

**Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de génie électrique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

FILIERE : génie électrique

SPECIALITE : Energie renouvelable

Par : CHAARAOUI NESRINE & SENOUSSAOUI FELLA

THEME

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE
POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE**

Soutenu devant le jury composé de :

.....	Université de M'sila	Président
Dr. AHMED BOUCHELAGHEM	Université de M'sila	Encadreur
Dr. HAMZA LAIFA	Université de M'sila	Co- Encadreur
.....	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

Remerciement

Tout d'abord, au nom de Dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux. Pour ce qui suit, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'accomplir ce travail de recherche. Nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui nous ont soutenus, aidés dans la conduite et la réalisation de ce travail de recherche, pour ces précieux conseils. Nous tenons à remercier chacun des honorables professeur Bouchlaghem Ahmed pour sa supervision de ce travail de recherche. Et M. Drif Mohammed, qui nous a aidés à accomplir notre travail malgré ses circonstances.

Merci à nos généreux parents pour tous les efforts qu'ils nous ont fournis pendant et après notre enfance. Nous demandons à Dieu Tout-Puissant de leur accorder santé et longue vie. Nous remercions l'usine d'aluminium de nous accueillir et remercions tout le personnel pour tous les efforts qu'ils ont fait pour nous, en particulier Mostapha Hadji. Nous remercions nos frères pour leur soutien dans notre carrière universitaire. Nous remercions nos premiers professeurs à l'université et tous ceux qui nous ont donné des lettres pour le bien de la science, et nous remercions tous nos camarades de classe. Merci à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.

Dédicace :

*Nous dédions cet acte modeste en particulier à :
Nos parents, qui ont consacré leur vie pour nous,
pour leur soutien, leur patience et leur tendresse.*

*A nos frères et sœurs bien-aimés qui nous ont
encouragés tout au long de nos études. À nos
tantes et tantes et à tous ceux qui nous sont liés. A
tous nos amis proches. A tous nos collègues du
Département des Sciences et Technologies,
notamment dans le domaine des énergies
renouvelables.*

Sommaire

<i>Remerciement</i>	
<i>Dédicace</i> :	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE :	1

CHAPITRE I

Généralité sur l'énergie renouvelable

I.1 Définition de l'énergie renouvelable :	4
I.2 L'énergie solaire :	4
I.2.1 Rayonnement solaire :	5
I.2.2 Le rayonnement direct :	5
I.2.3 Le rayonnement diffus :	5
I.2.4 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol :	5
I.2.5 Le rayonnement global :	5
I.2.6 Spectre de rayonnement :	6
I.2.7 Gisement solaire en Algérie :	6
I.2.8 Les panneaux solaires :	6
I.2.8.1 Définition :	6
I.2.8.2 La cellule PV :	6
I.3 Technologies des cellules :	7
I.4 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :	7
I.5 Générateur PV :	8
I.6 le champ PV :	8
I.7 Différent types de système PV :	8
I.7.1 Système autonome :	8
I.7.2 Système PV raccordé au réseau :	10
I.7.3 Système PV hybride :	10
I.8. Les différents branchements des panneaux PV :	11
I.8.1 Le branchement en série :	11

I.8.2 Le branchement en parallèle :	12
I.8.3 Association hybride (en série et en parallèle) :	14
I.9 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire :	14
I.9.1 Avantages :	14
I.9.2 Les inconvénients :	15
I.10 Conclusion :	15

CHAPITRE II

Etude et dimensionnement d'un système de pompage PV

II.1 Pompe photovoltaïque :	17
II.1.1 Différentes types des pompes :	18
II.1.1.1 La pompe volumétrique :	18
II.1.1.2 La pompe centrifuge :	18
II.1.2 Constitution d'une pompe centrifuge :	19
II.1.3 Fonctionnement d'une pompe centrifuge :	19
II.2 Modélisation de la pompe centrifuge :	19
II.2.1 Pertes de charges linéaires :	20
II.3 La caractéristique Q(H) de la pompe :	21
II.3.1 La caractéristique couple vitesse de la pompe :	22
II.3.2 Calcul de puissance :	22
II.3.3 Calcul du rendement :	22
II.4 L'effet de la température et de l'éclairement.....	22
II.4.1 L'effet de la température.....	22
II.4.2 L'effet de l'éclairement.....	23
II.5 Dimensionnement du système de pompage réalisé à usine algal +	24
II.5.1 Estimation des besoins en eau.....	24
II.5.2 Puissance hydraulique.....	25
II.5.3 Puissance mécanique	25
II.5.4 Puissance électrique	25
II.5.5 Puissance électrique demandée.....	26
II.5.6 La puissance du générateur photovoltaïque	26
II.5.7 Nombre de panneaux	26
II.5.8 Energie journalière.....	26
II.6 Réalisation du système de pompage.....	26
II.6.1 Le panneau solaire	27

II.6.2 Les canalisations	29
II.6.3 Le moto-pompe	29
II.6.4 Le convertisseur	30
II.6.5 Le régulateur	30
II.6.6 L'organisation du pompage	32
II.7 L'électronique de commande et contrôle	33
II.7.1 Stockage	34
II.8 Conclusion	34

CHAPITRE III

Simulation d'un système de pompage PV

Partie A :	36
III.1 Définition sur le logiciel :	36
III.2 Etude complète d'un exemple de projet :	38
III.3 Étapes du développement d'un projet :	40
III.4 Conseils – Aide :	40
III.5 Définition du projet :	41
III.6 Enregistrer le projet :	43
III.7 Création de la première variante (de base) :	43
III.8. Exécution de la première simulation :	47
Partie B :	50
<i>Les dimensionnements</i> :	50
<i>Le résultat de logiciel</i> :	60
<i>Les commentaires</i> :	64
III.9 Conclusion.....	64
CONCLUSION GENERALE :	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	70

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I-1	Le soleil source de l'énergie solaire	4
Figure I-2	Schéma d'une cellule photovoltaïque	7
Figure I-3	Système PV autonome ou isolé	9
Figure I-4	Système PV raccordé au réseau sans batterie	10
Figure I-5	Système PV hybride	11
Figure I-6	Cellules ou modules photovoltaïques en série	11
Figure I-7	Branchement en série des panneaux PV	12
Figure I-8	Cellules ou modules photovoltaïques en parallèle	13
Figure I-9	Branchement parallèle des panneaux PV	13
Figure I-10	Caractéristiques d'un générateur à n_s n_p cellules identiques.	14

CHAPITRE II

Figure II-1	Constitution d'une pompe centrifuge	19
Figure II-2	Courbe H(Q) de la pompe centrifuge et la caractéristique de analyse	21
Figure II-3	Influence de la température à un ensoleillement constant.	23
Figure II-4	Influence de l'ensoleillement à une température constante	24
Figure II-5	Partie de fiche technique	25
Figure II-6	Schéma synoptique du système de pompage	27
Figure II-7	Données de base d'un module PV	28
Figure II-8	L'installation du panneau solaire	28
Figure II-9	Photo de l'installation de la canalisation	29
Figure II-10	Installation du moto-pompe	30
Figure II-11	Onduleur monophasé 500W	30
Figure II-12	Simple régulateur	31
Figure II-13	Batterie solaire	31
Figure II-14	Courbe de charge d'une batterie	32
Figure II-15	Débit d'eau expérimentale	33

CHAPITRE III

Figure III-A-1	Page principale du logiciel	37
Figure III-A-2	Etude d'un exemple de projet	38

Figure III-A-3	Project design	39
Figure III-A-4	Tableau de bord	39
Figure III-A-5	T.B Nouveau projet	41
Figure III-A-6	Le bouton "Albédo – Paramètres"	42
Figure III-A-7	Boîte de dialogue "Conditions de conception"	42
Figure III-A-8	Enregistrer le projet	43
Figure III-A-9	Création de la première variante (de base)	44
Figure III-A-10	Le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut	44
Figure III-A-11	Choisir l'onduleur	45
Figure III-A-12	L'installation d'exemple	46
Figure III-A-13	Exécution de la première simulation	47
Figure III-A-14	Simulation	47
Figure III-A-15	Courbe de la simulation	48
Figure III-B-1	Project design	50
Figure III -B-2	Tableau de bord	50
Figure III-B-3	Création de la première variante (de base)	51
Figure III-B-3	Paramètres du site géographiques	51
Figure III-B-4	Le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut	52
Figure III-B-5	L'installation d'exemple	53
Figure III-B-6	Choisir l'onduleur	54
Figure III-B-7	Le Schéma	54
Figure III-B-8	Exécution de la première simulation	55
Figure III-B-9	Simulation	55
Figure III-B-10	Courbe de la simulation	56
Figure III-B-11	Le rapport	56
Figure III-B-12	Nouvelle variante de simulation Bilans et résultats principaux	57
Figure III-B-13	Tableau de bord après la simulation	57
Figure III-B-14	Les paramètres pour les pertes de champs PV	58

Liste des tableaux

Tableau II-1 Les caractéristiques du panneau	27
Tableau II-2 Les caractéristiques du moto-pompe	29
Tableau II-3 Mesure du débit	33

Préface : Originellement conçue pour répondre aux besoins en énergie des capsules spatiales, l'énergie solaire photovoltaïque est de plus en plus utilisée pour opérer diverses applications terrestres comme l'éclairage, les télécommunications, la réfrigération et le pompage. L'énergie solaire est disponible partout sur la planète en des degrés divers et elle est entièrement renouvelable. Son apport est variable, au gré des jours et des saisons, mais elle est relativement prévisible. Sa puissance maximale est de $1\text{kW}/\text{m}^2$ et, même si elle est relativement diluée, son apport énergétique annuel pourrait répondre des milliers de fois à la consommation énergétique de la plupart des pays, à l'exception de ceux très industrialisés. Les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucun apport extérieur de combustible ; de plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts récurrents d'opération et de maintenance sont relativement faibles. Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural où les populations sont réparties dans de petites communautés et où la demande énergétique est relativement faible. Son utilisation au niveau du pompage s'est répandue rapidement dans les régions rurales des pays en développement et dans les zones hors-réseaux des pays plus industrialisés. Elle est, entre autres, très utilisée en Afrique sahélienne. Les caractéristiques de cette région justifient d'ailleurs pleinement son utilisation. Ainsi:

- l'ensoleillement est abondant, soit plus de $5\text{kWh}/\text{m}^2$ par jour ou soit plus de 5 heures d'ensoleillement maximal;
- les ressources en eau de surface sont limitées, cependant les ressources en eau souterraine sont importantes. Une technologie de pompage est nécessaire pour extraire l'eau disponible.
- une grande partie de la population est répartie dans de petits villages et elle a difficilement accès aux formes d'énergies conventionnelles.

L'infrastructure des transports est faible, voire inexistante, de sorte que les technologies autonomes ne nécessitant peu d'entretien et aucun combustible extérieur sont avantageuses; • les besoins en eau de ces petits villages sont relativement faibles et correspondent bien au créneau optimal couvert par l'énergie solaire.

Le pompage photovoltaïque : manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens Le principal obstacle freinant l'utilisation de la technologie du pompage photovoltaïque dans les pays en développement a plutôt été un problème financier. Le coût d'investissement initial du système solaire est élevé et, jusqu'à tout récemment, la plupart des pompes solaires installées avaient été acquises par des organismes d'aide et remises aux

associations villageoises sans contrepartie financière. L'eau étant normalement un droit pour tous dans la plupart des pays, il était d'ailleurs mal vu d'essayer d'en faire le commerce. Constatant l'échec de ces campagnes, certaines ONG décidèrent d'organiser la vente de l'eau afin de couvrir au moins l'entretien des systèmes. C'est le cas par exemple de l'initiative d'Aqua-Viva, au Mali, où 300 pompes solaires ont été installées avec succès et sont toujours en opération. Entre 1990 et 1995, la Communauté économique européenne, de concert avec le Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS) ont créé le Programme régional solaire (PRS) qui installa 630 pompes solaires dans neuf pays de la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. L'installation de ces pompes s'effectua de façon à en assurer leur pérennité pour la totalité de leur durée de vie, c'est-à-dire pour les vingt années à venir. La prise en charge financière des stations de pompage par les villageois a donc été le point de départ de ce projet qui est toujours en marche. La création de ce projet a permis de tirer un grand nombre de leçons sur la façon de faire le développement. Une des plus importantes de celles-ci étant probablement que si on donne aux gens des zones rurales les moyens de contrôler leur propre destinée, ceux-ci sauront mieux que quiconque comment la gérer. Ce livre sur le pompage solaire photovoltaïque a été conçu à l'origine pour appuyer la formation à l'École inter-États d'ingénieurs de l'équipement rural (EIER) de Ouagadougou, au Burkina Faso. Il a été rédigé dans le cadre des activités du projet «Eau et assainissement au Burkina Faso (1993- 1998)» piloté par le Centre international des ressources en eau (CIRE) de la Faculté de génie de l'Université d'Ottawa. Ce projet a été rendu possible grâce au concours de l'Agence canadienne de développement international (ACDI). Une des composantes majeures de ce projet a consisté à appuyer la formation et la recherche dans le domaine du pompage solaire en Afrique francophone. Outre les partenaires susmentionnés, le Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût (CREPA) a également participé à ce projet en permettant la formation d'étudiants à la maîtrise et en organisant la gestion d'une station de pompage en milieu péri-urbain installée par le projet. Les zones péri-urbaines des villes des pays en développement présentent certaines caractéristiques favorisant l'implantation des stations de pompage solaires. Ainsi, même si ces régions sont proches des centres urbains, la 01 Pompage lim pour pdf 12 16/10/02, 16:47Préface xiii prestation de services de base, comme l'eau potable et l'électricité, est souvent déficiente. Par contre, les gens qui y habitent ont souvent accès à un certain revenu et ils sont prêts à payer pour améliorer leurs conditions de vie. Un des mémoires de maîtrise réalisés par ce projet s'est d'ailleurs penché sur ce sujet et a montré que la station de pompage solaire est financièrement justifiable dans les centres péri-urbains et est très compétitive face aux autres alternatives

d'approvisionnement en eau (Toukara, 1996). Les partenaires du projet tiennent à remercier l'Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français (IEPF) de son précieux concours pour l'édition et la distribution de ce livre dans le réseau de la francophonie. Nous espérons sincèrement que la publication et la large diffusion de ce volume favoriseront une utilisation plus répandue et plus efficace du pompage solaire, dont bénéficieront un grand nombre de personnes dans les pays en développement. [1]

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateau à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Mais dans les pays industrialisés, dès le XIX^{ème} siècle, elles furent progressivement marginalisées aux profits d'autres sources d'énergie que l'on pensait plus prometteuses.

Des récentes estimations ont montré qu'actuellement près de 2.2 milliards d'individus ne sont toujours pas raccordés aux grands réseaux d'électricité (ce qui représente environ 44% de la population mondiale), pour la plus part située dans les pays du tiers monde dont l'Algérie, ou plus de 50% vivent encore sans électricité, 95% d'entre eux vivent dans la partie sud algérienne du fait des plus faibles revenus, de la présence des régions rudes et d'une faible densité de population.

Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité propre et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires.

La production de l'électricité est donc forcément, malgré une apparence anodine, synonyme de perturbations. L'utilisation excessive d'un monde de production accentue fortement l'effet nuisible qui lui est associé et il apparaît évident que la diversification des sources est une solution à promouvoir.

L'utilisation de source d'énergie renouvelable induit le concept de stockage d'électricité en raison de la disponibilité intermittente de telles ressources. L'utilisation du stockage d'électricité est très diversifiée : les applications stationnaires connectées ou non au réseau. En particulier, les sites géographiquement isolés et non raccordés au réseau intégrant une source renouvelable.

Le rôle d'un système photovoltaïque de production d'électricité sans interruption dans les régions isolées n'est pas seulement d'apporter « une puissance énergétique », mais un outil de développement social et économique des zones rurales. Le nombre de kilowattheures produit peut paraître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais ces

quelques dizaines ou centaines de kilowattheures peuvent ranimer tout l'espoir d'un village ou d'une communauté.

Le générateur d'électricité d'origine photovoltaïque avec un système de stockage est assuré par des batteries au plomb pour cela le dimensionnement de stockage optimal basé sur la partie de modélisation des composants constituant ce système et la charge de l'utilisation.

L'intérêt de ce travail est l'étude d'un système d'énergie photovoltaïque autonome.

Notre mémoire est structurée en trois chapitres en plus de l'introduction générale, la conclusion générale et perspective. Dans le premier chapitre nous avons présenté les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système PV tels que la cellule, module et champ PV et leurs différents branchement, les différents types de systèmes PV comme le système autonome ,raccordés au réseau et hybride , puis nous nous sommes intéressés aux différentes technologies des éléments constitutifs d'un système PV, finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général. [2]

Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation d'un système PV qui a pour but d'étudier théoriquement le comportement de certains paramètres et de les optimiser en respectant une contrainte donnée. On a aussi expliqué le principe de conversion PV.

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet sera élaborée à partir de modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs, stockage batteries) ; cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi les paramètres constitutants. Les océans et les masses continentales. Le spectre solaire la lumière à la surface de la Terre est principalement visible et proche de l'infrarouge gamme avec une petite partie dans le proche ultraviolet. Le total l'énergie solaire absorbée par l'atmosphère terrestre, les océans et masses terrestres est d'environ 3 850 000 exajoules (eJ) par année. La quantité d'énergie solaire atteignant la surface de la planète est si vaste qu'en un an, c'est environ deux fois plus comme il ne sera jamais obtenu de toutes les ressources non renouvelables de la terre ressources en charbon, pétrole, gaz naturel, etc. L'énergie solaire peut être exploitée à différents niveaux dans le monde principalement en fonction de la distance à l'équateur. [3]

CHAPITRE I

Généralité sur l'énergie renouvelable

Introduction :**I.1 Définition de l'énergie renouvelable :**

Les énergies renouvelables sont toutes les énergies que la nature constitue ou reconstitue plus rapidement que l'Homme ne les utilise. Elles peuvent ainsi être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Exemple :

- Vent : éolienne
- Soleil : thermique, photovoltaïque, thermodynamique.
- Chaleur terrestre : géothermie.
- Eau : hydroélectrique, marémotrice.
- Biodégradation : biomasse.
- Biocarburant.

I.2 L'énergie solaire :

L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du soleil. Elle se propage dans le système solaire et dans l'univers essentiellement sous forme d'un rayonnement électromagnétique de photons et de rayonnement infrarouge.

L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de :

- la latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du soleil et donc sur l'énergie reçue au sol par unité de surface, ainsi que sur la nébulosité en fonction du climat local.

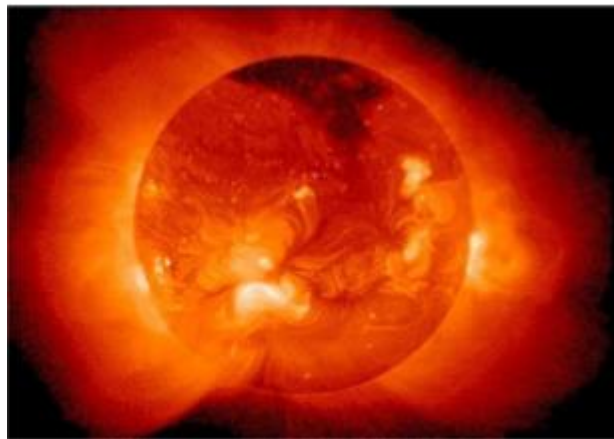


Figure I-1 « Le soleil source de l'énergie solaire »

La distance de la terre au soleil est d'environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h, les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la

frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m².

Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons.

L'énergie d'un photon étant donnée par la relation [1] :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

λ : la longueur d'onde de la lumière.

h : la constante de Planck.

C : la vitesse de la lumière.

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande.

Une façon commode d'exprimer cette énergie est :

$$E = \frac{1.24}{\lambda}$$

I.2.1 Rayonnement solaire :

Notre soleil est une étoile naine qui se compose de 74% d'hydrogène, 25% d'hélium et d'une fraction d'éléments plus lourds, sa température à la surface est d'environ 5530°C.

I.2.2 Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus.

I.2.3 Le rayonnement diffus :

C'est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.

I.2.4 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol :

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc...).

I.2.5 Le rayonnement global :

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et réfléchi par le sol). Dans la figure ci-dessous est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçus sur une surface terrestre.

I.2.6 Spectre de rayonnement :

Le soleil émet des particules, appelées photons, en très grande quantité. C'est le rayonnement solaire. Ces flux de photons qu'on appelle également radiations ou rayons, voyagent dans l'espace à la vitesse de 300 000 km/s (c'est la vitesse de la lumière) et atteignent la terre à différentes longueurs d'ondes. Nous parviennent essentiellement :

- Les Ultraviolets (UV), de 200 nm à 400 nm, invisibles, sans échauffer, provoquent des dommages sur les cellules [9%].
- La Lumière visible, de 400 à 800 nm, visibles, ils nous permettent de distinguer les formes et les couleurs [47%].
- Les Infrarouges (IR), de 800 à 1400 nm, invisibles, chauffent la matière solide ou gazeuse qu'ils rencontrent. [44%].

I.2.7 Gisement solaire en Algérie :

Le gisement solaire est un ensemble de donnée décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc d'effectuer son dimensionnement le plus exacte possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures annuellement. Cette valeur peut atteindre facilement les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ 7kWh/m²/jour. Elle est répartie comme suit :

- Au Nord : 5,6 kWh/m²/jour
- Au Sud : 7,2 kWh/m²/jour

I.2.8 Les panneaux solaires :

I.2.8.1 Définition :

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules en série ou en parallèle afin d'obtenir une tension souhaitée.

I.2.8.2 La cellule PV :

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique.

I.3 Technologies des cellules :

Le matériau le plus répandu dans les photopiles ou cellules solaires est le silicium, semi-conducteur de type IV. Il est dit tétravalent, cela signifie qu'un atome de silicium peut se lier avec quatre autres atomes de même nature. On utilise également des matériaux composites tel que l'arséniure de gallium et des couches minces comme de CdTe (tellurure de cadmium) et le CIS (cuivre-indium-di sélénium) et encore le CIGS. Il existe plusieurs types de cellules solaires :

- Les cellules monocristallines.
- Les cellules poly cristallines.
- Les cellules amorphes etc.

I.4 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

Le principe de fonctionnement de cette cellule repose sur l'effet photovoltaïque, en effet une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur, ces deux couches sont dopées différemment :

- pour la couche N, apport d'électrons périphériques.
- pour la couche P, déficit d'électrons.

Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur.

