



Département Génie Electrique



Ref: -

Rapport de Stage Ouvrier

Présenté et soutenu publiquement le/...../.....

Par

Ben Jemaa Aymen

Analyse d'un système photovoltaïque et de stockage énergétique pour un environnement industriel

Encadré par :

M. Sofiane Kourda Directeur générale de Ste Mazda

Année universitaire : 2024-2025

Dédicaces

À mes chers parents

Pour avoir tant donné de vous-mêmes afin d'embellir ma vie. Vous avez toujours été présents pour me conseiller, me soutenir et m'encourager à avancer avec espoir vers un avenir meilleur. Que Dieu vous accorde santé et longue vie.

À mes frères et à toute ma famille

Merci pour votre amour, votre confiance et le respect que vous m'avez constamment témoigné.

À mes amis et à toutes les personnes qui m'entourent

Votre soutien moral, vos encouragements et votre présence constante ont été précieux tout au long de ce parcours. Ce travail n'aurait jamais pu aboutir sans votre appui indéfectible.

Amen



Remerciements

Avant de débiter la présentation de ce travail, je souhaite saisir cette opportunité pour exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement les honorables membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail avec attention et impartialité.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à mon encadrant au sein de l'entreprise, **M. Sofiane Kourda** son expertise, sa disponibilité et son soutien ont été des atouts précieux tout au long de cette expérience professionnelle. Ses conseils avisés et son encouragement ont été de véritables sources d'inspiration qui ont guidé mes efforts vers l'aboutissement de ce projet.

Enfin, je remercie chaleureusement toute l'équipe de **STE MAZDA** pour leur accueil convivial et leur soutien tout au long de cette période. Votre aide et vos conseils ont été essentiels pour mener à bien ce projet, et je vous en suis profondément reconnaissant.

Table de matières

Introduction générale	6
Chapitre I. Présentation de l'entreprise	7
I.1 Introduction.....	7
I.2 Historique	7
I.3 Domaine d'activités.....	8
I.4 Structure de la société.....	8
I.5 Les produits	9
I.6 Conclusion.....	13
Chapitre II.Présentation du travail effectué	14
II.1 Introduction.....	14
II.2 Analyse des besoins énergétiques.....	14
II.3 Choix et dimensionnement des panneaux photovoltaïques	16
II.4 Dimensionnement de la battery	22
II.5 Choix de l'onduleur et du régulateur de charge MPPT	23
II.6 Conclusion.....	24
Conclusion générale.....	25
Bibliographie	26

Liste des figures

Figure I-1: STE MAZDA.....	7
Figure I-2 : Le groupe Philips lighting.....	8
Figure I-3 : Organigramme de l'entreprise.....	9
Figure I-4 : Luminaires encastrés	10
Figure I-5 : Luminaires apparents	10
Figure I-6 : Spots encastrés.....	11
Figure I-7 : Eclairage hospitalier et salle blanche.....	11
Figure I-8 : Eclairage industriel.....	12
Figure I-9 : Projecteurs.....	12
Figure I-10 : Eclairage public.....	13
Figure I-11: Eclairage Résidentiel.....	13
FigureII-1: Installation photovoltaïque autonome.....	16
Figure II-2 : Orientation des PV.....	18
Figure II-3 : Dimensionnement du Champ PV avec PVsyst.....	20
FigureII-4 : Schéma illustrant la collecte du rayonnement direct et réfléchi par un module bifacial.....	20

Liste des Tableaux

Tableau 1 – les puissances maximale appelées (2020–2022).....	14
Tableau 2 – Consommation mensuel (2020–2022)	15
Tableau3 -Tableau Comparatif des différentes technologies de panneaux photovoltaïques.....	19
Tableau4 : Tableau comparatif de technologies de batterie solaire.....	22
Tableau 5 : Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur ed charge MPPT..	24

Introduction générale

Dans un contexte mondial marqué par la transition énergétique et la recherche de solutions durables, les industries sont de plus en plus appelées à intégrer des sources d'énergie renouvelable dans leurs systèmes d'alimentation. Le recours à l'énergie solaire, couplée à des dispositifs de stockage, constitue une réponse pertinente aux enjeux de fiabilité, d'autonomie et de réduction des coûts énergétiques.

Au cours de mon stage ouvrier effectué au sein de STE Mazda, j'ai eu l'opportunité de participer à un projet industriel majeur visant à mettre en place un système d'alimentation sans interruption (UPS) pour un site critique. Ce projet intègre une source photovoltaïque et un système de stockage énergétique, dans le but d'assurer une continuité d'alimentation en cas de défaillance du réseau principal.

Ce rapport présente une analyse globale du système photovoltaïque et de stockage, en mettant l'accent sur la compréhension de ses composants, son fonctionnement, et son intégration dans l'environnement industriel. Bien que ce stage soit de nature ouvrière, il m'a permis d'approfondir certains aspects techniques tels que le dimensionnement du régulateur de charge de l'onduleur photovoltaïque, à partir des données disponibles et des observations sur le terrain.

Ce rapport se divise en deux grandes parties, la première partie comporte la présentation de l'entreprise d'accueil et une explication détaillée des notions techniques traitées durant le stage, la deuxième partie comporte les tâches effectuées durant le stage.

L'objectif de ce document est donc de restituer les connaissances acquises, les analyses réalisées, et les réflexions menées autour de ce système énergétique.

Chapitre I. Présentation de l'entreprise

I.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, on présente la société STE MAZDA, spécialisée dans la fabrication et la distribution de luminaires et de systèmes d'éclairage haut de gamme. On donne l'historique, le domaine d'activité et les produits.

I.2 Historique

STE MAZDA, société Tunisienne d'Éclairage est spécialisée dans la fabrication et la distribution de luminaires et système d'éclairage industriel et domestique haut de gamme.



