiture canadien Marcello Da Luz. [4].....                  | 17 |
| Figure I.9 : Voiture de Marc Müller. [5].....   | 17 |
| Figure I.10 : La stella (2013) solar team eindhoven. [6].....                         | 17 |
| Figure I.11 : EVX ventures ptyltd. [6].....   | 18 |
|   |    |
| Figure II.1 : La structure de la voiture solaire. [7].....                            | 19 |
| Figure II.2 : fonctionnement de cellule photovoltaïque. [8].....                      | 20 |
| Figure II.3 : Cellule au silicium mono cristallin. [9].....                           | 20 |
| Figure II.4 : Cellule au silicium poly cristallin. [9].....                           | 21 |
| Figure II.5 : Cellule au silicium amorphe. . [9].....                                 | 21 |
| Figure II.6 : L’orientation idéale du panneau solaire. [9].....                       | 21 |
| Figure II.7 : L’emplacement du panneau sur la voiture. [9].....                       | 22 |
| Figure II.8 : Le moteur électrique. [9].....  | 23 |
| Figure II.9 : Le moteur à Balai. [10].....  | 23 |
| Figure II.10 : Le Moteur à disque. [10].....  | 24 |
| Figure II.11: Le moteur sans balais Brushless. [10].....                              | 24 |
| Figure II.12 : Le moteur roue. [10].....  | 24 |
| Figure II.13 : Le moteur asynchrone. [10].....  | 25 |
| Figure II.14 : Schéma moteur à courant continu à excitations éparée. [10].....        | 26 |
| Figure II.15 : Accumulateur plomb/acide. [11].....                                    | 27 |
| Figure II.16 : Schéma principale du régulateur. [13].....                             | 28 |
|   |    |
| Figure III.1 : Moyennes mensuelles des températures à Mostaganem.[16].....            | 29 |
| Figure III.2 : Changement de l’ensoleillement en fonction des mois. [16].....         | 29 |
| Figure III.3 : La route de cité FST au centre-ville de Mostaganem. [17].....          | 30 |
| Figure III.4 : mesure le temps et la distance parcourue par Google Map. [17].....     | 30 |
| Figure III.5 : Coordonnés géographiques de Mostaganem (Logiciel PV Système).....      | 31 |
| Figure III.6 : Trajectoire du soleil à Mostaganem (Logiciel PV Système).....          | 31 |
| Figure III.7 : Orientation des panneaux solaires (Logiciel PV Système).....           | 32 |
| Figure III.8 : La forme du panneau photovoltaïque sur le toit du taxi.....            | 32 |

|  |    |
|--|----|
| Figure IV.1 : Les forces responsables de la consommation. [19].....  | 34 |
| Figure IV.2 : Effet des forces sur le changement de vitesse (comparaison entre les autoroutes et les routes urbaines). [19]..... | 35 |
| Figure IV.3 : Le principe des actions mutuelles lorsque la voiture est garée sur le sol par rapport à la route.[26].....         | 37 |
| Figure IV.4 : Le principe des actions mutuelles lorsque le voiture circulant sur une route horizontale. [26]...                  | 38 |
| Figure IV.5 : Frein de voiture. [26].....  | 38 |
| Figure IV.6 : Chemin sinueux. [26] .....   | 38 |
| Figure IV.7 : Bilan des forces sur plan non incliné. [27] .....  | 39 |
| Figure IV.8 : Bilan des forces sur plan incliné. [28].....   | 40 |
|  |    |
| Figure V.1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....   | 45 |
| Figure V.2: Courbe $I = f(V)$ . .....  | 47 |
| Figure V.3: Courbe caractéristique courant - tension $I = f(V)$ de la cellule. ....  | 48 |
| Figure V.4 : Fiche technique du véhicule.....  | 52 |
| Figure V.5 : Fiche technique de panneau photovoltaïque. [30] .....   | 54 |
| Figure V.6 : Branchement du panneau solaire série. [31].....   | 55 |
| Figure V.7 : Branchement des panneaux solaires parallèle. [32].....  | 55 |
| Figure V.8 : Fiche technique de batterie. [34].....  | 57 |
| Figure V.9 : Connexion de la batterie. [35].....   | 57 |
| Figure V.10 : Branchement de régulateur avec les batteries. [35].....  | 58 |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|  |    |
|--|----|
| Tableau II.1 : Les caractéristiques des types des panneaux photovoltaïques. [9]..... | 22 |
| Tableau III.2 : Variation annuelles de température a Mostaganem. [16].....           | 30 |
| Tableau V.3 : La consommation journalière d'un taxi solaire.....                     | 51 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

|              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| SPPV         | Solar Powered Plug vehicle            |
| C C          | Courant continu                       |
| MPPT         | Maximum Power Point tracker           |
| Tracker NiMH | Nickel Métal Hybride                  |
| Pm           | Puissance maximale                    |
| Pu           | Puissance unitaire du module          |
| Pr           | Puissance fournie aux roues           |
| PV           | Photovoltaïque                        |
| Rad          | Radian                                |
| R.F.D        | Relation Fondamentale de la dynamique |
| KWc          | kilo Watt-crête                       |
| Nt           | Nombre de module PV totale            |
| Nms          | Nombre de panneaux série              |
| NMP          | Nombre de panneaux parallèle          |
| Nbs          | Nombre de batterie série              |
| Nbp          | Nombre de batterie parallèle          |

---

# RESUME

## Résumé

Durant ces dernières années, il y a eu un intérêt considérable pour les énergies renouvelables et plus particulièrement l'énergie photovoltaïque. La consolidation de cette dernière avec le domaine d'automobile va créer une grande évolution dans le domaine des transports.

L'étude vise à donner les exigences de conception de SPPV (Solar Powered Plug vehicle), qui est l'une des solutions pour réduire la pollution de l'air. Comme le transport dépend principalement des combustibles fossiles pour conduire le véhicule. L'installation de panneaux solaires sur le toit de taxi est proposée dans cette étude qui aide à adopter la pleine gamme de véhicules électriques dans un avenir proche.

Le modèle proposé est un SPPV à énergie solaire dans lequel la batterie du véhicule est chargée de l'énergie photovoltaïque (PV).

## Abstract

During these years, there is an interest for the renewed energy, especially the solar energy. The consolidation of this field with the domain of automobile will create a big revolution in the forum of transports.

The study aims to give the design requirements of SPPV (Solar Powered Plug vehicle), which is one of the solutions to reduce air pollution. As transportation mainly depends on fossil fuels to drive the vehicle. The installation of solar panels on the taxi roof is proposed in this study which helps to adopt the full range of electric vehicles in the near future.

The proposed model is a solar-powered SPPV in which the vehicle battery is charged with photovoltaic (PV) energy and stores excess energy in the batteries for use in periods of low power.

## المخلص

في السنوات الأخيرة أصبح الاهتمام متزايدا بالطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية و دمج هذه الأخيرة مع ميدان السيارات سيحدث تطورا كبيرا في مجال المواصلات.

تشتمل هذه الدراسة علي تحقيق مركبة شمسية لتحديد متطلبات تصميم (سيارة أجرة تعمل بالطاقة الشمسية) والتي تعد احد الحلول للحد من تلوث الهواء، حيث أن النقل يعتمد بشكل أساسي علي الوقود الأحفوري لقيادة السيارة، تم اقتراح تركيب الألواح الشمسية على سطح سيارة الأجرة في هذه الدراسة مما سيساعد على اعتماد مجموعة كاملة من المركبات الكهربائية في المستقبل القريب.

النموذج المقترح يعمل بالطاقة الشمسية حيث يتم شحن بطاريات السيارة بالطاقة الكهروضوئية ويتم تخزين الطاقة في البطاريات لاستخدامها في أوقات نقص الطاقة.

# Introduction Générale

Depuis son apparition l'automobile devient de plus en plus une nécessité principale à l'étude humaine qui lui permet de faciliter la vie et de minimiser le temps de déplacement, mais dans les dernières années le secteur automobile pose certains problèmes, comme les émissions des gaz à effet de serre, la dépendance au pétrole qui continue à se raréfier, et beaucoup d'autres problèmes. Ce qui impose une orientation vers des nouvelles technologies pour surmonter ces défis.

Dans les décennies à venir, les véhicules électriques seront la solution qui pourrait jouer un rôle important dans l'évolution vers des moyens transports durables. Si ces véhicules fonctionnent avec une énergie renouvelable. Ils pourraient contribuer à une réduction significative des émissions de CO<sub>2</sub> et à améliorer localement la qualité de l'air.

La lumière du soleil peut être utilisée pour produire de l'électricité. On utilise pour cela des panneaux composée de cellules électronique qui réagissent aux rayons du soleil. On parle alors d'énergie solaire photovoltaïque. Ces installations sont de plus répandues dans le monde.

Vue la tendance de notre pays Algérie vers les énergies renouvelables, avec notre encadreur nous proposerons une solution pour notre Localité Mostaganem dans le domaine de transport urbain et en particulier le trajet FST Centre-ville un taxi solaire. Dans cet ordre d'idées que nous avons présenté notre projet de fin d'étude en cinq chapitres suivantes :

Dans le premier chapitre nous présenterons une étude d'art sur les véhicules solaires. Le deuxième chapitre discutera sur les différents éléments constituant le taxi solaire, afin de déterminer le dimensionnement du taxi solaire nous déterminerons la localisation et le gisement de notre site, c'est l'objet du troisième chapitre.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude dynamique de notre taxi solaire pour déterminer les différentes forces agissant sur le véhicule lors de son déplacement. Le dernier chapitre présentera le dimensionnement de notre véhicule solaire en calculant les différents éléments constituant.

En fin nous terminerons par une conclusion générale et nos perspectives.

# Chapitre I : Les véhicules solaires.

## I.1. Introduction

La voiture solaire est un véhicule alimenté par des cellules photovoltaïques utilisée pour évoluer sur le réseau routier, il s'agit d'une innovation technologique qui permettra dans un futur proche de se déplacer en récupérant et en stockant l'énergie solaire pour la transformer en énergie électrique.

Les voitures solaires combinent des technologies typiquement utilisées dans les domaines de l'aérospatiale, du vélo, des énergies alternatives et de la construction automobile. Le design d'un véhicule solaire est particulièrement contraint par la taille des capteurs solaires à cause de la quantité d'énergie dont la voiture a besoin. La plupart des véhicules solaires sont des prototypes expérimentaux construits dans le but de participer à des courses de voitures solaires. [1]

Dans ce chapitre on va exposer l'historique de la voiture solaire.

## I.2. L'évolution de la voiture solaire

### I.2.1. Les débuts de la mobilité solaire

Le premier véhicule solaire de l'histoire (la Sunmobile) est un modèle réduit de voiture inventé par William Cobb de General Motors. Elle est présentée la première fois à Chicago le 31 août 1955. Cette miniature est dotée de 12 cellules photovoltaïques en sélénium et d'un petit moteur électrique qui actionne une poulie faisant tourner les roues arrière, et elle est fabriquée en bois de balsa, mesure moins de 40 cm de longueur. [1]

Elle prouve néanmoins pour la première fois que l'énergie solaire est capable de faire se mouvoir un véhicule.

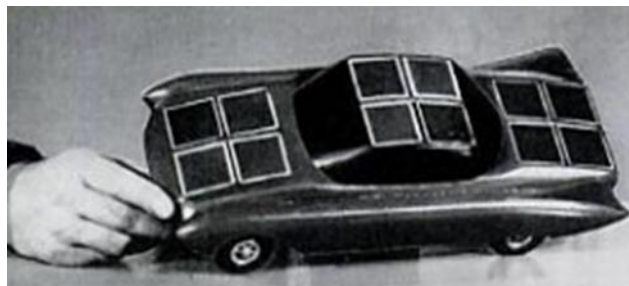


Figure I.1 : Le premier véhicule solaire de l'histoire. [1]

---

[ ] : Numéro de la référence bibliographique ou du site internet visité

Après 5 ans de travail en Californie, le premier véhicule solaire pouvant transporter un être humain est mis au point et présenté en 1960 à Rome par le physicien et chimiste américain Charles Escoffier. Il s'agit d'une ancienne *Baker*, une voiture électrique datant de 1912, équipée sur son toit de 2,42 m<sup>2</sup> de panneaux solaires amovibles comportant 10 640 cellules. Cette installation a une puissance de 200 W avec des conditions d'ensoleillement optimales mais, pratiquement, cette puissance dépasse rarement les 100 W pour un rendement des cellules atteignant seulement 5 %.

Partant d'une charge complète d'électricité, elle peut rouler durant 3 heures à une vitesse maximum de 32 km/h. Cette voiture solaire est présentée dans le monde entier par son concepteur afin de démontrer que l'énergie solaire permet une mobilité propre et économique<sup>7</sup>. [1]



**Figure I.2 : Le premier véhicule solaire pouvant transporter un être humain. [1]**

En 1980, le département d'ingénierie de l'Université de Tel-Aviv en Israël met au point, sous la direction d'Arye Braunstein, un modèle de voiture solaire, la Citicar.

Le véhicule est composé d'un châssis de métal et possède des panneaux solaires sur son toit et son capot. Ceux-ci comprennent 432 cellules produisant 400 W de puissance de crête. La Citicar possède 8 batteries de 6 V chacune pour stocker l'énergie photovoltaïque. La Citicar pèse un peu moins de 600 kg, peut atteindre une vitesse de 65 km/h (non officialisé) et a une autonomie de 80 km.[1]



**Figure I.3 : Le modèle de voiture solaire la Citicar. [1]**

En 1981, les Australiens Hans Tholstrup et Larry Perkins construisent la première voiture de course mue uniquement à l'énergie solaire. Il s'agit de The Quiet Achiever (ou BP Solar Trek). Leur travail amènera aux premiers exploits à l'énergie solaire et marque un tournant dans l'histoire des voitures solaires.

Hans Tholstrup, chef du projet et Larry Perkins, ainsi que son frère Garry, constructeurs, conçoivent la première voiture solaire de course. The Quiet Achiever a une structure de tubes d'acier, similaire à celle des avions légers, et est recouvert d'une peau en fibre de verre. Il est doté d'une grande fenêtre frontale incurvée ainsi que de fenêtres vitrées latérales en fibre de verre transparente. La puissance du véhicule est de 1 kW et celui-ci est propulsé à une vitesse moyenne de 23 km/h. Le panneau solaire est installé sur le toit et il se compose de 720 cellules solaires. Sa superficie totale est d'environ 8,5 m<sup>2</sup>. [2]



**Figure I.4: The quiet achiever d'hans tholstrupet la rryperkins. [2]**

En 1984, les Américains Greg Johanson et Joel Davidson créent une voiture solaire de course, la Sunrunner. Cette voiture est dotée de 24 cellules solaires pouvant produire 1 000 W de puissance de crête. La Sunrunner n'a aucune batterie pour le stockage de l'énergie. Elle établit le record du monde officiel de vitesse pour une voiture solaire en 1985 à Bellflower, en Californie, à près de 40 km/h.



**Figure I.5 : La sunrunner de gregjohanson et joeldavidson. [2]**

En août 1994, un nouveau record de vitesse en voiture solaire, avec des batteries chargées, est établi à 161 km/h par Spirit-of-Biel/Bienne III sur un circuit à Almeria (Espagne). Sans batterie, la voiture de course solaire atteint des pointes de vitesse à 127 km/h. Spirit of Biel/Bienne III avait participé au World Solar Challenge 1993, se classant en deuxième position (l'équipe biennoise ayant remporté l'édition 1990



du World Solar Challenge avec Spirit of Biel/Bienne III). Durant l'été 1995, un nouveau record du monde de vitesse, sans batterie cette fois-ci, est battu par Spirit of Biel/Bienne III.

Le bolide solaire de l'Ecole d'ingénieur basée à Bienne (Suisse) atteint la vitesse de 148 (km/h) à Ilanz (Suisse) sur une route cantonale lors du 4ème Tour de Sol alpin. [2]



**Figure I.6 : Spirit-of-Biel/Bienne III. [2]**

## I.2.2. Depuis l'an 2000 : tentatives de renouveau

Entre 2007 et 2008, le Suisse Louis Palmer entreprend le premier tour du monde avec un véhicule électrique en grande partie alimenté à l'énergie solaire avec Solar Taxi.

Conçue avec des universités suisses, Solar Taxi est voiture électro-solaire à trois roues et capable de transporter deux personnes. Avec ses 6 m<sup>2</sup> de cellules solaires sur le toit et son poids de 500 kg, il atteint une vitesse de 90 km/h. Louis Palmer peut aussi recharger son véhicule grâce à l'électricité du secteur. Son tour du monde au départ de la Suisse lui fait parcourir 52 000 km et traverser 38 pays en 17 mois. Durant ce voyage et à chaque escale, Louis Palmer met son Solar Taxi au service des personnalités locales afin de les sensibiliser au potentiel de l'énergie solaire. [3]



**Figure I.7 : Louis palmer concepteur et pilote de solar Taxi. [3]**

En octobre 2008, le canadien Marcello Da Luz entreprend lui aussi un grand voyage solaire dans le but de sensibiliser ses contemporains à l'utilisation de l'énergie solaire. Avec sa voiture solaire baptisée Power of One, il parcourt 15 000 km au Canada en 140 jours.

