



**LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique**

RAPPORT DU PROJET DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Étude de l'alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al
Fassi par une source d'énergie renouvelable.**

Réalisé Par :

- OUKHADDA Hafida
- REDOUANI Assia

Encadré par :

P^r Ali AHAITOUF (FST FES)

Mr. Younes BAJJI (Entreprise)

Soutenu le 12 Juin 2019 devant le jury

Pr Ali AHAITOUF (FST FES)

Pr Mohamed JORIO (FST FES)

Pr Hassan MARKHI (FST FES)

DEDICACE

Nous dédions cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

A nos chers professeurs qui ont déployé tous leurs efforts pour nous préparer à affronter la vie professionnelle.

A tous le personnel de l'usine Allal El Fassi qui nous ont soutenus par leurs orientations et leurs conseils durant la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre grande reconnaissance et l'assurance de nos profonds respects.

A tous nos amis, et à toutes les personnes qui nous ont prodigué des encouragements et se sont donné la peine de nous soutenir durant cette période de stage.

A nos chers formateurs sans aucune exception.

Merci.

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce rapport, nous profitons de l'occasion pour remercier du fond du cœur Monsieur Khalid HENNIQUI, le chef de division pour son accueil au sein de l'usine où nous avons effectué ce stage.

Nous tenons à remercier Monsieur Abdelhakim ACHOUR, le chef de Service Exploitation Nord/Est pour nous avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage.

Nous remercions également Messieurs Hicham QORCHI et Abdeslam EL KHALFY pour leurs aides et leurs conseils durant notre période de stage.

Nous remercions Monsieur Younes BAJJI, notre encadrant de stage pour ses conseils qui nous ont permis d'apprendre énormément de choses et donc d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences. Nous le remercions également pour la confiance qu'il nous a accordée dès les premiers instants.

Nous remercions également l'ensemble des personnes avec qui nous avons pu travailler. Ils ont su se rendre disponibles quand cela a été nécessaire et ont toujours pris soin de nous expliquer les choses de façon pédagogique.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadrant pédagogique Monsieur Ali AHAITOUF d'avoir accepté d'encadrer notre travail, pour sa disponibilité et ses conseils pertinents. Il fut d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats.

Nous exprimons notre gratitude à M. ENNAKHLI, M. KHOUIBI, M. HAMDAOUI, M. ESSAKHI, M. EZZOUMY, M. TAIF, M. TAABAN, M. LAKCHINI, M. ABATOUY et M. BOUTAARIT pour leurs aides et leurs précieux conseils durant toute la période du stage.

Merci à toutes les personnes qui ont fait de notre stage une réussite.

Résumé :

Le but de ce travail est de faire le dimensionnement, en incluant l'étude économique, d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau dans la région d'Oulad Ayad, plus précisément au complexe hydroélectrique Allal Al Fassi. L'installation photovoltaïque en question servira à alimenter les auxiliaires de l'usine.

Avant de faire le dimensionnement de l'installation, nous avons effectué une étude préalable concernant le potentiel du site, solaire et éolien, autrement dit : nous avons évalué les différents paramètres du gisement solaire et les résultats étaient très satisfaisants contrairement au potentiel du vent qui était faible. Ensuite nous avons fait des recherches sur les diverses technologies utilisées en photovoltaïque : modules PV, onduleur... et ce dans le but de choisir la mieux adaptée pour notre installation. Après cela, nous avons commencé le dimensionnement des différents composants de l'installation PV dans l'ordre suivant : dimensionnement des modules PV, dimensionnement des onduleurs et enfin dimensionnement des câblages et des protections. Pour finir nous avons fait une étude économique du projet : investissement et temps de retour sur investissement.

Abstract

The purpose of this work is to dimension, including the economic study, a grid-connected photovoltaic installation in the region of Oulad Ayad, more specifically to the Allal Al Fassi hydroelectric complex. The photovoltaic installation in question will be used to supply the auxiliaries of the factory.

Before making the sizing of the installation, we carried out a preliminary study concerning the potential of the site, solar and wind, in other words: we evaluated the various parameters of the solar deposit and the results were very satisfactory contrary to the potential of the wind, which was weak. Then we did research on the various technologies used in photovoltaics: PV modules, inverter ... and this in order to choose the best suited for our installation. After that, we started the dimensioning of the different components of the PV plant in the following order: dimensioning of the PV modules, sizing of the inverters and finally sizing of the wiring and protections. Finally, we did an economic study of the project: investment and time of return on investment and of course an ecological study.

Table des matières

REMERCIEMENT	3
RESUME :	4
ABSTRACT:	4
INTRODUCTION :	8
CHAPITRE1 : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL :	9
I. PRESENTATION DE L'OFFICE NATIONAL DE L'ELECTRICITE (BRANCHE ELECTRIQUE) :	9
1- OBJECTIFS DE L'ONEE-BE :	9
2- STRUCTURE DE LA DIVISION EXPLOITATION FES :	9
II. OUVRAGES D'USINE ALLAL EL FASSI :	10
III. EXPLOITATION D'USINE ALLAL AL FASSI :	12
1- CONSTITUTION DU GROUPE :	12
1.1- TURBINE :	12
1.2- ALTERNATEUR :	12
1.3 TRANSFORMATEURS :	12
2- SYSTEME DES AUXILIAIRES ALTERNATIFS :	12
2.1- AUXILIAIRES PROPRES AUX GROUPE :	13
2.2- LES AUXILIAIRES SERVICES GENERAUX JEU DE BARRE EXPLOITATION :	13
2.3- LES AUXILIAIRES SERVICES GENERAUX JEU DE BARRE ENTRETIEN :	14
CHAPITRE2 : GENERALITE ET CHOIX DE L'ENERGIE RENOUEVABLE.	15
1- LE CHOIX D'ENERGIE RENOUEVABLE :	15
1.1- LE POTENTIEL EOLIEN :	15
1.2- LE POTENTIEL SOLAIRE :	15
2- L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :	16
2.1- L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE :	16
2.2- LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES :	16
2.3- DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR :	17
A- RENDEMENT DE L'ONDULEUR :	17
B- PROTECTION DE DECOUPLAGE :	18
C- NOMBRE DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES EN SERIE COMPATIBLE AVEC LA PLAGE DE TENSION MPPT DE L'ONDULEUR :	18
D- NOMBRE DE CHAINES PHOTOVOLTAÏQUES EN PARALLELE :	18
CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDEE AU RESEAU :	19
I. LE DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION PV :	19
1- DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE DIMENSIONNEMENT :	20
1.1- DIMENSIONNEMENT DE L'ENTRAXE ENTRE LES RANGEES DE CAPTEURS PV : ...	20
1.2- LE CALCUL DE LA PUISSANCE CRETE :	20
1.3- CHOIX DE LA TECHNOLOGIE DU PANNEAU :	21
1- NOMBRE DE PANNEAUX N_p :	22
2.1- NOMBRE DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES EN SERIE :	22
2.2- NOMBRE DE CHAINES PHOTOVOLTAÏQUES EN PARALLELE :	23
2.3- COMPATIBILITE EN PUISSANCE :	23

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

2.4-	COMPATIBILITE EN TENSION :	23
2.5-	NOMBRE D'ONDULEURS DE L'INSTALLATION :	23
II.	LA PROTECTION D'UNE INSTALLATION PV :	23
1-	DIMENSIONNEMENT DES CABLES :	23
1.1-	PROTECTION CONTRE LES SURINTENSITES :	23
2-	CHUTE DE TENSION :	28
CHAPITRE 4 : SIMULATION DES RESULTATS ET ETUDE FINANCIERE DE L'INSTALLATION :		32
I.	SIMULATION PAR LOGICIEL PVSYST :	32
II.	DEMARCHE DE L'ETUDE ECONOMIQUE DE NOTRE PROJET :	34
1-	LE COUT D'INSTALLATION PV :	34
1.1-	ESTIMATION DU MONTANT TOTAL DE LA CONSOMMATION :	34
1.2-	INVESTISSEMENT RELATIF AUX DIVERS EQUIPEMENTS DE L'INSTALLATION PV :	35
2-	ORGANISMES D'AIDE A L'INVESTISSEMENT DANS LE SECTEUR DES ENERGIES RENOUVELABLES :	36
CONCLUSION GENERALE :		37
BIBLIOGRAPHIE :		38

Listes de figures :

Figure 1: Structure de la division exploitation Fès	10
Figure 2: Le processus simplifié de production de l'énergie hydraulique.....	10
Figure 3 : Schéma présentatif du complexe Allal Al Fassi	11
Figure 4: Alternateur	12
Figure 5: Turbine	12
Figure 6: La situation du site Allal Al Fassi sur Atlas de la ressource solaire au Maroc	15
Figure 7: La consommation maximale journalière du 22kV.....	19
Figure 8: Distance entre deux rangés d'un champ.....	20
Figure 9: Principe de calcul de la longueur L.....	30

Listes de tableaux :

Tableau 1: La puissance installée d'un groupe.....	13
Tableau 2: Puissance installée des auxiliaires de service généraux jeu de barre exploitation	14
Tableau 3: Puissance installée des auxiliaires de service généraux jeu de barre entretien	14
Tableau 4: Moyennes annuelles à long terme	15
Tableau 5: Les caractéristiques du panneau	17
Tableau 6: caractéristiques de deux panneaux.....	22
Tableau 7: caractéristique de l'onduleur	22
Tableau 8: Chute de tension des câbles PV.....	29
Tableau 9: Total de la consommation annuelle	35
Tableau 10: Prix total des équipements.....	35

Listes d'abréviation :

AAF : Allal al fassi.

PV : Photovoltaïque.

DC /CC : Courant continu.

AC : courant alternatif.

MPP : Maximum power Point (Point de puissance maximale).

Liste des annexes :

Annexe A :Tableaux pour terminer des coefficients et les calibres de disjoncteur.

Annexe B :les fiches techniques du panneau et de l'onduleur.

Annexe C :Tableaux pour terminer les sections des câbles.

Annexe D :Le rapport est téléchargé par logiciel PVsyst.

Annexe E :Le rapport est téléchargé par Atlas de la Ressource Solaire au Maroc.

Introduction :

L'électricité est aujourd'hui la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Mais avant de la consommer il faut d'abord la produire, en général dans des unités de production de grande puissance, la transporter, puis la distribuer vers chaque consommateur.

Notre souhait est de faire connaître cette source d'énergie importante, encore trop peu connue. En particulier le cas de l'usine d'Allal Al Fassi.

L'énergie hydraulique permet de répondre aux besoins d'ajustement de la production électrique, notamment en stockant de l'eau dans de grands réservoirs au moyen de barrages. Les fluctuations annuelles de la production hydraulique sont cependant importantes.

De plus les centrales hydroélectriques n'émettent pas de gaz à effet de serre, elles ne produisent pas de déchets ou de pollution.

Le Maroc dispose d'un potentiel important en énergies renouvelables dont l'exploitation permettra de couvrir une part substantielle de ses besoins croissants et de contribuer à la protection de l'environnement en les substituant aux énergies fossiles. L'Office National de l'Electricité- Branche Electricité ONEE-BE mène des réflexions et des études pour minimiser ses charges d'exploitations et de bénéficier du potentiel énergétique sur les dits sites.

L'objectif de notre projet est utilisé des sources renouvelables pour couvrir une partie des besoins de l'usine en électricité, à savoir l'alimentation des auxiliaires de l'usine. D'autre façon de remplacer le poste 22kV par l'énergie renouvelable solaire photovoltaïque.

Ce rapport, intitulé « Etude d'alimentation des auxiliaires d'une centrale hydraulique par une source d'énergie renouvelable », s'articule autour de quatre chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'Office national de l'électricité et l'eau potable de l'usine hydroélectrique Allal Al Fassi. Il permet d'avoir une idée sur les ouvrages de l'usine, les caractéristiques de ses équipements, ainsi que sa production.

Le deuxième chapitre est dédié à l'évaluation des besoins du site Allal Al Fassi en énergies renouvelables pour le choix du type de l'installation qui va permettre l'alimentation des auxiliaires de l'usine.

Le troisième chapitre a pour but le dimensionnement de l'installation de l'énergie renouvelable en fonction des résultats de l'évaluation du site.

Finalement un quatrième chapitre représente un ensemble de simulations par le logiciel PVsyst, afin de valider les résultats et calculer le productible annuelle de notre installation.

