


N° d'ordre: .....

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
  
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU  
FACULTÉ DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES  
LABORATOIRE DE MATHÉMATIQUES PURES ET APPLIQUÉES

## MÉMOIRE DE MASTER-STARTUP

Domaine : Mathématiques-informatique

Filière : Mathématiques

Spécialité : Recherche Opérationnelle

Par

MANSOURI KAMEL & HAKEM JUBA

## PARABOLE SOLECTRIQUE : UNE VÉRITABLE SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

Soutenu le ...-...-2023 devant le jury :

Dr.	HAMAZ Abdelghani	MCA	UMMTO	Président du jury
Pr.	BEDOUHENE Fazia	Professeur	UMMTO	Encadrante
Pr.	HATEM Djedjiga	Professeur	UMMTO	Examineur
Pr.	HAMLIL Nouara	Professeur	UMMTO	Représentante de l'Incubateur
Dr.	AMIROU Ahmed	MCA	UMMTO	Représentante de l'Incubateur
Mr.	OTMANE-CHERIF Mourad	Cadre Ingénieur	Sonelgaz	Examineur
Dr.	SI SALEM Abdelmadjid	MCA	UMMTO	Collaborateur (Brevet)

Année Universitaire : 2022 - 2023



# TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 ÉNERGIES RENOUVELABLES	5
1.1 QUELLES SONT LES ÉNERGIES RENOUVELABLES : CLASSEMENT ET LISTE	8
1.1.1 Énergie solaire	8
1.1.2 Énergie éolienne	8
1.1.3 Énergie hydraulique	9
1.2 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ÉNERGIES RENOUVELABLES	9
1.2.1 Les avantages des énergies renouvelables	9
1.2.2 Les inconvénients des énergies renouvelables	10
1.3 ÉNERGIE SOLAIRE : UNE SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE	11
1.4 LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE SOLAIRE	12
1.4.1 Pour les Particuliers	12
1.4.2 Pour les Entreprises et Industriels	12
1.4.3 Installations à Grande Échelle	13
1.5 PANNEAUX SOLAIRES : UNE SOURCE D'ÉNERGIE DURABLE	13
1.5.1 Le Principe de Fonctionnement des Panneaux Solaires	13
1.5.2 Les Éléments Constitutifs des Panneaux Solaires	15
1.6 DIVERS TYPES DE PANNEAUX SOLAIRES	15
1.6.1 Applications des Panneaux Solaires	16
1.7 RENDEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES	16
1.7.1 Types de Panneaux Solaires	16
1.8 DURABILITÉ DES PANNEAUX SOLAIRES	17
1.8.1 Garantie et Protection	17
1.8.2 Entretien et Stabilité Mécanique	17
1.9 CAS PARTICULIER (ALGÉRIE)	18
1.9.1 Cevital Solar :	19
1.9.2 Sonelgaz Solar :	20
1.9.3 Hassi R'Mel Integrated Solar Combined Cycle Power Plant :	21

1.9.4	Université de Tlemcen :	22
1.9.5	Projets d'électrification rurale :	23
1.9.6	Programme national de développement des énergies renouvelables (PNADER) :	25
1.9.7	Usines de fabrication de panneaux solaires :	26
1.10	CONCLUSION	28
<b>2</b>	<b>PARTIE ACADÉMIQUE : ESTIMATION DES PARAMÈTRES DU SYSTÈME SOLAIRE EN UTILISANT L'OBSERVATEUR DE LUENBERGER</b>	<b>30</b>
2.1	RAPPELS MATHÉMATIQUES—OBSERVATEUR DE LUENBERGER	31
2.1.1	Concept de Stabilité	31
2.1.2	Observabilité des systèmes linéaires : Critère de Kalman	31
2.1.3	Observateur asymptotique de Luenberger	32
2.2	APPLICATION DE L'OBSERVATEUR DE LUENBERGER AU TRACEUR SOLAIRE	33
2.2.1	Composant du traceur solaire	34
2.2.2	Modèle du système de suivi solaire	34
2.2.3	Estimation de l'angle d'inclinaison du système solaire via l'observateur de Luenberger	36
2.2.4	Résultats de l'exécution du code	39
2.2.5	Diagramme Simulink associé à la simulation du modèle DC	41
<b>3</b>	<b>BUSINESS PLAN</b>	<b>44</b>
3.1	INTRODUCTION	46
3.2	PREMIÈRE AXE : PRÉSENTATION DU PROJET	46
3.2.1	L'idée de projet (solution proposée) :	46
3.2.2	Les valeurs proposées :	46
3.2.3	Objectifs du projet :	47
3.2.4	Calendrier de réalisation du projet :	47
3.3	DEUXIÈME AXE : ASPECT INNOVANT	47
3.3.1	Nature des innovation :	47
3.3.2	Domaines d'innovation	48
3.4	TROISIÈME AXE : ANALYSE STRATÉGIQUE DU MARCHÉ	49
3.4.1	Le segment du marché	49
3.4.2	Mesure de l'intensité de la concurrence :	51
3.4.3	Analyse PESTEL :(analyse du contexte externe)	52
3.4.4	Analyse SWOT :(analyse du contexte interne)	53
3.5	ANALYSE CROISÉE DE LA MATRICE SWOT	54
3.5.1	La Stratégie Marketing	55
3.6	QUATRIÈME AXE : PLAN DE PRODUCTION ET ORGANISATION	56
3.6.1	Le processus de production	56
3.6.2	Approvisionnement	57
3.6.3	La main d'œuvre	58
3.6.4	Les principaux partenaires :	58

3.7	CINQUIÈME AXE : PLAN FINANCIER . . . . .	60
3.7.1	Les coûts et les charges . . . . .	60
3.7.2	Le Chiffre d'affaires . . . . .	60
3.7.3	Les Comptes de résultats escomptés . . . . .	60
3.7.4	Le Plan de trésorerie . . . . .	61
3.8	PREMIÈRE ANNEXE :COMPTES DE RÉSULTATS ESCOMPTÉS . . . . .	61
3.8.1	Les Comptes de résultats escomptés . . . . .	61
3.9	DEUXIÈME ANNEXE : COMPTES DU TRÉSOR . . . . .	63
3.10	TROISIÈME ANNEXE : MODÈLE D'AFFAIRES . . . . .	64
	CONCLUSION GÉNÉRALE . . . . .	66
	BIBLIOGRAPHIE . . . . .	67

## LISTE DES FIGURES

1	Photo tirée de l'article : La solution du ministère de l'habitat au problème des paraboles. <a href="https://www.lkeria.com/actualites/logement/la-solution-du-ministere-de-lhabitat-au-proble">https://www.lkeria.com/actualites/logement/la-solution-du-ministere-de-lhabitat-au-proble</a>	
2	Parabole solaire <a href="https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcQdRL8nsoSzxCdJkRYEI2KivMpXMLkiPzmF__azO9Y-4VrZwQUdvcQUZxGjFlLMKkrj0s8&amp;usqp=CAU">https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcQdRL8nsoSzxCdJkRYEI2KivMpXMLkiPzmF__azO9Y-4VrZwQUdvcQUZxGjFlLMKkrj0s8&amp;usqp=CAU</a> . . . . .	2
3	Voiture électrique <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Sono_Sion_Front_Back.jpg">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Sono_Sion_Front_Back.jpg</a> . . . . .	2
4	Facture d'électricité d'un simple foyer . . . . .	3
1.1	Vue en coupe et encapsulation d'un module PV Ayang (2020); Park et al. (2010) . . . . .	15
1.2	Le désert algérien / Image : Dmitry Pichugin, illustrations : Révolution Énergétique. Ce pays désertique peine à exploiter son énorme gisement d'énergie solaire ? . . . . .	18
2.1	Traceur solaire à deux axes Akbar Gumilang et al. (2021) . . . . .	33
2.2	Schéma de contrôle du système de suivi solaire Hanwate et Hote (2018) . . . . .	35
2.3	Diagramme Simulink de l'observateur de Luenberger . . . . .	42
2.4	Traceur solaire à deux axes Akbar Gumilang et al. (2021) . . . . .	43

# LISTE DES TABLEAUX

2.1	Paramètres du moteur à courant continu Hanwate et Hote (2018) .	35
3.1	Calendrier de réalisation du projet . . . . .	47
3.3	Le plan de trésorerie . . . . .	63

# INTRODUCTION, MOTIVATION ET OBJECTIFS DU PROJET...

DANS l'ère technologique actuelle, les dispositifs électriques et électroniques se développent rapidement. Par conséquent, la demande énergétique de chaque pays est en augmentation [Kuleli Pak et al. \(2015\)](#). De plus, une attention importante est portée à l'environnement. Cette exigence en matière d'énergie doit être satisfaite sans polluer l'environnement, principalement en adoptant des sources d'énergie renouvelable [Kahraman et al. \(2010\)](#); [Nikolina \(2016\)](#).

Ce projet de mémoire startup s'inscrit dans la perspective du développement durable en explorant l'exploitation des paraboles dans le but de les recycler et de générer une énergie solaire de manière optimale.

## Motivation du projet

Qui parmi nous ne possède pas une parabole à domicile, voire deux ou trois ?



**Figure 1** – Photo tirée de l'article : La solution du ministère de l'habitat au problème des paraboles. <https://www.lkeria.com/actualites/logement/la-solution-du-ministere-de-lhabitat-au-probleme-des-paraboles/>

Face à la prolifération croissante des paraboles sur les balcons et à l'avènement des technologies numériques telles que les téléviseurs capables de capter des chaînes télévisées via Internet, ces paraboles deviennent non seulement encombrantes mais également préjudiciables à l'environnement. Le véritable défi réside dans la transformation de ces structures en une source d'énergie durable pour les foyers, en exploitant leurs caractéristiques telles que les capteurs, la forme géométrique et l'exposition au soleil.

### Idée du projet :

Bien que l'idée de la parabole solaire existe déjà à travers la cuisson solaire, permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> tout en réalisant des économies lors de la cuisson, elle présente l'inconvénient d'être moins performante que les cuisinières électriques ou à gaz.



**Figure 2** - Parabole solaire [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQdRL8nsoSzxCdJkRYEI2KivMpXMLkiPzmF\\_azO9Y-4VrZwQUdvCQUZxGjF1LMKkrj0s8&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQdRL8nsoSzxCdJkRYEI2KivMpXMLkiPzmF_azO9Y-4VrZwQUdvCQUZxGjF1LMKkrj0s8&usqp=CAU)

Pourquoi ne pas envisager une utilisation différente de ces paraboles, en prenant comme inspiration le concept des véhicules électriques, tels que la Sion, qui se recharge à l'aide d'une interface de charge Type2/CCS et intègre également des modules photovoltaïques dans son revêtement extérieur ou intérieur ?



**Figure 3** - Voiture électrique [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Sono\\_Sion\\_Front\\_Back.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Sono_Sion_Front_Back.jpg)

Ainsi, l'idée sous-jacente est de métamorphoser la parabole (placée sur la Terrasse ou fixée sur un mur extérieur d'une maison) en un panneau solaire que nous nommerons "solectrique", combinaison des mots « soleil » et « électrique ».

### Objectifs du projet :

Les objectifs de ce projet sont variés :

- Prévenir le rejet de l'objet, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.
- Générer une quantité d'énergie électrique supérieure à celle obtenue par la parabole solaire, représentant un second avantage environnemental.
- Atteindre une autonomie énergétique maximale pour les habitations, se référant aux factures exorbitante liées à la consommation de l'électricité d'un simple foyer.

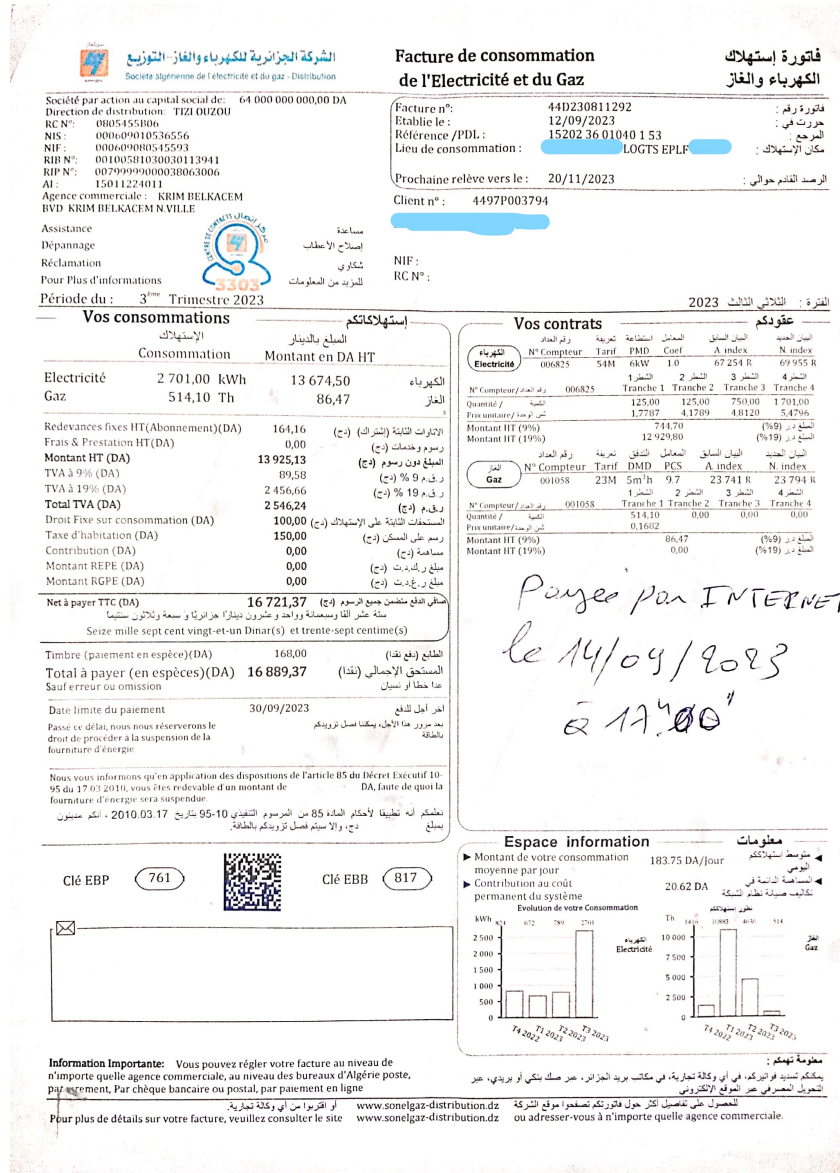


Figure 4 – Facture d'électricité d'un simple foyer

- Notre travail ouvre de nouvelles perspectives de recherche concernant la forme géométrique des panneaux solaires. En explorant des designs innovants et avant-gardistes, nous pourrions améliorer l'efficacité énergétique des panneaux solaires tout en les intégrant harmonieusement dans divers environnements.

## Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré en trois chapitres.

- Le premier est consacré aux énergies renouvelables, avec une emphase particulière sur les panneaux solaires.
- Le deuxième chapitre revêt une dimension académique, abordant des concepts mathématiques essentiels tels que la stabilité des systèmes dynamiques linéaires, l'observabilité, et l'observateur de Luenberger. Une attention particulière est accordée au modèle mathématique du suiveur solaire, tel que développé par [Hanwate et Hote \(2018\)](#). Pour obtenir une efficacité maximale du panneau solaire, au moins deux axes du suiveur solaire sont nécessaires, à savoir, l'angle d'azimut  $\theta$  qui mesure l'angle de la lumière solaire incidente sur la surface de la cellule photovoltaïque (PV), et l'angle incliné  $\alpha$  qui mesure l'inclinaison de la lumière solaire. Nous nous sommes focalisé sur l'estimation de l'angle  $\theta$  à travers l'observateur de Luenberger, avec notre contribution marquée par la mise en œuvre du gain de l'observateur via Matlab Simulink.
- Le dernier chapitre de ce mémoire est consacré au Business plan du projet, exposant notamment l'aspect innovant du projet.