Power of One, véhicule monoplace de 5 m de long, 1,8 m de large et d'un poids de 300 kg (pilote compris), peut parcourir 200 km sur ses batteries sans soleil ou 500 km en plein jour. Il atteint une vitesse maximum de 120 km/h et passe de 0 à 85 km/h en 6 secondes. Le toit de Power of One est recouvert de

panneaux solaires monocristallins (Shell Solar) à 15 % de rendement. Les cellules solaires lui fournissent une puissance de crête de 900 W. [4]



**Figure I.8 : Le modèle de voiture canadien Marcello Da Luz. [4]**

Entre mai 2010 et septembre 2011, Marc Müller, un ingénieur suisse, réalise un périple autour du monde avec un véhicule élio-solaire dans le cadre de son projet Icare.

Il traverse, au cours de son voyage, 25 pays et parcourt 20 000 km sur quatre continents. [5]



**Figure I.9 : Voiture de Marc Müller. [5]**

En 2013, des étudiants néerlandais de l'Université d'Eindhoven, concurrents du World Solar Challenge 2013, créent une voiture capable de transporter un conducteur et trois passagers. Avec une autonomie de 800 km, cette voiture au toit recouvert de cellules photovoltaïques a pour but de démontrer que les voitures solaires ont le potentiel de rivaliser avec les voitures familiales à moteur à explosion.

La voiture de seconde génération de ces constructeurs néerlandais est la Stella Lux, disposant elle-aussi de 4 places, pour une longueur de 4,5 m de long pour 1,7 m de large. Construite en matériaux composite, elle ne pèse que 375 kg et peut atteindre la vitesse de 125 km/h. [6]



**Figure I.10 : La stella (2013) solar team eindhoven. [6]**

En 2015, EVX, une entreprise australienne, fait le pari de pouvoir commercialiser une voiture de sport à énergie solaire, l'immortus. Il s'agit d'une voiture deux places qui pourrait, en théorie, rouler indéfiniment. L'immortus, telle que projetée, fait 5 m de long pour 2 m de large et est mue grâce à ses 7 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques au rendement de 22 %. Son poids à vide doit être de 550 kg.

En combinant l'énergie des panneaux solaires et celle des batteries, l'immortus pourrait atteindre une vitesse de pointe de 140 à 160 km/h et son autonomie serait de 550 km à 85 km/h de moyenne. Et, si elle ne compte que sur le photovoltaïque, elle pourrait, selon EVX, rouler jusqu'à 80 km/h indéfiniment. [6]



**Figure I.11 : EVX ventures ptyltd. [6]**

### ***I.3. Conclusion***

Ce chapitre présente l'histoire des voitures solaires particulièrement de leur développement, à partir des débuts de la mobilité solaire, puis de la tentation de nouvelles depuis l'an 2000.

Le premier modèle de voiture solaire inventé était un minuscule véhicule de 15 pouces créé par un employé de General Motors, William G. Cobb. Appelée le Sunmobile, il l'a exposée en 1955 à la convention de Chicago, Powerama. Il était composé de 12 cellules photovoltaïques au sélénium et d'un petit moteur électrique.

## Chapitre II: Les éléments constitutants d'une voiture solaire.

### II.1. Introduction

Les voitures solaires électriques contiennent plusieurs composants qui sont totalement différents aux composants des véhicules thermiques. Parmi ces composants on a :

Le moteur électrique, les batteries, les panneaux photovoltaïques.

Dans ce chapitre on va voir Les éléments constitutants d'une voiture solaire.

### II.2. Principe Le fonctionnement de voiture solaire

Une voiture que l'on qualifie de solaire fonctionne avant tout grâce au rendement des cellules photovoltaïques installées sur sa structure et à la capacité de stockage d'énergie de ses batteries.

Donc, pour faire fonctionner les voitures solaires, il faut que la plus grande surface possible soit recouverte de panneaux solaires. L'excès d'électrons alimente ensuite des batteries à chargement rapides, permettant au moteur électrique de fonctionner. [7]

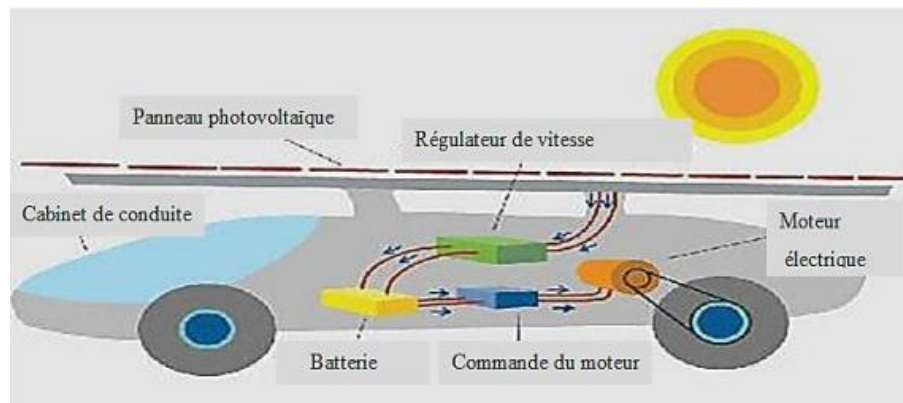


Figure II.1 : La structure de la voiture solaire. [7]

### II.3. Les éléments importants d'un véhicule solaire

Un véhicule solaire électrique est caractérisé par le rendement de sa chaîne de traction. La quantité d'énergie provenant des panneaux solaires est assez limitée, toute perte d'énergie est à bannir. C'est pourquoi l'étude d'un tel véhicule fait en permanence référence au rendement des différents éléments qui le composent. [8]

Les principaux organes d'un véhicule solaire sont:

Les panneaux solaires.

Le moteur.

La batterie.

MPPT.

Le régulateur de vitesse.

Freinage.

## II.3.1. Les panneaux solaires

### II.3.1.1. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Un rayonnement solaire est la superposition d'ondes électromagnétique de fréquence différente. C'est ainsi un faisceau de photon dont l'énergie est liée à son la longueur d'onde.

Un photon, dont l'énergie est suffisante, peut arracher un électron créant aussi simultanément une paire d'électrons trou, l'électron ayant de puissance suffisamment d'énergie peut se déplacer vers la jonction NP où la présence de champ électrique a pour conséquence la collecte de l'électron vers la région N. Une tension électrique apparaît entre les deux côtés N et P. Le dispositif devient un générateur électrique sous l'effet de lumière. [8]

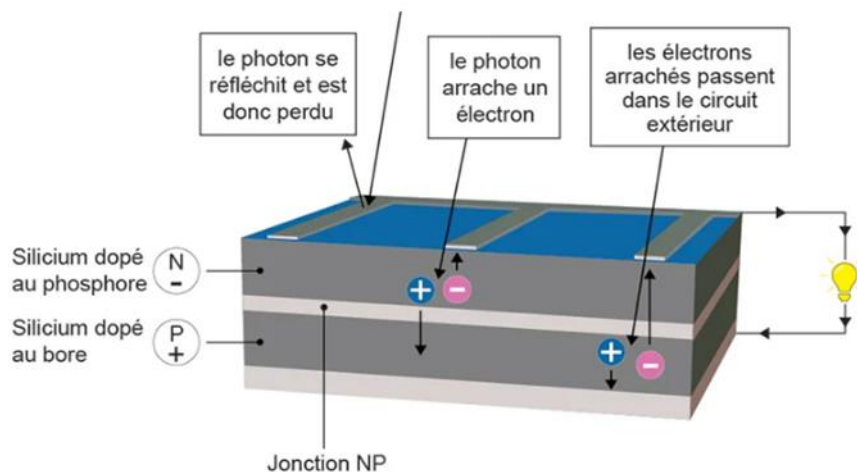


Figure II.2 : fonctionnement de cellule photovoltaïque. [8]

### II.3.1.2. Types de cellule photovoltaïque

Il existe trois grands types des cellules de silicium : mono cristallin, poly cristallin et amorphe

#### a. Cellule au silicium mono cristallin

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique. Le silicium mono cristallin a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher. [9]

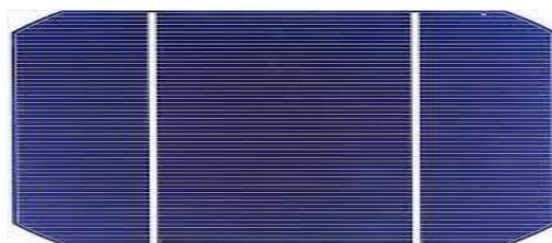


Figure II.3 : Cellule au silicium mono cristallin. [9]

**b. Cellule au silicium poly cristallin**

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux que le mono cristallin. Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser. [9]



**Figure II.4: Cellule au silicium poly cristallin. [9]**

**c. Cellule au silicium amorphe**

La cellule au silicium amorphe est constituée d'un silicium ayant une structure atomique désordonnée, c'est à dire non-cristallisé. Ce matériau absorbe beaucoup plus la lumière qu'un silicium cristallin. [9]

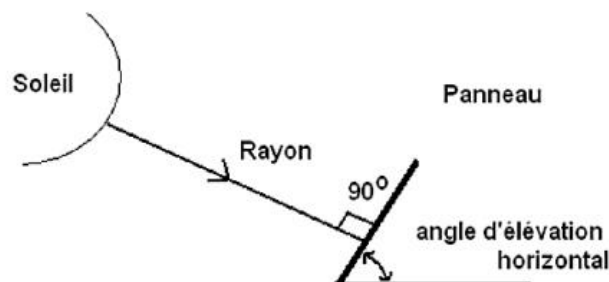


**Figure II.5 : Cellule au silicium amorphe. [9]**

**II.3.1.3. Emplacement du panneau solaire**

Le panneau solaire c'est la source principale et exclusive d'énergie pour notre véhicule, il faut choisir un emplacement idéal sur la voiture pour le panneau avec l'inclinaison convenable, pour que ce dernier garanti une grande autonomie pour notre véhicule.

Généralement, en ce qui concerne l'orientation du panneau, pour capter le maximum d'énergie, il faut que les rayons solaires rencontrent la surface du panneau à 90°. [9]



**Figure II.6: L'orientation idéale du panneau solaire. [9]**

Mais puisque la voiture change toujours sa direction, il ne faut pas fixer l'orientation du panneau. Après des études, on a conclu qu'on ne peut pas appliquer un suiveur de soleil (Tracker) au-dessus d'une voiture, pour la raison que l'angle d'orientation du suiveur de soleil est limité à 180°, donc ça va risquer de poser le même problème, et le panneau peut être dans des cas opposé au soleil.

Donc l'emplacement pour que le panneau soit orienté vers le soleil dans tous les cas (pas toujours à 90°), c'est sur le toit de la voiture. [9]

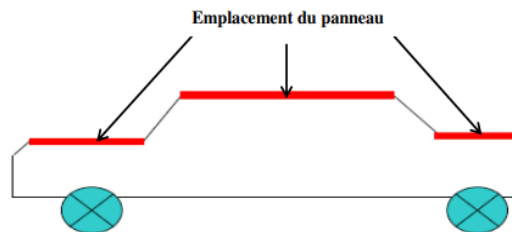


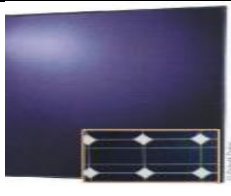


Figure II.7: L'emplacement du panneau sur la voiture. [9]

Tableau II.1 : Les caractéristiques des types des panneaux photovoltaïques. [9]

| Type cellule et module | Mono Cristallin  | Poly cristallin   | Amorphe  |
|------------------------|--|---|--|
|                        |    |    |    |
| Rendement              | Très bon de <b>14 à 20 %</b> .<br>- Rendement faible sous un faible éclaircissement.<br>- perte de rendement avec l'élévation de la température. | Bon de: 11 à 15 %.<br>-Rendement faible sous un faible éclaircissement.<br>- perte de rendement avec l'élévation de la température. | faible : 5 à 9 %.<br>- Fonctionnement correct avec un éclaircissement faible.  |
| Durée de vie           | -importante (30 ans)   | -importante (30 ans)  | -assez importante (20 ans)   |
| Coût de fabrication    | Elevé  | -meilleur marché que les panneaux monocristallins   | -peu onéreux par rapport aux autres technologies   |
| Puissance              | 100 à 150 Wc/m <sup>2</sup>  | 100 Wc/m <sup>2</sup>   | 50 Wc/m <sup>2</sup>   |
| Fabrication            | -élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal σ Couleur bleue uniforme.                          | - élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux.                           | - couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. |
| Part de marché         | 43 %   | 47 %  | 47 %   |

### II.3.2. Moteur électrique d'un véhicule solaire

Un moteur électrique est composé principalement d'un stator (fixe), et d'un rotor (qui tourne). Le stator, qui entoure le rotor, génère un champ magnétique. Ce champ peut être généré par induction, ou par des aimants permanents. Le rotor est constitué de bobines, dont le fil est recouvert d'une couche isolante, et de connecteurs. Il est solidaire de l'axe central du moteur. [9]

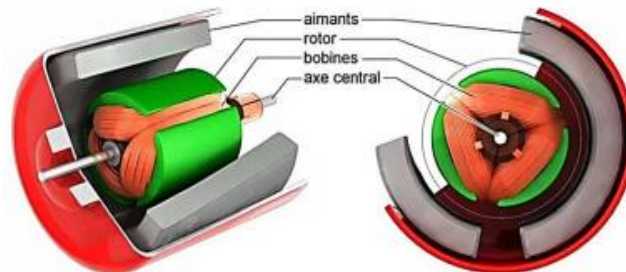


Figure II.8 : Le moteur électrique. [9]

#### II.3.2.1. Types des moteurs électriques utilisés dans les voitures solaires

##### a. Moteurs à courant à balai

C'est la forme la plus connue des moteurs à courant continu. Elle consiste en une armature cylindrique qui tourne entre deux pôles fixes d'un ou plusieurs aimants. Un commutateur tournant avec l'armature permute le sens du courant dans l'armature de telle sorte qu'il est produit un couple constant.

Le gros avantage de ce type de moteur est sa simplicité. Aucune électronique n'est requise pour le piloter. Toute fois, le rendement sera nettement meilleur si un contrôleur adapté est utilisé pour gérer l'énergie. Ces moteurs sont en général très robustes. [10]



Figure II.9 : Le moteur à balai. [10]

##### b. Moteur à disque

Dans ce type de moteur, l'armature est en forme de disque plat. Ils sont aussi parfois appelé «moteur à circuit imprimé». Comme il n'y a pas de fer dans les armatures, il n'y a pas de pertes à faire et le rendement peut être en théorie relativement haut.

De plus, du large diamètre résulte un couple élevé pour un poids donné. Les moteurs à disque sont souvent utilisés dans les robots pour cette raison.

