

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Matériaux et Dispositifs Photovoltaïques
Filière : Génie Electrique

Présenté par

Dyhia KACIMI
Nacer TRACHI

Mémoire dirigé par Rahma KACHENOURA et co-dirigé par Abderrahmane BOUZZEGANE

Thème

Etude d'une station photovoltaïque de 128kW pour le site gazier d'In Amenas

Mémoire soutenu publiquement le 14 Juillet 2016 devant le jury composé de:

M^r Prénom HADDAD
Grade, UMMTO, Président

M^{me} Rahma KACHENOURA
Grade, UMMTO, Rapporteur

M^{me} Kahina LAGHA
Grade, UMMTO, Examineur

M^r Rachid ZERMI
Grade, UMMTO, Examineur

Laboratoire et/ou entreprise où le travail a été réalisé

Sommaire

SOMMAIRE	1
LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX.....	7
INTRODUCTION GENERALE.....	8
CHAPITRE.I GENERALITES SUR LE PHOTOVOLTAÏQUE.....	10
1. INTRODUCTION	10
2. PARTIE 1 : L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE	11
2.1. Rayonnement solaire	12
2.1.1. Nombre de masse d'air	12
2.1.2. Gisement solaire.....	13
2.1.3. Les coordonnées terrestres	14
2.1.4. Les différents types de rayonnement	15
2.1.5. Autres notions	16
2.1.6. Le corps noir	17
2.2. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	17
2.2.1. Les semi-conducteurs.....	17
2.2.2. Dopage d'un semi-conducteur.....	18
2.2.3. Jonction PN.....	18
2.2.4. L'effet photovoltaïque.....	19
2.3. Cellule solaire photovoltaïque	21
2.3.1. Type de cellule photovoltaïque	21
2.3.2. Association des cellules photovoltaïques	22
3. PARTIE 2 : LE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE.....	25
3.1. Types de système photovoltaïque	25
3.1.1. Le système raccordé au réseau	25
3.1.2. Le système autonome	26
3.2. Composants du système autonome	26
3.2.1. Générateur photovoltaïque	26
3.2.2. Régulateur de charge	29
3.2.3. Stockage de l'énergie	34
3.2.4. L'onduleur	43
3.2.5. Câblage.....	44
3.2.6. Support	45
3.2.7. Sécurité.....	46
4. CONCLUSION.....	47
CHAPITRE.II DIFFERENTS SOUS-SYSTEMES DU PROJET	48
1.INTRODUCTION	48
2.PRESENTATION DU SITE	48

3.CHARGE A ALIMENTER	50
3.1.Inventaire de la charge à alimenter	50
4.DONNEES D'ENSOLEILLEMENT DU SITE.....	52
4.1. Interprétation.....	55
4.2. Référentiel météorologiques du site.....	56
5. CARACTERISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES CHOISIS.....	56
6. REGULATEURS DE CHARGE	59
7.BATTERIE	60
8.ONDULEUR	61
9. PRESENTATION DE LA PARTIE ONDULEUR DE L'UPS.....	63
9.1. Données sur l'UPS.....	63
9.2. Données sur la partie Onduleur.....	63
10.CONCLUSION	64
DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	65
1. INTRODUCTION	65
2. SYSTEME AUTONOME SANS RECUPERATION (1 ^{ER} CAS)	65
2.1. Evaluation de la consommation.....	65
2.1.1. L'énergie consommée	65
2.1.2. Energie totale	66
2.1.3. La puissance crête	66
2.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque	66
2.3. Dimensionnement du système de stockage	68
2.3.1. Calcul de la capacité (C_{accu}) de la batterie.....	69
2.3.2. Le nombre de batterie	69
2.3.3. Nombre de batterie en série	70
2.3.4. Nombre de batterie en parallèle	70
2.4. Dimensionnement de l'onduleur	70
2.5. Calcul du cout de l'installation photovoltaïque.....	70
3. SYSTEME AVEC POSSIBILITE D'ALIMENTATION MIXTE AVEC RECUPERATION DE MATERIEL (2 ^{EME} CAS)	73
3.1. Evaluation de la consommation.....	73
3.1.1. Énergie consommée par jour (Wh/J)	73
3.1.2. Energie totale consommée par jour (Wh/J).....	74
3.1.3. La puissance crête	74
3.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque	74
3.3. Dimensionnement du système de stockage	75
3.3.1. Calcul de la capacité (C_{accu}) de la batterie.....	75
3.3.2. Le nombre de batterie	76
3.3.3. Nombre de batterie en série	76
3.3.4. Nombre de batterie en parallèle	77
3.4. Calcul du cout de l'installation photovoltaïque.....	77

CONCLUSION GENERALE	80
ANNEXE1 : VALEUR D'ENSOLEILLEMENT SUR UN PLAN INCLINE DANS LA	82
ANNEXE 2 : GRILLE TARIFAIRE DE L'OFFRE DE FOURNITURE DE L'EDF	98

Liste des figures

FIGURE 1: EVOLUTION DES PARTS DE L'ELECTRICITE D'ORIGINES RENOUVELABLES	10
FIGURE 2 : MASSE D'AIR	13
FIGURE 3: CARTE DU MONDE DE L'IRRADIATION MOYENNE ANNUELLE EN $\text{kW}/\text{M}^2/\text{JOUR}$	14
FIGURE 4: COMPOSANTES DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL.....	16
FIGURE 5: DOPAGE D'UN SEMI-CONDUCTEUR	18
FIGURE 6: JONCTION PN	19
FIGURE 7 : EFFET PHOTOVOLTAÏQUE	20
FIGURE8: CELLULES MONOCRISTALLINES	21
FIGURE 9: CELLULES POLY-CRISTALLINES	21
FIGURE 10 : CELLULES AMORPHES	21
FIGURE 11: CELLULES PV EN PLASTIQUE	22
FIGURE12: GROUPEMENT DES CELLULES EN SERIE	22
FIGURE13 : GROUPEMENT DES CELLULES EN PARALLELE	23
FIGURE 14: CARACTERISTIQUE D'UN CABLAGE SERIE/PARALLELE	24
FIGURE15: SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAU	25
FIGURE 16: SYSTEME AUTONOME	26
FIGURE 17: CARACTERISTIQUE $I(V)$ D'UNE PHOTOPILE SOUS ECLAIREMENT	27
FIGURE 18 : ANGLE D'INCIDENCE D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE	28
FIGURE 19 : ANGLE D'INCLINAISON DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES.....	29
FIGURE 20 : PRINCIPE DU REGULATEUR SHUNT	32
FIGURE 21 : PRINCIPE DU REGULATEUR SERIE	32
FIGURE 22 : CARACTERISTIQUE DE DECHARGE TYPE D'UNE BATTERIE AU PLOMB DE 100AH.....	36
FIGURE 23 : TENSION DE CHARGE DES ACCUMULATEURS	40
FIGURE 24: CHASSIS SUPPORT DE MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	45
FIGURE 25 : MISE EN PLACE DES RANGEES DE MODULES POUR EVITER L'OMBRAGE	45
FIGURE 26 : EMBLACEMENT GEOGRAPHIQUE DU SITE.....	49
FIGURE 27 : COURBE DE VARIATION D'IRRADIATION DU 01/07/1994 AU 31/12/2000	53
FIGURE 28 : COURBE DE VARIATION D'IRRADIATION DU 01/01/2000 AU 31/06/2005	54
FIGURE 29 : GRAPHIQUES DES VALEURS MENSUELLES SUR PLAN HORIZONTAL (MOY) ET INCLINE DE 40° (MOY ET MIN).....	55
FIGURE 30 : CARACTERISTIQUE $I(V)$ POUR DIFFERENTES VALEURS D'IRRADIATION	57
FIGURE 31 : CARACTERISTIQUE $I(V)$ POUR DIFFERENTES VALEURS DE TEMPERATURE	58
FIGURE 32 : CARACTERISTIQUE $P(V)$ POUR DIFFERENTES VALEURS D'IRRADIATION.....	58
FIGURE 33 : REGULATEUR STECA POWER TAROM	59
FIGURE 34 : NOMBRE DE CYCLE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE DECHARGE	60
FIGURE 35 : PUISSANCE DE SORTIE (AC) EN FOCTION DE LA PUISSANCE D'ENTEE (DC)	61
FIGURE 36 : VARIATION DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA PUISSANCE D'ENTREE	62
FIGURE 37 : VARIATION DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA PUISSANCE DE SORTIE	62
FIGURE 38 : SCHEMA D'UNE UNITE COMPOSEE D'UN REGULATEUR DE CHARGE AUQUEL SONT CONNECTES 24 MODULES PV	67
FIGURE 39 : SCHEMA DU RACCORDEMENT DES DIFFERENTES UNITES DU GENERATEUR PV	68

FIGURE 40 : SCHEMA REPRESENTATIF DU DEUXIEME CAS PROPOSE 73

Liste des tableaux

TABLEAU 1: REPARTITION SPECTRALE DU RAYONNEMENT SOLAIRE	12
TABLEAU 2 : CHOIX DE L'ANGLE D'INCLINAISON SELON LA LATITUDE	28
TABLEAU 3: LISTE DES EQUIPEMENT JEU DE BARRE A	50
TABLEAU 4: LISTE DES EQUIPEMENTS JEU DE BARRE B	51
TABLEAU 5 : VALEURS MENSUELLES POUR PLAN HORIZONTAL ET PLAN INCLINE 40°	55
TABLEAU 6 : DONNEES SUPPLEMENTAIRE SUR LE SITE	56
TABLEAU 7 : FICHE TECHNIQUE DU PANNEAU Q-PLUS L-G4.2 340W	56
TABLEAU 8 : FICHE TECHNIQUE DU STECA POWER TAROM	59
TABLEAU 9 : FICHE TECHNIQUE DES BATTERIES	60
TABLEAU 11 : FICHE TECHNIQUE DE L'ONDULEUR SINVERT SOLAR 160 MS	61
TABLEAU 12 : FICHE TECHNIQUE DE L'UPS	63
TABLEAU 13 : FICHE TECHNIQUE DE LA PARTIE ONDULEUR DE L'UPS	63

Introduction générale

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. Naturellement décentralisées, il est intéressant de les exploiter sur le lieu de consommation, en les transformant directement selon les besoins. A titre d'exemple, dans le cas du solaire, soit en chaleur, soit en électricité. En effet, l'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une en récupérant directement la chaleur, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité, c'est l'énergie solaire photovoltaïque. La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement aux consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant le caractère aléatoire de ces gisements nous impose d'établir des règles de dimensionnement et de stockage rigoureux, pour l'exploitation au mieux de ces sources.

Dans le cas du photovoltaïque, une installation rentable passe par une étude rigoureuse de la conception et une installation minutieuse, en utilisant des composants qui répondent aux besoins techniques et économiques du client.

Lors du dimensionnement d'un système, il est important de rassembler toutes les informations nécessaires pour réussir l'étude. D'une façon générale, la maîtrise du dimensionnement global est basée sur la connaissance des différentes caractéristiques techniques des sous-systèmes constituant l'installation photovoltaïque (le générateur PV, les batteries, régulateurs et convertisseurs...) d'un côté et les méthodes de dimensionnement utiles de l'autre côté.

Un autre critère très important, impactant la fiabilité des installations PV, est la disponibilité d'une base de données du gisement météorologique fiable des sites d'installation.

Dans notre projet, nous allons réaliser un dimensionnement d'un système photovoltaïque pour le site gazier d'IN AMENAS. La charge à alimenter étant considérée comme critique, le dimensionnement doit répondre de façon fiable aux besoins énergétiques

des équipements. Ces équipements essentiellement composés de système de communication et de caméras de surveillance fonctionnent sans interruption.

L'intérêt du projet est de rendre le système critique complètement autonome, c'est-à-dire ne dépendant d'aucune autre source d'alimentation dans la mesure du possible.

Dans notre projet on va dimensionner l'alimentation du système avec une énergie photovoltaïque. Après une introduction générale, notre travail sera scindé en trois chapitres, pour finalement terminer par une conclusion générale :

- Dans le premier chapitre, intitulé « généralités sur le photovoltaïque », nous allons définir les notions de base concernant les systèmes photovoltaïques ensuite expliquer le principe de fonctionnement de la cellule PV.
- Dans le deuxième chapitre, une analyse détaillée du gisement énergétique sur une durée de 11 ans, représentant d'après les météorologues, un cycle météorologique, sera faite. Ces données sont effectuées pour un plan horizontal ; nous allons les adapter, en utilisant le modèle d'OLMO, à une inclinaison optimale ; afin de bien estimer notre gisement. Cette étude se termine par une analyse succincte du pré-dimensionnement du système en tenant compte des contraintes du cahier des charges, (emplacement géographique et données météorologique du site, différents sous-systèmes). Ce chapitre sera intitulé « Différents sous-systèmes du projet ».
- Dans le troisième chapitre, intitulé « dimensionnement de l'installation », nous allons faire une étude dimensionnelle du système pour deux possibilités
 - 1- Dimensionnement pour un système d'autonomie de 3 jours, sans tenir compte du matériel déjà présent sur le site
 - 2- Dimensionnement en tenant compte des possibilités de récupération d'une partie du matériel existant à savoir, la partie onduleur de l'UPS, une partie des batteries et toutes les protections déjà présentes, et envisager la possibilité d'avoir une alimentation mixte dans les cas de force majeure afin de rendre l'installation plus économique.

CHAPITRE.I Généralités sur le photovoltaïque

1. Introduction

Au cours de ces dernières années, le recours aux énergies renouvelables a contribué d'une manière efficace à résoudre les problèmes dus à l'approvisionnement en énergie, non seulement au regard de critères écologiques, mais aussi en raison de leur structure décentralisée. Grâce à l'irradiation du soleil, la Terre reçoit annuellement environ 10 000 fois la consommation mondiale en énergie. Le soleil est donc une source d'énergie inépuisable. Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux distribuée et la plus abondante sur la Terre. La figure 1 montre l'évolution des parts de l'électricité d'origine renouvelables (hydraulique, photovoltaïque, éolienne) pouvant satisfaire jusqu'à 60% de la consommation mondiale en 2050. Le résultat est surprenant : bien que non mesurable aujourd'hui, la contribution du photovoltaïque devient significative à partir de 2025 en couvrant la totalité des toitures, elle présente 7% (1678 TWh/an) et pourrait atteindre 28% en 2050.

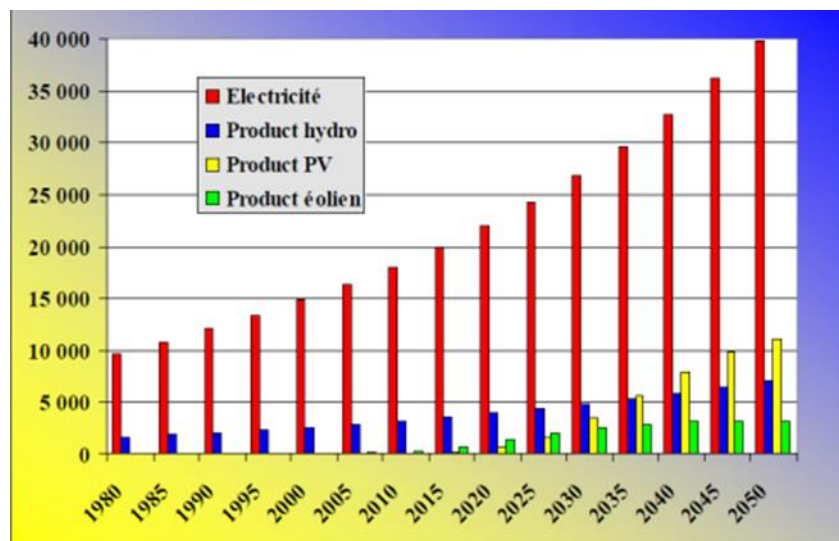


Figure 1: Evolution des parts de l'électricité d'origines renouvelables [1]

Les panneaux, ou modules, solaires photovoltaïques captent la lumière du soleil sous forme de photons et les transforment en énergie électrique.

L'élément de base dans le photovoltaïque est bien le rayonnement solaire. Sans lui l'effet photovoltaïque ne peut pas avoir lieu. Ce rayonnement au contact d'une cellule solaire crée des électrons libres qui en se déplaçant donne naissance à un courant continu. L'énergie du rayonnement est alors transformée en énergie électrique. En reliant en série et/ou en parallèle plusieurs panneaux solaires, on peut obtenir un générateur photovoltaïque avec la tension et le courant désirée. Le générateur est associé à d'autres équipements pour former un système photovoltaïque.

Ce premier chapitre sera partagé en deux parties :

La première porte sur l'effet photovoltaïque, nous allons donner quelques définitions et notions de base liés au photovoltaïque et au rayonnement solaire.

La deuxième partie nous allons définir les deux principaux systèmes photovoltaïques, à savoir le système autonome ainsi que des composants le constituant, et le système connecté au réseau. Par la suite, nous allons détailler les sous-systèmes constituant le système autonome.

2. Partie 1 : l'effet photovoltaïque

Grâce à diverses techniques, le rayonnement solaire peut être transformé en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur et en électricité. Pour capter directement une partie de cette énergie, des procédés ont été développés et sont constamment améliorés. Pour une installation donnée, plusieurs composants de différents matériaux sont nécessaires pour sa mise en place. Dans ce premier chapitre nous allons revenir sur quelques notions de base liées au photovoltaïque.

2.1. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est indispensable pour avoir l'effet photovoltaïque. Le Soleil émet en permanence des radiations, ainsi que des particules. Selon la longueur d'onde, on peut distinguer : le domaine du visible, le domaine de l'infrarouge et le domaine de l'ultraviolet. Ces deux derniers sont invisibles à l'œil humain. Environ la moitié de l'énergie est émise sous forme de rayonnement infrarouge. Les radiations visibles transportent un peu plus de 40% de l'énergie lumineuse tandis que moins de 10 % de celle-ci est émise sous forme de rayons ultraviolets. Une infime part de l'énergie rayonnée atteint la surface du sol avec une puissance moyenne pouvant excéder 1000 W/m^2 suivant la latitude. [1]

Le rayonnement est composé de grains de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon déterminée par la relation suivante :

$$E = h \times \frac{c}{\lambda} \quad (\text{I-1})$$

Où : **h** : constante de Planck

c : vitesse de la lumière.

λ : la longueur d'onde. [1]

Ci-après la répartition des domaines du rayonnement solaire selon la longueur d'onde :

Rayonnement	Longueur d'onde (μm)	Pourcentage (%)
Ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38$	6.4%
Visible	$0.38 < \lambda < 0.78$	48.0%
Infrarouge IR	$0.78 < \lambda < 10$	45.6%

Tableau 1: Répartition spectrale du rayonnement solaire [2]

2.1.1. Nombre de masse d'air

En anglais Air Mass, c'est la distance parcourue par un rayon lumineux depuis son entrée dans l'atmosphère jusqu'au niveau du sol. Plus le Soleil est proche de l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir de transformations. De ce fait, la masse d'air est le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu :

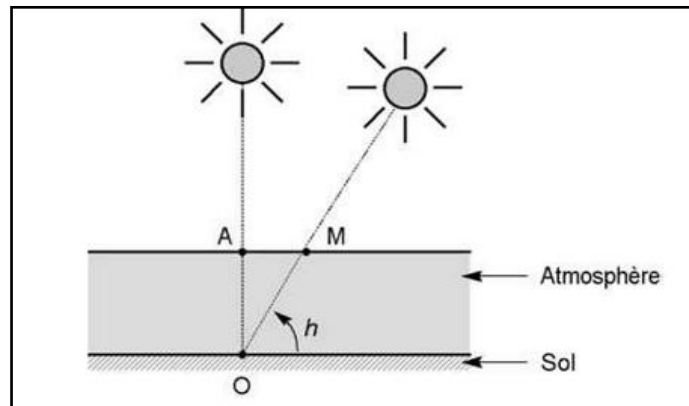


Figure 2 : Masse d'air [2]

$$\text{Air mass} = \frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin h} \quad (\text{I-2}) \quad [2]$$

AM 0: désigne par convention le rayonnement solaire hors atmosphère.

AM 1: Soleil au zénith (au niveau de la mer).

AM 1.5: Soleil à 41,8° — choisi comme référence pour le photovoltaïque.

AM2: Soleil à 30°. [2]

2.1.2. Gisement solaire

L'énergie solaire reçue diffère d'un lieu à un autre du fait de la variation de l'irradiation. Outre l'incidence de l'atmosphère, l'irradiation solaire dépend de :

- L'orientation et l'inclinaison de la surface ;
- La latitude du lieu et son degré de pollution ;
- La période de l'année ;
- L'instant considéré dans la journée ;
- La nature des couches nuageuses.

La combinaison de tous ces paramètres produit la variabilité dans l'espace et le temps de l'irradiation journalière. Des cartes météorologiques sont établies pour nous renseigner sur l'irradiation moyenne par jour ou bien sur une année. [4]

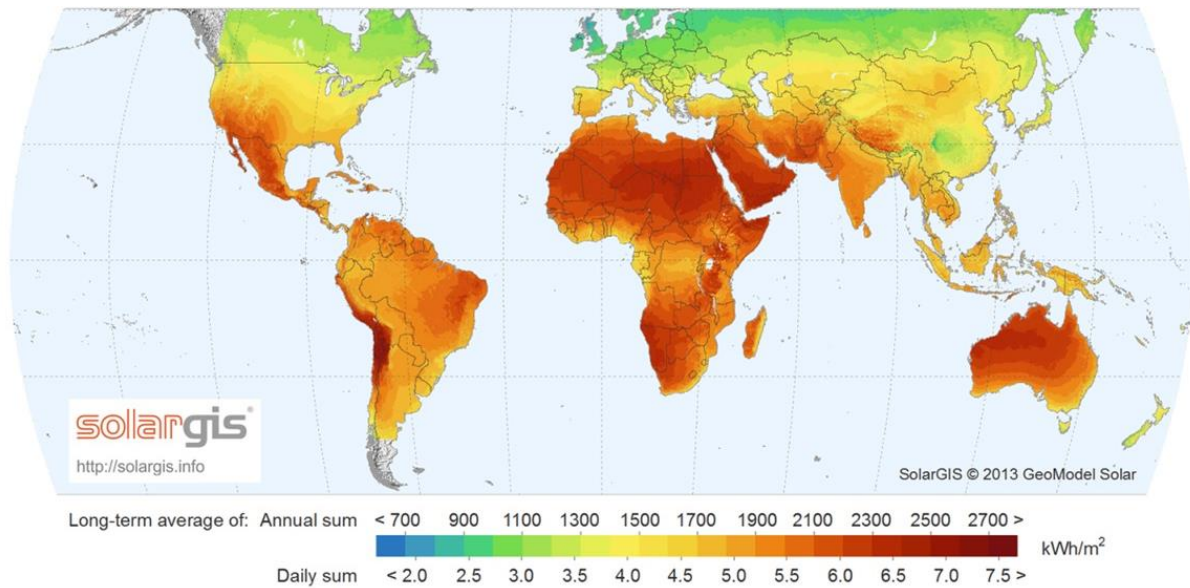


Figure 3: Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m²/jour [24]

2.1.3. Les coordonnées terrestres

La terre est pratiquement une sphère qui tourne autour d'un axe passant par le pôle nord et le pôle sud. Chaque point sur la terre est caractérisé par sa latitude et sa longitude en plus de son altitude.

2.1.3.1. Longitude

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé. Pour les méridiens situés à l'est, on affecte le signe (+), et le (-) pour les méridiens situés à l'ouest.

2.1.3.2. La latitude

La latitude d'un lieu est l'angle entre l'équateur et le rayon de la terre passant par le lieu considéré. La latitude est comptée de 0° à +90° pour l'hémisphère nord, et de 0° à -90° pour l'hémisphère sud.

2.1.3.3. L'altitude

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau de la mer), on l'exprime en mètre.

2.1.4. Les différents types de rayonnement

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est partiellement absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes.

2.1.4.1. Le rayonnement direct

Reçu du Soleil en ligne droite, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux ; le rayonnement direct forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs.

2.1.4.2. Le rayonnement diffus

Constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions.

2.1.4.3. Le rayonnement global

C'est la somme de ces diverses contributions. [2]

- *L'albédo*

C'est la partie réfléchié par le sol. Il dépend de l'environnement du site. La neige, par exemple, renvoie énormément de rayons lumineux alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun. [2]

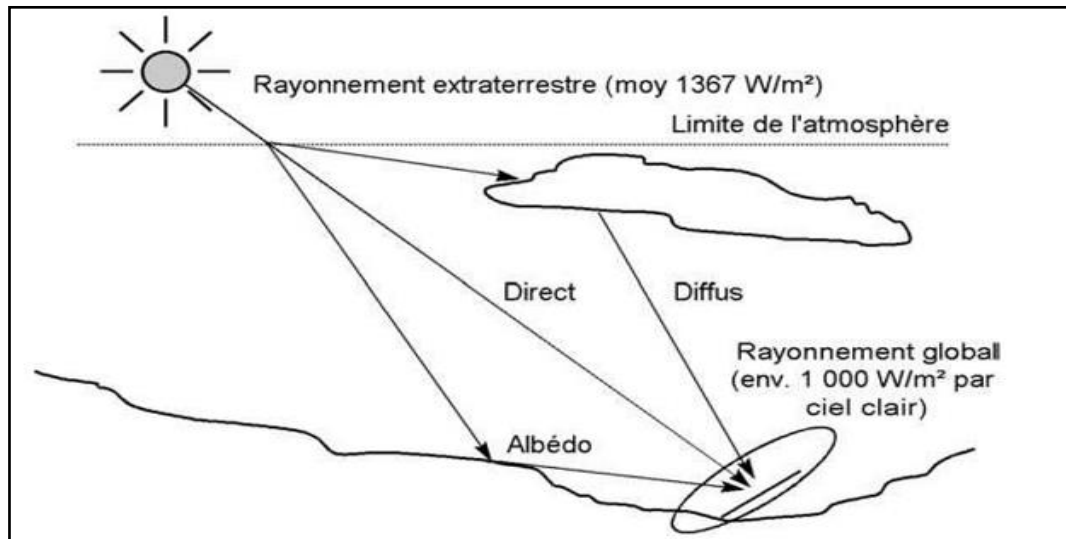


Figure 4: Composantes du rayonnement solaire au sol [2]

2.1.5. Autres notions

2.1.5.1. Hauteur du soleil h

Elle se compte à partir de l'horizon, de 0 à + 90° grâce à la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(a) \cdot \sin(\delta) + \cos(a) \cos \delta \cos \omega \quad (\text{I-3}) [16]$$

2.1.5.1. Azimut a

Se compte de 0 à 360°. La formule correspondante est :

$$\tan(a) = \frac{\sin(\delta)}{\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \sin \omega} \quad (\text{I-4}) [16]$$

φ : latitude (°).