La deuxième partie relative à l'évaluation économique du projet et à l'étude de sa rentabilité .

Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil :

L'objectif de ce chapitre est une présentation globale de l'office national de l'électricité et de l'eau potable, l'usine Allal El Fassi et identifier les caractéristiques du groupe.

I. Présentation de L'Office National de L'Electricité (Branche électrique) :

Le Maroc a des besoins croissants en énergie et en eau en raison de la dynamique qu'il connaît sur le plan économique et social notamment les programmes de généralisation de l'accès à l'énergie et l'eau potable.

L'ONEE est l'opérateur marocain unique de fourniture d'électricité du pays. Établissement public à caractère industriel et commercial, il emploie près de 9 000 salariés et compte environ 4 millions d'abonnés. Parmi ses missions elle se doit de satisfaire la demande en électricité du Maroc aux meilleures conditions de coût et de qualité de service.

L'Office National de l'Electricité a été créé par Dahir en août 1963 et a été substitué à la Société Electrique du Maroc, à qui était confiée depuis 1924, la concession d'une organisation de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique. A cette date, les usines de l'Energie Electrique du Maroc assuraient 90% de la production nationale. On s'intéresse ici à l'ONEE- Branche électricité (ONEE-BE).

1- Objectifs de l'ONEE-BE :

L'office national de l'électricité et de l'eau potable a parmi ses objectifs.

- De satisfaire dans les meilleures conditions techniques et économiques la progression de la demande en énergie, sans cesse croissante.
- De baisser les tarifs Moyenne tension et haute tension pour atteindre des prix de l'énergie électrique compatibles avec les marchés concurrentiels du Maroc.
- D'assurer au meilleur coût directement ou indirectement la couverture financière de programmes d'investissements de plus en plus lourds et indispensables au développement de l'économie du pays.

2- Structure de la Division Exploitation Fès :

La Direction Centrale Production est l'une des directions opérationnelles relevant du pôle industriel, elle dispose d'importantes installations de production que ce soit de types thermique, turbine à gaz ou renouvelable (hydroélectrique, éolien).

La figure ci-dessous (figure1) montre l'organigramme de la division à Fès, dans laquelle nous avons effectué notre stage, plus particulièrement dans le centre exploitation Nord-Est, exactement l'usine Allal El Fassi.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source d'Énergie Renouvelable

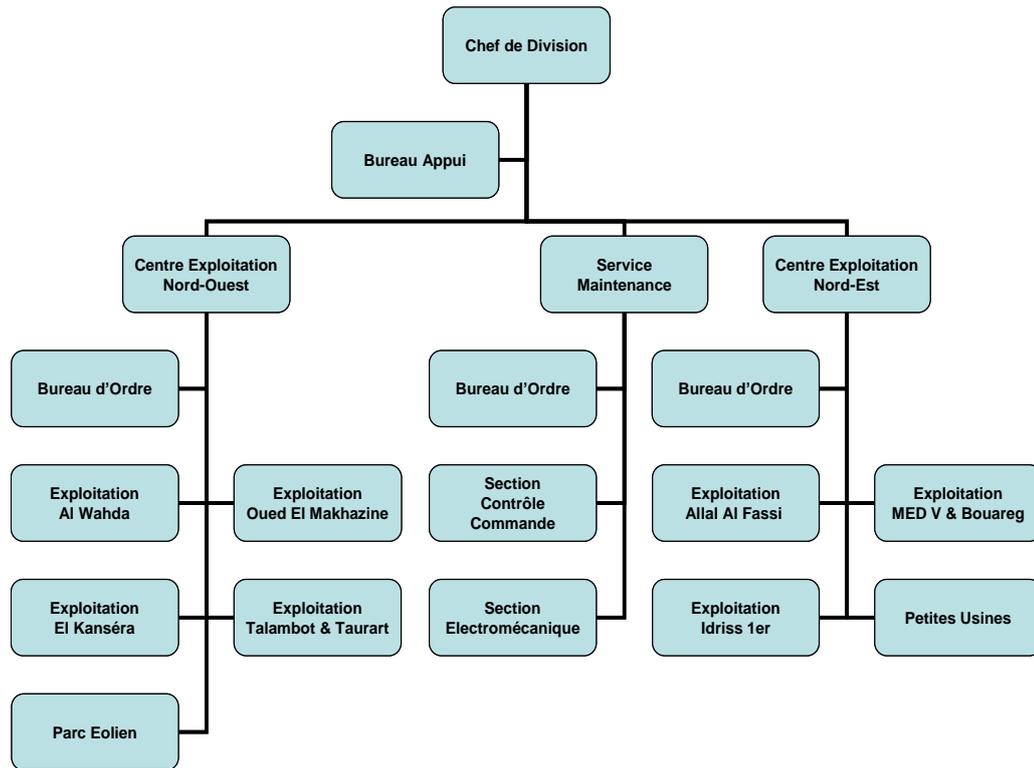


FIGURE 1: STRUCTURE DE LA DIVISION EXPLOITATION FÈS

II. Ouvrages d'usine Allal El Fassi :

L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable qui utilise l'énergie cinétique et potentielle de l'eau pour produire de l'énergie mécanique (rotation d'arbre) et, surtout, de l'électricité, grâce à la force de l'eau qui dépend soit de chute (172m) ou de débit ($51,9m^3/s$).

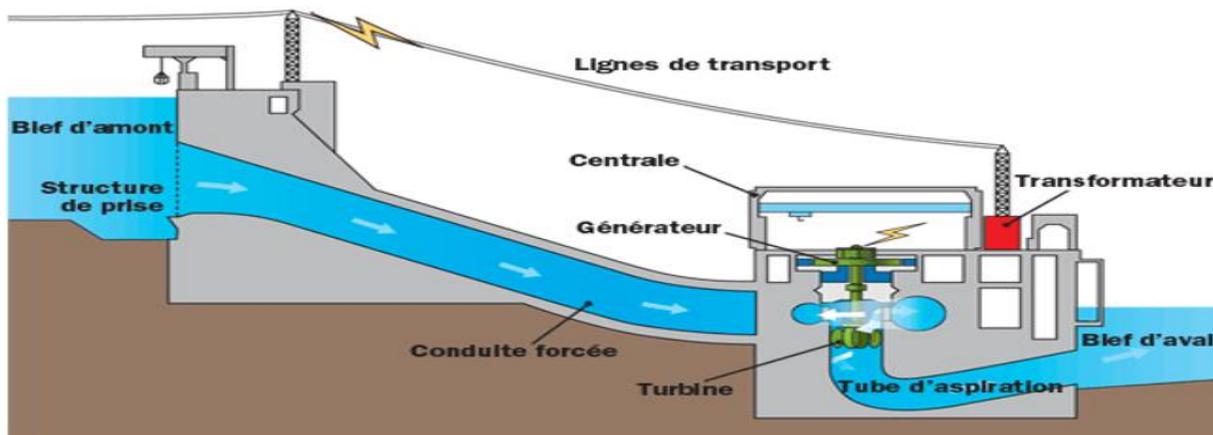


FIGURE 2: LE PROCESSUS SIMPLIFIÉ DE PRODUCTION DE L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

La figure 2 montre le scénario de production de l'énergie hydraulique passant par l'énergie cinétique c'est le déplacement de l'eau qui va faire tourner les turbines. Ces turbines vont elles-mêmes entraîner l'alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

L'usine Allal El Fassi se situe à 55 km de Fès sur la route Fès- Oujda mis en service depuis 1994 afin de fournir au réseau national une puissance nominale de 240MW.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Les ouvrages de la chute sont constitués de :

- **Le barrage** : situé dans les gorges du Sebou, à 30 km de la ville de Fès.
- **Bassin de compensation** : Un bassin de modulation, d'une capacité $151\ 000m^3$ alimenté en amont par la galerie d'amenée.
- **Conduite d'amenée** : est l'ouvrage hydraulique amène l'eau depuis le bassin de compensation jusqu'à la conduite forcée.
- **Conduite forcée** : de longueur 693,04 m est entièrement métallique.
- **Cheminée d'équilibre** : la cheminée d'équilibre qui est raccordée à la jonction de la conduite d'amenée avec la conduite forcée de 101m de hauteur. Son rôle est la régularisation du débit d'acheminement de l'eau entre le bassin de compensation et la conduite forcée.

La figure 3 présente les constituants de l'usine, AAF se compose de trois groupes identiques, chacun à ses auxiliaires.

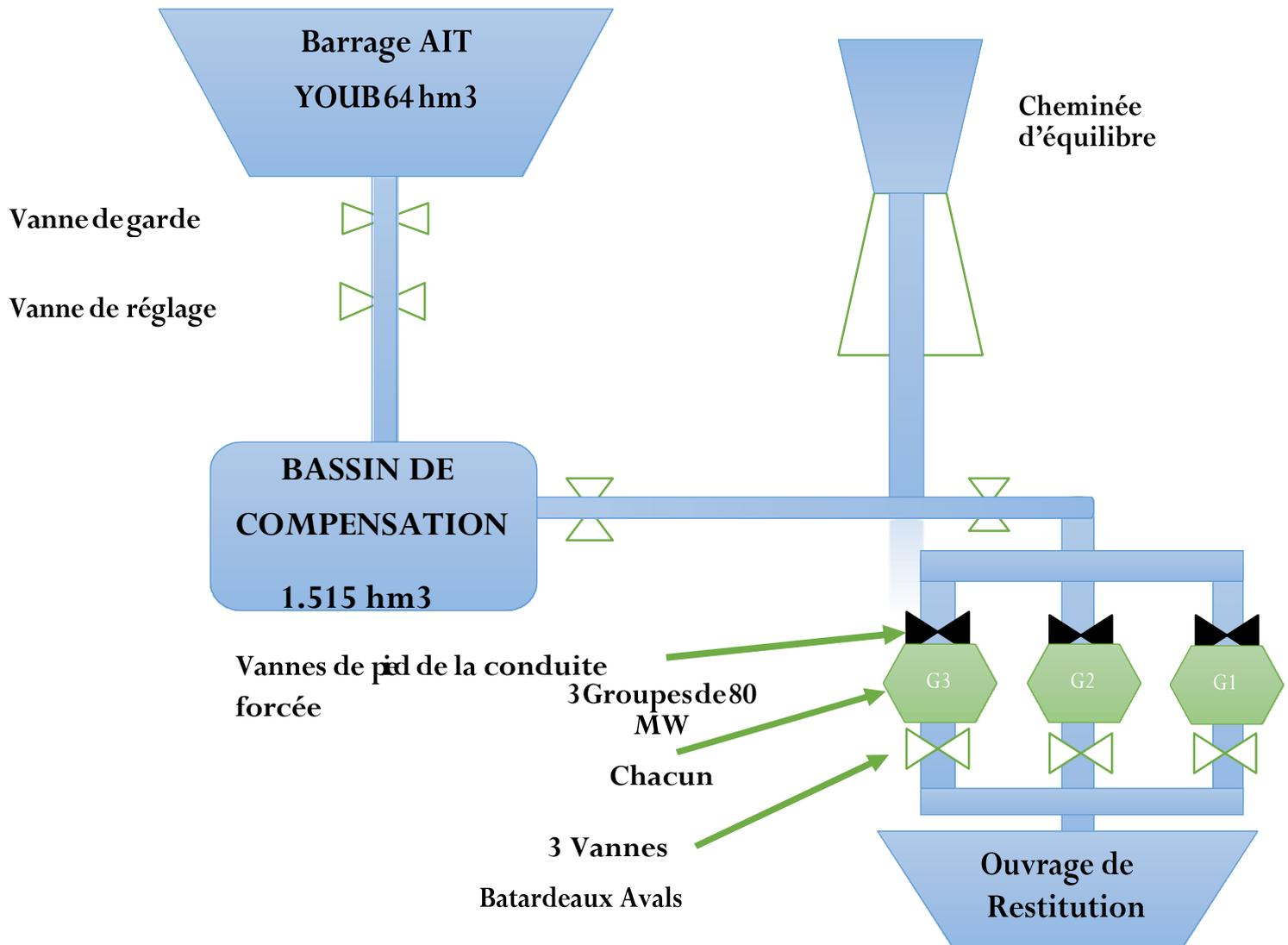


FIGURE 3 : SCHEMA PRESENTATIF DU COMPLEXE ALLAL AL FASSI

III. Exploitation d'usine Allal Al Fassi :

1- Constitution du groupe :

Allal Al Fassi se compose de trois groupes identiques, chaque groupe est constitué d'une turbine, alternateur, transformateur et des auxiliaires.