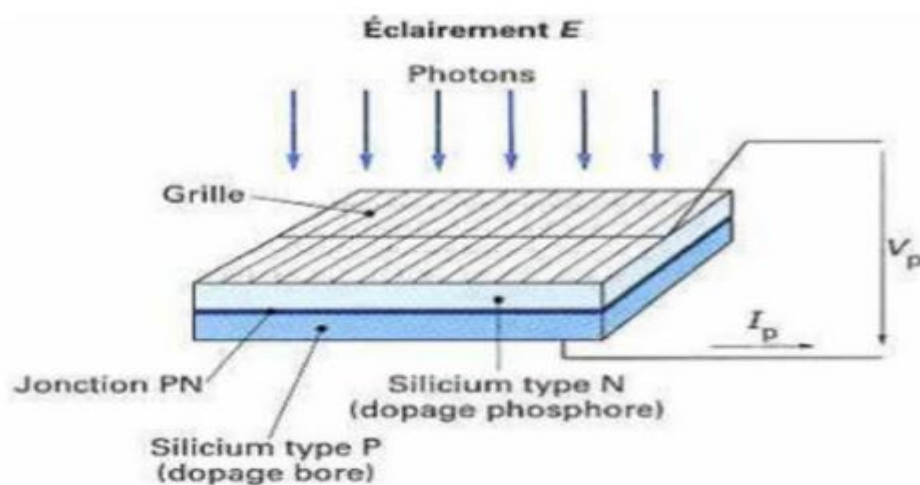


Figure I-2 « Schéma d'une cellule photovoltaïque ».

I.5 Générateur PV :

Un générateur photovoltaïque est un système complet assurant la production et la gestion de l'électricité fournie par les capteurs photovoltaïques. L'énergie est stockée dans des accumulateurs et/ou transformée en courant alternatif suivant le type d'application.

Concrètement, le générateur existe sous plusieurs formes :

- une chaudière
- une pompe-à-chaleur
- une dynamo
- un groupe électrogène
- une turbine
- un aérogénérateur
- un panneau photovoltaïque, etc.

I.6 le champ PV :

C'est un regroupement de modules solaires photovoltaïques raccordés entre-eux et destiné à produire de l'électricité, soit à titre autonome (panneaux solaires sur les toits des habitations par exemple), soit dans le cadre d'un raccordement à un réseau public de distribution d'électricité.

I.7 Différent types de système PV :

I.7.1 Système autonome :

Les systèmes autonomes sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie.

Ils servent habituellement à alimenter les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau.

Selon l'utilisation ou non du stockage électrochimique, les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit :

- Des systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage.
- Des systèmes photovoltaïques sans stockage (au fil du soleil).

➤ **Systèmes autonomes avec stockage :** C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes, elle comporte des batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique dans les batteries est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne

ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

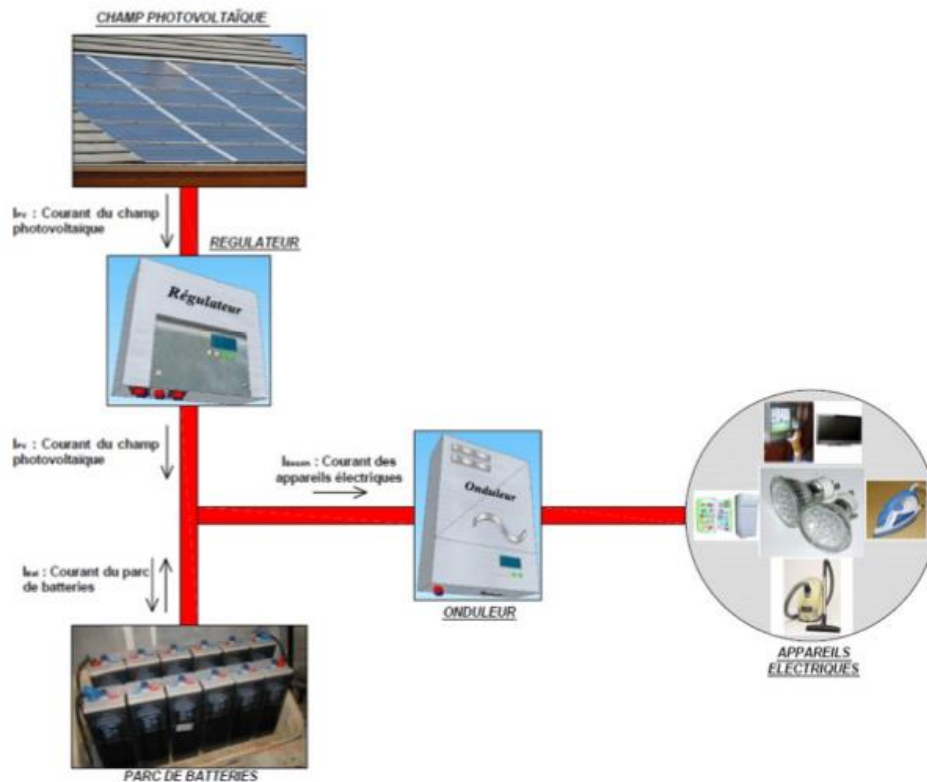


Figure I-3 « Système PV autonome ou isolé ».

➤ Les systèmes autonomes sans stockage : Dans ce cas, l'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire suffisant pour son démarrage. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de l'éclairage solaire. Mais il faut bien dimensionner le générateur photovoltaïque de sorte qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil à l'éclairage le plus faible. Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de systèmes autonomes où le stockage de l'eau dans un réservoir est généralement le plus adopté par rapport au stockage électrochimique. La pompe solaire est branchée directement sur le générateur photovoltaïque par l'intermédiaire d'un convertisseur DC/DC ou DC/AC selon que nous utilisons respectivement un moteur à courant continu ou un moteur à courant alternatif. Le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc variable et en fonction du rayonnement solaire.

I.7.2 Système PV raccordé au réseau :

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau (Sonelgaz en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement.

On peut distinguer des systèmes PV raccordés aux réseaux avec et sans batteries de stockage.

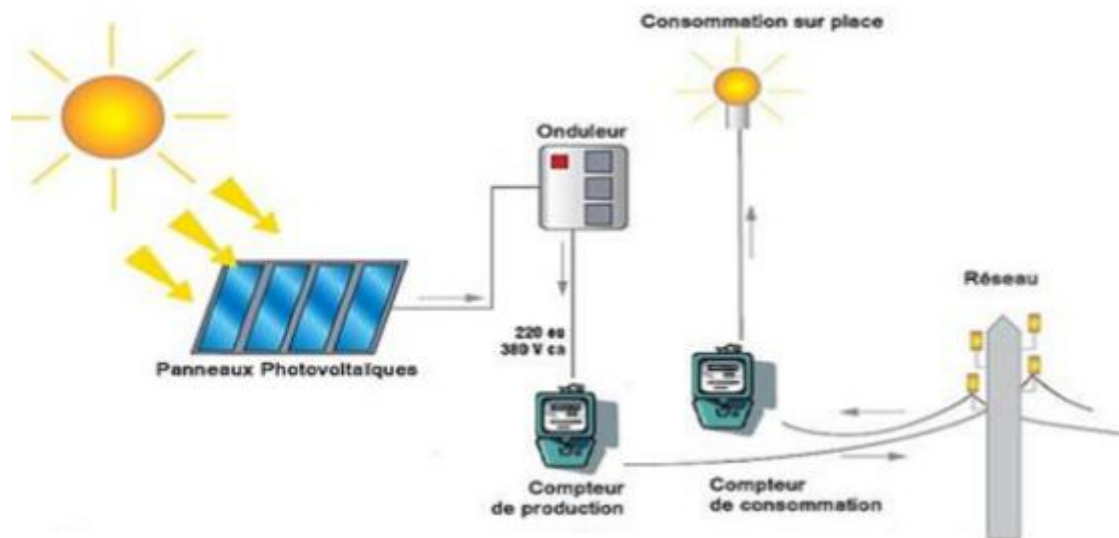


Figure I-4 « Système PV raccordé au réseau sans batterie »

I.7.3 Système PV hybride :

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène... et même parfois le réseau public d'électricité.

En général, un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien. La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimiser, étant entendu que les sources thermiques (gazoil, gaz...) et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours.

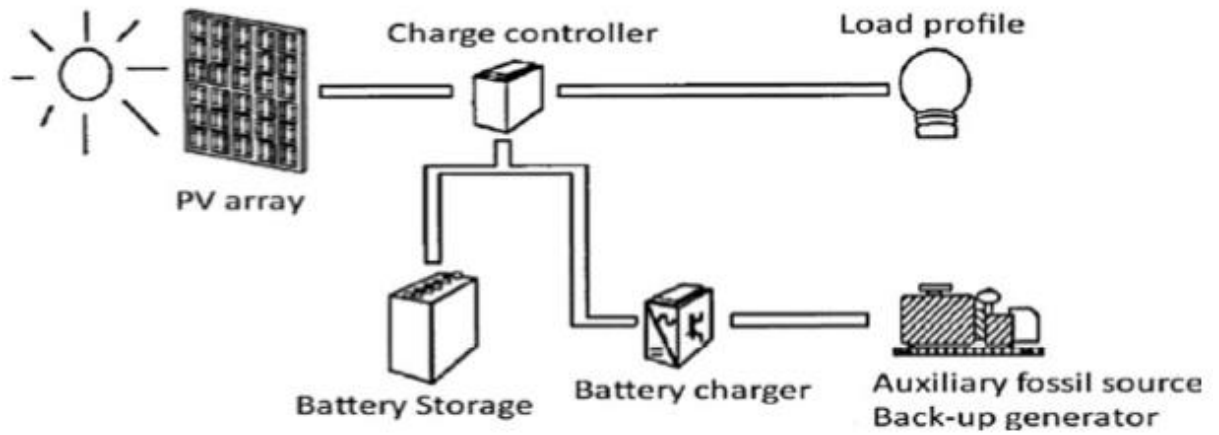


Figure I-5 « Système PV hybride ».

I.8. Les différents branchements des panneaux PV :

I.8.1 Le branchement en série :

➤ Association en série : En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

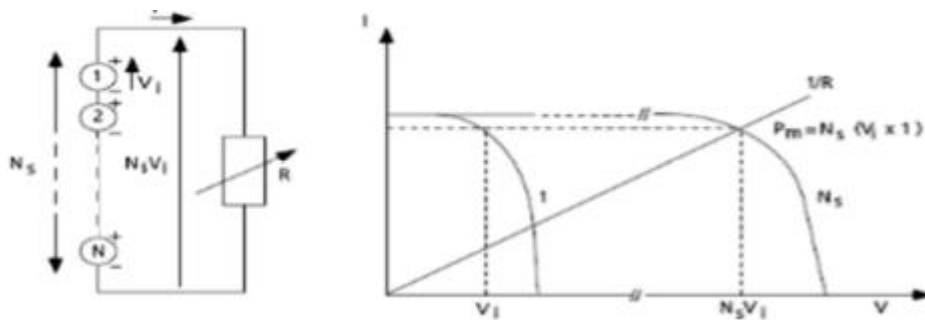


Figure I.6: « Cellules ou modules photovoltaïques en série ».

Branchement en série

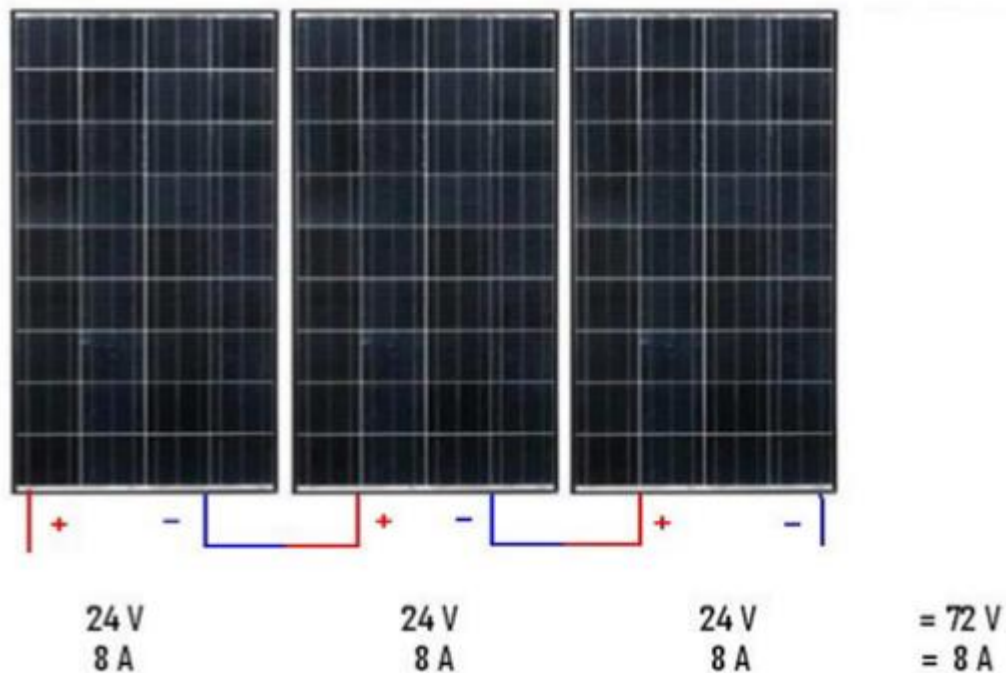


Figure I.7: « Branchement en série des panneaux PV ».

A noter que, si les tensions V s'additionnent systématiquement, c'est l'intensité la plus faible A qui prime dans le cas de panneaux solaires différents.

Imaginons que sur ces 3 panneaux l'un d'eux ait une intensité de 4 Ampères, l'Ampérage total serait de 4 Ampères même si les autres sont à 8 Ampères.

Par contre si nous avons $24\text{ V} + 12\text{ V} + 10\text{ V} = 46\text{ V}$.

L'inconvénient du branchement en série c'est qu'il y a une perte de puissance si un seul des panneaux est ombragé (arbre, bâtiment, cheminée...)

Si un panneau est ombragé il va perdre en intensité et c'est cette intensité qui va déterminer celle des autres panneaux.

Puissance en plein soleil: $72\text{ V} \times 8\text{ A} = 576\text{ W}$

Avec une ombre sur un panneau, supposons qu'il descende à 4 Ampères (tous les panneaux seront à 4 A)

$72\text{ V} \times 4\text{ A} = 288\text{ W}$ (perte de moitié).

Conclusion il faut bien étudier l'emplacement de ses panneaux solaires.

I.8.2 Le branchement en parallèle :

En additionnant les modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche.

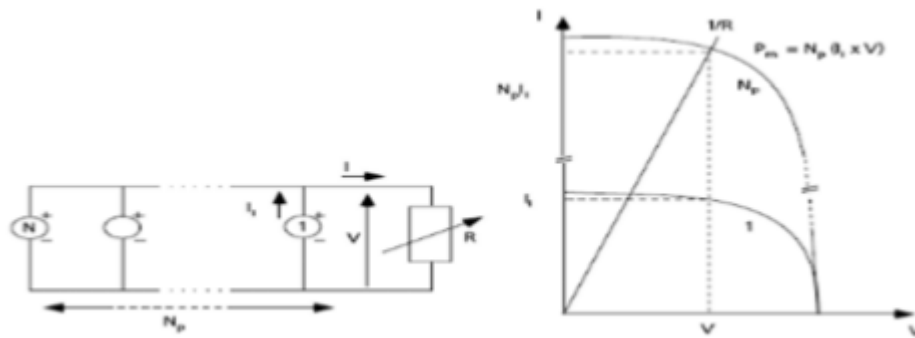


Figure 1.8: « Cellules ou modules photovoltaïques en parallèle ».

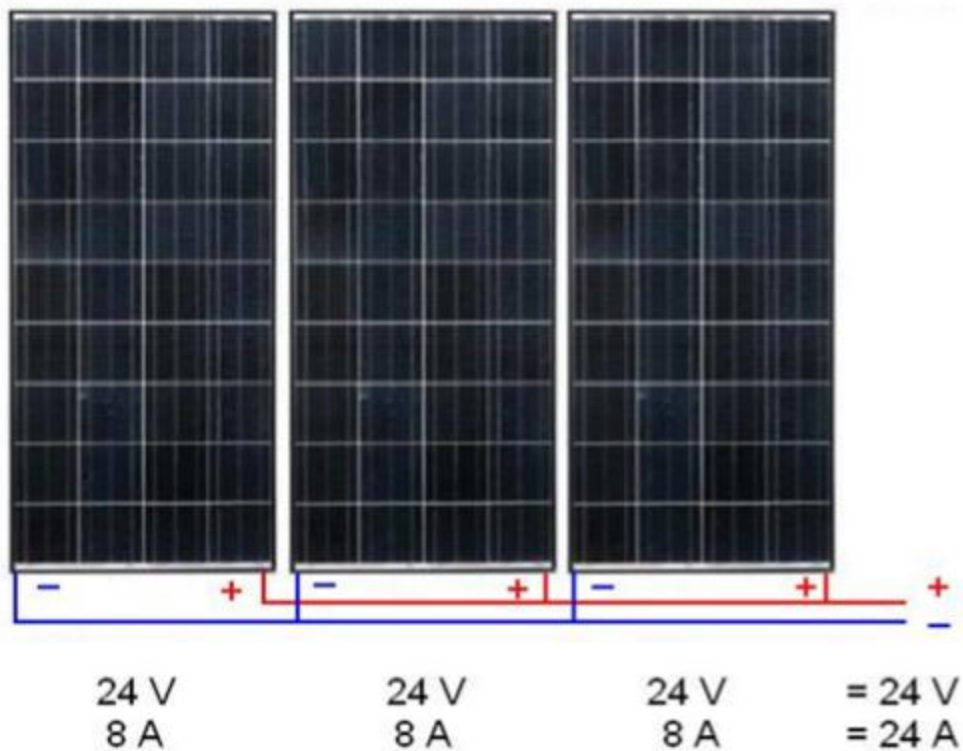


Figure 1.9: « branchement parallèle des panneaux PV ».

Ce branchement n'est possible qu'avec des panneaux de mêmes tensions !

Contrairement au branchement en série, il n'est pas possible d'avoir des panneaux de 24 V et un autre de 18 V par exemple (C'est théoriquement possible avec la tension la plus faible qui prime, mais il y a un risque de surtension et court circuit !). Dans ce branchement c'est donc l'intensité qui s'additionne ! C'est le branchement idéal lorsque l'on a besoin d'une plus grosse intensité. C'est également le bon montage lorsqu'il peut y avoir un ombrage sur les panneaux photovoltaïque, reprenons le 1er exemple.

Puissance en plein soleil : $24 \text{ V} \times 24 \text{ A} = 576 \text{ W}$ (exactement comme le montage en série)

Avec un ombrage et un panneau qui descend à 4 Ampères d'intensité.

Nous aurons toujours 24 V de tension et 8 A + 8 A + 4 A d'intensité puisque dans le montage en parallèle les intensités s'additionnent alors que dans le montage en série c'est la plus petite qui prime. 24 V x 20 A = 480 W (nous avons 288 W dans le montage en série).

I.8.3 Association hybride (en série et en parallèle) :

La caractéristique globale courant/tension d'un générateur photovoltaïque se déduit théoriquement de la combinaison n_s , n_p Cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par le rapport n_s parallèlement à l'axe des tensions et du rapport n_p parallèlement à l'axe des courants.

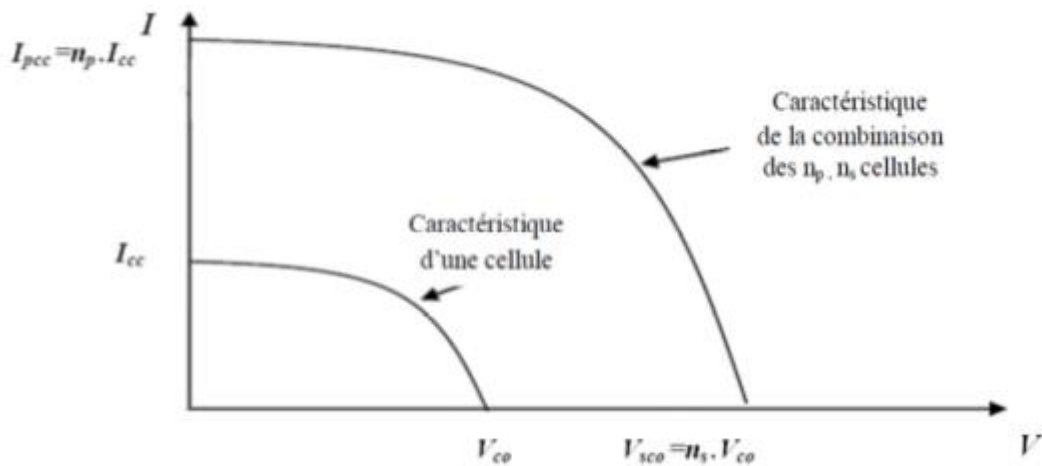


Figure I.10: « Caractéristiques d'un générateur à $n_s n_p$ cellules identiques ».

I.9 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire :

I.9.1 Avantages :

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent
- particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les
- engins spatiaux.
- Consommation gratuite dès l'installation du système.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du MilliWatt au MégaWatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni
- Combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu.

I.9.2 Les inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur. [4]

I.10 Conclusion :

nous avons présenté dans ce présent les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système PV tels que la cellule et module PV et leurs différents branchement, les différents types de systèmes PV comme le système autonome, raccordés au réseau et hybride , puis nous sommes intéressés aux différentes technologies des éléments constitutifs d'un système PV, finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général. Je conclus que l'énergie solaire est très importante dans le monde, elle joue le rôle d'un réservoir de l'énergie électrique, pour remplir le besoin d'électricité, parce qu'elle est non polluante et disponibles, le prix des cellules solaire est en diminution à chaque année. Le développement en Algérie se base sur la production de l'électricité solaire pour améliorer l'économie intérieure et extérieure. [5]

CHAPITRE II

**Etude et dimensionnement d'un système de
pompage PV**

Introduction

Du fait que les zones enclavées au sud du pays sont difficiles et économiquement pas rentables à les raccorder au réseau électrique et les habitations dans ces régions sont éparses et souvent nomades, le pompage solaire de l'eau potable et d'irrigation représente la solution la plus adaptée pour ces régions. Un système de pompage photovoltaïque a été installé à l'école afin de permettre l'acquisition des compétences nécessaires, notamment la simulation, le dimensionnement et la réalisation de ces systèmes dans ce domaine. Dans ce chapitre, nous présentons la simulation et la réalisation du système de pompage photovoltaïque. Ensuite nous montrons l'influence de la température et de l'éclairement sur les performances du système.