2.1.5.2. Angle horaire ω

Il est positif avant midi et négatif l'après-midi.

$$\omega = 15 \cdot (12 - TSV) \quad (\text{I-5}) [16]$$

$$\text{Avec, } TSV = H + \left(\frac{\lambda}{15}\right) + E_t \quad (\text{I-6}) [16]$$

H, heure GMT ;

λ , Longitude du lieu ;

E_t , est l'équation du temps qui s'exprime par la relation suivante:

$$E_t = \frac{1}{60} \times [9,87 \cdot \sin(2B) - 7,5 \cos B - 1,5 \sin(B)] \quad (\text{I-7}) [16]$$

$$\text{Avec, } B = \frac{2\pi(N-81)}{364} \quad (\text{I-8}) [16]$$

2.1.5.3. Déclinaison du soleil δ

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan équatorial terrestre ne dépendant que du lieu et de la date. Elle se calcule comme suit :

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{2\pi(284+N)}{365,25}\right) \quad (\text{I-8}) [16]$$

2.1.6. Le corps noir

Un corps noir est un corps qui absorbe, sans la réfléchir ni la diffuser, toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit. Un tel "corps noir" reçoit de l'énergie, s'il n'en émettait pas, sa température augmenterait indéfiniment. Ceci est irréaliste, un corps noir réémet donc l'énergie qu'il a absorbée sous forme de rayonnements électromagnétiques. La quantité d'énergie réémise dépend de sa température. Ainsi, on a la loi de Stefan-Boltzmann qui donne la valeur de l'énergie émise en fonction de la température du corps noir :

$$M_T = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{I-9}) [3]$$

M_T : émittance totale du corps noir (W/m^2) ;

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ (constante de Stefan-Boltzmann) ;

T : température du corps noir (en K). [3]

2.2. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

2.2.1. Les semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un matériau à l'état solide ou liquide, qui conduit l'électricité à température ambiante, mais moins aisément qu'un métal conducteur. Aux basses températures, les semi-conducteurs purs se conduisent comme des isolants. À des températures élevées, ou en présence d'impuretés ou de lumière, la conductivité des semi-conducteurs s'accroît fortement, pouvant même devenir comparable à celle des métaux. [5]

Un semi-conducteur pur est appelé semi-conducteur intrinsèque. Les semi-conducteurs ont une valence de IV : cela veut dire que la couche périphérique de leurs atomes contient 4 électrons. [6]

2.2.2. Dopage d'un semi-conducteur

La technique de dopage d'un semi-conducteur consiste à lui ajouter des impuretés, c'est-à-dire des éléments ayant un nombre différent d'électrons de valence. L'ajout de phosphore (5 électrons de valence) au silicium se traduit par un excès d'électrons dans le réseau : cette association forme alors un semi-conducteur de type N (conduction assurée par des charges négatives) ; l'ajout d'aluminium (3 électrons de valence) au silicium se traduit par un défaut d'électrons formant des trous dans le réseau : il s'agit alors d'un semi-conducteur de type P (conduction assurée par des charges positives). [5]

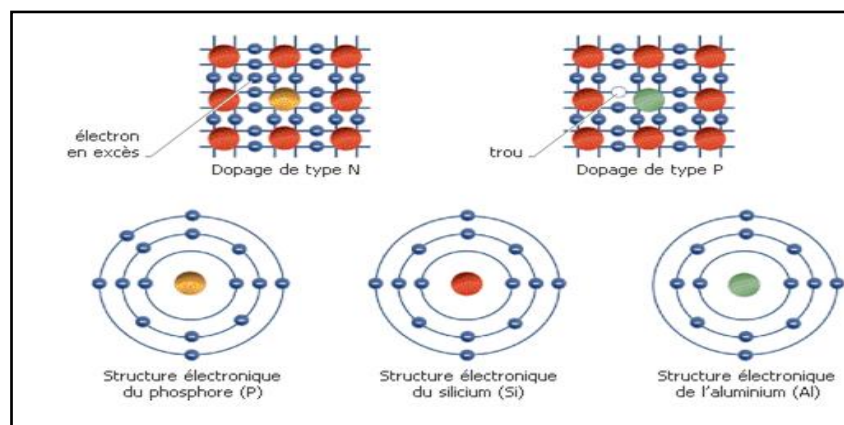


Figure 5: Dopage d'un semi-conducteur [5]

2.2.3. Jonction PN

Une jonction PN est une juxtaposition de régions de types différents (P et N). La différence des densités de donneurs et d'accepteurs, passe d'une valeur négative dans la région de type P à une valeur positive dans la région de type N. Quand deux semi-conducteurs de type P et de type N sont mis en contact, les trous, majoritaires dans la région de type P, diffusent vers la région de type N. Il en est de même pour les électrons, dans l'autre sens. La diffusion des porteurs libres de part et d'autre de la jonction fait apparaître une charge d'espace résultant de la présence des donneurs et accepteurs ionisés, dont les charges ne sont plus intégralement compensées par celles des porteurs libres. [7]

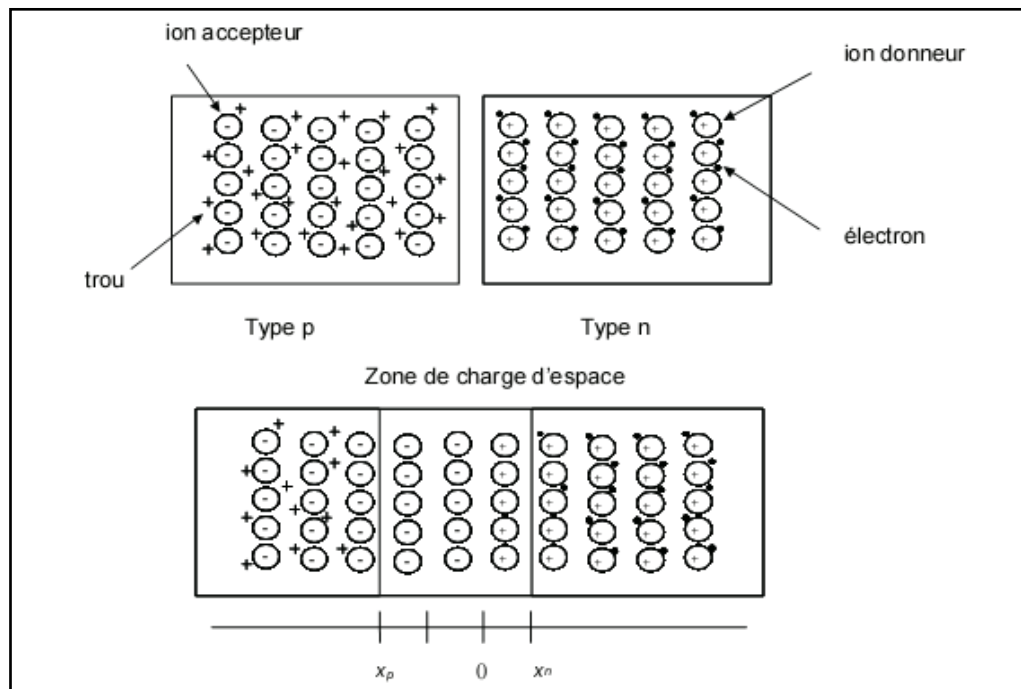


Figure 6: Jonction PN [7]

Il s'établit alors, au voisinage de la jonction métallurgique, un champ électrique qui s'oppose à la diffusion des porteurs majoritaires. L'équilibre thermodynamique est établi lorsque la force électrique, résultant de l'apparition du champ, équilibre la force de diffusion associée aux gradients de concentration de porteurs libres. [7]

2.2.4. L'effet photovoltaïque

L'effet voltaïque a été découvert pour la première fois par le physicien Alexandre-Edmond BEQUEREL. Le terme photovoltaïque provient de la force portante qui se cache derrière cette technologie, les rayons lumineux.

1. Principe de fonctionnement

Au contact du matériau semi-conducteur, l'énergie lumineuse incidente crée des charges électriques mobiles (positives et négatives). Ces charges sont séparées au sein du matériau grâce à un champ électrique interne, ce qui génère une tension continue de quelques dizaines de volts à l'échelle d'un module Photovoltaïque. [8]

L'éclairement que reçoit le matériau est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J.m^{-2} (joule par mètre carré). [4]

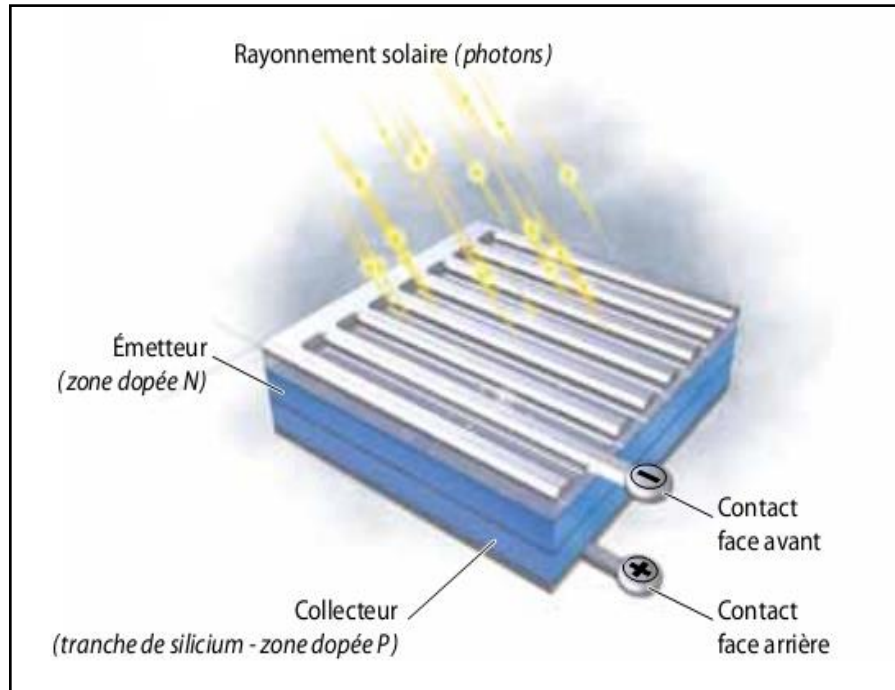


Figure 7 : Effet photovoltaïque [8]

2.3. Cellule solaire photovoltaïque

2.3.1. Type de cellule photovoltaïque

1. Cellules monocristallines

Sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie; plus onéreux, il est cependant plus efficace que le silicium poly-cristallin. [4]



Figure 8: Cellules monocristallines [4]

2. Cellules poly-cristallines

Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes). Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. [4]

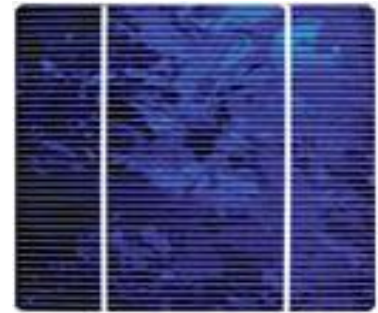


Figure 9: Cellules poly-cristallines [4]

3. Cellules amorphes

Elles ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies poly-cristallines ou monocristallines. Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces à bas coût en utilisant peu de matière première. [4]



Figure 10 : Cellules amorphes [4]

4. Cellules organiques

Plusieurs technologies de cellules photovoltaïques autre que la technologie « silicium » existent mais ne sont pas représentatives de la production actuelle mais plutôt du domaine de la recherche. [4]

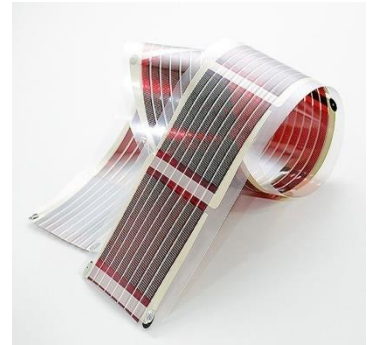


Figure 11: Cellules PV en plastique [4]

2.3.2. Association des cellules photovoltaïques

1. Groupement de cellules en série

Le courant généré par N_s cellules en série étant le même dans toute la branche, il ne faut connecter en série que des cellules identiques ayant même densité de courant. D'où la nécessité, pendant la production, de tester toutes les cellules et de les classer en fonction de leur rendement.

La Figure 12 présente le schéma et la courbe de $I=f(V)$ du groupement de N_s cellules. La caractéristique résultante est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant la tension individuelle par N_s . [2]

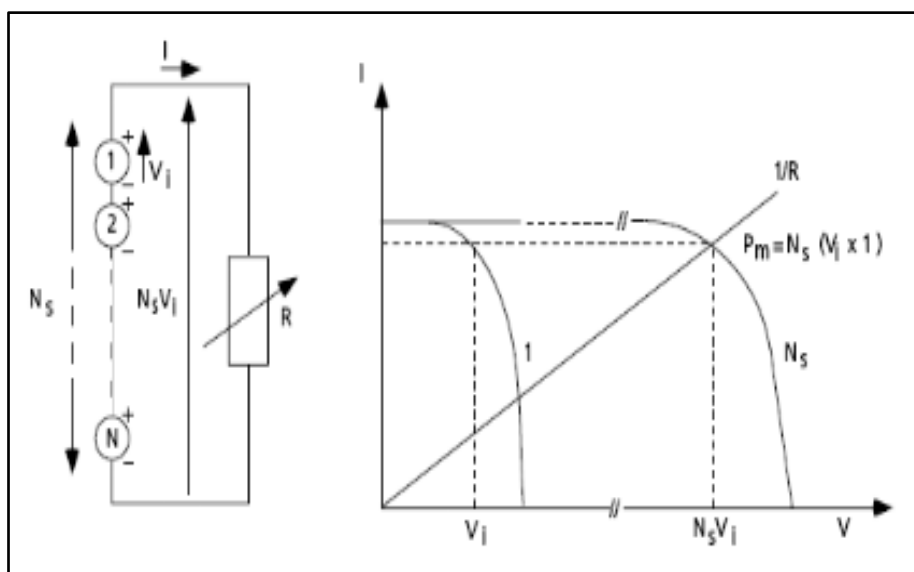


Figure12: Groupement des cellules en série [2]

2. Groupement des cellules en parallèle

La figure 13 présente la courbe de puissance d'un groupement de N_p cellules en parallèle. Cette fois-ci, c'est la tension de chacun des éléments qui doit être identique, les courants s'ajoutent, la nouvelle courbe est obtenue en multipliant point par point et pour chaque valeur de tension, le courant de la cellule élémentaire par N_p . [2]

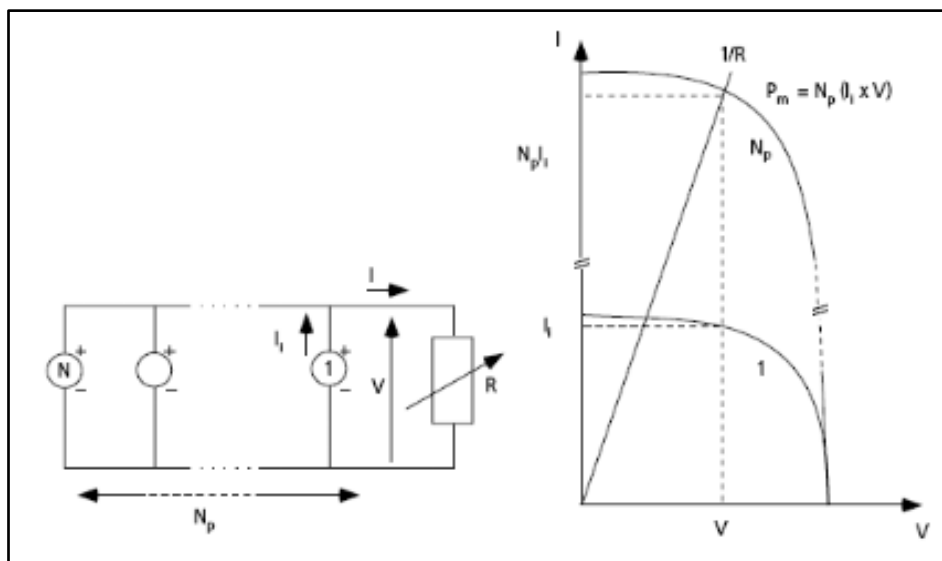


Figure13 : Groupement des cellules en parallèle [2]

3. Association série/parallèle

La caractéristique électrique globale courant/tension d'un générateur photovoltaïque se déduit donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des $N_s \times N_p$ cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport N_s parallèlement à l'axe des tensions et de rapport N_p parallèlement à l'axe des courants, ainsi que l'illustre la figure 14, n_s et N_p étant respectivement les nombres totaux de cellules en série et en parallèle. [4]

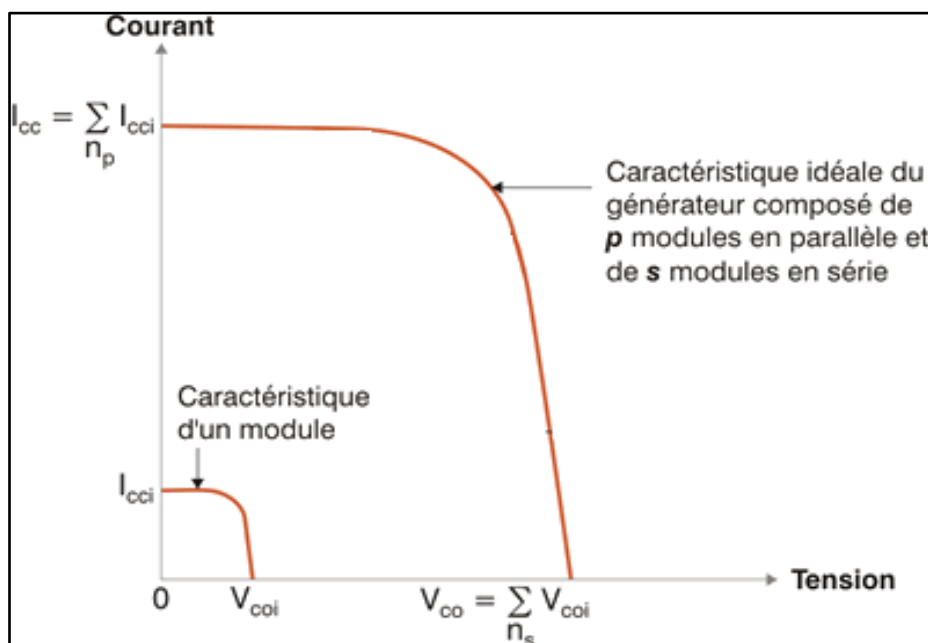


Figure 14: Caractéristique d'un câblage série/parallèle [4]

3. Partie 2 : le système photovoltaïque

3.1. Types de système photovoltaïque

L'énergie PV est utilisée dans deux domaines d'applications : le PV en site isolé et le PV connecté au réseau. Ces deux applications ont des fonctions et mettent en œuvre des chaînes de conversion très différentes. [11]

3.1.1. Le système raccordé au réseau

Par système photovoltaïque connecté au réseau, on entend un système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité. Dans le cas de systèmes connectés au réseau, il est impératif de convertir le courant continu produit par le système photovoltaïque en un courant alternatif synchronisé avec le réseau. Pour effectuer cette conversion, on utilise un onduleur. [12]

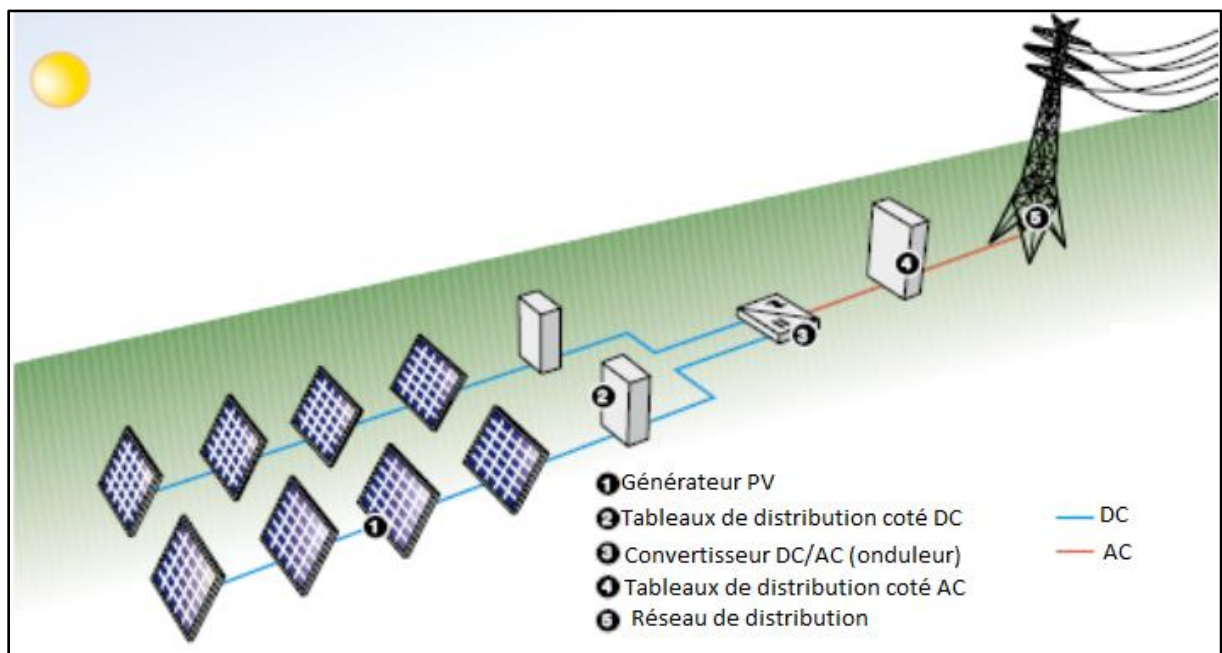


Figure15: Système photovoltaïque raccordé au réseau [13]

3.1.2. Le système autonome

Les installations autonomes sont des installations non raccordées au réseau, composées de panneaux PV et dont le système de stockage garantit une énergie électrique même en cas de faible éclairage ou d'obscurité. Étant donné que le courant fourni par le générateur PV est du courant DC, si l'installation de l'utilisateur requiert du courant AC, un onduleur est nécessaire. [13]

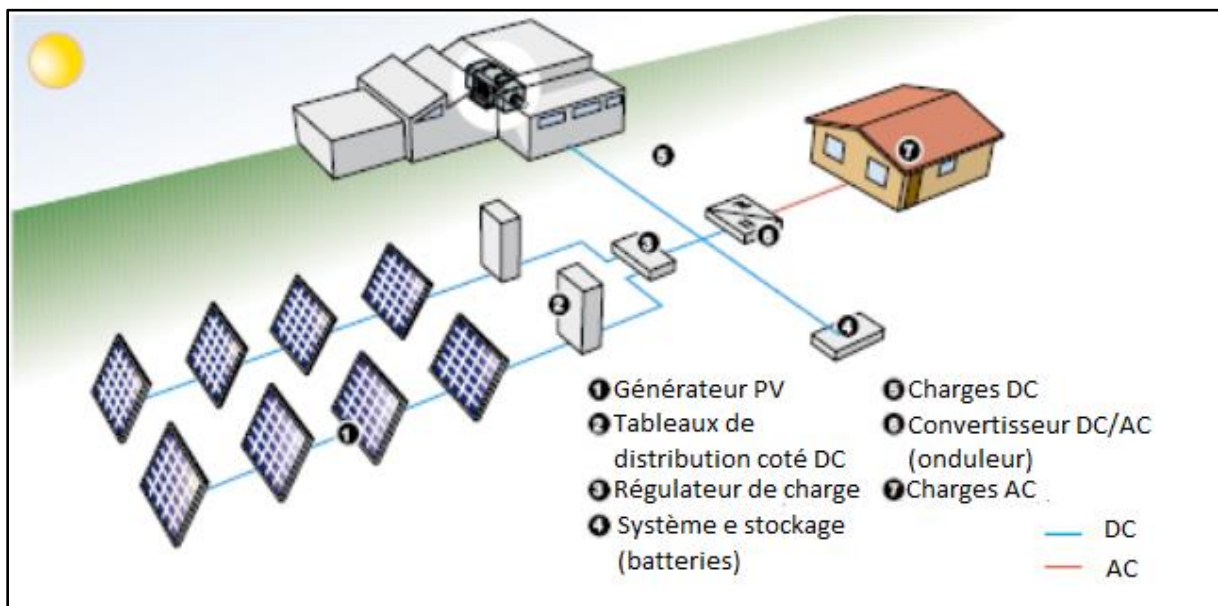


Figure 16: Système autonome [13]

3.2. Composants du système autonome

3.2.1. Générateur photovoltaïque

3.2.1.1 Définition

Le générateur photovoltaïque est composé de plusieurs panneaux qui peuvent être mis en série ou en parallèle selon les besoins en tension.

3.2.1.2 Caractéristiques électriques

On a représenté sur la figure 17 la caractéristique $I(U)$ d'une photodiode : dans l'obscurité (courbe discontinue), et sous illumination (courbe en trait plein).

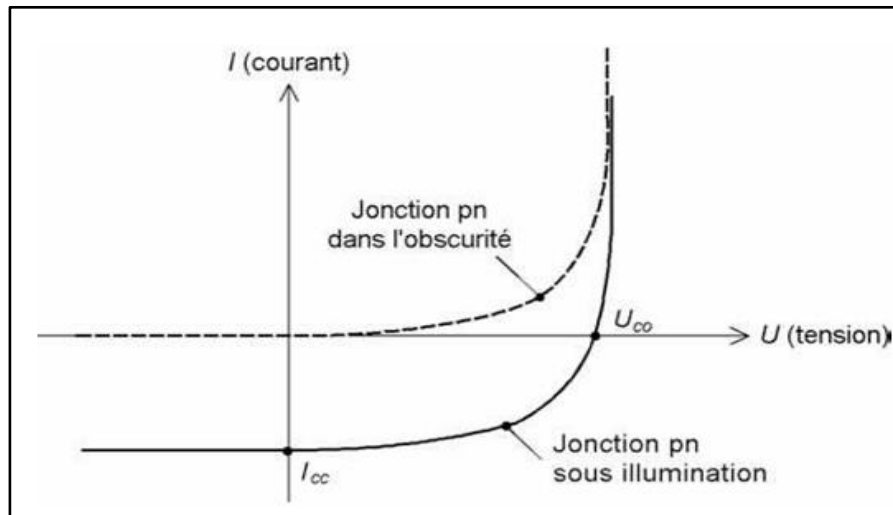


Figure 17: Caractéristique I(V) d'une photopile sous éclairage [9]

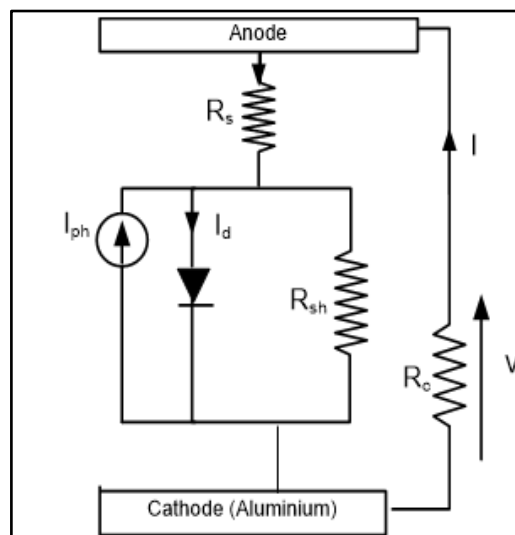


Figure 18 : Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire sous éclairage [4]

Où,

R_s est la résistance série, et dépend de la résistivité du matériau et celle des électrodes ;

R_{sh} est la résistance shunt, et correspond aux courants de fuite.

3.2.1.3 Positionnement d'un panneau photovoltaïque

Afin de maximiser la production d'électricité d'une installation photovoltaïque, il convient d'orienter les modules de façon optimale afin de capter un maximum du rayonnement solaire. En effet, la direction du soleil est importante.

