

Remerciements

Je remercie en premier lieu le bon Dieu de m'avoir donnée la force et le courage d'arriver au bout de ce projet.

Je tiens à remercier mon encadrant pédagogique Pr BOHARB ALI pour son effort émanant pendant l'encadrement au cours de mon projet de fin d'études, et la réussite de ce travail n'est qu'une reconnaissance parmi tant d'autres pour la qualité et l'utilité des savoirs qu'il m'a prodigués.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Said Ramich pour m'avoir donné l'occasion de faire ce stage au sein du centre Hospitalier Hassan II de FES .

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce projet de fin d'étude, ceux dont l'intervention a aidé et a favorisé son aboutissement.

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	2
Liste des tableaux.....	4
Liste des figures.....	5
Liste des abréviations	6
Résumé.....	7
Abstract.....	8
Introduction générale.....	9
1 PRESENTATION DU CHU HASSAN II DE FES.....	10
1.1 PRESENTATION GENERALE DU CHU.....	10
1.2 FICHE TECHNIQUE	11
1.3 STRUCTURE DU BUDGET DU CHU HASSAN II	11
1.4 ORGANIGRAMME DU CHU	12
1.5 PLAN DE MASSE	14
2 ETAPES DE DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME PV EN AUTOCONSOMMATION	14
2.1 RAYONNEMENT SOLAIRE.....	15
2.2 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	15
2.2.1 CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE.....	15
2.2.2 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	17
2.3 CONCEPTION D'UNE INSTALLATION PV RACCORDEE AU RESEAU :.....	20
2.3.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT.....	20
2.3.2 DIMENSIONNEMENT A L'AIDE DU LOGICIEL PV_SYST	20
2.3.3 MISE EN PLACE DES PANNEAUX.....	22
3 DIAGNOSTIC ET ANALYSE DES FACTURES.....	24
3.1 MODE DE FACTURATION MT GENERAL.....	24
3.1.1 ELEMENTS DE LA FACTURE	24
3.1.2 TARIF GENERAL MOYENNE TENSION	24
3.2 ANALYSE DES FACTURES.....	28
3.2.1 TABLEAUX RECAPITULATIFS DES CONSOMMATIONS	28
3.2.2 GRAPHE D'EVOLUTION DE LA PUISSANCE APPELEE DURANT L'ANNEE 2021 ...	29
3.2.3 ANALYSE DU FACTEUR DE PUISSANCE $\cos\phi$	29
3.3 DIMENSIONNEMENT DE SYSTEME PV ET RENTABILITE ECONOMIQUE	30
3.3.1 PUISSANCE INSTALLEE DES TRANSFORMATEURS.....	30
3.3.2 TAUX DE CHARGE DE TRANSFORMATEUR	31
3.3.3 POSTES DE TRANSFORMATION.....	32
3.3.4 RENTABILITE ECONOMIQUE.....	41
4 CONCLUSION GENERALE	44
5 BIBLIOGRAPHIE	45
6 WEBOGRAPHIE	45

Liste des tableaux

Tableau 1: Postes horaires	24
Tableau 2 : Prix d'électricité par tranche horaire	25
Tableau 3 : Redevance de consommation	25
Tableau 4 : Redevance de puissance (2021)	26
Tableau 5 : Dépassement des puissances souscrites (2021)	27
Tableau 6 : Récapitulatifs des consommations (2021)	28
Tableau 7: Taux de charge (TDC)	31
Tableau 8 : Puissance photovoltaïque	32
Tableau 9 : Tableau récapitulatif du gain	42
Tableau 10 : Investissement du projet	42

Liste des figures

Figure 1 : Photo du centre hospitalier universitaire Hassan II	10
Figure 2 : Répartition du budget.....	12
Figure 3 : Organigramme général.....	13
Figure 4 : Plan de masse	14
Figure 5 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal	15
Figure 6 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	17
Figure 7 : Eléments de l'installation photovoltaïque	19
Figure 8 : Composants d'une installation PV raccordée au réseau	20
Figure 9 : Localisation du projet.....	21
Figure 10 : Irradiations solaires mensuelles.....	21
Figure 11 : Orientation	22
Figure 12 : Exemple de dimensionnement PV SYSTEME.....	23
Figure 13 : Redevance de consommation	26
Figure 16 : RDPS.....	27
Figure 18 : Graphe d'évolution de la puissance appelée durant l'année 2021	29
Figure 19 : Cos =f (mois) en 2021	30
Figure 20 : Taux de charge par rapport à la puissance appelée.....	31
Figure 21 : Schéma unifilaire du post1	33
Figure 22 : Caractéristiques du champs de capteurs.....	33
Figure 23 : Surface d'installation PV du poste1	34
Figure 24 : Schéma unifilaire du poste2	35
Figure 25 : Caractéristiques du champ de capteurs	35
Figure 26 : Surface d'installation PV du poste 2	36
Figure 27 : Schéma unifilaire du poste3	37
Figure 28 : Caractéristiques du champ de capteurs	37
Figure 29 : Surface d'installation PV du poste3	38
Figure 30 : Shéma unifilaire du poste4	39
Figure 31 : Caractéristiques du champ de capteurs	39
Figure 32 : Surfaces d'installation PV du poste4.....	40

Liste des abréviations

MT : Moyenne tension

HP : Heures de pointe

HN : Heures normales

HC : Heures creuses

RC : Redevance de consommation

Cons HP : Consommation heures de pointe

Cons HN : Consommation heures normales

Cons HC : Consommation heures creuses

RP : Redevance de puissance

RDPS : Redevance

TDC : Taux de charge

Pc1 : Puissance consommée par le poste 1

Pc2 : Puissance consommée par le poste 2

Pc3 : Puissance consommée par le poste 3

Pc4 : Puissance consommée par le poste 4

PV : Photovoltaïque

TRS : Temps de retour simple

INV : Investissement

E_Grid : Energie injectée dans le réseau

Résumé

Ce rapport est le fruit d'un travail effectué lors d'un stage de fin d'études ayant pour objectif audit énergétique en vue d'installer une centrale photovoltaïque en autoconsommation totale au sein du CHU Fès.

Le principe de l'autoconsommation réside dans l'installation d'une centrale photovoltaïque en toiture de son bâtiment ou sur son parking afin de consommer la totalité de l'électricité produite. L'électricité que l'on produit permet de réduire la part d'électricité que l'on achète à son fournisseur.

En effet, l'électricité produite sera consommée en priorité sur notre site. Cette consommation viendra se soustraire de celle facturée par votre fournisseur traditionnel. L'électricité qui n'est pas consommée est injectée sur le réseau électrique local et valorisée sur les marchés.

Il a été donc question de diminuer de manière significative la consommation de l'énergie électrique, en établissant un diagnostic de la facture de l'année 2021, ainsi , en réalisant un dimensionnement à l'aide du logiciel PVsyst .

En se basant sur les différents résultats obtenus des analyses réalisées, on a vu que l'utilisation des systèmes photovoltaïques donne un gain très important, donc on peut dire que les systèmes PV peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins de base en électricité.

Abstract

This report is the result of work carried out during a final course aimed at energy audit in order to install a photovoltaic power plant in total self-consumption within the CHU Fez.

The principle of self-consumption lies in the installation of a photovoltaic plant on the roof of its building or on its parking lot in order to consume the electricity produced. The electricity you produce reduces the amount of electricity you buy from your supplier.

Indeed, the electricity produced will be consumed in priority on our site. This consumption will be subtracted from that charged by your traditional supplier. Electricity that is not consumed is injected into the local electricity grid and valued on the markets.

It was therefore proposed to significantly reduce the consumption of electrical energy, by establishing a diagnosis of the 2021 bill, thus , by making a sizing using the software PVsyst .

Based on the various results obtained from the analyses carried out, we have seen that the use of photovoltaic systems gives a very important gain, PV systems can therefore play a very important role in providing a truly cost-effective solution to cover basic electricity needs.

Introduction générale

La demande en énergie ne cesse de croître à travers le monde alors que l'on est confronté à une réduction des ressources énergétiques fossiles et à un risque majeur concernant l'avenir de notre planète avec le changement climatique. L'ère d'une énergie abondante et extrêmement bon marché est derrière nous. L'énergie va donc devenir un bien plus rare et plus cher. C'est pourquoi, la maîtrise des consommations énergétiques constitue avec le recours aux énergies renouvelables, une alternative à ces problèmes.

Faisant partie des conditions primordiales du développement d'un pays. L'énergie électrique s'avère indispensable dans notre environnement et sa production devient un investissement important dont l'efficacité dépend de sa capacité de pouvoir approvisionner un consommateur en puissance répondant aux exigences de son installation. Et comme l'un des grands soucis actuels est d'améliorer nos conditions de vie tout en réduisant le coût, le choix d'un des modes de production de l'énergie électrique se base sur le coût d'investissement et sur celui de fonctionnement. Ce qui nous amène ainsi à faire appel aux énergies dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique occupant une place privilégiée dans le domaine de recherche et développement, pour la production de l'énergie électrique.

L'objectif donc c'est de minimiser autant que possible les coûts relatifs à l'utilisation de cette énergie, ce qui revient à dépenser moins pour un même niveau de performance : moins d'énergie consommés, moins d'investissement, (réduire la consommation d'énergie : kWh, Joules, etc.) ou améliorer la performance à dépense d'énergie égale : plus de temps de fonctionnement utile, plus de productivité, ...il s'agit de réduire les coûts de non disponibilité de l'énergie ou des installations.

Après cette introduction générale mettant en valeur le sujet de cette étude et les objectifs du travail, quatre axes y sont consacrés : le premier comprendra un aperçu global sur le CHU HASSAN2, le deuxième lui, mettra en évidence les généralités sur l'énergie et système photovoltaïque, le troisième décrira l'étude des factures de consommation d'électricité et le dernier présentera la rentabilité et la faisabilité du projet.

1 Présentation du CHU Hassan II de Fès

Dans ce premier chapitre on expose l'organisme d'accueil, il donne un aperçu sur le Centre Hospitalier Universitaire Hassan II, la création, les services disponibles, la capacité litières et le budget.