1.1- Turbine :

La turbine (figure 4) est de type Francis à axe vertical, d'un débit nominal $51,93 \text{ m}^3/\text{s}$ et d'une vitesse 333 Tr/min, entouré par 24 directrices.

Les centrales hydrauliques sont équipées de turbines qui transforment l'énergie du flux d'eau en une rotation mécanique de façon à actionner des alternateurs.

1.2- Alternateur :

La figure 5 présente un alternateur qui est du type fermé auto-ventilé en circuit fermé avec refroidissement de l'air par réfrigérant à circuit ouvert, de tension de sortie 10,5 kV, constitué des éléments suivants :

- Un stator
- Un rotor de nombre de pôles 18.
- Un pivot est situé au-dessus de l'alternateur
- Des paliers.



FIGURE 4 : TURBINE

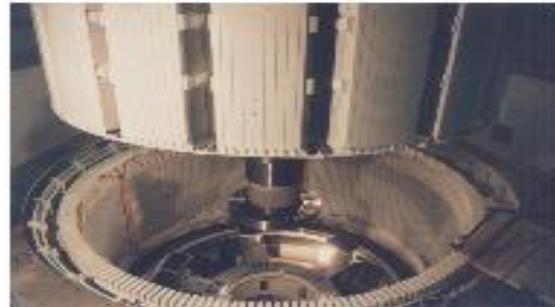


FIGURE 5 : ALTERNATEUR

1.3 Transformateurs :

- **Transformateur de soutirage** : 10,5kV/400V, alimente les auxiliaires du groupe.
- **Transformateur d'excitation** : 10,5kV/170V.
- **Transformateur de puissance** : 10,5kV/225kV.

2- Système des auxiliaires alternatifs :

Un poste 22kV alimente les auxiliaires de l'usine, ce poste est connecté au réseau 22kV par 2 arrivées EL OUATA et MATMATA, un seul départ est en service. L'alimentation des auxiliaires s'effectue normalement par un transformateur 22kV/400V. En cas de manque de cette tension le groupe électrogène de secours démarre et alimente les installations principales, sa puissance est 400kVA.

La distribution principale se compose de cinq distributions unitaires :

- Auxiliaires groupe 94MVA N°1.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

- Auxiliaires groupe 94MVAN°2.
- Auxiliaires groupe 94MVA N°3.
- Barre exploitation.
- Barre entretien.

Nous avons les auxiliaires associés aux groupes, les auxiliaires associés à l'Exploitation, les auxiliaires associés à l'entretien.

2.1- Auxiliaires propres aux groupes :

Le tableau 1 présente la puissance consommée par chaque auxiliaire du groupe :

Nom d'auxiliaire	Quantité	Puissance unitaire
Pompe d'huile régulation	2	15 kW
Pompe de réfrigération	2	110 kW
Auxiliaire de transformateur	1	20 kW
Compresseur air	2	16.5 kW
Pompe injection huile	1	4 kW
Extraction CO2	1	4 kW
Aspiration vapeur d'huile	1	0.25 kW
Chauffage alternateur	1	12 kW
Redresseur 127v	1	7 kW
Auxiliaire régulation de tension	1	4 kW
Pompe à huile de réfrigération	1	1.4 kW

TABLEAU 1: LA PUISSANCE INSTALLEE D'UN GROUPE

La puissance installée de trois groupes : $P_T = 194.25 * 3 = 582,75 \text{ kW}$.

Au début de démarrage du groupe les auxiliaires sont alimentés par le jeu de barre d'exploitation pendant une durée de 5 min. le courant alternatif est distribuée par l'intermédiaire du transformateur de soutirage. Donc la puissance consommée par ces auxiliaires est 16.18kW pendant 5min.

2.2- Les auxiliaires services généraux jeu de barre exploitation :

Nom d'auxiliaire	Quantité	Puissance unitaire
Pompe Exhaure	2	27 kW
Pompe vidange	2	90kW

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Reserve	1	5kW
Redresseur 127V	2	17kW
Redresseur 48V	2	5.4kW
Reserve	1	5kW
Ascenseur	1	10kW

TABLEAU 2: PUISSANCE INSTALLEE DES AUXILIAIRES DE SERVICE GENERAUX JEU DE BARRE EXPLOITATION

2.3- Les auxiliaires services généraux jeu de barre Entretien :

Nom d'auxiliaire	Quantité	Puissance unitaire
Pont roulant usine	1	60kW
Pont roulant atelier	1	40kW
Climatisation Armoire	1	56kW
Ventilation armoire	1	9.9kW
Atelier	1	40kW
Garage	1	10kw
Reserve	1	9.3kw
Traitement de l'huile	1	100kW
Transfo. Lumière et force	1	170 kW
Réserve	1	2.68 kW
Réserve	1	10 kW
Compresseur d'air de service	1	30 kW
Réserve	1	22.2 kW
Réserve	2	3kW
Batardeau aval	3	5.5kW

TABLEAU 3: PUISSANCE INSTALLEE DES AUXILIAIRES DE SERVICE GENERAUX JEU DE BARRE ENTRETIEN

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la connaissance des ouvrages et équipements de la centrale hydroélectrique Allal Al Fassi depuis le barrage jusqu'au poste d'évacuation de l'énergie électrique.

Chapitre2 : Généralité et choix de L'énergie renouvelable.

Avant d'entamer notre projet, il s'avère primordial d'étudier le potentiel en Energies Renouvelables du site AAF, notamment le potentiel solaire et le potentiel éolien pour pouvoir choisir la solution la plus adaptée (éolien, solaire, ou système hybride c'est-à-dire éolien plus solaire).

1- Le choix d'énergie renouvelable :

1.1- Le potentiel éolien :

Compte tenu des potentiels éolien et solaire du site AAF, nous avons choisi de nous orienter vers directement une solution solaire. En effet, le site a une vitesse de vent de 4 à 5 m/s c'est qui très insuffisant pour produire de l'électricité. [1].

1.2- Le potentiel solaire :

Pour choisir la source renouvelable convenable, nous devenons savoir un ensemble de paramètres relatifs (attitude, longitude, déclinaison de soleil...etc.) permettant le calcul du rayonnement globale et l'irradiation solaire du AAF. [2].

Ce tableau donne le GHI (Global Horizontal Irradiante, c'est le rayonnement horizontal global) annuelle du site

Irradiation Horizontale Globale	1867 kWh/m ²
Irradiation Normale Directe	1879 kWh /m ²
Somme d'irradiation Globale Inclinée	2114 kWh /m ² (Inclinaison : 31°, azimuth : 180°)
Température de l'air à 2 mètres	19.8°C
Ratio de performance	76.9%

TABLEAU 4: MOYENNES ANNUELLES A LONG TERME

Avec
$$I_r = \frac{\text{L'énergie électrique de sortie injectée sur le réseau (kWh)}}{\text{L'énergie lumineuse recue par les panneaux (kWh)}}$$

Pour récupérer ces données, nous pouvons avoir recours aux bases de données de logiciel PVsyst et Atlas de la ressource solaire au Maroc. Cet Atlas offre accès aux données solaires, météorologiques ainsi qu'au potentiel photovoltaïque de bonne précision pour n'importe quel endroit du Royaume du Maroc.

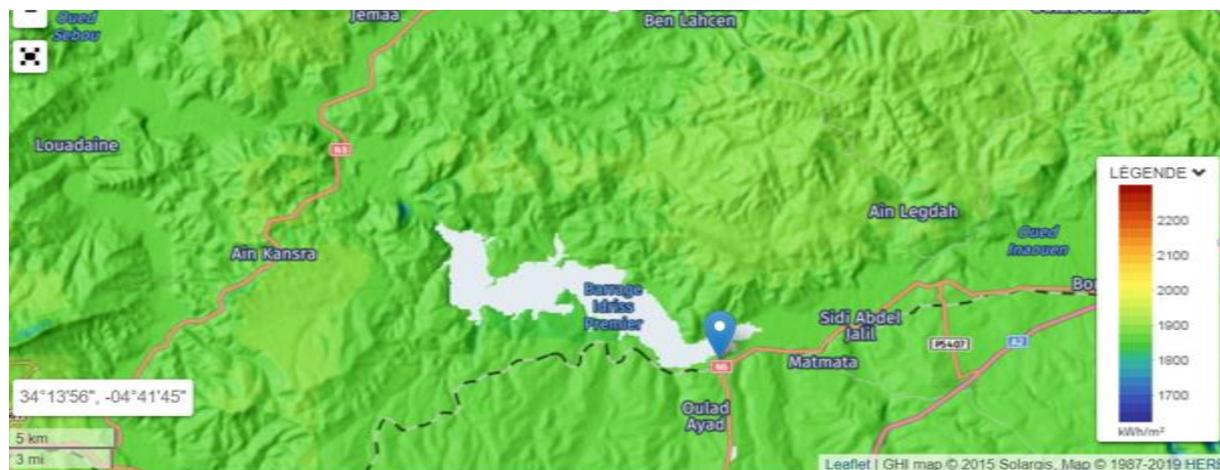


FIGURE 6: LA SITUATION DU SITE ALLAL AL FASSI SUR ATLAS DE LA RESSOURCE SOLAIRE AU MAROC.

La figure ci-dessus présente (figure 6) la situation du site Allal Al Fassi sur Atlas de la ressource solaire au Maroc qui montre que le site se trouve sur une zone à fort potentiel solaire.

2- L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est un enjeu mondial réaffirmé par la Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques (COP21) avec en novembre 2015 le lancement de l'alliance solaire internationale (ASI). Au niveau mondial, la production d'électricité solaire photovoltaïque atteignait 600 TWh (2018).

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques.

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base du système. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir en électricité, et les ondes électromagnétiques (rayonnement) émises par le Soleil.

Les cellules solaires sont regroupées en panneaux photovoltaïques, qui sont à leur tour installés pour constituer une installation solaire ou photovoltaïque, répondant à un besoin donné.

Les installations photovoltaïques peuvent aussi être connectées aux réseaux de distribution électrique. Pour ce faire, ces installations sont munies d'onduleurs qui transforment le courant continu en courant alternatif répondant aux caractéristiques du réseau.

2.1- L'effet photovoltaïque :

Le principe de l'effet photovoltaïque est le suivant :

Les "grains de lumière" (les photons) heurtent la surface du matériau photovoltaïque disposé en cellules ou en couche mince.

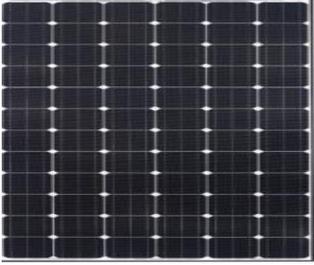
Ils transfèrent leur énergie aux électrons présents dans la matière qui se mettent alors en mouvement dans une direction particulière.

Le courant électrique continu qui se crée est alors recueilli par des fils métalliques très fins connectés les uns aux autres et acheminé à la cellule suivante.

Le courant circule en passant d'une cellule à l'autre jusqu'aux bornes de connexion du panneau, et il peut ensuite s'ajouter à celui des autres panneaux raccordés en "champs".

2.2- Les modules photovoltaïques :

Ce tableau résume les caractéristiques principales des modules photovoltaïques qu'on rencontre le plus souvent. Il s'agit des panneaux à base de trois variantes de silicium le silicium monocristallin le silicium polycristallin et le silicium amorphe.

Type de panneaux	Caractéristiques	Structures
Panneaux monocristallins	Possèdent le meilleur rendement au mètre carré Le coût, plus élevé que celui d'autres installations de même puissance. Cette cellule affiche un rendement de 14 à 20 %.	

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Panneaux polycristallins	Actuellement ce sont les plus utilisés, ils ont un bon rendement et une bonne durée de vie. Ces cellules ont un rendement de 11 à 15%.	
Panneaux amorphes	Ont des atouts car ils peuvent être souples et ont une meilleure production par faible luminosité de rendement faible de 5 à 9 %.	

TABLEAU 5: LES CARACTERISTIQUES DU PANNEAU

2.3- Dimensionnement de l'onduleur :

Toute installation PV doit être équipée d'un ou plusieurs onduleurs se chargeant de transformer le courant continu en courant alternatif.