Comme leur armature est très légère, ces moteurs ont une constante de temps thermique très faible comparé aux moteurs classiques dont la constante peut atteindre plusieurs heures. [10]





Figure II.10 : Le Moteur à disque. [10]

**c. Moteurs sans balais Brushless**

La configuration de ce type de moteur est inversée, en effet les bobines sont à l'extérieur au stator. La commutation est assurée par l'utilisation d'un convertisseur (type onduleur) muni d'un capteur de position. Le moteur Brushless offre de nombreux avantages dont la longue durée de vie permet la production de bruit et de zéro maintenance. [10]

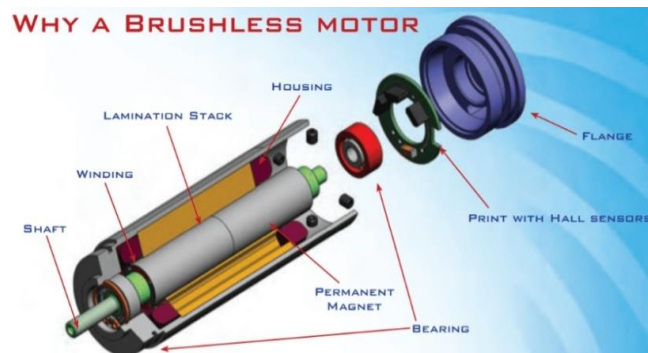


Figure II.11 : Le moteur sans balais Brushless. [10]

**d. Moteur roue**

Le moteur roue ou encore appelé moteur à arbre creux ou moteur couronne consiste à l'inversion des rôles du stator et du rotor. Ceci permet de placer le moteur directement dans la roue, ainsi le problème des frottements créés par le système de transmission est complètement éliminé. Le moteur-roue représente le meilleur moyen de transmettre toute la puissance à la route. [10]

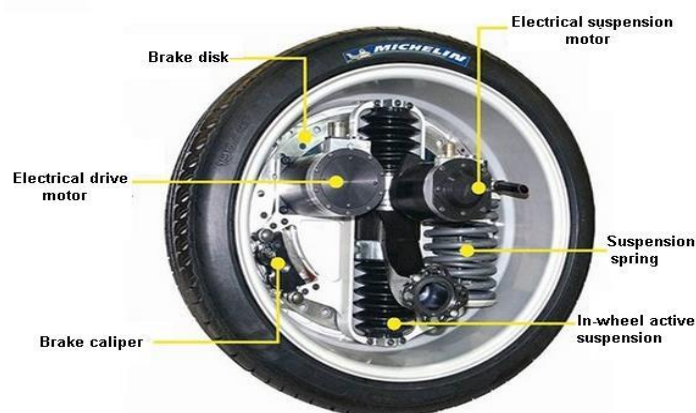


Figure II.12 : Le moteur roue. [10]

Le moteur roue a plusieurs avantages sur le moteur électrique conventionnel

#### d.1. Avantages

- Les pertes dues à la transmission sont complètement éliminées (pour une chaîne, bien lubrifiée, elles sont de l'ordre de 3% et 5 % sans lubrification).
- Les pertes par frottement des roulements à billes sont diminuées du fait que les efforts radiaux du sens principe à la tension de la chaîne ont disparus.
- Il n'y a aucune possibilité pour que les systèmes de transmission soient défaillants de meilleure fiabilité pour le véhicule.
- Le poids de la transmission est économisé.

#### d.2. Inconvénients

- Le poids de la roue est accru ce qui implique d'utiliser un pneu plus résistant.
- Pas de possibilité d'avoir un rapport de transmission différent. Le moteur tourne à la vitesse de la roue. Il est donc impossible d'optimiser les performances du moteur pour des conditions variables
- Les moteurs de ce type ne sont pas encore en vente libre. Chaque constructeur est donc obligé de créer son propre moteur.

#### e. Moteur asynchrone

Dans un moteur asynchrone (ou moteur à induction) les bobines sont placées au stator qu'en leur appliquant une forme donnée alternativement, il s'est créé un champ magnétique tournant. Le rotor se trouve alors parcouru par un courant induit qui a pour effet de créer une polarisation magnétique. Un couple moteur est donc exercé sur le rotor.

Pour qu'il ait induction il faut que la vitesse du moteur soit différente de celle du champ tournant. On appelle donc glissement le rapport entre cette différence de vitesse et la vitesse du champ tournant. Au démarrage, quand le glissement est important le couple est élevé. [10]

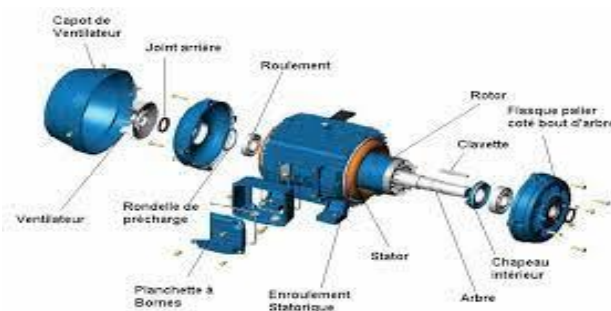


Figure II.13 : Le moteur asynchrone. [10]

#### f. Moteur à courant continu à excitation séparée

Ce type de moteur se rapproche du moteur à courant continu classique. En effet, il présente exactement la même structure sinon que le champ fixe créé par les aimants permanents est ici créé par des bobines. Celles-ci peuvent alimenter séparément en série, en parallèle ou encore de façon mixte.

Quand elles sont alimentées en série, le moteur présente un couple au démarrage très important qui diminue progressivement avec la vitesse. Mais en conséquences il est alimenté à vide, il monte en régime jusqu'à son autodestruction. Quand les bobines sont alimentées séparément ou en parallèle le moteur se comporte comme un moteur à un courant continu à aimants permanents. [10]

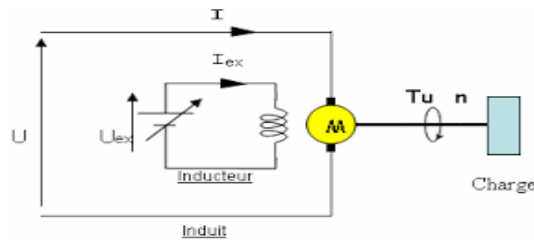


Figure II.14: Schéma moteur à courant continu à excitation séparée. [10]

### II.3.3. Les batteries

Le décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité. Les systèmes tampon le plus couramment utilisé pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques.

Les batteries permettent de stocker le surplus d'énergie que les panneaux peuvent fournir quand l'éclairage est suffisant. Plus leur capacité à stocker l'énergie est importante, plus les réserves du véhicule en énergie ne peuvent être importantes permettant ainsi de mieux gérer les variations atmosphériques ou géologiques. [10]

#### II.3.3.1. Différents types de batterie

Il existe trois principaux types de batteries utilisées pour stocker l'électricité produite par les installations solaires photovoltaïques :

- Les batteries au plomb (Pb /PbSO<sub>4</sub>).
- Les batteries au Ni-MH.
- La batterie lithium. [11]

##### a. Accumulateurs Plomb/ acide (Pb /PbSO<sub>4</sub>)

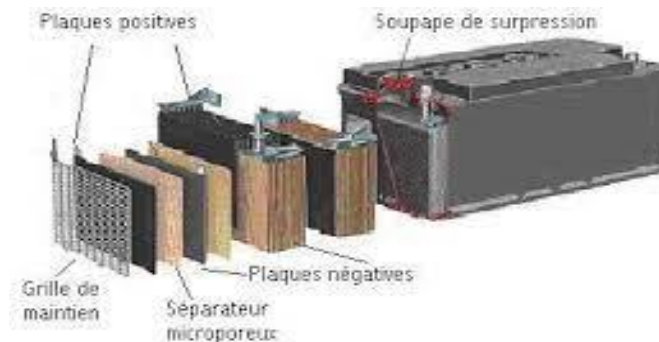
**L'électrode positive** est une plaque rectangulaire aplombée en force par des nervures entre lesquelles sont disposées des mâles soudés tubes constitués par des oxydes de plomb.

**L'électrode négative** est une plaque de plomb à surface gaufrée dont les alvéoles sont garnies de plomb spongieux.

**L'électrolyte** est une solution d'acide sulfurique dont la densité varie en fonction de l'état de charge de la batterie.

**Organisation** : L'ensemble des plaques est immergé dans l'électrolyte contenu dans un bac en matière isolante (verre ou matière plastique). L'énergie qu'on peut emmagasiner dans un accumulateur étant proportionnelle à la surface des électrodes, on a intérêt à augmenter leurs dimensions. Pour éviter un trop grand encombrement, on constitue deux faisceaux de plaques parallèles positives et négatives intercalées.

Les plaques de couleur rouge représentent les plaques de plomb alors que les plaques de bioxyde de plomb sont représentées en bleu. La batterie est formée de six cellules composées chacune de deux plaques (Pb et PbO<sub>2</sub>). [11]



**Figure II.15 : Accumulateur plomb/acide. [11]**

### **II.3.4. Maximum power point tracker (MPPT)**

Les convertisseurs de puissance sont communément appelés PPT (power point tracker) ou MPPT (maximum Power Point tracker).

Le M.P.P.T est l'appareil qui permet d'obtenir la puissance maximale des panneaux solaires, de diriger l'énergie vers les batteries ou vers les moteurs et d'en optimiser la répartition.

Le voltage fournit par le panneau solaire est variable et différent de celui du groupe de batteries. On a séparé le panneau solaire en quatre sections indépendantes. Il faut alors quatre convertisseurs de puissance afin d'ajuster le voltage et de maximiser le transfert d'énergie vers les batteries et le moteur. Chacune de ces cartes comporte deux convertisseurs. Puisque toute l'énergie provenant des panneaux solaires transite par les convertisseurs, il est essentiel qu'ils aient une efficacité très élevée (99 %). Son rendement doit être le plus élevé possible. De plus, il doit s'adapter rapidement aux variations des conditions atmosphériques et la demande en énergie du moteur. [12]

### **II.3.5. Régulateur de la vitesse**

Le régulateur de vitesse (Cruise - control) peut être configuré pour maintenir une vitesse ou un couple (torque) constant. Le régulateur de vitesse sert aussi à communiquer avec le contrôleur du moteur.

La carte maîtresse est le cœur du système de gestion d'énergie. Elle communique avec toutes les autres cartes (MPPT, régulateur de vitesse, tableau de bord) en plus de faire l'acquisition de près de la moitié des données. [13]

#### **II.3.5.1. Principe de fonctionnement régulation**

Le parc batterie est branché en permanence sur le générateur solaire. La décharge profonde est évitée en utilisant un régulateur de charge qui maintient le parc batterie dans un état voisin de la pleine charge. Cette condition de fonctionnement dite « batterie flottante » (ou floatting) est obtenue en limitant la tension à une valeur constante de l'ordre de 2,25V à 2,35V par élément. [13]

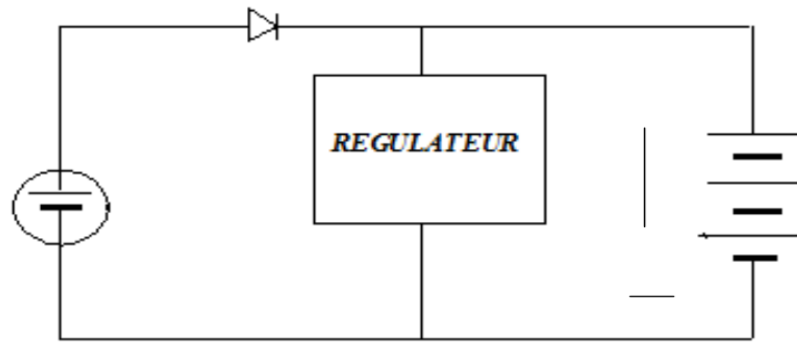


Figure II.16 : Schéma principale du régulateur. [13]

### II.3.6. Freinage

Pour ralentir ou arrêter un véhicule, on doit freiner c'est-à-dire on diminue ou on annule l'énergie cinétique. On y parvient généralement en utilisant les frottements.

C'est ce qui se produit lors du freinage d'une voiture : la température s'élève de façon très importante. Niveau des freins. Les freins d'une voiture sont généralement :

-Freins à tambour: c'est le tambour qui tourne avec la roue.

Au cours du freinage, deux mâchoires en fermées dans le tambour s'écartent l'une de l'autre et viennent frotter sur la paroi interne.

-Frein à disque: c'est le disque solidaire à l'arbre qui fait tourner la roue.

Au cours du freinage, deux mâchoires disposées de part et d'autre du disque se rapprochent et enserrent le disque qui, ne pouvant plus tourner, entraîne l'arrêt de la roue. [14]

## II.4. Conclusion

La limitation du véhicule solaire est que l'énergie solaire actuelle est acceptable. Ainsi, les composants d'un véhicule électrique solaire ont des caractéristiques spécifiques.

Les systèmes électriques du véhicule solaires divisent en trois principales composantes :

- Le Moteur.
- Les cellules solaires.
- Les batteries.

Plusieurs types de moteurs électriques peuvent être utilisés dans les voitures électriques photovoltaïques. La commande du moteur dépend du type de moteur. Il faut tenir compte de certains paramètres comme son principe de fonctionnement, la façon dont il faut alimenter ses caractéristiques principales, et les pertes auxquelles il est soumis.

Pour simplifier le dimensionnement de notre taxi solaire nous avons choisi le moteur à **courant continu**. C'est l'objectif du chapitre suivant.

# Chapitre III : Localisation et le gisement solaire.

## III.1. Introduction

Le climat d’Algérie a fait l’objet de nombreuses études analytiques et synthétiques, notamment par SELTZER (1946) ; BAGNOULS & GAUSSEN (1953) ; EMBERGER (1954); CHAUMONT & PAQUIN (1971); STEWART (1975); BOTTLNER (1981) ; LE HOUEROU (1995). Tous ces auteurs s’accordent à reconnaître l’intégration du climat algérien au climat méditerranéen, caractérisé par une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale, et une saison froide et pluvieuse en coïncidence avec la saison hivernale. En Algérie, cette pluviométrie peut être soumise à l’orographie et aux influences maritimes. En effet, tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie ont montré que la répartition de la pluie subit trois influences. Il s’agit de l’altitude, les conditions de topographie, de la longitude et enfin celle de l’éloignement à la mer. [15]

Pour la willaya de Mostaganem, la valeur minimale moyenne de température enregistrée est de 16 °C, et la valeur maximale moyenne de température enregistrée est de 32 °C.

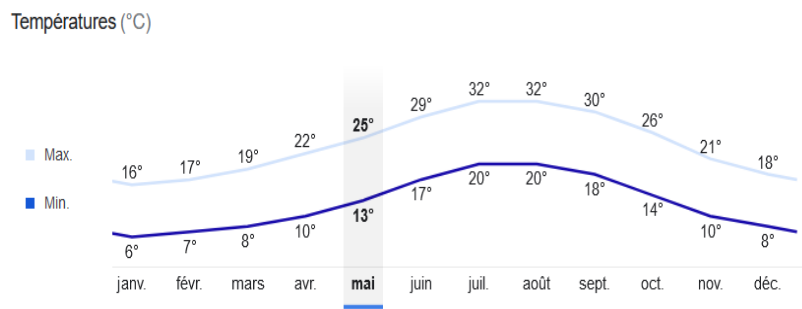


Figure III.1 : Moyennes mensuelles des températures à Mostaganem. [16]

Ensoleillement a Mostaganem, Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d’une journée. Ceux-ci occultent le soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d’atteindre directement le sol.

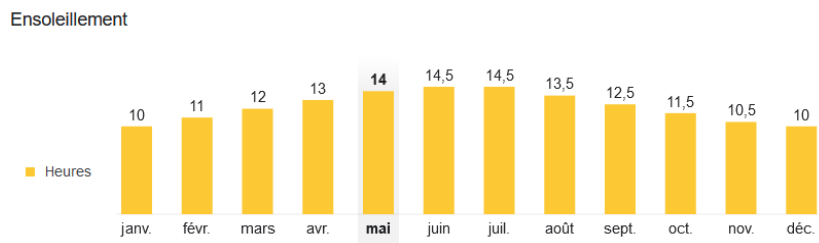


Figure III.2 : Changement de l’ensoleillement en fonction des mois. [16]

**Remarque :** nous notons que la température pendant les mois d’été est plus élevée et qu’il n’y a pas de pluie avec un bon ensoleillement pour alimenter les panneaux en énergie.

### III.2. Relevée Météorologiques pour notre étude

Le tableau III.3 décrit la variation annuelle de température à Mostaganem pour le mois d'été car il représente notre hypothèse simplifié pour notre étude.

**Tableau III.3 : Moyennes mensuelles des températures sur l'année 2021. [16]**

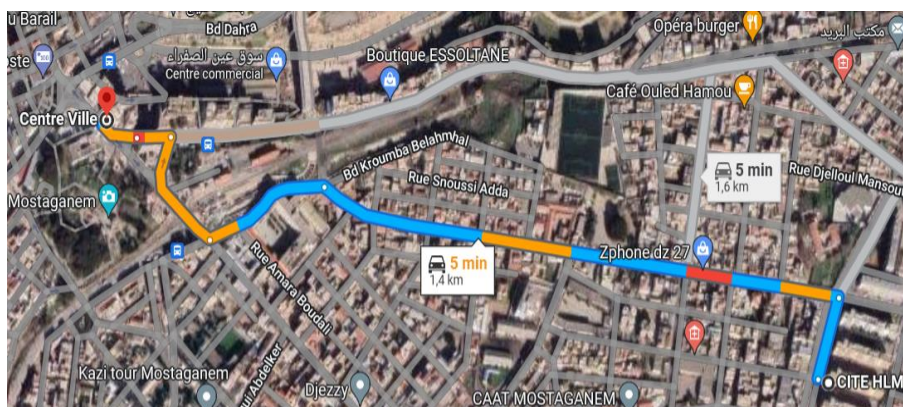
| Mois      | Max. / Min.(°C) | Pluie  |
|-----------|-----------------|--------|
| Juin      | 29° / 17        | 0 jour |
| Juillet   | 32° / 20°       | 0 jour |
| Août      | 32° / 20°       | 0 jour |
| Septembre | 30° / 18°       | 2 jour |

Ces valeurs approximatives se répètent presque chaque année à Mostaganem selon les relevés météorologiques en Algérie. [16]

### III.3. La localisation de notre site d'étude

L'étude que nous n'avons qu'à faire entre cité FST au centre-ville de Mostaganem.

