

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de MASTER

Présentée par

MIZI OUALLAOUA Kahina

HENNI-CHEBRA Norhane

Filière : Hydrocarbures

Option : Economie des hydrocarbures

**Impact de la contribution de SONATRACH au développement
des énergies renouvelables en Algérie.**

- Etude de cas du projet PV de Bir Rbaa Nord -

Devant le jury:

Mme	KHADRAOUI	Fahima	MAA	UMBB	Présidente
Mr	DOUIFI	Laid	MCB	UMBB	Examineur
Mme	YASSA	Yasmine	MCB	UMBB	Promotrice

Année Universitaire: 2022/2023

Remerciements

*Tout d'abord, je remercie Dieu, notre Créateur, de nous avoir donné
la force, la volonté et le courage d'accomplir cette humble œuvre.*

Nous tenons à remercier notre promoteur Mlle YASSA Yasmine

Pour ses conseils et ses diriges du début à la fin de ce travail.

*Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les
enseignants du Département Economie et commercialisation des Hydrocarbures
qui ont contribué à notre formation.*

*Enfin, Nous voudrions montrer notre gratitude envers notre encadreur Monsieur
S. GHERBI, M. BOUTOUCHENT et à tous les employés de la Direction Générale
de SONATRACH.*

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

*A mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères
sentiments, Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et
leurs prières tout au long de mes études.*

A mes chères sœurs : Sonia, Amina, Yasmine,

A mon cher frère Sami,

Pour leurs encouragements permanents, et leur aide.

A mes neveux Raouane, Abdessamad, Khadidja

A mon binôme Norhane pour son soutien moral.

A tous mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux sincères, et le fruit de votre
soutien infaillible.*

Merci d'être toujours là pour moi.

Kahina

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents, aucune dédicace ne saurait suffire pour exprimer mon amour pour vous et ma considération pour tout le sacrifice, l'encouragement, Le soutien et la confiance que vous avez en moi.

Je vous aime énormément et je vous serai toujours reconnaissante Puisse Dieu vous préserver en bonne santé et vous accorder une longue vie.

A mes chers frères, Younes, Takieddine, Abdelkarim, pour leur appui et leur encouragement.

A mon binôme Kahina pour son soutien moral.

A mes chers amis qui m'ont aidé de près et de loin je remercie tous ceux qui ont été derrière moi et qui m'en soutenu que dieu vous garde pour moi

Norhane

Liste des abréviations

AIE	: Agence Internationale de l'Energie
APRUE	: Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie
ASMIDALE	: Entreprise nationale d'engrais et des produits pétroliers
BRN	: Bir Rebaa Nord
BT	: Basse Tension
CCNUCC	: Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CREGP	: Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz
CSP	: Concentrated Solar Power
ENI	: Entreprise nationale italienne des hydrocarbures
ENIP	: Entreprise nationale de pétrochimie
ENPC	: Entreprise nationale des plastiques et caoutchouc
ENR	: Energie Renouvelable
EPC	: Engineering, Procurement, and Construction
ER	: Energie Renouvelable
FMI	: Fonds Monétaire International Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie
FNER	: Fonds national pour les énergies renouvelables et la cogénération
FNME	: Fonds national pour la maîtrise de l'énergie
GES	: Gaz à Effet de Serre
GNL	: Gaz Naturel Liquéfié
GNV	: Gaz Naturel Véhicule
H₂	: hydrogène
HJT	: Technologie d'hétérojonction
HSE	: Santé, Sécurité et Environnement
HT	: Haute Tension
IAER	: institut algérien des énergies renouvelables
IBS	: Impôt sur les bénéfices.
IP	: Indice de profitabilité
IRENA	: International renewable Energy Agency
ISCC	: Integrated Solar Combined Cycle
LCOE	: Levelized Cost of Energy
MT	: Moyen Tension

NAFTAL	: Entreprise nationale de distribution de produits pétroliers
NAFTEC	: Entreprise nationale de raffinage
O&M	: Exploitation et Maintenance
OCDE	: Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ODD	: objectifs de développement durable
ONEE	: Office National de l'Électricité est l'opérateur marocain
PEM	: proton exchange membrane
PIAT	: Réseau Adrar- In Salah- Timimoune
PME	: Petites Et Moyennes Entreprises
PNEREE	: Programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique
PPA	: Power Purchase Agreement
PV	: Photovoltaïque
R&D	: Recherche et Développement
RIGS	: Réseaux Isolés du Grand Sud
RIN	: Réseau Interconnecté du Nord
ROE	: La rentabilité des capitaux propres
SDEM	: Station De Dessalement D'eau De Mer
SKTM	: Sharikate Kahraba Wa Taket Moutadjadida
SOEC	: solid oxide electrolysis cell
SONATRACH	: Société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures
SONELGAZ	: Société Nationale de l'électricité et du Gaz
TAP	: taxe sur l'activité professionnelle
TDR	: Temps de retour sur investissement
TE	: transition énergétique
THT	: Très Haute Tension
TRI	: Taux de Rentabilité Interne
UE	: Union Européenne
UK	: Royaume-Uni
VAN	: Valeur Actuelle Nette
VNC	: Valeur Nette Comptable
WACC	: Cout moyen pondéré au capital

Unités Physiques

°C	: degrés Celsius
Gt	: GIGA tonne
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt-heure
Kcal/jour	: Kilo calorie par jour
Ktep	: Kilo tonnes équivalent pétrole
KWe	: Kilowatt crête
KWh	: Kilo watt-heure
m²	: Mètre carré
m³	: Mètre cube
Mb/j	: Baril par jour Million de baril par jour
Mtep	: Million tonnes équivalent pétrole
MW	: Mégawatt
Tep	: Tonnes équivalent pétrole
TWh	: Téra Watt-heure

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Plan d'exécution du PNEREE en 2011.....	45
Tableau 3.2 : Plan d'exécution du PNEREE révisé en 2015 [MW].....	48
Tableau 3.3 : Répartition du programme national par niveau de tension.....	51
Tableau 3.4 : Répartition de premier lot d'appel d'offres du projet 1000MW sur sites....	51
Tableau 4.1 : Evolution de la production de centrale PV sur une période de 25ans.....	78
Tableau 4.2 : capex et Opex sur une période de 25ans.....	79
Tableau 4.3 : Amortissement sur une période de 10 ans.....	80
Tableau 4.5 : Remboursement de l'emprunt sur une période de 20 ans.....	81
Tableau 4.4 : Impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers.....	83
Tableau 4.6 : cash-flow sur une période de 25ans.....	83
Tableau 4.7 : Analyse des indicateurs financiers et de rentabilité du projet.....	86
Tableau 4.8 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au CAPEX.....	87
Tableau 4.9 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport à l'OPEX.....	88
Tableau 4.10: Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au Capitaux Propres.....	88
Tableau 4.11 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport à la durée de remboursement.....	89
Tableau 4.12 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au taux d'intérêt.....	90
Tableau 4.13 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au coût de vente de l'électricité.....	91
Tableau 4.14 : Impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers.....	93

Liste des figures

Figure 1.1 : Les différentes formes d'énergie.....	4
Figure 1.2 : Fonctionnement de l'énergie éolienne.....	6
Figure 1.3 : Fonctionnement de l'énergie géothermique	7
Figure 1.4 : Fonctionnement de l'énergie solaire thermique.....	9
Figure 1.5 : Fonctionnement de l'énergie photovoltaïque.....	10
Figure 1.6 : Fabrication de l'hydrogène.....	14

Figure 1.7 : les trois types principaux électrolyses de l'eau.....	15
Figure 1.8 : cout de production H2.....	19
Figure 3.1 : Carte d'irradiation directe annuel moyen.....	41
Figure 3.2 : Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol.....	42
Figure 3.3 : Rendement spécifique d'hydrogène vert à partir de l'énergie photovoltaïque..	44
Figure 3.4 : Rendement spécifique d'hydrogène vert à partir de l'énergie éolienne terrestre.....	44
Figure 3.5 : Projet PV 343 MW.....	47
Figure 3.6 : Le cout actualisé de PV et CSP de 2010-2016.....	48
Figure 3.7 : Disponibilité de l'eau en Algérie.....	52
Figure 3.8 : Les mécanismes législatifs et règlementaires des énergies renouvelables en Algérie.....	66
Figure 4.1 : Organigramme de la SONATRACH.....	71
Figure 4.2 : Organigramme de la Direction Energies Renouvelables.....	74
Figure 4.3 : Etapes du développement d'un projet solaire photovoltaïque.....	76
Figure 4.4 : Evolution de la production de la centrale PV.....	79
Figure 4.5 : Evolution de l'Opex.....	80
Figure 4.6: Valeur nette comptable fin d'exercice.....	81
Figure 4.7: Remboursement de l'emprunt.....	82
Figure 4.8: Evolution du cash-flow et du cumul des cash-flow actualisés.....	85
Figure 4.9: Sensibilité de l'IP par rapport au CAPEX.....	87
Figure 4.10: Sensibilité de l'IP par rapport à l'OPEX.....	88
Figure 4.11: Sensibilité de l'IP par rapport au Capitaux Propres.....	89
Figure 4.12: Sensibilité de l'IP par rapport à la durée de remboursement.....	90
Figure 4.13: Sensibilité de l'IP par rapport au Taux d'intérêt.....	91
Figure 4.14: Sensibilité de l'IP par rapport au Prix de vente de l'électricité.....	92

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviationsI

Unités physiques.....III

Liste des TableauxIV

Liste des FiguresIV

Table des matièresVI

Introduction générale et problématique.....A

Chapitre 1: Généralités sur les énergies 1

Introduction 2

1. Définition de l'énergie 3

2. Les différentes formes des énergies 3

3. Les Energie Renouvelable 4

3.1. Les différentes types des énergies renouvelables.....4

3.2. Les coûts des énergies renouvelables.....10

3.3. Avantages et inconvénients des énergies renouvelables11

4. Hydrogène vert..... 12

4.1. Définition.....12

4.2. L'électrolyse de l'eau13

4.3. Stockage de l'hydrogène14

4.4. Transport de l'hydrogène vert16

4.5. Cout de production d'hydrogène vert17

Conclusion..... 18

Chapitre 2 : Vers une nouvelle ère énergétique.....19

Introduction 20

1. Les fondamentaux de la transition énergétique 21

1.1. Généralités21

1.2. Les Enjeux de la transition énergétique dans le monde	23
2. Les accords internationaux	26
3. Les pays développés dans la transition énergétique	28
3.1. La Suède.....	28
3.2. Maroc.....	29
4. Les modèles énergétiques	32
Conclusion.....	35
Chapitre 3 : La réalité des énergies renouvelables en Algérie	36
Introduction	37
1. Les énergies renouvelables en Algérie.....	38
1.1. Panorama de potentiel des énergies renouvelables en Algérie.....	38
1.2. Potentiel de l'hydrogène vert en Algérie.....	41
2. Le Programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE)	43
2.1. Le Programme national de 2011-2030.....	43
2.2. Programme national 2015-2030	47
2.3. Le programme national 2023	49
3. Développement de l'hydrogène vert en Algérie.....	51
3.1. Disponibilité d'eau pour l'électrolyse	51
3.2. Objectifs stratégiques et défis de l'hydrogène vert en Algérie.....	52
3.3. Vision de développement de l'hydrogène.....	52
3.4. Projets pilotes d'hydrogène Vert	53
4. Le cadre réglementaire des énergies renouvelables	53
Conclusion.....	61
Chapitre 4 Développement d'un projet photovoltaïque par SONATRACH : procédures et impacts.....	62
Introduction	63
1. Présentation de SONATRACH :	64
1.1. Définition.....	64
1.2. Historique de SONATRACH	64

1.3. Missions de SONATRACH	66
1.4. Objectifs	66
1.5. Organisation Générale de SONATRACH	67
2. Étapes du développement d'un projet solaire photovoltaïque.....	73
3. Analyse de la rentabilité de la centrale photovoltaïque (BRN).....	74
3.1. Hypothèses et variables de modèle d'analyse.....	74
3.2. Construction d'un modèle de l'analyse de rentabilité de la centrale PV	74
3.3. Analyse de sensibilité.....	84
3.4. Impact de projet	90
3.5. Impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers.....	91
Conclusion.....	92
Conclusion Générale.....	75
Bibliographie.....	98
Résumé.....	103

Introduction générale et problématique

Les énergies renouvelables jouent un rôle essentiel dans notre quête d'un avenir durable. Alors que les conséquences néfastes du changement climatique deviennent de plus en plus évidentes, il est devenu impératif de réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et de chercher des alternatives plus propres et plus durables. Les énergies renouvelables offrent une solution prometteuse, car elles sont issues de sources naturelles inépuisables.

L'Algérie est réputée pour être l'un des plus grands producteurs et exportateurs de pétrole et de gaz naturel en Afrique. Ces ressources ont joué un rôle vital dans l'économie du pays depuis des décennies, en fournissant des revenus importants et en soutenant la croissance économique.

Cependant, la dépendance excessive aux énergies fossiles expose l'Algérie à plusieurs défis. Tout d'abord, la volatilité des prix du pétrole sur le marché international peut avoir un impact significatif sur l'économie du pays. De plus, la diminution des réserves prouvées de pétrole et de gaz en Algérie soulève des préoccupations quant à la durabilité à long terme de cette industrie.

En ce sens et pour s'assurer de disposer d'approvisionnements énergétiques suffisants, il est devenu impératif pour l'Algérie de diversifier son mix énergétique et de s'orienter vers des énergies alternatives. Cette transition permettrait de réduire la dépendance aux hydrocarbures, ainsi, de préserver les ressources fossiles, de renforcer la sécurité énergétique et de contribuer au développement durable.

Malgré ces défis, l'Algérie dispose d'un potentiel considérable pour développer les énergies renouvelables, notamment l'hydrogène vert. Le pays bénéficie d'un ensoleillement important tout au long de l'année, ce qui fait de l'énergie solaire une ressource prometteuse. De plus, les régions côtières de l'Algérie ont un fort potentiel éolien, tandis que les ressources hydrauliques offrent également des opportunités pour l'énergie hydroélectrique.

Dans le cadre de cette transition, le gouvernement algérien a mis en place des politiques et des incitations pour encourager les investissements dans ce secteur. Des objectifs ambitieux ont été fixés pour augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique national, notamment à travers des programmes de développement des énergies renouvelables.

En outre, SONATRACH, en tant que principale entreprise nationale du secteur de l'énergie, joue un rôle clé dans la promotion et le développement des énergies renouvelables en Algérie.

Introduction générale et problématique

Ce travail se concentre sur l'étude des énergies renouvelables en Algérie, en mettant l'accent sur la contribution de SONATRACH ; la principale entreprise publique du secteur de l'énergie. L'analyse de son rôle dans ce domaine permettra de mieux comprendre comment l'Algérie, en tant que pays riche en ressources naturelles, peut exploiter son potentiel en matière d'énergies renouvelables.

Parmi les raisons qui nous ont motivés à choisir ce thème, est l'actualité de ce dernier, car le développement économique et social de l'Algérie est étroitement lié au développement du secteur des hydrocarbures et à la problématique énergétique. D'autant plus, que l'Algérie possède un immense potentiel en matière d'énergies renouvelables, et il est essentiel de comprendre comment ce potentiel peut être exploité et intégré dans le mix énergétique du pays. En revanche, SONATRACH est une entreprise clé dans le secteur de l'énergie en Algérie, son engagement dans les énergies renouvelables est un aspect important à étudier. Enfin, nous avons choisi ce thème pour l'intérêt que nous portons aux énergies renouvelables en tant qu'un domaine de notre formation.

En prenant en compte les éléments précédemment évoqués, la problématique centrale de cette étude peut être formulée de la manière suivante :

Quel est le rôle de SONATRACH dans le développement des énergies renouvelables en Algérie ? et comment cela contribue-t-il à la transition énergétique du pays ? et quels impacts ?

Pour aborder la problématique de manière approfondie, plusieurs sous-questions seront examinées :

- Quels sont les principes et les fondements des énergies renouvelables ?
- Quelle est la situation actuelle des énergies renouvelables en Algérie ?
- Quelle importance accordée par SONATRACH à la transition énergétique en Algérie ?
- Quelle est son rôle dans le développement des énergies renouvelables ?
- Quels sont les impacts engendrés ?

Pour orienter la recherche et les analyses. Nous pouvons formuler certaines hypothèses préliminaires :

- Les énergies renouvelables reposent sur l'utilisation de sources naturelles inépuisables. Elles sont plus écologiques et moins chères, notamment l'énergie solaire ;

- L'Algérie dispose d'un fort potentiel solaire en raison de son ensoleillement abondant, offrant des opportunités significatives pour le développement de l'énergie solaire et la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles ;
- Le développement des énergies renouvelables est encadré par un ensemble de textes législatifs relatifs à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable ;
- SONATRACH joue un rôle primordial dans le développement économique de pays, en investissant dans les énergies renouvelables.

Afin de répondre aux questionnements émis, et tester les hypothèses, nous avons choisis, comme cas d'étude, le projet photovoltaïque de « Bir Rbaa Nord » à Ouargla, développé par SONATRACH.

Quant à la méthodologie adaptée, sera descriptive, analytique, et statistique, et à l'aide de l'outil Microsoft Excel. La collecte de données se fera à partir de diverses sources, telles que des documents officiels, des rapports sectoriels, des données économiques et financières.

Ce mémoire sera structuré en quatre chapitres comme suit :

- Le premier chapitre présentera les généralités sur les énergies renouvelables, en fournissant une base théorique solide ;
- Le deuxième chapitre se concentrera sur les fondamentaux de la transition énergétique. Il abordera les principaux aspects de ce processus de transformation du système énergétique vers des sources plus durables et respectueuses de l'environnement ;
- Le troisième chapitre examinera spécifiquement les énergies renouvelables en Algérie, en analysant les politiques gouvernementales et le potentiel du pays ;
- Enfin, le quatrième chapitre se concentrera sur la contribution de SONATRACH au développement des énergies renouvelables, en effectuant une analyse économique détaillée du projet PV de Bir Rbaa Nord à Ouargla.

Chapitre 1

Généralités sur les énergies

Introduction

L'énergie, sous de multiples formes, est un des piliers du développement socio- économique des sociétés contemporaines. Le paysage énergétique mondial fait toutefois face à une crise grandissante. En effet, l'accroissement de la demande pour les ressources énergétiques en provenance des économies émergentes et la rareté grandissante des combustibles fossiles traditionnels bouleversent les modèles énergétiques actuels. La demande accrue des pays émergents et les réserves de pétrole diminuant encouragent la mise en place d'alternatives afin de combler ces besoins en croissance permanente.

Dans ce chapitre, nous explorerons la définition de l'énergie, les différentes formes d'énergie et nous nous pencherons particulièrement sur les énergies renouvelables et l'hydrogène vert.

1. Définition de l'énergie

Le mot « énergie » vient du Grec Ancien « *énergie* », qui signifie « La force en action ». Ce concept scientifique est apparu avec Aristote et a fortement évolué au cours du temps. Aujourd'hui, l'énergie désigne « la capacité à effectuer des transformations ». Par exemple, l'énergie c'est ce qui permet de fournir du travail, de produire un mouvement, de modifier la température ou de changer l'état de la matière. Toute action humaine requiert de l'énergie : le fait de se déplacer, de se chauffer, de fabriquer des objets et même de vivre.¹

Les énergies ont été divisées en deux types selon l'étendue de la possibilité de renouvellement et de continuation de cette énergie :

- L'Energie non renouvelable « conventionnelle » ;
- L'Energie renouvelable.

2. Les différentes formes des énergies

L'énergie existe sous différentes formes, chacune avec ses caractéristiques spécifiques ; Voici les formes d'énergie les plus courantes :

2.1. Énergie thermique

Est l'énergie associée à la chaleur et à l'agitation des particules dans un système. Elle est liée à la température.

2.2. Énergie électrique

Est l'énergie associée au déplacement des charges électriques.

2.3. Énergie nucléaire

Est l'énergie libérée lors de réactions nucléaires, comme la fission ou la fusion nucléaire.

2.4. Énergie chimique

Est l'énergie stockée dans les liaisons chimiques entre les atomes et les molécules. Elle peut être libérée ou absorbée lors de réactions chimiques.

2.5. Énergie mécanique

Est l'énergie associée au mouvement et à la position d'un objet, comprenant l'énergie **cinétique** (liée au mouvement) et l'énergie **potentielle** (liée à la position).

2.6. Énergie rayonnement

Est l'énergie transportée par les ondes électromagnétiques

¹ Egypt Future Organisation. « Définition de l'énergie ». Consulté le 15 Février 2023, sur ce site <http://www.egyptfuture.org>.

2.7. Énergie chimique

Est l'énergie stockée dans les liaisons chimiques entre les atomes et les molécules. Elle peut être libérée ou absorbée lors de réactions chimiques.¹

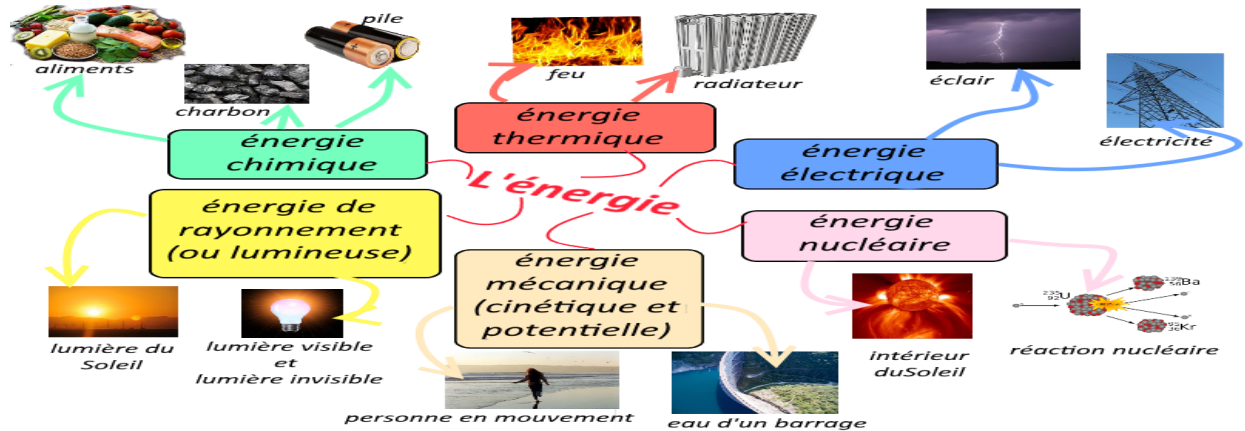


Figure 1.1 : Les différentes formes d'énergie

Source : <https://physique.neveu.fr>

3. Les Energie Renouvelable

Est connue sous le nom d'énergie alternative, dérivant de ressources naturelles inexploitées et inépuisables, notamment l'énergie solaire, éolienne, aérienne et l'eau. D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique, le vent brassant les pales d'une éolienne, la lumière solaire excitant les photopiles, mais aussi l'eau chaude des profondeurs. De la terre alimentant des réseaux de chauffage. Sans oublier ces végétaux, comme la canne à sucre ou le colza, grâce auxquels on peut produire des carburants automobiles ou des combustibles pour des chaudières très performantes. Tout cela constitue les énergies nouvelles et renouvelables, "ENR". En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes.²

3.1. Les différentes types des énergies renouvelables

Il existe 6 types de l'énergie renouvelable.

3.1.1. La biomasse

La biomasse est une source d'ENR à condition de bien gérer les bois. Les techniques qui

¹ Planète énergies. « Les différentes formes d'énergies ». Consulté le 15 Février 2023, sur ce site <https://www.planete-energies.com>

² Youmatter. « Energies renouvelables ». Consulté le 15 Février 2023, sur ce site <https://youmatter.world/>

permettent l'exploitation énergétique de la biomasse sont multiples, mais les principales utilisations sont au nombre de trois :

- **Le bois énergie**

La biomasse brûlée permet la production de l'énergie grâce à la combustion dans une chaudière ;

- **Le biogaz**

En se décomposant, sous l'effet des bactéries, certains déchets produisent du biogaz. Ce gaz est en majorité composé de méthane utilisable, une fois épuré, pour alimenter des chaudières ou des véhicules fonctionnant au Gaz Naturel Véhicule (GNV) ;

- **Les biocarburants**

Les cultures dites énergétiques telles que la betterave, la canne à sucre et le soja ainsi que les huiles végétales recyclées sont utilisées dans plusieurs pays pour produire les biocarburants. On peut citer le cas du Brésil par exemple, où l'éthanol est très utilisé dans le transport.¹

3.1.2. L'énergie éolienne

Le principe de l'énergie éolienne est vieux comme les moulins à vent. En effet, la force du vent est utilisée, depuis longtemps, pour moudre le blé et pomper l'eau. Au cours des dernières décennies, ce système a été adopté à la production de l'électricité. Ainsi, des milliers d'éoliennes sont en fonctionnement, de nos jours. Il existe deux principaux types d'éoliennes : les aérogénérateurs domestiques de faible puissance qui fournissent de l'électricité pour des besoins individuels et les éoliennes de grandes puissances qui sont raccordées aux réseaux nationaux.²

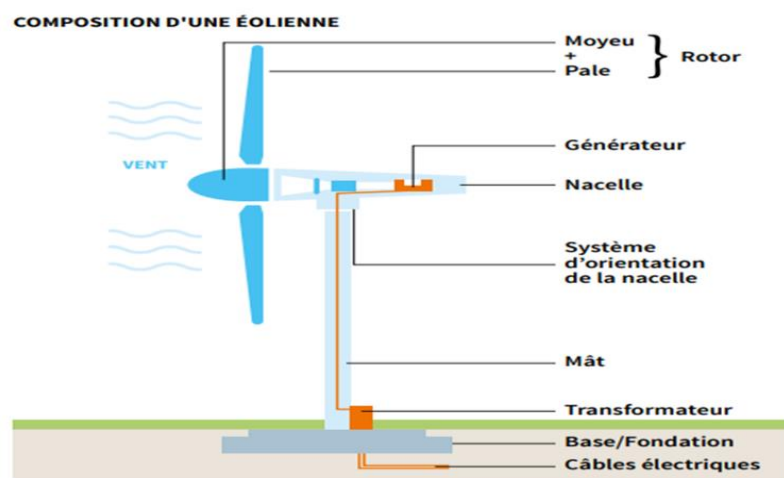


Figure 1.2 : Fonctionnement de l'énergie éolienne

Source : <https://mtaterre.fr/>

¹ EDF. *"Biomasse en chiffres"*. Consulté le 16 Février 2023, sur ce site <https://www.edf.fr/>

² ABBAD, I. *« Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclaircissement) sur le rendement d'une cellule solaire »*, Mémoire de master, Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El Bouaghi. 2019. p 5.

3.1.3. L'énergie hydraulique

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages, des moulins à eau et des systèmes d'irrigation. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité.¹

3.1.4. L'énergie géothermique

L'exploitation de la chaleur qui jaillit par endroits de la terre (sources chaudes, geysers, manifestations volcaniques) remonte seulement au XIXe siècle. L'idée principale derrière le développement de cette technologie est d'exploiter l'énergie géothermique emmagasinée dans le sol afin de l'utiliser pour générer de l'électricité ou directement pour les besoins de chauffage. Par rapport à d'autres sources d'ENR, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (pluie, soleil, vent, etc.). En plus, les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années et les installations qui utilisent la géothermie ne polluent pas l'atmosphère. La cogénération, c'est-à-dire la production de l'électricité en même temps que la chaleur, peut encore augmenter l'intérêt de la géothermie.²

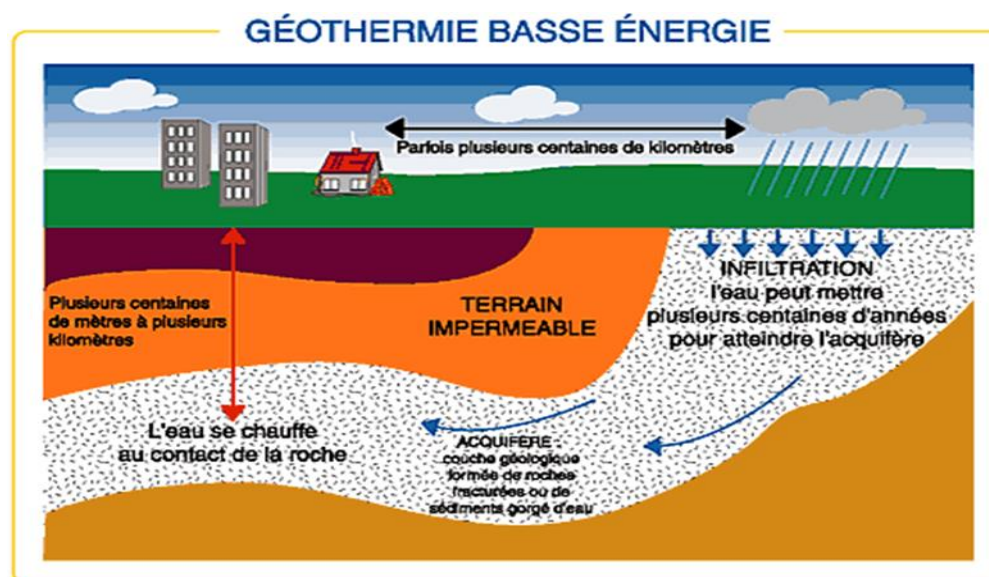


Figure 1.3 : Fonctionnement de l'énergie géothermique

Source : <http://enrj.renouvelables.free.fr>

¹ ABBAD, I. Op.cit. p6

² HABBI, H et BIBI, Y. « *Simulation et Optimisation des performances d'un système hybride intégrant des Energies renouvelables pour la génération d'Electricité* ». Master. UNIVERSITE DE BOUIRA.2016.

