

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ FRÈRES MENTOURI, CONSTANTINE 1
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° d'ordre :
Série :

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : SCIENCES DE LA MATIERE
Filière : PHYSIQUE
Spécialité : PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

THEME :

Etude de systèmes photovoltaïques autonomes pour la production
d'énergie

Présenté par :

CHAREF Zaki

Soutenu le : 10/09/2020

Devant le jury

Président : M. DJEZZAR

Rapporteur : A. CHAKER

Examineur : S. BELHOUR

Prof. Université Frères Mentouri, Constantine1

Prof. Université Frères Mentouri, Constantine1

Dr. Université Frères Mentouri, Constantine1

Remerciements

Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la force pour mener ce travail à terme.

En premier lieu je tiens à remercier vivement mon encadreur Professeur Abla CHAKER, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et pour la confiance qu'elle m'a accordée tout au long de ma formation.

Je remercie également tous les enseignants de physique énergétique de l'université Frères Mentouri Constantine 1, qui ont participé à ma formation pendant tout le cycle universitaire.

Un grand merci à ma mère et à mon père, pour leur amour, leurs conseils ainsi que pour leur soutien inconditionnel. Je remercie mes sœurs et mes frères et mes amis et mes collègues pour leurs encouragements.

Merci !

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :

À ma mère Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Mon exemple éternel, mon soutien moral et ma source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que Dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

À mes sœurs et frères, je vous remercie de m'avoir donné force et encouragement pour votre soutien et votre amour fraternel.

À tous mes professeurs qui ont éclairé le chemin pour moi

À tous mes chers et sincères amis

À toute la famille sans exception

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci pour tout.

Table des matières

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	1
chapitre I. Le besoin de froid	3
<i>I.1 Introduction</i>	<i>4</i>
<i>I.2 Refroidissement solaire.....</i>	<i>4</i>
I.2.1 Le Besoin d'utiliser le refroidissement.....	4
I.2.2 Applications possibles.....	5
I.2.2.1 Applications de l'industrie pour la réfrigération	6
I.2.2.1.1 Refroidissement urbain.....	6
I.2.2.1.2 Production d'électricité.....	7
I.2.2.1.3 CHIMIE ET PÉTROCHIMIE.....	8
I.2.2.1.4 L'industrie PHARMACEUTIQUE.....	8
I.2.2.1.5 ALIMENTS ET BOISSONS	9
I.2.2.1.6 Centres de données	10
I.2.2.1.7 Autres industries.....	11
I.2.3 Potentiel solaire de l'Algérie	11
I.2.3.1 Point de vue dans le futur.....	12
I.2.4 Avantages et inconvénients de la climatisation solaire	12
<i>I.3 Conclusion</i>	<i>13</i>
chapitre II. Techniques de production de froid.....	14
<i>II.1 Introduction</i>	<i>15</i>
<i>II.2 SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT PHOTOVOLTAÏQUE SOLAIRE</i>	<i>15</i>
II.2.1 Description du système	15
II.2.2 Systèmes solaires photovoltaïques de refroidissement à vapeur par compression.....	16
II.2.2.1 Principe de fonctionnement et efficacité énergétique.....	16
II.2.2.2 Réfrigérants écologiques	17
<i>II.3 Les systèmes de refroidissement.....</i>	<i>17</i>
II.3.1 Équipement du système de refroidissement de la biomasse.....	18
II.3.1.1 Chaudière à biomasse	18
II.3.1.2 Unité d'absorption	19
II.3.1.3 Tour de refroidissement.....	19
II.3.1.4 Tour de refroidissement Delta	20
II.3.1.5 Tour Shell.....	20
II.3.1.5.1 Puisard.....	20

II.3.1.5.2	Réseau de distribution d'eau.....	21
II.3.1.5.3	Pont mouillé et éliminateur de dérive.....	21
II.3.1.5.4	Souffleur.....	21
II.3.1.5.5	Moteur.....	21
II.3.1.5.6	Connexions de montage.....	21
II.3.1.5.7	Système de contrôle.....	22
II.3.1.5.8	Tuyauterie.....	22
II.3.1.5.9	Principe de fonctionnement.....	22
II.4	Conclusion.....	25
chapitre III. Systèmes de production et gestion de l'énergie.....		26
III.1	Production d'énergie solaire.....	27
III.2	Classification des systèmes d'énergie solaire.....	28
III.2.1	Système solaire de production d'énergie thermique concentrée.....	28
III.2.1.1	Auge parabolique.....	29
III.2.1.2	Réflecteur de Fresnel linéaire compact.....	29
III.2.1.3	Tours d'énergie solaire.....	30
III.2.1.4	Le système de génération d'énergie solaire thermique à disque (plat).....	31
III.2.2	Système intégré de production d'énergie solaire thermique.....	31
III.2.2.1	Système de production d'énergie solaire photovoltaïque.....	32
III.2.3	Production d'énergie bioénergétique.....	33
III.3	Gestion des énergies renouvelables.....	34
III.3.1	Stratégies d'intégration des énergies renouvelables intermittentes.....	35
III.3.1.1	La loi des grands nombres.....	35
III.3.1.2	La puissance de prédiction.....	36
III.3.1.3	Encourager la production d'énergie au bon moment et au bon endroit.....	36
III.3.1.4	Un réseau électrique durable de l'avenir.....	37
III.4	Conclusion.....	37
chapitre IV. Prospection sur les déchets et stockage d'énergie.....		38
IV.1	Introduction.....	39
IV.2	Potentiel de bioénergie.....	39
IV.2.1	Potentiel de bioénergie provenant de la collecte durable de résidus agricoles.....	39
IV.2.2	Potentiel de bioénergie grâce à l'intensification durable de l'agriculture.....	40
IV.2.3	Potentiel de bioénergie sur les terres libérées en réduisant les déchets et les pertes dans la chaîne alimentaire.....	41
IV.2.4	Potentiel de bioénergie des forêts productives.....	43
IV.2.4.1	Pourquoi s'intéresse-t-on à la bioénergie forestière ?.....	43
IV.3	La bioénergie en Algérie.....	44
IV.3.1	Déchets ménagers.....	46
IV.3.2	Les boues des stations d'épuration des eaux usées (STEP).....	48

IV.4	Aperçu du stockage d'énergie.....	49
IV.4.1	Batterie Li-ion.....	51
IV.4.1.1	Anatomie d'une cellule Li-ion	51
IV.4.1.2	Caractéristiques et dangers des cellules Li-ion	53
IV.4.1.3	Conception de la batterie Li-ion.....	54
IV.4.2	Chargement et décharge des batteries Li-ion	55
IV.5	Conclusion	57
	Conclusion générale.....	58
	Références bibliographiques.....	60
	Abstract.....	63
	ملخص.....	64
	Résumé.....	65

Nomenclature

Abréviations

PV	Photovoltaïque	
CC	Courant continu	[A]
AC	Courant alternatif	[A]
LiBr	Bromure de lithium	
PVC	Polychlorure de vinyle	
VFD	Entraînement à fréquence variable	
TEAO	Air totalement fermé au-dessus/hermétique	
FRT	Réservoir de toit flottant	
RTD	Détecteur de température à résistance	
PLC	Contrôleur logique programmable	
PID	Proportionnel–intégral– Dérivative	
mA	Milliampères	
I/P	Courant-pression	
Psi	Pouce carré	
CO2	Dioxyde de carbone	
GW	Gigawatts	
°F	Fahrenheit	
OC	Celsius	
PSC	Concentrer l'énergie solaire	
GJ	Gigajoules	
EJ	Exajoules	
PJ	Pétajoules	

FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Mha	Millions d'hectares
Kg	Kilogramme
STEP	Stations d'épuration des eaux usées
Ha	Hectare
ONA	Office National de l'Assainissement
Li-Ion	Lithium-ion
Wh	Wattheures
Ah	Ampères heures
V	Volts
C	Courant

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma du système de Refroidissement solaire et de son installation dans le bâtiment.

Figure I -2: Modification du filtre de refroidissement à air de la turbine pour placer le serpentin de refroidissement provenant de l'installation de refroidissement par compression à l'ammoniac.

Figure I.3: Installations de traitement chimique

Figure I.4: Incubateurs réfrigérés

Figure I.5: Congélateur réfrigéré de nourriture avec le système de refroidissement ventilé

Figure I.6 : Unités de refroidissement pour centres de données

Figure II-1:Schéma simplifié d'un Système-PV.

Figure II-2:Schéma d'un système de climatisation à compression de vapeur à énergie solaire PV.

Figure II-3: chaudière à biomasse.

Figure II-4:Tours de refroidissement de la centrale thermique à charbon de Gelsenkirchen-Scholven.

Figure II-5:Système de refroidissement - Effet réfrigérant.

Figure II-6:Système de refroidissement – LiBr concentré.

Figure II-7:Système de refroidissement – Réfrigérant liquide.

Figure II-8:Système de refroidissement – Refroidisseur à absorption de vapeur à effet unique.

Figure III-1:Concentration de la production d'énergie solaire dans le scénario de développement durable, 2000-2030. [IEA]

Figure III-2:Production d'énergie solaire concentrée.

Figure III-3: Collecteur Auge parabolique.

Figure III-4:Collecteur linéaire de Fresnel.

Figure III-5 : Tour d'énergie solaire.

Figure III-6: Disque système de production d'énergie solaire thermique.

Figure III-7:Données sur l'énergie solaire. [IRENA]

Figure III-8:Données sur la bioénergie. [IRENA]

Figure IV-1:Utilisation des terres [FAO].

Figure IV-2:Superficie agricole [FAO].

Figure IV-3:Disponibilités protéiques moyennes [FAO].

Figure IV-4:Disponibilités protéines moyennes d'origine animale [FAO].

Figure IV-5:Suffisance des apports énergétiques alimentaires moyens (%) [FAO].

Figure IV-6:Le biogaz de STEP-Une énergie de grande classe.

Figure IV-7: Capacité installée des systèmes de stockage de batteries à l'échelle des services publics dans le scénario des nouvelles politiques, 2020-2040. [IEA]

Figure IV-8: Fonctionnement de la cellule Li-ion : pendant le chargement, les ions lithium s'intercalent dans l'anode, l'inverse se produit pendant le déchargement.

Figure IV-9: Base d'une cellule Li-ion cylindrique.

Figure IV-10: Exemple de cellules cylindriques ; cellule prismatique en étui rigide (en bas à gauche) ; et cellule polymère en étui souple (en bas à droite).

Figure IV-11: Courant et tension approximatifs pendant le cycle de charge Li-Ion typique.

Liste des tableaux

Tableau I-1:Gisement Solaire de L'Algérie

Tableau I-2:avantages et inconvénients

Tableau IV-1 : Potentiel de résidus pour 2050 (PJ/an) – collecte de 25 % des résidus de récolte.

Tableau IV-2 : Potentiel de résidus pour 2050 (PJ/an) – collecte de 50 % des résidus de récolte.

Tableau IV-3 : Potentiel de biomasse à partir de rendements plus élevés en 2050.

Tableau IV-4 : Part de la production alimentaire perdue à différents stades de la chaîne alimentaire en Afrique.

Tableau IV-5 : Statistiques Résidus de culture Algérie 2017[FAO].

Introduction générale

L'augmentation de la population mondiale et l'amélioration du niveau de vie, ont conduit à un accroissement significatif de la demande d'énergie. Les énergies fossiles qui diminuent de plus en plus, ne pourront plus répondre à nos besoins énergétiques, dans le futur, de plus elles sont polluantes, puisque responsables d'émissions de dioxyde de carbone.

Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de protéger notre planète du changement climatique, tout en assurant notre consommation énergétique, les énergies renouvelables séduisent de plus en plus.

Les technologies d'énergie renouvelable offrent d'énormes possibilités pour atteindre les objectifs économiques, sociaux, environnementaux et de développement, de nombreux pays. Elles sont considérées actuellement comme la solution économique clé pour fournir de l'électricité dans le monde entier.

La production d'énergie en quantité suffisante sera un défi important dans les années à venir et l'énergie renouvelable pourrait contribuer à satisfaire nos besoins dans de nombreux domaines tels que le transport, l'industrie, le chauffage et le refroidissement.