Figure I-1: STE MAZDA

STE MAZDA ne cesse d'améliorer sa gamme de produits pour couvrir l'ensemble du domaine de l'éclairage moderne : système d'éclairage intérieur, extérieur et industriel. La société offre une large gamme de luminaires d'éclairage public, projecteurs, Luminaires encastrés, éclairage de bureau, réflecteurs d'éclairage, éclairage de panneaux d'affichages, éclairage pour des installations sportives. MAZDA se dote des certifications internationales ISO 14001 et 9001 version 2000 en 2004, ISO 9001 en 2008, le modèle BEST d'excellence et l'EFQM "European Foundation for Quality Management". Ces certifications sont le fruit de l'amélioration continue des processus de fonctionnement internes, de la capacité d'innovation et du savoir-faire de ses collaborateurs.

La Société Tunisienne d'Eclairage ou STE a été créée en juillet 1979 en partenariat avec la compagnie des lampes (MAZDA). La compagnie des lampes a détenu 40% du capital social de la STE jusqu'au début des années 80, date à laquelle, elle a cédé ses parts à la Compagnie Philips Eclairage ou CPE. Ce capital social a évolué de 300 000 DT en 1979 à 1 930 000DT en 1997.



Figure I-2 : Le groupe Philips lighting

Le 26 Novembre 1999, l'ensemble des actions de la STE Mazda sont devenues détenues par le groupe Philips lighting et le 01 janvier 2001, la STE Mazda a changé de nom pour devenir Philips Tunisienne d'éclairage ou PTE.

Début 2011, Philips lighting a voulu se désengager du Maghreb et courant Juin 2011 l'ensemble des parts a été vendue à Mr. Abderazzak CHERAIT et la société est redevenue la Société Tunisienne d'Eclairage (ou STE) Mazda.

I.3 Domaine d'activités

La société STE Mazda, leader incontesté sur le marché tunisien, se distingue par son engagement sans faille dans la fabrication d'une vaste gamme de matériels et appareils d'éclairage. En effet, Mazda approvisionne non seulement le marché tunisien, mais également des clients dans diverses régions éloignées, notamment en Afrique du nord et de l'ouest.

Pour répondre aux besoins complexes de ses marchés cibles, Mazda s'appuie sur un réseau étendu de distributeurs grossistes, d'installateurs qualifiés, ainsi que de sociétés et administrations publique. Cette structure logistique solide garantit une disponibilité optimale des produits Mazda et assure une satisfaction client maximale.

I.4 Structure de la société

STE MAZDA est structurée pour répondre efficacement aux demandes du marché. Elle dispose de plusieurs départements spécialisés :

- Recherche et développement (R&D) : Ce département se concentre sur l'innovation et le développement de nouveaux produits pour répondre aux besoins changeants du marché.

- Production : Les installations de production de MAZDA sont équipées de technologies modernes pour garantir des produits pour répondre aux besoins changeants du marché.
- Distribution : MAZDA possède un réseau de distribution étendu qui permet de desservir efficacement le marché tunisien et les marchés internationaux.
- Service Client : Le service client de MAZDA dédié à fournir un support et une assistance de haute qualité à ses clients.

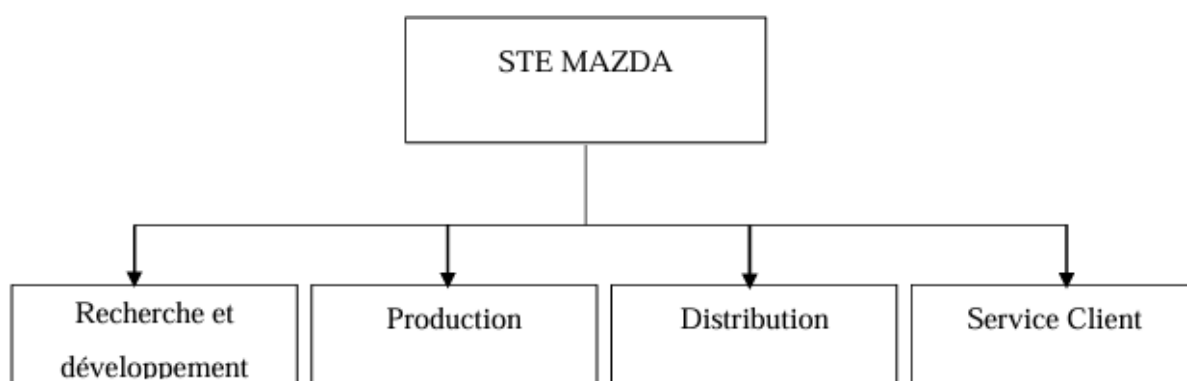


Figure I-3 : Organigramme de l'entreprise

La société est certifiée ISO 14001 et 9001, garantissant la qualité et l'excellence de ses processus et produits. Ces certifications sont le résultat de l'amélioration continue des processus internes, de la capacité d'innovation et du savoir-faire de ses collaborateurs.

I.5 Les produits

La gamme de produit de l'entreprise est diversifiée, comprenant plusieurs catégories adaptées à divers besoins et application. Voici un aperçu des principales catégories de produits :

○ Luminaires encastrés (Recessed Luminaires)

Ces luminaires sont intégrés dans les plafonds pour offrir un éclairage discret et élégant. Les modèles incluent :

- Nouveaux modèles avec technologie LED.
- Différents designs pour s'adapter à tous les types de plafonds.
- Versions modernisées pour un éclairage efficace.

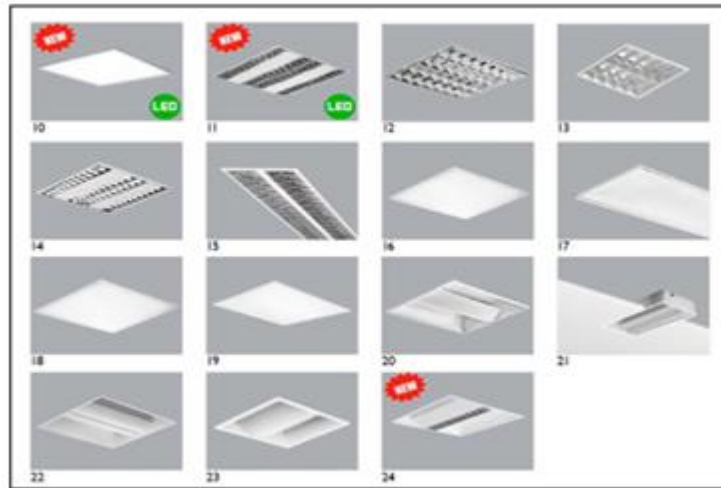


Figure I-4 : Luminaires encastrés [1]

