

L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR UNE AUTOCONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES MOSQUÉES DE CONSTANTINE

الطاقة الشمسية الفولطاضوية من أجل الاستهلاك الذاتي للطاقة في مساجد قسنطينة

SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY FOR ENERGY SELF-CONSUMPTION OF CONSTANTINE MOSQUES

DJEGHRI ; Billel*¹

Date :31/12/2019 - Date d'acceptation : 30/04/2020 - Date d'édition : 20/06/2021

ملخص: تهدف هذه الدراسة إلى تحديد عدد المنشآت الشمسية بقدرة 3 كيلوواط-ذروة وسعر 800.000 دج لكل منها اللازمة لتحقيق الاكتفاء الذاتي من الكهرباء لجميع مساجد ولاية قسنطينة، ثم تقدير الوفورات المالية الناتجة عن هذا الاكتفاء الذاتي. لتحقيق الهدف المنشود، تم اعتماد نهج المحاكاة في بيئة تتطور ديناميكياً وفقاً لتفاعلات العناصر التي تتكون منها (ضوء الشمس، درجة الحرارة، إلخ). كشفت الدراسة أن حوالي 1500 من هذه المنشآت لازمة لتحقيق الاكتفاء الذاتي من الكهرباء لجميع المساجد في ولاية قسنطينة، وتسمح بتحقيق عائد على الاستثمار إيجابي ومكاسب سنوية للخزينة العامة قدرها 22.722.000 دج مع إعادة تشكيل رأس المال المستثمر في شرائها خلال 15 عامًا للسعر الحقيقي للكهرباء المقدر ب 12 دج/كيلوواط.

الكلمات المفتاحية : مساجد؛ قسنطينة؛ طاقة شمسية؛ وفورات.

Abstract: This study aims to determine the number of photovoltaic installations with a capacity of 3 kWp and a price of 800.000 DA each necessary to achieve the self-sufficiency in electricity of all the mosques of the Wilaya of Constantine, then to estimate the savings made in self-consumption. To achieve the expected objective, a simulation approach was adopted in an environment that evolves dynamically according to the interactions of the elements that make it up (sunshine, temperature, etc.). The study revealed that around 1500 of these installations were needed to achieve self-sufficiency in electricity for all the mosques in the Constantine Wilaya and allowed a positive return on investment and annual gains for the State Treasury of 22.722.000 DA with a reconstitution of the capital committed for their purchase in 15 years for a real price of electricity of 12DA/KW.

Keywords: mosques; Constantine; solar energy; savings.

Résumé : Cette étude vise à déterminer le nombre d'installations photovoltaïques d'une puissance de 3 kWc et d'un prix de 800.000 DA chacune nécessaire pour atteindre l'autosuffisance en électricité de l'ensemble des mosquées de la Wilaya de Constantine, puis à estimer les économies réalisées en autoconsommation. Pour atteindre l'objectif escompté, une démarche de simulation a été adoptée dans un environnement qui évolue de manière dynamique selon les interactions des éléments qui le composent (ensoleillement, température, etc.). L'étude a révélé qu'environ 1500 de ces installations étaient nécessaires pour atteindre l'autosuffisance en électricité de l'ensemble des mosquées de la Wilaya de Constantine et permettaient un retour sur investissement positif et des gains annuels pour le Trésor public de 22.722.000 DA avec une reconstitution du capital engagé pour leur achat en 15 ans au prix réel de l'électricité de 12DA/KW.

Mots clés : mosquées; Constantine; énergie solaire; économies.

* Auteur correspondant.

¹ بلال جفري، University of Constantine 2 Abdelhamid Mehri.,Algeria, billel.djehri@univ-constantine2.dz.

Introduction :

La consommation d'électricité de l'ensemble des mosquées de toutes les communes de la Wilaya de Constantine suffirait à alimenter en électricité une ville moyenne (Sonelgaz, 2018), sachant que le seuil de population fréquemment retenu selon le critère démographique pour désigner une ville moyenne est de 20.000 à 200.000 habitants (GAZEL, 2014, 3).

Cette utilisation abusive de l'électricité à travers ces mosquées a fait réagir la société de distribution de l'électricité et du gaz de l'Est (SDE) de la même Wilaya qui a mis en exergue la nécessité de prendre des mesures draconiennes et urgentes pour faire face à cette situation.

Pour pallier ce phénomène et trouver des solutions, la SDE a conjugué ses efforts avec la Direction des affaires religieuses étant donné que les 418 mosquées que compte la Wilaya de Constantine se trouvent sur le banc des accusés en raison de leur consommation disproportionnée d'électricité et de leurs créances cumulées depuis 2015 qui s'élèvent à plus de 189,3 milliards de dinars (SDE, 2018).

L'utilisation d'un dispositif caractérisé par une haute efficacité énergétique active, à l'instar des installations photovoltaïques qui captent les rayons du soleil et les transforment en électricité, pourrait permettre de faire face à cette consommation démesurée d'électricité dans ces édifices énergivores que sont les mosquées de la Wilaya et garantir une performance énergétique réelle et durable qui assure la sécurité de l'approvisionnement en électricité. Ceci qui nous amène à poser les questions suivantes :

Combien produit d'électricité une installation photovoltaïque de 3 kWc dans la Wilaya de Constantine ? Combien en faut-il pour alimenter en électricité l'ensemble des mosquées de la Wilaya de Constantine ? Combien de temps faut-il pour reconstituer le capital engagé pour leur achat ? Quels sont les gains annuels qui peuvent en être dégagés ?