3.1.5. L'énergie des mers ou énergie marine

C'est une énergie renouvelable très peu exploitée jusqu'ici. Elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil. Les océans, qui couvrent presque 70 % de la surface du globe, pourraient constituer la source d'énergie renouvelable du futur, même si, pour l'instant, leur exploitation pour produire de l'électricité n'est pas rentable.¹

3.1.6. L'énergie solaire

L'énergie repose sur l'exploitation direct de la lumière solaire, peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés ou des miroirs. En effet, il existe quatre types de technologies d'énergie solaire : l'énergie passive, l'énergie solaire thermique, l'énergie solaire photovoltaïque (PV) et l'énergie thermodynamique.

3.1.6.1. L'énergie passive

C'est une énergie non polluante et qui est disponible en grande quantité. Ce type d'énergie va être utilisé pour le chauffage, pour l'éclairage naturel et la climatisation des locaux. Son fonctionnement : l'énergie lumineuse du soleil qui pénètre à l'intérieur des pièces par les fenêtres et qui est absorbée par les murs mais aussi par les meubles, par les planches, est rejetée sous forme de chaleur.²

3.1.6.2. L'énergie solaire thermiques

Cette énergie est la transformation des rayons du soleil en énergie thermique c'est-à-dire en chaleur. Cette énergie peut être utilisée directement soit pour le chauffage mais aussi pour obtenir de l'eau chaude. Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul endroit. Ceux-ci sont alors piégés par des capteurs solaires thermiques vitrés qui transmettent l'énergie solaire à des absorbeurs métalliques. Ces mêmes absorbeurs réchauffent alors un réseau de tuyaux où circule un fluide caloporteur (c'est-à-dire un fluide qui reçoit de la chaleur en un point de son circuit et qui la cède en un autre point). Cet échangeur va ensuite chauffer à son tour de l'eau stockée dans un cumulus, cette même eau ira alimenter chauffe-eau (pour l'eau sanitaire) et systèmes de chauffages solaires.³

¹ Brigitte Vu. « **Le guide de l'habitat passif** ». Consulté le 16 Février 2023, sur ce site <https://reporterre.net>

² Hortense, Chauvin. « **Les promesses de l'énergie marine** ». Consulté le 16 Février 2023, sur ce site <https://fr.wikipedia.org/>

³ International journal of advanced research on planning and sustainable development. « **Energies renouvelables : l'un des pivots du développement durable en Algérie** ». 2021.page 51.

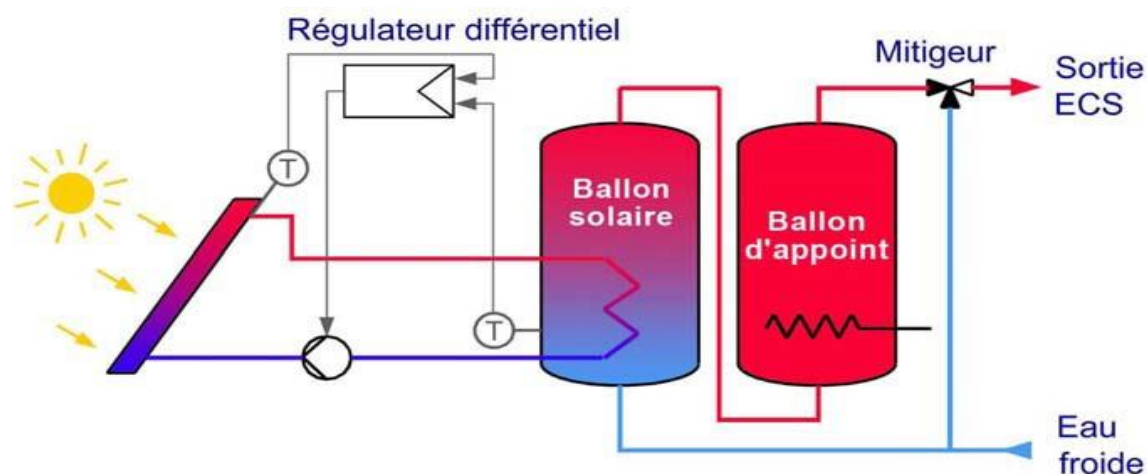


Figure 1.4 : Fonctionnement de l'énergie solaire thermique

Source : <https://www.acteurdurable.org>

3.1.6.3. L'énergie Photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839. L'énergie solaire photovoltaïque utilise le soleil comme source de lumière en transformant en électricité l'énergie des photons arrivant à la surface de la Terre. La lumière solaire (photons) transmet son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur (qui constitue une cellule photovoltaïque). Cette transformation (effet photovoltaïque) est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible. Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "bombardés" par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être "arrachés" : Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons "arrachés" créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.¹

¹ AMARA, C et BOUHAIDER, R. « *Etude et implémentation d'une cellule photovoltaïque sur cible FPGA* ». Master. Université SAAD DAHLAB de BLIDA. 2012. Page 4-5.

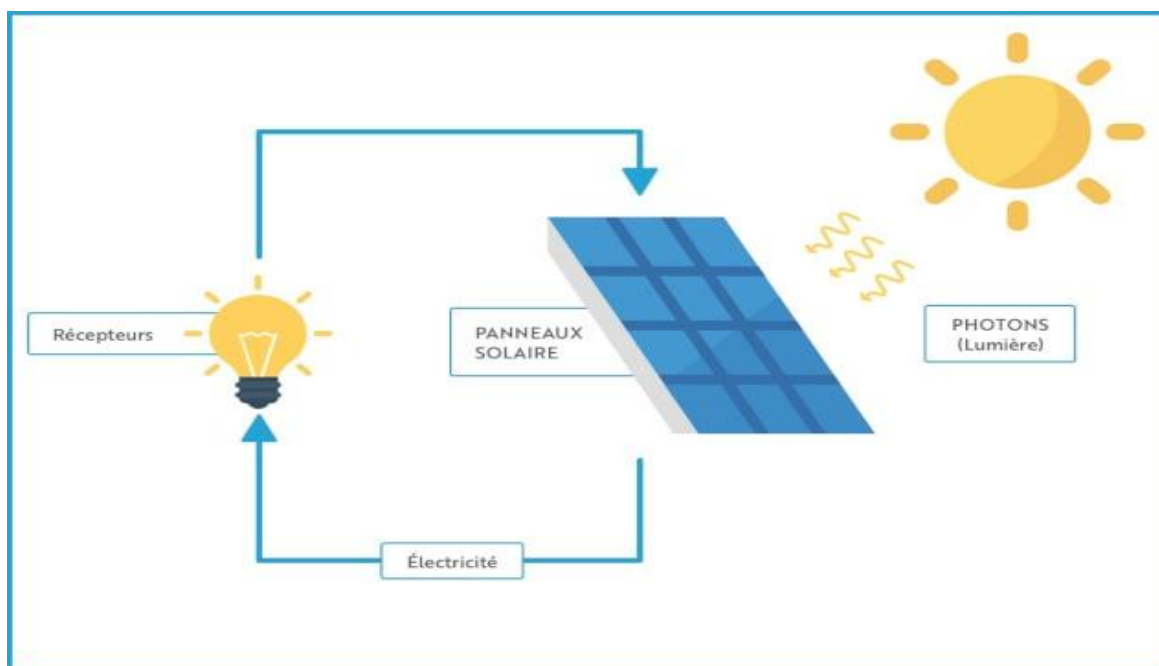


Figure 1.5 : Fonctionnement de l'énergie photovoltaïque

Source : <https://www.hellowatt.fr>

3.1.6.4. L'énergie thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique est un moyen de produire de l'électricité et d'accumuler l'énergie thermique nécessaire à cette production pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, dans des centrales solaires à concentration. Le principe est de concentrer la chaleur du soleil par des miroirs pour chauffer un fluide à haute température (plusieurs centaines de degrés) afin de générer de la vapeur par échange thermique pour ensuite produire de l'électricité au moyen d'une turbine. Le fluide utilisé peut conserver sa chaleur pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, cela permet de produire de l'électricité en début de soirée, au moment où la consommation est la plus importante.¹

3.1.6.5. Obstacles liés à l'énergie solaire

Parmi ces différents obstacles, que l'on peut citer :

- **Époussetez des appareils solaires**

Comme l'efficacité de l'énergie solaire diminue en raison du non nettoyage des appareils recevant le soleil. Des méthodes de nettoyage modernes devraient être développées pour maintenir l'efficacité de l'énergie solaire.

- **Problème de stockage**

¹AZIZI, A. « *Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stockage hybride* ». Thèse de doctorat. UNIVERSITEDADJI MOKHTAR ANNABA. 2019.page 6.

Le soleil n'étant pas disponible toute la journée ou toute l'année, il est nécessaire d'installer des réservoirs pour conserver cette énergie et l'exploiter lorsque cela est nécessaire.¹

3.2. Les coûts des énergies renouvelables

Le coût moyen pondéré mondial des projets solaires photovoltaïques (PV), éoliens terrestres et en mer nouvellement mis en service a chuté en 2022. Cela s'est passé malgré la hausse des coûts des matériaux et de l'équipement, étant donné qu'il y a un décalage important dans la répercussion sur les coûts totaux installés.

Le coût actualisé moyen pondéré de l'électricité (LCOE) mondiale des nouveaux projets éoliens terrestres ajoutés en 2022 a chuté de 15 %, en glissement annuel, à 0,033 USD/kWh, tandis que celui des nouveaux projets solaires photovoltaïques à grande échelle a chuté de 13 % par anuellement à 0,048 USD/kWh et celle de l'éolien offshore a baissé de 13 % à 0,075 USD/kWh. Avec une seule centrale solaire à concentration (CSP) mise en service en 2022, le LCOE a augmenté de 7 % en glissement annuel pour atteindre 0,114 USD/kWh.

La période de 2011 à 2022 a été témoin d'une amélioration sismique de la compétitivité des énergies renouvelables. Le LCOE moyen pondéré mondial des projets solaires photovoltaïques à grande échelle, nouvellement mis en service, a diminué de 88 % entre 2011 et 2022, tandis que celui de l'éolien terrestre a chuté de 68 %, le CSP de 68 % et l'éolien en mer de 60 %.

Les avantages des énergies renouvelables en 2023 seront sans précédent, tenant en compte la crise des prix des combustibles fossiles :

À l'échelle mondiale, la nouvelle capacité renouvelable ajoutée en 2022 pourrait réduire les coûts de production d'électricité en 2023 d'au moins 55 milliards de dollars.

Les données suggèrent que toutes les augmentations du coût des matériaux observées à ce jour n'ont pas été répercutées sur les prix des équipements. Cela suggère que les pressions sur les prix en 2023 seront plus prononcées qu'en 2022 et que les coûts d'installation totaux devraient augmenter cette année sur davantage de marchés.

Le programme d'analyse des coûts de l'IRENA collecte et rapporte les données sur les coûts et les performances des technologies de production d'énergie renouvelable depuis 2012. Les données et l'analyse sont fondées sur la base de données sur les coûts renouvelables de l'IRENA qui

¹ Marion, Perrin. « Quels sont les principaux obstacles au développement de l'énergie photovoltaïque ? ». Consulté le 17 Février 2023, sur ce site <https://www.futura-sciences.com/>

renferme des données sur environ 21 000 projets de production d'énergie renouvelable du monde entier.¹

3.3. Avantages et inconvénients des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables ont des avantages et des inconvénients, tant au niveau énergétique, environnemental et économique. Elles présentent ainsi des avantages et inconvénients communs et spécifique à chacune.

3.3.1. Les avantages

- **Durabilité** : Les sources d'énergie renouvelable sont inépuisables à l'échelle humaine, contrairement aux combustibles fossiles qui se tarissent progressivement ;
- **Réduction des émissions de carbone** : Les énergies renouvelables produisent peu ou pas de gaz à effet de serre lors de leur utilisation, ce qui contribue à atténuer le changement climatique et à réduire la pollution atmosphérique ;
- **Autonomie énergétique** : En utilisant des sources d'énergie renouvelable locales, les pays peuvent réduire leur dépendance aux importations de combustibles fossiles et assurer une plus grande indépendance énergétique ;
- **Création d'emplois** : Le secteur des énergies renouvelables crée de nombreux emplois locaux dans la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des installations, contribuant ainsi à la croissance économique et à la création de richesse ;
- **Stabilité des prix** : Les énergies renouvelables sont moins soumises aux fluctuations des prix des combustibles fossiles, ce qui permet une plus grande stabilité des coûts de production d'électricité à long terme ;
- **Diversification des sources d'énergie** : L'utilisation d'énergies renouvelables diversifie le mix énergétique d'un pays, réduisant ainsi sa dépendance à une seule source et renforçant la sécurité énergétique ;
- **Amélioration de la santé publique** : La transition vers les énergies renouvelables réduit la pollution de l'air et de l'eau, ce qui a un impact positif sur la santé publique en réduisant les maladies respiratoires et les problèmes liés à la qualité de l'eau ;
- **Innovation technologique** : L'essor des énergies renouvelables stimule la recherche et le développement de nouvelles technologies, favorisant ainsi l'innovation et l'avancement

¹ L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) : Cout de production des énergies renouvelables 2022.

scientifique.

3.3.2. Les inconvénients

Quant aux inconvénients des EnR il est surtout d'ordre financier, on peut citer :

- Le coût élevé de l'acquisition des matériels d'EnR, comme le prix des panneaux solaire ou des éoliennes ;
- Le problème de stockage de l'énergie faisant l'objet de recherche d'innovation aujourd'hui.

4. Hydrogène vert

4.1. Définition

L'hydrogène fabriqué à partir d'un processus d'électrolyse de l'eau est dit vert si ce dernier est réalisé à partir d'électricité renouvelable. Il représente un des leviers d'avenir pour accélérer la transition vers la neutralité carbone : développement de la mobilité verte, décarbonation des usages massifs industriels d'hydrogène (engrais, raffinerie, chimie...), meilleure intégration des énergies renouvelables intermittentes dans le système énergétique, stockage massif des surplus d'électricité produits. Utilisable en complément de toutes les énergies vertes pour satisfaire et décarboner de nombreux usages, l'hydrogène peut devenir le pilier des territoires 100% renouvelables.¹

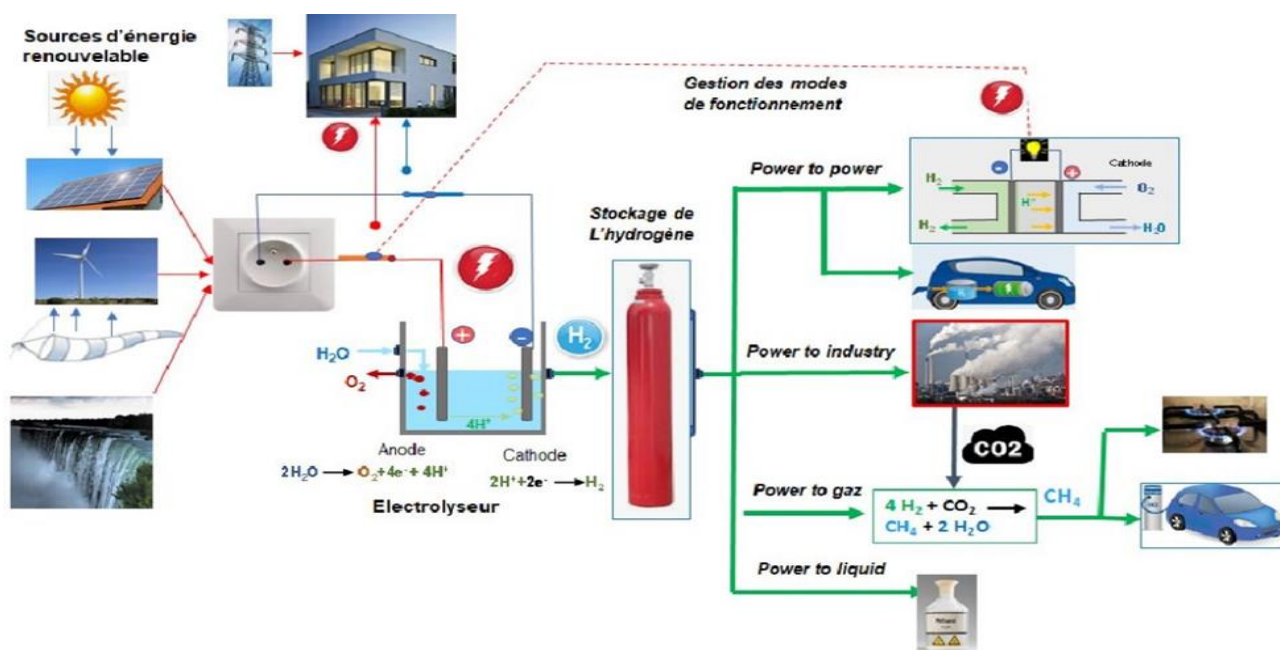


Figure 1.6 : Fabrication de l'hydrogène

Source : <https://franceuniversites.fr/>

¹ Rygeen. « **HYDROGÈNE VERT : L'HYDROGÈNE FAIT À PARTIR D'ÉNERGIE RENOUVELABLE** » . Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://www.orygeen.eu/>

4.2. L'électrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau consiste en la dissociation électrochimique de l'eau en hydrogène et en oxygène, à l'aide d'un courant continu circulant entre deux électrodes (l'anode et la cathode) et d'ions circulant dans un électrolyte (liquide ou solide).

La réaction globale est la suivante : $\text{H}_2\text{O} + \text{électricité} \longrightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{chaleur}$

L'hydrogène est produit à la cathode, tandis que l'oxygène est produit à l'anode.¹

En théorie il faut 9 kg d'eau pure pour produire 1 kg d'hydrogène et 8 kg d'oxygène. En pratique, 10 à 11 kg d'eau pure par kg d'hydrogène sont nécessaires, en fonction de la technologie d'électrolyse utilisée, une partie de l'eau excédentaire pouvant être récupérée sous forme d'effluents liquides (nécessitant un traitement avant recyclage).

En théorie il faut 33.3 kWh d'électricité pour produire 1 kg d'hydrogène ; en pratique, environ 50 à 60 kWh par kg d'hydrogène sont nécessaires, à cause de la non-idéalité du processus d'électrolyse (cette énergie supplémentaire se retrouve dans la chaleur à évacuer). De plus, à cause de la dégradation des cellules d'électrolyse, la consommation électrique augmente d'environ 1 % par 8000 heures de fonctionnement, entraînant généralement la nécessité du remplacement de l'électrolyseur après une dizaine d'année.²

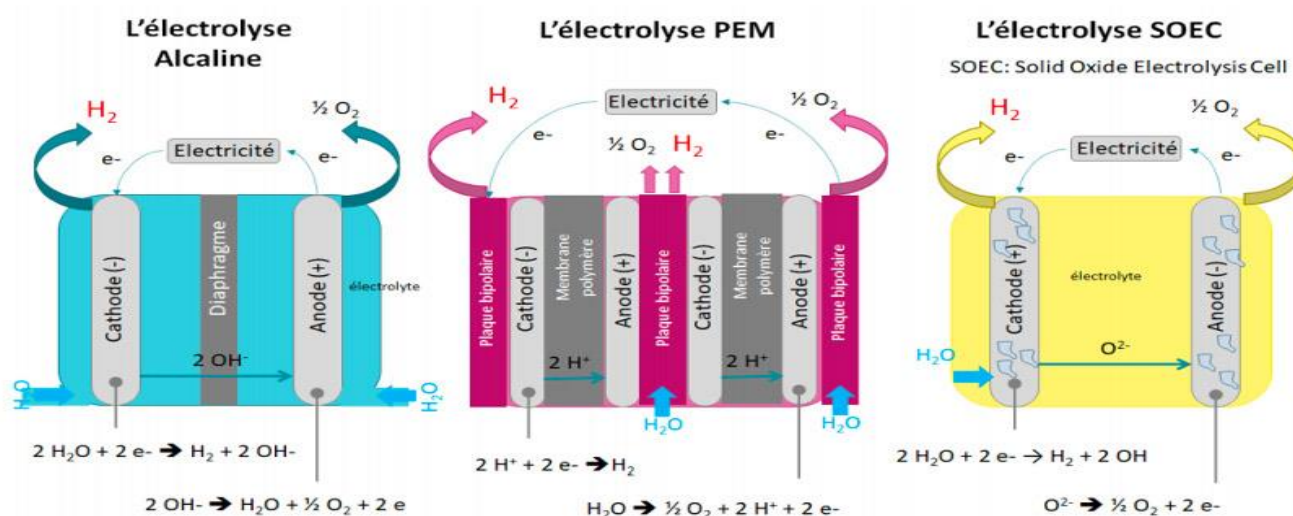


Figure 1.7 : les trois types principaux électrolyses de l'eau

Source : <https://www.orygeen.eu/>

¹ Alloprof. " L'électrolyse de l'eau". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://www.alloprof.qc.ca/fr>

² Suez. « Applications en traitement des eaux ». Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://www.suezwaterhandbook.fr>

Les trois types principaux d'électrolyse de l'eau (alcaline, PEM et SOEC) sont illustrées sur la figure 6 suivante : L'électrolyse alcaline utilise un électrolyte liquide (hydroxyde de potassium 25-30%) au sein duquel circulent des ions OH⁻.

Actuellement, l'électrolyse alcaline est toujours considérée comme étant la plus mature pour une application industrielle, étant donné son existence depuis le début du 20^e siècle, cependant l'électrolyse PEM rattrape progressivement son retard, et de nombreux fournisseurs proposent déjà cette technologie pour des applications industrielles.

Actuellement la puissance des unités d'électrolyse disponibles sur le marché pour une application industrielle varie d'environ 1 MW à environ 17.5 MW. Pour une usine d'électrolyse de 100 MW (équivalant à environ 20000 Nm³/h ou 1800 kg/h d'hydrogène, et utilisant une superficie d'environ 5000 m² 10), il faudrait donc de 6 à 100 unités d'électrolyse ; l'augmentation de la capacité unitaire des électrolyseurs constitue donc un défi important pour le développement de la production d'hydrogène vert par électrolyse à grande échelle.

4.3. Stockage de l'hydrogène

L'hydrogène pur peut être stocké principalement sous forme gazeuse ou sous forme liquide ; d'autres possibilités de stockage de l'hydrogène sont également en cours d'études (par exemple : sous forme d'hydrures), mais pas encore disponible au stade industriel.

Après transformation, l'hydrogène peut également être stocké sous la forme d'un autre vecteur énergétique, tel que l'ammoniac, le méthanol, le méthyl cyclohexane, dibenzyltoluène, etc.

4.3.1. Sous forme gazeuse

Comme pour les autres gaz, la quantité d'hydrogène stockable va dépendre de la pression du stockage ; par exemple : on peut stocker environ 84 g d'hydrogène dans 1 m³ à pression atmosphérique, et environ 25 kg à 350 bars. Les principaux types de stockage de l'hydrogène gazeux sont les suivants :

- **Stockage basse pression**

La pression opératoire limitée à quelques dizaines de bar (typiquement 30 bars), afin de limiter l'épaisseur des parois ; quantité d'hydrogène stockable limitée à quelques dizaines ou centaines de kg (en fonction des dimensions du récipient, diamètre et longueur).

- **Stockage haute pression**

La pression opératoire comprise entre 200 et 1000 bars ; quantité d'hydrogène stockable

dépendant de la pression et du nombre de tubes.

- **Stockage souterrain**

La pression opératoire d'environ 200 barg ; quantité d'hydrogène stockable pouvant atteindre plusieurs milliers de tonnes (en fonction des caractéristiques du stockage)

- **Gazoduc, aérien ou enterré**

La pression opératoire typiquement inférieure à 100 barg ; quantité d'hydrogène stockable dépendant du diamètre et de la longueur du gazoduc, de quelques centaines à quelques milliers de kg / km¹

Coût total d'un stockage d'hydrogène sous forme gazeuse à : ²

- 30 barg : environ 1800 USD / kg H₂
- 200 barg : environ 2200 USD / kg H₂
- 500 barg : environ 3200 USD / kg H₂
- 700 barg : environ 4200 USD / kg H₂

4.3.2. Sous forme liquide

Le stockage de l'hydrogène sous forme liquide (à environ -253 °C) permet de réduire son volume approximativement d'un facteur 800 (par rapport de l'hydrogène gazeux à pression atmosphérique), mais nécessite sa liquéfaction préalable. L'hydrogène liquide est stocké dans des réservoirs cryogéniques.

Début 2019, la capacité mondiale totale de liquéfaction de d'hydrogène était limitée à environ 200 tonnes par jour, avec un maximum de 54 t / j par usine. La liquéfaction de l'hydrogène est très coûteuse (financièrement et énergétiquement) ; la consommation des usines actuelles est égale à environ 1/3 du contenu énergétique de l'hydrogène. L'utilisation massive d'hydrogène liquide nécessitera une augmentation significative de la taille des usines de liquéfaction, ainsi qu'une diminution significative du coût de telles usines, ainsi que de leur consommation énergétique.

En 2019, la capacité de stockage la plus importante d'hydrogène liquide dans un réservoir sphérique était d'environ 4000 m³, et la littérature mentionnait que des sphères d'un volume de 15 000 m³ étaient réalisables (environ 30 m de diamètre).³

Coût total d'un stockage d'hydrogène sous forme gazeuse à

¹ Jeremy, refkin. " Stockage de l'hydrogène". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://fr.wikipedia.org/>

² Partenariat Énergétique Algéro-Allemand. « Étude exploratoire sur le potentiel du Power-to-X (hydrogène vert) pour l'Algérie ». 2021.page 69

³ Air liquide. " stocker l'hydrogène". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://energies.airliquide.com/>

- Pour 100000 Kg/Jour : Environ 300 millions de \$;
- Pour 200000 Kg/Jour : Environ 250 millions de \$¹.

4.4. Transport de l'hydrogène vert

L'hydrogène pur peut être transporté principalement sous forme gazeuse ou sous forme liquide.