# ÉNERGIES RENOUVELABLES



## SOMMAIRE

1.1	QUELLES SONT LES ÉNERGIES RENOUVELABLES : CLASSEMENT ET LISTE	8
1.1.1	Énergie solaire	8
1.1.2	Énergie éolienne	8
1.1.3	Énergie hydraulique	9
1.2	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ÉNERGIES RENOUVELABLES	9
1.2.1	Les avantages des énergies renouvelables	9
1.2.2	Les inconvénients des énergies renouvelables	10
1.3	ÉNERGIE SOLAIRE : UNE SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE	11
1.4	LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE SOLAIRE	12
1.4.1	Pour les Particuliers	12
1.4.2	Pour les Entreprises et Industriels	12
1.4.3	Installations à Grande Échelle	13
1.5	PANNEAUX SOLAIRES : UNE SOURCE D'ÉNERGIE DURABLE	13
1.5.1	Le Principe de Fonctionnement des Panneaux Solaires	13
1.5.2	Les Éléments Constitutifs des Panneaux Solaires	15
1.6	DIVERS TYPES DE PANNEAUX SOLAIRES	15
1.6.1	Applications des Panneaux Solaires	16
1.7	RENDEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES	16
1.7.1	Types de Panneaux Solaires	16
1.8	DURABILITÉ DES PANNEAUX SOLAIRES	17
1.8.1	Garantie et Protection	17
1.8.2	Entretien et Stabilité Mécanique	17
1.9	CAS PARTICULIER (ALGÉRIE)	18
1.9.1	Cevital Solar :	19
1.9.2	Sonelgaz Solar :	20
1.9.3	Hassi R'Mel Integrated Solar Combined Cycle Power Plant :	21
1.9.4	Université de Tlemcen :	22
1.9.5	Projets d'électrification rurale :	23

1.9.6	Programme national de développement des énergies renouvelables (PNADER) : . . . . .	25
1.9.7	Usines de fabrication de panneaux solaires : . . . . .	26
1.10	CONCLUSION . . . . .	28

Le rapport de Global Energy Monitor met en évidence que l'Algérie, dont l'économie dépend en grande partie des ressources fossiles, a réussi à accroître sa capacité de production d'énergie renouvelable de plus de 10 mégawatts au cours de la dernière année.

## QUELLES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE SONT EXPLOITÉES EN ALGÉRIE ?

Quelles sources d'énergie renouvelable sont exploitées en Algérie ? Le Ministère de l'Énergie algérien a pour objectif de jouer un rôle prépondérant dans la production d'électricité grâce aux secteurs du photovoltaïque et de l'éolien, tout en incluant également la biomasse, la cogénération, la géothermie, et à partir de 2021, l'énergie solaire thermique, dans son programme ambitieux en matière d'énergies renouvelables. Dans ce pays aride, l'exploitation de son vaste potentiel en énergie solaire se révèle être un défi difficile à relever.

L'Algérie se trouve dans l'incapacité de concrétiser son ambition de devenir la "future centrale électrique de l'Europe", une vision qui consistait à fournir au Vieux Continent une source d'électricité renouvelable. Malgré plusieurs initiatives lancées dans le domaine solaire, toutes se sont soldées par le même résultat : l'échec. Actuellement, seulement 1 % de la production locale d'électricité provient de sources à faibles émissions de carbone. Le 2 mars 2023, la société algérienne d'électricité et de gaz, Sonelgaz, par le biais de sa filiale "Sonelgaz - Énergies renouvelables", a initié un appel d'offres à l'échelle nationale et internationale pour la mise en place d'un projet consistant à établir 15 centrales solaires dans diverses régions du pays. La date limite pour la soumission des offres et l'ouverture des plis est fixée au 29 mai prochain. Cette initiative marque une étape significative dans la réalisation de la stratégie de l'Algérie visant à atteindre une capacité totale de 15 gigawatts (GW) d'énergie solaire d'ici 2035, tout en réduisant sa dépendance aux hydrocarbures pour la production d'électricité, qui repose actuellement à 98,5 % sur le gaz naturel. Cette démarche est-elle sérieuse ?

Selon les informations fournies par Sonelgaz, les capacités de chacune des 15 centrales seront comprises entre 80 et 220 mégawatts (MW). Elles seront localisées dans les wilayas du sud et des Hauts-Plateaux, notamment Ghardaïa, Ouargla, Béchar, El-Oued et Laghouat. La mise en service de ces installations devrait également encourager l'émergence de jeunes entreprises impliquées dans la réalisation du projet, avec l'objectif de créer directement 5 000 emplois.

Le potentiel est considérable, mais les résultats sont décevants.

L'Algérie possède un potentiel considérable dans ce domaine, grâce à sa vaste superficie de 2,4 millions de kilomètres carrés, la plus grande en Afrique, et à ses 3 000 heures d'ensoleillement par an, l'un des taux les plus élevés au monde. Selon les avis d'experts, la simple installation de panneaux solaires sur 0,5% de

la surface du pays pourrait suffire à alimenter l'Europe en électricité. Si cette proportion était portée à 2 %, l'Algérie produirait l'équivalent de la consommation mondiale d'électricité. Les énergies renouvelables (EnR) englobent divers moyens de générer de l'énergie à partir de sources ou de ressources potentiellement inépuisables, disponibles sans restriction temporelle ou régénérées plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

En contraste avec les énergies fossiles, dont les réserves sont finies et non renouvelables à l'échelle de la vie humaine (comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel), les énergies renouvelables sont générées à partir de sources telles que la lumière solaire ou le vent, qui sont considérées comme pratiquement inépuisables sur le plan humain.

Les termes "énergies vertes" ou "énergies propres" sont parfois utilisés pour désigner les énergies renouvelables, bien que cela puisse être trompeur. En effet, bien que les énergies renouvelables présentent souvent des avantages écologiques, elles ne sont pas nécessairement "vertes" ou "propres" au sens strict, car elles peuvent également avoir des répercussions environnementales significatives.

## 1.1 QUELLES SONT LES ÉNERGIES RENOUVELABLES : CLASSEMENT ET LISTE

### 1.1.1 Énergie solaire

Ce genre d'énergie renouvelable provient de la capture directe du rayonnement solaire. Des dispositifs particuliers sont employés pour recueillir l'énergie des rayons solaires et la redistribuer selon deux principaux modes de fonctionnement :

1. Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) : l'énergie solaire est captée en vue de la production d'électricité.
2. Solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage, panneaux solaires thermiques) : la chaleur des rayons solaire est captée est rediffusée, et plus rarement sert à produire de l'électricité.

### 1.1.2 Énergie éolienne

Pour ce qui est de l'énergie éolienne, l'énergie cinétique du vent actionne un générateur électrique. Plusieurs variétés d'énergies renouvelables éoliennes existent, notamment les éoliennes terrestres, les éoliennes en mer, et les éoliennes flottantes. Toutefois, le concept fondamental demeure essentiellement le même pour toutes ces formes d'énergies renouvelables.

### 1.1.3 Énergie hydraulique

L'énergie cinétique de l'eau (fleuves et rivières, barrages, courants marins, marées) actionne des turbines génératrices d'électricité. Les énergies marines font partie des énergies hydrauliques.

## 1.2 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

### 1.2.1 Les avantages des énergies renouvelables

En plus du fait qu'elles ne s'épuisent pas comme les énergies fossiles, les énergies renouvelables offrent d'autres avantages pour l'environnement. Par exemple, lorsque nous produisons de l'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable, cela émet très peu de CO<sub>2</sub> par rapport aux énergies fossiles telles que le charbon. C'est pourquoi les énergies renouvelables sont considérées comme une solution importante pour lutter contre le réchauffement climatique. Elles sont également utiles pour renforcer la résilience car elles permettent une production d'énergie sans émissions de carbone et distribuée sur de petites échelles.

Pour mesurer les émissions de CO<sub>2</sub> des énergies renouvelables, nous utilisons une méthode appelée Analyse de Cycle de Vie (ACV). Cela nous permet de connaître la quantité de CO<sub>2</sub> émise pour chaque kilowatt-heure (kWh) d'électricité produite, en prenant en compte les émissions liées à la fabrication des infrastructures, à l'extraction des ressources et à la fin de vie de ces installations. Selon le rapport du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Étude du Climat), les énergies renouvelables ont généralement des résultats favorables en termes d'ACV par rapport à de nombreuses autres sources d'énergie.

Voici une liste des principales sources de production d'électricité classées en fonction de leurs émissions de CO<sub>2</sub>, selon le rapport du GIEC, Annexe 3 (de la moins polluante à la plus polluante, en valeurs médianes) :

- Éolien terrestre : 11 gCO<sub>2</sub>eq/kWh
- Nucléaire : 12 gCO<sub>2</sub>eq/kWh
- Hydroélectricité : 24 gCO<sub>2</sub>eq/kWh
- Solaire thermodynamique : 27 gCO<sub>2</sub>eq/kWh
- Géothermique : 38 gCO<sub>2</sub>eq/kWh
- Solaire photovoltaïque : 41-48 gCO<sub>2</sub>eq/kWh

En principe, les énergies renouvelables ont le potentiel d'améliorer la sécurité énergétique en réduisant la dépendance des pays à l'égard des importations de combustibles fossiles. Ces sources d'énergie sont souvent réparties géographiquement de manière plus variée, ce qui diminue le risque de perturbations dans l'approvisionnement.

Par exemple, l'énergie solaire, éolienne et hydraulique peut être produite localement, permettant ainsi aux pays d'utiliser des ressources énergétiques locales au lieu de dépendre des importations de combustibles fossiles pour satisfaire

leurs besoins en énergie. Cela peut réduire leur vulnérabilité aux fluctuations des prix des combustibles fossiles sur les marchés internationaux.

De plus, les énergies renouvelables constituent une alternative aux combustibles fossiles, qui sont actuellement la principale source d'énergie utilisée dans le monde. En diversifiant leurs sources de production d'énergie, les pays peuvent réduire leur dépendance à l'égard d'une seule source, ce qui les rend plus résilients face à d'éventuelles perturbations de l'approvisionnement.

Les pays qui comptent fortement sur les importations d'énergie peuvent être confrontés à des problèmes de sécurité énergétique, tels que des pénuries d'approvisionnement ou des prix élevés. Les énergies renouvelables offrent une alternative à l'importation d'énergie, ce qui peut contribuer à renforcer la sécurité énergétique des pays.

De plus, le développement des énergies renouvelables peut stimuler l'économie locale en créant des emplois dans les secteurs de la fabrication, de l'installation et de la maintenance. Cela peut renforcer l'indépendance économique des communautés locales.

Cependant, il est important de noter que la manière dont les infrastructures de production d'énergies renouvelables sont développées joue un rôle crucial. Actuellement, de nombreuses de ces infrastructures sont concentrées dans un petit nombre de pays, en particulier en Asie.

## 1.2.2 Les inconvénients des énergies renouvelables

### Énergies renouvelables, efficacité énergétique, intermittence et stockage

Les énergies renouvelables suscitent parfois des critiques en raison de leur rendement énergétique potentiellement inférieur à celui des énergies fossiles. De plus, leurs coûts de production sont souvent perçus comme plus élevés à court terme. Cependant, leur caractéristique la plus notable est leur disponibilité intermittente. Cela signifie que des sources comme l'énergie solaire et éolienne ne produisent pas de manière constante de l'électricité, ce phénomène étant désigné sous le terme "intermittence".

L'intermittence des énergies renouvelables se rapporte à la variabilité et à l'imprévisibilité de la production d'énergie à partir de sources renouvelables telles que le soleil et le vent. Contrairement aux combustibles fossiles qui peuvent être brûlés de manière continue pour générer de l'électricité, les énergies renouvelables dépendent des conditions météorologiques pour produire de l'énergie. Par exemple, la production d'énergie solaire dépend de la quantité de lumière solaire atteignant les panneaux solaires, ce qui varie en fonction des nuages, de la saison et de l'heure du jour. De même, la production d'énergie éolienne dépend de la force et de la direction du vent, qui peuvent fluctuer de manière imprévisible.

Cette intermittence constitue un défi pour les réseaux électriques, qui doivent s'adapter en temps réel à la demande en électricité, car il n'est pas économique-

ment efficace de stocker de grandes quantités d'électricité. Lorsque la production d'énergie renouvelable est élevée, elle peut dépasser la demande, entraînant des contraintes et des surcharges sur le réseau électrique. En revanche, lorsque la production est faible, elle peut ne pas suffire à répondre à la demande, ce qui peut également engendrer des problèmes sur le réseau électrique.

Pour relever ce défi, diverses solutions de stockage d'énergie ont été développées, notamment des batteries à haute capacité, des systèmes de stockage d'hydrogène et des technologies de stockage thermique. De plus, des systèmes de gestion de l'énergie avancés ont été mis en place pour intégrer de manière efficace et sécurisée la production d'énergie renouvelable dans les réseaux électriques. Ces solutions garantissent un approvisionnement en énergie stable et fiable à partir de sources d'énergie renouvelable intermittentes.

### 1.3 ÉNERGIE SOLAIRE : UNE SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

#### **L'Énergie Solaire : Une Source Durable et Efficace**

L'énergie solaire, couramment désignée sous le terme d'énergie solaire photovoltaïque, représente une source d'énergie propre, renouvelable et hautement durable. Son principe fondamental réside dans la conversion ingénieuse de la lumière solaire en électricité, opérée par des dispositifs technologiques avancés appelés panneaux solaires photovoltaïques.

L'une des caractéristiques distinctives de l'énergie solaire est sa durabilité exceptionnelle. Contrairement aux ressources énergétiques non renouvelables telles que les combustibles fossiles, qui s'amenuisent avec le temps, l'énergie solaire bénéficie d'une source inépuisable : le soleil. Celui-ci émet de manière constante une quantité astronomique de lumière et de chaleur, garantissant un approvisionnement énergétique inépuisable. Cette caractéristique de durabilité à long terme en fait une solution énergétique capable de répondre aux besoins actuels tout en préservant les ressources pour les générations futures.

Outre sa durabilité, l'énergie solaire se distingue par son rendement optimal. Les panneaux solaires photovoltaïques, au cœur de ce processus, sont conçus pour capturer efficacement les photons de la lumière solaire et les convertir en électricité utilisable. Cette conversion est réalisée de manière hautement efficace grâce à l'utilisation de matériaux semi-conducteurs de pointe. Lorsque la lumière solaire atteint ces cellules photovoltaïques, elle libère des électrons dans le matériau, générant ainsi un courant électrique continu. Cette capacité à maximiser le rendement de la lumière solaire en électricité en fait une source d'énergie particulièrement efficace, contribuant ainsi à la réduction des coûts énergétiques et à la préservation de l'environnement.

En conclusion, l'énergie solaire incarne une source d'énergie propre, renouvelable, durable et à rendement élevé. Sa durabilité inégalée repose sur la constance

de la lumière solaire, tandis que son rendement optimal découle de la conversion astucieuse de cette lumière en électricité. Cette combinaison en fait une solution énergétique essentielle pour répondre aux besoins énergétiques actuels tout en préservant les ressources pour les générations futures.

## 1.4 LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE SOLAIRE

Il n'existe pas qu'un seul type d'installation pour produire de l'énergie solaire par soi-même. Voici les plus connues et les plus prometteuses.

### 1.4.1 Pour les Particuliers

Les particuliers ont plusieurs moyens d'utiliser l'énergie solaire, que ce soit pour produire de l'électricité, de la chaleur, ou les deux.

#### **Panneaux Solaires Photovoltaïques**

Les panneaux solaires photovoltaïques sont les plus connus et permettent de convertir directement l'énergie des rayons du soleil en électricité.

#### **Panneaux Solaires Thermiques**

Les panneaux solaires thermiques permettent de capter la chaleur du soleil pour l'utiliser dans le chauffage, le réseau d'eau chaude, voire pour la production d'électricité.

#### **Produits Solaires Portables**

D'autres produits fonctionnent à l'énergie solaire et peuvent être utilisés chez vous ou en voyage pour remplacer certains produits électriques : fours solaires, lampes avec panneaux photovoltaïques, chargeurs solaires, offrant ainsi une alternative écologique et pratique.

### 1.4.2 Pour les Entreprises et Industriels

Les entreprises et les industriels peuvent utiliser l'énergie solaire de manière similaire, mais à une plus grande échelle.

#### **Panneaux Solaires Photovoltaïques à Grande Échelle**

Ils peuvent installer des panneaux solaires photovoltaïques sur les toits de leurs bâtiments ou sur des terrains dédiés pour la production d'électricité à grande échelle.