Notre projet de mémoire de master s'inscrit dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables et plus spécifiquement, le solaire photovoltaïque et la biomasse.

Notre travail est organisé en quatre chapitres, complétés par une introduction et une conclusion générale.

Dans le premier chapitre, les besoins et l'utilisation du refroidissement dans de nombreux domaines et la possibilité de développer la technologie de refroidissement solaire en Algérie sont présentés.

Dans le deuxième chapitre, une nouvelle approche de technologies de production de froid, visant à produire de l'énergie à partir de sources non-conventionnelles, à l'aide de l'énergie solaire et de la biomasse, visant à répondre aux besoins des zones isolées, souvent dépourvues de réseaux électriques, est exposée.

Le troisième chapitre est dédié aux systèmes de production de l'électricité à partir de l'énergie solaire et à certaines techniques pour intégrer des sources d'énergie renouvelables intermittentes dans le réseau.

Le recyclage de la biomasse et le traitement des matières organiques qui pourraient être éliminées et/ou exploitées de manière adéquate, font l'objet du quatrième chapitre.

chapitre I. Le besoin de froid

I.1 Introduction

Au cours des dernières années, les recherches visant à développer des technologies qui peuvent conduire à des réductions de la consommation d'énergie, de la demande électrique de pointe et des coûts d'énergie sans abaisser le niveau souhaité des conditions de confort se sont intensifiées. Toutefois, la demande de refroidissement dans les bâtiments continue d'augmenter considérablement. Actuellement, les dispositifs de production de froid sont principalement basés sur un compresseur mécanique à vapeur à entraînement électrique alimentés usuellement par des sources d'énergie conventionnelles. Pour préserver ces sources qui diminuent de plus en plus et pour respecter l'environnement, aujourd'hui, L'utilisation de l'énergie solaire et de la chaleur résiduelle comme source d'énergie primaire pour la production de froid pourrait parfaitement convenir à la demande de refroidissement des bâtiments résidentiels et commerciaux. En effet, l'énergie solaire peut être transformée en électricité ou en chaleur pour alimenter un cycle de réfrigération. Le refroidissement solaire permet non seulement d'atténuer la demande de combustibles fossiles et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de soutenir la stabilité des réseaux électriques en réduisant la consommation d'électricité et le pic de la demande.[1]

I.2 Refroidissement solaire

I.2.1 Le Besoin d'utiliser le refroidissement

Le système de refroidissement photoélectrique est devenu attrayant ces dernières années pour de multiples raisons parmi lesquelles :

- Une structure simple : le système de photoélectrique se compose de plusieurs composants importants Largement disponibles sur le marché. Comparé à un système à base de chaleur, le réseau électrique doit être raccordé, par un pipeline de métal. Les communications parmi les composants du système photoélectrique sont essentiellement des fils électriques et peuvent être facilement installés.
- Facile à contrôler et un temps de réponse court : un système trop scalpé peut être facilement contrôlé et intégré avec elle, ce qui signifie que la commande optimale et à distance et la surveillance peuvent être facilement atteintes. L'utilisation de systèmes de refroidissement à vapeur La température peut changer rapidement la capacité de refroidissement résultante et répondre rapidement à une charge de refroidissement différente.
- Énergie verte et réduction de la pollution de l'environnement : le réseau peut consommer moins d'électricité du réseau et utiliser pleinement l'énergie produite localement. Cette caractéristique sera plus significative en été et en période caniculaire, lorsque la puissance de pointe met une grande pression sur la puissance réseau.
- Efficacité énergétique élevée et réduction potentielle des coûts : le coût d'un système photovoltaïque continuera à baisser dans les années suivantes. Le prix de l'électricité PV pourrait être encore plus bas que le prix de l'électricité produite à partir des combustibles fossiles. En

outre, le coût des, onduleur, batterie, système de réfrigération à compression de vapeur, et le raccordement au réseau continuera à diminuer.

- Travailler comme un système d'énergie distribuée avec plus de flexibilité pour la transition et la conversion énergétique : le système peut être connecté au réseau et réduire l'influence de l'intermittence du rayonnement solaire. Le système hors réseau peut être utilisé pour fournir le chauffage, le refroidissement et l'électricité, ce qui est très important pour améliorer le niveau de vie d'une région éloignée où le raccordement au réseau n'est pas économique.[2]

I.2.2 Applications possibles

L'intérêt pour les technologies de refroidissement solaire a augmenté récemment. Les périodes de la demande de refroidissement les plus importantes coïncident dans le temps avec l'irradiance solaire la plus élevée. L'énergie solaire est donc une source d'énergie très cohérente pour couvrir les besoins de refroidissement et de climatisation. Pendant la période la plus chaude, les appareils et systèmes de refroidissement et de climatisation fonctionnent à pleine puissance. Les technologies de refroidissement solaire permettent de réduire la consommation d'énergie provenant de sources conventionnelles ou même d'arrêter cette consommation.

L'utilisation la plus courante des systèmes de refroidissement dans les zones tropicales est les installations de stockage de médicaments et de nourriture. Dans le cas des technologies solaires, il s'agit principalement d'impliquer des solutions photovoltaïques. De plus en plus de systèmes de refroidissement solaire, sont également utilisés dans différents bâtiments, résidentiels, publics, commerciaux et industriels.

On peut s'attendre à ce que les systèmes de refroidissement solaire et de climatisation soient de plus en plus utilisés dans les bâtiments, tant dans les zones de climat tropical que modéré. Les systèmes de refroidissement sont censés maintenir la température de l'air dans les pièces à une valeur souhaitée, tandis que les systèmes de climatisation doivent également maintenir une humidité adéquate de l'air. Les systèmes de refroidissement utilisent principalement des générateurs d'eau refroidie à des températures pouvant atteindre plusieurs degrés Celsius. Les systèmes de réfrigération maintiennent des températures basses dans les installations industrielles (salles de réfrigération, stockage). Ils utilisent des générateurs de glace qui atteignent des températures inférieures au point de congélation.

Dans les pays très développés où la forte demande de refroidissement est typique de l'été, comme les États-Unis, le Japon ou l'Australie, l'augmentation de la demande d'électricité pendant l'après-midi cause des problèmes considérables dans le réseau électrique. Dans ces pays, les systèmes de climatisation sont utilisés non seulement sur les lieux de travail, mais aussi dans les bâtiments résidentiels. Dans les pays européens, ce genre de problème ne fait que commencer à apparaître. Malheureusement, pratiquement dans tous les pays, quelle que soit la latitude, on observe une augmentation de la demande de refroidissement pendant les mois d'été.[3]

I.2.2.1 Applications de l'industrie pour la réfrigération

La réfrigération industrielle n'est pas de la climatisation—elle va au-delà de cela, La réfrigération industrielle peut être définie comme l'équipement et les accessoires projetés pour éliminer la chaleur des processus ou des matériaux à grande échelle, abaissant la température à la valeur désirée. Selon différents paramètres comme l'échelle de production, la différence de température, la précision ou la température prévue, il existe plusieurs méthodes utilisées pour appliquer la réfrigération industrielle.

La réfrigération industrielle est d'une importance capitale depuis le début du XXe siècle. Historiquement, des industries telles que l'alimentation et les boissons, les produits pharmaceutiques ou la pétrochimie, ont réalisé des développements importants grâce à des systèmes employés pour réduire la température de leurs produits ou procédés, ou les conserver dans des conditions optimales pour éviter les problèmes de sécurité.

Les systèmes de réfrigération et de refroidissement sont conçus pour répondre à des exigences déterminées en fonction des caractéristiques particulières de chaque industrie.

Par exemple système de Refroidissement solaire et de son installation dans le bâtiment (Figure I.1).

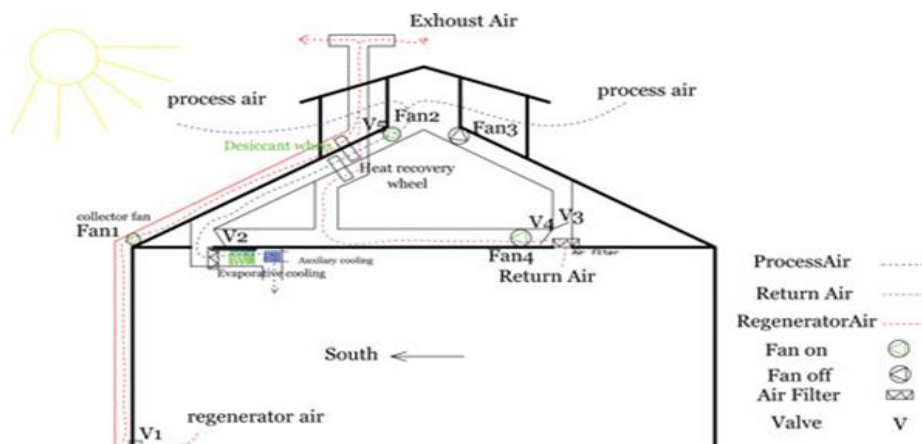


Figure I.1: Schéma du système de Refroidissement solaire et de son installation dans le bâtiment.

Les principales industries qui nécessitent des systèmes de réfrigération ou de refroidissement sont :

I.2.2.1.1 Refroidissement urbain

L'un des principaux marchés pour le refroidissement est axé sur la fourniture d'air réfrigéré aux zones urbaines et touristiques, gardant ainsi les ambiances fermées confortables, indépendamment de la météo extérieure. Dans les grands hôtels, les centres de villégiature et les quartiers, la production de froid est généralement assurée par les systèmes de refroidissement de quartier.

Le concept de refroidissement de district est basé sur la production de flux de refroidissement (principalement de l'eau réfrigérée) avec différentes technologies dans une centrale. Il est ensuite distribué à différents endroits peuplés comme des maisons, des bureaux, des sites ou d'autres projets résidentiels ou commerciaux. En centralisant la production de refroidissement, on obtient un rendement plus élevé. Ceci, en raison de l'optimisation de l'équipement industriel et de la consommation d'électricité par rapport aux systèmes de réfrigération individuels pour chaque bâtiment. En outre, le District de refroidissement présente d'autres avantages, comme une réduction des coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien par rapport aux systèmes de refroidissement individuels. Combiné à des systèmes de stockage d'énergie, une réduction considérable de la demande de pointe d'électricité peut être réalisée. Le refroidissement des quartiers procure d'importants avantages économiques et environnementaux aux collectivités résidentielles et aux zones touristiques.[4]

I.2.2.1.2 Production d'électricité

La production d'électricité est souvent basée sur la combustion de différents combustibles. Pour obtenir un rendement plus élevé, l'air d'entrée doit être dans des conditions déterminées. Si la température de l'air d'entrée est trop élevée, sa densité diminue, subissant un déclin de la production électrique. Pour éviter ce problème, des systèmes comme Turbine refroidissement de l'air d'entrée System, un système du portefeuille d'ARANER, sont utilisés pour refroidir ces flux d'air. D'autres parties des systèmes de production et de distribution, comme les générateurs électriques ou les usines de distribution, produisent également de la chaleur en fonctionnement. Pour minimiser les opérations de maintenance, des systèmes de réfrigération sont nécessaires. Cet équipement de réfrigération est généralement basé sur des cycles de compression ou d'absorption (Figure I.2). [4]



Figure I.2: Modification du filtre de refroidissement à air de la turbine pour placer le serpent de refroidissement provenant de l'installation de refroidissement par compression à l'ammoniac

I.2.2.1.3CHIMIE ET PÉTROCHIMIE

Bien que les réactions chimiques et pétrochimiques ne soient pas aussi strictement contrôlées que les réactions dans le domaine pharmaceutique, le contrôle de la température est un facteur important pour atteindre une efficacité élevée dans leurs transformations. Les distillations, les cristallisations ou les condensations sont des opérations qui nécessitent l'évacuation de la chaleur ; les systèmes de réfrigération sont donc nécessaires pour obtenir leurs produits. Dans les industries chimiques et pétrochimiques, des installations de refroidissement à grande échelle sont utilisées dans leurs procédés. En raison du débit élevé requis et de l'emplacement des industries, l'eau de rivière ou l'eau de mer est utilisée comme réfrigérant. Les cycles de compression et les cycles d'absorption sont utilisés pour refroidir le flux chaud après que la chaleur a été dissipée dans les différentes opérations (Figure I.3). [4]



Figure I.3: Installations de traitement chimique

I.2.2.1.4L'industrie PHARMACEUTIQUE

L'industrie pharmaceutique est basée autour d'opérations où le respect de conditions strictes est essentiel pour le succès de chaque processus. De plus, de nombreux procédés de production impliquent des réactions biologiques ou biochimiques qui ne se produisent que dans des conditions strictes où les espèces microbiologiques génèrent des composés chimiques à leur rendement maximal. C'est pourquoi il est si important que les entreprises pharmaceutiques développent leurs produits dans des salles propres et désinfectées. L'un des paramètres les plus importants dans cette industrie est la température. De plus, les souches utilisées pour la production de médicaments et de médicaments sont entreposées dans des conditions très

contrôlées, habituellement à basse température. Pour ces raisons, l'industrie pharmaceutique doit s'appuyer sur des systèmes de réfrigération hautement sophistiqués qui permettent de régler la température des pièces et des unités de stockage à des températures extrêmement précises (Figure I.4).