4.4.1. Sous forme gazeuse

L'hydrogène sous forme gazeuse peut être transporté via :

- **Gazoduc**
 - Technologie existante, mais limitée à un total de quelques milliers de kilomètres dans le monde ;
 - Hydrogène pur, ou dilué dans du gaz naturel ;
 - Gazoduc existant, ou neuf.
- **Camion**
 - Technologie existante ;
 - Se référer au stockage d'hydrogène sous forme gazeuse haute pression multitudes ;
 - Quantité d'hydrogène : 300 à 1000 kg ;
 - Taille : équivalente à un container de 10 à 40 pieds (environ 3 à 12 m).²

4.4.2. Sous forme liquide

L'hydrogène sous forme liquide peut-être transporté via :

- **Camion**
 - Technologie existante ;
 - Conception similaires à des camions de transport de GNL ;
 - Capacité : quelques dizaines de m³, équivalant à quelques tonnes d'hydrogène liquide.
- **Navire**
 - Fin 2019 Kawasaki a mis a lancé un premier navire dédié au transport d'hydrogène liquide, d'une capacité limitée à 1250 m³ ; taux d'évaporation de la cargaison : environ 0.4 %vol / jour ;
 - Néanmoins le transport massif de l'hydrogène liquide, de manière similaire au GNL, reste encore au stade conceptuel.³

¹ Partenariat Energétique Algéro-Allemand. Op.cit. p70

² Guy, Maisonnier . « ***L'HYDROGÈNE : UN MARCHÉ A FORT POTENTIEL*** ». Consulté le 20 Février 2023, sur ce site <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr>

³ Sick sensor intelligent. « ***Transport et distribution de l'hydrogène vert : quelle technologie pour le comptage transactionnel ?*** ». Consulté le 20 Février 2023, sur ce site <https://www.sick.com/fr>

4.5. Cout de production d'hydrogène vert

Les coûts de production de l'hydrogène vert varient en fonction de plusieurs facteurs tels que la technologie d'électrolyseur utilisée, la taille de l'installation, les coûts de l'électricité renouvelable et d'autres considérations techniques. Les estimations actuelles situent les coûts de production de l'hydrogène vert entre 1,5 et 5 dollars américains par kilogramme d'hydrogène (USD/kg H₂) pour les électrolyseurs alcalins et entre 2 et 6 USD/kg H₂ pour les électrolyseurs PEM. Les électrolyseurs à oxyde solide sont une technologie émergente avec des coûts de production estimés entre 2 et 8 USD/kg H₂. Ces chiffres sont indicatifs et peuvent varier en fonction des conditions spécifiques du projet, des économies d'échelle et des avancées technologiques. Dans l'ensemble, les coûts de production de l'hydrogène vert sont en baisse grâce aux progrès technologiques et à l'augmentation de la demande, et on s'attend à ce qu'ils continuent à diminuer à mesure que l'industrie se développe.¹

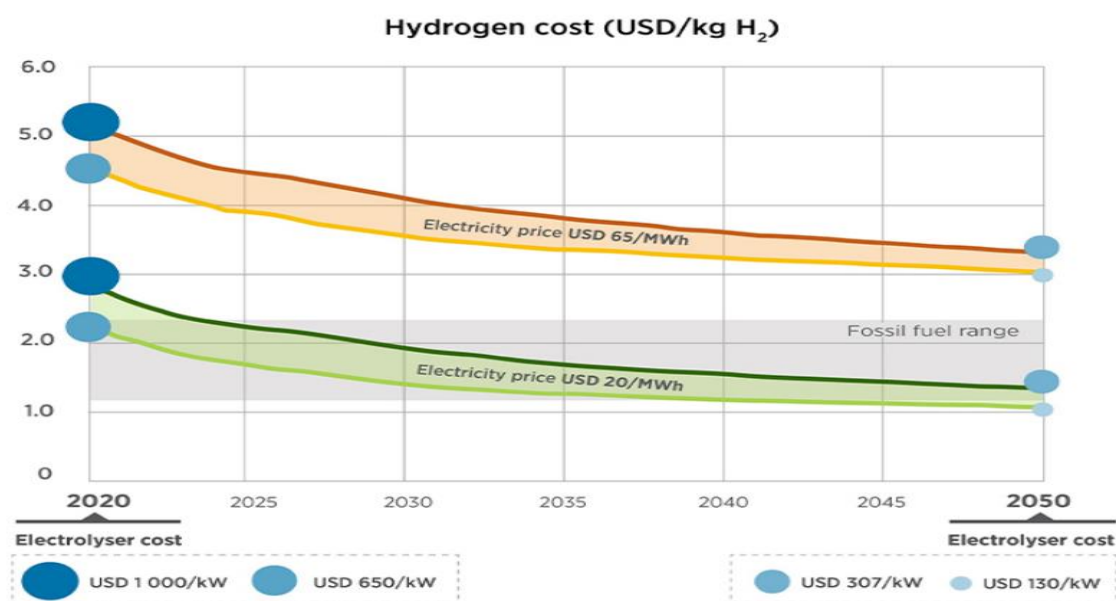


Figure 1.8 : cout de production H₂

Source : Rapport IRENA 2020

Ce graphe montre le coût de production de l'hydrogène en fonction du temps, avec des estimations jusqu'en 2050. Elle prend en compte le prix de l'électricité ainsi que les coûts des électrolyseurs nécessaires pour produire de l'hydrogène. Le graphique montre également la plage de coûts des hydrocarbures fossiles pour la comparaison.

¹ Energy transitions commissions . « *Faire de l'économie de l'hydrogène une réalité* ». Consulté le 21 Février 2023, sur ce site <https://www.energy-transitions.org>

Conclusion

En conclusion, l'énergie est un concept essentiel qui régit notre monde. Elle se présente sous différentes formes et peut être transformée pour répondre à nos besoins en matière de travail, de chauffage, de transport, etc. Les énergies renouvelables offrent une alternative durable et respectueuse de l'environnement aux sources d'énergie non renouvelables. L'hydrogène vert émerge également comme une solution prometteuse pour une économie bas-carbone, offrant la possibilité de stockage et de transport efficace de l'énergie renouvelable. En continuant d'explorer et de développer ces technologies, nous pouvons œuvrer vers une transition énergétique plus durable et contribuer à la préservation de notre planète pour les générations futures.

Chapitre 2

Vers une nouvelle ère énergétique

Introduction

Il est évident que notre mode de vie est fondé sur une énergie abondante et bon marché, et en tout premier lieu sur les hydrocarbures fossiles (pétrole et gaz).

Depuis une dizaine d'années, le concept de la transition énergétique est de plus en plus utilisé dans le langage politique. Dans les grandes lignes, une telle transition énergétique passe par une révision du mixe énergétique dont dispose un pays afin de diminuer la part des énergies fossiles au profit des énergies renouvelables.

Cependant, cette volonté de transition énergétique et les politiques menées pour mettre une telle évolution en place se heurtent à une série de difficultés qui aurait d'avantage tendance à consacrer un certain immobilisme.

La transition énergétique est indispensable pour assurer une réduction de la consommation énergétique par l'application d'une politique de maîtrise de l'énergie, pour la diversification du mix-énergétique par l'intégration des énergies renouvelables, et pour améliorer la qualité de vie et réduire les impacts énergétiques par l'aménagement du territoire.

Dans ce chapitre, nous aborderons les fondamentaux de la transition énergétique, les accords internationaux qui la soutiennent, les pays développés qui ont engagé des efforts significatifs dans ce domaine, ainsi que les modèles énergétiques qui émergent pour répondre à ces défis.

1. Les fondamentaux de la transition énergétique

1.1. Généralités

1.1.1. Définition de transition énergétique

La transition énergétique désigne le passage de l'état initial correspondant à un système énergétique carboné limité en ressources (basé sur des énergies de stock) à un état à venir correspondant à un système énergétique décarboné plus durable (basé sur des énergies de flux) et plus économique face aux enjeux d'évolution des prix, d'approvisionnement en énergie, d'épuisement des ressources naturelles et de respect de l'environnement. Elle prendra la forme d'un ensemble de ruptures majeures dans le système sociotechnique actuel.

Cette transition est indissociable de l'efficacité et de la sobriété énergétique (moteurs, ampoules électriques, bâtiments mieux isolés, etc.) et concernera presque toutes les activités humaines (transports, industries, éclairage, chauffage, ...).

La transition énergétique c'est :

- Consommer mieux en économisant l'énergie (moins de carburants fossiles, moins de transport, plus de confort thermique, plus d'efficacité dans l'industrie) ;
- Produire autrement en préservant l'environnement (plus de ressources locales, des énergies renouvelables, moins de déchets) ;
- Faire progresser la société grâce à des projets mobilisateurs (projets coopératifs de production d'énergie, services innovants) ;
- Créer des emplois dans de nouveaux métiers d'avenir et dans le bâtiment.¹

1.1.2. Nécessité d'une transition énergétique

Depuis le début de la révolution industrielle, les systèmes énergétiques ont été conçus et développés suivant le principe d'une production d'énergie toujours croissante, soutien indispensable à la croissance économique. La transition énergétique est une préoccupation internationale, car elle répond aux problématiques globales du réchauffement climatique, atteinte à la biodiversité, raréfaction des énergies fossiles et inégalité des sources d'approvisionnement. Comme elle suppose une réelle modification des comportements. Le nouveau paradigme

¹ DURUISSEAU, K. « L'émergence du concept de transition énergétique : Quels apports de la Géographie ? » 2014. P21.

énergétique est fondé sur le fait que l'on peut, en agissant sur les facteurs de la consommation, obtenir la satisfaction des services énergétiques (confort, déplacement, production) avec une faible consommation d'énergie. Les actions sur la demande deviennent alors au moins aussi importantes que les actions sur l'offre : construction bioclimatique, rénovation énergétique des bâtiments existants, développement des modes de déplacement doux, des transports collectifs et du train, appareils électroménagers et audiovisuels plus efficaces, moteurs électriques plus performants. La transition énergétique concerne tout le monde. Chacun peut contribuer à une société plus pérenne. Les activités et entités les plus consommatrices ou productrices d'énergie restent ciblées en priorité. Il peut s'agir de producteurs d'énergie ou de gros consommateurs.¹

1.1.3. Les avantages et les inconvénients de la transition énergétique

Malgré les avantages qu'elle apporte, la transition énergétique a aussi quelques limites à ne pas négliger :

1.1.3.1. Les avantages

Les énergies éoliennes et hydrauliques coûtent moins cher que certaines énergies conventionnelles ;

L'approvisionnement en énergie coûte considérablement moins cher sur le long terme ;

Au niveau national, un accroissement de la richesse peut s'observer grâce à l'arrêt de l'importation des énergies fossiles ;

Mise à base des conflits liés aux ressources, comme cela a été le cas en Irak pour le pétrole ;

Une plus grande indépendance économique vis-vis de nombreux pays exportateurs d'énergies fossiles ;

Une réduction notable des gaz à effet de serre et donc du réchauffement climatique ;

Aucun risque d'explosion de centrales nucléaires ou de centrales à charbon ;

Les déchets radioactifs cessent d'être un problème, puisqu'ils ne sont plus produits ;

Plus aucune destruction de l'environnement liée à l'extraction du gaz naturel.

1.1.3.2. Les inconvénients

- Les énergies renouvelables, quelles qu'elles soient, dépendent exclusivement des conditions météorologiques ;

¹ RAHMOUN, S. « *Etude prospective de la transition énergétique et l'impact environnemental en Algérie* ». Thèse de doctorat ES-Sciences. Université KASDI MERBAH. 2019. P49.

- Pour pallier l'instabilité des énergies renouvelables en termes d'approvisionnement, un système de stockage doit être mis en place. Or les besoins sont incompatibles avec les ressources actuelles ;
- Concernant le stockage, certaines techniques obligent à bénéficier de beaucoup d'espace, parfois indispensable dans certains pays ;
- Une concurrence peut émerger entre les pays producteurs de biocarburants et les pays producteurs de produits d'alimentations, en effet, les prix des terres agricoles peuvent potentiellement augmenter ;
- Les coûts de productions de l'énergie renouvelable se reportent sur l'ensemble des consommateurs, étant donné que peu de concurrence existe sur le marché pour l'électricité renouvelable ;
- La transition énergétique telle qu'elle est pensée aujourd'hui ne concerne que les pays développés, créant ainsi de nouveau de fortes inégalités.¹

1.2. Les Enjeux de la transition énergétique dans le monde

La transition énergétique est l'une des composantes de la transition écologique et l'un des enjeux majeurs du développement durable ou soutenable. Elle se décline de manière différente selon les pays, Les évolutions des politiques énergétiques tournent autour de trois enjeux globaux de long terme au niveau mondial. Nous tenons de les présenter ci-dessous. ²

1.2.1. Enjeux environnementaux

Les enjeux environnementaux liés à la transition énergétique sont cruciaux, car ils visent à répondre aux défis posés par le changement climatique et la dégradation de l'environnement.

Voici quelques exemples:

- **Réduction des émissions de gaz à effet de serre**

La transition énergétique vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre, qui sont la principale cause du changement climatique. Cela implique de réduire la consommation d'énergie fossile et de promouvoir les énergies renouvelables ;

¹ SETTOU, B. « *Contribution à la maîtrise de la transition énergétique en Algérie* ». Thèse de doctorat. Université KASDI MERBAH. 2021. P39.

² RABIA, N et RAMIDI, H. « *Rôle de la transition énergétique dans l'économie nationale : cas de l'Algérie* ». Master. Université A. MIRA de BEJAIA. 2021. page 10

- **Protection de la biodiversité**

La transition énergétique doit être menée en prenant en compte les impacts sur la biodiversité, en particulier sur les écosystèmes terrestres et marins. Les énergies renouvelables peuvent avoir des impacts négatifs sur la faune et la flore, mais ils sont souvent moins importants que ceux des énergies fossiles ;

- **Préservation des ressources naturelles**

La transition énergétique doit également prendre en compte la gestion durable des ressources naturelles, comme l'eau, les minerais et les terres rares nécessaires à la production d'énergie renouvelable. La réduction de la consommation d'énergie et l'amélioration de l'efficacité énergétique peut contribuer à réduire la pression sur ces ressources ;

- **Gestion des déchets**

La production d'énergie génère des déchets, qu'ils soient radioactifs pour l'énergie nucléaire ou non-radioactifs pour les autres sources d'énergie. La transition énergétique doit intégrer une gestion responsable et durable de ces déchets pour minimiser les impacts sur l'environnement et la santé ;

- **Adaptation au changement climatique**

La transition énergétique doit également intégrer des mesures d'adaptation aux impacts du changement climatique, tels que l'augmentation du niveau de la mer, les sécheresses ou les tempêtes. Cela peut impliquer des investissements dans des infrastructures résilientes, comme des systèmes de protection côtière ou des systèmes d'irrigation plus efficaces.¹

1.2.2. Enjeux économiques

Les enjeux économiques liés à la transition énergétique sont nombreux et complexes. Voici quelques exemples:

- **Investissements**

La transition énergétique nécessite des investissements massifs dans les infrastructures, les technologies et les services liés aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique. Ces investissements peuvent représenter des opportunités économiques importantes, mais peuvent également être coûteux à court terme ;

- **Création d'emplois**

¹ Ibid.

La transition énergétique peut contribuer à créer de nouveaux emplois dans les secteurs des énergies renouvelables, de l'efficacité énergétique et de la gestion des déchets. Cependant, certains secteurs peuvent voir leurs effectifs diminuer, notamment dans les industries liées aux combustibles fossiles ;

- **Innovation**

La transition énergétique nécessite des innovations technologiques et organisationnelles pour développer des solutions durables et compétitives. Les politiques de transition énergétique doivent donc encourager la recherche et le développement de nouvelles technologies et de nouveaux modèles d'affaires ;

- **Compétitivité**

La transition énergétique peut contribuer à améliorer la compétitivité des entreprises en réduisant les coûts énergétiques et en stimulant l'innovation. Cependant, la mise en place de politiques de transition énergétique doit également prendre en compte les enjeux de compétitivité internationale pour éviter les distorsions de concurrence ;

- **Fiscalité**

Les politiques de transition énergétique peuvent impliquer des réformes fiscales pour encourager les comportements vertueux et décourager les comportements nuisibles à l'environnement. Ces réformes peuvent avoir des impacts importants sur les finances publiques et sur les comportements des entreprises et des ménages.¹

1.2.3. Enjeux sociétaux

La transition énergétique comporte également des enjeux sociétaux. Voici quelques exemples:

- **L'accès à l'énergie**

La transition énergétique doit permettre de garantir un accès à l'énergie pour tous, notamment dans les pays en développement ou les régions isolées. La mise en place de systèmes d'énergie renouvelable décentralisés peut contribuer à résoudre ce problème ;

- **La justice sociale**

La transition énergétique doit être menée de manière équitable, en prenant en compte les besoins et les perspectives des populations les plus vulnérables. Les politiques de transition énergétique

¹. RABIA, N et RAMIDI, H, Op.cit. P11.

doivent être conçues de manière à éviter les impacts négatifs sur les populations les plus précaires, notamment en termes de hausse des prix de l'énergie ;

- **La participation citoyenne**

La transition énergétique doit être un projet participatif, qui implique les citoyens et les acteurs locaux. Les processus de concertation et de participation citoyenne permettent d'assurer une meilleure acceptabilité des projets et une meilleure appropriation par les populations locales ;

- **La gouvernance**

La transition énergétique nécessite une gouvernance adaptée, capable de coordonner les différents acteurs et de garantir une cohérence d'ensemble. Les politiques de transition énergétique doivent également être alignées sur les objectifs de développement durable et les engagements internationaux en matière de lutte contre le changement climatique.¹

1.2.4. Les enjeux énergétiques

Les enjeux énergétiques liés à la transition énergétique sont multiples et concernent notamment :

- Transition vers un mix énergétique plus propre et plus diversifié ;
- Réduction de la consommation d'énergie et amélioration de l'efficacité énergétique ;
- Promotion des énergies renouvelables pour une production d'énergie plus décentralisée et plus autonome ;
- Sécurisation de l'approvisionnement énergétique et réduction de la vulnérabilité aux chocs externes.

En somme, la transition énergétique est un enjeu multidimensionnel qui nécessite une approche globale pour répondre aux défis environnementaux, économiques, sociétaux et énergétiques. En adoptant des politiques et des pratiques favorables à la transition énergétique, les pays peuvent contribuer à une économie plus verte, plus résiliente et plus durable.²

2. Les accords internationaux

Il existe plusieurs accords internationaux qui ont pour objectif de favoriser la transition énergétique et de lutter contre le changement climatique. Les principaux accords sont les suivants :

¹ RABIA, N et RAMIDI, H, Op.cit. P12.

² RABIA, N et RAMIDI, H, Op.cit.P13.

2.1. La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques*

Adoptée en 1992, est un accord international qui vise à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Elle a été suivie du Protocole de Kyoto en 1997, qui a établi des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour les pays développés ;

2.2. L'accord de Paris sur le climat

Adopté en 2015, l'accord de Paris vise à limiter le réchauffement climatique à moins de 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels, voire à 1,5 degré Celsius si possible. Les pays signataires se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à mettre en place des politiques de transition énergétique pour atteindre cet objectif.

2.3. Les objectifs de développement durable (ODD)

Adoptés par l'Assemblée générale des Nations unies en 2015, les ODD visent à éradiquer la pauvreté, à protéger la planète et à assurer la prospérité pour tous. L'ODD numéro 7, en particulier, vise à assurer l'accès de tous à des sources d'énergie fiables, durables et modernes à un coût abordable.

2.4. La stratégie de l'Union européenne en matière d'énergie propre pour tous les Européens

Adoptée en 2018, cette stratégie vise à accélérer la transition énergétique en Europe en augmentant la part des énergies renouvelables dans la production d'énergie, en améliorant l'efficacité énergétique et en favorisant l'innovation.

2.5. La coopération internationale en matière d'énergie propre

De nombreux pays ont mis en place des initiatives de coopération pour favoriser la transition énergétique dans les pays en développement. Par exemple, le programme Initiative pour l'énergie durable en Afrique vise à améliorer l'accès à l'énergie en Afrique tout en encourageant l'utilisation de sources d'énergie renouvelable.

La Stratégie énergétique 2030 de l'Union européenne, adoptée en 2010, vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'UE de 80 à 95 % d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 1990.

* CCNUCC

La stratégie comprend des objectifs spécifiques en matière d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables.

Ces accords internationaux visent à mobiliser les pays et les acteurs de la société civile pour accélérer la transition énergétique et lutter contre le changement climatique. Ils sont un moyen de coordonner les efforts et d'harmoniser les politiques à l'échelle internationale pour atteindre les objectifs de la transition énergétique de manière efficace et cohérente.¹

3. Les modèles des pays réussis dans la transition énergétique

3.1. La Suède

La Suède a accordé une importance particulière au développement des énergies renouvelables et surtout à l'efficacité énergétique. Les énergies renouvelables en Suède se sont développées au fil du temps, principalement grâce à l'hydroélectricité et à la bioénergie.

La production totale a plus que doublé dans la période 1970 à 1990, passant de 60TWh à 140 TWh. La production annuelle reste très variable en fonction du niveau de précipitations et peut varier de 10 % (+/- 15 TWh) d'une année à l'autre, comme ça a été le cas en 2012. Pris dans son ensemble, le système électrique suédois affiche une intensité carbone parmi les plus faibles d'Europe et du monde, fondée sur l'importante production hydro (48%), suivie par le nucléaire (38%) et l'utilisation efficace des centrales à biomasse en cogénération.

En 2016, la première route électrifiée au monde a été ouverte en Suède, ils utilisent également les déchets, la biomasse, l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique plus que la plupart des pays. La Suède a été le premier pays à atteindre ses objectifs en matière d'énergies renouvelables fixés par l'Union européenne (UE) pour 2020. Ce résultat a été atteint avec huit ans d'avance grâce à l'apport continu d'énergies renouvelables et aux efforts déployés pour les maintenir. Le gouvernement suédois cherche à rendre le pays climatiquement neutre d'ici 2045 et espère atteindre 100 % d'énergies renouvelables d'ici 2040.

Les projets d'énergies renouvelables continuent de voir le jour en Suède. Un exemple en est le partenariat entre Uniper Engineering et Forum Next dans le cadre de trois projets relatifs à

¹ Catherine Hours et Julien Mivielle. « *En France, la transition énergétique à un tournant ?* ». Consulté le 05 Mars2023, sur ce site <https://www.latribune.fr/>

l'optimisation de l'hydroélectricité et des échanges physiques nordiques, à l'hydrogène et au développement de l'énergie éolienne et solaire. Ils prévoient de l'achever en 2025.

Les taxes élevées sur le carbone et les prix bon marché de l'énergie favorisent la croissance des énergies renouvelables en Suède. La taxe sur le carbone est un excellent moyen d'aborder les problèmes d'émissions en Suède et d'offrir des incitations et des opportunités pour les énergies renouvelables.

En outre, l'Agence suédoise de l'énergie, qui existe depuis 1998, a récemment été chargée de trouver des stratégies pour inclure davantage d'énergie solaire dans le mélange afin d'atteindre l'objectif de 100 % d'énergies renouvelables pour 2040.¹

3.2. Le Maroc

Tenant compte les problèmes au niveau d'approvisionnement d'énergie, poids de sa facture, pollution..., et en raison de la présence d'importantes ressources énergétiques propres et saines, le Maroc est donc amené à orienter sa politique énergétique vers la diversification des sources d'approvisionnement et la valorisation des ressources nationales, à travers la promotion de toutes les formes mobilisables des énergies renouvelables et propres. Les énergies renouvelables au Maroc ont représenté 9,7 % de la consommation intérieure brute d'énergie en 2019 (dont 5,9% de biomasse, 3,4 % d'éolien et solaire et 0,5 % d'hydroélectricité) et 19% de la production d'électricité (18,5 % en 2020).²

3.2.1. Energie éolienne

Le Maroc bénéficie de ressources éoliennes assez favorables, tant au nord du pays près de Tanger qu'à l'ouest où certaines régions bénéficient d'alizés réguliers.

En 2020, 11,5% de l'électricité produite au Maroc provenait de l'énergie éolienne.

Objectifs et résultats attendus en matière d'énergie éolienne des producteurs indépendants ont installé 620 MW pour des clients industriels (Akhfennir, 200 MW ; Fom El Oued, 50 MW ; El Haouma, 50 MW ; JbelKhalladi, 120 MW, Aftissat 200 MW) (IEA, 2019).

¹ BOUDEHANE, T et CHARANI, W. « *Développement des énergies renouvelables pour l'approvisionnement d'électricité en Algérie cas de Tébessa* ». Mémoire Master, Université m'hamed bougara de Boumerdes, 2022, P 43.

² Op.cit. P44.

L'ONEE a lancé un programme éolien intégré qui atteindra une capacité de 1000 MW depuis l'accomplissement de six parcs éoliens. Cours de développement à Taza. Les cinq autres parcs éoliens prévus durant la période 2018-2021 sont :

- Le projet de (Midelt), 180 MW ;
- Le projet de (Tanger II), 70 MW ;
- Le projet de (Tiskrad), 300 MW ;
- Le projet de (Jbel Lahdid), 200 MW ;
- Le projet de (Boujdour), 100 MW.

3.2.2. Energie solaire :

Le Maroc possède l'un des taux d'insolation les plus élevés : environ 3 000 heures d'ensoleillement par an, mais jusqu'à 3 600 heures dans le désert.

Le plan solaire marocain a été lancé en 2009. L'objectif de ce projet était d'atteindre une capacité totale installée de 2000 MW en 2020 avec le développement d'installations CSP et PV à grande échelle dans cinq sites différents sur une superficie totale de 10.000 ha pour une production finale de 4500 GWh (Tekken et al. 2009).

Les coûts d'investissement du projet sont 9 milliards de dollars US, mais il devrait réaliser une économie d'un million de Tep (tonne d'équivalent pétrole) et 3,7 millions de tonnes d'émissions de CO₂ par an. La capacité totale de la première phase du projet est de 580 MW et comprendra la construction d'une CSP dans la région. Le coût de ce projet est supérieur à celui d'autres centrales électriques, mais le pays espère augmenter la valeur ajoutée du projet grâce aux caractéristiques locales et à l'intégration industrielle. Cependant, le projet n'en est qu'à ses débuts et le travail d'évaluation a encore un long chemin à parcourir.

Le deuxième projet (NOOR II), doté d'une capacité de 200 MW et de 7 heures de stockage, a démarré au cours du troisième trimestre 2015.

Le troisième projet (NOOR III), qui est une tour d'une capacité de 150 MW et plus de 7 heures de stockage, a été mis en construction à peu près au même moment. Masen élabore également un nouveau programme appelé NOOR PV I qui consiste en trois centrales photovoltaïques d'une capacité totale de 170 MW et d'une production annuelle de 320 GWhs (Bennouna et El hebil, 2016).

L'ONEE a lancé un programme de développement de centrales solaires photovoltaïques de taille moyenne (20 à 30 MW), qui permettra d'améliorer la sécurité de l'approvisionnement en électricité dans les régions ciblées.

Ce programme comprend les projets suivants :

- Le projet << NOOR ATLAS » est destiné à répondre aux besoins dans plusieurs sites en déployant huit centrales solaires photovoltaïques d'une capacité de 200 MW à Boudnib, Bouaanane, Outat El Haj, Enjil, Ain Beni Mathar, Tata, Bouizakarne, et Tan.
- Le projet NOOR Tafilalt vise à soutenir les réseaux de Zagora, Arfoud, et Misour grâce à trois centrales solaires photovoltaïques d'une capacité de 120 MW.¹

3.2.3. Cadre réglementaire

Le Maroc a procédé par une ouverture progressive du marché marquée par l'adoption de plusieurs lois ayant accéléré le recours aux énergies renouvelables pour la production de l'électricité. Tout d'abord, la **loi n°13-09** relative aux énergies renouvelables constitue la pierre angulaire de l'implication des acteurs du secteur privé. Parmi les innovations introduites par cette loi, dont les impacts sont étudiés par marché, il faut citer l'ouverture à la concurrence de la production d'énergies renouvelables, le droit d'accès au réseau électrique national moyenne tension, haute tension et très haute tension pour tout producteur d'électricité d'origine renouvelable ainsi que le droit d'exporter l'électricité en utilisant le réseau national, et ce moyennant le paiement d'une redevance annuelle à l'Etat.

Ensuite, la **loi n°58-15** modifiant et complétant la loi n°13-09 a étendu le champ de la loi relative aux énergies renouvelables aux réseaux de distribution électrique. Les développeurs privés de projets d'énergies renouvelables peuvent désormais raccorder leurs installations de production au réseau moyenne tension et bénéficient, avec certaines restrictions d'un accès aux utilisateurs finaux. Cependant, le nombre de consommateurs ayant la possibilité de conclure des contrats d'achat avec des fournisseurs privés est très limité. La loi prévoit des dispositions afin de compenser les pertes consécutives que subiraient éventuellement les distributeurs privés. Elle introduit l'ouverture du marché de l'électricité d'origine renouvelable à la moyenne tension et à la basse tension, et un système de comptage net notamment pour les centrales solaires, permettant ainsi aux investisseurs privés de vendre le surplus de production d'électricité issue des énergies

¹ BOUDEHANE, T et CHARANI, Op.cit. P46.

renouvelables au réseau national de haute tension, de très haute tension et de basse tension, sans toutefois dépasser 20 pour cent de leur production annuelle. Elle encourage ainsi les initiatives privées en autorisant la production, la commercialisation et l'exportation. Des dispositions réglementaires devraient être promulguées pour préciser les modalités du système de facturation nette et de l'ouverture du réseau basse tension.¹

4. Les modèles énergétiques

Il existe différents modèles de transition énergétique visant à passer d'une économie basée sur les combustibles fossiles à une économie basée sur les énergies renouvelables et plus respectueuse de l'environnement.

Voici quelques exemples de modèles énergétiques de transition énergétique :

4.1. Le modèle énergétiques 100% renouvelables

Le modèle 100 % énergies renouvelables est un modèle de transition énergétique qui vise à atteindre une production d'énergie entièrement renouvelable, sans l'utilisation d'énergies fossiles. Ce modèle repose sur l'utilisation de sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et de la biomasse.

Les avantages de ce modèle incluent la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la réduction de la dépendance aux énergies fossiles, la création d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables et la promotion de l'innovation technologique.

Cependant, le modèle 100 % énergies renouvelables peut également poser des défis. Par exemple, les sources d'énergie renouvelable ne sont pas toujours disponibles à tout moment, ce qui nécessite des technologies de stockage d'énergie efficaces. De plus, la production d'énergie renouvelable nécessite souvent une utilisation importante de terres et de ressources naturelles.

En fin de compte, la transition vers un modèle 100 % énergies renouvelables nécessite une planification minutieuse et une collaboration entre les gouvernements, les entreprises et les communautés locales pour garantir une production d'énergie fiable et durable à long terme.²

¹ Mailys Hubert et Inès Rejraji. « *La libéralisation du marché de l'énergie solaire au Maroc* », Rapport pays, M2 Droits africains, Mai 202., P 4.

² Guillaume, C. Journals open Editing. « *La transition énergétique : des modèles diversifiés et contrastés à l'échelle régionale* », 2017.P 63.