### **Capteurs de Chaleur**

Les capteurs de chaleur solaire peuvent être utilisés pour répondre aux besoins de chauffage ou d'eau chaude, contribuant ainsi à la réduction des coûts énergétiques et de l'empreinte environnementale.

### **Produits Fonctionnant à l'Énergie Solaire**

Outre la production d'électricité et de chaleur, divers produits industriels peuvent être alimentés par l'énergie solaire, y compris des systèmes de pompage solaire pour l'irrigation agricole et des dispositifs de surveillance à distance.

## **1.4.3 Installations à Grande Échelle**

### **Centrales Thermodynamiques à Concentration**

Pour les sites industriels de grande envergure, il est possible de mettre en place des centrales thermodynamiques à concentration. Ces installations utilisent des miroirs pour concentrer la chaleur solaire sur un fluide thermique, qui est ensuite utilisé pour produire de la vapeur et de l'électricité. Ces systèmes peuvent également stocker de l'énergie pour une utilisation ultérieure.

### **Parcs Photovoltaïques**

Lorsque la superficie disponible est importante, il est possible de créer des parcs photovoltaïques comprenant des milliers de panneaux solaires. Ces parcs sont connectés au réseau électrique et fournissent de l'électricité à grande échelle.

Ces différentes installations solaires offrent des options variées pour exploiter l'énergie solaire de manière rentable, durable et respectueuse de l'environnement, que ce soit à l'échelle des ménages, des entreprises ou des grandes installations industrielles.

## **1.5 PANNEAUX SOLAIRES : UNE SOURCE D'ÉNERGIE DURABLE**

Les panneaux solaires, également désignés sous l'appellation de panneaux photovoltaïques, constituent une technologie en plein essor dans le domaine des énergies renouvelables. Ils jouent un rôle essentiel dans la production d'énergie propre. Découvrez tout ce qu'il faut savoir à leur sujet.

### **1.5.1 Le Principe de Fonctionnement des Panneaux Solaires**

Le fonctionnement des panneaux solaires repose sur le principe de l'effet photovoltaïque. Lorsque la lumière solaire atteint les cellules photovoltaïques, elle excite les électrons dans le matériau de ces cellules, générant ainsi un courant

électrique continu. Cette électricité peut ensuite être convertie en courant alternatif au moyen d'un onduleur, la rendant ainsi utilisable pour alimenter divers appareils, habitations, voire des réseaux électriques entiers. Voici les principes de fonctionnement des panneaux solaires :

**Matériau semi-conducteur :**

Les panneaux solaires sont principalement fabriqués à partir de semi-conducteurs, généralement du silicium cristallin. Le silicium est choisi car il présente des propriétés qui lui permettent de générer de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière du soleil.

**Absorption de la lumière :**

Lorsque la lumière du soleil (qui est composée de photons, des particules de lumière) frappe la surface du panneau solaire, les photons interagissent avec les électrons du matériau semi-conducteur.

**Création de paires électron-trou :**

L'interaction des photons avec les électrons dans le matériau semi-conducteur crée des paires électron-trou. Un électron est excité par l'énergie du photon et se libère de son atome d'origine, laissant un trou (un défaut de charge positive) à sa place.

**Migration des porteurs de charge :**

Les électrons libérés et les trous créés ont des charges électriques opposées. En conséquence, les électrons tendent à se déplacer vers la zone du semi-conducteur où il y a des trous, créant ainsi un courant électrique.

**Circuit électrique :**

Les électrons se déplacent à travers un circuit électrique connecté au panneau solaire, créant ainsi un courant électrique continu (courant continu ou CC). Ce courant peut ensuite être utilisé pour alimenter des appareils, être stocké dans des batteries, ou être converti en courant alternatif (CA) pour alimenter des équipements domestiques.

**Rendement énergétique :**

Le rendement énergétique d'un panneau solaire dépend de divers facteurs, notamment de la qualité du matériau semi-conducteur, de l'intensité lumineuse, de la température et de l'angle d'incidence de la lumière solaire. Les panneaux

solaires modernes sont conçus pour maximiser leur efficacité énergétique en utilisant des technologies telles que les cellules solaires à couches minces, les cellules solaires en silicium monocristallin ou polycristallin, et les systèmes de suivi solaire pour suivre la trajectoire du soleil.

### 1.5.2 Les Éléments Constitutifs des Panneaux Solaires

Les panneaux solaires sont composés de plusieurs éléments clés :

- **Cellules Solaires** : Les cellules solaires, également nommées cellules photovoltaïques, représentent la composante active des panneaux solaires. Elles sont élaborées à partir de matériaux semi-conducteurs, souvent du silicium, qui transforment l'énergie solaire en électricité.
- **Cadre** : Les cellules solaires sont montées sur un cadre en aluminium solide, assurant leur protection et leur stabilité. Ce cadre est conçu pour résister aux intempéries et aux conditions extérieures.
- **Verre de Protection** : Une couche de verre transparent recouvre les cellules solaires, les préservant des éléments extérieurs tout en permettant à la lumière solaire de les atteindre. Ce verre est généralement doté d'un revêtement antireflet pour optimiser l'absorption de la lumière solaire.
- **Couche Arrière** : Une couche arrière, constituée de polymères ou de métal, assure l'étanchéité des cellules solaires et les protège de l'humidité.
- **Connecteurs** : Les connecteurs électriques relient les cellules solaires entre

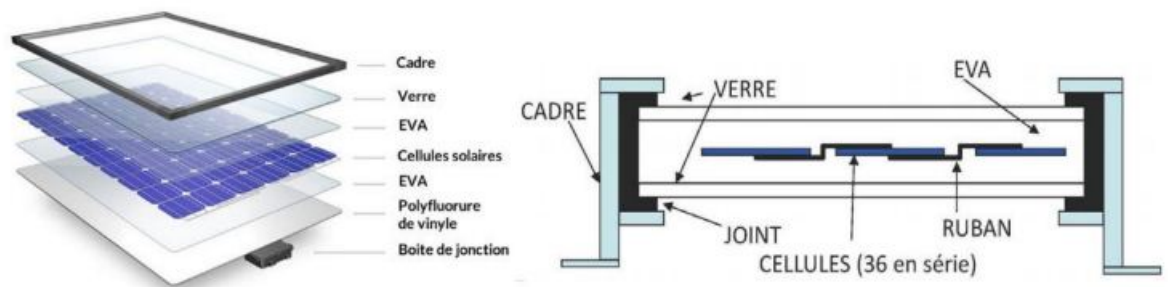


Figure 1.1 – Vue en coupe et encapsulation d'un module PV [Ayang \(2020\)](#); [Park et al. \(2010\)](#)

## 1.6 DIVERS TYPES DE PANNEAUX SOLAIRES

Il existe une variété de panneaux solaires, notamment :

1. **Panneaux Solaires Monocristallins** : Fabriqués à partir de cellules solaires monocristallines, ces panneaux se distinguent par leur efficacité élevée et leur rendement énergétique supérieur. Bien que leur production soit plus coûteuse, ils occupent moins d'espace.
2. **Panneaux Solaires Polycristallins** : Confectionnés à partir de cellules solaires polycristallines, ces panneaux sont moins coûteux à produire que les

monocristallins, bien que leur rendement soit légèrement inférieur. Ils se caractérisent par leur teinte bleutée.

3. **Panneaux Solaires Amorphes** : Flexibles et légers, les panneaux solaires amorphes offrent une alternative polyvalente. Ils présentent toutefois un rendement moindre que d'autres types de panneaux.
4. **Panneaux Solaires à Couches Minces** : Ces panneaux utilisent des couches minces de matériaux semi-conducteurs, les rendant légers et abordables. Néanmoins, leur efficacité est généralement plus faible.

### 1.6.1 Applications des Panneaux Solaires

Les panneaux solaires trouvent leur utilisation dans de nombreuses applications, parmi lesquelles :

- **Systèmes d'Alimentation Solaire Résidentiels** : Les panneaux solaires sont fréquemment installés sur les toits des habitations pour générer de l'électricité destinée à la consommation locale ou à la revente aux fournisseurs d'électricité.
- **Centrales Solaires** : Les centrales solaires, de vastes installations de panneaux solaires, alimentent en électricité des communautés entières.

## 1.7 RENDEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES

L'efficacité des panneaux solaires, également connue sous le nom de rendement, revêt une importance capitale dans leur utilisation. Elle mesure la capacité des panneaux solaires à convertir l'énergie lumineuse du soleil en électricité. Le rendement des panneaux solaires est couramment exprimé en pourcentage et varie en fonction de plusieurs paramètres, notamment le type de panneau, les conditions environnementales et la durée d'utilisation.

### 1.7.1 Types de Panneaux Solaires

Il existe plusieurs types de panneaux solaires, chacun ayant ses caractéristiques propres en termes de rendement :

1. **Panneaux Solaires Monocristallins** : Les panneaux solaires monocristallins affichent généralement le meilleur rendement parmi les panneaux solaires couramment utilisés, atteignant une efficacité de conversion de l'énergie solaire allant de 15 % à 22 %, voire plus pour les modèles haut de gamme.
2. **Panneaux Solaires Polycristallins** : Les panneaux solaires polycristallins présentent un rendement légèrement inférieur à celui des panneaux monocristallins, se situant généralement entre 13 % et 16 %.
3. **Panneaux Solaires Amorphes** : Les panneaux solaires amorphes affichent un rendement moindre, généralement compris entre 5 % et 9 %. Cependant,

leur flexibilité et leur polyvalence les rendent adaptés à certaines applications spécifiques.

4. **Panneaux Solaires à Couches Minces** : Les panneaux solaires à couches minces présentent une variabilité de rendement, mais ils sont généralement moins performants que les panneaux cristallins, affichant un rendement oscillant entre 6 % et 12 %, selon la technologie utilisée.

Il est important de noter que le rendement des panneaux solaires peut être influencé par divers facteurs, notamment la géolocalisation, l'angle d'inclinaison des panneaux, l'impact de l'ombre, la propreté des panneaux et l'entretien régulier. Par conséquent, pour maximiser le rendement, il convient de prendre en compte ces paramètres lors de l'installation et de l'utilisation des panneaux solaires.

## 1.8 DURABILITÉ DES PANNEAUX SOLAIRES

La durabilité des panneaux solaires fait référence à leur capacité à conserver leur rendement et leur efficacité au fil du temps. Les panneaux solaires sont conçus pour résister aux conditions environnementales et aux intempéries, mais leur durabilité dépend de plusieurs facteurs clés.

### 1.8.1 Garantie et Protection

La plupart des fabricants proposent des garanties de performance pour leurs panneaux solaires, couvrant des périodes allant de 10 à 25 ans, voire plus. Ces garanties garantissent un niveau minimal de rendement pendant la durée spécifiée.

Les panneaux solaires sont équipés d'un verre de protection résistant aux intempéries, à la grêle et aux rayures, contribuant à leur durabilité.

### 1.8.2 Entretien et Stabilité Mécanique

Un entretien régulier, notamment le nettoyage des panneaux pour éliminer la saleté, la poussière et les débris, peut jouer un rôle essentiel dans le maintien de leur efficacité à long terme.

Les panneaux solaires sont conçus pour résister aux contraintes mécaniques, telles que la pression du vent et la charge de neige. Une installation correcte et une fixation solide sont essentielles pour assurer leur durabilité.

En règle générale, les panneaux solaires sont conçus pour avoir une durée de vie utile d'au moins 25 ans, voire plus. Toutefois, leur durabilité dépendra de la qualité de fabrication, de l'entretien régulier et de l'exposition aux éléments environnementaux. Il est donc recommandé de choisir des fabricants réputés et de suivre les recommandations d'entretien pour maximiser la durée de vie et le rendement de vos panneaux solaires.

## 1.9 CAS PARTICULIER (ALGÉRIE)

L'Algérie, en tant que pays doté d'un ensoleillement généreux tout au long de l'année, a entrepris des efforts significatifs pour exploiter l'énergie solaire comme une source d'énergie propre et renouvelable. Plusieurs entreprises et initiatives nationales ont émergé ces dernières années, illustrant l'engagement du pays envers le développement de l'industrie solaire et la transition vers une économie plus durable.

### -Quelques problèmes constatés :

En Algérie, les problèmes liés à l'électricité sont devenus une préoccupation majeure pour de nombreux citoyens. L'un des principaux défis auxquels le pays est confronté est le coût élevé de l'électricité. Les factures d'électricité atteignent souvent des niveaux exorbitants, se référant à la facture ??, ce qui pèse lourdement sur les ménages et les entreprises. Cette situation est souvent due à des subventions gouvernementales limitées et à des coûts de production élevés.

Parallèlement, dans les régions désertiques éloignées d'Algérie, le manque d'accès à l'énergie électrique reste un problème majeur, cf la figure 1.2. Les infrastructures de transmission et de distribution d'électricité ne sont pas toujours disponibles dans ces régions reculées, ce qui limite le développement économique et le bien-être des habitants.



**Figure 1.2** – Le désert algérien / Image : Dmitry Pichugin, illustrations : Révolution Énergétique. Ce pays désertique peine à exploiter son énorme gisement d'énergie solaire ?

**-Solution proposée :**

La solution à ces problèmes pourrait résider dans l'utilisation de l'énergie solaire. L'Algérie bénéficie d'un ensoleillement abondant tout au long de l'année, en particulier dans les régions désertiques. L'installation de panneaux solaires photovoltaïques pour produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire pourrait contribuer à réduire les coûts élevés de l'électricité et à fournir une source d'énergie fiable dans les régions éloignées. De plus, l'énergie solaire est une source d'énergie propre et renouvelable, ce qui contribuerait à réduire l'empreinte carbone du pays.

En conclusion, l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie offre une opportunité prometteuse pour résoudre les problèmes de coûts élevés de l'électricité et de manque d'énergie dans les régions éloignées. Cela pourrait non seulement améliorer l'accès à l'électricité, mais aussi contribuer à la transition vers une source d'énergie plus propre et durable, bénéficiant ainsi à la fois à l'économie et à l'environnement.

**Quelques exemples et projets en algérie :**

- Voici quelques exemples concrets de panneaux solaires fabriqués en Algérie et de projets liés à l'énergie solaire :

**1.9.1 Cevital Solar :**

Le groupe Cevital, l'un des principaux conglomérats industriels en Algérie, a en effet fait d'importants investissements dans le secteur de l'énergie solaire au cours des dernières années. L'une de ses réalisations notables est la mise en place d'une centrale solaire photovoltaïque d'une capacité de 22 mégawatts (MW) située à Béjaïa, une ville côtière dans le nord de l'Algérie.

Cette centrale solaire photovoltaïque de 22 MW est un projet majeur dans le domaine de l'énergie renouvelable en Algérie. Elle contribue de manière significative à la production d'électricité propre dans le pays, en utilisant l'énergie du soleil pour générer de l'électricité sans émissions de gaz à effet de serre ni pollution de l'air. Cette initiative s'inscrit dans la stratégie globale de développement durable de Cevital et de l'Algérie visant à diversifier ses sources d'énergie et à réduire sa dépendance aux combustibles fossiles.

La centrale solaire de Béjaïa contribue non seulement à la réduction de l'empreinte carbone de l'Algérie, mais elle permet également de renforcer la sécurité énergétique du pays en exploitant une source d'énergie abondante et gratuite, le soleil. De plus, elle favorise la création d'emplois locaux liés à la construction, à l'exploitation et à la maintenance de la centrale, tout en stimulant le développement économique de la région de Béjaïa.

Dans un contexte mondial où la transition vers les énergies renouvelables est

devenue une priorité pour lutter contre le changement climatique, les investissements de Cevital dans l'énergie solaire en Algérie illustrent l'engagement de l'entreprise en faveur du développement durable et de la production d'énergie propre. Ce type de projets est essentiel pour promouvoir une économie plus verte et réduire l'impact environnemental tout en répondant aux besoins croissants en énergie du pays.

### 1.9.2 Sonelgaz Solar :

La Société Nationale d'Électricité et de Gaz (Sonelgaz) en Algérie a joué un rôle essentiel dans la promotion des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, pour diversifier la source d'énergie électrique du pays et réduire sa dépendance aux combustibles fossiles. Voici un aperçu de quelques-uns des projets d'énergie solaire initiés par Sonelgaz à travers le pays :

#### — Centrales Solaires Photovoltaïques :

Sonelgaz a développé plusieurs centrales solaires photovoltaïques à travers l'Algérie. Ces centrales utilisent des panneaux solaires pour convertir la lumière du soleil en électricité. Elles sont réparties dans différentes régions du pays, contribuant ainsi à la production d'énergie propre et durable. Ces installations sont essentielles pour augmenter la capacité de production d'électricité d'origine solaire.