L'onduleur doit donc remplir plusieurs fonctions essentielles dans une installation photovoltaïque raccordées au réseau :

- Optimisation du rendement de l'installation par la recherche du point MPPT (poursuite du point de puissance maximale).
- Transformation du courant continu produit par le générateur PV en courant alternatif compatibles avec le réseau
- Surveillance et protection.
- Le contrôle de l'isolement de la partie CC de l'installation photovoltaïque.

Le principe du MPPT est d'adapter l'entrée afin de caler le point de fonctionnement du champ photovoltaïque sur le point de puissance maximale.

Le choix de l'onduleur se fait par un ensemble des critères :

- Compatibilité en puissance : trouver la puissance de l'onduleur.
- Compatibilité en tension : sélectionner le nombre de modules en série par rapport à la tension.
- Compatibilité en courant : sélectionner le nombre de chaînes en parallèles par rapport au courant.

a- Rendement de l'onduleur :

Toute l'énergie produite par le générateur photovoltaïque n'est pas injectée sur le réseau car une partie est perdue lors de la conversion du courant continu en courant alternatif via l'onduleur.

Le rendement correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, il est exprimé en pourcentage par la relation suivante :

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Énergie Renouvelable

Le rendement d'un onduleur photovoltaïque est aujourd'hui quasiment toujours supérieur à 94%.

b- Protection de découplage :

La protection de découplage permet de supprimer tout risque d'électrocution en cas de rupture de courant pour le personnel intervenant. Cette fonction est assurée par l'onduleur qui s'arrête automatiquement lorsque le réseau est mis hors tension.

c- Nombre de modules photovoltaïques en série compatible avec la plage de tension MPPT de l'onduleur :

La fiche technique de l'onduleur nous renseigne sur les paramètres suivants :

- La tension maximale admissible en entrée de l'onduleur U_{max} .
- La plage de tension MPPT en entrée de l'onduleur est $[U_{MPPTmin}, U_{MPPTmax}]$

Donc le nombre maximal et minimal des modules photovoltaïque en série :

$$\text{Nombre minimal de module en série} = E^+ \left(\frac{U_{MPPTmin}}{U_{MPP} * K} \right)$$

$$\text{Nombre maximal de module en série} = E^- \left(\frac{U_{MPPTmax}}{U_{MPP} * K'} \right)$$

Avec :

- $E^- [X]$: la partie entière inférieure du rapport.
- $E^+ [X]$: la partie entière supérieure du rapport.
- $U_{MPPTmin}$: la valeur minimale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- $U_{MPPTmax}$: la valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- U_{MPPT} : la tension de puissance maximale des modules photovoltaïque.
- K : est un coefficient de minoration permettant de calculer la tension MPP à une température donnée.
- K' : est un coefficient de sécurité imposé par le guide de l'UTE C15-712 [7], et qui prend en compte l'élévation de la tension délivrée par les modules lorsque la température des cellules diminue

d- Nombre de chaînes photovoltaïques en parallèle :

Un onduleur est caractérisé par un courant maximal admissible en entrée. Ce courant d'entrée limite correspond au courant maximal que peut supporter l'onduleur côté court-circuit.

Lorsque le courant d'entrée de l'onduleur côté court-circuit est supérieur au courant maximal admissible par l'onduleur, celui-ci continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à son courant maximal.

Le nombre maximum de chaînes photovoltaïques en parallèle se calcule par la formule suivante :

$$\text{Nombre maximal de chaîne en parrallèles} = E^- \left(\frac{I_{max}}{I_{MPP}} \right)$$

Avec :

- $E^- [X]$: la partie entière inférieure du rapport.
- I_{max} : le courant maximal admissible par l'onduleur.
- I_{MPP} : le courant de puissance maximale des modules.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a traité deux points, le premier est relatif à l'évaluation du site Allal Al Fassi en énergies renouvelables ; Le deuxième point est relatif à la présentation de l'énergie renouvelable photovoltaïque.

Chapitre 3 : Dimensionnement de l'installation photovoltaïque raccordée au réseau :

Le but de ce chapitre est de faire une étude théorique du dimensionnement de l'installation photovoltaïque qui va permettre de couvrir les besoins en énergie des auxiliaires, et de faire une simulation par le logiciel pour assurer les résultats obtenus.

I. Le dimensionnement de l'installation PV

L'installation photovoltaïque doit répondre aux besoins de l'énergie du site AAF durant la journée, alors que, après le coucher du soleil le réseau sera la seule source d'électricité.

➤ Dimensionnement de la partie continue CC :

La partie continue de l'installation est constitué des modules, des onduleurs, des fusibles, des parafoudres, des dispositifs de coupure et de sectionnement et des câbles CC.

➤ Besoin énergétique de l'usine AAF :

Puisque le dimensionnement des installations photovoltaïques se fait sur la base de la consommation maximale des équipements toute au long de l'année, une étude de l'historique de la consommation des auxiliaires sur 6 ans est faite pour quantifier la valeur moyenne maximale de cette consommation, qui va être la base du dimensionnement de l'installation photovoltaïque par la suite.

En se basant sur les rapports d'exploitations journaliers de l'usine, nous avons relevé les consommations journalières maximales par le poste 22 kV de l'année 2012 à l'année 2018.

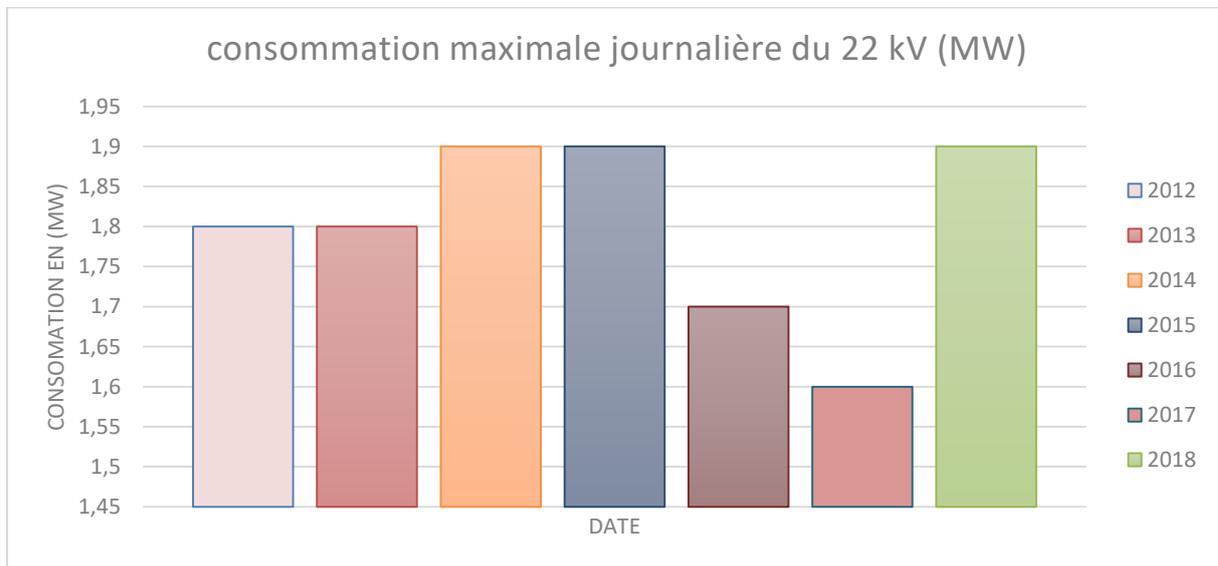


FIGURE7: LA CONSOMMATION MAXIMALE JOURNALIERE DU 22kV

D'après ces résultats La consommation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi est importante, elle peut atteindre dans certain cas 1900 KWh/jour.

1- Démarche méthodologique de dimensionnement :

1.1- Dimensionnement de l'entraxe entre les rangées de capteurs PV :

Le photovoltaïque réagit de manière sensible aux ombrages. En effet, lorsqu'une cellule est ombragée, elle devient équivalente à une résistance et absorbe à ce titre l'énergie débitée par les cellules voisines non ombragées.

Ce schéma (figure 8) explique l'emplacement ou bien la position d'un panneau par rapport à l'autre. Pour calculer cette distance il faut tenir compte l'angle d'inclinaison optimal des modules photovoltaïques, on calcule l'irradiation (rayonnement) annuelle pour différentes inclinaisons.

L'angle choisit doit correspondre à l'irradiation maximale pour une meilleure production d'énergie.

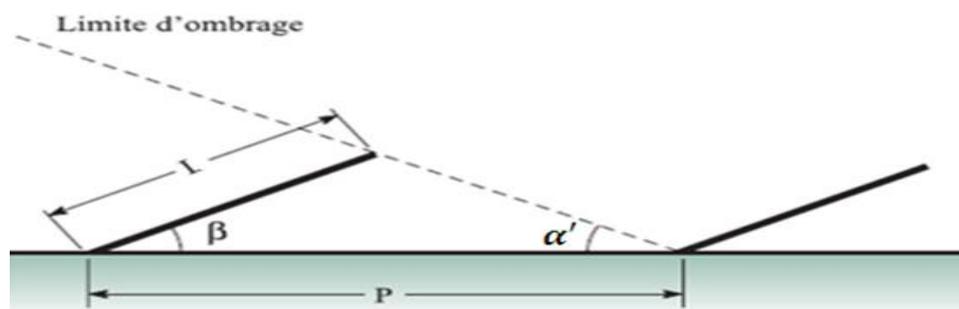


FIGURE 8: DISTANCE ENTRE DEUX RANGES D'UN CHAMP

Pour un fonctionnement optimal des panneaux photovoltaïques, il faut laisser une distance P entre deux séries de panneaux PV consécutives. Cette distance est calculée par la relation suivante :

$$P = l * \left[\frac{\sin(\beta)}{\tan(\alpha')} + \cos(\beta) \right] \quad [3]$$

P : représentant la séparation entre chaque rangée de module (m).

l la hauteur du champ PV (m).

β l'inclinaison des modules (°).

γ l'inclinaison par rapport au sol (°).

α' la hauteur du soleil (°) au plus mauvais jour d'irradiation (21 Décembre).

La séparation **P** obtenue entre les rangées de modules garantit que, même au pire jour d'irradiation, il n'y aura pas d'ombrage mutuel entre ces dernières à partir d'une heure solaire donnée.

- **Calcul de la distance entre panneaux :**

En se basant sur la donnée du Logiciel PVsyst, nous avons trouvé l'angle d'inclinaison optimale qui est égale à $\beta = 31^\circ$.

$l = 1.7\text{m}$ (d'après la fiche caractéristique de panneau monocristallin annexe B)

$\alpha' = 31^\circ$ Donc **P = 2.9m**

1.2- Le calcul de la puissance crête :

Dans une installation photovoltaïque l'énergie électrique journalière produite par le champ doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les équipements électriques.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

La puissance crête s'exprime sous la forme suivante :

$$P_C = \frac{E_P}{I_r}$$

Avec $E_p = \frac{E_c}{K}$

E_P : Énergie électrique.

I_r : Rapport de performance. (Voir l'annexe page 39)

E_C : Énergie journalière maximal.

K : facteur de régulation.

Dans le cas où l'énergie électrique réinjectée dans le réseau, un facteur de conversion doit être appliqué pour tenir compte de différentes pertes (convertisseur DC / AC, perte en puissance dans le module photovoltaïque dû à l'élévation en température par exposition au rayonnement solaire). Ce facteur de conversion, noté K, a pour valeur moyenne 0.75 (sans unité, ce coefficient varie de 0.85 pour des modules PV bien ventilés à 0.7 s'ils sont mal ventilés).

Application numérique :

D'après le graphe de la consommation l'énergie journalière maximale $E_c = 1.9MW$

Donc l'énergie produite est : $E_p = \frac{1.9 \times 10^6}{0.75} = 2533.33 \text{ KWh/j}$

D'où la puissance crête est :

$$P_C = \frac{2533.33}{4.81} = 525.6 \text{ Kwc}$$

(4,81 Coefficient de sécurité en température minimal Annexe A).

1.3- Choix de la technologie du panneau :

Notre dimensionnement se base sur deux types de panneaux polycristallin et monocristallin, ensuite on va évaluer le type plus convenable à notre installation.