Pour la réalisation du système de pompage solaire à l'école, nous présentons en premier lieu la simulation des systèmes de pompage. Ensuite nous présentons une méthode de dimensionnement du système de pompage, ce qui permet de définir la taille des éléments de notre système, de déterminer le nombre de panneaux nécessaires, pour satisfaire les besoins quotidiens en eau d'un projet à venir.

II.1 Pompe photovoltaïque :

Une pompe est une machine pour convertir la puissance d'entrée mécanique en puissance liquide de rendement. Elle est couplée directement au moteur et elle est caractérisée par un couple, vitesse, débit. Une bonne adaptation entre la pompe et le moteur mène à de bons résultats. On appelle pompe tout appareil qui aspire un fluide d'une région à basse pression pour le refouler vers une région à plus grande pression. Ainsi, d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide.

L'augmentation de la pression du liquide véhiculé par la pompe a eu lieu suite à la transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant cette pompe en une augmentation de l'énergie hydraulique qui est acquise par le liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe.

Le volume de l'eau pompée dépend de cinq facteurs essentiels :

- Le niveau de rayonnement qui est une mesure de l'énergie disponible du soleil.
- Le générateur photovoltaïque.
- L'efficacité de conversion de la rangée photovoltaïque.
- La température ambiante.

Une pompe photovoltaïque se présente fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne avec ou sans batterie. Alors que cette première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, la pompe sans batterie, plus communément appelée

_ pompe au fil du soleil, utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation. [6]

II.1.1 Différentes types de pompes :

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge. A part ces deux classifications on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée :

la pompe à aspiration et la pompe à refoulement. La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9; 8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres.

II.1.1.1 La pompe volumétrique :

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT [6].

La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau. On les utilise parfois comme pompes de surface lorsque le couple est lent et irrégulier et que le débit demandé est faible, par exemple pour les pompes à main et les pompes éoliennes.

III.1.1.2 La pompe centrifuge :

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique totale (HMT) relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. La puissance consommée, proportionnelle à $Q \cdot HMT$, variera donc dans le rapport du cube de la vitesse. On utilisera

habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres)

III.1.2 Constitution d'une pompe centrifuge :

Les pompes se composent de deux éléments essentiels :

_ Une roue qui impose au liquide un mouvement de rotation. Celle-ci est montée sur un arbre porté par des paliers et entraîné par un moteur.

_ Un corps de pompe qui dirige l'écoulement vers la roue et l'en éloigne à nouveau sous plus haute pression. Le corps de pompe comprend une tubulure d'aspiration et une tubulure de refoulement, supporte les paliers et l'ensemble du Rotor [6].

II.1.3 Fonctionnement d'une pompe centrifuge :

La théorie des fonctionnements des pompes centrifuges montre qu'entre l'entrée et la sortie de la roue, l'énergie mécanique totale de la veine fluide est augmenté, cette augmentation provient d'une part d'un accroissement de l'énergie de pression et aussi d'un accroissement de l'énergie cinétique, cette dernière est transformée en énergie de pression par ralentissement progressif qui est obtenue dans une pièce placés à l'intérieur de la roue appelées limaçon, celle-ci se termine par un cône divergent .

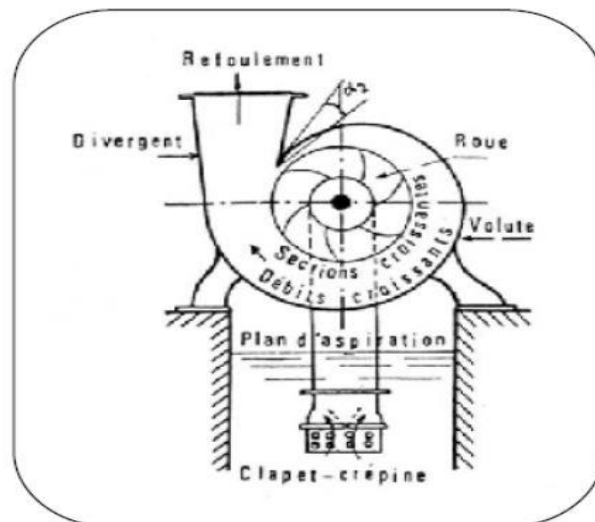


Figure II-1 « Constitution d'une pompe centrifuge ».

II.2 Modélisation de la pompe centrifuge :

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge met en jeu 3 paramètres, la hauteur, le débit et la vitesse ayant pour équation [4] :

$$f(H, Q, w) = 0$$

Pour résoudre ce système d'équation, on considère l'un des 3 paramètres constant, en générale c'est la vitesse qui est constante La hauteur totale du pompage est la somme de la hauteur statique et la hauteur dynamique.

$$H = H_s + H_d$$

H : Hauteur totale du pompage. HS : Hauteur statique qui est la distance entre le niveaux statique de l'eau dans le puit jusqu'au le point le plus élevées auquel on doit pomper l'eau. Hd : est la somme des pertes linéaires et singuliers, ces pertes sont :

II.2.1 Pertes de charges linéaires :

Se sont des pertes d'eau dans la tuyauterie est donnée par la formule suivante [5] :

$$\Delta H_1 = \lambda \frac{L v^2}{D^2 \cdot g}$$

λ : Coefficient de pertes de charges linéaires.

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

L : Longueur de la tuyauterie (m).

g : Accélération de la pesanteur (m=s²).

v : Vitesse moyenne du fluide (m=s) qui est donnée par :

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2}$$

Q : débit(m³=s).

$$\Delta H_2 = \lambda \frac{8 (Q^2)}{(\pi^4)(D^4) \cdot G}$$

On remarque que les pertes de charges linéaires sont proportionnelles à la longueur de canalisation, ces pertes diminuent quand on augmente le diamètre de la canalisation.

II.2.2 Pertes de charges singulières (locales) :

Sont dues essentiellement aux divers changements de section est donnée par l'expression suivante :

$$\Delta H_2 = \epsilon \frac{8 (Q^2)}{(\pi^4)(D^4) \cdot G}$$

ε : Coefficient de pertes de charges locales La hauteur dynamique est la somme des deux Pertes

$$H_d = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

$$H_d = \left(\lambda \frac{L}{D} + \varepsilon \right) \left(\frac{8(Q^2)}{(\pi^2)(D^4)G} \right) = K_{fr} * (Q^2)$$

- K_{fr} : Constante de la canalisation.

La hauteur totale de pompage est :

$$H = H_s + K_{fr} * (Q^2)$$

II.3 La caractéristique Q(H) de la pompe :

La relation liant la hauteur d'eau H avec le débit de la pompe Q est donnée par le modèle de « PELEIDER - PETERMANN. »

$$H = a_0 * w^2 - a_1 * w * Q - a_2 * (Q^2)$$

Avec : a_0 ; a_1 ; a_2 sont des constantes de la pompe donnée par le constructeur.

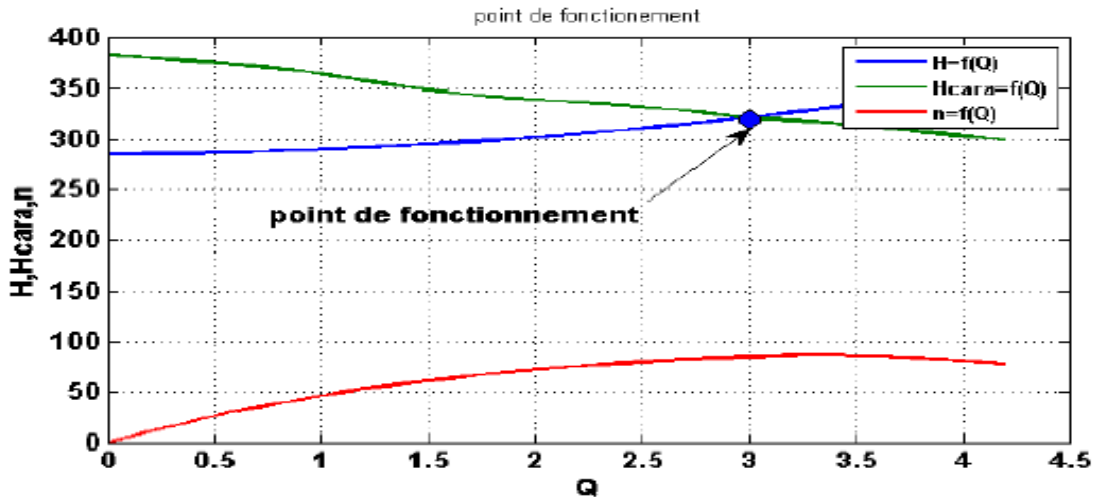


Figure II-2 « Courbe H(Q) de la pompe centrifuge et la caractéristique de canalisation ».

La courbe H(Q) est donnée par la figure suivante : Le point de fonctionnement est l'intersection de ces deux caractéristiques. Alors pour une vitesse donnée, il y a seulement un point de fonctionnement qui dépend fortement des caractéristiques de tuyauterie d'une pompe indiquée. Par conséquent une bonne conception et une tuyauterie de bon choix donnent de bons résultats dans le système de pompage [6].

II.3.1 La caractéristique couple vitesse de la pompe :

La pompe centrifuge est caractérisée principalement par un couple résistant qui est de la forme suivante :

Avec :

$$C_R = K_P * w^2$$

$$K_P = \frac{P_m}{w^3}$$

II.3.2 Calcul de puissance :

Une pompe est une machine qui fournit de l'énergie à un fluide en vue de son déplacement d'un point à un autre. L'expression générale de la puissance hydraulique est donnée comme suit :

$$P_H = \rho g Q H(w)$$

L'autre expression à considérer est celle de la puissance absorbée par une pompe, c'est à dire la puissance nécessaire pour son entraînement mécanique, qui est exprimé par la relation suivante :

$$P_m = \frac{9.81 * \rho Q H}{\eta_p} (w)$$

Où η_p : Le rendement de la pompe.

P_m : Puissance mécanique du moteur.

ρ : La masse volumique de l'eau (1000 Kg au m³).

II.3.3 Calcul du rendement :

- Pour les groupes électro-pompes (pompe et moteur), les fabricants donnent généralement la courbe du rendement globale.

$$\eta = \frac{P_H}{P_a}$$

II.4 L'effet de la température et de l'éclairement

En pratique, la puissance extraite du panneau dépend fortement de de l'éclairement (flux lumineux) et de la température. Ceci influe énormément sur les caractéristiques du système de pompage (débit d'eau, vitesse, etc.). [7]

II.4.1 L'effet de la température

L'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de circuit ouvert et ainsi une diminution de la puissance maximale. Ceci rend la température un paramètre très

important dans la caractéristique des cellules solaires. Elle a donc une influence sur le comportement du système de pompage.

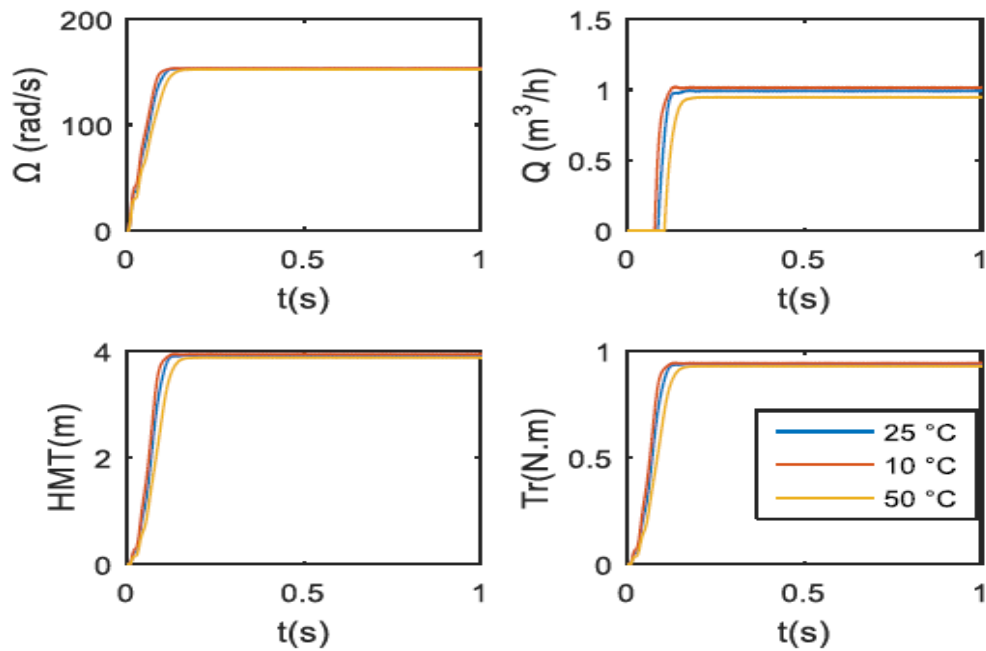


Figure II-3 « Influence de la température à un ensoleillement constant ».

II.4.2 L'effet de l'éclairement

La puissance délivrée par le générateur PV varie pour des différents niveaux de l'irradiation à une température constante à cause des variations du courant du module photovoltaïque. Les figures suivantes montrent clairement l'influence de l'éclairement sur le comportement du système de pompage. Il est clair que le débit et la hauteur manométrique diminuent sensiblement avec la diminution de de l'éclairement

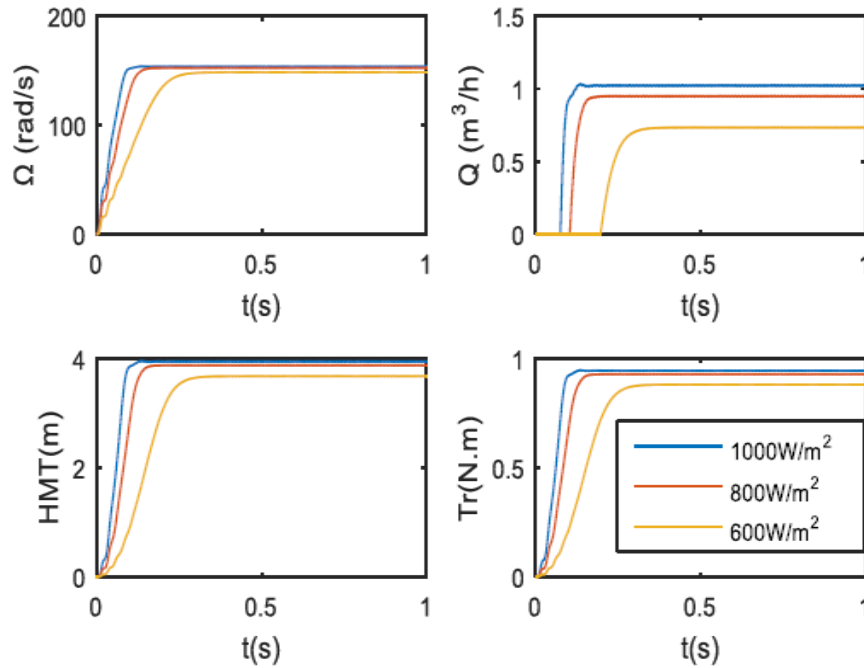


Figure II-4 « Influence de l'ensoleillement à une température constante ».

La simulation de l'influence de l'ensoleillement et la température sur le comportement du système de pompage solaire montre l'effet de l'heure de pompage pendant la journée. Même avec la possibilité d'orienter le panneau solaire suivant les 2 axes, et de suivre la course du soleil durant la journée, le comportement du système de pompage solaire est sensiblement variable pendant la journée. Ceci est dû au fait que plus l'épaisseur d'atmosphère traversée est important, plus la quantité d'énergie solaire reçue par le panneau est faible.

II.5 Dimensionnement du système de pompage réalisé à usine algal +

Cette étude de dimensionnement permet de savoir les caractéristiques nominales des composants nécessaires pour la réalisation du système de pompage solaire. Les étapes de dimensionnement sont organisées comme suit :

II.5.1 Estimation des besoins en eau

L'estimation des besoins en eau constitue la base du dimensionnement de système de pompage solaire photovoltaïque. Un réservoir d'eau, d'une capacité de 114 m³ et un débit de remplissage nominal $Q_n = 6L/S = 360L/min = 21.1m^3/h$ et une hauteur manométrique totale $HMT = 216m$. Ces calculs permettent de dimensionner le générateur photovoltaïque, le régulateur et le moteur envisageables à cette application.

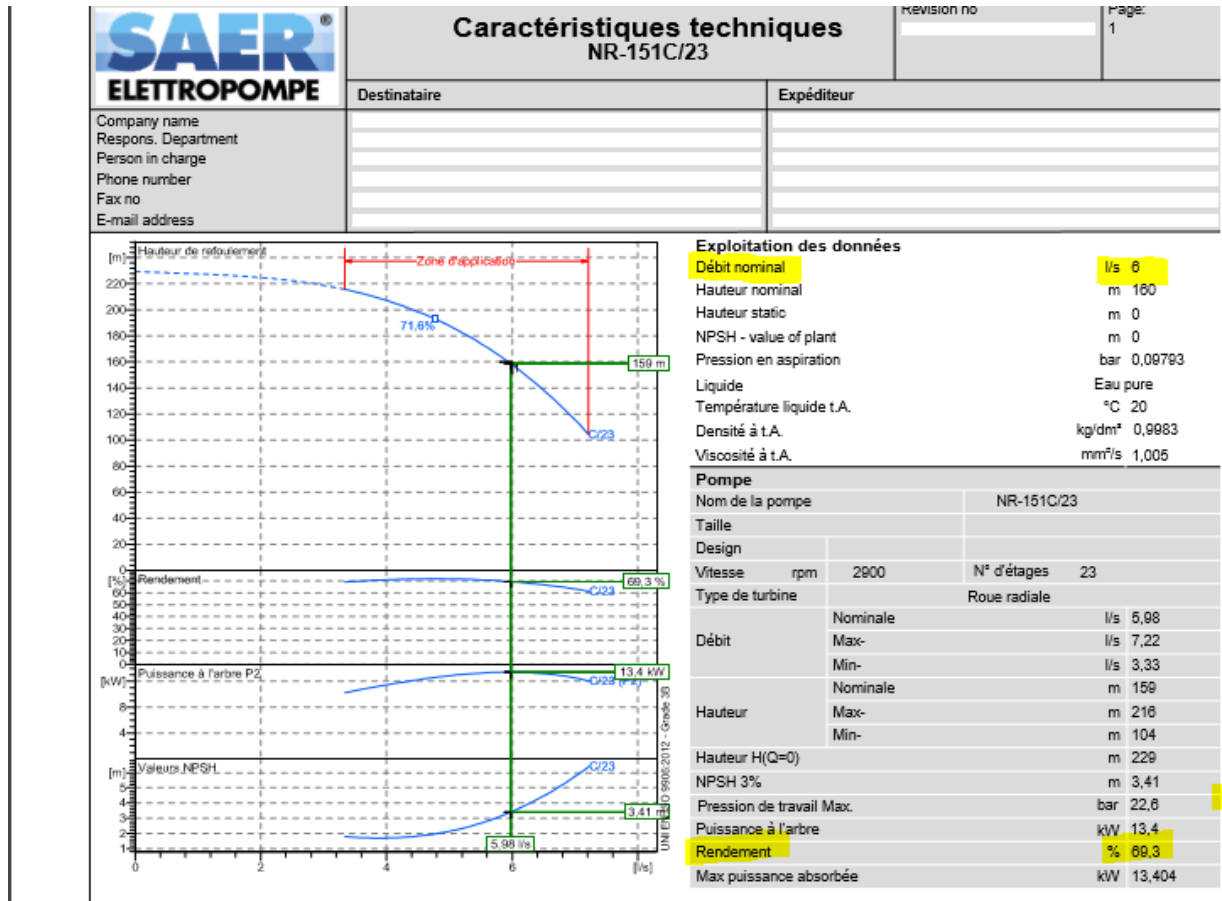


Figure II-5 « partie d'un fiche technique ».

II.5.2 Puissance hydraulique

La puissance hydraulique nécessaire pour déplacer l'eau d'un point à un autre est donnée par:

$$Ph = \rho \cdot g \cdot HMT \cdot Q = 1000 \cdot 9.81 \cdot 216 \cdot 21.1/3600 = 12419.46W$$

II.5.3 Puissance mécanique

Si on néglige les pertes d'accouplement entre le moteur et la pompe centrifuge, donc la puissance mécanique délivrée par le moteur est égale à la puissance absorbée par la pompe. Le rendement de la pompe centrifuge est donné par le constructeur, pour pouvoir choisir le moteur d'entraînement nécessaire.

Le rendement est d'environ 69.3%. Donc, elle a besoin d'une puissance mécanique de :

$$P_{méc} = Ph/\eta_{pompe} = 12419.46/0.69 = 17999.21W$$

II.5.4 Puissance électrique

Le rendement de la machine asynchrone est au voisinage de 85% d'où :

$$P_{élc} = P_{méc}/\eta_{moteur} = 17999.21/0.85 = 21175.54W$$

II.5.5 Puissance électrique demandée

L'onduleur possède un rendement autour de 95%. Ainsi, la puissance issue de l'onduleur doit dépasser un minimum de :

$$P_{\text{délivrée}} = P_{\text{élc}}/\eta_{\text{ond}} = 21175.54/0.95 = 22290.05W$$

II.5.6 La puissance du générateur photovoltaïque

Les pertes de puissance du GPV+ Régulateur attribuables à la température et à la poussière de notre endroit sont supposées présenter le un cinquième de la puissance nominale des modules.

La puissance électrique fournie par le générateur photovoltaïque est donnée par l'expression suivante :

$$P_{\text{GPV}} = P_{\text{délivrée}}/1 - \Sigma \text{pertes} = 22290.05/1 - 0.2 = 27862.56W$$

II.5.7 Nombre de panneaux

En arrondissant la puissance du GPV, on a choisi des panneaux solaires ayant une puissance nominale de 430W.

$$P_{\text{GPV}}/P_s = 27862.56/430 = 64.79 \leq N = 65$$

Donc le nombre de panneaux est 65 panneaux.

II.5.8 Energie journalière

L'énergie journalière égale la quantité de la puissance à consommer par le système de pompage de l'eau pendant une journée afin de remplir le réservoir d'eau de capacité de 192 m³ par jour.

La durée de pompage :

$$T_{\text{pompage}} = V/Qn = 192000 \times 1440/360 = 768000 \text{min} = 12800 \text{heurs}$$

Chaque jour, la pompe doit fonctionner avec une puissance de 13000W pendant 768000min.