#### — Projets d'Intégration Solaire :

En plus des centrales solaires autonomes, Sonelgaz a entrepris des projets d'intégration solaire dans des installations existantes, notamment des centrales thermiques à gaz. Cette intégration permet d'utiliser l'énergie solaire pour réduire la consommation de combustibles fossiles lors de la production d'électricité, contribuant ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

#### — Électrification Rurale :

Sonelgaz a également mis en œuvre des projets d'électrification rurale à l'aide de l'énergie solaire. Ces projets visent à fournir de l'électricité propre et fiable aux zones rurales éloignées qui ne sont pas connectées au réseau électrique principal. Cela améliore la qualité de vie des habitants de ces régions et favorise le développement économique local.

#### — Recherche et Développement :

Sonelgaz a également investi dans la recherche et le développement en matière d'énergie solaire. Cela comprend le développement de technologies

solaires avancées, l'amélioration de l'efficacité des installations solaires, et la recherche de moyens d'intégrer de manière optimale l'énergie solaire dans le mix énergétique du pays.

Ces projets d'énergie solaire de Sonelgaz s'inscrivent dans la stratégie globale de l'Algérie visant à augmenter la part des énergies renouvelables dans sa production d'électricité. Ils contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à assurer une alimentation électrique fiable et à stimuler le développement économique, tout en capitalisant sur le potentiel solaire abondant dont dispose le pays.

### **1.9.3— Hassi R'Mel Integrated Solar Combined Cycle Power Plant :**

Il est en effet très intéressant de noter que l'Algérie a entrepris des projets novateurs qui combinent l'énergie solaire et le gaz naturel pour produire de l'électricité de manière propre et efficace. L'un des projets les plus emblématiques de ce type est la centrale électrique hybride située dans le désert algérien. Cette centrale représente une avancée significative dans la transition vers une production d'énergie plus durable et dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Voici quelques détails supplémentaires sur ce projet :

#### **— Localisation dans le Désert Algérien :**

Le désert algérien, avec son ensoleillement abondant, est un endroit idéal pour exploiter l'énergie solaire. La centrale hybride est située dans cette région, ce qui permet de tirer pleinement parti de l'énergie solaire disponible pour la production d'électricité.

#### **— Combinaison de l'Énergie Solaire et du Gaz Naturel :**

Cette centrale électrique hybride combine l'énergie solaire photovoltaïque avec l'utilisation du gaz naturel. Les panneaux solaires captent l'énergie solaire pendant la journée et la convertissent en électricité, tandis que le gaz naturel est utilisé comme source d'énergie de secours ou complémentaire lorsque l'ensoleillement est insuffisant pour répondre à la demande électrique.

#### **— Production Propre et Réduction des Émissions :**

En utilisant l'énergie solaire, cette centrale électrique réduit considérablement les émissions de gaz à effet de serre par rapport à une centrale fonctionnant exclusivement au gaz naturel ou aux combustibles fossiles. Cela contribue à l'effort mondial de lutte contre le changement climatique en réduisant la dépendance aux énergies fossiles.

— **Fiabilité et Disponibilité d'Énergie :**

La combinaison de l'énergie solaire et du gaz naturel permet d'assurer une alimentation électrique continue et fiable, même en cas de variations météorologiques ou de fluctuations de la production solaire. Cela garantit la stabilité du réseau électrique.

— **Développement Économique :**

De tels projets ont un impact économique significatif en créant des emplois locaux et en stimulant le développement économique de la région où ils sont implantés. Ils renforcent également la sécurité énergétique du pays en diversifiant les sources d'énergie.

La mise en place de centrales électriques hybrides solaires et au gaz naturel en Algérie est un exemple de l'innovation dans le domaine de l'énergie et de l'engagement du pays à adopter des solutions énergétiques durables tout en répondant à ses besoins croissants en électricité. Ces projets sont susceptibles de servir de modèle pour d'autres régions du monde cherchant à réduire leur empreinte carbone tout en garantissant une alimentation électrique fiable.

#### 1.9.4 Université de Tlemcen :

L'adoption de pratiques durables dans les institutions académiques en Algérie, comme l'Université de Tlemcen, est une étape importante vers la promotion de l'énergie solaire et la sensibilisation à la durabilité au sein de la communauté universitaire. Voici quelques éléments supplémentaires sur ces installations solaires et leur impact :

— **Installation de Panneaux Solaires :**

L'installation de panneaux solaires sur les campus universitaires, comme celui de l'Université de Tlemcen, permet de produire de l'électricité propre à partir de l'énergie solaire. Ces panneaux solaires peuvent être montés sur les toits des bâtiments, dans des zones ouvertes ou sur des structures dédiées, exploitant ainsi l'ensoleillement abondant de la région.

— **Réduction de la Consommation d'Énergie :**

Les installations solaires permettent à l'université de réduire sa dépendance à l'égard des sources d'énergie conventionnelles, telles que l'électricité provenant de centrales alimentées en combustibles fossiles. Cela contribue à la réduction de la consommation d'énergie et des coûts énergétiques, tout en réduisant l'empreinte carbone de l'établissement.

— **Sensibilisation à l'Énergie Solaire :**

Ces installations solaires servent également de plateforme pédagogique pour sensibiliser les étudiants, le personnel et les visiteurs à l'énergie solaire et aux pratiques durables. Les campus universitaires peuvent organiser des visites éducatives, des conférences et des ateliers pour informer la communauté sur les avantages de l'énergie solaire, son fonctionnement et son importance pour l'avenir énergétique durable.

— **Développement de Compétences :**

Les projets solaires sur les campus peuvent également offrir aux étudiants des opportunités d'apprentissage pratique. Les étudiants en ingénierie, en sciences de l'environnement et dans des domaines connexes peuvent participer à la conception, à l'installation et à la maintenance des installations solaires, acquérant ainsi des compétences précieuses dans le domaine des énergies renouvelables.

— **Leadership en Matière de Durabilité :**

Les institutions académiques qui adoptent ces pratiques durables montrent l'exemple en matière de durabilité et de responsabilité environnementale. Elles peuvent devenir des leaders dans la promotion de l'énergie propre et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, inspirant d'autres organisations et communautés à suivre leur exemple. En somme, l'installation de panneaux solaires sur les campus universitaires en Algérie, comme ailleurs dans le monde, représente une démarche positive pour la durabilité, l'éducation environnementale et la réduction de la consommation d'énergie. Ces initiatives contribuent à créer une culture de la durabilité au sein de la communauté universitaire, tout en apportant des avantages pratiques en termes de réduction des coûts énergétiques et de protection de l'environnement.

### 1.9.5 Projets d'électrification rurale :

L'Algérie a effectivement entrepris des projets d'électrification rurale à l'aide de micro-réseaux solaires, déployant des initiatives innovantes pour fournir de l'énergie propre et fiable aux régions éloignées. Ces projets ont un impact significatif sur la qualité de vie des habitants et favorisent le développement économique dans ces zones de manière notable. Voici quelques éléments supplémentaires sur ces initiatives :

— **Accès à l'Électricité dans les Zones Rurales :**

Les zones rurales en Algérie, tout comme dans de nombreuses autres régions du monde, sont souvent éloignées des réseaux électriques principaux. Les micro-réseaux solaires sont conçus pour résoudre ce problème en apportant une source d'énergie locale, fiable et propre aux communautés rurales qui en ont besoin.

— **Énergie Solaire comme Source Principale :**

Ces micro-réseaux solaires utilisent l'énergie solaire comme source principale d'alimentation. Des panneaux solaires sont installés sur des structures appropriées, comme des toits ou des supports spécialement conçus, pour capter l'énergie solaire tout au long de la journée. Cette énergie est ensuite stockée dans des batteries pour être utilisée pendant la nuit ou par temps nuageux.

— **Amélioration de la Qualité de Vie :**

L'accès à l'électricité améliore considérablement la qualité de vie dans les zones rurales. Il permet l'éclairage des habitations, ce qui favorise la sécurité et la productivité après le coucher du soleil. De plus, l'électricité peut être utilisée pour alimenter des appareils ménagers, des outils agricoles, des équipements médicaux, et même pour faciliter l'accès à l'éducation en permettant l'utilisation d'ordinateurs et d'autres dispositifs éducatifs.

— **Stimulation du Développement Économique :**

L'électrification rurale grâce à l'énergie solaire stimule le développement économique local. Elle peut permettre la création de petites entreprises, telles que des ateliers de réparation d'appareils électroménagers ou des stations de recharge pour appareils mobiles. Elle encourage également l'entrepreneuriat en permettant aux habitants d'accéder à des opportunités économiques en ligne.

— **Réduction de la Dépendance aux Combustibles Fossiles :**

Ces micro-réseaux solaires réduisent la dépendance aux combustibles fossiles dans les zones rurales, ce qui a un impact positif sur l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en préservant la qualité de l'air.

— **Durabilité et Maintenance Locale :**

Les projets d'électrification rurale à l'aide de micro-réseaux solaires sont conçus pour être durables et bénéficient souvent d'un modèle de maintenance locale. Cela signifie que les habitants de la communauté peuvent être formés pour entretenir et réparer les installations, garantissant ainsi leur durabilité à long terme.

Ces initiatives d'électrification rurale à l'aide de micro-réseaux solaires en Algérie témoignent de l'engagement du pays envers le développement durable, l'amélioration des conditions de vie dans les zones rurales et la promotion de l'énergie propre. Elles montrent également comment l'énergie solaire peut jouer un rôle clé dans l'inclusion énergétique et le développement économique des régions éloignées.

**1.9.6 Programme national de développement des énergies renouvelables (PNADER) :**

L'Algérie a mis en place un plan stratégique ambitieux connu sous le nom de Plan National de Développement des Énergies Renouvelables (PNADER), qui vise à considérablement accroître la part des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, dans son mix énergétique d'ici 2030. Ce programme reflète l'engagement du pays envers la durabilité environnementale et la transition vers une économie basée sur des sources d'énergie propres. Voici quelques éléments clés du PNADER :

— **Objectifs Audacieux :**

Le PNADER a fixé des objectifs ambitieux pour l'Algérie en matière d'énergies renouvelables, avec l'objectif de produire 22 000 MW d'électricité renouvelable d'ici 2030, dont une part importante proviendra de l'énergie solaire.

— **Diversification du Mix Énergétique :**

Ce plan encourage la diversification du mix énergétique algérien en intégrant davantage d'énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, dans le but de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et aux importations d'énergie.

— **Investissements dans les Énergies Propres :**

Le PNADER favorise l'investissement dans les énergies propres, y compris l'énergie solaire. Il crée un environnement favorable pour attirer des investissements nationaux et étrangers dans le développement de grands projets solaires.

— **Promotion des Technologies Solaires Avancées :**

Le plan encourage l'adoption de technologies solaires avancées, telles que des panneaux solaires à haute efficacité et des systèmes de stockage d'énergie, dans le but d'augmenter l'efficacité de la production d'électricité solaire.

— **Électrification Rurale :**

Le PNADER prévoit des initiatives visant à électrifier les régions rurales éloignées grâce à des solutions d'énergie solaire hors réseau, améliorant ainsi la qualité de vie des habitants de ces zones.

— **Sensibilisation et Formation :**

Le plan comprend des efforts de sensibilisation et de formation pour informer la population des avantages des énergies renouvelables, de l'utilisation de l'énergie solaire et des principes de durabilité.

— **Législation et Réglementation :**

Le PNADER prévoit également des réformes législatives et réglementaires visant à faciliter le développement des énergies renouvelables, y compris l'énergie solaire, en Algérie.

Le PNADER traduit la vision de l'Algérie pour un avenir énergétique durable, caractérisé par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la sécurité énergétique, la création d'emplois et la stimulation de la croissance économique. La mise en œuvre réussie de ce plan pourrait permettre à l'Algérie de jouer un rôle majeur dans la promotion des énergies renouvelables en Afrique du Nord et de devenir un acteur clé de la transition mondiale vers des sources d'énergie plus propres et durables.

### 1.9.7 Usines de fabrication de panneaux solaires :

En parallèle avec le développement de projets solaires, l'Algérie a également été le témoin de l'émergence d'usines de fabrication de panneaux solaires et de composants solaires. Cette initiative s'inscrit dans la volonté du pays de promouvoir l'industrie solaire locale et de tirer parti de son potentiel solaire abondant. Voici quelques points importants à noter concernant cette évolution :

— **Création d'Emplois :**

L'établissement d'usines de fabrication de panneaux solaires et de composants solaires a stimulé la création d'emplois locaux dans le secteur de

la fabrication. Cela contribue à réduire le chômage et à renforcer la main-d'œuvre qualifiée dans le domaine solaire.

— **Transfert de Technologie :**

L'installation d'usines solaires peut également entraîner le transfert de technologies avancées dans le pays, ce qui peut avoir un impact positif sur l'industrie nationale et la compétitivité internationale.

— **Réduction des Coûts :**

La fabrication locale de panneaux solaires et de composants peut réduire les coûts d'importation, ce qui rend l'énergie solaire plus abordable et compétitive sur le marché national.

— **Autosuffisance Énergétique :**

En renforçant la capacité de production nationale de panneaux solaires, l'Algérie peut viser une certaine autosuffisance énergétique pour ses besoins en équipements solaires, réduisant ainsi sa dépendance à l'égard des importations.

— **Stimulation de l'Industrie Solaire :**

Le développement d'une industrie solaire locale favorise la croissance du secteur dans son ensemble, en encourageant l'investissement, la recherche et le développement, ainsi que l'innovation technologique dans le domaine solaire.

— **Réduction de l'Empreinte Carbone :**

L'utilisation de composants solaires locaux peut contribuer à réduire l'empreinte carbone associée au transport de ces équipements depuis l'étranger.

— **Soutien aux Projets Nationaux :**

Les usines de fabrication de panneaux solaires et de composants solaires peuvent soutenir la mise en œuvre des projets solaires nationaux en fournissant des équipements essentiels localement.

L'investissement dans l'industrie solaire est une étape importante pour l'Algérie dans sa transition vers une économie plus durable et son objectif de développer massivement les énergies renouvelables. Cela crée également des opportunités pour le pays de devenir un acteur clé sur le marché

international des technologies solaires en exportant ses produits et son expertise.

Ces exemples démontrent l'engagement continu de l'Algérie envers l'énergie solaire en tant que moyen essentiel de répondre à ses besoins énergétiques tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la transition vers une économie plus durable.

En conclusion, l'avenir de l'énergie solaire et des panneaux solaires s'annonce lumineux. Cette source d'énergie propre et renouvelable jouera un rôle essentiel dans la transition vers un avenir énergétique plus durable et respectueux de l'environnement. Les panneaux solaires, en tant qu'éléments cruciaux de cette révolution énergétique, continueront d'évoluer pour répondre aux besoins croissants en énergie propre et abordable, contribuant ainsi à façonner un monde meilleur pour les générations futures. Ce texte reformulé et étendu couvre à la fois l'énergie solaire en général et les panneaux solaires en tant qu'élément clé de cette source d'énergie. N'hésitez pas à personnaliser le format ou le style selon vos besoins.

## 1.10 CONCLUSION

L'énergie solaire se profile comme une source d'énergie d'une importance capitale pour notre avenir énergétique. Chaque année, le secteur connaît des avancées technologiques significatives qui laissent entrevoir un avenir prometteur. Ces progrès continus laissent présager que des innovations futures permettront de surmonter les défis actuels de cette source d'énergie, la rendant ainsi accessible à un public toujours plus large.

Les perspectives pour l'énergie solaire sont extrêmement encourageantes. Les investissements croissants dans la recherche et le développement conduisent à des améliorations constantes de l'efficacité des panneaux solaires et des technologies connexes. Cette tendance à l'amélioration continue devrait permettre de maximiser le potentiel de l'énergie solaire, même dans des régions moins ensoleillées.

