

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

N° :.....



**DOMAINE : SCIENCE
TECHNOLOGIE**

FILIERE : HYDRAULIQUE

**OPTION : MAINTENANCE DES
INSTALLATIONS HYDRAULIQUES**

Mémoire Présenté Pour L'obtention

Du Diplôme De Mastre Académique

Par : - ABDERAHIM Azzeddine

- AMROUNE Bilal

Étude d'alimentation d'une station de pompage en énergie solaire et sa maintenance

Soutenu devant le jury composé de :

MANARI Abdelmalek

Université De M'sila

Président

MEHDI Djalel

Université De M'sila

Examinateur

ISSAAD Azzouz

Université De M'sila

Rapporteur

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

Merci beaucoup avant tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et nos chaleureux remerciements à notre promoteur Monsieur ISSAAD Azouz, qui nous a guidé et orienté tout au long de la réalisation de ce travail en prodiguant ses précieux conseils et ses vifs encouragement et surtout sa gentillesse.

Nos sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail. Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien tout moral et matériel...

Dédicace

Nous dédions ce travail modeste

Pour nos chaudières mères source de tendresse

Pour nos chaudières pères, qui encouragé nous

Dans les instants délicats

A nos chers frères

A nos tantes et oncles

À tous les membres de nos familles

A tous les amis

Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
ملخص	
Résumé.....	
Abstract.....	
Introduction générale	1
CHAPITRE I : L'énergie solaire	
I. Introduction.....	4
II. Le soleil	5
II.1 Le noyau.....	5
II.2 La zone radiative.....	5
II.3 La zone de convection.....	6
II.4 La photosphère.....	6
II.5 Energie solaire.....	6
II.6 Les avantages de l'énergie solaire.....	7
II.7 Les inconvénients de l'énergie solaire.....	8
II.8 Rayonnement solaire	8
II.9 Principes de calcul de l'énergie solaire.....	8
II.10 Déclinaison.....	8
II.11 Le temps solaire vrai.....	9
II.12 La durée et le taux d'insolation.....	9
II.13 Position du soleil	10
II.14 Azimut du soleil (α)	10
II.16 Rayonnement hors atmosphère	11
II.17 L'éclairement.....	11
II.18 L'irradiation horaire.....	11
II.19 L'irradiation journalière.....	11
II.20 L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère.....	12
II.21 Le rayonnement solaire en présence de l'atmosphère.....	12
II.22 L'indice de clarté.....	12
III : conclusion.....	13

CHAPITRE II : Les composants d'un kit solaire

II.1 Introduction	14
II.2 Le générateur photovoltaïque GPV.....	14
II.3 Constitution d'un générateur photovoltaïque	16
II.4 Notion électrique	20
II.5 Quelques notions électriques.....	21
II.6 Système de phase.....	22
II.7 Les effets du courant	22
II.8 Les batteries	25
II.9 Les onduleurs	28
III.10 : conclusion.....	36

CHABITRE III : le groupe motopompe

III.1 Introduction	37
III.2 Définition d'une machine électrique	37
III.3 Classifications des machines électriques	37
III.4 Le pompage photovoltaïque	42
III.5 conclusion	46

CHABITRE IV : dimensionnement d'un kit solaire réel

IV.1 Introduction	47
IV.2 Situation géographique	47
IV.3 Milieu physique	47
IV.4 Dimensionnement complet de l'installation	50
IV.5 Estimations des besoins en eau	50
IV.6 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise	51
IV.7 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise	51
IV.8 Détermination de l'énergie solaire disponible	52
IV.9 Taille du générateur photovoltaïque	52
IV.10 Méthode analytique	52
IV.11 Calcul de la puissance en watts crêtes que doit avoir le champ	53
IV.12 Dimensionnement de la pompe	55
IV.13 Dimensionnement des stations de pompage solaire	55
IV.14 Situation géographique du forage	56
IV.15 Choix de la pompe	57
IV.16 Calculer la puissance crête de la pompe	59
IV.17 Choix des panneaux solaire	59
IV.18 Caractéristiques du panneau type CEM300-72	59
IV.19 Taille du générateur PV	60
IV.20 Nombres de modules	60

IV.21	Nombre des batteries	61
IV.22	Correction de la puissance crête	63
IV.23	Conclusion	65
CHABITRE V : la maintenance de kit solaire		
V.1	Introduction.....	66
V.2	Les concepts de base de la sureté de fonctionnement (SDF).....	66
V.3	Qu'est-ce que la maintenance	66
V.4	Définition de la maintenance	68
V.5	Les objectifs de la maintenance	68
V.6	Les différents types de Maintenance	69
V.7	La sûreté de fonctionnement	73
V.8	Fiabilité	74
V.9	Signification des déférents paramètres :.....	76
V.10	La Maintenabilité :.....	77
V.11	La sécurité	80
V.12	Méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement	81
V.13	Réseaux de pétri (RDP)	81
V.14	Analyse des Modes de Défaillances de leur Effets et de leur Criticité (AMDEC)	82
V.15	Méthode des arbres de défaillances (ADD)	82
V.16	Système Solaire Autonome	83
V.17	Équipement de génération d'énergie :.....	83
V.18	Maintenance préventive.....	83
V.19	Armoire électrique et boîtiers	84
V.20	Equipement de protection	85
V.21	Maintenance prévisionnelle	85
V.22	Maintenance corrective	85
V.23	La maintenance préventive	87
V.24	Maintenance corrective	89
V.25	Tâches typiques pour la maintenance des batteries	89
V.26	Système de régulation	93
V.27	Interprétation d'équipement de surveillance	95
V.28	Conclusion.....	96
V.29	Les défauts de la machine asynchrone	96
V.30	Défauts de la chaine de transmission.....	103
V.31	Conclusion.....	105
	Conclusion générale.....	106

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Caractéristiques physique et chimique de la Soleil.....	5
Tableau 1.2 : Liste des jours types par mois proposés par Klein.....	12
Tableau 2.1: Caractéristiques des fusibles ou disjoncteurs	23
Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients Courant Alternatif- Continu.....	25
Tableau 3.1: caractéristiques du moteur asynchrone de type LEROY SOMER LS90 Lz.....	42
Tableau 4.1 : Diagramme d'estimation des besoins en eau.....	51
Tableau 4.2 : Caractéristiques d'une gamme de pompes GRUNDFOS.....	58
Tableau 4.3 - Caractéristique électriques du panneau solaire de type CEM300-72.....	59
Tableau 4.4 - Caractéristique mécanique du panneau solaire de type CEM300-72.....	60
Tableau 4.4- caractéristiques de l'onduleur Trio-Top.....	62
Tableau5.1 - les marges de la tension nominale.....	88

Liste des figures

Figure 1.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	7
Figure 1.2 Représentation du mouvement de la terre autour du soleil.....	9
Figure 1.3 : Position du soleil.....	10
Figure 2.1 : Coupe transversale d'une cellule PV.....	14
Figure 2.2 : Caractéristique courant – tension d'une cellule photovoltaïque.....	15
Figure 2.3 : Schéma équivalent de cellule PV.....	17
Figure 2.4 : Schéma équivalent de montage en série.....	18
Figure 2.4 : Schéma équivalent de montage en parallèle.....	19
Figure 2.5 : Schéma équivalent de montage en série et parallèle.....	19
Figure 2.5 : Schéma équivalent de montage en série et parallèle.....	19
Figure 2.6 : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC).....	28
Figure 2.7 : Principe de fonctionnement de l'onduleur autonome.....	28
Figure 2.8 : K en position (1).....	29
Figure 2.9 : Tension avec K en position (1) et (2).....	29
Figure 3.1 : schéma de fonctionnement des machines génératrices.....	38
Figure 3.2 : construction d'une machine à courant continu.....	39
Figure 3.3 : Construction d'un moteur asynchrone.....	41
Figure 3.4 : Plaque signalétique d'un moteur asynchrone.....	42
Figure 3.5 : Hauteur manométrique total.....	46
Figure 4.1 : Répartition mensuelle des pluies à M'sila.....	48
Figure 4.2 : Température moyenne mensuelle à M'sila.....	48
Figure 4.3 : Répartition mensuelles de L'évapotranspiration à station de m'sila.....	49
Figure 4.4 : Durée moyenne de l'ensoleillement à m'sila.....	49
Figure 4.5 : Les valeurs globales de l'irradiation moyenne mensuelle pour une inclinaison optimale.....	50

Liste des figures

Figure 4.6 : Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation SP30.....	54
Figure 4.7 : schéma et caractéristique de la pompe SP30-13.....	58
Figure 4.8 : l'onduleur solaire Trio-Top.....	63
Figure 4.9 : Les étapes du calcul de kits solaire.....	64
Figure 4.9 : Schéma synoptique simplifié de Pompage PV.....	65
Figure 5.1 : Cout de la maintenance.....	68
Figure 5.2 : Organigramme types de maintenance.....	70
Figure 5.3 : Concept de la FMDS.....	73
Figure 5.4 : Performance et défaillance d'un dispositif.....	75
Figure 5.5 : Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β	76
Figure 5.6 : Allure d'un taux de défaillance « en baignoire ».....	76
Figure 5.7 : Chronologie des temps des activités de maintenance.....	77
Figure 5.8 : La disponibilité.....	79
Figure 5.9 : Les trois types de disponibilité.....	80
Figure 5.10 : Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence....	81
Figure 5.11 : La distribution des défauts dans les machines électriques.....	97
Figure 5.12 : Distribution des défauts des machines asynchrones fonctionnant dans l'industrie pétrochimique.....	97
Figure 5.13 : Vue éclaté de la machine asynchrone.....	98
Figure 5.14 : Vue éclatée des éléments constitutifs d'un roulement à billes.....	102
Figure 5.15 :L'excentricité statique et excentricité dynamique.....	102
Figure 5.16 : Le défaut d'alignement des arbres.....	103
Figure 5.17 : défaut de désalignement des paliers.....	104
Figure 5.18 : Engrenage à denture droite.....	104

ملخص

الطاقة والمياه من أهم العناصر الأساسية و الضرورية للحياة. نظرا للتزايد المستمر في الطلب الماء و الطاقة والنضوب المستقبلي المحتمل للمصادر التقليدية، حيث أصبح من الضروري البحث عن مصادر بديلة لإنتاج الطاقة وذلك عن طريق استغلال الطاقات المتجددة مثلا. ومن بين الطاقات المتجددة الطاقة الشمسية التي تعتبر من أهم المصادر استعمالا لما لها من مميزات كثيرة.

هذا البحث هو دراسة تقنية لإمكانية إنجاز محطات لضخ المياه تعمل بواسطة الطاقة الشمسية (الكهروضوئية) ومن أجل هذه الدراسة قمنا باختبار بئر يقع في منطقة اولاد مهدي دائرة الشلال ولاية المسيلة واجرينا عليه هذه الدراسة، حيث تعتبر ولاية المسيلة ولاية ذات طابع فلاحي لما لها من مؤهلات طبيعية خاصة ولأنها تتميز بمناخ شبه جاف و قلة تساقط الامطار فيها حتم على السكان اللجوء الى المياه الجوفية التي تتمتع بها المنطقة كما ان الجزائر تعتبر من بين الدول الكبرى التي تمتلك معدل كبير في الطاقة الشمسية فهي تتعرض لحوالي 170 تيرا وات سنويا.

إن الاهتمام باستعمال مثل هذه الأنظمة الطاقوية النظيفة و اللامركزية يساهم في تنمية اقتصاد البلد، حيث يجعل إمكانية إنتاج الطاقة والوصول إلى الماء متاح على جميع مناطق البلد خاصة المناطق المعزولة ، كما يساهم في الاستقرار السكاني للمدن.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية, مولد كهروضوئي, مجموع محرك مضخة , الصيانة

Résumé

L'énergie et l'eau des éléments les plus importants et essentiels nécessaires à la vie. Compte tenu de l'augmentation continue de la demande d'eau et d'énergie épuisement potentiel futur des sources traditionnelles, où il est devenu nécessaire de chercher des sources alternatives de production d'énergie grâce à l'exploitation des énergies renouvelables, par exemple. Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire, qui est l'une des sources les plus importantes largement utilisés en raison de ses nombreux avantages.

Cette recherche est une étude technique de la possibilité d'achèvement des stations de pompage d'eau alimentés par l'énergie solaire (PV) et pour cette étude, nous avons choisi un forage situé dans la zone de ouled mahdi daïra de chellel wilaya M'sila et nous l'avons cette étude, qui est le mandat de l'état liquéfié des paysans de la nature en raison de leurs qualifications particulièrement naturel et il se caractérise par un climat semi-aride et le manque de précipitations qui a nécessité la population de recourir à des eaux souterraines dont bénéficie la région et l'Algérie sont parmi les grands pays avec un grand taux d'énergie solaire sont exposés à environ 170 Terra Watt par an.

L'intérêt pour l'utilisation de ces propres systèmes énergétiques et décentralisés contribue au développement de l'économie du pays, ce qui rend la possibilité de production d'énergie et l'accès à l'eau est disponible sur toutes les zones isolées spécifiques des régions du pays, contribue également à la stabilité de la population des villes.

Mots clés: énergie solaire, générateur PV, groupe motopompe, maintenance

Abstract:

The energy and water are the most important and essential elements necessary for life. Given the continuous increase in demand for water and energy potential future depletion of

traditional sources, where it has become necessary to seek alternative sources of energy production through the use of renewable energy, for example. Among renewable energies, solar energy, which is one of the most important sources widely used because of its many advantages?

This research is a technical study of the possibility of completion of water pumping stations fed by solar (PV) energy and for this study we chose a drilling located in the area of ouled mahdi दौरا of chellel wilaya M And we had this study, which is the mandate of the liquefied state of peasants of nature because of their particularly natural qualifications and is characterized by a semi-arid climate and lack of precipitation which required Population of using groundwater that benefits the region and Algeria are among the large countries with a high rate of solar energy are exposed to about 170 Terra Watt per year.

The interest in using these own decentralized energy systems contributes to the development of the country's economy, which makes the possibility of energy production and access to water available in all specific isolated areas Of the country, also contributes to the stability of the urban population.

Keywords: Solar energy, PV generator, pump unit, maintenance

Introduction générale :

L'eau constitue une grande partie de la surface de la Terre jusqu'à 75% soit les trois quarts de la surface de la Terre, ces masses d'eau sont dans les océans, les mers, les lacs, les rivières, les sources. Cette proportion élevée ne contenant qu'environ 2.5% qui sont considérés comme eau potable. la recherche d'autres sources pures est d'une grande importance, en particulier dans le temps présent, et l'eau est la principale préoccupation de l'homme depuis les temps anciens en raison de son importance, car il n'y a pas d'existence de la vie sans eau ni la présence d'une activité sans eau. Plusieurs techniques ont été utilisées par l'homme au fil du temps pour se procurer ce précieux liquide qu'il soit souterrain ou de surface en creusant des puits ou en construisant des barrages de rétention d'eau de surface et malgré tout cela , plusieurs problèmes sont rencontrés et notamment le transfert de l'eau de sa source aux allées et venues ou son extraction des profondeurs à la surface . en plus, les besoins en eau ne se limitent pas uniquement aux besoins de l'homme mais aussi a l'activité agricole et industrielle ainsi que les besoins des animaux.

De nos jours, il nous semble que personne ne peut s'en douter sur l'importance de l'eau et de l'énergie pour les besoins humains. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie ne cesse d'augmenter. Ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse. En effet, plusieurs contraintes, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels, rendent la recherche d'une source d'énergie alternative indispensable pour cet type de sites .Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement. A partir de ce constat, il est nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées de nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie «verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles.

Dans notre étude nous avons opté pour un dimensionnement d'une station de pompage d'eau à partir d'un forage alimentée par l'énergie solaire et notre étude est répartie comme suit :

Dans la première partie nous allons parler des énergies utilisées dans le monde et l'énergie renouvelables plus particulièrement ainsi que l'option de l'énergie solaire comme énergie renouvelable et propre et son importance dans le monde et donner quelques-unes des caractéristiques physiques du soleil de la planète qui est la seule source de cette énergie et les avantages et les inconvénients. Après on parlera de la quantité de rayonnement située sur la surface du sol pour les exploiter sous forme d'énergie propre et renouvelable.

Dans la deuxième partie, nous allons parler du générateur photovoltaïque, qui est numéro un dans l'exploitation de l'énergie solaire en convertissant le rayonnement en énergie électrique et de toucher les composants et la base dont ils dépendent en plus des types de cellules solaires et son infrastructure en mettant l'accent sur le principe de l'utilisation et les moyens de les relier pour produire de l'électricité grâce à des panneaux solaires.

Ensuite et dans le troisième chapitre nous allons parler du groupe motopompe du débit de la pompe et du moteur électrique, ce qui est la partie des données de base qui nous permettra de faire notre calcul de dimensionnement,

Ensuite, nous parlons des types de pompes et les caractéristiques de chaque type de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de ces types.

Dans la quatrième chapitre, nous avons sélectionné un forage réel qui se trouve à Ouled mahdi commune de chellal wilaya de m'sila et nous allons faire une étude théorique dans laquelle on détermine la pompe par rapport au débit du forage et à partir de ces données on peut choisir les composants nécessaires du kit solaire pour faire fonctionner cette pompe et l'exploiter dans le domaine de l'irrigation.

En fin et dans le cinquième chapitre nous avons défini la maintenance dans le cas générale et les types de maintenances avec les méthodes réalisées et lui a alloué une partie de la façon dont l'entretien de groupe motopompe et du kit solaire est défini. En plus d'envisager les problèmes qui peuvent être rencontrés dans ce kit et la méthode d'entretien des panneaux solaires et d'entretien des appareils qui composent le kit comme les batteries, l'onduleur, le régulateur..... etc.

Chapitre I:

L'énergie solaire

I. Introduction:

De nos jours, l'homme a à sa disposition sur la Terre de nombreuses sources d'énergie. Les plus utilisées sont les énergies dites fossiles (charbon, pétrole, gaz) car non renouvelables et issues d'un long processus de transformation de la matière organique, parce qu'elles sont faciles à exploiter, et rentables. Cependant, pour différentes raisons, il s'avère que ces énergies ne peuvent plus être utilisées. Tout d'abord, les réserves d'énergie fossiles commencent à s'amoinrir. Ensuite, en raison de la très forte demande en provenance des pays en voie de développement comme la Chine et l'Inde pour ne pas les citer, les prix de ces énergies ne cessent d'augmenter, les rendant inabordables pour certaines personnes. Et puis, lors de leur utilisation, ces énergies émettent une grande quantité de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, notamment) qui participent fortement au réchauffement planétaire, qui devient un problème grandissant pour la Terre et les êtres vivants. De nombreuses énergies non polluantes, ou renouvelables, ou abondantes partout à la surface du globe pourraient pourtant être utilisées par l'homme. Entre autres, on distingue l'énergie éolienne, l'énergie nucléaire, l'énergie hydroélectrique et l'énergie solaire. Mais l'énergie éolienne n'est pas assez rentable, au sens qu'elle ne permet pas de produire beaucoup d'énergie par unité de surface. L'énergie nucléaire, même si elle a un fort rendement, produit des déchets très polluants et peu dégradables. De plus elle fait peur en raison des graves accidents qui peuvent se produire (catastrophe de Tchernobyl), et en raison du risque de prolifération nucléaire. L'énergie hydroélectrique a un bon rendement mais, un fort impact écologique et humain, n'est pas disponible partout, et la plupart des espaces qui lui sont propices sont déjà saturés de barrages. L'énergie solaire, elle est disponible partout à la surface du globe, en quantité égale dans l'année, et a un bon rendement grâce à la technologie actuelle. Elle est de plus facile à exploiter. Elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir. C'est pour cela que nous avons décidé de l'étudier plus en détail.

Chapitre I : L'énergie solaire

II. Le soleil :

Le Soleil est une étoile, la seule du système solaire, et la plus proche de nous. La plus proche après elle est Proxima du Centaure, située à 4,2 année lumière du Soleil.

Carte d'identité du Soleil		
Âge	4,6 milliards d'années	
Circonférence	4 372 544 km	
Diamètre équatorial	1 392 530 km	
Distance par rapport à la Terre	149 598 000 km	
Composition (éléments/ pourcentage)	Hydrogène	73,46%
	Hélium	24,85%
	Oxygène	0,77%
	Carbone	0,29%
	Fer	0,16%
	Néon	0,12%
	Azote	0,09%
	Silicium	0,07%
	Magnésium	0,05%
	Soufre	0,04%
	Autres éléments	0,01%
Température	Noyau	15 000 000 K
	Zone radiative	1 500 000 K
	Zone de convection et photosphère	6 000 K
Densité (eau=1)	1,41	

Tableau 1.1 - Caractéristiques physique et chimique de la Soleil.

II.1 Le noyau:

Il s'étend du centre à environ 0,2 rayon solaire. Sa masse volumique est supérieure à 150 000 kg/m³. C'est là qu'est produite l'énergie solaire.

II.2 La zone radiative:

Elle s'étend de 0,2 à 0,7 rayon solaire environ. Sa température est bien plus basse que celle du noyau, mais sa densité reste très forte. Cette zone joue un rôle important dans les transferts et le filtrage de l'énergie, du cœur vers la surface du Soleil.

II.3 La zone de convection:

Elle s'étend de 0,7 rayon solaire à 400 km de la surface du Soleil environ. Elle permet les échanges d'énergie entre la zone radiative et la photosphère. En raison de sa faible densité, les échanges dans cette zone se font par convection:

Les gaz chauds remontent à la surface, se refroidissent, puis redescendent, se réchauffent, remontent, et ainsi de suite.

II.4 La photosphère:

Elle s'étend sur les derniers 400 km du rayon de l'étoile. Une partie de la lumière visible que nous percevons y est produite. Elle est composée de gaz moins denses que les autres couches du Soleil.

II.5 Energie solaire:

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm). La figure (1-1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 Kilowatt au mètre carré (kW/m^2), à plus ou moins 3 %, selon que la Terre s'éloigne ou se rapproche du Soleil dans sa rotation autour de celui-ci.

L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1,2\text{kW}/\text{m}^2$ ($1200\text{W}/\text{m}^2$). La rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus.

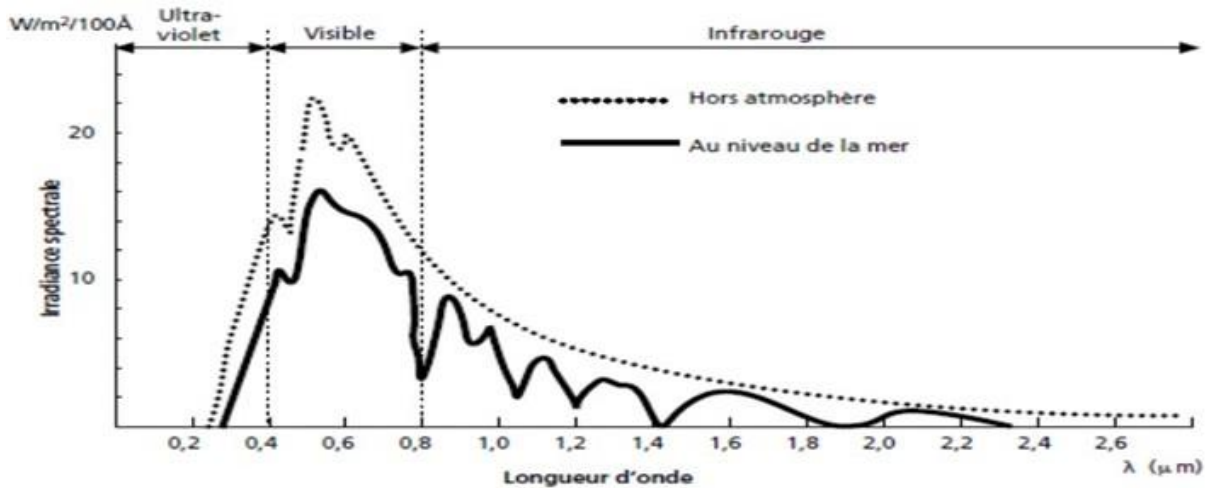


Figure 1.1 - Analyse spectrale du rayonnement solaire.

L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose donc un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible en outre, on ne peut l'emmagasiner ni le transporter.

Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie doit donc déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé et le moment où cette énergie est disponible.

Il faut d'abord comprendre l'effet de la rotation (moment de la journée) et de l'inclinaison (saison de l'année) de la Terre sur le rayonnement solaire.

L'absorption atmosphérique est plus faible lorsque le Soleil se trouve à son point le plus haut dans le ciel, c'est-à-dire plein sud dans l'hémisphère nord et plein nord dans l'hémisphère sud¹. En effet, la distance que doit parcourir le rayonnement dans l'atmosphère est plus courte lorsque le Soleil est directement au-dessus de l'endroit visé. C'est le « midi solaire », moment où le rayonnement solaire direct est le plus intense. Comme le Soleil est plus haut et que les journées sont plus longues en été, la quantité totale d'énergie reçue sur un plan horizontal y est plus grande qu'en hiver.

II.6 Les avantages de l'énergie solaire:

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante
- L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre
- Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation PV sont relativement faibles
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.

Chapitre I : L'énergie solaire

- Le rendement énergétique est positif : il faut en moyenne entre 3 et 4 ans pour que le panneau produise l'énergie nécessaire à sa fabrication et un panneau solaire produit en moyenne entre 9 à 14 fois l'énergie qu'il a consommé pour sa fabrication.

II.7 Les inconvénients de l'énergie solaire:

- Le coût d'investissement d'une installation solaire PV est relativement élevé
- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil
- Un cycle de vie en question : la durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. Le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an. De plus, les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques comme le cuivre, chrome, silicium, cadmium et tellure.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.
- Le prix des installations PV est très élevé.

II.8 Rayonnement solaire :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Pour effectuer le dimensionnement le plus exact possible, compte tenu des demandes en énergie à satisfaire, l'étude du gisement est le point de départ de toute investigation. Cette étude est très indispensable dans le domaine de l'énergie solaire afin de simuler le fonctionnement probable du système énergétique de s'assurer de son intérêt et de sa faisabilité.

II.9 Principes de calcul de l'énergie solaire:

Avant d'entrer dans le calcul de l'irradiation solaire, certains principes de base et définitions méritent d'être rappelés, notamment plusieurs variables qui seront mentionnées à plusieurs reprises par la suite.

II.10 Déclinaison:

La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. Sa valeur en degrés est donnée par l'équation de Cooper.

$$\delta = 23,45. \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad (\text{I.1})$$

Ou:

n: le numéro de jour dans l'année (c.-à-d. n =1 pour le 1er janvier, n=32 pour le 1er février.. etc.)

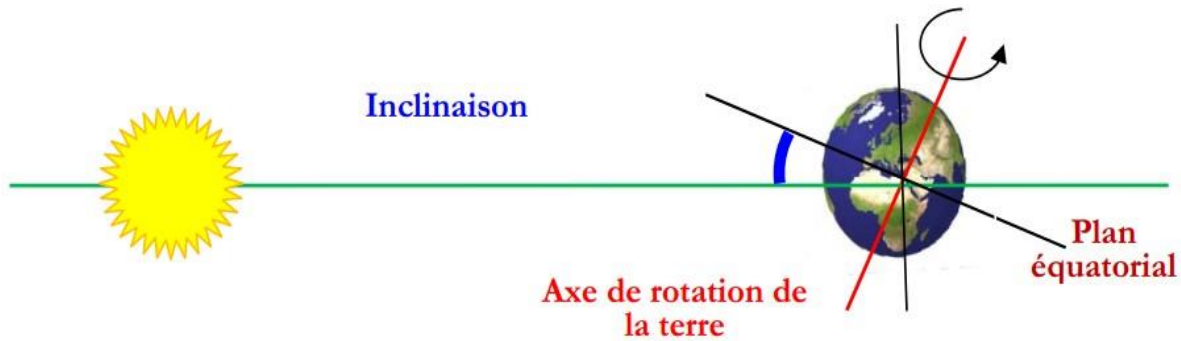


Figure 1.2- Représentation du mouvement de la terre autour du soleil.