○ Luminaires apparents (Surface Mounted)

Ces luminaires sont montés directement sur les surface, offrant une installation facile et un design moderne :

- Nouveaux modèles LED pour une efficacité énergétique optimale
- Variété de designs pour répondre à divers besoins esthétiques et fonctionnels.
- Options pour un éclairage robuste

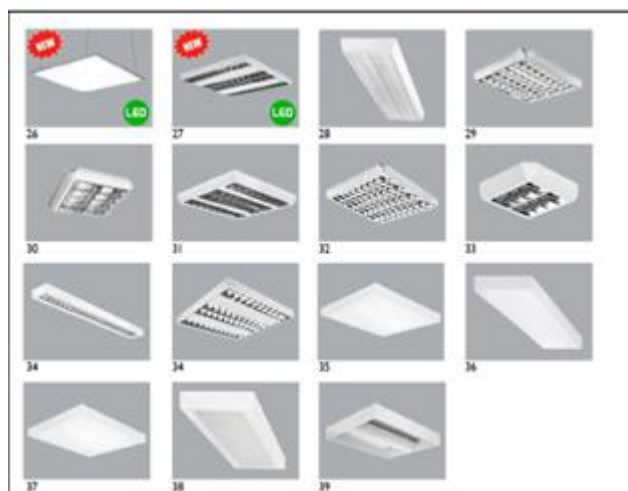


Figure I-5 : Luminaires apparents [1]

- Spots encastrés (Down Lighting)

Idéaux pour un éclairage directionnel et ponctuel :

- Nouveaux modèles avec options LED pour une luminosité accrue.



Figure I-6 : Spots encastrés

- Éclairage Hospitalier et Salle Blanche (Hospital and Clean Rooms Luminaires)

Spécialement conçus pour répondre aux normes strictes des environnements médicaux et industriels :

- Modèles pour salles blanches et applications hospitalières.

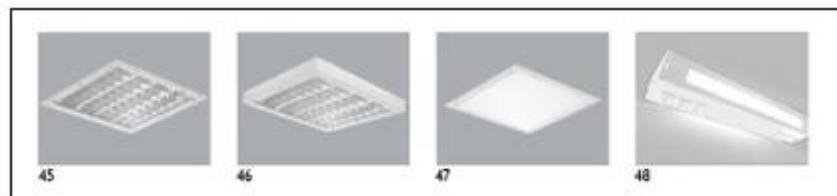


Figure I-7 : Eclairage hospitalier et salle blanche

- Éclairage Industriel (Industrial Lighting)

Adaptés pour les environnements industriels nécessitant un éclairage durable et puissant :

- Variété de luminaires industriels, y compris les modèles plus performants.
- Options pour un éclairage intensif et fiable.



Figure I-8 : Eclairage industriel

○ Projecteurs (Flood Light)

Luminaires puissants pour éclairer de grandes surfaces :

- Modèles robustes, incluant les nouvelles versions améliorées.



Figure I-9 : Projecteurs

○ Eclairage public (Road Lighting)

Conçus pour les applications d'éclairage public, offrant durabilité et performance :

- Variété de lampes pour un éclairage routier efficace.



Figure I-10 : Eclairage public

○ Éclairage Résidentiel (Residential Lighting)

Luminaires esthétiques et fonctionnels pour les espaces résidentiels :

- Gamme diversifiée pour répondre aux besoins des habitations modernes.



Figure I-10 : Eclairage Résidentiel

I.6 Conclusion

En conclusion, STE MAZDA cherche à évoluer et s'adapter aux exigences du marché de l'éclairage, en offrant des produits tel que (les produits) en optimisant ses processus internes. Grâce à ses certifications internationales et à une approche stratégique bien définie, MAZDA veut maintenir sa position sur le marché tunisien tout en explorant de nouvelles opportunités de croissance sur les marchés internationaux.

Chapitre II. Présentation du travail effectué

II.1 Introduction

Ce chapitre présente les différentes tâches réalisées durant le stage, portant sur l'étude d'un système photovoltaïque couplé à un dispositif de stockage. Il aborde successivement la description des panneaux solaires, l'analyse du stockage énergétique, le dimensionnement des composants, la représentation schématique ainsi que l'interprétation du bilan de consommation.

II.2 Analyse des besoins énergétiques

Pour dimensionner correctement les composantes de ce système et s'assurer qu'elles puisse supporter les pics de charge, l'étude se base sur les valeurs mensuelles de **puissance maximale appelée** et de **puissance souscrite** sur trois années (2020 à 2022). Cette analyse permet d'identifier les tendances de consommation, les marges par rapport à la puissance contractuelle et les variations saisonnières.

Tableau 1 – les puissances maximale appelées (2020–2022)

Mois	Max appelée (Jour) 2020(kVA)	Souscrite 2020(kVA)	Max appelée (Jour) 2021(kVA)	Souscrite 2021(kVA)	Max appelée (Jour) 2022(kVA)	Souscrite 2022(kVA)
Janvier	753	1 600	45	1 600	747	1 600
Février	757	1 600	655	1 600	745	1 600
Mars	744	1 600	684	1 600	762	1 600
Avril	734	1 600	695	1 600	768	1 600
Mai	742	1 600	684	1 600	760	1 600
Juin	740	1 600	660	1 600	762	1 600
Juillet	733	1 600	763	1 600	755	1 600
Août	714	1 600	754	1 600	755	1 600
Septembre	16	1 600	744	1 600	770	1 600
Octobre	42	1 600	748	1 600	771	1 600
Novembre	652	1 600	755	1 600	743	1 600
Décembre	674	1 600	745	1 600	741	1 600

À partir des données de consommation, le tableau suivant récapitule l'énergie consommée mensuellement pour chaque année :

Tableau 2 – Consommation mensuel (2020–2022)