Importance de l'étude

La consommation d'électricité du foyer Algérien se situe en moyenne entre 1800 et 2000 KWh/an alors que la norme internationale ne dépasse pas les 250 KWh/an selon l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE, 2018), et l'électricité consommée est subventionnée à hauteur de 8 DA/KWh (Le différentiel entre le prix réel de 12 DA/KWh et le prix moyen à la consommation de 4 DA).

Pour ce qui est de la Wilaya de Constantine, la consommation de l'énergie électrique est de 74,77 GWh d'après la Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz (SDC, 2018, p3) dont 6,81 GWh représente la part des 418 mosquées que compte la Wilaya (Sonelgaz, 2018), soit 9,11% du total de la consommation d'électricité de l'ensemble des douze communes de la Wilaya de Constantine.

Ce simple tableau brossé par l'APRUE, par la Sonelgaz, par la SDE et par la SDC laisse transparaître toute l'importance de l'étude qui peut s'inscrire dans une réelle prise de conscience collective pour l'instauration d'une vraie culture de lutte contre le gaspillage d'électricité dans les mosquées à travers des mesures concrètes et pérennes, particulièrement en ces temps de crise où le gouvernement algérien tente de trouver des solutions aux difficultés économiques et financières considérables auxquelles il fait face.

Avec une production annuelle de 100 milliards de m³ de gaz naturel dont 22 milliards destinés à la production d'électricité pour les besoins internes (ARKAB, 2020), une autosuffisance en électricité augmenterait de 22% les exportations algériennes de gaz naturel, ce qui diminuerait considérablement la fragilité d'une économie algérienne à bout de souffle qui dépend presque exclusivement des hydrocarbures et dont les exportations reculent alors que la consommation nationale ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre menant le pays vers un véritable gouffre si aucune solution pérenne n'est envisagée.

Objectifs de l'étude

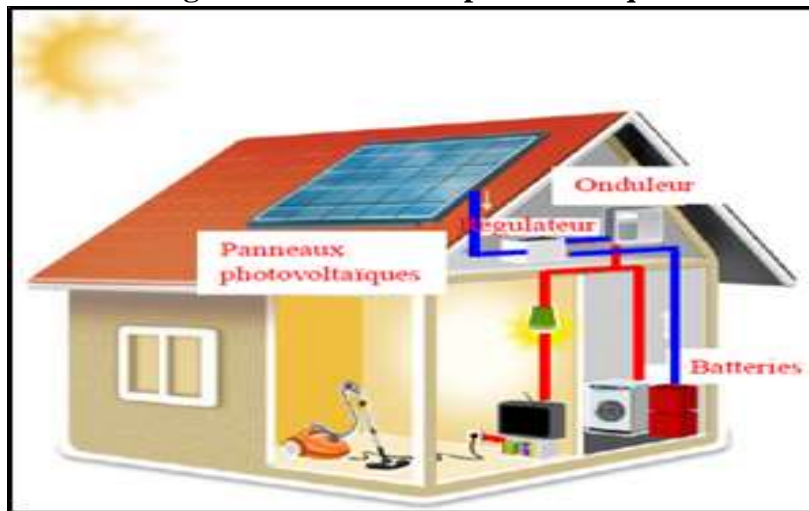
Cette étude vise à estimer la production électrique d'une installation photovoltaïque de 3 kWc selon des paramètres bien précis, aussi bien techniques que climatiques, relatifs à son lieu

d'implantation, à savoir la commune de Constantine (plus précisément la mosquée Émir Abdelkader choisi comme édifice de référence en raison de sa symbolique en relation avec l'étude) dans le but d'en connaître le nombre nécessaires à l'atteinte de l'autosuffisance électrique de l'ensemble des mosquées de la Wilaya de Constantine tout en estimant le temps nécessaire à la reconstitution du capital engagé pour leur achat et les gains annuels qui en résulteront.

1- Concepts de base

- Installation photovoltaïque (Académie Poitiers, 2010, p1) : ensemble d'éléments (panneaux photovoltaïque, batteries, onduleur, régulateur) dont le principe de fonctionnement consiste à convertir le rayonnement du soleil en électricité.
- Panneau voltaïque : dispositif composé de cellules photovoltaïques dont le nombre est généralement de 36. Ce dispositif n'apporte aucune nuisance à l'environnement (TRUCHET, 2018, 42).
- Cellule photovoltaïque : dispositif qui converti l'énergie solaire en électricité. Il constitue l'élément de base du panneau photovoltaïque.
- Le watt-heure (Wh) est la quantité d'électricité produite par une installation photovoltaïque, alors que le Watt-crête (Wc) est la puissance d'une installation photovoltaïque (HEURAUX, 2010, 384).

Figure -1- Installation photovoltaïque



Source : Académie Poitiers, 2010, p1.

2- Puissance d'une installation photovoltaïque

Une installation photovoltaïque atteint sa puissance maximale dans des conditions standards de laboratoire, c'est-à-dire seulement dans des conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement,...), mais pour une installation solaire plantée dans des conditions non-optimales, c'est-à-dire réelles, l'énergie produite sera nettement moindre et dépendra de nombreux facteurs, dont les principaux sont (DE PRUNELÉ *et autres*, 2004, 119):

- l'ensoleillement, autrement dit le rayonnement global au cours de la journée;
- la position dans laquelle se trouvent les panneaux de l'installation photovoltaïque (orientation et inclinaison);
- la température.