II.11 Le temps solaire vrai :

Le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (direction Nord-Sud) a été nommé temps solaire vrai, on note TSV. Le temps solaire vrai est donc un temps local puisqu'il est lié directement à la rotation de la terre sur elle-même.

$$\text{TVS} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{I.2})$$

II.12 La durée et le taux d'insolation:

Par ciel clair et pendant la durée de jour d'ensoleillement S_0 (de lever au coucher du soleil), le sol reçoit le rayonnement solaire maximal. Mais la durée effective d'ensoleillement S d'une journée ordinaire est inférieure à cette durée maximale.

Le taux d'insolation est donné par l'expression:

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (\text{I.3})$$

La durée maximale S_0 est calculée par l'expression suivante :

$$S_0 = \left(\frac{2}{15}\right) \sin^{-1}(-\tan \psi \tan \delta) \quad (\text{I.4})$$

Avec:

ψ : La déclinaison

δ : L'attitude du lieu

L'angle horaire (ω):

Chapitre I : L'énergie solaire

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local. La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (donc un tour de 360° en 24 heures).

II.13 Position du soleil:

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

- La hauteur de soleil (h): angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal.

Cette angle s'annule au lever et au coucher du soleil et prend sa valeur maximale au midi solaire. (h) peut être déduite par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin \psi \cdot \sin \delta + \csc \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (\text{I.5})$$

L'angle horaire ω_s au lever de soleil s'obtient en écrivant $\sin(h)=0$

$$\cos \omega_s = -\tan \psi \tan \delta \quad (\text{I.6})$$

Où (δ) la déclinaison calculée d'après l'équation (I.1) et (ψ) la latitude du lieu.

II.14 Azimut du soleil (α) :

Angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.

$$\sin \alpha = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.7})$$

Ces deux angles sont représentés sur la figure suivant:

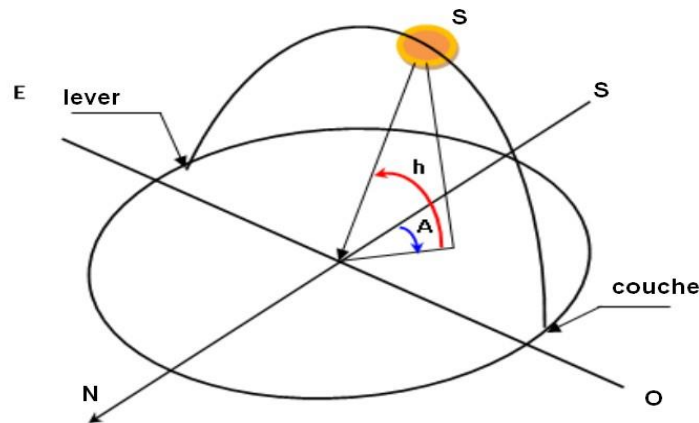


Figure 1.3- Position du soleil.

II.16 Rayonnement hors atmosphère:

Le rayonnement solaire parvient à la limite de l'atmosphère terrestre après un trajet dans l'espace d'environ 150.000.000 km, effectué en 8 minutes. Le flux de rayonnement intercepté par un récepteur plan perpendiculaire à la direction du soleil produit sur celle-ci un éclairage énergétique de l'ordre de 1367[w/m²]. Ceci est connu sous le nom de « constante solaire ». Cependant, la distance de la terre au soleil n'est pas constante tout au long de l'année, il en résulte que le rayonnement extraterrestre oscille par un pourcentage de 3%.

II.17 L'éclairement:

L'éclairement extraterrestre à la limite supérieure hors atmosphère, sur un plan horizontal, est calculé à partir de la constante solaire G_{sc} et de la facture de correction de la distance.

$$I = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{360} \right) (\cos \psi \cdot \cos \delta \cos \omega + \sin \psi \sin \delta) \text{ [w/m}^2 \text{]} \quad (\text{I.8})$$

Avec:

n : Le numéro de jour de l'année ($n=1$ pour le premier janvier, ...etc.)

G_{sc} : La constante solaire $G_{sc}=1367$ [w/m²].

II.18 L'irradiation horaire:

Pour une heure donnée, l'énergie reçue sur une surface horizontale se calcule par l'intégration de l'équation (1.8) entre deux angles horaires ω_1 et ω_2 . On obtient l'équation suivante :

$$I_0 = \frac{12,36}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{360} \right) (\cos \psi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_1 - \sin \omega_2) + (\omega_1 - \omega_2) \sin \psi \cdot \sin \delta) \quad (\text{I.9})$$

I_0 : est exprimée en [w/m².h]

II.19 L'irradiation journalière:

Pour un jour n donné, l'énergie reçue sur une surface horizontale H_0 est obtenue par l'intégration de l'équation (1.8) (de lever au coucher du soleil). On obtient :

$$H_0 = \frac{24}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cos 2\pi \frac{n}{360} \right) (\cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s + \sin \psi \cdot \sin \delta) \quad (\text{I.10})$$

Avec : l'angle solaire $\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \psi \tan \delta)$

G_{sc} : La constante solaire(w/m²).

δ : La déclinaison du soleil

ψ : Latitude de lieu.

n : Le numéro de jour de l'année compte à partir du le premier janvier.

Chapitre I : L'énergie solaire

II.20 L'irradiation journalière moyenne mensuelle hors atmosphère:

Le jour type du mois :

Une grandeur donnée, le jour type du mois est le jour du mois qui se rapprochant de la moyenne mensuelle de cette grandeur pour.

La liste des jours types proposés par Klein est représentée sur le tableau suivant:

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Jour type	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
N° de jour	17	46	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

Tableau 1.2 : Liste des jours types par mois proposés par Klein

II.21 Le rayonnement solaire en présence de l'atmosphère:

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire subit des phénomènes de diffusion et d'absorption par les molécules gazeuse, les aérosols, les gouttelettes et les poussières divers en suspension. Le rayonnement absorbé est transformé en chaleur et disparaît du bilan utilisable au sol.

Le rayonnement solaire reçu au sol est composé du rayonnement direct et diffus. Le diffus est lui-même décomposé en :

- Diffus provenant du ciel.
- Diffus provenant du sol.

L'ensemble du rayonnement direct et diffus représente le rayonnement global.

II.22 L'indice de clarté:

Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté. Les valeurs de ce dernier varient selon les endroits et les saisons : Indice de clarté horaire:

$$K_T = \frac{I}{I_0} \quad (\text{I.11})$$

Indice de clarté journalière:

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (\text{I.12})$$

Indice de clarté moyen mensuel :

$$K_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (\text{I.13})$$

Chapitre I : L'énergie solaire

Les données I, H, \overline{H} sont les valeurs mesurées de l'irradiation globale (horaire, journalière et moyenne journalière) sur une surface horizontale. Ces données sont généralement disponibles et peuvent être mesurées par pyromètre. Cependant, I_0, H_0, \overline{H}_0 peuvent être calculées par des formules connues.

I.23 Conclusion :

L'amélioration du rendement de captation par l'orientation de la surface des modules du champ photovoltaïque permet d'obtenir une utilisation rationnelle du système. Autrement dit, un bon rendement donc un coût réduit. En pratique et pour des raisons de coûts, les panneaux solaires sont généralement orientés avec une inclinaison fixe $\beta =$ latitude. Le travail que nous avons présenté dans ce chapitre nous a permis de constater que nous pouvons améliorer le rendement du système, en récupérant l'énergie maximale que peuvent recevoir les panneaux solaires, et ce, en choisissant d'une manière optimale l'angle d'inclinaison mensuel. Encore plus pratique et plus intéressant, l'énergie reste maximale en changeant l'inclinaison des panneaux quatre fois par an (saisonnement).

Chapitre II :

Les composants

d'un kit

solaire

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

II.1 Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie provenant des photons, comprises dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible (cellules Photovoltaïque PV). L'association de plusieurs cellules PV en série et /ou parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV). Ce GPV a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. Le point de fonctionnement du générateur PV peut donc varier entre les points extrêmes correspondant au courant de court-circuit I_{sc} et la tension en circuit ouvert V_{oc} . La détermination du point de fonctionnement du GPV (Générateur Photovoltaïque) dépend directement de la charge à laquelle il est connecté. Ce point de fonctionnement est plus ou moins éloigné du PPM qui est caractérisé par le courant et la tension optimaux. Dans ce chapitre, nous commencerons par un rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque et nous détaillerons les principales caractéristiques de la source PV. Enfin, nous étudierons le fonctionnement optimal du générateur PV et plus particulièrement la recherche du point maximale de puissance MPPT (Maximum Power Point Tracking)

II.2 Le générateur photovoltaïque GPV :

II.2.1 Principe de fonctionnement :

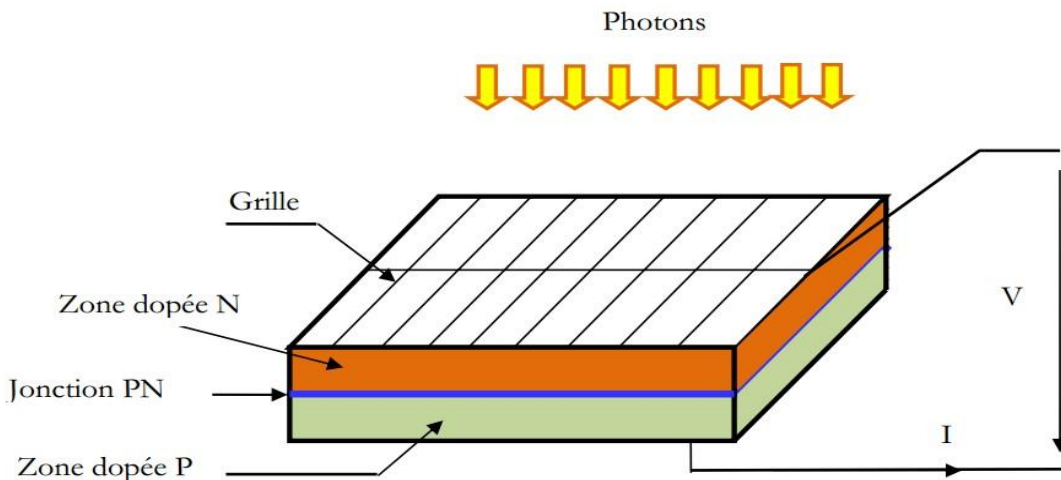


Figure 2.1- Coupe transversale d'une cellule PV.

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé « effet photovoltaïque » qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, de sa disposition, de la température de la cellule ainsi que le vieillissement de la cellule.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

La figure 2.1 illustre une cellule PV typique. Elle montre clairement sa constitution détaillée. Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre couche dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

II.2.2 Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque :

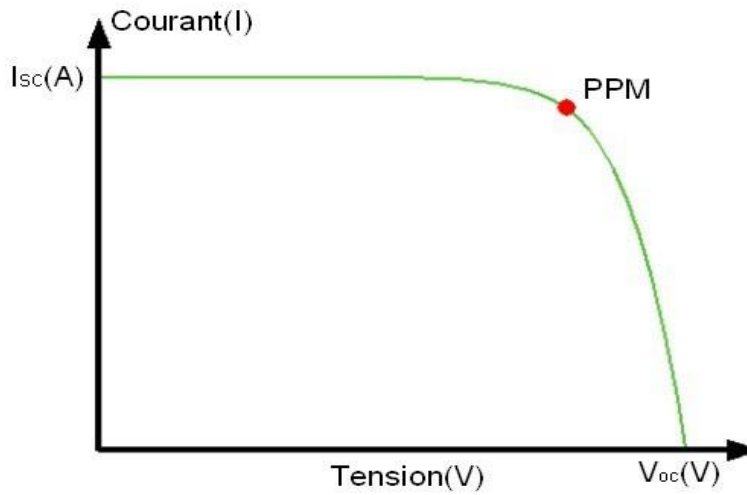


Figure 2.2- Caractéristique courant – tension d'une cellule photovoltaïque.

Il y a trois points importants sur cette courbe :

- Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).
- Le point du courant maximal (I_{sc}). Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit (I_{so}) et dépend fortement du niveau d'éclairement.
- Le point de la tension maximale de la cellule (V_{co}) (environ 0.6 V) pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{co})

II.2.3 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïques) :

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules :

II.2.4 Les cellules monocristallines :

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

II.2.5 Les cellules poly cristallines :

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire). 3. Les cellules amorphes : Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

II.2.6 Les cellules amorphes :

Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

II.3 Constitution d'un générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque est composé particulièrement par :

II.3.1 Les cellules solaires :

Une cellule solaire photovoltaïque est une plaquette de silicium (semi-conducteur), capable de convertir directement la lumière en électricité. Cet effet est appelé l'effet photovoltaïque. Le courant obtenu est un courant continu et la valeur de la tension obtenue est de l'ordre de 0,5 V.

II.3.2 Les modules (ou panneaux) :

La cellule individuelle, unité de base d'un system photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La puissance crête, obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module. La rigidité de la face avant (vitre) et l'étanchéité sous vide offerte par la face arrière soudée sous vide confèrent à l'ensemble sa durabilité.

II.3.3 Le générateur photovoltaïque :

L'interconnexion des modules entre eux, en série ou en parallèle, pour obtenir une puissance plus grande, définit la notion de générateur photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque se compose de plusieurs modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

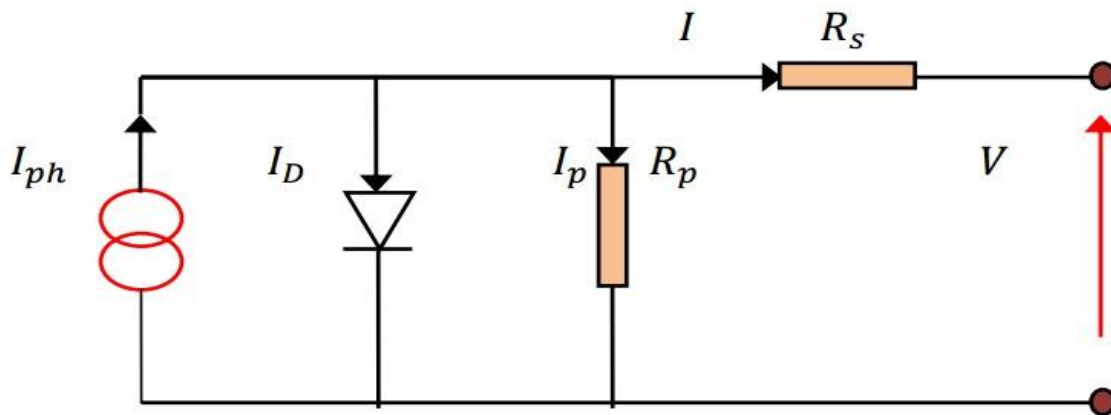


Figure 2.3 : Schéma équivalent de cellule PV

Une cellule PV peut se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique. Ainsi, la figure 2.3 illustre le schéma électrique équivalent d'une cellule PV réelle. Dans cette équation, on prend en compte le courant de court-circuit et les différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique. En statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (\text{II.1})$$

Avec :

I : Le courant fourni par la cellule.

$I_{cs} = I_{scr} \left(\frac{G}{1000} \right)$: Où I_{scr} courant de court-circuit de référence.

$I_p = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p}$: Le courant dérivé par la résistance parallèle.

$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T}\right) - 1 \right]$: Le courant traversant la diode.

I_0 : Le courant de saturation inverse d'une diode.

$V_T = \frac{KT}{e}$: La tension thermique.

Où :

e : charge d'électron ($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$)

K : constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} \text{J/K}$)

n : Facteur de non idéalité de la jonction comprise entre 1 et 5 dans la pratique.

T : La température effective de la cellule en kelvin.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

En utilisant les équations ci-dessus, on peut en déduire l'expression du courant délivré par la cellule photovoltaïque :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I.R_s}{nVt} \right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (\text{II.2})$$

II.3.4 Type d'assemblage :

Pour obtenir une tension et une puissance suffisante, il est nécessaire de connecter plusieurs panneaux soit en série soit en parallèle.

II.3.5 Montage des modules en série :

Pour obtenir une tension plus élevée que celle d'un seul module, on connecte deux ou plusieurs modules en série. Dans le cas de la connexion de deux modules en série, la borne positive (+) du premier module est connectée à la borne négative (-) du deuxième module.

Ainsi, la tension totale est :

$$U_t = U_1 + U_2 \quad (\text{II.3})$$

Le courant total est:

$$I_t = I_1 + I_2 \quad (\text{II.4})$$

La figure suivante représente le montage des modules en série :

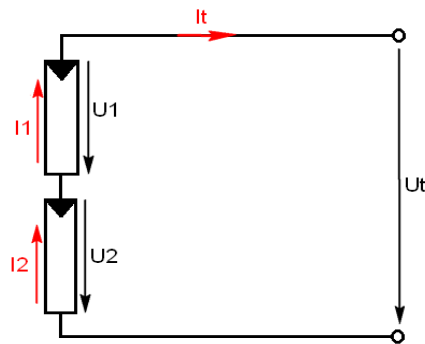


Figure 2.4- Schéma équivalent de montage en série.

II.3.6 Montage des modules en parallèle :

Pour obtenir une puissance (un courant) plus élevée que celle d'un module, il faut brancher deux ou plusieurs modules en parallèle. Dans le cas de la connexion de deux modules en parallèle, la borne positive (+) du premier module est connectée à la borne positive (+) du deuxième module. Les bornes négatives (-) sont reliées entre elles.

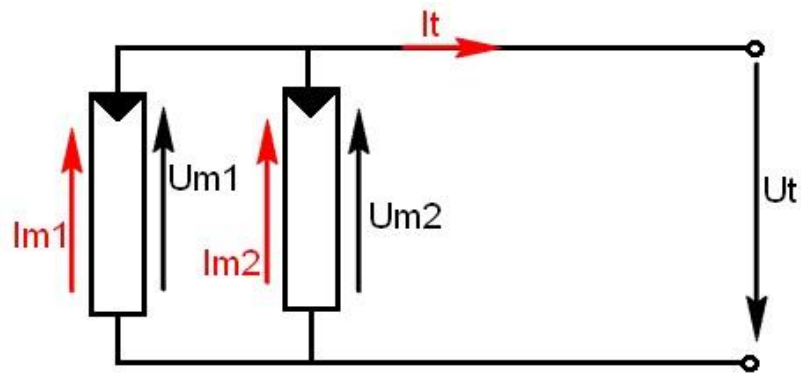


Figure 2.4 - Schéma équivalent de montage en parallèle.

La tension totale du branchement est égale à la tension d'un module :

$$U_t = U_{m1} = U_{m2} \quad (\text{II.5})$$

Le courant total est égal à la somme des courants des deux modules :

$$I_t = I_{m1} + I_{m2} \quad (\text{II.6})$$

II.3.7 Montage des modules en série parallèle :

Les modules peuvent être aussi connectés en série et les séries connectées en parallèle.

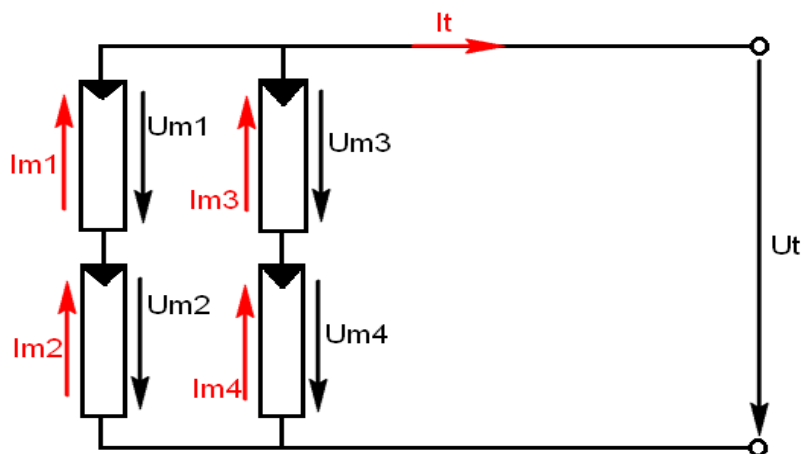


Figure 2.5 - Schéma équivalent de montage en série et parallèle.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

$$U_t = U_{m1} + U_{m2} = U_{m3} + U_{m4} \quad (\text{II.7})$$

$$I_t = I_{m12} + I_{m34} \quad (\text{II.8})$$

Avec : U_t = tension totale

U_{m1} = tension module 1

U_{m2} = tension module 2

I_t = courant total

I_{m1} = courant module 1

I_{m2} = courant module 2

II.4 Notion électrique :

II.4.1 Le courant électrique :

Un courant électrique est un déplacement d'ensemble ordonné de charges électriques dans un conducteur. On le caractérise par une grandeur, l'intensité, définie comme étant le débit de charges électriques dans le conducteur(1). Cette grandeur est souvent notée I . Quand, pendant un temps dt , il passe dq Coulombs, l'intensité vaut.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (\text{II.9})$$

L'unité légale dans laquelle s'exprime l'intensité du courant électrique est l'ampère (symbole A). Le courant dans le schéma d'un circuit électrique est représenté par une flèche. Il est à noter que du fait de la définition de l'intensité.

$$I = + \frac{dq}{dt} \quad (\text{II.10})$$

Et de la charge de l'électron (charge négative), le sens de déplacement effectif des électrons est l'opposé du sens positif du courant.

On représente un courant électrique par une flèche sur un conducteur, indiquant le sens positif de l'intensité :



Cette flèche indique que si les électrons passent de droite à gauche, on comptera une intensité positive ; négative s'ils vont de gauche à droite.

II.4.2 Le courant continu :

Le courant électrique est caractérisé par un mouvement quasi continu du courant dans un conducteur, dans une même direction et de façon régulière. Il n'y a pas de suspension de ce

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

phénomène de déplacement d'électrons qui circulent de la borne négative à la borne positive. Ce courant continu est produit dans un circuit fermé par le biais de l'activité chimique d'une pile ou encore d'une batterie.

II.4.3 Utilisations du courant continu :

Il a été promu par l'inventeur Thomas Edison au siècle, et s'oppose au courant alternatif qui, lui, change de direction à intervalles réguliers. Pour cette raison, le courant continu est moins efficace, moins modulable et a été supplanté par ce second système plus adapté à la distribution de l'électricité. Le courant continu reste toutefois utilisé pour le fonctionnement de plusieurs appareils comme la lampe de poche ou le réveil.

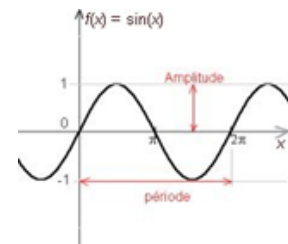
II.4.4 Le courant alternatif :

On appelle courant alternatif un courant qui change périodiquement de valeur et de sens. Par exemple, nos prises de courant produisent un courant électrique qui passe du positif au négatif 50 ou 60 fois par seconde (50 ou 60 Hertz).

II.5 Quelques notions électriques :

Période :

Intervalle de temps pendant lequel une forme d'onde périodique se reproduit. La période se mesure entre deux points identiques de la forme d'onde, soit sur le flanc montant, soit sur le flanc descendant. Son symbole de grandeur est T et son unité s'exprime en [s].



Alternance :

Durée d'une demi-période. L'alternance est soit positive, soit négative.

Fréquence :

Nombre de périodes par seconde. Elle se note f et s'exprime en hertz [Hz].

$$f = \frac{1}{T}$$

Valeur instantanée :

Valeur d'une forme d'onde à un instant donné. Elle se note par une lettre minuscule. exemples de notation.

Amplitude de crête :

Valeur maximum positive ou négative que prend une forme d'onde. Elle se note avec un circonflexe sur le symbole de grandeur.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

II.6 Système de phase :

Monophasé :

C'est le plus utilisé, il utilise deux câbles: la phase et le neutre. C'est celui qui est fourni aux prises de courant domestique

Biphasé :

Le système biphasé est un ancien système de distribution de l'énergie en France. Il n'utilise que deux des trois phases (triphase) produites et non le neutre contrairement au monophasé. Parfois, on peut trouver la terre comme troisième conducteur. Ce système est encore utilisé, mais il devient de plus en plus rare.

Triphasé :

Dans une installation électrique triphasée, il arrive que les courants eux n'aient ni la même valeur efficace, ni le même décalage, ni même une forme sinusoïdale (comme par exemple un courant à travers une lampe économique). Pour produire des tensions alternatives triphasées, il faut un alternateur dont on a disposé les 3 enroulements statoriques en les décalant de 120° les uns par rapport aux autres, le rotor étant une source de flux magnétique.

II.7 Les effets du courant :

Les cours d'électricité distinguent souvent trois effets :

1. L'effet Joule ou effet calorifique
2. L'effet chimique
3. L'effet magnétique

Nous y ajoutons l'effet physiologique qui, bien qu'il soit une conséquence des deux premiers effets mentionnés, est particulièrement important pour notre sécurité et mérite donc un examen distinct.

Effet joule :

L'effet Joule se produit lors du passage d'un courant électrique dans un conducteur.

Nous savons que les conducteurs électriques ne sont pas parfaits. Ils opposent une certaine résistance au passage du courant et l'énergie perdue de la sorte y est dissipée sous forme de chaleur.

Les appareils de chauffage électrique (radiateur, fer à repasser, fer à souder, grille-pain, sèche-cheveux etc.) exploitent cet effet calorifique. C'est aussi sur ce principe que fonctionnent la lampe à incandescence dans laquelle le filament élevé à très haute température émet de la lumière.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

L'effet thermique est par contre souvent indésirable puisqu'il est à l'origine de pertes inutiles d'énergie. Ces pertes réduisent le rendement des machines électriques dont le but n'est pas de chauffer (moteurs, transformateurs...etc.)

Une augmentation excessive de température risque d'endommager le matériel. C'est la raison d'être du système de la ventilation des PC.

Les câbles risquent aussi la détérioration en cas de surcharge et sont alors à l'origine d'incendies. Il faut donc limiter l'intensité du courant dans les conducteurs en fonction de leurs sections. A titre d'exemple, le tableau qui suit montre quels fusibles ou disjoncteurs il faut placer en fonction de la section des conducteurs à protéger.

Section en mm ²	Fusibles	Disjoncteur	Couleur
1,5	10 A	16 A	Orange
2,5	16 A	20 A	Gris
4	20 A	25 A	Bleu
6	32 A	4020 A	Brun
10	50 A	63 A	Vert
16	63 A	80 A	
35	100 A	125 A	

Tableau 2.1 – Caractéristiques des fusibles ou disjoncteurs en fonction de la section des conducteurs

Formule :

L'énergie dissipée sous forme de chaleur entre deux moments t_1 et t_2 par un dipôle de résistance R traversé par un courant d'intensité i s'écrit :

$$W = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (\text{II.11})$$

La puissance moyenne vaut donc:

$$P = \frac{W}{t_2 - t_1} = \frac{R}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (\text{II.12})$$

En régime de courant alternatif l'expression de la puissance peut se mettre sous la forme:

$$P = RI_{eff}^2 \quad (\text{II.13})$$

En régime de courant continu l'expression de la puissance devient:

$$P = RI^2 \quad (\text{II.14})$$

Si ce dipôle vérifie la loi d'Ohm, on peut écrire:

$$P = U \cdot I \quad (\text{II.15})$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (\text{II.16})$$

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

Effets chimiques :

Le courant électrique fait intervenir les électrons qui sont à la périphérie des atomes. Ce sont justement ces électrons qui servent aux liaisons chimiques. Rien d'étonnant donc à ce que le courant électrique puisse modifier les liaisons entre atomes et provoquer des (ou résulter de) réactions chimiques.

L'électrolyse :

L'électrolyse est une application de ces effets électrochimiques. L'électrolyse de l'eau est un exemple qui est souvent montré dans l'enseignement secondaire. Elle permet de séparer les deux constituants de l'eau H₂O: deux atomes d'hydrogène (H) pour un atome d'oxygène (O).