Pour les produits pharmaceutiques, la taille des installations de refroidissement a tendance à être plus petite, puisque la capacité de production de l'équipement de l'industrie pharmaceutique est limitée. Normalement, cette industrie utilise une centrale de refroidissement avec des postes de transformation et des réfrigérants qui sont distribués dans les différentes salles blanches de l'usine. D'autres systèmes de réfrigération que l'on trouve dans cette industrie sont les usines d'oxychloration, les usines de liquéfaction ammoniac/chlore/oxygène ou le refroidissement à air comprimé. [4]



Figure I.4: Incubateurs réfrigérés

I.2.2.1.5 ALIMENTS ET BOISSONS

Le maintien de la chaîne du froid dans l'industrie ALIMENTS ET BOISSONS est essentiel pour préserver les produits et éviter une contamination microbologique possible. Chaque produit a

ses propres conditions optimales de stockage et de conservation. Dans le processus de préparation, la température est l'un des paramètres les plus importants pour assurer la salubrité des aliments. Dans les produits comme le poisson, la volaille, la viande, les laiteries ou les fruits, les systèmes de réfrigération sont nécessaires pour maintenir les produits à basse température et prolonger la période de consommation recommandée. D'autres types d'industries d'ALIMENTS ET BOISSONS, comme une brasserie, nécessitent plusieurs systèmes de réfrigération pour terminer les réactions biologiques et chimiques qui ont lieu pendant le processus et pour préserver les conditions optimales du produit une fois le processus terminé.

Dans l'industrie alimentaire et des boissons, plusieurs systèmes de réfrigération peuvent être utilisés. Si le système de refroidissement est nécessaire pendant le traitement, le système de réfrigération le plus typique est l'utilisation d'eau réfrigérée. Il existe d'autres frigorigènes qui peuvent être utilisés à la place de l'eau, mais il est important d'éviter la contamination chimique en cas de déversement. Ainsi, l'eau est le réfrigérant le plus recommandé pour être utilisé dans les aliments et les boissons. Cependant, lorsque le produit est fini et emballé, des températures inférieures à 0°C sont nécessaires, de sorte que d'autres systèmes comme les cycles de compression ou d'absorption peuvent être utilisés. Ces systèmes utilisent d'autres réfrigérants que l'eau, avec de meilleures caractéristiques (chaleur latente élevée ou capacité d'absorption) pour obtenir des températures plus basses qui gèlent les produits (Figure I.5). [4]



Figure I.5: Congélateur réfrigéré de nourriture avec le système de refroidissement ventilé

I.2.2.1.6Centres de données

Les centres de données stockent les groupes de serveurs utilisés pour traiter et distribuer les données. Les serveurs produisent naturellement de la chaleur pendant le fonctionnement, et si

la chaleur n'est pas enlevée, la température augmente, ce qui peut nuire au fonctionnement des serveurs. Pour éviter ce problème, de puissants systèmes de refroidissement à air sont généralement installés dans ces centres de données, ce qui dissipe la chaleur produite et minimise les opérations de maintenance. Ces systèmes de refroidissement sont généralement à base d'air ou de liquide, selon les conditions extérieures. De plus, les nouveaux systèmes de refroidissement commencent à être plus respectueux de l'environnement, utilisant l'eau de mer comme réfrigérant (Figure I.6). [4]



Figure I.5: Unités de refroidissement pour centres de données

I.2.2.1.7 Autres industries

Il y a d'autres industries comme la marine ou la métallurgie, qui dépendent de la réfrigération pour leurs opérations ou pour avoir un environnement confortable pour leurs travailleurs de développer leurs activités. Les systèmes de refroidissement de ces industries doivent être conçus en profondeur pour éviter les problèmes à court et à long terme qui peuvent entraîner des coûts de maintenance et d'exploitation très élevés. [4]

I.2.3 Potentiel solaire de l'Algérie

Les mesures des taux d'irradiation solaire réalisées par satellites par l'Agence Spatiale Allemande, montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Il est à noter que les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique.

Le Tableau I.1 permet de noter qu'à l'exception de la région côtière, la majorité du territoire national jouit d'une durée moyenne d'ensoleillement annuelle de 3000 heures et plus, et reçoit une énergie moyenne supérieure à kWh/m²/an.[5]

Tableau I.1: Gisement solaire de l'Algérie

Régions	Région Côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie par rapport à toute l'Algérie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

I.2.3.1 Point de vue dans le futur

Le développement rapide des sources d'énergies renouvelables au cours des dernières décennies et leur utilisation dans divers domaines, y compris le refroidissement solaire, afin de réduire la dépendance aux combustibles fossiles ou à l'électricité pour couvrir les besoins de refroidissement dans de nombreux domaines retient de plus en plus l'attention.

En effet de nombreuses études ont montré que la situation géographique et le climat de l'Algérie sont adaptés à l'utilisation de l'énergie solaire dans la climatisation. Ce qui permettrait incontestablement de réduire la consommation et le coût de l'électricité, ainsi que les émissions de CO₂. En outre le refroidissement solaire est non seulement une technologie respectueuse de l'environnement mais pourrait s'avérer plus efficace que le refroidissement traditionnel.

La technologie de refroidissement solaire pourrait ainsi permettre au gouvernement algérien de développer son économie et de réduire sa dépendance aux combustibles fossiles.

I.2.4 Avantages et inconvénients de la climatisation solaire

La climatisation solaire, que ce soit dans une maison individuelle, une copropriété, une entreprise ou une collectivité permet d'utiliser un équipement écologique n'utilisant que les rayons du soleil pour fonctionner.[6]

Sans exhaustif, les principaux avantages et les inconvénients de la climatisation solaire sont regroupés dans le (tableau I.2).

Avantages	Inconvénients
1. Réduction de votre consommation énergétique pour faire fonctionner le climatiseur. 2. Fonctionnement silencieux. 3. Solution 100 % propre et respectueuse de L'environnement. 4. Utilisation d'une énergie gratuite et propre : le soleil. 5. Réduction des émissions de CO₂. 6. Utilisation de fluides frigorigènes non polluants. 7. Réduction de la nécessité du stockage d'énergie grâce à une offre qui coïncide avec la demande (plus le soleil chauffe, plus il produit de l'énergie pour alimenter le climatiseur). 8. Convient principalement à L'usage du tertiaire (entreprises collectivités...etc.). 9. Longue durée de vie (25ans).	1. Type de climatisation qui ne fonctionne pas la nuit lorsqu'il n'y a pas de soleil, puisque les modèles ne sont pas encore équipés de capacité de stockage. 2. Le bioclimatique convient donc mieux pour les maisons individuelles que la climatisation solaire. 3. Prix d'investissement élevé. 4. Installation complexe : A. Étude d'exposition pour trouver le meilleur placement des panneaux solaires sur le toit. B. Renforcement de la charpente. C. Pose des panneaux solaires...etc.

Tableau I.2: Avantages et inconvénients

I.3 Conclusion

Les besoins et l'utilisation du refroidissement dans de nombreux domaines ont été succinctement présentés dans ce premier chapitre. Il a été également montré que l'Algérie qui est dotée d'un potentiel solaire gigantesque pourrait aisément développer la technologie de production de froid par voie solaire, plus respectueuse de l'environnement que les systèmes de climatisation traditionnels.

chapitre II. Techniques de production de froid

II.1 Introduction

La recherche de sources d'énergie propres et durables ne cesse de croître. Il est apparu ces dernières décennies que l'utilisation d'énergie renouvelable pour assurer le refroidissement réduira les émissions nocives pour l'environnement, fournira de l'énergie durable aux générations futures et abaisser l'utilisation des combustibles fossiles est à retenir. Dans ce chapitre, nous examinerons les techniques de production du froid à partir du soleil à l'aide d'un système hybride (photovoltaïque et biomasse).

La biomasse a été la source d'énergie la plus importante pour les humains depuis que le feu a été découvert dans le passé. Pendant une très longue période dans l'histoire de l'humanité, la bioénergie était essentiellement la seule et unique source d'énergie pour la cuisine, le chauffage et l'éclairage. En outre, la biomasse a été utilisée comme aliment pour les chevaux et le bétail afin de fournir de l'énergie et diminuer les frais de transport et donc indirectement pour économiser de l'énergie.

À l'échelle mondiale, la biomasse contribue toujours à hauteur d'environ 12 à 14 % à la consommation globale d'énergie primaire principalement fournie aujourd'hui par le pétrole brut, le charbon (lignite et houille), ainsi que le gaz naturel. Ainsi, la bioénergie reste de loin la source d'énergie renouvelable la plus importante utilisée par l'homme.[24]

Parmi les nouvelles technologies envisageables, les systèmes de refroidissement solaire électrique comme les systèmes photovoltaïques solaires (PV) retiennent un intérêt de plus croissant du fait que dispositifs à semi-conducteurs peuvent convertir la lumière en énergie électrique, pour répondre à l'énorme demande d'électricité.

II.2 SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT PHOTOVOLTAÏQUE SOLAIRE

II.2.1 Description du système

Un panneau PV est essentiellement un dispositif à base de semi-conducteurs, qui convertit la lumière " les photons " en énergie électrique. La sortie d'un panneau PV est en courant continu (CC), alors que la plupart des appareils électriques domestiques industriels utilisent du courant alternatif (AC). Un système de refroidissement PV complet comporte ainsi quatre composants principaux, des modules PV, une batterie, un circuit d'onduleur et une unité (AC) de compression de vapeur.

Le panneau PV est constitué de cellules PV qui permettent aux photons de « frapper » les électrons d'un réseau moléculaire, laissant une paire libérée d'électrons et de « trous » qui diffusent dans un champ électrique pour séparer les contacts et produire de l'électricité "courant continu" (CC). La batterie est utilisée pour stocker des tensions (CC) en mode de charge lorsque la lumière du soleil est disponible et fournir de l'énergie électrique, courant continu (CC) en mode de décharge en l'absence de la lumière du jour. Un régulateur de charge de batterie peut être utilisé pour protéger la batterie de toute forme de surcharge.

L'onduleur est un circuit électrique qui convertit l'alimentation électrique CC en AC, puis fournit l'énergie électrique aux charges AC. L'unité de compression de vapeur AC est en fait un refroidissement classique ou bien système de réfrigération alimenté par l'onduleur.