La production d'électricité d'une installation photovoltaïque dépend donc de l'ensoleillement et de la température, donc de sa localisation géographique, de la saison et de l'heure de la journée (Laconde, 2012). À cela on peut aussi ajouter la position dans laquelle les panneaux solaires sont installés (orientation, inclinaison).

En règle générale, pour calculer la production d'électricité d'une installation photovoltaïque, il est essentiel de passer par les étapes suivantes (Laconde, 2012) :

D'abord, il convient de calculer ce que l'on appelle le rayonnement global journalier ou encore l'irradiation journalière, c'est-à-dire la quantité d'énergie reçue quotidiennement du soleil dans la

région où l'on souhaite implanter l'installation solaire. Cette mesure est exprimée en Wh (Watheure) par mètre carré par jour ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{j}$). Il n'est possible de l'obtenir que grâce aux services météorologiques du pays ou grâce à un fournisseur de panneaux photovoltaïques qui travaille dans la région où l'on veut implanter l'installation. Elle est généralement fournie en moyenne mensuelle car l'ensoleillement varie en fonction des saisons.

Ensuite, il faut mesurer les pertes dues à l'orientation des panneaux photovoltaïques, car la production n'atteint son maximum que lorsque les rayons du soleil atteignent la surface des panneaux photovoltaïques de manière perpendiculaire (cela se produit à midi) et que l'angle d'incidence (l'angle qui se forme entre les rayons du soleil et la surface du panneau photovoltaïque) est de 90° . Au cours des autres moments de la journée, les rayons du soleil n'atteignent pas la surface des panneaux photovoltaïques de l'installation sous l'angle optimal, la production est alors dite approximative.

Et enfin, il est primordial de prendre en compte les pertes dues à la température, car la puissance-crête (toujours indiquée par le fabricant dans des conditions d'essai optimales) est donnée pour une température de 25° , or si la température réelle dépasse les 25° , les pertes seront de 0.4% par degrés pour les panneaux photovoltaïques de l'installation qui sont les plus couramment utilisés (les panneaux photovoltaïques cristallins). Il est important de mentionner que l'on parle de la température du panneau photovoltaïque et non de celle de l'air qui est en-deçà de celle des panneaux photovoltaïques de l'installation d'environ 10° .

3- Simulation de la production (Commune de Constantine)

Pour notre étude, nous utiliserons le logiciel "PVGIS" qui est un logiciel de simulation fourni par la commission de l'Union Européenne et qui intègre l'interface Google Maps qui intègre à son tour le relief, les collines et les montagnes pour proposer des cartes d'ensoleillement (irradiation en kWh/m^2) de haute définition et de températures d'une grande précision grâce auxquelles nous pourrions estimer la production d'une installation photovoltaïque dans la Wilaya de Constantine.

Les étapes de la simulation de production d'électricité dans la commune de Constantine sont les suivantes (PVGIS, 2019) :

3-1- Choix de l'emplacement de l'installation photovoltaïque

Il s'agit de naviguer sur la carte pour choisir le point exact où sera implantée l'installation solaire de l'étude.

Etant donné que les 418 mosquées réparties à travers les 12 communes de la Wilaya de Constantine profitent d'un ensoleillement et de températures plus ou moins proches, nous prendrons la "commune de Constantine" comme point d'implantation de l'installation photovoltaïque de l'étude.

3-2- Caractéristiques de l'installation photovoltaïque (PVGIS, 2019)

- Radiation database

Il s'agit de sélectionner la base de données de rayonnement solaire voulue. Cette base comprend toutes les données de rayonnement solaire des systèmes connectés au réseau en Europe, en Afrique, en Asie et en Amérique. Le logiciel de simulation propose quatre différentes bases de données de rayonnement solaire : PVGIS-CMSAF, PVGIS-SARA, PVGIS-ERA5, PVGIS-COSMO, mais elles mesurent toutes les Irradiations mensuelles (kWh/m^2) qui ne diffèrent pas d'une base de données à l'autre vu que ces dernières sont connectées au même réseau, c'est-à-dire que les données qu'elles contiennent sont identiques. Aussi, nous utiliserons pour notre étude la base de données "PVGIS-CMSAF".

- Technologie PV

Il s'agit de sélectionner le type de panneaux photovoltaïques voulus. Le logiciel de simulation offre trois choix: panneaux silicium cristallins, panneaux couche mince type CIS (sélénium de cuivre et d'indium), panneaux au tellure de Cadmium (CdTe). Notre choix s'est porté sur la technologie PV "Cristallin" qui domine la production photovoltaïque mondiale grâce à un meilleur rendement par faible ensoleillement et par forte température.

- Puissance PV crête installée kWp (kWc en français)

La puissance d'un panneau photovoltaïque est déclarée par le fabricant des panneaux photovoltaïques dans les conditions normales d'essai, à savoir un ensoleillement de 1000 W/m² et une température des panneaux de 25°.

Il existe différentes puissance d'installations photovoltaïques (1kWc, 3kWc, 6kWc, 9kWc, 36kWc, 100kWc, etc.) (GABRIELE, 2019). Une petite installation de particulier fait en général entre 1 et 3 kWc. Par conséquent, nous prendrons pour notre étude une installation photovoltaïque d'une puissance de 3 kWc (3 kWp en anglais).