La galvanoplastie est une autre application de l'électrolyse grâce à laquelle on parvient à appliquer un dépôt métallique sur les surfaces de certains objets. On se sert de cette technique pour recouvrir des objets de cuivre, de zinc, de chrome, de nickel, d'or etc. L'anode, c'est-à-dire l'électrode positive est constituée du métal à déposer, l'électrolyte est une solution d'un sel de ce métal et la cathode (l'électrode négative) est l'objet sur lequel viendra se déposer le métal. Exemple : Anode en cuivre, électrolyte = solution de sulfate de cuivre, cathode l'objet à cuivrer.

Piles et accumulateurs :

Les piles et les accumulateurs transforment l'énergie de réactions chimiques en énergie électrique. Cette réaction est réversible pour les accumulateurs. Cette application à elle seule mérite un développement particulier.

Effets électromagnétiques :

Une bobine parcourue par un courant produit un champ magnétique. C'est en se basant sur ce principe que sont construits les moteurs électriques.

Inversement une bobine soumise à des fluctuations de champ magnétique est le siège de forces électromotrices. C'est le principe est utilisé dans les génératrices (dynamos / alternateurs).

Inconvénients des effets électromagnétiques :

Les effets électromagnétiques sont parfois indésirables.

C'est le cas des perturbations électromagnétiques qui induisent des courants parasites dans les câbles de transmission et perturbent ainsi les informations qui y circulent. Le phénomène est réduit en ayant recours à certains artifices tels que les câbles coaxiaux ou à paires torsadées.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

Effets physiologiques :

Notre système nerveux est parcouru par de nombreux signaux électriques tels que ceux qui commandent les cellules musculaires. C'est la raison pour laquelle il est possible avec un courant électrique de stimuler un muscle et de provoquer sa contraction.

Cette technique est appliquée en kinésithérapie pour faire de la rééducation musculaire ainsi que par ceux qui voudraient faire de la gonflette sans faire trop d'efforts. Mais aussi pour la fabrication de teasers.

Le courant électrique peut aussi provoquer des brûlures externes ou internes et alors invisibles et paraît-il parfois même indolores mais non sans conséquences.

Avantages et inconvénients :

	Avantages	Inconvénients
Courant Alternatif	<ul style="list-style-type: none">- certaines caractéristiques peuvent être modifiées par un transformateur (comme la tension)- Une tension élevée permet de réduire les pertes lors du transport dans les lignes électriques (lois de joule)	<ul style="list-style-type: none">- Beaucoup plus dangereux pour l'organisme, car la téτανisation qu'il provoque empêche de lâcher le conducteur.
Courant Continu	<ul style="list-style-type: none">- Peut-être obtenu à partir du courant alternatif (pont redresseur)- Transport facile (batterie de voiture, ..)	<ul style="list-style-type: none">-La distribution du courant continu nécessiterait des câbles de forte dimension, qui perdraient énormément d'énergie sous forme de chaleur.- un seul court-circuit suffisait à mettre hors service toute une installation électrique

Tableau 2.2- Avantages et inconvénients Courant Alternatif- Continu.

II.8 Les batteries :

II.8.1 Définition de la batterie :

Une batterie est un appareil qui stocke de l'énergie électrique de manière électrochimique, et qui selon le besoin, fournit ou reçoit de l'électricité.

Une batterie est presque toujours constituée de plusieurs accumulateurs électriques reliés les uns aux autres. Le nombre de ces accumulateurs, et la manière de les relier, en parallèle ou en série, définit la tension du courant de sortie, et la capacité de la batterie, qui établit la durée de temps pendant laquelle la batterie est capable de fournir un courant donné. Une batterie se caractérise par sa densité massique, soit le rapport entre sa masse et l'énergie qu'elle contient, par sa densité volumique, soit le rapport entre son volume et la quantité d'énergie qu'elle contient, et enfin son prix.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

II.8.2 Batterie solaire :

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.

Vous pouvez brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, mais vous risquez d'endommager la batterie si son niveau de charge dépasse les 90%. C'est pour cela qu'il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et la/les batteries solaires.

Le rôle du régulateur dans une installation solaire est très important car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 95%). Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie.

Nous vous recommandons de bien vérifier que le cyclage (nombre de cycles complets de charge - décharge de la batterie) est clairement indiqué par le fabricant. Le cyclage indique la durée de vie de la batterie solaire. Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans.

Les principales utilisations d'une batterie solaire sont : installation solaire en site isolé, camping-car, caravaning, nautisme.

II.8.3 Capacité d'une batterie solaire :

La capacité d'une batterie solaire (appelée aussi batterie à décharge lente) se mesure en ampères heure (Ah). Elle représente le "débit" potentiel de la batterie.

Mais il faut ajouter à cela la vitesse de décharge de la batterie qui a un impact sur la capacité : plus la rapidité de la décharge est importante, plus la capacité réelle de la batterie sera faible.

Ainsi une batterie présentant la capacité de 70 Ah en C100 aura réellement une capacité de 70 Ah si la décharge prend 100 heures, environ 55 Ah en 20 heures et seulement 50 Ah en 10 heures.

Pour le dire autrement : si on décharge complètement cette batterie selon une intensité de 5 Ampères, la décharge ne durera que 10 heures ($10 \times 5 = 50$) cette même décharge durera 20 heures à la cadence de 2,75 A ($2.75 \times 20 = 55 \text{Ah}$) et enfin 100 heures à la cadence de 0,7 A ($0.7 \times 100 = 70 \text{ah}$).

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

Mais attention, dans une installation photovoltaïque ou éolienne, cette capacité n'est qu'une base de travail, car il est hors de question de décharger une batterie à 100% : cela la détruirait. Dans le cadre d'un dimensionnement photovoltaïque ou éolien, on prendra donc comme hypothèse une décharge possible de 40% (jusqu'à 50% maximum), afin de ne pas endommager la batterie et de prolonger sa durée de vie.

Enfin il ne faut pas confondre capacité d'une batterie qui est exprimée en Ah et la consommation d'un appareil électrique que vous souhaitez brancher sur cette batterie et qui s'exprime en Watts heure.

II.8.4 La durée de vie d'une batterie solaire :

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL.

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge.

Pour vous donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente :

- Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500 cycles
- Batterie solaire AGM : 600 à 700 cycles
- Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

II.9 Les onduleurs :

II.9.1 Définition :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande. Figure 1.1 représente schéma de principe de l'onduleur.

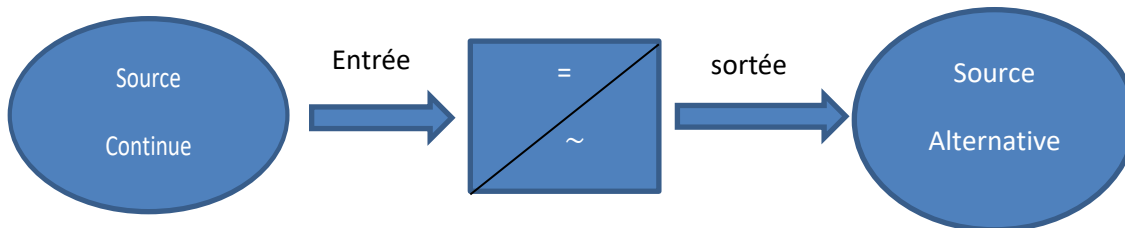


Figure 2.6- Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC).

II.9.2 Principe de fonctionnement :

Pour réaliser un onduleur autonome, il suffit de disposer d'un interrupteur inverseur K et d'une source de tension continue E comme le montre la Figure

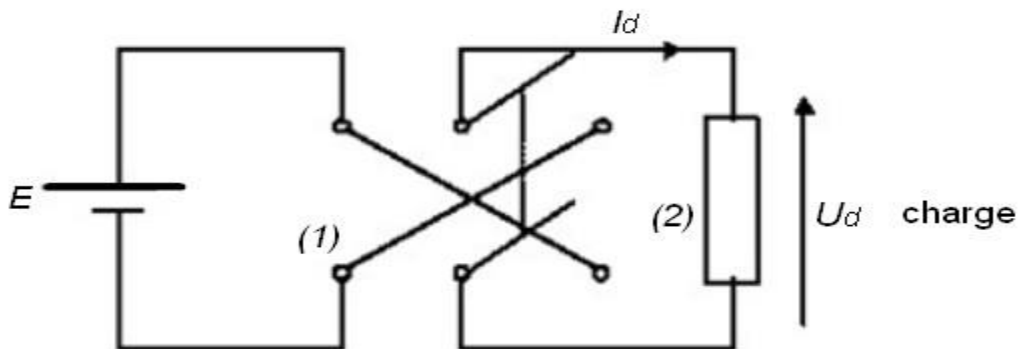


Figure 2.7 -Principe de fonctionnement de l'onduleur autonome.

Lorsque K est en position (1), on obtient le montage de la Figure suivante :



Figure 2.8 - K en position (1).

Lorsque K est en position (2), on obtient: $U = -E$.

La Figure 1.4 donne la forme de $U_d(t)$ sur une période complète de fonctionnement.

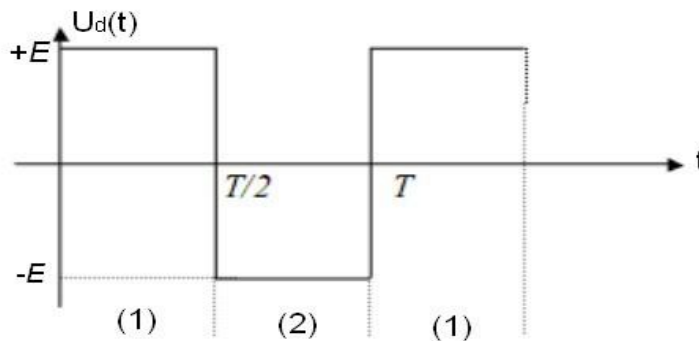


Figure2.9 - Tension avec K en position (1) et (2).

II.9.3 Types d'onduleurs :

Les onduleurs sont classés en deux grandes catégories :

❖ Onduleur autonome :

Un onduleur est dit autonome s'il utilise l'énergie d'un circuit auxiliaire propre à lui pour la commutation des thyristors ou l'autre semi-conducteurs dans ce cas nous commandons la fréquence la forme d'onde de la tension de sortie. On distingue deux types d'onduleurs autonomes.

- Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continue.

❖ Onduleur non autonome :

C'est le nom donné au montage redresseur tous les thyristors (pont de Graëtz) qui, en commutation naturelle assistée par le réseau auquel il est raccordé, permet un fonctionnement en onduleur (par exemple par récupération de l'énergie lors des périodes de freinage dans les

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

entraînements à moteurs électriques). À la base du développement des entraînements statiques à vitesse variable pour moteurs à courant continu et alternatif, cyclo convertisseurs, onduleurs de courant pour machines synchrones et asynchrones, jusqu'à des puissances de plusieurs MW, ce type de montage est progressivement supplanté, au profit de convertisseurs à IGBT ou GTO.

II.9.4 Choix de l'onduleur :

Dans notre cas le cœur de chaque installation photovoltaïque est composé par l'onduleur ou le micro-onduleur. C'est lui qui va transformer l'énergie solaire captée par les panneaux en électricité. Cependant, il existe deux grandes catégories d'onduleurs dont on connaît peu les différences : Les onduleurs centraux et les micro-onduleurs. Pour comprendre et bien choisir les équipements, nous adressons ici les différences majeures, avantages et inconvénients de ces deux types d'équipements.

❖ Onduleur central :

Dans le cas d'un kit solaire autoconsommation relié au réseau, l'onduleur central est branché en bout de la série de panneaux solaires. Il n'y a qu'un seul onduleur pour tous les panneaux.

➤ L'avantage :

C'est le prix. Ce système d'installation avec onduleur unique limite forcément le coût global d'investissement en comparaison d'un système équipé d'un micro-onduleur pour deux panneaux.

➤ L'inconvénient :

C'est la production. L'onduleur central ne produit pas moins, mais en cas de défaillance d'un panneau, c'est toute la chaîne de panneaux qui en pâtit. En effet, le branchement en série répercute la défaillance technique éventuelle d'un panneau sur les autres panneaux de la même chaîne. Donc si c'est le premier panneau qui ne produit plus, le système global de la chaîne ne produit plus. En cas d'ombre sur les panneaux, le même schéma se produit. La consommation finale du kit de 10 panneaux solaires (en une chaîne) peut n'être donc ici que de 10% de ses capacités, soit une perte de 90% de production.

❖ II.9.4.2 Micro-onduleur :

Dans le cas d'un kit solaire équipé de micro-onduleurs, chaque panneau est relié à un ou deux micro-onduleurs selon le type de micro-onduleur proposé. Il y a donc plusieurs micro-onduleurs. Les panneaux ne sont plus branchés en série mais ce sont les micro-onduleurs qui le sont. Chaque panneau étant connecté à son micro-onduleur.

➤ L'avantage :

C'est la production garantie et optimisée. En effet, en cas de défaillance d'un panneau, les autres panneaux produisent toujours de manière optimale. Le fait d'avoir une production

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

d'électricité répartie entre chaque panneau ou couple de panneau permet d'assurer la production optimale de l'ensemble du système. La consommation finale du kit de 10 panneaux solaires peut donc ici être assurée à 90% de ses capacités, soit une perte de 10% de production. Par ailleurs, les micro-onduleurs sont recommandés pour de petites installations car les onduleurs centraux les moins puissants commencent généralement à partir de 2000Wc (8 panneaux). Les micro-onduleurs permettent également l'évolutivité de votre système, en effet, les micro-onduleurs vous permettent de rajouter des panneaux à votre installation à tout moment, sans avoir à redimensionner l'ensemble.

➤ **L'inconvénient :**

C'est le prix, car on multiplie les micro-onduleurs par rapport au système de l'onduleur central. La technologie micro-onduleur étant également plus évoluée, le prix s'en fait ressentir.

A vous donc de choisir votre formule avec ces éléments à l'esprit. Le prix ne doit pas être le seul facteur de décision. Pensez à bien détailler les éléments qui composent votre kit solaire et préférez peut-être un système équipé de micro-onduleurs pour assurer la production constante.

II.9.5 Les régulateurs :

❖ **Régulateurs (ou contrôleurs) de charge :**

Un régulateur de charge appelé aussi contrôleur de charge, est un système ou appareil électronique fonctionnant de façon complètement automatique auquel sont raccordés le générateur (panneaux solaires, éolienne, etc.) la batterie ainsi que d'éventuels équipements ou composants de l'installation.

Le régulateur de charge principale sert avant tout à contrôler l'état de la batterie. Il permet, en effet, d'assurer la charge complète de la batterie et prévient de tout risque de surcharge de celle-ci en stoppant l'alimentation de cette dernière lorsque cela s'avère nécessaire. Ce mécanisme de régulation consiste à surveiller en permanence l'état de charge de la batterie.

Le régulateur coupe l'alimentation du générateur lorsque l'état de charge de la batterie atteint l'une des valeurs limites correspondant au déclenchement de la sécurité. Il existe plusieurs valeurs limites correspondant chacune à un type de protection différent : surcharge, décharge profonde, température de fonctionnement, court-circuit, etc.

Cette surveillance et cette protection permanente permettent ainsi de prolonger de façon importante les performances et la durée de vie de vos batteries.

Les régulateurs standards couramment utilisés sur le marché proposent en général un ensemble de protections dites "classiques" telles que : protection contre la surcharge, protection contre la

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

décharge profonde, protection contre les courts-circuits, protection du générateur, protection thermique (sonde), etc.

La plupart de ces régulateurs sont équipés de voyants ou témoins lumineux destinés à fournir un ensemble d'indications telles que : l'état de charge de la batterie, l'état de fonctionnement du générateur, le mode de fonctionnement en cours, l'état des différentes protections, etc.

Les nouvelles générations de régulateurs "haut de gamme", quant à eux, sont de plus en plus perfectionnés et proposent des fonctionnalités plus nombreuses et de plus en plus évoluées.

❖ Parmi ces fonctionnalités, nous pouvons citer :

La prise en charge de plusieurs modes de charges (charge rapide ou "bulck", phase d'absorption, phase d'entretien ou "float", phase de veille ou "silent", phase d'égalisation ou "equalization")

Le dispositif de compensation de température de batterie

Les sorties auxiliaires de contrôle permettant le raccordement d'autres appareils

L'écran d'informations type LCD couleur

La possibilité de raccorder des écrans de contrôle distants

La connexion possible à un réseau informatique

L'enregistrement et l'analyse des données du régulateur sur de longues périodes

La connexion série type RS232

La capacité à adapter automatiquement certains paramètres (tension, etc.)

La possibilité de déclencher des alarmes de façon automatique (sonores, mails, pagers, etc.)

La mise en route automatique de composants secondaires ou d'éléments raccordés au système (groupe électrogènes, basculement réseau, etc.)

Le contrôle et l'optimisation des paramètres de fonctionnement des composants de l'installation (générateur, batterie, etc.) via des mécanismes de type MPPT ("Maximum Power Point Tracking" c'est-à-dire "Recherche du point de puissance maximal").

Les régulateurs (ou contrôleurs) de charge servent avant tout à protéger les batteries contre les surcharges. Il existe 2 grandes familles de régulateurs de charge utilisant chacune une méthode différente de contrôle de charge :

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

- Les types Séries
- Les types Shunt

Ces deux méthodes ont en commun qu'elles utilisent le niveau de tension des batteries pour déterminer quand réduire ou alors stopper complètement la charge des batteries. Contrairement à certains générateurs, les panneaux solaires photovoltaïques peuvent être court-circuités ou peuvent voir leur circuit s'ouvrir sans dommage.

Avec les régulateurs de type Séries le courant de charge des batteries est occasionnellement coupé par l'ouverture d'un circuit entre les panneaux solaires photovoltaïques et les batteries.

Avec les régulateurs de type Shunt, le courant de charge des batteries est dévié vers une résistance et un court-circuit est effectué au niveau des panneaux solaires photovoltaïques.

❖ **Régulateurs de type séries**

Selon la taille de l'installation photovoltaïque, un régulateur simple ou à relais multiples peut être utilisé. Ces régulateurs ouvrent simplement un ou plusieurs relais selon la tension des batteries, afin de réduire la charge, ou de l'arrêter complètement. Les régulateurs contrôlent aussi les courants de l'ordre de 40 à 50 ampères provenant des panneaux solaires photovoltaïques. L'ouverture et la fermeture de ces relais est réalisée en fonction des seuils de tensions maximum et minimum prédéterminés. Pour des régulateurs à relais multiples, un relais peut rester fermé pour maintenir une charge complète, en alimentant les batteries via un circuit de puissance ou un circuit électronique linéaire.

Pour les systèmes dont les courants de sortie excèdent 50 ampères, les régulateurs doivent comporter plus d'un relais (au mercure de préférence), branché à un ensemble ou des régulateurs individuels, offrant l'avantage d'un système parallèle opérant indépendamment, avec une bonne fiabilité.

❖ **Régulateurs à commutation solide state (pulse width modulation ou pwm)**

Ces régulateurs utilisent des MOSFET ou des transistors de puissance fonctionnant à des fréquences importantes, afin de générer des impulsions, pour maintenir les batteries à une tension constante. La durée d'un cycle d'impulsion utilisée dans les régulateurs types Séries ou Shunt, varie en fonction de la tension des batteries et du courant de charge. Ces régulateurs ont une excellente caractéristique de charge pour les systèmes photovoltaïques jusqu'à 40 ampères; cependant, à cause de leur grande commutation, ils peuvent générer des fréquences pouvant interférer avec les équipements de télécommunication.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

Les relais utilisés dans les régulateurs ont quelques limites qui affectent leur durée de vie. Pour prolonger celle-ci, il faut allonger leur cycle d'ouverture et de fermeture, entravant par conséquent les performances des batteries. Lorsque le courant de charge est grand, ces relais nécessitent un circuit de dérivation pour supporter temporairement le courant pendant le cycle. Les circuits de commutation des régulateurs solid state feront indéfiniment des cycles d'impulsions sans dommage.

Cependant, la chute de tension à leurs bornes génère de la chaleur.

La modulation de Largeur d'Impulsion (PWM) est une méthode très rapide et efficace qui permet d'atteindre l'état de pleine charge d'une batterie solaire. Contrairement aux contrôleurs plus anciens qui n'agissaient sur le courant de charge que par ON ou OFF (ce qui est suffisant pour restaurer l'état de charge d'une batterie à environ 70%), le régulateur à technique PWM vérifie constamment l'état de charge de la batterie pour ajuster la durée et la fréquence des impulsions de courants à lui délivrer. Si la batterie est déchargée, les impulsions de courant sont longues et presque ininterrompues. Quand la batterie est presque entièrement chargée, les impulsions deviennent de plus en plus brèves et espacées.

Par sa nature même, cette technique achève la dernière portion du processus de la recharge (la plus complexe) et diminue la sulfatation des plaques car le courant de charge de la batterie est pulsé à haute fréquence.

II.9.6 Diode de protection :

❖ Installations auto régulées :

Dans certains cas, les panneaux solaires photovoltaïques peuvent fonctionner sans régulateur de charge, utilisant simplement une diode anti-retour pour empêcher le courant de circuler dans le sens inverse sous les conditions suivantes:

Le courant de charge des batteries est égal au courant produit par les panneaux solaires photovoltaïques; La température est relativement constante.

Les batteries ont une capacité au moins 30 fois plus grande que le courant de court-circuit pouvant être délivré par les panneaux solaires photovoltaïques.

La tension ouverte des modules est de l'ordre de 18 Volts maximum; Une diode anti-retour de capacité suffisante empêche le courant inverse de retourner vers le panneau solaire photovoltaïque.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

❖ Diode Zéner :

Avant, les systèmes photovoltaïques de taille relativement petite utilisaient des diodes zéner comme shunt afin de court-circuiter les panneaux solaires photovoltaïques. Ces moyens de contrôle limitent les applications car les variations des performances des systèmes photovoltaïques sont énormément affectées à cause de la température et la difficulté de trouver la diode zéner correspondant à la tension de charge des batteries.

Choix du régulateur de charge

Trois facteurs sont importants dans le choix d'un régulateur de charge: il s'agit de la tension du système, la température d'opération et le courant maximal. Concernant le courant, il faut additionner tous les courants court-circuits fournis par les panneaux solaires et multiplier par 1,30. Exemple: si on a un panneau solaire qui fournit 4,8 A en court-circuit, il suffit de multiplier 4,8 A par 1,30, ce qui est égal à 6,24 A. Dans ce cas le régulateur doit être en mesure de supporter 6,24 A.

❖ Un certain nombre d'options sont disponibles:

Sélection du mode de charge ou ajustement de tension et de température prévalente selon le type de batterie.

Compensation de température: une compensation de température doit être requise à moins que les batteries et le régulateur de charge soient sous des conditions normales de température près de 25°C. Principalement, la compensation de température varie de l'ordre de 5 mV/cellule/°C.

Déconnexion basse tension (LVD): certains régulateurs débranchent automatiquement la ou les charges de la batterie lorsque cette dernière voit sa tension tomber en dessous d'un certain seuil de tension.

Auto égalisation: Certains régulateurs sont munis d'un dispositif d'auto égalisation qui charge complètement les batteries à une tension de près de 14 Volts pour système de 12 Volts, afin d'égaliser la charge dans chaque cellule de la batterie, éviter la stratification (mélange non uniforme de l'électrolyte, ce qui réduit le cycle de vie des batteries), et ainsi empêcher la sulfatation. "L'equalization" n'est pas recommandée pour les batteries de type gélifié.

Les voyants à LED: Ces voyants indiquent le statut de charge des batteries ou des charges alimentées.

L'afficheur numérique permet d'afficher le courant de charge ou la tension des batteries.

Chapitre II : Les composants d'un kit solaire

Contrôle et communication à distance.

Dispositifs de protection: par exemple un dispositif de protection contre les fuites de courant inverse provenant de la batterie vers les panneaux solaires.

Etc.

III.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales caractéristiques et les technologiques des éléments constitutifs d'un générateur PV. Comme nous touchions aux composants de base d'un ensemble de début de l'énergie solaire des panneaux solaires et de leurs types et de la structure et la méthode de les relier au besoin et de l'onduleur, les batteries et expliquer chacun d'eux séparément, en plus de la façon de choisir ces éléments et le principe de chacun d'entre eux aux bases de types d'alimentation et ses utilisations.

Chapitre III :

le groupe
motopompe

Chapitre III : Groupes motopompes

III.1 Introduction :

Dans tous les domaines, qu'ils soient industriels ou étaient dans le domaine de l'hydraulique, l'utilisation de machines électriques inévitable quel que soit le type d'activité, en raison de son importance et la multiplicité des fonctions spéciales que le développement technologique a conduit au développement de ces machines, qui est devenue une partie dans tous les domaines dépend de l'énergie.

Grâce à ce chapitre, nous examinerons la définition des machines électriques et le principe de son travail, en plus de leurs types et méthodes choisies selon les besoins.

III.2 Définition d'une machine électrique :

Une machine électrique est un dispositif électromécanique basé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou énergie mécanique. ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité :

- Les machines électriques produisant de l'énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont communément appelées des génératrices, dynamos ou alternateurs suivant la technologie utilisée.
- Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont communément appelées des moteurs.

Cependant, toutes ces machines électriques étant réversibles et susceptibles de se comporter soit en « moteur » soit en « générateur » dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse, la distinction moteur/générateur se fait « communément » par rapport à l'usage final de la machine.

Les moteurs rotatifs produisent une énergie correspondant au produit d'un couple par un déplacement angulaire (rotation) tandis que les moteurs linéaires produisent une énergie correspondant au produit d'une force par un déplacement linéaire.

En dehors des machines électriques fonctionnant grâce à l'électromagnétisme il existe aussi des machines électrostatiques et d'autres utilisant l'effet piézoélectrique.

Les transformateurs sont aussi classifiés comme des machines électriques. Ils permettent de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

III.3 Classifications des machines électriques :

Le but essentiel des machines électriques est la transformation de l'énergie d'une forme dans une autre, l'une au moins de ces formes étant électrique, l'autre pouvant être électrique ou mécanique

Chapitre III : Groupes motopompes

Les machines électriques font intervenir comme éléments fondamentaux :

- ◆ les courants électriques.
- ◆ les champs magnétiques.

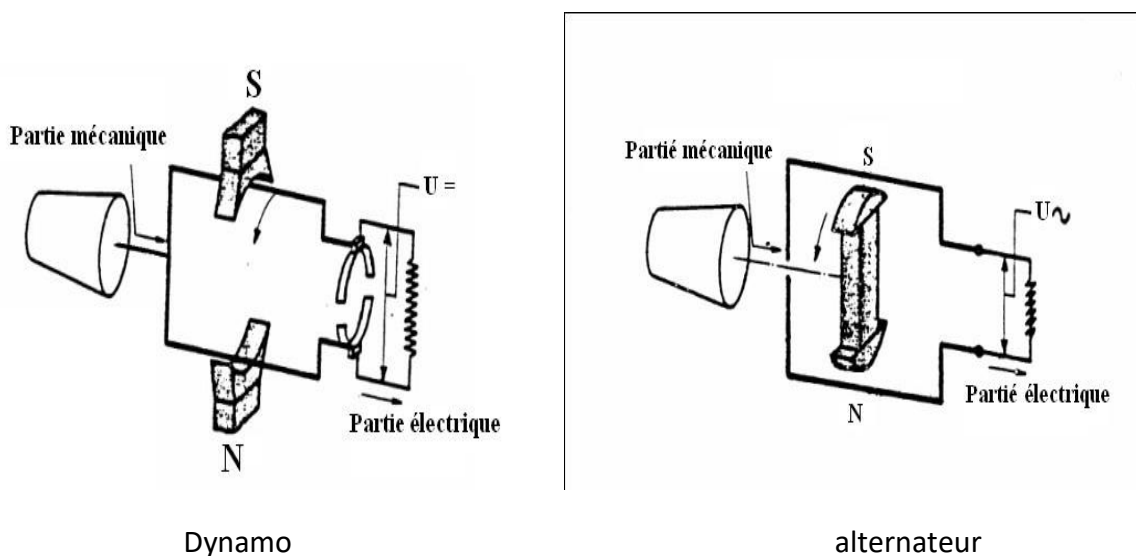
Le fonctionnement est donc basé sur les lois de l'électromagnétisme, qui ont été étudiées au cours d'électricité, qui seront brièvement rappelées donc ce cours. Car c'est de l'interaction des courants électriques et des champs magnétiques que résulte leur fonctionnement.