Mois	kWh (2020)	kWh (2021)	kWh (2022)
Janvier	154 984	6 247	206 854
Février	210 117	135 370	202 984
Mars	247 915	223 452	225 651
Avril	145 219	243 074	138 336
Mai	201 065	172 516	150 200
Juin	218 318	252 678	175 178
Juillet	166 687	228 814	463 925
Août	292 498	325 389	330 473
Septembre	7 213	311 827	278 783
Octobre	6 754	229 563	314 292
Novembre	64 632	307 013	317 886
Décembre	32 386	188 745	251 217
Total	1 747 788	2 624 688	3 055 779
Moyenne	145 649	218 724	254 648
Min	6 754	6 247	138 336
Max	292 498	325 389	463 925

. Consommation journalière moyenne

$$E_{\text{jour}} = \frac{500\,000}{29} = 17\,241,38 \text{ kWh/jour}$$

La consommation horaire maximale est donnée par :

$$E_{\text{heure}} = \frac{17\,241,38}{24} = 718,39 \text{ kWh/h}$$

À partir de la puissance apparente maximale :

$$I = \frac{1\,600}{\sqrt{3} \times 0,4} = 2\,309,40 \text{ A}$$

La puissance apparente maximale de l'installation a été fixée à **1 600 kVA**, valeur volontairement dimensionnée en tenant compte des extensions futures prévues pour l'usine. Ce choix permet d'anticiper l'augmentation potentielle des charges électriques liée à l'ajout de nouvelles lignes de production ou d'équipements, tout en garantissant que l'infrastructure électrique reste capable de supporter ces évolutions sans nécessiter de modifications majeures. La puissance active maximale correspondante est estimée à **1 440 kW**, obtenue en appliquant un facteur de puissance de 0,9

II.3 Choix et dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Cette section a pour objectif de déterminer la puissance crête du champ photovoltaïque nécessaire pour recharger intégralement une batterie LiFePO₄ de 960 Ah sous 800 V (soit 768 kWh). Une première estimation est obtenue par calculs analytiques, puis validée par simulation sous PVsyst. Le système modélisé comprend un champ photovoltaïque produisant de l'énergie en courant continu, régulée par un hacheur DC/DC associé à un contrôleur MPPT, qui optimise la puissance délivrée en fonction des conditions d'irradiation et de température. Cette énergie est ensuite utilisée pour charger la batterie, tandis qu'un onduleur assure la conversion du courant continu en courant alternatif pour alimenter les charges du site industriel. Enfin, un tableau comparatif regroupe les principales technologies de modules photovoltaïques selon leurs performances, afin d'orienter le choix technologique vers les solutions les plus adaptées au contexte énergétique et aux exigences de rendement.

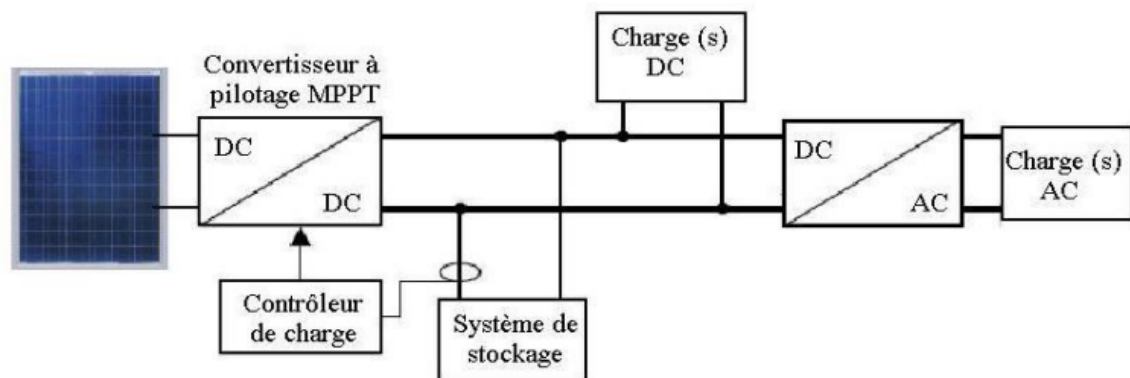


Figure II.1: Installation photovoltaïque autonome

Initialement, l'énergie stockée dans la batterie est évaluée à partir de la relation

$$E_{batt} = C_{batt} \cdot V_{batt}$$

avec $C_{batt} = 960 \text{ Ah}$ et $V_{batt} = 800 \text{ V}$, soit $E_{batt} = 768 \text{ kWh}$.

Avec une puissance crête minimale du champ photovoltaïque

- Ppv de **846 kWh** :

$$T_{ch} = \frac{768}{844} = 0.9h = 54min$$

- Ppv de **254 kWh** (Recommandé par PVsyst):

$$T_{ch} = \frac{768}{254} = 3.0236h = 3h \text{ et } 2min$$

L'étude réalisée sous *PV⁺syst* a permis de modéliser une batterie LiFePO₄ de **960 Ah à 800 V**, soit une capacité nominale de **768 kWh**, associée à un champ photovoltaïque de **846 kWc**. En intégrant les profils d'irradiation locaux, les rendements de conversion, les pertes thermiques, ainsi que le comportement du MPPT, la simulation confirme un **temps de charge d'environ 0,9 heure (≈ 54 minutes)** lorsque la puissance PV disponible est de **846 kWh**. En revanche, pour une puissance PV de **254 kWh**, recommandée par *PVsyst* pour un système autonome, le **temps de charge estimé est d'environ 3 heures et 2 minutes**. Cette modélisation prend également en compte l'impact du **coefficient de température**, des **pertes de câblage**, et autres facteurs techniques afin de fournir une estimation réaliste de la puissance photovoltaïque requise pour le dimensionnement du système.