- Pertes estimées du système [de 0 à 100%]

Il s'agit ici d'estimer les pertes dues à l'orientation des panneaux photovoltaïques de l'installation de l'étude et à la température de leurs surfaces comme il a été dit précédemment. Concrètement, cela consiste à mesurer l'écart qui existe entre la Puissance PV (la précédente étape) qui est calculée dans des conditions d'essai standards utilisées par les fabricants de panneaux photovoltaïques du monde entier (un ensoleillement de 1000 W/m² et une température des panneaux de 25°) et des conditions réelles.

Le logiciel de simulation de l'UE que nous utilisons pour les besoins de notre étude calcul les pertes en intégrant une base de données des températures réelles du site où l'installation photovoltaïque est implantée, en l'occurrence la commune de Constantine (la mosquée Émir Abdelkader).

- Options montage fixé, Position de montage

Il s'agit ici de choisir le type d'intégration (support) des panneaux photovoltaïques. Il y a deux options possibles : position libre ou intégrée au bâtiment. C'est cette dernière que nous sélectionnerons pour notre étude.

- Incl. [0 à 90°]

Il s'agit ici de choisir le degré d'inclinaison des panneaux photovoltaïques de l'installation de l'étude (de haut en bas et *vice versa*). Pour une inclinaison optimale, il est nécessaire de choisir la case "inclinaison optimale" afin de laisser le logiciel de simulation de l'UE que nous utilisons pour les besoins de l'étude calculer automatiquement le meilleur degré d'inclinaison en fonction de la latitude du lieu d'implantation.

- Azimut°

Il s'agit là de choisir l'angle des panneaux photovoltaïques de l'installation de l'étude par rapport à la direction sud (de droite à gauche et *vice versa*). Pour avoir la meilleure orientation, il est également nécessaire de choisir la case "orientation optimale" afin de laisser le logiciel de simulation calculer automatiquement la meilleure orientation en fonction de la latitude du lieu d'implantation des panneaux.

- Fichier de l'horizon

Il s'agit de joindre un fichier de données qui intègre les ombres proches relatives aux bâtiments qui se trouvent aux alentours de l'installation de l'étude. Partant du principe que l'installation photovoltaïque de notre étude surplombe les bâtiments aux alentours, elle n'est donc atteinte par aucune ombre d'un quelconque bâtiment environnant. Aussi, nous ne joindrons aucun fichier à notre simulation.

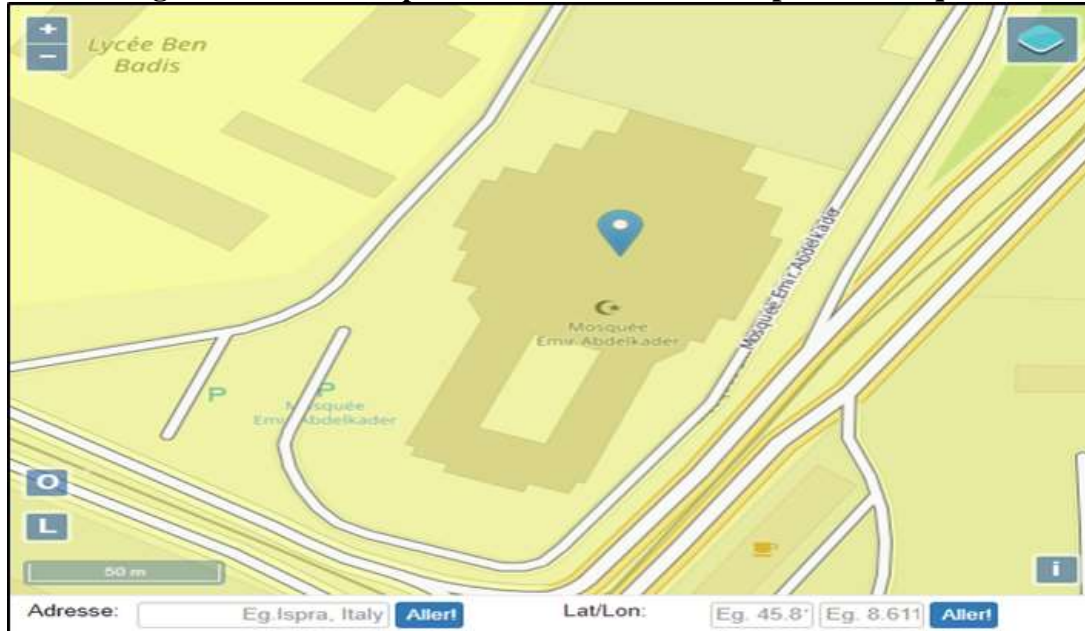
4- Résultats et discussion de la recherche

Le résultat du calcul de la production électrique de l'installation photovoltaïque de l'étude dans la commune de Constantine est la production moyenne mensuelle et annuelle du système PV (panneau photovoltaïque) obtenus en fonction des données que nous avons prédéfinies et que nous présentons ci-dessous :

Compte tenu de la faible superficie de la commune de Constantine, tous les édifices qui s'y trouvent profitent du même degré de rayonnement solaire pour peu qu'ils ne soient pas assombrés par l'ombre d'un édifice voisin ou d'un relief montagneux. Aussi, dans un souci d'optimisation de la production d'électricité, on aurait pu choisir n'importe quel édifice de la commune qui soit dégagé et qui bénéficie d'un espace suffisant pour l'implantation d'une installation photovoltaïque d'une puissance de 3 kWc.

La mosquée Émir Abdelkader a été choisie car elle répond à ces deux conditions, et non pas pour sa consommation d'électricité qui est la plus élevée de Constantine (TIR, 2018, 9). Le choix s'est porté sur elle uniquement pour sa haute valeur symbolique. N'importe qu'elle autre édifice qui répond aux deux conditions préalablement citées aurait pu servir à l'étude et donner les mêmes résultats.