Le système photovoltaïque (Figure II-1), peut fonctionner comme un système autonome, un système hybride (fonctionnant avec une centrale pétrolière/hydroélectrique/gazière) ou comme un réseau ou bien un système d'interconnexion de services publics.[25]

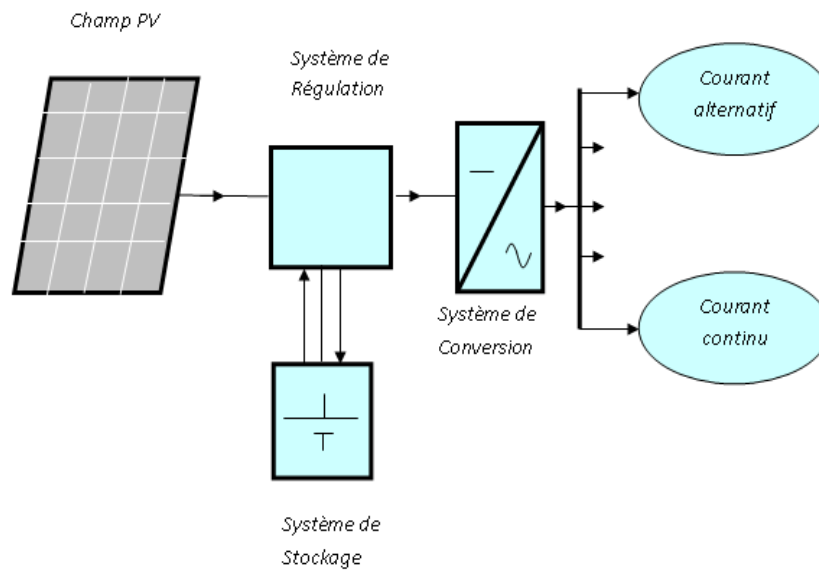


Figure II-1:Schéma simplifié d'un Système-PV

II.2.2 Systèmes solaires photovoltaïques de refroidissement à vapeur par compression

II.2.2.1 Principe de fonctionnement et efficacité énergétique

Un système de refroidissement solaire électrique se compose principalement de panneaux photovoltaïques et d'un dispositif de refroidissement électrique. La plupart des panneaux solaires disponibles sur le marché sont fabriqués à partir de silicium, (Figure II-1).

Le plus grand avantage d'utiliser des panneaux photovoltaïques pour le refroidissement est l'obtention d'une grande efficacité globale lorsque ces derniers sont couplés à un système de vapeur-compression conventionnel. Un tel système est illustré par la figure II-2.

Le système de compression de vapeur se compose d'un compresseur, d'une soupape d'expansion du condenseur et d'un évaporateur, raccordés à des conduites de réfrigérant. Le cycle de compression de la vapeur de base est considéré comme un cycle avec compression

isentropique, sans surchauffe de vapeur et sans sous-refroidissement de liquide.

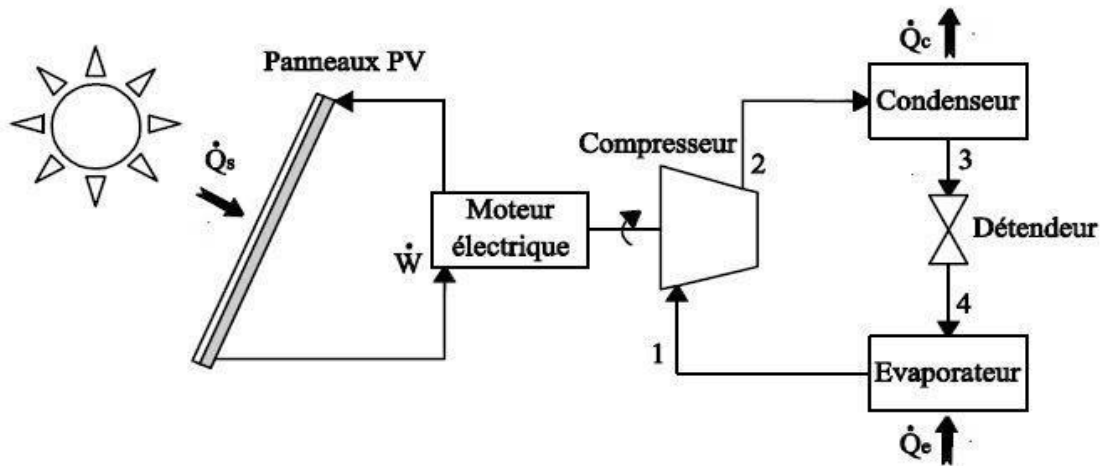


Figure II-2:Schéma d'un système de climatisation à compression de vapeur à énergie solaire PV.

II.2.2.2 Réfrigérants écologiques

La réfrigération et la climatisation sont parmi les premiers responsables de la dégradation de l'environnement à l'échelle mondiale, d'où la nécessité de s'orienter vers les systèmes de réfrigération plus écologiques. Aujourd'hui, les fluides frigorigènes qui détruisent la couche d'ozone et contribuent au réchauffement planétaire sont d'ailleurs interdits. Les normes actuelles obligent à utiliser les fluides frigorigènes respectueux de l'environnement.[9]

Le fluide frigorigène, qu'on appelle aussi fluide ou liquide de réfrigération ou réfrigérant, est indispensable dans le circuit frigorifique. Il peut être une substance pure ou un composé de plusieurs substances. Il est capable de s'évaporer sous certaines températures et pressions et de transférer les calories pour refroidir un milieu donné. Tous les systèmes de réfrigération (chambres froides négatives et positives, vitrines réfrigérées, groupes de froid, réfrigérateurs, etc.) fonctionnent grâce au fluide de réfrigération.

Les réfrigérants les plus respectueux de l'environnement sont les substances inorganiques pures, d'où leurs appellations « liquides frigorigènes naturels ». On distingue notamment le dioxyde de carbone, l'ammoniac et trois hydrocarbures, le butane (R600a), l'isobutane (R600) et le propane (R290).[10]

II.3 Les systèmes de refroidissement

Dans le cadre de ce projet, les systèmes de refroidissement retenus comprennent des unités de climatisation pour les bureaux, les industries et les ménages, qui fonctionnent à partir de

l'énergie produite par la combustion de la biomasse. La chaleur de la biomasse est utilisée pour faire fonctionner le refroidisseur à absorption afin de refroidir l'air. L'air refroidi, circule ensuite dans différentes parties de l'installation à travers des pipelines isolés et est maintenu à une température constante dans l'ensemble des locaux. Ces systèmes de refroidissement sont identifiés comme étant des substituants potentiels aux des systèmes de climatisation conventionnels qui consomment une quantité importante d'électricité ou de gaz naturel affectant ainsi les conditions environnementales.[16]

II.3.1 Équipement du système de refroidissement de la biomasse

Un système de refroidissement fonctionnant avec la biomasse contient plusieurs unités qui fonctionnent comme un seul système.

II.3.1.1 Chaudière à biomasse

La chaudière biomasse utilise comme combustible du bois, des sous-produits du bois ainsi que des résidus organiques (paille, coques de fruits, etc.), ce qui la rend très économique et écologique. Elle séduit aujourd'hui de plus en plus de consommateurs. La chaudière biomasse est fondée sur une installation hydraulique permettant d'alimenter votre chauffage central toute l'année. En utilisant des résidus organiques, la chaudière à bois est parfaitement écologique puisqu'elle se base sur une ressource naturelle renouvelable. [12]

La chaudière biomasse est fondée sur une installation hydraulique permettant d'alimenter un chauffage central toute l'année. En utilisant des résidus organiques, la chaudière à bois est parfaitement écologique puisqu'elle se base sur une ressource naturelle renouvelable.

La chaudière biomasse a aussi l'avantage de couvrir tous les besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage. Elle est donc plus intéressante qu'une poêle à bois par exemple, qui peut servir en tant que solution d'appoint.

Les chaudières biomasses présentent un excellent rendement énergétique et sont économiques. Ces installations peuvent être utilisées seules comme générateurs de chaleur ou venir compléter des chaudières gaz ou fioul existantes. Cet équipement est amorti rapidement grâce aux économies réalisées.

La chaudière bois peut parfaitement être utilisée en fonctionnement manuel. Dans ce cas précis, l'utilisateur devra toujours veiller à changer le combustible lui-même. Pour faciliter l'utilisation, il existe néanmoins une version automatique, qui implique l'ajout d'un silo de stockage pour contenir le combustible (Figure II 3).[13]



Figure II-3: Chaudière à biomasse

II.3.1.2 Unité d'absorption

Les refroidisseurs à absorption utilisent la chaleur pour alimenter le cycle de refroidissement. Ces unités produisent de l'eau réfrigérée tout en consommant une petite quantité d'électricité pour faire fonctionner les pompes. Les refroidisseurs à absorption utilisent généralement de la chaleur (énergie de faible qualité) pour alimenter un cycle de réfrigération au bromure de lithium (LiBr) plutôt que de l'électricité (énergie de haute qualité). La source d'énergie peut être de la vapeur, de l'eau chaude ou de la chaleur résiduelle comme les gaz d'échappement d'un moteur.

La chaleur générée par la chaudière à biomasse peut être une source de chaleur efficace pour un refroidisseur à absorption. Ces derniers utilisent un réfrigérant dont le point d'ébullition est très bas (moins de 0 degré Fahrenheit (18 degrés Celsius)). Lorsque le réfrigérant s'évapore, une partie de la chaleur se dissipe, ce qui produit un effet de refroidissement. Le facteur clé du processus est l'utilisation d'un réfrigérant liquide, ce qui entraîne un cycle répétitif.[11]

II.3.1.3 Tour de refroidissement

Les tours de refroidissement sont un type spécial d'échangeur de chaleur qui permet à l'eau et à l'air d'entrer en contact les uns avec les autres pour abaisser la température de l'eau chaude. C'est le cas spécifique d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les flux. Le moyen de refroidissement de telles installations le plus fréquemment utilisé est l'air ambiant. Les tours de refroidissement sont des équipements courants, présents dans des installations de climatisation, ou dans des procédés industriels et énergétiques (Centrales électriques, installations de combustion, sucreries, chimie...) (Figure II 4).[14]



Figure II-4: Tours de refroidissement de la centrale thermique à charbon de Gelsenkirchen-Scholven

II.3.1.4 Tour de refroidissement Delta

II.3.1.5 Tour Shell

- Résine PEHD antimicrobienne.
- Résine entièrement composée.
- Résiste à la croissance du biofilm.
- Résiste aux traitements chimiques les plus agressifs.[15]

II.3.1.5.1 Puisard

Le puisard est un réservoir de liquide qui est intégré à la coque de la tour de refroidissement, créant une structure homogène d'une seule pièce.[11]

II.3.1.5.2 Réseau de distribution d'eau

C'est un tuyau en polychlorure de vinyle (PVC) totalement fermé, non-corrosif, doté d'un grand orifice et d'un système de distribution de buses de pulvérisation non-corrosive. Les orifices filetés de la buse doivent être interchangeables, ce qui permet de remplacer les orifices de plus grand diamètre pour accroître le débit sans augmenter la pression d'entrée. [11]

II.3.1.5.3 Pont mouillé et éliminateur de dérive

Un revêtement humide de chlorure de polyvinyle (PVC) non-corrosif et un éliminateur de dérive sont enroulés en spirale et collés pour une efficacité de refroidissement maximale du film. Les courroies en PVC non-corrosives fixées aux sections de plancher mouillé et d'éliminateur de dérive facilitent le retrait. [11]

II.3.1.5.4 Souffleur

C'est un ventilateur centrifuge incurvé vers l'avant, statiquement et dynamiquement équilibré, construit en acier au carbone robuste. Il est protégé contre la corrosion avec un fini alkyde trempé et cuit. [11]

II.3.1.5.5 Moteur

Un moteur VFD à air totalement fermé (TEAO) avec facteur de service de 1,15, conçu pour un fonctionnement à cycle 208 ou 230/460V triphasé 60 et adapté au service extérieur est utilisé. Le moteur est fourni avec une garantie de 5 ans. [11]

II.3.1.5.6 Connexions de montage

Les raccords de raccordement sont en polychlorure de vinyle (PVC) non-corrosif avec des joints en néoprène pour les raccords d'entrée, de sortie, de trop-plein, de vidange et de remplissage du réservoir à toit flottant (FRT). Tous les raccords de sortie pour les applications d'aspiration de pompe ont un brise-vortex. [11]

II.3.1.5.7 Système de contrôle

Le système de commande intègre la chaudière à biomasse, le refroidisseur à absorption et la tour de refroidissement pour contrôler le fonctionnement des trois comme une seule unité. Il dispose de plusieurs capteurs et circuits électroniques pour surveiller les fonctions en fonction des capacités pour assurer une exécution optimale. La capacité de refroidissement est proportionnelle à la différence de température de l'eau à l'entrée et à la sortie. Les indicateurs de changement de charge sont basés sur l'élévation ou la baisse de la température de l'eau à l'entrée. La température de l'eau froide à la sortie varie en fonction de la température de l'eau froide à l'entrée. Un détecteur de température de résistance (RTD) note ce changement de température. Ce signal de température alimente le contrôleur logique programmable (PLC). Une boucle de commande Proportionnel–intégral– Dérivative (PID) intégrée au logiciel traite ce signal par rapport au point de consigne d'eau réfrigérée. Un signal de sortie de commande de 4 à 20 milliampères (mA) est envoyé au convertisseur courant-pression (I/P). Le contrôleur d'I/P convertit le signal électrique de 4 à 20 mA en un signal pneumatique de 2,8 à 14,5 livres par pouce carré (psi), qui contrôle la position de la vanne de commande de l'eau chaude. Au fur et à mesure que la charge augmente, la vanne de commande de l'eau chaude s'ouvre et vice-versa, réglant ainsi la quantité d'eau chauffée et refroidie qui entre dans la machine. [11]

Le panneau de commande comprend les composants suivants :

- Contrôleur logique programmable (PLC).
- Interface opérateur.
- Circuit d'alimentation des pompes.