- **L'angle d'incidence ψ**

Cela correspond au plan formé entre le panneau photovoltaïque et les rayons lumineux, (Fig. I-18). Cet angle a une grande importance. L'angle d'incidence optimal correspond à un angle de 90° . Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface en m^2 du panneau solaire exposé aux rayons lumineux diminue et donc en partant de la puissance du panneau solaire, le rendement diminue aussi. [10]

$$\cos \psi = \cos(h) \cdot \sin(i) \cdot \cos(\varphi - a) + \sin(h) \cos(i) \quad (I-10) \quad [16]$$

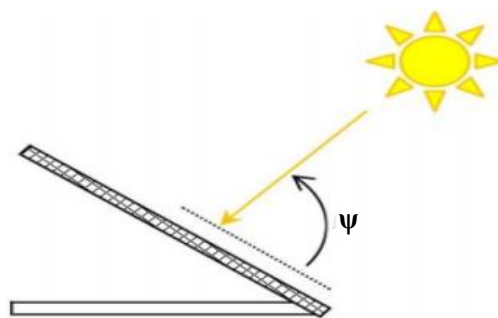


Figure 19 : Angle d'incidence d'un panneau photovoltaïque [10]

- **L'angle d'inclinaison**

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale. L'évolution de la trajectoire du soleil variant selon les saisons, l'angle d'inclinaison (pour un module photovoltaïque n'étant pas muni d'un système rotatif) est plus réduite en été et plus importante en hiver.

Latitude φ ($^\circ$)	Inclinaison α ($^\circ$)
$\varphi < 10^\circ$	10°
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	Φ
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

Tableau 2 : Choix de l'angle d'inclinaison selon la latitude [21]

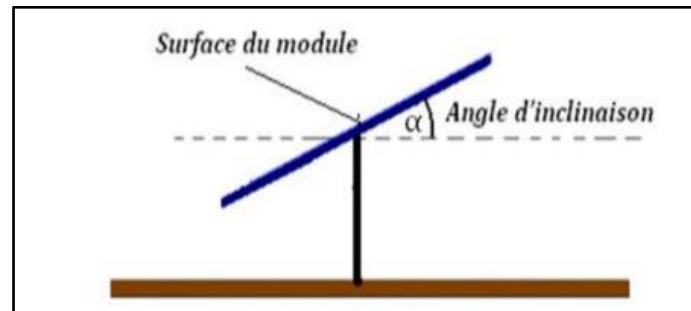


Figure 20 : Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques [10]

3.2.2. Régulateur de charge

Le régulateur est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome : il contrôle les flux d'énergie. Il doit protéger la batterie contre les surcharges (solaires) et décharges profondes (utilisateur). Il doit également assurer la surveillance et la sécurité de l'installation (surcharge, alarmes, fusibles, inversions de polarité). Dans des systèmes plus élaborés, il peut aussi commander la recharge par d'autres sources d'énergie (génératrice d'appoint, éolienne, hydraulique). Dans certains cas, il peut réaliser une adaptation d'impédance (recherche du point de puissance maximum, Max Power Point Tracker, MPPT).

Accessoirement, il affichera des indications concernant l'état de charge des batteries et les paramètres de fonctionnement du système. Les régulateurs de charge de systèmes PV autonomes peuvent se caractériser en trois groupes principaux :

- les régulateurs série, qui incorporent un interrupteur entre le générateur et l'accumulateur pour arrêter la charge ;
- les régulateurs shunt, dont l'interrupteur court-circuite le générateur solaire en fin de charge ;
- les régulateurs à recherche de point de puissance maximum (Maximum Power Point Tracker, MPPT), qui utilisent un circuit électronique spécial permettant de soutirer en permanence du champ de capteurs sa puissance maximale.

À ces trois types de circuits, on ajoute en général un régulateur de décharge pour empêcher les décharges profondes de la batterie. [2]

- *Contrôle de la charge*

Le contrôle de la charge est la fonction la plus critique déterminant la durée de vie de la batterie. Pour garantir une durée de vie élevée d'une batterie, il faudrait après chaque décharge pouvoir la recharger à 100 %. Pour les systèmes photovoltaïques, le problème provient de la nature de l'énergie à disposition qui n'est pas toujours disponible. En effet, avec la nature aléatoire de l'ensoleillement, il n'est pas toujours possible d'effectuer une recharge complète et la batterie va souvent rester plusieurs jours dans un état de charge « moyen », ce qui, à long terme, peut réduire la durée de vie de ce composant.

Lors du contrôle de charge, plusieurs techniques sont possibles soit la mesure de la tension, soit la mesure du courant entrant et sortant pour réguler une batterie. En fait, la mesure de la tension est beaucoup plus simple et la grande majorité des régulateurs utilise ce paramètre. La tension d'une batterie chargée à courant constant augmente de façon linéaire jusqu'à ce qu'elle atteigne pratiquement la fin de charge où soudainement elle augmente beaucoup plus rapidement lorsque sa matière active est presque complètement transformée et que l'électrolyte commence de libérer des gaz. Cette gazéification est la décomposition de l'eau de l'électrolyte en hydrogène et oxygène et correspond en fait à une électrolyse. Si on laisse durer ce phénomène, la batterie deviendra surchargée, ce qui accélérera la corrosion du plomb (pour les batteries à plomb), et fera perdre de l'électrolyte. La fonction principale du régulateur est d'empêcher cette surcharge.

- ***Contrôle de la décharge***

Les régulateurs solaires contrôlent non seulement la charge de la batterie mais ils s'intéressent également à l'état de la batterie lorsqu'on lui soutire du courant. Afin d'éviter une décharge profonde de la batterie qui est fortement nuisible pour sa durée de vie, on ajoute un circuit de délestage qui déconnecte les récepteurs lorsque la tension de la batterie est descendue au-dessous d'un seuil critique. Ce seuil sera choisi en fonction de plusieurs critères qui sont une durée de vie espérée, la température ambiante et le niveau de courant. Si le seuil choisi est assez élevé, la batterie durera plus longtemps mais la capacité non utilisée de la batterie réduira sa capacité totale et pour une même autonomie, il faudra augmenter la quantité de batteries. Le seuil de délestage dépend également de l'âge de la batterie : en vieillissant, celle-ci perd un peu de tension et si le seuil choisi est élevé, après quelques années, la capacité utile aura diminué, ce qui peut parfois poser des problèmes. Le régulateur

idéal devrait également tenir compte de cet effet et abaisser les seuils en fonction des années. Il s'agira de trouver le meilleur compromis entre coût du système et durée de vie des batteries. [2]

- *Technologies des régulateurs*

Au début de l'usage du photovoltaïque, deux grandes familles de régulateurs étaient utilisées : les modèles « shunts » et les modèles « série ». Avec l'utilisation de plus en plus courante des microprocesseurs, de nouvelles techniques. [2]

- *Régulateur shunt « tout ou rien »*

Le courant du panneau solaire est envoyé dans un interrupteur en parallèle avec la batterie lorsque celle-ci atteint sa pleine charge. Le principe du circuit est un simple aiguillage: tout le courant du panneau passe normalement dans la batterie et lorsque le seuil de coupure est atteint, tout le courant passe dans l'interrupteur.

Il faut donc impérativement ajouter une diode entre cet interrupteur et la batterie pour ne pas court-circuiter la batterie. Cette diode joue également le rôle de blocage du courant nocturne pouvant s'écouler de la batterie vers le panneau.

Les désavantages des régulateurs shunt sont :

-l'interrupteur voit à ses bornes la tension totale du panneau, ce qui peut poser des problèmes de protection contre les surtensions ;

-la dissipation thermique de l'interrupteur peut être élevée à grand courant ;

-d'autre part en court-circuitant le panneau lorsque la batterie est pleine, le risque de hot spot augmente, la tension inverse répercutée sur la cellule ombrée étant plus élevée. [2]

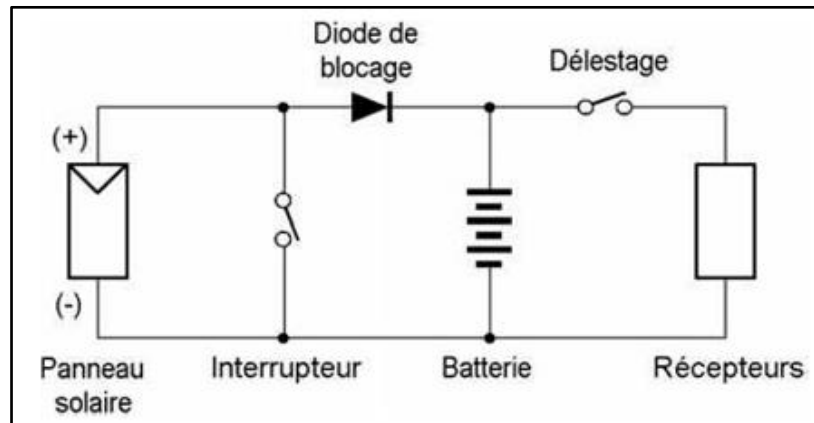


Figure 21 : Principe du régulateur shunt [2]

- *Régulateur série « tout ou rien »/linéaire*

Ce régulateur est très répandu et a supplanté le régulateur shunt. L'interrupteur de charge est ici en série avec la batterie et il s'ouvre lorsque la fin de charge est atteinte.

La diode de blocage recommandée en pays tempérés peut faire partie ou non du régulateur ; parfois elle est montée directement sur chaque série de panneaux. Le désavantage par rapport au type shunt est que l'interrupteur selon sa résistance de passage ajoute une chute de tension supplémentaire entre les panneaux et la batterie.

Les avantages sont :

- une tension aux bornes de l'interrupteur plus faible (réduite de la tension de batterie) ;
- un risque moins élevé de hot-spot (tension inverse répercutée réduite d'une tension de batterie).

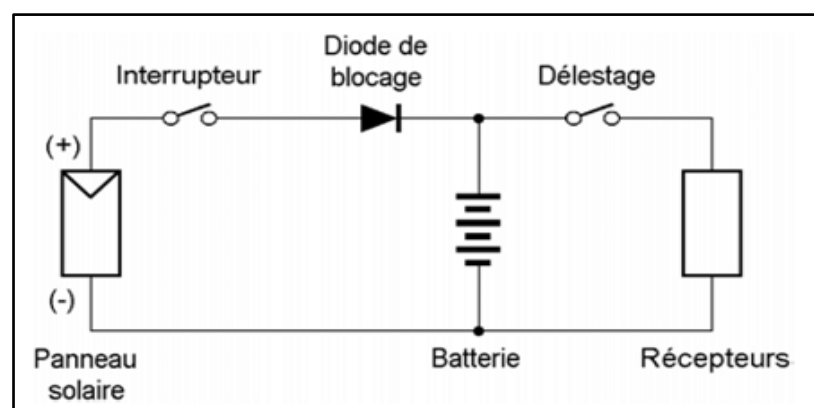


Figure 22 : Principe du régulateur série [2]

- *Régulateur MPPT*

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale (MPPT : Max Power Point Tracking). Ceci permet de garantir que le maximum d'énergie sera récupérée, quels que soient la température et l'ensoleillement. En général, ces régulateurs fonctionnent soit en élevant, soit en réduisant la tension. L'avantage de ce type de régulateur est qu'il permet de travailler dans une grande plage de température et ainsi de récupérer l'excès non négligeable de tension en hiver lorsque le point de puissance maximale peut monter au-dessus de 17 à 18 volts dans un système 12 V.

Cette technique est réservée aux systèmes de plusieurs centaines de watts pour que le gain d'énergie compense le coût plus élevé du régulateur. D'autre part, avant de choisir un tel équipement, il faut bien connaître les pertes associées au MPPT et à la conversion DC/DC pour être sûr que l'investissement est rentable. [2]

- *Critères de choix des régulateurs*

- *Dimensionnement*

Le premier paramètre à considérer est la puissance du régulateur ou le courant maximal qu'il peut contrôler pour une tension nominale donnée. Ce courant devra tenir compte de conditions d'ensoleillement particulières qui peuvent générer des rayonnements solaires instantanés supérieurs à 1 kW/m².

Une valeur sûre pour le choix du courant du régulateur est 1,5 fois le courant de court-circuit I_{cc} pour un régulateur shunt et 1,5 fois le courant nominal I_m pour un régulateur série.

Pour la tension, le régulateur devra pouvoir supporter environ le double de sa tension nominale, valeur proche de la tension de circuit ouvert du panneau (V_0) à basse température.

- *Consommation interne*

Le courant de repos des régulateurs varie typiquement entre 1 et 25 mA. Il est intéressant de connaître la valeur de ce courant pour calculer les pertes que cela représente sur une année par exemple. Les pertes au repos ne devraient pas dépasser quelques pourcent de la puissance produite.

Les autres pertes du régulateur proviennent de la résistance de passage de l'interrupteur (régulateur série) et de la diode de blocage.

- *Précision des seuils*

Les seuils de coupure et de délestage du régulateur devraient rester stables à ± 2 % de leur valeur nominale durant la vie du système.

3.2.3. Stockage de l'énergie

Il y a nécessité de stockage électrique chaque fois que la demande électrique est décalée dans le temps par rapport à l'apport solaire.

Les durées de stockage (autonomie) peuvent être très variables, quelques heures pour compenser des passages nuageux, 12h pour les utilisations nocturnes ou plusieurs jours pour un usage quotidien répétitif.

L'intérêt des accumulateurs électrochimiques est la disponibilité d'une tension quasi-constante qui fixe le point de fonctionnement sur une droite verticale qui peut être aussi proche que possible de la droite qui définit la charge optimale d'un générateur photovoltaïque.

[8]

3.2.3.1 Définitions et paramètres utiles

Les accumulateurs électrochimiques sont des générateurs “réversibles” c’est-à-dire pouvant stocker l’énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation. Contrairement aux photopiles où il n’y a qu’un transport d’électron ne donnant lieu à aucune « usure », dans les accumulateurs électrochimiques il y a transfert de matière de l’électrolyte vers les électrodes et par conséquent une « usure » incontournable qui limite leur durée de vie.

De nombreux types d’accumulateurs électrochimiques existent (Pb, CdNi, NiZn,). Toutefois, un des plus anciens est l’accumulateur au Plomb-acide.

1. Rendement d'utilisation

Le rendement en ampères-heures (ou faradique) est le rapport entre la quantité d’électricité débitée à la décharge Q_d et la quantité d’électricité fournie lors de la charge Q_c .

$$\eta_q = \frac{Q_d}{Q_c} \quad (I-11) [2]$$

2. Résistance interne

La résistance interne d’un accumulateur est toujours très faible (de l’ordre de quelques centièmes d’ohm) et négligeable en général, dans les applications numériques. Cette faible résistance interne présente d’ailleurs un inconvénient quand les deux bornes sont accidentellement, réunies par un conducteur lui-même peu résistant, la résistance totale du circuit reste très faible l’intensité du courant débité est considérable, peut provoquer un incendie.

3. Capacité

On appelle capacité la quantité d’électricité, évaluée habituellement en ampères-heures (Ah), qu’un accumulateur pleinement chargé peut faire circuler pendant une période de décharge donnée jusqu’à une tension d’arrêt et une température définies. La capacité d’une batterie est toute relative et dépend considérablement des conditions d’utilisation.

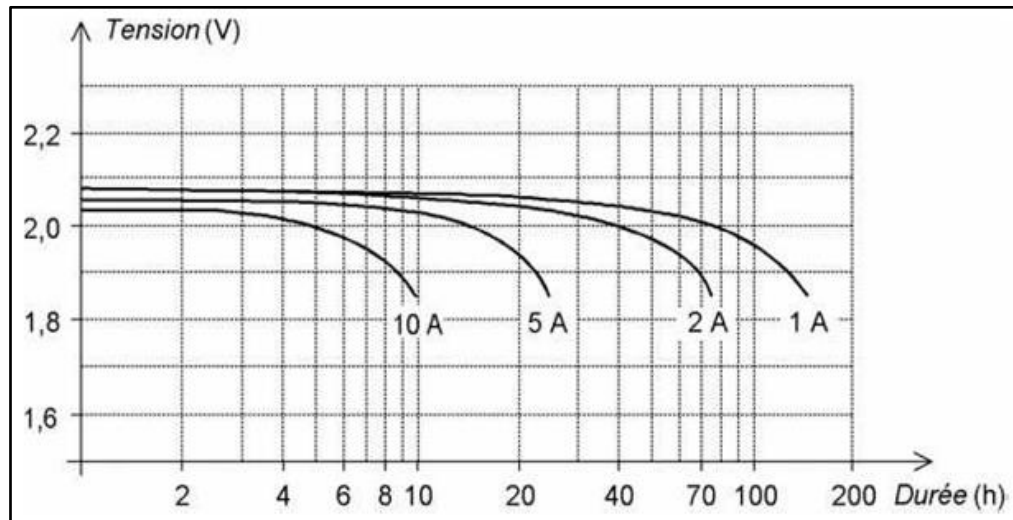


Figure 23 : Caractéristique de décharge type d'une batterie au plomb de 100Ah [2]

4. État de charge

L'état de charge d'une batterie E_{CH} est la quantité d'électricité encore disponible en Ah divisé par la capacité nominale de la batterie : si $E_{CH} = 1$, la batterie est pleine, si $E_{CH} = 0$, la batterie est vide.

5. Profondeur de décharge

Sans importance pour le Ni-Cd qui peut se décharger complètement, ce paramètre revêt une considérable pour les batteries au Pb puisqu'elles survivent rarement à une décharge totale. On limite en général la décharge à 80% de la capacité nominale. Pour les applications solaires, la profondeur de décharge ne dépasse guère 40 %, les accumulateurs étant souvent surdimensionnés afin d'augmenter leur durée de vie.

La profondeur de décharge P_D est le complément de l'état de charge : $P_D = 1 - E_{CH}$. Pour comparer deux batteries, il faut connaître leur capacité au même courant de décharge, ou au moins à la même vitesse de décharge.

6. Capacité massique

On l'exprime en Wh/kg. Elle est de 28 Wh/kg pour les batteries Ni-Cd, elle peut varier de 12 (Plomb pur) à 50 Wh/kg pour le Pb-Ca.

7. Auto décharge

Le taux d'autodécharge d'un accumulateur représente la perte moyenne relative de capacité par mois et pour une température donnée.

$$\zeta(\%) = \frac{Q_{AS} - Q_{PS}}{n \cdot Q_{AS}} \quad (\text{I-12}) [2]$$

Avec, Q_{AS} : capacité avant stockage ;

Q_{PS} : capacité après stockage ;

n : durée de stockage en mois.

L'autodécharge est une caractéristique interne découlant de la technologie utilisée et est généralement donnée pour une température de 20°C. Les valeurs typiques sont de 3 à 15%/mois pour le Pb et jusqu'à 30 % /mois pour le Ni-Cd.

C'est une fonction linéaire du temps. Elle augmente avec l'âge et la température. Pour les batteries au Pb, elle est croissante avec la proportion d'antimoine inclus dans les armatures des plaques (afin d'en renforcer la tenue mécanique). Comme l'auto décharge est un paramètre très important dans les applications solaires, on utilisera de préférence des batteries à faible taux d'antimoine. Un taux d'Antimoine compris entre 1.5 et 3% semble actuellement la valeur retenue.

8. Charge d'égalisation

On appelle charge d'égalisation une charge excédentaire appliquée pendant 5 à 7 heures à une batterie déjà pleinement chargée. Cette surcharge se fait à courant constant à un régime proche de C_{20} . Les éléments présentent alors une meilleure homogénéité dans leur état de charge. Dans les batteries Pb-acide, la charge d'égalisation a pour effet de prévenir ou de résorber en partie la sulfatation dure résultante d'un état de décharge prolongé.

9. Tenue en cycles

Dépendant beaucoup de la profondeur de décharge, ce paramètre caractérisant la durée de vie de l'accumulateur est le nombre de fois où on peut restituer un niveau d'énergie supérieur à 80% de son énergie nominale. Il varie typiquement de 400 cycles à 80 % de décharge à 2000 cycles à 40 % de décharge.

10. Durée de vie

Les contraintes qui agissent sur ce paramètre sont si nombreuses que les constructeurs sont obligés de préciser le mode de fonctionnement pour pouvoir donner des valeurs approximatives: les durées de vie exprimées en années. Elle varie de 2 à 7ans pour les batteries au Pb et de 10 à 25 ans pour les Ni-Cd (à 25°). Elle diminue de moitié pour chaque élévation de 10 °C de la température d'utilisation.

3.2.3.2 Quelques types d'accumulateurs

1. Accumulateur au plomb acide

Une batterie est constituée d'un ensemble d'éléments de 2 V connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. La valeur usuelle de la tension d'une batterie de démarrage est de 12 V, soient six éléments intégrés dans un même bac, mais dans les systèmes de télécommunication la tension de batterie peut-être de 24 ou 48V.

- *Description :*

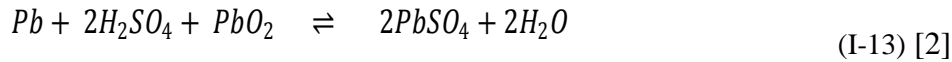
L'élément de 2V est constitué de plaques positives et négatives assemblées en alternance, le nombre de plaques de chaque polarité et leur surface définissant la capacité en courant de l'élément. .

-*L'électrode positive* est une plaque rectangulaire en plomb renforcée par des nervures entre lesquelles sont disposées des lamelles ou des tubes constitués par des oxydes de plomb (PbO₂).

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

-*L'électrolyte* est une solution aqueuse (eau distillée) d'acide sulfurique dont la densité varie en fonction de l'état de charge de la batterie.

La réaction réversible mise en jeu est donnée par :



- *Organisation*

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

- *Principe de fonctionnement*

L'accumulateur au plomb est le siège de réactions complexes. Pendant la décharge, le PbO_2 de l'anode est réduit et se transforme en Sulfate de Plomb ; la concentration de l'acide sulfurique décroît. A la cathode on observe une oxydation du Pb qui se transforme aussi en Sulfate de Pb. Une partie de l'acide sulfurique étant consommé, l'électrolyte voit ainsi sa densité diminuer. La sulfatation est donc le résultat normal de la décharge d'un accumulateur au Pb-acide.

Inversement pendant la charge, à l'électrode positive, le dioxyde de plomb se reforme ainsi que le Pb spongieux au niveau de la plaque négative et de l'acide sulfurique se reformant, l'électrolyte voit sa densité augmenter. Le moyen le plus sûr de vérifier l'état de charge est de mesurer la tension et la densité de l'électrolyte, ce qui permet de connaître la concentration en acide.

- *Tension*

La tension aux bornes d'un élément d'accumulateur au plomb est voisine de 2V. Sa valeur varie entre 1,7 V et 2,4 V suivant l'état de charge en conditions normales de fonctionnement. Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur. Si on trace graphiquement la différence de potentiel aux bornes en fonction du temps, on constate

qu'après un court régime transitoire elle se stabilise aux environs de 2,2 V. En fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension. Pendant la décharge, la force électromotrice varie, en fonction du temps comme l'indique la figure I-24. Pendant une assez longue durée d'utilisation, elle reste constante à la valeur de 2 V environ. A partir du point N, elle diminue brusquement (jusqu'à 1,8 V), il faut alors recharger l'accumulateur, sous peine de voir apparaître la sulfatation des plaques.

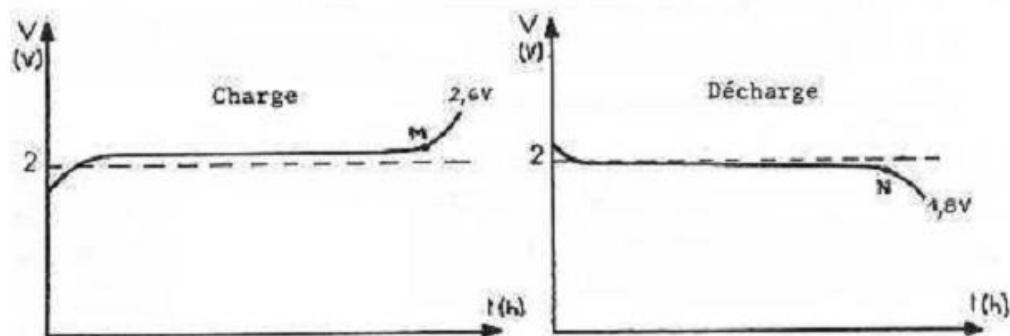


Figure 24 : Tension de charge des accumulateurs [9]

- *Rendement*

Le rendement faradique du Pb est de l'ordre de 90%. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70 à 80%.

- *Autodécharge*

Elle est de l'ordre de 10 % par mois à $T=20^{\circ}\text{C}$, pour les plaques au plomb-antimoniaux. Elle est de l'ordre de quelques % par mois pour le plomb doux (à faible teneur d'antimoine) mais les éléments sont plus fragiles. L'autodécharge varie très rapidement avec la température. Elle double de valeur tous les 10°C .

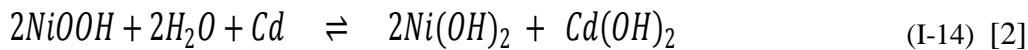
- *Durée de vie*

En limitant la profondeur de décharge journalière, on estime la durée de vie des accumulateurs au Pb à 6 ou 7 ans, ceux-ci étant protégés contre la surcharge. [2]

2. Les accumulateurs Cadmium - Nickel

- *Description*

Les accumulateurs Cadmium-Nickel sont réalisés à partir de 2 électrodes (hydroxyde de Nickel et Cadmium) immergés dans une solution de potasse. La réaction réversible globale est la suivante:



L'électrode positive est l'hydroxyde de Nickel, et le Cadmium l'électrode négative. L'électrolyte est à base de potasse, d'où le nom d'accumulateur alcalin. La tension varie de 1.15 à 1.45 V par élément avec une valeur nominale à 1.2 V. [2]

- *Caractéristiques*

La tension nominale est de 1,2 V mais elle varie entre 1,15 V et 1,45 V par élément suivant l'état de charge.

- *Avantages*

Bien que moins performants que les accumulateurs au Plomb, les accumulateurs Cd-Ni présentent les avantages suivants:

- Les éléments sont par construction, plus robuste et moins lourds que ceux au plomb ;
- Ils acceptent plus facilement la surcharge ou décharge- profonde ;
- Ils peuvent fonctionner sur une grande plage de température ;
- Ils nécessitent un entretien réduit ce qui leur confère, en pratique une grande durée de vie.

En revanche :

- Le rendement de l'accumulateur est faible (rendement faradique 70%) ;
- L'autodécharge est plus élevée que celle des accumulateurs au plomb (> 15%) ;
- Les écarts de tension entre charge et décharge sont plus importants ;
- Leur coût est élevé. [2]

3. Autres couples électrochimiques

- *Nickel-Zinc*

La tension de ce couple varie de 1,6 à 1,8 V. L'utilisation du Zinc à la place du Cadmium est avantageuse pour l'environnement. La durée de vie reste le problème majeur à résoudre. [2]

- *Nickel-Fer*

Ils peuvent subir un très grand nombre de cycles. Ils ont un très fort taux d'autodécharge et un rendement faible. La tension varie entre 1,2 et 1,4 V. [2]

- *Nickel-Na Cl*

Simple, de très forte capacité pouvant subir un très grand nombre de cycles et extrêmement robustes, ces accumulateurs fonctionnent malheureusement à 200°C et nécessitent qu'une partie de l'énergie soit utilisée pour les maintenir à cette température. [2]

- *Lithium-ion (Li-ion)*

Ces accumulateurs utilisent un électrolyte liquide organique et la réaction réversible mise en jeu fait intervenir l'insertion d'ions lithium dans du bisulfure de titane. Leur tension présente une grande amplitude de variation 2,5V à 3,7V. Grande capacité massique (150Wh/kg), faible masse volumique, bonne stabilité en température, étanchéité totale. [2]

3.2.3.3 Protection

Les batteries contiennent une quantité importante d'énergie et dans les grands systèmes, la tension continue élevée représente un risque non négligeable : en courant continu, si un arc apparaît entre deux conducteurs, il est beaucoup plus difficile à éteindre qu'en alternatif parce que la tension ne passe pas par zéro à chaque alternance. Ce danger est encore plus important côté panneaux où la tension de circuit ouvert est au moins 1,5 fois la tension nominale.