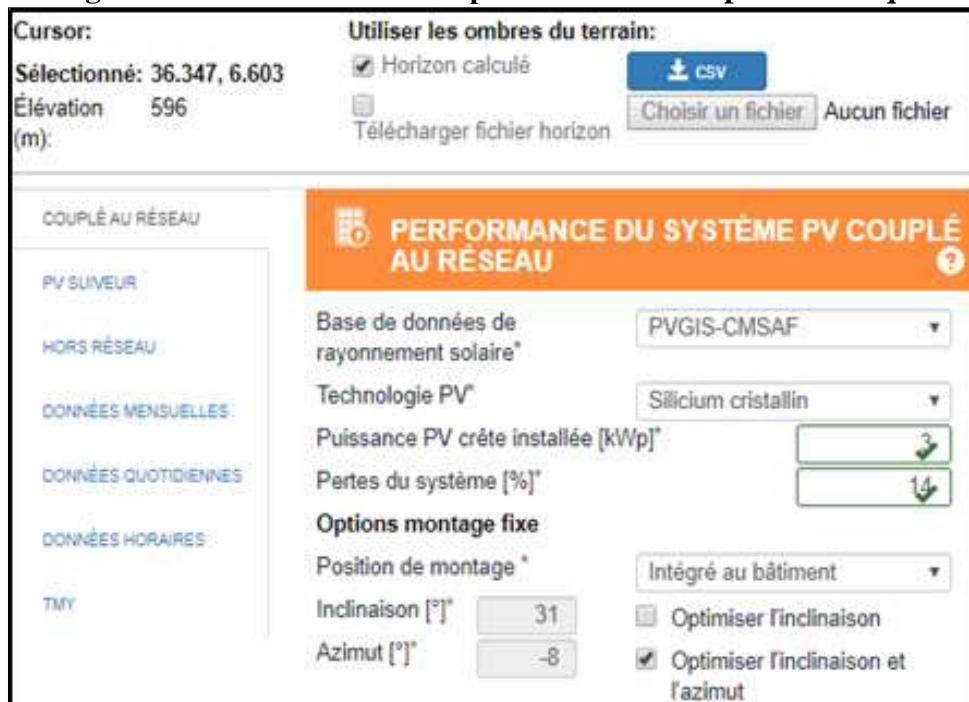
Figure -2- Lieu d'implantation de l'installation photovoltaïque



Source : logiciel de simulation PVGIS de UE qui intègre Google Maps, 2019.

Le résumé des paramètres que nous avons utilisé dans l'étude est présenté ci-dessous :

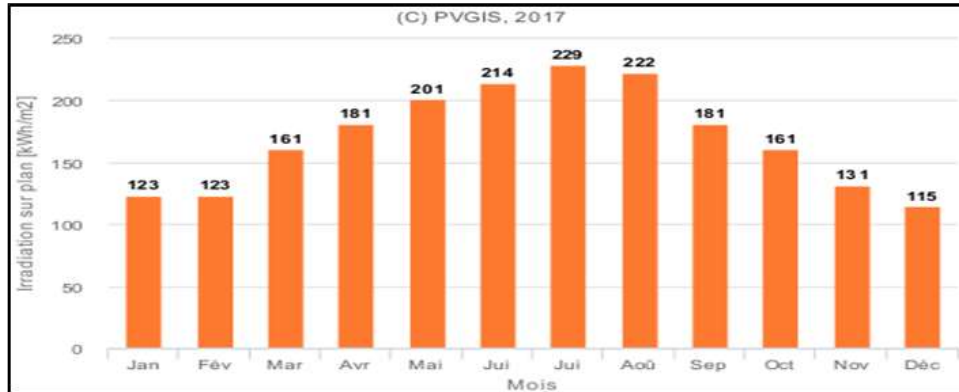
Figure -3- Paramètres utilisés pour l'installation photovoltaïque



Source : logiciel de simulation PVGIS de l'UE, 2019.

La base de données de rayonnement solaire que nous avons sélectionné (PVGIS-CMSAF) comprend toutes les données de rayonnement solaire (irradiation) des systèmes photovoltaïques connectés au réseau Afrique de l'année 2017. Les données que nous avons obtenues pour le lieu d'implantation de l'installation photovoltaïque (Mosquée Émir Abdelkader) sont les suivantes :

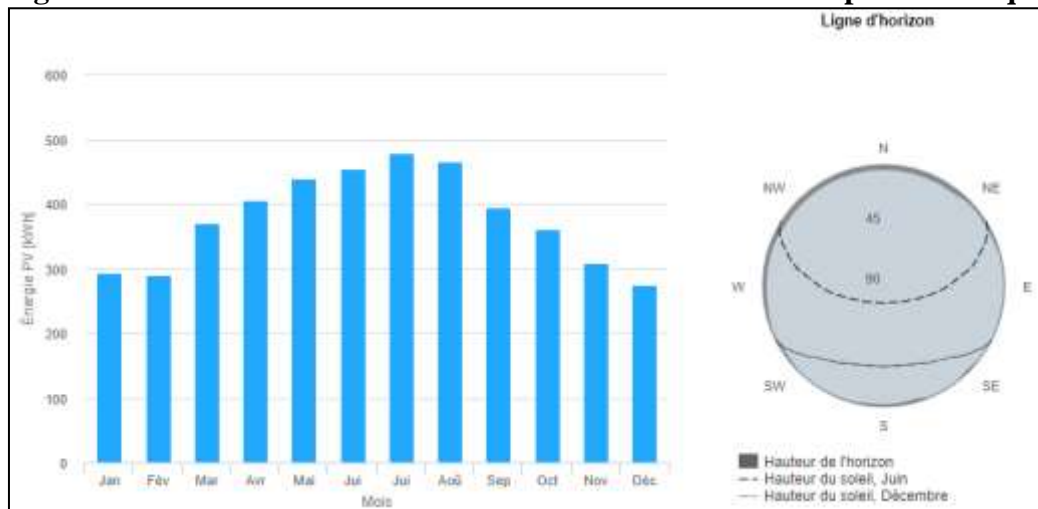
Figure -4- Irradiation mensuelle (kWh/m²) sur plan fixe