II.3.1.5.8 Tuyauterie

L'effet de refroidissement obtenu des refroidisseurs à absorption est diffusé par des canalisations dans les installations et uniformément réparti en fonction des capacités spatiales. Ces pipelines sont semblables à ceux qui sont actuellement utilisés dans les systèmes conventionnels. En conséquence, les conduites actuellement installées pour faire circuler l'effet de refroidissement ou de chauffage sont également utilisables pour la circulation à partir du système de refroidissement avec de légères modifications. [11]

II.3.1.5.9 Principe de fonctionnement

Une pompe envoie la solution diluée de bromure de lithium (LiBr) de l'absorbeur au générateur où le milieu de chauffage circulant à travers l'échangeur de chaleur du générateur le fait bouillir. La vapeur de réfrigérant (eau), libérée de la solution diluée, s'écoule vers l'échangeur de chaleur

du condenseur où elle est condensée à l'état liquide par le rejet de la chaleur dans le circuit d'eau de refroidissement. En raison de la séparation partielle de la solution LiBr et de l'eau pendant l'ébullition dans le générateur, la portion de LiBr dans la solution restante augmente. Cette solution concentrée s'écoule du générateur à l'absorbeur où elle s'écoulera sur la surface de la bobine d'échange de l'absorbeur.

Comme l'eau de refroidissement du circuit de refroidissement circule à travers la bobine de l'absorbeur, il y a une faible pression de vapeur dans la salle commune de l'évaporateur et de l'absorbeur en raison de la forte concentration de la solution LiBr. Il s'agit de l'environnement dans lequel le liquide frigorigène provenant du condenseur se trouve lorsqu'il circule sur la bobine dans l'évaporateur. La solution concentrée absorbe la vapeur de réfrigérant de l'évaporateur lorsque le réfrigérant liquide change d'état en vapeur, prenant l'énergie de la vaporisation de l'eau refroidie circulant à travers l'échangeur de l'évaporateur. Cette extraction de chaleur entraîne la production d'eau réfrigérée.

La solution concentrée revient à l'état dilué lorsque la vapeur de réfrigérant est absorbée. Dans son état relativement frais, la solution concentrée est recueillie dans le puisard de l'absorbeur et ensuite forcée par la pompe de solution de revenir au générateur pour l'ébullition à nouveau, répétant ainsi en permanence le cycle de refroidissement.

Les systèmes d'absorption utilisent l'énergie thermique pour produire un effet frigorigère. Dans ces systèmes, le réfrigérant (c.-à-d. l'eau) absorbe la chaleur à basse température et à basse pression pendant l'évaporation et dégage de la chaleur à haute température et à haute pression pendant la condensation.

La figure II-5 illustre le processus de maintien du système à vide élevé, qui permettrait à l'eau de se refroidir par flash lors de l'interaction avec le réfrigérant. Le réfrigérant à eau est ensuite envoyé dans le système pour équilibrer la chaleur générée par l'eau chaude, générant de la vapeur. [11]

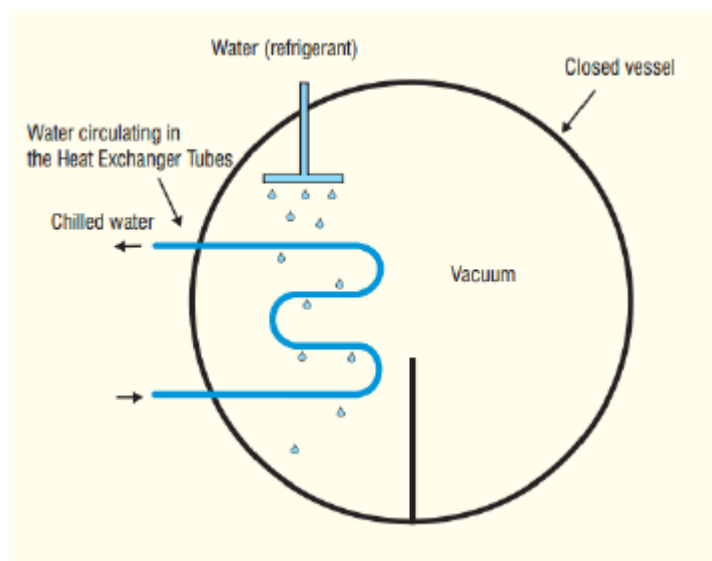


Figure II 5 : Système de refroidissement - Effet réfrigérant.

La figure I- 6 représente le processus au cours duquel la solution LiBr absorbe le réfrigérant vaporisé obtenu à l'étape précédente. Cette absorption se fait en faisant passer la solution LiBr dans les conduites d'eau réfrigérée, ce qui permet d'absorber les vapeurs de réfrigérant. L'évaporation du frigorigène s'effectue à basse pression. La solution diluée, qui contient la vapeur de réfrigérant absorbée et la solution LiBr, subit une pression plus élevée lorsqu'elle est chauffée.

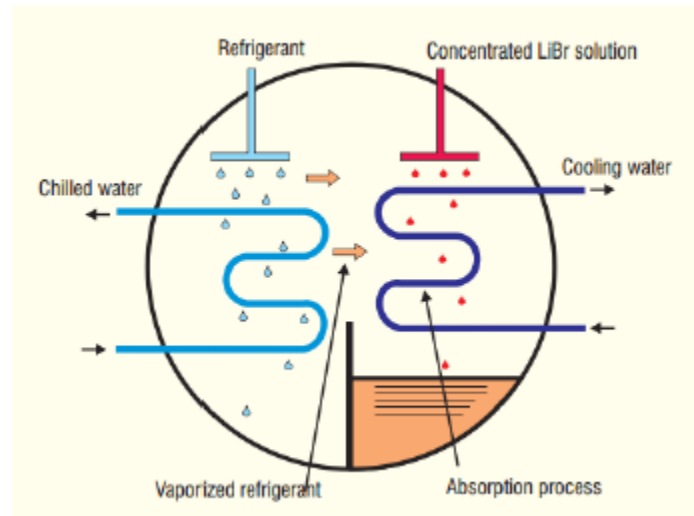


Figure II-5: Système de refroidissement – LiBr concentré.

La figure II-7 illustre le processus de refroidissement du réfrigérant absorbé sous forme de vapeur dans une chambre externe, qui est recyclée pour être le réfrigérant liquide utilisé à l'étape 1. Dans les machines d'absorption ProChill (conception jumelée), l'eau chaude passe d'abord par un haut-générateur de pression, puis à travers un générateur basse pression pour améliorer l'efficacité du cycle.

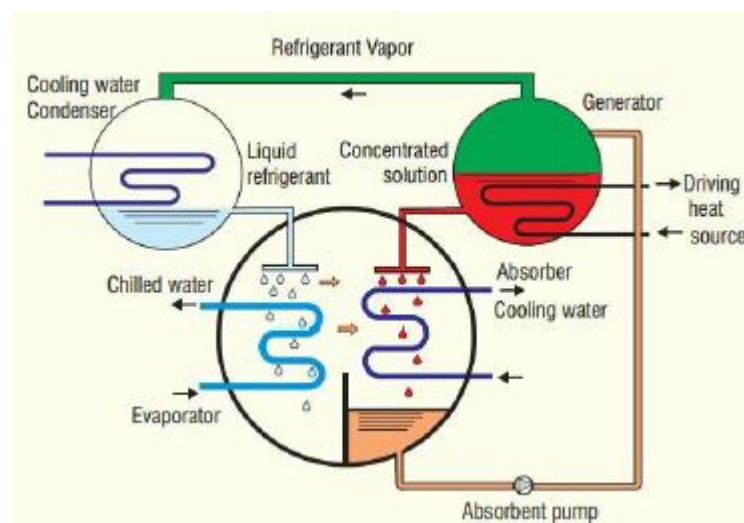


Figure II-6: Système de refroidissement – Réfrigérant liquide.

Le fluide frigorigène passe ensuite par une série de processus pour compléter le cycle de refroidissement (Figure II-7). Il s'agit d'un procédé reproductible qui génère l'effet de refroidissement du refroidisseur à absorption. Les procédés comprennent l'évaporation, l'absorption, la pressurisation, la vaporisation, la condensation, l'étranglement et l'expansion. Au cours de ce cycle, le réfrigérant absorbe la chaleur d'une source de chaleur à basse température et la rejette dans une unité de stockage de chaleur à haute température. Une tour de refroidissement est généralement utilisée pour exposer la source de chaleur basse (eau) à la température de l'atmosphère pour la refroidir. [11]

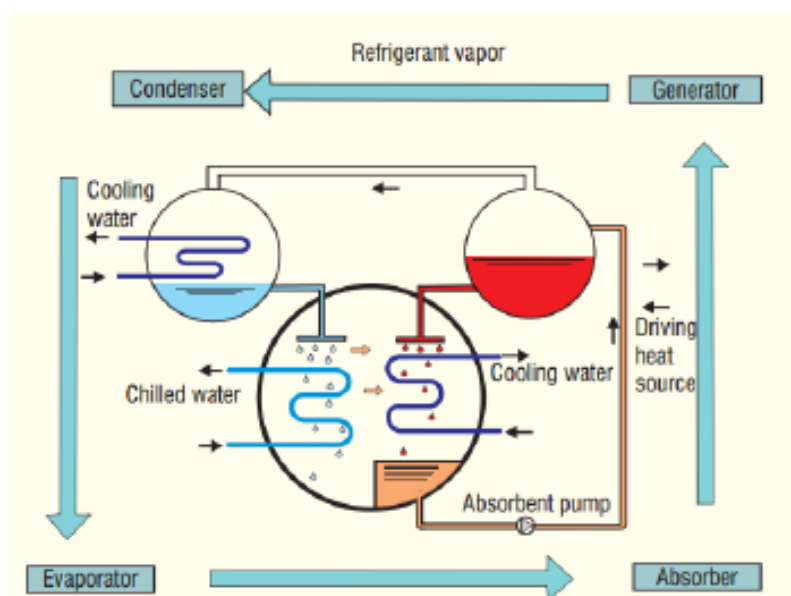


Figure II-7: Système de refroidissement – Refroidisseur à absorption de vapeur à effet unique.

II.4 Conclusion

Ce chapitre présente succinctement une nouvelle approche de technologies de production de froid, visant à produire de l'énergie à partir de sources non-conventionnelles à l'aide de l'énergie solaire et de la biomasse qui peuvent être répondre aux besoins des zones isolées, dépourvues de réseaux.

De nos jours, le système de biomasse hybride est devenu une solution particulièrement viable pour ses nombreux avantages tels que l'élimination des déchets et la réduction du CO₂, dans lequel la bioénergie est un projet prometteur dans les énergies renouvelables.

chapitre III. Systèmes de production et gestion de l'énergie

III.1 Production d'énergie solaire

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus importante sur Terre, car elle peut générer de l'électricité de deux manières, au moyen de la chaleur comme source de chaleur ou en captant les photons de la lumière, dans la cellule solaire photovoltaïque.