1.1 Présentation générale du CHU

Le centre Hospitalier Universitaire Hassan II de Fès est un établissement de santé, créé en novembre 2001 et inauguré en janvier 2009 par SM le Roi Mohammed VI. Cet édifice sanitaire, prévu pour répondre aux besoins de plus de quatre millions d'habitants(Régions Fès-Meknès-Taça-Taounate), a pour objectif d'améliorer le taux de couverture médicale de cette population et de décongestionner les structures sanitaires déjà existantes dans ces régions.

Parmi les missions assurées par le CHU-Fès, il y a:

- Dispenser des soins médicaux.
- Conduire des travaux de recherche médicale, dans le strict respect de l'intégrité physique et morale et de la dignité des malades .
- Participer à l'enseignement clinique universitaire et post-universitaire médical et pharmaceutique ainsi qu'à la formation du personnel paramédical.



FIGURE 1 : PHOTO DU CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE HASSAN II

1.2 Fiche technique

Le CHU, d'une superficie de 12 ha, possède une capacité litière de 585 lits et offre les services médicaux suivants :

- Hôpital des spécialités
- Hôpital mère et enfant
- Bloc consultations externes
- Laboratoires
- Locaux et galeries techniques
- Oncologie
- Médecine Nucléaire
- Administration
- Unité de vie
- Annexe morgue et régies

Le cout de la construction des équipements et des installations est de l'ordre de 1. 200 milliard de DH.

1.3 Structure du budget du CHU Hassan II

Le budget d'exploitation du CHU de Fès s'élève à 645 323 509.8 DH. Le financement est réparti comme suit :

- Budget général de l'Etat : 20%
- Fonds Saoudien du Développement : 80% prêt à 2% sur 30 ans

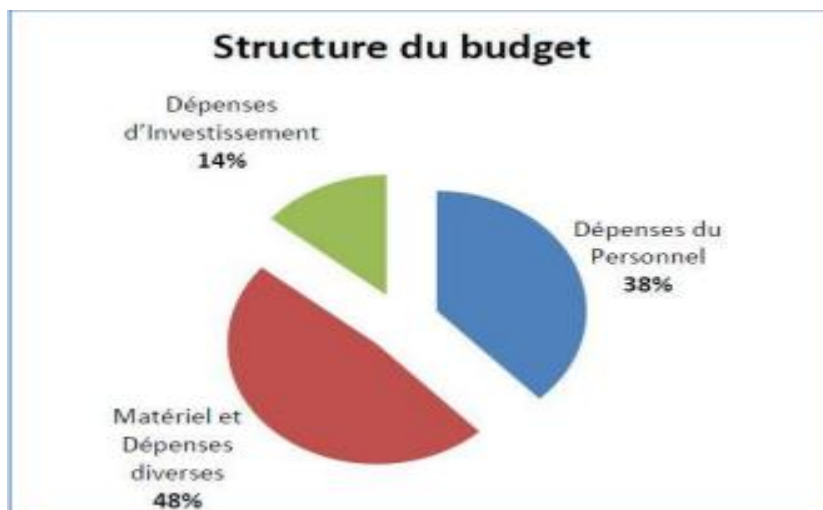


FIGURE 2 : REPARTITION DU BUDGET

Le personnel opérant au sein du CHU est :

- 826 cadres médicaux.
- 1091 infirmiers.
- 344 techniciens et administrateurs.

1.4 Organigramme du CHU

L'organisation administrative est décrite par l'organigramme de la figure 3

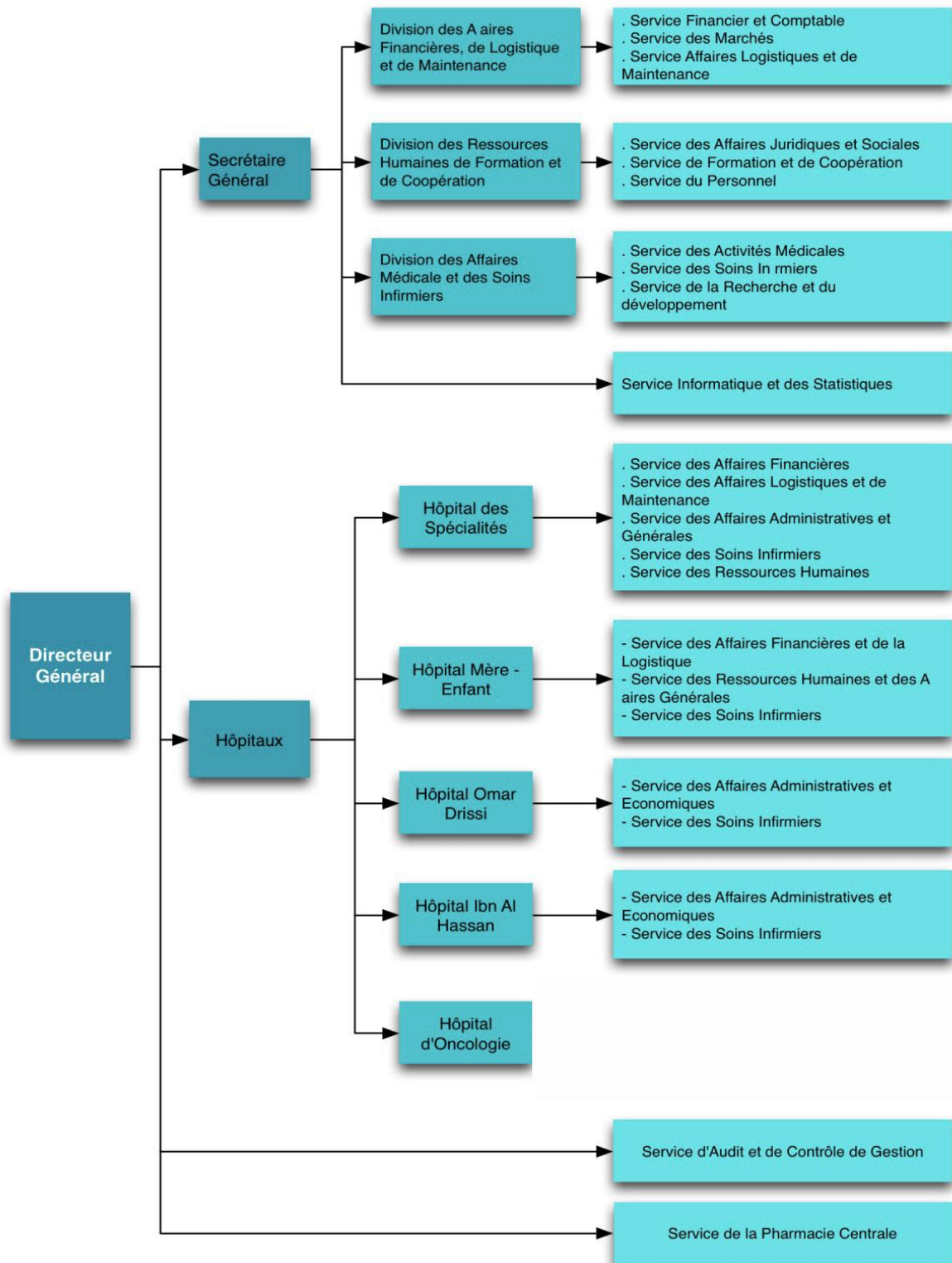


FIGURE 3 : ORGANIGRAMME GENERAL

1.5 Plan de masse

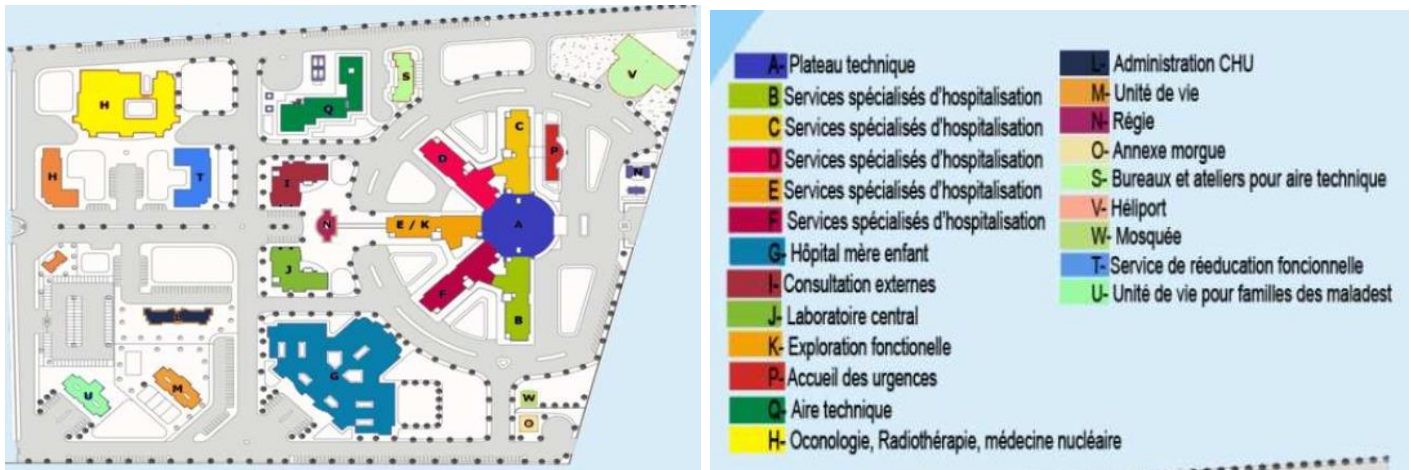


FIGURE 4 : PLAN DE MASSE

2 Etapes de dimensionnement d'un système PV en autoconsommation

Etoile de forme pseudo sphérique avec un diamètre atteignant 1391000 km et situé à une distance moyenne de 149 598 km de la terre. Le soleil est une gigantesque source énergétique disponible en permanence. La fusion des atomes d'hydrogène engendre la formation d'atomes plus lourds en libérant beaucoup d'énergie sous forme de chaleur de rayonnement. Il existe deux voies d'utilisation directe de l'énergie solaire :

- **La transformation du rayonnement en chaleur** : production de la chaleur à partir du rayonnement solaire afin de chauffer de l'eau ou de l'air par le biais de capteurs thermiques, on parle dans ce cas de l'énergie solaire thermique.
- **La transformation du rayonnement en électricité** : dans ce cas, l'énergie produite se présente sous deux formes :
- **L'énergie thermique solaire** : permettant de produire de l'énergie électrique par voie thermodynamique.
- **L'énergie solaire photovoltaïque** : où la conversion de la lumière du rayonnement en électricité est directe par le biais des cellules ou photopiles. C'est donc cette forme d'énergie qui sera traitée dans notre travail.