L'énergie solaire est appelée à jouer un rôle de plus en plus important dans le panorama global de la production d'énergie à l'échelle mondiale. Les avantages de cette source d'énergie, tels que son caractère renouvelable, son faible impact environnemental et sa contribution essentielle à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en font une option incontournable dans la lutte contre le changement climatique.

En particulier, dans les régions du monde où l'ensoleillement est abondant, l'énergie solaire devrait devenir un pilier fondamental du mix énergétique. Son rôle dans la transition vers une économie à faible émission de carbone est in-

déniable. Elle offre également des possibilités d'indépendance énergétique aux particuliers, aux entreprises et aux collectivités.

Lorsque nous évoquons l'avenir de l'énergie solaire, il est essentiel de reconnaître le rôle central des panneaux solaires. Ces dispositifs ingénieux, dotés de cellules photovoltaïques, constituent la pierre angulaire de la capture de l'énergie solaire. Les progrès technologiques continus dans la conception et la fabrication des panneaux solaires contribuent de manière significative à l'amélioration de l'efficacité énergétique globale.

# PARTIE ACADÉMIQUE : ESTIMATION DES PARAMÈTRES DU SYSTÈME SOLAIRE EN UTILISANT L'OBSERVATEUR DE LUENBERGER

## SOMMAIRE

2.1	RAPPELS MATHÉMATIQUES—OBSERVATEUR DE LUENBERGER . . . . .	31
2.1.1	Concept de Stabilité . . . . .	31
2.1.2	Observabilité des systèmes linéaires : Critère de Kalman . . . . .	31
2.1.3	Observateur asymptotique de Luenberger . . . . .	32
2.2	APPLICATION DE L'OBSERVATEUR DE LUENBERGER AU TRACEUR SOLAIRE	33
2.2.1	Composant du traceur solaire . . . . .	34
2.2.2	Modèle du système de suivi solaire . . . . .	34
2.2.3	Estimation de l'angle d'inclinaison du système solaire via l'observateur de Luenberger . . . . .	36
2.2.4	Résultats de l'exécution du code . . . . .	39
2.2.5	Diagramme Simulink associé à la simulation du modèle DC . . . . .	41

**C**<sub>E</sub> Ce chapitre se consacre à la dimension académique du mémoire. Tout d'abord, nous rappelons succinctement la stabilité des systèmes linéaires à paramètres variant (LPV). Ensuite, nous abordons la notion d'observabilité des systèmes linéaires, en mettant l'accent sur l'observateur de Luenberger. Un résultat crucial concernant le calcul du gain de l'observateur est présenté, s'appuyant sur la méthode du placement des pôles. La dernière section de ce chapitre est consacrée à l'application de l'observateur de Luenberger pour estimer l'angle de la lumière solaire incidente sur la surface de la cellule photovoltaïque (PV) d'un suiveur solaire. L'objectif de ce dispositif est d'optimiser cet angle par rapport au soleil, augmentant ainsi l'efficacité de la collecte d'énergie solaire.

## 2.1 RAPPELS MATHÉMATIQUES—OBSERVATEUR DE LUENBERGER

Les concepts exposés dans ce chapitre sont principalement issus de la référence [Trélat \(2005\)](#) et [Hanwate et Hote \(2018\)](#).

### 2.1.1 Concept de Stabilité

La stabilité autour d'un équilibre fait référence à la capacité d'un système dynamique à retourner vers cet état d'équilibre après avoir été perturbé. Un système est considéré comme stable autour de son équilibre si, après une petite perturbation initiale, il revient naturellement à sa position d'équilibre au fil du temps, plutôt que de s'éloigner davantage. La stabilité est une caractéristique importante dans l'analyse des systèmes dynamiques, que ce soit en physique, en ingénierie, en biologie ou dans d'autres domaines. Elle permet d'évaluer la réponse du système à des perturbations et d'anticiper son comportement à long terme. La stabilité asymptotique ou exponentielle d'un système linéaire peut être déterminée à partir des valeurs propres de la matrice  $A$ .

**Définition 2.1** (Critère de stabilité asymptotique) *Si toutes les valeurs propres de la matrice  $A$  ont une partie réelle strictement négative, le système linéaire  $\dot{x} = Ax$  est asymptotiquement stable.*

Cela signifie que les solutions du système convergent vers zéro lorsque le temps tend vers l'infini.

La stabilité asymptotique de Lyapunov pour un système linéaire  $\dot{x} = Ax$  avec une condition initiale  $x_0$  peut être déterminée en utilisant la fonction de Lyapunov. Un critère courant pour la stabilité asymptotique est basé sur l'existence d'une matrice définie positive  $P$  telle que l'équation de Lyapunov soit satisfaite :

$$A^T P + PA = -Q$$

où  $Q$  est une matrice symétrique définie positive et  $P$  est la matrice de Lyapunov.

### 2.1.2 Observabilité des systèmes linéaires : Critère de Kalman

L'observabilité est une propriété importante des systèmes dynamiques, en particulier des systèmes linéaires. Un système linéaire est dit observable s'il est possible, à partir des mesures de sortie, de déterminer l'état initial du système. D'un point de vue mathématiques, considérons un système linéaire du type :

$$\begin{cases} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{cases} \quad (2.1)$$

où :

—  $x$  est le vecteur d'état,

- $u$  est le vecteur d'entrée,
- $y$  est le vecteur de sortie,
- $A, B,$  et  $C$  sont des matrices constantes.

Notons  $(x_u(t, x_0)), y_u(t, x_0)$  la solution de système (2.1), telle que  $x_u(0, x_0) = x_0$ .

**Définition 2.2** *Le système (2.1) est observable en temps  $T$  si  $\forall x_1, x_2 \in (\mathbb{R}^n), x_1 \neq x_2 \Rightarrow \exists \mu \in L^\infty([0, T], (\mathbb{R}^m)) / y_u(\cdot, x_1) \neq y_u(\cdot, x_2)$  (dans ce cas on dit que  $x_1$  et  $x_2$  sont distinguables).*

Autrement dit, si  $x_1$  et  $x_2$  sont distinguables s'il existe un contrôle tel que les trajectoires observées diffèrent. De manière équivalente, on peut dire :

$\forall x_1, x_2 \in \mathbb{R}^n, \forall \mu \in L^\infty([0, T], \mathbb{R}^m) \quad y_u(\cdot, x_1) = y_u(\cdot, x_2) \Rightarrow x_1 = x_2$  La trajectoire observée offre une détermination unique de l'état initial, assurant ainsi une correspondance sans ambiguïté entre l'évolution du système au fil du temps et son état initial.

Le critère d'observabilité de Kalman fournit une condition pour déterminer si un système est observable.

**Théorème 2.1 ( Critère de Kalman )** *Le système (2.1) est observable (en temps  $T$  quelconque) si et seulement si :*

$$\text{rang} \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \cdot \\ \cdot \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} = n$$

### 2.1.3 Observateur asymptotique de Luenberger

**Motivation :** supposons que le système (2.1) est observable. Le but est de construire un observateur asymptotique  $\hat{x}(\cdot)$  de  $x(\cdot)$ , i.e. une fonction dynamique  $\hat{x}(\cdot)$  de l'observable  $y(\cdot)$  telle que :

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} (\hat{x}(t) - x(t)) = 0 \tag{2.2}$$

L'idée est de copier la dynamique du système observé et d'y ajouter un correctif en tenant compte de l'écart entre la prédiction et la réalité.

**Définition 2.3** *Un observateur asymptotique (ou observateur de Luenberger)  $\hat{x}(\cdot)$  de  $x(\cdot)$  est une solution d'un système du type*

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + B\mu(t) + L(C\hat{x}(t) - y(t)),$$

où  $L \in (M_{n,p})(\mathbb{R})$  est appelée matrice de gain, telle :  $\forall x(0), \hat{x}(0) \in \mathbb{R}^n$ , on a :

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} (\hat{x}(t) - x(t)) \rightarrow 0$$

**Remarque 2.1** Introduisons  $e(t) = \hat{x}(t) - x(t)$ , l'erreur entre la prédiction  $\hat{x}(\cdot)$  et l'état réel  $x(\cdot)$ . On a :  $\dot{e}(t) = (A + LC)e(t)$  et donc

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} e(t) \rightarrow 0.$$

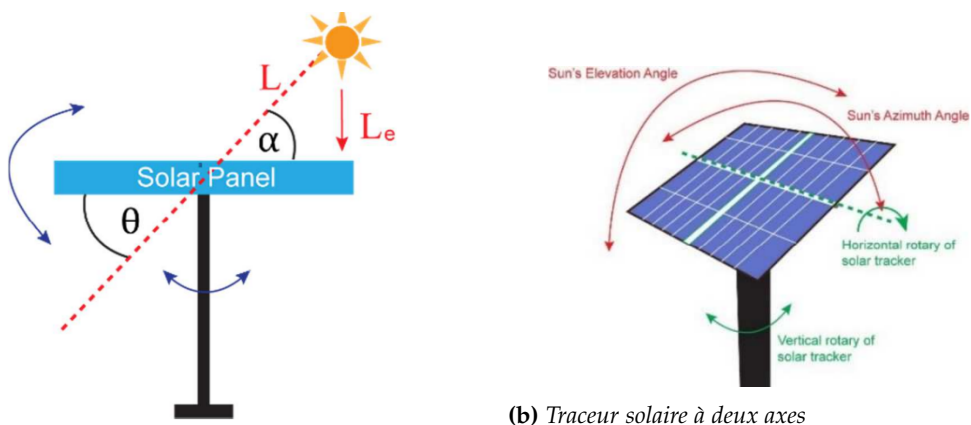
pour toute valeur initiale  $e(0)$  si et seulement si la matrice  $A + LC$  est Hurwitz. Construire un observateur asymptotique revient donc à déterminer une matrice de gain  $L$  telle que  $A + LC$  soit Hurwitz. Ainsi, de manière duale au théorème de placement de pôles, on a :

**Théorème 2.2** (Théorème de placement des modes propres de l'observateur) Si la paire  $(A, C)$  est observable, alors le système admet un observateur asymptotique (i.e. on peut construire une matrice de gains  $L$  telle que  $(A + LC)$  soit Hurwitz).

## 2.2 APPLICATION DE L'OBSERVATEUR DE LUENBERGER AU TRACEUR SOLAIRE

Un traceur solaire, également appelé suiveur solaire, est un dispositif mécanique ou électronique conçu pour orienter un panneau solaire ou un ensemble de panneaux solaires de manière à suivre la trajectoire du soleil tout au long de la journée. L'objectif principal d'un traceur solaire est d'optimiser l'angle d'incidence des panneaux solaires par rapport au soleil, augmentant ainsi l'efficacité de la collecte d'énergie solaire.

Il existe principalement deux types de traceurs solaires :



(a) Réception efficace de la lumière

**Figure 2.1** – Traceur solaire à deux axes Akbar Gumilang et al. (2021)

1. **Traceurs solaires à un axe** : Ils suivent le mouvement du soleil autour d'un seul axe, généralement l'axe nord-sud. Ces traceurs peuvent être horizon-

taux (suivant l'arc du soleil d'est en ouest) ou verticaux (suivant l'élévation du soleil).

2. **Traceurs solaires à deux axes** : Ils suivent le mouvement du soleil autour de deux axes, généralement l'axe nord-sud et l'axe est-ouest. Cela permet une plus grande précision dans le suivi du soleil à différentes saisons.

Les traceurs solaires sont utilisés dans les installations photovoltaïques et thermiques pour maximiser la capture d'énergie solaire tout au long de la journée. Bien que ces systèmes puissent augmenter l'efficacité énergétique, ils sont également plus complexes et coûteux que les systèmes fixes, ce qui peut influencer leur utilisation en fonction des besoins spécifiques d'un projet.

### 2.2.1 Composant du traceur solaire

Les données des paramètres du système de suivi solaire à deux axes ont été obtenues à partir de diverses sources. Les composants constitutifs sont les suivants :

1. Paramètres des données du capteur LDR issus de la fiche technique fournie par RS Component.
2. Paramètres des données du moteur à courant continu issus de la recherche de Hanwate [Hanwate et Hote \(2018\)](#).
3. Transmission par engrenages (engrenages droits) de la société P.T International. Type d'engrenage droit M1B12 (12 dents, diamètre de 12 mm et poids de 10 grammes) et type d'engrenage droit M1A20 (120 dents et poids de 1,32 kilogramme).
4. Panneau solaire de la société Sky Energi Indonesia, modèle monocristallin STM36M65 (65 WP, dimensions de 670 x 640 x 25 mm et poids de 5 kilogrammes).

### 2.2.2 Modèle du système de suivi solaire

Dans l'article [Hanwate et Hote \(2018\)](#), le système de suivi solaire avec un moteur à courant continu (DC), qui permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique sous forme de mouvement de rotation, et un régulateur proportionnel intégral dérivé (PID) a été étudié, voir la figure 2.2 pour une illustration graphique.

#### **Le moteur à courant continu (DC Motor) <sup>1</sup>**

Dans le suiveur solaire, le moteur à courant continu est utilisé pour projeter l'angle du soleil. Ses paramètres sont répertoriés dans le tableau 2.1, ci-dessous :

---

1. Les initiales "DC" dans "DC Motor" signifient "Direct Current" en anglais, ce qui se traduit par "courant continu" en français.

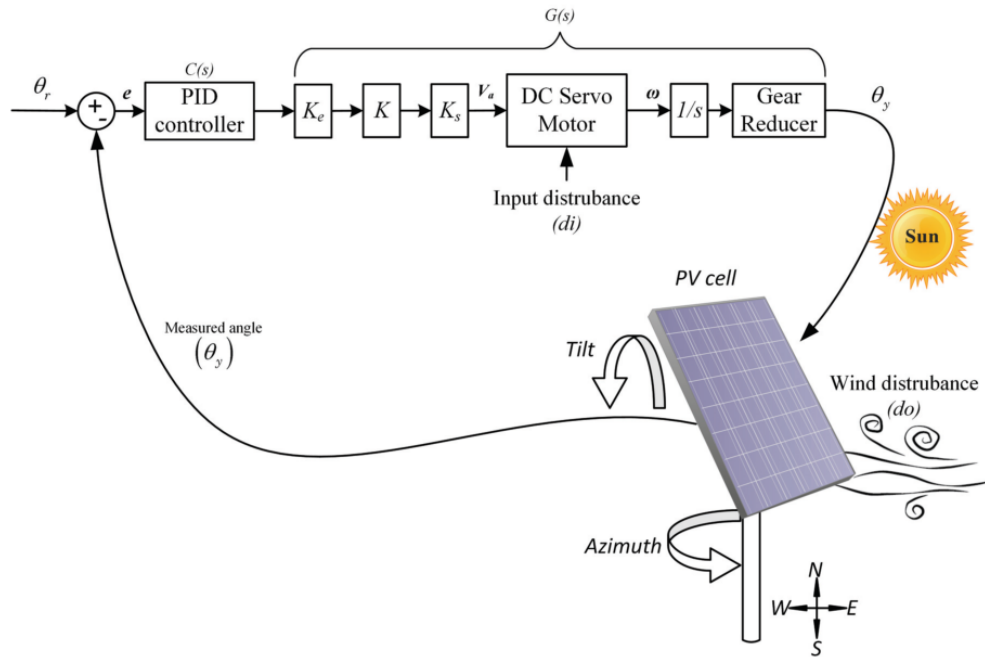


Figure 2.2 – Schéma de contrôle du système de suivi solaire Hanwate et Hote (2018)

Tableau 2.1 – Paramètres du moteur à courant continu Hanwate et Hote (2018)

Paramètres	Valeur
Constante de force contre-électromotrice (Cemf) ( $K_b$ )	0,0125 V.s/rad
Constante de couple ( $K_t$ )	0,01125 Nm/A
Inertie du rotor du moteur ( $J_m$ )	$1 \times 10^{-6}$ Kgm <sup>2</sup> /rad
Résistance d'induit ( $R_a$ )	6,25 $\Omega$
Inductance d'induit ( $L_a$ )	0,001 H
Coefficient de frottement ( $b$ )	$1 \times 10^6$ Nm
Gain de l'amplificateur ( $K$ )	10000
Amplificateur de servocommande ( $K_s$ )	1
rapport de réduction ( $N$ )	1/800

Pour obtenir une efficacité maximale du panneau solaire, au moins deux axes du suiveur solaire sont nécessaires, à savoir, l'angle d'azimut  $\theta$  qui mesure l'angle de la lumière solaire incidente sur la surface de la cellule photovoltaïque (PV), et l'angle incliné  $\alpha$  qui mesure l'inclinaison de la lumière solaire. Comme le suiveur solaire est un système non interactif, le régulateur conçu pour un axe unique sera la réplique pour un autre axe également. Par conséquent, l'analyse a été effectuée sur un système de suivi solaire à un seul axe.