La figure Représente la distance parcourue par le taxi.



**Figure III.3 : La route de cité FST au centre-ville de Mostaganem. [17]**

Selon Google Mapp (figure III.3) Le taxi traverse en aller-retour par la Rte Amara Hamida, en 5 minutes à une distance de 1,3 km et une vitesse de 4,3 m/s.



**Figure III.4 : mesure le temps et la distance parcourue par Google Map. [17]**

Depuis le quartier FST, le taxi va en ligne droite jusqu'à la route Amara Hamida, monte la bretelle qui aboutit à Lycée Zerrouki et continue tout droit jusqu'à la station de taxi.

### III.4. Étude de la région

Grâce au logiciel Pvsystème, nous obtenons les coordonnées géographiques et la trajectoire du Soleil à Mostaganem, ce qui est représenté sur la Figure III.4 et la Figure III.5.

**Lieu**

Nom du site

Pays  Région

---

**Coordonnées Géographiques**

|              |  |   |                                 |                                   |
|--------------|--|---|---------------------------------|-----------------------------------|
|              | Decimal                                | Deg.  | min.                            |                                   |
| Latitude     | <input type="text" value="35.96"/> [°] | <input type="text" value="35"/>   | <input type="text" value="58"/> | (+ = Nord, - = Hemisph. Sud)      |
| Longitude    | <input type="text" value="0.35"/> [°]  | <input type="text" value="0"/>  | <input type="text" value="21"/> | (+ = Est, - = Ouest de Greenwich) |
| Altitude     | <input type="text" value="188"/>       | M au-dessus du niv. de la mer   |                                 |                                   |
| Fus. horaire | <input type="text" value="1.0"/>       | Correspondant à une différence moyenne  |                                 |                                   |
|              |  | Temps Légal - Temps Solaire = 0h 59m <input style="float: right;" type="button" value="?"/> |                                 |                                   |

Figure III.5 : Coordonnées géographiques de Mostaganem (Logiciel PV Système)

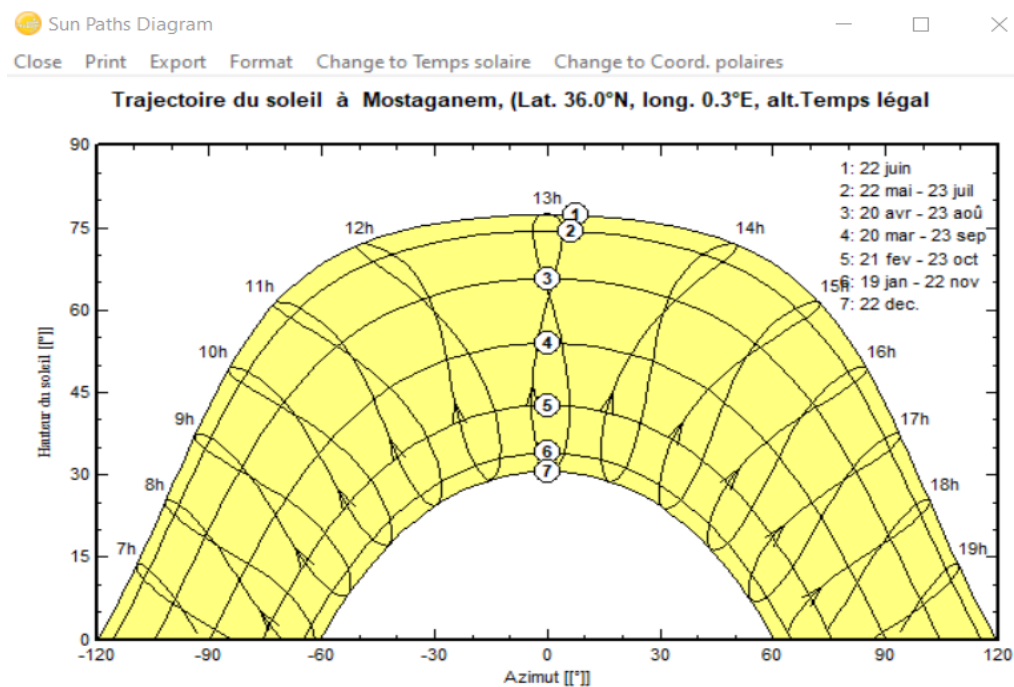


Figure III.6 : Trajectoire du soleil à Mostaganem (Logiciel PV Système)



### III.5. Orientation des panneaux photovoltaïques :

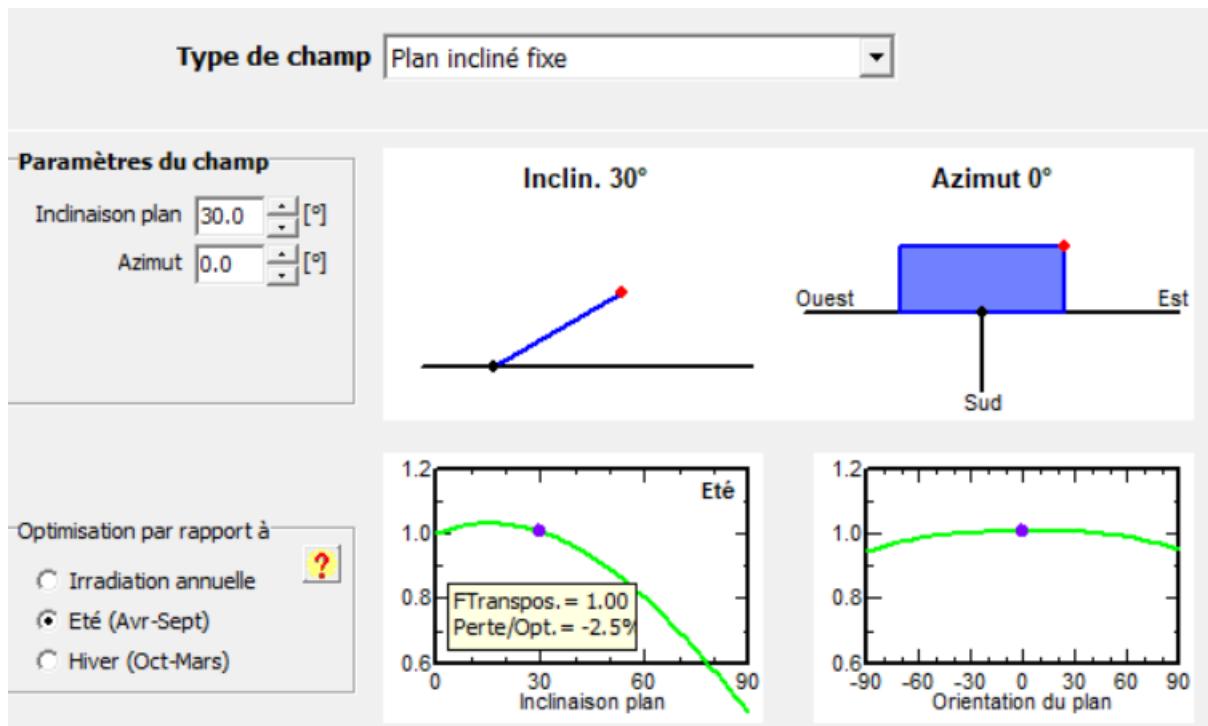


Figure III.7 : Orientation des panneaux solaires (Logiciel PV Système)

La figure III.7 représenté Orientation des panneaux solaires (Logiciel PV Système), Les panneaux photovoltaïques placés sur le toit de taxi s'inclinent à 30° vers le sud.



Figure III.8 : La forme du panneau photovoltaïque sur le toit du taxi

### **III.6. Conclusion :**

Mostaganem se situe dans l'hémisphère nord. Avec des coordonnées géographiques : latitude 35,96° et longitude 0.35°

L'été en Mostaganem commence fin juin et se termine en septembre. Il y a des mois d'été : Juin, Juillet, Aout, Septembre.

La valeur la plus basse de l'humidité est mesurée en juillet (62.00%). L'humidité able est la plus élevée en janvier (77.70%).

En moyenne, le mois de jour de pluie est mesuré en juillet (0.13 jours). Le mois avec le plus de jours pluvieux est novembre (9.20 jours).

Le climat de Mostaganem est dit chaud. La pluie dans Mostaganem tombe surtout en hiver, avec relativement peu de pluie en été. Sur l'année, la température moyenne à Mostaganem est de 18.3 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 387 mm. [18]

# Chapitre IV : L'étude dynamique de véhicule solaire.

## IV.1. Introduction

Réduite à sa plus simple expression, l'éco conduite est la saine gestion de la pédale d'accélération. Néanmoins, pour mieux comprendre les techniques d'éco conduite et prioriser leur application, il est nécessaire de connaître les forces physiques qui s'appliquent à un véhicule en mouvement. C'est à partir de ces principes que l'on peut identifier les comportements les plus susceptibles de nous faire économiser d'énergie.

## IV.2. Les forces physiques

Six forces agissent sur un véhicule en mouvement. Elles sont chacune responsables d'une partie de la consommation. En comprenant comment elles agissent, vous pouvez limiter leur impact.

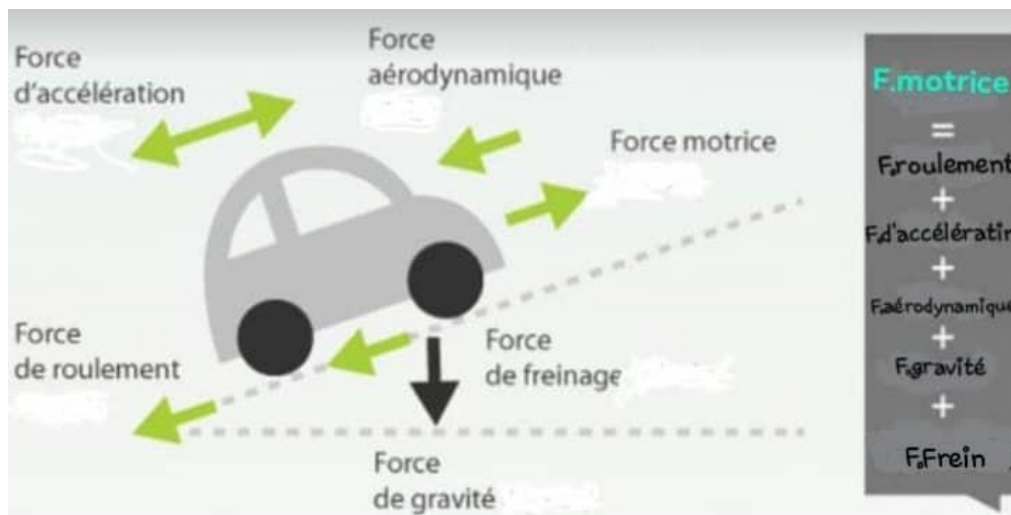


Figure IV.1 : Les forces responsables de la consommation. [19]

La figure ci-dessus montre que la force motrice, qui est directement reliée à la consommation d'énergie de votre véhicule, doit combattre la somme des forces de roulement, aérodynamique, d'accélération, de freinage et de gravité. Ainsi, pour diminuer votre consommation d'énergie, vous devez soit réduire l'ampleur de ces forces, soit améliorer l'efficacité de votre moteur.

Les différentes forces n'affectent pas la consommation d'énergie dans les mêmes proportions. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des trois principales forces responsables de la consommation selon le milieu routier. [19]

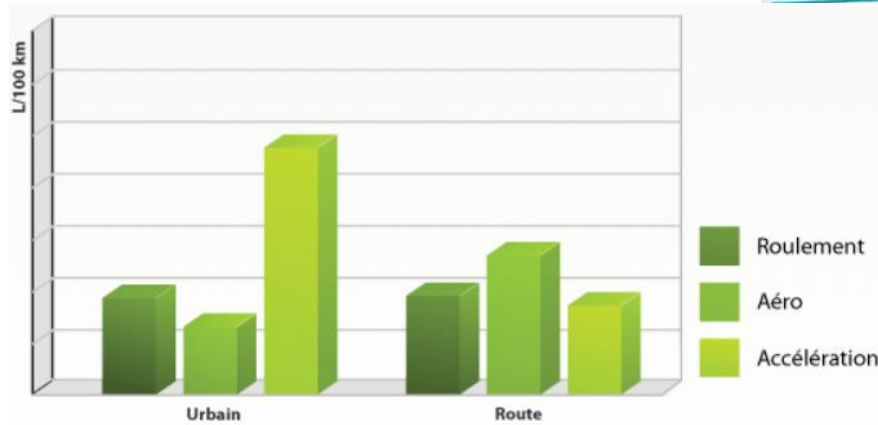


Figure IV.2 : Effet des forces sur le changement de vitesse (comparaison entre les autoroutes et les routes urbaines). [19]

Ce graphique démontre clairement qu'en milieu urbain, la force d'accélération domine les autres forces. En fait, en raison des nombreux départs et arrêts effectués en ville, cette force est responsable d'environ 60 % de la consommation d'énergie. En deuxième et troisième position, nous retrouvons respectivement les forces de roulement et d'aérodynamisme. [19]

#### IV.2.1. La force de roulement (frottement)

La force de roulement agit au niveau des pneus et s'oppose au mouvement libre du véhicule. Elle est causée par la déformation des pneus sur la chaussée qui engendre une résistance au roulement. C'est la force que nous devons combattre pour pousser une voiture en panne sèche à vitesse constante. [20]

Les principaux facteurs explicatifs de la force de roulement sont :

##### a. Le coefficient de résistance au roulement

Ce coefficient est influencé par le type de pneus choisi, la pression des pneus ainsi que par la surface de la route. Par exemple, la force de roulement est deux fois plus grande sur le gravier que sur l'asphalte.

##### b. La masse du véhicule

Cette masse dépend du type de véhicule et de la charge transportée. La force de roulement est directement proportionnelle à la masse. [20]

#### IV.2.2. La force aérodynamique

La force aérodynamique est la résistance que l'air exerce sur un véhicule en mouvement. Il s'agit de la force ressentie sur votre main lorsque vous la sortez par la fenêtre de votre véhicule. [21]

Les principaux facteurs explicatifs de la force aérodynamique sont :

##### a. La vitesse

La vitesse est le facteur explicatif le plus important de la force aérodynamique. En fait, cette dernière est proportionnelle au carré de la vitesse, c'est-à-dire que lorsque la vitesse double, la force aérodynamique quadruple.

### **b. Le coefficient de résistance aérodynamique**



Ce coefficient est une indication de la manière dont l'air circule autour du véhicule en mouvement, il est essentiellement lié à la forme du véhicule. La présence de tout ajout sur la carrosserie augmente cette résistance. [21]

### **IV.2. 3. La force d'accélération**

La force d'accélération, parfois appelée la force d'inertie, est la résistance du véhicule aux variations de vitesse. Elle vous retient lorsque vous augmentez votre vitesse et elle vous pousse lorsque vous ralentissez. En d'autres termes, cela signifie que vous consommez du carburant pour accélérer jusqu'à une certaine vitesse mais que vous pouvez en récupérer lors des décélérations pendant lesquelles vous parcourez une distance sans consommation de carburant. [22]

### **IV.2.4. La force de freinage**

La force de freinage est étroitement liée à la force d'accélération. Elle permet d'absorber le surplus d'énergie généré par la force d'accélération en la convertissant en chaleur. En théorie, la force de freinage peut être nulle si votre véhicule accélère jusqu'à 50 km/h et se laisse ensuite décélérer sans freinage jusqu'à l'arrêt complet. [23]

Les principaux facteurs explicatifs de la force de freinage sont :

#### **a. Le freinage mécanique**

Le freinage mécanique est celui que vous actionnez avec votre pédale de frein et qui permet à votre véhicule de ralentir. Il s'agit d'une perte d'énergie pure puisque celle-ci n'est pas utilisée pour déplacer le véhicule mais elle est plutôt dispersée en chaleur dans l'air. L'utilisation brusque et répétée du freinage mécanique est un indicateur de niveaux d'accélération trop élevés, d'un manque d'anticipation ou d'intervalles de suivi trop petits.

#### **b. Le freinage moteur**

Le freinage, ou compression moteur, consiste à rétrograder les rapports de la boîte de vitesses afin de ralentir le véhicule. Tout comme le freinage mécanique, il s'agit d'une perte de l'énergie accumulée en accélération qui ne sert pas à déplacer le véhicule. Le freinage moteur est présent surtout sur les véhicules munis d'une boîte de vitesses manuelle mais aussi, à des niveaux différents, sur ceux dotés d'une boîte de vitesses automatique. [23]

### **IV.2.4. La force de gravité**

La force de gravité agit de façon directe sur votre véhicule dans les pentes. Elle vous retient en montée et vous pousse en descente. Comme pour la force d'inertie, l'énergie consommée en montée peut être récupérée en bonne partie lors de la descente pendant laquelle vous parcourez une distance sans consommation de carburant.