Source : logiciel de simulation PVGIS de l'UE, 2019.

Ces données de rayonnement solaire mensuelles correspondent à la production d'électricité kWh/mois suivante :

Figure -5- Production d'électricité mensuelle de l'installation photovoltaïque



Source : logiciel de simulation PVGIS de l'UE, 2019.

Pour une meilleure visibilité, ces résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau -1- Production (kWh) d'électricité mensuelle de l'installation photovoltaïque

Mois	Jan.	fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.
Production	294	289	370	405	440	455
Mois	Jui.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Production	478	465	394	360	308	275

Source : fait par le chercheur d'après le logiciel de simulation de l'UE

Ce tableau nous permet de présenter un résumé des résultats finals obtenus:

Tableau -2- Résultats finals de la simulation

Entrées fournies:	
Emplacement [Lat/Lon]:	36.347, 6.603
Horizon:	Calculé
Base de données:	PVGIS-CMSAF
Technologie PV:	Silicium cristallin
PV installée [kWp]:	3
Pertes du système [%]:	14
Résultats de la simulation:	
Angle d'inclinaison [°]:	31 (opt)
Angle d'azimut [°]:	-8 (opt)
Production annuelle PV [kWh]:	4530
Irradiation annuelle [kWh/m ²]:	2040
Variabilité interannuelle [kWh]:	161.00
Changements de la production à cause de:	
Angle d'incidence [%]:	-2.7
Effets spectraux [%]:	0.7
Température et irradiance faible [%]:	-12.1
Pertes totales [%]:	-26

Source : logiciel de simulation PVGIS de l'UE, 2019.

Notre étude a montré qu'une petite installation photovoltaïque de type "Silicium cristallin" d'une puissance de 3 kWc avec des pertes totales de système de 26% (pertes enregistrées par rapport à la production indiquée par le fabricant calculée sur la base d'un ensoleillement de 1000 W/m² et une température de panneau de 25°) et intégrée au bâtiment (mosquée Émir Abdelkader) avec un angle d'inclinaison de 31 et un angle d'orientation de -8, produisait 4530kWh/an.

En somme, pour satisfaire la demande en électricité de l'ensemble des 418 mosquées que compte la Wilaya de Constantine qui ne consomment pas moins de 6,81 GWh/an, sachant qu'un GWh est égal à un million kWh, il faudrait implanter un peu plus de 1500 installations photovoltaïques semblables à celle de notre étude ($6,81\text{GWh} \times 1000.000 \div 4530\text{kWh}$) sachant qu'une seule d'entre elles nécessite 24 m² de surface dans la mesure où 1 kWc requiert 8m² (HARRIS, 2017,144).

Prix de l'installation photovoltaïque :

Le secteur photovoltaïque évolue de manière très importante ces dernières années soulevant des enjeux techniques et économiques (BOXENBAUM *et autres*, 2013, 51). Le prix d'achat des installations photovoltaïques baisse d'une année à l'autre, il a baissé de plus de 80% sur les 10 précédentes années tandis que la durée de vie moyenne de ces installations croît. Leur rendement est désormais garanti sur 25 ans, mais il n'est pas rare qu'elles produisent sur plus de 30 ans. Les installations coûtaient auparavant jusqu'à 1.500.000 DA, aujourd'hui leurs coûts ont baissé à 800.000, voire 600.000 DA (Mansouri, 2019).

Puissance de l'installation photovoltaïque :

La puissance de l'installation photovoltaïque de l'étude est de 3 kWc. Le calcul de son coût en électricité inclut une prestation clé en main, c'est-à-dire qu'une fois implantée, elle est immédiatement utilisée et sa consommation facturée.

Ensoleillement :

Les mosquée de la Wilaya de Constantine bénéficient pour la plupart d'entre elles d'espaces dégagés pouvant servir de lieu d'implantation d'installations photovoltaïques, aussi bien sur le sol

que sur les édifice eux-mêmes, ce qui leur confèrent une grande exposition au soleil sans ombrage et une irradiation annuelle très conséquente de 2040 kWh/m²).

Rendement de l'installation photovoltaïque :

Sur la base des critères que nous avons prédéfini (lieu d'implantation, puissance de l'installation, ensoleillement, etc.), le rendement de l'installation photovoltaïque de l'étude était de 4530 kWh/an.

Retour sur investissement :

Le prix de l'électricité est progressif selon les tranches de consommation (tranche 1: 0-125 KWh/trimestre 1,7787 DA. Tranche 2: 125-250 KWh/trimestre 4,1789 DA. Tranche 3: 250-1000 KWh/trimestre 4,8120 DA. Tranche 4: >1000 KWh/trimestre 5,4796 DA) (CREG, 2019), mais nous baserons notre calcul sur le prix réel sans subventionnement de l'Etat (l'objectif de l'étude étant de réduire les dépenses du Trésor public) qui est de 12 DA/KWh.