Pour comprendre ce phénomène, nous allons rappeler dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques .

2.1 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et $4.10^{-6}m$.

La connaissance du rayonnement solaire utile sur le site à étudier est importante pour concevoir un système photovoltaïque. Plus on reçoit une grande énergie solaire, moins on a des panneaux solaires et inversement. On distingue donc :

- Le rayonnement direct qui est reçu directement sans diffusion par l'atmosphère.
- Le rayonnement diffus qui est constitué de la lumière diffusée par l'atmosphère.
- L'albédo est la partie réfléchiée par le sol.
- Le rayonnement global est la somme de ces différentes formes de rayonnement.

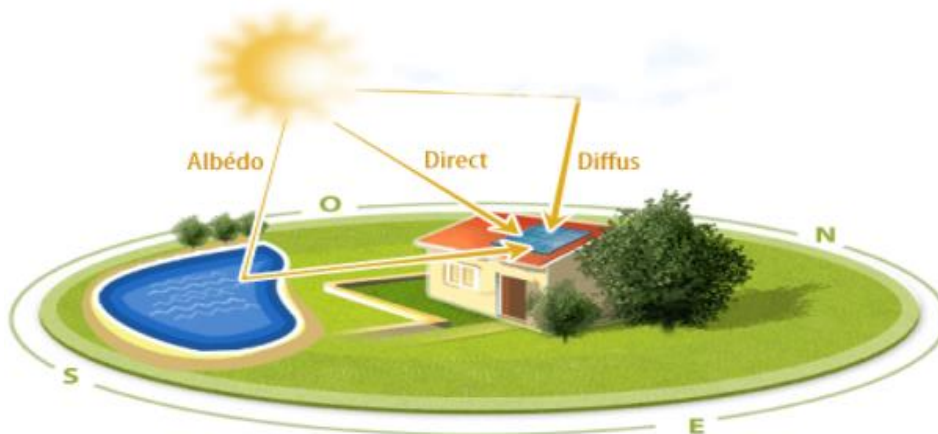


FIGURE 5 : COMPOSANTE DU RAYONNEMENT GLOBAL SUR UN PLAN HORIZONTAL

2.2 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

L'électricité photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement lumineux en électricité. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Cette filière s'est ensuite développée par la nécessité d'approvisionner en électricité solaire les satellites.

2.2.1 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur de type pn qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en énergie électrique. On note, qu'un semi-conducteur est une structure cristalline intermédiaire entre la structure du conducteur et celle de l'isolant. Le semi-conducteur le plus utilisé est le silicium, qui grâce à sa conduction dite

intrinsèque, garanti un meilleur compromis entre coût de production, rendement et frais d'installation, couvrant ainsi 90% du marché.

Deux grandes familles de technologies existent actuellement : la première à base de silicium cristallin comprenant le mono- et le polycristallin, les plus répandues couvrant environ 85% de la production mondiale. La deuxième famille, celle des couches minces, comprend les cellules au silicium amorphe, polycristallin ou microcristallin. En outre, d'autres technologies sont en cours d'expérimentation comme les cellules organiques, polymères ou à base de fullerènes.

Les cellules Photovoltaïques sont caractérisées par les paramètres suivants :

- **Puissance crête** : exprimée en watt-crête, elle représente la puissance électrique maximum que peut fournir un module dans les conditions standards (25°C, sous un éclairage de 1000 W/m²).
- **Courant de court-circuit I_{cc}** : c'est le courant le plus important que l'on puisse obtenir par une cellule.
- **Tension de circuit ouvert V_{co}** : c'est la tension mesurée lorsqu'aucun courant ne circule dans le dispositif photovoltaïque.
- **Facteur de forme FF** : il détermine la qualité électrique de la cellule.
- **Rendement** : il est défini comme rapport de la puissance maximal délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente sur la cellule.

Les cellules sont assemblées sous forme de panneaux photovoltaïques, elles produisent l'électricité chaque jour à partir du rayonnement solaire.

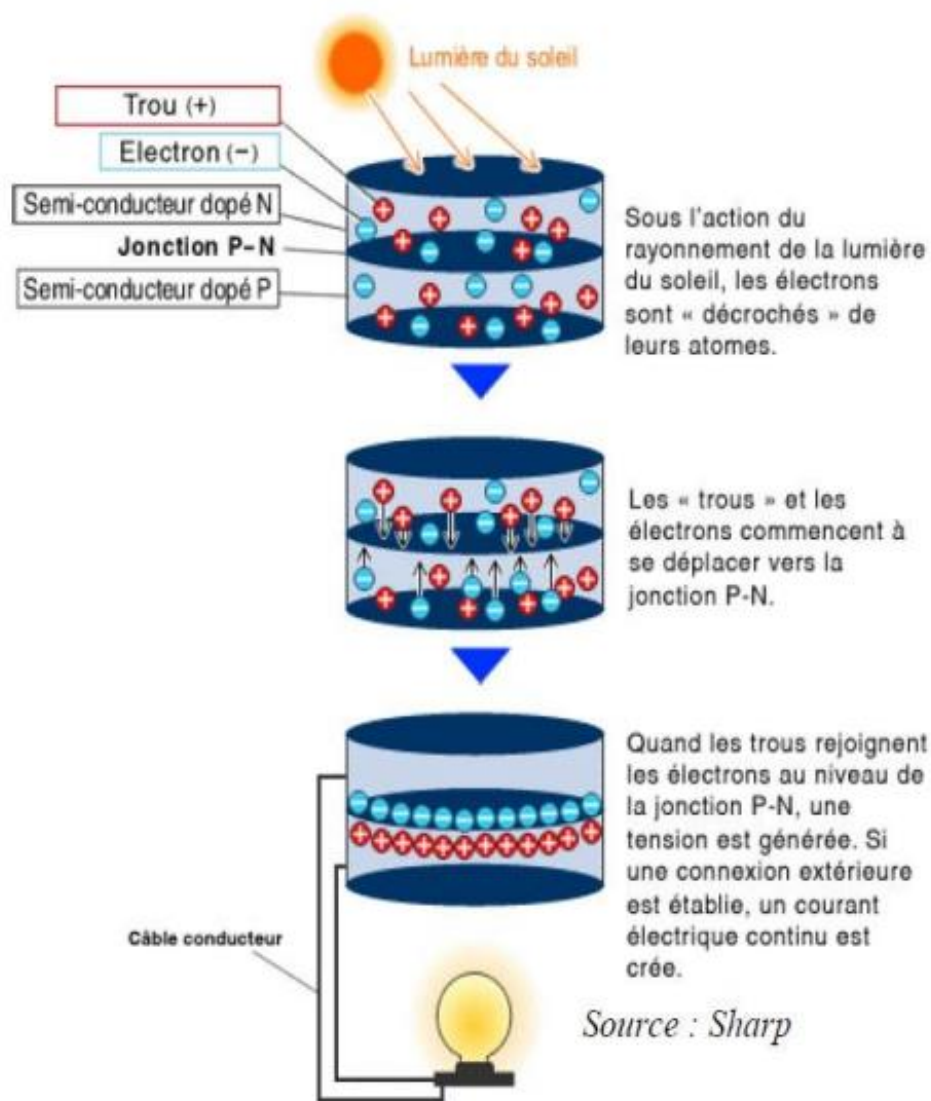


FIGURE 6 : FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

2.2.2 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Constitué par un ensemble des cellules photovoltaïques reliées entre elles, un module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose en terme de réponse à un besoin défini il doit donc être associé à un système complet qui comprend :

- Un système d'orientation ou de suivi en cas de besoin
- Un système de stockage (Batteries)
- Un contrôleur de charge (Régulateur)
- Un convertisseur DC/AC (Onduleur)

2.2.2.1 Type de systèmes photovoltaïques

Nous distinguons principalement deux types de systèmes photovoltaïques :

- **Système photovoltaïque autonome** : Le principe de ce type d'installations consiste à charger des batteries qui pourront stocker le surplus de la production électrique pour pouvoir le restituer.
- **Système connecté au réseau de distribution électrique** : Cette approche permet de produire l'électricité pour la consommer sur place et d'acheminer l'excédent d'énergie vers le réseau. Lorsqu'il y a déficit ou pendant les moments défavorables, le réseau alimente le site, ce qui élimine la nécessité d'utiliser des batteries, qui nécessitent un grand investissement financier et qui ont une durée de vie très limitée.

2.2.2.2 Composants du système photovoltaïque :

- **Les panneaux photovoltaïques** produisent un courant électrique continu.
- **Le module** : Un module PV est composé de plusieurs cellules solaires reliées les unes aux autres, d'une protection contre les intempéries sous forme de vitre et de stratifié, d'une protection contre les surtensions sous forme d'une ou plusieurs diodes by-pass et d'un dispositif de branchement.
- **Le régulateur** : permet de contrôler les flux d'énergie et de protéger la batterie contre les surcharges et décharges profondes dues à l'utilisation.
- **Onduleur** : Les onduleurs sont des appareils servant à convertir la tension continue fournie par les panneaux ou batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant avec une tension alternative.
- **Les batteries** : sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.
- **Des récepteurs DC** : spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.
- **Câblage électrique** : Câble en cuivre, connecteurs DC, boîte de jonction ou boîtier de raccordement constituent le câblage électrique du système photovoltaïque à raccorder à l'application.
- **Dispositifs de protection** : Les appareils électriques doivent être protégés par une mise à la terre, par des fusibles, disjoncteurs, parafoudres, interrupteurs, sectionneurs contre tous les défauts électriques pouvant survenir dans les circuits de l'application (surtension, surcharge, fuite de courant, court-circuit, etc...).
- **Dispositifs de comptage** : Ces éléments permettent de quantifier la quantité d'énergie électrique injectée dans le réseau public.