Orientation, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Type de champ **Ajustement saisonnier d'inclinaison**

Paramètres du champ

Inclin. été: 20.0 °

Inclin. hiver: 50.0 °

Azimet: 0.0 °

Mois d'hiver:

☒ Jan ☐ Jui

☒ Fév ☐ Aoû

☒ Mar ☐ Sep

☐ Avr ☒ Oct

☐ Mai ☒ Nov

☐ Jun ☒ Déc

Incl. S=20°/W=50°

Azimet 0°

Annuler **OK**

Figure II.2 : Orientation des PV

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante "Nouvelle variante de simulation", Variant "Nouvelle variante de simulation"

Besoins jour, moyens: 719 kWh/jour

Déf. la PLOL acceptable: 5.0 %

Autonomie requise: 0.9 jour(s)

Tension batterie (et utilis.): 800 V

Capacité conseillée: 1057 Ah

Puissance PV conseillée: 246908 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage: Champ PV

Nom et orientation du sous-champ:

Nom: Champ PV

Orient. **Ajustement saisonnier d'inclinaison**

Inclinaison E: 20°/H: 50°

Azimet: 0°

Aide au dimensionnement:

☐ Pas de prédim.

Pnom désirée: 844000 Wc

☐ ... ou surface disponible: 0 m²

Sélection du module PV:

Tous les modules

Tri modules par: ☒ Puissance ☐ Technologie

CanadSolar*

700 Wp 34V Si-mono Mono 700 Wp Twin half-cells bifacial Depuis 20:

Ouvrir

Modules nécessaires approx. 0

Dimens. des tensions: Vmpp (60°C) 35.2 V Vco (-10°C) 52.5 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur:

☒ Régulateur universel

Convertisseur de puissance MPPT

Mode d'opération: ☒ Couplage direct ☒ Convertisseur MPPT ☐ Convertisseur DC-DC

MPPT 1000 W 819 V 1364 A 878 A Universal controller with MPPT conve

Ouvrir

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV:

Nombre de modules et chaînes:

Mod. en série: 20

Nb. chaînes: 60

doit être: ☒ Pas de contrainte ☐ entre 48 et 73

Nbre modules: 1200 Surface: 3728 m²

Cond. de fonctionnement:

Vmpp (60°C) 703 V

Vmpp (20°C) 811 V

Vco (-10°C) 1050 V

Irradiance plan: 1000 W/m²

Imp (60°C) 1276 A

Isc (60°C) 1353 A

Isc (aux STC) 1348 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irradi. max. et 50°C): 0.93 MW

Puiss. nom. champ (STC): 0.84 MWc

Besoins utilis.

Utilis. domestique

Fraction nuit: 50.0 %

Puissance moy.: 30.0 kW

Énergie jour: 719 kWh

Pack de batteries

10 en parallèle, 819 V

Capacité: 960 Ah

Autonomie: 1.0 jr

Énergie stockée: 736 kWh

Champ PV

60 chaînes de 20 modules

Puissance nom.: 840 kWc

PV/PLoad: 28.0

Énergie moy. jour: 298 kWh

Régulateur

MPPT universel

Puissance nom.: 730 kW

PV/PConv: 1.15

Seuls: selon SOC

Annuler **OK**

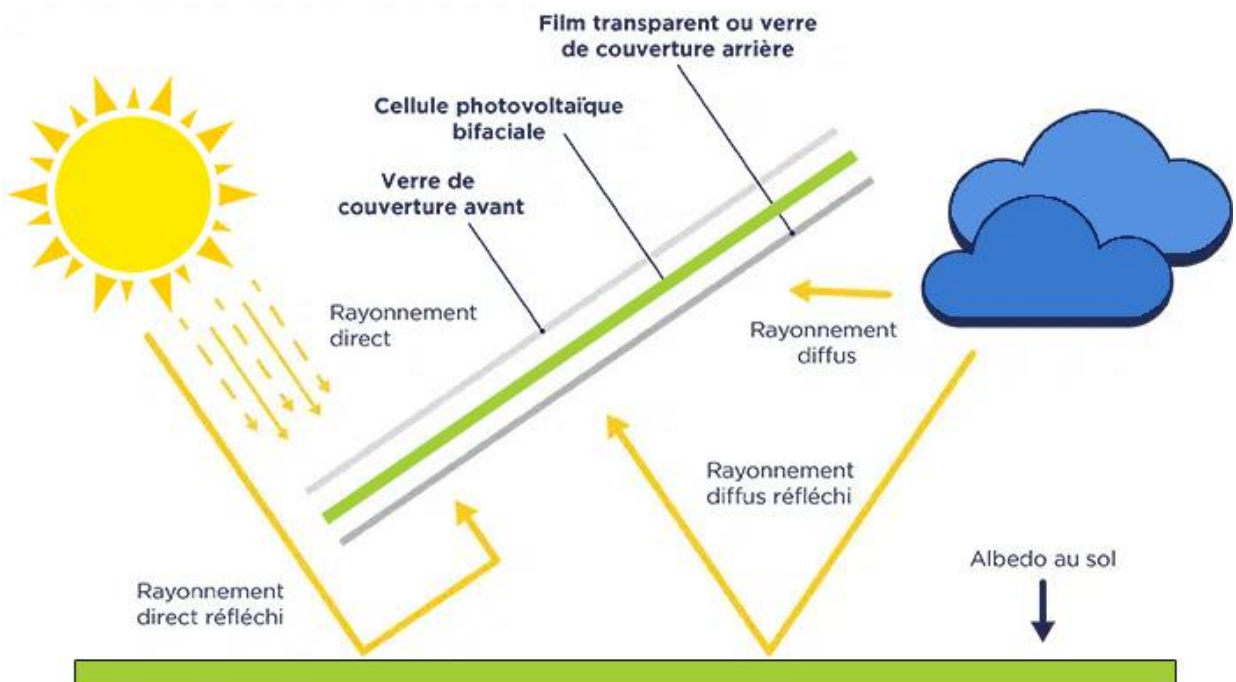
Figure II.3 : Dimensionnement du Champ PV avec PVsyst

Avant de détailler le comparatif, rappelons que le choix du module reposera sur plusieurs critères : rendement en conditions standards, coefficient de température, puissance unitaire, facteur bifacial et coût au Wc. Le tableau suivant présente les principales technologies disponibles sur le marché, que nous évaluerons selon ces indicateurs.