Les principaux facteurs explicatifs de la force de gravité sont :

a. L'inclinaison de la pente

Plus l'inclinaison de la pente est élevée, plus grande est la force qui vous ralentit. À titre d'exemple, il est beaucoup plus difficile de monter à vélo une pente abrupte qu'une pente douce.

b. La masse du véhicule

Pour sa part, la masse du véhicule dépend du type de véhicule choisi et de la charge totale transportée. La force de gravité est directement proportionnelle à la masse. [24]

**IV.2.4. La force motrice**

La force motrice résulte de la combustion contrôlée du carburant fourni au moteur. Elle est commandée par la pédale d'accélération et est proportionnelle à la quantité de carburant injectée et commandée par la pédale d'accélération. [25]

**IV.3. Force, mouvement et référence**

Propulsion et retenue du mouvement (forces de frottement)

**IV.3.1. Le principe des actions mutuelles entre la route et la voiture**

☐ Entre la roue avant motrice (R) et le sol (S).

☐  $R'$  : réaction au sol.

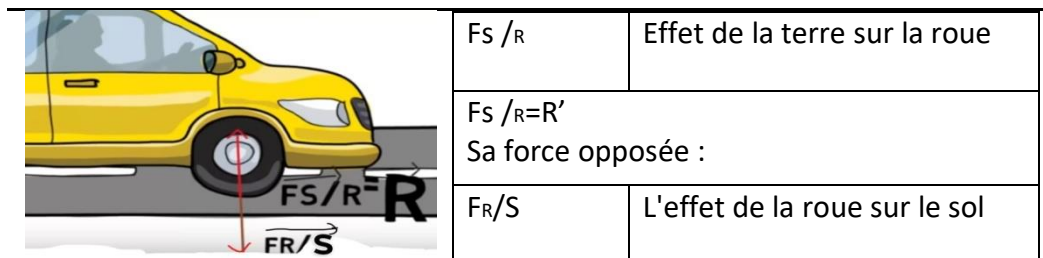


Figure IV.3 : Le principe des actions mutuelles lorsque la voiture est garée sur le sol par rapport à la route. [26]

Il y a une force créée lorsqu'un objet en mouvement entre en contact avec la surface sur laquelle il se déplace. Cette force est appelée **force de frottement**, Ils diffèrent par la nature de la surface sur laquelle s'effectue le mouvement. [26]

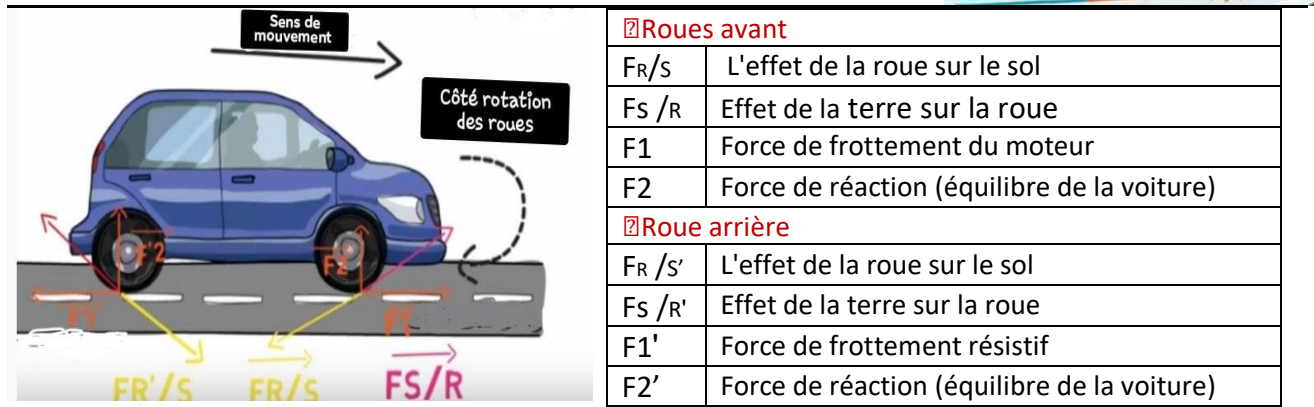


Figure IV.4 : Le principe des actions mutuelles lorsque le voiture circulant sur une route horizontale. [26]

La voiture avance sous l'impact du plancher sur les roues, le frottement résultant du contact antidérapant entre les roues et la chaussée fait avancer ou repartir la voiture (appelée force de frottement moteur).

La roue arrière n'est pas reliée au moteur, car elle est traînée sur la route, ce qui entraîne une force de frottement résistive. [26]

#### IV.3.1.1. Explication du frein de voiture

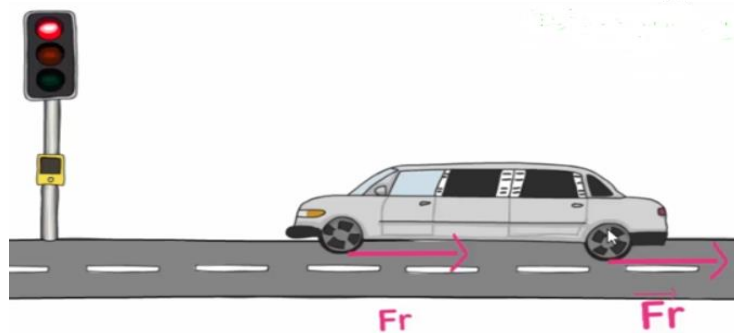


Figure IV.5 : Frein de voiture. [26]

Au feu de circulation, la voiture s'arrête, le conducteur applique les freins et une force de frottement contre le sens du mouvement (frottement résistif) est créée ici, que la roue avant ou arrière soit le moteur, car lorsque les freins sont appliqués, les roues et le moteur cessent de bouger, il diminue donc jusqu'à ce qu'il s'arrête Vitesse du véhicule. Les roues ont tendance à glisser vers l'avant et c'est ce que l'on remarque lorsque l'on est dans la voiture. [26]

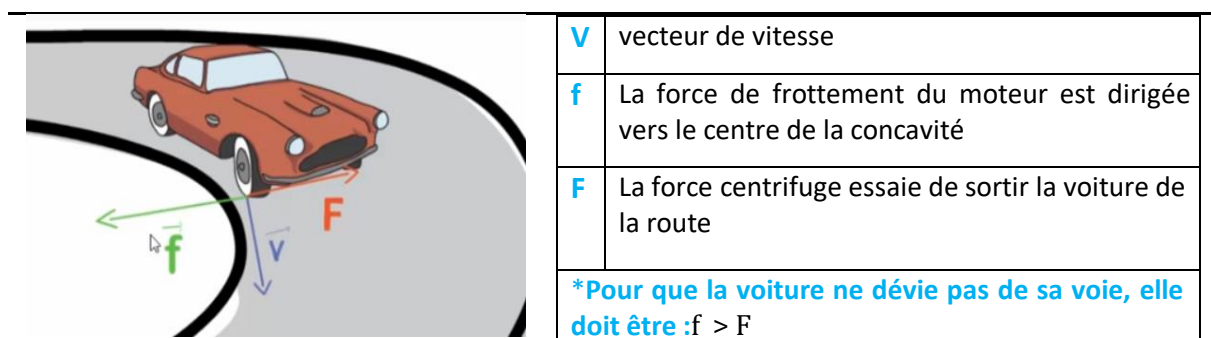


Figure IV.6 : Chemin sinueux. [26]

#### IV.4. Agissant les forces appliquées au VE

##### IV.4.1. Sur plan non incliné

La voiture roule horizontalement et cette voiture se déplace de gauche à droite, la vectrice accélération est horizontale et la direction est de gauche à droite.

Toutes les forces seront appliquées au point G centre de gravité de la voiture. [27]

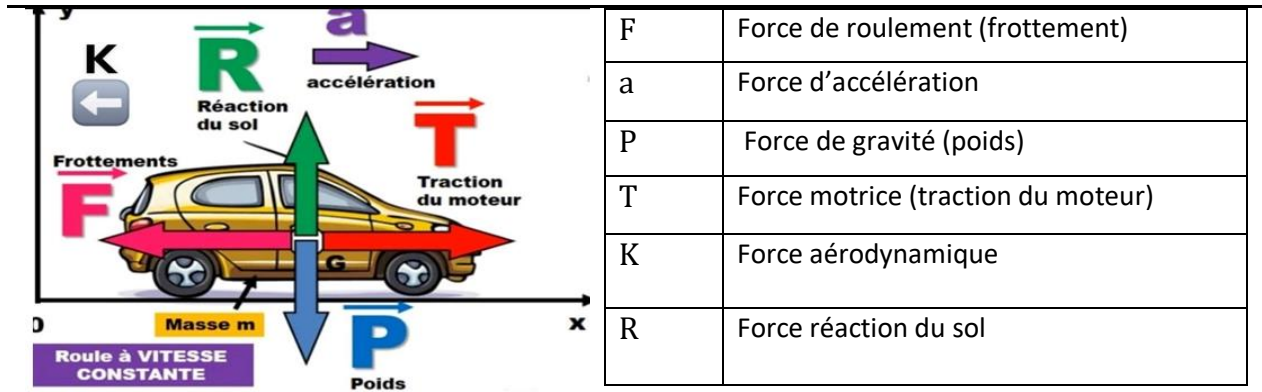


Figure IV.7 : Bilan des forces sur plan non incliné. [27]

D'après R.F.D. 2ème loi de Newton :

$$\Sigma \text{Force} = \text{mase}_x \text{accélération}$$

$$P+R+T+F+K = m \cdot a \quad (IV.1)$$

☐ Projeter cette relation sur l'axe oy :

$$-P+R+0+0+0 = 0$$

$$P=R \quad (IV.2)$$

☐ Projeter cette relation sur l'axe ox :  $a = \Delta v / \Delta t$

$$0+0+T-F-K = +m \cdot a$$

$$T-F-K = m \cdot a \quad (IV.3)$$

On suppose que la voiture roule à une vitesse constante alors :  $a=0$ ,

Donc :  $T-F-K = 0$

$$T=F+K \quad (IV.4)$$

**La force motrice (consommation de moteur) = Force frottement+ Force aérodynamique**



#### IV.4.2. Sur plan incliné

Les composantes de la force motrice  $F_m$ , sont calculées à partir du bilan des forces appliquées. Si l'on suppose que toutes les forces sont ramenées au centre de gravité du véhicule, l'application du principe fondamental de la dynamique permet d'écrire l'équation vectorielle suivante : [27]

On suppose que la voiture roule à une vitesse constante alors :

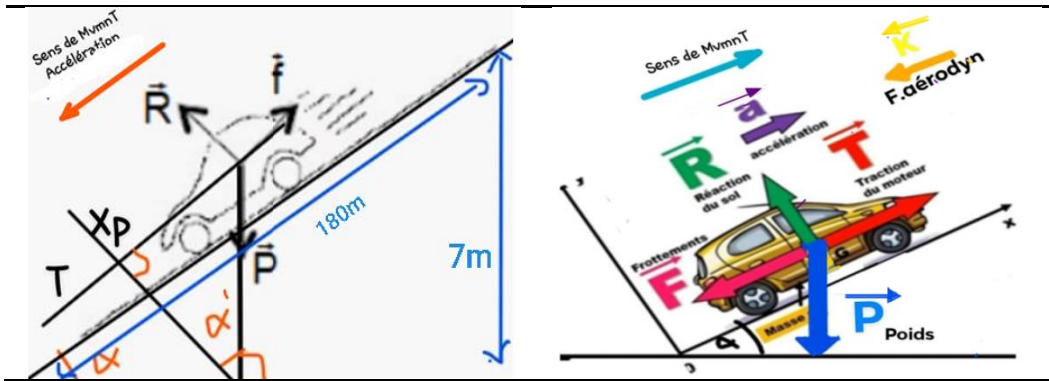


Figure IV.8 : Bilan des forces sur plan incliné. [28]

#### Remarque :

Deux angle aigus ayant les cotés perpendiculaire sont égaux ( $\sigma = \sigma'$ )

D'après R.F.D. 2ème loi de newton

$$\Sigma \text{Force} = \text{mase}_x \text{accélération}$$

$$P + R + T + F + K = m \cdot a$$

-Projeter cette relation sur l'axe ox :  $a = \Delta v / \Delta t$

$$-X_p - f + 0 + T = +m \cdot a \quad (IV.5)$$

On suppose que la voiture roule à une vitesse constante alors :  $a = 0$ ,

$$\text{Donc : } T = X_p + f \quad (X_p : \text{projection de P sur l'axe Ox}). \quad (IV.6)$$

#### -Le voiture gravite une pente de 7% (7m altitude)

Pente de 7% :

$$\sin \sigma = 7/180 = 0,038$$

$V = \text{Cst} = 4,3 \text{ m/s}$  donc :

Mouvement rectiligne uniforme. [28]

$$\sin\sigma' = X_p / P$$

Alors :

$$X_p = P \cdot \sin\sigma' \quad \text{et} \quad (P = m \cdot g) \quad (IV.7)$$

Donc :

$$F_{\text{véhicule}} = T = m \cdot g \cdot \sin\sigma' + f \quad (IV.8)$$

#### IV.5. Les résultats des calculs de la force agissant sur la voiture solaire

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| La route                             | de FST à centre ville                     |  |
| La masse de voiture avec Passagers   | (5 place)                                 | m=1700kg                               |
| La distance                          | 1,3 KM                                    | d=1300 m                               |
| Temps                                | 5min                                      | t= 300 s                               |
| Vitesse                              | 4,3 m/s                                   | V=4,3 m/s                              |
| Accélération                         | 0,014 m/s <sup>2</sup> lors que (v ≠ cst) | a= 0 m/s <sup>2</sup> Lorsque (v= cst) |
| la vitesse angulaire                 | 2π / t                                    | w= 0,02 rad/s                          |
| la gravité                           | g= 9,81N/Kg                               | g= 9,81N/Kg                            |
| l'inclinaison                        | σ=σ'= 6,63°                               | Sinσ=0,038                             |
| la force de roulement (frottement)   | F= m .d . W <sup>2</sup>                  | F=968,43N                              |
| force de réaction = force de gravité | R=P= m. g                                 | R=P=16677 N                            |

##### IV.5.1. la force aérodynamique

Étant donné que le taxi ne fonctionne qu'en été et selon la (Figure IV.2) La force aérodynamique n'est pas de grand effet sur le changement de vitesse en des routes urbaines.

Alors la pression atmosphérique ne sera pas forte, et donc la force aérodynamique ne gênera pas beaucoup la voiture, nous supposons donc que cela prend 10% la consommation du moteur.

$$\text{Force aérodynamique} = (10 \times \text{Force motrice}) / 100$$

|  |                                |                |
|--|--------------------------------|----------------|
| la force motrice de voiture (Sur plan non incliné) | T= F + (10 <sub>x</sub> T)/100 | T= 1076,03 N   |
| la force aérodynamique                             | K== 10 <sub>x</sub> T / 100    | K=107,6 N      |
| la force motrice de voiture (Sur plan incliné)     | T'= m. g. Sinσ'+ f             | T'= 1602,156 N |

*Energie = la force x Distance (Joule). Et Puissance = l'énergie/Temps (Watt).*

|   |                                    |                  |
|---|------------------------------------|------------------|
| la force de roulement(frottement)                     | $F=(968,43 \times 1300) / 300$     | F= 4196,53 watt  |
| force de réaction = force de gravité                  | $R=P= (16677 \times 1300) / 300$   | R= 72267 watt    |
| la force aérodynamique                                | $K=(107,6 \times 1300) / 300$      | K= 466,26 watt   |
| la force motrice de voiture<br>(Sur plan non incliné) | $T= (1076,03 \times 1300) / 300$   | T= 4662,79 watt  |
| la force motrice de voiture<br>(Sur plan incliné)     | $T'= (1602,156 \times 1300) / 300$ | T'= 6942,67 watt |

Consommation de moteur sur plan non incliné : 4662,79 watt.

Consommation de moteur sur plan incliné : 6942,67 watt.

Consommation de moteur total =11605,46 watt = 11,60 KW.

#### **IV.6. Conclusion**

Le taxi parcourt une distance de 1,3 km en 5 minutes à vitesse constante (4,3 m/s), où l'accélération est nulle. Les forces physiques agissent sur la voiture, qui est :

Une force aérodynamique (dans cette étude, elle prend dix pour cent de la consommation du moteur)  $k=107,6$  N.

La force de roulement (frottement)  $F=968,43$ N.

La force d'accélération(0).

La force de gravité  $P=16677$  N.