Si deux câbles de polarités opposées se touchent, trois cas peuvent se produire :

- s'ils sont proches des batteries, ils fondent en général et disparaissent ;
- s'ils sont longs, ils peuvent chauffer et dissiper l'énergie pour à terme vider complètement la batterie ;
- en chauffant au rouge, ils peuvent provoquer un incendie.

Il est important de monter des fusibles sur les bornes des batteries et ces fusibles doivent sauter même si un court-circuit apparaît à l'extrémité la plus éloignée du câblage. [2]

3.2.4. L'onduleur

3.2.4.1 Définition

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. [14] Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H, constitués le plus souvent d'interrupteurs électronique (transistor de puissance, thyristor...) par un jeu de commandé de manière appropriée (généralement une modulation de largeur d'impulsion MLI), on module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée. [15]

3.2.4.2 Utilisation des onduleurs

Ils sont utilisés en électrotechnique pour :

- Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables. Ex : C'est le cas des onduleurs servant à alimenter des moteurs à courant alternatif devant tourner à vitesse variable par exemple (la vitesse est liée à la fréquence des courants qui traversent la machine).
- Soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes. Ex : C'est le cas en particulier des alimentations de sécurité destinées à se substituer au réseau en cas de défaillance de celui-ci par exemple. L'énergie stockée dans les batteries de secours est restituée sous forme continue, l'onduleur est alors nécessaire pour recréer la forme de tension et fréquence du réseau. [14]

La principale caractéristique de l'onduleur photovoltaïque est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. [14]

3.2.5. Câblage

Avant de calculer toutes les sections de câble, on fait un plan électrique global de l'installation. Il faut prévoir aussi l'emplacement des composants aussi précisément que possible pour en déduire les distances : modules-régulateur, régulateur-batterie, régulateur-récepteurs.

- Choix des sections de câble

La chute de tension dans un conducteur est donnée par la loi d'Ohm :

$$dV = R \times I \quad (\text{I-15})$$

$$\text{Où} \quad R = \frac{\rho \times l}{S} \quad (\text{I-16})$$

Avec :

R = résistance ;

l = longueur [m] ;

s = section [mm^2] du conducteur ;

ρ = résistivité. [2]

3.2.6 Support

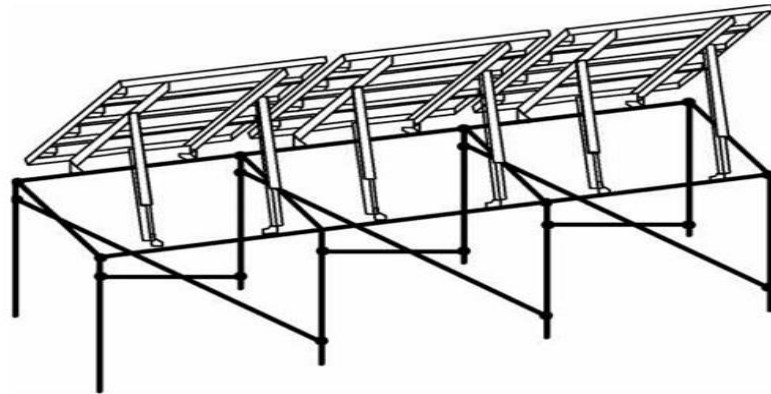


Figure 25: Châssis support de module photovoltaïque [2]

Si plusieurs châssis sont placés les uns derrière les autres, surtout en climat tempéré où le Soleil est bas, on prendra garde à ne pas faire d'ombre aux panneaux placés derrière. Cela peut amener à rehausser les panneaux placés derrière.

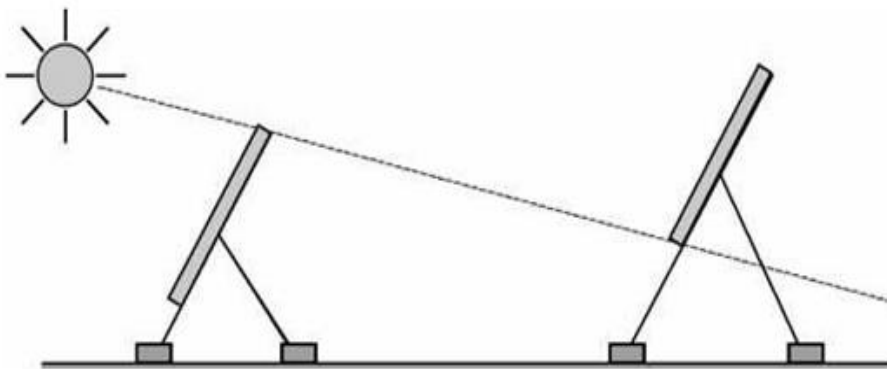


Figure 26 : Mise en place des rangées de modules pour éviter l'ombrage [2]

3.2.7 Sécurité

Un module photovoltaïque fournit une tension dès la présence de lumière. Avant d'être câblé, il est en circuit ouvert, il présente donc une tension au moins égale à 1,5 fois sa tension nominale : 22 V à vide est une tension courante pour un module de 12 V nominal. De plus, pour les systèmes comportant plusieurs panneaux en série, on peut faire apparaître un arc électrique très facilement. Il suffit d'une connexion douteuse ou d'une mauvaise isolation pour faire démarrer un arc électrique qui ne disparaîtra que lorsque les contacts seront détruits ou qu'il fera nuit.

Le courant continu peut aussi s'avérer dangereux pour le corps humain : à haute intensité, il provoque des brûlures très graves. Les installations fonctionnant à moins de 50 V ne représentent pas de grand danger. Dès 120 V, par contre, il faut prévoir des mesures de protections spéciales. [2]

4. Conclusion

Avant de commencer l'étude de l'installation, il est nécessaire de rappeler quelques généralités sur le photovoltaïque. Ces notions nous ont permis d'initier le choix des composants que nous allons utiliser. En effet, la compréhension des notions de base participe au choix des meilleures solutions, par conséquent, l'optimisation de l'étude.

CHAPITRE.II Différents sous-systèmes du projet

1. Introduction

Au cours des dernières années, le marché du photovoltaïque a connu une croissance très remarquable grâce aux différents facteurs stimulants dont le plus important est la réduction des coûts de production et la maîtrise de système électronique de gestion de l'énergie. Ces facteurs stimulants rendent le retour sur l'investissement d'une installation photovoltaïque de plus en plus intéressant. Pour produire un maximum d'énergie, une installation photovoltaïque doit être bien réfléchi et bien dimensionnée. D'autres parts, comme nous l'avons préalablement mentionné, un bon choix des composants à utiliser est indispensable pour un dimensionnement optimal.

Avant d'entamer l'étude, une bonne analyse du cahier des charges est nécessaire. Cela nous permet de réaliser une pré-étude, afin d'inventorier l'ensemble des équipements.

Dans ce chapitre, une estimation du gisement solaire pour le site sera réalisée. Ensuite, une évaluation de l'énergie que le générateur doit fournir quotidiennement sera faite. Pour cela, nous allons rassembler les données moyennes d'ensoleillement journalières sur une durée de 11 ans. Cette durée correspond à un cycle météorologique.

2. Présentation du site

Le site TIGUENTOURINE de In Amenas situé au sud-est de l'Algérie est un important projet de développement du gaz humide. Le projet d'extraction de gaz est exploité par la *joint-venture* JVGAS entre SONATRACH (Algérie), BRITISH PETROLEUM et STATOIL HYDRO. Le système de production est constitué de :

- Puits et canalisation de transport.
- Trois trains de traitement du gaz.
- Expéditions.

Au niveau de l'unité de traitement central (CPF), le gaz humide subit un traitement, pour obtenir à la phase finale trois produits : le gaz sec, le GPL et le condensat.

La production de l'énergie électrique se fait de manière autonome. Au niveau du CPF (Central Processing Facilities), la production est assurée par trois turbines à gaz et un turbo générateur de secours qui démarre automatiquement lors de l'arrêt des turbines. Au niveau des puits, la production se fait à l'aide de kit solaire.



Figure 27 : Emplacement géographique du site

L'approvisionnement en énergie électrique des différents équipements électrique du site se fait par l'intermédiaire de plusieurs sous-stations. Ces différentes sous station sont alimentées à partir d'une sous-station principale dite « power generation » qui est alimentée directement à partir des turbines. A l'intérieur de la sous-station « power generation » se trouve deux jeux de barres ; l'un alimente les différentes sous station du site et l'autre constitue le départ des équipements électrique considérés essentielles, notamment le jeu de barre identifié sous le tag '06-NN-713' alimentant les équipements critiques. Ces équipements qui sont normalement alimentés par les turbines sont également dotés d'un système de batteries permettant ainsi la continuité de l'alimentation. Cependant, ces batteries peuvent assurer une autonomie de dix heures seulement. En cas d'indisponibilité de la source d'alimentation pour une longue durée, la charge des batteries est insuffisante pour alimenter le jeu de barre ; d'où la nécessité de dimensionner un système d'alimentation fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque.

3. Charge à alimenter

Le jeu de barre '06-NN-713' est constitué d'un ensemble d'équipements considérés critiques, dont un ensemble de caméras de surveillance et un système télécommunication. La liste des équipements est détaillée dans les deux tableaux suivants :

3.1. Inventaire de la charge à alimenter

Jeu de barre A	Désignation		Fonction	courant(A)	Cos θ	Puissance (W)
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 4	triphasé	R	21,7	0,8	6944
	400V AC UPS HONEYWELL LER 4	triphasé	R	23	0,8	7360
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 1	triphasé	R	8,2	0,8	2624
	400V AC UPS HONEYWELL LER 1	triphasé	R	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 2	triphasé	R	8,2	0,8	2624
	400V AC UPS HONEYWELL LER 2	triphasé	R	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 3	triphasé	R	8,2	0,8	2624
	400V AC UPS HONEYWELL LER 3	triphasé	R	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS HONEYWELL CCR	triphasé	R	37,7	0,8	12064
	400V AC UPS JK Distr. Panel – Main S/s	triphasé	R	6,2	0,8	1984
	CCC Train view - PC and Monitor	Monophasé	R	3,3	0,8	1056
	Metering station - PC, Monitor and Printer	Monophasé	R	5,7	0,8	1824
	LAN Rack Generation s/s	Monophasé	R	0,2	0,8	64
	CCTV Rack 1 and 2	Monophasé	R	7,2	0,8	2304
	CCR JB for Dedicated UPS Sockets	Monophasé	R	5,7	0,8	1824
	CCTV Cameras Loop # 1	Monophasé	R	3,7	0,8	1184
	CCTV Cameras Loop # 2	Monophasé	R	3,7	0,8	1184
	CCTV Cameras Loop # 3	Monophasé	R	4,1	0,8	1312
	CCTV Cameras Loop # 4	Monophasé	R	4,1	0,8	1312
	CCTV Cameras Loop # 5	Monophasé	R	2,9	0,8	928
	CCTV Cameras Loop # 6	Monophasé	R	2,9	0,8	928
	Emergency Lighting Loop # 1	Monophasé	R	2,3	0,8	736
	CPF Fire Water Pump Electric Control Panel	Monophasé	R	1,6	0,8	512
EWS – Generation Substation	Monophasé	R	0,6	0,8	192	
Spare						
				Somme	66176W	

Tableau 3: Liste des équipement jeu de barre A [22]

Jeu de barre B	Désignation		Fonction	Courant(A)	Cos θ	Puissance (W)
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 4	Triphasé	S	21,7	0,8	6944
	400V AC UPS HONEYWELL LER 4 Distr. P	Triphasé	S	23	0,8	7360
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 1	Triphasé	S	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS HONEYWELL LER 1 Distr. P	Triphasé	S	8,2	0,8	2624
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 2	Triphasé	S	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS HONEYWELL LER 2 Distr. P	Triphasé	S	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS JK Distr. Panel – LER 3	Triphasé	S	8,2	0,8	2624
	400V AC UPS HONEYWELL LER 3 Distr. P	Triphasé	S	15,2	0,8	4864
	400V AC UPS HONEYWELL CCR Distr. P	Triphasé	S	37,7	0,8	12064
	400V AC UPS JK Distr. P – Industrial Base	Triphasé	R	6,7	0,8	2144
	400V AC UPS JK Distr. P – Guard House	Triphasé	R	2,7	0,8	864
	LAN Rack CCR	Monophasé	R	4,4	0,8	1408
	CCTV Rack 3 and 4	Monophasé	R	7,2	0,8	2304
	LAN Rack Laboratory	Monophasé	R	0,2	0,8	64
	CCTV Cameras Loop # 7	Monophasé	R	0,6	0,8	192
	CCTV Cameras Loop # 8	Monophasé	R	3,3	0,8	1056
	CCTV Cameras Loop # 9	Monophasé	R	3,4	0,8	1088
	CCTV Cameras Loop # 10	Monophasé	R	3,3	0,8	1056
	CCTV Cameras Loop # 11	Monophasé	R	4,8	0,8	1536
Emergency Lighting Loop # 2	Monophasé	R	2,7	0,8	864	
CPF Fire Water Pump Electric Control P	Monophasé	S	1,6	0,8	512	
Spare						
				Somme	12576W	
				TOTAL	78,752kW	
					98,44 kVa	

Tableau 4: Liste des équipements jeu de barre B [22]

A partir du tableau, on peut constater que l'ensemble de la charge consomme 78.752kW. Des départs ont été volontairement laissés vides (Spare) pour un éventuel raccordement de charges supplémentaires. Le jeu de barre est conçu pour supporter une charge de 128kW. L'alimentation de la charge ainsi que le chargement des batteries se fait par l'intermédiaire de deux UPS dont un est en service et l'autre en standby.

4. Données d'enselement du site

La mesure des données d'enselement permet de déterminer le mois le plus défavorable, dont les données seront utilisées lors du dimensionnement du système. Les données que nous avons obtenues à partir de la page 'www.soda-is.com' pour le site d'In Amenas sont des données pour une surface horizontale. A partir des données de l'enselement global horizontal, nous allons déduire l'enselement reçu sur une surface d'inclinaison quelconque. Pour cela nous allons utiliser le modèle d'OLMO. Ce modèle prend en compte l'indice de clarté (K_t). Il s'affranchit du calcul du rayonnement direct horizontal en calculant l'angle d'incidence pour un plan incliné (Ψ) et le calcul de l'angle d'incidence pour un plan horizontal (Ψ_z). Ces angles se calculent toujours par rapport à la position du soleil c'est-à-dire en fonction de la hauteur (h) et de l'azimut (a). Un facteur de réflexion est alors calculé en fonction de l'albédo du sol (alb) et de l'angle d'incidence (Ψ). La relation de l'enselement global G_i sur une surface inclinée proposée par le modèle d'OLMO est alors la suivante : [17] [18]

$$G_i = G_h \cdot e^{-K_t(\psi^2 - \psi_z^2)} \cdot (1 + alb \sin \frac{\psi}{2}) \quad (\text{II-1}) [17]$$

L'indice de clarté K_t se calcule comme suit :

$$K_t = \frac{G_h}{G_0} \quad (\text{II-2}) [17]$$

Avec, G_h : Enselement sur plan horizontal ;

$$G_0 = B_0 \cdot \sin h (1 + 0.03344 \times \cos((0.98 \times N) - 2.8)) \quad (\text{II-3}) [16]$$

Sachant que : B_0 est la constante solaire sur une surface horizontale hors atmosphère ($B_0=1367\text{W/m}^2$) ;

h : hauteur du soleil ;

N : numéro du jour (par ex. 1 pour 1^{er} janvier, 32 pour 2 Février).

L'utilisation de ce modèle nous a permis de calculer les valeurs de l'irradiation sur un plan incliné de 40° par rapport à l'horizon pendant 11 ans. (Valeurs détaillée dans annexe 1)

Les courbes de variation des données d'enselement sur un plan incliné de 40° par rapport à la surface horizontale sont données dans la page suivante :

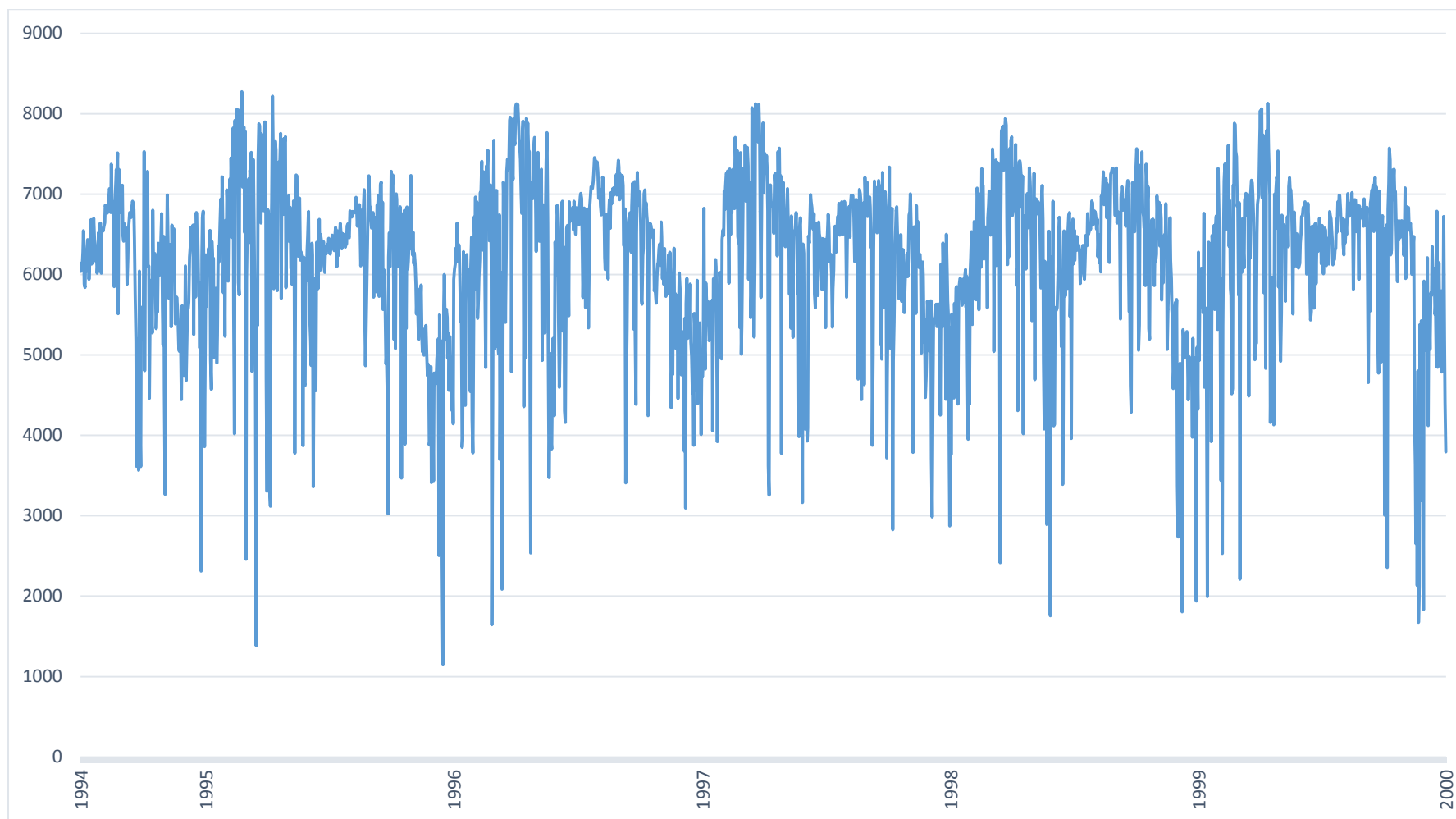


Figure 28 : courbe de variation d'irradiation du 01/07/1994 au 31/12/2000

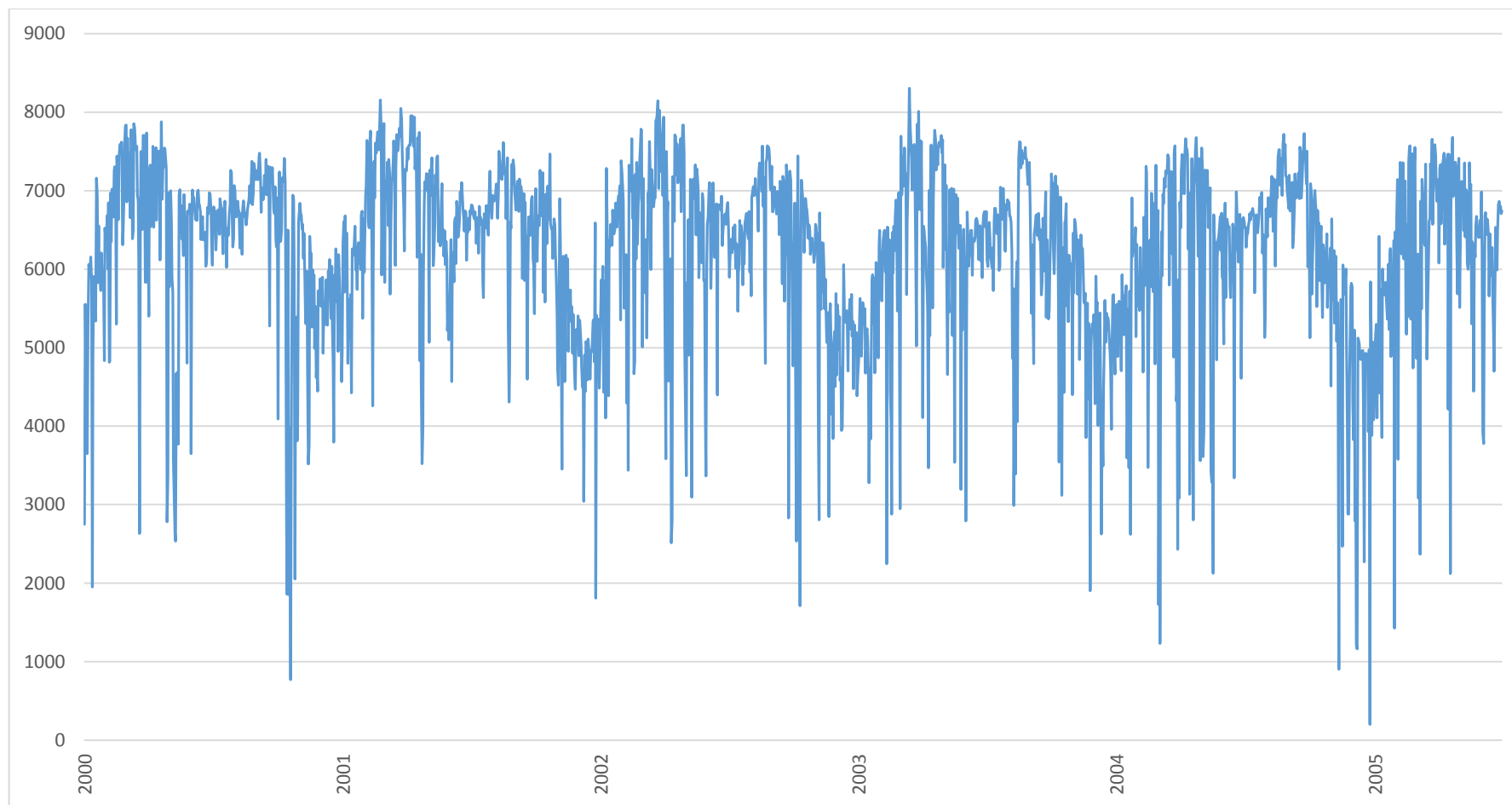


Figure 29 : Courbe de variation d'irradiation du 01/01/2000 au 31/06/2005

Comparaison entre les valeurs mensuelles horizontales et les valeurs mensuelles inclinées :

	horiz	incliné	incliné
	moy	moy	min
janvier	3638,1085	5638,897621	5221,146044
février	4797,60502	6347,218552	5766,485447
mars	5861,02346	6679,246298	5942,52128
avril	6891,43333	6730,976427	6490,0624
mai	7081,29032	6110,860254	5675,154618
juin	7759,2	6232,240004	5767,57104
juillet	7855,97947	6480,472239	6256,808916
août	7263,80645	6775,810703	6513,732221
septembre	5951,54545	6449,236235	5883,277577
octobre	4857,18182	6149,048641	5239,944028
novembre	3738,84242	5516,715008	5095,235238
décembre	3174,83578	5003,852878	4170,615222

Tableau 5 : Valeurs mensuelles pour plan horizontal et plan incliné 40°

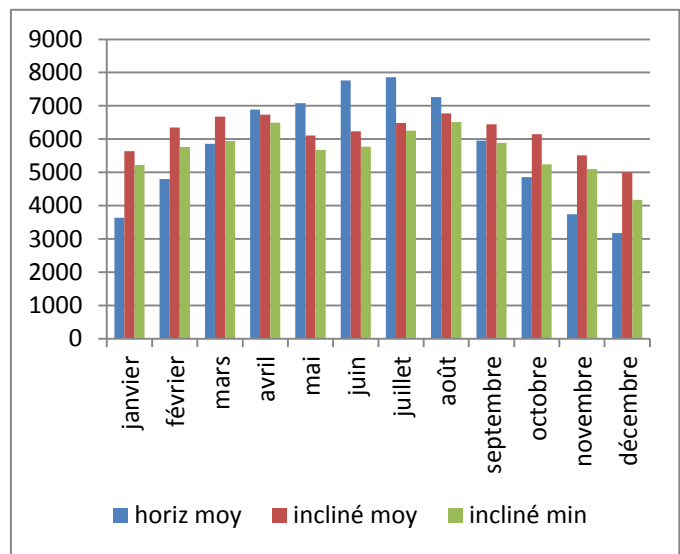


Figure 30 : graphiques des valeurs mensuelles sur plan horizontal (moy) et incliné de 40° (moy et min)

4.1. Interprétation

Les graphes (figures 27 et 28) représentent l'irradiation en (W/m²) sur une durée de 11 ans. Le tableau 5 permet d'établir une comparaison entre les valeurs mensuelles sur plan horizontal et sur un plan incliné. Ces résultats montrent que l'irradiation horizontale moyenne est maximale en période estivale notamment en juillet. Cependant, les valeurs minimales sont enregistrées en mois de décembre. Sur une surface inclinée de 40°, on remarque une baisse de l'énergie reçue en période estivale accompagnée d'une nette augmentation des autres mois. L'écart entre les valeurs du mois de juillet et celles du mois de décembre est nettement réduit.

Lors du dimensionnement d'un système photovoltaïque, il est recommandé d'opter pour les valeurs du mois le plus défavorable, c'est-à-dire, où l'ensoleillement est minimal. En effet, le mois de décembre est le mois le plus défavorable en ensoleillement pour la région d'IN AMENAS.