4.2. Le modèle Smart grid

Ce modèle repose sur un système d'électricité intelligente qui intègre les technologies numériques pour améliorer l'efficacité énergétique et la gestion du réseau électrique. Il permet notamment de maximiser l'utilisation des énergies renouvelables en les adaptant à la demande et de stocker l'énergie pour pallier leur intermittence.

Les avantages du modèle Smartgrid incluent une réduction de la consommation d'énergie, une meilleure intégration des énergies renouvelables, une réduction des coûts et une meilleure résilience du réseau électrique en cas de perturbations.

Ce modèle peut également poser des défis. Par exemple, il nécessite des investissements importants dans les technologies de l'information et de la communication, ainsi qu'une mise à niveau des infrastructures du réseau électrique. De plus, il peut soulever des questions de confidentialité et de sécurité des données.¹

4.3. Les communautés énergétiques locales

Ce modèle repose sur des projets d'énergie renouvelable locaux et gérés par la communauté, tels que des centrales solaires ou éoliennes. Les membres de la communauté peuvent alors acheter l'énergie produite localement et profitent ainsi des économies d'échelle.

Les avantages des communautés énergétiques locales sont nombreux. Elles permettent aux citoyens de devenir des acteurs de la transition énergétique en produisant de l'énergie renouvelable et en réduisant leur dépendance aux énergies fossiles. Elles favorisent également le développement économique local et la création d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables. Enfin, elles contribuent à renforcer la résilience énergétique des communautés en cas de perturbations du réseau électrique.

Cependant, le modèle des communautés énergétiques locales peut également poser des défis. Par exemple, il peut nécessiter des investissements initiaux importants pour la mise en place des infrastructures et des technologies nécessaires à la production d'énergie renouvelable. De plus, il peut être difficile de concilier les intérêts et les opinions des différents membres de la communauté.²

¹ Op.cit. P 66.

² Guillaume, C, Op.cit. P 70.

4.4. Le modèle de ville intelligente

Ce modèle combine des innovations technologiques et des pratiques durables pour optimiser les ressources énergétiques de la ville tout en améliorant la qualité de vie des citoyens. Il permet notamment la promotion de l'efficacité énergétique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la production d'énergie renouvelable locale.

Les avantages du modèle de ville intelligente incluent une amélioration de la qualité de l'air et de l'environnement, une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre, une meilleure gestion des ressources naturelles et une amélioration de la qualité de vie des habitants.

Cependant, le modèle de ville intelligente peut également poser des défis. Par exemple, il peut nécessiter des investissements importants pour la mise en place des infrastructures et des technologies nécessaires, ainsi qu'une collaboration étroite entre les secteurs public et privé pour la planification et la gestion de ces projets.

- Ces différents modèles énergétiques de transition énergétique permettent de répondre aux enjeux de la transition énergétique en proposant des solutions durables et respectueuses de l'environnement.
- Ces modèles énergétiques de transition énergétique ne sont pas mutuellement exclusifs et peuvent être combinés pour atteindre les objectifs de la transition énergétique. Le choix des modèles dépendra des ressources en énergie disponibles, des besoins énergétiques, des politiques et des réglementations en vigueur, ainsi que des considérations économiques, environnementales et sociales.¹

¹ Op.cit. P72.

Conclusion

La transition énergétique est une entreprise cruciale pour notre avenir. Elle nécessite la collaboration de tous les acteurs, des gouvernements aux entreprises et aux individus, pour promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables, améliorer l'efficacité énergétique et réduire notre empreinte carbone.

Le prochain chapitre se concentrera spécifiquement sur les énergies renouvelables en Algérie et l'hydrogène vert, explorant le potentiel du pays dans ces domaines et les initiatives en cours. Il offrira une vision plus détaillée des efforts déployés par l'Algérie pour contribuer à la transition énergétique mondiale

Chapitre 3

La réalité des énergies renouvelables en Algérie

Introduction

L'Algérie s'est lancée dans une voie de transition et d'efficacité énergétique, dans le cadre du programme national de développement des énergies renouvelables, un premier appel d'offres pour un lot de 1000 MW a été lancé, la concrétisation de ce programme se poursuivra en crescendo pour atteindre les 15 000 MW en 2035.

Aussi, L'Algérie ambitionne de faire de l'hydrogène un vecteur stratégique de son programme de transition énergétique et de ses engagements climatiques La feuille de route permettra le passage de la production de l'hydrogène gris, à l'hydrogène bleu puis vert, ainsi que le passage des projets pilote à des projets de taille industrielle.

Les potentialités et atouts qu'offres l'Algérie pour le développement des projets EnR et ceux de la filière hydrogène, représentent des avantages concurrentiels de taille la réussite de ces projets est tributaire aussi d'un transfert de technologie ainsi que le partage des risques à travers une coopération et partenariat gagnant.

Ce chapitre se concentrera sur le développement des ENR en Algérie, en mettant en évidence le potentiel des différentes sources d'énergie renouvelable, en particulier l'hydrogène vert. Nous examinerons également le Programme National de Développement des ENR en Algérie, ainsi que le cadre réglementaire qui favorise leur déploiement.

1. Les énergies renouvelables en Algérie

1.1. Panorama de potentiel des énergies renouvelables en Algérie

On va donner un aperçu général du potentiel des énergies renouvelables en Algérie :

1.1.1. Potentiel Solaire

1.1.1.1. L'énergie solaire photovoltaïque

La stratégie énergétique de l'Algérie repose sur l'accélération du développement de l'énergie solaire. Le gouvernement lance de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 800 MWc en 2020. D'autres projets d'une capacité de 200 MWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030.¹

1.1.1.2. L'Energie Solaire Thermique

L'Algérie entend mettre en valeur son potentiel solaire, l'un des plus importants au monde, en lançant des projets importants en solaire thermique. Sur la période 2016-2020, quatre centrales solaires thermiques avec stockage d'une puissance totale d'environ 1 200 MW devraient être mises en service. Le programme de la phase 2021-2030 prévoit l'installation de 500 MW par an jusqu'en 2023, puis 600 MW par an jusqu'en 2030. (Maghreb, 2017) Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud. (Figure 3.1).²

¹ FENNI, F. Revue organisation et travail. « Potentiels et perspectives des énergies renouvelables en Algérie ». 2022.p 403

² MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. « Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie ». Consulté le 05 Mars2023, sur ce site <https://www.energy.gov.dz/>

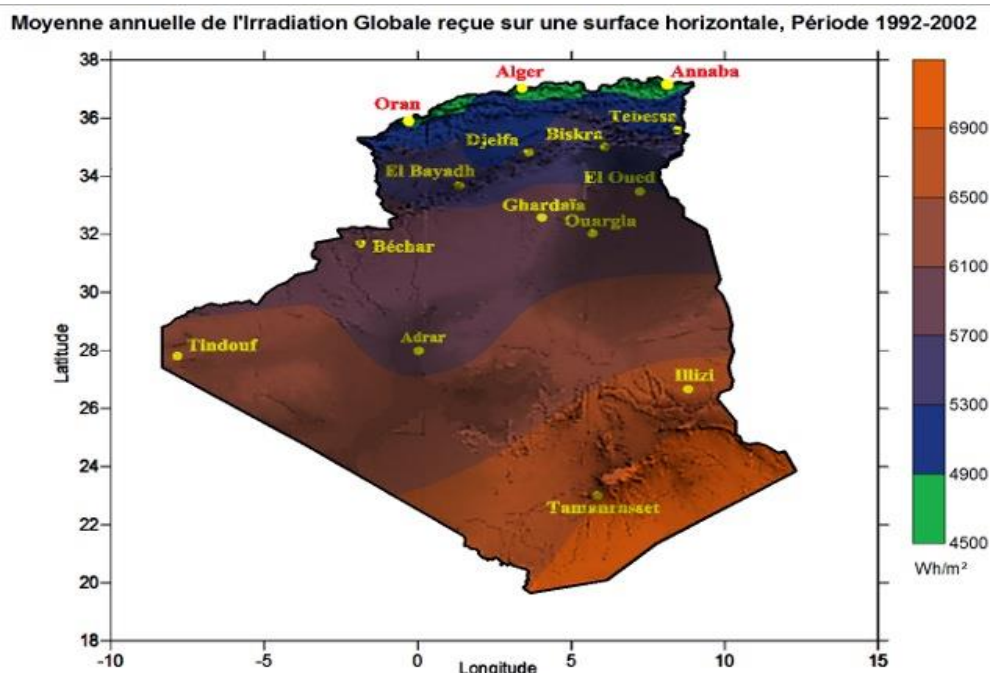


Figure 3.1 : Carte d'irradiation directe annuel moyen

Source : <https://www.cder.dz/>

1.1.2. Potentiel éolien

Le programme ENR algérien prévoit, suite à des études qui seront menées pour détecter les emplacements favorables, la réalisation de plusieurs projets sur la période allant jusqu'à 2030 pour une puissance d'environ 1 700 MW. La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifié. La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel). Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El bayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s).¹

¹ Himri, Y et Rehman, S Review. « *Overview of the Role of Energy Resources in Algeria's Energy Transition* ». 2022.p 18

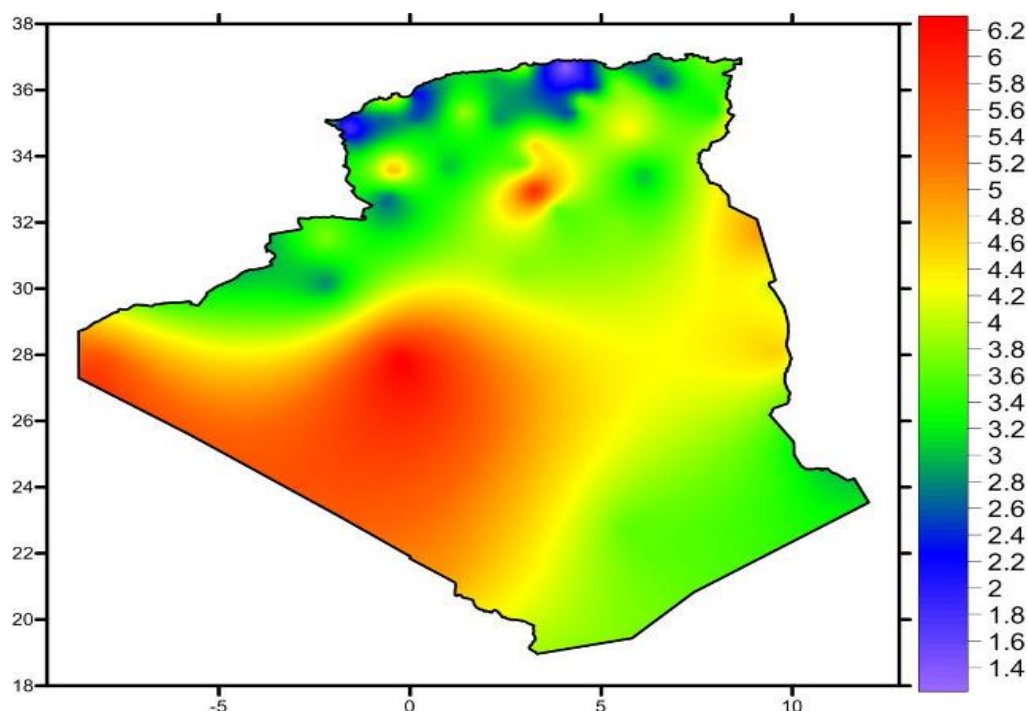


Figure 3.2 : Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol

Source: <https://www.cder.dz/>

1.1.3. Potentiel géothermique

L'exploitation des eaux souterraines et le développement des pompes à chaleurs pourraient faire de la géothermie une des grandes énergies durables de demain. La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra. Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m : Zone de Relizane et Mascara, Zone de Aïne Boucif et Sidi Aïssa, Zone de Guelma et Djebel El Onk.¹

1.1.4. Potentiel hydraulique

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer. Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les

¹ MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. « *Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Énergie* ». Consulté le 05 Mars2023, sur ce site <https://www.energy.gov.dz/>

ressources en surface. 103 sites de barrages ont été recensés. Plus, de 50 barrages sont actuellement en exploitation.¹

1.2. Potentiel de l'hydrogène vert

Le rendement de production d'hydrogène vert est proportionnel au potentiel d'énergie renouvelable et à l'efficacité de conversion du système d'électrolyse. Le rendement annuel en hydrogène par unité de surface est défini en tant que facteur d'évaluation du potentiel géographique de production d'hydrogène. Le facteur d'évaluation décrit la quantité d'hydrogène qui peut théoriquement être produite par an, à un emplacement géographique spécifique, compte tenu du facteur de capacité du EnR (site spécifique), du facteur d'installation (indépendant du site) de l'usine EnR et de l'efficacité du système d'électrolyse (site indépendant).

Sur la base du potentiel d'irradiation solaire en Algérie, qui augmente naturellement vers l'équateur, un gradient nord-sud du potentiel de production d'hydrogène spécifique a été observé. Dans la partie nord de l'Algérie, le rendement spécifique en hydrogène est compris entre 29 et 39 Mio. Kg / (km² / an).

Dans la partie centrale de l'Algérie, le rendement spécifique en hydrogène augmente à 40 - 41 Mio. Kg / (km² / an).

Dans la partie sud de l'Algérie, la région peut être subdivisée en régions à fort potentiel dans la région sud-est du Montagnes Hoggar avec un rendement d'hydrogène spécifique de 41 à 43 Mio. Kg / (km² / an) et régions à potentiel moyen vers la frontière mauritanienne avec un rendement hydrogène spécifique de 39 à 40 Mio. Kg / (km² / an).

Le plus grand potentiel de production d'hydrogène spécifique à partir de l'énergie photovoltaïque se trouve dans la région sud-est de l'Algérie dans la région des monts Hoggar et Tassili-N-Ajjer, à savoir dans les provinces d'Illizi et de Tamanrasset. Le potentiel de production d'hydrogène spécifique le plus faible à partir de l'énergie photovoltaïque se trouve dans la région du nord-est de la Méditerranée, entre Bejaia et Annaba.²

¹ FENNI, F. Revue organisation et travail. « Potentiels et perspectives des énergies renouvelables en Algérie ». 2022.page 405

² Partenariat Energétique Algéro-Allemand. « Étude exploratoire sur le potentiel du Power-to-X (hydrogène vert) pour l'Algérie ». 2021.pp 57-58

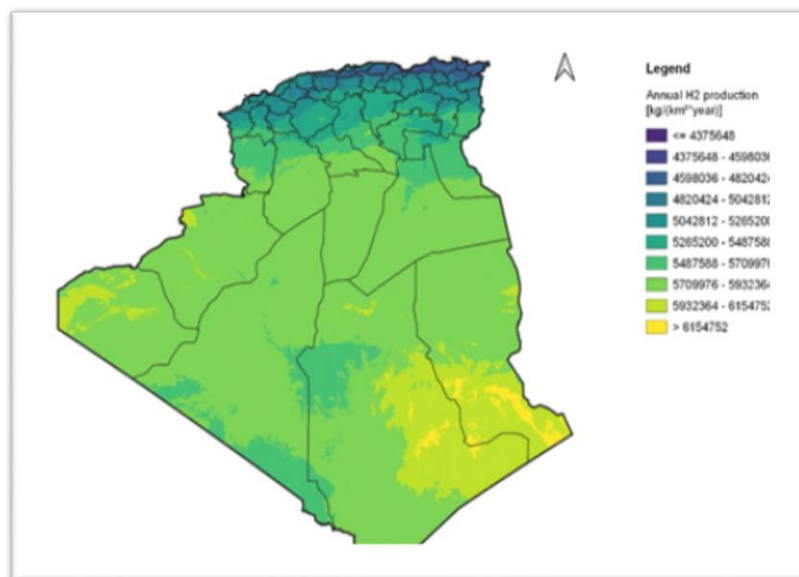


Figure 3.3 : Rendement spécifique d'hydrogène vert à partir de l'énergie photovoltaïque

Source : Etude exploratoire sur potentiel de l'hydrogène vert en Algérie

Sur la base du rendement d'hydrogène spécifique au site décrit ci-dessus, le potentiel technique global de production d'hydrogène vert à partir de l'énergie photovoltaïque en Algérie est estimé à 6 650 Mio. t par an en 2030.

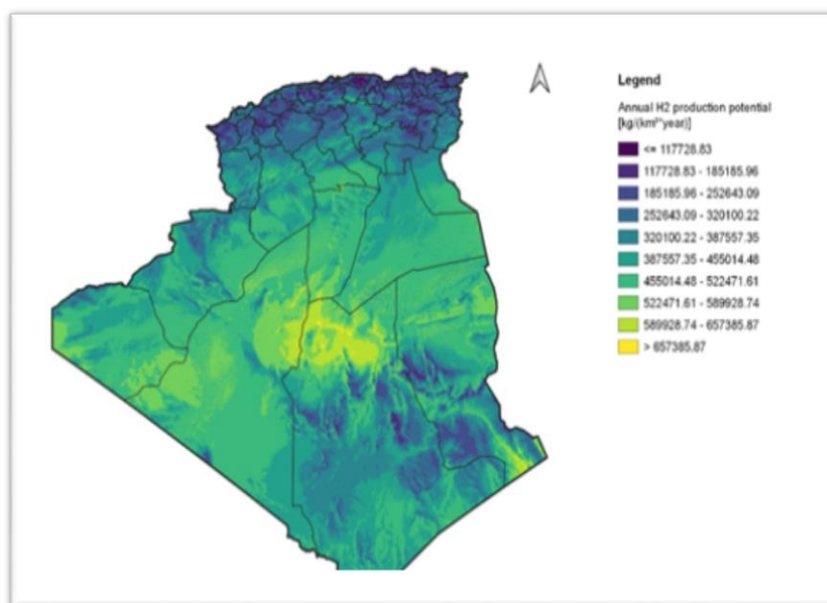


Figure 3.4 : Rendement spécifique d'hydrogène vert à partir de l'énergie éolienne terrestre

Source : Etude exploratoire sur potentiel de l'hydrogène vert en Algérie

Sur la base du rendement en hydrogène spécifique au site décrit ci-dessus, Le potentiel technique global de production d'hydrogène vert à partir de l'énergie éolienne terrestre en Algérie est estimé à 994 Moi /T par an en 2030.

Le potentiel global de production d'hydrogène à partir de l'énergie photovoltaïque dépasse d'un facteur 10 celui de l'énergie éolienne terrestre. Le rapport entre le potentiel photovoltaïque et l'éolien terrestre diffère entre les régions de 6 % (minimum) à 12%(maximum) de la production totale.

2. Le Programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE)

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables Cette vision s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie.

La démarche stratégique des énergies renouvelables s'articule sur :¹

- La réduction de l'usage des ressources fossiles ;
- Le changement du modèle énergétique de production et consommation ;
- Le développement durable et la protection de l'environnement ;
- La maîtrise des couts de réalisations des installations des énergies renouvelables.

2.1. Le Programme national de 2011-2030

Le premier programme national pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE) en Algérie a été adopté par le gouvernement Algérien en **2011**. Ce programme a pour but d'atteindre 22 000 MW de puissance électrique fournie par des sources renouvelables comme l'indique le **tableau 3.1**.

¹ Ibid

Tableau 3.1 : Plan d'exécution du PNEREE en 2011

	Solaire thermique à concentration (CSP)	Solaire photovoltaïque (PV)	Eolien	Total
Marché local	7 200 MW	2 800 MW	2000 MW	12 000 MW
Exportation				10 000 MW

Etape	Actions
2011-2013	Réalisation de projets pilotes totalisant une capacité de 110 MW pour tester les différentes technologies
2014-2015	Début du déploiement du programme avec une installation d'une puissance totale de près de 650 MW
2016-2020	Déploiement à l'horizon 2020 d'une capacité minimale de 4600 MW sont destinés au marché intérieur et 2000 MW à l'exportation
2021-2030	Déploiement à grande échelle du programme en vue d'atteindre à l'horizon 2030 les objectifs respectifs de 12000 MW, prévus pour la consommation locales et 10000 MW à l'exportation

Source : Ministère de l'énergie et des mines

2.1.1. Bilan des réalisations 2011-2015

2.1.1.1. Centrale hybride solaire SPP1

Localité	Hassi R'mel Laghouat
Superficie	64 Hectares
Mise en service	Juillet 2011
Capacité	150 MW
Technologie	-Système ISCC (Integrated Solar Combined Cycle),120 MW cycle combine gaz, 30MW solaire thermique (CSP) - Système de poursuite du soleil Trackeur

2.1.1.2. La centrale Photovoltaïque PV

Localité	Oued N'chou Ghardaïa
Mise en service	Juin 2014
Capacité	1.1 MW
Technologie	Englobant les quatre technologies PV (Monocristallin, polycristallin, amorphe et couche mince) ; en sous champs montés sur des structures fixes et motorisées.

2.1.1.3. La ferme éolienne

Localité	Kabertène Adrar
Mise en service	Juin 2014
Capacité	10,2 MW
Production jusqu'à ce jour	82 GWhs
Technologie	Englobant 12 aérogénérateurs de puissance nominale de 850 KW chacun

2.1.1.4. Le projet solaire photovoltaïque

En 2014, SKTM (Shariket Kahraba wa Takat Moutadjadida) : filiale de production d'électricité de Sonelgaz créée en 2013. Lance le projet PV 343 MW en EPC, avec 265 MW pour le réseau interconnecté nord (RIN) et 78 MW pour les réseaux du sud (RIS) et le pôle In Salah Adrar Timimoune (PIAT).¹

¹ KHELIF, A. Enseignant IAP. « Le photovoltaïque dans le monde : constat, opportunités et perspectives de développement en Algérie ». PP 33-35

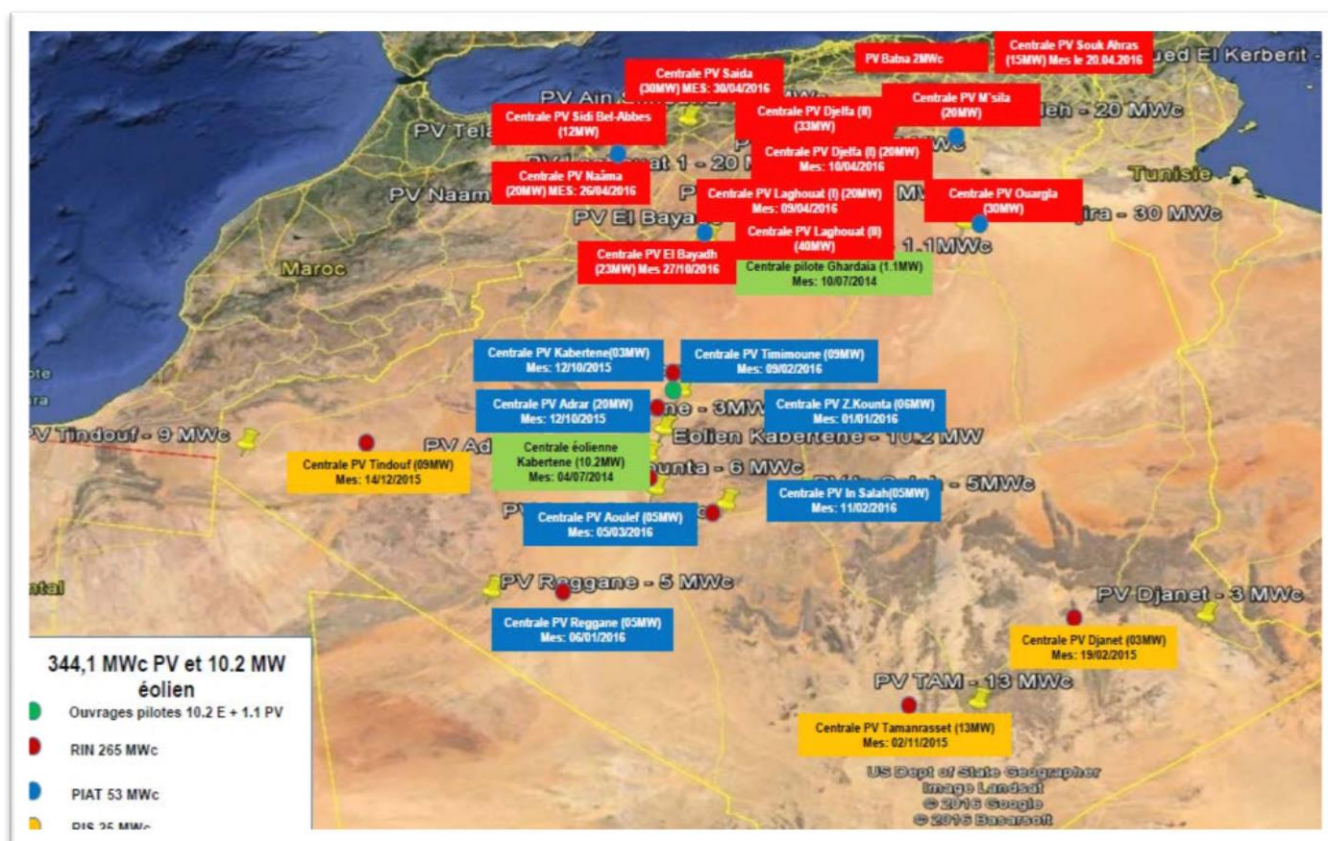


Figure 3.5 : Projet PV 343 MW

Source : Ministère de l'énergie et des mines

2.1.2. L'évolution des coûts de l'énergie solaire entre 2011-2015

Au fil des années, les coûts de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) ont considérablement diminué, surpassant l'énergie solaire thermodynamique à concentration (CSP) en termes de compétitivité économique. En 2015, l'Algérie a réactualisé son programme national des énergies renouvelables pour tenir compte de cette évolution. La réduction des coûts du PV, due à l'amélioration des technologies et aux économies d'échelle, a rendu cette option plus attractive que le CSP.¹

¹ Ibid.

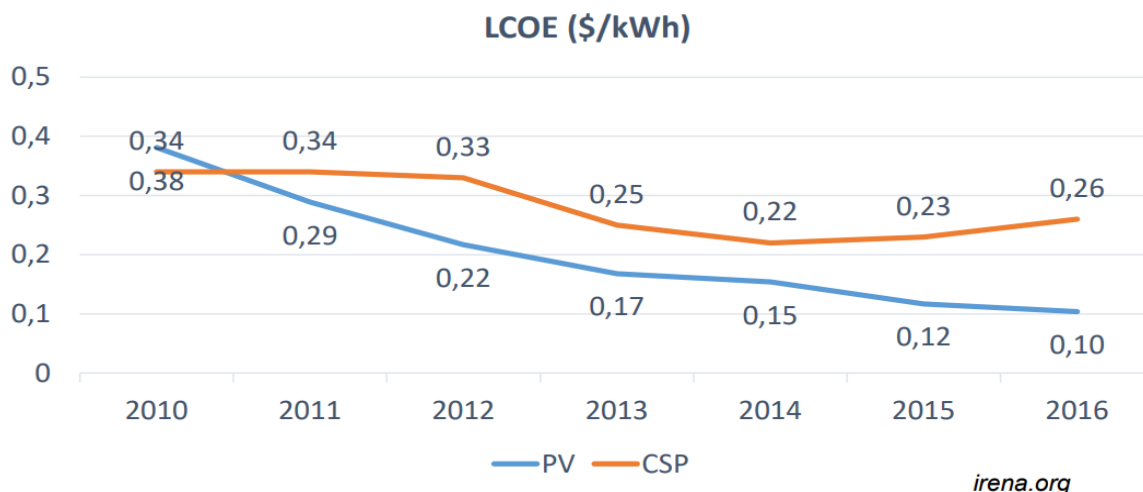


Figure 3.6 : Le cout actualisé de PV et CSP de 2010-2016

Source : IRENA

- **En 2011 :** Le solaire photovoltaïque PV devient moins cher que le CSP en 2011, l'écart s'élargit au fil des années.
- **En 2015 :** La réactualisation du programme.

2.2. Programme national 2015-2030

En 2015 ce plan a été révisé due à la baisse notable des couts d'investissement et de production d'électricité à base de ressources renouvelables. Ce programme envisage l'installation de 22 000 MW d'énergie renouvelables d'ici 2030, soit le double de l'objectif du plan de 2011. Les objectifs par technologie ont été fixés selon deux phases comme indiqué dans le **tableau 3.2**.