La production d'énergie solaire concentrée a augmenté de 34 % en 2019, dépassant le taux annuel de 24 % pour 2011-2018. Cependant, l'expansion annuelle de la capacité doit atteindre 8 GW par an d'ici 2030 (beaucoup plus élevé que le niveau actuel) (Figure III-1).[17]

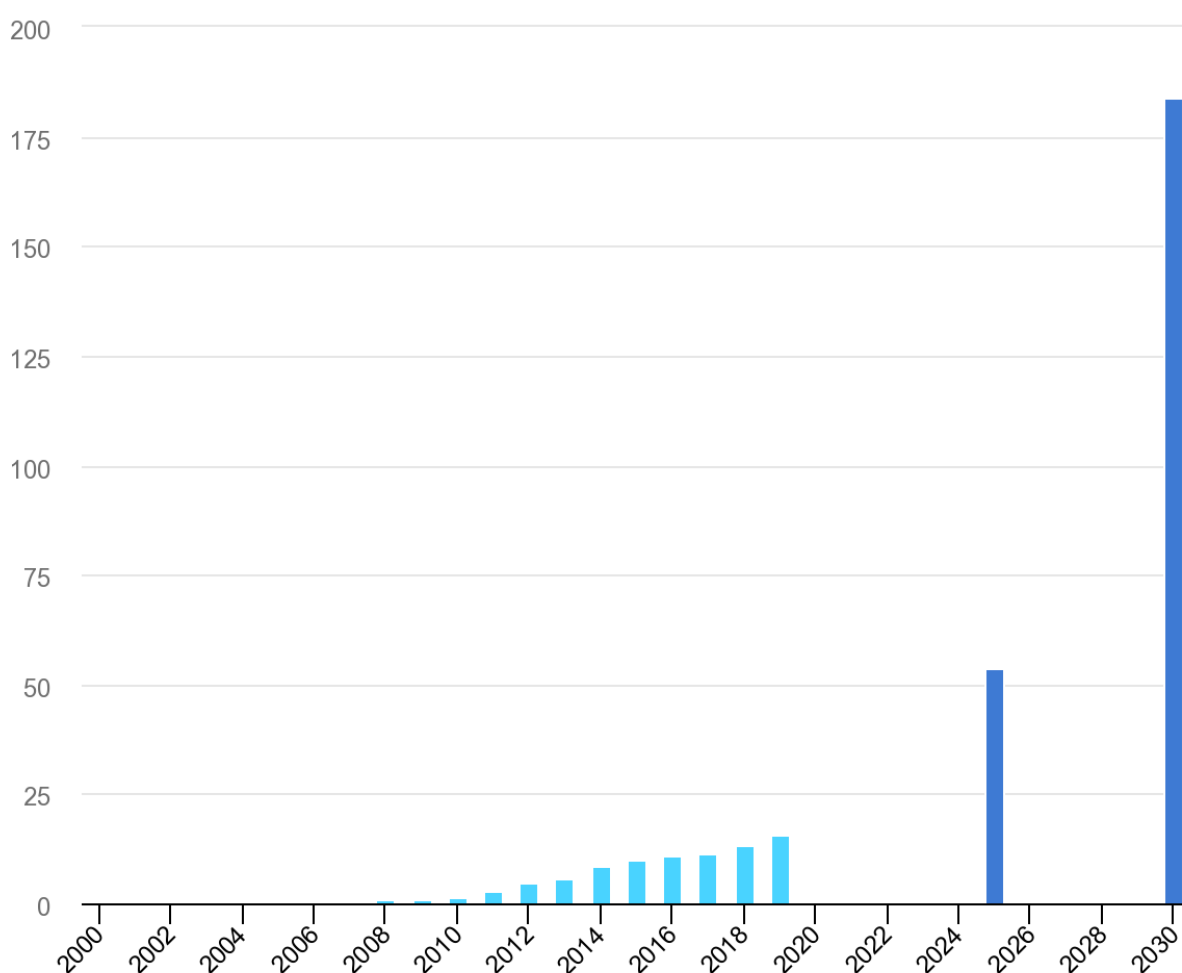


Figure III-1: Concentration de la production d'énergie solaire dans le scénario de développement durable, 2000-2030. [IEA]

III.2 Classification des systèmes d'énergie solaire

III.2.1 Système solaire de production d'énergie thermique concentrée

Les rayons solaires concentrés à l'aide de miroirs, chauffent un fluide (eau), la vapeur résultante sert pour entraîner une turbine et produire de l'électricité. Selon le principe des grandes centrales électriques.

Une centrale électrique (solaire) comporte généralement un champ de miroirs qui redirigent les rayons vers une tour et mince. L'un des principaux avantages d'une centrale par rapport à une centrale solaire photovoltaïque est qu'elle peut être équipée de sels en fusion dans lesquels la chaleur peut être stockée, ce qui permet de générer de l'électricité après le coucher du soleil (FigureIII-2). [18]

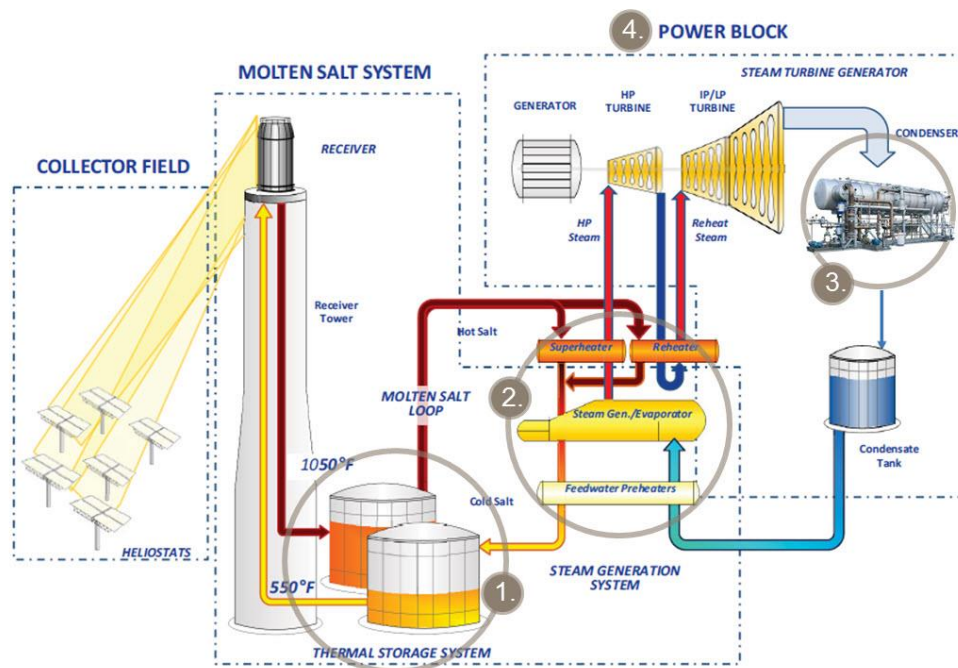


Figure III-2: Production d'énergie solaire concentrée.

Le système actuel de production d'énergie solaire à concentration solaire peut être classé en types :

III.2.1.1 Auge parabolique

Les systèmes d'auges paraboliques utilisent des miroirs incurvés pour concentrer l'énergie solaire sur un tube récepteur qui descend le long du centre d'une auge. Dans le tube récepteur, un fluide caloporteur à haute température (comme une huile synthétique) absorbe l'énergie solaire, atteignant des températures de 750 °F ou plus, et passe par un échangeur de chaleur pour chauffer l'eau et produire de la vapeur. La vapeur alimente un système classique de production d'électricité par turbine à vapeur. Un champ de collecteurs solaires type contient des centaines de rangées parallèles d'auges connectées comme une série de boucles, qui sont placées sur un axe nord-sud de sorte que les auges peuvent suivre le soleil d'est en ouest. Les modules collecteurs individuels mesurent généralement de 15 à 20 pieds de haut et de 300 à 450 pieds de long (Figure III-3). [19]

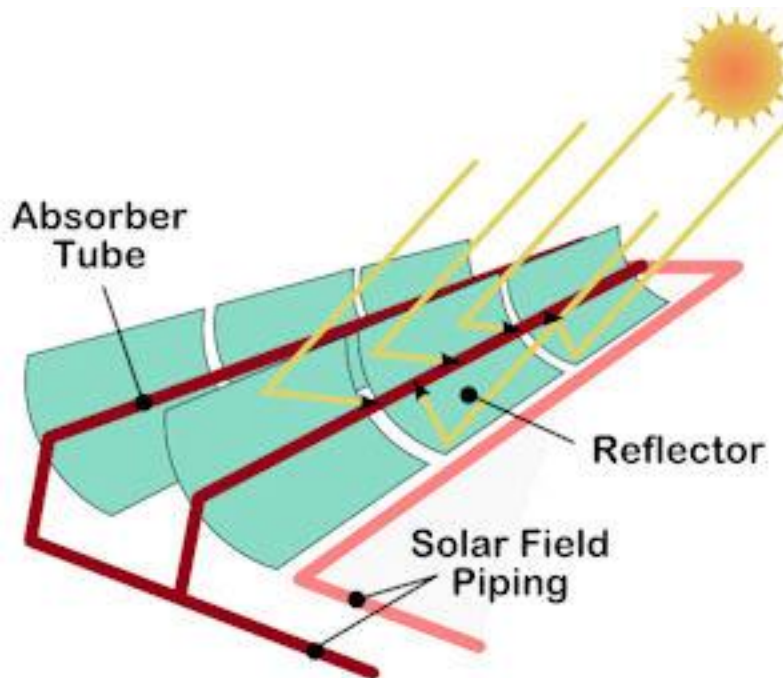


Figure III-3: Collecteur Auge parabolique.

III.2.1.2 Réflecteur de Fresnel linéaire compact

Il utilise les principes des systèmes d'auges à miroir incurvé, mais avec de longues rangées parallèles de miroirs plats moins chers. Ces réflecteurs modulaires concentrent l'énergie solaire sur des récepteurs surélevés, qui consistent en un système de tubes à travers lesquels l'eau circule. La lumière du soleil concentrée fait bouillir l'eau, générant de la vapeur à haute pression pour une utilisation directe dans la production d'électricité et les applications industrielles de vapeur (Figure III-4). [19]



Figure III-4:Collecteur linéaire de Fresnel.

III.2.1.3 Tours d'énergie solaire

Les systèmes à tour de puissance utilisent un système de réception central, qui permet des températures de fonctionnement plus élevées et donc des gains d'efficacité. Les miroirs commandés par ordinateur (appelés héliostats) suivent le soleil le long de deux axes et concentrent l'énergie solaire sur un récepteur au sommet d'une tour haute. L'énergie concentrée sert à chauffer un fluide de transfert (plus de 1 000 °F) pour produire de la vapeur et faire fonctionner une génératrice d'énergie centrale. Le stockage d'énergie peut être facilement et efficacement intégré à ces projets, ce qui permet une production d'électricité 24 heures sur 24 (Figure III-5). [19]



Figure III-5 : Tour d'énergie solaire.

III.2.1.4 Le système de génération d'énergie solaire thermique à disque (plat)

Les miroirs sont répartis sur une surface parabolique pour concentrer la lumière du soleil sur un récepteur fixé au point focal. Contrairement aux autres technologies du PST qui utilisent de la vapeur pour produire de l'électricité par l'intermédiaire d'une turbine, un système de moteur à parabole utilise un fluide de travail comme l'hydrogène qui est chauffé jusqu'à 1 200 °F dans le récepteur pour conduire un moteur. Chaque collecteur tourne le long de deux axes pour suivre le soleil (Figure III-6). [19]



Figure III-6: Disque système de production d'énergie solaire thermique.