Avant d'entamer la partie suivante, il est important de mentionner que cette étude vise à donner des résultats à titre indicatif aussi proche que possible de la réalité, et qui permettent d'éclairer un tant soit peu la prise de décision des dirigeants, de frapper les esprits des citoyens, de faire prendre conscience, d'inciter à agir, de baliser des pistes de recherche et d'ouvrir de nouveaux horizons, mais ne prétend nullement donner des résultats d'une extrême précision qui relèvent plus du travail d'un ministère doté de statistiques très précises et de moyens suffisants ou d'un bureau d'étude spécialisé et composé d'une équipe pluridisciplinaire.

Chaque installation photovoltaïque de l'étude qui produit 4530 kWh/an permettra de réaliser des gains annuels pour le Trésor public de plus de 54.000 DA (4530kWh x 12DA), ce qui n'est pas négligeable pour une petite installation de ce genre, surtout sachant que pour les 418 mosquées que compte la Wilaya de Constantine, les gains annuels pour le trésor public s'élèveront à plus de 22.722.000 DA (4530kWh x 12DA x 418). Son amortissement interviendra après presque 15 ans d'utilisation (800.000DA÷54.360DA). Après amortissement, les économies en autoconsommation représenteront des bénéfices purs pour le Trésor public.

Au-delà du coût d'investissement initiale d'une installation photovoltaïque, les frais annuels moyens d'une installation photovoltaïque sont passés sous la barre des 20 €/kWc (Commission de régulation de l'énergie, 2019, p2) c'est-à-dire qu'une installation d'une puissance de 3 kWc semblable à celle de l'étude coûte en frais annuels 60 € tout au plus (1 € = 138,14 DA le 27 mars à 9:58 PM UTC), cependant elle coûte beaucoup moins en Algérie car ces 60 € inclus les taxes, or les installations photovoltaïques ne sont pas imposables en Algérie. Toutefois, la donnée relative aux frais annuels moyens d'une installation photovoltaïque ne sera pas prise en compte dans l'étude car le temps d'amortissement est calculé sur la base du prix actuel du kWh, seulement en tenant compte d'une hausse moyenne du prix de l'électricité de seulement 1% par an, la durée de retour sur investissement serait inférieure à 15 ans même en incluant les frais annuels moyens de fonctionnement. L'évolution du prix de l'électricité en Algérie étant impossible à prévoir, cette variable n'a pas aussi été prise en compte dans l'étude qui s'est basée sur le prix actuel réel de 12 DA/KW. L'augmentation annuelle moyenne du coût de l'électricité couvre les frais annuels moyens d'une installation photovoltaïque.

Par conséquent, les résultats de la présente étude peuvent être généralisés pour les établissements étatiques (la mosquée en est un), à travers lesquels le Trésor public peut réaliser d'importantes économies, mais ne sont en aucun cas valables pour les particuliers qui sont assujettis à une tarification évolutive (par tranches) avec une moyenne de 4 DA/KW. Aussi, il est plus intéressant pour un particulier "rationnel" de continuer à bénéficier des subventions de l'Etat au lieu d'investir dans une installation photovoltaïque qui ne sera amortie qu'après plusieurs dizaines d'années pour une installation semblable à celle de l'étude : (4530 kWh/an x 4DA = 18.120DA gains/an), donc des gains pour une installation de 800.000 DA qui ne se réaliseront qu'après plus de 44 ans d'utilisation (800.000DA ÷ 18.120DA), sachant que ces installation ont une durée de vie de 30 ans tout au plus.

Conclusion :

L'objet de cette étude était d'estimer la production électrique d'une installation photovoltaïque de 3 kWc implantée dans la commune de Constantine afin d'en connaître le nombre nécessaire à la satisfaction de la consommation interne en électricité de l'ensemble des mosquées de la Wilaya tout en calculant les gains annuels qui peuvent s'en dégager.

L'étude a établi qu'une petite installation photovoltaïque de 3 kWc, implantée dans la commune de Constantine, produisait 4530kWh/an et que pas moins de 1500 d'entre elles étaient nécessaires à l'atteinte de l'autosuffisance en électricité de l'ensemble des mosquées de la Wilaya de Constantine tout en réalisant des économies en autoconsommation pour le Trésor public de plus de 22.722.000 DA/an avec une reconstitution du capital engagé pour leur achat en 15 ans au prix réel de l'électricité de 12 DA/KWh.

Par ailleurs, pour un particulier, user de la même installation photovoltaïque jusqu'à la reconstitution du capital engagé pour son achat est impossible en raison, d'une part, du bas prix de l'électricité subventionné par l'Etat qui est en moyenne de 4 DA/KWh (Le différentiel avec le prix réel est supporté par le Trésor public), et d'autre part, de la durée de vie des installations photovoltaïques qui n'excède guère les 30 ans pour les meilleures d'entre elles.

Au regard de ces résultats, les recommandations et suggestions suivantes peuvent être formulées :

- Equiper les mosquées d'installations photovoltaïques d'une puissance correspondante à leurs besoins en électricité.

- S'inspirer des expériences internationales à l'instar de celle d'EDF France qui s'engage à acheter l'excédent d'électricité produit par les détenteurs d'installations photovoltaïques, puis à l'injecter sur le réseau public d'électricité, d'autant plus que cette opération techniquement très faisable est à la portée de la Sonelgaz et constitue une mesure majeure de motivation pour l'achat d'installations photovoltaïques.