Donc, l'énergie journalière nécessaire est :

$$E_c = T_{\text{pompage}} P_{\text{délivrée}} = 12800 \times 22290.05 = 285312640 \text{Wh/j}$$

II.6 Réalisation du système de pompage

Il est nécessaire d'organiser la consommation de l'eau durant les périodes les plus favorables, c'est-à-dire les plus ensoleillées de la journée. Donc le pompage se fait à midi lorsque l'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons solaires est le plus faible de la journée pour que la quantité d'énergie solaire reçue par le panneau est la plus importante[6].

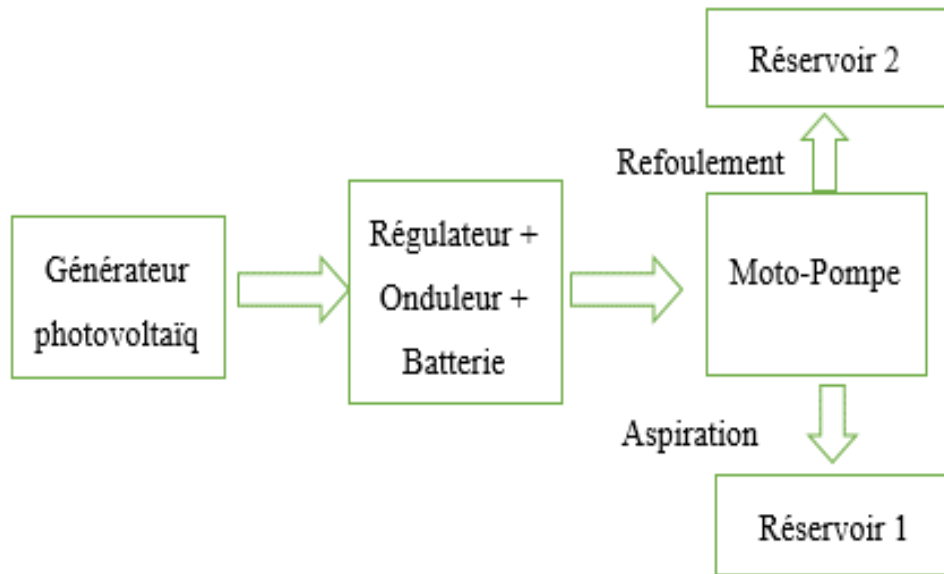


Figure II-6 « Schéma synoptique du système de pompage ».

II.6.1 Le panneau solaire

Pour avoir un rendement optimal du panneau solaire, nous avons orienté le panneau vers le sud avec une inclinaison de 35°. Les caractéristiques du panneau utiliser sont données sur le tableau suivant.

Tableau II-1 Les caractéristiques du panneau :

Puissance maximale	430W
Courant de court-circuit	9.12A
Tension de circuit ouvert	61.3V
Courant maximale	8.59A
Tension maximale	50.1V
Diode bypass	123

☰ Définition d'un module PV
— □ ×

Données de base
Données additionnelles
Paramètres modèle
Dimensions et Technologie
Commercial
Graphiques

Modèle	TS-S430	Fabricant	Topsun
Nom fichier	Topsun_TS-S430.PAN	Source données	Manufacturer 2014
?	Original PVsyst database		Prod. depuis 2014

Puissance n° Wp Tol. +/- % Technologie Si-mono

(aux STC)

Specifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence:	GRef	<input type="text" value="1000"/>	W/m ²	TRef	<input type="text" value="25"/>	°C ?
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="9.120"/>	A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="61.26"/>	V
Point de Puissance max.:	Impp	<input type="text" value="8.540"/>	A	Vmpp	<input type="text" value="50.35"/>	V
Coefficient de température	mulsc	<input type="text" value="2.9"/>	mA/°C	Nbre cellules	96 en série	
	ou mulsc	<input type="text" value="0.032"/>	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux ?

R parall. **450 ohm**

Rparall(G=0) **1800 ohm**

R série model **0.46 ohm**

R série max. **0.51 ohm**

R série apparent **0.73 ohm**

Paramètres modèle

Gamma **0.954**

IoRef **0.04 nA**

μVco **-221 mV/°C**

μPM_{max} fixé **-0.45 /°C**

Résultats du modèle interne

Conditions de fonctionnement G0per W/m² TOper °C ?

Point de Puissance max.:	Pmpp	430.1 W ?	coeff. de température	-0.44 %/°C
	Courant Impp	8.59 A	Tension Vmpp	50.0 V
	Courant de court-circuit Isc	9.12 A	Circuit ouvert Vco	61.3 V
Efficacité	/ Surf. cellules	18.74 %	/ Surf. module	16.77 %

Figure II-7 « donnes de base d'un module PV ».



Figure II-8 « L'installation du panneau solaire ».

II.6.2 Les canalisations

La canalisation de remplissage est une tuyauterie multicouche permettant de réaliser un circuit apparent, facile à poser, cintrable à la main, sans soudure et de diamètre égal à 20mm.



Figure II-9 « photo de l'installation de la canalisation ».

II.6.3 Le moto-pompe

Les moto-pompes solaires sont généralement de rendement élevé (utilisation de technologies de pointe). Les moteurs des pompes de petite puissance (petite HMT et faible débit journalier) sont en courant continu sans balais et de faible tension : 12V ou 24V. Mais pour raison de disponibilité, nous avons choisi un moto-pompe d'utilisation domestique de caractéristiques suivante : [8]

Tableau II-2 Les caractéristiques du moto-pompe

Puissance	0.125KW(0.17HP)
H.max	19m
Q.max	20L/min(1.2m ³ /h)
Dimensionnement	240×140×170mm
Tension	220V
Fréquence	50Hz



Figure II-10 « Installation du moto-pompe ».

II.6.4 Le convertisseur

Puisque le moteur est asynchrone monophasé, convertisseur continu/alternatif (onduleur) extérieur de 200W a été installé. La tension continu à l'entrée égale à 12V (choisi suivant le régulateur disponible) alors que la tension alternative à la sortie est similaire à celle du réseau publique (fréquence 50Hz et valeur efficace de 230V).



Figure II-11 « Onduleur monophasé 500W ».

II.6.5 Le régulateur

Pour le pompage solaire, le régulateur électronique doit permettre d'obtenir en permanence le meilleur point de fonctionnement de la pompe (MPPT) malgré les variations de l'ensoleillement.

Dans la plupart des cas, il permet également de gérer le chargement et le déchargement des batteries en cas de manque d'ensoleillement et la protection des batteries contre la décharge profonde. Puisque le régulateur solaire à MPPT est très cher alors que notre projet ne nécessite qu'une énergie journalière de 27Wh/j, Nous utilisons un simple régulateur + batterie pour contrôler le chargement et le déchargement de la batterie. Lorsque la batterie est complètement chargée par le panneau via le régulateur, le pompage est lancé jusqu'à un niveau minimum de charge. Ensuite, la batterie se charge pour pouvoir lancer le pompage de nouveau jusqu'à remplir complètement le réservoir.



Figure II-12 « Simple régulateur ».



Figure II-13 « Batterie solaire ».

II.6.6 L'organisation du pompage

Le régulateur impose une tension de presque 14.5V pour charger la batterie puis cette tension diminue pour se stabiliser à 13.2V (Figure III-20) lorsque la batterie est complètement chargée. Dans cette zone, la puissance n'est pas maximale. [8]

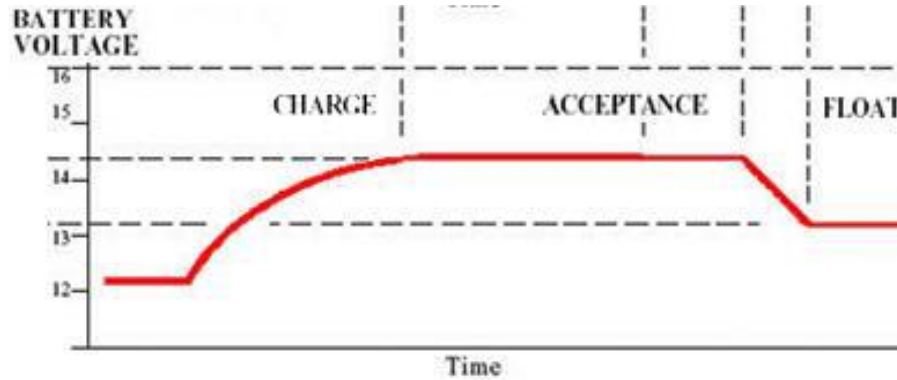


Figure II-14 « Courbe de charge d'une batterie ».

La puissance est estimée à environ 46W (14V×3.3A) pour un ensoleillement de 800W/m². Ceci montre que l'opération de chargement de la batterie nécessite presque deux heures. Lorsque la batterie est initialement chargée, L'énergie cumulée sera égale :

$E_{bat} = C * V = 7 * 12 = 84Wh$ Avec "C = 7AH " est la capacité de la batterie et "V = 12V" est la tension à ces bornes.

Un déchargement de la batterie (de 100% à 20%) fournie à la pompe une énergie de pompage égale :

$$E_{pomp1} = 84 * 0.8 = 67.2Wh$$

Ainsi, une opération de chargement-déchargement de la batterie fournissent à la pompe une énergie de pompage suffisante pour remplir complètement le réservoir $E_{pomp} = 2E_{pomp1} = 134.4Wh > E_c$

Mesure de débit d'eau

Après la réalisation de montage, nous avons pris des mesures du débit en fonction du Un ensoleillement de 800W/m². Temps, sachant que

- La température ambiante moyenne de 30°C.
- Une inclinaison de 35° orienté vers le sud.
- Hauteur manométrique totale de 4m.

Tableau II-3 Mesure du débit

Débit (L/min)	0	18	17.2	16.8	17.2	17	16.4	15.6	15.5
Temps(s)	0	7.6	27.6	69	129	189	214	234	269

Le graphe du débit est représenté sur la figure suivante.

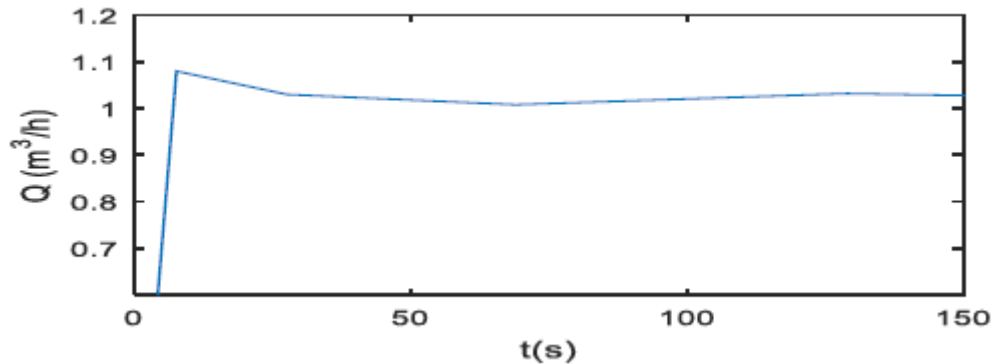


Figure III-15 « débit d'eau expérimentale ».

II.7 L'électronique de commande et contrôle

Le dispositif de commande et de contrôle est assuré par un onduleur ou hacheur.

- Le convertisseur DC/DC (hacheur)

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge (pompe alimentée par moteur à courant continu), la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible. [8]

- Le convertisseur DC/AC (onduleur)

Le convertisseur DC/AC assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe électropompe et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsqu'il n'y a pas d'eau dans le puits. Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal.

Caractéristiques de fonctionnement les plus importants :

- Tension et courant d'entrée/sortie
- Forme de l'onde
- Limites de la tension d'entrée
- Basse de consommation et haut rendement

- Puissance de sortie - Capacité de surcharge
- Facilité la réparation et la maintenance
- Fonctionnement dans les points de puissance maximale - Conditions ambiantes (température de fonctionnement)

II.7.1 Stockage

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles. Le réservoir ne requiert pas d'entretien complexe et est facile à réparer localement. Aussi, le système de stockage avec batterie génère un coût additionnel, des problèmes de maintenance des batteries et de l'obligation les remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus le rendement énergétique est dégradé avec des accumulateurs. Dans le cas de notre étude, nous retenons la méthode de pompage au fil de soleil car la demande en eau n'est pas régulière dans la localité d'étude, elle se fait notamment pendant la journée [8].

II.8 Conclusion

L'objectif de notre étude est la réalisation d'un système de pompage photovoltaïque fonctionnant au fil du soleil basé sur un moteur asynchrone qui entraîne une pompe centrifuge qui aspire l'eau d'un niveau bas et le refoulé dans un réservoir (niveau haut). La réalisation sur un site de l'école a pour but de satisfaire les besoins quotidiens en eau d'un projet à venir. Nous avons présenté une prédétermination des caractéristiques par simulation du système de pompage photovoltaïque et un dimensionnement pour permettre l'acquisition des compétences pratiques pour la réalisation de ces systèmes dans ce domaine.

La puissance extraite du panneau dépend fortement de de l'éclairement et de la température et la météo de la journée. Ceci influe énormément sur les caractéristiques du système de pompage. Pour l'amélioration de la réponse du système de pompage solaire, une commande du moteur asynchrone doit être introduite. Ceci permet par conséquent de contrôler le débit et la hauteur manométrique de la pompe.

La puissance extraite des GPVs varie pendant la journée, alors que le pompage de l'eau comme le stockage ne doit être fait que durant une période limitée de la journée. Il est nécessaire d'installer un système de gestion du pompage et de la consommation de l'eau durant les périodes les plus favorables.

CHAPITRE III

Simulation d'un système de pompage PV

Introduction :

Partie A :

Historique du développement PVsyst.

1989 : CUEPE : Mesure détaillée de 3 systèmes PV couplés au réseau.

1991 : Début du projet de Logiciel PVsyst (financement OFEN).

1999 : Collaboration avec l'EPFL : réécriture interface, langage plus moderne.

2004 : Projet de recherche, modélisation des capteurs.

2006 : Projet de recherche, pompage solaire.

2007 – 2012 : Explosion de la demande.

2011 : Création de la société PVsyst SA.

2017 : Entreprise de 10 personnes, 6 pour le développement du logiciel Activités pour la formation, projets en Afrique.

Logiciel en constante évolution avec des améliorations progressives publication toutes les 6 semaines.

✓ Hot-line : nombreux échanges avec les utilisateurs, sur la manipulation du logiciel, les méthodes, la modélisation, les bugs, demandes de développements / modifications.

✓ Forum, avec FAQ : largement développée sur toutes questions techniques et scientifiques.

✓ Aide en ligne : contextuelle dans tout le logiciel.

✓ Tutorial : plusieurs vidéos en préparation.

✓ Formations : permettent d'identifier les faiblesses et besoins du logiciel.

✓ Fabricants : Modélisation des composants, Bases de données.

Contacts avec organismes : PVPVC PV Performance Modeling Collaborative
Conférences sur la modélisation (Sandia Laboratoires, NREL, TÜV, etc.).

EPVSEC Conférences Européennes Organismes de Certification. [9]

III.1 Définition sur le logiciel :

Lors de l'ouverture de PVsyst, vous accédez à la page principale :



Figure III-A-1 « Page principale du logiciel ».

Cela donne accès aux quatre parties principales du programme :

La «conception préliminaire» permet d'évaluer rapidement les potentiels et les contraintes possibles d'un projet dans une situation donnée. Ceci est très utile pour le pré-dimensionnement des systèmes autonomes et de pompage. Pour les systèmes connectés au réseau, il s'agit simplement d'un instrument permettant aux architectes d'obtenir une évaluation rapide du potentiel photovoltaïque d'un bâtiment. La précision de cet outil est limitée et n'est pas destinée à être utilisée dans les rapports de vos clients. La «conception de projet» est la partie principale du logiciel et est utilisée pour l'étude complète d'un projet. Cela implique le choix des données météorologiques, la conception du système, les études d'ombrage, la détermination des pertes et l'évaluation économique. La simulation est réalisée sur une année complète par étapes horaires et fournit un rapport complet et de nombreux résultats supplémentaires.

«Bases de données» comprend la gestion des données climatiques qui consiste en des données mensuelles et horaires, la génération synthétique de valeurs horaires et l'importation de données externes. Les bases de données contiennent également les définitions de tous les composants impliqués dans les installations photovoltaïques comme les modules, les onduleurs, les batteries, etc. «Tools» fournit des outils supplémentaires pour estimer et visualiser rapidement le comportement d'une installation solaire. Il contient également un ensemble d'outils dédié qui permet d'importer les données mesurées des installations solaires existantes pour une comparaison étroite avec la simulation. [10]

III.2 Etude complète d'un exemple de projet :

Spécifications du projet et procédure générale Pour une introduction au développement d'une conception de projet dans PVsyst, nous allons parcourir un projet complet étape par étape. A titre d'exemple, nous considérerons une ferme située en France près de Marseille. Le bâtiment en question est représenté sur le croquis suivant :

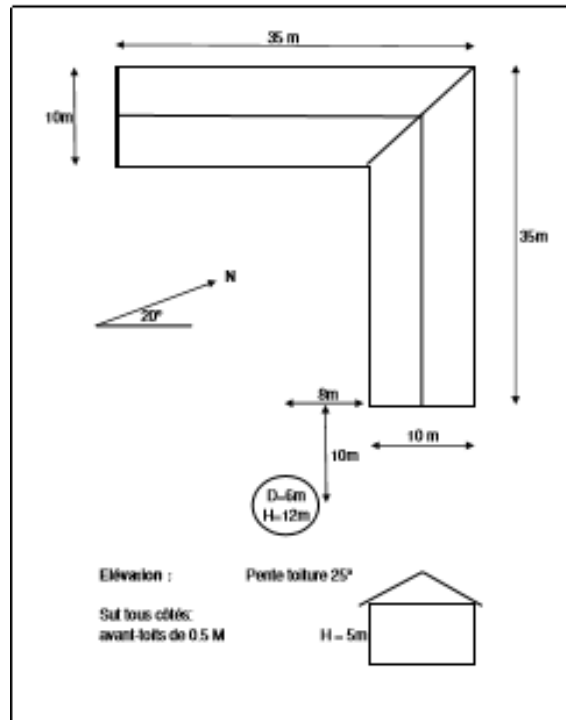


Figure III-A-2 « Etude d'un exemple de projet ».

Le toit de la ferme est orienté plein sud et nous avons l'intention de le recouvrir sur une superficie d'environ $5\text{ m} \times 25\text{ m} = 125\text{ m}^2$ avec des modules photovoltaïques monocristallins. Comme expliqué précédemment, nous n'utiliserons pas la «conception préliminaire» pour un projet connecté au réseau, mais nous commencerons plutôt la «conception du projet» complète.



Figure III-A-3 « Project design ».

Lorsque vous choisissez un projet "Grid connected", vous obtenez le tableau de bord suivant pour la gestion d'un projet :

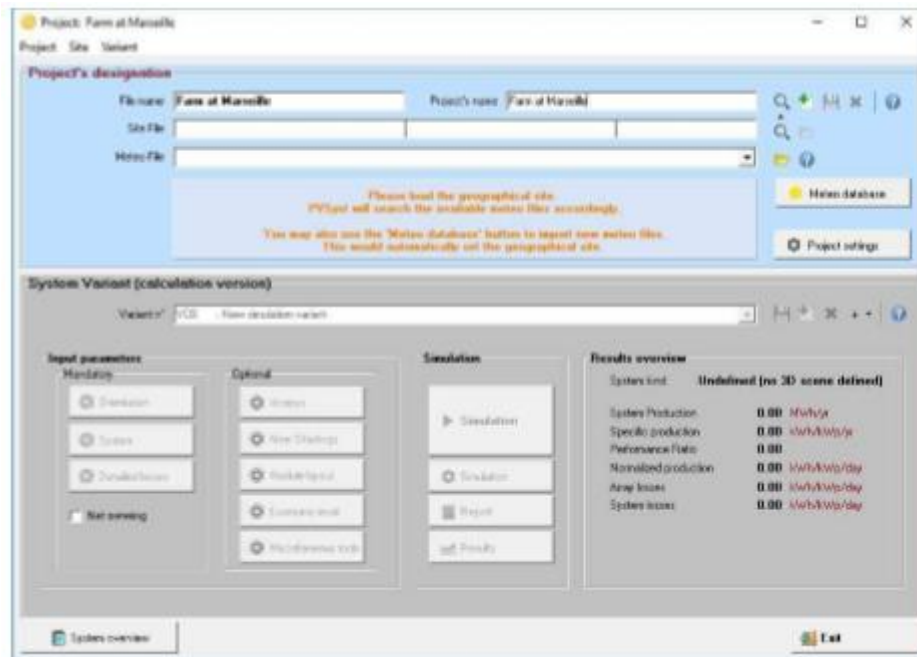


Figure III -A-4 « Tableau de bord ».

Le tableau de bord comprend deux parties : les définitions de base du projet et la gestion des variantes du système.

Ce que nous appelons «Projet» dans PVsyst, n'est que l'objet central pour lequel vous construirez différentes variantes (ou configurations système, variantes de calcul) de votre système. Le Projet contient le site géographique de votre système, la référence à un fichier

avec les données météorologiques, et quelques paramètres généraux comme la définition de l'Albédo, certaines conditions de dimensionnement et paramètres spécifiques à ce projet. Dans la base de données, il obtiendra un nom de fichier avec l'extension * .PRJ.

Chaque variante de système contient toutes les définitions détaillées de votre système, ce qui entraînera un calcul de simulation. Ces définitions incluent le choix des panneaux solaires et des onduleurs, le nombre de panneaux et d'onduleurs, la disposition géométrique et les ombrages possibles, les connexions électriques, les différents scénarios économiques, etc. Dans la base de données, les fichiers avec les Variantes d'un projet auront le dossier du Projet nom, avec les extensions VC0, VC1, VCA, etc. Vous pouvez définir jusqu'à 36 variantes par projet. [10]

III.3 Étapes du développement d'un projet :

Lors du développement d'un projet dans PVsyst, il est conseillé de procéder par petites étapes :

Créez un projet en spécifiant la localisation géographique et les données météorologiques.

- Définissez une variante de système de base, en incluant uniquement l'orientation des modules PV, la puissance requise ou la surface disponible et le type de modules PV et d'onduleurs que vous souhaitez utiliser. PVsyst proposera une configuration de base pour ce choix et fixera des valeurs par défaut raisonnables pour tous les paramètres requis pour un premier calcul. Ensuite, vous pouvez simuler cette variante et la sauvegarder. Ce sera la première approximation grossière qui sera affinée par itérations successives.