III.2.2 Système intégré de production d'énergie solaire thermique

L'énergie solaire a des avantages et des inconvénients inhérents. Premièrement, l'énergie solaire est instable et est affectée par les conditions météorologiques et les variations saisonnières. Habituellement, les centrales solaires devraient être équipées de dispositifs de stockage d'énergie qui sont généralement coûteux. Deuxièmement, les coûts de construction d'une centrale solaire indépendante sont élevés et donc inabordables pour de nombreux pays. Dans ce cas, il est peu probable que le remplacement des combustibles fossiles par des sources d'énergie propres et renouvelables ait lieu bientôt. Au contraire, l'utilisation de la production d'électricité intégrée entre différentes sources d'énergie peut rendre l'énergie « complémentaire » ; cette option peut donc améliorer l'efficacité de la production d'électricité de système et sa stabilité et ainsi réduire les émissions de gaz nocifs.

La recherche et l'application du système intégré peuvent non seulement résoudre les problèmes énergétiques existants, mais aussi faire bon usage des nouvelles énergies et promouvoir le développement et l'utilisation de ces dernières. L'intégration de l'énergie solaire au charbon, qui

s'appuie sur le cycle existant de Rankine, implique l'inclusion de nombreux capteurs et accessoires solaires dans le système de production d'électricité existant. Cette approche peut conduire à des investissements financiers et de main-d'œuvre plus élevée que la construction d'une nouvelle centrale solaire.

La recherche sur ces systèmes revêt donc une grande importance. Pour les systèmes intégrés, les questions suivantes devraient être abordées dans l'analyse de la conception et du rendement :

- Le système d'énergie solaire au charbon est l'intégration des capteurs solaires avec la centrale électrique au charbon existant. Cela permet d'utiliser l'énergie solaire pour chauffer l'eau ou la vapeur et ainsi réduire la consommation de charbon en produisant la même quantité d'électricité.
- L'énergie solaire peut également être intégrée dans un système de production d'électricité à cycle combiné gaz et vapeur. Cela implique l'utilisation d'un système de chauffage solaire pour remplacer le cycle de vapeur Rankine pour une certaine période de fonctionnement.
- Les systèmes hybrides de production d'énergie solaire thermique/photovoltaïque peuvent utiliser une gamme complète de longueurs d'onde solaires et ainsi permettre d'atteindre un rendement solaire global plus élevé, par rapport aux systèmes photovoltaïques qui utilisent des longueurs d'ondes courtes de la lumière solaire.[20]

III.2.2.1 Système de production d'énergie solaire photovoltaïque

Les photovoltaïques (PV), aussi appelés cellules solaires, sont des dispositifs électroniques qui convertissent la lumière du soleil directement en électricité. La cellule solaire moderne est probablement une image que la plupart des gens reconnaîtraient – elle se trouve dans les panneaux installés sur les maisons et dans les calculatrices. Ils ont été inventés en 1954 aux laboratoires Bell Téléphone aux États-Unis. Aujourd'hui, le photovoltaïque est l'une des technologies d'énergie renouvelable qui connaît la croissance la plus rapide et il est prêt à jouer un rôle majeur dans le mix de production d'électricité à l'échelle mondiale (Figure III-7).[18]

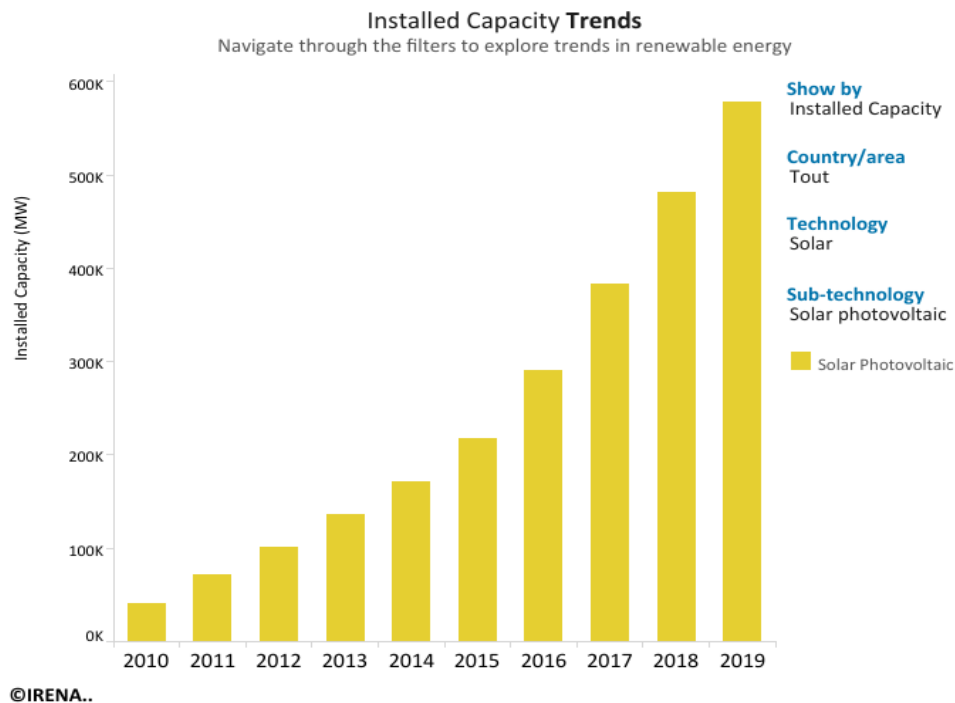


Figure III-7:Données sur l'énergie solaire. [IRENA]

Les installations solaires photovoltaïques peuvent être combinées pour fournir de l'électricité à une échelle commerciale, ou disposées dans des configurations plus petites pour les mini-réseaux ou pour un usage personnel. L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour alimenter les mini-réseaux est un excellent moyen d'offrir l'accès à l'électricité aux personnes qui ne vivent pas à proximité de lignes de transport d'électricité, en particulier dans les pays en développement disposant d'excellentes ressources en énergie solaire.

Le coût de fabrication des panneaux solaires a chuté de façon spectaculaire au cours de la dernière décennie, les rendant non seulement abordables, mais souvent la forme d'électricité la moins chère. Les panneaux solaires ont une durée de vie d'environ 30 ans, et viennent dans une variété de nuances en fonction du type de matériau utilisé dans la fabrication. [18]

III.2.3 Production d'énergie bioénergétique

L'utilisation de la bioénergie se divise en deux grandes catégories, « Traditionnelle » et « moderne ». L'utilisation traditionnelle désigne la combustion de biomasse sous des formes telles que le bois, les déchets animaux et le charbon de bois traditionnel. Les technologies de bioénergie modernes comprennent les biocarburants liquides produits à partir de bagasse et d'autres plantes, les bioraffineries, le biogaz produit par digestion anaérobie des résidus, les systèmes de chauffage à granulés de bois et d'autres technologies.

Environ les trois-quarts de l'énergie renouvelable utilisée dans le monde sont de la bioénergie, dont plus de la moitié est de la biomasse traditionnelle. La bioénergie représentait environ 10 %

de la consommation finale totale d'énergie et 1,4 % de la production mondiale d'électricité en 2015 (FigureIII-8).[21]

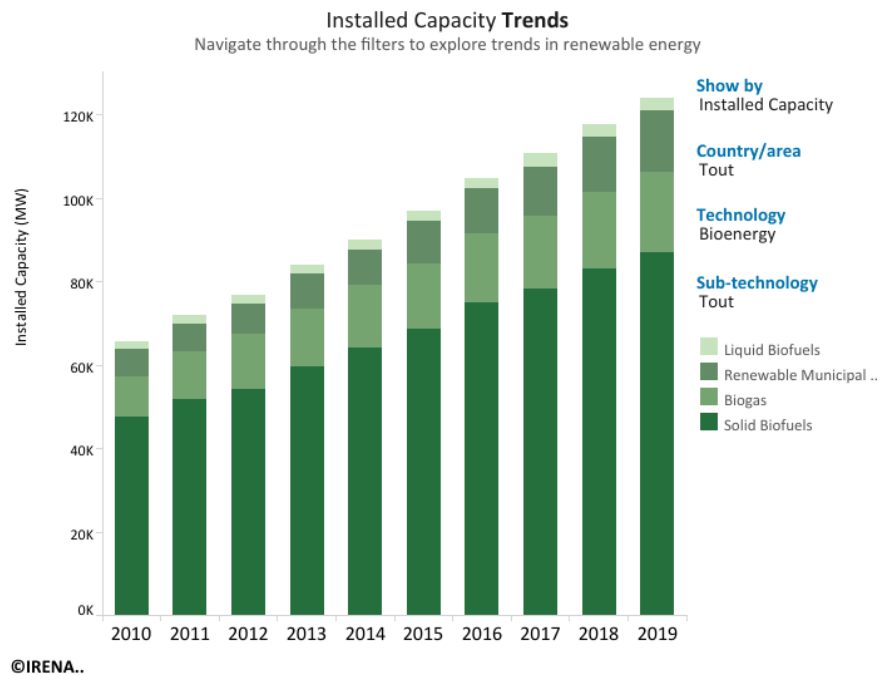


Figure III-8:Données sur la bioénergie. [IRENA]

La biomasse a un potentiel considérable et peut être directement brûlée pour le chauffage ou la production d'électricité, ou elle peut être convertie en substituts du pétrole ou du gaz. Les biocarburants liquides, un substitut renouvelable pratique de l'essence, sont principalement utilisés dans le secteur des transports. [21]

III.3 Gestion des énergies renouvelables

Les critiques de l'énergie renouvelable citent souvent le fait que les technologies comme l'énergie éolienne et solaire ne produisent de l'énergie que lorsque le vent souffle ou que le soleil brille. Ils soutiennent que nous ne pouvons pas utiliser efficacement l'énergie renouvelable tant que nous n'aurons pas mis au point une technologie appropriée de stockage de l'énergie. Bien que le fait que l'énergie éolienne et solaire ne produit pas d'énergie 24 heures sur 24 soit certainement un inconvénient majeur. Les problèmes associés à la nature intermittente de nombreuses énergies renouvelables sont souvent exagérés et rarement discutés d'un point de vue pratique.[22]

III.3.1 Stratégies d'intégration des énergies renouvelables intermittentes

Les défis de l'énergie renouvelable intermittente et la difficulté liée à l'intégration de sources d'électricité variables découlent du fait que le réseau électrique a été conçu autour du concept de grands groupes électrogènes contrôlables. Aujourd'hui, l'exploitant du réseau utilise un processus de planification en trois phases pour s'assurer que les centrales produisent la bonne quantité d'électricité au bon moment afin de répondre de façon constante et fiable à la demande d'électricité. Étant donné que le réseau a très peu de capacité de stockage, l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité doit être maintenu en tout temps pour éviter une panne de courant ou un autre problème en cascade.

Les énergies renouvelables intermittentes sont difficiles parce qu'elles perturbent les méthodes conventionnelles de planification du fonctionnement quotidien du réseau électrique. Leur puissance fluctue sur de multiples horizons temporels, obligeant l'opérateur du réseau à ajuster ses procédures d'exploitation en avant-jour, en avant-heure et en temps réel.

Prenons l'exemple des panneaux solaires. L'énergie solaire n'étant intrinsèquement disponible que pendant les heures de clarté, l'exploitant du réseau doit ajuster le plan journalier pour y inclure des génératrices qui peuvent ajuster rapidement leur puissance pour compenser la hausse et la baisse de la production solaire.

En plus des fluctuations quotidiennes causées par le lever et le coucher du soleil, la sortie des panneaux solaires peut également changer soudainement en raison des nuages. La variabilité causée par les nuages peut faire en sorte qu'il soit plus difficile pour l'exploitant du réseau de prévoir la quantité supplémentaire de production d'électricité nécessaire au cours de la prochaine heure de la journée. Donc il devient difficile de calculer exactement ce que la sortie de chaque générateur devrait être pour accomplir la charge.