Le modèle mathématique du suiveur solaire est déterminé en utilisant les lois fondamentales de la physique. Pour les principales composantes matérielles telles que le moteur à courant continu (DC), sa fonction de transfert de vitesse  $G_1$  est donnée dans l'équation (2.3) et  $G_2$  pour le contrôle de position dans l'équation (2.4). En appliquant la loi de Kirchhoff au moteur à courant continu, nous obtenons la fonction de transfert de contrôle de vitesse  $\omega(s)$  comme suit :

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(R_a + L_a)s(Js + b) + (K_t K_b)} \quad (2.3)$$

où  $V_a(s)$  est une tension d'entrée d'induit. En intégrant (2.3), la fonction de transfert de contrôle de position peut être écrite comme suit :

$$G_2(s) = \frac{\theta_y(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(L_a J)s^3 + (bL_a + R_a J)s^2 + (R_a b + K_t K_b)s} \quad (2.4)$$

De plus, le suiveur solaire est interfacé avec certains composants supplémentaires tels que le discriminateur d'erreur ( $K_e$ , le gain de l'amplificateur  $K$ , l'amplificateur de servocommande  $K_s$ , et le rapport de réduction  $N$ . Si tous ces paramètres sont pris en compte, la fonction de transfert en boucle ouverte pour ce système de suivi solaire devient :

$$G(s) = \frac{\theta_y(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K_s K_e K_t N}{L_a J s^3 + (bL_a + R_a J)s^2 + (R_a b + K_t K_b)s} \quad (2.5)$$

La fonction de transfert de l'équation (2.5) peut également être exprimée sous la forme :

$$G(s) = \frac{a_4}{b_1 s^3 + b_2 s^2 + b_3 s + b_4} \quad (2.6)$$

où  $a_4 = K_s K_e K_t N$ ,  $b_1 = L_a$ ,  $b_2 = bL_a + R_a J$ ,  $b_3 = R_a b + K_t K_b$ , et  $b_4 = 0$ . L'équation (2.6) peut être transformée en un modèle à espace d'états en définissant les états comme  $x_1 = \theta_y$ ,  $x_2 = \dot{\theta}_y$ , et  $x_3 = \ddot{\theta}_y$ . Les variables d'entrée et de sortie sont représentées respectivement par  $u = \theta_r$  et  $y = \theta_y$ . En utilisant cela, le modèle à espace d'états peut être écrit comme suit :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{b_4}{b_1} & -\frac{b_3}{b_1} & -\frac{b_2}{b_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{a_4}{b_1} \end{bmatrix} u \quad (2.7)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

### 2.2.3 Estimation de l'angle d'inclinaison du système solaire via l'observateur de Luenberger

Le système (2.7) se présente sous la forme d'un système linéaire (2.1). Pour nous permettre d'estimer l'état du système, à savoir l'angle  $\theta_y$ , qui varie en fonction du temps, nous utiliserons l'observateur de Luenberger.

Les matrices du systèmes (2.7) sont données par :

$$A = \begin{bmatrix} 0. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 1. \\ 0. & -146875. & -6251. \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0. \\ 0. \\ 140625.00 \end{bmatrix}, C = [1 \ 0 \ 0]. \quad (2.9)$$

Le système étant observable puisque le critère de Kalman est vérifié. En effet, la matrice d'observabilité est :

$$\mathcal{O} = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{pmatrix} = I_3 \quad (2.10)$$

Pour calculer le gain de l'observateur,  $L \in \mathbb{R}^3$ , nous avons utilisé la méthode du placement des pôles, soit le Théorème 2.2. Nous avons choisi dans un premier temps les pôles suivants :  $-10, -20, -30$ . Le gain de l'observateur obtenu est donné par

$$L = \begin{bmatrix} -6191.0000 \\ 38554166. \\ -2.401. \times 10^{11} \end{bmatrix}$$

La norme du gain est d'ordre de  $10^{11}$ , ce qui rend l'exécution du programme simulink assez complexe. Pour y remédier à ce problème, nous avons remarqué que la matrice de l'état, soit  $A$ , possède deux pôles (valeurs propres) stables et un pôle instable. Nous avons récupéré les pôles stables de la matrice  $A$  pour les imposer comme pôles stables de la matrice  $A - LC$ , nous avons complété par un troisième pôle stable, choisi égale à  $-1$ .

Ainsi, avec les pôles  $-1, -25, -6227.4$ , le gain  $L$  est donné par :

$$L = \begin{bmatrix} 2.4000000 \\ 60.000000 \\ -571875.00 \end{bmatrix}$$

Le code Matlab permettant d'exécuter les différentes étapes décrites précédemment ainsi que diagramme simuling de l'observateur de Luenberger sont illustrés ci-dessous.

Dans la simulation, nous avons choisi  $u(t) = \sin(t)$  et les conditions initiales suivantes :  $x_0 = [1; 0; -1]$ ,  $\hat{x}_0 = [-1; -2; 3]$ .

Les figures obtenues illustrent clairement la convergence de l'observateur de Luenberger vers l'état réel du système. Ainsi l'angle d'inclinaison peut bien être estimé en utilisant l'observateur de Luenberger.

```

1
2 % D finition des matrices A, B, C

```

```
3 La = 0.001;
4 Jm = 1D-6;
5 b = 1D-6;
6 Ra = 6.25;
7 K = 10000;
8 Kt = 0.01125;
9 Kb = 0.0125;
10 Ks = 1;
11 Ke = 0.001;
12 N = 1 / 800;
13
14 a4 = Ks * K * Ke * Kt * N;
15 b1 = La * Jm;
16 b2 = (b * La + Ra * Jm);
17 b3 = (Ra * b + Kt * Kb);
18 b4 = 0;
19
20 A = [0 1 0; 0 0 1; -b4 / b1 -b3 / b1 -b2 / b1];
21 B = [0; 0; a4 / b1];
22 C = [1 0 0];
23
24 %% Observability Test
25 % Kalman's Test: Method 1 (by calculation)
26
27 Qo1=[C; C*A; C*A^2];
28 R3=rank(Qo1)
29
30 % Kalman's Test: Method 2 (using inbuilt command)
31 Qo2=obsv(A,C);
32 R4=rank(Qo2)
33 %Condition initiales
34
35 % Gain de l'Observateur de Luenberger
36 L = place(A', C', [-10 -20 -30])';
37
38 % Choisissez des valeurs propres pour la stabilit
39 de A - L * C;
40
41 %Simulation via Simulink
42 %conditions initiales
43
44 x0=[1;0;-1];
45 hatx0=[-1;-2;3];
46
47 % Entr e sinusoidale u(t) = sin(t);
48
49 sim('DC_motor')
50
51 figure(1)
52 plot(t,x1,'+b')
53 hold on
54 plot(t,hat_xi_1,'*r')
```

```
55
56 figure(2)
57 plot(t,x2,'+b')
58 hold on
59 plot(t,hat_xi_2,'*r')
60
61 figure(3)
62 plot(t,x3,'+b')
63 hold on
64 plot(t,hat_xi_3,'*r')
```

#### 2.2.4 Résultats de l'exécution du code

```
--> A
A =

    0.    1.    0.
    0.    0.    1.
    0. -146875. -6251.

--> B
B =

    0.
    0.
   140625.00

--> spec(A)
ans =

    0.          + 0.i
 -23.585228 + 0.i
 -6227.4148 + 0.i

% La matrice A est donc instable

%Test d'observabilité

--> Qo2
ans =

    1    0    0
    0    1    0
```

```
0      0      1

>> R3

R3 =

3

%Le système est observable

%Gain de l'Observateur de Luenberger

% Choisissez des valeurs propres pour la stabilité de l'observateur

--> L = place(A', C', [-10 -20 -30])'
L =

-6191.0000
 38554166.
-2.401D+11

--> norm(L)
ans =

2.401D+11

--> Ahat = A - L * C
Ahat =

6191.      1.      0.
-38554166.  0.      1.
2.401D+11 -146875. -6251.

--> spec(Ahat)
ans =

-10.000001 + 0.i
-30.000001 + 0.i
-19.999999 + 0.i

%Réduction du gain de l'observateur
```

%La matrice de l'état possède deux poles stables et un pole instable.

```
--> L = place(A', C', [-1 -25 -6227.4])'
```

```
L =
```

```
2.4000000
```

```
60.0000000
```

```
-571875.00
```

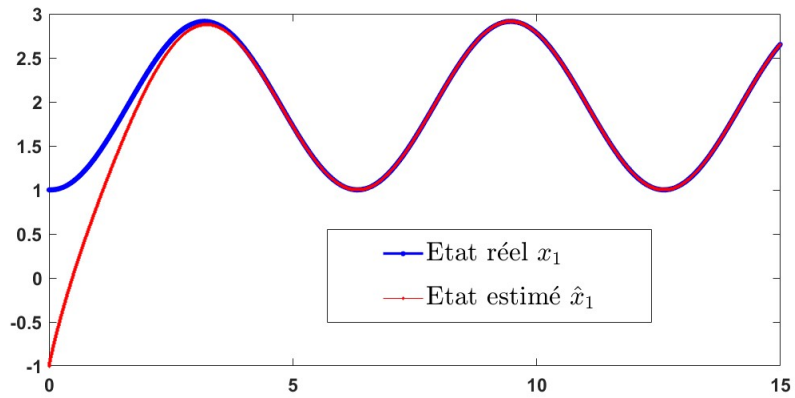
```
--> norm(L)
```

```
ans =
```

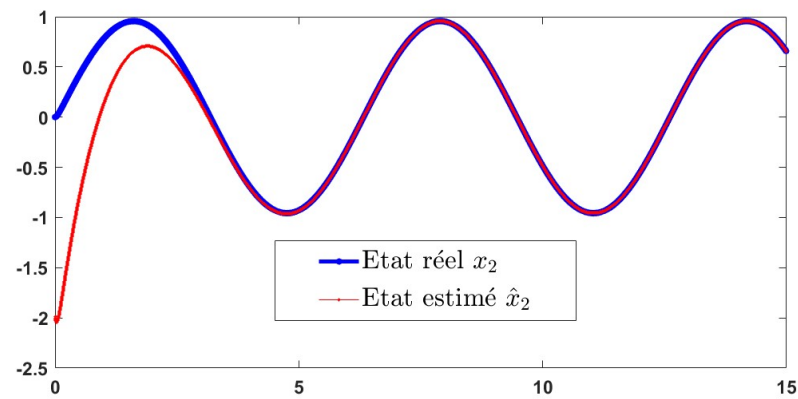
```
571875.00
```

### 2.2.5 Diagramme Simulink associé à la simulation du modèle DC

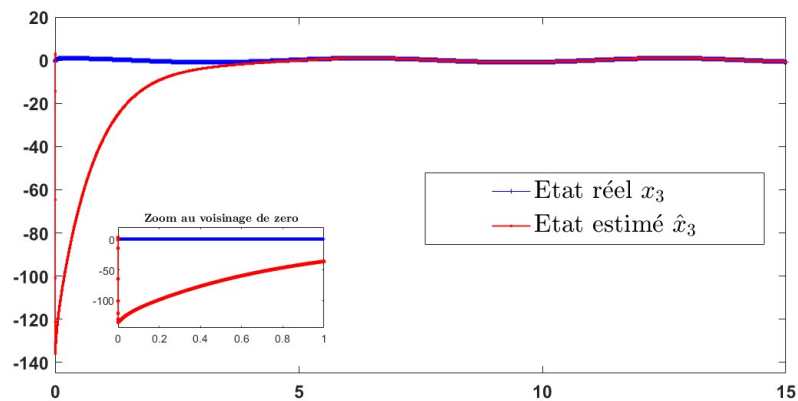




(a) Comportement de  $x_1$  et  $\hat{x}_1$



(b) Comportement de  $x_2$  et  $\hat{x}_2$



(c) Comportement de  $x_3$  et  $\hat{x}_3$

Figure 2.4 – Traceur solaire à deux axes Akbar Gumilang et al. (2021)

# BUSINESS PLAN

# 3

## SOMMAIRE

3.1	INTRODUCTION	46
3.2	PREMIÈRE AXE :PRÉSENTATION DU PROJET	46
3.2.1	L'idée de projet (solution proposée) :	46
3.2.2	Les valeurs proposées :	46
3.2.3	Objectifs du projet :	47
3.2.4	Calendrier de réalisation du projet :	47
3.3	DEUXIÈME AXE : ASPECT INNOVANT	47
3.3.1	Nature des innovation :	47
3.3.2	Domaines d'innovation	48
3.4	TROISIÈME AXE :ANALYSE STRATÉGIQUE DU MARCHÉ	49
3.4.1	Le segment du marché	49
3.4.2	Mesure de l'intensité de la concurrence :	51
3.4.3	Analyse PESTEL :(analyse du contexe externe)	52
3.4.4	Analyse SWOT :(analyse du contexte interne)	53
3.5	ANALYSE CROISÉE DE LA MATRICE SWOT	54
3.5.1	La Stratégie Marketing	55
3.6	QUATRIÈME AXE : PLAN DE PRODUCTION ET ORGANISATION	56
3.6.1	Le processus de production	56
3.6.2	Approvisionnement	57
3.6.3	La main d'œuvre	58
3.6.4	Les principaux partenaires :	58
3.7	CINQUIÈME AXE : PLAN FINANCIER	60
3.7.1	Les coûts et les charges	60
3.7.2	Le Chiffre d'affaires	60
3.7.3	Les Comptes de résultats escomptés	60
3.7.4	Le Plan de trésorerie	61
3.8	PREMIÈRE ANNEXE :COMPTES DE RÉSULTATS ESCOMPTÉS	61
3.8.1	Les Comptes de résultats escomptés	61
3.9	DEUXIÈME ANNEXE : COMPTES DU TRÉSOR	63

3.10 TROISIÈME ANNEXE : MODÈLE D'AFFAIRES . . . . . 64

### 3.1 INTRODUCTION

Aujourd'hui les paraboles sont devenues un élément courant dans nos foyers, parfois au nombre de deux ou même trois, leur utilité s'est progressivement estompée avec l'avènement des plateformes de streaming.

Ces structures encombrantes, autrefois essentielles pour capter des signaux de télévision, ont perdu de leur pertinence à mesure que la demande pour des contenus en ligne a explosé.

Cependant, une évolution intrigante émerge au sein de cette transition technologique. Il s'agit de l'intégration de cellules photovoltaïques dans les paraboles, représentant ainsi une fusion remarquable entre la technologie solaire et la concentration de la lumière pour générer de l'électricité de manière efficace et respectueuse de l'environnement.

L'enjeu principal réside désormais dans la transformation de ces paraboles en une source d'énergie verte à émissions de carbone minimal. Cette transition vers des paraboles solaires offre un potentiel considérable. Elle permettrait aux ménages de réaliser des économies significatives sur leur facture d'électricité, tout en contribuant à la préservation de notre environnement précieux.

Ce virage vers une énergie plus propre ouvre la voie à une utilisation plus responsable des infrastructures de communication que nous avons longtemps prises pour acquises, transformait ainsi un objet familier en une ressource durable pour les générations futures.

### 3.2 PREMIÈRE AXE : PRÉSENTATION DU PROJET

#### 3.2.1 L'idée de projet (solution proposée) :

- L'idée consiste donc à ajouter des modules photovoltaïques sur des paraboles en les nommant paraboles solectriques une combinaison entre « soleil » et « électrique ».
- Ces cellules photovoltaïques seront placées sur un kit amovible qui nous permet de faciliter le déplacement de ces cellules et leur fonctionnement.
- Cette invention touche tout le secteur d'énergies renouvelables et aussi efficace pour les foyers.

#### 3.2.2 Les valeurs proposées :

- Notre invention elle s'agit d'une parabole couverte par des cellules photovoltaïques.
- La parabole fonctionne de manière double en captant des signaux tout en produisant de l'énergie.
- Réduire à la fois les coûts et la demande en électricité à court et à long terme, tout en exploitant ses propriétés comme isolant pour nos structures.