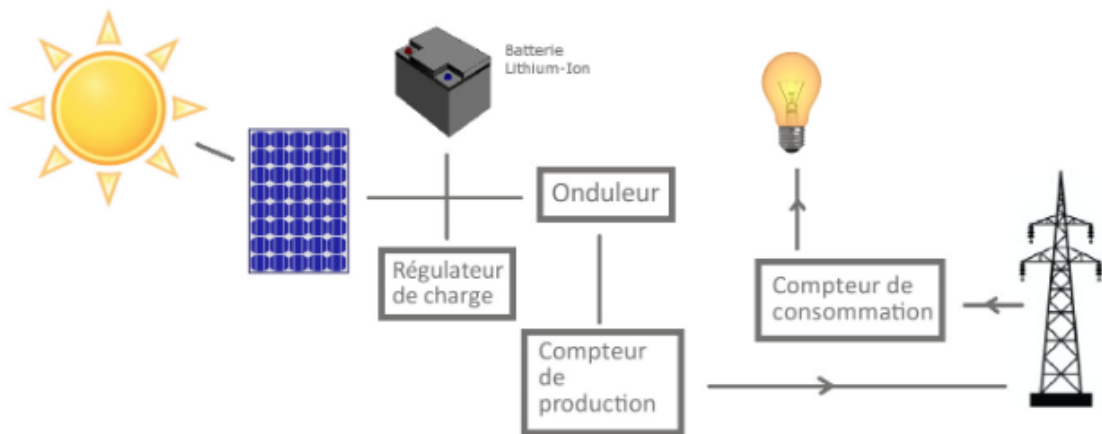


FIGURE 7 : ELEMENTS DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

2.2.2.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU PHOTOVOLTAÏQUE

En se comparant aux autres sources d'électricité telle que : la source éolienne, le solaire thermique, le groupe électrogène, etc. Le recours au photovoltaïque se pose souvent en terme de choix d'électricité.

Avantages :

Le photovoltaïque s'avère prometteur en raison de ses qualités intrinsèques :

- Montage simple et adapté à des besoins énergétiques divers, grâce au caractère modulaire des panneaux photovoltaïques.
- Une haute fiabilité, qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Coûts de fonctionnement sont très réduits vu les entretiens limités et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- le système photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est que l'occupation de l'espace pour l'installation de grande dimension.

Inconvénients :

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients :

- La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.

- L'onduleur ne donne pas l'énergie produite à 100 % .
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru.

2.3 Conception d'une installation PV raccordée au réseau :

2.3.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Une installation photovoltaïque raccordée au réseau est une installation qui produit de l'électricité grâce au soleil et pour laquelle tout ou partie de l'électricité produite est injectée sur le réseau électrique. Elle est constituée essentiellement de modules photovoltaïques et onduleurs .

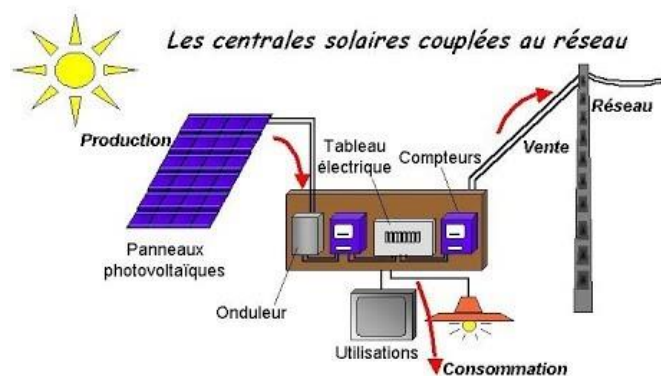


FIGURE 8 : COMPOSANTS D'UNE INSTALLATION PV RACCORDEE AU RESEAU

2.3.2 Dimensionnement à l'aide du logiciel PV_SYST

2.3.2.1 données météorologiques

Afin d'estimer le potentiel énergétique des toit du site le logiciel PVSYST a été utilisé. Comme les données solaires de la localisation de Fès ne sont pas disponibles dans la base de données du logiciel, il faut fournir la latitude et la longitude de l'emplacement du site afin de calculer l'irradiance solaire utile pour le toit photovoltaïque installé.


Localisation du Projet

Lieu

Nom du site

Pays Région

Coordonnées Géographiques



Latitude [°] (+= Nord, -= Hemisph. Sud)

Longitude [°] (+= Est, -= Ouest de Greenwich)

Altitude M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire Correspondant à une différence moyenne


Temps Légal - Temps Solaire = 0h 20m 

FIGURE 9 : LOCALISATION DU PROJET

Une fois l'emplacement est déterminé, PVSYST génère un tableau d'irradiations solaires correspondantes au lieu en question.

Site **FES (Morocco)**

Source des données

	Irrad. Glob. kWh/m ² .ms	Diffus kWh/m ² .ms	Tempér. °C	Vit. vent m/s
Janvier	99.3	28.7	9.6	3.10
Février	104.5	40.1	11.3	3.20
Mars	164.0	49.5	14.0	3.19
Avril	186.7	61.5	15.0	3.30
Mai	211.9	72.9	19.0	3.21
Juin	234.7	64.0	23.9	2.99
Juillet	246.3	59.1	27.1	2.90
Août	223.9	57.0	26.9	2.90
Septembre	172.1	50.0	22.8	2.90
Octobre	141.7	43.0	19.6	2.80
Novembre	103.6	31.9	14.0	3.19
Décembre	90.8	26.0	11.0	3.30
Année	1979.5	583.7	17.9	3.1

FIGURE 10; LES IRRADIATIONS SOLAIRES MENSUELLES

2.3.3 Mise en place des panneaux

Mettre en place des panneaux solaires : orientés plein Sud, avec une inclinaison de 34° qui permet de capter au mieux le rayonnement solaire.

The screenshot shows a software interface for configuring solar panel orientation. At the top, a dropdown menu is set to "Type de champ" with the value "Plan incliné fixe". Below this, there are two main sections: "Paramètres du champ" and "Meteo incidente annuelle".

Paramètres du champ:

- Inclinaison plan: 34.0 [°]
- Azimut: 0.0 [°]

Meteo incidente annuelle:

- Facteur de Transposition: 1.16
- Perte par rapport à l'optimum: 0.0%
- Global sur plan capteurs: 2288 kWh/m²

At the bottom, there is a button labeled "Voir optimisation".

FIGURE 11 : ORIENTATION

Exemple de dimensionnement avec le logiciel de dimensionnement de systèmes et d'installations solaires photovoltaïque PVsyst :

La surface de l'installation photovoltaïque est de 1402 m² d'une technologie PV polycristalline, avec un Onduleur de 173 KW

Configuration globale du système

1 Nombre de types de sous-champs

Schéma simplifié

Résumé système global

Nombre de modules	1098	Puissance PV nominale	176 kWp
Surface modules	1402 m ²	Puissance PV maximale	167 kWdc
Nbre d'onduleurs	1	Puissance AC nominale	173 kWac

Champ PV

Sub-array name and Orientation

Name:

Orient. **Plan incliné fixe** Tilt **34°**
Azimuth **0°**

Aide au dimensionnement

No Sizing Entrez Pnom désirée kWp.

... ou surface disponible m²

Sélection du module PV

Disponibles Modules nécessaires approx. **1131**

160 Wp 29V Si-poly SR-160 Since 2009 Photon Maq. 20

Dimens. des tensions op (60°C) **28.6 V**
Voc (-10°C) **48.6 V**

Use Optimizer

Sélection de l'onduleur

Disponibles 50 Hz
 60 Hz

173 kW 450 - 820 V TL 50/60 Hz Ingecon Sun 175 TL B275 Since 2010

Nbre d'onduleurs Tension de fonctionnement: **450-820 V** Puissance globale ond. **173 kWac**
Tension entrée maximale: **1000 V**

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série entre 16 et 20

Nb. chaînes entre 60 et 63

Perte sur-puissance **0.0 %**

Rapport Pnom **1.02**

Nbre modules 1098 Surface 1402 m²

Conditions de fonctionn

Vmpp (60°C)	515 V
Vmpp (20°C)	632 V
Voc (-10°C)	874 V

Irradiance plan **1000 W/m²**

Imp (STC) 285 A Max. données STC
Isc (STC) 309 A Puiss. max. en fonctionnement **155 kW**
à 1000 W/m² et 50°C

Isc (aux STC) 305 A **Puiss. nom. champ (STC) 176 kWp**

FIGURE 12 : EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT PV SYSTEME

Dans ce chapitre, nous avons vu les différentes formes de l'énergie Solaire et plus particulièrement l'énergie Solaire Photovoltaïque. Dans le chapitre suivant, nous allons nous concentrer sur l'analyse des factures.

3 Diagnostic et analyse des factures

Dans ce chapitre on va aborder les différents termes qui constituent la facture d'électricité, en présentant les différents éléments de la facture d'électricité et la tarification du MT .

3.1 Mode de facturation MT GENERAL

La facturation moyenne tension couvre l'ensemble des opérations effectuées, en vue de l'établissement des factures MT correspondantes à une période mensuelle de consommation d'électricité. La facture est basée sur le relevé mensuel des compteurs numériques. Ces compteurs sont programmés pour mémoriser les index anciens et nouveaux.

3.1.1 Les éléments de la facture

Le montant à facturer à chaque client Moyenne Tension pour ses consommations mensuelles d'électricité, est la somme des redevances calculées en fonction des éléments suivants :

- **L'option tarifaire** : MT GENERAL.
- **La puissance souscrite** : la puissance maximale qu'un réseau électrique est techniquement capable de fournir et qui ne doit pas être franchie.
- **La puissance appelée** : C'est la puissance maximale demandée par le client.
- **Le facteur de puissance** : C'est le quotient de la puissance active P (kW) par la puissance apparente S (kVA) et peut varier de 0 à 1.

3.1.2 Tarif général Moyenne Tension

La tarification de la RADEEF est définie dans le cadre de la politique énergétique nationale, elle doit englober toutes les charges d'investissement et d'exploitations relatives à la production de l'électricité. Cette tarification actuelle présente trois postes horaires durant douze mois.