Type	Monocristallin(LG)	Polycristallins (GCL system integration technology)
Puissance maximum	365W _c	365W _c
Tension de puissance maximale U_{MPPT}	36.7V	40V
Courant de puissance maximal I_{MPPT}	9.95A	9.13A
Courant de court-circuit I_{cc}	10.8A	9.85A

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Tension de circuit ouvert I_{c0}	42.8V	47.4V
Surface	1.72m ²	2.5m ²
Le coût	957DH	739DDH

TABLEAU 6: CARACTERISTIQUES DE DEUX PANNEAUX

D'après ce tableau on remarque que la surface du panneau monocristallin est inférieure à celle du panneau polycristallin et que le coût de panneau monocristallin est supérieur à celle de polycristallin.

1- Nombre de panneaux N_p :

Le calcul du nombre de module photovoltaïque se base sur la puissance du module choisi, plus la puissance du module est importante plus le nombre est petit.

Le nombre de panneau est :

$$N_p = \frac{P_c}{P_n}$$

$$N_p = \frac{525.6 \times 10^3}{365} = 1440.$$

- **Nombre et caractéristique de l'onduleur :**

Ce tableau présente les caractéristiques de l'onduleur PV S800-57 de 100kW. (Voir l'annexe page 39).

Fournisseur	ABB Asea Brown Broveri
Puissance d'entrée maximale	120kW
Plage te tension MPPT	450V-825V
Tension maximal d'entrée	1000V
Courant maximal d'entrée	245A
Rendement	98%
Cout	67647.657DH

TABLEAU 7: CARACTERISTIQUE DE L'ONDULEUR

2.1- Nombre de modules photovoltaïques en série :

Donc le nombre maximal et minimal des modules photovoltaïque en série dans notre installation est :

$$\text{Nombre minimal de module en série} = E^+ \left(\frac{450}{36.7 \cdot 0.85} \right) = 14$$

$$\text{Nombre maximal de module en série} = E^{-} \left(\frac{825}{36.7 * 1.1} \right) = 20$$

- Le coefficient 0.85 est un coefficient de minoration permettant de calculer la tension MPP à 70 °C.
- Le coefficient de sécurité 1.10 (Voir l'annexe page 38) imposé par le guide de l'UTE C15-712-1 [3] et qui prend en compte l'élévation de la tension délivrée par les modules lorsque la température des cellules diminue (Dans la région de Fès).

2.2- Nombre de chaines photovoltaïques en parallèle :

Le nombre maximum de chaînes photovoltaïques en parallèle est :

$$\text{Nombre maximal de chaine en parrallèles} = E^{-} \left(\frac{245}{9.95} \right) = 24$$

2.3- Compatibilité en puissance :

La puissance maximale admissible de l'onduleur 100 kW égale à 120kW

Donc on doit adapter le nombre de modules en série avec le nombre de chaines en parallèle pour ne pas dépasser cette puissance.

La configuration optimale est la suivante :

On prend 18 modules en série et 16 chaines en parallèle $18 \times 16 \times 365 = 102528 \text{ W} < 120\,000 \text{ W}$.

2.4- Compatibilité en tension :

Vérifions maintenant qu'avec 18 modules maximum en série, on n'atteindra jamais la tension maximale admissible en entrée de l'onduleur $U_{max} = 1000 \text{ V}$.

$$18 \times 46.1 \times 1.10 = 912.78 \text{ V} < 1000 \text{ V}.$$

2.5- Nombre d'onduleurs de l'installation :

Avec la configuration 18 modules en série et 16 chaines en parallèle, on a 288 modules pour chaque champ photovoltaïque.

Le nombre d'onduleurs de 100 kW est égal à 5.

II. La protection d'une installation PV :

1- Dimensionnement des câbles :

1.1- Protection contre les surintensités :

a- Caractéristiques des dispositifs de protection contre les surintensités :

Les dispositifs de protection contre les surintensités doivent être, soit des fusibles conformes à la NF EN 60269-1[4], soit des disjoncteurs conformes à la NF EN 60947-2 [5]. Ces dispositifs doivent être mis en œuvre sur les deux polarités quelle que soit la configuration de l'installation. Ces dispositifs doivent pouvoir fonctionner pour des applications DC et doivent respecter les dispositions suivantes spécifiques aux installations photovoltaïques :

- La tension assignée d'emploi (U_e) : $U_e \geq U_{0cmax} = k \times U_{0c}$ (tension à vide)
- Le courant assigné (I_n) du dispositif de protection. Pour les disjoncteurs, le courant conventionnel de fonctionnement du dispositif de protection I_2 est pris égal à $1.3 \times I_n$ (courant nominale) dans le cas d'utilisation de fusibles, le courant conventionnel de non fusion et de fusion doit être tel que : $I_{nf} = 1.13 \times I_n$ et $I_f = I_2 = 1.45 \times I_n$.

b- Protection des modules PV :

Dans une installation avec plusieurs chaînes de modules PV en parallèle, les modules doivent être protégés contre l'effet des courants inverses pouvant prendre naissance dans les chaînes en défaut.

Si le générateur PV est constitué de N_c chaînes en parallèle :

- $N_c=1$: le courant de défaut inverse n'existe pas, et aucun dispositif de protection contre les surintensités n'est exigé.
- $N_c > 2$: le courant inverse maximal qui peut circuler dans la chaîne en défaut peut valoir jusqu'à

$$\text{Courant inverse du chaine est : } I_{ich} = (N_c - 1) \times 1,25 \times \frac{I_{schaine}}{N_c} . [3].$$

$I_{scchaine}$: Le courant de court-circuit de la chaine.

D'où la nécessité d'un dispositif de protection des chaînes contre les surintensités, uniquement si le nombre de chaînes du générateur $N_c > N_{cmax}$, nombre maximal de chaînes en parallèle sans protection avec la condition :

$$\text{Le nombre de chaine maximal : } N_{cmax} \leq \left[1 + \frac{I_{RM}}{I_{sc}} \right] [3]$$

I_{RM} : Le courant de retour de module.

D'après la fiche technique du module LG :

$$I_{sc}=10.8A \quad \text{et} \quad I_{RM}=20A \quad \text{Avec : } N_c=80 \text{ string (D'après PVsyst).}$$

$$\text{Soit : } I_{scchaine} = I_{sc}$$

Le courant inverse maximal qui peut circuler dans la chaîne en défaut peut valoir jusqu'à :

$$I_{ich}=13,33A$$

$$N_{cmax} = \left[1 + \frac{I_{RM}}{I_{sc}} \right] = 2.85 < N_c \Rightarrow N_{cmax}=2$$

L'utilisation de dispositifs de protection contre les courants inverses est donc obligatoire. La règle générale est que chaque chaîne soit protégée individuellement par un dispositif de protection. Dans certains cas de modules ayant une tenue très élevée en courant inverse, N_p chaînes peuvent être raccordées en parallèle à un dispositif de protection unique.

- Calcul du nombre de chaines maximal N_{pmax} en parallèle raccordables à un dispositif de protection avec la condition :

$$N_{pmax} \leq \frac{\left[1 + \frac{I_{RM}}{I_{sc}} \right]}{2,4} [3]$$

$N_{pmax} \leq 1.18 \Rightarrow N_{pmax}=1$, donc $N_p=1$ D'où une protection est nécessaire de chaque chaine par fusible ou par disjoncteur. Les fusibles doivent être installés à la fois sur la polarité positive et négative de chaque chaîne, elles doivent être appropriées pour le courant continu, calibrés selon la valeur spécifiée par le constructeur.

c- Protection des câbles de chaîne PV :

Le dimensionnement des câbles de chaînes PV prend en compte le choix du dispositif de protection des modules PV adopté

- **Dimensionnement des protections des chaînes :**

Le courant assigné des dispositifs de protection doit vérifier la relation :

$$I_n \leq I_{sc} \text{ chaîne}$$

Dans notre cas, on aura :

$$I_n < 10.8 \quad \longrightarrow \quad \text{En valeur normalisé } I_n = 10A$$

Chaque chaîne sera protégée par un fusible (sur chacune des deux polarités) de calibre 10A. (Voir l'annexe page 39)

- **Dimensionnement des câbles des chaînes PV :**

Afin de déterminer les sections des câbles des chaînes, on doit calculer leur courant admissible en fonction du risque d'occurrence d'une surintensité prolongée pour un courant compris entre I_n et I_z .

- Pour $N_c < 20$ ou $N_c/N_p < 20$, le risque d'occurrence est significatif et $I_z \geq I_2$
- Pour $N_c \geq 20$ ou $N_c/N_p > 20$, le risque d'occurrence n'est pas significatif et $I_z \geq I_n$

Le coefficient K_p est utilisé si $N_p > 1$. Il permet de prendre en compte les courants fournis par les chaînes directement en parallèle sur la chaîne en défaut, et ne passant pas par un dispositif de protection. Il se calcule par la formule suivante

$$K_p = 1 + \frac{N_p - 1}{N_c - N_p} \quad [3]$$

Il est toujours supérieur à 1 et tend vers 1 quand N_c est grand.

Dans notre cas, $N_c \geq 20$ et $K_p = 1$, donc la valeur du courant admissible sans correction des câbles des chaînes I_z est tel que :

$$I_z \geq I_n = 10A \text{ avec } I_n \quad \text{Alors le courant admissible est : } I_z = 10 A$$

La valeur du courant admissible avec correction est calculée selon la relation :

$$I'_z = \frac{I_z}{K_1 \times K_2 \times K_3} \quad [3]$$

Avec :

- K_1 : prend en compte le mode de pose.
- K_2 : prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

- K_3 : prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Le dimensionnement des câbles est effectué conformément aux règles de la norme NFC 15-100 [6] et du guide UTE C15-105 sur la base de câbles à isolation PR, pour des courants maximums susceptibles de les traverser y compris en cas de défaut, les câbles sont au minimum de type C2 (très résistant à la chaleur) et choisis parmi ceux ayant une température admissible sur l'âme d'au moins 70 °C en régime permanent.

Les câbles des chaînes PV, des groupes PV et les câbles principaux PV d'alimentation continue doivent être choisis de manière à réduire au maximum le risque de défaut à la terre ou de court-circuit. Cette condition est assurée en utilisant des câbles multiconducteurs d'isolement équivalent à la classe II.

Dans notre cas : (voir l'annexe page 41)

$$K_1 = 1 \quad ; \quad K_2 = 0,82 \quad \text{Et} \quad K_3 = 0,58$$

Alors :

$$I'_z = \frac{10}{1 \times 0,82 \times 0,58} = 21,02 \text{ A}$$

En valeur normalisé pour une disposition de câbles simple couche sur des tablettes perforées (E) :

$$I_z \text{ cuivre} = 26 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad S \text{ cuivre} = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$I_z \text{ aluminium} = 28 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad S \text{ aluminium} = 10 \text{ mm}^2$$

d- Protection des câbles du groupe PV :

Dans une installation avec plusieurs groupes PV en parallèle, les câbles de groupes doivent être protégés contre l'effet de courants inverses dû à un court-circuit dans un groupe.

Si le générateur PV est constitué de N_a groupes en parallèles ($N_a > 2$), le courant inverse maximal circulant dans le câble du groupe est

$$I_{igr} = (N_a - 1) \times 1,25 \times \frac{I_{scchaîne}}{N_a} \quad [3].$$

Et un dispositif de protection des câbles de groupe PV contre les surintensités n'est exigé que si :

$$I_z < (N_a - 1) \times 1,25 \times I_{scgroupe} \quad [3].$$

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Avec :

$$I_{scgroupe} = \frac{N_c}{N_a} \times I_{scchaine} \quad [3].$$

Dans notre cas :

Nous avons 5 groupes de 16 chaines avec 18 modules pour chaque chaine.