- Indépendance énergétique.

### 3.2.3 Objectifs du projet :

- Nous avons pour ambition de présenter une idée moderne et innovante qui apporte des changements significatifs au secteur des énergies renouvelables.
- Nous visons à apporter des avantages et des améliorations énergétiques aux foyers et au secteur de l'énergie verte.
- Nous cherchons à donner une nouvelle vie aux anciennes paraboles simples en les convertissant en paraboles solaires.
- Produire de l'énergie verte tout en minimisant les émissions de carbone, en optimisant l'efficacité énergétique et en réduisant les coûts.
- exploiter de manière optimale l'espace disponible pour l'installation de systèmes d'énergie renouvelable, avec pour finalité l'atteinte d'une autonomie énergétique maximale.
- Cette invention a le potentiel de stimuler des avancées technologiques significatives dans les milieux universitaires et les laboratoires de recherche.

### 3.2.4 Calendrier de réalisation du projet :

	mois 1	mois 2	mois 3	mois 4	mois 5	mois 6	mois 7
Études préalables	✓	✓					
Commande des équipements		✓	✓				
Commande des équipements		✓	✓				
Installation des équipement			✓	✓	✓		
Achat de matières première					✓	✓	
Réalisation du prototype						✓	✓

Tableau 3.1 – Calendrier de réalisation du projet

## 3.3 DEUXIÈME AXE : ASPECT INNOVANT

### 3.3.1 Nature des innovation :

- **Innovations technologiques :**

Les paraboles photovoltaïques évoluent constamment grâce à de nouvelles avancées technologiques. Cela peut englober des améliorations dans leur conception, l'utilisation de matériaux plus performants pour les cellules solaires, ou des progrès dans les systèmes de suivi solaire et de refroidissement.

Ces innovations visent à rendre les paraboles solaires plus efficaces, durables et performantes.

- **Incertitude technologique :**

Dans le domaine des paraboles photovoltaïques, il est difficile de prévoir avec certitude quelles avancées technologiques seront à venir.

Les entreprises opérant dans ce secteur doivent faire face à un environnement imprévisible où de nouvelles découvertes peuvent avoir un impact significatif sur leur compétitivité.

— **Innovations de marché :**

Les innovations de marché concernent la manière dont les produits sont introduits, commercialisés ou adaptés aux besoins des consommateurs.

Par exemple, cela peut impliquer des stratégies de tarification innovantes, de nouveaux canaux de distribution ou la création de marchés inexplorés pour les paraboles photovoltaïques, comme leur utilisation dans des régions rurales.

— **Innovation croissante :**

L'innovation croissante signifie apporter des améliorations progressives à une technologie existante. Dans le contexte des paraboles photovoltaïques, cela pourrait signifier des améliorations continues de l'efficacité des cellules solaires, la réduction des coûts de fabrication ou l'optimisation des systèmes de suivi solaire.

— **Innovation radicale :**

À l'inverse, l'innovation radicale implique des changements majeurs et perturbateurs dans la manière dont une technologie est conçue ou utilisée. Dans le domaine des paraboles photovoltaïques, cela pourrait se traduire par l'adoption de nouvelles technologies révolutionnaires de concentration solaire ou de cellules photovoltaïques qui révolutionnent fondamentalement la capture et la conversion de l'énergie solaire.

L'incertitude du marché et technologique peut influencer la façon dont les entreprises abordent l'innovation dans le domaine des paraboles photovoltaïques. Elles doivent prendre en compte les risques liés à cette incertitude tout en cherchant à rester compétitives grâce à des innovations technologiques et de marché, qu'elles soient progressives ou radicales.

### 3.3.2 Domaines d'innovation

— **Nouveaux processus :**

L'innovation dans les processus de fabrication des panneaux solaires solaire peut contribuer à augmenter l'efficacité des opérations. Par exemple l'adoption de nouvelle technique de fabrication ou de technologies avancé pour réduire les couts des productions et améliorer la qualité des panneaux solaires.

— **Nouvelles fonctionnalités :**

L'innovation peut également se concentrer sur l'amélioration des performances des panneaux solaires. Cela peut inclure leurs développement plus

efficace, capable de convertir d'avantages d'énergies solaires en électricité, ou des panneaux solaires plus durable et résistant aux conditions environnementales difficiles.

— **Nouveaux clients :**

l'expansion vers de nouveaux segments de clientèle peut être une forme d'innovation. Par exemple, l'adaptation des panneaux solaires pour répondre aux besoins spécifique des clients résidentiels, commerciaux, agricoles ou industriels, en développant des solutions sur mesure pour chaque marché.

— **Nouvelles offres :**

l'innovation peut se manifester par le développement de nouveaux types de panneaux solaires ou de produit lié a l'énergie solaire. Cela pourrait inclure des panneaux solaires intégré a des matériaux de construction, des systèmes de stockage d'énergie solaire avancé ou des solutions de gestion intelligente de l'énergie.

— **Nouveaux modèles d'affaires :**

Les entreprises peuvent innover en modifiant leur modèle d'affaires. Par exemple, la mise en place de modèles de location des panneaux solaires ou de contrats de fournitures d'énergie solaire. Où les clients paient pour l'énergie solaire produite plutôt que pour l'achat.

### 3.4 TROISIÈME AXE :ANALYSE STRATÉGIQUE DU MARCHÉ

#### 3.4.1 Le segment du marché

##### **Le Marché du potentiel :**

— **Recherche et Développement :**

Des laboratoires de recherche, des universités et des entreprises engagées dans la (R&D) pourraient être intéressés par l'intégration de panneaux solaires sur des paraboles pour des expériences et des projets de développement.

— **Applications Industrielles Spécifiques :**

Des secteurs industriels comme l'industrie chimique pourraient utiliser cette technologie pour des besoins de chaleur et d'électricité spécifiques.

— **Solution Hors Réseau :**

Les zones éloignées sans accès aux réseaux électriques traditionnels représentent un marché potentiel, notamment pour les télécommunications, les pompes à eau et l'agriculture.

— **Marchés de Niche :**

Des installations résidentielles ou commerciales cherchant des solutions personnalisées en matière d'énergie pourraient être des marchés potentiels, en particulier pour des objectifs de durabilité et d'efficacité.

**Le Marché ciblé :**

— **Laboratoires de Recherche et Universités :**

Ces institutions peuvent utiliser cette technologie pour des recherches avancées en énergies solaire.

— **Industrie Chimique et Secteurs Spécialisés :**

Les secteurs industriels nécessitant de la chaleur et de l'électricité spécifiques sont des marchés cibles.

— **Zones Hors Réseau :**

Les régions sans réseau électrique traditionnel sont un marché cible important.

— **Marchés de Niche Durables :**

Les marchés de niche axés sur la durabilité et l'efficacité énergétiques, y compris les installations résidentielles et commerciales, sont également ciblés.

3.4.2 Mesure de l'intensité de la concurrence :

Aspect de la concurrence	Concurrents directs	Concurrents indirects
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de concurrents.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grand nombre de fabricants et fournisseurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diversité d'offres alternatives d'énergie renouvelable.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parts de marché.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabilité régionale et sectorielle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Influence régionale dans certains secteurs .</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces des concurrents.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité de production élevée.</li> <li>- Portefeuille de produits diversifié.</li> <li>- Présence mondiale.</li> <li>- Réputation solide.</li> <li>- Capacité d'innovation continue.</li> <li>- Efficacité opérationnelle.</li> <li>- Partenariats stratégiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Offres alternatives diversifiées.</li> <li>- Diversité technologiques.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faiblesses des concurrents.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts de production élevés.</li> <li>- Problèmes de qualité.</li> <li>- Dépendance à des sources spécifiques.</li> <li>- Problèmes de gestion.</li> <li>- Vulnérabilités économiques.</li> <li>- Problèmes de durabilité.</li> <li>- Conformité réglementaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible notoriété dans l'énergie solaire.</li> <li>- Ressources limitées pour la recherche et développement</li> </ul>

## 3.4.3 Analyse PESTEL :(analyse du contexte externe)

Facteur	Opportunité	Menace
Politique	Les incitations gouvernementales à l'adoption des énergies renouvelables peuvent stimuler la demande pour Nos paraboles soléctriques	Les changements dans les réglementations environnementales ou fiscales pourraient influencer la compétitivité du marché
Économique	L'augmentation du coût de l'énergie traditionnelle peut inciter les consommateurs à rechercher des solutions plus économiques comme Nos paraboles	Les fluctuations des taux de change ou des prix des matériaux peuvent impacter les coûts de production
Socioculturel	La sensibilisation croissante à l'environnement peut encourager l'adoption de solutions énergétiques durables	Les préférences des consommateurs pourraient changer rapidement, influençant la demande
Technologique	Les avancées technologiques peuvent améliorer l'efficacité et la rentabilité de Nos paraboles	La concurrence peut rapidement introduire des technologies concurrentes
Environnemental	La prise de conscience environnementale croissante peut favoriser l'acceptation de Nos produits	Les variations climatiques peuvent affecter la disponibilité de l'énergie solaire
Légal	La conformité aux réglementations environnementales peut renforcer Notre image de marque	Les litiges liés aux brevets ou aux droits de propriété intellectuelle peuvent surgir

3.4.4 Analyse SWOT :(analyse du contexte interne)

<p><b>Forces (Strengths)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Technologie Avancée :</li> <li>Notre expertise technologique peut Nous donner un avantage compétitif.</li> <li>-Durabilité :</li> <li>Nos paraboles s'alignent sur les tendances environnementales actuelles.</li> <li>-Flexibilité :</li> <li>La portabilité des paraboles peut répondre à divers besoins des clients.</li> <li>-Potentiel de Croissance :</li> <li>L'essor des énergies renouvelables crée un marché en croissance.</li> </ul>	<p><b>Faibles (Weaknesses)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Coûts de Production :</li> <li>Les matériaux de haute qualité peuvent entraîner des coûts élevés.</li> <li>-Dépendance à l'égard des Subventions :</li> <li>Notre succès peut dépendre des incitations gouvernementales.</li> <li>-Concurrence :</li> <li>Le marché des énergies renouvelables est concurrentiel avec de grandes entreprises bien établies.</li> </ul>
<p><b>Opportunités (Opportunities)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Demande Croissante :</li> <li>L'augmentation de la demande en énergies renouvelables offre des opportunités de croissance.</li> <li>-Élargissement de la Gamme :</li> <li>on peut diversifier Nos produits pour couvrir d'autres besoins énergétiques.</li> <li>-Expansion Internationale :</li> <li>Explorez de nouveaux marchés à l'étranger.</li> </ul>	<p><b>Menaces (Threats)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Volatilité des Prix des Matériaux :</li> <li>Les fluctuations des prix des matériaux peuvent impacter Nos marges.</li> <li>-Évolution des Réglementations :</li> <li>Les changements dans les réglementations peuvent influencer la rentabilité.</li> <li>-Concurrence Féroce :</li> <li>La concurrence peut rapidement saturer le marché.</li> </ul>

### 3.5 ANALYSE CROISÉE DE LA MATRICE SWOT

<b>Force-Opportunités (SO)</b>	<b>Force-Menaces (ST)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capitaliser sur notre expertise technologique (Force) pour répondre à la demande croissante en énergies renouvelables (Opportunité).</li> <li>- Utiliser notre flexibilité (Force) pour explorer de nouveaux marchés à l'étranger (Opportunité).</li> <li>-Aligner nos paraboles sur les tendances environnementales (Force) tout en élargissant notre gamme de produits (Opportunité).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre l'accent sur des stratégies compétitives pour maintenir notre position face à une concurrence féroce (Menace).</li> <li>-Gérer la volatilité des prix des matériaux (Menace) tout en capitalisant sur le potentiel de croissance des énergies renouvelables (Force).</li> </ul>
<b>Faiblesses-Opportunités (WO)</b>	<b>Faiblesses-Menaces (WT)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Diversifier notre gamme de produits pour atténuer l'impact financier des coûts de production élevés (Faiblesse) (Opportunité).</li> <li>-Développer des solutions rentables pour réduire la dépendance aux subventions (Faiblesse) en exploitant la demande croissante (Opportunité).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Diversifier les sources de revenus pour faire face à la concurrence féroce (Menace) malgré la dépendance aux subventions (Faiblesse).</li> </ul>

### 3.5.1 La Stratégie Marketing

Les paraboles solectriques représentent une avancée technologique majeure dans le domaine de l'énergie propre et renouvelable.

Ces systèmes ingénieux tirent parti de l'énergie solaire pour générer de l'électricité de manière efficace et respectueuse de l'environnement. Dans un monde de plus en plus préoccupé par les défis liés au changement climatique et à la durabilité, les paraboles solectriques se positionnent comme des solutions innovantes pour répondre à la demande croissante en énergie tout en réduisant l'impact sur notre planète.

Pour réussir sur le marché, les entreprises qui se concentrent sur ces technologies doivent mettre en place des stratégies marketing solides pour informer, convaincre et engager leurs clients, mettant ainsi en avant les avantages économiques, environnementaux et pratiques de ces systèmes.

Dans cette perspective, nous utilisons une stratégie clés pour promouvoir efficacement les paraboles solélectriques.

on utilisons la méthode de CAP(Caractéristiques Avantages Preuves) :

#### **Caractéristiques :**

- Paraboles Amovibles :

Mettez en avant le fait que les paraboles sont amovibles, ce qui signifie qu'elles peuvent être installées facilement et déplacées en fonction des besoins.

- Cellules Photovoltaïques Intégrées :

Insistez sur le fait que les cellules photovoltaïques sont intégrées à la surface des paraboles, permettant ainsi une conversion efficace de l'énergie solaire en électricité.

- Technologie Avancée :

Mentionnez la technologie avancée utilisée dans la fabrication des paraboles pour garantir une performance optimale.

#### **Avantages :**

- Économies d'Énergie Propres :

Mettez en lumière le principal avantage, à savoir la production d'énergie propre et renouvelable grâce à la conversion de la lumière solaire en électricité.

- Flexibilité d'Utilisation :

Soulignez la polyvalence offerte par les paraboles amovibles, qui peuvent être déplacées en fonction des besoins, que ce soit pour des applications domestiques, en camping, ou autres.

- Impact Environnemental Positif :

Mettez en évidence le rôle écologique en réduisant la dépendance aux sources d'énergie non renouvelables et en contribuant à la réduction des émissions de carbone.

- Facilité d'Installation et d'Utilisation :  
Insistez sur la simplicité d'installation et d'utilisation des paraboles photovoltaïques, les rendant accessibles à un large public.

**Preuves :**

- Témoignages Clients Satisfaits :  
Rassemblez des commentaires positifs de clients qui ont déjà utilisé ces paraboles, attestant de leur efficacité et de leur fiabilité.
- Données de Performance Vérifiables :  
Fournissez des données chiffrées sur la performance des paraboles, telles que le taux de conversion solaire ou le rendement énergétique, pour étayer leur qualité.
- Certifications et Récompenses :  
Mettez en avant les certifications ou les distinctions obtenues pour la qualité et la durabilité de vos produits.
- Études de Cas Convaincantes :  
Présentez des exemples concrets montrant comment les paraboles photovoltaïques ont été utilisées avec succès dans différents contextes.
- Comparaisons Favorables avec la Concurrence :  
Comparez vos paraboles avec d'autres solutions du marché, mettant en évidence leurs avantages distinctifs.
- Garanties Solides :  
Offrez des garanties robustes pour renforcer la confiance des clients dans la longévité et la fiabilité de votre produit.

## 3.6 QUATRIÈME AXE : PLAN DE PRODUCTION ET ORGANISATION

### 3.6.1 Le processus de production

**Conception et planification :**

- Déterminez les spécifications techniques de la parabole solaire et du kit amovible de cellules photovoltaïques.
- Planifiez la production en identifiant les matériaux nécessaires et les délais de fabrication.

**Fabrication des composants principaux :**

- l'achats ou la Production des cellules photovoltaïques :  
Fabriquez les cellules photovoltaïques selon les spécifications.
- Création de la parabole :  
Fabriquez la structure de la parabole en métal, en suivant les plans de conception.

**Intégration du kit amovible :**

- Intégrez les cellules photovoltaïques dans le kit amovible, en utilisant des fixations spéciales pour les attacher solidement à la surface de la parabole.