3.1.2.1 Les postes horaires

Les postes horaires sont définis comme suit :

TABLEAU 1: POSTES HORAIRES

Postes Horaires	Hiver Du 01/10 au 31/03	Eté Du 01/04 au 30/09
Heures de pointe (HP)	17h à 22h	18h à 23h
Heures normales (HN)	07h à 17h	07h à 18h

Heures Creuses (HC)	22h à 07h	23h à 07h
----------------------------	-----------	-----------

3.1.2.2 Tarifs de vente (en DH TTC)

Le tableau ci-dessous montre les tarifs de vente des différents postes horaires :

TABLEAU 2 : PRIX D'ELECTRICITE PAR TRANCHE HORAIRE

	Prix Unitaire DH-HT	TAUX TVA	Montant TVA	Prix Unitaire DH-TTC
Heures de Pointes (KWh)	1,241840	14%	0,1738576	1,4156976
Heures Pleines (KWh)	0,886050	14%	0,124047	1,010097
Heures Creuses (KWh)	0,648950	14%	0,090853	0,739803

3.1.2.3 Redevances de Consommation (RC)

La redevance de consommation est facturée mensuellement comme suit :

$$\text{RC} = (\text{Prix HP} \times \text{Cons HP}) + (\text{Prix HN} \times \text{Cons HN}) + (\text{Prix HC} \times \text{Cons HC})$$

Où :

Prix HP: Prix du KWH du poste heures de pointes

Prix HN: Prix du KWH du poste heures normales

Prix HC: Prix du KWH du poste heures creuses

Cons: Energie active consommée durant un poste horaire donné

TABLEAU 3 : REDEVANCE DE CONSOMMATION

Mois (2021)	RC(KMAD)
Janvier	532283,17
Février	451288,05
Mars	510234,47
Avril	470376,95
Mai	514945,10
Juin	619343,65
Juillet	902115,98
Août	905522,35

Septembre	821526,61
Octobre	691256,30
Novembre	629115,65
Décembre	709046,09

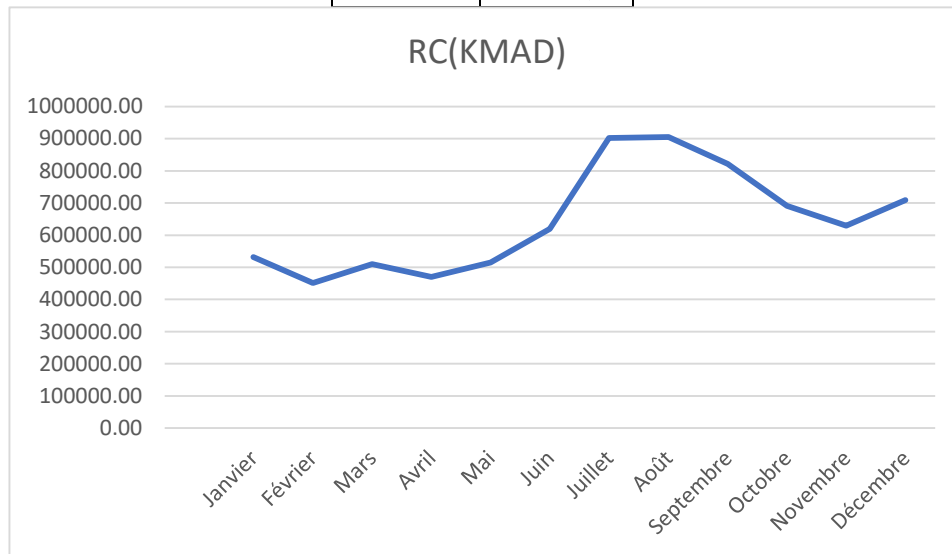


FIGURE 13 : REDEVANCE DE CONSOMMATION

3.1.2.4 -Redevances de puissance (RP) :

La redevance de puissance (RP) est facturée mensuellement en fonction de la puissance souscrite selon la formule suivante :

$$RP = \frac{PF}{12 \times PS}$$

PF : Prime fixe annuelle PS : Puissance souscrite

TABLEAU 4 : REDEVANCE DE PUISSANCE (2021)

Mois (2021)	RP(kMAD)
Janvier	44967
Février	44967
Mars	44967
Avril	44967
Mai	44967
Juin	44967
Juillet	44967
Août	44967
Septembre	44967
Octobre	44967
Novembre	44967
Décembre	44967

3.1.2.5 - Dépassement des puissances souscrites :

La puissance appelée par l'hôpital ne doit pas dépasser la puissance souscrite, au cas de dépassement de cette puissance l'hôpital paye une pénalité.

Si au cours d'un mois donné de l'année la puissance enregistrée a dépassé la valeur de la puissance souscrite, la différence positive des deux puissances sera passible d'une redevance dite de dépassement de puissance souscrite (RDPS) déterminée comme suit :

$$\text{RDPS} = 1,5 \times \frac{\text{PF}}{12 \times (\text{PA} - \text{PS})}$$

PA : puissance maximale appelée pendant le mois .

TABEAU 5 : DEPASSEMENT DES PUISSANCES SOUSCRITES (2021)

Mois (2021)	RDPS
	(kMAD)
Janvier	2273,53
Février	0
Mars	0
Avril	0
Mai	5182,45
Juin	20920,9
Juillet	54623,66
Août	58207,53
Septembre	44146,35
Octobre	22966,9
Novembre	15794,66
Décembre	18605,1

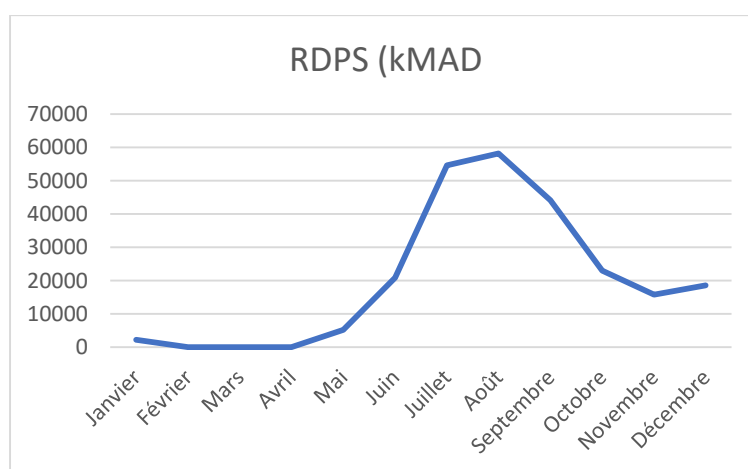


FIGURE 14 : RDPS

3.1.2.6 Majoration pour facteur de puissance inférieur à 0.8 (Maj. (Cos Φ))

Si au cours d'un mois de facturation, la quantité d'énergie réactive consommée par le client est telle que le facteur de puissance moyen mensuel correspondant est inférieur à 0,8, le montant total des redevances dues par le client au titre de sa consommation mensuelle (redevance de puissance, redevance de dépassement de la puissance souscrite et redevance de consommation) sera majoré de 2% pour chaque centième d'insuffisance du facteur de puissance constatée.

$$\text{Maj.}(\cos \phi) = 2 \times (0,8 - (\cos \phi)) \times (RC + RP + RDPS)$$

3.2 Analyse des factures

3.2.1 Tableaux récapitulatifs des consommations

On a ci-dessous un tableau contenant la consommation de l'année 2021 selon les postes horaires définis par la RADEEF :

TABLEAU 6 : RECAPITULATIFS DES CONSOMMATIONS (2021)

2021	Creuses	Normales	Pointes	Total	Cos Φ	Puissance appelée(KVA)	PS
Janvier	205340	279440	121940	606720	1	1260	1200
Février	172040	239860	102360	514260	1	1134,8	1200
Mars	197320	269820	115240	582380	1	1161,8	1200
Avril	161840	263100	106480	531420	1	1162,4	1200
Mai	174420	287760	118200	580380	1	1 292	1200
Juin	201120	352140	142380	695640	1	1 572	1200
Juillet	293240	498020	217860	1009120	1	2 172	1200
Août	304040	491740	219440	1015220	0,99	2 236	1200
Septembre	274020	454360	194160	922540	1	1 985	1200
Octobre	272240	348500	165720	786460	1	1 609	1200
Novembre	245320	326900	145160	717380	1	1 481	1200
Décembre	276520	370040	162440	809000	1	1 531	1200
Total	2777460	4181680	1811380	8770520	-	18596,76	14400

L'analyse de ce tableau nous permet de déduire les conclusions suivantes :

-La consommation moyenne (2021) est de 730876,667 kWh/mois avec des pics à plus de 1 000 000 kWh pendant les mois de juillet et août, ainsi la puissance appelée est en moyenne de 1549,73 kVA .

-la puissance souscrite est fixée en 1200 kVA.

Conclusion :

- La consommation augmente en mois d'été du fait de la mise en marche des groupes froids pour la climatisation des bâtiments.

3.2.2 Graphe d'évolution de la puissance appelée durant l'année 2021

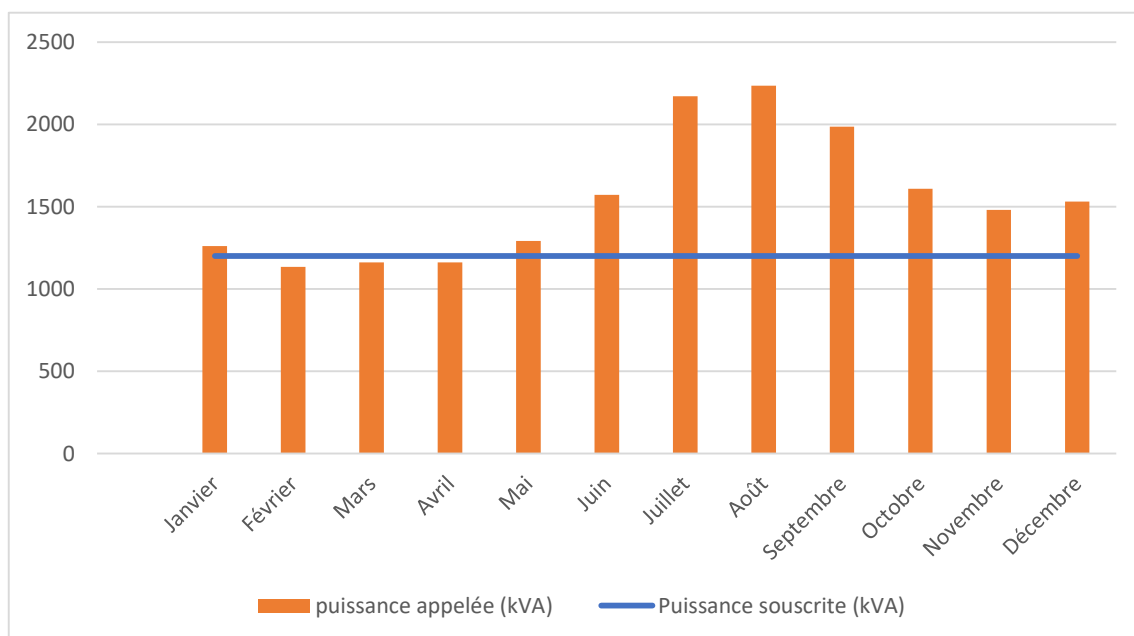


FIGURE 15 : GRAPHE D'EVOLUTION DE LA PUISSANCE APPELEE DURANT L'ANNEE 2021

Durant l'année 2021, le CHU a dépassé la puissance souscrite dans toute l'année sauf Février, Mars et Avril dans lesquels il paye des pénalités.