- Définissez des variantes successives en ajoutant progressivement des perturbations à ce premier système, par exemple, des ombrages éloignés, des ombrages proches, des paramètres de perte spécifiques, une évaluation économique, etc. Vous devez simuler et enregistrer chaque variante afin de pouvoir les comparer et comprendre l'impact de tous les détails vous ajoutez à la simulation.

III.4 Conseils – Aide :

Dans PVsyst, vous pouvez toujours accéder à l'aide contextuelle en appuyant sur F1. Parfois, vous verrez également de petits boutons de point d'interrogation orange. En cliquant dessus, vous obtiendrez des informations plus détaillées sur le sujet dans la section Aide. Lorsque PVsyst affiche les messages en rouge, il est conseillé de les lire attentivement. Il peut s'agir d'avertissements ou de messages d'erreur, ou il peut s'agir de procédures à suivre pour obtenir un résultat correct.



Figure III-A-6 « Le bouton "Albedo - Paramètres" ».

Habituellement, vous ne modifierez jamais le facteur d'albédo. La valeur de 0,2 est une norme adoptée par la plupart des gens. Néanmoins, si par exemple votre site est situé en montagne, vous pouvez définir dans ce tableau un facteur d'albédo plus élevé comme 0,8 pour les mois où il y a de la neige persistante.

Le deuxième onglet de la boîte de dialogue des paramètres du projet contient la page "Conditions de conception". [10]



III-A-7« Boîte de dialogue "Conditions de conception" ».

Cette page définit les températures de dimensionnement, qui peuvent dépendre du site. Ceux-ci ne sont utilisés que lors du dimensionnement de votre système ; ils ne sont pas impliqués dans la simulation.

La «température inférieure pour la limite de tension absolue» est une valeur importante dépendante du site, car elle est liée à la sécurité de votre système (elle détermine la tension maximale du réseau dans toutes les conditions). Idéalement, il devrait s'agir de la température minimale jamais mesurée à la lumière du jour à cet endroit. En Europe centrale, la pratique courante est de choisir -10 ° C (plus bas dans les climats de montagne).

III.6 Enregistrer le projet :

Lorsque vous avez terminé (c'est-à-dire que vous êtes passé aux choix de variantes), vous serez invité à enregistrer les définitions de votre projet. La boîte de dialogue qui apparaît vous permet de renommer le projet. Nous vous recommandons d'utiliser un nom de fichier simple, car il sera utilisé comme étiquette pour toutes les variantes.

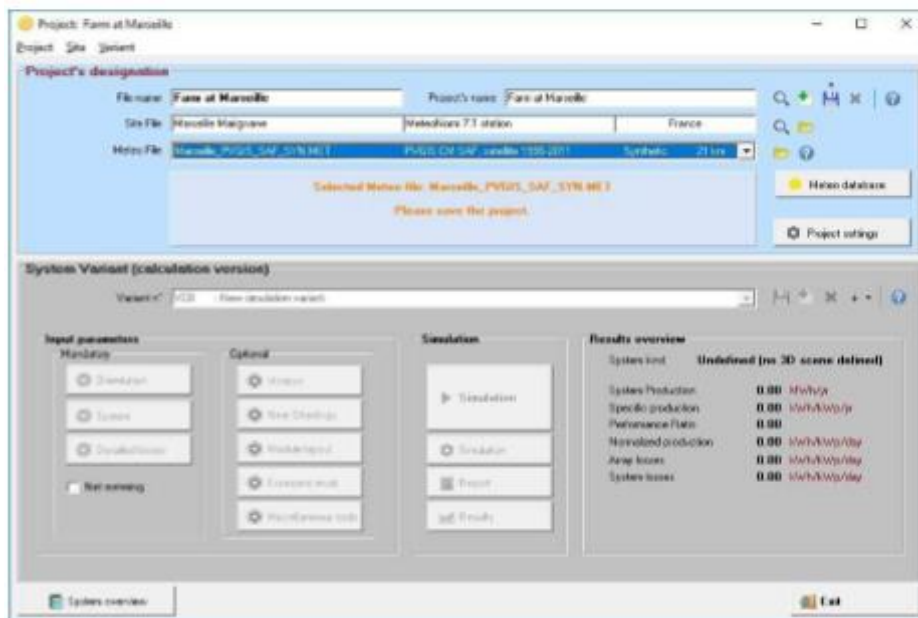


Figure III-A-8 «Enregistrer le projet ».

III.7 Création de la première variante (de base) :

Pour ce projet Après avoir défini le site et l'entrée météorologique du projet, vous pouvez procéder à la création de la première variante. Vous remarquerez qu'au début il y a 2 boutons marqués en rouge : «Orientation» et «Système». La couleur rouge signifie que cette variante du projet n'est pas encore prête pour la simulation, une entrée supplémentaire est nécessaire. Les paramètres de base qui doivent être définis pour l'une des variantes, et que nous n'avons pas encore spécifiés, sont l'orientation des panneaux solaires, le type et le nombre de modules PV ainsi que le type et le nombre d'onduleurs qui seront utilisés. [10]

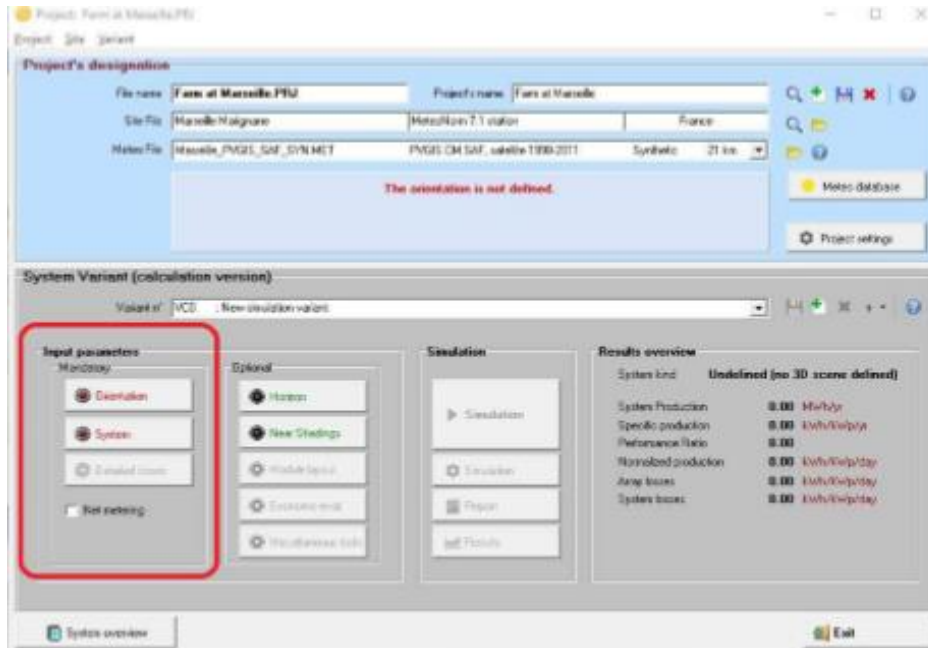


Figure III-A -9 « Création de la première variante (de base) ».

Cliquez d'abord sur "Orientation". Vous obtiendrez la boîte de dialogue d'orientation où vous devrez fournir des valeurs pour le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut.

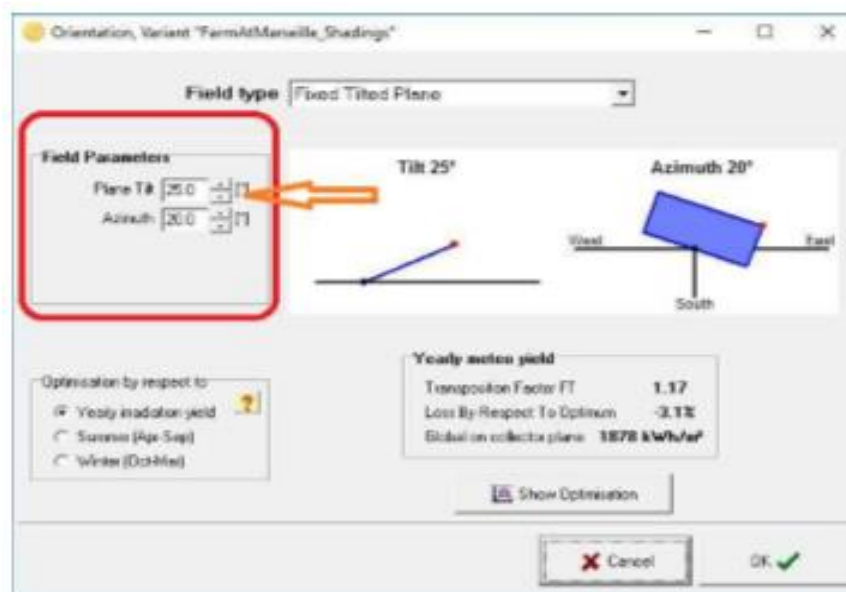


Figure III-A-10 « Le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut ».

Les panneaux solaires de notre exemple seront installés sur un plan incliné fixe. À partir du dessin du projet, nous obtenons les angles d'inclinaison du plan et d'azimut (respectivement 25 ° et 20 ° ouest). L'azimut est défini comme l'angle entre la direction sud et

la direction vers laquelle les panneaux font face. Les angles à l'ouest sont comptés positifs, tandis que les angles à l'est sont comptés négatifs.

Après avoir réglé les valeurs correctes pour l'inclinaison et l'azimut, vous cliquez sur "OK" et le bouton "Orientation" deviendra vert. Cliquez ensuite sur "Système".

- Aide sur le dimensionnement

• D'après la description du système, nous nous souvenons que nous avons une surface disponible d'environ 125 m². Il n'est pas obligatoire de définir une valeur ici, mais cela simplifiera notre première approche car cela permettra à PVsyst de proposer une configuration adaptée.

- Sélectionnez un module PV

• Choisissez un module PV dans la base de données. Parmi «Tous les modules», sélectionnez «Générique» comme fabricant et sélectionnez le modèle 110 W. Dans la partie inférieure droite de la boîte de dialogue, PVsyst affiche un conseil pour choisir l'onduleur : "Veillez choisir le modèle d'onduleur, la puissance totale doit être de 13,2 kW ou plus."

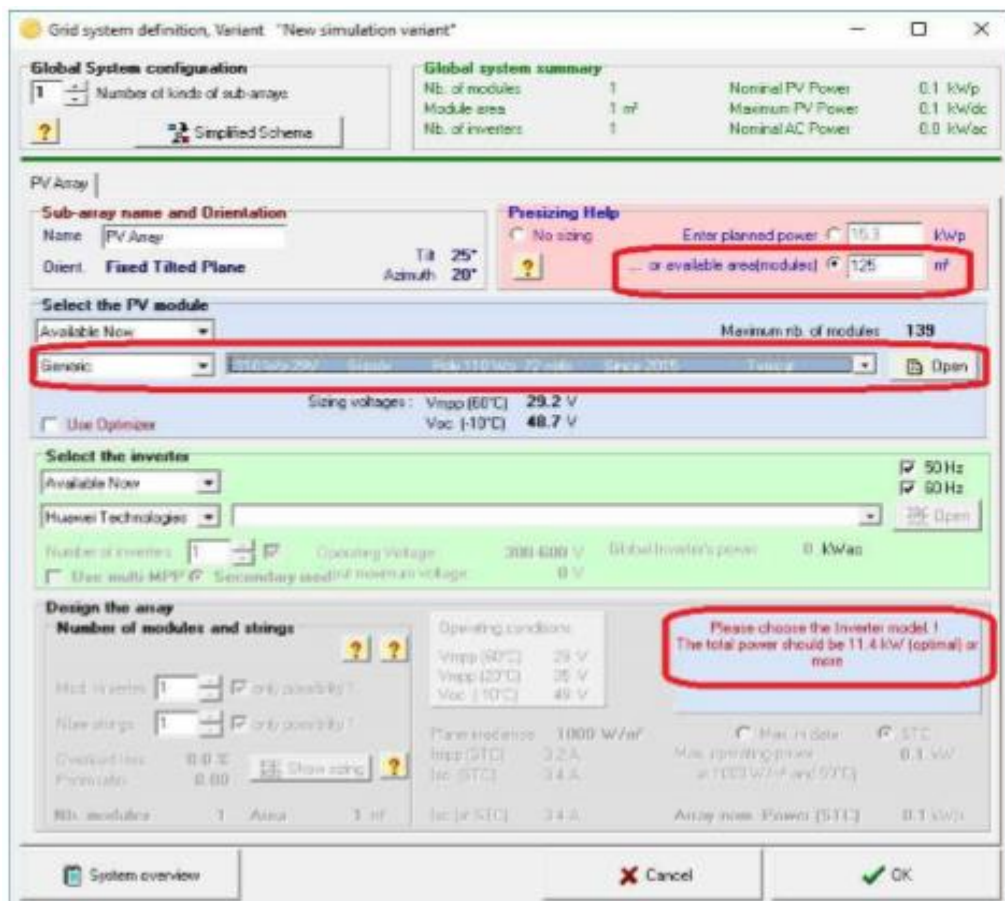


Figure III-A- 11 « Choisir l'onduleur ».

- Sélectionnez l'onduleur

Pour l'installation de notre exemple, nous pourrions choisir soit un onduleur triphasé d'environ 13 kW, soit 3 onduleurs monophasés de 4,2 kW à connecter sur les 3 phases. Nous choisissons le Générique 4,2 kW et PVsyst propose une configuration complète pour le système: 3 onduleurs, 15 chaînes de 9 modules en série.

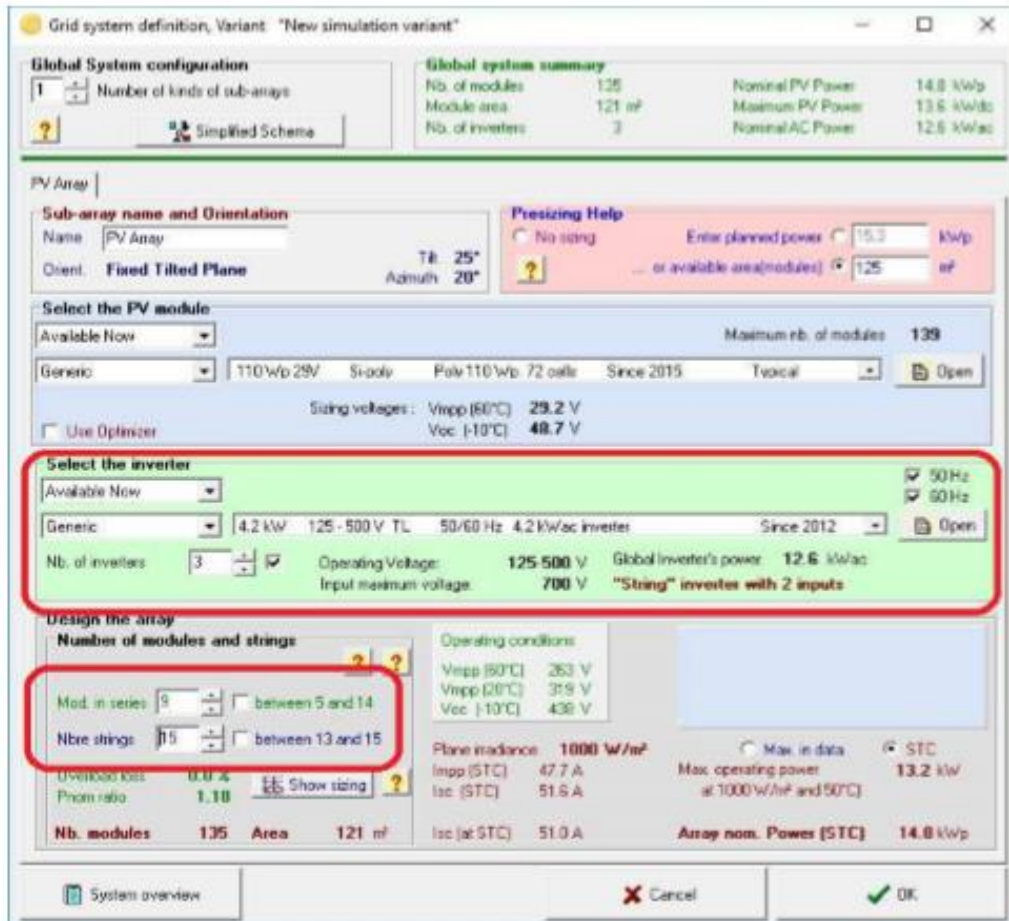


Figure III-A-12 «L'installation d'exemple ».

Une fois le type de module, l'onduleur et la conception de la baie définis, le panneau bleu dans la partie inférieure droite de la boîte de dialogue doit être vide ou orange. Si vous recevez un message d'erreur rouge, vérifiez tous les choix que vous avez faits et corrigez-les avec les valeurs décrites ci-dessus (cela peut prendre quelques secondes pour que le message s'adapte aux modifications que vous effectuez).

Nous avons maintenant défini tous les éléments obligatoires nécessaires à une première simulation. Nous aborderons plus en détail cette boîte de dialogue très importante plus loin dans ce didacticiel. Pour l'instant, vous pouvez cliquer sur «OK» pour valider les choix. Vous obtiendrez une boîte de message avec l'avertissement: «La puissance de l'onduleur est

légèrement sous-dimensionnée». Pour le moment, nous allons l'ignorer et simplement confirmer avec le bouton OK.

III.8. Exécution de la première simulation :

Sur le tableau de bord du projet, tous les boutons sont maintenant verts (éventuellement orange) ou désactivés.

Le bouton "Simulation" est activé, et nous pouvons cliquer dessus.

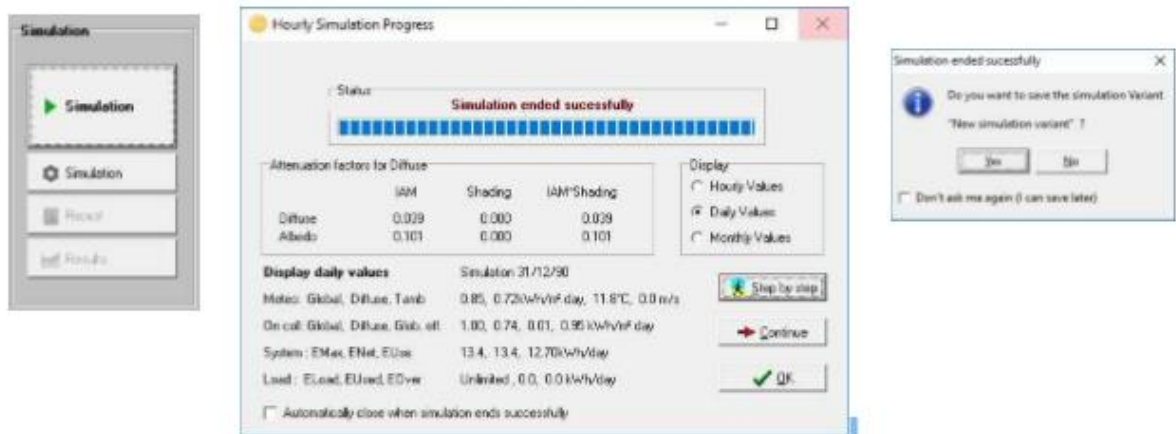


Figure III-A-13 « Exécution de la première simulation ».

Les dates de simulation sont celles du fichier de données météo sous-jacent. Ne les modifiez pas (vous ne pouvez pas effectuer de simulation en dehors des données météo disponibles).

Les définitions préliminaires sont des fonctionnalités supplémentaires qui peuvent être définies à des fins avancées. Nous allons les ignorer pour l'instant et cliquer tout de suite sur «Simulation».



Figure III-A-14 «Simulation».

Une barre de progression apparaîtra, indiquant la quantité de simulation à effectuer. Une fois terminé, le bouton "OK" deviendra actif. Lorsque vous cliquez dessus, vous accédez directement à la boîte de dialogue "Résultats".

Analyse des résultats Cette boîte de dialogue affiche en haut un petit résumé des paramètres de simulation que vous devez vérifier rapidement pour vous assurer que vous n'avez pas commis d'erreur évidente dans les paramètres d'entrée. Voici un cadre avec six valeurs qui résument en un coup d'œil les principaux résultats de la simulation. Ils ne donnent qu'une image très grossière des résultats et sont là pour repérer rapidement les erreurs évidentes ou pour avoir une première impression d'un changement ou d'une comparaison entre des variantes du projet.

Dans la partie inférieure gauche de la boîte de dialogue, vous verrez le diagramme "Entrée / Sortie", qui vous donne déjà des informations plus détaillées sur le comportement général du système. Il affiche pour chaque jour simulé, l'énergie injectée dans le réseau en fonction de l'irradiation incidente globale dans le plan collecteur. Pour un système bien dimensionné connecté au réseau, il doit s'agir à peu près d'une ligne droite qui sature légèrement pour de grandes valeurs d'irradiation. Cette légère courbure est un effet de température. Si certains points (jours) s'écartent à des irradiances élevées, cela indique des conditions de surcharge. Pour les systèmes autonomes, un plateau indique un fonctionnement en surcharge (batterie pleine).

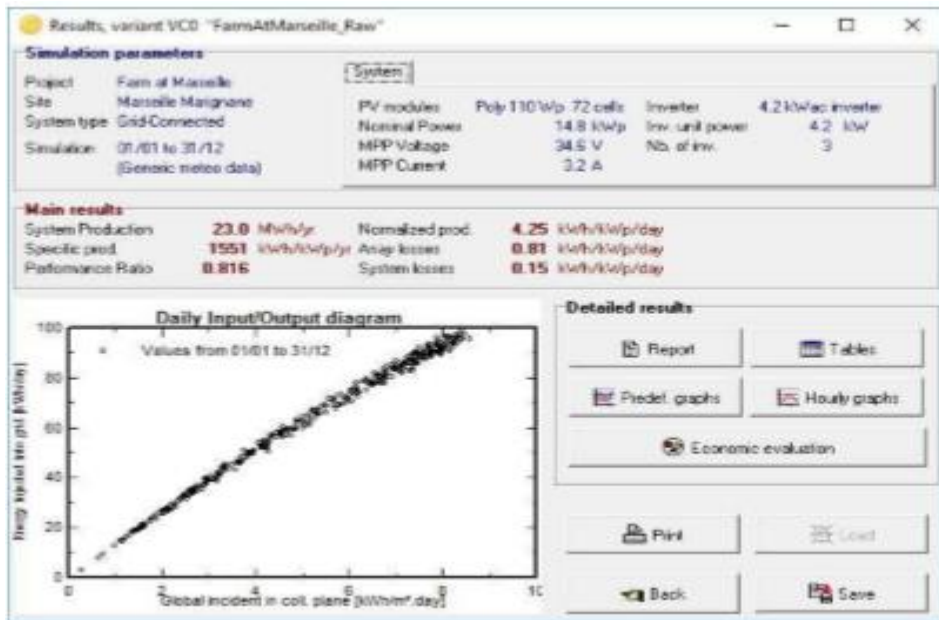


Figure III-A-15 « Courbe de la simulation ».