On peut, a priori, classer les machines électriques en trois catégories principales :

III.3.1 Les machines génératrices :

Sont des machines qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique. Leur fonctionnement est basé sur l'induction d'un courant électrique dans un circuit conducteur par déplacement relatif de celui-ci et d'un champ magnétique, à l'aide d'un engin d'entraînement mécanique. Selon que le courant électrique induit est continu ou alternatif, la machine génératrice sera appelée dynamo ou alternateur.

Les Figures suivantes schématisent le fonctionnement des machines génératrices.



Figures3.1 - schéma de fonctionnement des machines génératrices.

On remarquera qu'en pratique, le déplacement relatif du circuit électrique et du champ magnétique est obtenu :

- dans le cas de l'alternateur, par rotation du champ magnétique, le circuit étant fixe.
- et dans le cas de la dynamo, par rotation du circuit électrique dans un champ magnétique fixe.

Le déferant entre la dynamo et l'alternateur est la dynamo produit un courant électrique continu par l'autre cotée l'alternateur produit un courant électrique alternative.

Chapitre III : Groupes motopompes

III.3.2 Les moteurs électriques :

Leur fonctionnement est basé sur l'obtention d'un effort mécanique par action d'un champ magnétique sur un circuit électrique traversé par un courant fourni par une source extérieure, laquelle peut aussi produire éventuellement le champ magnétique. Selon que le courant électrique fourni par la source extérieure est continu ou alternatif, la machine sera appelée moteur à courant continu ou moteur à courant alternatif (synchrone ou asynchrone).

❖ Les moteurs à courant continu :

Les moteurs à courant continu restent très utilisés dans le domaine de l'automobile (ventilateurs, lève-vitre, etc.) ainsi qu'en tant que « moteur universel » dans l'électroménager et l'outillage. Dans le domaine des puissances supérieures au mégawatt, les sous-marins seront les seuls utilisateurs de machines à courant continu afin d'assurer leur propulsion. En effet, pour éviter de « rayonner » du 50 ou du 60 Hertz qui les rendrait facilement détectables, les sous-marins utilisent des circuits de distribution de l'énergie électrique à tensions continues.

La fabrication de machine à courant continu de puissance supérieure à 10MW se heurte à une frontière technologique infranchissable. En effet, les problèmes d'injection de courant par les contacts balais - collecteur posent des problèmes insolubles au-dessus de ce seuil de puissance.

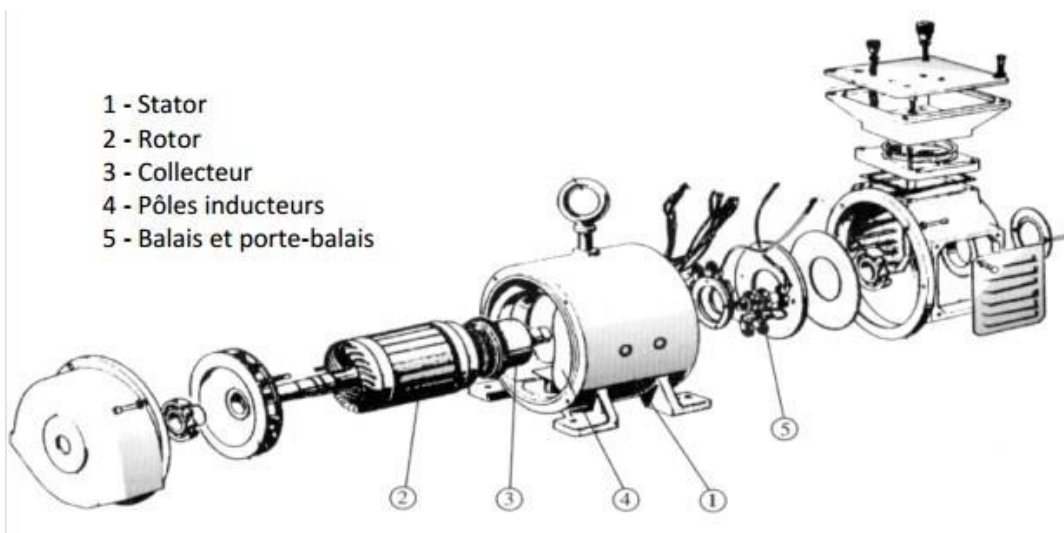


Figure 3.2 - construction d'une machine à courant continu.

❖ Les moteurs à courant alternatif :

Ces moteurs comprennent les types triphasés et monophasés. Les moteurs à induction triphasés CA sont de loin les plus utilisés à des fins industrielles et commerciales. Ils se divisent en deux catégories.

- ◆ moteurs synchrone
- ◆ moteurs asynchrone

Chapitre III : Groupes motopompes

a)- Le moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'industrie. Il est peu coûteux, on le fabrique en grande série. Il est robuste et son entretien est très limité. Il est sûr : son fonctionnement ne génère pas d'étincelles à la différence d'un moteur à courant continu. Ce type de moteur équipe la quasi-totalité des machines-outils classiques, tours, fraiseuses, scies bobineuses, tapis roulants, pompes, compresseurs, perceuses,...).

Fonctionnant directement sur le secteur alternatif, sans transformation préalable de l'énergie électrique qui l'alimente, c'est le moteur industriel par excellence qui ne possède pas d'organes délicats comme le collecteur du moteur à courant continu. Les courants qui circulent dans le stator constituent l'unique source externe de champ magnétique : le rotor n'a pas à être relié à une source d'énergie électrique. Il existe bien des courants rotoriques qui participent, eux aussi, à la création du champ magnétique, mais ce sont des courants induits. C'est de là que vient le nom parfois donné au moteur asynchrone «moteur d'induction ».

Lorsqu'on n'a pas d'exigence très marquée sur la constance de la vitesse d'un moteur, et lorsqu'il n'est pas nécessaire de faire varier celle-ci de manière continue, dans de larges proportions, c'est un moteur asynchrone que l'on utilise.

Sa vitesse varie un peu quand on le charge, on dit qu'il glisse, mais ce glissement, en général, ne dépasse pas quelques % de la vitesse à vide et il est négligeable le plus souvent. Le démarrage des moteurs asynchrones ne pose pas de problème pour les unités de petite puissance : il est direct. Par contre, pour les moteurs de forte puissance, il faut démarrer sous tension réduite pour éviter un appel de courant trop élevé.

La gamme des puissances des moteurs asynchrones triphasés s'étend de 1 kW à une dizaine de MW. Au-dessous de 1 kW, et notamment pour les usages domestiques (compresseurs de réfrigérateurs, de congélateurs, moteurs de machines à laver, pompes de chauffage central,...), on utilise des moteurs asynchrones monophasés. Le rendement est plus faible que pour une machine triphasée de même puissance, mais cela est d'autant moins important que la puissance mise en jeu est faible.

➤ Construction d'un moteur asynchrone :

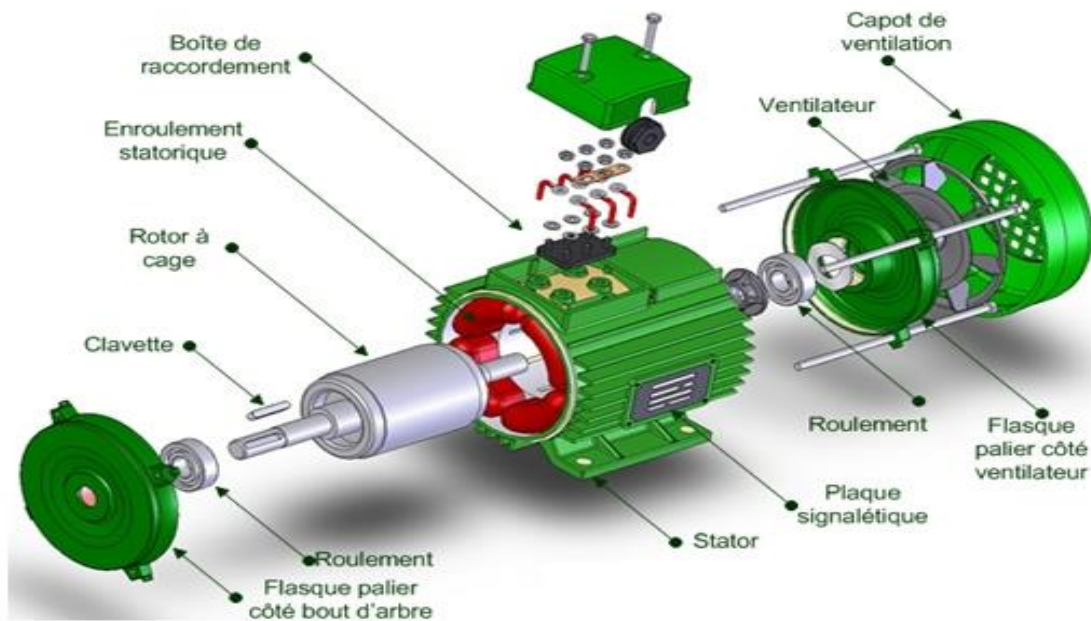


Figure 3.3- Construction d'un moteur asynchrone.

➤ Caractéristique d'un moteur asynchrone :

Les caractéristiques d'un moteur asynchrone sont indiquées sur la plaque signalétique de chaque moteur et sont résumés dans les éléments suivant :

- Puissance mécanique que le moteur délivre au point de fonctionnement nominal. Cette valeur nominale sert de point de départ pour les ingénieurs qui doivent concevoir ce moteur.
- La valeur efficace d'un courant de ligne vaut alors pour le fonctionnement normal.
- La valeur de tension efficace et composée pour le fonctionnement normale de moteur.
- La valeur de vitesse du moteur
- Facteur de puissance nominal

Est le déphasage de la tension aux bornes d'un enroulement par rapport au courant traversant ce même enroulement.

- Indice de protection IP :
 - contre les corps solides
 - contre les corps liquides
 - contre les chocs mécaniques
- Masse de moteur
- La fréquence de moteur
- Le Rendement nominal de moteur

Chapitre III : Groupes motopompes



Figure 3.4 - Plaque signalétique d'un moteur asynchrone.

Les caractéristiques de ce moteur sont classées dans le tableau suivant :

Marque du constructeur	LEROY SOMER
Référence du constructeur	16015 ANGOULEME
Numéro de série du moteur	NFC 51-111 NOV.79
Type du moteur	LS90 Lz
La puissance mécanique	1.5Kw
La valeur efficace d'un courant de ligne en triangle	6.65A
La valeur efficace d'un courant de ligne en étoile	3.84A
La valeur de tension efficace en triangle	230V
La valeur de tension efficace en étoile	400V
Facteur de puissance nominal	Cos φ= 0.78
Vitesse du moteur	1440 tr/min
Rondement du moteur	78%
La fréquence	50Hz
Nombre de phase	3 phases
Classe du matériau isolé	F
Classe de température échauffement possible	40°C

Tableau 3.1- caractéristiques du moteur asynchrone de type LEROY SOMER LS90 Lz.

III.4 Le pompage photovoltaïque :

III.4.1 Introduction :

Dans nos jours, la demande d'eau est de plus en plus très importante, en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile voir pratiquement impossible. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier, dans les régions désertiques.

En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer, avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

III.4.2 Définition de la pompe :

Une pompe hydraulique est un dispositif permet de convertir l'énergie mécanique fournie par un moteur électrique ou moteur diesel vers une énergie hydraulique.

III.4.3 Type de pompes :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux grands types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. Ces dernières conviennent pour élever des faibles débits d'eau à des pressions élevées.

❖ La pompe centrifuge :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rentre au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages.

Il existe deux types de pompe centrifuge les pompes de surface et les pompes émergées.

➤ Caractéristiques d'une pompe centrifuge :

- Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications avec énergie photovoltaïque parce que le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au démarrage
- La pompe tourne par très faibles ensoleillement, le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peu près constante
- Utiliser pour des débits importants

Chapitre III : Groupes motopompes

❖ La pompe volumétrique :

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse. Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. Mais elles ne conviennent que pour des débits faibles, ce qui rend leur emploi très limité pour l'alimentation en eau des cultures.

➤ Caractéristiques d'une pompe volumétrique :

Le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT (3 à 5 fois le couple nominale). La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau inférieure à $[5\text{m}^3/\text{h}]$.

III.4.4 Choix des pompes :

Le choix de la pompe est basé sur la fonction du débit et de la hauteur manométrique totale et ça pression de sortie de la pompe.

III.4.5 Méthodes de pompages :

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possibles : Dans la première technique, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un « pompage au fil du soleil ». Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, le soir par exemple).

La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, cette fois-ci, via des batteries. L'énergie stockée la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau.

❖ Pompage « au fil du soleil » :

Comme on va le constater, la méthode de pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord. En effet, dans cette première technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur au-dessus du sol pour qu'elle soit, au besoin ensuite, distribuée par gravité. Il faut bien signaler ici que le réservoir d'eau peut souvent être construit localement. En plus, il ne requiert pas un entretien complexe et peut être réparé localement. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles.

❖ **Pompage avec batteries :**

La méthode de pompage d'eau en utilisant l'énergie stockée sur des batteries peut avoir l'avantage de garantir une stabilité d'alimentation des équipements (système présente l'avantage d'un débit régulier, la possibilité de pomper lorsque le soleil est absent). L'énergie emmagasinée pour être utilisée aussi pour d'autres besoins ultérieures. L'inconvénient majeur, voir handicapant, de cette technique est qu'elle comporte plusieurs composants qui influent négativement sur la fiabilité et le coût global du système. En effet, les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés. Elles nécessitent, en outre, un entretien constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge. Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30 % de la production d'énergie.

III.4.6 Notions hydrauliques :

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent des volumes d'eau et les refoulent sous une certaine pression dans les canalisations du réseau. Les paramètres nécessaires pour dimensionner la pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler. Celle-ci est majorée par des pertes de charges et de la pression de refoulement dans la conduite.

❖ **Le débit Q :**

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m³ par jour.

❖ **La hauteur manométrique totale HMT:**

C'est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$HMT = H_g + P_c \quad (III.1)$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation. Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_g = A + B + C \quad (III.2)$$

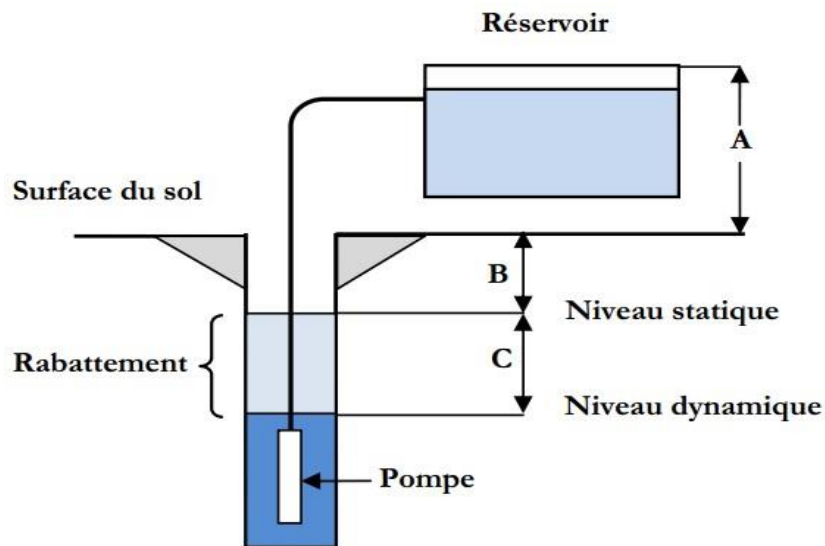


Figure 3.5 - Hauteur manométrique total.

III.5 Conclusion :

Dans cette chapitre, nous définissons le général des machines électriques et le groupe de pompe à moteur spécial et de traiter les types de moteurs électriques, que ce soit synchrone ou asynchrone, et le principe de son travail, en plus de la méthode de sélection du moteur droit et les caractéristiques distinctives de l'autre. Comme nous avons parlé sur les types de pompes hydrauliques types et caractéristiques et la façon de choisir la pompe appropriée en plus de donner des concepts d'irrigation dont nous avons besoin dans cette étude, qui est considéré comme l'un des principes de base dans le domaine d'hydraulique.

Chapitre IV :

Dimensionnement
d'un kit
solaire réel

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

IV.1 Introduction :

Dans la partie précédente de ce travail, nous avons bien détaillé l'étude et le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque. Il est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur un site réel pour valider la méthode choisie et d'en tirer des conclusions. Pour cette étude pratique, nous avons choisi la vallée de la wilaya de M'sila. M'sila Est une ville située au centre de l'Algérie .Elle est caractérisée par un Climat méditerranéen avec été chaud, une énergie d'ensoleillement de plus de 4.5 kWh/m² par jour et des ressources importantes d'eau souterraine.

Dans ce chapitre, nous étudions le dimensionnement d'un système de pompage PV fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil ». Le stockage de l'énergie solaire est par batterie dans tous les cas pour notre étude.

IV.2 Situation géographique :

M'sila Est une ville située au centre de l'Algérie a une superficie de 18 175 km². Elle est limitée par les wilayas de Bouira et Bordj-Bou-Argeridj au nord, Batna et Sétif à l'est, Médéa et Djelfa à l'ouest et Biskra au sud.

Sa population est de 1 029 447 habitants. Sa morphologie et sa position géographique confèrent à cette région un aspect écologique unifié représenté par la prédominance de la steppe qui couvre 1 200 000 ha (soit 63 % de la superficie totale) de la wilaya. La superficie affectée à l'agriculture représente 20 % de la surface totale, consacrées essentiellement à la céréaliculture, à l'arboriculture et aux maraîchages, La ville est située à une altitude d'environ 470 mètres

IV.3 Milieu physique :

❖ Climatologie :

La région de M'sila est caractérisée par un Climat méditerranéen avec été chaud avec des températures élevées, une faible pluviométrie et évaporation.

❖ Pluviométrie :

Les précipitations moyennes annuelles sont de 43 mm septembre est le mois le plus pluvieux avec 40 mm Le mois d'août est le plus sec de l'année avec moins de 5.2 mm

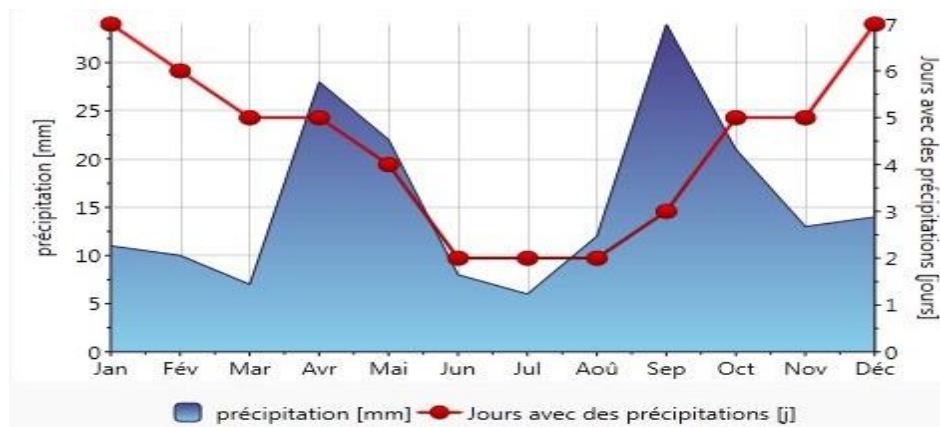


Figure 4.1- Répartition mensuelle des pluies à M'sila.

❖ Températures :

Les températures sont de type saharien. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud est de 36°C (mois de juillet). Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 12°C

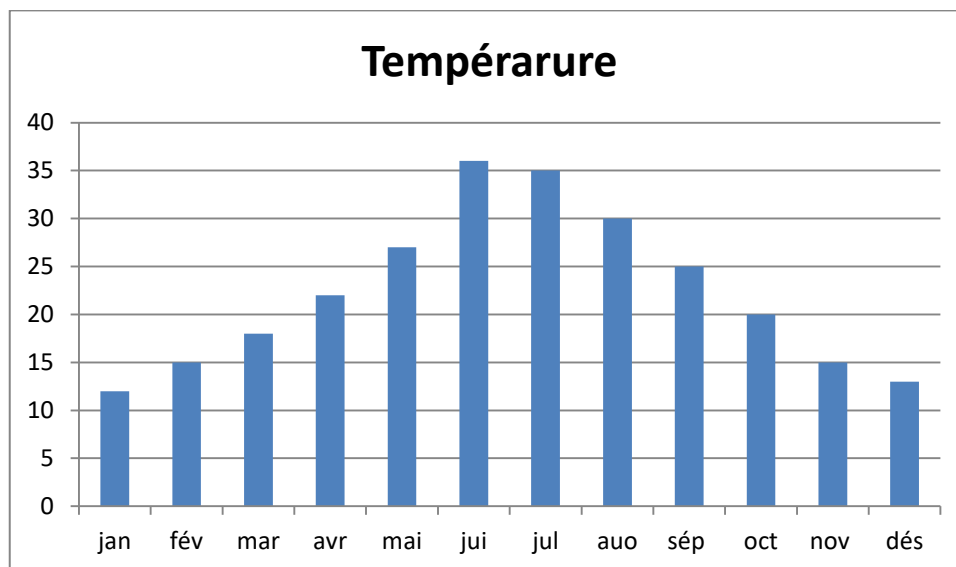


Figure 4.2 - Température moyenne mensuelle à M'sila.[23]

❖ Evapotranspiration :

La station climatique susceptible d'être considérée comme représentative de la région d'étude est la station de M'sila.

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

L'évapotranspiration est basse en hiver (novembre, décembre et janvier) et augmente jusqu'au maximum en juin, juillet et août.

L'évapotranspiration maximale est enregistrée au mois de juillet 8.43mm et l'évapotranspiration minimale au mois de décembre de 1.27mm.

L'évaporation mensuelle moyenne enregistrée à M'Sila est représenté dans la figure suivant:

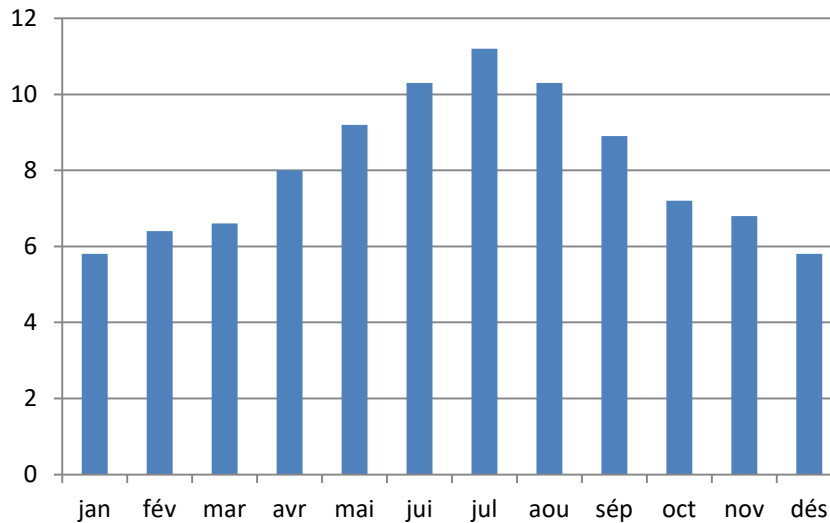


Figure 4.3- Répartition mensuelles de L'évapotranspiration à station de m'sila. [23]

❖ Durée de l'ensoleillement :

La position géographique de la wilaya de m'sila et le caractère qui est caractéristique est dominé par le tempérament des montagnes des steppes vides et un terrain difficile a conduit à l'augmentation de la durée de la présence des rayons du soleil au niveau d'aujourd'hui de façon spectaculaire.

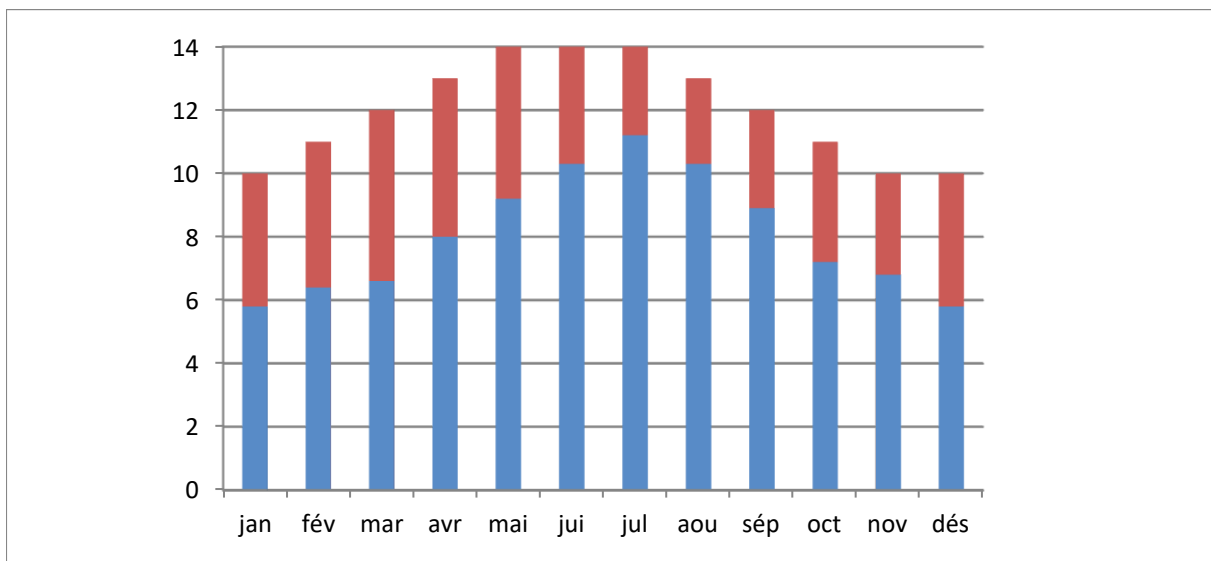


Figure 4.4- Durée moyenne de l'ensoleillement à m'sila. [23]

❖ Rayonnement solaire :

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal saisonnier sur le site de M'sila.

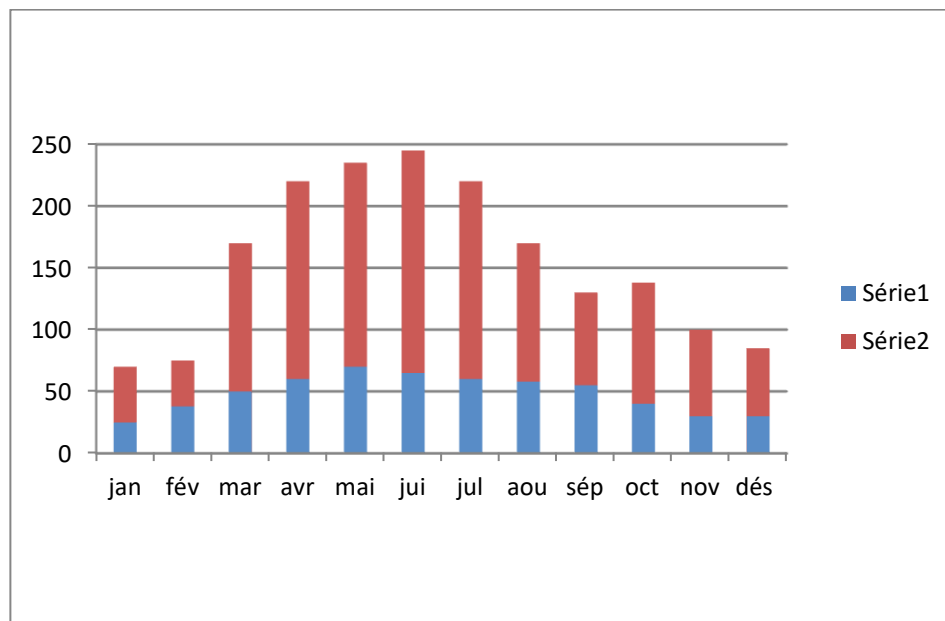


Figure 4.5- Les valeurs globales de l'irradiation moyenne mensuelle pour une inclinaison optimale. [23]

IV.4 Dimensionnement complet de l'installation :

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants

IV.5 Estimations des besoins en eau :

Pour une région tropicale, les besoins en eau peuvent être définis en utilisant les valeurs du tableau suivant :

Humains
par personne 5 à 10 litres/jour minimum
Condition de vie normale 30 litres/jour
Animaux
Moutons et chèvres 5 litres/jour
Cheval 40 litres/jour
Vache 50 litres/jour
Ane 20 litres/jour
Chameau 20 litres/jour
Irrigation
Agriculture maraichère 60 m ³ /hectare/jour
Riz 100 m ³ /hectare/jour
Sucre de canne 65 m ³ /hectare/jour
Coton 55 m ³ /hectare/jour

Tableau 4.1- Diagramme d'estimation des besoins en eau.