Dans cette étude, la somme de ces forces est égale à la force motrice (T) et elle représente la consommation d'énergie du moteur.

Le taxi emprunte une route horizontale  $T=1076,03$  N et une route de pente à  $6^\circ$  de force motrice  $T'=1602,156$  N.

Ainsi, on en déduit la consommation totale d'un taxi de 11,60 Kw.

En conclusion, le moyen le plus efficace de réduire votre consommation est d'avoir une meilleure gestion de la force d'accélération.

## **Chapitre V : Dimensionnement des composants d'un véhicule solaire.**

### **V.1. Hypothèses**

On suppose que le véhicule solaire électrique à réaliser tient compte des contraintes suivantes :

Le panneau solaire doit avoir la puissance crête du générateur du PV de 1000Wc.

Le véhicule ne dépasse pas la vitesse de 4,3 m/s.

Le véhicule doit être capable de s'arrêter sur une longueur maximale de 2 Km.

La masse totale du véhicule ne doit pas dépasser 1800 kg.

Il faudra veiller aux performances du véhicule :

Faible consommation d'énergie.

Légèreté du véhicule.

Faibles pertes mécaniques.

Les principaux composants d'un véhicule solaire électrique sont :

Le moteur propulseur.

Le panneau solaire.

La batterie.

Il est important de dimensionner les composants à utiliser pour pouvoir fournir une approximation surtout une idée des grandeurs auxquelles on est confronté dans la construction d'un véhicule solaire.

### **V.2.moteur propulseur**

#### **V.2.1. Détermination du couple moteur utile**

D'après le principe de l'action - réaction pour qu'il y ait mouvement et accélération, il faut que le couple délivré par le moteur soit supérieur ou égale au couple résistant à l'avancement du véhicule. Le couple de résistant à l'avancement du véhicule comprend trois composantes principales :

La résistance due à la pénétration dans l'air.

La résistance au roulement des pneus.

L'angle d'inclinaison de la route. [29]

On considère un véhicule solaire à 4 roues avec les éléments suivants :

La masse du véhicule : M,

Le coefficient de pénétration dans l'air : Cx,

Le maître couple de la surface frontale : S,

Le rayon des roues : N,

Le coefficient de roulement des pneumatiques : K,

L'angle entre la route et l'horizontale :  $\alpha$ . [28]

### V.2.1.1. Couple dû à l'inclinaison de la pente (Cp)

$$\mathbf{Cp = T \cdot N = m \cdot g \cdot \sin\sigma \cdot N} \quad \mathbf{[N.m]} \quad \mathbf{(V.1)}$$

Avec  $T = m \cdot g \cdot \sin\sigma$ ,

g : accélération de la pesanteur,

N : le rayon d'une roue.

### V.2.1.2. Couple dû à la résistance au roulement (Cr)

Soit  $Fr$  : la force issue de la résistance au roulement

K : coefficient de roulement pneumatique.

$$\mathbf{Fr = K \cdot P = K \cdot m \cdot g} \quad \mathbf{[N]} \quad \mathbf{(V.2)}$$

On peut soit considérer les forces qui s'exercent sur chacune des roues puis en faire la somme ou considérer que le poids ne s'applique qu'à une seule roue va déterminer la force totale.

$$\mathbf{D'où: Cr = R \cdot Fr = K \cdot m \cdot g \cdot N} \quad \mathbf{[Nm]} \quad \mathbf{(V.3)}$$

### V.2.1.3. Couple dû au frottement de l'air (Ca)

La force exercée par l'air sur le véhicule est donnée par :

$$\mathbf{Fa = 1/2 \rho \cdot Cx \cdot S \cdot V^2} \quad \mathbf{[N]} \quad \mathbf{(V.4)}$$

$\rho$  : masse volumique.

Cx : coefficient de pénétration dans l'air.

S : surface frontale.

V : vitesse, avec  $V = N \cdot \omega$

N : rayon d'une roue et  $\omega$  : vitesse angulaire.

D'où le couple correspondant :

$$C_a = N \cdot F_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_x \cdot S \cdot N^3 \cdot \omega^2 \quad [\text{Nm}] \quad (\text{V.5})$$

#### V.2.1.4. Couple total à exercer (C)

Pour qu'il y ait mouvement, le moteur doit fournir un couple utile au moins égal au couple total exercé par l'ensemble des forces qui s'opposent à l'avancement.

En utilisant le principe de superposition on peut dire que ce couple correspond à la somme des couples exercés par les forces opposées (indépendamment les unes des autres). [29]

On obtient alors :

$$C = C_p + C_r + C_a = N [m \cdot g \cdot \sin\sigma + K \cdot m \cdot g + \frac{1}{2} \rho \cdot C_x \cdot S \cdot N^2 \cdot \omega^2] \quad (\text{V.6})$$

### V.3. Panneau solaire

Le panneau solaire sert principalement à charger la batterie. Pour son dimensionnement, voyons :

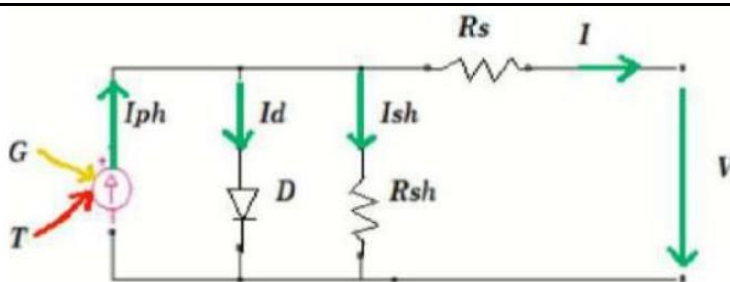
#### V.3.1. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque au silicium est composé :

D'un générateur de courant, produisant un courant  $I_{ph}$  généré par la lumière reçue par la cellule, proportionnel à la quantité de lumière reçue.

D'une diode qui représente le fonctionnement de la jonction P-N et qui absorbe un courant  $I_d$  (courant de polarisation de la jonction P-N).

D'une résistance shunt et d'une résistance série qui caractérisent les qualités du matériau, des contacts. [29]



Ce modèle est dit à 5 paramètres qui sont :  $I_{ph}$ ,  $I_{sh}$ ,  $I_0$ ,  $R_{sh}$  et  $R_s$

Figure V.1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Ce modèle contient une source de courant  $I_{ph}$  qui représente l'ensoleillement reçu par la cellule, et une diode en parallèle qui représente la jonction PN. La résistance série  $R_s$  tient compte des pertes ohmiques des matériaux, des métallisations et du contact semi-conducteur. La résistance parallèle  $R_{sh}$  représente le courant de fuite qui se situe entre le dessus et le dessous de la cellule.

L'équation des courants du modèle à une diode de la cellule PV est le suivant:

$$I_{\text{cell}} = I_{\text{ph}} - I_{\text{sh}} - I_0 \quad (\text{V.7})$$

Avec :  $I_{\text{cell}}$  : Courant délivré par la cellule.

$I_{\text{ph}}$  : Photo courant.

$I_0$  : Courant de la diode.

$I_{\text{sh}}$  : Courant shunt.

Le courant total débité par le module est donné par:

$$I = I_{\text{ph}} - I_0 \left( \exp \left( \frac{V + I R_s}{A N_s K T} \right) - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_{\text{sh}}} \quad (\text{V.8})$$

$I_{\text{ph}}$  proportionnel à la quantité de lumière reçue par la cellule, ne dépend pas de la tension (mais de la température de la cellule) : sa valeur est de 30 à 35 mA/cm<sup>2</sup> de cellule multi cristallin, pour un ensoleillement de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Avec :

$$V_D = V + R_s \times I \quad (\text{V.9})$$

Et :  $I$  [A] : courant débité par le module.

$V$  [V] : tension aux bornes du module.

$N_s$  : Nombre de cellules connectées en série.

$K$  [J/K] : constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$ ).

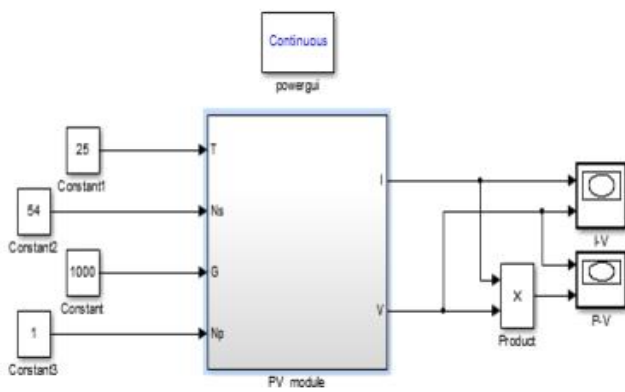
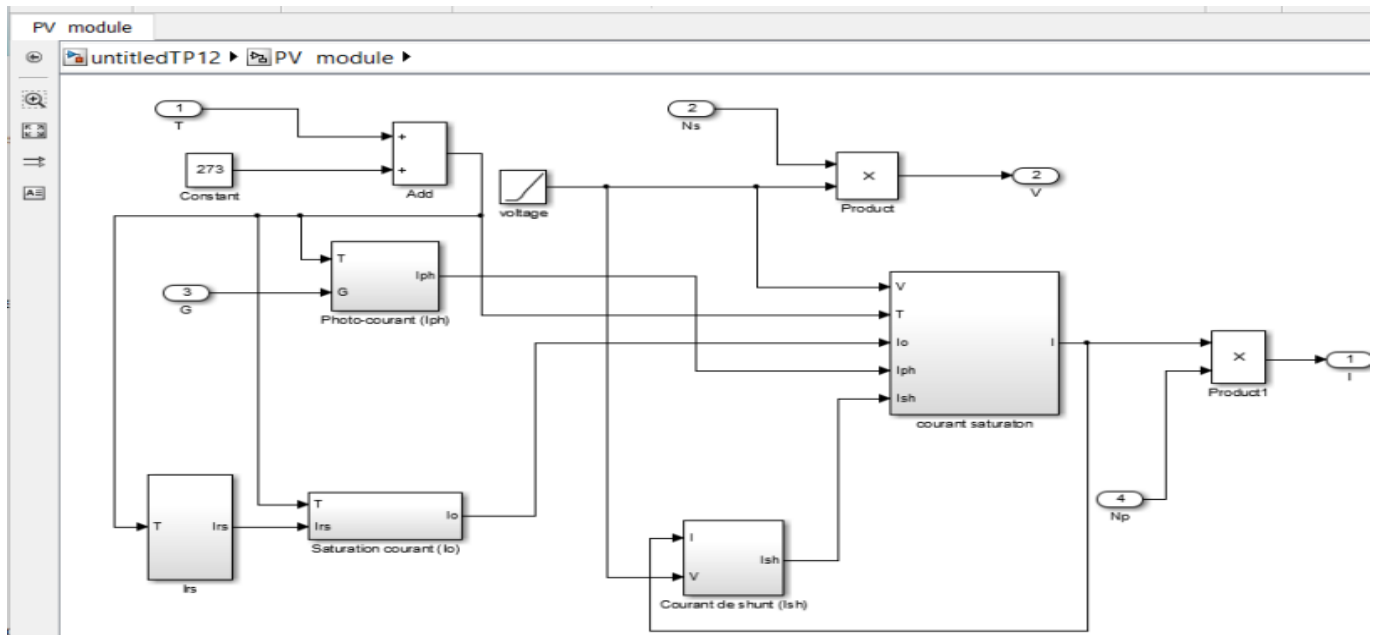
$A$  : facteur d'idéalité de la jonction (diode) (1,3) ( $1 < A < 2$ ).

$T$  [K] : Température de fonctionnement.

$T_{\text{ref}}$  [K] : Température de référence (ambiante) ( $25^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 298\text{K}$ ).

$R_s = 221$  [ $\Omega$ ] et  $R_{\text{sh}} = 415,405$  [ $\Omega$ ].

### V.3.1.1. Schéma simulink de simulation du champ PV



Block Properties: PV module

Usage  
To create or edit a callback function for this block, select it in the callback list (below, left). Then enter MATLAB code that implements the function in the content pane (below, right). The callback name's suffix indicates its status: \*(has saved content).

| Callback functions list: | Content of callback function: "InitFcn" |
|--------------------------|---|
| ClipboardFcn             | ki=0.0032,                              |
| CloseFcn                 | q=1.6e-19,                              |
| ContinueFcn              | K=1.35e-23,                             |
| CopyFcn                  | A=1.3,                                  |
| DeleteChildFcn           | Ego=1.1,                                |
| DeleteFcn                | Rs=.221,                                |
| DestroyFcn               | Rsh=415.405,                            |
| InitFcn*                 | Tref=298,                               |
| LoadFcn                  | Voc=32.9,                               |
| ModelCloseFcn            | Isc=8.21,                               |
| MoveFcn                  | Ns=54,                                  |
| NameChangeFcn            | Np=1,                                   |
| OpenFcn                  |   |
| ParentCloseFcn           |   |
| PauseFcn                 |   |
| PostSaveFcn              |   |
| PreCopyFcn               |   |
| PreDeleteFcn             |   |

OK Cancel Help Apply

### V.3.1.2. Caractéristique courant - tension $I = f(v)$ de la cellule

Chaque constituant du courant produit par la cellule évolue comme suit :

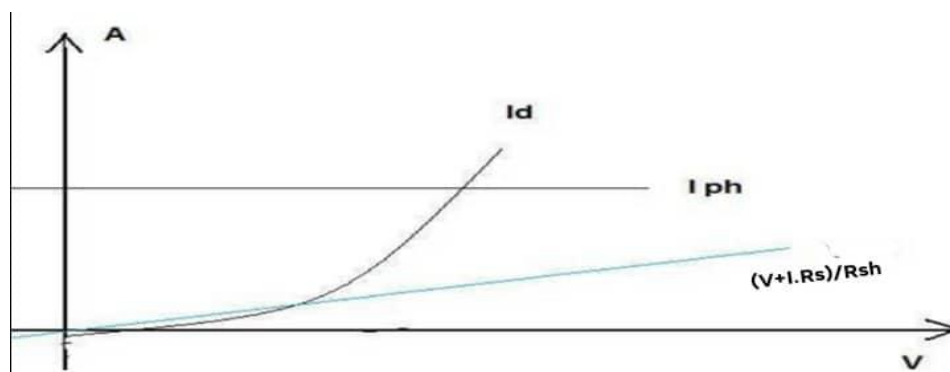


Figure V.2: Courbe  $I = f(v)$ .



La superposition de ces éléments donne alors l'évolution suivante de I :

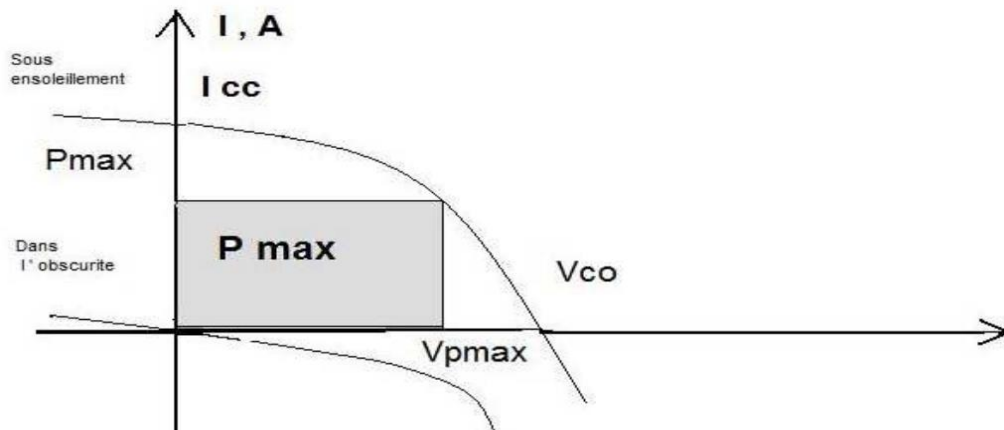


Figure V.3 : Courbe caractéristique courant - tension  $I = f(V)$  de la cellule.

### V.3.2. Les étapes du dimensionnement de la puissance crête

Les étapes du dimensionnement de la puissance crête commencent par le choix de conception suivant les principes et conséquences vus ci - dessus. Elles comprennent:

Estimation des services minimaux à rendre :

Ces services minimaux correspondent à l'énergie minimale utilisée par le moteur pour propulser la voiture solaire électrique.

Estimation des consommations correspondantes. [29]

#### V.3.2.1. Puissance maximale du panneau solaire (Pm)

L'énergie produite par le générateur photovoltaïque doit pouvoir fournir celle utilisée par le moteur électrique.