4.2. Référentiel météorologiques du site

Nom du site	TIGUENTOURINE, IN AMENAS
Latitude (°)	27° 55' 33" N
Longitude (°)	9° 7' 1" E
Altitude (m)	569 m
Température	-5 ° C à 45 ° C
Humidité relative	30 % à 98 %
Moyenne des précipitations annuelles	90 mm
Les vents dominants	Nord-Ouest
Température du sol	15°C à 25°C
Albédo	0.25

Tableau 6 : Données supplémentaire sur le site [22]

5. Caractéristiques des modules photovoltaïques choisis

Désignation	Q-Plus L-G4.2 340	
Fabricant	HANWHA Q CELLS Gmbh	
Prix	400€	
Spécifications mécanique	Dimensions	1994 mm × 1000 mm × 35 mm
	Poids	24 kg
	Face avant	3.2 mm verre avec couche anti reflet
	Nombre de cellules	6 × 12 'Q.ANTUM' solar cells
Caractéristiques électriques (1000 W/m², 25°C et AM 1.5)	Puissance max (P_{MPP})	340 W
	I_{cc}	9.59 A
	V_{co}	47.07V
	I_{MPP}	9.03A
	V_{MPP}	37.63V
	Rendement (η)	≥ 17.1%
	Protection	≥ IP67

Tableau 7 : Fiche technique du panneau Q-PLUS L-G4.2 340W [PVSYST 4]

Graphiques

- Caractéristiques I(V) pour différente valeur de G (irradiation)

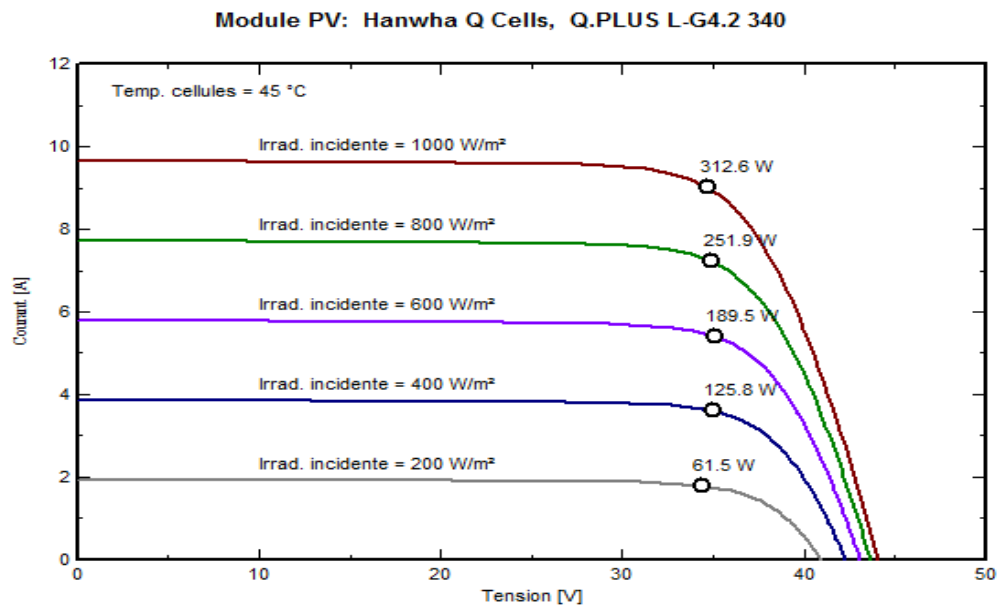


Figure 31 : Caractéristique I(V) pour différentes valeurs d'irradiation [PVSYST 6]

- Caractéristique I(V) pour différentes valeurs de température :

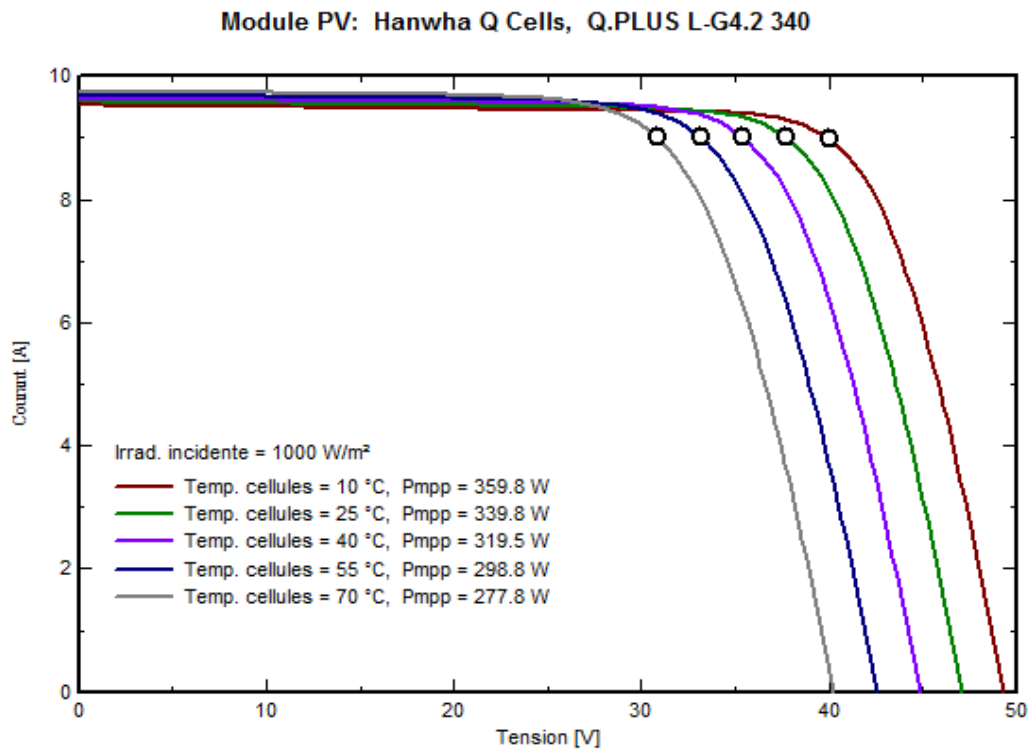


Figure 32 : Caractéristique I(V) pour différentes valeurs de température [PVSYST 6]

Caractéristique P(V) pour différentes valeurs d'irradiation

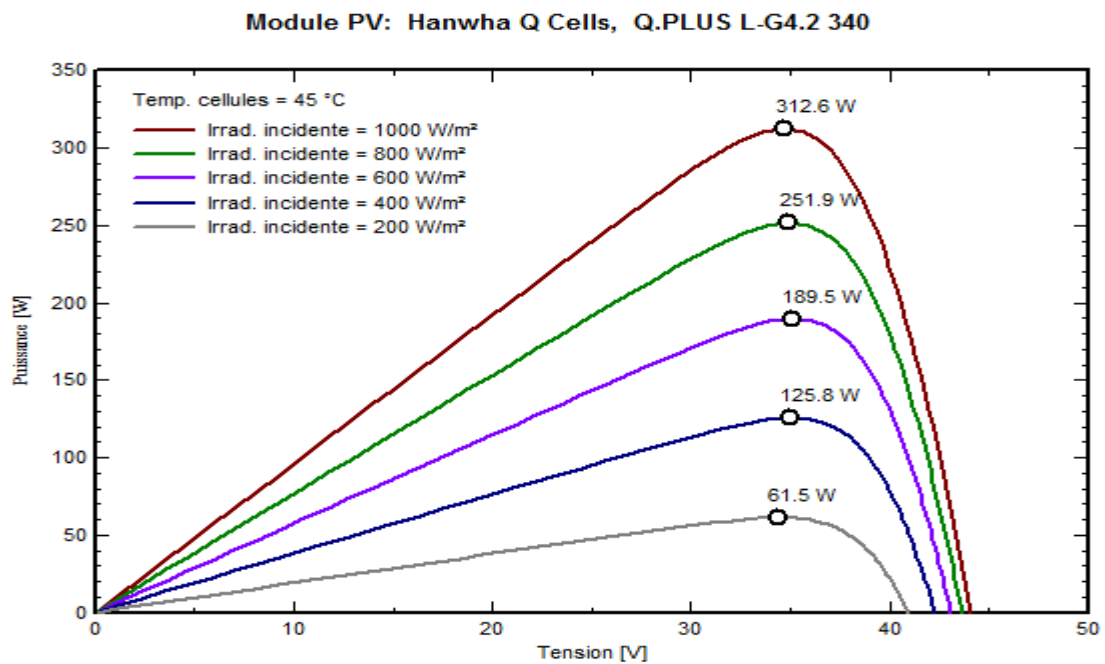


Figure 33 : Caractéristique P(V) pour différentes valeurs d'irradiation [PVSYST 6]

6. Régulateurs de charge

Spécialement conçu pour les applications industrielles et les applications en plein air, le STECA POWER TAROM est livré dans un boîtier IP 65 en acier.

Ce régulateur de charge solaire permet de réguler les systèmes d'une puissance maximale de 8 400 W_c sur trois niveaux de tension (12 V, 24 V, 48 V). [19]



Figure 34 : Régulateur STECA POWER TAROM [19]

Désignation		STECA POWER TAROM
Puissance		8.4 Kw
Prix		1000€
Tension de système		12 V
Consommation propre		14 mA
Côté entrée DC	Tension à vide du panneau photovoltaïque	< 100 V
	Courant du panneau	<140 A
Côté sortie DC	Courant du consommateur	70 A
	Tension finale de charge	13,7
	Tension de charge rapide	14,4 V
	Protection contre la décharge profonde	< 30 %
Conditions de fonctionnement	Température ambiante	-10 °C ... +60 °C
Installation et construction	Borne de raccordement	(à fils fins / à un fil) 50 mm ²
	Degré de protection	IP 65
	Dimensions (X x Y x Z)	330 x 330 x 190 mm
	Poids	10 kg

Tableau 8 : Fiche technique du STECA POWER TAROM [19]

7. Batterie

Désignation	8 PzS 1120 L
Fabricant	TAB
Type	Batterie au plomb ouvert à électrolyte liquide
Prix	400€
Tension Nominale	2 V
Capacité	1120 Ah / C5
Profondeur de décharge maximale	80 %
Dimensions	155 x 198 x 730 mm
Poids	62,5 kg
Type de Borne	M10
Densité de l'électrolyte à (30°C)	1,29 kg/l

Tableau 9 : Fiche technique des batteries [20]

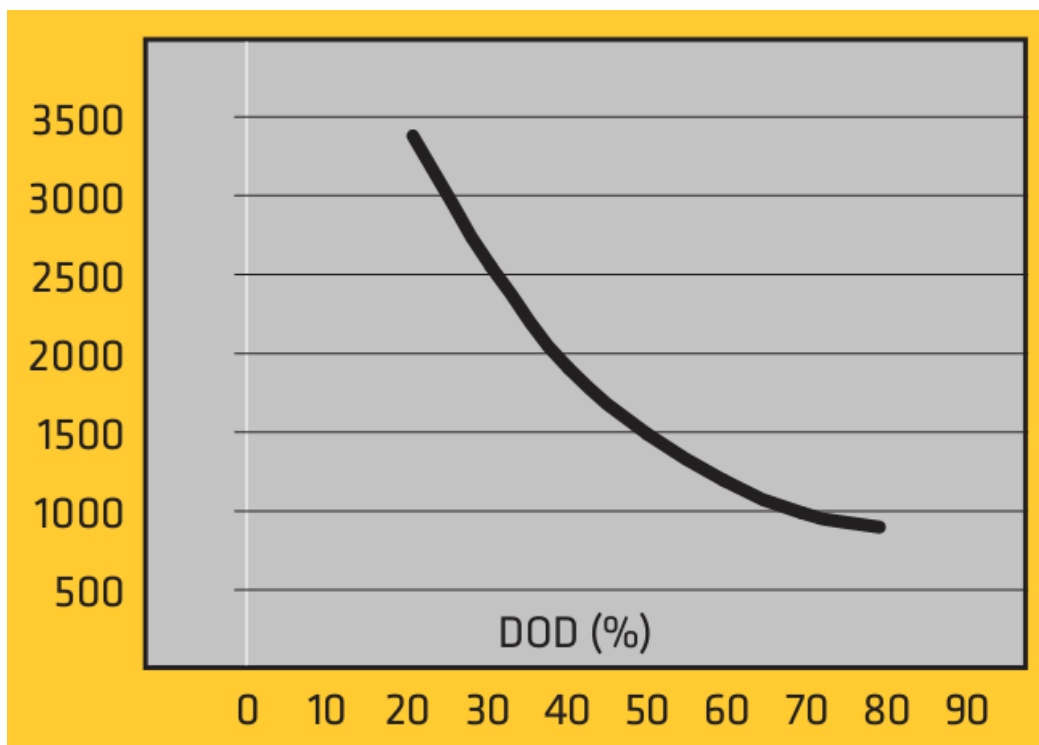


Figure 35 : Nombre de cycle en fonction de la profondeur de décharge [20]

8. Onduleur

Modèle		SINVERT SOLAR 160 MS
Fabricant		Advanced Energy
Type		Triphasé
Prix		40000 €
Fréquence		50Hz
Entrée Côté DC	Tension maximale (DC)	De 350V à 750V
	Puissance nominale	146 Kw
	Puissance maximale	160 Kw
Sortie Côté AC	Tension (AC)	400 V
	Courant (AC)	300A
	Puissance nominale	140 Kw
	Puissance maximale	154 Kw
Rendement		98,0 %
Dimensions (mm)		1836x 834x 1902
Poids		1660 Kg

Tableau 10 : Fiche technique de l'onduleur SINVERT SOLAR 160 MS [PVSYST 4]

Graphiques

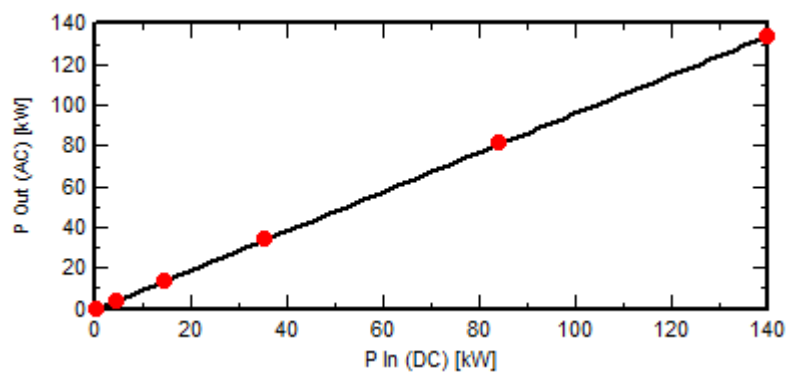


Figure 36 : Puissance de sortie (AC) en fonction de la puissance d'entrée (DC) [PVSYST 4]

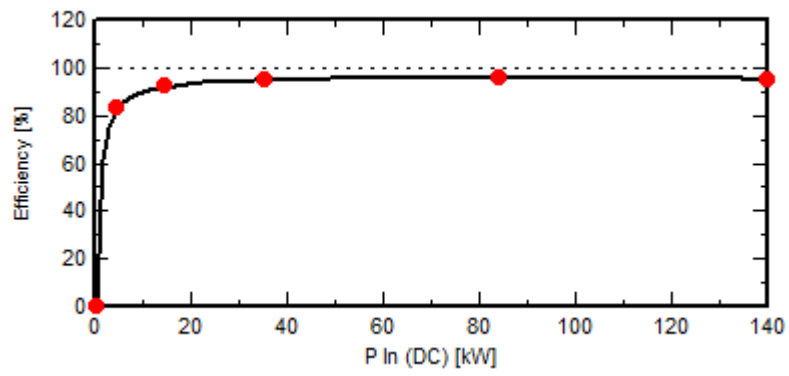


Figure 37 : Variation du rendement en fonction de la puissance d'entrée [PVSYST 4]

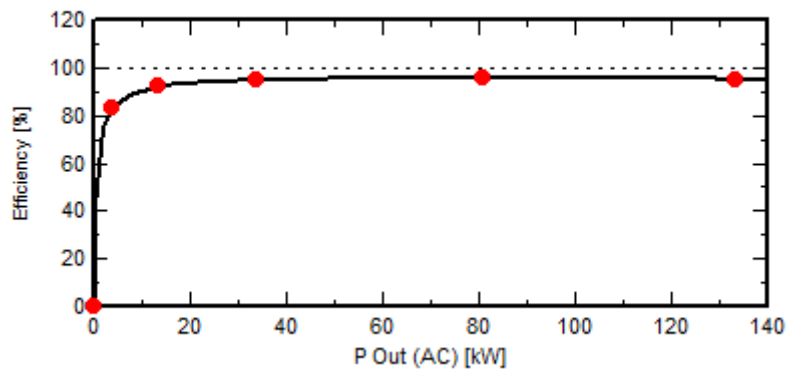


Figure 38 : Variation du rendement en fonction de la puissance de sortie [PVSYST 4]

9. Présentation de la partie onduleur de l'UPS

9.1. Données sur l'UPS

Fabricant	GUTOR
Type	PDW 3160-400/400-EN-R
Puissance active	128 kW
Puissance reactive	160 kVA
Facteur de puissance	0.8
Fréquence	50 Hz
IP	22
Année	2004

Tableau 11 : Fiche technique de l'UPS [22]

9.2. Données sur la partie Onduleur

Entrée DC	Tension	400 V \pm 25%
	Courant	250 A \pm 25%
Sortie AC	Tension	400 V triphasé
	Courant	432 A
	Puissance apparente	160 kVA
	Fréquence	50 Hz
	Facteur de puissance	0.8
Rendement sous charge nominale		95%

Tableau 12 : Fiche technique de la partie onduleur de l'UPS [22]

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé quelques équipements que nous avons estimés adéquats pour l'installation et cela en prenant en compte les contraintes du cahier des charges. Lors du choix, il nous a fallu anticiper quelques calculs liés au dimensionnement et cela pour garantir l'efficacité du produit.

Lors du choix des modules photovoltaïques, il nous a été impossible de choisir un produit national faute de manque de documentation. Nous avons tenté, en vain, de contacter l'entreprise. Finalement, nous avons opté pour des panneaux fabriqués à l'étranger.

N'ayant pas trouvé le prix de l'onduleur qu'on a choisi, on a essayé de contacter le fabricant, mais nous n'avons pas eu de réponse. Pour pallier à ce problème, nous avons estimé son prix au prix de deux autres onduleurs du même fabricant ayant la moitié de la puissance.

Pour le reste des sous-systèmes, le choix des composants est dicté par les caractéristiques (courant, tension et puissance) en amont d'une part, et d'autre part les caractéristiques de sortie du composant lui-même.

Dans ce chapitre une présentation succincte des différents éléments de l'installation est réalisé, le calcul explicite sera détaillé dans le prochain.

Dimensionnement de l'installation

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire le calcul des paramètres d'entrée et de sortie de chaque sous-système. Ce calcul sera basé sur les données déjà collectées et utilisées précédemment. Pour l'installation en question, vu le cahier des charges, nous proposons deux solutions.

Dans le premier cas, nous allons faire un dimensionnement pour un système d'une autonomie de trois jours.

Pour le second cas, nous allons refaire le même travail en récupérant une partie du matériel déjà présent sur site.

Pour pouvoir comparer les deux cas, nous allons également calculer le cout des de l'installation et le prix du kW/h sur une durée de 20 ans pour chaque cas.

2. Système autonome sans récupération (1^{er} Cas)

Dans ce cas, nous allons faire le calcul pour un système photovoltaïque autonome, sans prendre en compte les composants déjà existants. Tous les composants sont choisis selon le besoin de l'installation.

2.1. Evaluation de la consommation

Pour commencer, il faut évaluer la consommation journalière totale. Pour cela, on se réfère aux données de puissance.

2.1.1. L'énergie consommée

$$E = \sum P \cdot t$$

$$E = 128000 \times 24$$

$$E = 3072000 \text{ Wh} / J$$

Où, E est l'énergie consommée en alternatif pendant 24 h ;

P est la puissance totale de l'installation ;

t est la durée qui correspond à une journée (24h).

2.1.2. Energie totale

On calcule ensuite l'énergie totale en prenant en compte les rendements des équipements :

$$E_T = \frac{E}{\eta_{ond}\eta_{reg}\eta_{bat}}$$

$$E_T = \frac{3072000}{0.98 \times 0.96 \times 0.97}$$

$$E_T = 3366295 Wh / J$$

Avec, η_{ond} : Rendement de l'onduleur ;
 η_{reg} : Rendement du régulateur de charge ;
 η_{bat} : Rendement des batteries.

2.1.3. La puissance crête

On calcule la puissance crête du générateur photovoltaïque :

$$P_C = \frac{1000.E_T}{G.F_{CG}}$$

$$P_C = \frac{1000 \times 3366295}{5004 \times 0.75}$$

$$P_C = 896962 W_c$$

2.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

On doit commencer par calculer le nombre total de module N_T nécessaire pour alimenter la charge :

$$N_T = \frac{P_C}{P_{CM}}$$

$$N_T = \frac{896962}{340}$$

$N_T = 2639$ modules.

Avec, P_c est la puissance crête du générateur photovoltaïque ;

P_{CM} est la puissance crête du module ;

Pour adapter la puissance du générateur à la puissance du régulateur (8.4 kW), on va diviser notre champ photovoltaïque en 110 unités. Chacune est composée de 24 modules reliés entre eux (figure 38) et connectés à un régulateur de charge type MPPT avec les paramètres de sortie suivant :

$$P_c = 8160 W_c ;$$

$$V = 12V ;$$

$$I = 70A.$$

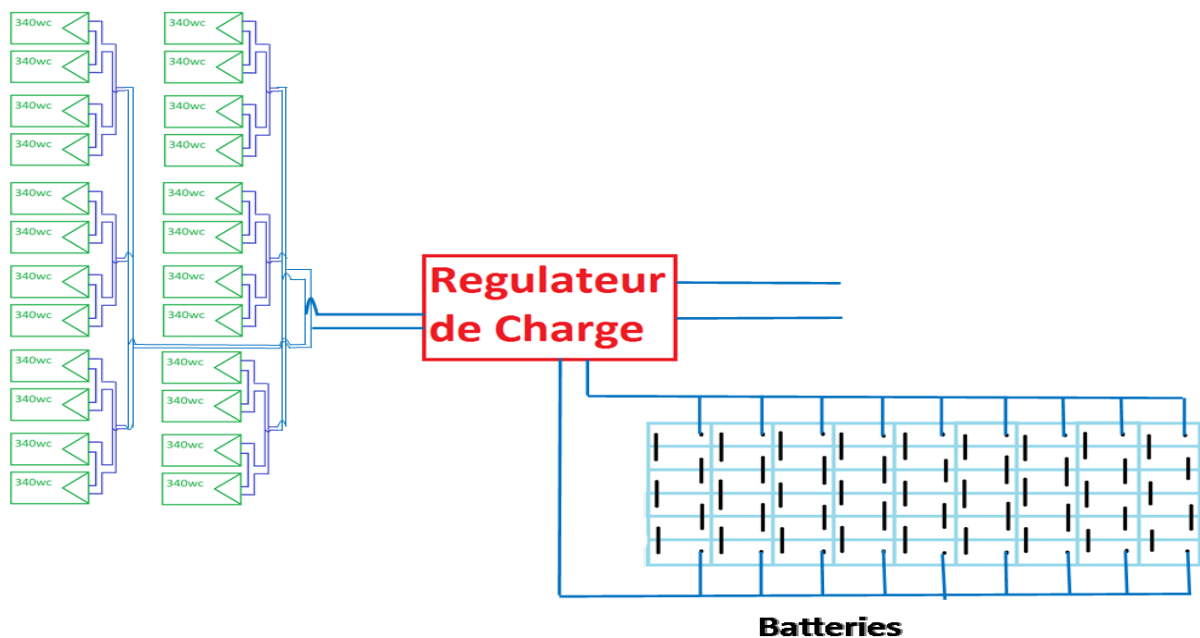


Figure 39 : Schéma d'une unité composée d'un régulateur de charge auquel sont connectés 24 modules PV

On assemble 55 unités en série pour avoir la tension d'entrée de l'onduleur adéquate (comprise entre 350V et 750V). On aura ces paramètres :

$$P_c = 448800 W_c ;$$

$$V = 660V ;$$

$$I = 70 A.$$

Ensuite, on obtient deux branches en parallèle avec ces paramètres :

$$P_c = 897600 W_c ;$$

$$V = 660 V ;$$

$$I = 140 A.$$

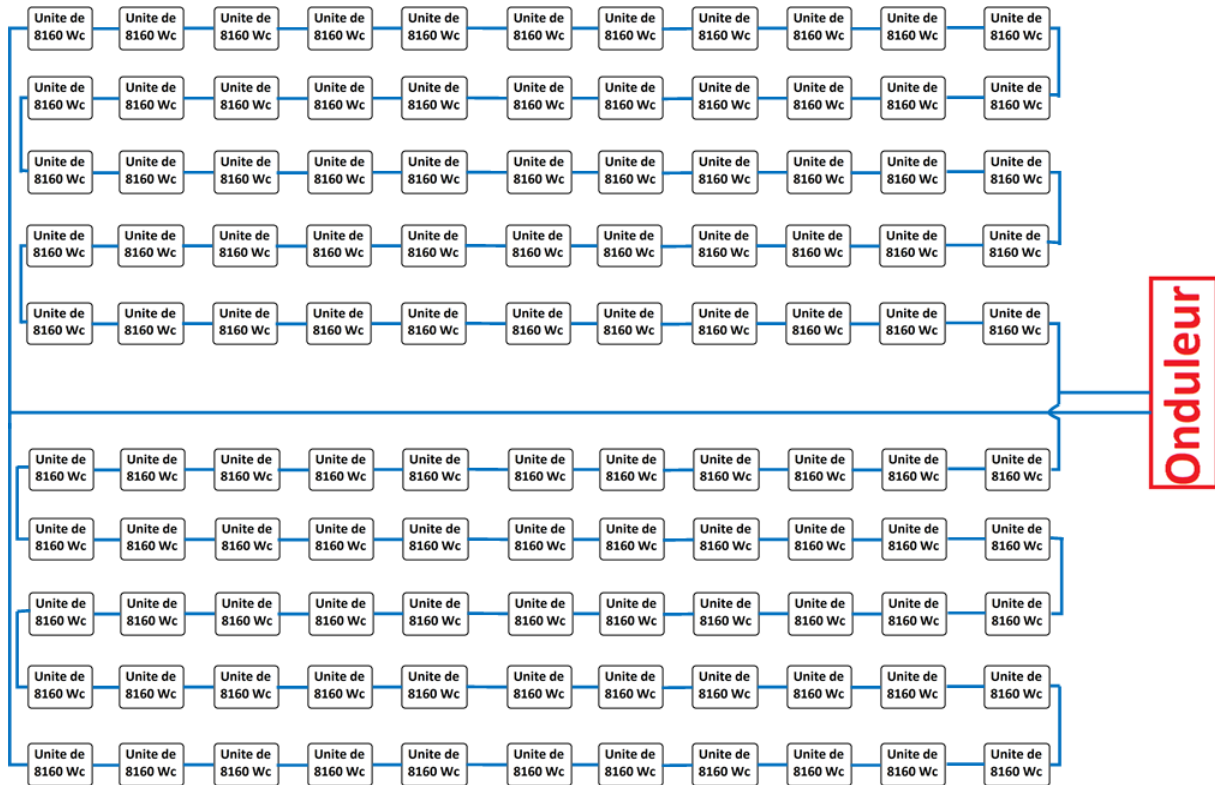


Figure 40 : Schéma du raccordement des différentes unités du générateur PV

On a utilisé 2640 modules (au lieu de 2639) et cela pour équilibrer la puissance des différentes branches qu'on a utilisées dans le montage.

2.3. Dimensionnement du système de stockage

La capacité de la batterie exprime la quantité d'énergie que peut restituer la batterie. Pour dimensionner la capacité du parc de batterie, on a adopté la méthode suivante :

- calculer la consommation journalière moyenne (ET). Nous avons :

$$E_T = 3366295 Wh/J ;$$

- déterminer le nombre de jour d'autonomie (AUT) dont on souhaite bénéficier. Une autonomie de 3 à 4 jours suffi en Algérie [21] ; pour ne pas sur dimensionner nous avons choisi 3 jours ;

- déterminer la profondeur de décharge P_D maximale acceptable par la batterie d'après le type de batterie utilisée : pour le type que nous avons choisi $P_D = 0,8$.

2.3.1. Calcul de la capacité (C_{accu}) de la batterie

En appliquant la formule suivante :

$$C_{accu} = \frac{E_T \cdot AUT}{\eta_{bat} \cdot D_M}$$

$$C_{accu} = \frac{3366295 \times 3}{0.96 \times 0.8}$$

$$C_{accu} = 13149590Wh$$

Avec, η_{bat} : Rendement de la batterie (%);

D_M : Décharge profonde de la batterie ;

AUT : Jours d'autonomie, (Jour) ;

E_T : Energie totale consommée par jour (Wh/J).