Tableau3 -Tableau Comparatif des différentes technologies de panneaux photovoltaïques

Type de cellules	Silicium Mono Cristallin	Silicium Poly Cristallin	Silicium Amorphe (couche mince)	Cellule CdTe couche mince
Rendement industriel	12-20%	10-15%	5-10%	8-11%
Part de marché	85%		5%	10%
Garantie de puissance	90% de la puissance initiale pendant 10 ans 80% pendant 20 ans environ (selon le constructeur)			
Durée de vie	25-30 ans	25-30 ans	environ 10 ans	>25 ans
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> •Technologie connue et maîtrisée •Bon rendement •Durée de vie 	<ul style="list-style-type: none"> •Technologie connue et maîtrisée •Bon rendement •Durée de vie •Moins cher que la technologie mono-cristalline 	<ul style="list-style-type: none"> •Meilleur marché •Rendement moins affecté par un faible éclairage •Plus souples •Installation plus facile •Moins énergivore •Meilleure résistance à la température 	<ul style="list-style-type: none"> •Bonne résistance à la température •Plus d'absorption de rayonnement diffus que le cristallin
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> •Coûteuse •Rendement faible sous un faible éclairement 	<ul style="list-style-type: none"> •Rendement faible sous un faible éclairement 	<ul style="list-style-type: none"> •Rendement •Durée de vie •Processus industriel pas encore optimal •Moins écologique que le cristallin 	<ul style="list-style-type: none"> •Rendement plus faible que le cristallin •matériau toxique nécessite donc un processus de recyclage complexe •moins d'absorption que l'amorphe •sensible a l'humidité
		MEILLEUR RAPPORT QUALITE PRIX	Bien que peu présente sur le marché, sa facilité de pose permet à cette technologie d'être utilisée sur de grandes surfaces telles que les toitures de grands magasins	Très prometteuse mais l'utilisation de matériaux très toxiques pour l'homme et l'environnement (Cd par exemple) limite son développement en Europe

L'utilisation de modules bifaciaux permet de capter non seulement le rayonnement direct sur la face avant, mais également le rayonnement réfléchi sur la face arrière. Selon l'albédo du sol (béton clair, gravier) et la hauteur de montage, les gains de production annuels peuvent atteindre 5 % à 15 %. Ce surcroît de rendement améliore la valorisation de la surface installée et optimise le rapport kWh/kW (**kilowatt-crête**)



FigureII.4 : Schéma illustrant la collecte du rayonnement direct et réfléchi par un module bifacial.

Pour le choix des modules PV, j'ai opté pour la gamme Canadian Solar, et plus précisément la référence CS7N-705TB-AG. Ce module se distingue par sa puissance crête exceptionnelle de 705 W, Son rendement de conversion supérieur à 22 % maximise la production par m², un atout déterminant lorsque l'emprise au sol est limitée. Son coefficient de température de puissance faible ($-0,29\text{ }^{\circ}\text{C}$) garantit une perte minimale de performance en conditions de forte chaleur. De plus, sa conception bifaciale (facteur bifacial d'environ 80 %) valorise l'irradiation arrière, générant un gain énergétique supplémentaire et optimisant ainsi le LCOE de l'installation. Sélection et configuration du système de stockage

Définition d'un module PV

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

Modèle: Mono 700 Wp Twin half-cells bifacial Fabricant: CanadSolar*

Nom fichier: Generic_Mono_700W_Half_Bifacial.PAN Source données: Typical

Paramètres définis par l'utilisateur Prod. depuis 2024

Puissance nom. (aux STC): 700.0 Wc Tol. -/+ 0.0 1.5 %

Technologie: Si-mono

La résistance série maximale (RSM_{ax}) = est très faible, Envisagez d'augmenter la valeur de V_{co} (STC).

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence	G _{Ref}	1000	W/m ²	T _{Ref}	25	°C
Courant de court-circuit	I _{sc}	22.250	A	Circuit ouvert V _{co}	48.10	V
Point de Puissance max.	I _{mpp}	21.060	A	V _{mpp}	40.20	V
Coefficient de tempér.	μI _{sc}	8.7	mA/°C	Nb. cellules en série	66	x 2
	ou μI _{sc}	0.039	%/°C			

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	600 Ω
R _{parall} (G=0)	608 Ω
R série model	0.13 Ω
R série max.	0.13 Ω
R série apparent	0.20 Ω

Paramètres modèle

Gamma	1.040
Io _{Ref}	0.03 nA
μV _{co}	-129 mV/°C
μP _{Max} fixé	-0.33 /°C

Résultats du modèle interne

Cond. de fonctionnement	G _{Oper}	1000	W/m ²	T _{Oper}	25	°C
Point de Puissance max.	P _{mpp}	846.9	W	Coeff. de température	-0.32	%/°C
Courant	I _{mpp}	21.24	A	Tension V _{mpp}	39.9	V
Courant de court-circuit	I _{sc}	22.25	A	Circuit ouvert V _{co}	48.1	V
Efficacité	/ Surf. cellules	29.10	%	/ Surf. module	27.26	%

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Figure II.5 Caractéristique de module PV

Afin de viser un point de fonctionnement VMPP proche de 800 V, le dimensionnement en série s'appuie sur une tension unitaire de 40,9 V par module, ce qui conduit à retenir **20 modules en série** ($20 \times 40,9 \text{ V} = 818 \text{ V}$). Pour atteindre une puissance crête d'environ **846 kWc**, il suffit de câbler **60 chaînes en parallèle**, soit un total de 1 200 modules ($60 \times 20 \times 705 \text{ W} = 846 \text{ kWc}$), représentant une **surface totale de 3 728 m²**. Dans le cas d'une configuration plus modeste, correspondant à la recommandation de *PVsys* pour un système autonome de **254 kWh**, on conserve **20 modules en série** mais avec seulement **19 chaînes en parallèle**, soit 380 modules pour une **surface de 1 180 m²**. Cette configuration assure un **courant MPPT d'environ 19 à 20 A par entrée**, ce qui reste parfaitement compatible avec les plages de tension et de courant admissibles par l'onduleur, garantissant ainsi un fonctionnement optimal du système

II.4 Dimensionnement de la battery

Le dimensionnement de la batterie se fonde sur l'autonomie souhaitée, la puissance de charge/décharge et la tension système. Pour atteindre 1 heure d'autonomie à la puissance crête de 719 kW, on prévoit une capacité de 768 kWh. À une tension nominale de 800 V, cela correspond à un courant de 960 Ah, en tenant compte des pertes et d'une marge de sécurité le tableau suivant illustre les différentes technologies utilisées dans les batteries solaire et d'un Dod (Depth of discharge) de 90%.