Cette énergie du moteur est déterminée à partir du calcul de la puissance maximale.

$$P_m = (C_p + C_r + C_a) \cdot (V/N) \quad [W] \quad (V.10)$$

N : rayon de la roue

#### VI.3.2.2. Détermination de la puissance crête du générateur photovoltaïque

Le générateur PV est caractérisé par sa puissance crête  $P_c$ , définie comme étant la somme de puissance crête du module ( $W_c$ ), elles-mêmes définies aux conditions de références (éclairage de  $1000W/m^2$ , température de jonction des cellules  $25^\circ C$ , répartition spectrale correspondant à Air Masse de 1,5). La puissance crête du générateur photovoltaïque, dans le cas de la voiture solaire, est déterminée en fonction du rendement du moteur.

$$P_c = P_m / \eta \quad [W] \quad (V.11)$$

$\eta$  : Rendement du moteur Et  $P_m$  : Puissance maximale.

### V.3.3. Détermination de l'éclairement global incident dans le plan des modules (Ei)

C'est une irradiation globale moyenne journalière dans le plan de module. Ei est l'intégrale sur la journée de l'éclairement énergétique globale dans le plan des modules.

Ei varie typiquement de 4 à 6 kWh/ m<sup>2</sup>.j

### V.3.4. Estimation de l'énergie que doit fournir le générateur (Ej)

Il s'agit d'estimer l'énergie (en joules) fournie par le générateur photovoltaïque. L'énergie récoltée par la puissance crête Pc est :

$$E_j = K \cdot E_i \cdot P_c \quad [\text{Wh/j}] \quad (\text{V.12})$$

Ei = Energie d'éclairement global incident dans le plan des modules.

K : coefficient de perte.  $K = \pi \cdot k$  (Batterie, Salissure, Mismatch, Câblage, dT°C, Régulation).

$K \approx 0,65$  (0,55 à 0,7)

Remarque : Cependant, les panneaux solaires sont fixés sur le véhicule, leur inclinaison dépend alors de la pente de la route suivie par la voiture solaire électrique.

## V.4. Les batteries

### V.4.1. Caractéristiques générales des batteries au plomb

#### V.4.1.1. Capacité d'une batterie

La capacité d'une batterie est la quantité d'électricité qu'elle peut débiter avant que la tension à ses bornes n'atteigne un seuil au delà duquel elle serait endommagée, cette capacité s'exprime en Ampères-heures (Ah).

La capacité est associée à un régime de décharge. Le courant de décharge est évalué en fraction de la capacité exprimée en Ah (par exemple : C/10, C/20, C/100...

Une batterie de 100Ah (C/100) peut fournir un courant I :  $100/100 = 1$  A pendant 100 heures.

La capacité varie avec la température : ses variations vont dans le même sens que celles de la température. La capacité du parc batterie se détermine de la façon suivante :

$$C = \frac{E_j n}{D_p U} \quad [\text{Ah}] \quad (\text{V.13})$$

**Avec :** Dp : coefficient de décharge.

U : tension du parc batterie : 12 V ou 24 V ou 48 V.

Ej : énergie journalière produite par le générateur PV.

n : nombre de jour d'autonomie.

#### V.4.1.2. Durée de vie d'une batterie à plomb (électrolyte liquide ou ouverte)

La durée de vie d'une batterie est liée au nombre de cycles de charge - décharge qui lui est demandé et à la profondeur de ces cycles : concrètement le nombre obtenu en multipliant le nombre de cycles attendu par la profondeur de décharge est proche d'une constante.

Une batterie déchargée seulement de 10% acceptera 5 fois plus de cycles qu'une même batterie déchargée à 50% et 8 fois plus qu'une batterie déchargée à 80 %. [29]

$$D \times N_c = D_v = \text{Constante} \quad [h] \quad (V.14)$$

**Avec :** D : décharge de la batterie à chaque cycle, en % de la capacité,

N<sub>c</sub> : nombre de cycles charge-décharge que peut assurer la batterie.

Pour une batterie solaire de bonne qualité « D<sub>v</sub> » est de l'ordre de :

10 000 pour une batterie à plaques planes, généralement issue de fabrications voisines de celles des batteries de démarrage pour voitures, avec des plaques plus épaisses pour améliorer la résistance au cyclage : c'est-à-dire 10000 cycles avec une décharge de 10%, 5000 cycles pour une décharge à 20%, 1250 cycles pour une décharge à 80%.

25 000 pour une batterie à plaques tubulaires « stationnaire », soit 25000 cycles à 10% de décharge et plus de 3000 cycles à 80% de décharge.

#### V.4.1.3. Rendement

Le rendement en ampères-heures ou faradiques est le rapport entre la quantité d'électricité débitée à la décharge Q<sub>d</sub> et la quantité d'électricité fournie lors de la charge Q<sub>c</sub>.

$$\eta_q = Q_d / Q_c \quad [\%] \quad (V.15)$$

Ce rendement est de l'ordre de 90%

Le rendement en énergie (ou énergétique) en Wh prend en compte les tensions respectives en charge et décharge. Il est de l'ordre de 70% à 85% [90 x (12/13.5) - 80].

### V.5. Le régulateur

Le dimensionnement du régulateur est défini une fois que le type de régulateur est retenu. Il existe deux types de régulateurs :

Régulateur de charge (simple) Il ne contrôle que la charge des batteries et évite ainsi la surcharge de ces dernières, il est pour des installations pour lesquelles le risque de décharge est quasiment nul.

Régulateur charge-décharge Il permet en outre, d'éviter des décharges profondes en coupant l'alimentation de tous ou une partie des appareils électrique.

Le régulateur sera dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie. La Tension nominale : Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

La Tension d'entrée : C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal.

Le Courant de sortie ( $I_s$ ) : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément.

### **V.5.1. Régulation de charge (R.C) et limitation de décharge (L.D)**

Dans les générateurs solaires les batteries sont déchargées lentement et la capacité indiquée généralement définie pour un régime de décharge de 100 heures au lieu de 10 : la capacité en C100 est généralement assez supérieure à C10. La batterie est mieux utilisée lorsqu'elle est déchargée plus lentement 2,35 V par élément.

Pour une batterie au plomb de 12V à 25°C :

- Tension de départ d'une batterie déchargée : 11,4 V
- Tension du palier, pendant la charge : 13,5 V ;
- Tension fin de charge : 14,4 V

## ***V.6. Résultats des calculs des composants du véhicule solaire***

### **V.6.1. Couple dû à l'inclinaison de la pente $C_p$**

|  |         |                  |
|--|---------|------------------|
| m : Masse de véhicule                              | 1700    | kg               |
| g : accélération de pesanteur                      | 9.81    | ms <sup>-2</sup> |
| Pente Alfa : angle entre la route et l'horizontale | 6,63    | Degré            |
| R : rayon d'une roue                               | 0,3     | m                |
| T : force de frottement de véhicule                | 1925,48 | N                |
| $C_p$  | 57,764  | N.m              |

### **V.6.2. Couple dû à la résistance au roulement $C_r$**

|   |        |                  |
|---|--------|------------------|
| m : Masse de véhicule                       | 1700   | kg               |
| g : accélération de pesanteur               | 9.81   | ms <sup>-2</sup> |
| K : Coefficient de résistance au roulement  | 0,015  |                  |
| N : rayon d'une roue                        | 0,3    | m                |
| Fr : Force issue la résistance au roulement | 250,15 | N                |
| $C_r$                                       | 75,04  | N.m              |

### V.6.3. Couple dû au frottement de l'air $C_a$

|   |        |                    |
|---|--------|--------------------|
| $\rho$ : Masse volumique  | 0,0129 | kg m <sup>-3</sup> |
| $C_x$ : Coefficient de frottement de l'air                                  | 0,12   |                    |
| $S$ : Surface frontale  | 1      | m <sup>2</sup>     |
| $N$ : rayon d'une roue  | 0,3    | m                  |
| $V$ : Vitesse= $(\pi. d. N)/60$   | 20,41  | m/s                |
| $W$ : Vitesse angulaire ( $W= V/N$ )<br>1 Tour $\rightarrow 2.\pi. N=1,884$ | 68,03  | Rad /s             |
| $F_a$ : force exercée par l'air sur le véhicule                             | 0,32   | N                  |
| $C_a$   | 0,01   | N.m                |
| Couple total  | 136,82 | N.m                |

### V.6.4. Spécifications du véhicule



#### **Fiche technique :**

Type de véhicule : Solaire  
 Longueur : 4086 mm  
 Largeur : 1788 mm  
 Nombre de places : 5 places  
 Puissance de moteur : 11,60kw  
 Couple : 136,82N.m  
 Vitresse maximale : 20,41 $\approx$  30 m/s  
 poids à vide : 1392 kg  
 Poids avec passagers : 1700 kg

Figure V.4 : Fiche technique du véhicule

## V.7. Installation solaire pour véhicule

### V.7.1. La consommation

Pour alimenter un taxi par système photovoltaïque, Où le taxi circule sur la route d'Amara Hamida, province de Mostaganem, Algérie, située à une latitude de 35,96° nord, tout d'abord, nous devons connaître la consommation d'énergie totale du taxi par jour comme indiqué dans le Tableau V.4.

Le taxi travaille à 8 :00 AM jusqu'à 18 : 00 PM.

**Tableau V.3 : La consommation journalière d'un taxi solaire**

|                                | Photo  | Nombre | Heur/Jour | Puissance(w) |
|--------------------------------|--|--------|-----------|--------------|
| Projecteurs devant et derriere |   | 4      | 2         | 20           |
| Climatisation de voiture       |   | 1      | 2         | 80           |
| Radio MP3                      |   | 1      | 3         | 5            |
| Moteur                         |   | 1      | 5         | 10600        |
| Total                          |  | 8      | 11        | 10705        |

Alors :

|                      |                                    |                |                 |
|----------------------|------------------------------------|----------------|-----------------|
| Energie consommée    | $E_c = P \times T$ (wh)            | 53335 wh /Jour | 53,335 kwh/Jour |
| L'énergie à produire | $E_p = E_c + 25\% \times E_c$ (wh) | 66668 wh/Jour  | 66,67 Kwh/Jour  |
| Type de tension      | $E_c > 2000W$                      | $U = 48v$      |                 |
| Capacité batterie    | 1370 Ah                            |                |                 |

### **V.8.La zone disponible pour mettre les panneaux sur le toit de la voiture**

Comme le toit du véhicule est propagé par des panneaux solaires, les calculs ci-dessous permettent de calculer la taille de l'énergie solaire panneau:

Spécifications du véhicule :

Longueur(L)= 4.086 m et la Largeur(l) = 1.788m :

Supposons 80% de la superficie.

Surface disponible :

$$(S_d) = L * l * 0.8 = 7,31 \text{ m}^2$$

(V.16)

## V.9. Dimensionnement de panneaux photovoltaïque

Dans le taxi on utilise ce type de panneau :

### DONNÉES TECHNIQUES

| Données                        | Valeur  |
|--------------------------------|---|
| Puissance nominale             | 250W  |
| Tolérance / tri positif        | + 0 / 6W  |
| Rendement du panneau           | 15,05%  |
| Type de cellule                | Silicium polycristallin                             |
| Taille des cellules            | 60pcs   |
| Voltage Mpp                    | 30,64V  |
| Intensité Mpp                  | 8,17A   |
| Intensité de court-circuit     | 8,69A   |
| Voltage circuit ouvert         | 37,83V  |
| Garantie                       | 12 ans  |
| Test STD                       | AM1.5, 25°C, 1000W/m <sup>2</sup>                   |
| Tension max                    | 1000V DC  |
| Taille (Long. x Larg. x Haut.) | 1640 x 992 x 40 mm                                  |
| Cadre                          | Aluminium silver, pré-percé                         |
| Poids                          | 20 kg   |
| Garantie de puissance          | 12 ans à 90% et 25 ans à 80%                        |
| Diodes anti-retour             | 3   |
| Boîtier de jonction            | étanche IP65: câbles AWG 1 mètre et connecteurs MC4 |

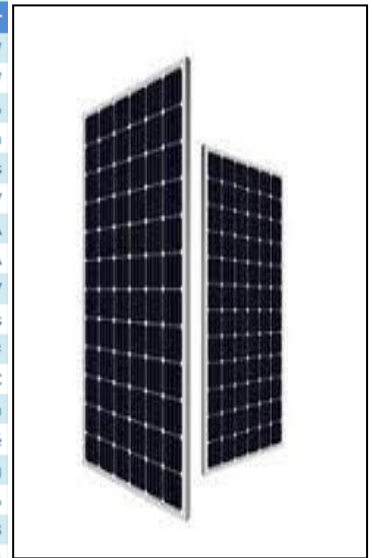


Figure V.5 : Fiche technique de panneau photovoltaïque. [30]

Taille du panneau solaire : L = 1,640 m et W = 0,992 m

Chaque panneau Pmax = 250 W, Voc = 37,83 v et Icc = 8,69 A

Surface du panneau solaire : (PV) = L\*W = 1,63 m<sup>2</sup> (V.17)

### V.9.1. Le nombre total des modules utilisés Nt

Nombre de panneaux solaires maximum installés sur le toit :

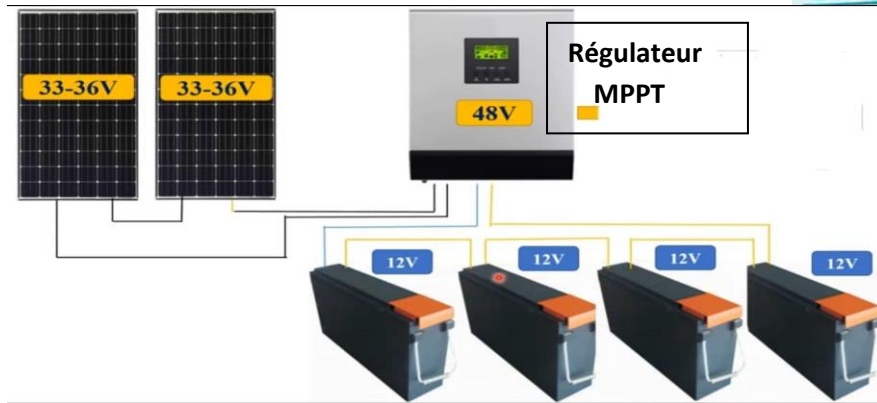
**Nt = 4 panneaux** (V.18)

### V.9.2. Branchement du panneau solaire

**IMPORTANT** : Toujours connecter les batteries au régulateur AVANT le(s) panneau(x) solaire(s).

Terminez la configuration du régulateur avant de brancher les panneaux solaire.

Puisque notre installation besoin un voltage de 48 v, d'après la fiche technique de PV qu'on a choisi, On a Voc = 37,83 V alors nous faisons deux panneaux en série pour augmentiez la tension et deux en parallèle pour augment le courant.



**Figure V.6 : Branchement du panneau solaire en série. [31]**

Pour connecter le panneau, nous avons besoin de deux rallonges suffisamment longues pour couvrir la longueur entre le contrôleur de charge solaire et le panneau solaire. Pour chaque extension, nous avons besoin de :

Le premier câble serti MC4 Male est connecté à la borne négative (-) du régulateur.

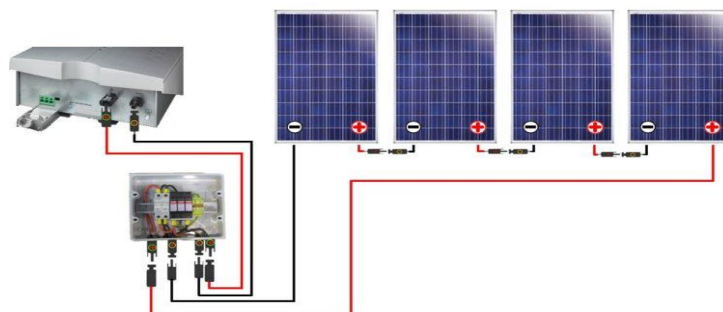
Un deuxième câble serti avec une borne MC4 femelle est connecté à la borne positive (+) du régulateur.

On fait deux ensembles de deux planches en parallèle, comme dans le schéma ci-dessous :

Chaque ensemble de 2 cartes aura un pôle positif (+) monté sur le connecteur MC4 Y.

Chaque ensemble de 2 cartes aura son pôle négatif (-) vissé dans le connecteur MC4 Y.

Nous connectons le MC4 Y aux extensions respectives en commençant par le régulateur fabriqué précédemment.



**Figure V.7 : Branchement des panneaux solaires en parallèle. [32]**

### **Remarque**

Il est préférable de ne pas dépasser une longueur de 12m de câble entre les panneaux solaires et le régulateur, sous peine de voir la puissance du panneau solaire se consommer dans le câble.