Tableau 3.2 : Plan d'exécution du PNEREE révisé en 2015 [MW]

Démarche stratégique EnR s'articule sur	1 ^{er} phase 2015- 2020	2eme Phase 2021- 2030	Total
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	00	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	5	10	15
Total	4525	17475	22000

Source : Ministère de l'énergie et des mines

Cependant, jusqu'en 2020 seulement 390 MW de puissance photovoltaïque ainsi que 50MW de l'éolien ont été installés. Un total de 440 MW qui provient de ressources renouvelables ce qui ne constitue que 9.9% de l'objectif planifiée pour l'année 2020.¹

Le programme de développement des énergies renouvelables a été encore une fois révisé pendant l'année 2020. Les révisions prévoient 16.000 MW provenant exclusivement du solaire photovoltaïque à l'horizon 2035. 15.000 MWc sont destinés à être produits exclusivement par des centrales solaires connectées au réseau électrique national, dont une première tranche de 4.000 MWc est à réaliser à l'horizon 2024 alors que les 1.000 MWc restant sont à déployer en autonome à l'horizon 2030. Mais il n'a pas été réalisé.²

2.2.1. Bilan de réalisations 2015-2022

- Le programme lancé par SKTM en 2014 concernant l'installation de centrales photovoltaïques d'une capacité totale de 343 MW a connu un déploiement étalé jusqu'en 2017 ;
- En 2019, SKTM signe des contrats en EPC pour l'hybridation par le PV des centrales appartenant aux réseaux isolés du sud. La puissance à installer est de 50 MW ;
- Dans le cadre d'un appel d'offres lancé par la CREG, CONDOR décroche en 2019 un contrat de vente d'électricité PPA pour une durée de 20 ans et un coût de 8.28 DA/kWh. La centrale PV de puissance 50 MW sous forme d'IPP sera réalisée à Biskra ;³

La centrale solaire photovoltaïque de BRN 1

Localité	Bir Rebaa Nord Ouargla
Superficie	20 hectares
Mise en service	Septembre 2019
Capacité	10 MW
Production d'énergie	19GWh/an
Durée de vie	25 ans
Gaz économisé	4.9 MM Sm ³ /an
Réduction de Co₂	9Kt/an

¹ HAMITI, D. Revue D'Etudes juridiques et Economiques. « État des lieux des énergies renouvelables et de la stratégie d'efficacité énergétique en Algérie ». 2022. Page 1402

² MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. « Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie ». Consulté le 05 Mars2023, sur ce site <https://www.energy.gov.dz/>

³ MENADI, R. « Gouvernance et stratégie nationale de développement des énergies renouvelables ». Ministère de l'Energie. Alger. 2018.page 12

2.3. Le Programme national 2023

Le programme des énergies renouvelables consiste à installer une puissance d'origine renouvelable solaire photovoltaïque de 15 000 MW à l'horizon 2035 pour le marché national, avec une option d'exportation, si les conditions marchées technique économie le permettent à travers ce programme, le programme sera mis en œuvre à partir de la période 2023.

2.3.1. Etude de répartition de programme

Ce programme a été réalisée avec une classification par ordre de priorité :

3.3.1.1. Critères de l'étude

- Le besoin énergétique par région ;
- La proximité aux postes électriques et possibilité de raccordement ;
- Eviter des renforcements additionnels en réseau ;
- Minimiser l'impact sur la modulation des centrales de production cycle combinés ;
- La réduction des contraintes du réseau à travers l'apport de la production PV ;
- Priorité pour les régions disposant de centrales électriques en déclassement.

3.3.1.2. Résultats de la répartition par ordre de priorité

- (37) Wilayas ;
- (73) Sites d'implantation de production de grandes capacités ;
- (~180) Sites de petites capacités ;
- Principalement le Réseau Interconnecté National (RIN) ;
- Une capacité de 2000 MW répartie sur le Pôle In Salah Adrar Timimoune (PIAT).

3.3.1.2. Les résultats de répartition du programme

- 12 000 MW (80%) constitué de grandes installations réaccordées sur les niveaux THT et HT
- 3 000 MW (20%) constitué de petites centrales raccordées au niveau MT.¹

Tableau 3.3 : Répartition du programme national par niveau de tension

Tension	Nombre de site	Puissance (MW)
400 KV	3	1100
220 KV	50	9900
60 KV	20	1000
30 KV	180	3000
Total	253	15000

Source : Ministère de l'énergie et des mines

¹ Ministère de l'énergie et des mines. « *Perspective de développement des énergies renouvelables* ». Janvier 2023, page 16-17

Tableau 3.4 : Répartition de premier lot d'appel d'offres du projet 1000MW sur 5 sites

Wilaya	Sites	Capacités MWc	Superficie (H)	Poste raccordement	Tension KV
Site inclus dans l'AO du projet solar 1000MW					
Bechar	Beni Ounif	50	100	Beni Ounif 60/30KV	60
Ouargla	Ain El Beida	100	200	Ouargla Est 220/60KV	220
Laghouat	Hassi Dalaa	300	600	Hassi R'mel 400/220KV	220
El oued	El Foulia	300	600	El Foulia 400/220KV	220
Touggourt	Tamacine	250	500	Touggourt 220/60KV	220
Total Lot 1		1000	2000		

Source : Ministère de l'énergie et des mines

2.3.2. Les projets en cours de réalisation

- Hybridation des centrales de production d'électricité du sud par énergie solaire PV (100 MW) ;
- Appel d'offres de 1000 MW ;
- Solarisation des sites industriels de Sonatrach (1.3 GW) 80% de sa consommation d'électricité (Quantité gaz économisé : environ 600 millions de m³/an).
- **BRN 2, avec ENI, 10 MW (en cours)**
 - EPC confié à ENGTP ;
 - Dernières technologies de panneaux solaires et d'onduleurs (bifacial biverre, n-type) ;
 - Engineering tenant compte des avancées technologiques et visant à réduire les coûts sur la base du retour d'expériences de BRN phase 1 ;
 - Phase d'apprentissage EPC, HSE, O&M ;
 - SOLAR LAB permettra de préciser les choix technologiques pour les futurs projets (trackers, HJT).¹

¹ Institut Algérien du Pétrole (IAP). « **Programme de développement des énergies renouvelables de SONATRACH** ». 2022.pp 54-56

3. Développement de l'hydrogène vert en Algérie

3.1. Disponibilité d'eau pour L'électrolyse

L'Algérie dispose de ressources en eau limitées, principalement provenant des ressources souterraines et de quelques rares rivières. Cependant, le pays fait face à des défis en matière de gestion de l'eau en raison de la rareté des précipitations et de la demande croissante dans les secteurs agricole, industriel et domestique.¹

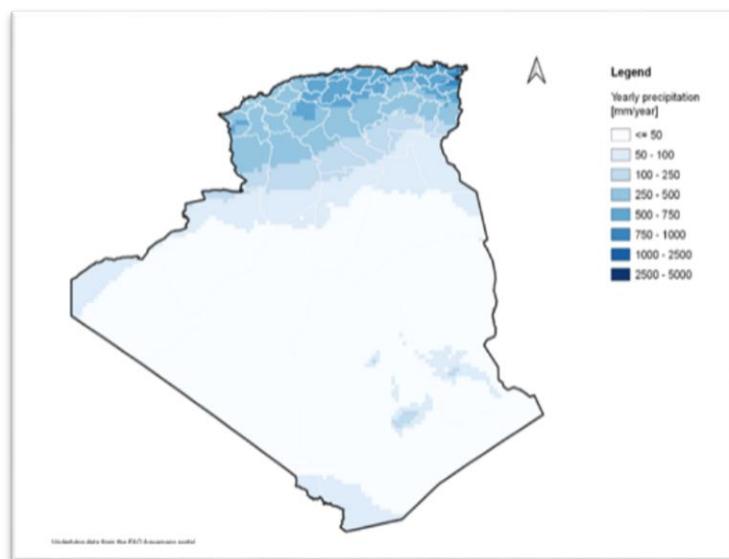


Figure 3.7 : Disponibilité de l'eau en Algérie

Source : Etude de potentiel de l'hydrogène vert

- 1Kg de H₂ requiert 10 litres d'eau déminéralisée ;
- 1Kg de H₂ requiert 14 litres d'eau du robinet ;
- Electrolyseur de 1000 MW requiert 273 m³/h, 819000 m³/an de l'eau du robinet (Taux d'utilisation environ 40%) ;
- Cela correspond à environ 0.01% de la capacité globale de dessalement en Algérie ;
- Cependant, il convient de considérer que le développement de systèmes d'approvisionnement en eau dédiés pour le développement futur d'usines d'électrolyse à grande échelle est nécessaire ;
- Niveaux de coûts pour le transport dépend de la distance et de l'élévation à parcourir : 7-144 USD/m³ pour des distances à 1050 km et des élévations à 2500 m.

¹El moudjahid. « **Ressources en eau** » . Consulté le 06Mars2023, sur ce site <https://www.elmoudjahid.dz/>

3.2. Objectifs stratégiques et défis de l'hydrogène vert en Algérie

3.2.1. Objectifs stratégiques

- Diversification du mix énergétique ;
- Réduction de la consommation locale des énergies fossiles ;
- Mise en place d'un écosystème pour le développement de l'hydrogène propre ;
- Maîtrise technologique de toute la chaîne de valeur d'hydrogène ;
- Mise en place d'une économie nationale de l'hydrogène et ses dérivés ;
- Constitution d'un Hub pour la production et l'exportation de l'hydrogène.

3.2.2 Défis de l'hydrogène vert

- Exportation ;
- Développement d'un tissu industriel performant ;
- Financement ;
- Maîtrise technologique ;
- Décarbonisation du système production et consommation d'énergie.¹

3.3 Vision de développement de l'hydrogène

L'Algérie a établi une feuille de route pour le développement de la filière de l'hydrogène, en s'appuyant sur ses avantages compétitifs tels que les réserves de gaz, le potentiel solaire, la superficie et les réserves hydriques. Cette feuille de route est structurée autour de deux phases.

- **Phase pilote 2022 -2030**

- Élaboration d'un cadre législatif et réglementaire ;
- Les Projets de démonstration « pilotes » ;
- Partenariats stratégiques dans le domaine de la formation et la R&D.

- **Phase de développement 2030-2050**

- Phase de déploiement de l'hydrogène vert (l'utilisation de l'hydrogène vert comme combustible pour la production de l'électricité) ;
- Transition vers des Projets industriels d'exportation : Ammoniaque urée vert et Blending du Gaz naturel ;
- Développement de l'industrie locale ;

¹ Abdellah, B. « Développement de la filière hydrogène ». Consulté le 10 Mars2023, sur ce site <https://algeriainvest.com/>

- Consommation Nationale.¹

3.4 Projets pilotes d'hydrogène Vert

Les projets pilotes proposés visent à développer une expertise technologique dans l'exploitation et la maintenance des systèmes d'hydrogène, dans le cadre de la vision stratégique de développement de l'hydrogène. Ces projets auront une capacité de production comprise entre 2 et 10 MW et seront réalisés en partenariat afin de partager les risques et bénéficier de l'expertise des entreprises pionnières dans le domaine de l'hydrogène.

Les projets pilotes proposés ci-après, s'appuient sur une veille technologique rapportant des projets déjà réalisés traitant de concepts similaires.

- **Projet 1**

Boucle expérimentale de pipeline Gaz naturel/hydrogène, unité de séparation, stockage dans les cavités salines Hassi R'mel)

- **Projet 2**

Stockage d'énergie solaire pour les sites isolés de Sonatrach.

- **Projet 3**

Production d'ammoniac ou de méthanol vert (Arzew, Annaba, El Oued, Adrar).²

4. Le cadre réglementaires et institutionnels des énergies renouvelables en Algérie

L'Algérie, comme les autres pays de monde, a fait des efforts afin de développer les énergies renouvelables, à travers la mise en place d'un cadre législatif, réglementaire, et institutionnel.

4.1. Le cadre règlementaire des énergies renouvelables

L'Algérie a mis en place au fil des années tout un dispositif législatif et réglementaire pour accompagner la réalisation du programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Elle a essayé d'intégrer les enjeux liés au développement des énergies renouvelables dans un cadre juridique favorable à leur promotion et à la réalisation d'infrastructures y afférentes.

¹ Ministère de l'énergie et des mines. 3ème édition de la journée Algéro-Allemande de l'énergie. « Perspectives de développement de l'hydrogène en Algérie ». 2021. Page 12

² Ministère de l'Energie et des Mines. « Perspective de développement de l'hydrogène en algérie ». Janvier 2023. Page 27.

Les lois et les réglementations encadrant le secteur algérien des énergies renouvelables sont nombreuses mais nous nous limitons à souligner les textes phares :

- **La loi n° 99-09 du 28 juillet 1999, relative à la maîtrise de l'énergie**

Cette loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie.¹ Dans son contexte, elle accorde des avantages financiers et fiscaux et qui détermine les droits de douanes,

- **La loi n° 02-01 du 5 février 2002, relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations**

Cette loi a pour objet de fixer les règles applicables aux activités liées à la production, au transport, à la distribution, à la commercialisation de l'électricité ainsi qu'au transport, à la distribution et à la commercialisation du gaz par canalisations.

Ces activités sont assurées, selon les règles commerciales, par des personnes physiques ou morales de droit public ou privé et exercées dans le cadre du service public.²

- **La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable**

La présente loi a pour objet de fixer les modalités de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.³ Elle a créé un programme ambitieux de promotion des énergies renouvelables pour la production de l'électricité à partir de ces énergies avec la création des structures adéquates comme un fonds de soutien et l'institut d'énergie appliquée pour renforcer la recherche sur les énergies renouvelables.⁴

Plusieurs textes d'application ont accompagné la mise en œuvre des lois susmentionnées ont permis de :

- Définir la procédure d'appel d'offres pour la production des énergies renouvelables ou de cogénération et leur intégration dans le système national d'approvisionnement en énergie

¹ Article 1, Loi n°99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.

² Article 1, La loi n° 02-01 du 5 février 2002, modifiée et complétée, relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations.

³ Article 1, La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

⁴ Banque africaine de développement, « Le secteur des énergies renouvelables et l'emploi des jeunes en Algérie », Libye, Maroc et Tunisie, p. 94. In, Mohamed Adem Mokrani, « La transition énergétique en Algérie, au Maroc et en Tunisie », Natural Resource Governance Institute, septembre 2022, p16.

- Electrique.¹ En application de l'article 26 de la loi relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations ;
- Définir les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats.² En application des dispositions de l'article 14 de la loi relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable ;
 - Fixer les attributions du ministre de la transition énergétique et des énergies renouvelables : Dans le cadre de la politique générale du Gouvernement et de son programme d'action, le ministre est chargé de l'élaboration des politiques et stratégies visant à promouvoir la transition énergétique et les énergies renouvelables. Il en assure la mise en œuvre, le suivi et le contrôle conformément aux lois et règlements en vigueur ;³
 - Fixer les attributions du ministre de l'énergie, qui s'exercent, en relation avec les institutions, organes de l'Etat et ministères concernés, dans les domaines d'activité suivants :⁴
 - Production d'électricité d'origine renouvelable pour les besoins propres du secteur, dans le cadre de la stratégie nationale de développement des énergies renouvelables ;
 - Développement des énergies Nouvelles;
 - Fixer les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité.⁵
 - Définir les coûts de diversification de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables et /ou de la cogénération, dans le cadre du régime spécial, ainsi que les conditions de production, de transport et de raccordement aux réseaux de l'électricité produite, En application des dispositions de la loi relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations ;⁶
 - Préciser les mécanismes d'éligibilité des producteurs d'électricité : l'ensemble des activités de la production d'électricité, du raccordement aux réseaux, de transport ou de distribution dans le cadre du régime spécial. A ce titre, la production d'électricité à partir d'énergies

¹ Décret exécutif n° 17-204 du 22 juin 2017, complétant le décret exécutif n° 17-98 du 26 février 2017, « définissant la procédure d'appel d'offres pour la production des Énergies renouvelables ou de cogénération et leur intégration dans le système national d'approvisionnement en Energie Electrique ».

² Décret exécutif n° 15-69 du 11 février 2015, modifié et complété, « fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats ».

³ Décret exécutif n° 20-322 du 22 novembre 2020, « fixant les attributions du ministre de la transition énergétique et des énergies renouvelables ».

⁴ Article 2, Décret exécutif n° 20-401 du 26 décembre 2020 modifiant et complétant le décret exécutif n° 15-302 du 2 décembre 2015, « fixant les attributions du ministre de l'énergie », .

⁵ Décret exécutif n°13-218 du 18 juin 2013, modifié et complété, « fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité ».

⁶ Décret exécutif n° 04-92 du 25 mars 2004, relatif aux : « coûts de diversification de la production d'électricité ».

renouvelables et/ou de cogénération bénéficie des primes prévues à l'article 95 de la loi relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations, ainsi que des autres mesures visant à la prise en charge des surcoûts de transport et de distribution constituant les coûts de diversification prévus par la loi au titre de la promotion des énergies renouvelables ;¹

- Fixer les règles techniques de la production d'électricité, en application de l'article 28 de la loi relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations ; ²
- Fixer le cahier des charges relatif aux droits et obligations du producteur d'électricité, en application de l'article 28 de la loi relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations ; ³
- Fixer le cadre institutionnel de concertation et les modalités d'élaboration et de mise en œuvre du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME), en application de l'article 28 de la loi relative à la maîtrise de l'énergie. L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs de la maîtrise de l'énergie ont pour finalité de :⁴
 - Réaliser des économies d'énergie ;
 - Assurer la substitution énergétique et le développement des énergies renouvelables.
- Fixer la procédure d'octroi des autorisations d'exploiter des installations de production d'électricité ;⁵
- Arrêté du 4 rabie Ethan 1438 correspondant au 3 janvier 2017 fixant les spécifications et procédures techniques de conception et de réalisation des ouvrages de distribution de l'électricité.⁶
- Fixer les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant :
 - La filière éolienne ;⁷

¹ Ibid.

² Décret exécutif n° 16-52 du 1er février 2016, « fixant les règles techniques de la production d'électricité »,

³ Décret exécutif n° 06-429, du 26 novembre 2006, « fixant le cahier des charges relatif aux droits et obligations du producteur d'électricité »,

⁴ Décret exécutif n° 04-149, du 19 mai 2004, « fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) »,

⁵ Le décret exécutif n° 06-428, du 26 novembre 2006, « fixant la procédure d'octroi des autorisations d'exploiter des installations de production d'électricité »,

⁶ Arrêté du 3 janvier 2017, « fixant les spécifications et procédures techniques de conception et de réalisation des ouvrages de distribution de l'électricité »,

⁷ Arrêté du 7 décembre 2016 complétant l'arrêté du 2 février 2014, « fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière éolienne »

- La filière de cogénération ;¹
- La filière solaire photovoltaïque.²
- Fixer le règlement technique relatif aux spécifications techniques de conception et de réalisation des ouvrages de transport de l'électricité ;³
- Fixer le règlement technique relatif aux spécifications techniques d'exploitation des ouvrages de transport de l'électricité ;⁴
- Fixer le règlement technique relatif aux spécifications techniques de maintenance des ouvrages de transport de l'électricité.⁵

4.2. Le cadre institutionnel des énergies renouvelables

Elaboration des politiques nationales pour le développement des énergies renouvelables, dans un cadre réglementaire, reposent sur un ensemble d'institutions et entreprises économiques.

➤ **L'institut algérien des énergies renouvelables « IAER »**

C'est un établissement public à caractère industriel et commercial, créé par le décret exécutif n°11-33 du 27 janvier 2011. Cet institut est doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, placé sous la tutelle du ministre chargé de l'énergie, son siège est fixé dans la commune de HASSI R'MEL, wilaya de Laghouat.

➤ **Organisation du ministère de la transition énergétique et des énergies renouvelables**

Selon le décret exécutif n° 20-323 du 22 novembre 2020, l'administration centrale du ministère de la transition énergétique et des énergies renouvelables, comprend :

- La direction de la transition énergétique ;
- La direction de la maîtrise de l'énergie ;
- La direction des énergies renouvelables raccordées au réseau électrique national ;
- La direction de l'autoconsommation et du développement des énergies renouvelables hors réseau électrique ;

¹ Arrêté du 7 décembre 2016 complétant l'arrêté du 1er septembre 2014, « fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière de cogénération. ».

² Arrêté l'arrêté du 2 février 2014, complétée, « fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque »

³ Arrêté du 29 mars 2015, « fixant le règlement technique relatif aux spécifications techniques de conception et de réalisation des ouvrages de transport de l'électricité »

⁴ Arrêté du 18 mars 2015, « fixant le règlement technique relatif aux spécifications techniques d'exploitation des ouvrages de transport de l'électricité »

⁵ Arrêté du 29 janvier 2015, « fixant le règlement technique relatif aux spécifications techniques de maintenance des ouvrages de transport de l'électricité »

- La direction de la réglementation, de la communication et de la coopération ;
- La direction de l'administration générale.

➤ **Fonds National pour les Energies renouvelables et la Cogénération**

Ce fonds est créé par l'application des dispositions de l'article 63 de la loi n° 09-09 du 30 décembre 2009, modifiée, portant loi de finances pour 2010. Le décret exécutif n°11-423 du 8 décembre 2011 a fixé les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n°302-131 intitulé « Fonds National pour les Energies renouvelables et la Cogénération ».

Par le Décret exécutif n° 15-319 du 1 décembre 2015, et en application de l'article 87 de la Loi n° 15-18 du 30 décembre 2015 portant loi de finances pour 2016, les opérations du compte d'affectation spéciale n° 302-101 s'intitulera « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération ».

Ensuite, Loi n°14-10 du 30 décembre 2014 portant loi de finances pour 2015, notamment son article 108 qui prévoit la fusion des deux Fonds spéciaux : le « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie (FNME) » et le « Fonds national pour les énergies renouvelables et la cogénération (FNER) ».

Le décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015 a fixé les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération ».

➤ **Haut conseil de l'énergie**

Ce conseil est créé par le décret présidentiel n° 22-112 du 15 mars 2022, il est Le conseil est chargé de fixer les orientations en matière de politique énergétique nationale et d'en assurer le suivi.

A ce titre, le conseil statue sur les stratégies à suivre dans les domaines suivants :

- la sécurité énergétique du pays
- la transition énergétique vers un nouveau modèle national de production et de consommation d'énergie en fonction des ressources énergétiques et minières nationales, des engagements extérieurs et des objectifs stratégiques à long terme du pays ;

➤ **Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE)**

Créée Selon le Décret exécutif n° 85-235 du 25 août 1985, modifié et complété.

➤ **Commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique.**

Créé Selon le Décret exécutif n° 19-280 du 20 octobre 2019. Le commissariat est un organe de conception de la stratégie nationale de développement des énergies renouvelables et de

l'efficacité énergétique, et un instrument d'aide à la mise en œuvre et à l'évaluation de la politique nationale, dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

➤ **L'école nationale supérieure des énergies renouvelables, environnement et développement durable.**

Créé Selon le Décret exécutif n° 20-152 du 8 juin 2020

Les différents mécanismes législatifs et réglementaires précédents, sont résumés dans figure N°3-8 ci-dessous.

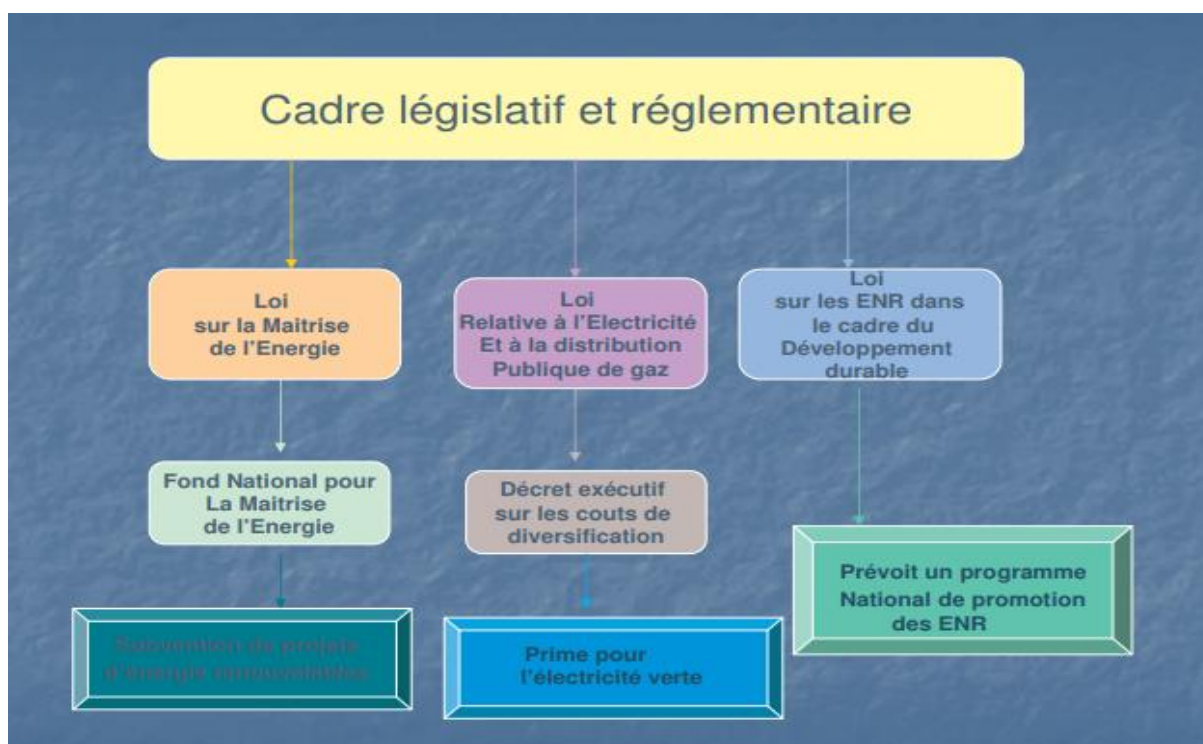


Figure 3.8 : Les mécanismes législatifs et réglementaires des énergies renouvelables en Algérie.

Source : Boubaker BAIRI, « les énergies renouvelables en Algérie : réalité et perspectives », coopération Algéro-Italienne sur les énergies renouvelables, milan, 22-23 Mai 2007, p5.

D'après la figure 3.8 et le contenu des titres précédent, des incitations fiscales et financières ont été prévues pour encourager les particuliers et les entreprises investissant dans les énergies renouvelables. Le fonds national pour l'efficacité énergétique est créé pour l'octroi de ces avantages. Néanmoins, d'autres incitations sont prévues pour les entreprises privées comme la réduction des droits de douane et de la TVA à l'importation de composants, de matières premières et de produits semi-finis utilisés dans la fabrication d'équipements dans le secteur des énergies renouvelables.

Les textes juridiques réglementant le secteur des énergies renouvelables en Algérie reflètent des visions nationales où les marchés des énergies renouvelables sont toujours dominés par les entreprises de l'Etat.

Conclusion

L'Algérie s'est engagé sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions durables aux défis environnementaux, pour contribuer à l'effort global de préservation de l'environnement et de lutte contre le réchauffement climatique.

Disposant d'un potentiel EnR solaire appréciable et d'une solide expérience dans l'industrie et le marché énergétique, l'Algérie se positionne comme un acteur régional majeur, permettant non seulement d'assurer une transition énergétique sereine sur ses territoires, mais aussi continuer de jouer pleinement son rôle de fournisseur d'énergie à tous ses traditionnels partenaires / clients.

Les textes juridiques réglementant le secteur des énergies renouvelables en Algérie reflètent des visions nationales où les marchés des énergies renouvelables sont toujours dominés par les entreprises de l'Etat.

Le prochain chapitre se concentrera spécifiquement sur une présentation de SONATRACH et une étude de cas d'un projet solaire photovoltaïque BRN développé par SONATRACH.

Chapitre 4

**Développement de projet
photovoltaïque (BRN) par
SONATRACH : procédures et impacts**

Introduction

Dans un contexte mondial où la transition énergétique est devenue une priorité, de nombreuses entreprises se tournent vers les énergies renouvelables pour répondre aux besoins croissants en électricité. Sonatrach, la compagnie pétrolière et gazière nationale de l'Algérie, n'échappe pas à cette tendance et a entrepris un projet majeur dans le domaine de l'énergie solaire : le projet photovoltaïque BRN.

Ce chapitre se propose de débiter par une présentation détaillée de Sonatrach, en mettant l'accent sur sa direction générale, sa direction centrale des ressources nouvelles et ses départements pertinents. Ensuite, nous nous pencherons sur une étude de cas spécifique : le développement du projet solaire photovoltaïque BRN par Sonatrach.

1. Présentation de SONATRACH :

« SONATRACH »* est une grande entreprise tant sur le plan national que sur le plan international, de par son domaine d'activités intégré dans l'industrie pétrolière et gazière. Son rôle est primordial, vu sa contribution au développement économique du pays, liée à son histoire et son orientation.

1.1. Définition

Sonatrach est la compagnie algérienne de recherche, exploitation, de transport par canalisation, la transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et Renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent. Elle a pour mission fondamentale la valorisation optimale sur le long terme des ressources en hydrocarbures en Algérie et à l'international pour contribuer au développement économique et social. Cette émission est tous les objectifs qui en découlent en termes de création de richesse de réalisation de gains et de profits, elle va s'accomplir dans un environnement totalement ouvert à la concurrence dans un autre pays comme à l'étranger.¹

1.2. Historique de SONATRACH

La société (SONATRACH) a été créée le 31/12/1963 par le décret N° 63/491 paru dans le journal officiel le 10/01/1964. Ses missions limitées à la gestion des pipelines et à la commercialisation, en suite sont élargies à la recherche, à la production et à la transformation des hydrocarbures, par le décret présidentiel N°66/292, le 22 septembre 1966, apportant les premières modifications des statuts de SONATRACH, et elle devient : la société nationale de recherche, production, transport, transformation et commercialisation des hydrocarbures.