Les principales informations des résultats de la simulation sont rassemblées dans le rapport. Les autres boutons donnent accès à des tableaux et graphiques complémentaires pour

une analyse plus approfondie des résultats de la simulation. Pour l'instant nous allons ignorer les. Lorsque vous cliquez sur, vous obtenez le rapport complet, qui pour cette première variante simple se compose de seulement trois pages (pour les simulations avec plus de détails, vous pouvez obtenir jusqu'à 9 pages de rapport). Dans ce rapport, vous trouverez :

- Première page : Tous les paramètres sous-jacents à cette simulation : Situation géographique et données Météo utilisées, orientation du plan, informations générales sur les ombrages (horizon et quasi-ombrages), composants utilisés et configuration du tableau, paramètres de perte, etc.

- Deuxième page: Un rappel des principaux paramètres, et des principaux résultats de la simulation, avec un tableau mensuel et des graphiques de valeurs normalisées.

- Troisième page : Le diagramme de perte de flèche PVsyst, montrant un équilibre énergétique et toutes les pertes le long du système. C'est un indicateur puissant de la qualité de votre système, et vous indiquera immédiatement les erreurs de dimensionnement, si elles existent.

III.9.Sauvegarde de votre simulation : Prenez l'habitude de "sauvegarder" vos différentes variantes pour des comparaisons plus poussées. Veillez à définir un titre significatif afin d'identifier facilement votre variante dans le futur. Ce titre sera mentionné sur le rapport (il peut également être défini dans une étape antérieure, par exemple au moment de la simulation).

La première variante sera enregistrée dans le fichier "Marseille_Tutorial.VC0". Les variantes ultérieures obtiendront les terminaisons de fichier VC1, VC2, etc. Si vous souhaitez créer une nouvelle variante, assurez-vous d'utiliser "Enregistrer sous" pour éviter d'écraser vos variantes précédentes. Pour ouvrir les simulations précédentes du projet, vous pouvez cliquer sur le bouton "Charger" qui se trouve juste au-dessus du bouton "Enregistrer". [10]

Partie B :

Les dimensionnements :

Les données utilisées dans le logiciel sont des données miniatures pour illustrer son travail.

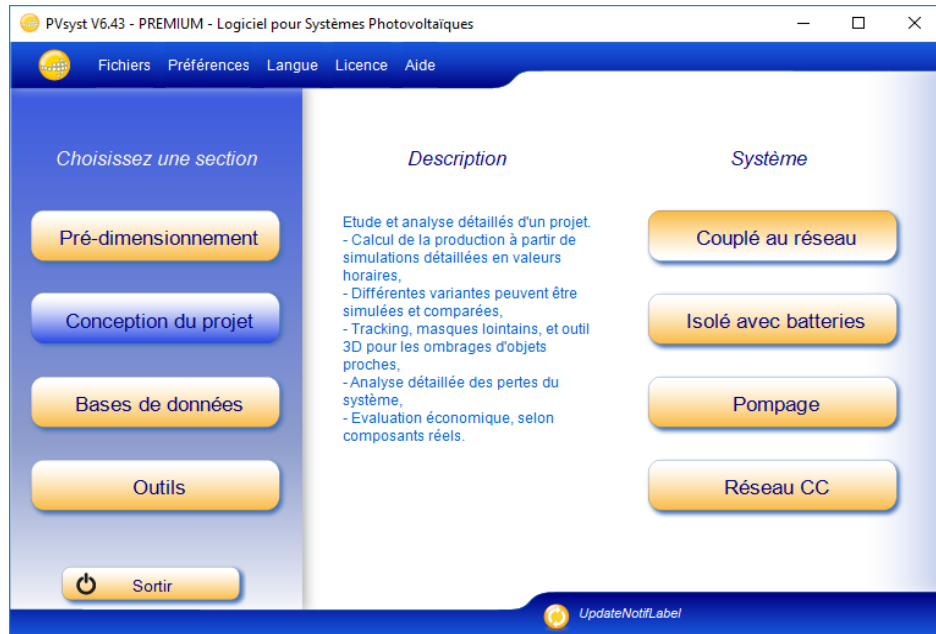


Figure III-B-1 « Project design ».

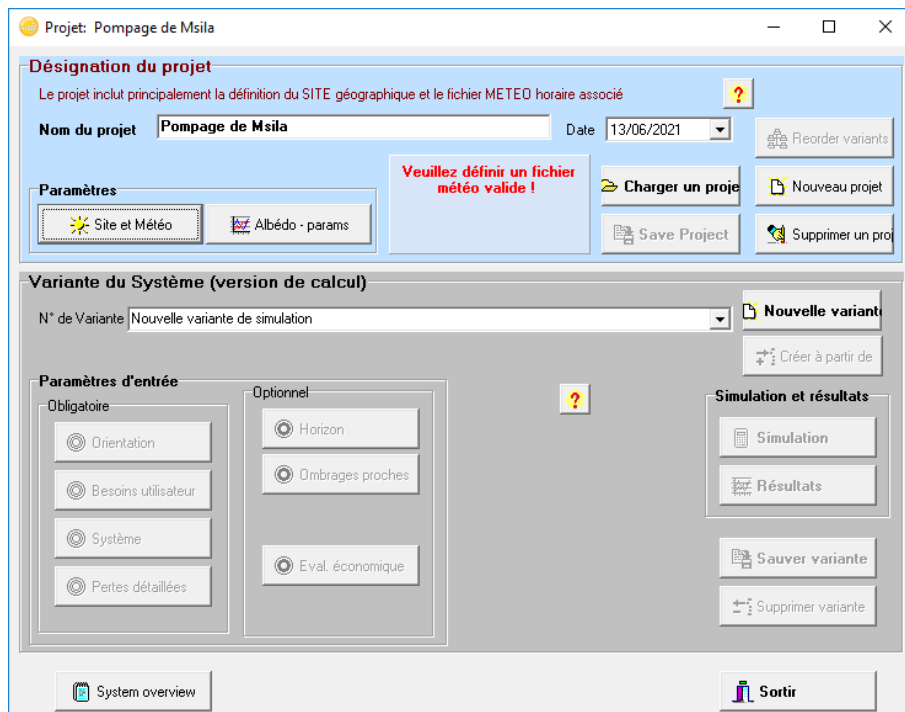


Figure III -B-2 « Tableau de bord ».

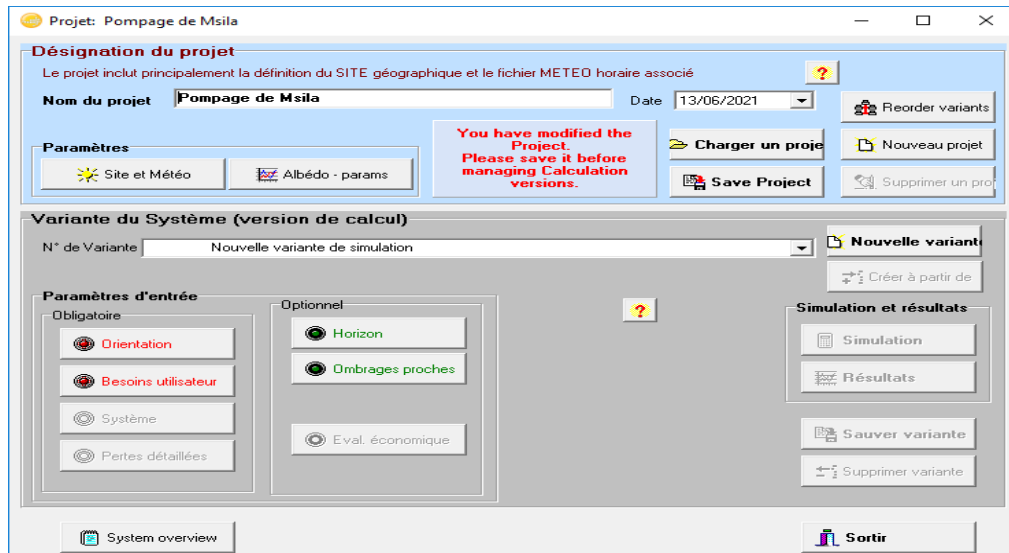


Figure III-B -3 « Création de la première variante (de base) ».

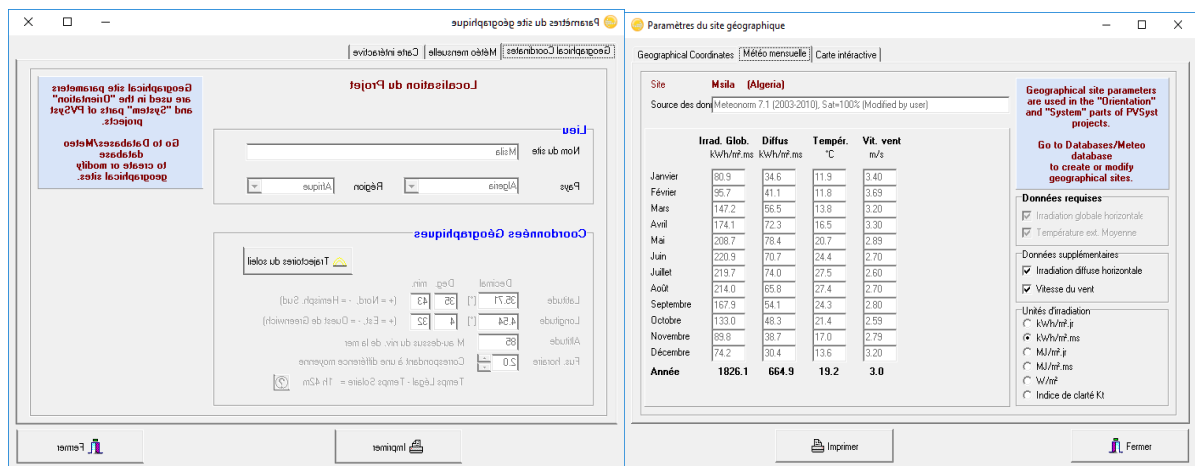


Figure III-B-3 « Paramètres du site géographiques ».

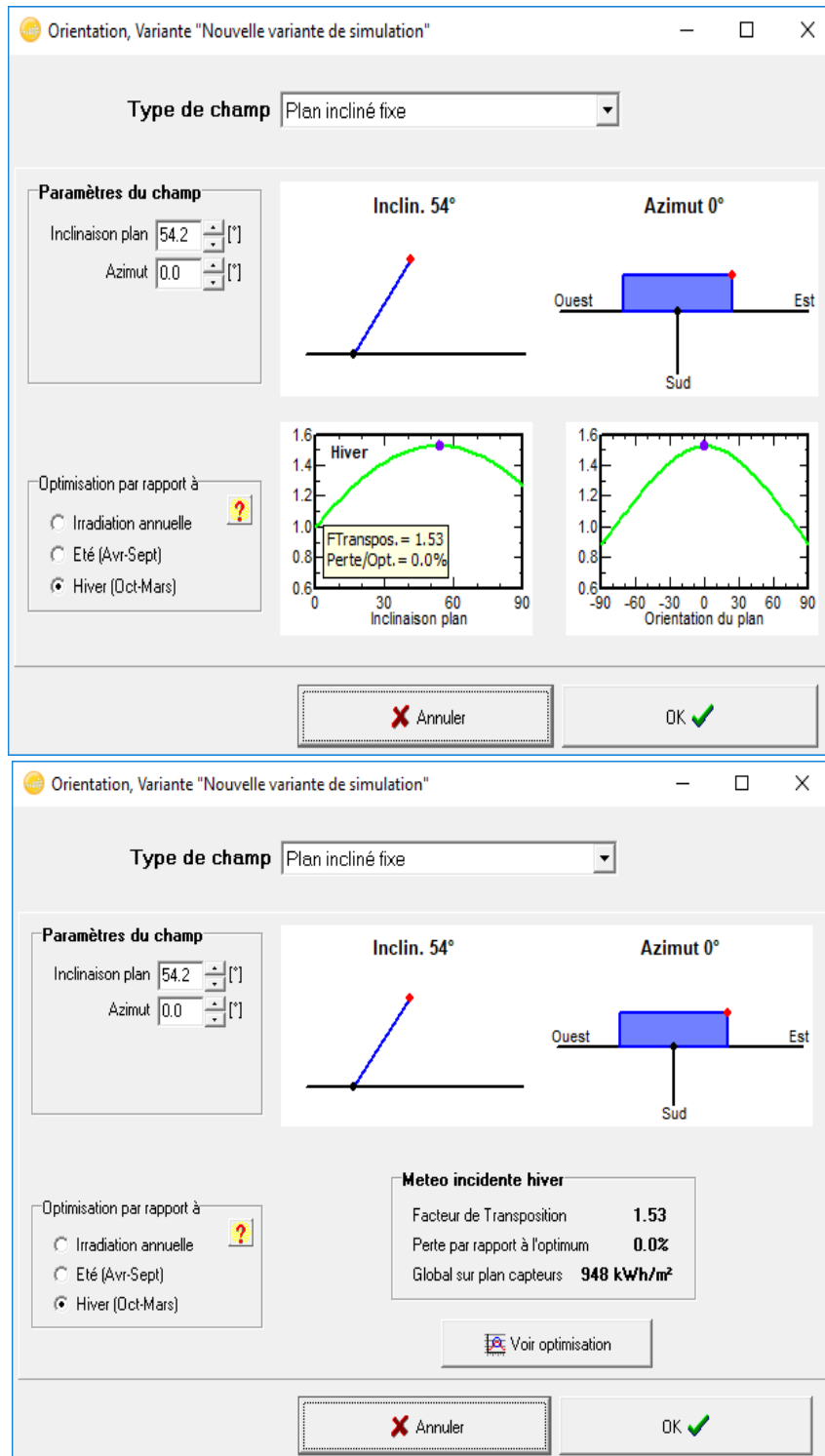


Figure III-B-4 « Le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut »

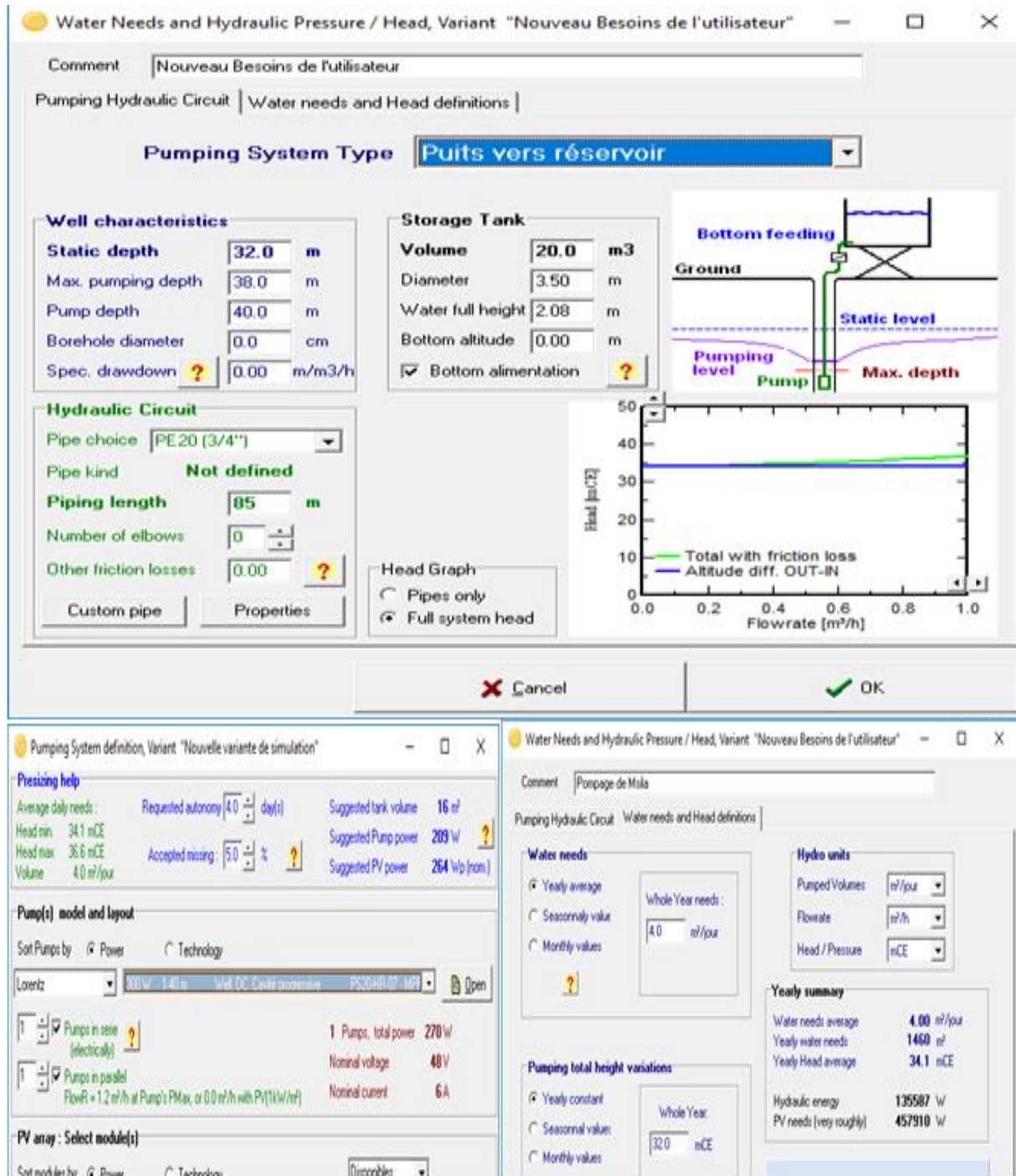


Figure III-B-5 «L'installation d'exemple».

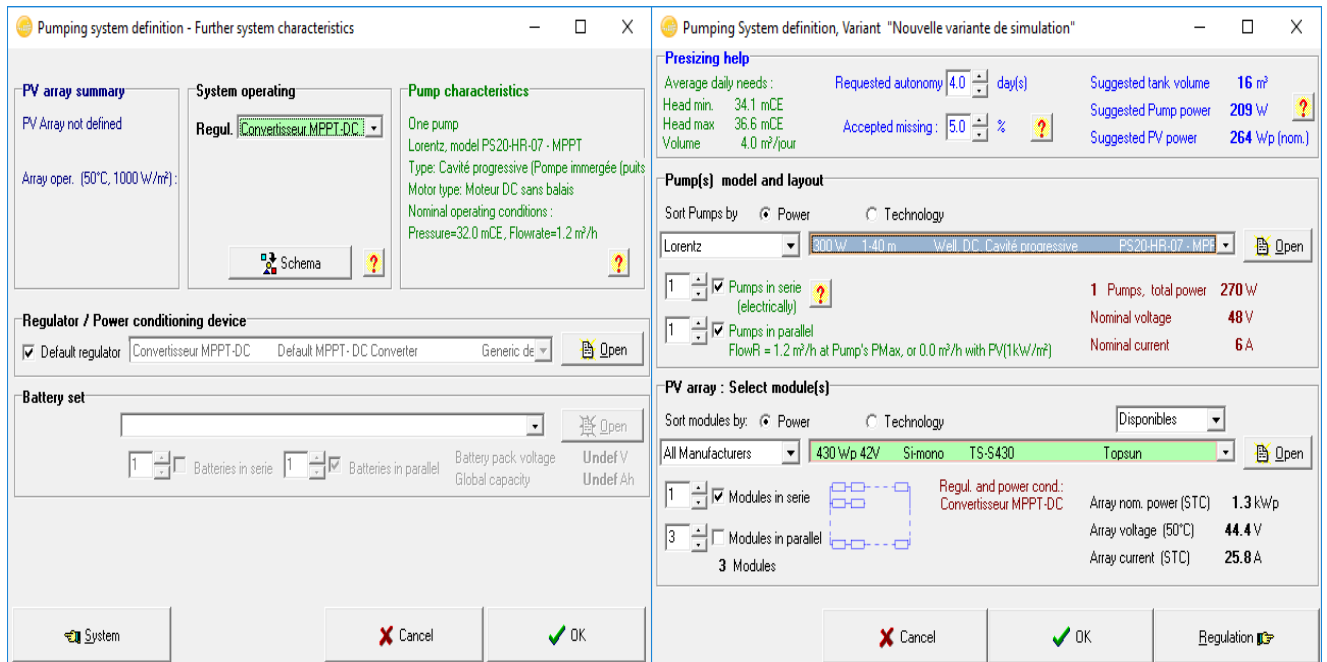


Figure III-B- 6 « Choisir l'onduleur ».

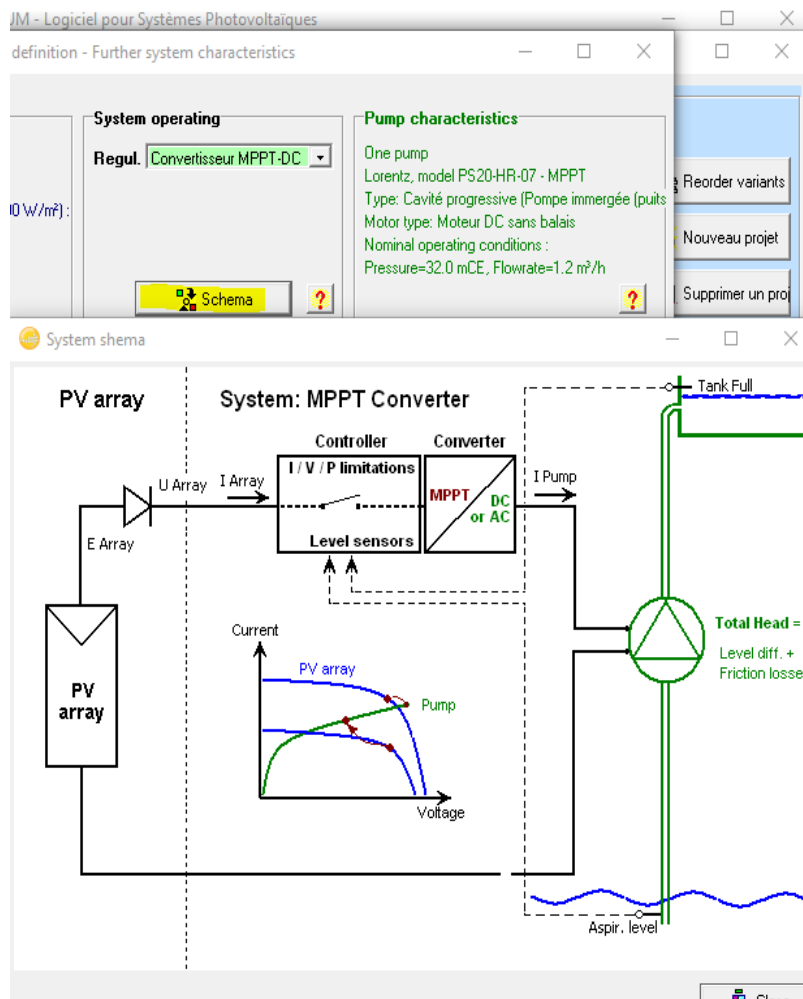


Figure III-B- 7 « Le Schéma ».