IV.6 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise :

Une fois les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits sont définis, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation.

$$E_h = C_h \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (4.1)$$

Avec :

E_h : Énergie hydraulique [kwh/j]

C_h : Constante hydraulique [kg.s.h/m²]

Q : Volume d'eau [m³/jour]

H_{MT} : Hauteur manométrique total [m]

Où: $C_h = g \cdot \rho / 360$

g : La gravité terrestre [9.81 m/s²]

ρ : Densité de l'eau [1000 Kg/m³]

IV.7 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise :

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante

$$E_e = E_h / (\eta_{MP} \times \eta_{ond}) \quad (4.2)$$

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

Où :

E_e : Energie électrique exprimé en

η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

η_{ond} : Le rendement d'onduleur

IV.8 Détermination de l'énergie solaire disponible :

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible à l'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique.

IV.9 Taille du générateur photovoltaïque :

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque: une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

IV.10 Méthode analytique :

Une fois connus le volume journalier Q [m^3 /jour], la hauteur manométrique totale H_{MT} et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_c est calculée par l'expression suivante.

La puissance fournie par le générateur PV dans les conditions standards de mesure CSM, (éclairage de [$1000w/m^2$] et la température $25^\circ C$).

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (4.3)$$

Avec :

P_c : La puissance de sortie du générateur (w) sous CSM (puissance crête).

η_g : Le rendement du générateur à la température de référence ($25^\circ C$).

A : La surface active du générateur (m^2).

G : L'éclairage dans les conditions CSM.

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot G_d(\beta) \quad (4.4)$$

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

η_{PV} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_d(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β =[kwh/m²/jour]

Le rendement η_{PV} est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{PV} = F_m [1 - \gamma(T - T_r)] \eta_g \quad (4.5)$$

Avec :

F_m : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale.

γ : Coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0,005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

T : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

IV.11 Calcul de la puissance en watts crêtes que doit avoir le champ :

$$P_c = \frac{G}{F_m [1 - \gamma(T - T_r)] G_d(\beta)} \times \frac{E_h}{\eta_{MP} \times \eta_{ond}} \quad (4.6)$$

❖ Méthode graphique :

Le calcul de la puissance du générateur photovoltaïque peut être effectuée de deux manières : soit par des expressions analytiques comme celle donnée ci-haut, ou bien en utilisant les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur qui donne en fonction de l'irradiation globale la puissance nécessaire développée P_c par les panneaux pour faire fonctionner la pompe dans cette gamme de débit, et de HMT. Ces dernières sont assez pratiques et résument les performances des différents pompes en fonction des conditions de leur utilisation.

❖ Les abaques :

Ce sont des graphiques à lecture directe facilitant les calculs numériques. Graphiques servant à déterminer spontanément des résultats obtenus par des calculs dans un système de lignes prédéfinies et préparées d'avance. Les abaques s'exploitent par une lecture directe sans avoir à effectuer de tracés complémentaires en lisant directement les données se situant à l'intersection des droites correspondante par la lecture du point concourant en relation avec les besoins de l'intervenant.

Les constructeurs d'équipement élaborent de tels diagrammes sur la base des données calculées ou mesurées. Ce genre de graphes donne la configuration possible d'une électropompe.

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

A titre d'exemple, la figure 3.6 montre les caractéristiques de l'électropompe SP30- donnée par le constructeur *LENNTECH*

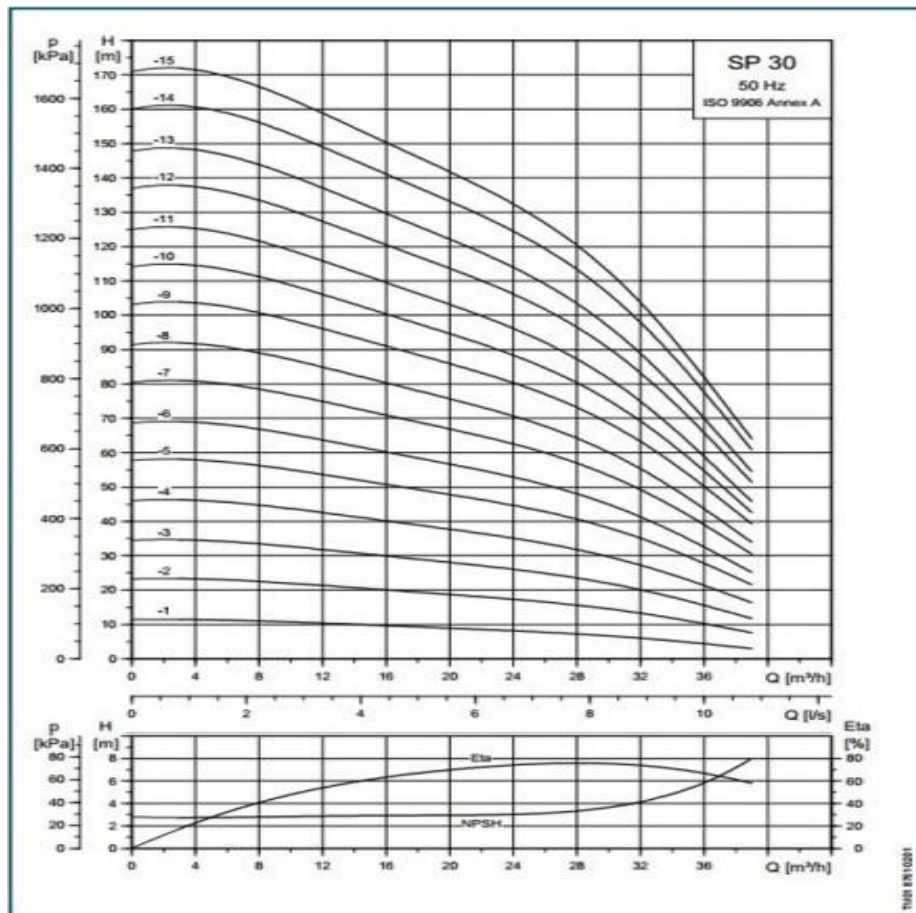


Figure 4.6- Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation SP-30.
[24]

IV.12 Dimensionnement de la pompe :

Le choix de la pompe est basé sur les deux facteurs suivants :

- La hauteur manométrique totale H_{MT} .
- Le débit horaire Q_h .

$$Q_h = \frac{Q[m^3/jour]}{h} \quad (4.7)$$

h: est le nombre heures d'ensoleillement maximal à $[1000w/m^2]$.

IV.13 Dimensionnement des stations de pompage solaire :

Pour définir la puissance utile au fonctionnement de la pompe développée par les panneaux solaires, les données minimums sont :

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

- La situation géographique pour déterminer l'irradiation solaire globale.
- Le débit pour déterminer les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- La hauteur manométrique totale pour mesurer le niveau statique, le rabattement maximal, la hauteur du réservoir et les pertes de charge dues à la tuyauterie.

On procèdera comme suit :

1. Définir l'irradiation globale journalière mensuelle en [Kwh/m²/jour] par rapport à la latitude de la zone de travail.
2. Choisir une pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale, (utiliser les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur).
3. Choisir l'onduleur adapté à la pompe (tension et puissance).
4. Déterminer la puissance crête P_c nécessaire au fonctionnement de la pompe par la méthode analytique ou graphique.
5. Choisir le type de panneau solaire (définir leur puissance nominale P_n)
6. Déterminer le nombre de panneaux par la relation P_c/P_n
7. Vérifier la tension nominale pour le fonctionnement de l'onduleur (selon les modèles).
8. Déterminer le nombre de module série / parallèle (la forme de connexion).

IV.14 Situation géographique du forage :

Commune de : ouled mahdi

Daira de chellal

Willaya de m'sila

Cordonnées Lambert :

X= 654.500 KM

Y= 260.700 KM

Carte topographique N° 167-M'sila

Description géologique :

- La coupe lithologique a été établie d'après l'analyse des échantillons prélevés.
- Tous les matériaux étaient les vies, puis classes.

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

DE 00m-10m argile jaunâtre

DE 10m-23m argile et passages graveleux

DE 23m-69m graviers et argile

DE 69m-73m graviers

DE 73m-82m argile et graviers

DE 82m-120m graviers et sable grossiers

Caractéristiques du forage :

Profondeur du forage	120m
Colonne d'exploitation	120m
Débit de forage (Q_{frg})	10l/s
Débit d'exploitation	8 à 10l/s
Niveau statique (NS)	70m
Niveau dynamique (ND)	50m

IV.15 Choix de la pompe :

D'après les données du forage nous choisissons la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale.

Débit horaire :

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q[m^3/jour]}{h} \quad (4.8)$$

Avec h: le nombre d'heures d'ensoleillement maximal.

Dans notre cas, nous prenons :

$$h = 6 \text{ heures}$$

$$Q = 32.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

La hauteur manométrique :

La profondeur du forage est de 120m et le niveau dynamique de l'eau est 50m à partir de ce dernière on a trouvé :

$$\text{HMT} = 70 \text{ m}$$

Pour notre étude, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur GRUNDFOS Cette gamme est constituée de pompes de dimensions différentes ; chaque type de pompe est disponible avec un nombre de roues variables afin d'obtenir le point de fonctionnement requis. Les types des pompes sont donnés dans le tableau.

Type de pompe	moteur		Dimensions [mm]						Poids net [kg]
	Type	Puissance [kw]	C	B	A	D	E*	E**	
SP-30-1	MS402	1.1	349	306	655	95	131		14
SP-30-2	MS4000	2.2	445	346	791	95	131		19
SP-30-3	MS4000	3.0	541	494	1035	95	131		25
SP-30-4	MS4000	4.0	637	574	1211	95	131		31
SP-30-5	MS4000	5.5	733	674	1407	95	131		38
SP-30-6	MS4000	5.5	829	674	1503	95	131		39
SP-30-7	MS6000	7.5	941	565	1506	143	142	142	53
SP-30-8	MS6000	7.5	1037	565	1602	143	142	142	55
SP-30-9	MS6000	9.2	1133	590	1723	143	142	142	62
SP-30-10	MS6000	9.2	1229	590	1819	143	142	142	64
SP-30-11	MS6000	9.2	1325	590	1915	143	142	142	65
SP-30-12	MS6000	11	1421	683	2104	143	142	142	70
SP-30-13	MS6000	11	1517	683	2200	143	142	142	72
SP-30-14	MS6000	13	1613	683	2321	143	142	142	76

Tableau 4.2- Caractéristiques d'une gamme de pompes GRUNDFOS. [24]

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de 32.4 m³/h, et une hauteur manométrique totale de 70 m, d'autre part, la motopompe adéquate sera alors la pompe SP-30-13. La figure ci-après illustre ses caractéristiques techniques :

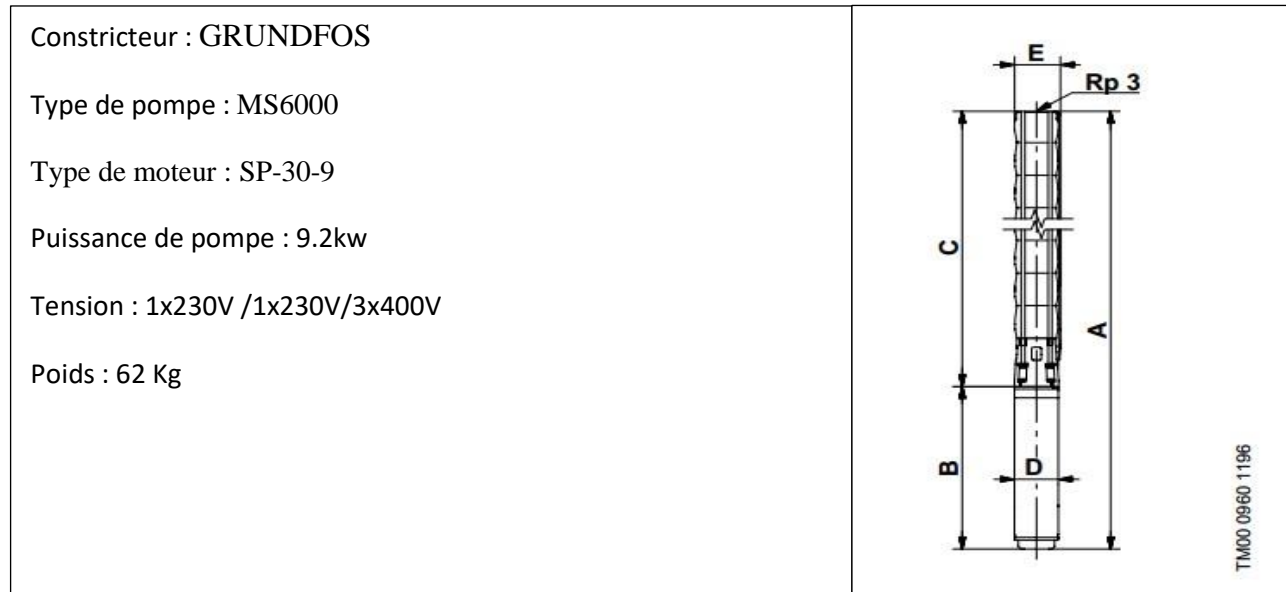


Figure 4.7- schéma et caractéristique de la pompe SP30-13. [24]

IV.16 Calculer la puissance crête de la pompe :

La puissance crête est la puissance consommée par la pompe dans un période connue et donne par la relation suivante :

$$P_c = \frac{E}{D \times 0.7} \quad (4.9)$$

Avec : E : l'énergie consommée par la pompe dans une période connue

D : l'irradiation de site de station

0.7 : facteur

Donc la puissance crête de ce type de pompe est :

$$P_c = \frac{(9200 \times 6)}{5 \times 0.7} = 15.77 kW_c \quad (4.10)$$

Avec : h=6 heures (nombre d'heures de l'utilisation de la pompe par jour)

IV.17 Choix des panneaux solaire :

Pour notre étude et appliquer des mesures réelle on a choisi les panneaux solaire de condor de type CEM300-72 parce que le stage sur le terrain que nous avons fait au niveau de l'entreprise et l'étude que nous avons entrepris il nous a permis d'acquérir de l'expérience sur le terrain et la connaissance des détails de l'installation de ces panneaux.

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

IV.18 Caractéristiques du panneau type CEM300-72 :

❖ Caractéristique électriques :

Type de module	Unité	CEM280P-72	CEM285P-72	CEM300P-72
Puissance nominale	Wc	280	285	300
Tension en circuit ouvert (Vco)	V	43.30	44.67	45.60
Courant de court-circuit Isc	A	8.24	8.55	8.88
Tension mpp Vmpp	V	35.61	35.81	36.80
Courant mpp Impp	A	7.93	7.95	8.15
Tension maximale du système VDC	V	1000		
Charge maximale de fusible (A)	A	15		
Facteur de température (cellule)				
Température nominale de fonctionnement		NOCT		45 ±2°C
Coefficient de température de puissance		% /°C		-0.39
Coefficient de température de courant		% /°C		+0.06
Coefficient de température de voltage		% /°C		-0.33

Tableau 4.3 - Caractéristique électriques du panneau solaire de type CEM300-72. [25]

❖ Caractéristiques mécanique :

Type de cellule	Cellule polycristalline avec anti-reflection
Nombre de cellule par module	72cellules (6×12)
Dimensions de la cellule	156×156mm
Dimensions du module	1959×992×50mm
Poids du module	23.5 Kg
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trompé, 3.2mm d'épaisseur
Boîte de jonction et connecteur	IP65 ; 3 diodes By-passe et câbles compatible avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	-40°C à 85°C

Tableau 4.4 - Caractéristique mécanique du panneau solaire de type CEM300-72. [25]

IV.19 Taille du générateur PV :

Selon la puissance demandée par le groupe moteur-pompe et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale que doit fournir le générateur PV est calculée par l'expression suivante :

$$P_c = \frac{G}{F_m [1 - \gamma(T - T_r)] G_d(\beta)} \times \frac{E_h}{\eta_{MP} \times \eta_{Ond}} \quad (4.11)$$

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

Où η_{MP}, η_{Ond} sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, de l'onduleur et F_m le facteur de couplage.

Après le calcul de la puissance du générateur PV, on détermine le nombre de modules constituant le générateur suivant la puissance du module PV choisie

IV.20 Nombres de modules :

Le nombre total de modules (N_p) constituant le générateur PV est calculé par la formule suivante :

$$N_p = \frac{P_c}{P_{Panneau}} \quad (4.11)$$

Avec :

P_c : La puissance crête du générateur et égale la puissance consommée par le récepteur moteur ou groupe motopompe Etc.

$P_{panneau}$: La puissance du module PV.

Dans notre cas le nombre des panneaux est :

$$N_p = \frac{15771}{300} = 52.57 \approx 54 \text{Panneau}$$

❖ Nombre de modules en série :

Pour trouver la tension convenable à l'alimentation d'une charge donnée par la mise en série de plusieurs modules PV, le nombre de ces modules est calculé par l'expression suivante :

$$N_{MS} = \frac{V_{Ch}}{V_M}$$

Pour notre étude on a choisi un onduleur de tension d'entrée maximale égale 900V :

$$N_{MS} = \frac{900}{45.9} = 19.6 \approx 18 \text{panneaux}$$

Nous avons réduit le nombre des panneaux en série vers 18 panneaux pour respecter le coefficient de sécurité.

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

❖ Nombre de modules en parallèle :

La mise en parallèle de modules donne l'intensité nécessaire à la charge. Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}}$$
$$N_{MP} = \frac{54}{18} = 3$$

Système de 18série et 3 parallèles.

IV.21 Nombre des batteries :

Le nombre des batteries à propos de l'énergie consommée et l'autonome et la tension de la batterie et calculé par l'équation suivante :

$$C_T = \frac{E \cdot N}{U \cdot F}$$
$$C_T = \frac{900 \times 6}{12 \times 0.7} = 6428.6 \text{ Ah}$$

Avec :

E : l'énergie de récepteur N_B

N : l'autonome

U : la tension de la batterie

F : coefficient de la puissance de batterie

Le nombre de la batterie calculée par l'équation suivant :

$$N_B = \frac{C_T}{C_{Batterie}}$$
$$N_B = \frac{6428.6}{250} = 25.7 \approx 26 \text{ Batterie}$$

Le raccordement de la batterie en série ou en parallèle est basée sur la tension et le courant d'entrée de l'onduleur et le régulateur :

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

Pour notre cas trouvé toute la batterie attachée en série pour obtenu la tension nominale d'entrée de l'onduleur supérieur à 300 est inferieur a 900v.

Remarque :

- ◆ Dans la plus part de kits solaire pour une pompe immergé ou un kit alimenté station de pompage le régulateur et toujours intégré dans l'onduleur pour donner le bonne rendement et diminuée les parte et conservée le maximum de puissance.
- ◆ Afin de réduire les coûts kits solaire en a remplacé le stockage de l'énergie dans les batteries Sous la forme d'énergie électrique par autre type et stockée l'eau pompée dans un réservoir sous forme d'énergie hydraulique.

Les caractéristiques de l'onduleur choisi Trio-Top sont présentées dans le tableau suivant :

Raccordé réseau	Triphasé
Puissance: 9-10-12-15 et 18kW	Isolation galvanique
Monitoring à distance 'prêt à l'emploi'	Rendement maximal 96.5%
Rendements MPPT 99.5 et 99%	Choix des connectiques DC (Solarlok, MC4, Sunclix)
2 MPPT	Plage de tension: 300-900V
Installation solaire du 9 au 250kW	Raccordé réseau
Compatibilité tout type de panneaux	

Tableau 4.4- caractéristiques de l'onduleur Trio-Top.



Figure 4.8- l'onduleur solaire Trio-Top

IV.22 Correction de la puissance crête :

Dans la plus part des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers, il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

Chapitre IV : Dimensionnement d'un kit solaire

Le schéma ci-dessous explique les démarches à suivre pour la détermination de la taille du générateur PV.

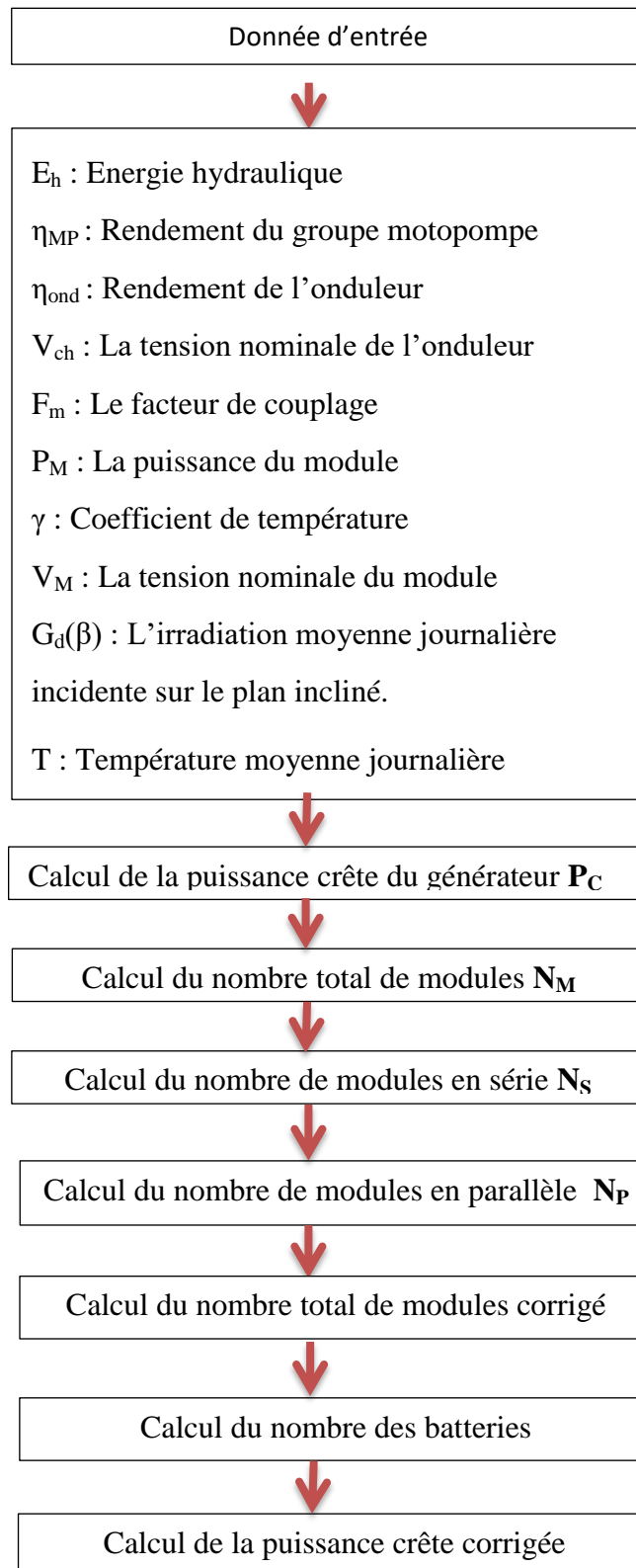


Figure 4.9- Les étapes du calcul de kits solaire

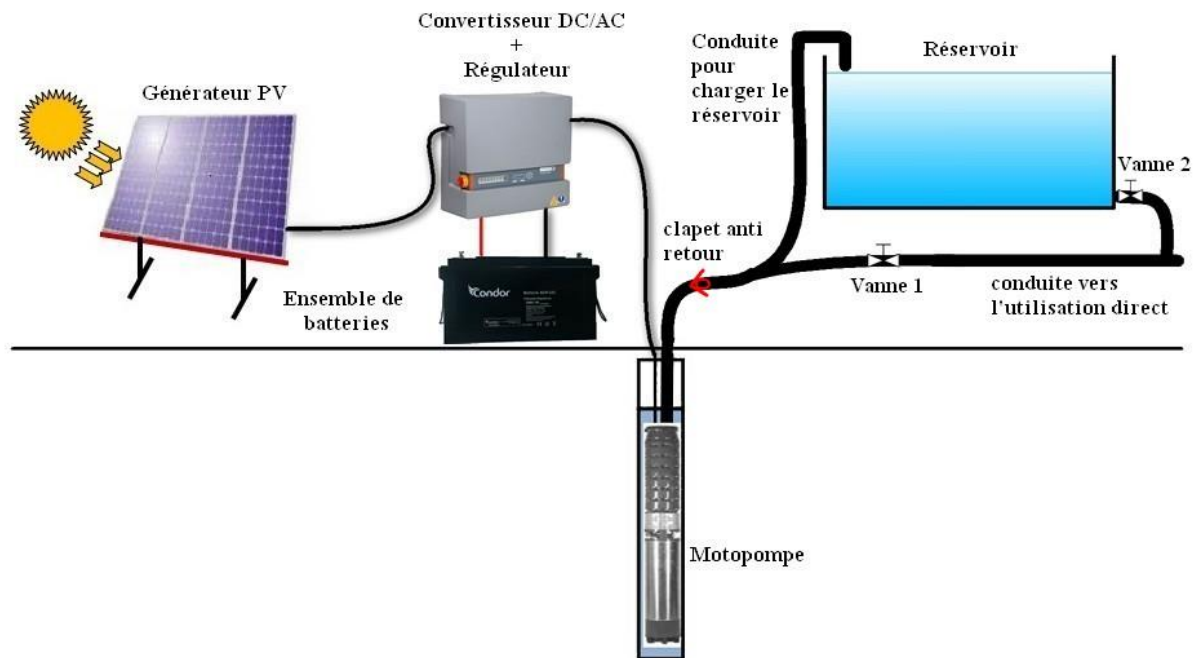


Figure 4.9- Schéma synoptique simplifié de Pompage PV.

IV.23 Conclusion :

Dans cette chapitre, nous avons étudié la station de pompage travaillant sur l'énergie solaire et d'identifier les éléments du kits solaire nécessaire afin d'exploiter l'eau de puits pour i heures par jour, par si bien pensé processus à l'avance et défini avec précision pour la sélection des éléments nécessaires de l'énergie nécessaire à travers la sélection du conseil et des méthodes appropriées de plaques de connexion de type requis avec une partie de la séquence soit ou de ramification, ainsi que la détermination de la crise de l'onduleur et des batteries appropriée pour exécuter cette station en cas de corruption dans le système des panneaux ou de l'absence de source d'énergie (le soleil).

Chapitre V :

La maintenance de kit solaire

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.1 Introduction :

La sûreté de fonctionnement est une activité d'ingénierie qualitative et quantitative. La part qualitative correspond à l'optimisation des études au bureau d'études, elle représente 70% environ de l'activité totale. Les 30% restant représentent la partie dite quantitative qui est consacrée à la maîtrise des risques avant la fabrication à partir des architectures déjà élaborées. C'est donc la phase d'optimisation des architectures des systèmes et de leur mise en œuvre de façon à maximiser, à moindre coût, leur robustesse aux aléas.

La sûreté de fonctionnement est donc une action de réduction des risques et, par voie des conséquences, du coût à l'achèvement. Elle s'exerce donc essentiellement pendant les premières phases des projets, jusqu'à la mise en production.