### V.9.2.1. Le Nombre de modules PV en série

Consommation totale de taxi = 53,335 kwh/J >> 2000 w

Donc :  $V_{Batterie} = 48 \text{ v}$

$V_{panneaux} = 37,83 \text{ v}$

Alors :  $N_{MS} = V_{Batterie} / V_{panneaux}$  (V.19)

**$N_{MS} = 2 \text{ panneaux série}$**  (V.20)

### V.9.2.2. Le Nombre de modules PV en parallèle

$$N_{MP} = \frac{N_T}{N_{MS}} \quad (V.21)$$

**$N_{MP} = 2 \text{ panneaux série}$**  (V.22)

### V.9.3. Récapitulation des résultats du panneau

|   |       |                         |
|---|-------|-------------------------|
| Puissance unitaire du module (PU) :       | 250   | W                       |
| Eclairement global incident (Ei) :        | 4,6   | kWh k m <sup>-2</sup> j |
| Puissance maximale (Pm)                   | 9,3   | KW                      |
| Puissance crête du générateur PV (Pc)     | 10,95 | KWc                     |
| Energie fournie par le générateur PV (Ej) | 32,74 | KWh                     |

Donc :

|                              |                          |                |
|------------------------------|--------------------------|----------------|
| Taille du panneau solaire    | 1,63                     | m <sup>2</sup> |
| Nombre de module P.V         | 4 (2 série, 2 parallèle) | Panneaux       |
| Poids du parc photovoltaïque | 80                       | kg             |

## V.10. Dimensionnement de Batterie

|   |                    |       |
|---|--------------------|-------|
| Type batterie                                 | batteries au plomb |       |
| Autonomie (Nj)                                | 10                 | Heurs |
| Tension d'utilisation (U)                     | 48                 | V     |
| Coefficient de décharge de la batterie (dp) : | 0,8                |       |
| Capacité du parc batterie ( C )               | 1370               | Ah    |

### V.10.1. Choix de batterie

Dans cette étude, nous avons utilisé des batteries au plomb (Deep Cycle) qui sont utilisées uniquement pour les voitures solaires, et elles ont également l'avantage d'une charge et d'une décharge à cycle unique (longue durée de vie), également :

Le courant de charge et de décharge est faible.

Temps de décharge et de charge longs (généralement plus de 20 heures).  
 Longue durée de vie (plus de 1500 cycle).  
 L'autodécharge doit être faible. [33]

|                |                           |                     |                             |
|----------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
| N° de Modèle.  | OpzV2-350                 | Installation        | Fixé                        |
| Rechargeable   | Chargeable                | Battery Model       | Opzv2-350                   |
| Voltage        | 2V (Opzv Battery)         | Capacity            | 350ah (Tubular Gel Battery) |
| Weight         | 28kgs                     | Warranty            | 3 Years                     |
| Life Span      | 20-25 Years               | Brand Name          | Cspower/OEM                 |
| 80% Dod        | Over 2000 Cycles          | Working Temperature | -20 -70 Degree              |
| Certificate    | ISO9001, ISO14001, UL, Ce | Paquet de Transport | Opzv Battery Carton         |
| Spécifications | CE, UL, ISO               | Marque Déposée      | CSPOWER/OEM                 |



Figure V.8 : Fiche technique de batterie. [34]

#### V.10.1.1. Nombre de batterie en série

$Nbs = V \text{ max} / V \text{ Batterie choisi}$

$$= 48/12 = 4 \text{ batterie série}$$

(V.23)

Nous connectons 4 batteries en série pour obtenir 48V



Figure V.9 : Connexion de la batterie. [35]

#### V.10.1.2. Nombre de batterie en parallèle

$Nbp = \text{Capacité du parc batterie} / \text{Capacité d'une batterie choisi}$

$$= 1370/350 = 3,9 \approx 4 \text{ batterie parallèles}$$

(V.24)

### V.11. Dimensionnement de régulateur

Doit être installé le régulateur dans un endroit sec et bien ventilé, aussi près que possible des batteries mais pas dessus. Conserver un espace libre d'au moins 10cm autour de l'appareil pour son refroidissement.

### V.11.1. Choix de Régulateur

Le régulateur de charge MPPT est la meilleure solution sur le marché. Il contrôle le courant et la tension à la sortie des panneaux. La technologie MPPT offre à votre régulateur solaire une très haute performance. Il calcule en temps réel les points de puissance optimal pour délivrer toute la puissance aux batteries. De plus, le régulateur MPPT permet une utilisation totale de la tension des panneaux. Victron Energy est l'un des pionniers de cette technologie.

Les câbles reliant le régulateur aux batteries ne doivent pas mesurer plus de 2 m de long. Sinon utiliser une section de câble plus importante (6mm<sup>2</sup> jusqu'à 5m de long).

Résultat final :



Figure V.10 : Branchement de régulateur avec les batteries. [35]

### V.11.2. Les résultats des calculs de régulateur

Dans la fiche technique de panneaux on a :

- Puissance de panneaux ; 250 W.
- Intensité Mpp de : 8,17 A.
- Voc= 37,83 v.

|                                   |                                    |         |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------|
| La puissance entrees à régulateur | $P_p = V_{oc} \cdot I_{Mpp}$       | 309,1 w |
| La puissance sortie de régulateur | $P_s \approx P_p + 10\% \cdot P_p$ | 340 W   |
| Courant de sortie de régulateur   | $I = P_s / U_{bat}$                | 7,1 A   |

### **V.12. Interprétation des résultats**

Ici l'angle  $\sigma$  est égal à 0 degré, ce qui signifie que la voiture roule sur un terrain plat et  $\sigma$  égale  $6,63^\circ$  la voiture roule sur un plan incliné, on voit que la puissance de la voiture est élevée si la voiture roule sur un terrain incliné. Par exemple : la puissance crête  $P_c$  est de 10,95 KWc, la puissance fournie par le générateur photovoltaïque est de 32,74 KWh et la masse du parc photovoltaïque est de 80 kg (donc la masse de la voiture doit être supérieure à cette masse) ; Après le calcul, la capacité de la batterie est de 1370,31 Ah.

Plus la valeur de l'angle  $a$  augmente, c'est à dire que la voiture roule dans une route en pente, la puissance de la voiture doit augmenter d'où la nécessité de l'étude de stabilité des résultats obtenus.

Il faut donc déterminer la variation de l'angle  $a$  en fonction masse et la variation de la vitesse en fonction de la puissance.

On obtient d'après le tableau la puissance crête du générateur PV ; on a également l'énergie fournie par le générateur PV et la capacité du parc batterie. En fixant la puissance maximale obtenue précédemment, on peut calculer l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontal.

### **V.13. Conclusion**

Ce que l'on doit retenir de cette étude, c'est tout d'abord les grandeurs mises en jeu. Avec un  $C_x$  de 0.12 et une surface frontale de  $1 \text{ m}^2$  pour atteindre la vitesse de  $20,41 \text{ m/s}$ , il faut fournir une puissance mécanique d'environ 11,60 KW.

Ensuite le  $C_x$  joue un rôle très important pour le fonctionnement à puissance constante une variation de celui-ci peut faire chuter la vitesse. La perte de vitesse occasionnée par les frottements des pneumatiques est directement proportionnelle au poids du véhicule (courbe linéaire).

La dynamique (accélération) joue aussi un rôle non négligeable sur la consommation.

En tenant compte des conditions posées dans les hypothèses:

La surface frontale :  $1 \text{ m}^2$  ;

Le rendement du moteur : 0,85 ;

Le poids du véhicule avec charge : 1700 kg ;

La masse du véhicule à vide : 1392 kg ;

La vitesse moyenne :  $20 \text{ m/s}$  ;

L'autonomie de batterie : 10 heures

L'état de la route : horizontale et incliné.

Notre système de calcul donne les caractéristiques des différents composants de notre véhicule solaire électrique :

- ☒ Le couple total  $C$  résistant à l'avancement du véhicule :  $C = 136,82[\text{Nm}]$ .
- ☒ La puissance utile du moteur :  $P_m = 9,3 [\text{KW}]$ .
- ☒ La puissance crête du générateur Photovoltaïque :  $P_c = 10,95[\text{KWc}]$ .
- ☒ L'énergie fournie par le générateur du photovoltaïque :  $E_j = 32,74[\text{KWh}]$ .
- ☒ La capacité de la batterie :  $1370 [\text{Ah}]$ .

## ***Conclusion générale***

Les véhicules solaires offrent une alternative aux problèmes de pollution et de ressources en énergie.

Cette mémoire présente les exigences de conception de base pour un véhicule à énergie solaire (taxi). Les modèles de véhicules électriques existants sont pris comme référence pour le développement du modèle proposé. Des calculs tels que la surface du toit de la voiture sont calculés pour l'installation de panneaux solaires. Le nombre total de panneaux installés sur le toit du véhicule est calculé.

Le véhicule peut être utilisé à la capacité nominale spécifiée à l'aide de la batterie. La charge totale et la tension nominale de la batterie sont calculées et le nombre de cellules nécessaires pour atteindre la valeur nominale de la batterie est calculé.

L'ensemble disponible de moteurs adaptés pour faire fonctionner le taxi solaire est reconnu et choisi le moteur approprié.

La quantité d'énergie provenant des panneaux solaires est assez limitée, toute perte d'énergie est à limiter. C'est pourquoi l'étude d'un tel véhicule fait en permanence référence au rendement des différents éléments qui le composent.

Dans cette étude, nous avons élaboré un système de calcul permettant de déterminer les principaux composants constituant le véhicule solaire.

Nous avons également étudié la somme des forces qui présentent la consommation du moteur et la performance d'un véhicule de 1000Wc. Ainsi, nous avons trouvé que la pente de la route a une influence considérable sur la vitesse, la charge et la puissance de notre véhicule.

Nous avons essayé d'étudier tous les composants d'une voiture solaire et de montrer les différents aspects de son fonctionnement.

Le véhicule solaire électrique est encore limité en puissance. Il fait appel aux technologies les plus performantes pour la conception de structures ultra légères, de moteurs et de convertisseurs à très haut rendement et de semi-conducteurs à haut rendement pour la conversion de l'énergie solaire en électricité.

En termes de progrès, beaucoup cherchent à développer des voitures solaires et les panneaux solaires contenant des capteurs de chaleur. Ces panneaux s'inclinent automatiquement vers le soleil pour capter la plus grande quantité possible de rayonnement solaire.

Notre étude s'est limitée à une route courte et à une vitesse constante, alors nous n'aurions pas de mal à stocker de l'énergie car le taxi s'arrête à la gare, aux feux tricolores et cela aide les batteries à stocker l'énergie.

Dans le cas où la distance parcourue est longue, la puissance nécessaire au taxi est fournie par batteries.

Notre étude dans le domaine des voitures solaires ne s'arrête pas là, voici un petit exemple de voiture solaire.

À l'heure actuelle, des panneaux solaires sont utilisés pour alimenter des autobus de voyage composés de tous les appareils électriques, Il est également utilisé dans les voitures de course car il fournit à la voiture une vitesse de lancement très élevée.

Donc nous proposeront pour la poursuite de notre PFE certaines perspectives :

- Dimensionnement du taxi solaire sans négliger certaines hypothèses simplificatrices
- Proposer des stations de recharges dans des positions optimales
- Etude économique sur le cout du véhicule solaire et faire une comparaison avec celle conventionnelle.

## Bibliographie

- [1] .Ben Mansour, S .Barbar, S. & (17 Avril 2019). Conception et réalisation d'un véhicule solaire.
- [2] . Raphaëlle javel, (2016). Histoire des véhicules et des aventures solaire
- [3] .<https://www.solartaxi.com/>
- [4].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PJ7WLWNtPIUJ:https://www.planetsolar.swiss/wpcontent/uploads/2017/01/Histoire\\_v%25C3%25A9hiclessolaires\\_Vweb\\_tirage.pdf+%amp;cd=3&hl=fr&ct=clnk&gl=dz](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PJ7WLWNtPIUJ:https://www.planetsolar.swiss/wpcontent/uploads/2017/01/Histoire_v%25C3%25A9hiclessolaires_Vweb_tirage.pdf+%amp;cd=3&hl=fr&ct=clnk&gl=dz)
- [5].[https://www.google.com/search?q=voiture+de+Marc+M%C3%BCller&sxsrf=ALiCzsb7FTW4MC9nxraEkXisyiZTp4buw:1655084161082&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjeivr7pKn4AhUGgv0HHcq5Dk0Q\\_AUoAXoECAEQAw&biw=784&bih=448&dpr=1#imgrc=-5zDIIqZeg\\_JnM](https://www.google.com/search?q=voiture+de+Marc+M%C3%BCller&sxsrf=ALiCzsb7FTW4MC9nxraEkXisyiZTp4buw:1655084161082&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjeivr7pKn4AhUGgv0HHcq5Dk0Q_AUoAXoECAEQAw&biw=784&bih=448&dpr=1#imgrc=-5zDIIqZeg_JnM)
- [6]. Raphaëlle javel, .(2016) . Histoire des véhicules et des aventures solaire
- [7]. Ben Mansour, S .Barbar, S. &(17 Avril 2019) . Conception et réalisation d'un véhicule solaire.
- [8].Ramilisoa.Mamiunirina.Juliem .(12 Septembre 2002) .Etude la voiture solaire
- [9]. Ben Mansour, S .Barbar, S.&(17 Avril 2019) . Conception et réalisation d'un véhicule solaire.
- [10].Ramilisoa.Mamiunirina.Juliem . (12 Septembre 2002) .Etude la voiture solaire
- [11].<http://www.quelleenergie.fr/economies-energie/panneaux-solaire>
- [12].Ramilisoa.Mamiunirina.Juliem .(12 Septembre 2002) .Etude la voiture solaire
- [13].<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:blvRIwKBDdAJ:https://www.laboutique-solaire.com/+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=dz>
- [14].Ramilisoa.Mamiunirina.Juliem . (12 Septembre 2002) .Etude la voiture solaire
- [15]. MERAD Faiza .Sujet, Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem. Soutenu le 03 /07 /2013



[16].<https://fr.weatherspark.com/y/42391/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Mostaganem-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>

[17].<https://www.google.com/maps/dir/CITE+HLM,+Route+Amara+Hamida,+Mostaganem/Centre+Ville,+Mostaganem/@35.92966,0.0898147,1990m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x12820265135fc501:0xa96380d5b066e21f!2m2!1d0.1038185!2d35.9277948!1m5!1m1!1s0x12820211cae2394d:0xd7ed005b387319d1!2m2!1d0.0916159!2d35.9308332!3e0>

[18].<https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/mostaganem/mostaganem-3699/>

[19]. [https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/forces\\_physiques.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/forces_physiques.php)

[20].[https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force\\_de\\_roulement.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force_de_roulement.php)

[21].[https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force\\_aerodynamique.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force_aerodynamique.php)

[22].[https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force\\_dacceleration.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force_dacceleration.php)

[23]. [https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force\\_de\\_freinage.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force_de_freinage.php)

[24].[https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force\\_de\\_gravite.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force_de_gravite.php)

[25].[https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force\\_motrice.php](https://ecomobile.gouv.qc.ca/fr/fondements/force_motrice.php)

[26].<https://www.youtube.com/watch?v=SNgXqF5kel0>

[27]. <https://www.youtube.com/watch?v=WEnPqoWRxfI>

[28].<https://www.youtube.com/watch?v=W7CIQQZsR7A>

[29].Ramilisoa.Mamiunirina.Juliem . (12 Septembre 2002) .Etude la voiture solaire

[30].<https://www.google.com/search?client=firefoxbd&q=Fiche+technique+de+panneau+photovolta%C3%AFque>

[31]. <https://www.youtube.com/watch?v=3tL9jfQ3bFI>

[32].[https://www.google.com/search?q=Branchement+des+panneaux+solaires.&client=firefox-b-d&sxsrf=ALiCzsZnPgl0L37SITG7TViPbc42-3uKyg:1656524150236&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi\\_zaSsmdP4AhUVXvEDHZVHBkoQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1024&bih=515&dpr=1.25#imgrc=KYM SNZgTH4i9LM](https://www.google.com/search?q=Branchement+des+panneaux+solaires.&client=firefox-b-d&sxsrf=ALiCzsZnPgl0L37SITG7TViPbc42-3uKyg:1656524150236&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi_zaSsmdP4AhUVXvEDHZVHBkoQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1024&bih=515&dpr=1.25#imgrc=KYM SNZgTH4i9LM)

[33]. <https://www.youtube.com/watch?v=2IdmIjCu5Wo>

[34]. <https://www.madeinchina.com/productdirectory.do?word=DEEP+CYCLE+350+AH&file=&searchType=0&subaction=hunt&style=b&mode=and&code=0&comProvince=nolimit&order=0&isOpenCorrection=1&org=top>

[35]. [https://www.myshop-solaire.com/guide-de-montage-kit-solaire-autonome-48v-1500w-\\_r\\_79\\_a\\_27.html](https://www.myshop-solaire.com/guide-de-montage-kit-solaire-autonome-48v-1500w-_r_79_a_27.html)