Avec :

$$I_{scgroupe} = \frac{80}{5} \times 10.8 = 172,8 A$$

- **Dimensionnement des protections de groupes :**

Le courant assigné des dispositifs de protection de groupes doit vérifier la condition :

$$I_n \leq I_{scgroupe}$$

Dans notre cas :

$$I_N \leq 172,8$$

En valeur normalisé : $I_N = 160A$ (voir l'annexe page 39)

- **Dimensionnement des câbles des groupes PV :**

Le risque d'occurrence d'une surintensité prolongée dans un câble de groupe pour un courant compris entre I_n et I_2 est élevé car le nombre de groupes est généralement faible et : $I_z \geq I_2$

Dans notre cas, pour les disjoncteurs, le courant I_2 est pris égal à $1.3 \times I_n$. D'où il faut :

$$I_z \geq I_2 = 208 A$$

D'où :

$$I_z = 208A$$

La valeur du courant admissible avec correction :

$$I'_z = \frac{208}{1 \times 0,82 \times 0,58} = 437.34 A$$

En valeur normalisé :

$$I_z \text{ cuivre} = 473 A \quad \longrightarrow \quad S \text{ cuivre} = 150 \text{ mm}^2$$

$$I_z \text{ aluminium} = 470 A \quad \longrightarrow \quad S \text{ aluminium} = 240 \text{ mm}^2$$

e- Protection du câble principal PV :

Le câble principal d'un générateur PV doit être dimensionné avec un $I_z \geq 1,25 \times I_{scgen}$

Soit

$$I_{scgen} = Na \times I_{scgroupe}$$

Dans notre cas :

$$I_z \geq 1,25 \times 5 \times 172,8 = 1080 \text{ A}$$

Alors

$$I_z = 1080 \text{ A}$$

✚ La valeur du courant admissible avec correction :

$$I'_z = \frac{1080}{1 \times 0,82 \times 0,58} = 2270,81 \text{ A}$$

En valeur normalisé :

$$\frac{I'_{z,cuivre}}{2} = 1083 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad S_{cuivre} = 500 \text{ mm}^2$$

$$\frac{I'_{z,aluminium}}{5} = 543 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad S_{aluminium} = 300 \text{ mm}^2$$

2- Chute de tension :

La résistance $R = \frac{\rho \times L}{S}$ du câble va provoquer une chute de potentiel entre les deux points A et B du câble (les deux côtés du câble). En effet, d'après la loi d'Ohm : $U = V_A - V_B = R \times I$

Cette chute correspond physiquement à une dissipation d'énergie par effet Joule, c'est-à-dire à un échauffement du câble.

Dans une installation photovoltaïque, l'échauffement induit des pertes de puissance. C'est pourquoi, l'optimisation technique et économique d'une centrale PV conduit à réduire au maximum ces chutes de tension.

Le guide UTE C15-712 [7] indique que la chute de tension de la partie continue doit être inférieure à 5% et idéalement 1%. Cela signifie que

$$\varepsilon = \frac{V_A - V_B}{V_A} < 0,05$$

Dans la pratique, la longueur des câbles L est connue. Dès lors, on calcule la section de ces câbles sous la contrainte d'une chute de tension maximale de $\varepsilon = 5 \%$.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

On aura

$$\varepsilon = \frac{V_A - V_B}{V_A} = \frac{U}{V_A} = \frac{R \times I}{V_A} = \frac{\rho \times L \times I}{S \times V_A} = 0,05$$

D'où

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{0.05 \times V_A}$$

La chute de tension doit être calculée pour chaque câble de chaîne PV, chaque câble de groupe PV et pour le câble principal PV. On calcule ensuite le cumul des chutes de tension des câbles compris entre chaque chaîne et l'onduleur, et on retient le cumul le plus important. Ce calcul est effectué dans les conditions suivantes :

- ρ : Résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) en service normal. Conformément au guide de l'UTE C15-712-1, $\rho = 1.25 \times \rho_0$ où ρ_0 est la résistivité du conducteur à 20°C. On exprimera la résistivité en $\Omega. mm^2/m$.
Avec : $\rho = 0,023 \Omega. mm^2/m$ pour le cuivre, $\rho = 0,037 \Omega. mm^2/m$ pour l'aluminium.
- $UMPP$: la tension de référence à prendre en compte pour la chute de tension
- $IMPP$: le courant à prendre en compte pour la chute de tension.

• **Calcul de la chute de tension dans les différents câbles :**

Câbles	Type Conducteur	Longueur (m)	Section calculée pour (mm ²) $\varepsilon=0.05$	Section normalisée (mm ²)	Section proposée (mm ²)	Chute de tension ε
Chaîne PV	Cuivre	30	0.28	1.5	1.5	0.0094
	Aluminium		0.45	2.5	10	0.0090
Groupe PV	Cuivre	20	0.18	1.5	150	0.0094
	Aluminium		0.3	2.5	240	0.0090
PV Principal	Cuivre	10	0.09	1.5	500	0.0094
	Aluminium		0.15	2.5	300	0.0090

TABLEAU 8: CHUTE DE TENSION DES CÂBLES PV.

Remarque :

La présence ou non de parafoudre côté DC dépend du risque d'exposition à la foudre de l'installation. Ce risque s'évalue notamment grâce à la densité de foudroiement du lieu considéré, noté N_g , définit le nombre d'impact de foudre par an et par km², dans une région.

La densité de foudroiement N_g se calcule alors simplement par la relation : $N_g = \frac{N_k}{10}$

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Avec N_k représente le niveau karénique, qui définit le nombre de jour d'orage par an dans une région.

La longueur L est la distance cumulée entre les onduleurs et les points les plus éloignés des modules photovoltaïques constituant la chaîne, en sommant la longueur des parcours conformément aux principes de la Figure suivant :

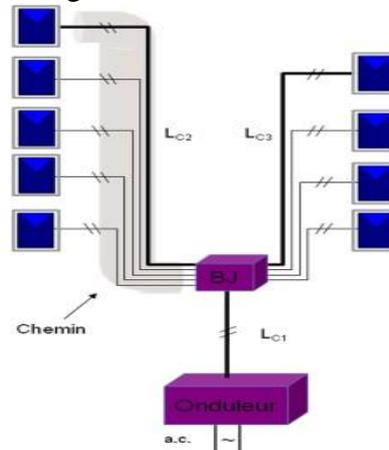


FIGURE 9: PRINCIPE DE CALCUL DE LA LONGUEUR L

Pour notre type d'installation on a :

$$L_{critique} (m) = \frac{450}{N_g}$$

Lorsque $L \geq L_{critique}$: parafoudres obligatoires coté DC

Lorsque $L < L_{critique}$: parafoudres non obligatoires coté DC.

Dans la région de Oulad Ayad, le risque de foudre est très bas avec : $N_K=2$ alors $N_g=0,2$ D'où $L_{critique} = 2250m$

Dans notre cas L est très inférieure à $L_{critique}$, ce qui fait qu'on n'aura pas besoin de parafoudre.

Le tableau suivant présente les équipements de l'installation photovoltaïque , en effet notre installation est constitué de 5 groupes , chaque groupe se compose de 288 panneaux .

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Puissance crête kWc	525.6
Nombre de modules PV	1440
Nombre d'onduleurs 100 kW	5
Nombre de modules pour l'onduleur de 100 kW	288
Nombre de modules en série	18
Nombre de chaines en parallèle	16
Nombre du groupe	5
Nombre de disjoncteur-sectionneur 160A	10
Nombre de fusible 160 A	10
Nombre de disjoncteur-sectionneur 1080A	5

Conclusion :

Ce chapitre constitue le cœur de ce projet, c'est le dimensionnement de l'installation photovoltaïque qui va nous permettre de couvrir les besoins des auxiliaires en énergie. La deuxième partie consiste à la protection de notre installation PV.

Chapitre 4 : Simulation des résultats et Etude Financière de l'installation :

I. Simulation par logiciel PVsyst :

Afin de valider les résultats obtenus on a une structure informatique compacte ayant une bonne renommée et qui est utilisée dans les bureaux d'étude faisant le dimensionnement des installations PV qui est PVSYST. Cette partie va être consacrée à la description de ce logiciel et ses fonctionnalités puis l'illustration des résultats de la simulation sous forme de rapport.

- **Les résultats de simulation :**

- **Premier étape :**

Remplir les coordonnées géographiques en se basant sur les données d'**Atlas de la ressource solaire au Maroc** pour avoir l'emplacement du site Allal Al Fassi.

Lieu

Nom du site : AAF

Pays : Maroc Région : Afrique

Coordonnées Géographiques

Latitude : 34.11 [°] 34 7 (+ = Nord, - = Hemisph. Sud)

Longitude : -4.55 [°] -4 33 (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude : 222 M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire : 0.0 Correspondant à une différence moyenne

Temps Légal - Temps Solaire = 0h 18m

On obtient les résultats suivants : les boutons seront actifs.

Paramètres d'entrée

Obligatoire

- Orientation
- Système
- Pertes détaillées

Autoconsommation

Optionnel

- Horizon
- Ombrages proches
- Calepinage
- Eval. économique
- Outils divers

Simulation

- Lancer la simulation
- Simulation avancée
- Rapport
- Résultats détaillés

- **Deuxième étape :**

Lors de cette étape, on introduit les données de notre système c'est-à-dire, la puissance crête à installer, le type de panneau et le type de l'onduleur.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Sélection du module PV

Disponibles Modules nécessaires approx. **1440**

LG Electronics 365 Wp 31V Si-mono LG 365 Q1C-A5 Since 2017 Manufacturer 2017

Sélection de l'onduleur

Disponibles

ABB 100 kW 450 - 825 V TL 50/60 Hz PVS800-57-0100kW-A Since 2010

Nbre d'onduleurs Tension de fonctionnement: **450-825 V** Puissance globale ond. **500 kW**
Tension entrée maximale: **1000 V**

➤ **Troisième étape :**

Après avoir fait le choix des modules et de l'onduleur, il faut que PVsyst valide la puissance choisie. Le logiciel nous permet d'avoir une estimation des nombres de module du parc, de la surface, du nombre de module en série ainsi que du nombre de chaîne parallèle.

Champ PV

Nom et orientation du sous-champ
 Nom
 Orient. **Plan incliné fixe** clinaison **31°**
Azimut **180°**

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc
 surface disponible(modules) m²

Sélection du module PV

Disponibles Modules nécessaires approx. **1440**

LG Electronics 365 Wp 31V Si-mono LG 365 Q1C-A5 Since 2017 Manufacturer 2017

Use Optimizer Dimens. des tensions pp (60°C) **32.7 V**
Voc (-10°C) **47.2 V**

Sélection de l'onduleur

Disponibles 50 Hz
 60 Hz

ABB 100 kW 450 - 825 V TL 50/60 Hz PVS800-57-0100kW-A Since 2010

Nbre d'onduleurs Tension de fonctionnement: **450-825 V** Puissance globale ond. **500 kW**
Tension entrée maximale: **1000 V**

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série entre 14 et 21
 Nb. chaînes entre 76 et 80
 Perte sur-puissance **0.0 %**
 Rapport Pnom **1.05**

Conditions de fonctionnement

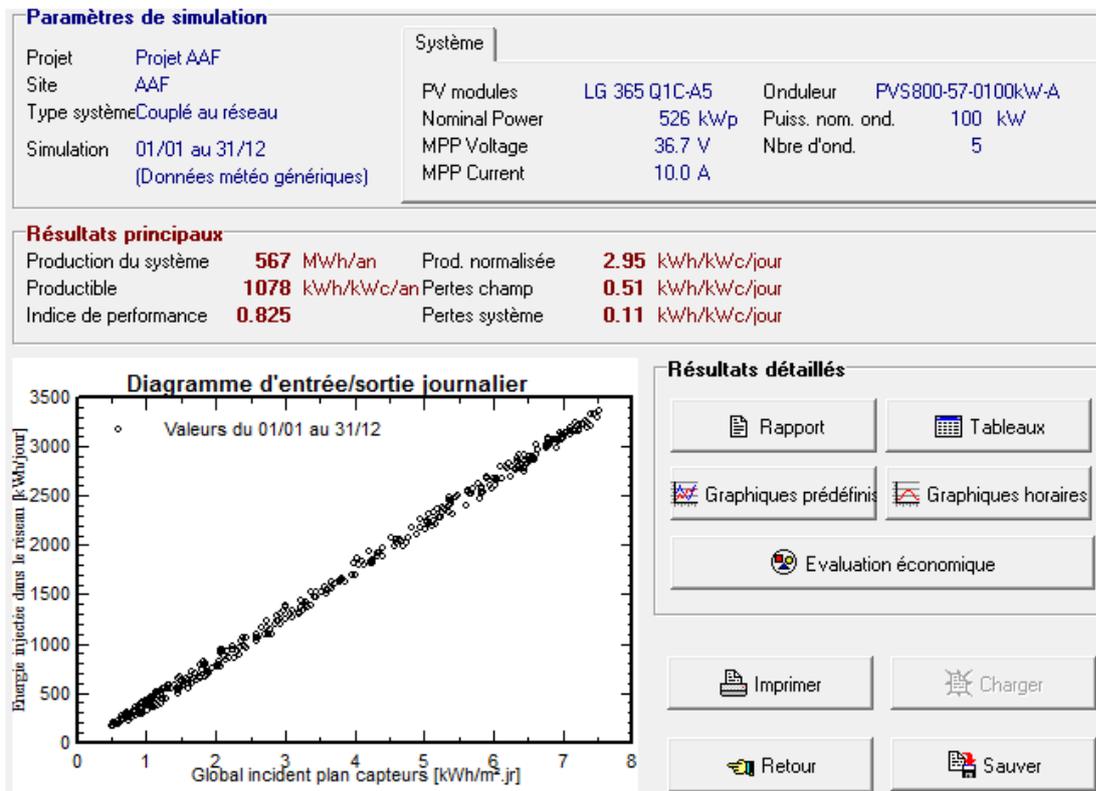
Vmpp (60°C) 589 V
 Vmpp (20°C) 670 V
 Voc (-10°C) 850 V

Irradiance plan **1000 W/m²**
 Impp (STC) 799 A
 Isc (STC) 849 A

Max. données STC
 Puiss. max. en fonctionnement **487 kW**
 à 1000 W/m² et 50°C

Lorsque tous les boutons deviennent verts on passe à la simulation c'est-à-dire la configuration choisie est convenable, PVSYST simule le système heure par heure et la fenêtre des résultats présente sous une forme synthétique les résultats principaux issus de la simulation. Les résultats détaillés sont disponibles sous forme de tables exportables en fichiers texte, lisibles avec les tableurs courants, ainsi que sous forme graphique

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source d'Energie Renouvelable



- ✚ La partie supérieure de la fenêtre récapitule les principales caractéristiques du système ;
- ✚ Les principaux résultats sont présentés sous forme synthétique ;
- ✚ L'accès aux résultats détaillés est proposé au travers de tables et graphique.