Cette démarche est une partie de la démarche générale qui, depuis quelques années, est mise en œuvre pour contrôler la fabrication d'un produit ou d'un instrument donné, que l'on désigne sous le nom d'assurance produit.[6]

V.2 Les concepts de base de la sûreté de fonctionnement (SDF) :

La sûreté de fonctionnement (SDF) est appelée la science des « défaillances ». D'autres désignations existent suivant les domaines d'applications: analyse de risque (milieu pétrolier), aléatique, cyndinique (science du danger), FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité), en anglais RAM (Reliability, Availability, Maintainability). Elle se caractérise à la fois par les études structurelles statiques et dynamiques des systèmes, du point de vue prévisionnel mais aussi opérationnel et expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects probabilités et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines.

Cette discipline intervient non seulement au niveau de systèmes déjà construits mais aussi au niveau conceptuel pour la réalisation des systèmes.[7]

V.3 Qu'est-ce que la maintenance :

V.3.1 Histoire

Le terme « maintenance » forgé sur les racines latines, Manus et Tenere est apparu dans la langue française au 12^{ème} siècle, l'étymologiste WACE a trouvé la forme maintenance comme celui qui soutient, utilisée en 1169, c'est une forme archaïque de mainteneur.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

Les utilisateurs anglo-saxons du terme sont donc postérieurs, à l'époque moderne, le mot a réapparu dans le vocabulaire militaire « maintien dans les unités de combat, de l'effectif et du matériel à des niveaux constant », définition intéressante, puisque l'industrie la reprise à son compte en l'adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique ».

Avant 1900 : on parle de réparation.

1900 - 1970 : on utilise la notion d'entretien, avec le développement des chemins de fer, de l'automobile, de l'aviation et l'armement pendant les 2 guerres mondiales.

A partir de 1970 : les développements de secteurs à risques et d'outils modernes aboutissent à la mise en œuvre de la maintenance. [7]

Les principales raisons à retenir pour le passage de l'entretien à la maintenance :

- Automatisation.
- Evolution technologique.
- Amortissement.
- Contraintes réglementaires.
- Coût.

Cout de la sûreté de fonctionnement

Le cout d'un haut niveau de sûreté de fonctionnement est très onéreux. Le concepteur doit faire des compromis entre les mécanismes de sûreté de fonctionnement nécessaires et les couts économiques.

Les systèmes qui ne sont pas surs, pas ables ou pas sécurisés peuvent être rejetés par les utilisateurs. Le cout d'une défaillance peut être extrêmement élevé.[8]

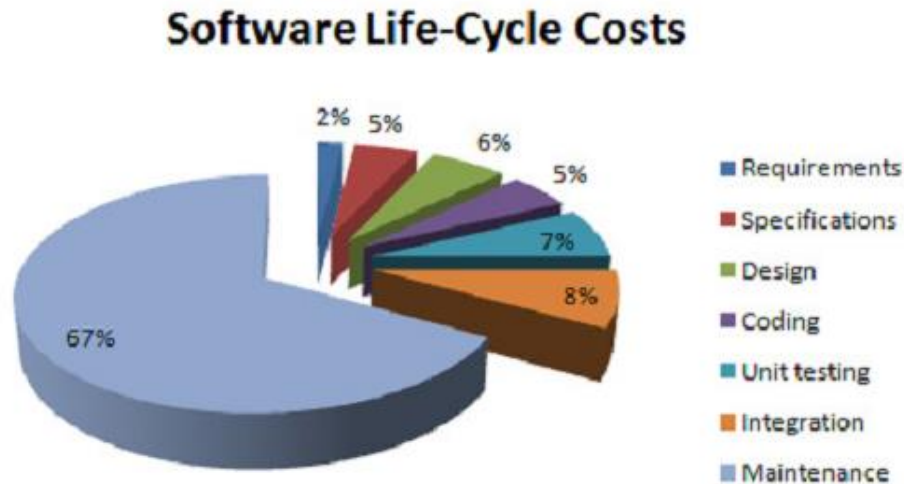


Figure 5.1 - Cout de la maintenance. [8]

V.4 Définition de la maintenance :

La maintenance est << l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management>>.[9]

La maintenance est l'ensemble de toutes les tâches permettant de maintenir ou de rétablir un bien, dans l'état dans lequel il peut accomplir la fonction requise on appelle :

- **Bien** : Tout équipements «mécanique, électrique,.....etc.» pouvant remplir une tâche bien définie dans la production de l'entreprise.
- **La fonction requise** : C'est la fonction ou ensemble de fonction d'un bien, considéré comme nécessaires pour un service donné
- **Selon l'AFNOR** : La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé.
- **Selon LAROUSSE** : La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.[9]

V.5 Les objectifs de la maintenance :

V.5.1 Garantie la production prévue :

La planification de la production doit être étudiée conjointement par l'entretien et la production en conciliant les arrêts nécessaires à l'entretien préventif et les recommandations du manufacturier tout en s'ajustant aux programmes de fabrication.[10]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.5.2 Amélioration de la qualité du produit :

La qualité dépend autant de la production que de l'entretien; chacune de ces fonctions aura à rendre compte en cas de baisse de productivité de l'entreprise: erreur d'opération ou défaillance de la machine, matière première défectueuse ou de réglage de la machine, etc.

V.5.3 Contribuer au respect des délais :

Il y a une double responsabilité au niveau de l'entretien: on doit connaître exactement l'état des équipements (pièces de rechange, historique des pannes, intervenants, caractéristiques techniques, stock pièces de rechange disponible etc.).

V.5.4 Recherche des coûts optimaux :

Mis à part les compétences techniques, le service d'entretien doit être capable d'établir des devis précis et des estimés des coûts relié aux travaux de maintenance.

V.5.5 Assurance de la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail :

Le service de maintenance doit se préoccuper des accidents que les interventions peuvent occasionner d'une part, pour ses propres tâches (méthode de travail, consignes de sécurité, cadenas sage, etc.).

V.5.6 Respecter l'environnement :

Au service de maintenance incombe souvent le contrôle des polluants et le rejet des contaminants dans l'environnement. Il n'est pas rare que le matériel non productif mais nécessaire soit négligé (exemple: système de recyclage, dépoussiéreur, filtre, etc.). [10]

V.6 Les différents types de Maintenance :

- ✚ La maintenance corrective
- ✚ La maintenance préventive

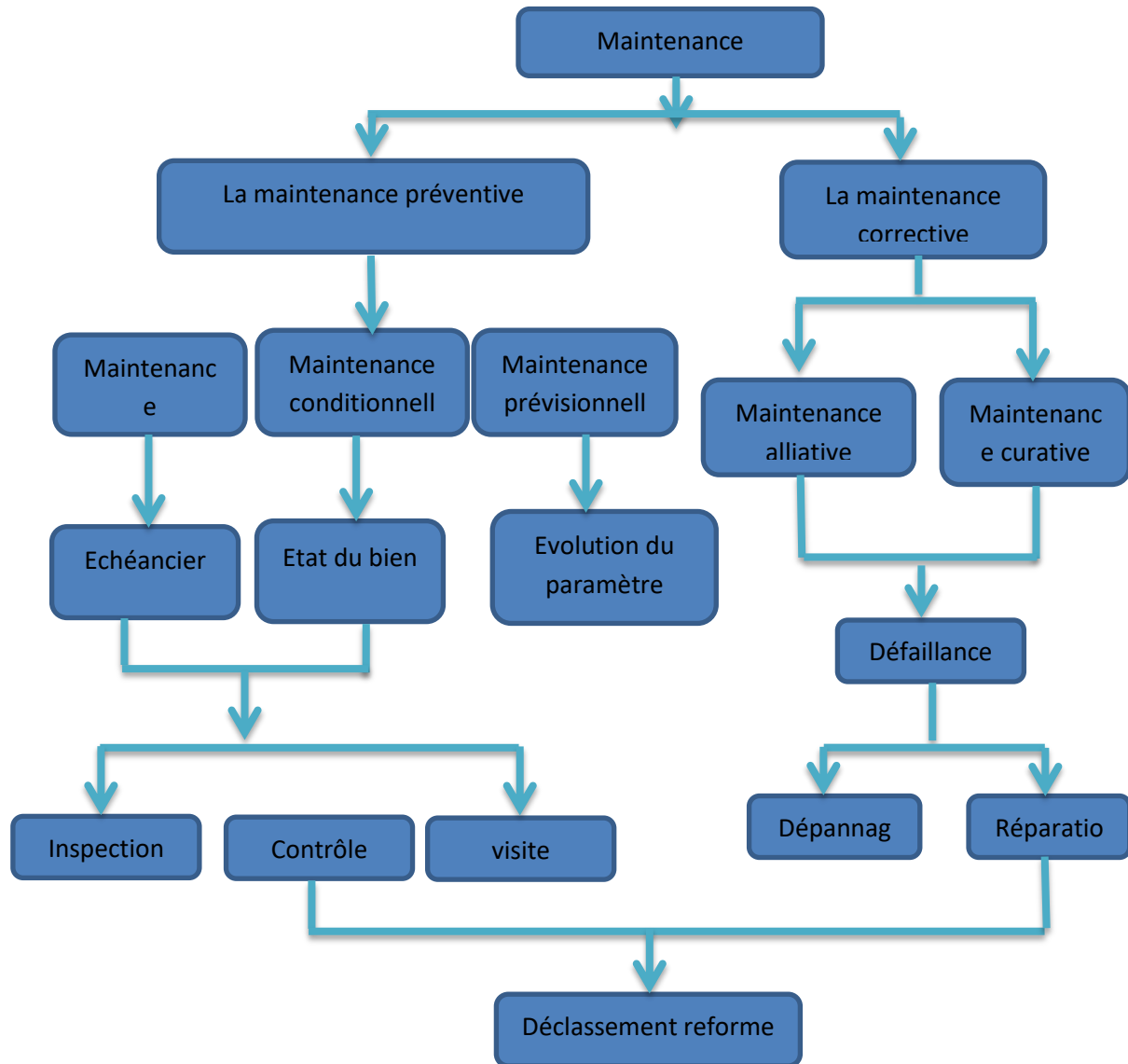


Figure 5.2 - Organigramme types de maintenance. [12]

V.6.1 La maintenance corrective :

❖ Définition :

La norme AFNOR NF X 60 010 définit la maintenance corrective comme une maintenance effectuée après défaillance, où l'on distingue :

Le dépannage : action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement. Aussi, dans ce cas, il est indispensable de travailler méthodiquement. Une bonne préparation du travail, la saisie et la gestion de toutes les informations concernant les interventions de maintenance, permettront de terminer le travail en limitant les temps morts et en évitant les erreurs de démontage et de montage.[11]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

On envisage deux types d'intervention :

- **Palliative** (dépannage), c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement « caractère provisoire».
- **Curative** (réparation), c'est la réparation complète, parfois après dépannage « caractère définitif».

Cette maintenance est utilisée lorsque l'indisponibilité du matériel n'as pas de conséquences majeures sur le processus de production ou quand les contraintes de sécurité sont faibles. [11]

❖ **Les opérations de maintenance corrective :**

➤ **Le dépannage :**

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnent en continu dont les impératifs de production interdisent toute visites ou intervention à l'arrêt.[12]

➤ **La réparation :**

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou Systématique. [12]

➤ **Les révisions :**

Ensemble des actions et examens de contrôle et d'intervention effectuée en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour nombre d'unités d'usage donnée.[10]

V.6.2 La maintenance préventive :

❖ **Définition :**

- **Définition AFNOR (X-60-010):**Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. [13]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

❖ Les types de maintenance préventive :

- ✓ La maintenance préventive systématique.
- ✓ La maintenance préventive conditionnelle.

➤ La maintenance préventive systématique :

a) Définition

AFNOR X-60-010 : « Maintenance préventive effectuée suivant un échéancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage ».

Cette maintenance comprend des inspections périodiques et des interventions planifiées.

b) Avantage

C'est une maintenance facile à gérer car les périodes d'interventions sont fixes, elle permet :

- d'éviter les détériorations importantes.
- de diminuer les risques d'avaries imprévues.

c) Inconvénient

Reposer sur la notion de MTBF et ne prends pas en compte les phénomènes d'usure. [13]

➤ La maintenance préventive conditionnelle

a) Définition

AFNOR X-60-010 : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état du bien. »

b) avantages

- elle sécurise : détection de l'arrivée des défauts.
- elle améliore la disponibilité par la planification des opérations.
- elle favorise les facteurs humains (appel aux compétences des opérateurs).

c) inconvénients

- Pour être efficace elle doit être pensée dès la phase de conception.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

➤ Les opérations de maintenance préventive

❖ Inspection

C'est l'activité de surveillance consistant à relever Périodiquement des anomalies, et d'exécution de réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni l'arrêt des équipements. [15]

❖ Le contrôle

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information ;
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement ;
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser L'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles Prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage .

❖ La visite

C'est l'opération de surveillance de maintenance préventive systématique qui s'opère selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'organes et une immobilisation du matériel. [14]

V.7 La sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement c'est la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre.[16]



Figure 5.3 - Concept de la FMDS. [12]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.8 Fiabilité :

La norme **NF X 60-500** définit la fiabilité comme « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné » L'entité (E) désigne au sens large un composant, sous-système ou système, et la fonction requise est la ou les fonctions que doit accomplir le dispositif pour pleinement remplir la tâche qui lui est assignée.

Considérons l'instant T d'occurrence de la défaillance ; cette variable aléatoire permet de définir la notion de fiabilité qui s'interprète comme la probabilité que l'entité considérée ne tombe pas en panne avant un instant t donné ou bien comme la probabilité qu'elle tombe en panne après l'instant t. Par extension, on appelle également fiabilité la probabilité associée R (t) à cette notion alors qu'elle n'en est qu'une mesure.

Elle est définie par:

$R(t) = P(E \text{ non-défaillante sur la durée } [0, t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } (t = 0)).$ Ce qui peut s'exprimer par:

$$R(t) = P(T > t) \quad (5.1)$$

L'aptitude contraire est appelée dé fiabilité, et est définie par :

$$F(t) = 1 - R(t) = P(t < T) \quad (5.2)$$

On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques) :

V.8.1 Les différents types de fiabilité :

- **La fiabilité opérationnelle:** (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience.
- **La fiabilité prévisionnelle :** (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants.
- **La fiabilité extrapolée :** déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.
- **La fiabilité intrinsèque ou inhérente :** qui découle directement des paramètres de conception. Sans modification de conception des entités, il n'est pas possible d'obtenir un niveau de fiabilité au plus égal à la fiabilité intrinsèque. [17]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.8.2 Analyse de la fiabilité :

Selon la **loi de Weibull** qui est une loi continue à être utilisée le long du cycle de vie d'un matériel, les fonctions de la fiabilité dépendent de trois paramètres: β , γ , η Caractérisent ce modèle.

➤ **Densité de probabilité :**

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (5.3)$$

➤ **La fonction de répartition :**

Elle représente la probabilité des pannes cumulée de défaillance entre 0 et t.

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (5.4)$$

➤ **Le taux de défaillance :**

C'est la probabilité instantanée d'une panne au temps $(t + \Delta t)$, sachant que mon dispositif est bon à l'instant t.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (5.5)$$

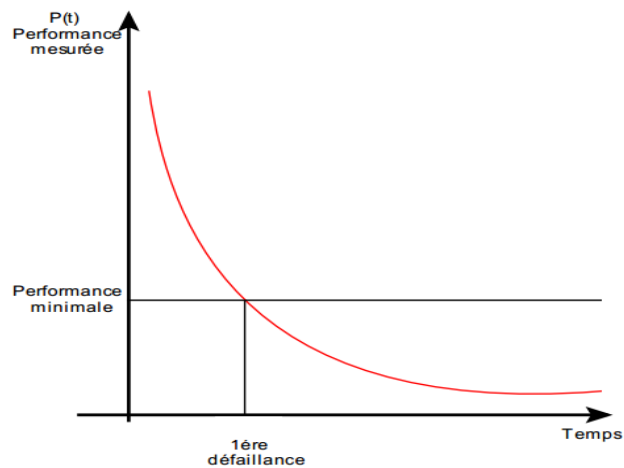


Figure 5.4 - Performance et défaillance d'un dispositif. [22]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

➤ Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF :

C'est la racine de temps de bon fonctionnement [MTBF] divisée par le nombre des pannes.

$$MTBF = \gamma + A \eta \quad (5.6)$$

V.9 Signification des différents paramètres :

V.9.1 Paramètre de forme β :

Ce paramètre donne l'allure de la distribution des défaillances, il est sans dimensions

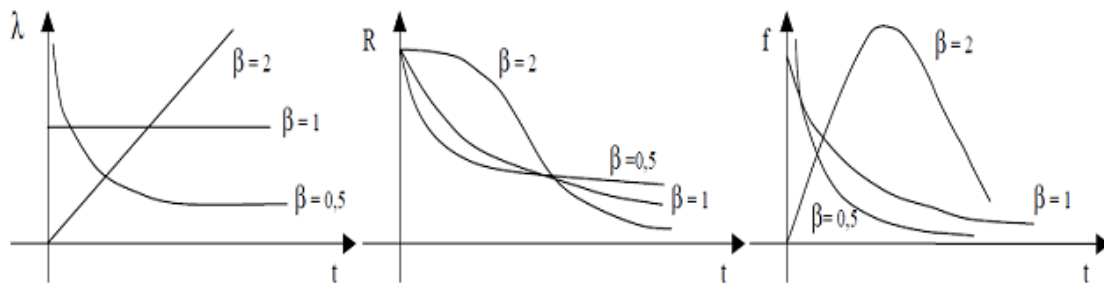


Figure 5.5 - Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β . [17]

➤ Courbe de défaillance :

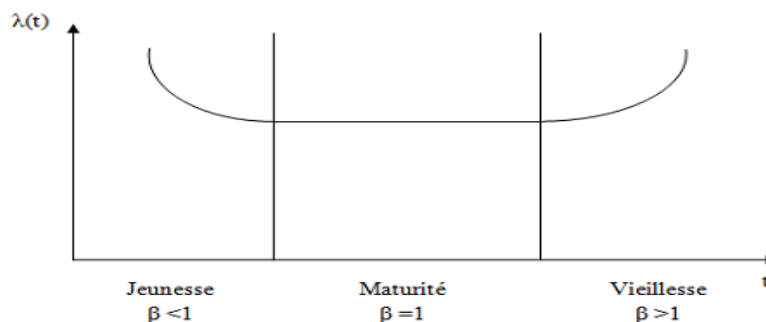


Figure 5.6 - Allure d'un taux de défaillance « en baignoire » [17]

$\beta < 1$:

Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place de rodage de l'installation (période de jeunesse).

$\beta = 1$:

Correspond à la zone où le taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire qui ne présente généralement pas de symptôme de dégradation préalable (vie utile). C'est la période la plus longue.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

$\beta > 1$:

Correspondre à la zone croissante rapide, c'est la période de vieillesse provoqué par l'usure mécanique.

V.9.2 Paramètre de position γ :

Son unité est celle de la variable, il explique la survie du lot

Si $\gamma < 0$ dès la réception du matériel, il y a défaillance.

Si $\gamma > 0$ il y a survie totale du lot.

V.9.3 Paramètre d'échelle η :

En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'ALAIN PLATT.

Ce dernier qui est en papier de WEIBULL utilise la méthode graphique pour l'estimation des

Paramètres de cette loi. Il est gradué comme suit :

- En abscisse: $\ln(t)$.

- En ordonnées : $\ln(\ln(\frac{1}{1-F(1)}))$.

V.10 La Maintenabilité :

La compréhension des termes utilisés en maintenabilité rend nécessaire l'établissement d'un diagramme chronologique des temps entre l'instant de l'apparition de la défaillance et l'instant de la remise en service de l'installation. Le diagramme de la (figure 5.5) résume tous les instants importants de cette chronologie. [18]

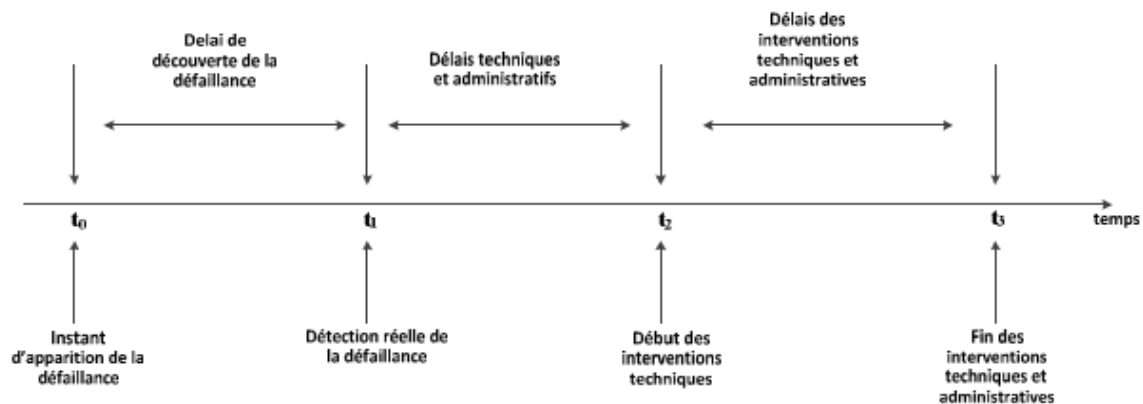


Figure 5.7 : Chronologie des temps des activités de maintenance. [18]

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.10.1 Définition de la maintenabilité :

(AFNOR X-06-010) : «Aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il puisse accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions d'utilisation données avec des moyens et procédures prescrits».

Suivant la norme AFNOR c'est : dans les conditions données d'utilisation, l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

La maintenabilité est la mesure de l'aptitude d'un dispositif (« item ») à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiques lorsque la maintenance de celui-ci est réalisée par des agents ayant les niveaux spécifiés de compétence, utilisant les procédures et les ressources prescrites, à tous les niveaux prescrits de maintenance et de réparation.

La maintenabilité d'un équipement dépend essentiellement de la facilité de démontage de ces éléments consécutifs et de leurs interchangeabilité.[17]

»Maintenabilité intrinsèque.

»Maintenabilité extrinsèque

V.10.2 La fonction maintenabilité :

C'est la probabilité pour qu'un dispositif soit répare avant (t).

$$M(T) = 1 - e^{-\mu.t} \quad (5.7)$$

M (t) : est constant alors μ : taux de réparation

V.10.3 La disponibilité :

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ». [17]

La probabilité associée A (t) à l'instant t est aussi appelée disponibilité et s'exprime par :

$$A(t) = P (E \text{ non-défaillante à l'instant } t).$$

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par :

$$\bar{A}=1-A(t) \quad (5.8)$$

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

C'est L'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionnement dans ces conditions données sous les aspects combinés de la fiabilité de la maintenance, la logistique et l'organisation de maintenance c'est la probabilité pour qu'un dispositif soit en état de fonctionnement selon des conditions de maintenance prescrite et pour un temps donné.[17]

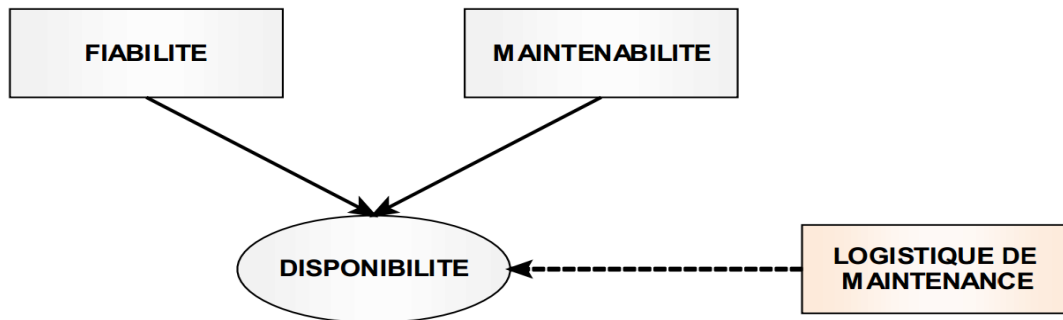


Figure 5.8 : La disponibilité. [17]

➤ **Les sortes de la disponibilité :**

➤ **Disponibilité intrinsèque :**

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5.9)$$

➤ **Disponibilité instantanée :**

C'est la probabilité pour qu'un dispositif puisse accomplir une fonction requise dans des conditions données et une instante donnée[17].

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (5.10)$$

Avec :

μ : Taux de réparation.

λ : Taux de défaillance.

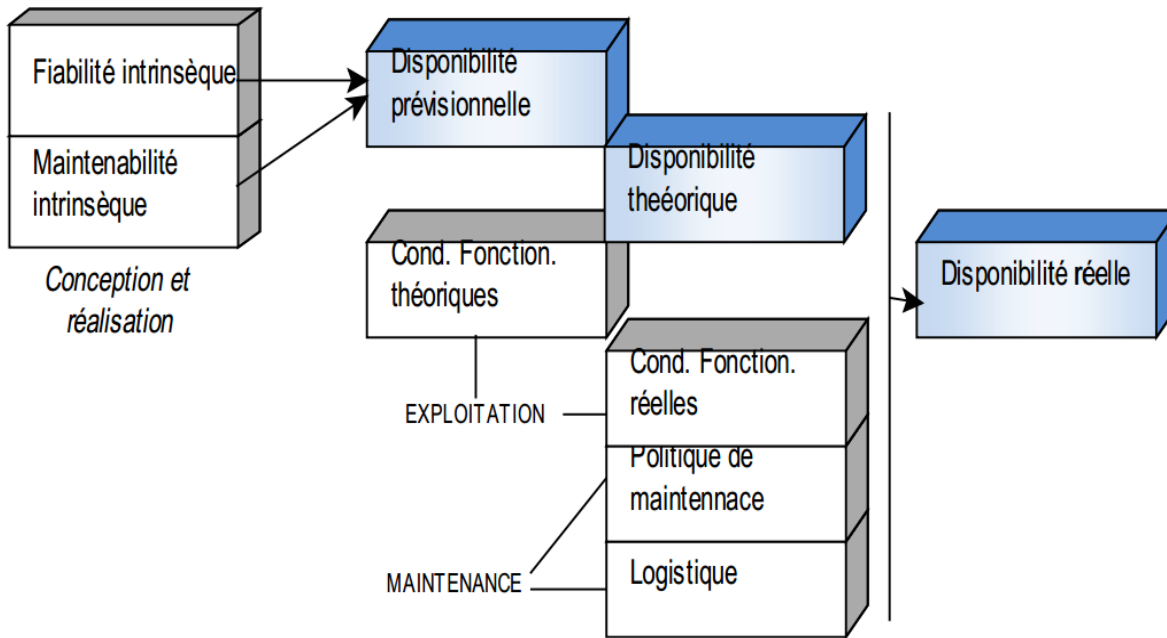


Figure 5.9 : Les trois types de disponibilité. [22]

V.11 La sécurité :

Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] n'intègre pas la sécurité comme composant de la sûreté de fonctionnement, nous considérons qu'il est important de la prendre en compte car l'occurrence d'un événement catastrophique met en péril la vie humaine.

En fait, le concept de sécurité est probablement le plus difficile à définir et à évaluer, car il englobe des aspects très divers. Cependant, la norme [EN 292 – 1, 1991] sur la sécurité des machines donne cette définition :

Aptitude d'une machine à accomplir sa fonction, à être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normales spécifiées dans la notice d'instructions, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé.