Ou bien :

$$C_{accu} = \frac{C_{accu}}{V_{bat}}$$

$$C_{accu} = \frac{13149590}{2}$$

$$C_{accu} = 6574795Ah$$

2.3.2. Le nombre de batterie

$$N_B = \frac{C_{accu}}{C_b}$$

$$N_B = \frac{6574795}{1120}$$

$N_B = 5870$ batteries.

Avec, C_{accu} : Capacité de l'accumulateur (Ah) ;

C_{bat} : Capacité batterie (Ah).

On répartit l'ensemble des batteries sur 110 régulateurs de charge, on obtient 54 batteries par régulateur en utilisant 5940 batteries (au lieu de 5870).

2.3.3. Nombre de batterie en série

$$N_{BS} = \frac{V_{insta}}{V_{bat}}$$

$$N_{BS} = \frac{12}{2}$$

$N_{BS} = 6$ batteries.

2.3.4. Nombre de batterie en parallèle

$$N_{BP} = \frac{N_b}{N_{BS}}$$

$$N_{BP} = \frac{54}{6}$$

$N_{BP} = 9$ batteries.

Avec, V_{bat} : Tension de la batterie, (V) ;

V_{insta} : Tension d'installation, (V) ;

N_B : Nombre total de batterie ;

N_{BS} : Nombre de batteries en série ;

N_{BP} : Nombre de batteries en parallèle ;

2.4. Dimensionnement de l'onduleur

Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales des équipements qui fonctionnent en alternatif, et se fait en fonction de :

- la Tension d'entrée : elle est égale à celle de la batterie ou du régulateur.
- la tension de sortie : pour notre cas, c'est du 400 V(AC) triphasée, 50 Hz.

2.5. Calcul du cout de l'installation photovoltaïque

Pour le calcul du coût d'une installation photovoltaïque on utilise le modèle suivant:

$$C_T = C_{GPV} + C_B + C_{Reg} + C_{OND} + C_0$$

$$C_{GPV} = 400 \times 2640 = 1.056.000 \text{ €}$$

$$C_{Reg} = 1000 \times 110 = 110.000 \text{ €}$$

$$C_B = 5940 \times 400 = 2.376.000 \text{ €}$$

$$C_{ond} = 48.000 \times 2 = 96000 \text{ €}$$

$$C_0 = 150.000 \text{ € [estimation PVSYST 4]}$$

$$C_T = 3.788.000 \text{ €}$$

Alors que le coût de revient en kW/h du système PV est donnée par :

$$C_{PVkWh} = \frac{C_{TDV}}{T_{Cons} \cdot C_{ons}}$$

C_{TDV} représente le cout total estimé pour une durées de vie préavis donnée par :

$$C_{TDV} = C_T + C_{OM} + C_{RB}$$

$$C_{TDV} = 3.788.000 + 100.000 + 2.376.000$$

$$C_{TDV} = 6264000 \text{ €}$$

$$C_{PVkWh} = \frac{6264000}{20 \times 365 \times 3366.3}$$

$$C = 0.255 \text{ €}$$

Avec, C_{TDV} : Coût total estimé pour une durée de vie de l'installation prévue ;

C_{RB} : Coût de remplacement (Batteries) ;

C_{ons} : Consommation annuelle du système ;

C_{OM} : Coût d'opération et maintenance, $C_{OM} = 50.000 \text{ €} / 10 \text{ ans}$ [estimation PVSYST] ;

C_{ond} : Coût de l'onduleur ;

C_B : Coût du parc de stockage ;

C_0 : coût indirect (coût de la structure, du câblage... etc) ;

C_{GPV} : Coût du générateur PV ;

C_{reg} : Coût du régulateur à installer ;

C_{T} : Coût total initial du système ;

T_{Cons} : la durée de vie de l'installation

3. Système avec possibilité d'alimentation mixte avec récupération de matériel (2^{ème} cas)

Dans ce cas on essaie de récupérer la partie onduleur de l'UPS et les 192 batteries déjà disponible sur site. Le générateur photovoltaïque sera raccordé en amont de la partie onduleur pour permettre d'exploiter ce dernier. En cas d'indisponibilité de générateur PV, la partie 'redresseur' sera volontairement conservé et liée au réseau local pour assurer la continuité de l'alimentation.

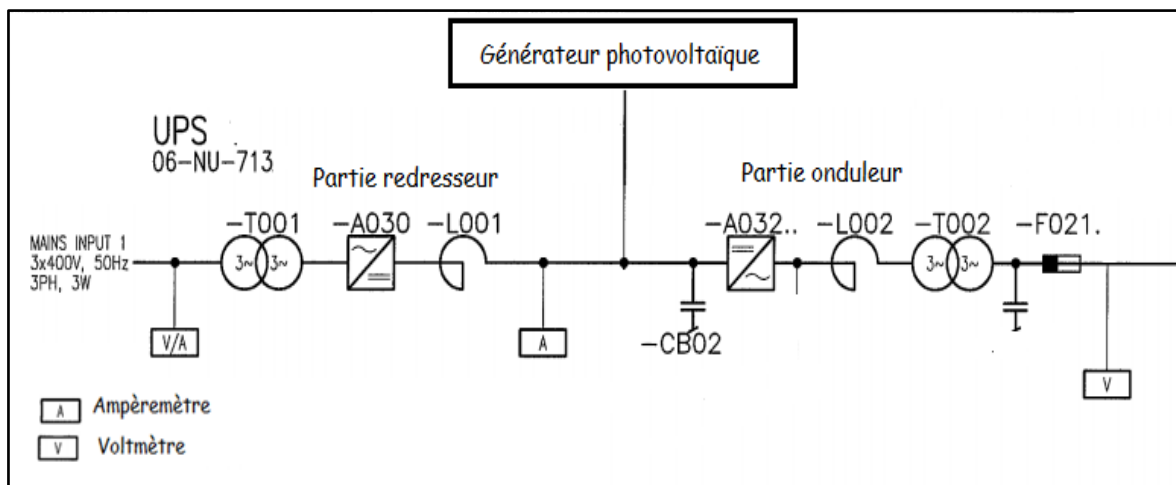


Figure 41 : Schéma représentatif du deuxième cas proposé [22]

Sachant que :

CB02 : module à condensateurs pour filtration du courant continu ;

A032 : Bloc de puissance, effectue la conversion CC/AC ;

L002 : Bobine de lissage ;

T002 : transformateur de puissance d'onduleur.

3.1. Evaluation de la consommation

3.1.1. Énergie consommée par jour (Wh/J)

$$E = \sum P . t$$

$$E = 128000 \times 24$$

$$E = 3072000 \text{ Wh/J}$$

3.1.2. Energie totale consommée par jour (Wh/J)

$$E_T = \frac{E}{\eta_{ups}\eta_{reg}\eta_{bat}}$$

$$E_T = \frac{3072000}{0.95 \times 0.96 \times 0.97}$$

$$E_T = 3472600 \text{ Wh / J}$$

η_{ups} : Rendement de l'UPS (interruptible power supply)

η_{reg} : Rendement du régulateur de charge

η_{bat} : Rendement des batteries

3.1.3. La puissance crête

$$P_C = \frac{1000 \cdot E_T}{G \cdot F_{CG}}$$

$$P_C = \frac{1000 \times 3472600}{5004 \times 0.75}$$

$$P_C = 925287 \text{ W}_c$$

3.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

On doit commencer par calculer le nombre total de module nécessaire pour alimenter la charge :

$$N_T = \frac{P_C}{P_{CM}}$$

$$N_T = \frac{925287}{340}$$

$$N_T = 2722 \text{ modules.}$$

Pour adapter la puissance du générateur à la puissance du régulateur, on va diviser notre champ photovoltaïque en 114 unités. Chacune est composée de 24 modules reliés entre eux et connectés à un régulateur de charge type MPPT avec les paramètres de sortie suivant :

$$P_c = 8160 \text{ W}_c ;$$

$$V = 12 \text{ V} ;$$

$$I = 70 \text{ A}.$$

Pour avoir une tension proche de 400 V à l'entrée de l'onduleur, on assemble 38 unités en série en aura ces paramètres :

$$P_c = 310080 \text{ W}_c ;$$

$$V = 456 \text{ V} ;$$

$$I = 12 \text{ A}.$$

On aura trois branches en parallèle avec ces paramètres :

$$P_c = 930240 \text{ W}_c ;$$

$$V = 456 \text{ V} ;$$

$$I = 210 \text{ A}.$$

On a utilisé 2736 modules pour équilibrer la puissance.

3.3. Dimensionnement du système de stockage

La capacité de la batterie exprime la quantité d'énergie que peut restituer la batterie, pour dimensionner la capacité du parc de batterie, on a adopté la méthode suivante :

- calculer la consommation journalière moyenne (ET). ($E_T = 3366295 \text{ Wh/J}$).
- déterminer le nombre de jour d'autonomie (AUT) dont on souhaite bénéficier. (3 jours).

3.3.1. Calcul de la capacité (C_{accu}) de la batterie

On applique la formule suivante :

$$C_{accu} = \frac{E_T \cdot AUT}{\eta_{bat} \cdot D_M}$$

$$C_{accu} = \frac{3472600 \times 0.75}{0.96 \times 0.8}$$

$$C_{accu} = 3391211 \text{ Wh}$$

Ou bien :

$$C_{accu} = \frac{C_{accu}}{V_{bat}}$$

$$C_{accu} = \frac{3391211}{2}$$

$$C_{accu} = 1695605.5 Ah$$

3.3.2. Le nombre de batterie

$$N_B = \frac{C_{accu}}{C_b}$$

$$N_B = \frac{1695605.5}{1120}$$

$$N_B = 1514 \text{ batteries.}$$

Pour équilibrer le courant de charge et décharge en vas utiliser 1512 batteries qu'on va repartir sur 114 régulateurs de charge (12 batteries par régulateur pour 90 unité et 18 batteries par régulateur pour les 24 autres).

3.3.3. Nombre de batterie en série

$$N_{BS} = \frac{V_{insta}}{V_{bat}}$$

$$N_{BS} = \frac{12}{2}$$

$$N_{BS} = 6$$

3.3.4. Nombre de batterie en parallèle

Pour les unités qui ont 12 batteries

$$N_{BP} = \frac{N_b}{N_{BS}}$$

$$N_{BP} = \frac{12}{6}$$

$$N_{BP} = 2 \text{ batteries.}$$

Pour les unités qui ont 18 batteries

$$N_{BP} = \frac{N_b}{N_{BS}}$$

$$N_{BP} = \frac{18}{6}$$

$$N_{BP} = 3 \text{ batteries.}$$

Avec, AUT : Jours d'autonomie, (J) ;

V_{bat} : Tension de la batterie, (V) ;

V_{insta} : Tension d'installation, (V) ;

C_{accu} : Capacité de la batterie de stockage (Ah) ou (Wh) ;

η_b : Rendement de la batterie ;

N_B : Nombre total de batterie ;

N_{BS} : Nombre de batteries en série ;

D_m : Décharge profonde de la batterie ;

C_{bat} : Capacité batterie, (Ah) ;

N_{BP} : Nombre de batteries en parallèle ;

V_{bat} : Tension de la batterie, (V) ;

E_T : Energie totale consommée par jour (Wh/J).

3.4. Calcul du cout de l'installation photovoltaïque

Pour le calcul du coût d'une installation photovoltaïque on utilise le modèle suivant:

$$C_T = C_{GPV} + C_B + C_{Reg} + C_{OND} + C_0$$

$$C_{GPV} = 400 \times 27360 = 1.094.400 \text{ €}$$

$$C_{Reg} = 1000 \times 114 = 114.000 \text{ €}$$

$$C_B = (1512-192) \times 400 = 528.000 \text{ €}$$

$$C_0 = 150.000 \text{ € [estimation PVSYST 4]}$$

$$C_T = 1.886.400 \text{ €}$$

Alors que le coût de revient en kW/h du système PV est donnée par :

$$C_{PVkWh} = \frac{C_{TDV}}{T_{Cons} \cdot C_{ons}}$$

C_{TDV} représente le cout total estimé pour une durées de vie préavis donnée par :

$$C_{TDV} = C_T + C_{OM} + C_{RB}$$

$$C_{TDV} = 1.886.400 + 100.000 + (6 \times 604.800)$$

$$C_{TDV} = 5.615.200\text{€}$$

$$C_{PVkWh} = \frac{5615200}{20 \times 365 \times 3472,6}$$

$$C = 0.221\text{€}$$

C_{TDV} : Coût total estimé pour une durée de vie de l'installation prévue ;

C_{RB} : Coût de remplacement (Batteries) ;

C_{ons} : Consommation annuelle du système ;

C_{OM} : Coût d'opération et maintenance, $C_{OM} = 50.000\text{€} / 10 \text{ ans}$ [estimation PVSYST] ;

C_{ond} : Coût de l'onduleur ;

C_B : Coût du parc de stockage ;

C_0 : coût indirect (coût de la structure, du câblage... etc.) ;

C_{GPV} : Coût du générateur PV ;

C_{reg} : Coût du régulateur à installer ;

C_T : Coût total initial du système ;

T_{Cons} : la durée de vie de l'installation

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait les calculs pour deux solutions différentes. Nous avons opté pour diviser notre générateur PV, en plusieurs unités ; en fonction des paramètres d'entrée et de sortie de chaque sous-systèmes. Dans le premier cas, nous avons fait le calcul pour un système pour une autonomie de trois jours. Le calcul que nous avons fait n'est qu'une estimation du projet réelle ; le prix final devrait être supérieur à celui que nous avons trouvé. Ceci est dû au manque d'informations sur certains équipements.

Dans le deuxième cas, nous avons refait le calcul mais en récupérant une partie du matériel existant, et en proposant une alimentation mixte à partir du réseau local. Ceci nous a permis de réduire le coût de l'installation. Dans cette partie le prix trouvé est assez estimatif de la réalité à cause des équipements récupérés.

Ensuite nous avons calculé le prix du kWh pour chaque cas. Dans le tableau suivant une comparaison entre le prix du kWh pour chaque cas et le prix proposé par l'EDF :

Prix kWh pour 1 ^{er} cas	Prix kWh pour 2 ^{eme} cas	Prix EDF
0.255 €	0.22 €	0.62 €

Conclusion Générale

Dans notre projet nous avons dimensionné un générateur photovoltaïque pour le site gazier d'IN AMENAS. La charge à alimenter est composée d'un ensemble de système de télécommunication et de caméra de surveillance. Cet ensemble, pouvant impacter directement la sécurité, est considérée comme critique.

Pour commencer, il a été fondamental de revenir sur les notions de base du photovoltaïque.

Après avoir assemblé les données nécessaires pour établir le calcul. Nous avons proposé quelques équipements que nous avons estimés adéquats pour l'installation et cela en prenant en compte les contraintes du cahier des charges. Lors du choix, il nous a fallu anticiper quelques calculs liés au dimensionnement afin de garantir l'efficacité du produit.

Nous avons opté pour diviser notre générateur PV, en plusieurs unités ; en fonction des paramètres d'entrée et de sortie de chaque sous-systèmes.

Pour des considérations économiques et pratiques, le calcul a été fait pour deux solutions différentes.

Dans le premier cas, nous avons fait le calcul pour un système pour une autonomie de trois jours. Le calcul que nous avons fait n'est qu'une estimation du projet réelle ; le prix final devrait être supérieur à celui que nous avons trouvé. Ceci est dû au manque d'informations sur certains équipements.

Dans le deuxième cas, nous avons refait le calcul mais en récupérant une partie du matériel existant, et en proposant une alimentation mixte à partir du réseau local. Ceci nous a permis de réduire le coût de l'installation. Dans cette partie le prix trouver est assez estimatif de la réalité à cause des équipements récupérés.

N'ayant pas trouvé le prix de l'onduleur qu'on a choisi pour le premier cas et pour pallier à ce problème, nous avons estimé son prix au prix de deux autres onduleurs du même fabricant ayant la moitié de la puissance.

Pour le reste des sous-systèmes, le choix des composants est dicté par les caractéristiques (courant, tension et puissance) en amont d'une part, et d'autre part les caractéristiques de sortie du composant lui-même.

Le calculé le prix du kWh pour chaque cas a été estimé. Les prix pratiqués par EDF sont pris comme référence à cause du manque de visibilité et d'information sur le prix réel de l'entreprise nationale SONELGAZ une comparaison est faite, les deuxièmes solutions dont l'estimation du prix est plus juste est la meilleure solution

Annexe1 : valeur d'ensoleillement sur un plan incline dans la région d'In Amenas

Day	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1/1		6246,54408	5939,07171	4725,36496	5340,30971	6278,9096	2751,06864	6327,45787	5469,77176	4822,4615	5243,21317	4984,28906
2/1		5604,09129	6064,25128	4930,28559	3763,45133	4930,28559	5554,78843	6604,93926	5867,03985	5143,9313	5554,78843	5111,06273
3/1		6052,04408	6134,05009	6822,90064	5510,80436	5707,6188	4854,75622	5707,6188	5510,80436	5625,61279	4887,55863	5297,58872
4/1		6164,64606	6325,60288	5134,52244	5263,28789	5601,29721	5005,75699	6679,70787	6035,88061	5070,13971	5472,53175	4104,39881
5/1		6323,93427	6160,94627	4824,4447	5003,7315	6079,45228	3650,93113	5720,87868	4433,27351	4889,6399	5590,48829	4905,9387
6/1		6202,40213	6640,79181	5893,90569	4465,08007	5877,66903	5276,9128	6462,1886	5731,53914	5260,67615	5211,96619	4903,46974
7/1		6549,72515	6224,67676	5655,84207	5639,58965	5818,36626	6062,15256	6127,16224	5850,8711	5574,57997	5265,78399	6419,70579
8/1		4940,88429	6372,79662	5475,8845	5255,5903	5523,0904	5963,67881	4799,26659	4106,91338	5444,4139	4704,85479	4421,61938
9/1		4572,25591	6352,16982	5666,33143	5829,62628	6760,40695	6025,58011	5617,34297	7282,95048	5290,75327	5927,6032	5747,97886
10/1		6411,07674	5834,07983	5369,27677	5850,10752	4599,94756	6154,63367	5273,11062	6505,64012	5497,4983	5529,55369	4712,1414
11/1		6177,62729	5418,70502	5175,84989	5312,4559	4993,70855	5858,87994	5130,31456	5691,91704	4674,9612	5661,56015	3855,32514
12/1		6203,20981	5582,88883	5226,20426	4388,77094	5582,88883	1954,01109	5675,93697	4388,77094	5195,18821	5164,17216	6001,60549
13/1		4969,51749	3850,97658	5512,80879	5688,57951	4538,08028	4857,6634	4426,22619	6359,70406	5241,16314	5432,91301	5672,60035
14/1		5715,10667	3975,0323	5491,61088	5858,78254	1995,49814	5906,6745	6257,88217	6289,81014	5092,51125	5715,10667	5667,21472
15/1		5759,28196	6284,29937	5679,73386	5950,19738	4518,3317	5441,08958	6172,93204	6570,67251	4613,78941	5791,10119	5759,28196
16/1		5830,26677	5877,79612	4055,83775	5941,16858	6400,61895	5450,03198	6210,50156	6400,61895	3279,52506	3596,38738	5830,26677
17/1		4903,78822	5931,24861	5946,81619	5868,97828	6024,6541	5339,68051	6304,87057	6304,87057	4732,54482	4109,84156	5713,30247
18/1		5239,81494	4374,38004	5947,89804	5617,45926	5790,54624	7159,5069	6545,83488	6750,39222	3839,38392	5491,57782	5491,57782
19/1		6346,4701	6129,13594	5878,96713	5941,50933	5441,1717	6926,54904	5988,41599	6457,48251	4800,11412	3471,09229	5362,99395
20/1		6154,95389	6247,97586	6185,96121	5643,33303	3922,42653	5829,37698	6139,45022	6449,52347	5844,88064	5720,85134	6061,93191
21/1		6347,33535	5819,684	6099,02883	5835,20315	6487,00776	6549,08439	5742,08821	6502,52692	5928,3181	2622,73759	5229,95602

Annexes

22/1		6609,67027	6052,4147	4922,42423	5959,53877	6331,04248	5944,05944	6238,16655	6841,86009	5309,40726	5355,84523	6052,4147
23/1		6938,52687	6061,59554	3923,11386	6061,59554	6261,59742	5876,97841	6338,52122	6815,44879	5892,36317	6907,75735	6261,59742
24/1		6341,35478	5321,94077	5381,9063	5591,78566	6611,19967	5726,7081	6071,5099	6536,24275	4677,31133	6161,45819	4887,19068
25/1		7214,08179	4545,02405	5292,36021	5978,68935	5566,89187	6207,46573	6329,47979	6802,28431	5353,36725	6390,48683	5765,16473
26/1		6477,5332	6086,77714	6026,66082	5019,71251	6567,70768	5921,45727	5996,60266	6928,40558	6086,77714	6222,03885	5335,32317
27/1		5775,91009	6464,23098	5970,43556	3950,36338	6718,61044	5910,58157	6688,68345	6943,0629	5072,6257	6299,63251	5880,65457
28/1		6440,9518	4195,48237	4993,21493	4845,48668	6736,40831	5805,72032	6736,40831	7061,41046	5923,90292	6529,58875	6367,08768
29/1		5233,6868	3781,83633	4952,68349	4390,67685	5315,6461	4835,59877	5374,18846	5350,77152	4870,72418	5140,01903	1428,43353
30/1		6673,83248	5366,12206	6433,33401	6041,02089	7320,17211	6523,52094	6643,77017	7380,29673	6313,08478	6313,08478	6478,42748
31/1		6063,91708	6716,27002	6553,18178	6212,17911	6805,22723	6360,44114	5958,65104	7235,18712	6493,87697	5530,17377	5559,82617
moy		6015,62715	5681,6856	5488,67067	5419,96985	5713,11225	5538,23675	6009,35834	6221,15948	5221,14604	5387,60544	5331,30226
1/2		7052,42535	6487,65206	6487,65206	6531,09616	6067,69244	6255,9502	6386,2825	7023,46261	5877,98655	5749,10239	6661,42846
2/2		6786,96743	6964,79191	7038,88544	5379,19035	5319,91552	6683,23649	6935,1545	6861,06097	5868,20765	5912,66377	7142,61638
3/2		5918,89698	5821,40926	6810,21323	6155,65286	3439,92365	6002,45788	7060,89592	5501,09248	5597,18752	5473,23885	3579,19182
4/2		5938,19015	6905,21249	7080,76874	5851,87499	5954,2828	6846,69374	7636,69686	5632,42968	6173,72812	6276,13593	6480,95155
5/2		7185,00708	5454,20578	7257,72983	6661,40333	2530,75148	4814,24564	7170,46253	5977,80954	6370,51235	5817,8195	6690,49243
6/2		6505,58634	5681,54541	7242,88613	6621,24121	5363,49452	4828,59075	6606,78435	6187,53546	6462,21577	5536,97682	7358,541
7/2		7447,17231	5963,49968	7288,72183	6064,3318	6554,08781	6971,82088	6525,27864	4292,5674	6496,46946	5516,95743	7000,63006
8/2		7150,95456	6193,74017	6461,19714	5686,97961	7165,03125	6348,58368	7587,33171	5588,44284	5968,51326	4687,53518	6193,74017
9/2		6461,98996	7018,32022	5891,39482	7075,37973	7374,94218	7018,32022	7760,0939	3437,83572	5976,98409	6661,69826	6946,99583
10/2		7821,65226	7029,58621	7312,46694	7029,58621	7114,45043	7015,44217	6902,28988	7326,61098	2248,90182	5784,91098	7354,89905
11/2		5527,25624	7407,0845	6495,22751	6621,48463	6565,37036	6663,57034	6270,7704	6986,22743	6537,31322	5906,02761	6130,48471
12/2		4020,27076	6303,56043	7172,05097	5561,14109	7172,05097	7256,09845	4258,40527	7172,05097	5673,20438	7312,13009	6737,8057
13/2		7918,11345	6633,34019	6772,98946	6284,21702	7233,83204	7303,65667	6032,84834	7024,35814	6214,39239	7219,86711	7122,11263

Annexes

14/2		7113,35689	7277,82757	7127,06278	7003,70977	7606,76893	7113,35689	7373,7688	7661,59249	6373,23883	5619,41488	5372,70886
15/2		7295,84396	6647,90045	7308,80283	6090,66903	6349,84643	5300,17794	6907,07785	6647,90045	4431,93363	3472,97723	5170,58924
16/2		8057,81491	5865,21221	7221,88513	7317,8115	6920,40226	7441,1454	7605,5906	7180,77383	4028,90746	5125,2088	6564,10432
17/2		7451,23492	4841,95771	6819,09044	7101,53797	5823,79913	7101,53797	7478,13468	4667,10924	2878,27486	6254,19537	5393,40289
18/2		5897,97851	7352,08842	7705,42354	7107,4718	5734,90076	6631,82837	7596,70504	4824,38334	6468,75062	6373,62194	7365,67823
19/2		5747,68004	7262,36278	7451,69812	6193,97049	4517,00031	7438,17417	7749,22509	7208,26697	5950,53933	5774,72794	7559,88975
20/2		8043,51172	7545,00262	7248,5918	6372,83257	4580,89445	7585,42228	7706,68125	6130,31463	6547,98442	6965,65421	7571,94906
21/2		7346,88664	6739,05069	7545,09401	6329,42212	7109,03779	7518,66636	7518,66636	7360,10046	6236,92535	6501,20185	5363,49152
22/2		7814,10207	6422,00994	6474,54172	6592,73822	7104,92306	7617,1079	7906,03269	6316,94638	6658,40294	5712,83093	6907,92889
23/2		8275,0699	6420,08603	6393,7742	6512,17743	7880,39248	7617,2742	8156,66668	6841,07528	6880,54302	6643,73657	7472,55915
24/2		7088,33486	7114,25199	6725,49505	5585,14136	7865,84874	6310,82098	7801,05592	6906,91496	6803,24644	6842,12213	4742,83466
25/2		7506,82178	6219,5739	5340,16694	6703,88499	7532,31184	6512,70956	5926,43825	7379,3715	5467,61722	4792,13071	6130,3587
26/2		7836,1551	1646,35832	7517,09341	6866,20756	7466,04354	6930,0199	7006,5947	7517,09341	5641,01067	7325,65639	7338,41886
27/2		6524,05359	3942,68593	5008,62382	7037,7586	6845,11922	7641,36198	7423,03735	7782,63086	6973,54547	6331,41421	7551,46361
28/2		7779,5088	6881,38665	5350,7841	6881,38665	6906,68587	7830,10724	7855,40645	7766,8592	4655,05567	5679,67391	5502,5794
29/2			7670,44086				7834,71719				6747,9661	
moy		6982,60131	6334,90153	6805,36829	6472,15354	6360,70715	6842,52053	7112,29916	6471,52919	5766,48545	6000,6068	6478,85168
1/3		2460,06924	5075,97996	6344,97495	6489,68491	5743,87206	6857,02556	5832,92434	5009,19075	2949,85678	1725,38793	4864,4808
2/3		5942,65352	6292,95731	7318,84697	6931,01063	6893,47809	7669,15076	7118,67338	7156,20593	7694,17246	4629,01432	5642,39313
3/3		6604,65046	5793,75922	7251,01305	6628,15456	2209,38485	7192,25282	6921,95574	6216,83291	6945,45983	1233,96494	6193,32882
4/3		6644,94151	7044,8141	7091,85793	7562,29627	6621,41959	7479,96956	7080,09697	5798,1525	7080,09697	5715,82579	3081,37111
5/3		7190,4815	5109,67435	7609,10542	7325,91865	6587,17055	6931,91967	7362,85606	5700,67283	7436,73087	6476,35834	5749,92271
6/3		6397,59932	5100,18407	6912,09157	5044,261	6028,50705	6654,84545	6554,18392	6375,23009	7057,49156	5916,66091	2371,13821
7/3		7298,36232	5013,01654	7519,52481	6954,33177	6696,30886	7777,54772	7396,65676	5123,59779	7544,09842	6954,33177	6868,32413