3.2.3 Analyse du facteur de puissance $\cos\phi$

Facteur de puissance : $\cos\phi = \frac{P}{S}$

Avec

P : puissance active = $\sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi$

U : la tension entre phase et neutre

S : puissance apparente= $\sqrt{3} \times U \times I$

I : le courant consommé par phase

Si au cours d'un mois donné, la quantité d'énergie réactive consommée donne lieu à une valeur inférieure à 0,8 du cos (phi) moyen mensuel, le montant total des redevances dues par le client au titre de sa consommation mensuelle sera majoré de 2% pour chaque centième d'insuffisance du cos (phi) constaté. Dans la pratique, il vaut mieux avoir un cos (phi) proche de 1 pour réduire l'énergie réactive consommée.

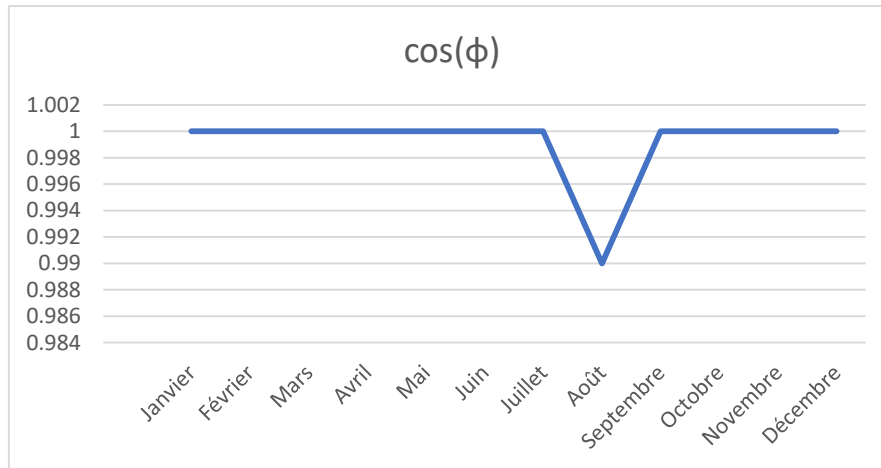


FIGURE 16 : COS =F (MOIS) EN 2021

On remarque que le cos est très bon (>0,8 d'après les normes) et c'est grâce aux batteries condensateurs qui compense l'énergie réactive, donc on n'a pas des pénalités à cause du facteur de puissance .

3.3 Dimensionnement de système PV et rentabilité économique

Cette partie traite des moyens et des mesures à mettre en œuvre pour obtenir des gains par une gestion des consommations électriques des postes de transformation de l'hôpital.

3.3.1 Puissance installée des transformateurs

Pour assurer la bonne répartition d'énergie électrique, l'hôpital possède 4 postes transformateurs de type immergés à huile alimentés en boucle sur le réseau HTA. Le nombre des transformateurs est de l'ordre de 11 transformateurs, avec un bilan de puissance total **Pt=6930KVA** (la puissance installée) réparti comme suit :

Poste 1 : **3** transformateurs de **630 KVA** → Puissance installée :**1890 KVA**

Poste 2 : **2** transformateurs de **630 KVA** → Puissance installée :**1260 KVA**

Poste 3 : **2** transformateurs de **630 KVA** → Puissance installée :**1260 KVA**

Poste 4 : 4 transformateurs de 630 KVA → Puissance installée :2520 KVA

3.3.2 Taux de charge de transformateur

Le taux de charge du transformateur est donné comme le suit :

Taux de charge du transformateur = la puissance appelée / la puissance totale.

TABLEAU 7: TAUX DE CHARGE (TDC)

Mois (2021)	TDC
Janvier	18%
Février	16%
Mars	17%
Avril	17%
Mai	19%
Juin	23%
Juillet	31%
Août	32%
Septembre	29%
Octobre	23%
Novembre	21%
Décembre	22%

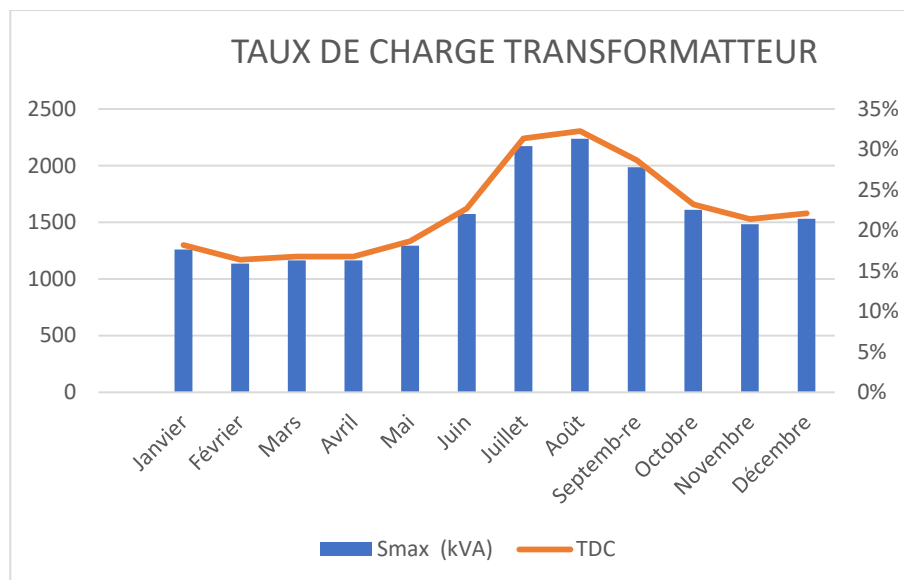


FIGURE 17 : TAUX DE CHARGE PAR RAPPORT A LA PUISSANCE APPELEE

Après avoir calculer la consommation pendant les heures normales(**de 7h à 17h**) durant tous les mois d'année, on prend **25%** comme puissance photovoltaïque de chaque consommation et on choisit la puissance minimale qui est **181 kWc** .

TABLEAU 8 : PUISSANCE PHOTOVOLTAÏQUE

conso HN	25% de conso
846,79	211,70
726,85	181,71
817,64	204,41
797,27	199,32
872,00	218,00
1067,09	266,77
1509,15	377,29
1490,12	372,53
1376,85	344,21
1056,06	264,02
990,61	247,65
1121,33	280,33

Par suite, Nous allons distribuer cette puissance (**181 kWc**) pour chaque poste transformateur, on obtient les résultats suivants :

Post 1 : $P_{c1} = (1890 \cdot 181) / 6930 = 49,36 \text{ kWc}$

Post 2 : $P_{c2} = (1260 \cdot 181) / 6930 = 32,90 \text{ kWc}$

Post 3 : $P_{c3} = (1260 \cdot 181) / 6930 = 32,90 \text{ kWc}$

Post 4 : $P_{c4} = (2520 \cdot 181) / 6930 = 65,81 \text{ kWc}$

3.3.3 Les postes de transformation

Pour déterminer un nombre provisoire de modules, nous tenons en considération les caractéristiques des modules choisis et la surface disponible.

3.3.3.1 Poste de transformation 1

Il est situé au niveau du sous-sol bâtiment A. Le poste1 assure l'alimentation en énergie électrique de l'hôpital des spécialités (Bâtiments : A, B, C, D, E et F).

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 1 :

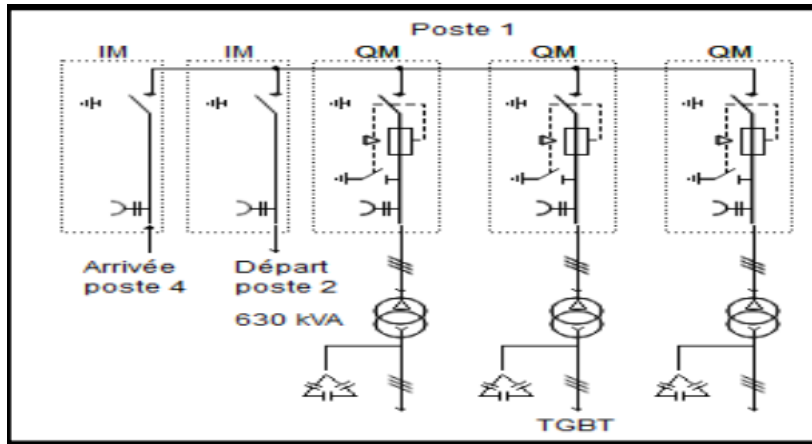


FIGURE 18 : SCHEMA UNIFILAIRE DU POST1

La surface d'installation :

En entrant la puissance consommée par le poste1 (**49,36 kWc**) et qui est la puissance globale du champ, on obtient les résultats suivantes à l'aide du logiciel PVsyst :

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV

Original PVsyst database

Nombre de modules PV

Nombre total de modules PV

Puissance globale du champ

Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)

Surface totale

Si-mono

Modèle **SR-150**

Fabricant Taizhou SoPray

En série 16 modules

Nbre modules 336

Nominale (STC) **50.4 kWc**

U mpp 475 V

Surface modules **429 m²**

En parallèle 21 chaînes

Puissance unitaire 150 Wc

Aux cond. de fonct. 44.7 kWc (50°C)

I mpp 94 A

Onduleur

Original PVsyst database

Caractéristiques

Batterie d'onduleurs

Modèle **Ingecon Sun 50**

Fabricant Ingeteam

Tension de fonctionnement 405-750 V

Nbre d'onduleurs 1 unités

Puissance unitaire 50 kWac

Puissance totale 50 kWac

FIGURE 19 : CARACTERISTIQUES DU CHAMPS DE CAPTEURS

A l'aide de google maps, on a estimé la surface du toit auprès du poste1 :



FIGURE 20 : SURFACE D'INSTALLATION PV DU POSTE1

Pour une surface de 429m², on aura à installer :

- Un champ photovoltaïque de puissance égale à 50,4 kWc constitué de 336 modules de 150 Wc chacun, dont 16 modules en série pour 21 chaînes en parallèle.
- Un onduleur remplissant les caractéristiques suivantes : une tension de fonctionnement de 405/750 V, une puissance de 50 kWac.