Tableau4 :Tableau comparatif de technologies de batterie solaire

Type de Construction	Plomb/ Acide	LiCo (Litio Cobalt) / Li-Ion	LiFePO4 NO LITHIUM
Tension nominale [V]	2,1	3,6/3,7	3,2
Densité d'énergie [Wh/L]	Moyenne	Haute	Haute
Energie spécifique [Wh/Kg]	Moyenne	Haute	Haute
Courant de décharge max. (Discharge rate) [C]	15	N.D.	50
Sécurité	Discrète (présence de substances toxiques)	Basse (risque d'incendie et explosions)	Excellente (aucun risque d'incendie/explosion)
Cycle de vie	> 400	> 500	> 2000
Produit eco-compatible	Non	Non	Oui

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante "Nouvelle variante de simulation", Variant "Nouvelle variante de simulation"

Besoins jour. moyens 719 kWh/jour Déf. la PLOL acceptable 5.0 % Autonomie requise 1.1 jour(s) Tension batterie (et utilis.) 800 V Capacité conseillée 899 Ah Puissance PV conseillée 244735 Wc (nom.)

Stockage Champ PV Appoint Schéma simplifié

Procédure

Les suggestions de pré-dimensionnement sont basées sur la météo mensuelle, et les besoins de l'utilisateur

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (PLOL, autonomie, tension batterie)
2. - Stockage Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV Définissez le champ PV (Module PV) et mode de contrôle. Conseil : commencez avec un régulateur universel
4. - Appoint Définissez un éventuel groupe électrogène

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon ☒ tension ☐ capacité ☐ fabricant

Universel 51.2 V 100 Ah Li LFP Adjustable Li-Ion Depuis 2017

Lithium-ion

16 modules en série Nombre de modules 160
10 modules en parallèle Nombre d'éléments 2560

100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)
100.0 % Etat d'usure initial (statique)

Tension du pack batteries 819 V
Capacité globale 960 Ah
Energie stockée (80 % DOD) 736 kWh
Poids total 8780 kg
Nbre de cycles à 80 % DOD 2000
Energie totale stockée durant la vie de la batterie 1277 MWh

Température batterie en opération

Mode tempér. Fixée (local tempéré)
Température fixée 25 °C
La température est importante pour la durée de vie de la batterie.

Pack de batteries universel

Vous avez choisi une batterie universelle

Tension nominale du pack 819.2 V
Capacité nominale du pack 998.9 Ah

Vous avez choisi une batterie universelle

Sans consommation interne, le champ PV pourrait le charger en moins de 1.0 heures.

Avec un système autonome, la batterie devrait avoir une capacité susceptible de stocker l'énergie produite par au moins un jour "moyen" de soleil (soit

Besoins utilis.

Utilis. domestique	Puissance moy.	30.0 kW
Fraction nuit 50.0 %	Energie jour	719 kWh

Pack de batteries

10 en parallèle, 819 V	Capacité	960 Ah
Autonomie 1.0 jr	Energie stockée	736 kWh

Champ PV

30 chaînes de 40 modules	Puissance nom.	840 kWc
PV/PLoad 28.0	Energie moy. jour	2307 kWh

Régulateur

MPPT universel	Puissance nom.	730 kW
PV/PConv 1.15	Seuils selon SOC	

Annuler OK

Figure II.6 dimensionnements de batterie avec PVsyst

Pour un banc Li-ion LifePO4 (51.2 V, 100 Ah) :

- Nombre de cellules en série $N_s = 800 \text{ V} / 51.2 \text{ V} \approx 16$
- Nombre de cellules en parallèle $N_p = 960 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah} \approx 10$
- Total cellules = $16 \times 10 = 160$

Cette configuration garantit la capacité et la tension requises tout en optimisant le nombre de cellules et la fiabilité du système

II.5 Choix de l'onduleur et du régulateur de charge MPPT

Le dimensionnement de l'onduleur et des entrées MPPT repose sur la puissance crête du champ photovoltaïque, le ratio DC/AC retenu, ainsi que la capacité admissible par chaque entrée MPPT. Dans le cas présent, la puissance crête du champ PV est **dimensionnée à 846 kWc**, ce qui nécessite une sélection d'onduleurs capables de gérer efficacement cette puissance en tenant compte des **variations d'ensoleillement**, des **pertes thermiques**, et des **fluctuations de tension**. Le ratio DC/AC doit être optimisé pour éviter les saturations en période de forte irradiation tout en assurant une bonne exploitation de l'énergie disponible en conditions moyennes. Le tableau ci-dessous synthétise les **paramètres clés** à considérer pour garantir une

intégration optimale du champ PV, avec une **marge de sécurité** adaptée aux contraintes climatiques et aux tolérances électriques du système.