Annexes

8/3		7160,66272	6740,85837	7580,46707	6968,75216	6369,03166	7544,48384	7220,63477	5973,21614	7220,63477	6836,81365	5493,43974
9/3		7520,58632	3699,44699	7350,21705	7423,23245	6084,61677	6388,8476	5683,03206	6972,97081	7216,35548	7155,50932	7143,34008
10/3		4794,59165	5253,51982	5941,91207	6110,99087	6920,15369	6509,53375	6606,15021	6835,61429	5676,21682	7040,92426	6895,99958
11/3		7431,93551	6027,19164	6879,64305	7395,91644	6975,69392	7852,15804	7155,78928	7624,03724	6603,49682	7251,84015	6483,43324
12/3		7427,16974	2086,28363	7141,05084	7331,79677	7009,91301	7796,73998	7129,12922	7176,8157	7081,44273	7224,50218	6354,22387
13/3		6477,24889	4628,28876	5464,4427	7372,28692	6960,09836	7560,71598	7348,73329	5994,39943	7513,60872	7219,18831	6300,59665
14/3		5774,65069	7150,68762	5821,69469	6492,07165	6739,05264	7515,2786	7632,88859	7268,29761	8303,26556	7456,4736	7338,86361
15/3		4763,12312	6784,5461	8074,07456	2416,41368	6993,65883	7562,91013	7353,7974	7109,83256	7806,87497	7411,88427	5738,98249
16/3		1383,77788	6555,93125	7531,38123	6510,56149	4491,60688	6952,91671	6045,52138	6975,60159	7667,49053	5795,98767	4854,56501
17/3		5876,88187	5406,27219	6864,01437	7782,27716	6783,66638	6864,01437	7300,1892	6795,14466	7414,97205	7242,79777	5589,92475
18/3		5370,26815	6295,78245	5221,72882	7804,02797	6204,37363	6067,2604	7712,61915	6901,36588	7004,2008	7198,44454	6147,24312
19/3		7422,72611	7285,90167	6168,50204	7844,60148	7012,25278	2633,87056	7502,54037	6909,63444	7046,45889	7240,29352	6601,77944
20/3		7875,10323	7432,5542	8124,74627	7296,38527	7171,56375	6536,10874	7511,98608	7886,45064	7580,07055	6195,68641	6649,58285
21/3		7848,36778	7307,8776	7972,23011	7465,52057	7138,97442	7499,30121	7679,4646	7915,92905	7589,3829	6744,867	7341,65824
22/3		7278,88853	7357,03611	7982,21672	7825,92157	6999,79005	6966,29823	7792,42975	7971,05278	6955,13429	4878,64155	7100,2655
23/3		6638,89732	7922,04554	8089,4127	7944,36117	6705,84419	6505,00359	7687,73152	8145,20176	6293,00519	7475,73312	7654,25809
24/3		7747,46683	7958,05606	7647,71404	7858,30327	6328,76046	7703,13226	8046,72521	7027,03	5020,89052	7570,12854	6572,60062
25/3		7043,02076	7890,38419	8121,48331	6536,80364	4941,11925	7703,30395	7912,39363	8022,44083	7846,36531	6624,8414	7098,04436
26/3		6825,48626	4791,68302	7730,58194	6122,70608	6026,87242	7389,84004	7538,91462	7794,47105	6750,94897	4322,09809	7368,54367
27/3		6794,72232	7285,393	6784,05556	6880,05635	5141,37544	5834,71445	7114,72494	7690,72965	8010,73227	4448,03643	7584,06211
28/3		7559,36343	7186,5729	5716,12139	6223,53071	6513,4789	5830,0296	6762,00592	7238,34937	7186,5729	2433,49371	7445,45521
29/3		7896,73232	7939,70774	7015,73634	7563,67287	6876,06624	7735,57452	6231,43503	7488,46589	7638,87984	5866,14401	7069,4556
30/3		7439,31315	7655,69207	7130,20042	6841,6952	6955,03654	6120,43215	7274,45303	6934,42902	6759,26514	3080,82359	6862,30272
31/3		4713,04026	7617,46463	7883,43755	7670,65921	6989,76852	6628,04534	7245,10253	7936,63214	7628,10354	6851,4626	7128,07444

Annexes

moy		6438,79944	6312,56655	7105,95095	6923,16783	6358,48096	6911,71695	7153,41093	6966,70953	7049,10569	5942,52128	6309,27916
1/4		3305,18567	8082,87393	7023,51955	7712,0999	7574,38383	5402,70735	7256,57751	6684,52615	6165,4425	6525,62299	7140,04853
2/4		6806,90936	8124,03578	7512,88912	6733,15028	8039,73969	7228,38981	7544,50016	5120,98754	4109,43444	7238,92683	6079,85557
3/4		6758,14988	7973,56908	7302,99297	6800,06088	7680,19203	7323,94847	7397,29273	3583,3911	6548,59484	7460,15924	7282,03746
4/4		6739,50855	8114,49329	7260,3361	7177,00369	8062,41053	6541,59408	7572,83263	7499,91677	6499,92787	6968,67267	7333,25196
5/4		3324,96982	7965,42613	7478,59254	7312,86196	6950,32631	7323,22012	7582,17416	6701,73044	6370,26927	7312,86196	6577,4325
6/4		3120,12437	7692,18782	7352,37229	7218,50557	7733,37758	6580,06428	7578,91597	6858,09516	6271,14107	6961,06956	6816,9054
7/4		6295,25261	7615,72023	6786,5894	7615,72023	5773,20727	7564,53931	7953,51427	4575,57385	5967,69475	7441,70512	7318,87092
8/4		6900,00854	7429,21274	3623,01334	5861,95416	7459,74375	6533,63641	7744,69985	6014,60922	5729,65311	7663,28382	7398,68173
9/4		8217,4429	6979,75397	3256,54219	6076,84975	6634,82427	7253,66873	7953,67313	6107,28472	5468,15027	7547,87348	7476,85854
10/4		7659,12001	6761,01503	6690,37756	4308,8857	4833,62119	7104,11132	7638,93788	6135,36886	3471,32712	7527,93614	6317,00807
11/4		5822,52833	7776,7332	7115,31001	7265,63346	7786,75476	7546,23724	7566,28036	2515,41241	7005,07281	7456,04317	6884,81405
12/4		6843,69184	7908,04508	6853,63907	7400,73652	7221,68645	6624,85286	7937,88676	2805,11788	5152,66333	6256,80548	7370,89484
13/4		7663,16458	4356,32095	6871,10623	7415,64635	8128,49887	7277,03614	7277,03614	7178,02884	7306,73832	6970,11352	7366,1427
14/4		7551,18353	7075,59485	6871,77113	7366,77159	7560,88942	7366,77159	7376,47749	6726,18276	7580,30121	3135,00293	7463,83051
15/4		6407,18458	5191,36341	6889,65329	7208,08265	7333,52451	7507,21325	7256,32952	6609,82144	6648,41893	5413,29902	4216,7766
16/4		5799,28268	4966,61541	6514,39693	6837,66776	6984,60904	7474,41332	6151,94177	7709,51938	5505,40012	5711,11791	7464,61724
17/4		7038,87904	7943,04444	7243,04542	7223,60101	4161,10529	6115,26922	7670,8226	7690,26702	6863,87929	7408,32297	7184,71217
18/4		7397,70949	7644,29981	7132,15069	4021,31901	5055,10149	7293,38282	7511,52041	7198,54039	7549,45738	4324,81478	2124,47042
19/4		7163,36732	7886,45285	7259,77872	6729,516	5235,13924	7876,81171	7740,87163	7597,21864	7770,75916	2805,57186	6758,43942
20/4		7385,61033	7537,89096	7128,63678	6129,29517	5967,49701	6890,6983	4834,90986	7100,08416	7651,14967	7033,46139	7366,57526
21/4		7754,83801	7527,86714	6232,24177	6544,32671	5409,47237	7319,81052	6194,41329	7480,58155	7263,0678	7177,95372	7678,23535
22/4		5702,25788	4996,5329	7527,73318	6069,23487	4130,84358	7292,49151	4516,63991	7537,14284	7480,68484	7508,91384	6925,51452
23/4		7684,0046	2536,28514	7101,59838	6932,51271	6998,26825	7542,16051	3522,61825	7167,35393	7327,04595	7674,61095	7195,53487

Annexes

24/4		7494,8004	6951,42737	7569,74841	7007,63838	6567,31885	7531,33756	3944,13871	7663,43341	7569,74841	7419,8524	7129,42888
25/4		6748,14292	7140,15122	6953,4806	6925,48001	7037,48238	7392,15656	5926,79219	6729,47586	7616,16131	6720,14233	7364,15597
26/4		7691,56161	6942,74372	7229,32834	6582,20176	7210,83901	7284,79634	6831,80773	7534,4023	7562,1363	6166,19182	7183,10502
27/4		7640,36511	7426,69388	3773,93337	7325,87066	7177,87327	2784,20085	7113,12442	7834,61168	7574,69127	7409,11919	6428,6365
28/4		7713,7031	7639,26447	6522,68501	7155,41337	7536,91135	3368,34804	7015,84094	7834,66588	7704,39827	6308,67395	5685,25042
29/4		5836,04971	7706,11517	6947,24803	6956,28216	5845,08384	6974,35042	7218,27201	7480,26185	7480,26185	3559,44827	7281,51093
30/4		6610,3967	7174,14443	7146,86631	6355,80095	6437,6353	5773,86782	7001,38303	5028,26599	7646,9651	7292,34959	7410,55476
moy		6635,84645	7035,52915	6705,71922	6742,33744	6684,27869	6803,06955	6894,40751	6490,0624	6695,35455	6546,66403	6807,4717
1/5		6878,04912	6285,8992	6677,62915	5429,55931	5320,23932	6796,05913	7206,00908	4190,59947	6021,70923	7543,07904	5511,5493
2/5		6844,14936	7223,37663	6717,74027	6049,57793	4920,92533	6997,64611	6934,44157	3367,89935	6970,55845	7268,52273	6166,9578
3/5		6982,3588	7245,67272	6346,77347	6546,52886	5520,51255	6601,0076	5066,52303	5829,22542	7327,39083	3613,75657	6927,88006
4/5		6412,82731	7520,66124	6746,07817	7259,46462	6737,07139	5899,44085	7259,46462	5674,27136	6250,70527	3917,94927	7115,35614
5/5		6837,00915	6533,14207	6685,07561	4692,0651	6461,64394	5701,97626	6935,31908	6631,45201	7069,37809	5880,72159	7114,06442
6/5		6078,5345	6414,26751	7068,06337	6785,34083	6458,4429	3569,372	7306,61051	4903,46896	5813,48212	7262,43511	7059,22829
7/5		6051,28836	6739,33573	6748,15685	6942,22149	6615,84005	3105,03426	7418,56197	5813,11812	4657,55139	6845,18917	6492,34436
8/5		5875,46944	6653,61942	6487,49751	6793,51154	6496,24077	2622,97743	6985,86322	7143,24187	5796,78012	7239,41771	7353,08006
9/5		6043,33459	7311,47281	5754,72382	6769,2344	5667,26601	2536,27645	6043,33459	6165,77552	5448,62149	7258,99813	6410,65738
10/5		6914,75926	4930,37196	6495,15314	6906,01747	6565,08749	4676,85993	6259,12469	3094,59517	7010,919	6530,12031	7010,919
11/5		6772,21982	6867,48122	5334,63863	6737,57931	6417,15459	3775,81565	6581,69701	7118,62492	6477,77548	6824,18058	6988,72301
12/5		3779,90509	5897,35193	6728,58106	6798,5793	6719,83128	4689,88225	7201,0692	7148,57051	6264,8427	6597,33435	6072,34754
13/5		6406,14636	6319,45967	6163,42363	6484,16438	6345,46567	3770,87099	7029,42365	6986,94718	7029,42365	7038,09232	5998,71892
14/5		7237,01568	5271,40648	5217,79896	5834,28548	7094,06228	6942,1743	7424,64201	6897,50136	5155,25685	3421,94692	6111,25768
15/5		7223,86612	6870,62084	6517,37555	6976,59442	7206,20386	7011,91895	7444,64443	7329,83971	6950,10102	3285,18117	7356,33311
16/5		6411,18129	7411,56914	6541,66666	7107,10327	7062,73825	6698,24911	6350,28812	6437,27836	7020,11303	4427,80363	6984,44702

Annexes

17/5		6229,68856	7765,0509	6512,05405	6670,88464	7050,31326	6812,06738	6459,11052	7279,73522	3538,39251	2126,56508	7076,78503
18/5		6849,3788	6634,53003	6643,12398	4924,33382	6840,78485	6385,30545	6428,27521	7175,94893	6393,89941	6694,68768	5302,46765
19/5		6949,14549	5021,82668	6770,03939	4079,16297	6504,37961	6512,94928	6298,70753	6992,85081	6949,14549	6367,26489	6350,12555
20/5		6180,00597	3475,72352	6374,98558	6163,05122	5510,29339	6171,52859	6781,89955	5891,77524	6468,2367	6273,25709	6180,00597
21/5		6282,87167	3969,04169	5771,57591	5667,58355	6698,84111	6950,15598	7088,81245	6317,53579	6906,82583	6343,53388	4445,67334
22/5		6214,57025	5017,8167	6129,08786	5573,45228	6778,75407	6659,07872	6351,34209	6718,9164	6522,30688	4846,8519	6317,14913
23/5		6181,32304	3959,388	3984,44742	2890,18618	6415,21094	6640,7457	6507,09547	6189,67618	6264,85444	6139,55735	6156,26362
24/5		3871,90219	3830,35818	6572,26316	5533,66279	6106,9702	6156,82301	6165,13182	6082,04379	6331,30788	6372,85189	6547,33675
25/5		6215,56956	4854,61708	6705,18051	5443,80992	6348,34541	4804,82614	6489,41976	6962,43373	6555,80768	6406,43485	6671,1567
26/5		4643,28177	5206,10381	6215,87275	6538,66774	6505,56056	6737,31081	6058,61365	6836,63234	3194,84272	6522,11415	6555,22133
27/5		4621,98926	5016,74991	5814,49539	4449,28148	6102,3417	6734,78115	6357,29128	5855,61629	6357,29128	6668,98771	6497,10234
28/5		6000,48871	4244,85122	3165,09295	1755,63749	6082,91301	6709,33765	6124,12515	5860,36741	5225,70033	6239,51917	6404,36776
29/5		5920,57154	6403,71638	6379,14969	6215,37178	6100,72724	6829,53895	5216,32651	4053,50333	6338,20521	6714,89441	6403,71638
30/5		6313,41015	5994,05477	6264,27855	5338,96682	6141,44956	6780,16031	5469,98441	3365,51436	6509,93653	5903,98018	6624,57692
31/5		6472,76141	6194,53905	4476,10682	5989,96378	6390,9313	3649,62274	5098,01562	6047,24486	5973,59776	5867,21862	6407,29733
moy		6183,71202	5905,93795	6129,29451	5849,86594	6360,85619	5675,15462	6527,13445	6011,684	6154,67611	5949,75637	6471,39064
1/6		6784,0521	6860,08964	4077,61723	6910,22427	6517,50294	6708,85014	5464,67554	6567,63758	5473,03132	5046,88689	6985,42623
2/6		5944,19709	6738,39423	4789,74559	4118,36245	6722,01903	7008,585	5985,13509	6672,89343	2791,97136	6419,07785	6263,51347
3/6		5439,58336	5456,16745	4369,90919	4137,73185	6724,02156	6874,10763	6376,58476	6990,1963	5381,53902	6840,93944	3922,13861
4/6		5179,80416	4599,66609	3928,36347	5445,01013	6829,0538	6911,93066	4566,51534	7102,54746	6728,77279	5635,62692	3779,18511
5/6		4869,80188	4942,72736	4091,93003	5590,9539	6838,78999	6757,76167	6214,87195	6733,45318	6385,03141	6587,60221	5372,17745
6/6		6388,59335	6332,55306	6476,65667	5555,99472	6860,93296	6628,76603	6188,44945	5756,13862	6036,34008	6636,77179	6684,80633
7/6		6238,28261	6599,10873	6390,63142	5588,79561	6903,80634	6751,45753	5837,36471	6294,41112	6382,61306	6559,01694	6719,3841
8/6		3360,1187	6891,50558	6621,5543	5969,91963	6834,41619	6621,5543	6597,90298	6907,81684	6173,81033	6532,65796	6442,94605

Annexes

9/6		4573,46946	6912,81933	6993,76569	6419,04652	6006,22007	6985,67105	6653,79097	7098,99596	6491,89825	6540,46606	6637,6017
10/6		4961,45823	5293,8435	6907,12812	6712,56113	6655,81243	7004,41162	6072,11146	6696,34722	6493,67327	5772,15402	6590,95676
11/6		5947,95057	6339,58518	6829,12843	6674,1064	6886,24181	6829,12843	6861,76465	6151,92693	5923,47341	5637,90651	6404,85761
12/6		4554,44301	4303,21929	6620,96075	6183,34523	6726,31264	6815,45654	6710,10465	6150,92927	6377,84102	6118,5133	5656,58581
13/6		6400,46001	4162,31173	6561,47787	5104,26622	6392,40912	6730,54663	6408,51091	6722,49574	6392,40912	6102,57697	6448,76537
14/6		6327,66175	5243,60802	6753,25321	5853,89012	5861,92015	6375,84192	6488,2623	6833,55349	6351,75183	6575,7896	6022,5207
15/6		5822,28742	6571,21236	5757,86377	3390,29461	5435,74552	6563,1594	6619,5301	4396,91415	6394,04732	6498,73575	5918,9229
16/6		6172,11601	6611,23889	5586,61884	4212,32687	5537,82741	6668,16223	6985,30653	6806,40462	6619,3708	3342,21302	6277,83078
17/6		6687,60137	6341,5522	6212,78972	6542,74358	6599,07716	6373,74282	6872,69744	6816,36385	6647,36309	6204,74207	5705,78745
18/6		6052,32521	5487,44153	6633,34844	6165,30195	6601,06937	6375,11589	7101,39492	6802,81354	6608,33216	6415,46473	5213,06945
19/6		6496,34636	6905,37558	6567,72597	5734,4292	6560,50781	6439,40308	6921,41594	6825,17377	6488,32618	6985,57739	4699,82589
20/6		6423,15411	6659,01044	5739,17075	6155,85027	5581,93319	6470,32538	6761,21486	6753,35298	6124,40276	6659,01044	5605,51883
21/6		6319,81978	6770,67051	6652,02558	6122,07824	6413,94476	6035,07196	6644,11592	6928,86374	6201,17486	6304,00046	6533,38065
22/6		6175,49759	6729,70891	6508,02438	5827,13618	6634,70125	6104,24184	6483,48073	6302,17446	6555,52821	6088,40724	6215,08411
23/6		6409,67203	6693,49514	6449,0919	6527,93166	5889,32965	6788,10285	6740,79899	6456,18748	6102,19698	6661,95924	5991,82133
24/6		6107,21878	6832,20475	6351,50753	6737,64136	6256,94414	6698,23995	6721,8808	6619,43713	6359,38781	6698,23995	6477,59205
25/6		6026,75568	6556,66727	6090,02871	6770,21373	6382,66645	6801,85025	6113,75609	6635,75856	5892,3005	6343,12081	6825,57763
26/6		6282,03785	6911,83606	5811,68223	5476,8528	6290,00998	6975,6131	6608,89515	6704,5607	6505,25747	4607,89071	6864,00329
27/6		6257,44886	6627,852	6446,59089	5910,68847	6549,04282	6950,96963	6470,23364	6572,68557	6690,89934	6241,68702	6785,47036
28/6		6368,86998	6502,70285	6227,1646	3959,87837	6699,51589	6754,62354	6652,28076	6699,51589	6731,00598	6636,53572	6801,85867
29/6		6326,77172	6500,32406	5885,00213	6539,76778	6602,87772	6366,21544	6500,32406	6807,98503	6571,32275	6658,09892	6705,43138
30/6		6349,37489	6831,95582	6437,04508	6689,78795	6500,2308	6050,03255	6745,07546	6847,75225	6531,82366	6602,90759	6737,17724
moy		5908,23913	6206,96159	6025,59342	5767,57104	6443,16277	6647,29797	6445,61487	6588,50956	6213,5632	6198,48592	6109,64058
1/7	6037,96756	6449,46732	6639,39028	5341,58336	6132,92904	6132,92904	6552,34226	6702,69794	6489,0346	6734,35176	6528,60189	

Annexes

2/7	6144,21412	6262,98115	6777,63826	6009,6115	6555,93981	6611,36442	6793,47386	6817,22727	5898,76227	6112,54292	6532,18641	
3/7	6073,35534	6255,95296	6621,14818	6430,61154	6176,56269	6541,75791	6437,75666	6811,68482	6113,05048	6033,66021	6279,77004	
4/7	6280,24908	6328,00763	6821,51262	6487,20279	6439,44424	6009,61731	6741,91504	6773,75408	6359,84666	6423,52472	6431,48448	
5/7	6546,5932	6379,51077	6971,09448	6747,252	6299,56703	6475,44327	6243,60641	6675,30263	6379,51077	6595,35888	6459,45452	
6/7	5882,78051	6489,44225	7009,78058	6570,17063	6474,25573	6578,16353	6442,28409	6642,1068	6210,48975	6442,28409	6545,39261	
7/7	5838,58221	6400,75656	6946,86879	6159,8247	6304,38382	6553,34675	6697,90587	6730,03011	6416,81869	6159,8247	6609,56418	
8/7	6215,85318	6440,71609	6529,05509	6256,00727	6376,46954	6111,45255	6753,91799	6593,30163	6537,0859	6111,45255	6705,73308	
9/7	6038,45347	6296,09415	5716,40262	6247,78653	6352,45305	6328,29924	6714,76026	6328,29924	6263,88907	6014,29966	6626,19628	
10/7	6321,74011	6499,00786	6232,70152	6014,15225	6289,36244	6321,74011	6443,15638	6653,61123	6563,7632	6273,17361	6726,46099	
11/7	6434,87335	6588,43282	6824,86567	5346,14477	5890,50906	6451,12303	6897,98923	6531,55894	6012,38166	5728,01226	6702,99307	
12/7	6414,93992	6520,77015	6064,88609	5820,66249	6260,26497	6130,01239	6821,97926	6203,27947	6325,39127	6618,45959	6773,13454	
13/7	5940,93236	6096,4113	5589,05895	6055,49579	6112,77751	6783,7919	6628,31296	6800,15811	6284,62266	6775,6088	6718,32709	
14/7	6174,48999	6541,62183	6324,68029	6533,27792	6299,64857	6733,53165	6583,34135	6591,68526	5465,25803	6774,41679	6650,0926	
15/7	6138,39406	6237,66728	6816,76106	6601,66909	6361,75881	6692,66954	6196,30344	6659,57846	5956,39316	6543,75971	5699,93734	
16/7	6684,01506	6405,85531	6340,40596	6274,95661	6004,97803	6568,66057	6757,64558	6568,66057	6062,24621	6454,94232	6594,0222	
17/7	6129,01535	6521,79604	5335,27104	6358,13742	5940,80794	6415,41794	6800,0157	6619,99121	6619,99121	6693,63759	6693,63759	
18/7	6218,69245	6636,54925	5882,76835	6578,37703	6128,56647	6120,3732	6865,96083	5809,02892	6308,81843	6652,11647	6643,9232	
19/7	6486,74079	6494,9727	6848,9446	6717,23412	6486,74079	6190,39223	6420,88556	5638,85462	6552,59603	5984,59462	6462,04508	
20/7	6699,61852	6319,14636	6989,10821	6724,43192	6385,31543	6186,80821	6021,38553	6707,06254	6459,75564	6037,9278	6534,19584	
21/7	6433,7995	6508,80494	7092,18054	6883,83211	6358,79407	6300,45651	6408,79769	6525,47281	5800,42028	7042,17691	6683,81762	
22/7	6372,16163	6422,27037	7073,68401	6489,08203	6756,32865	6330,40435	6530,83931	6597,65097	6438,97329	6823,14031	6915,00633	
23/7	6165,42739	6500,96086	7071,36774	6693,8926	6500,96086	6685,50426	6433,85416	6810,49048	6064,76735	6635,17424	6743,38378	
24/7	6249,49376	6468,77424	7151,91728	6789,2611	6536,24516	6527,81129	6713,35632	6519,37743	6586,84835	6763,9595	6747,09177	
25/7	6017,12406	6340,99192	7252,93566	6903,49927	6605,19992	6903,49927	6818,27089	6519,97153	6630,76844	7031,34185	6979,35254	

Annexes

26/7	6161,29012	6365,53178	7454,82064	6569,77344	6561,26337	6748,48489	7259,08905	6433,61233	6705,93455	6782,52517	6203,84046	
27/7	6520,93986	6383,11286	7425,42954	6503,71148	6624,31011	6985,24456	7227,30323	6960,26342	6710,45198	6245,28586	6434,79798	
28/7	6054,60602	6605,02475	7387,65138	6682,42738	6913,77526	6982,5776	6802,83148	7250,0467	6450,21948	6226,61187	6175,01012	
29/7	6631,48347	6631,48347	7317,19969	6909,24194	6891,88204	6813,76247	6284,28538	6926,60185	6388,44481	6822,44242	5129,85174	
30/7	6637,77338	6473,12887	7400,33743	6733,09389	6620,44238	6542,45288	6395,13937	6776,42139	6733,09389	6759,09039	5398,60681	
31/7	6015,47655	6457,53607	7272,31243	6578,88574	6665,56408	6691,56758	7064,28442	6648,22841	5963,46955	6882,25992	6769,57808	
moy	6256,80892	6429,76709	6747,81223	6419,71905	6397,01616	6498,34389	6637,19321	6607,29068	6314,61605	6489,61153	6487,01581	
1/8	6547,23895	6791,01912	6947,73495	5720,12765	6791,01912	6703,95478	6999,10292	6939,02852	6338,28452	6773,60625	6503,70678	
2/8	6550,75396	6777,54438	6969,44396	6489,695	6777,54438	6376,29979	6716,48542	6873,49417	5661,03771	6856,04875	6411,19063	
3/8	6542,95688	6744,68343	7060,42934	6735,91271	6727,14199	6244,75241	6665,74695	6867,47351	6911,3271	6674,51767	6911,3271	
4/8	6600,4452	6715,15882	6856,34482	6750,45532	6565,1487	6679,86232	6847,52069	6900,46544	6988,70669	6671,0382	6679,86232	
5/8	6643,68849	6785,60974	6741,25935	6847,70029	6688,03888	6395,3263	6865,44044	6927,53099	7051,71208	6599,3381	6856,57036	
6/8	6863,34306	6774,43965	7023,3692	6463,27773	6223,23853	6605,52318	6729,98795	7085,60158	6934,46579	6223,23853	6667,75557	
7/8	6837,03755	6765,63245	7211,91428	6863,81446	6497,86336	6497,86336	6729,92991	6837,03755	6953,07082	4864,47188	6926,29391	
8/8	6834,32232	6780,64964	7120,57666	6986,39494	6145,52282	6771,70419	6270,7591	6646,46791	7156,35845	5751,92311	7182,30025	
9/8	6763,08575	6790,03031	6996,60531	6915,77161	6367,8988	7005,58683	6403,82488	6969,66074	6951,6977	2990,84668	7077,439	
10/8	6870,04712	6960,20521	6211,893	6987,25264	6031,5768	6734,80997	6707,76254	7501,15381	6987,25264	4598,06303	6482,36729	
11/8	6923,82314	6860,38497	6062,87655	6905,69795	6978,19871	6724,44603	6189,75289	7376,95293	6878,51016	3389,4108	7150,38803	
12/8	7067,40761	6602,32659	6748,23436	6702,63818	6939,73831	6857,66519	6757,35359	7158,59996	6483,77653	5745,11844	7021,81143	
13/8	7043,91457	6786,09809	6500,65841	6159,97235	7053,1223	6887,38314	6868,96767	7255,69239	7237,27693	6095,51823	6040,27184	
14/8	6770,91746	6678,67063	6217,43647	6604,87316	7278,27503	6826,26556	6780,14214	7139,90479	7352,0725	4058,8606	6669,44594	
15/8	7371,23154	6870,54411	5943,34518	6935,44804	6870,54411	7018,89594	6694,37632	7269,23966	7269,23966	6555,29647	7139,4318	
16/8	6847,34181	6660,76574	6726,06737	6865,99942	6949,95865	6800,6978	6651,43694	7612,30371	7295,12438	7407,07003	6903,31463	
17/8	6902,89852	6107,84923	6930,95908	6126,55627	6949,66612	5817,89008	6566,17176	7417,34217	6987,08021	7623,11964	7426,69569	