3.3.3.2 Poste de transformation 2

Situé au niveau du sous-sol bâtiment G (Hôpital mère et enfant) assure l'alimentation en énergie électrique pour le bâtiment G

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 2 :

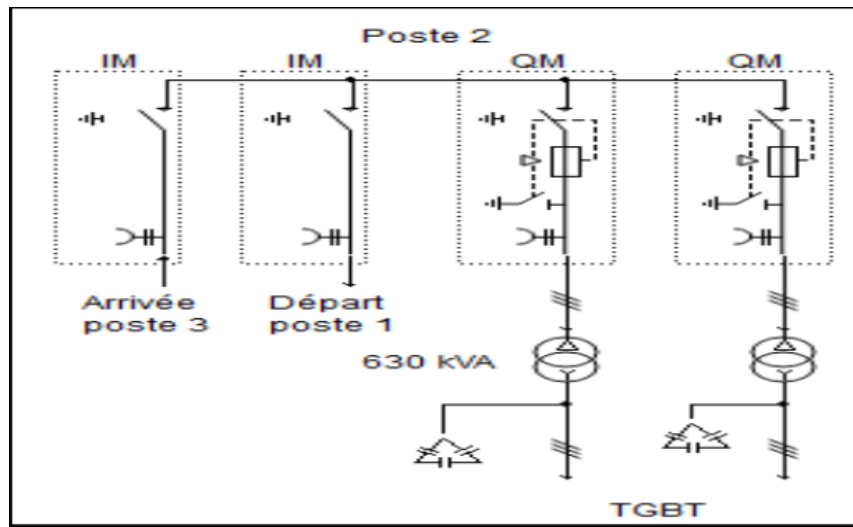


FIGURE 21 : SCHEMA UNIFILAIRE DU POSTE2

La surface d'installation :

En entrant la puissance consommée par le poste2 (**32,90 kWc**) et qui est la puissance globale du champ, on obtient les résultats suivantes à l'aide du logiciel PVsyst :

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV <small>Original PVsyst database</small>	Si-mono	Modèle	SR-150		
		Fabricant	Taizhou SoPray		
Nombre de modules PV		En série	17 modules	En parallèle	13 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	221	Puissance unitaire	150 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	33.1 kWc	Aux cond. de fonct.	29.42 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	505 V	I mpp	58 A
Surface totale		Surface modules	282 m²		

Onduleur

<small>Original PVsyst database</small>		Modèle	Ingecon Sun 30		
		Fabricant	Ingeteam		
Caractéristiques		Tension de fonctionnement	405-750 V	Puissance unitaire	30.0 kWac
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	1 unités	Puissance totale	30 kWac

FIGURE 22 : CARACTERISTIQUES DU CHAMP DE CAPTEURS

A l'aide de google maps, on a estimé la surface du toit au-dessus du poste2 :

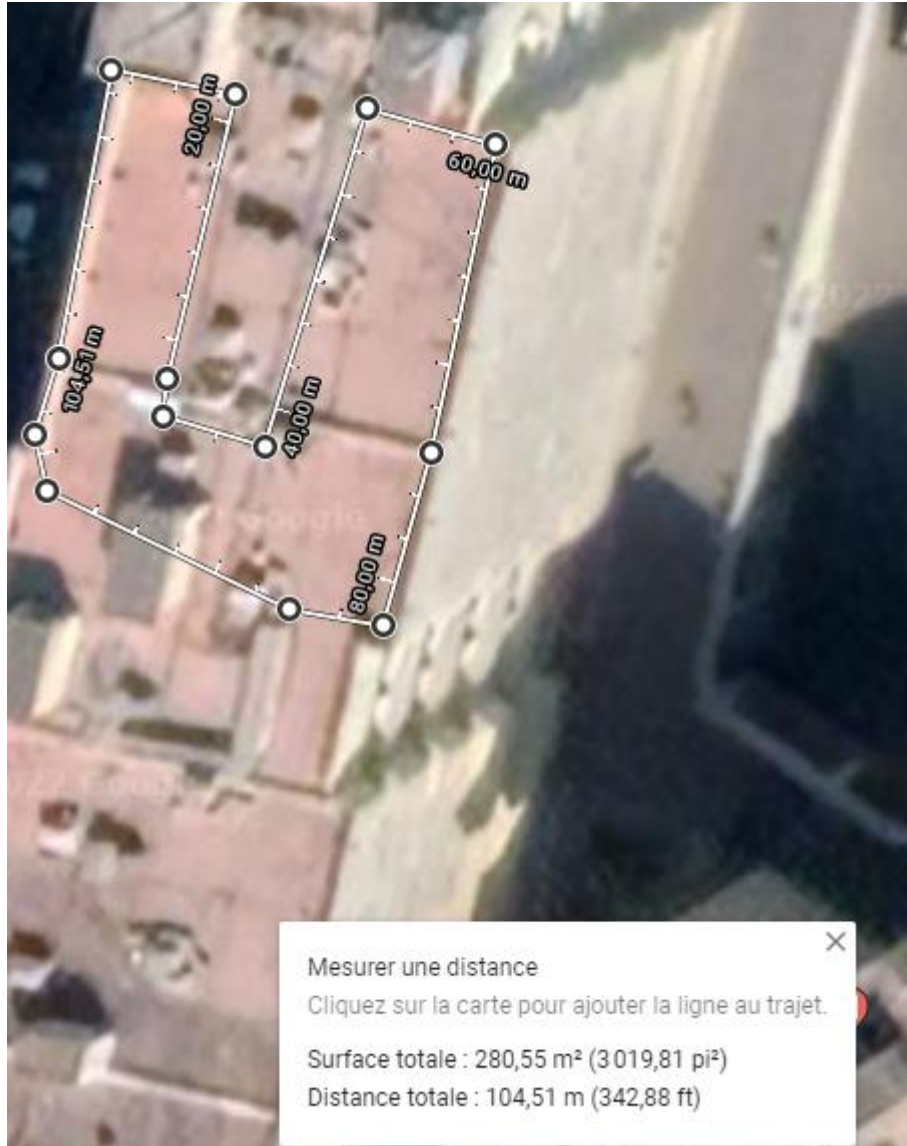


FIGURE 23 : SURFACE D'INSTALLATION PV DU POSTE 2

Pour une surface de 282m², on aura à installer :

- Un champ photovoltaïque de puissance égale à 33,1 kWc constitué de 221 modules de 150 Wc chacun, dont 17 modules en série pour 13 chaînes en parallèle.

- Un onduleur remplissant les caractéristiques suivantes : une tension de fonctionnement de 405/750 V, une puissance de 30 kWac.

3.3.3.3 Poste de transformation 3

Situé près des locaux techniques (bâtiment T), réservé pour alimenter la 2ème tranche (Oncologie, Médecine Nucléaire, Administration, Maison de vie, Internat).

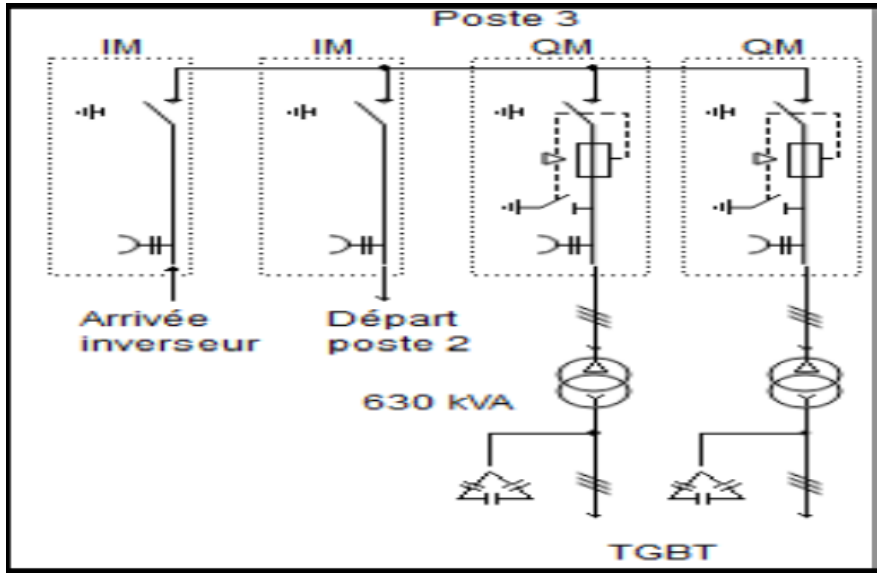


FIGURE 24 : SCHEMA UNIFILAIRE DU POSTE3

La surface d'installation :

En entrant la puissance consommée par le poste3 (**32,90 kWc**) et qui est la puissance globale du champ, on obtient les résultats suivantes à l'aide du logiciel PVsyst :

Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	Si-mono	Modèle	SR-150
<small>Original PVsyst database</small>		Fabricant	Taizhou SoPray
Nombre de modules PV		En série	17 modules
		En parallèle	13 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	221
		Puissance unitaire	150 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	33.1 kWc
		Aux cond. de fonct.	29.42 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	505 V
		I mpp	58 A
Surface totale		Surface modules	282 m²
Onduleur			
<small>Original PVsyst database</small>		Modèle	Ingecon Sun 30
		Fabricant	Ingeteam
Caractéristiques		Tension de fonctionnement	405-750 V
		Puissance unitaire	30.0 kWac
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	1 unités
		Puissance totale	30 kWac

FIGURE 25 : CARACTERISTIQUES DU CHAMP DE CAPTEURS

A l'aide de google maps, on a estimé la surface du toit au-dessus du poste3 :



FIGURE 26 : SURFACE D'INSTALLATION PV DU POSTE3

Pour une surface de 282m², on aura à installer :

- Un champ photovoltaïque de puissance égale à 33,1 kWc constitué de 221 modules de 150 Wc chacun, dont 17 modules en série pour 13 chaînes en parallèle.
- Un onduleur remplissant les caractéristiques suivantes : une tension de fonctionnement de 405/750 V, une puissance de 30 kWac.