La sécurité peut également s'exprimer sous forme d'une probabilité que le système évite de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques (Villemeur, 1988). Si on considère que les défaillances d'un système se partagent en deux catégories, celles qui sont dangereuses et celles qui ne le sont pas, la sécurité peut être considérée comme la part de la fiabilité relative aux défaillances dangereuses. Ce concept peut devenir prépondérant dans une analyse de sûreté de fonctionnement, dans la mesure où une défaillance du système peut présenter un risque de dommage corporel à l'encontre des usagers. [19]

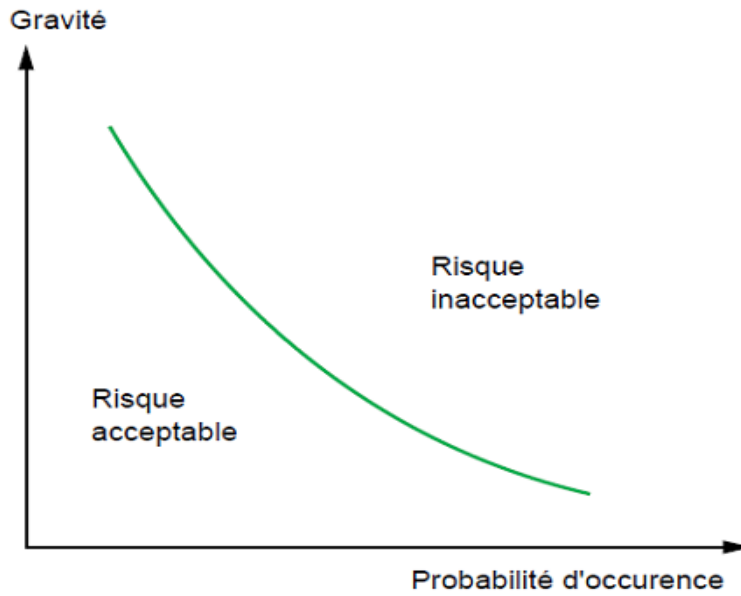


Figure 5.10 : Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence. [20]

V.12 Méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement :

Une analyse prévisionnelle de sûreté de fonctionnement est un processus d'étude d'un système réel de façon à produire un modèle abstrait du système relatif à une caractéristique de sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité). Les éléments de ce modèle seront des événements susceptibles de se produire dans le système et son environnement, tels par exemple :

- ✓ des défaillances et des pannes des composants du système,
- ✓ des événements liés à l'environnement,
- ✓ des erreurs humaines en phase d'exploitation.

Le modèle permet ainsi de représenter toutes les défaillances et les pannes des composants du système qui compromettent une des caractéristiques de SDF.

An d'aider l'analyste, plusieurs méthodes d'analyse ont été mises au point. Les principales sont :

V.13 Réseaux de pétri (RDP) :

Un réseau de Pétri est constitué de places, transitions et arcs, qui vont représenter successivement les propriétés du système à modéliser lors de ses changements d'état, à travers les relations place/transition.

Couplés à la simulation de Monte Carlo, ils permettent d'évaluer la fiabilité et la disponibilité de systèmes divers et notamment dans le domaine de l'automatique et de la productique en considérant des transitions déterministes ou aléatoires.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

Le pouvoir de modélisation de cette méthode est très riche, mais demande en contrepartie une grande maîtrise du processus de modélisation de la part de l'analyste qui doit en être expert.[13]

V.14 Analyse des Modes de Défaillances de leur Effets et de leur Criticité (AMDEC) :

L'AMDEC est une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité. C'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des éléments d'un système pour aboutir aux effets de ce système. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production. [21]

L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité, (AMDE) est une méthode d'analyse systématique des causes et des effets des défaillances pouvant affecter les composants d'un système. L'AMDEC est l'extension de l'AMDE à l'analyse de criticité. Cette analyse permet de déterminer l'importance de chaque mode de défaillance compte tenu de son influence sur le comportement normal du système et d'évaluation impact sur la fiabilité et la sécurité du système. On peut ainsi éviter des modifications coûteuses en détectant les faiblesses de la conception

vis-à-vis des exigences de sûreté de fonctionnement, et en proposant des mesures pour y remédier le plus tôt possible. L'AMDE(C) peut être réalisée au niveau fonctionnel (décomposition en fonctions élémentaires), ou structurel (décomposition en composants matériels ou logiciels).

Permet de recenser les défaillances des composants dont les conséquences affectent le fonctionnement du système.

V.15 Méthode des arbres de défaillances (ADD) :

Est une analyse déductive qui permet de représenter graphiquement les combinaisons d'événements élémentaires qui conduisent à la réalisation d'un événement redouté. L'arbre de fautes, dont la racine correspond à l'événement redouté pour lequel on cherche à évaluer la probabilité d'occurrence, est formé de niveaux successifs tels que chaque événement soit généré à partir des événements du niveau inférieur par l'intermédiaire d'opérateurs logiques (OU, ET). La décomposition s'arrête au niveau des événements élémentaires, caractérisés par le fait qu'ils sont indépendants entre eux ou que leurs probabilités peuvent être estimées ou qu'on ne désire pas les décomposer en éléments plus simples.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

L'analyse peut être uniquement qualitative, par recherche systématique des combinaisons minimales de défaillances entraînant l'apparition de l'événement redouté (coupes minimales) afin d'identifier les chemins les plus critiques, et donc d'identifier les points faibles du système, ou quantitative ; dans ce cas, on assigne à chaque événement de base une indisponibilité pour effectuer le calcul de la valeur d'indisponibilité de l'événement redouté. [21]

V.16 Système Solaire Autonome :

Cette partie couvre les besoins de maintenance pour les composants du système solaire pour une meilleure intégrité du système.

Pour exécuter n'importe quelle maintenance, il faut suivre les procédures d'arrêt indiquées ; certains équipements ont des démarches d'arrêt comme les groupes des clés.

Le SPS typique inclura :

* Rangée solaire

* Banque de batterie

* Equipement de régulation du système (contenant) convertisseur, régulateur(s), chargeur des batteries, câblage de système ; et...

Les deux types de la maintenance ne sont pas existés pour tout l'équipement de l'installation.

En fin la fréquence de l'entretien dépend de matériel installé et de la nature ambiante.

V.17 Équipement de génération d'énergie :

L'équipement de génération d'énergie inclut la rangée photovoltaïque solaire, les armoires électriques, poursuit solaire et les dispositifs de protection contre les tonnerres bien que la prise de terre.

Généralement les installations solaires photovoltaïques sont exposées à un gisement solaire élevé au-delà de 1000m de la mer (en Algérie ils sont dans les hauts plateaux), l'un des inconvénients de cette localisation et l'augmentation de la vitesse du vent et les glaçons de nuage.

V.18 Maintenance préventive

V.18.1 Vérification électrique :

En générale c'est une maintenance systématique et conditionnelle, avec des systèmes de détection de défaut optimale on peut assurer une intervention rapide pour minimiser le temps d'arrêt ; en parallèle la maintenance systématique au niveau du capteur que soit le nettoyage ou la vérification de bon fonctionnement.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

➤ **Vérin mécanique :**

Ce qui est plus demandé est le graissage des vérins et roulements des moteurs électriques. Aussi la réorientation des panneaux pour maximiser d'ensoleillement.

➤ **Nettoyage :**

La rangée solaire est souvent connue quelle n'exige pas une maintenance spécifique. Ceci peut être le cas dans beaucoup de situations, cependant, avec l'entretien et l'inspection occasionnels, le bon fonctionnement de tous les modules solaires dans la rangée peut être assuré. La tâche d'entretien la plus commune pour les modules solaires est le **nettoyage** du secteur de verre pour enlever la saleté excessive.

Dans la plupart des situations, le nettoyage est seulement nécessaire pendant de longues périodes sèches où il n'y a aucune pluie pour fournir le nettoyage naturel. Pour enlever une couche de la poussière et de saleté des modules, laver simplement le module avec de l'eau. Si le module à la saleté ou la crasse épaisse, il est plus difficile d'enlever, laver avec de l'eau chaude et une éponge. Le lavage des modules est semblable aux fenêtres de verre de lavage mais aucun détergent ne devrait être employé. Les modules devraient être nettoyés quand ils ne sont pas excessivement chauds, en général le matin (tôt).

➤ **Vérification de structure :**

Après que les modules aient été nettoyés, une inspection visuelle des modules peut être faite pour vérifier les défauts tels que des fissures, des morceaux et la décoloration. Si des défauts évidents sont trouvés, noter les dans le carnet d'entretien, ainsi ceux-ci peuvent être surveillés à l'avenir en cas de détérioration. Quand on inspecte les modules solaires, l'état du **bâti** de support de panneau devrait également être noté. Les articles à observer devraient inclure les **boulons** de fixation de rangée (par exemple desserrage des boulonne) et vérifier pour s'assurer que l'armature et les modules sont fermement fixés.

V.19 Armoire électrique et boîtiers :

V.19.1 vérification mécanique :

Cette tâche inclura le serrage des contacts électriques (point de raccordement, cause,...etc.), aussi l'efficacité du joint des boîtiers

V.19.2 vérification électrique :

La mesure quotidienne du courant et de la tension électrique du panneau solaire sera essentielle pour voir le rendement électrique, tant que pour la détection des défauts, aussi que l'efficacité des diodes de protection dans les boîtiers au-dessus des panneaux solaires.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.20 Equipement de protection :

V.20.1 Paratonnerre :

Il faut que le dispositif assure l'amorçage c à d il faut qu'il soit être pointu et en bon état de câblage.

V.20.2 Prise de terre :

Si la résistance du sol est supérieure de 10Ω il faut la réduire par l'arrosage avec de l'eau salifiée si non on ajoute quelques piquet en cuivre.

V.21 Maintenance prévisionnelle :

Lorsqu'on propose l'installation on peut suggérer des recommandations comme des taches de terrassement comme :

V.21.1 le sol :

Il est préféré de mettre des plateformes en ciment ou des pierres lourdes gratuitement fournissent par la nature ou autre, ces a l'action de la préservation contre les gravures sur les verres des modules photovoltaïques lorsqu'il y a du vent.

V.21.2 Couleur du sol :

La couleur qui a le grand reflet est le blanc, alors elle est préférable pour augmenter le génération d'énergie à travers cette petite augmentation d'albédo et diminution de chaleur.

V.21.3 Canalisation d'eau :

Une bonne application des déclinaisons d'eau pour réduire la corrosion et les couches de sel sur les panneaux.

V.21.4 élévation du sol :

Cette action est pour le refroidissement et pour qu'il reste propre.

V.22 Maintenance corrective :

V.22.1 Rangée solaire :

➤ Recyclage :

Si un module est complètement ou partiellement détérioré (un exemple est sur la Fig.III) sauf ces cellules solaires on peut les récupérer et recycler dans des laboratoires spéciaux.

Les procédures de recyclage ne sont pas ouvrables, alors voila notre vue sur cette maintenance curative :

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

a) Renverser l'action d'encapsulation :

Certaines cellules sont collées sur le verre extérieur par la température, un personnel qualifié sur les traitements de surface a les solutions convenables.

a) Nettoyage :

Fig.III.2 : La nage a écrasée le panneau photovoltaïque.

Pour obtenir une cellule propre on assure le décapage des conducteurs et des autres produits comme le gel, papier et autres.

b) Test d'efficacité :

Mesure de tension et de rendement et autres grandeurs électriques.

c) Raccordement et Encapsulation :

Par cette étape finale on obtient un nouveau module solaire photovoltaïque prêt à utiliser.

Note : on arrive ici en Algérie dans un centre de recherche de construire un module solaire, la difficulté trouver est de construire la cellule et non pas l'encapsulation [UDTS].

V.22.2 Remplacement des pièces :

Tous les dommages d'équipement inclura (pièce métallique, dispositif électrique, joint de boîtier ou autre) doit être rechanger rapidement pour assurer une maintenance active ; bien évidemment il dépende de personnel qualifié et de la disponibilité des pièce de rechange c.à.d la gestion du stock.

V.22.3 Banque de batterie :

Les batteries utilisées dans les systèmes solaires autonomes sont en général de type plomb-acide. Les batteries cadmium-nickel ne sont plus que rarement utilisées car leur prix est beaucoup plus élevé et elles contiennent du cadmium (toxique). [Éne]

La banque de batterie devrait être logée dans une clôture accessible seulement aux personnes autorisées.

➤ la maintenance de la banque de batteries :

Généralement l'entretien des batteries se concentre sur des régimes de remplissage corrects, l'état d'électrolyte et les bornes de la batterie et la sécurité globale de la batterie. Avant de commencer l'entretien, il faut s'assurer que toute la sureté de l'équipement est bonne. Voir la sécurité premièrement

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

- Hydromètre : pour vérifier la densité de l'électrolyte et par conséquent la charge de la batterie.
- Thermomètre sous forme d'une ampoule en verre : pour la mesure de la température de l'électrolyte.
- Récipient avec de l'eau propre pour rincer l'hydromètre et le thermomètre.
- Voltmètre ou multimètre tenu dans la main : pour vérifier la tension de la batterie.
- Outils appropriés: clés et/ou tournevis avec des poignées isolantes.
- Lave-borne en plastique: pour le nettoyage des bornes et des connecteurs de la batterie.
- Anti oxydant d'enduit: pour les bornes et les connecteurs enduisant de la batterie après le nettoyage.
- Bicarbonate de soude : pour le nettoyage des batteries.

V.23 La maintenance préventive :

V.23.1 Vérification des batteries :

En tant qu'élément de l'entretien régulier, une inspection visuelle complète de la banque de batteries est exigée. Cette inspection devrait inclure :

- Propreté des batteries ;
- Niveau de l'électrolyte ;
- État des bornes des batteries même les causses ;
- vérifier s'il y a de l'électrolyte dans les plateaux de sûreté ou sur le plancher, indiquant une fuite possible de batterie ou que le remplissage excède la capacité des batteries.
- État des récipients des batteries ;
- Niveau de tension des batteries.

V.23.2 Charge des batteries :

Pour maximiser la durée de vie d'une banque de batteries il est mieux de s'assurer que ces dernières reçoivent régulièrement une pleine charge et que leur état de charge n'est pas permis de tomber excessivement.

Recommandation : les batteries du système solaire à l'acides-plomb peuvent descendre à une profondeur maximale de décharge de 70-80% tandis que, pour quelques batteries acide-plomb la

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

profondeur maximum recommandée de la décharge est 50%. Chaque jour, la tension de batterie devrait être vérifiée, car ceci donnera une indication régulière de l'état de la charge de batterie. Des décisions sur l'utilisation d'énergie peuvent être prises basées sur ce contrôle pour éviter l'exercice des batteries. De telles décisions peuvent inclure l'utilisation en cas de retard d'énergie à l'aide des générateurs de secours pour charger les batteries.

Pour les batteries inondées, la banque de batteries exige une charge semblable pour toutes les cellules. Ceci est réalisé en chargeant la batterie jusqu'à ce que le bouillonnement (gazage) se produise. La période de charge d'égalisation dépend du fabricant et change typiquement de 7 à 28 jours mais, ou quelques batteries, elle peut être de 90 jours. Il faut vérifier avec le fournisseur, si la charge d'égalisation n'est pas réalisée par les panneaux solaires alors le générateur de secours devra être mis en marche et le remplissage est fourni par un chargeur de batterie séparé.

V.23.3 Vérification de la tension

Le tableau au-dessous donne des niveaux de tension typiques et démontre si l'état de charge est bon ou mauvais pour la banque des batteries. Ce tableau est valable quand les batteries sont au repos, (aucune charge ou décharge se produit) et il devrait seulement être employé comme norme pour la précision de niveau de la charge ou on devrait examiner la densité de chaque cellule, si possible. Le tableau ci-dessous est typique aux batteries à cellules inondées humides à 25°C. À des températures plus élevées ou plus basses, la correction devrait être faite en utilisant des facteurs de correction de la température à partir des caractéristiques de la batterie. Le tableau suivant [Tab.III.1] démontre les marges de la tension nominale.

Tension nominal	mauvais	Heure ou on commencer à économiser ou à employer le chargeur de secours	bonne	Attention (selon les batteries)(voir la note)
2V	< 1.9	1.9-2.0	2-2.2	> 2.4
12V	< 11.4	11.4-12	12-13.2	> 14.4
24V	< 22.8	22.8-24	24-26.4	> 28.8
48V	< 45.6	45.6-48	48-52.8	> 57.6

Tableau5.1 - les marges de la tension nominale.

Note : Quelques batteries ont des charges d'égalisation ou des amplifications, de 2.6V pour 2V de cellule.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.24 Maintenance corrective :

Lorsqu'il y a un dysfonctionnement aux niveaux de batteries on trouve deux types d'intervention sont :

V.24.1 Maintenance curative :

Là où il y a un remplacement complet de la cellule endommagée car la réparation n'assure pas les mêmes caractéristiques internes.

V.24.2 Maintenance palliative :

➤ Réparation des fuites :

Avec de la colle ou du plastique spéciale on peut dépanner ces dommages.

➤ Régénération des bornes :

La corrosion et le mauvais contact entre caisses-bornes font la dégradation des bornes, une action de maintenance dans le laboratoire de la maintenance les tâches sont les suivantes :

- ◆ Nettoyage total des bornes.
- ◆ Fixation d'un vice en cuivre juste dans l'axe.
- ◆ On place un tube en cuivre de même taille que la borne (le vice est maintenant dans le tube).
- ◆ Remplissage de tube par le plomb.

V.25 Tâches typiques pour la maintenance des batteries :

V.25.1 Préparation de système pour la maintenance :

Assurer qu'il y a de la ventilation dans la salle de batteries, vérifier que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement et sont propres et dégagés, ainsi enlever tous les outils inutiles, en laissant seulement l'équipe d'entretien et de sécurité.

Les meilleures conditions pour évaluer l'état d'une batterie de s'assurer que les batteries sont complètement chargées et il faut attendre le régulateur solaire.

Pour l'uniformité dans l'enregistrement des mesures de densité et de tension, chaque cellule devrait avoir une identification permanente, ces nombres peuvent être employés comme étiquette de référence.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.25.2 Isolement du système pour la maintenance :

Pour arrêter le système, pour isoler la banque de batteries pour la rendre sûre les étapes suivantes :

1. Arrêter (éteindre) toutes les charges du système;
2. Débrancher (éteindre) tous les dispositifs de génération d'énergie.
3. Arrêter la banque de batterie : ceci impliquerait le débranchement de tous les fusibles sur la batterie, le fusible sur la borne négative de la banque de batterie devrait être enlevé en premier suivi du fusible de borne positive.

V.25.3 Nettoyage des cellules :

Chaque cellule devrait être propre avant d'enlever tous les bouchons de remplissage pour effectuer l'entretien ou les mesures. Ceci évitera la contamination de la cellule par la saleté. Pour nettoyer les cellules, utiliser une brosse pour enlever le matériel sec et/ou un chiffon plongé dans une solution de bicarbonate de soude et l'eau pour arroser.

V.25.4 Vérification de la charge et de l'état de la banque de batteries

Il y a deux méthodes pour déterminer l'état de charge et l'état de la banque de batteries sont :

- a) Mesure de la tension de chaque cellule ;
- b) Mesure de la densité de l'électrolyte en chaque cellule.

La mesure de la densité est la mesure la plus précise de l'état de la charge des cellules. On enlève le câble de batterie d'abord de la borne négative, puis dans la borne positive.

Si la banque de batterie contient plus d'une corde de cellules, chaque corde devrait avoir ses propres disjoncteurs ou commutateur pour isoler chaque corde parallèle, comme décrit ci-dessus.

La banque de batteries est maintenant électriquement isolée de tous les générateurs, les dispositifs et des charges. Elle peut être maintenant prête pour la maintenance, MAIS se rappeler que chaque cellule est un dispositif chargé d'énergie et dangereux et peut causer une explosion.

V.25.5 Mesure de tension :

Une fois la banque de batteries est isolée, on utilise un voltmètre pour mesurer la tension de la banque complète et de chaque cellule et ont enregistré dans le carnet. Si n'importe quelle cellule est on 10% plus haut ou inférieur à la tension moyenne de cellules, une charge d'égalisation devrait être améliorée et la banque de batteries doit être revérifiée.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.25.6 Utilisation d'un hydromètre pour vérifier la densité de l'électrolyte :

Avant l'emploi, rincer complètement tous les composants de l'hydromètre pour éviter la contamination de l'électrolyte par les matériaux étrangers et rincer et nettoyer aussi le thermomètre.

Choisir une cellule pour la mesure de la température d'électrolyte. Insérer le thermomètre dans une cellule, en faisant attention à ne pas toucher n'importe quel **plat** ou d'autres structures internes de batteries. Laisser le thermomètre dans l'électrolyte tout en mesurant la densité des autres cellules.

Dégonfler complètement l'ampoule de l'hydromètre et insérer le tube dans l'électrolyte, libérant l'ampoule pour élaborer l'électrolyte.

V.25.7 Mesure de densité :

Généralement la mesure de la densité de l'électrolyte est élaborée par l'hydromètre. Une cellule qui est complètement chargée aura une densité approximativement de 1.250 à 25°C.

Une lecture moins de 1.250 indique la décharge des batteries.

Le thermomètre est exigé parce que la densité change avec la température. Une température plus élevée diminue la densité ; et vis versa. Si la mesure de densité de n'importe quelle cellule est plus de 0.025 au-dessous de la densité moyenne de la banque de batteries alors une charge d'égalisation devrait être appliquée et la banque de batteries être revérifiée.

V.25.8 Lecture de la densité de l'électrolyte :

- Répéter ceci trois à quatre fois de s'assurer que l'hydromètre est à la même température que l'électrolyte;
- Remplir l'hydromètre et le tenir verticalement, en s'assurant que son flotteur flotte dans l'électrolyte ;
- Lire le niveau de l'électrolyte outre du flotteur.
- Renvoyer l'électrolyte à la cellule. Enregistrer la lecture dans le carnet.
- Rincer l'hydromètre en eau doux et examiner la prochaine cellule.
- Répété la même procédure jusqu'à toutes les cellules sont examinées.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.25.9 Flaques neutralisantes d'acide :

Pour neutraliser une flaque d'acide, on emploie une solution de bicarbonate de soude et de l'eau. On mélange une demie tasse de bicarbonate de soude en approximativement 10 litres d'eau. Pour de plus grandes flaques on utilise une lavette pour nettoyer la flaque. Cette solution peut également être employée pour nettoyer les cellules et les bornes de la batterie.

V.25.10 Refaire le plein de l'électrolyte :

Quand les batteries sont en charge, la cellule perd de l'eau. Pour refaire le plein de l'électrolyte, il faut employer l'eau distillée (ou l'eau désionisée) et remplir la cellule jusqu'au niveau correct.

Il y a plusieurs types d'indicateurs à montrer que le niveau est correct. Ces indicateurs, indiquent les niveaux élevés et bas aux systèmes qui emploient un indicateur flotteur. Il faut examiner les instructions du fabricant pour s'assurer le type d'indicateur utilisé dans les batteries. Il est préférable d'ajouter l'eau distillée quand la charge de batterie est élevée car l'addition de l'eau diminuera la charge de la batterie.

V.25.11 Nettoyage des bornes de batterie :

Si les bornes de la batterie montrent des signes de la corrosion ou n'ont pas eu d'antioxydant, le nettoyage devient nécessaire. Ceci impliquera de débrancher les fils de la batterie et de nettoyer les bornes de la batterie et les connecteurs.

La corrosion finale de la batterie est souvent vue comme une matière blanche cristalline ou de la poudre autour ou sur les bornes. Une borne fortement oxydée aura un enduit très foncé et presque noir. Si c'est entre les surfaces des connecteurs et les bornes il devra être nettoyé.

Avant de débrancher, essuyer soigneusement la majeure partie de la corrosion outre d'employer une brosse ou un chiffon avec la solution de bicarbonate de soude, puis débrancher soigneusement le connecteur de fil de la batterie du borne terminal de la batterie et nettoyer tous les deux à l'aide d'un récureur en plastique.

Une fois qu'elle est propre, appliquer l'antioxydant et rebrancher la connexion de fil de la batterie sur le post terminal. Répéter ce procédé pour chaque borne, comme requis, en faisant attention à ne pas souiller l'électrolyte avec n'importe quel matériaux étranger.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

V.26 Système de régulation :

Le système de régulation contient :

- Régulateurs (ou contrôleurs) pour la rangée solaire, le générateur de secours ;
- Convertisseur (onduleur, redresseur et autre) ;
- Tous les câbles électriques;
- Tous les tableaux de commandes, équipement de protection et instrument de mesure.

Cet équipement exige peu d'entretien.

V.26.1 Le convertisseur :

Le convertisseur devrait être installé dans un secteur propre, sec, aéré, il doit être séparé, et pas directement en dessus, la banque de batteries Tandis que le système fonctionne, les contrôles opérationnels suivants peuvent être faits :

- Vérifier que le convertisseur fonctionne correctement par l'observation des LED,
- Vérifier pour voir si le convertisseur en mode réserve (si présent) fonctionne correctement. Ceci peut être fait par l'interruption de toutes les charges et les appareils fonctionnant dans le système. Une fois dans le mode réserve, brancher un appareil et le convertisseur commencé immédiatement.
- Vérifier que toutes les opérations de déclenchement à distance du générateur de secours (si présent) fonctionnent.
- S'assurer que le générateur de secours démarre et s'arrête aux niveaux de tension corrects de la batterie.

V.26.2 Le régulateur(s) :

Chacune des sources de rechargement d'énergie renouvelable : La rangée PV, aérogénérateur et le générateur hydraulique exigeront leur propre régulateur spécifique de charge (ou contrôleur). N'importe quel régulateur devrait être installé dans un secteur propre, sec et aéré.

Le régulateur est un dispositif électronique qui contrôlé la tension de la source d'énergie pour charger la banque de batterie convenablement et ils sont exactement conçus pour débrancher ou réduire le courant de charge. En général il y a des élévateurs et des onduleurs de tension.

Inspecter et vérifier le fonctionnement du régulateur pour s'assurer que tous les indicateurs ou instruments de mesure fonctionnent correctement pour les divers modes de régulateur. Dans le cas d'un système PV, vérifier que quand les batteries sont entièrement chargées et le temps est ensoleillé, que le régulateur solaire change en mode onduleur (mode de flotteur).

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

En général le fonctionnement correct du régulateur (s) peut seulement être observé en certaines conditions. Ceci est réalisé en observant que les courants de la charge obtenue des différentes sources (solaires, générateur de secours) sont réduits quand des tensions spécifiques sont obtenues.

L'inspection des régulateurs a besoin d'être entretenue par des personnes qualifiées, en inspectent, il faut:

- Rechercher n'importe quelle coupure du câblage sur les points du raccordement. S'ils sont mâles connectés il faut suivre les procédures d'arrêt de système avant la réparation.
- Enlever toute la poussière excessive ceci devrait seulement être fait avec un tissu ou une brosse sèche.

V.26.3 Tableaux de contrôle et câblage :

Si les tableaux électriques et le câblage sont correctement installés ils ne devraient pas exiger la maintenance.

Comme une partie du diagnostic du système, ces équipements peuvent être visuellement inspectés pour trouver les signes de la corrosion et/ou de l'existence d'étincelles.

Tous les dispositifs de sécurité détectent la fuite du courant et de la mise à la terre devrait être examinée.

V.26.4 Chargeurs de batterie :

L'entretien exigé pour cet équipement est semblable à celui exigé pour les convertisseurs. Vérifier que le chargeur charge les batteries quand le générateur de secours fonctionne. Si le générateur de secours ne donne pas une tension convenable alors le chargeur de batterie ne fonctionnera pas correctement. N'importe quel chargeur de batteries devrait être installé dans un secteur propre, sec et aéré.

V.26.5 Câblage du système :

Vérifier n'importe quelle coupure ou détérioration dans le câblage exposé. Inspecter les raccordements pour voir tous les signes de la corrosion et/ou de la brûlure.

Inspecter l'état du câblage :

- De la source solaire à son régulateur.
- Du régulateur à la banque de batterie.
- Du convertisseur à la banque de batterie.
- Du générateur de secours au chargeur de batterie.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

- Du chargeur de batterie à la banque de batterie.
- Du convertisseur et générateur de secours au tableau de contrôle du courant alternatif.

V.27 Interprétation d'équipement de surveillance :

Comme minimum, il est recommandé que votre système devrait inclure des voltmètres et des ampèremètres. Régulièrement la surveillance de ces instruments aidera à identifier un problème avant que le point soit atteint où le commutateur est bloqué (outré) à cause de l'état bas de la charge de la batterie. Qui se manifeste par une basse tension aux bornes de la batterie.