Annexes

18/8	6538,88115	6398,76227	6576,24619	4698,65317	7192,76927	6594,92871	6669,65878	7211,45179	7566,41962	7613,12591	7519,71333	
19/8	5850,27151	6790,82963	7016,56358	5427,02036	6706,1794	6931,91335	6762,61289	7204,67521	6800,23521	7289,32544	7524,46497	
20/8	6709,08721	6813,17742	6879,41665	7059,20883	7125,44805	6926,73038	6841,56566	6642,84799	7163,29904	7513,42066	7068,67158	
21/8	7038,25025	6819,49383	6971,67221	7009,71681	7009,71681	6800,47153	6876,56072	7085,806	5849,35663	7342,60702	7409,18506	
22/8	7303,84344	7053,6459	7072,89187	6928,54714	6360,79119	6534,00487	7063,26889	7419,31922	4801,86808	7467,43413	7400,07326	
23/8	7229,97452	5311,62128	6979,3354	4444,02434	6150,29833	6863,65581	6844,37588	5263,42145	7364,93405	7413,13388	6940,77554	
24/8	7512,37031	4867,30799	7079,72071	6735,56762	6715,90173	6715,90173	7069,88777	4306,8301	7404,20791	7433,70675	7591,03387	
25/8	5513,64404	5474,26087	7069,27932	6842,82609	7246,5036	5937,01314	7374,4989	4676,75164	7571,41476	7551,72318	7719,10166	
26/8	7305,72256	5854,45065	7108,2706	6891,07344	7276,10477	6851,58305	6821,96525	6604,7681	7562,41011	7404,44854	7384,70334	
27/8	6955,49696	6470,68992	7242,42358	4630,40196	7321,57575	6698,25241	6965,39098	6520,16002	7539,24422	7400,72792	7588,71432	
28/8	6770,89187	6989,30774	6989,30774	7207,72361	7297,07555	6711,32391	7346,71552	7336,78753	7436,06747	7177,93963	7187,86762	
29/8	7027,94347	7227,03535	7286,76291	6978,1705	7286,76291	6798,9878	7286,76291	7087,67103	7027,94347	7077,71644	7177,26238	
30/8	6900,89535	6841,061	7419,45974	6861,00578	7309,76343	6741,33708	7160,17755	7389,54257	7010,59167	7309,76343	6970,7021	
31/8	7110,05834	6839,29448	7340,70903	7150,1715	6739,01157	6739,01157	7140,14321	7290,56758	7310,62416	7360,76561	6909,49252	
moy	6830,57371	6587,17905	6880,68412	6513,73222	6824,9161	6670,77555	6828,01119	6865,11452	6962,76162	6523,65564	7046,514	
1/9	6489,10618	6660,40246	6932,46126	6720,85997	6730,93622	6599,94495	7254,90132	7002,99502	6730,93622	6801,46998	6771,24123	
2/9	6415,3856	6577,54385	7246,44661	6911,99523	7327,52573	6942,3999	7195,77216	6871,45567	6729,5672	6182,28312	7195,77216	
3/9	6630,7838	6610,38139	7171,44771	6794,00309	6640,98501	6661,38742	7140,84409	6753,19827	6834,80792	5437,24272	6742,99706	
4/9	6555,17571	6770,26741	6964,87419	6964,87419	6770,26741	6657,60033	7425,78498	6964,87419	7046,81389	6309,35662	7057,05635	
5/9	6551,9442	5717,49847	7231,86294	6840,39457	6778,58378	6603,45319	7479,10611	7118,54315	6891,90357	5501,16069	6933,11076	
6/9	6578,12211	6453,81114	7106,44373	6339,85942	6712,79232	6837,10329	7241,11394	6982,13276	6826,74405	4796,33155	7106,44373	
7/9	5880,37445	6222,1398	6362,86671	6473,43785	6604,11284	6021,10136	6724,7359	6734,78783	6704,63206	6443,28208	6272,39941	
8/9	6188,89443	6709,84514	6355,59865	3875,87328	5449,14442	4657,29934	7032,83458	7147,44373	6991,15852	6532,7219	6449,36978	
9/9	6541,45355	5783,02415	6815,33083	4992,99353	6952,26948	6088,50266	7026,00567	7026,00567	6878,53328	6678,39219	6783,72961	

Annexes

10/9	6673,23147	6863,89522	3410,76275	6334,27368	7096,9287	5539,84136	6885,08008	7054,55898	6779,15577	6694,41633	7213,44544	
11/9	6769,77942	6876,2225	4821,87119	7163,61879	7035,8871	6886,8668	7014,59849	6982,66557	6439,8059	6429,16159	6918,79972	
12/9	6768,20459	6982,38828	5322,46468	6746,78622	6800,33214	6928,84236	7196,57197	5879,34228	7121,60768	6693,2403	6907,42399	
13/9	6709,85039	5729,75988	6559,06723	6882,17399	6849,86331	7043,72737	6957,56557	6494,44588	7076,03805	6709,85039	7076,03805	
14/9	6833,46169	6595,21105	6660,1885	7082,54191	6876,77999	7060,88277	7396,59958	6963,41659	6735,99552	6378,61955	7071,71234	
15/9	6912,30364	7119,12847	6727,24984	6520,425	6934,07467	7108,24295	6944,96019	5856,40843	5812,86636	6509,53949	7227,98364	
16/9	6864,7151	7149,37633	6766,17852	6645,74492	6601,95088	6536,25983	7094,63379	6853,76659	7182,22186	6164,01053	6897,56063	
17/9	6805,40358	5968,49311	6442,00824	7168,79892	6981,59526	7124,751	7311,95466	5946,46915	7124,751	5671,16965	7554,21821	
18/9	6456,00086	6898,95118	6278,82074	7087,20506	7098,27882	7209,0164	7264,38519	6411,70583	5592,24775	5835,87042	7496,93411	
19/9	5734,09927	5567,08667	6847,51661	7103,6026	7170,40764	7025,66338	5277,59817	4598,41359	6068,12448	6647,10149	6903,18748	
20/9	5172,79416	6057,31957	7132,18589	5128,00806	6102,10567	7087,39979	7300,13375	5878,17518	6438,00139	6460,39444	7087,39979	
21/9	3614,36768	5933,86843	6192,84182	6586,93175	5539,7785	6733,30801	7138,65766	6665,74974	7330,07277	5978,90728	7397,63104	
22/9	4053,8136	5593,80983	5322,04579	4948,37024	5548,51583	5310,72229	7111,15906	6578,95448	7190,42357	6658,21899	7507,48162	
23/9	5196,634	4888,93856	7156,76787	7270,72915	4615,43151	4774,97729	7293,5214	6427,41573	6461,60412	6985,82597	7726,57423	
24/9	3565,65813	5010,26561	5262,49866	5583,52254	4287,96187	7039,59516	6959,33919	6684,17586	2831,88926	5388,61519	7463,80529	
25/9	6043,71988	4498,70878	4385,10502	6577,65753	6736,70279	6748,06317	6759,42354	6895,74805	6827,5858	6373,17077	7384,24421	
26/9	4166,69612	3024,02876	6509,74131	6325,06779	7144,5565	6498,19921	6705,95691	6925,25671	7248,43535	5863,38401	7086,84603	
27/9	3612,45769	6214,35648	7271,37786	7027,44985	7027,44985	4913,40709	7050,68109	6133,04714	7131,99043	5366,41625	7503,69025	
28/9	5583,07659	6519,16129	6953,77205	6842,33339	6742,0386	6630,59995	6374,29104	6051,11894	6363,14718	5482,78181	6028,83121	
29/9	5533,90189	6094,01342	6967,7874	3719,14054	6530,90041	6732,54056	6284,45134	5433,08182	5746,74427	5981,99111	6094,01342	
30/9	5596,91754	6647,81555	6860,35673	4734,945	6919,39594	4971,10186	6907,5881	6305,38811	4770,36853	6470,69791	6435,27438	
moy	5883,27758	6124,59043	6401,26471	6313,1206	6553,58511	6432,4267	6991,67498	6520,69136	6530,27246	6180,85414	7009,84051	
1/10	5198,59681	7285,10846	7025,76803	5658,33667	7308,68486	6566,02817	4090,50588	7025,76803	6342,05235	7214,37925	5127,8676	
2/10	7529,36219	7075,92992	6610,56522	5834,95739	7565,15948	3006,97191	6598,63279	6491,24094	6121,33567	7075,92992	7087,86235	

Annexes

3/10	4805,84709	7238,73228	5680,72699	7334,60953	7394,53281	5992,32805	7238,73228	6100,18995	6843,23863	7094,91641	6987,0545	
4/10	6561,65455	6411,79621	5630,392	5084,47947	6636,58373	6261,93787	6347,57121	6679,40039	4378,00443	6283,3462	5683,91284	
5/10	6145,27741	5189,10662	6231,22534	6370,89074	5060,18472	6617,99105	6360,14725	6553,5301	2535,46411	5941,15106	6177,50788	
6/10	6376,54784	6629,84767	6321,48266	6409,58695	5374,36157	2356,7897	6508,70428	6552,75642	5616,64836	6398,57392	6387,56088	
7/10	7284,77859	5079,85397	7004,5948	6821,86624	7357,87001	6809,68433	7162,95955	7260,41478	7443,14334	7187,32336	6870,59385	
8/10	6100,11598	7001,55012	7050,94377	2827,78656	6865,71758	7137,38266	7137,38266	7013,89853	6087,76757	6742,23345	7001,55012	
9/10	6104,90393	6937,956	6826,05348	4923,71071	7062,29212	7572,07025	7112,02658	7049,85851	5147,51574	7062,29212	6863,35432	
10/10	4462,82506	6250,45527	6888,0017	5412,89426	7525,54814	7425,54086	7413,03995	6675,48622	1712,62474	6963,00717	6712,98896	
11/10	5611,31313	6096,54864	6743,52931	6233,40993	6793,29705	6245,85187	7116,78739	7228,76481	5835,26798	5399,80022	5524,21958	
12/10	5928,24949	6711,22583	6624,22846	6450,23372	6723,65403	6301,09537	5890,9649	5704,54196	7133,7845	3542,03586	6748,51042	
13/10	5436,66746	6526,53553	4245,41631	6792,6661	6577,22706	7160,17975	2711,99729	6944,74072	7046,12379	6361,78803	6374,46091	
14/10	5275,3704	6842,69059	4268,7176	6842,69059	6600,58422	7301,41845	1860,39633	5581,18898	6893,66036	6919,14524	6587,84178	
15/10	6801,02602	6459,07499	6180,44822	6484,40469	5863,8269	7180,9716	6497,06955	6775,69631	6851,68543	6509,7344	5851,16205	
16/10	5980,72399	3467,27318	6638,08805	5735,82365	7372,78906	7308,3416	1856,08676	6960,32533	6212,73484	3119,25691	6393,18771	
17/10	6131,73189	6753,97952	6611,38111	5703,93664	7142,88429	6922,50492	3992,75565	6326,18427	6507,67317	6274,3303	6546,56364	
18/10	6260,99547	6496,27296	6561,62782	6012,64701	6901,47309	7032,1828	2444,27172	7058,32475	6901,47309	5881,93729	5738,1566	
19/10	5659,36486	6091,67745	6497,78928	6484,6889	7087,30646	6602,59234	772,922516	6628,7931	6785,99768	4427,92899	5384,25685	
20/10	5325,41664	6798,12445	6456,24585	6495,69338	5325,41664	6166,96396	4444,42179	6798,12445	6758,67692	6600,8868	6311,60491	
21/10	5599,90483	3889,91058	6552,80239	5665,17179	5195,24971	5913,18622	5652,1184	7466,53978	6631,12274	6591,96257	6213,41422	
22/10	5535,30064	6797,50696	5798,26029	6218,99573	6258,43968	6666,02714	6942,13477	6573,99126	6389,9195	6836,95091	5824,55625	
23/10	6389,55684	5329,10518	5892,88961	6309,01621	6349,28652	6429,82716	6886,22407	6523,79123	6564,06154	5530,45676	6201,6287	
24/10	5986,16608	6839,42806	5732,85393	6092,82382	6679,44143	6666,10922	6026,16273	6492,79038	6479,45816	6172,81713	5972,83386	
25/10	6059,28376	6072,28651	5643,1956	5526,17081	6436,36365	6462,36916	2054,43527	6137,30029	6189,31131	5331,12949	6449,36641	
26/10	6153,2151	6166,59165	5979,31989	5792,04812	6688,27728	6648,14761	4695,17065	6420,74619	6327,1103	6179,9682	5511,14048	

Annexes

27/10	6449,87384	6436,12144	6133,56873	6106,06393	6546,14061	6669,91218	5390,93933	6642,40739	6394,86426	6106,06393	6051,05435	
28/10	6758,05763	6317,61395	6152,44758	6111,15598	5863,40641	6592,89125	3812,59056	6565,36352	6276,32236	5959,75347	5918,46187	
29/10	5575,75252	6922,86765	6326,30791	6256,9405	6465,04274	6548,28363	4134,29772	6215,32006	6229,19354	6062,71175	6034,96479	
30/10	5123,1678	7231,06518	6379,53048	5974,7025	6156,17711	6239,93462	6588,92426	5904,90458	6086,37919	5597,7937	6267,85379	
31/10	6475,09196	6600,41632	6113,04381	6196,59338	6252,2931	6363,69253	6697,89082	5444,64722	6182,66845	4400,27755	4511,67698	
moy	5970,52064	6320,85978	6219,40149	6005,32245	6562,24232	6424,81317	5239,94403	6574,09776	6093,71884	6057,09298	6171,5216	
1/11	4577,83618	6245,07282	6654,81741	6739,59216	6979,78726	7078,69113	6838,49602	4733,25655	6570,04267	6457,00968	6640,68829	
2/11	3265,37725	6530,7545	6474,21117	6785,19948	6686,24866	5951,18538	6700,38449	4523,46632	6544,89033	5696,7404	5681,19098	
3/11	6048,48595	6134,07773	5948,62887	7004,26085	6761,7508	6504,97545	6690,42432	5306,6905	6376,58778	6633,36313	5606,26174	
4/11	5907,53482	6266,87392	6209,37967	6583,09233	6899,31074	6841,81648	6511,22451	6899,31074	6453,73025	6568,71877	6238,12679	
5/11	6990,03092	6137,94038	5877,98055	6571,20676	6354,57357	6730,0711	6571,20676	6152,38259	4058,26176	6455,66906	5314,73426	
6/11	6600,92172	5873,94796	6324,67169	5554,07951	6862,63227	6833,55332	6135,65851	5408,68475	2806,1187	6310,13221	6077,50061	
7/11	5974,8011	5508,47516	5960,22842	3788,89826	6688,8627	6615,99927	6455,69973	3453,72649	6718,00807	5683,34739	6164,24602	
8/11	5698,41165	5830,25151	5727,70939	6591,99291	5683,76278	6548,04629	5903,49587	5317,54095	5551,92292	6372,25981	5083,15898	
9/11	6373,70967	5604,72382	5841,33485	6595,53251	6107,52226	6639,89708	5308,96003	6166,67502	5486,4183	6344,13329	5575,14744	
10/11	5956,26831	5189,61991	5941,52507	6516,51137	5897,29535	6472,28165	5720,37649	5912,03859	6339,59251	4850,52543	4821,03895	
11/11	5348,70073	5362,62964	5766,56797	5515,84762	6379,43993	6003,35941	5975,50159	4568,68187	5710,85234	5905,85705	905,379029	
12/11	6615,53701	5625,45664	6240,50657	6855,55649	6495,52727	6465,52483	4665,37871	5940,48221	6330,51387	6435,5224	5040,40915	
13/11	6193,61709	5696,95911	5945,2881	6398,12331	6252,04744	6368,90814	3520,42858	6179,0095	6003,71845	6237,43985	4864,32663	
14/11	6172,31926	5870,49436	6277,95798	6655,2391	6881,60778	6474,14416	3772,81128	6036,49805	5493,21323	6262,86673	5613,94319	
15/11	6568,89612	5194,71325	5919,55696	6387,68519	6372,58428	4198,05315	6417,88702	6129,45962	5874,25423	6055,46516	5602,43784	
16/11	5984,70888	5040,51937	4343,27174	6086,39083	5069,57136	3631,49811	6086,39083	4953,36342	5519,87712	5592,50708	2469,41871	
17/11	5385,90315	5143,15822	4961,09952	6250,68197	5567,96185	2655,02268	6205,16729	5734,84899	5067,30043	5567,96185	6053,45171	
18/11	5528,61863	4996,45213	4759,93369	6119,91474	5809,48428	3946,90154	5262,53538	5528,61863	5247,75298	5691,22506	5676,44266	

Annexes

19/11	5717,75182	5324,46731	5823,63611	5021,94075	6050,53103	2132,81219	5990,02572	5732,87815	5445,47793	3857,21353	5702,62549	
20/11	5639,22967	5197,23599	6325,08193	6035,49986	6706,11096	4800,9658	5898,32941	5334,40644	2850,09716	4816,20696	5837,36477	
21/11	5443,73501	5366,18893	5319,66128	6157,15897	6172,66819	1674,99539	5924,52072	5521,28109	5273,13363	5567,80874	6002,06681	
22/11	5099,39295	5022,36285	5761,85185	5977,53615	5946,72411	2126,0309	4991,5508	4929,92672	5561,57358	4344,49792	5068,58091	
23/11	5044,76881	4738,58342	5073,92933	5161,41087	5555,0778	5380,11472	5525,91729	5423,85549	5030,18856	5307,21343	4009,57059	
24/11	5356,03612	4885,17581	5738,61013	5444,32243	5429,60805	4679,17442	4620,31688	5047,03404	4149,45656	5002,89089	2884,01945	
25/11	5192,33308	4648,63328	5246,70306	4471,93085	4580,67081	5423,4055	4798,15073	4689,41077	4852,52071	1902,9493	2881,60894	
26/11	4444,59887	3879,38977	4457,44453	4727,20342	4894,19702	3185,72405	4444,59887	4470,29019	3840,85278	4971,27099	4598,74681	
27/11	5612,21559	3958,75831	5675,8101	5039,86499	5596,31697	4769,58832	5723,50599	5230,64853	5071,66225	5214,7499	5071,66225	
28/11	5414,63379	4857,24501	6019,79874	5669,44008	5653,51469	1831,42025	5653,51469	5159,82749	5207,60367	5303,15603	5780,91784	
29/11	5457,95698	3411,22311	5822,87852	5553,1539	5489,68928	5918,07544	5632,48467	5077,16928	4505,98774	5235,83082	5822,87852	
30/11	4736,07525	4497,6822	5324,11144	5498,93301	5689,64745	5864,46902	5880,36189	5403,57579	5689,64745	5419,46866	5769,1118	
moy	5611,68021	5267,96888	5725,47289	5925,27336	6050,4909	5124,89017	5660,8435	5365,50129	5321,04193	5535,46672	5095,23524	
1/12	5161,84647	4299,10159	4752,40822	5044,86411	3377,86554	5337,32	5527,41633	4898,63617	4650,04866	5044,86411	4299,10159	
2/12	6107,72825	3434,55234	4878,28009	5258,20844	2735,48416	5440,57405	5835,69954	5349,39125	5546,95399	4285,59185	3829,67782	
3/12	4678,68775	4774,82517	5287,55807	5672,10775	4646,64194	5047,21452	5896,42839	5239,48936	5463,81001	5912,4513	5223,46646	
4/12	5194,34057	4617,19162	4804,37506	3712,47164	3119,72407	6208,2509	4929,16403	5038,35437	4975,95989	5537,51022	2792,15304	
5/12	5546,43755	4773,5733	3803,70444	2985,37759	4894,80691	4121,94266	5576,74595	4773,5733	5394,89554	5576,74595	3182,3822	
6/12	5584,09316	4643,7666	5453,8941	4585,90034	4716,09941	5453,8941	5294,76191	4499,10097	4585,90034	4007,23784	1215,19126	
7/12	5655,34828	4957,5161	3096,63029	5364,58487	2834,94322	5393,66121	5466,35206	4477,75648	4739,44354	4594,06184	1163,05363	
8/12	6216,83082	5041,10893	5637,02276	5443,75341	1803,84728	5073,32049	5862,50367	3043,99229	3945,91593	5363,22452	5121,63783	
9/12	6356,96033	5199,66755	5949,46287	5444,16602	5313,76684	5770,16399	5525,66551	4906,26938	3977,17518	5444,16602	5101,86816	
10/12	6587,12687	2504,73466	5204,64345	5481,14013	5285,966	5741,37231	5285,966	4440,21144	5009,46932	4261,30182	5041,99834	
11/12	6464,12936	5501,03938	5517,36294	5631,62786	4962,36194	6349,86445	5974,42259	5076,62685	6056,04039	2628,093	4897,0677	

Annexes

12/12	6525,5729	4768,06199	5370,17221	5353,89896	5158,61997	5972,28243	5907,18943	5060,98048	5418,99196	4003,21929	4849,42824	
13/12	6612,65897	5175,83431	5273,79962	5355,43739	5110,52409	5877,91909	6122,83238	4588,0424	5453,40271	3494,09635	4881,93835	
14/12	5256,64374	3794,6397	5880,87019	5634,46501	5240,21673	6077,99433	5930,15122	5108,80064	5322,35179	4468,14718	4960,95753	
15/12	6616,6459	2391,16411	5159,01846	5371,93034	5290,04116	5502,95303	5371,93034	4995,2401	5470,19736	5060,75145	4962,48443	
16/12	6211,79093	1155,68203	4991,90434	5280,82485	4911,64864	5633,94991	6035,2284	4895,5975	5377,13168	5601,84763	4269,60307	
17/12	5721,52935	5605,06056	4527,72424	4251,11086	4440,37265	4862,57202	5270,21278	4600,51724	4702,42743	5066,3924	2271,14142	
18/12	6771,41643	5998,94902	4897,77208	6130,43284	4979,94946	6787,85191	4782,72374	4963,51398	5341,52995	5440,14281	4700,54636	
19/12	6523,20423	5422,31082	3877,7738	5389,44833	4962,23596	4847,21725	3795,61757	4945,80472	5488,0358	5225,13588	4929,37347	
20/12	6520,50613	5186,76624	5516,08473	5351,42549	4939,77737	5499,61881	5927,73285	5038,57292	5614,88028	5384,35734	4923,31145	
21/12	5914,29192	5567,36418	5303,03828	6393,3826	4906,54944	6145,57708	5699,52713	5336,07902	5236,95681	5336,07902	4774,38649	
22/12	5904,4945	5468,91704	4952,67708	5936,7595	4920,41209	5307,59205	6259,40947	5355,98955	5678,63952	5130,13457	4759,0871	
23/12	5085,05907	4960,27235	4554,71549	5677,79602	3977,57688	5646,59934	5584,20598	4819,88728	5147,45244	4929,07567	3930,78186	
24/12	5896,50658	5270,62041	5929,44796	6324,74449	5204,73765	5797,68245	5945,91864	6588,27551	5336,50316	4727,08768	4974,14801	
25/12	2313,06056	4558,08993	4394,81507	4449,24002	4449,24002	4789,39599	4952,67085	1809,62973	4476,4525	3959,41543	204,093579	
26/12	6218,31609	5228,66366	5014,23897	6498,71761	4964,75634	5624,52463	6185,32767	5410,09994	5294,64049	4948,26214	5838,94932	
27/12	6705,74199	4843,95121	4810,99916	6030,22498	4563,8588	5552,42027	5848,98871	5124,04363	5107,56761	5667,75244	5041,66351	
28/12	6786,4451	4739,22769	5400,1404	5674,17737	3159,48513	6721,96581	5448,49987	5367,90075	5109,9836	5674,17737	3884,87712	
29/12	6124,32085	4310,28151	4589,36448	5457,62263	1938,07622	5194,04426	5643,67795	4945,97051	5194,04426	5038,99817	5070,00739	
30/12	3858,84569	4941,5434	4011,53383	3720,03829	5094,23154	4414,07529	4566,76343	4483,47899	4386,31381	4663,92861	4080,93753	
31/12	5187,56937	4144,00585	5066,5765	2873,5807	4325,49516	3796,15134	4915,33541	5006,08006	4643,10144	5353,93457	4113,75763	
moy	5816,39193	4621,88656	4964,77449	5218,69227	4394,49396	5483,54729	5528,03451	4844,77119	5101,49088	4897,68337	4170,61522	

Annexe 2 : Grille tarifaire de l'offre de fourniture de l'EDF



Grilles tarifaires de l'offre de fourniture d'électricité « Tarif Bleu »

Applicable au 1^{er} Janvier 2016

OFFRE POUR LES CLIENTS PARTICULIERS

Puissance Souscrite (kVA)	Abonnement annuel (€ TTC/an)	Option Tempo (TTC)					
		Prix du kWh (cts € TTC/kWh)					
		Bleu HC	Bleu HP	Blanc HC	Blanc HP	Rouge HC	Rouge HP
9	131,33	9,67	11,47	13,36	15,85	24,02	62,07
12	210,34	9,67	11,47	13,36	15,85	24,02	62,07
15	243,46	9,67	11,47	13,36	15,85	24,02	62,07
18	267,10	9,67	11,47	13,36	15,85	24,02	62,07
30	667,74	9,67	11,47	13,36	15,85	24,02	62,07
36	819,60	9,67	11,47	13,36	15,85	24,02	62,07

Bibliographie

- [1] radiations solaires." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008.
- [2] Anne LABOURET et Michel VILLOZ ; « ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE » 4eme édition ; Editions LE MONITEUR ; DUNOD 2009.
- [3] Energie solaire photovoltaïque.doc / B. FLECHE - D. DELAGNES / juin 07.
- [4] " semi-conducteur." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008.
- [5] A.SAIDANE, " physique de semi-conducteurs", office des publications universitaires.
- [6] Henry MATHIEU et Hervé FANET ; « Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques, Cours et exercices corrigés » 6^e édition ; DUNOD, Paris, 2009.
- [7] Raymond ALAZARD, Nicolas CHAINTREUIL et Gérard MOINE ; « Maîtriser le risque lié aux installations photovoltaïques » ; juin 2013.