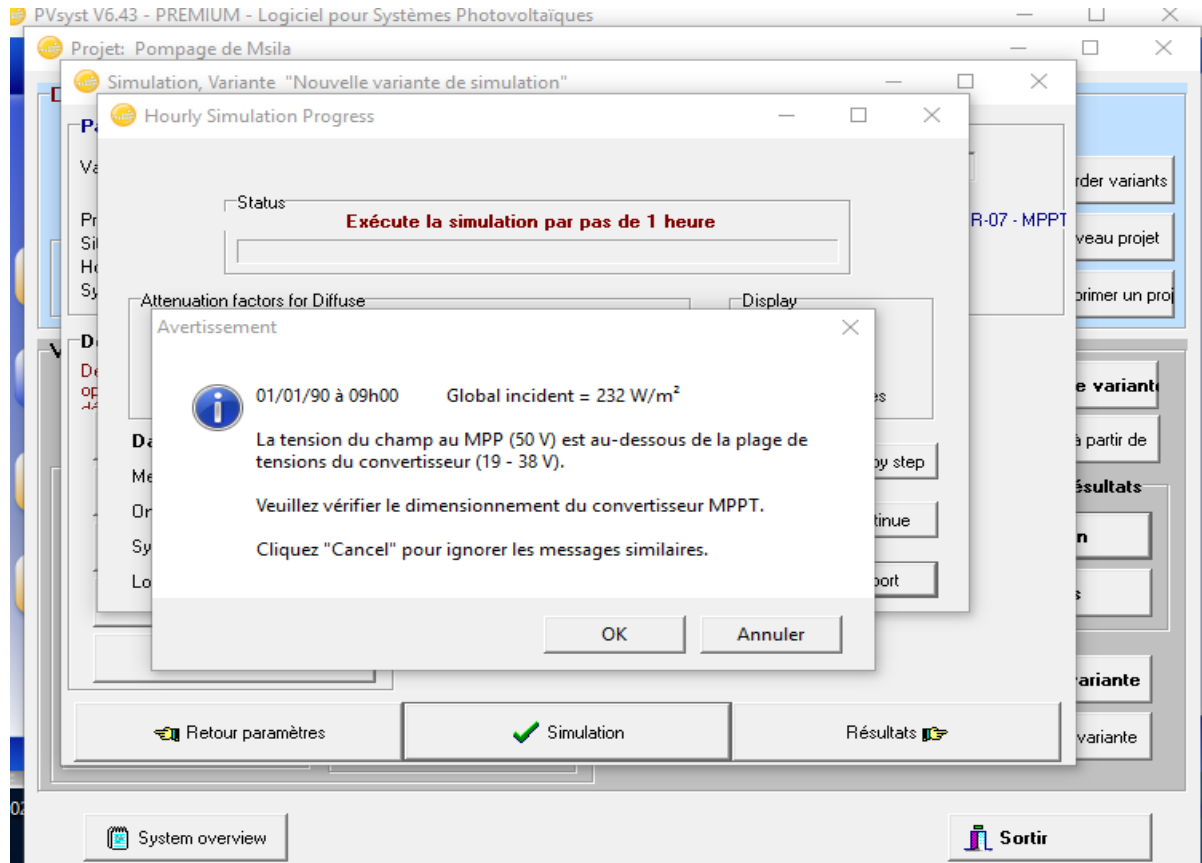


Figure III-B-8 « Exécution de la première simulation ».

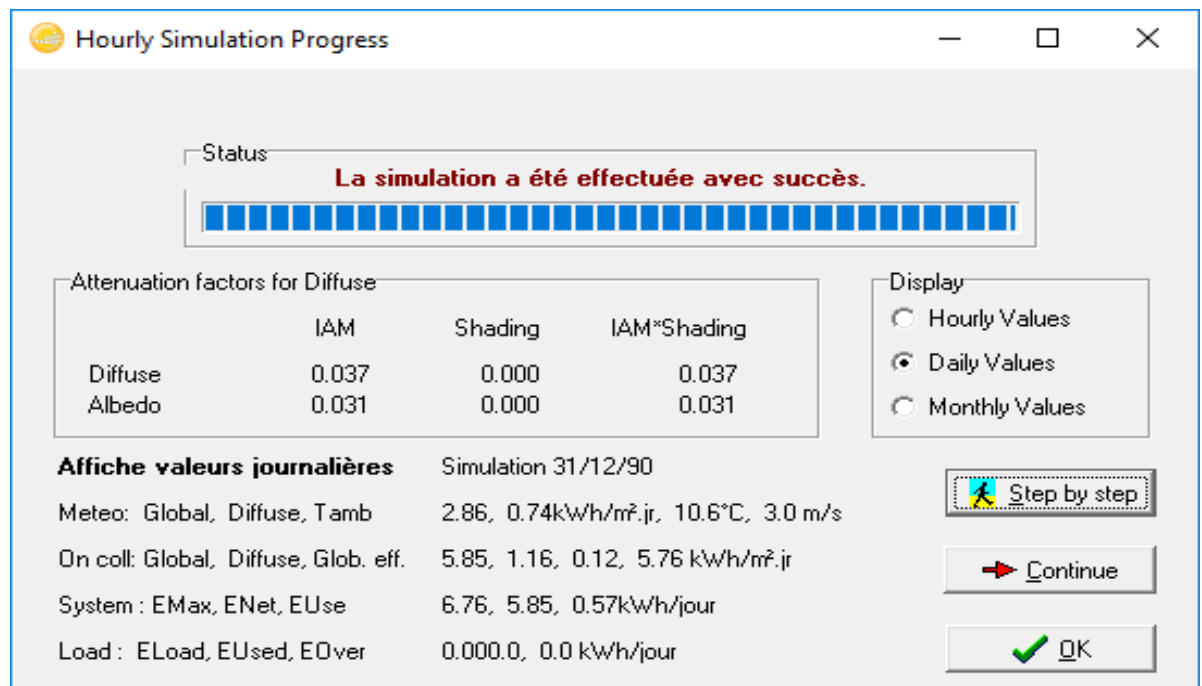


Figure III-B-9 «Simulation».

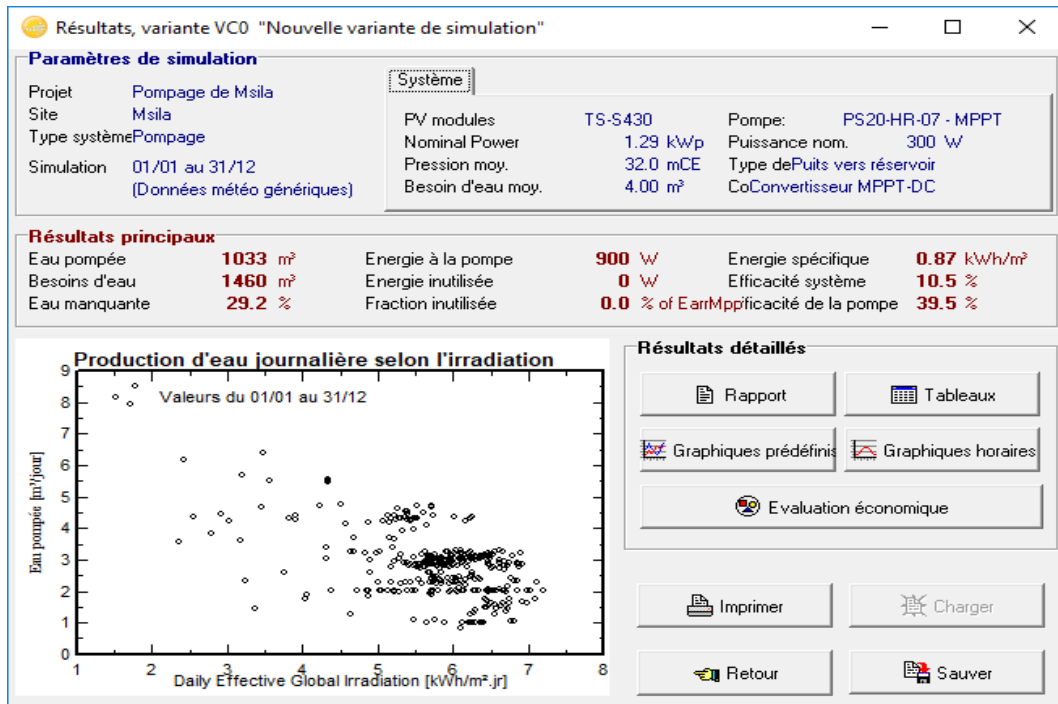


Figure III-B-10 « Courbe de la simulation ».

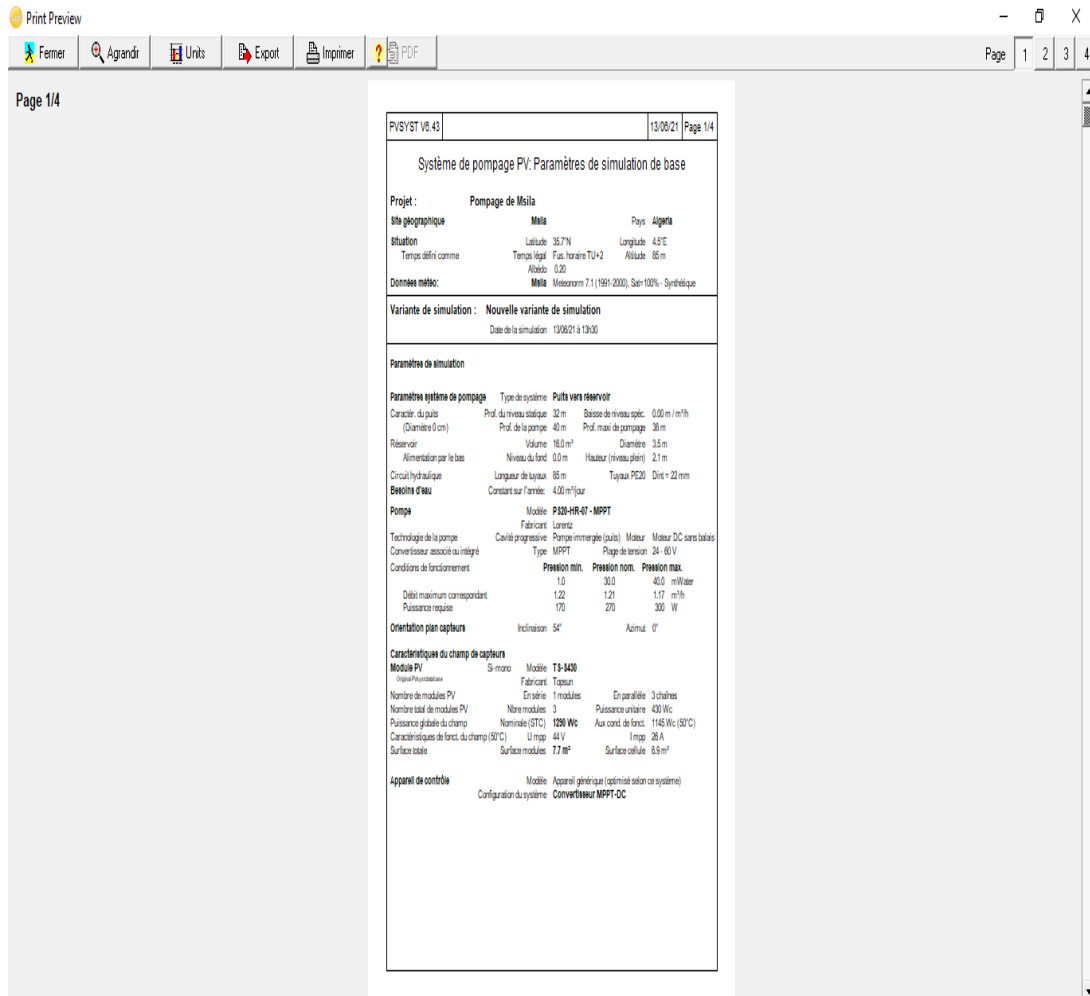


Figure III-B-11 « Le rapport ».

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Close Print Export Help

Nouvelle variante de simulation
Bilans et résultats principaux

	GlobEff	EArrMPP	E PmpOp	ETkFull	H Pump	WPumped	W Used	W Miss
	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	mCE	m ³ /jour	m ³ /jour	m ³ /jour
Janvier	180.4	212.5	14.62	0.000	34.89	1.809	2.067	1.933
Février	153.1	179.7	19.53	0.000	34.77	2.730	2.730	1.270
Mars	197.2	225.5	20.46	0.000	34.28	2.539	2.530	1.470
Avril	172.3	197.5	24.37	0.000	34.17	3.497	3.488	0.512
Mai	171.2	192.6	25.81	0.000	33.98	3.656	3.664	0.336
Juin	163.5	180.2	26.37	0.000	33.64	3.608	3.555	0.445
Juillet	178.3	191.5	23.02	0.000	33.28	2.914	2.966	1.034
Août	191.6	203.8	21.85	0.000	33.80	3.018	3.011	0.989
Septembre	178.8	196.5	19.18	0.000	34.41	2.840	2.856	1.144
Octobre	189.2	209.7	17.20	0.000	34.70	2.518	2.518	1.482
Novembre	171.3	197.1	17.47	0.000	35.67	2.326	2.326	1.674
Décembre	159.3	187.9	20.02	0.000	35.17	2.533	2.527	1.473
Année	2106.2	2374.6	249.91	0.000	34.18	2.831	2.852	1.148

Figure III -B-12 « Nouvelle variante de simulation Bilans et résultats principaux ».

Projet: Pompage de Msila

Désignation du projet
Le projet inclut principalement la définition du SITE géographique et le fichier METEO horaire associé

Nom du projet: Pompage de Msila Date: 13/06/2021

Paramètres: Site et Météo, Albédo - params

Variante du Système (version de calcul)
N° de Variante: Nouvelle variante de simulation

Paramètres d'entrée:
Obligatoire: Orientation, Besoins utilisateur, Système, Pertes détaillées
Optionnel: Horizon, Ombrages proches, Eval. économique

Simulation et résultats: Simulation, Résultats, Sauver variante, Supprimer variante

System overview, Sortir

Figure III -B-13 « Tableau de bord après la simulation ».

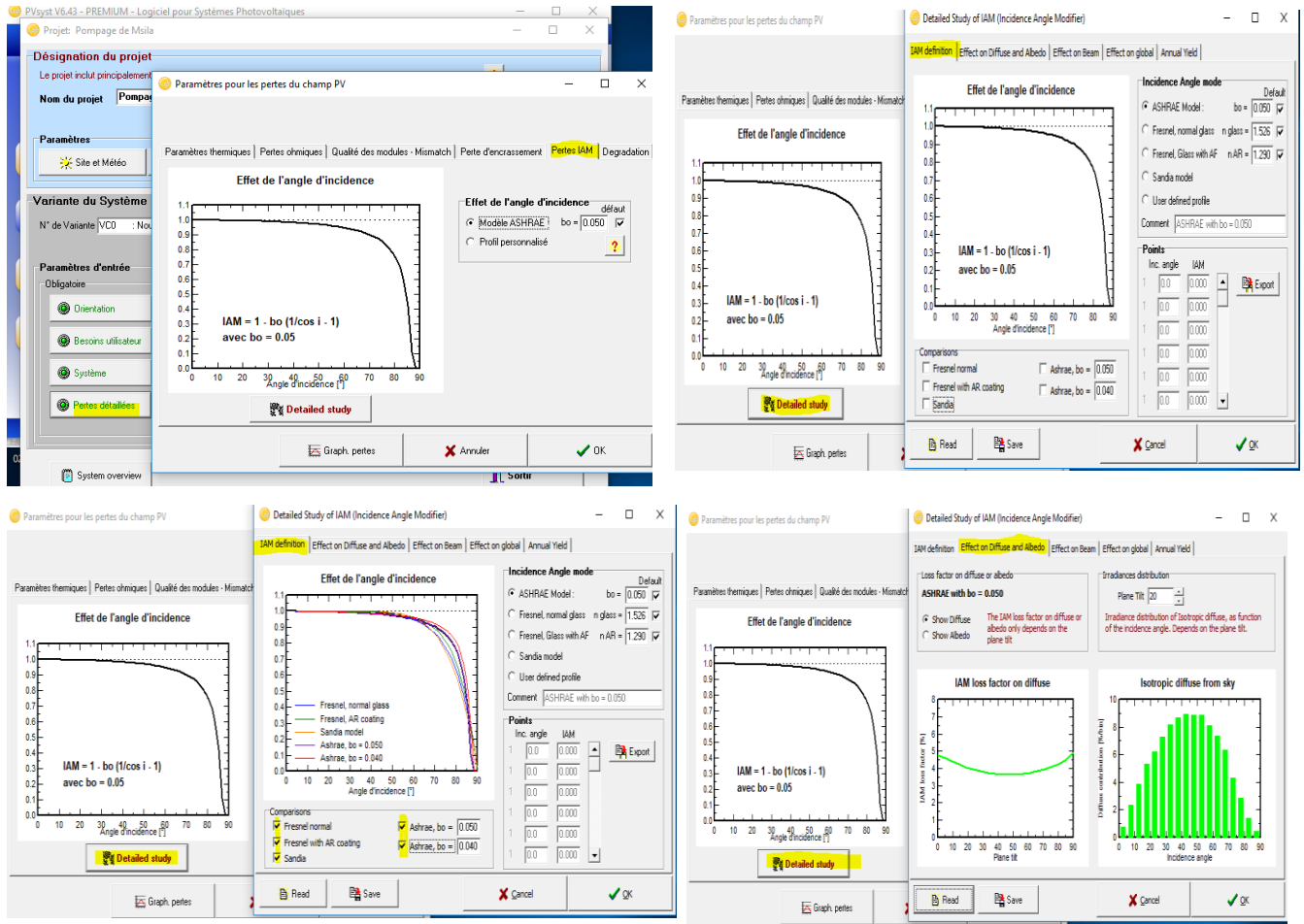


Figure III -B-14 « Les paramètres pour les pertes de champs PV »

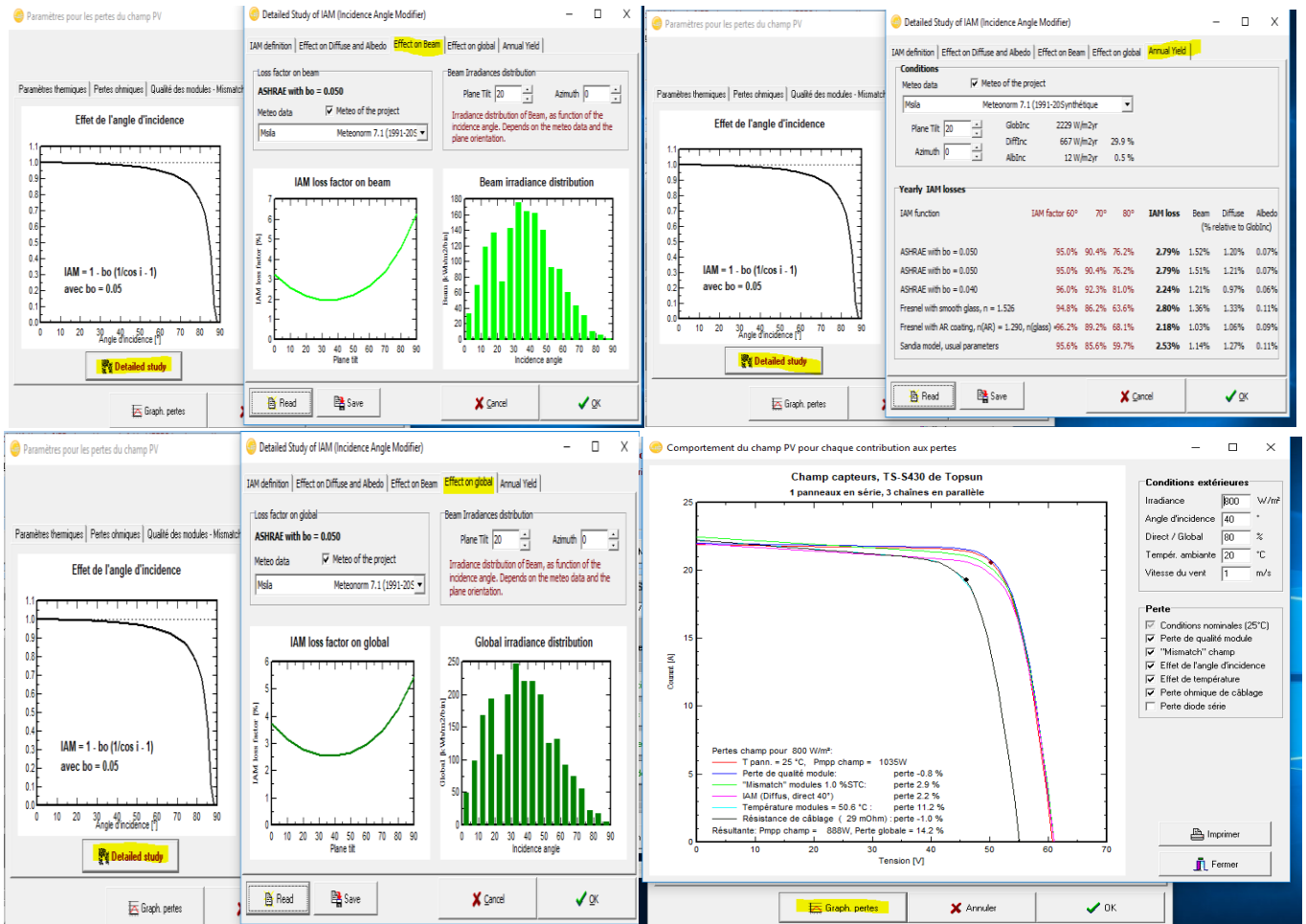


Figure III -B-14 « Les paramètres pour les pertes de champs PV ».