3.3.3.4 Poste de transformation 4

Situé à côté des locaux techniques (bâtiment T), il est destiné pour l'alimentation de toutes les installations techniques.

On voit ci-dessous le schéma unifilaire du poste 4 :

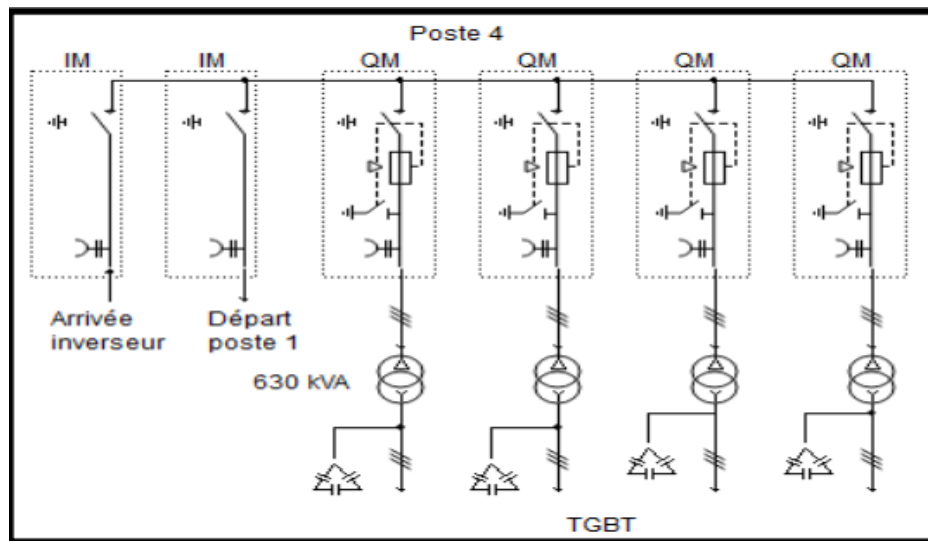


FIGURE 27 : SCHEMA UNIFILAIRE DU POSTE4

La surface d'installation :

En entrant la puissance consommée par le poste4 (**65,81 kWc**) et qui est la puissance globale du champ, on obtient les résultats suivants à l'aide du logiciel PVsyst :

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV <small>Original PVsyst database</small>	Si-mono	Modèle	SR-150		
		Fabricant	Taizhou SoPray		
Nombre de modules PV		En série	17 modules	En parallèle	26 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	442	Puissance unitaire	150 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	66.3 kWc	Aux cond. de fonct.	58.8 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	505 V	I mpp	117 A
Surface totale		Surface modules	564 m²		

Onduleur

<small>Original PVsyst database</small>		Modèle	Ingecon Sun 60		
		Fabricant	Ingeteam		
Caractéristiques		Tension de fonctionnement	405-750 V	Puissance unitaire	60 kWac
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	1 unités	Puissance totale	60 kWac

FIGURE 28 : CARACTERISTIQUES DU CHAMP DE CAPTEURS

A l'aide de google maps, on a estimé la surface du toit au-dessus du poste4 :



FIGURE 29 : SURFACES D'INSTALLATION PV DU POSTE4

Pour une surface de 564m², on aura à installer :

- Un champ photovoltaïque de puissance égale à 66,3 kWc constitué de 442 modules de 150 Wc chacun, dont 17 modules en série pour 26 chaînes en parallèle.
- Un onduleur remplissant les caractéristiques suivantes : une tension de fonctionnement de 405/750 V, une puissance de 60 kWac.

3.3.4 Rentabilité économique

Une des principales motivations à l'achat de panneaux solaires est **l'économie d'énergie** (ainsi que la volonté de gagner en indépendance vis-à-vis du réseau national, tout en optant pour une électricité renouvelable). **L'étude de la rentabilité** est donc incontournable aux yeux des potentiels acheteurs, plus que l'aspect esthétique ou le fabriquant.

Le résultat du dimensionnement peut être résumé de la façon suivante :

- Puissance totale de l'installation PV : 181 kWc
- Nombre de modules : 1220 modules de 150 Wc
- 4 Onduleurs avec une puissance nominale de 60 kW et une puissance PV maximale de 181 kW

Temps de retour simple :

Le temps de retour représente la période de temps nécessaire pour rembourser le coût de l'investissement, pour récupérer en cash-flows l'investissement initial d'un projet

Pour notre cas , on trouve :

$$\text{TRS} = \text{INV} \times \text{Gain}$$

$$\text{INV} = (\text{Prix panneau} \times \text{nombre de panneaux}) + \text{Prix de l'onduleur} + \text{Prix de l'installation}$$

$$\text{Gain} = E_{\text{Grid}} \times \text{Prix H.N}$$

$$E_{\text{Grid}} = \sum_0^4 E_{\text{Grid}} \text{ (de chaque transformateur)}$$

Gain :

Tableau 9 : Tableau récapitulatif du gain

Mois	E_Grid(kWh)					Gain (DH)
	E_Grid1(kWh)	E_Grid2(kWh)	E_Grid3(kWh)	E_Grid4(kWh)	Total(kWh)	
janvier	6747	4104	4104	8890	23845	21127,8623
février	5947	3623	3623	7840	21033	18636,2897
mars	7965	4852	4852	10500	28169	24959,1425
avril	7740	4719	4719	10210	27388	24267,1374
mai	7684	4692	4692	10140	27208	24107,6484
juin	7806	4762	4762	10300	27630	24481,5615
juillet	8218	5012	5012	10840	29082	25768,1061
août	8261	5035	5035	10890	29221	25891,2671
septembre	7498	4568	4568	9890	26524	23501,5902
octobre	7421	4516	4516	9780	26233	23243,7497
novembre	6617	4028	4028	8720	23393	20727,3677
décembre	6483	3945	3945	8540	22913	20302,0637
					Total gain	277013,786

Le tableau suivant présente l'investissement du projet en détail :

TABLEAU 10 : INVESTISSEMENT DU PROJET

Description	Prix unité(Dhs)	nombre	Prix total
Onduleur triphasée PV 60 KW	80 000	4	240 000
Panneau photovoltaïque 150 Wc	1080	1220	1 317 600
Accessoires	25000	1	25 000
Prix d'installation	45000	1	45000
Total	-	-	1 627 600

Le temps de retour sur investissement simple (TRS) est :

$$TRS = \frac{INV}{Gain}$$

On obtient un Gain de 277 013,7 Dhs

Il nous faut comme investissement INV= 1 627 600 Dhs

Donc

TRS= 5 ans et 10 mois

3.4 Procédures et coûts de raccordement et d'accès au réseau :

Toute installation photovoltaïque qu'elle soit en autoconsommation totale ou partielle, doit être obligatoirement déclarée au gestionnaire de réseau.

La question des coûts de raccordement a également un impact non négligeable sur le choix du mode d'injection de l'installation (sans injection ou injection partielle). Les coûts de raccordement sont constitués :

❖ Des coûts de branchement :

Ces derniers dépendent des modifications éventuelles à effectuer au niveau du branchement de consommation existant (modification si puissance d'injection supérieure à la puissance de soutirage, passage d'un branchement monophasé à un branchement triphasé, adaptation du point de livraison avec cellule supplémentaire HTA pour la protection de découplage externe même s'il n'y a pas d'injection, etc.). Les changements de compteur pour la pose de compteurs comptant dans les deux sens ne sont en principe pas facturés. Ainsi, sans modification de branchement, les frais sont nuls

❖ Des coûts d'extension :

Ces derniers dépendent de la puissance d'injection et de la capacité d'accueil du réseau. Dans le cas où il n'y a pas d'injection, ces frais sont nuls.

4 Conclusion générale

Dans le but de diminuer le coût des factures et de production d'énergie électrique par voie photovoltaïque, plusieurs études et travaux sont menés autour du dimensionnement des systèmes PV. Dans notre travail, l'étude qu'on a réalisée était dirigée dans ce sens.

Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur l'énergie solaire et ses caractéristiques, l'énergie photovoltaïque ainsi que les différents types de systèmes photovoltaïques existants. La définition et le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque, son rendement, les différents types de cellules disponibles.

Dans un deuxième temps, nous avons abordé l'analyse du profil de consommation annuelle de l'énergie électrique de facture de type moyenne tension général, de définir quelques notions de base dans la facture.

Dans un troisième temps, nous avons fait une étude pour dimensionner une installation photovoltaïque connectée au réseau située dans le CHU de Fès. Nous avons détaillé la méthode du dimensionnement du système PV, et par la suite on a vu comment utiliser cette installation pour réduire les factures d'électricité du CHU de Fès en calculant la rentabilité économique.

5 Bibliographie

1. « L'optimisation de la consommation d'énergie électrique au sein du centre hospitalier universitaire hassan2 Fès » Dchiyech Asmae, 2015.
2. «Énergie photovoltaïque et l'optimisation des factures d'électricités au sein de la FST Fès» Et-taleby Abdelilah Touali Amine,2017.
3. <http://www.photovoltaique.info/Raccorde-au-reseau-photovoltaique.html>
4. «Énergie d'une Installation Photovoltaïque» Abdelhakim Eljaouhari, Saad Riadi et Mostafa Youftan
5. Les factures d'électricité du CHU Fès

6 Webographie

1. Site web officiel de l'ONEE - Branche Electricité
2. Onduleur solaire On-grid | CP TECH MAROC
3. Panneaux Solaires | les meilleurs Prix et Qualité au Maroc | Mister_Elec – MrElec.ma
4. Grid connected design PVsyst; Grid connected design PVsyst - YouTube
5. L'autoconsommation solaire | TotalEnergies Solar