En Février 1973, La nationalisation des hydrocarbures inscrit la compagnie nationale des hydrocarbures dans une nouvelle dynamique : Une planification de plus en plus rigoureuse est mise en place, les objectifs de SONATRACH portent sur l'extension de toutes ses activités à l'ensemble des installations gazières et pétrolières et l'atteinte de la maîtrise de toute la chaîne des hydrocarbures.

* Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures

¹ MEBERKI W, « *Etude physico-chimique des rejets pétroliers de l'entreprise SONATRACH de Béjaia* », mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de BEJAIA, 2021, page 4.

De 1980 à 1985, SONATRACH s'engage selon un plan quinquennal dans un nouveau processus de restructuration étendue, qui aboutit à la création de 17 entreprises, dont quatre entre elles industrielles, trois de réalisation et dix de service, telles que :

- **NAFTAL** : entreprise nationale de distribution de produits pétroliers ;
- **NAFTEC** : entreprise nationale de raffinage ;
- **ASMIDALE** : entreprise nationale d'engrais et des produits pétroliers ;
- **ENIP** : entreprise nationale de pétrochimie ;
- **ENPC** : entreprise nationale des plastiques et caoutchouc...

De 1986 à 1990, la loi de 86/14 du 19 août 1986 définit les nouvelles formes juridiques des activités de prospection, d'exploration, de recherche et de transport d'hydrocarbures permettant à SONATRACH de s'ouvrir au partenariat.

De 1991 à 1999, Les amendements introduits par la loi 91/01 en décembre 1991, permettent aux sociétés étrangères activant notamment dans le domaine gazier, la récupération des fonds investis et leur accordant une rémunération équitable pour les efforts consentis Plus de 130 compagnies pétrolières dont les majors, nouent contact avec SONATRACH et 26 contrats de recherche et de prospection sont signés durant les 2 années qui suivent le nouveau cadre institutionnel.

En 2014, SONATRACH est la première entreprise à se lancer dans la production de gaz de schiste sur le sol algérien, à la suite de l'accord donné par le gouvernement le 21 mai 2014 concernant l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels.

En mars 2016, la SONATRACH et ENI*, le géant pétrolier italien, ont signé un accord pour l'exploration offshore de nouvelles ressources pétrolières et gazières.

Le 20 mars 2017 le ministre de l'Énergie nomme A. Ould Kaddour nouveau PDG. Il va vite tirer un bilan négatif de l'état de lieux de SONATRACH, un organigramme inadéquat, d'une absence d'une stratégie à long terme, d'un nombre excessif des filiales.... Il décide alors d'une réorganisation du groupe d'une manière « intelligente », de développer le gaz de schiste.

En mai 2018, SONATRACH annonce qu'elle : ¹

- Rachète la raffinerie italienne d'Augusta ;

* ENI : Entreprise nationale italienne des hydrocarbures

¹ MOUZAOUI, A et M'SILI, L. « *Attitudes et comportements des salariés de l'entreprise Sonatrach face à l'introduction d'un ERP : Etat des lieux et fonctionnement* ». Master. Université A. MIRA de BEJAIA. 2021.p 52-53.

- L'acquisition de trois terminaux pétroliers en Italie ;
- Signe un accord avec la compagnie pétrolière française Total afin de construire une usine de pétrochimie dans la région d'Arzew.

1.3. Missions de SONATRACH

Face à l'évolution de l'environnement actuel et à la situation économique mondiale Sonatrach a pour mission : ¹

- La prospection, la recherche, l'exploitation et le développement des gisements de pétrole et gaz naturel ainsi que la reconstitution et l'accroissement des réserves d'hydrocarbures ;
- La construction, l'exploitation industrielle et commerciale de tous les moyens de transport d'hydrocarbures par voie terrestre ;
- Le traitement, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et des produits dérivés ainsi que leur approvisionnement énergétique à moyen terme ;
- L'intensification des efforts d'exploitation et capitalisation des études réalisées dans ce domaine, pour une meilleure connaissance de sous-sol et la mise en évidence des réserves d'hydrocarbures potentielles ;
- Le développement, l'exploitation et la gestion des réseaux de transport, de stockage et de chargement des hydrocarbures ;
- Le développement des techniques modernes de gestion nationale par le biais de la formation continue.

1.4. Objectifs

Ses objectifs s'entendent sur plusieurs périphériques : ²

- Le développement et la valorisation des ressources énergétiques nationales ;
- Provisionnement énergétique à moyen et à long terme ;
- La rénovation des techniques dans la gestion des ressources humaines ;
- L'exportation et la diversification de la matière première dans les marchés nationaux et internationaux ;
- Le renforcement de ses capacités technologiques ;
- Le développement international et le partenariat ;

¹ ABDELHAK, A. « *Automatisation et supervision de l'unité du traitement d'eau huileuses par API S7-300 dans la station SP 2 El-Outaya-Biskra* ». Master. Université Mohamed Khider de Biskra. 2021.page 20.

² ABDELHAK, A. op.cit, page 21.

- La diversification de son portefeuille d'activité ;
- La maîtrise continue de ses métiers de base.

Actuellement l'un des objectifs de la Sonatrach est de développer ses activités et de les porter au-delà des frontières en s'affirmant en tant que groupe pétrolier international. Celui-ci lui permettra d'évaluer dans le cas d'un concurrentiel s'assurer son développement à très long terme et de contribuer par l'apport en devises à son autofinancement à celui de l'Algérie.

1.5. Organisation Générale de SONATRACH

Le nouveau schéma de la réorganisation de la macrostructure de SONATRACH s'articule autour des structures suivantes : la Direction Générale, les Structures Fonctionnelles Centrales et les Structures Opérationnelles.

1.5.1. La Direction Générale :

La Direction Générale a un rôle de conception de la stratégie, d'orientation, de coordination, de pilotage et de management.

Le Président Directeur Général est assisté dans l'exercice de ses fonctions : ¹

- D'un Comité Exécutif conformément à l'article 11.3 des statuts de SONATRACH ;
- D'un Secrétariat Général placé sous l'autorité d'un secrétaire général chargé de la gestion du courrier et des archives de la DG, et du suivi des instructions du Président Directeur Général ;
- D'un Cabinet placé sous la responsabilité d'un Directeur de Cabinet chargé de fournir conseil et appui technique au PDG, sur les dossiers particuliers et de définir et de mettre en œuvre une politique de sponsoring et d'investissement social ;
- Direction Corporate Affaires (CRA), chargée du suivi de l'activité des organes sociaux de la Société, du Comité Exécutif, de l'appui au secrétariat de l'Assemblée Générale et du Conseil d'Administration ;
- Un Comité d'Ethique, chargé de veiller au respect des dispositions du code d'Ethique et au renforcement des pratiques éthiques au sein de la société ;
- Direction Transformation SH2030 (TRF), chargée de la coordination et du suivi de la mise en œuvre du plan de transformation de SONATRACH SH2030 ;

¹ MOUZAOU, A et M'SILI, L. « *Attitudes et comportements des salariés de l'entreprise Sonatrach face à l'introduction d'un ERP : Etat des lieux et fonctionnement* ». Master. Université A. MIRA de BEJAIA. 2021, page 54-59.

- Direction Audit et Risques (ADR), chargée de la gestion et de la conduite des audits et de l'évaluation de l'application de la réglementation et des procédures en vigueur. Elle assure l'animation de la politique de contrôle interne à la société, pilote et coordonne le processus de management des risques ;
- Direction Communication (CMN), chargée de l'élaboration et de la mise en œuvre de la stratégie de communication de SONATRACH ;
- Le service sureté interne d'Etablissement (SIE) chargé de veiller à la sureté interne de la Société, conformément à la réglementation en vigueur, notamment pour le siège de la société ;
- Les conseillers

1.5.2. Les structures Fonctionnelles centrales

Les structures fonctionnelles centrales ont pour rôle de :

- Elaborer et veiller à l'application des politiques et stratégies de la société ;
- Planifier, fournir et coordonner la mise à disposition de l'expertise et l'appui aux Structures Opérationnelles de la société ;
- S'affirmer et contribuer, en qualité de centre d'excellence et d'expertise dans leurs domaines respectifs ;
- Se constituer en sources d'information et contribuer au processus de reporting ;
- Assurer l'information et le reporting... Etc.

Elles sont organisées en Directions Coordination Groupe sous l'autorité d'un directeur :

- La Direction Corporate Stratégie, Planification & Economie « SPE »
- La Direction Corporate Finance « FIN »
- La Direction Corporate Business Développent et Marketing « BDM »
- La Direction Corporate Ressources Humaines « RHU »
- La Direction Centrale Procurèrent et Logistique « P&L »
- La Direction Centrale Ressources Nouvelles « REN »
- La Direction Centrale Engineering &Projet Management « EPM »
- La Direction Centrale Juridique « JUR »
- La Direction Centrale Digitalisation et Système d'Information « DSI »
- La Direction Centrale Digitalisation et Système d'Information « DSI »
- La Direction Centrale Recherche et Développement « R&D »

1.5.3. Les Activités Opérationnelles :

Chaque activité, est placée sous l'autorité directe d'un vice-président, exerce ses métiers, développe son portefeuille d'affaires et contribue dans son domaine de compétences, au développement des activités internationales de la Société.

Les structures opérationnelles sont organisées comme suit :

- Activité Exploration-Production (E&P)
- Activité Transport par Canalisations (TRC)
- Activité Liquéfaction et séparation (LQS)
- Activité Liquéfaction et séparation (LQS)
- Activité Commercialisation (COM)

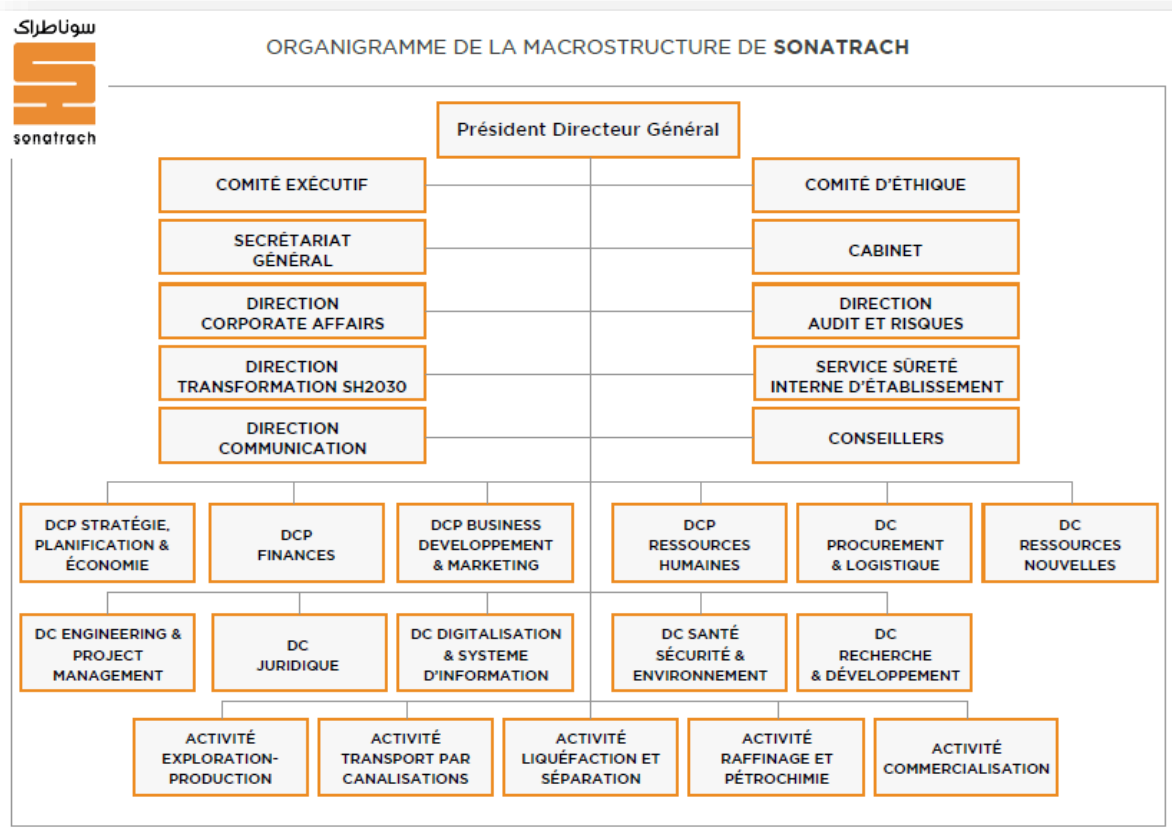


Figure 4.1 : Organigramme de la SONATRACH

Source : rapport annuel 2021 de SONATRACH

1.5.3.1. La Direction Centrale Ressources Nouvelles :

La Direction Centrale Ressources Nouvelles (DC-REN) a pour mission de concrétiser l'engagement de SONATRACH en faveur d'une transition énergétique efficiente ; un choix devant garantir la sécurité énergétique à long terme du pays et répondre aux besoins des futures générations.

Cette direction se fixe deux principaux objectifs :¹

- Contribuer au renouvellement des réserves en hydrocarbures par le biais de l'exploration Offshore et le développement des ressources non conventionnelles ;
- S'engager dans un processus de transition énergétique pour réduire l'impact environnemental à travers le développement de sources d'énergies renouvelables dans toutes les activités de SONATRACH

Ses missions essentielles :

- La Direction Centrale Ressources Nouvelles a pour missions essentielles :
- L'élaboration et la mise en œuvre de la stratégie de développement de l'Offshore ;
- L'élaboration et la mise en œuvre de la stratégie de développement des énergies renouvelables ;
- L'élaboration et la mise en œuvre de la stratégie de développement des ressources non conventionnelles ;
- L'appui aux projets de la Société ;
- La capitalisation d'expérience, pour pouvoir, à terme, être moteur de la transition énergétique du pays ;
- L'information et le reporting au Président Directeur Général et aux structures concernées.

Son organisation est comme suit :

- Une Direction Energies Renouvelables.
- Une Direction Ressources Non Conventionnelles.
- Une Direction Offshore.
- Une Coordination Etudes, Planification et Pilotage de la Performance.
- Une Coordination Juridique et Ordonnancement.
- Une Cellule Administration et Logistique. Une Cellule HSE.

¹ Manuel général d'organisation, Décision A-001 (R31), Document interne à SONATRACH

- Des Assistants.

1.5.3.1.1. La Direction Energies Renouvelables :

Décision N° 316/DG, Référencée A-1237, du 25-03-2019, portant "Organisation de la Direction Centrale Ressources Nouvelles, fixant les missions de la Direction Energies Renouvelables :

- L'élaboration et la mise en œuvre des politiques et stratégies de développement des énergies renouvelables.
- Le pilotage et la conduite des projets Energies Renouvelables, notamment l'identification, l'étude et le suivi des projets Energies Renouvelables, en accord avec les objectifs stratégiques de la Société.
- L'étude et le suivi des projets Energies Renouvelables confiés à SONATRACH dans le cadre du Programme National des Energies Renouvelables.

Quant à La Direction Energies Renouvelables est comme suit : (voir figure 4.2)

- Un Département Développement des Projets
- Un Département Faisabilité Technique
- Un Département Suivi des Projets.

1.5.3.1.2. Le Département Faisabilité Technique :

Le Département Faisabilité Technique a pour missions :

- La veille technologique en matière d'équipements et de technologies d'énergies renouvelables.
- La veille en matière de normes et certifications d'équipements, de conception de centrales de production d'énergies renouvelables, d'intégration des énergies renouvelables au réseau électrique (Grid Code) et HSE.
- L'identification et l'évaluation du potentiel de production d'énergies renouvelables des sites éligibles à des projets énergies renouvelables.
- La réalisation des études de pré faisabilité et de faisabilité technique des projets.

1.5.3.1.3. Le Département Suivi des Projets :

Le Département Suivi des Projets a pour missions :

- Le pilotage des projets énergies renouvelables.
- Le suivi de la réalisation des centrales de production d'énergies renouvelables. Conformément aux spécifications, normes, certifications et au référentiel de management de projets de SONATRACH.

- La capitalisation d'expériences, le monitoring et la constitution de bases de données relatives à la production des centrales d'énergies renouvelables.

1.5.3.1.4. Le Département Développement des Projets :

Le Département Développement des Projets a pour missions :

- L'identification des projets d'énergies renouvelables.
- La définition des modèles d'affaires, en veillant à l'intégration nationale.
- La définition des schémas de financement avec les services et conseils financiers, en collaboration avec la DCP FIN.
- La contribution à l'élaboration des budgets et du plan de développement des projets d'énergies renouvelables.

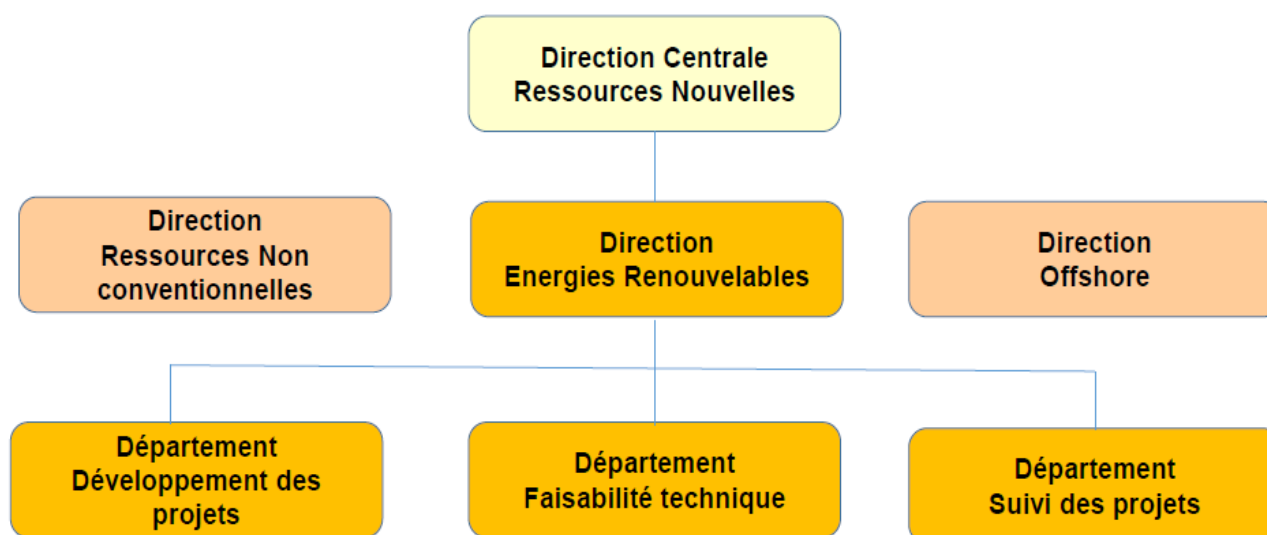


Figure 4.2 : Organigramme de la Direction Energies Renouvelables

Source : Document interne à SONATRACH

2. Étapes du développement d'un projet solaire photovoltaïque

Chaque projet de centrale solaire photovoltaïque suit une feuille de route unique, mais il existe des étapes clés bien définies pour son développement, qui nécessite l'intervention d'une équipe d'experts pluridisciplinaires : (voir figure 4.3)

- Le développeur de projet identifie d'abord un marché de l'électricité qui offre suffisamment d'opportunités en termes de risque par rapport au rendement, puis identifie un site prometteur et acquiert des droits d'utilisation des terres pour ce site.
- Réalisation de deux séries consécutives d'évaluations techniques et financières (études de préfaisabilité et de faisabilité)
- Obtient les licences et les permis requis.
- Sécurise les Accords d'achat d'énergie.
- Organise le financement et sélectionne une équipe qui sera chargée de la conception et de la construction du projet (souvent un entrepreneur EPC)
- Supervise la construction de l'usine et effectue les essais et la mise en service. Au fur et à mesure que le projet progresse d'une phase à l'autre, les évaluations techniques et financières deviennent plus détaillées, jusqu'à l'élaboration de la conception finale et le début de la construction.¹

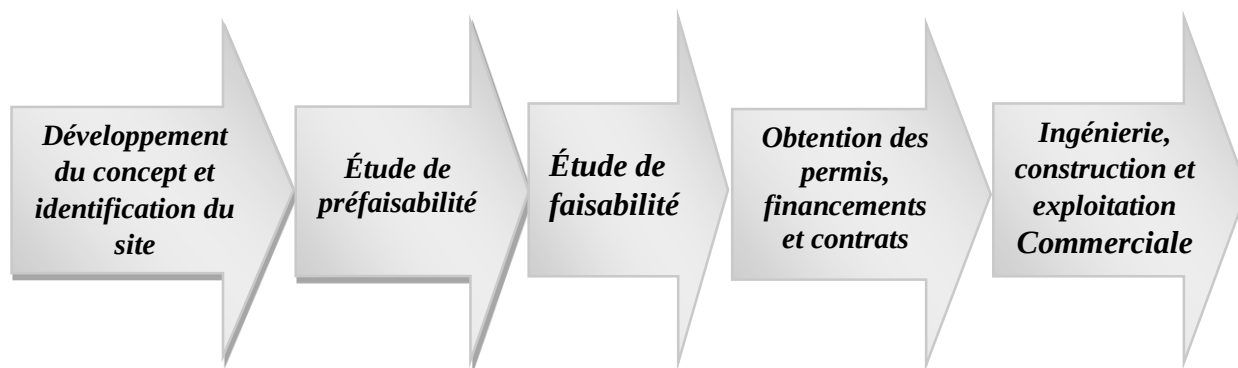


Figure 4.3 : Etapes du développement d'un projet solaire photovoltaïque

Source : établie par nous même

Suivant les étapes mentionnées ci-dessus, le site de la centrale solaire photovoltaïque a été déterminé : **Bir Rebaa Nord Ouargla (BRN)**, après l'identification d'un marché de l'électricité qui

¹ MESSOUDI, N et HAOUA, A. « Evolution du mix énergétique en Algérie et la stratégie de Sonatrach dans le développement de l'énergie PV », Master. UNIVERSITE DE M'hamed bougara. Boumerdes. 2020.

offre suffisamment d'opportunités en termes de risque par rapport au rendement, et aussi un site prometteur et acquiert des droits d'utilisation des terres pour ce site.

Afin de prendre la décision par rapport à la validation de ce projet, cette étape est suivie par des études intéressantes (pré faisabilité et faisabilité) :

- Évaluation technique : estimation des couts, après diagnostic des différents problèmes qui peuvent être détectés ;
- Evaluation financière qui sera le sujet de titre suivant.

3. Analyse de la rentabilité d'une centrale photovoltaïque (BRN)

Le projet solaire PV de BRN a une capacité de 10MW et SONATRACH prévoit une augmentation de sa capacité 50MW, Ce projet présente une opportunité intéressante pour la production d'énergie solaire en Algérie, avec des coûts d'investissement substantiels mais une durée de vie étendue permettant de bénéficier des avantages de l'énergie solaire à long terme.

Nous allons traiter la procédure la construction d'un modèle d'analyse, afin de prendre des décisions et identifier les impacts à court terme et à long terme.

3.1.Hypothèses et variables de modèle d'analyse

Au début, nous posons les hypothèses suivantes, relative aux variables qui seront la base de la construction de modèle.

3.1.1. General

Durée de vie du projet (ans)	25
Capacité (MW)	50

3.1.2. Capex et Opex

Capex : dépenses d'investissement se réfèrent aux immobilisations, c'est-à-dire aux dépenses qui ont une valeur positive sur le long terme.

Opex : dépenses d'exploitations elle correspond aux frais opératoires courants (la somme des frais du personnel, entretien d'installation et des frais variables de production).

Installation PV capex	150 DA/Wc
Montant OPEX	2 DA/Wc
Inflation OPEX	2%

3.1.3. Les Informations Financières

Part des Capitaux propres *	20%
Part de l'emprunt	80%
Durée de remboursement	20 ans
Type de remboursement	PC/AnC
ROE*	15%
Taux d'intérêt bancaire	5%
TAP*	1%
WACC	7%
Taux dégressif	25%
IBS* (19%)	20 ans
Type d'amortissement	L/D
Durée d'amortissement	10 Ans

3.1.4. Production

Irradiation (kWh/m ² /an)	2400
Ratio de performance	0.8 %
Perte de puissance des modules PV	0.5%
Consommation des auxiliaires	0.5%
Prix de vente de l'électricité (DA/kWh)	10

3.2. Construction d'un modèle de l'analyse de rentabilité de la centrale photovoltaïque

Le modèle de l'analyse de rentabilité de la centrale photovoltaïque, développé en utilisant Microsoft Excel, se présente comme suit :

4.1.1. Production

Sur la base des données précédentes, nous avons calculé la capacité produite par la formule suivante :

* **Capitaux propres** : sont les ressources financières que possède l'entreprise (hors dette).

***ROE** : La rentabilité des capitaux propres, est un Ratio financier qui mesure la capacité d'une entreprise à générer des profits à partir des esoulés capitaux propres, sans prendre en compte les autres sources des financements.

* **TAP** : taxe sur l'activité professionnelle est une taxe que doivent payer les entreprises sur leurs chiffres d'affaires.

* **IBS** : Impôt sur les bénéfices.

Production = puissance × irradiation × Ratio de performance × (1 - perte de puissance cumulé) × (1 - consommation auxiliaires)

Tableau 4.1: Evolution de la production de centrale PV sur une période de 25 ans

Année	Unité	Σ	0	1	2		24	25
Puissance	MW			50.00	50.00		50.00	50.00
Irradiation*	KWh/m ² /an			2400	2400		2400	2400
Ratio de Performance*	%			0.8	0.8		0.8	0.8
Perte de puissance des modules PV	%			0.50%	0.50%		0.50%	0.50%
Perte de puissance cumulée*	%			0.50%	1.00%		12.00%	12.50%
Consommation des auxiliaires*	%			0.50%	0.50%		0.50%	0.50%
Production	MWh	2,232.78		95.04	94.56		84.06	83.58

Source : établi par nous même

La figure suivante, représente l'évolution la production de la centrale PV. En remarque Décroissance linéaire de la courbe de production en raison de la perte de puissance des modules PV.

* **Irradiation** : représente la quantité d'énergie solaire qui atteint la surface des panneaux solaires et qui est convertie en électricité.

* **Ratio de Performance** : le rapport entre l'énergie électrique réellement produit sur l'énergie électrique théoriquement disponible.

* **Perte de puissance des modules PV** : la diminution de la capacité de production d'électricité des panneaux solaires au fil du temps.

* **Consommation des auxiliaires** : la quantité d'électricité utilisée par les équipements auxiliaires qui soutiennent le fonctionnement du système PV lui-même.

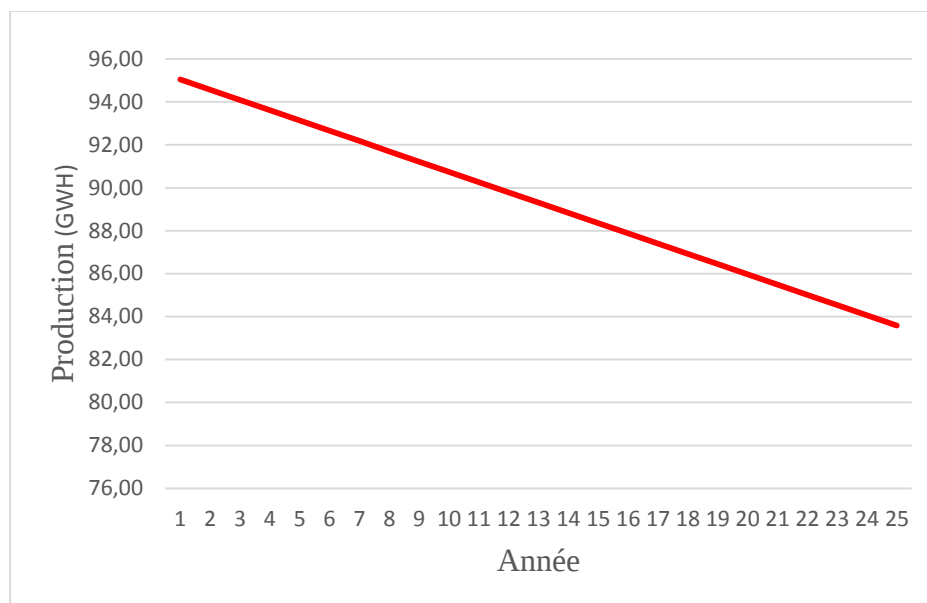


Figure 4.4 : Evolution de la production de la centrale PV

Source : établi par nous même

4.1.2. Capex et Opex

Le tableau suivant représente l'évolution de Capex et Opex avec un taux d'inflation de 2%.