**Assemblage final :**

- Assemblez les composants, y compris la parabole et le kit amovible de cellules photovoltaïques, pour créer l'ensemble fonctionnel.

**Tests et contrôle qualité :**

- Soumettez l'ensemble à des tests rigoureux pour vérifier sa performance, sa durabilité et sa sécurité électrique, en vous assurant que les cellules photovoltaïques fonctionnent correctement.

**Emballage et expédition :**

- Une fois que l'ensemble a passé les tests de contrôle qualité, emballez-le de manière adéquate en vue de son transport vers les clients ou les sites d'installation.

**Installation sur site :**

- Procédez à l'installation de la parabole solaire équipée du kit amovible de cellules photovoltaïques sur le site d'utilisation.  
Cela peut inclure le montage sur une structure de support, le câblage électrique et les connexions nécessaires.

**Maintenance et suivi :**

- Assurez-vous de mettre en place un plan de maintenance régulière pour garantir le bon fonctionnement de l'ensemble.  
Cela peut inclure l'entretien des cellules, l'inspection des connexions électriques et la réparation si nécessaire.

Ce processus de production permet de créer des paraboles solaires équipées de kits amovibles de cellules photovoltaïques intégrées à leur surface, ce qui offre la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire de manière flexible et mobile.

**3.6.2 Approvisionnement**

Un approvisionnement efficace en matériaux, équipements et autres ressources est essentiel pour garantir une production fluide et de haute qualité de paraboles équipées de cellules photovoltaïques.

L'optimisation de ces ressources permet de minimiser les coûts tout en maintenant des normes élevées de qualité et de performance.

voici quelque détails sur notre approvisionnement :

- **Sélection de Fournisseurs de Qualité :** Identifiez des fournisseurs fiables ayant une réputation de qualité et de conformité aux normes environnementales.
- **Matériaux de Haut Niveau :** Choisissez des matériaux de haute qualité pour garantir la performance et la durabilité des paraboles.
- **Approvisionnement des Cellules Photovoltaïques :** Établissez des partenariats avec des fabricants de cellules photovoltaïques renommés pour garantir une efficacité optimale.

- **Gestion de Stock Efficace** : Mettez en place une gestion de stock efficace pour éviter les coûts excessifs liés au stockage.
- **Diversification des Fournisseurs** : Ne dépendez pas excessivement d'un seul fournisseur pour minimiser les risques de perturbation.
- **Optimisation des Coûts** : Négociez les tarifs avec les fournisseurs tout en maintenant la qualité.
- **Durabilité** : Encouragez des pratiques respectueuses de l'environnement chez les fournisseurs.
- **Contrôle de Qualité Rigoureux** : Établissez des normes strictes de contrôle de la qualité.
- **Planification de la Demande** : Prévoyez la demande du marché pour éviter les surplus ou les pénuries.
- **Évaluation Continue des Fournisseurs** : Évaluez régulièrement la performance des fournisseurs et ajustez votre collaboration en conséquence.

### 3.6.3 La main d'œuvre

#### 1. Main-d'œuvre qualifiée :

- Techniciens et ouvriers spécialisés dans la fabrication et l'assemblage des paraboles solaires.
- Ingénieurs de production responsables de la supervision et de la gestion du processus de fabrication.
- Équipes de contrôle qualité pour garantir que les paraboles sont conformes aux spécifications et fonctionnent de manière optimale.
- Personnel de maintenance chargé de l'entretien des équipements de production.

#### 2. Gestion de projet :

- Chefs de projet et planificateurs pour coordonner les différentes étapes de la production.
- Personnel administratif en charge de la gestion des ressources humaines, des finances et de la logistique liées à la main-d'œuvre.

La main-d'œuvre hautement qualifiée est essentielle pour assurer la qualité, la précision et l'efficacité tout au long du processus de fabrication des paraboles équipées de cellules photovoltaïques.

### 3.6.4 Les principaux partenaires :

#### — Fournisseurs de matériaux :

Ils fournissent les composants essentiels tels que les cellules solaires, l'aluminium, etc.

#### — Fabricants de composants :

Fournisseurs de systèmes de suivi solaire, de systèmes de refroidissement, de convertisseurs d'énergie, etc.

- **Distributeurs :**  
Partenaires de distribution pour commercialiser et vendre les produits de l'entreprise.
- **Clients :**  
Ceux qui achètent et utilisent les paraboles solaires.
- **Institutions financières :**  
Pour le financement de l'entreprise.
- **Agences gouvernementales :**  
Pour obtenir des autorisations, des incitations fiscales et se conformer aux réglementations.
- **Partenaires de recherche et développement :**  
Universités, centres de recherche, entreprises innovantes pour l'innovation technologique.
- **Associations professionnelles :**  
Organisations sectorielles offrant un réseau de contacts et des informations sectorielles.  
Le choix des partenaires dépendra des besoins spécifiques de l'entreprise et de sa stratégie commerciale.  
Ces partenaires sont essentiels pour la chaîne d'approvisionnement, la distribution, l'innovation technologique et la réussite globale de l'entreprise.

### 3.7 CINQUIÈME AXE : PLAN FINANCIER

#### 3.7.1 Les coûts et les charges

	Année 1	Année 2	Année 3
charge du personnel	1800000,00	2000000,00	2200000,00
charges des achats	5000000,00	6250000,00	7500000,00

#### 3.7.2 Le Chiffre d'affaires

	Année 1	Année 2	Année 3
Quantité du produit	200	250	300
Prix HT du produit / q	25000,00	25000,00	25000,00
Ventes du produit / q	45000,00	46000,00	48000,00
Chiffre d'affaires globale	9500000,00	11500000,00	14800000,00

#### 3.7.3 Les Comptes de résultats escomptés

	Année 1	Année 2	Année 3
Totale des ventes	9000000,00	11500000,00	14400000,00
Totale des charges	6800000,00	8250000,00	9700000,00
Solde	2200000,00	3250000,00	4700000,00

### 3.7.4 Le Plan de trésorerie

- **Prévisions de ventes :**  
Estimez vos ventes en fonction du marché, de la demande saisonnière et de la concurrence.
- **Coûts d’approvisionnement :**  
Calculez les dépenses pour les matériaux et composants nécessaires.
- **Frais de personnel :**  
Incluez les salaires et avantages sociaux.
- **Charges fixes :**  
Identifiez les dépenses mensuelles invariables comme la location, les services publics et l’assurance.
- **Financement :**  
Intégrez les remboursements de prêts ou le financement initial.
- **Marketing et publicité :**  
Allouez un budget pour la promotion.
- **Subventions et aides :**  
Incluez les subventions gouvernementales.
- **Gestion de trésorerie :**  
Surveillez le solde pour éviter les problèmes de liquidités.
- **Préparation aux imprévus :**  
Ayez une réserve pour les dépenses imprévues ou les retards de paiement.

## 3.8 PREMIÈRE ANNEXE :COMPTES DE RÉSULTATS ESCOMPTÉS

### 3.8.1 Les Comptes de résultats escomptés

Tableau 3.2 – Les Comptes de résultats escomptés.

	Année 1	Année 2	Année 3
<b>Produits d’exploitation</b>			
Chiffre d’affaires HT vente de marchandises	-	-	-
Chiffre d’affaires HT services	9 000 000.00	19 500 000.00	28 400 000.00
<b>Charges d’exploitation</b>			
Achats consommés	-	-	-
Marge brute	9 000 000.00	19 500 000.00	28 400 000.00
<b>Charges externes</b>			
Assurances	45 000.00	45 000.00	45 000.00
Téléphone, internet	25 000.00	25 000.00	25 000.00
Autres abonnements	-	-	-
Carburant	-	-	-
Frais de déplacement et hébergement	-	-	-

Continued on next page...

TABLE 3.2 – continued from previous page.

	<b>Année 1</b>	<b>Année 2</b>	<b>Année 3</b>
Eau, électricité, gaz	150 000.00	150 000.00	150 000.00
Mutuelle	-	-	-
Fournitures diverses	100 000.00	120 000.00	140 000.00
Entretien matériel et communication	45 000.00	45 000.00	45 000.00
Loyer et charges locatives	420 000.00	420 000.00	420 000.00
Expert comptable, avocats	80 000.00	82 000.00	85 000.00
<b>Valeur ajoutée</b>	<b>7 052 300.00</b>	<b>17 000 000.00</b>	<b>28 925 000.00</b>
<b>Impôts et taxes (1.5%)</b>	<b>108 000.00</b>	<b>255 000.00</b>	<b>347 100.00</b>
<b>Salaires employés</b>	<b>1 800 000.00</b>	<b>2 000 000.00</b>	<b>2 200 000.00</b>
Charges sociales employés	453 000.00	480 000.00	530 000.00
<b>prélèvement du dirigeant</b>			
charges sociales du dirigeant	700 000.00	890 000.00	901 000.00
<b>Excédent brut d'exploitation</b>	<b>4 980 140.00</b>	<b>11 251 122.00</b>	<b>25 565 120.00</b>
<b>Frais bancaires, charges financières</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Dotations aux amortissements</b>	<b>1 980 000.00</b>	<b>1 995 000.00</b>	<b>2 210 122.00</b>
<b>Résultat avant impôts</b>	<b>1 200 045.00</b>	<b>11 466 580.00</b>	<b>19 225 778.00</b>
<b>Impôt sur les sociétés 26%</b>	<b>390 255.00</b>	<b>4 121 222.00</b>	<b>5 912 452.00</b>
<b>Résultat net comptable (résultat de l'exercice)</b>	<b>1 101 145.00</b>	<b>8 588 452.00</b>	<b>14 523 224.00</b>

### 3.9 DEUXIÈME ANNEXE : COMPTES DU TRÉSOR

Le tableau ci-dessous illustre le plan de trésorerie :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>ENCAISSEMENTS</b>												
Chiffre d'affaires TTC	570 000.00	492 700.00	710 600.00	620 600.00	887 000.00	924 600.00	680 800.00	724 600.00	857 000.00	967 000.00	853 200.00	981 300.00
Emprunts	7 500 000.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subventions	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apports en capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apports en compte courant	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produits exceptionnels	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL ENTRÉES</b>	8 070 000.00	492 700.00	710 600.00	620 600.00	887 000.00	924 600.00	680 800.00	724 600.00	857 000.00	967 000.00	853 200.00	981 300.00
<b>DÉCAISSEMENTS</b>												
Immobilisations	5 000 000.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salaires nets	180 000.00	180 000.00	180 000.00	180 000.00	180 000.00	180 000.00	190 000.00	190 000.00	190 000.00	190 000.00	190 000.00	190 000.00
Note de frais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Charges sociales	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00	20 000.00
Fournisseurs	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00	180000.00
Frais généraux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Loyers	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00	350000.00
Échéances d'emprunts	375 000.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TVA à payer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impôts et taxes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Charges exceptionnelles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL SORTIES</b>	5253 000.00	253 000.00	253 000.00	253 000.00	253 000.00	253 000.00	263 000.00	263 000.00	263 000.00	263 000.00	263 000.00	263 000.00
<b>BANQUE</b>												
Solde précédent												
Solde final												

**Tableau 3.3** – Le plan de trésorerie

## 3.10 TROISIÈME ANNEXE : MODÈLE D'AFFAIRES

<p><b>Segment de marché :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Secteur de l'Énergie renouvelable.</li> <li>— Applications résidentielle et industrielle.</li> <li>— Laboratoires de recherche et universités.</li> <li>— Zones hors réseaux.</li> </ul>	<p><b>Relations clients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Vente directe aux clients résidentiels et commerciaux.</li> <li>— Partenariats avec les développeurs immobiliers et les entreprises de construction.</li> <li>— Suivi et traitement de réclamations client.</li> </ul>
<p><b>Proposition de valeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Production d'une Énergie verte en utilisant l'Énergie solaire.</li> <li>— Réduction des coûts d'électricité à court et à long terme.</li> <li>— Indépendance énergétique.</li> <li>— La parabole fonctionne de manière double en captant des signaux tout en produisant de l'énergie.</li> </ul>	<p><b>Partenaires clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Fournisseurs de cellules Photovoltaïques tels que :             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jinko solar</li> <li>2. Trina Solar</li> <li>3. Q-cells.</li> </ol> </li> <li>— Fournisseur local de paraboles Recyclées.</li> <li>— Distributeurs pour la vente en ligne.</li> <li>— Promoteurs immobiliers.</li> <li>— A.P.R.U.E.</li> </ul>
<p><b>Activités clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Etude de marché et Plan d'installation.</li> <li>— Fabrication de paraboles couvertes de cellules photovoltaïques.</li> <li>— Installation de nos produits sur les toits des clients.</li> <li>— Maintenance et entretien de nos installations.</li> </ul>	<p><b>Segments clients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Propriétaires de maison individuelles souhaitant réduire leur facture d'électricité.</li> <li>— Usines et entreprises souhaitant passer à l'Énergie verte.</li> <li>— Développeurs immobiliers souhaitant passer à l'Énergie solaire pour les nouveaux projets .</li> </ul>

## TROISIÈME ANNEXE : MODÈLE D'AFFAIRES (SUITE)

<p><b>Ressources clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Boite à outils.</li> <li>— Une expertise de qualité.</li> <li>— Installation de paraboles Solectriques.</li> <li>— Personnel qualifié pour l'installation et la maintenance.</li> </ul>	<p><b>Structure des coûts :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Cout d'acquisition de cellules photovoltaïques.</li> <li>— Cout d'acquisition de paraboles.</li> <li>— Cout de fabrication du produit final.</li> <li>— Cout du local et Cout de la logistique.</li> <li>— Coûts d'installation et de maintenance.</li> <li>— Frais de Marketing et de promotion.</li> </ul>
<p><b>Canaux de distribution :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Vente en ligne via un site web dédié.</li> <li>— Réseaux de distribution locaux.</li> </ul>	<p><b>Sources de revenus :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Vente et installation de paraboles Solectriques à nos clients.</li> <li>— Contrats de maintenance et de service après-vente.</li> </ul>

# CONCLUSION GÉNÉRALE

L'établissement d'une startup spécialisée dans l'installation et la vente de panneaux solaires représente une initiative stratégique à plusieurs niveaux. Cette entreprise contribuera non seulement à la transition vers une énergie plus propre et durable, mais aura également un impact significatif sur le développement économique régional.

En lançant cette startup, nous aspirons à créer des opportunités d'emploi locales dans des domaines tels que l'installation, la maintenance, la vente et la gestion. Notre engagement envers le recrutement au niveau régional renforcera la main-d'œuvre locale, stimulant ainsi l'économie.

La promotion de l'énergie solaire favorisera l'adoption de sources d'énergie renouvelable dans la région, réduisant la dépendance aux énergies non durables. Cela aura un impact positif sur l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en favorisant la durabilité énergétique.

En somme, ce projet startup s'inscrit comme un moteur de développement économique régional en créant des emplois, en favorisant l'adoption de technologies durables, et en contribuant à la croissance de l'économie locale grâce à une transition vers une énergie plus verte. ...

# BIBLIOGRAPHIE

- Yandhika Surya Akbar Gumilang, Mochammad Rusli, et Bambang Siswoyo. Linear quadratic regulator and luenberger observer for solar tracking system. Dans *2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, pages 106–113, 2021.
- Albert Ayang. *Diagnostic d'un système photovoltaïque à stockage par estimation paramétrique et commandes ADRC, intégré à une centrale autonome de cogénération d'énergie*. PhD thesis, Université du Québec à Chicoutimi, 2020.
- Sandeep D Hanwate et Yogesh V Hote. Design of pid controller for sun tracker system using qrawcp approach. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1) :133–145, 2018.
- Cengiz Kahraman, Ihsan Kaya, et Selçuk Çebi. Renewable energy system selection based on computing with words. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(4) :461–473, 2010.
- Burcu Kuleli Pak, Yildiz E Albayrak, et Yasemin C Erensal. Renewable energy perspective for turkey using sustainability indicators. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(1) :187–197, 2015.
- SAJN Nikolina. International renewable energy agency (irena). 2016.
- KE Park, GH Kang, HI Kim, GJ Yu, et JT Kim. Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (pv) module. *Energy*, 35(6) :2681–2687, 2010.
- Emmanuel Trélat. *Contrôle optimal : théorie & applications*, volume 36. Vuibert Paris, 2005.