V.27.1 Mesure dans la rangée solaire :

Si un système fait une mesure du rendement solaire pour les rangées photovoltaïques, par mesure du courant de sortie régulièrement n'importe quelle perte de fonctionnement peut être notée. Il y aura une certaine variation de ce courant dû aux changements de la température ambiante, l'angle du soleil et la durée d'ensoleillement pour les modules. Pour réduire au minimum ces effets, cette observation devrait être faite durant les belles journées ou peu nuageuses à environ midi. Tous les changements cruciaux de rendement qui sont notés peuvent être étudiés. Les causes les plus communes pour la perte de rendement sont la saleté excessive sur les modules ou la nuance partielle de la rangée. D'autres causes pourraient inclure des problèmes de câblage et/ou les problèmes avec des régulateurs.

V.27.2 Mesure de tension de système :

La tension du système sera plus haute quand ce dernier est baisse dans le cas contraire et qu'il alimente des charges. Le bon temps pour observer la tension est le matin et au premier temps de nuit. Si la tension est inférieure à ce qui est prévu alors ceci pourrait indiquer que :

- ◆ Le système n'est pas chargé efficacement ;
- ◆ L'appel d'énergie a augmenté, le système consomme plus qu'il ne produit ;
- ◆ vieillissement des cellules des batteries ou bien quelques causes sont défailants.

V.27.3 autre surveillance :

Plusieurs convertisseurs et régulateurs sur le marché sont aujourd'hui sous forme d'un microprocesseur contrôlés et permettent donc d'autres dispositifs de surveillance. On arrive à la télésurveillance par l'intermédiaire de modems et de lignes téléphoniques.

Si le système contient ce type de surveillance, l'écoulement quotidien d'énergie (dans et dehors) aidera à déterminer si le système fonctionne correctement et alertera souvent d'un problème avant qu'il se cause une défaillance.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

En particulier la surveillance de l'énergie produite chaque jour fournit plus d'informations que d'observer simplement le courant de charge. Si cette surveillance est réduite sensiblement, elle indiquera qu'il y a un problème dans le rechargement du système.

Avec l'observation de la quantité d'énergie utilisée chaque jour, on reconnaîtra alors si la consommation d'énergie a augmenté. En comparant la quantité d'énergie produite à la quantité d'énergie consommée, on verra alors :

- ◆ Sous-emploi le système c'est-à-dire, le système produit plus d'énergie que l'on l'emploie. (note : dû aux pertes dans le système, on devrait toujours produire plus que l'on a besoin)
- ◆ Suremploi donc on peut bientôt avoir des batteries plates et une défaillance au système. Alternativement, on doit mettre en marche le générateur de secours et le chargeur de batteries pour compenser.

V.28 Conclusion :

L'identification des défaillances associées au système photovoltaïque a pour objectif d'entretenir les équipements de ce système, et également la connaissance des défaillances aide mieux à réaliser la maintenance qui est un but primordial.

Ce qui concerne les éléments de système, la connaissance des faits augmente la fiabilité de ces éléments et par conséquent leur durée de vie.

V.29 Les défauts de la machine asynchrone :

V.29.1 Introduction

De multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone. Elles peuvent être mécaniques ou électriques. Leurs causes sont très variées.

Plusieurs études ont été effectuées sur la fiabilité des machines électriques réalisées par différents groupes industriels. L'étude principale, effectuée par la compagnie "General Electric" [12], elle couvre environ 5000 moteurs, dont approximativement 97% étaient des moteurs asynchrones triphasés à cage.

La figure II.1 présente la distribution des défauts dans les moteurs examinés dans cette étude.

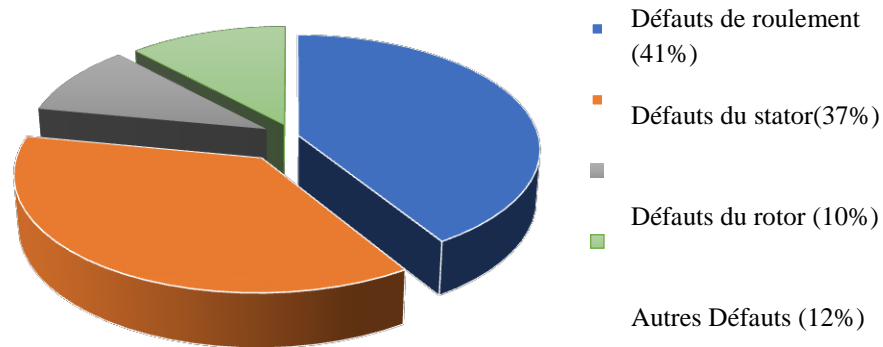


Figure 5. 11-La distribution des défauts dans les machines électriques.

Une autre étude a été effectuée sur 483 grands moteurs asynchrones fonctionnant dans un même domaine lié à l'industrie pétrochimique (figure II.2). De tels moteurs fonctionnent très souvent en conditions extrêmes dans des activités sous-marines. Ils sont souvent directement amorcés, ce qui génère de grands courants de démarrage et des variations de couple importantes. Ces conditions sont nocives pour le moteur, et mènent à l'usure rapide des différents composants de la machine.

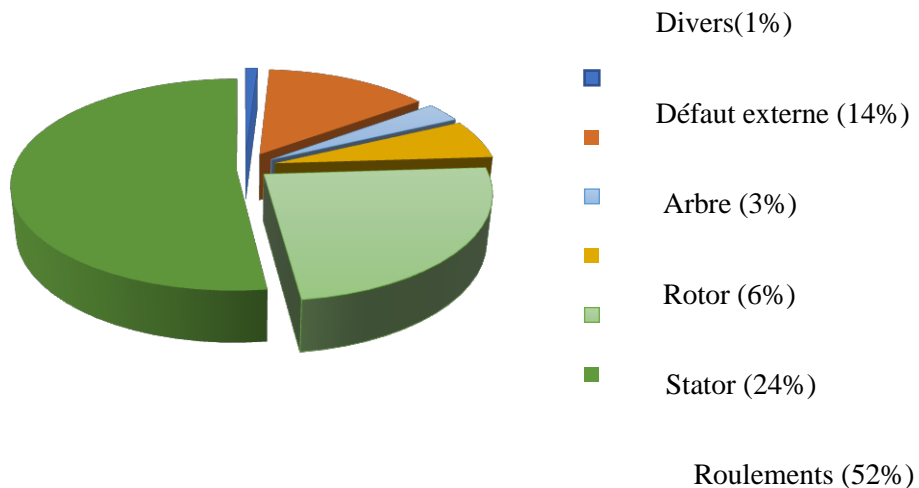


Figure 5.12 - Distribution des défauts des machines asynchrones fonctionnant dans l'industrie pétrochimique.

Comparons les résultats de cette étude à EPRI (figure 5.12), il apparaît clairement que l'occurrence d'un type spécifique de défaut dépend considérablement de l'application spécifique de la machine et de l'environnement de fonctionnement.

V.29.2 Constitution du moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil :

Le système considéré dans ce travail est le moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil. La fonction de ce système est d'assurer la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique avec un niveau de performances donné. Si la fonction de ce système n'est

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

plus assurée, avec ces performances, suite à un incident quelconque, le système est alors jugé défaillant.

En réalité, le moteur asynchrone triphasé à cage est un système très compliqué. On peut le décomposer en trois sous-systèmes (figures II.3) :

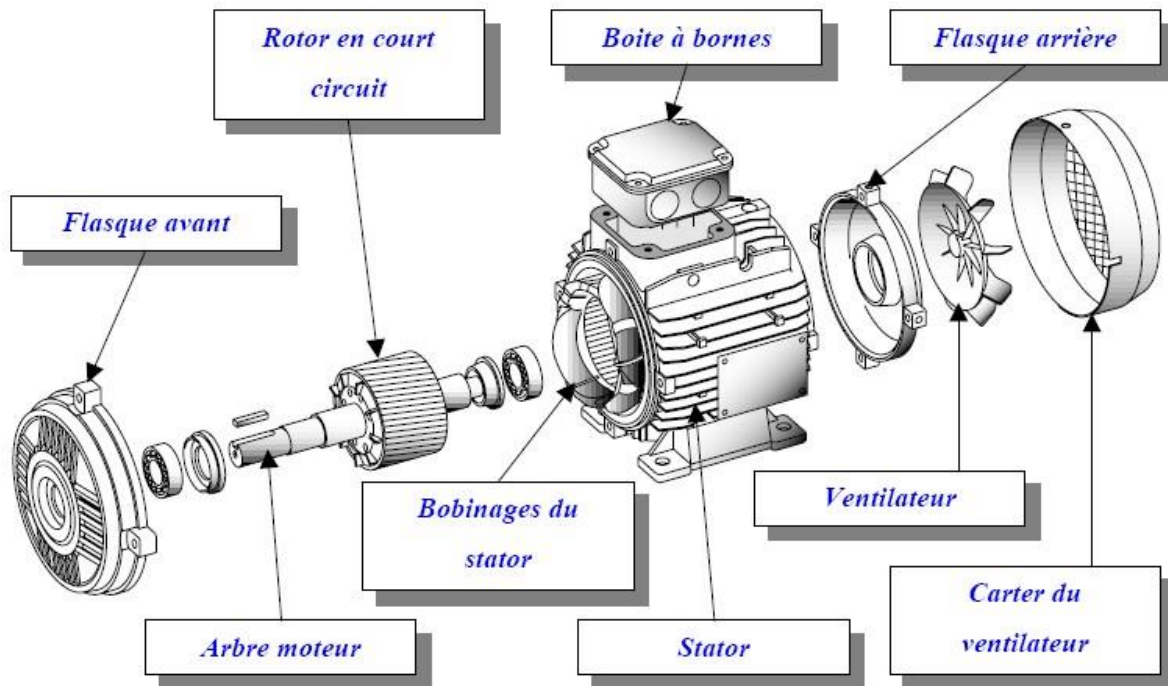


Figure 5. 13 -Vue éclatée de la machine asynchrone. [10]

❖ **Le stator** : c'est la partie fixe, où est connecté l'alimentation électrique. Il est composé de cinq éléments :

- ✚ Carter
- ✚ Boite à bornes
- ✚ Circuit magnétique
- ✚ Conducteurs
- ✚ Isolants

❖ **Le rotor** : partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique. On distingue deux types de rotor à cage d'écureuil et rotor bobiné. Il est composé de quatre éléments :

- ✚ Circuit magnétique

✚ Conducteurs

✚ Arbre

✚ Ventilateur

❖ Les paliers :

partie mécanique qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, ils sont constitués de flasques et de roulements à billes.

V.29.3 Les défaillances dans un moteur asynchrone triphasé à cage :

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique, comme précisé au dernier paragraphe. Un problème minime à l'étape de fabrication peut être à l'origine d'un défaut tout comme une utilisation non conforme de la machine.

Dans ce paragraphe, on va s'intéresser aux différents types de défaillances qui peuvent affecter les machines asynchrones triphasées à cage.

❖ Défaillances statoriques :

➤ Défaillances du Carter :

Elles sont généralement dues à :

✚ Positionnement avec un décentrage du carter sur le bâti.

✚ Mauvaise fabrication (si les bords du carter ne sont pas usinés correctement, les flasques sont alors décentrés par rapport à l'axe de symétrie).

En plus, si les ailettes de refroidissement (sur la surface du carter) sont sous dimensionnées, à cause d'une conception erronée, la machine risque une élévation anormale de sa température au cours du fonctionnement.

➤ Défaillances de la boîte à bornes :

Les vibrations excessives de différentes origines peuvent conduire à un desserrement des boulons de la boîte à bornes, ce qui mène à une rupture d'une phase en cours de fonctionnement. La contamination par des corps étrangers (poussière, graisse,...), peut aussi

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

induire un arc entre les prises de connexion. Il en résulte une rupture d'une phase ou un court-circuit entre les phases.

➤ **Défaillances du circuit magnétique :**

Les tôles du circuit magnétique sont normalement isolées entre elles ; toutefois elles peuvent être accidentellement en court-circuit. Ce défaut peut avoir comme origine :

Un court-circuit des conducteurs qui peut également provoquer un échauffement local intense dans les tôles ;

- Les corps étrangers projetés dans l'entrefer peuvent entraîner l'abrasion des tôles et causer des courts-circuits.
- Un défaut sévère d'excentricité statique et/ou dynamique peut conduire à un contact franc entre le stator et le rotor, ce qui pourra détruire le circuit magnétique.

➤ **Défaillances des conducteurs :**

Les courts-circuits entre spires ou bobines sont les défauts les plus nuisibles et les plus rencontrés au niveau du stator. Ils proviennent souvent d'une dégradation du matériau isolant recouvrant les conducteurs. Cette dégradation est due principalement à un échauffement anormal dans le bobinage.

❖ **Défaillances rotoriques :**

➤ **Défaillances du circuit magnétique :**

Comme dans le stator, Ces défaillances sont dues généralement à une excentricité statique et/ou dynamique. Il en résulte la création de points chauds. Ces derniers peuvent engendrer des ruptures de barres ou de segments d'anneaux de court-circuit.

➤ **Défaillances des conducteurs :**

La cage rotorique étant formée de conducteurs (barres) est de deux anneaux de court-circuit. Les ruptures ou les fissures de barres ou de segments d'anneaux de court-circuit sont très fréquent dans les machines de grande puissance. La cassure d'une barre peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. Ce défaut est dû à :

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

- Un nombre important de démarrages successifs ce qui induit des courants. énormes dans les barres rotoriques.
- Une excentricité statique et/ou dynamique, le rotor sera soumis à différentes. forces qui tendent à faire sortir les barres des encoches.
- La dilatation puis la contraction répétée dans les barres rotoriques.

- **Défaillances de l'arbre :**

A cause de l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction, l'arbre peut comprendre des microfissures; et avec le temps, ces fissures peuvent mener à une fracture de l'arbre provoquant ainsi un arrêt immédiat de la machine. La robustesse mécanique de l'arbre peut être affectée par des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement. Une excentricité statique et/ou dynamique ou un surdimensionnement de la charge mécanique peut induire des efforts considérables sur l'arbre moteur, amenant ainsi une fatigue supplémentaire.

- **Défaillances du ventilateur :**

Si le ventilateur n'est pas correctement fixé sur l'arbre ou s'il comporte un nombre de pales cassées, on aboutit à une augmentation anormale de la température de la machine.

- **Défaillances des paliers :**

- a) **Défaillances des flasques :**

Les défaillances des flasques sont généralement créées durant l'étape de fabrication. En effet, si les bords intérieurs ou extérieurs des flasques ne sont pas usinés correctement, les roulements à billes sont alors décentrés. Cela conduit à une excentricité du rotor par rapport au stator produisant des efforts supplémentaires sur l'arbre et sur les roulements à billes ce qui accélère leur détérioration.

- **Défaillances des roulements**

Les roulements à billes jouent un rôle très important dans le fonctionnement de tout type de machines électriques et assurent la fonction de guidage en rotation.

- a) **Cause**

Les roulements peuvent être endommagés par des causes comme [05] :

- Contamination du roulement par des particules extérieures : poussière, grains de

sable, ...

- Corrosion engendrée par la pénétration d'eau, d'acides, ...
- Lubrification inadéquate qui peut causer un échauffement et l'usure du roulement,
- Mauvais alignement du rotor,
- courant qui traverse le roulement et qui cause des arcs électriques,

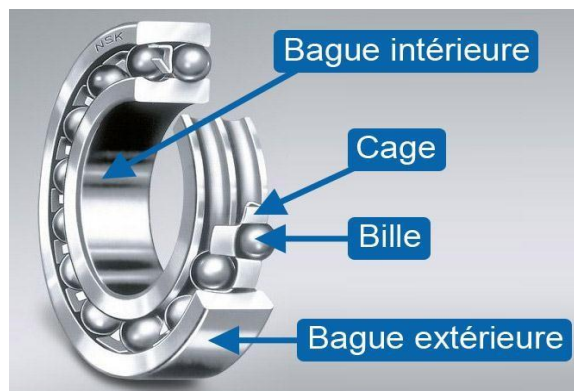


Figure 5. 14 -Vue éclatée des éléments constitutifs d'un roulement à billes.

b) Effets mécaniques des défauts de roulements :

Les défauts de roulements entraînent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels que

- ✚ une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations.
- ✚ des variations dans le couple de charge de la machine asynchrone.
- ✚ créer une excentricité statique et/ou dynamique.



Figure 5. 15 -L'excentricité statique et excentricité dynamique.

V.30 Défauts de la chaîne de transmission :

V.30.1 Déséquilibre :

❖ Défaut de balourd :

Quel que soit le soin apporté à la construction des machines, il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor de ce non concentricité, résulte l'application de forces centrifuges proportionnelle à la vitesse de rotation selon la relation qui déforment le rotor. On dit que le rotor présente un balourd.

Ce balourd provient généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou sont la conséquence [12]:

- ✚ d'une altération mécanique : perte d'ailette, érosion ou encrassement,
- ✚ d'une altération thermique : déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou a des différences de température localisées ...

❖ Défaut d'alignement :

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe.

❖ Désalignement d'arbres accouplés :

Les axes des deux rotors peuvent présenter un désalignement angulaire au niveau de l'accouplement ou un désalignement radial (défaut de concentricité) ou la combinaison des deux [12].

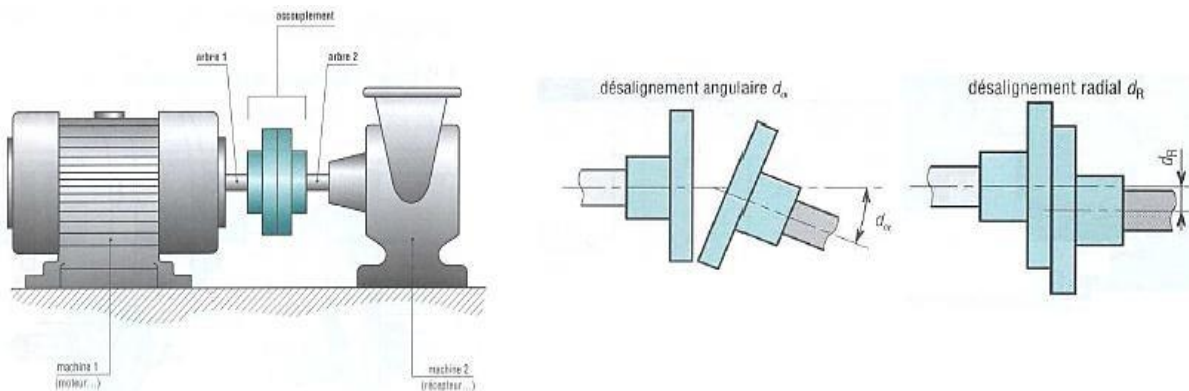


Figure 5. 16 - Le défaut d'alignement des arbres.

V.30.2 Désalignement des paliers :

Les axes des deux paliers d'un même corps de la machine ne sont pas concentriques. Cette anomalie peut être la conséquence d'un défaut de montage d'un palier, mais également d'un mauvais calage des pattes de fixation ou d'une déformation de châssis (par exemple à la suite de contraintes thermiques), qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor [11] [12].

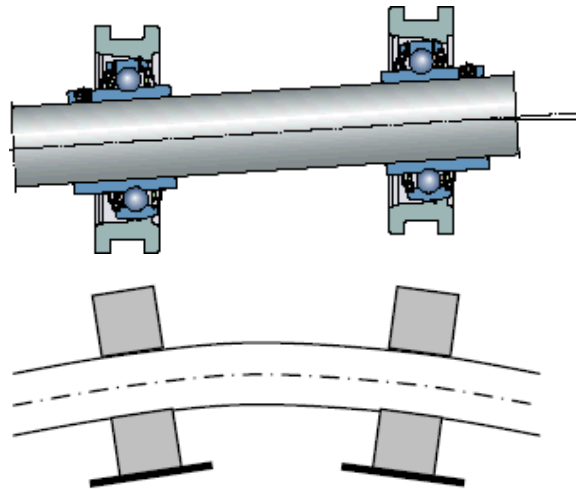


Figure 5. 17 - défaut de désalignement des paliers.

❖ Défauts de serrage :

Le mauvais serrage de la structure de la machine génère des vibrations et un certain bruit.

❖ Défaut d'engrenage :

Un engrenage est composé de l'ensemble de deux roues dentées engrenant l'une avec l'autre, permettant de transmettre de la puissance entre deux arbres rapprochés avec un rapport de vitesse constant.



Figure 5. 18 - Engrenage à denture droite.

Chapitre V : La Maintenance de kit solaire

Généralement un système d'engrenage présente les défauts suivants [10] :

➤ **L'usure:**

L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une contre l'autre.

➤ **Les piqûres (Putting) :**

Il s'agit des trous peu profonds, qui affectent toutes les dents. Le putting est une avarie qui se produit surtout sur des engrenages en acier de construction relativement peu dur.

➤ **L'Écaillage :**

Il se manifeste aussi sous forme de trous, mais ceux-ci sont beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux des piqûres.

V.31 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons abordés une vue générale sur la fonction de maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management effectuées durant le cycle de vie d'un bien et destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. La maintenance a longtemps joué un rôle curatif dont l'unique objectif était de réduire la durée d'immobilisation des machines. Cette maintenance curative était axée sur le court terme et ne résolvait en rien les problèmes liés aux dégradations inévitables.

Conclusion générale :

Notre travail consacré à l'étude technique d'un système de pompage photovoltaïque ou on a pris comme données un forage réel dans la zone de ouled mahdi daïra de chellal wilaya de m'sila. On peut rapidement comprendre et justifier l'intérêt accordé à l'énergie solaire pour pomper l'eau et plus particulièrement dans notre pays. D'abord, l'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. Son utilisation connaît une croissance significative dans le monde. D'autre part, la demande d'énergie électrique, essentiellement pour les besoins des zones rurales et les sites isolés, ne cessent d'augmenter, en particulier, les systèmes de pompage d'eau. Classiquement sur ce type de site, on utilise l'énergie conventionnelle par groupe électrogène. Mais cette énergie présente plusieurs contraintes, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diesels. En générale, la problématique posée lors de la conception d'un système de pompage, par énergie solaire photovoltaïque, est le coût élevé du mètre cube d'eau pompé. Il faut comprendre que pour produire l'eau, mais avec un coût abordable, trois conditions doivent être étudiés soigneusement :

Premièrement, l'amélioration de la captation d'ensoleillement par les panneaux solaires afin de récupérer le maximum d'énergie possible. Nous avons développé spécialement pour ce besoin, un programme informatique pour simuler les différentes inclinaisons des panneaux. Les résultats nous ont bien confirmé que la meilleure inclinaison des panneaux solaires photovoltaïques pour un usage à longueur d'année est celle de la latitude de l'endroit où sont installés les capteurs. Environ 301° pour notre site d'application d'ouled mahdi. Une inclinaison optimale mensuelle représente la solution idéale. Encore plus pratique et plus intéressant, nous avons montré que l'énergie reste maximale en changeant l'inclinaison des panneaux que quatre fois par an, c'est ce que nous avons proposé comme étant l'angle optimal saisonnier.

Deuxièmement, l'exploitation maximale de l'énergie captée afin de tirer le maximum de puissance électrique disponible au niveau du générateur PV. Nous avons montré comment nous pourrions optimiser la puissance fournie par le GPV par le biais d'un étage d'adaptation avec fonction de recherche du point de puissance maximale MPPT.

La troisième et dernière condition concerne le dimensionnement optimal du système de pompage. Nous avons montré que dans un souci de simplification et de minimisation des coûts, il est plus intéressant d'utiliser un stockage de l'eau dans des réservoirs hydrauliques au lieu de stocker l'énergie électrique dans des batteries. Le système obtenu est alors avec un fonctionnement naturel, et donc à priori très fiable et à coût minimum.

A travers cette étude théorique basée sur les données existantes, qui se caractérise par le forage et la quantité moyenne nécessaire de chaque jour, nous avons fait une étude et déterminé la station de pompage, qui alimentent le système de conversion de l'énergie solaire aux énergies électriques privées, et l'énergie électrique est la première puissance dans le monde pour alimenter la majeure partie des machines industrielles, sur la base de la détermination de la quantité d'eau nécessaire chaque jour, nous avons identifié le type de pompe et à travers lequel on détermine le nombre et le type des panneaux solaires nécessaires et tester l'onduleur approprié en plus de déterminer le nombre des batteries requis pour le stockage d'énergie dans le cas de l'absence du soleil ou d'un dysfonctionnement dans le système des panneaux.

Enfin, bien qu'il soit plus clair maintenant que ce n'est pas toujours facile de choisir laquelle des deux techniques de pompage d'eau est la meilleure, il semble que l'avenir est pour l'énergie solaire photovoltaïque. En effet, l'augmentation incontrôlée des prix des carburants et l'épuisement inévitable de ce type de ressources classiques favorisent considérablement l'utilisation des énergies renouvelables. Par conséquent, le développement de ce type d'énergie décentralisé, en particulier dans le sud de notre pays, est très recommandé puisqu'il permet l'accès à l'eau facilement et à moindre coût dans n'importe quel endroit.

Bibliographies

- [1] A. M. Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Office des publications universitaire Tome 1' Tome 2, Algérie 1986
- [2] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque », juin 07, STI ELT Approche générale
- [3] J. A. Duffie, A. Wiley and W.A. Beckman, « Solar Engineering of Thermal Processes », Second Edition. -Interscience Publication, 1991
- [4] F. Lasnier, T. G. Ang, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd. 1980.ISBN 0-85274-311-4
- [5] K. Benlarbi, L. Mokrani, M. S. Nait-Said, « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system », Solar Energy, 77 (2004), pp. 203-216.
- [6] GEORJON A. DEBORDE R. « Maintenance Des Systèmes Industriels » éditions Hachette Technique 1994-43, Quai de Grenelle ,75905 Paris Cedex 15, I.S.B.N.201.020188.4
- [7] A.FERHATI, S. KASMI. « Maintenance des échangeurs de chaleur (mémoire de fin d'étude)».2001.
- [8] Claire Pagetti « Module de sûreté de fonctionnement» 3^{ème} TR - option SE 10 décembre 2012 Paris 3^{ème}Edition AFNOR 1988 X60-010 Maintenance Vocabulaire et gestion des biens durables.
- [9] NICOLAS TERRIER. « La maintenance » (2001/2002)
- [10] BEN DJAAFER AHMED, « Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique », mémoire de fin d'étude (2012 / 2013).
- [11] SAHRAOUI Yasser. «Evaluation de performance de la sûreté de fonctionnement par l'utilisation des réseaux de files d'attente », mémoire de fin d'étude (2011/2012).
- [12] Valeriezille. « Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi composants » (thés de Doctorat « université de Technologie de Troyes, institut Charles Delaunay » 2009.
- [13] A.Heurtel CNRS. «La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement) et Des risques de management ». ; IN2P3/LAL, Version 2.4 11/12/03.
- [14] DJAGHAME AHLAM, SAIDANE CHOUMAYSSA, « Etude sur les travaux de restauration en Cours sur des pièces mécaniques au niveau de M.E.I. », mémoire de fin d'étude (2010/2011).
- [15] XIAOLAN XIE, « Evaluation des Performances des systèmes de production »
- [16] BRUNO SERICOLA, « Processus de Markov pour la sûreté de fonctionnement et la qualité de service», Université de Rennes 1, octobre 1998.

Bibliographies

- [17] MONCHY F. « Maintenance : Méthodes et organisation » édition DUNOD, Paris, 2000.
- [18] P.LYONNET, « La maintenance : mathématiques et Méthodes», édition Lavoisier, Tec et Doc, Paris 1992.
- [19] GABRIEL ANTONIO PEREZ CASTANEDA, « Évaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de système en contact dynamique hybride», thèse de Doctorat, « université Nancy, institut national polytechnique de lorraine », version1, 12/05/2009.
- [20] E.Cbau, «introduction à la conception de la sûreté», Schneider Electric, n°144,1999.
- [21] Sirris, David Beckers, Animateur AMDEC (FMEA), 5 S 6 sigma, méthodologie AMDEC Université de Nancy, module méthode AMDEC
- [22] Houhou Mourad, «Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes mécanique par la méthodologie Arde Bayes», Université M'hamed Bougara Boumerdes, 2011/2012
- [23] Météo m'sila.
- [24] Grundfosliterature-SP-A-FR-L_2.
- [25] Condor catalogue panneaux solaire.