- Prendre des mesures concrètes pour rationaliser la consommation d'électricité dans les mosquées non-équipées d'installations photovoltaïques par l'utilisation modérée de la climatisation, le respect des normes de réglage des appareils fonctionnant à l'électricité, l'utilisation de lustres avec un nombre d'ampoules aussi restreint que possible, l'utilisation d'ampoules à basse consommation d'énergie, etc.

- En raison du rôle important des imams dans la société, il est important de les sensibiliser au non-gaspillage de l'électricité et aux économies d'énergie, puis de solliciter leur aide en les impliquant dans la sensibilisation des citoyens sur la rationalisation de l'utilisation de l'électricité, partant de la morale religieuse qui «interdit tout gaspillage et tout excès».

- Prendre des mesures d'appui à la création d'investissement en matière de production d'installations photovoltaïques (renforcement du système de financement bancaire, avantages fiscaux, etc.) et instaurer des mécanismes incitatifs à l'achat d'installations photovoltaïques (aide au financement, formules spéciales pour installations en zones spécifiques comme le Sahara, assurance avantageuse, assistance techniques pour l'installation et la maintenance, etc.).

- Rendre les installations photovoltaïques attractives et rentables en vendant l'électricité à son prix réel, ou du moins augmenter son prix de manière significative dans le cadre d'une révision du système de subvention (ciblage minutieux des subventions dans le secteur de l'énergie) et du système de la tarification de l'électricité.

- Lever le monopole d'Etat sur le marché de l'électricité ce qui permettrait de répondre à la demande croissante d'électricité sur le marché algérien, mais aurait un effet haussier sur le prix de l'électricité.

Bibliographie :

- Académie Poitiers (2010), *L'énergie solaire photovoltaïque*, Ed Quali'Pv, France, pp. 1-7.
- Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE).
- ARKAB, Mohamed (2020), *Interview dans l'émission "Dialogue économique" du 18 mars 2020*, ENTV 1, Algérie.
- BOXENBAUM, Eva, BRICE, Laurent, LACOSTE, Annalivia (2013), *Nouvelles énergies pour la ville du futur*, Ed Presses des Mines, France, p51.
- Commission de régulation de l'énergie (2019), *Coûts et rentabilités du grand photovoltaïque en métropole continentale*, France, p2
- DE PRUNELÉ, Diane, GROGNET, Jean-Marc, GUET, Claude, KERBOUL, Claire (2004), *Calculer l'énergie électrique produite*, Clefs CEA: revue scientifique et technique du Commissariat à l'énergie atomique, France, Le soleil et la terre - N° 49, p119.
- GABRIELE, Florian (2019), *Panneau Solaire Photovoltaïque*, France. Consulté le (08/11/2019) sur :
<https://www.insunwetrust.solar/blog/le-solaire-et-vous/prix-panneaux-photovoltaïques/>
- GAZEL, Hervé (2014), *La continuité village-ville globale : les villes petites et moyennes comme état durable ou transitoire dans le système de peuplement du monde*, MCF - UMR EVS-CRGA - Université Jean Moulin Lyon 3, France, p3.
- HARRIS, Douglas (2017), *A Guide to Energy Management in Buildings*, Ed Routledge, Grande-Bretagne, p144.
- HEURAU, Christine (2010), *L'électricité au cœur des défis africains*, Ed Karthala, France, p384.
- JANQUERT, Elodie (2019), *Retour Sur Investissement (ROI) : Définition, Formule Et Illustrations*, France. Consulté le (19/11/2019) sur :
<https://www.leblogdudirigeant.com/le-retour-sur-investissement-definition-formule-et-illustrations-concretes/>
- LACONDE, Thibault (2012), *Calculer la production réelle d'un panneau solaire*, France. Consulté le (13/11/2019) sur :
<http://energie-developpement.blogspot.com/2012/01/production-solaire-photovoltaïque.html>
- MANSOURI, Nabil (2019), *Algérie: les fabricants de panneaux solaires prospèrent grâce aux zones enclavées*, Journal Maghreb Emergent, Algérie. Consulté le (09/11/2019) sur :
<https://maghrebemergent.info/algerie-les-fabricants-des-panneaux-solaires-prosperent-grace-aux-zones-enclavees/>
- Ministère de l'énergie, commission de régulation de l'électricité et du gaz CREG (2018), Algérie.
- PVGIS (2019), *Photovoltaic Geographical Information System*, France. Consulté le (11/11/2019) sur :
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/tools.html
- PVGIS (2019), *simulation production photovoltaïque en Europe, en Afrique, Amérique et Asie*, France. Consulté le (11/11/2019) sur :
<https://photovoltaïque-energie.fr/87-logiciels-photovoltaïques/94-pvgis.html>
- Société Algérienne de Distribution de l'Électricité et du Gaz SDC (2018), *Présentation du modèle de consommation énergétique au niveau des communes*, Algérie, p3.
- Sonelgaz, 2018-2019.
- TIR, Ithem (2018), *L'exorbitante facture des mosquées de Constantine*, Journal le Soir d'Algérie du 31/05/2018, Algérie, p9. Consulté le (28/10/2019) sur :
<https://www.lesoirdalgerie.com/pdf/voir?id=120>
- TRUCHET, Jean-Marc (2018), *Eoliennes photovoltaïques énergies renouvelables vrai progrès ou autre chose ?*, Ed Collection la plume du temps, France, p42.