II. Démarche de l'étude économique de notre projet

L'étude financière d'une installation PV consiste à déterminer le prix d'investissement de l'installation et à calculer la durée du retour sur investissement. Nous allons dans ce chapitre élaborer le prix de chaque composant ainsi que le prix total de l'installation, afin de pouvoir déterminer la durée du retour sur investissement, et enfin évaluer la rentabilité de notre projet

1- Le coût d'installation PV :

Pour déterminer le coût d'une installation photovoltaïque, il est indispensable de connaître, le prix de ces modules photovoltaïques, le coût du système d'intégration, le coût des onduleurs photovoltaïques et le coût des câbles électriques photovoltaïques. Ensuite, viendra s'ajouter le coût de la main d'œuvre, qui représente une part essentielle dans la qualité d'une installation photovoltaïque, avec les frais du transport, d'entretien de l'installation photovoltaïque.

1.1- Estimation du montant total de la consommation :

Prenons l'exemple de l'estimation du montant total de la consommation annuelle de l'année 2018 de l'usine AAF :

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Mois	Facture (MAD)
Janvier	40 966 ,76
Février	36 860,96
Mars	31 842,76
Avril	23 722,4
Mai	21 258,92
Juin	21 441,4
Juillet	22 992 ,48
Août	23 266,2
Septembre	22 353,8
Octobre	22 992,48
Novembre	34 762.44
Décembre	38 320,8
Total	340 484,4

TABLEAU 9: TOTAL DE LA CONSOMMATION ANNUELLE

1.2- Investissement relatif aux divers équipements de l'installation PV :

Dans le tableau suivant les prix des différents constituants de l'installation photovoltaïque :

Équipement	Quantité	Prix unitaire (MAD)	Prix par Wc (MAD)	Prix global (MAD)
Module PV de 365Wc	1440	957		1 378 080
Onduleur de 100KW	5	67647.657		338 238.285
Support de fixation			1,1999	630 074,5
Câblage			0,3272	171 943,6
Fusible 10A	160	60		9600
Disjoncteur-sectionneur 160A	10	160,7839		1 607,839
Fusible 160 A	10	42,9775		515,73
Disjoncteur-sectionneur 1080A	5	41 777,6400		208 888 ,2
Support panneau		784071,88		78407,11
			Total	2 814 355,264

TABLEAU 10: PRIX TOTAL DES EQUIPEMENTS

- Pourcentage d'autosuffisance de l'installation PV :

L'Energie annuelle consommée par les auxiliaires de l'usine AAF :

Energie annuelle consommée= 373.5 MW.

L'Energie électrique produite annuellement par l'installation photovoltaïque :

Eproduite=567MW

Cette énergie présente **151%** des besoins annuels en électricité de l'usine. Et 51% on l'injecte dans le réseau.

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Avec
$$\frac{\text{énergie produite}}{\text{énergie annuelle consommée}} = 151\%$$

- Gain annuel :

$$G_{\text{annuel}} = 151\% \times \text{Montant Facture} = 1,51 \times 340\,484,4 = 514\,131,444 \text{ MAD/an}$$

D'où le temps de retour sur investissement :

Temps de retour sur investissement =
$$\frac{\text{Investissement}}{G_{\text{annuel}}} = \frac{2\,814\,355,264}{514\,131,444} = 5,5 \text{ ans}$$

2- Organismes d'aide à l'investissement dans le secteur des énergies renouvelables :

LA SOCIÉTÉ D'INVESTISSEMENTS ENERGETIQUES ou SIE :

Au cœur de la stratégie énergétique nationale, la SIE représente le bras financier de l'État pour participer à la réalisation du mix énergétique à l'horizon 2020. Elle intervient autant dans l'investissement que dans le développement de projets d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. La SIE accompagne les initiatives privées et publiques dans l'émergence, la conception et le financement de projets durables de production d'énergie et d'efficacité énergétique au sein du Royaume.



MOROCCO SUSTAINABLE ENERGY FINANCING FACILITY OU MORSEFF :

D'un montant global de 110 millions d'EUR, MorseFF est la ligne de financement de l'énergie durable destinée aux entreprises privées marocaines

MorSEFF permet aux entreprises marocaines d'accéder à :

- ✓ Des prêts ou leasing pour l'acquisition d'équipements ou la réalisation de projets d'efficacité énergétique ou énergie renouvelable
- ✓ Une subvention d'investissement de 10% du crédit
- ✓ Une assistance technique gratuite allant de l'évaluation, à la mise en œuvre, à la vérification du projet



Une distribution locale par des banques partenaires, BMCE Bank (et sa filiale Maghrebail) et Banque Populaire.

Conclusion :

Ce chapitre est consacré à la validation des résultats par PVsyst, On remarque que les résultats de simulation sont compatibles avec les calculs théoriques (chapitre précédent). Le rapport complet de la simulation est joint en Annexe C. Et enfin une validation concernant l'étude économique, notre projet l'alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une installation photovoltaïque est rentable, et son temps de retour sur investissement est 5.5ans.

Conclusion générale :

Face à l'importante consommation annuelle des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi à partir du réseau 22 KV, l'énergie renouvelable constitue une véritable alternative pour réduire cette consommation et préserver l'environnement par l'utilisation d'une énergie propre.

Le sujet de ce stage est divisé en trois grandes parties :

- Généralité sur la production d'électricité photovoltaïque : cette partie présente les différents éléments d'un générateur photovoltaïque, afin de les traiter et assimiler le fonctionnement de chacun avant d'entamer le travail de dimensionnement.
- Dimensionnement de l'installation photovoltaïque raccordée au réseau : Cette partie représente le cœur du sujet, elle comporte les différentes étapes suivies dans la conception et le dimensionnement d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau.
- L'étude économique : Après avoir traité en détail toutes les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque, on a passé au dimensionnement sous logiciel PVsyst pour comparer les résultats du calcul théorique, et à la fin nous avons présenté l'étude économique.

Ce projet a nous permis de :

- Développer notre connaissance dans le domaine énergétique surtout les installations photovoltaïques ;
- D'apprendre à travailler avec l'outil de simulation Logiciel PVsyst ;
- D'élargir mes connaissances avec un ensemble de responsables ONEE.
- Prendre contact avec un ensemble de fournisseurs nationaux et internationaux, et organisme public (ADEREE).

Bibliographie :

[1] : Site de Atlas des Energie Renouvelables, ADEREE, <http://www.aderee.ma/atlas-er>

[2] : Site de Atlas de la ressource du Maroc, MASEN .Ses données ont été développés au cours des années 2015 et 2016 par Solargis. <http://www.solaratlas.masen.ma>

[3] : cours de conception et dimensionnement du champ photovoltaïque.

[4] Norme NF EN 60269-1, Fusibles basse tension - Partie 1 : Règles générales, septembre 2007

[5] Norme NF EN 60947-2, Appareillage à basse tension - Partie 2 : Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles, aout 2009

[6] Norme NF C15-100, Installations électriques à basse tension, décembre 2002

[7] Guide UTE C15-712, "Installations photovoltaïques", février 2008

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Energie Renouvelable

Annexe A

Ce tableau présente le coefficient de sécurité en fonction des températures minimales :

Température ambiante minimale	Coefficient multiplicateur K
Entre 24°C et 20°C	1.02
Entre 19°C et 15°C	1.04
Entre 14°C et 10°C	1.06
Entre 9°C et 5°C	1.08
Entre 04°C et 00°C	1.10
Entre -1°C et -5°C	1.12
Entre -6°C et -10°C	1.14
Entre -11°C et -15°C	1.16
Entre -16°C et -20°C	1.18
Entre -21°C et -25°C	1.20
Entre -26°C et -30°C	1.21
Entre -31°C et -35°C	1.23
Entre -36°C et -40°C	1.25

Ce tableau donne l'irradiation solaire de la région Oulad Ayad :

Mois	janv.	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Aout	sept	oct.	Nov.	déc.
Irradiation solaire KWh/m ²	4.83	5.46	6.43	6.38	6.43	6.96	7.06	6.47	6.09	4.81	4.85	6.05

Calibre normalisés des disjoncteurs :

1,2,3,4,6 ,10,16 ,25,32,40,50,63,80,100,125,160,320,400,500 et 630A

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
 d'Énergie Renouvelable

Annexe B

La fiche technique de l'onduleur :

Données techniques et types	
Code du type	-0100kW-A
PVS800-57	100 kW
Entrée (CC)	
Puissance d'entrée maximale ($P_{PV, max}$) ¹⁾	120 kWp
Plage de tensions CC, mpp ($U_{OC, mpp}$)	450 à 825 V
Tension CC maximale ($U_{max, CC}$)	1000 V
Courant CC maximal ($I_{max, CC}$)	245 A
Nombre d'entrées CC protégées	1 (+/-) /4 ²⁾
Sortie (CA)	
Puissance nominale (P_{NCA}) ³⁾	100 kW
Puissance de sortie maximale ⁴⁾	100 kW
Puissance à $\cos\phi = 0,95$ ⁵⁾	96 kW
Courant CA nominal (I_{NCA})	195 A
Tension de sortie nominale (U_{NCA}) ⁶⁾	300 V
Fréquence de sortie	50/60 Hz
Distorsion harmonique, courant ⁷⁾	< 3 %
Type de réseau de distribution ⁸⁾	TN et IT

La fiche technique du panneau solaire :

Type de panneau	Rigides / traditionnels, Haut rendement
Cellules	Monocristallines
Puissance max. - Wc	365
Tension en circuit ouvert (Voc)	42.8 V
Courant de court-circuit (Isc)	10.8
Courant de puissance max. (Imp)	9.95
Tension de puissance max (Vmp)	36.7
Largeur	1016 mm
Hauteur	1700 mm
Cadre	40 mm
Épaisseur	40mm

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source d'Énergie Renouvelable

Annexe C

Les tableaux utilisés pour déterminer la section des câbles :

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles 	B
	<ul style="list-style-type: none"> ■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées 	C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	E
câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	F

Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	<ul style="list-style-type: none"> ■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants ■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants ■ câbles multiconducteurs ■ vides de construction et caniveaux 	0,70 0,77 0,90 0,95
C	<ul style="list-style-type: none"> ■ pose sous plafond 	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71

269

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
	caoutchouc ou PVC					butyle ou PR ou éthylène PR				
	B	C	E	F		PR3	PR3	PR2	PR2	PR2
	PVC3	PVC3	PVC3	PVC3	PVC3	PVC2	PVC2	PR3	PR3	PR2
section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	28
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	38
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	51
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	66
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	90
	16	68	78	80	85	94	100	107	115	121
	25	99	98	101	112	119	127	138	149	156
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		484	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	724	825		940
	500					749	858	946		1 083
	630					855	1 005	1 088		1 284