Le résultat de logiciel :

PVSYST V6.43		13/06/21	Page 1/4
Système de pompage PV: Paramètres de simulation de base			
Projet :	Pompage de Msila		
Site géographique			
Situation	Latitude	35.7°N	Longitude 4.5°E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+2	Altitude 85 m
	Albédo	0.20	
Données météo:	Msila Meteonorm 7.1 (1991-2000), Sat=100% - Synthétique		
Variante de simulation :			
	Nouvelle variante de simulation		
	Date de la simulation	13/06/21 à 13h46	

Paramètres de simulation

Paramètres système de pompage	Type de système	Puits vers réservoir		
Caractér. du puits (Diamètre 0 cm)	Prof. du niveau statique	32 m	Baisse de niveau spéc.	0.00 m / m ³ /h
	Prof. de la pompe	40 m	Prof. maxi de pompage	38 m
Réservoir	Volume	16.0 m ³	Diamètre	3.5 m
Alimentation par le bas	Niveau du fond	0.0 m	Hauteur (niveau plein)	2.1 m
Circuit hydraulique	Longueur de tuyaux	85 m	Tuyaux PE20	Dint = 22 mm
Besoins d'eau	Constant sur l'année:	4.00 m ³ /jour		
Pompe	Modèle	PS20-HR-07 - MPPT		
	Fabricant	Lorentz		
Technologie de la pompe	Cavité progressive	Pompe immergée (puits)	Moteur	
	Moteur DC sans balais	Convertisseur associé ou intégré	Type	MPPT
			Plage de tension	24 - 60 V
Conditions de fonctionnement		Pression min.	Pression nom.	Pression
max.				
		1.0	30.0	40.0 mWater
Débit maximum correspondant		1.22	1.21	1.17 m ³
Puissance requise		170	270	300 W
Orientation plan capteurs	Inclinaison	54°	Azimut	0°
Caractéristiques du champ de capteurs				
Module PV	Si-mono	Modèle	TS-S430	
Original PVsyst database		Fabricant	Topsun	
Nombre de modules PV		En série	1 modules	En parallèle 3
chaînes				
Nombre total de modules PV	Nbre modules	3	Puissance unitaire	430 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	1290 Wc	Aux cond. de fonct.	1145 Wc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	44 V	I mpp	26 A
Surface totale	Surface modules	7.7 m ²	Surface cellule	6.9 m ²

Appareil de contrôle Modèle Appareil générique (optimisé selon ce système) Configuration du système
 Convertisseur MPPT-DC

PVSYST V6.43		13/06/21	Page 2/4
<p>Système de pompage PV: Paramètres de simulation détaillés</p> <p>Projet : Pompage de Msila</p> <p>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</p>			

Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir	
Besoins du système	Pression de base	32.0 mCE	Besoins d'eau 4.0 m ³
Pompe	Modèle / Fabricant	PS20-HR-07 - MPPT / Lorentz	
Champ PV	Modèle / Fabricant	TS-S430 / Topsun	
	Nombre de modules	1 S x 3 P	Puissance du champ
1290 Wc	Configuration du système	Stratégie de régulation	Convertisseur MPPT-DC

Contrôle de fonctionnement du système (Appareil générique, param. ajustés selon le système)			
Convertisseur de puissance	Convertisseur MPPT-DC		
Conditions de fonctionnement	Tension MPP minimale	19 V	puissance nominale 208 W
	Tension MPP maximale	38 V	Puissance seuil 10 W
	Tension champ max.	48 V	Efficacité maxi 96.0 %
	Courant d'entrée maxi	8.7 A	Efficacité EURO 94.0 %
Facteurs de perte du champ PV			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (vent) 0.0
W/m ² K / m/s			
Perte ohmique de câblage aux STC	Rés. globale champ	29 mOhm	Frac. pertes 1.5 %
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Param. bo 0.05

PVSYST V6.43	13/06/21	Page 3/4
--------------	----------	----------

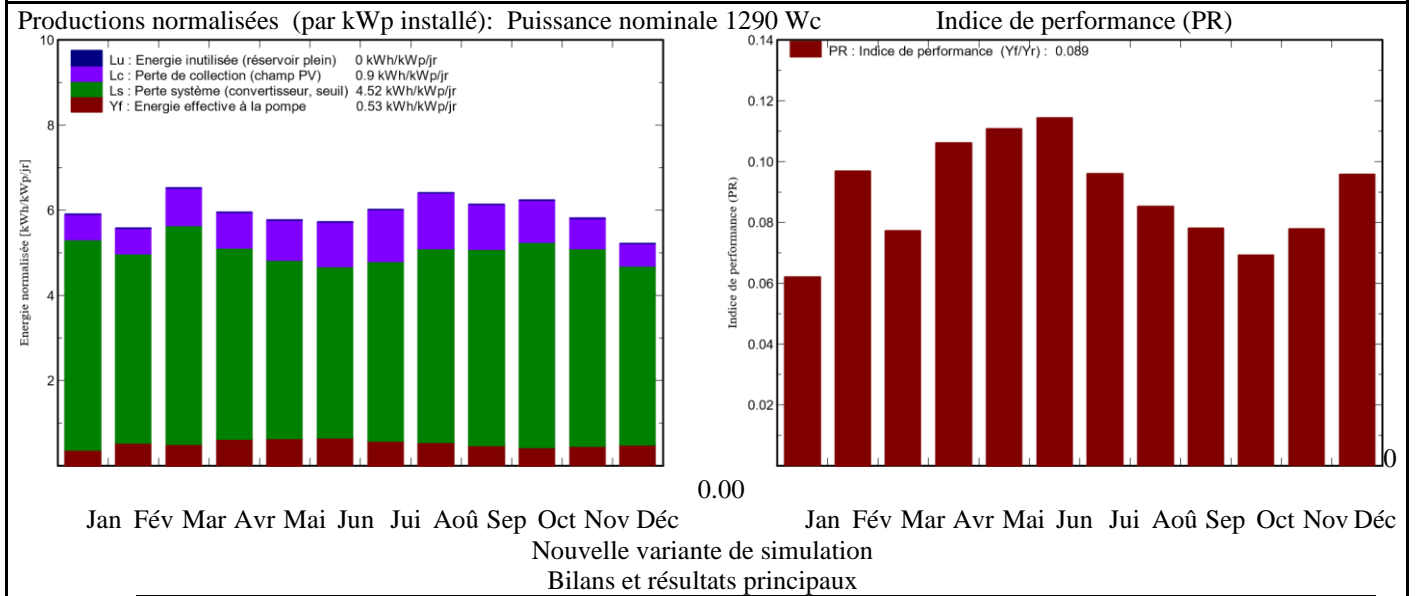
Système de pompage PV: Résultats principaux

Projet : Pompage de Msila
 Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir	
Besoins du système	Pression de base	32.0 mCE	Besoins d'eau 4.0 m³/jour
Pompe	Modèle / Fabricant	PS20-HR-07 - MPPT / Lorentz	
Champ PV	Modèle / Fabricant	TS-S430 / Topsun	
Configuration du système	Stratégie de régulation	Nombre de modules 1 S x 3 P	Puissance du champ 1290 Wc
	Convertisseur MPPT-DC		

Principaux résultats de la simulation

Production du système	Eau pompée	918 m³	Spécifique	212 m³/kWp/bar
	Besoins d'eau	1460 m³	Eau manquante	37.1%
	Energie à la pompe	248 kWh	Spécifique	0.27 kWh/m³
	Energie PV inutilisée (réservoir plein)	0 kWh	Fraction inutilisée	0.0 %
	Efficacité système	10.4 %	Efficacité de la pompe	39.5 %



Bilans et résultats principaux

	GlobEff	EArrMPP	E PmpOp	ETkFull	H Pump	WPumped	W Used	W Miss
	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	mCE	m³	m³	m³
Janvier	180.3	212.4	14.61	0.000	34.88	52.0	64.1	59.95
Février	153.1	179.7	19.54	0.000	34.76	72.0	76.5	35.53
Mars	197.3	225.7	20.14	0.000	34.24	75.0	77.0	47.00
Avril	172.6	197.8	24.43	0.000	34.18	100.0	104.8	15.18
Mai	171.6	193.1	25.58	0.000	33.97	100.0	112.6	11.44
Juin	164.0	180.7	25.37	0.000	33.59	77.0	103.2	16.85
Juillet	178.9	192.0	23.12	0.000	33.29	66.0	92.2	31.81
Août	192.0	204.1	21.86	0.000	33.81	87.0	93.7	30.26
Septembre	179.0	196.7	18.55	0.000	34.34	85.0	82.8	37.16
Octobre	189.2	209.7	17.22	0.000	34.67	74.0	78.1	45.93
Novembre	171.3	197.0	17.46	0.000	35.67	60.0	69.8	50.24
Décembre	159.3	187.8	20.00	0.000	35.17	70.0	78.3	45.69
Année	2108.5	2376.9	247.89	0.000	34.17	918.0	1033.0	427.03

Légendes: GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	H Pump	Pression totale moyenne à la pompe
EArrMPP	Energie champ, virtuelle au MPP	W Pumped	Eau pompée
E PmpOp	Energie de fonctionnement pompe	W Used	Eau consommée
ETkFull	Energie inutilisée (réservoir plein)	W Miss	Eau manquante

PVSYST V6.43		13/06/21	Page 4/4
--------------	--	----------	----------

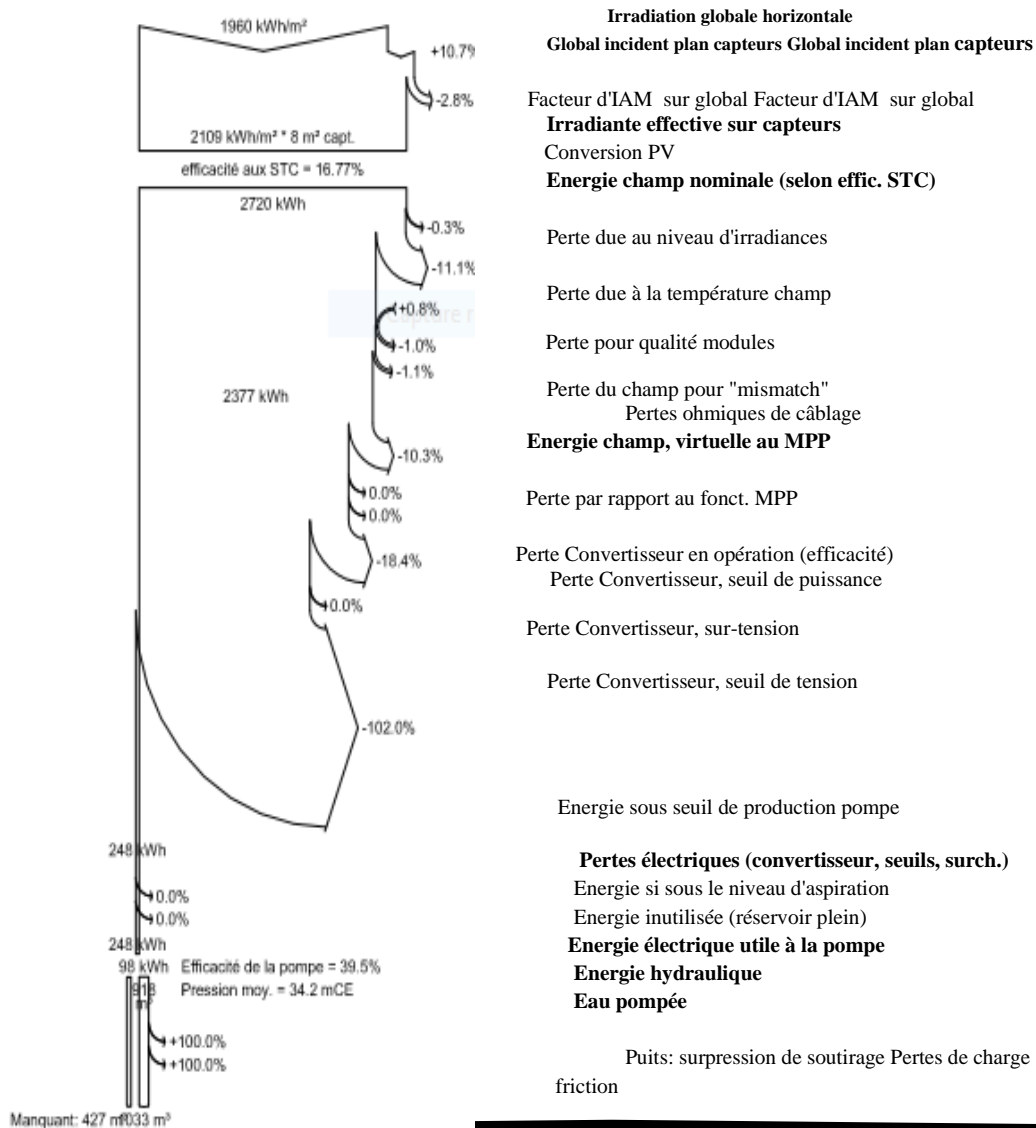
Système de pompage PV: Diagramme des pertes

Projet : Pompage de Msila

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Puits vers réservoir		
Besoins du système	Pression de base	32.0 mCE	Besoins d'eau	4.0 m³/jour
Pompe	Modèle / Fabricant	PS20-HR-07 - MPPT / Lorentz		
Champ PV	Modèle / Fabricant	TS-S430 / Topsun		
	Nombre de modules	1 S x 3 P	Puissance du champ	1290 Wc Configuration du
système	Stratégie de régulation	Convertisseur MPPT-DC		

Diagramme des pertes sur l'année entière



Puits: suppression de soutirage

Besoin d'eau

Les commentaires :

Dans la première page du rapport on trouve les paramètres système de pompage qui nous choisissons avant qui sont représentées dans :

I. Les données de réservoir de stockage :

- Le volume (16 m³)
- Diamètre (3.5m)

II. Les caractéristiques de la pompe :

- Profondeur statique (32m)
- Profondeur de la pompe (40m)

III. Les données de circuit d'hydraulique :

- Choix de tuyau (PE20 (3/4))
- Longueur de tuyauterie (85m)

Et les données de besoin d'eau

La pompe utilisée est de type Lurentz et de modèle PS20-HR-07 à base d'un convertisseur MPPT/DC.

Avec mention le modèle d'un module PV (TS-S430) et nous obtenons 1 module en série et 3 chaînes en parallèle.

Dans la deuxième page le rapport montre que les caractéristiques de convertisseur de puissance, les conditions de fonctionnement comme la puissance nominale (208w) et les facteurs de pertes du champ PV. Nous remarquons les pertes des modules sont très faibles (-0.8%) au même temps les pertes ohmiques de câblage sont (1.5%).

Et c'est comme ça qu'on trouve que l'efficacité du système est (10.4%) donc n'est pas rentable.

Les courbes sont présentées sur la troisième page du rapport la production normalisée (en Kwh/Kwp/jrs) par rapport au mois. On trouve que les pertes de système sont élevées grâce au gisement de la cité étudiée, les paramètres et il n'y a pas d'équivalence entre les modules et les pompes utilisées en termes de : type ou puissance ... Et la deuxième courbe présente l'indice de performance élevé par rapport au mois.

Enfin la quatrième page conclut le rapport par un diagramme des pertes sur l'année entière.

III.9 Conclusion

L'objectif de notre étude est la réalisation d'un système de pompage photovoltaïque fonctionnant au fil du soleil basé sur un moteur asynchrone qui entraîne une pompe centrifuge

qui aspire l'eau d'un niveau bas et le refoulé dans un réservoir (niveau haut). La réalisation sur un site de l'école a pour but de satisfaire les besoins quotidiens en eau d'un projet à venir. Nous avons présenté une prédétermination des caractéristiques par simulation du système de pompage photovoltaïque et un dimensionnement pour permettre l'acquisition des compétences pratiques pour la réalisation de ces systèmes dans ce domaine.

La puissance extraite du panneau dépend fortement de de l'éclairement et de la température et la météo de la journée. Ceci influe énormément sur les caractéristiques du système de pompage. Pour l'amélioration de la réponse du système de pompage solaire, une commande du moteur asynchrone doit être introduite. Ceci permet par conséquent de contrôler le débit et la hauteur manométrique de la pompe.

La puissance extraite des GPVs varie pendant la journée, alors que le pompage de l'eau comme le stockage ne doit être fait que durant une période limitée de la journée. Il est nécessaire d'installer un système de gestion du pompage et de la consommation de l'eau durant les périodes les plus favorables.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'énergie solaire est une technologie prometteuse pour satisfaire la demande toujours croissante en énergie. Elle est une source d'énergie abondante, renouvelable, et favorable à l'environnement. Cependant, son utilisation est faible à cause de sa nature de fluctuation, faible rendement et le coût d'investissement initial élevé. A ces défis s'ajoute le manque de l'expérience de la technologie avec les sources solaire. Dans beaucoup de conceptions pratiques, la puissance moyenne extraite à partir des générateurs photovoltaïques ne dépasse pas 10% de la puissance reçue sur leurs surfaces.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la modélisation, la simulation d'un système de pompage photovoltaïque. Ainsi le dimensionnement de ce système en vue de la réalisation expérimentale sur un site de notre usine. Le système de pompage photovoltaïque, permettant d'alimenter en eau potable les sites isolés où aucune source d'énergie n'est disponible. Le modèle du panneau choisi a été simulé dans un environnement PV SYS pour différentes températures et éclairement, le but de cette simulation est de déterminer l'influence

de la température et de l'éclairement sur les caractéristiques électriques, et par conséquent sur leur rendement. . Pour une optimisation de l'énergie délivrée par le générateur photovoltaïque. La technique de poursuite de puissance maximale MPPT est très utile. Mais cette technique présente quelques inconvénients tels que la complexité d'implantation et le prix élevé. Pour notre cas, nous utilisons un simple régulateur + batterie pour contrôler le chargement et le déchargement de la batterie suivant nos besoins en eau au fil du soleil.

Notre système de pompage solaire installé à l'école est un montage simple et adaptable à des niveaux de puissances divers. Ces systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant de quelques Watt au quelques Mégawatt. Son coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé. La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant (électricité propre), silencieux

et n'entraîne aucune perturbation du milieu ce qui rend notre système de pompage très adaptable à l'approvisionnement en eau pour l'aquaculture (l'élevage de poissons ou d'autres espèces aquatiques) et l'hydroponie (la culture de végétaux hors-sol). Nous pouvons proposer comme pistes pour des projets à venir et comme perspectives suivantes :

CONCLUSION GENERALE

- Munir ce système de pompage avec une carte de commande MPPT avec poursuite du soleil et organisation de l'opération du pompage pour améliorer le rendement de l'installation du pompage solaire.
- Implanter ce système photovoltaïque pour faire circuler et renouveler l'eau du bassin à poisson périodiquement, assurer une exposition maximale des plantes et des poissons de l'aquaponie à la lumière A [4].

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy, Le pompage photovoltaïque : manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Publ. en collab. Avec : IEPF, Université d'Ottawa, EIER, CREPA. ISBN 2-89481-006-7.
- [2] Dr.Belaid Lalouni Sofia, Maitre de conférences classe B, Cours énergie solaire photovoltaïque, université A. Mira de Bejaia, Faculté de technologie, 2014/2015
- [3] Christian Kwaku Amuzuvi, Emmanuel Effah, Design of a photovoltaic system as an alternative source of electrical energy for powering the lighting circuits for premises in Ghana, 2014.
- [4] Salim ARAB, Dalila TOUDERT, Etude d'un Système Photovoltaïque, le 25/09/ 2017.
- [5] : Yousfi Fatiha, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien (région d'Adrar), Univ. Adrar, 18 mai 2017.
- [6] Bilal Hamdaoui et Ismail Bourdji, Étude d'un système de pompage photovoltaïque au fil soleil, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen Faculté de Technologie,2015 – 2016.
- [7] Mohammed Belhadj Souhayb, Étude et réalisation d'un système de pompage photovoltaïque, Filière Électrotechnique Spécialité : Énergie et environnement, Année universitaire : 2018 /2019.
- [8] Lafia Seidou Imorou, Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales de Benin: Cas de Adjakpata, Institut International d'Ingénierie Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 – Burkina, le 27 Juin 2017.
- [9] André Marmoude, logiciel PVsyst pour l'étude des systèmes photovoltaïque.
- [10] Jean-Marc Cottier, Jean Graf, André Mermoud, Michel Villoz, guide pour le dimensionnement et réalisation des projets PV, cours PACER, 1996.

Résumé :

Ce travail présente deux méthodes de dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque, une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée. Elles sont basées essentiellement sur l'évaluation des besoins d'eau, le calcul de l'énergie hydraulique nécessaire, la détermination de l'énergie solaire disponible et le choix des composants.

Abstract - This work presents two sizing methods of photovoltaic (PV) pumping systems. The first one is analytic and the second one graphic. These methods allow us to size a PV pumping installation in order to satisfy the water needs of a determined consumption. They are based essentially on the water needs evaluation, the calculation of the necessary hydraulic energy, the determination of the available solar energy and the choice of the components.

Mots clés: Photovoltaïque - Pompage - Dimensionnement – Simulation – Gisement.

ملخص:

يقدم هذا العمل طريقتين لتحديد أبعاد أنظمة الضخ الكهروضوئية، طريقة تحليلية وطريقة بيانية. تتيح هذه الطرق إمكانية تحديد حجم تركيب المضخة الكهروضوئية لتلبية احتياجات المياه لاستهلاك محدد جيداً. وهي تعتمد بشكل أساسي على تقييم الاحتياجات المائية، وحساب الطاقة الهيدروليكية المطلوبة، وتحديد الطاقة الشمسية المتاحة واختيار المكونات.

الملخص - يقدم هذا العمل طريقتين لتغيير الحجم لأنظمة الضخ الكهروضوئية. الأول تحليلي والثاني رسم بياني. تسمح لنا هذه الطرق بتحديد حجم تركيب الضخ الكهروضوئي من أجل تلبية احتياجات المياه للاستهلاك المحدد. وهي تستند بشكل أساسي إلى تقييم الاحتياجات المائية، وحساب الطاقة الهيدروليكية اللازمة، وتحديد الطاقة الشمسية المتاحة واختيار المكونات.

الكلمات المفتاحية: كهروضوئية - ضخ - تحجيم - محاكاة - مجال الطاقة الشمسية.