Tableau 4.2 : capex et Opex sur une période de 25ans

Année	Unité		Σ	0	1	2		24	25
CAPEX	MDA	7,500		7,500					
OPEX (Montant de base)	MDA	100			100	100		100	100
Taux d'inflation	%	2%							
Coefficient d'inflation					1.02	1.04		1.61	1.64
OPEX (Montant suite à l'inflation)	MDA				102	104.04		160.84	164.06

Source : établi par nous même

La figure suivante, représente l'évolution de l'Opex. En remarque Evolution en exponentielle, de l'OPEX, due l'inflation.

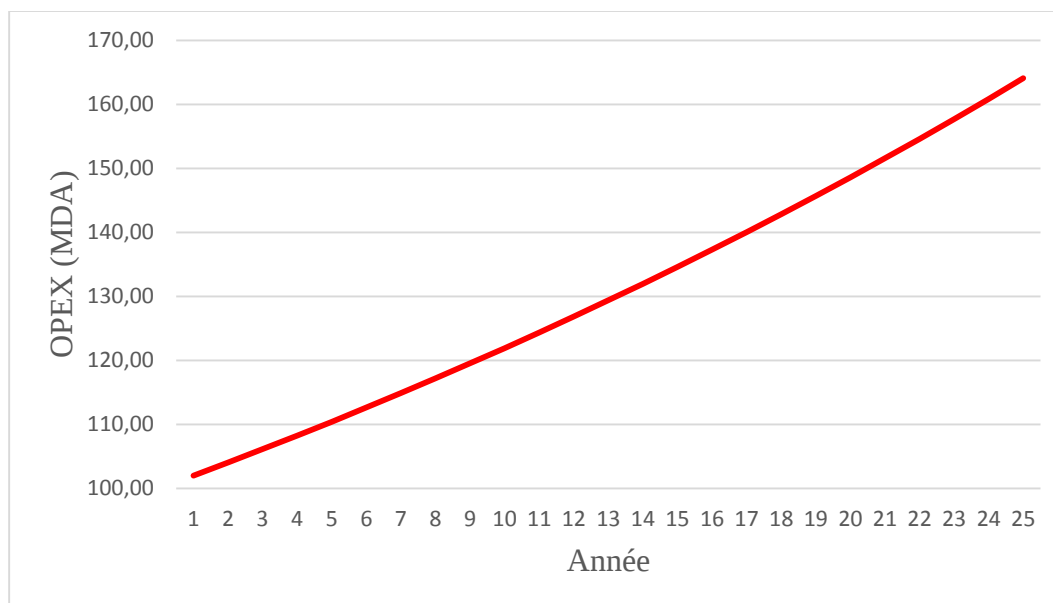


Figure 4.5 : Evolution de l'Opex

Source : établi par nous même

4.1.3. Amortissement

Constatation comptable de la dépréciation irréversible de la valeur d'un bien, du fait de l'usure du temps ou de l'obsolescence. Nous avons calculé VNC par la formule suivante :

Valeur nette comptable = Capex - Amortissement

Tableau 4.3 : Amortissement sur une période de 10 ans

Année	Unité		S	0	1	2		9	10
CAPEX	MDA	7500.00		7,500.00					
Durée d'amortissement	Ans	10							
Amortissement linéaire*									
VNC* fin d'exercice	MDA				6,750.00	6,000.00		750.00	0.00
Taux linéaire	%	10.00%			10%	10%		10%	10%
Amortissement	MDA		7,500.00		750.00	750.00		750.00	750.00
Amortissement dégressif*									
VNC fin d'exercice	MDA				5,625.00	4,218.75		333.71	0.00
Taux linéaire restant	%				10.00%	11.11%		50.00%	100.00%

* **Amortissement linéaire** : répartit la dotation par annuités identique durant toute la durée de vie du bien

* **VNC** : Valeur Nette Comptable comme étant la valeur d'un actif à un instant t

* **Amortissement dégressif** : calcule une dotation aux amortissements plus élevée durant les 1ères années du bien

Coefficient dégressif		2.5			5,625.00	4,218.75		333.71	0.00
Taux dégressif	%	25.00%			25%	25%		50%	100%
Amortissement	MDA		7,500.00		1,875.00	1,406.25		333.71	333.71

Source : établi par nous même

La figure suivante, représente VNC en fonction des années, l'amortissement dégressif présente un avantage fiscal en cas de paiement de l'IBS.

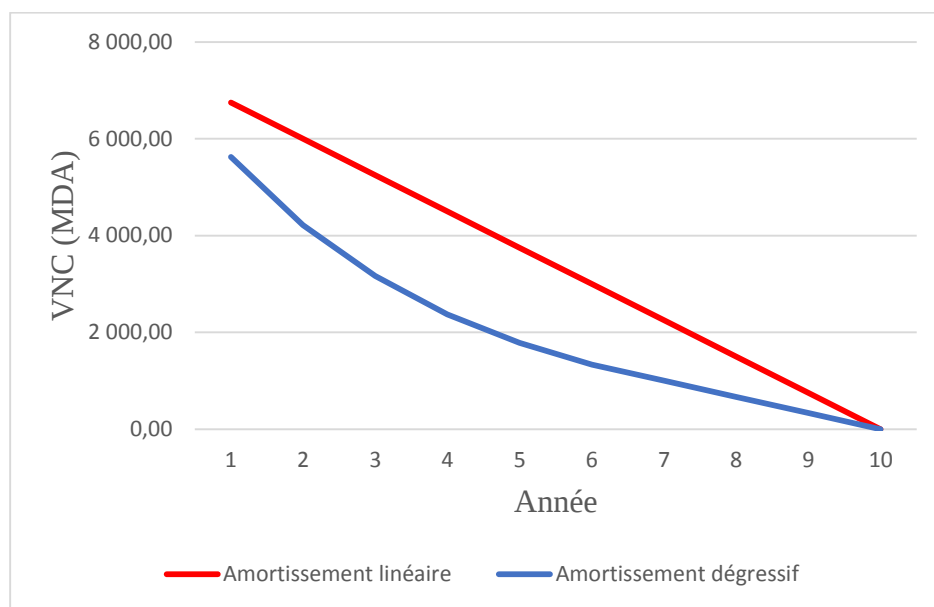


Figure 4.6: Valeur nette comptable fin d'exercice

Source : établi par nous même

4.1.4. Remboursement de l'emprunt

Un emprunt est une dette financière à long terme qui participe, concurremment avec les capitaux propres, à la couverture des besoins de financement durable de l'entreprise

Sur la base des données de remboursement cité avant, On a pour calculé le remboursement de l'emprunt comme suit

Tableau 4.5: Remboursement de l'emprunt sur une période de 20 ans

Année	Unité		Σ	0	1	2	...	19	20
Remboursement à Principal constant*									

* Remboursement à Principal constant : Le montant du principal reste fixe d'une année à une autre ce qui donne un intérêt annuel dégressif.

Emprunt restant	MDA			6,000	5,700	5,400		300	0.00
Principal constant	MDA		6,000		300.00	300.00		300	300
Intérêt	MDA		3,150		300.00	285.00		30.00	15.00
Annuité	MDA		9,150		600.00	585.00		330	315
Remboursement à Annuité constante*									
Emprunt restant	MDA			6,000	5,818.54	5,628.02		458.53	0.00
Principal	MDA		6,000		181.46	190.53		436.69	458.53
Intérêt	MDA		3,629.11		300	290.93		44.76	22.93
Annuité constante	MDA		9,629.11		481.46	481.46		481.46	481.46

Source : établi par nous même

La figure suivante montre Intérêt en fonction des années, L'option "**annuité constante**" entraîne des intérêts bancaires plus importants que l'option "**principal constant**". Malgré cela, le remboursement à **annuité constante** s'avère plus intéressant, comme nous le verrons plus loin. En effet, pour un coût moyen pondéré du capital WACC=7% et un intérêt bancaire de 5%, il sera plus intéressant de garder l'argent le plus longtemps possible que de le rembourser

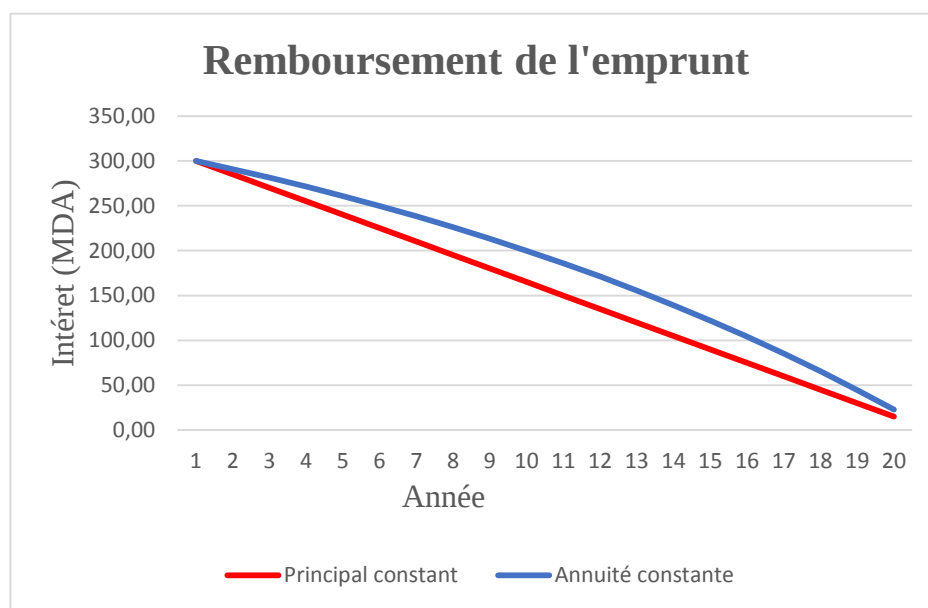


Figure 4.7: Remboursement de l'emprunt

Source : établi par nous même

* **Remboursement à Annuité constante** : la part du capital dans chaque paiement augmente afin de compenser la diminution des intérêts.

Nous examinerons l'impact des types d'amortissement et de remboursement de l'emprunt sur les indicateurs financiers

Tableau 4.4: Impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers

Amortissement	Linéaire	Linéaire	Dégressif	Dégressif
Remboursement de l'emprunt	Annuité constante	Principal constant	Annuité constante	Principal constant
VAN (MDA)	1 998.44	1887.30	1872.36	1749.31
IP	0.27	0.25	0.25	0.23
TRI	21.53%	17.9%	20.90	17.24
TDR (ans)	5.22	7.31	5.22	7.37

Source : établi par nous même

-Le tableau représente comparaison entre amortissement linéaire et dégressif et entre remboursement à annuité constante et à principal constante, L'option qui présente les meilleurs indicateurs est celle de l'amortissement linéaire de l'investissement et le remboursement à annuité constante.

3.2.5 Cash-flow

Cash-flow calcule par période, l'année en général. Il totalise l'ensemble des flux de trésorerie générés par les activités du projet. Nous avons calculé cash-flow par la formule suivante :

$$\text{Cash-flow} = \text{Racette} + \text{Emprunt} - \text{Capex} - \text{Opex} - \text{Annuité} - \text{TAP} - \text{IBS}$$

Tableau 4.6: cash-flow sur une période de 25ans

Année	Unité		Σ	0	1	2	...	24	25
Recettes*	MDA				950.42	945.65		840.58	835.80
Prix de vente unitaire	DA/kWh	10.00							
Production	MWh		2,232.78		95.04	94.56		84.06	83.58
CAPEX	MDA	7,500		7,500					
Amortissement linéaire									
Amortissement	MDA		7,500		750.00	750.00			

* **Recettes :** C'est le montant total d'argent ou de valeur monétaire que l'entreprise reçoit en échange de la vente de biens ou de services.

OPEX	MDA		3,267.09		102.00	104.04		160.84	164.06
Emprunt	MDA	6,000.00		6,000.00					
Principal	MDA		6,000.00		181.46	190.53		-	-
Annuité constante									
Intérêt	MDA				300.00	290.93		-	-
Annuité	MDA				481.46	481.46		-	-
Exonération d'impôts	ans	5.00							
TAP	MDA	0.01	176.23		-	-		8.41	8.36
Total des charges déductibles*	MDA				1,152	1,144.97		169.25	172.42
Bénéfice imposable*	MDA				- 201.58	- 199.32		671.33	663.38
Report*	MDA				- - 201.58	- 400.90		-	-
IBS	MDA	0.19			-	-		127.55	126.04
Bénéfice Net*	MDA				- 201.58	- 199.32		543.77	537.34
Cash-Flow	MDA			- 1,500	366.97	360.15		543.77	537.34
WACC	%	0.07							
Coefficient d'actualisation				1.00	0.93	0.87		0.20	0.18
Cash-Flow Actualisé	MDA		1,998.44	- 1,500	342.96	314.57		107.20	99.00
Cumul Cash-Flow Actualisés*	MDA			- 1,500	- 1,157.04	- 842.47		1,899.44	1,998.44
Temps de retour TDR*	Ans		5.22	-	-	-		-	-

Source : établi par nous même

* **Charges déductibles** : sont des charges que l'on peut déduire du revenu global imposable, avant le calcul de l'impôt. Ces charges viennent donc minorer la base d'imposition.

* **Le bénéfice imposable** : est égal à la différence entre les produits perçus par l'entreprise et les charges déductibles qu'elle a supportées.

* **Report** : subit pendant un exercice est considéré comme charge de l'exercice suivant et déduit du bénéfice réalisé pendant ledit exercice.

* **Bénéfice Net** : est le montant total des profits réalisés sur une période, l'année en général.

* **Cumul des cash-flow actualisés** : jusqu'à l'année M consiste à calculer le total des flux actualisés depuis le démarrage du projet jusqu'à l'année M.

* **TDR** : Il représente le temps nécessaire pour que les flux de trésorerie prévisionnels dégagés par un investissement rentabilisent le coût d'investissement initial

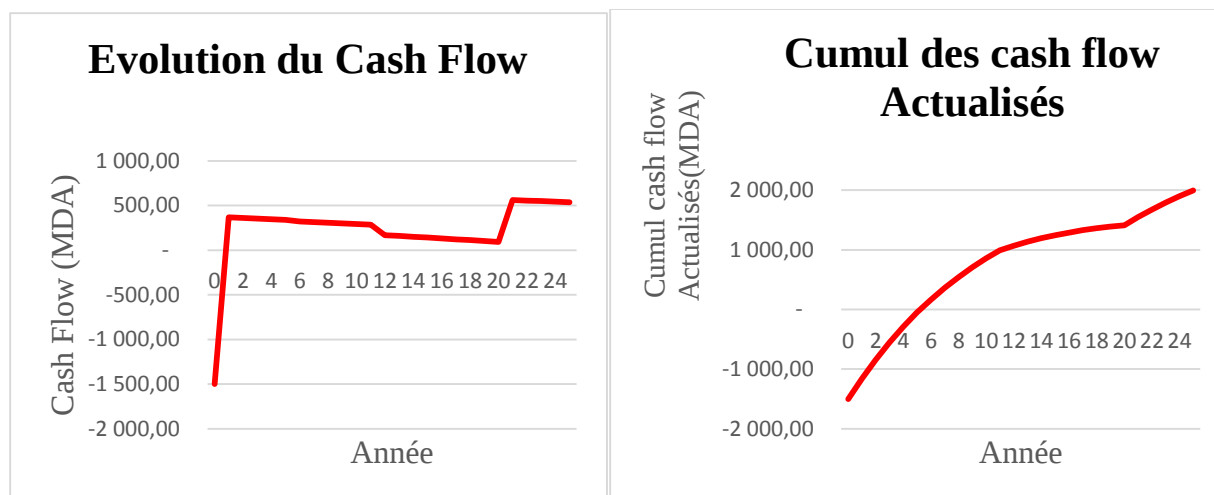


Figure 4.8: Evolution du cash-flow et du cumul des cash-flow actualisés

Source : établi par nous même

D'après la représentation graphique ci-dessus, les deux courbes : le cash-flow et son cumul ont une origine négative, cela signifie que les capitaux propres sont négatifs, d'une valeur de : 1500 MDA. À partir de ce point, le cumul cash-flow augmente avec un rythme croissant.

Le début de l'activité de la centrale PV est marqué par la décroissance du courbe cash-flow, ce qui entrainer le ralentissement de cumul cash-flow, due aux deux facteurs :

- La baisse des recettes réalisées, car la capacité produite décroît avec le temps, à cause de la perte de puissance des modules PV ;
- L'augmentation des charges variables (Opex), car la centrale PV nécessite des charges durant son activité.

En parallèle, le cumul de cash-flow est toujours croissant, et s'annule après 5 ans d'activité de la centrale ; c'est le temps de retour sur investissement (le seuil de rentabilité), où toutes les charges sont couvertes. A partir de ce point, le projet PV commence à réaliser des profits. Ainsi, après 11 ans d'activité, le cumule cash-flow ralentit à cause de l'apparition de l'IBS (impôts sur les bénéfices).

De l'année 20, le cash-flow augmente et dépasse 500 MD, cela due au remboursement d'emprunt, entrainant, un déclin dans le cumul cash-flow, qui augmente avec un rythme croissant.

Après 20 ans d'activité, le cash-flow décroît encore a cause de baisse des recette et augmentation de l'Opex, cinq année après, le cumul de cash-flow atteint une valeur actuelle nette (VAN) d'une valeur de 1,998.44 MDA ; c'est la richesse créée par la centrale PV après 25 ans d'activité de production.

4.1.6. Evaluation et prise de décision

Tableau 4.7: Analyse des indicateurs financiers et de rentabilité du projet

CAPEX	7,500.00	MDA
VAN*	1,998.44	MDA
IP*	0.27	
WACC	7.00%	
TRI	21.53%	
TDR	5.22	ans

Source : établi par nous même

- $VAN > 0$: La valeur actuelle nette positive (1 998,44 MDA) indique que le projet est rentable. Cela signifie que les flux de trésorerie générés par l'investissement sont supérieurs au coût initial de l'investissement.
- $IP \approx 0.3$: Un indice de profitabilité d'environ 0.3 suggère que chaque unité monétaire investie génère environ 0.3 unité monétaire de profit. Cela peut être interprété comme une rémunération juste limite pour l'effort consenti, ce qui indique un retour sur investissement relativement faible par rapport au coût initial.
- $TRI \gg WACC$: Un taux de rentabilité interne (TRI) de 21.53% indique un rendement potentiellement élevé pour l'investissement. Comparé au coût moyen pondéré du capital (WACC) de 7.00%, cela suggère une rentabilité supérieure à la norme attendue. Cela peut être considéré comme positif, car l'investissement offre une bonne marge de sécurité en termes de rentabilité.
- $TDR = 5.22$ ans : Le taux de délai de récupération indique qu'il faudra environ 5.22 ans pour récupérer le montant initial investi. Cela indique une période relativement courte pour récupérer l'investissement initial, ce qui peut être considéré comme une récupération rapide de l'investissement.

4.2. Analyse de sensibilité

IP : Indice de profitabilité, Aussi appelé indice de rentabilité, il est défini comme étant le rapport entre la valeur actuelle nette est le montant de l'investissement.

* **VAN** : Valeur Actuelle Nette, calculé par la formule suivante : $VAN = \Sigma \text{ Flux entrants actualisés} - \Sigma \text{ Flux sortants actualisés}$

* **IP** : indice de préféabilité

4.2.1. Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au CAPEX

Tableau 4.8: Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au CAPEX

CAPEX (DA/Wc)		80	150	190	200	220
IP	0.27	1.20	0.27	0.03	-0.02	-0.10

Source : établi par nous même

Le graphe suivant, représente la Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au CAPEX, On remarque que les dépenses en capital (CAPEX) ont un impact variable sur l'indice de profitabilité (IP). Certaines dépenses en capital peuvent améliorer considérablement la profitabilité, tandis que d'autres peuvent avoir un effet négligeable ou même négatif.

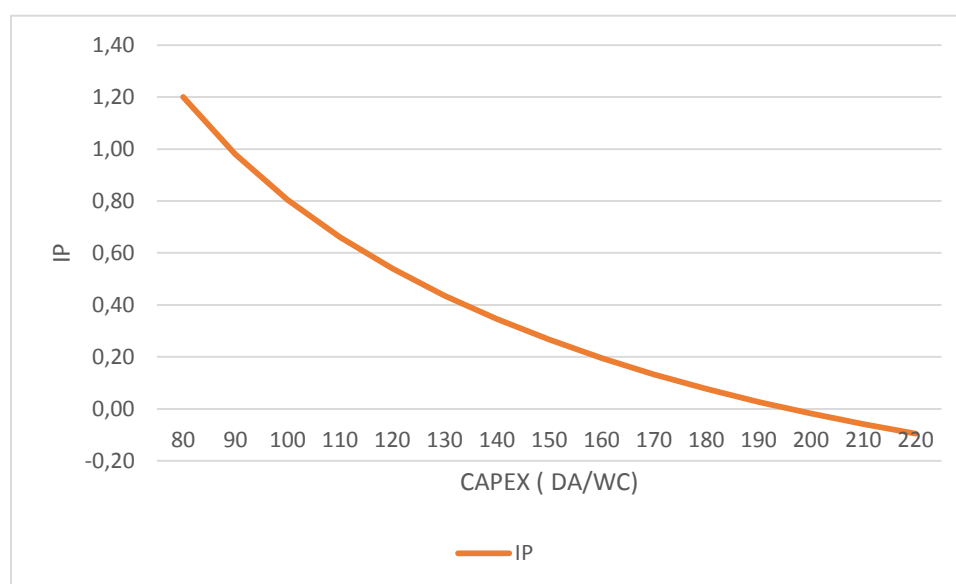


Figure 4.9: Sensibilité de l'IP par rapport au CAPEX

Source : établi par nous même

4.2.2. Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport à l'OPEX

Tableau 4.9 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport à l'OPEX

OPEX (DA/Wc)		0.5	2	5	5.5	7.5
IP	0.27	0.39	0.27	0.00	-0.04	-0.21

Source : établi par nous même

Le graphe suivant montre la sensibilité de l'IP par rapport à l'OpeX ; On remarque que L'indice de profitabilité (IP) diminue à mesure que les dépenses d'exploitation augmentent. On peut le constater en observant les valeurs de l'IP pour chaque augmentation de l'OpeX.

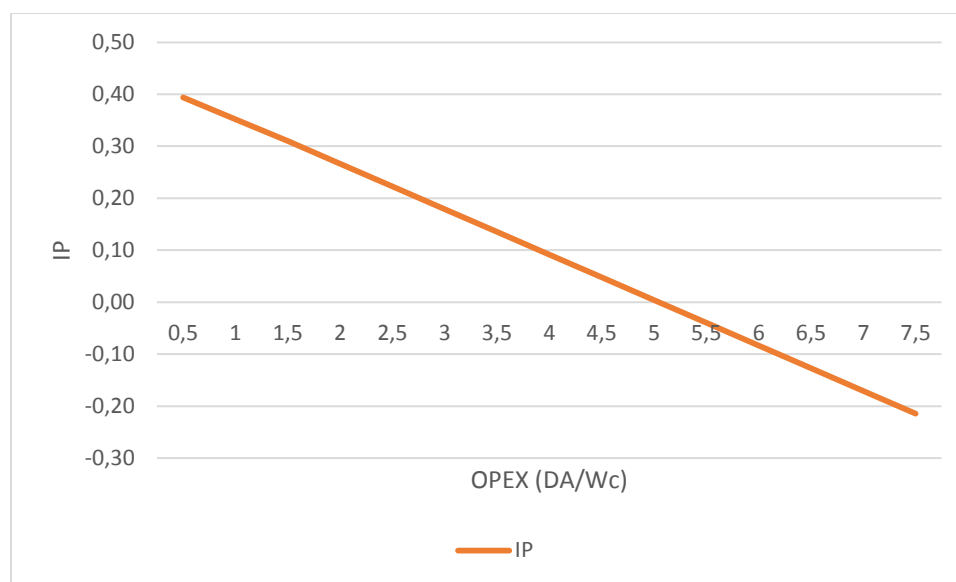


Figure 4.10: Sensibilité de l'IP par rapport à l'OPEX

Source : établi par nous même

4.2.3. Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au Capitaux Propres

Tableau4.10 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au Capitaux Propres

Capitaux propres (%)		0%	20%	55%	60%	100%
IP	0.27	0.36	0.27	0.03	-0.01	-0.34

Source : établi par nous même

Le graphe suivant montre la sensibilité de l'IP par rapport aux capitaux propres ; On remarque L'indice de profitabilité (IP) diminue à mesure que les capitaux propres augmentent. Lorsque les capitaux propres passent de 0% à 20%, l'IP diminue de 0,36 à 0,27.

Lorsque les capitaux propres atteignent un niveau élevé (60% et 100%), l'IP devient négatif. Cela indique que dans ces cas, l'entreprise génère des pertes plutôt que des bénéfices.

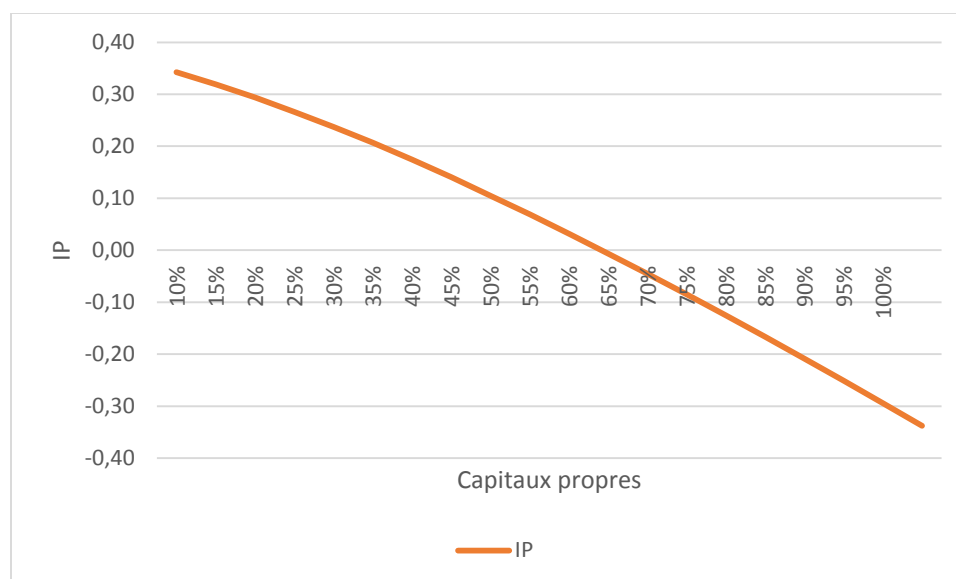


Figure 4.11: Sensibilité de l'IP par rapport au Capitaux Propres

Source : établi par nous même

4.2.4. Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport à la durée de remboursement

Tableau4.11 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport à la durée de remboursement

Durée de remboursement (ans)		1	12	13	20	25
IP	0.27	-8.66	-0.03	0.03	0.27	0.35

Source : établi par nous même

-Ce graphique indique que la durée de remboursement a un impact significatif sur l'indice de profitabilité (IP). Une durée de remboursement courte peut compromettre la profitabilité, car elle implique des paiements élevés et une pression financière accrue. En revanche, une durée plus longue permet de répartir les paiements sur une période étendue, ce qui peut contribuer à une meilleure profitabilité.

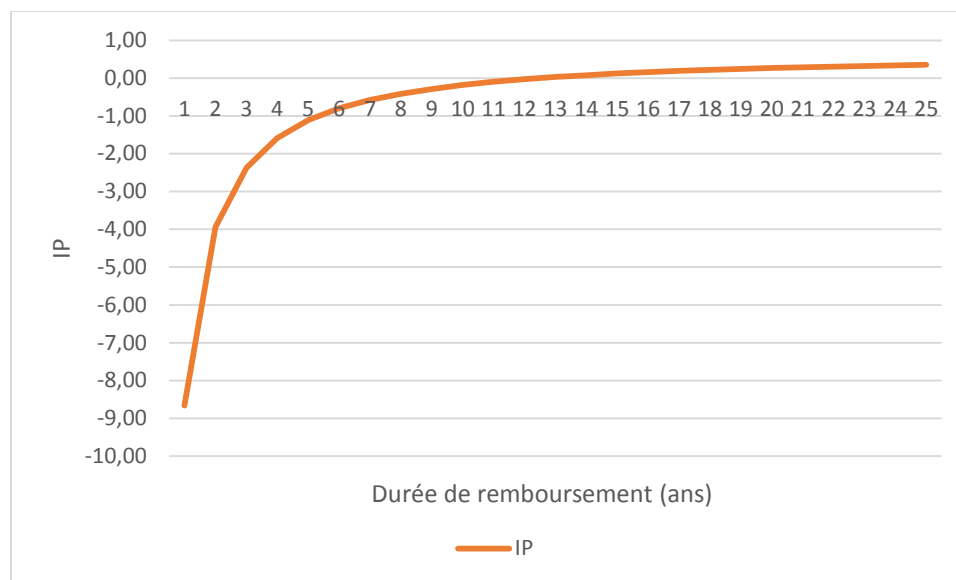


Figure 4.12: Sensibilité de l'IP par rapport à la durée de remboursement

Source : établi par nous même

4.2.5. Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au taux d'intérêt

Tableau4.12 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au taux d'intérêt

Taux d'intérêt (%)		0.5%	5.0%	8.5%	9.0%	10.0%
IP	0.27	0.75	0.27	0.00	-0.03	-0.09

Source : établi par nous même

-Ce graphe révèle que les taux d'intérêt ont un impact sur l'indice de profitabilité (IP). Des taux d'intérêt bas favorisent la profitabilité, tandis que des taux plus élevés ont tendance à diminuer la profitabilité. Il est important de prendre en compte les coûts d'emprunt et d'évaluer l'impact des taux d'intérêt lors de l'analyse financière et des décisions d'investissement.