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
 d'Energie Renouvelable

Annexe D

Ce rapport est obtenu pendant la simulation par le logiciel PVsyst :

PVSYST V6.70		20/11/10		Page 1/3					
Système couplé au réseau: Paramètres de simulation									
Projet :		Projet AAF							
Site géographique	AAF	Pays	Morocco						
Situation	Latitude	34.11° N	Longitude	-4.55° W					
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horsaire TU	Altitude	222 m					
	Albédo	0.20							
Données météo:	AAF	Meteonorm 7.1 (1986-2005), Sat=100% - Synthétique							
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation									
Date de la simulation 20/11/10 à 20h13									
Paramètres de simulation	Type de système	No 3D scene defined							
Orientation plan capteurs	Inclinaison	31°	Azimut	180°					
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm					
Horizon	Pas d'horizon								
Ombrages proches	Sans ombrages								
Caractéristiques du champ de capteurs									
Module PV	Si-mono	Modèle	LG 365 Q1C-A5						
Original PVsyst database		Fabricant	LG Electronics						
Nombre de modules PV		En série	18 modules	En parallèle	80 chaînes				
Nombre total de modules PV		Nbre modules	1440	Puissance unitaire	365 Wc				
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	526 kWc	Aux cond. de fonct.	487 kWc (50°C)				
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	809 V	I mpp	799 A				
Surface totale		Surface modules	2487 m²	Surface cellule	2232 m²				
Onduleur		Modèle	PVS800-57-0100kW-A						
Original PVsyst database		Fabricant	ABB						
Caractéristiques		Tension de fonctionnement	450-825 V	Puissance unitaire	100 kWac				
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	5 unités	Puissance totale	500 kWac				
				Rapport Pnom	1.05				
Facteurs de perte du champ PV									
Fact. de pertes thermiques		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s				
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ	12 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC				
Perte de qualité module				Frac. pertes	-0.8 %				
Perte de "mismatch" modules				Frac. pertes	1.0 % au MPP				
Perte de "mismatch" strings				Frac. pertes	0.10 %				
Effet d'incidence (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290									
	0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
	1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source
d'Énergie Renouvelable

Projet : **Projet AAF**

Variante de simulation : **Nouvelle variante de simulation**

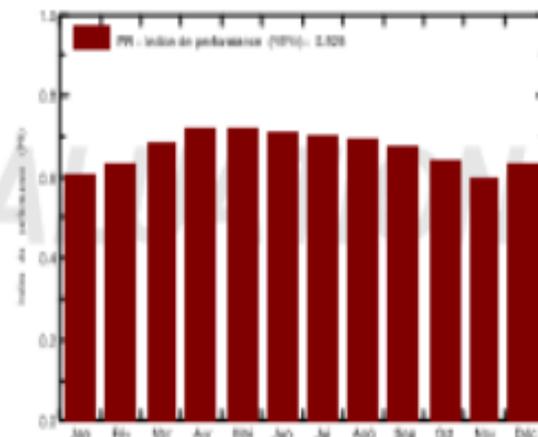
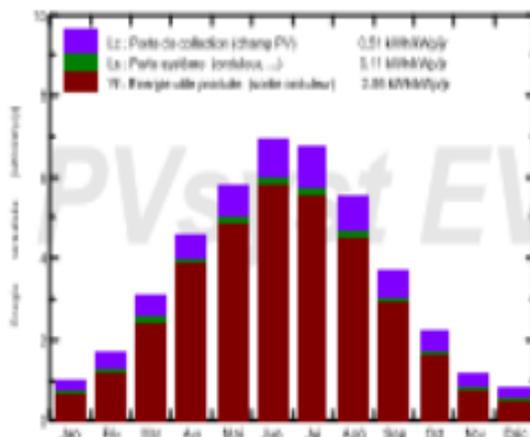
Principaux paramètres système	Type de système	Couplé au réseau	
Orientation plan capteurs	Inclinaison	31°	azimut 180°
Modules PV	Modèle	LG 365 Q1C-A5	Pnom 365 Wc
Champ PV	Nombre de modules	1440	Pnom total 526 kWc
Onduleur	Modèle	PVS800-57-0100kW-A	Pnom 100 kW ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	5.0	Pnom total 500 kW ac
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)		

Principaux résultats de la simulation

Production du système	Énergie produite	566.7 MWh/an	Productible 1078 kWh/kWc/an
	Indice de performance (IPR)	82.48 %	

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 526 kWc

Indice de performance (IPR)



Nouvelle variante de simulation

Bilan et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	DifHor kWh/m²	I Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobItt kWh/m²	EArrwy MWh	E Grid MWh	IPR
Janvier	96.2	31.48	10.18	29.8	26.4	12.41	11.35	0.725
Février	100.3	37.07	11.85	46.2	39.7	19.53	18.40	0.757
Mars	159.0	52.30	14.51	95.7	86.8	42.75	41.12	0.818
Avril	180.9	67.10	15.63	136.2	129.7	63.09	61.58	0.860
Mai	209.4	75.25	19.69	178.0	172.1	82.88	80.30	0.858
Juin	232.0	72.18	24.89	207.2	201.7	94.94	92.09	0.846
Juillet	237.9	68.32	28.15	207.4	201.5	93.78	91.03	0.835
Août	217.7	63.51	27.79	171.6	164.8	77.16	74.80	0.829
Septembre	167.6	55.01	23.60	109.9	101.8	48.55	46.85	0.811
Octobre	137.3	47.08	20.03	67.9	59.0	28.40	27.08	0.759
Novembre	95.5	32.86	14.24	33.6	28.4	13.72	12.64	0.716
Décembre	85.7	27.90	11.29	23.8	21.6	10.44	9.41	0.754
Année	1922.4	629.86	18.53	1307.2	1232.5	588.27	566.66	0.825

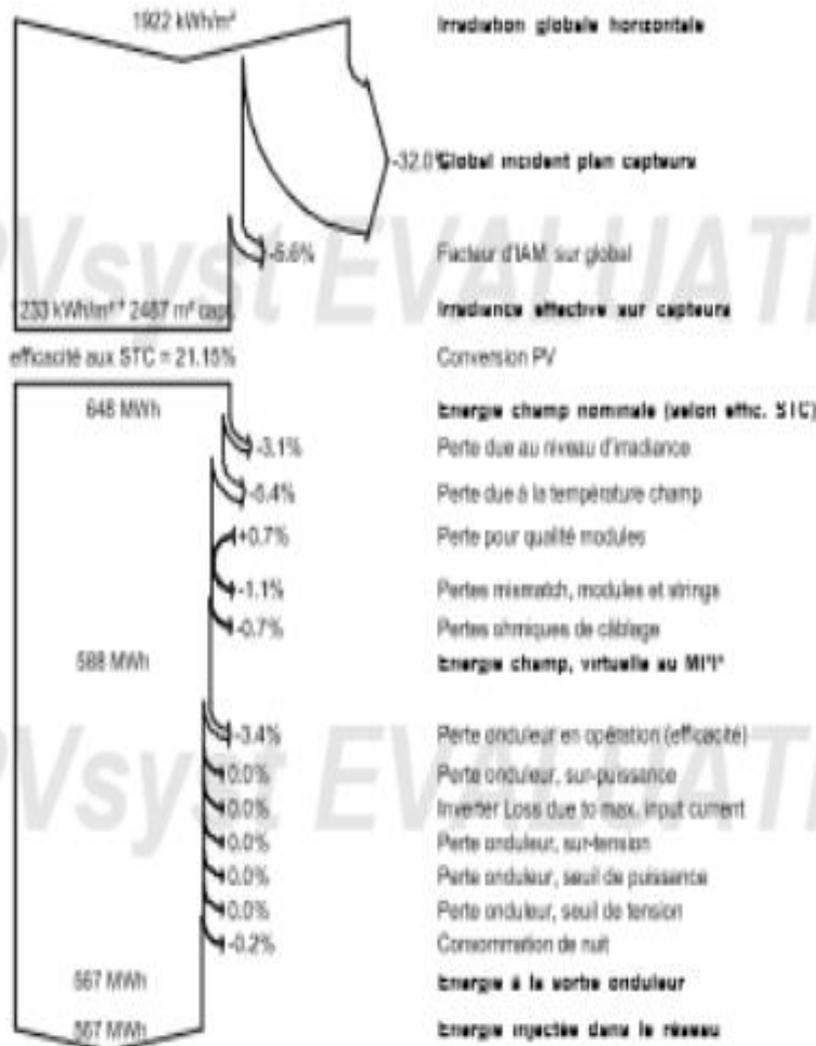
Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source d'Énergie Renouvelable

Projet : **Projet AAF**

Variante de simulation : **Nouvelle variante de simulation**

Principaux paramètres système	Type de système	Couplé au réseau	
Orientation plan capteurs	inclinaison	31°	azimut 180°
Modules PV	Modèle	LG 365 Q1C-A5	Pnom 365 Wc
Champ PV	Nombre de modules	1440	Pnom total 526 kWc
Onduleur	Modèle	PVS800-57-0100kW-A	Pnom 100 kW ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	5.0	Pnom total 500 kW ac
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)		

Diagramme des pertes sur l'année entière



Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source d'Energie Renouvelable

Annexe E

Ce rapport est téléchargé par le site en ligne Atlas de la Ressource Solaire au Maroc.



RAPPORT
Délivré: 16/03/2019

Atlas de la Ressource Solaire au Maroc

Location

Nom de location:	Oulad Ayyad
Latitude:	34.094179°
Longitude:	-4.620094°
Altitude:	246 m a.s.l.



Moyennes annuelles à long terme

Irradiation Horizontale Globale:	1862 kWh/m ²
Irradiation Normale Directe:	1875 kWh/m ²
Somme d'Irradiation Globale Inclivée:	2109 kWh/m ² (inclinaison: 31°, azimuth: 180°)
Température de l'air à 2 mètres:	19.9 °C
Production d'électricité:	1621 kWh (un système PV prédéfini)
Ratio de Performance:	76.9 %

Alimentation des auxiliaires de l'usine Allal Al Fassi par une source d'Energie Renouvelable



Atlas de la Ressource Solaire au Maroc

RAPPORT
Oéhré: 16/03/2019

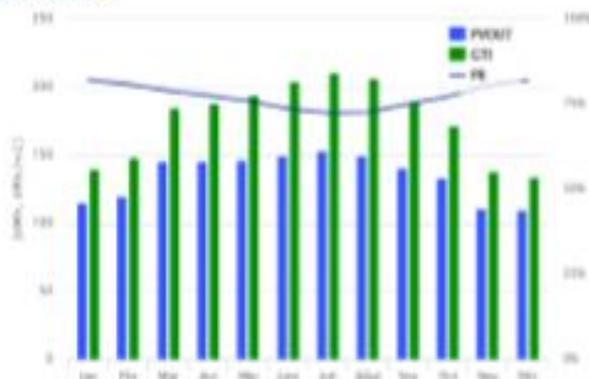
Moyenne mensuelle à long terme

Mois	GHI	DNI	GTI	TEMP	PVOU1	PR
Jan	91	137	140	11.2	115	82.1
Fév	108	137	148	12.1	120	80.8
Mar	156	163	185	14.8	146	78.9
Avr	179	168	188	17.2	146	77.5
Mai	203	168	194	21.7	147	75.9
Juin	222	185	204	27.0	150	73.7
Jull	224	176	211	30.3	153	72.4
Août	204	167	207	29.9	150	72.6
Sep	166	161	189	25.2	141	75.0
Oct	133	150	172	21.5	133	77.2
Nov	94	129	138	15.4	111	80.4
Déc	83	134	134	12.1	110	82.1
Année	1862	1875	2109	19.9	1621	76.9

Acronymes

- GHI: Somme mensuelle/annuelle d'irradiation Globale Horizontale [kWh/m^2]
- DNI: Somme mensuelle/annuelle d'irradiation Normale Directe [kWh/m^2]
- GTI: Somme mensuelle/annuelle d'irradiation Globale Incliné [kWh/m^2]
- TEMP: Température moyenne journalière (24 heures) de l'air à 2 mètres [$^{\circ}\text{C}$]
- PVOU1: Somme mensuelle de production d'électricité photovoltaïque [kWh/kWp]
- PR: Ratio de Performance [%]

Données PV



Données climatiques