Tableau 5 : Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur ed charge MPPT

Élément	Paramètre	Valeur
Onduleur	Puissance crête DC du champ PV	846 kWc
	Fréquence	50Hz
	Puissance nominale AC	770 kVA (702 kW)
	Tension de sortie	400 V triphasé / 230 V phase-neutre
MPPT	Nombre d'entrées MPPT	3
	Tension d'entrée maximale	1000 V
	Courant d'entrée maximal	1364 A
	Nombre total de chaînes	60 (20 par MPPT)
	Courant par chaîne (Imp)	17,2 A
	Courant total par MPPT	$20 \times 17,2 \text{ A} = 344 \text{ A}$
	Tension à puissance maximum par chaîne (Vmp)	$\approx 820 \text{ V}$

II.6 Conclusion

Le second chapitre a permis de structurer et de valider l'ensemble du dimensionnement du système photovoltaïque couplé à une batterie LiFePO₄. Après l'analyse des pointes de consommation et la définition de l'énergie requise pour une recharge complète de la batterie de **960 Ah sous 800 V en moins d'une heure**, la **puissance crête du champ PV** a été calculée, puis son comportement simulé sous *PV⁺syst*. Deux scénarios de charge ont été étudiés : l'un avec un **temps de charge de 3 heures**, et l'autre de **54 minutes**, correspondant à un champ PV composé de **20 modules en série et 60 chaînes en parallèle**, associé à un **onduleur de 770 kVA** doté de **trois entrées MPPT**. Cette configuration garantit un **temps de charge d'environ 0,9 heure** et un **fonctionnement optimal** du système. Le **comparatif des technologies** de modules et de batteries a conforté le choix des **Canadian Solar CS7N-705TB-AG** et d'un banc **LiFePO₄**, combinant **haut rendement, durabilité et coût maîtrisé**. Ce chapitre constitue ainsi une **base technique solide** pour la mise en œuvre opérationnelle du système et ouvre la voie aux **essais en conditions réelles**.

Conclusion générale

Ce rapport constitue la **base technique du stage de technicien**, en posant les fondations d'un système photovoltaïque couplé à un stockage par batterie, dimensionné avec rigueur pour répondre aux besoins énergétiques spécifiques d'un site industriel. L'ensemble des analyses menées — de la caractérisation des pointes de consommation à la simulation du champ PV sous *PVsyst*, en passant par le choix technologique des modules et des batteries — ont permis de concevoir une solution fiable, performante et économiquement viable.

Ce travail s'inscrit dans une **démarche de continuité d'alimentation**, en vue de la mise en place d'un **système UPS (Uninterruptible Power Supply)** capable d'assurer le fonctionnement ininterrompu de l'usine, même en cas de coupure du réseau. Le système proposé, basé sur des batteries LiFePO₄ à haute capacité et un champ photovoltaïque optimisé, offre une réponse adaptée aux exigences industrielles en matière de **résilience énergétique**, de **sécurité d'approvisionnement** et de **durabilité**.

Ainsi, ce rapport ne se limite pas à un exercice de dimensionnement : il constitue un **outil opérationnel** pour la mise en œuvre concrète du projet, et une **référence technique** pour les essais en conditions réelles et les futures phases d'optimisation.

Bibliographie

- **Labouret, A., & Villos, M.** (2022). *Installations photovoltaïques – Conception et dimensionnement d'installations raccordées au réseau* (6e éd.). Dunod. → Ouvrage de référence sur le calcul, le choix des composants et les normes d'installation PV.
- **Brigand, S.** (2024). *Le guide des installations solaires photovoltaïques : Composants – Dimensionnement – Mise en œuvre*. Cythelia Energy. → Manuel pratique pour les systèmes autonomes et raccordés, avec études de cas et schémas techniques.
- **Wild, J.** (2022). *Photovoltaïque pas à pas : Guide pratique pour débutants – conception d'une installation PV autonome avec stockage*. Éditions Independantes.
- **Suchet, D., & Johnson, E.** (2023). *L'énergie solaire photovoltaïque*. Éditions Techniques de l'Ingénieur. → Approche scientifique des technologies PV, rendement, et intégration industrielle.
- **Andriamarolahy, S. N.** (2023). *Analyse et dimensionnement des systèmes photovoltaïques autonomes : Conception et évaluation d'un outil sur MATLAB*. Mémoire de Licence, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. → Étude universitaire sur le dimensionnement PV avec modélisation MATLAB.
- **Rahrah, K.** (2021). *Méthode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques pour l'habitat isolé*. Université de Tlemcen. → Document académique détaillant les étapes de calcul pour les systèmes autonomes.
- **International Electrotechnical Commission (IEC).** (2021). *IEC 61724-1: Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurement, data analysis and reporting*. → Norme internationale pour le suivi et l'analyse des performances des installations PV.
- **IEEE Standards Association.** (2007). *IEEE Std 1562-2007: Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic Systems*. → Référence technique pour le dimensionnement des batteries et des champs PV en site isolé.

Analyse d'un système photovoltaïque et de stockage énergétique pour un environnement industriel

RESUME

Ce rapport présente le travail réalisé lors d'un stage ouvrier au sein de la société STE MAZDA, portant sur l'étude et le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome destiné à un site industriel. L'objectif principal est d'assurer une alimentation continue en cas de défaillance du réseau, grâce à l'intégration d'un champ photovoltaïque et d'un banc de batteries LiFePO₄. Le rapport détaille les étapes de l'analyse énergétique, le choix des modules PV, la configuration du système de stockage, ainsi que le dimensionnement du régulateur MPPT et de l'onduleur. Des simulations sous PVsyst ont permis de valider les performances du système et d'optimiser les temps de charge. Ce travail constitue une base technique solide pour la mise en œuvre d'une solution énergétique fiable, durable et adaptée aux exigences industrielles.

Mots clés : énergie renouvelable, alimentation sans interruption, photovoltaïque, batterie LiFePO₄, dimensionnement, MPPT, onduleur, installation industrielle

SUMMARY

This report presents the work carried out during a technician-level internship at STE MAZDA, focusing on the study and sizing of an autonomous photovoltaic system for an industrial site. The main objective is to ensure continuous power supply in case of grid failure, through the integration of a solar field and LiFePO₄ battery storage. The report details the energy analysis, selection of PV modules, configuration of the storage system, and sizing of the MPPT controller and inverter. Simulations using PVsyst validated system performance and optimized charging times. This work provides a solid technical foundation for implementing a reliable, sustainable energy solution tailored to industrial requirements.

Key words: renewable energy, uninterruptible power supply, photovoltaic, LiFePO₄ battery, sizing, MPPT, inverter, industrial installation

Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Tunis (ENSIT)

5 Avenue Taha Hussein, 1008 Tunis B.P 56 Bab Menara, Site Web : www.ensit.rnu.tn

☎ : (+216) 71 49 60 66 / 71 49 40 20 / 71 39 95 25 – 📠 : (+216) 71 39 11 66