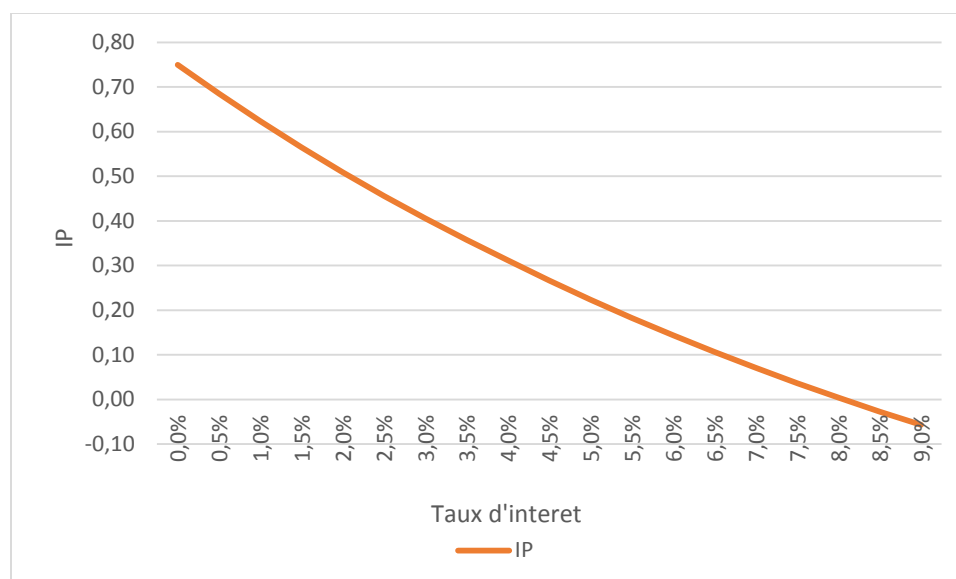


Figure 4.13: Sensibilité de l'IP par rapport au Taux d'intérêt

Source : établi par nous même

4.2.6. Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au coût de vente de l'électricité

Tableau 4.13 : Sensibilité de l'indice de profitabilité par rapport au coût de vente de l'électricité

Prix de vente de l'électricité (kWh/m ² /an)		6.00	8.00	10.00	12.00
IP	0.27	-0.26	0.00	0.27	0.52

Source : établi par nous même

-Ce graphe montre que Les prix de vente de l'électricité plus élevés ont tendance à améliorer la profitabilité, tandis que des prix plus bas peuvent compromettre la rentabilité.

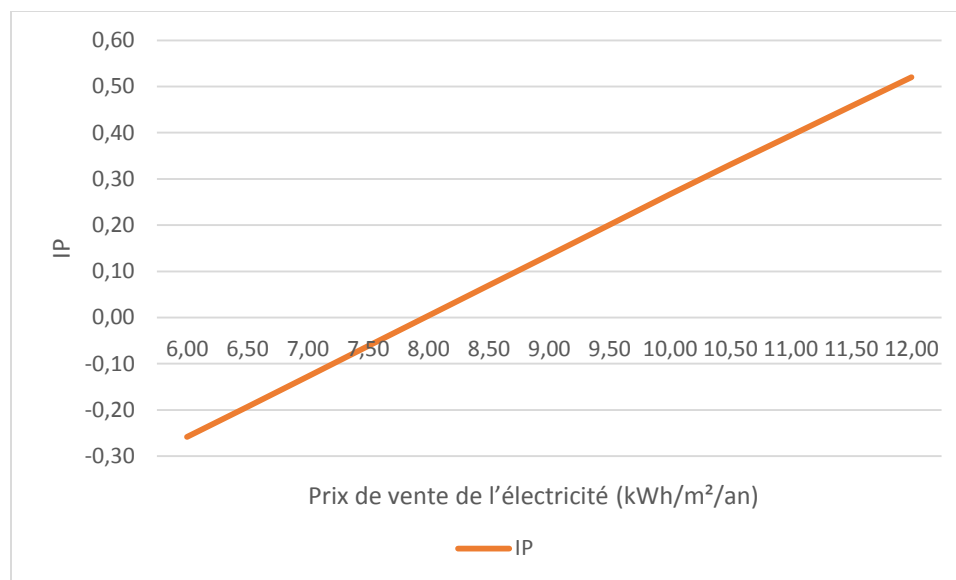


Figure 4.14: Sensibilité de l'IP par rapport au Prix de vente de l'électricité

Source : établi par nous même

4.3.Impact de projet:

Le projet BRN Ouargla en Algérie, développé par SONATRACH, a plusieurs impacts importants, tels que :

- **Impact économique :** Le projet BRN, avec une capacité de 50 MW, contribue à la création de richesse. Selon les résultats et l'analyse précédente, il est estimé que le projet générera une richesse de 1 998,44 (MDA) sur une période de 25 ans. De plus, les gains annuels en gaz sont estimés entre 750 et 840 (MMDA). Sur une période de 25 ans, ce gain atteindrait une valeur de 1 9857,33 MMDA
- **Impact environnemental :** En produisant de l'électricité renouvelable avec une capacité annuelle de 50 MW, le projet BRN permet d'éviter les émissions de CO₂. Selon les estimations, cela se traduirait par une réduction annuelle moyenne de 288 à 327 (MMDA) en coûts liés aux émissions de CO₂. Sur une période de 25 ans, cette réduction atteindrait une valeur de 7 694,17 (MMDA).
- **Création d'emplois :** Le projet BRN à Ouargla contribue à la création d'emplois dans la région. Bien que le nombre précis d'emplois créés ne soit pas spécifié, il est probable que le développement, la construction et l'exploitation du projet nécessitent une main-d'œuvre locale, ce qui peut avoir un impact positif sur l'emploi dans la région de BRN Ouargla.

- **Obtention de certificats verts** : Le projet BRN à Ouargla peut également permettre à SONATRACH d'obtenir des certificats verts. Les certificats verts sont des instruments de marché qui attestent de la production d'électricité renouvelable. Ils peuvent être vendus sur le marché et permettent aux entreprises de démontrer leur engagement envers les énergies propres et durables.

4.4. Impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers

Le tableau 4.14 représente l'impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers ; On remarque les coûts d'investissement initial et d'exploitation augmentent avec la capacité. On observe une augmentation significative de la VAN à mesure que la capacité de production augmente, ce qui indique une rentabilité accrue du projet. Le WACC reste constant à 7,00% dans tous les scénarios. Le TRI augmente également avec la capacité. Cela indique que plus la capacité de production est élevée, plus le projet est rentable.

Tableau 4.14 : Impact de la capacité de production sur les indicateurs financiers

Capacité (MW)	10	50	100	300	500	1000	2000	5000
Capex (MDA)	1550	7500	14800	44100	73000	144000	288000	695000
Prix de vent de l'estricité (DA/KWh)	10	10	10	10	10	10	10	10
OPEX (MDA)	23	100	198	591	980	1940	3840	9450
VAN (MDA)	316.77	1,998.44	4197.41	12893.03	21989.7	45922.32	95673.99	253320.06
WACC	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%
TRI (%)	18.28%	21.53%	22.45%	22.91%	23.39%	24.33%	25.40%	26.79%
TDR (ans)	6.2	5.22	4.99	4.89	4.79	4.6	4.41	4.15

Source : établi par nous même

-

Conclusion

Le développement du projet photovoltaïque BRN par Sonatrach en Algérie présente des avantages économiques significatifs pour l'entreprise et le pays. Sonatrach peut réaliser un profit estimé à **298 148 MMDA** sur 25 ans. De plus, l'économie de gaz naturel permettra à l'Algérie d'exporter cette ressource, générant des revenus supplémentaires d'environ **1 985,7 MMDA**.

Ce projet contribue à la transition énergétique du pays en favorisant une production d'électricité propre, tout en préservant les ressources naturelles. Il représente un double retour positif, offrant à Sonatrach des bénéfices financiers et à l'Algérie des opportunités économiques durables.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent mémoire a exploré différents aspects des énergies renouvelables en Algérie, en se concentrant sur le rôle de Sonatrach dans ce domaine. Les quatre chapitres ont fourni une compréhension approfondie du sujet, en commençant par les généralités sur les énergies renouvelables, puis en abordant la transition énergétique, les énergies renouvelables en Algérie et enfin la contribution spécifique de Sonatrach avec l'étude de cas du projet PV de Bir Rbaa Nord à Ouargla. Le présent mémoire a exploré différents aspects des énergies renouvelables en Algérie, en se concentrant sur le rôle de Sonatrach dans ce domaine. Les quatre chapitres ont fourni une compréhension approfondie du sujet, en commençant par les généralités sur les énergies renouvelables, puis en abordant la transition énergétique, les énergies renouvelables en Algérie et enfin la contribution spécifique de Sonatrach avec l'étude de cas du projet PV de Bir Rbaa Nord à Ouargla.

Dans le premier chapitre, nous avons acquis les connaissances de base sur les énergies renouvelables, leurs principes fondamentaux et leurs avantages. Le deuxième chapitre a souligné l'importance de la transition énergétique et a examiné les accords internationaux qui la soutiennent, ainsi que les pays développés qui ont pris des mesures significatives dans ce domaine. Le troisième chapitre nous a permis d'évaluer le potentiel des énergies renouvelables en Algérie, en mettant l'accent sur le solaire, et d'explorer les politiques gouvernementales et les initiatives en cours. Enfin, le quatrième chapitre a analysé la contribution de Sonatrach dans les énergies renouvelables à travers l'étude de cas du projet PV de Bir Rbaa Nord à Ouargla, en se concentrant sur une analyse économique approfondie.

1. Résultats d'étude

Les résultats d'études peuvent être résumés dans les points suivants :

- Les énergies renouvelables offrent une alternative durable et respectueuse de l'environnement aux sources d'énergie non renouvelables ;
- L'hydrogène vert émerge comme une solution prometteuse pour une économie bas-carbone, offrant la possibilité de stockage et de transport efficace de l'énergie renouvelable. En continuant d'explorer et de développer ces technologies, nous pouvons œuvrer vers une transition énergétique plus durable et contribuer à la préservation de notre planète pour les générations futures ;

Conclusion générale

- La transition énergétique est un enjeu multidimensionnel qui nécessite une approche globale pour répondre aux défis environnementaux, économiques, sociétaux et énergétiques. En adoptant des politiques et des pratiques favorables à la transition énergétique, les pays peuvent contribuer à une économie plus verte, plus résiliente et plus durable ;
- L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions durables aux défis environnementaux, pour contribuer à l'effort global de préservation de l'environnement et de lutte contre le réchauffement climatique ;
- Disposant d'un potentiel EnR solaire appréciable et d'une solide expérience dans l'industrie et le marché énergétique, l'Algérie se positionne comme un acteur régional majeur, permettant non seulement d'assurer une transition énergétique sereine sur ses territoires, mais aussi continuer de jouer pleinement son rôle de fournisseur d'énergie à tous ses traditionnels partenaires / clients ;
- Les textes juridiques réglementant le secteur des énergies renouvelables en Algérie reflètent des visions nationales où les marchés des énergies renouvelables sont toujours dominés par les entreprises de l'Etat ;
- Le développement du projet photovoltaïque BRN par Sonatrach en Algérie présente des avantages économiques significatifs pour l'entreprise et le pays. Sonatrach peut réaliser un profit estimé à **298 148 MMDA** sur 25 ans. De plus, l'économie de gaz naturel permettra à l'Algérie d'exporter cette ressource, générant des revenus supplémentaires d'environ **1 985,7 MMDA**. ;
- Le projet photovoltaïque BRN contribue à la transition énergétique du pays en favorisant une production d'électricité propre, tout en préservant les ressources naturelles. Il représente un double retour positif, offrant à Sonatrach des bénéfices financiers et à l'Algérie des opportunités économiques durables ;

Les résultats de cette étude ont mis en évidence l'importance croissante des énergies renouvelables dans la transition énergétique mondiale. L'Algérie, avec son potentiel solaire abondant, a l'opportunité de devenir un acteur majeur dans le domaine des énergies renouvelables. La contribution de Sonatrach dans ce domaine est significative, notamment à travers le projet PV de Bir Rbaa Nord, qui démontre l'engagement de la société envers la transition énergétique.

Conclusion générale

2. Test des hypothèses

Selon Les résultats obtenus, on peut les hypothèses de l'étude suit :

- **Hypothèse N°01 est rejetée**

C'est vrai que les énergies renouvelables sont plus écologiques, mais sa production coûte plus cher que les énergies fossiles, notamment l'énergie solaire.

- **Hypothèse N°02 est validée**

L'Algérie dispose d'un fort potentiel solaire en raison de son ensoleillement abondant, offrant des opportunités significatives pour le développement de l'énergie solaire et la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.

- **Hypothèse N°03 est rejetée**

Car Le développement des énergies renouvelables est encadré par un ensemble de textes législatifs relatifs à la promotion des énergies renouvelables pas seulement dans le cadre du développement durable, mais aussi dans le cadre de : la maîtrise de l'énergie et l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations.

- **Hypothèse N°03 est validée**

SONATRACH joue un rôle primordial dans le développement économique de pays, en investissant dans les énergies renouvelables.

Les résultats obtenus à travers le test des hypothèses confirment l'importance des énergies renouvelables, du potentiel solaire en Algérie et de l'engagement de Sonatrach dans le développement de ce secteur. De plus, l'étude démontre les avantages économiques et environnementaux du projet PV de Bir Rbaa Nord, ainsi que son potentiel à stimuler l'économie locale. Cependant, il est essentiel de relever les défis tels que la maintenance et l'intégration réussie du projet.

3. Recommandations

Les résultats de cette étude fournissent une base solide pour formuler des recommandations suivantes :

- Le développement continu des énergies renouvelables en Algérie, notamment en explorant davantage le potentiel de l'hydrogène vert dans le pays ;

Conclusion générale

- Il est essentiel de poursuivre les efforts visant à promouvoir les énergies renouvelables en Algérie, en renforçant les politiques et les réglementations favorables, en encourageant l'investissement dans des projets durables et en renforçant les partenariats public-privé ;
- Une attention particulière devrait être portée à l'optimisation économique des projets, en évaluant les coûts et les bénéfices à long terme.

4. Difficultés de l'étude

Cette étude a également été confrontée à certaines difficultés, notamment en ce qui concerne l'accès à des données précises et à jour, ainsi que la disponibilité de recherches antérieures spécifiques à SONATRACH dans le domaine des énergies renouvelables.

5. Perspectives de l'étude

Cette étude ouvre la voie à de nombreuses perspectives de recherche futures. Voici quelques-unes des perspectives qui pourraient être explorées :

- Analyse comparative des projets d'énergies renouvelables en Algérie : Comparer le projet PV de Bir Rbaa Nord avec d'autres projets d'énergies renouvelables en Algérie pour évaluer leur rentabilité, leur impact économique et leur contribution à la transition énergétique ;
- Impact environnemental des projets d'énergies renouvelables : Étudier l'impact environnemental des projets d'énergies renouvelables, y compris les émissions de gaz à effet de serre évitées et les avantages en termes de durabilité ;
- Étude des collaborations public-privé : Analyser les partenariats entre les acteurs publics et privés dans le développement des énergies renouvelables en Algérie et évaluer leur efficacité.
- Analyse des coûts, les avantages et les défis associés à la production, au stockage et à la distribution de l'hydrogène vert en Algérie ;
- Analyser les politiques et les réglementations nécessaires pour favoriser le développement de l'hydrogène vert en Algérie ;
- Évaluation de potentiel technico-économique de la production d'hydrogène vert à grande échelle en Algérie, en tenant compte des aspects liés à la disponibilité des ressources renouvelables, aux infrastructures nécessaires et aux coûts associés.

Bibliographie

1. Ouvrages

- Dincer, I., & Rosen, M. A. Renewable Energy and Sustainable Development (2nd edition). Wiley.2018
- Sayigh, A. A. M. (Ed.). Renewable Energy: Technology, Policy and Challenge. Springer.2017
- Tester, J. W; Drake, E. M; Driscoll, M. J; Golay, M. W; et Peters, W. A. Sustainable Energy: Choosing Among Options (2nd edition). The MIT Press.2012.
- Tiwari, G. N., & Mishra, R. K. Solar Energy: Fundamentals, Design, Modeling and Applications. CRC Press.2019.
- Zhang, X., & Chowdhury, S. Introduction to Renewable Energy (2nd edition). CRC Press.2019.

2. Mémoires :

- ABBAD, I. « Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclaircissement) sur le rendement d'une cellule solaire ». Master. Université Larbi Ben M'Hidi / Oum El Bouaghi. 2019.
- HABBI, H et BIBI, Y. « Simulation et Optimisation des performances d'un système hybride intégrant des Energies renouvelables pour la génération d'Electricité ». Master. UNIVERSITE DE BOUIRA.2016.
- AMARA, C et BOUHAIDER, R. « Etude et implémentation d'une cellule photovoltaïque sur cible FPGA ». Master. Université SAAD DAHLAB de BLIDA. 2012.
- AZIZI, A. « Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stockage hybride ». Thèse de doctorat. UNIVERSITEDADJI MOKHTAR ANNABA. 2019.
- RAHMOUN, S. « Etude prospective de la transition énergétique et l'impact environnemental en Algérie ». Thèse de doctorat ES-Sciences. Université KASDI MERBAH. 2019.
- SETTOU, B. « Contribution à la maitrise de la transition énergétique en Algérie ». Thèse de doctorat. Université KASDI MERBAH. 2021.

- RABIA, N et RAMIDI, H. « Rôle de la transition énergétique dans l'économie nationale : cas de l'Algérie ». Master. Université A. MIRA de BEJAIA. 2021.
- BOUDEHANE, T et CHARANI, W. « Développement des énergies renouvelables pour l'approvisionnement d'électricité en Algérie cas de Tébessa ». Master. Université M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES. 2022.
- MESSOUDI, N et HAOUA, A. « Evolution du mix énergétique en Algérie et la stratégie de Sonatrach dans le développement de l'énergie PV ». Master. UNIVERSITE DE M'hamed bougara. Boumerdes. 2020.
- MEBERKI W, « Etude physico-chimique des rejets pétroliers de l'entreprise SONATRACH de Béjaia », mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de BEJAIA, 2021.
- MOUZAOU, A et M'SILI, L. « Attitudes et comportements des salariés de l'entreprise Sonatrach face à l'introduction d'un ERP : Etat des lieux et fonctionnement ». Master. Université A. MIRA de BEJAIA. 2021.
- ABDELHAK, A. « Automatisation et supervision de l'unité du traitement d'eau huileuses par API S7-300 dans la station SP 2 El-Outaya-Biskra ». Master. Université Mohamed Khider de Biskra. 2021.
- MOUZAOU, A et M'SILI, L. « Attitudes et comportements des salariés de l'entreprise Sonatrach face à l'introduction d'un ERP : Etat des lieux et fonctionnement ». Master. Université A. MIRA de BEJAIA. 2021.

3. Articles

- Boubaker BAIRI, « les énergies renouvelables en Algérie : réalité et perspectives », coopération Algéro-Italienne sur les énergies renouvelables, milan, 22-23 Mai 2007.
- DURUISSEAU, K. « L'émergence du concept de transition énergétique : Quels apports de la Géographie ? » 2014.
- Guillaume, C. Journals open Editing. « La transition énergétique : des modèles diversifiés et contrastés à l'échelle régionale ». 2017.
- HAMITI, D. Revue D'Etudes juridiques et Economiques. « État des lieux des énergies renouvelables et de la stratégie d'efficacité énergétique en Algérie ». 2022.
- IGUERGAZIZ, W. NTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH ON PLANNING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. « Energies renouvelables : l'un des pivots du développement durable en Algérie ». 2021.

- KHELIF, A. Enseignant IAP. « Le photovoltaïque dans le monde : constat, opportunités et perspectives de développement en Algérie ».
- MENADI, R. « Gouvernance et stratégie nationale de développement des énergies renouvelables ». Ministère de l'Energie. Alger. 2018.
- Ministère de l'Energie et des Mines. « PERSPECTIVE DE DÉVELOPPEMENT DE L'HYDROGÈNE EN ALGERIE ». Janvier 2023.
- Ministère de l'énergie et des mines. 3ème édition de la journée Algéro-Allemande de l'énergie. « Perspectives de développement de l'hydrogène en Algérie ».2021.

4. Rapports :

- Institut Algérien du Pétrole (IAP). « Programme de développement des énergies renouvelables de SONATRACH ». 2022.
- L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) : Cout de production des énergies renouvelables 2022.
- Partenariat Energétique Algéro-Allemand. « Étude exploratoire sur le potentiel du Power-to-X (hydrogène vert) pour l'Algérie ». 2021.
- Maïlys Hubert et Inès Rejraji. « La libéralisation du marché de l'énergie solaire au Maroc », Rapport pays, M2 Droits africains, Mai 2022.
- Manuel général d'organisation, Décision A-001 (R31), Document interne à SONATRACH

5.Lois et décrets

- Article 1, Loi n°99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.
- Article 1, La loi n° 02-01 du 5 février 2002, modifiée et complétée, relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations.
- Décret exécutif n° 04-92 du 25 mars 2004, relatif aux : « **coûts de diversification de la production d'électricité** »
- Décret exécutif n° 04-149, du 19 mai 2004, « **fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME)** »,
- Article 1, La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- Décret exécutif n° 06-429, du 26 novembre 2006, « **fixant le cahier des charges relatif aux droits et obligations du producteur d'électricité** »,

- Le décret exécutif n° 06-428, du 26 novembre 2006, « **fixant la procédure d'octroi des autorisations d'exploiter des installations de production d'électricité** »,
- Décret exécutif n°13-218 du 18 juin 2013, modifié et complété, « **fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité** ».
- Arrêté du 7 décembre 2016 complétant l'arrêté du 2 février 2014, « **fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière éolienne** »
- Arrêté l'arrêté du 2 février 2014, complétée, « **fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque** »
- Arrêté du 29 janvier 2015, « **fixant le règlement technique relatif aux spécifications techniques de maintenance des ouvrages de transport de l'électricité** »
- Décret exécutif n° 15-69 du 11 février 2015, modifié et complété, « **fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats** ».
- Arrêté du 18 mars 2015, « **fixant le règlement technique relatif aux spécifications techniques d'exploitation des ouvrages de transport de l'électricité** »
- Arrêté du 29 mars 2015, « **fixant le règlement technique relatif aux spécifications techniques de conception et de réalisation des ouvrages de transport de l'électricité** »
- Décret exécutif n° 16-52 du 1er février 2016, « **fixant les règles techniques de la production d'électricité** »,
- Arrêté du 7 décembre 2016 complétant l'arrêté du 1er septembre 2014, « **fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière de cogénération.** ».
- Arrêté du 3 janvier 2017, « **fixant les spécifications et procédures techniques de conception et de réalisation des ouvrages de distribution de l'électricité** »,
- Décret exécutif n° 17-204 du 22 juin 2017, complétant le décret exécutif n° 17-98 du 26 février 2017, « **définissant la procédure d'appel d'offres pour la production des Énergies renouvelables ou de cogénération et leur intégration dans le système national d'approvisionnement en Energie Electrique** ».

6. Sites :

- Egypt Future Organisation. "**Définition de l'énergie**". Consulté le 15 Février 2023, sur ce site <http://www.egyptfuture.org>.
- Planète énergies. "**Les différentes formes d'énergies**". Consulté le 15 Février 2023, sur ce site <https://www.planete-energies.com>

- Youmatter. "**Energies renouvelables**". Consulté le 15 Février 2023, sur ce site <https://youmatter.world/>
- EDF. "**Biomasse en chiffres**". Consulté le 16 Février 2023, sur ce site <https://www.edf.fr/>
- Brigitte Vu. "**Le guide de l'habitat passif**". Consulté le 16 Février 2023, sur ce site <https://reporterre.net>
- Marion, Perrin. "**Quels sont les principaux obstacles au développement de l'énergie photovoltaïque ?**". Consulté le 17 Février 2023, sur ce site <https://www.futura-sciences.com/>
- Rygeen. "**HYDROGÈNE VERT : L'HYDROGÈNE FAIT À PARTIR D'ÉNERGIE RENOUELEBLE**". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://www.orygeen.eu/>
- Alloprof. "**L'électrolyse de l'eau**". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://www.alloprof.qc.ca/fr>
- Suez. "**applications en traitement des eaux**". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://www.suezwaterhandbook.fr>
- Jemery, refkin. "**Stockage de l'hydrogène**". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://fr.wikipedia.org/>
- Air liquide. "**stocker l'hydrogène**". Consulté le 18 Février 2023, sur ce site <https://energies.airliquide.com/>
- Guy, Maisonnier. "**L'HYDROGÈNE : UN MARCHÉ A FORT POTENTIEL**". Consulté le 20 Février 2023, sur ce site <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr>
- Sick sensor intelligent. "**Transport et distribution de l'hydrogène vert : quelle technologie pour le comptage transactionnel ?**". Consulté le 20 Février 2023, sur ce site <https://www.sick.com/fr>
- Energy transitions commissions. "**Faire de l'économie de l'hydrogène une réalité**". Consulté le 21 Février 2023, sur ce site <https://www.energy-transitions.org>
- Catherine Hours et Julien Mivielle. "**En France, la transition énergétique à un tournant ?**". Consulté le 05 Mars 2023, sur ce site <https://www.latribune.fr/>
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. "**Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie**". Consulté le 05 Mars2023, sur ce site <https://www.energy.gov.dz/>
- El moudjahid. "**ressources en eau**". Consulté le 06 Mars 2023, sur ce site <https://www.elmoudjahid.dz/>
- Abdellah, B. "**Développement de la filière hydrogène**". Consulté le 10 Mars2023, sur ce site <https://algeriainvest.com/>

Résumé

Ce mémoire aborde les énergies renouvelables en Algérie, avec une étude de cas sur le projet PV de Bir Rbaa Nord à Ouargla, en se concentrant sur la contribution de Sonatrach dans ce domaine. Il examine les principes fondamentaux des énergies renouvelables. Ensuite, il explore la transition énergétique et les efforts entrepris par les pays développés pour promouvoir les énergies renouvelables. En se concentrant sur l'Algérie, il met en évidence le potentiel solaire du pays et examine les initiatives en cours. Enfin, il présente une analyse économique du projet PV de Bir Rbaa Nord, en mettant en évidence les coûts et l'impact économique de projet. Dans l'ensemble, ce mémoire souligne l'importance croissante des énergies renouvelables en Algérie et la contribution de Sonatrach dans ce secteur, tout en mettant en évidence le potentiel du projet PV de Bir Rbaa Nord à Ouargla.

Abstract

This thesis deals with renewable energies in Algeria, with a case study on the Bir Rbaa Nord PV project in Ouargla, focusing on Sonatrach's contribution in this field. It examines the fundamentals of renewable energies. It then explores the energy transition and the efforts undertaken by developed countries to promote renewable energies. Focusing on Algeria, it highlights the country's solar potential and examines current initiatives. Finally, it presents an economic analysis of the Bir Rbaa Nord PV project, highlighting the project's costs and economic impact. Overall, these brief highlights the growing importance of renewable energies in Algeria and Sonatrach's contribution to this sector, while highlighting the potential of the Bir Rbaa Nord PV project in Ouargla.

ملخص

يتناول هذا الموجز الطاقات المتجددة في الجزائر، مع دراسة حالة حول مشروع الكهروضوئي في بئر ربع الشمالية في ورقلة، مع التركيز على مساهمة سوناطراك في هذا المجال. وهو يبحث المبادئ الأساسية للطاقة المتجددة. بعد ذلك، يستكشف التحول في مجال الطاقة والجهود التي تبذلها البلدان المتقدمة لتعزيز الطاقة المتجددة. مع التركيز على الجزائر، يسلط الضوء على إمكانات الشمسية للبلاد ويدرس المبادرات الحالية. أخيرًا، يقدم تحليلًا اقتصاديًا لمشروع بئر ربع الشمالية الكهروضوئي، مع تسليط الضوء على التكاليف والأثر الاقتصادي للمشروع. بشكل عام، يسلط هذا الموجز الضوء على الأهمية المتزايدة للطاقة المتجددة في الجزائر ومساهمة سوناطراك في هذا القطاع، مع تسليط الضوء على إمكانات مشروع الكهروضوئي في بئر ربع الشمالية في ورقلة.