Bien que les énergies renouvelables perturbent le fonctionnement du réseau de plusieurs façons, il n'est pas impossible de compenser l'intermittence et l'incertitude supplémentaires. En fait, beaucoup de stratégies pour surmonter la variabilité renouvelable sont plus simples que vous pourriez réaliser. Les sections qui suivent examinent les stratégies qui peuvent être utilisées pour intégrer l'énergie renouvelable sans avoir besoin d'un stockage coûteux de l'énergie. [22]

III.3.1.1 La loi des grands nombres

Alors qu'à première vue, il pourrait sembler que l'ajout d'une trop grande quantité d'énergie renouvelable pourrait déstabiliser l'équilibre délicat du réseau électrique, il s'avère que l'énergie renouvelable devient effectivement plus prévisible à mesure que le nombre de générateurs renouvelables connectés au réseau augmente grâce à l'effet de la diversité géographique et de la loi des Grands Nombres.

La loi des grands nombres est un théorème de probabilité, qui stipule que le résultat agrégé d'un grand nombre de processus incertains devient plus prévisible que le nombre total de processus augmente. Appliquée à l'énergie renouvelable, la loi des grands nombres stipule que la production combinée de chaque éolienne et panneau solaire connecté au réseau est beaucoup moins volatile que la production d'un générateur individuel. [22]

III.3.1.2 La puissance de prédiction

Alors que la loi des grands nombres et l'effet de la diversité géographique font en sorte que l'énergie renouvelable atténue ses propres fluctuations sur une base seconde par seconde, il peut toujours être difficile de prédire le niveau prévu de production d'énergie renouvelable au cours de la prochaine heure ou deux de la journée. Heureusement, l'expérience a montré qu'il est possible de modéliser et de prévoir efficacement l'énergie renouvelable disponible au réseau.

Au cours des dernières années, toute une industrie s'est développée autour de la pratique consistant à interpréter les données du Web et d'autres sources à des fins de publicité ciblée, de promotion politique et d'une variété d'autres pratiques. De nombreux algorithmes et stratégies développés pour prédire si vous cliquerez ou non sur une annonce Web pourraient également être utilisés pour prédire la sortie prévue d'un vent ou d'un panneau solaire.

À l'avenir, je crois qu'il y aura un plus grand besoin de prévisions efficaces en matière d'énergie renouvelable, et que des modèles et des algorithmes de plus en plus avancés pour prévoir la production d'énergie renouvelable une heure ou un jour à l'avance répondront à ce besoin. [22]

III.3.1.3 Encourager la production d'énergie au bon moment et au bon endroit

Bien qu'il soit possible de gérer les fluctuations de la production d'énergie renouvelable d'une seconde à l'autre et d'une heure à l'autre grâce à l'agrégation et à la prévision, il est beaucoup plus difficile de prévoir combien d'énergie renouvelable sera disponible un jour à l'avance.

L'intégration d'une grande part de l'énergie renouvelable intermittente dans nos activités quotidiennes d'électricité nécessitera un mélange de sources qui se complètent les unes les autres afin d'égaliser à peu près notre demande totale d'énergie au cours de la journée. Et solaire peut culminer à différents moments au cours de la journée, en fonction de la façon dont il est orienté.

La réalisation de ce mélange nécessitera un marché de l'électricité efficient et efficace qui encourage la production d'électricité au bon moment et au bon endroit. Les marchés concurrentiels de l'électricité existants ont déjà des prix qui varient au cours de la journée et dans une région en fonction du niveau local de l'offre et de la demande d'électricité. L'exposition de l'énergie renouvelable à ces prix peut aider à encourager un mélange de sources renouvelables

qui produit la bonne quantité d'énergie quand nous en avons besoin, et réduit le besoin de stockage d'énergie coûteux. [22]

III.3.1.4 Un réseau électrique durable de l'avenir

Bien que les défis posés par la nature intermittente de nombreuses sources d'énergie renouvelable augmentent certainement la complexité de l'exploitation efficace du réseau, ils sont loin d'être insurmontables. À bien des égards, ils ne sont rien en comparaison des énormes défis qui ont été surmontés pour relier initialement tous les fils, construire toutes les centrales électriques et mettre en œuvre tous les contrôles qui composent le réseau actuel. La réduction des coûts associés à la variabilité des énergies renouvelables sera un défi majeur des années et des décennies à venir. [22]

III.4 Conclusion

Ce chapitre, a été dédié aux systèmes de production d'énergie solaire, qui sont la source d'énergie la plus importante sur Terre et qui peuvent produire de l'électricité par la chaleur comme source de chaleur ou par la capture de photons lumineux dans la cellule photovoltaïque solaire.

Quelques techniques d'intégration des sources d'énergie renouvelable intermittente dans le réseau, ont été succinctement abordés.

chapitre IV. Prospection sur les déchets et stockage d'énergie

IV.1 Introduction

La biomasse solide provenant des forêts et des fermes qui est actuellement une source d'énergie majeure pour la production de chaleur et d'électricité, pourrait représenter près du cinquième de la consommation mondiale d'énergie d'ici 2050 grâce à l'adoption accélérée des énergies renouvelables. Néanmoins, les résidus de bois et des cultures doivent être collectés dans des sites très dispersés et stockés pour être utilisés au moment voulu et à une échelle rentable, dans des systèmes de chauffage urbain, des centrales électriques et des centrales thermiques et électriques combinées.[26]

Les sociétés et les économies modernes produisent des quantités croissantes de déchets organiques – tels que les déchets agricoles, les déchets alimentaires et l'héritage animal – qui peuvent être utilisés pour produire du biogaz, du biométhane et des sources d'énergie propre avec de multiples avantages potentiels pour le développement durable. L'exploitation des déchets incarne l'idée d'une économie circulaire dans laquelle les résidus sont utilisés et continuellement réutilisés - dans laquelle la demande croissante de services énergétiques peut être satisfaite avec des avantages environnementaux plus larges.[27]

IV.2 Potentiel de bioénergie

IV.2.1 Potentiel de bioénergie provenant de la collecte durable de résidus agricoles

Pour chaque tonne de culture produite, une quantité de résidus est disponible au champ après la récolte, dont une fraction peut être collectée de façon pratique et durable. On suppose généralement que cette fraction se situe entre un quart et demi, de sorte qu'il reste suffisamment de résidus pour régénérer le sol. En outre, une part des résidus est attachée aux cultures lorsqu'elles entrent dans les usines de transformation, dont la plupart peuvent également être collectées.

Doubler la charge de chaque culture et traiter le résidu par tonne de culture suppose une teneur en énergie de 15 GJ par tonne, résidus agricoles d'une teneur en énergie d'environ 161 EJ produits dans le monde en 2010. Avec 25-50% des résidus de récolte et 90% du traitement des déchets, il a été possible d'utiliser 55-90 exajoule. Avec la croissance prévue de l'approvisionnement alimentaire en supposant un mélange régulier de cultures, les résidus agricoles disponibles pourraient atteindre 79 à 128 EJ dans le monde d'ici 2050 (tableaux IV-1 et IV -2).

Cependant, une grande partie de ces résidus seraient probablement utilisée pour l'alimentation animale. En divisant l'offre de bétail entre les systèmes de pâturage traditionnels et les systèmes « mixtes » à rendement plus élevé dans chaque pays, et en multipliant cela par la quantité de résidus utilisés pour produire chaque tonne de bétail, on constate que 19 EJ de résidus ont été utilisés pour l'alimentation animale en 2010. Compte tenu de la croissance prévue de la demande de bétail pour la consommation de lait et de viande, 33 EJ de résidus pourraient aller à l'alimentation d'ici 2050, laissant 46 EJ à 95 EJ à l'utilisation pour le biocarburant (tableaux IV-1 et IV -2).

Avec une efficacité de conversion de 40 % dans un procédé lignocellulosique, ce résidu produirait 18 EJ à 38 EJ de biocarburant à l'échelle mondiale. Cela représente environ un à deux cinquièmes de tout le carburant liquide utilisé pour le transport en 2014 et probablement plus que les 22 EJ de carburant utilisés pour la navigation maritime et l'aviation.[28]

pays	résidus de récolte	résidu de traitement	Résidu total	Résidus pour les aliments du bétail	Résidus de carburant (biomasse primaire)	40 % au biocarburant (contenu énergétique)	Part de la consommation de combustibles liquides en 2014
Monde	49 278	29 730	79 008	32 877	46 131	18 452	21%

Table IV-1: Potentiel de résidus pour 2050 (PJ/an) – collecte de 25 % des résidus de récolte.

Pays	Résidus de récolte	Résidu de traitement	Résidu total	Résidus pour les aliments du bétail	Résidus de carburant (biomasse primaire)	40 % au biocarburant (contenu énergétique)	Part de la consommation de combustibles liquides en 2014
Monde	98 555	29 730	128 285	32 877	95 409	38 163	43%

Table IV-2: Potentiel de résidus pour 2050 (PJ/an) – collecte de 50 % des résidus de récolte.

IV.2.2 Potentiel de bioénergie grâce à l'intensification durable de l'agriculture

La croissance des rendements à l'hectare est responsable d'environ 80 % de l'augmentation de la production alimentaire et du potentiel de résidus selon les projections de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Un autre 10% est dû à la plantation de plusieurs cultures sur la même terre chaque année. Seulement 10 % de l'augmentation prévue de la production alimentaire provient de l'expansion des terres arables. Mais les rendements pourraient augmenter plus rapidement avec des services de vulgarisation élargis et des aides

financières pour aider les agriculteurs des pays à faible rendement à adopter les pratiques qui produisent des rendements plus élevés ailleurs, en fonction des conditions locales. Avec des rendements plus élevés, moins de terres seraient nécessaires pour la nourriture et plus pourrait être utilisé pour les matières premières de biocarburant.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) prévoit que le rendement moyen des cultures mondiales passera de 4,2 t/ha en 2010 à 5,1 t/ha en 2050. Mais en appliquant les tendances de croissance des rendements de 1961 à 2013, elle pourrait atteindre 6,6 t/ha d'ici 2050 (FAO, 2015a).

Alors que 1 079 millions d'hectares (Mha) devraient être plantés en 2050 pour répondre aux besoins alimentaires mondiaux aux rendements prévus, seulement 839 Mha seraient nécessaires aux rendements plus élevés, libérant 240 Mha pour les cultures de biocarburants.

La FAO a également évalué l'écart entre les rendements actuels et potentiels des cultures, en supposant que le mélange actuel de terres irriguées et de terres « pluviales ». Globalement, l'écart moyen est de 62,1 t/ha pour les sucres, 3,9 t/ha pour les céréales, 12,7 t/ha pour les plantes sarclées et 0,6 t/ha pour les oléagineux. Pour chaque pays, prendre les terres pour répondre à la demande alimentaire avec les rendements actuels pour chaque type de culture et les diviser par le rapport entre le rendement réel et le rendement potentiel, L'Agence internationale des énergies renouvelables (IRENA) a calculé la quantité de terre nécessaire pour répondre aux besoins alimentaires si l'écart de rendement était comblé. Pour combler l'écart, il faudrait augmenter le rendement moyen des cultures mondiales à 10,4 t/ha en 2050, de sorte que seulement 527 Mha seraient nécessaires pour l'alimentation, au lieu des 1 079 Mha projetés par la FAO, ce qui laisserait 552 Mha pour les biocarburants. Si ces terres étaient plantées de graminées produisant 150 gigajoules par hectare (GJ/ha), elles pourraient produire 83 EJ de biomasse. Converti à un rendement de 40 %, cela donnerait 33 EJ de biocarburant, soit environ un tiers de la consommation actuelle de carburant de transport (Tableau IV-3).[28]

Pays	Terre libérée (Mha)	Potentiel de biomasse 150 GJ/ha (PJ/an)	40 % au biocarburant avancé (PJ/an)	Consommation de carburant pour le transport de liquides 2014 (PJ)	Part potentielle de la consommation de carburant en 2014
Monde	551.71	82 757	33 103	87 869	38%

Table IV-3: Potentiel de biomasse à partir de rendements plus élevés en 2050.

IV.2.3 Potentiel de bioénergie sur les terres libérées en réduisant les déchets et les pertes dans la chaîne alimentaire

De grandes quantités de nourriture sont perdues dans la production et la distribution ou gaspillées au point de consommation. La FAO a constaté qu'un tiers des aliments produits pour la consommation humaine sont perdus ou gaspillés dans le monde, soit 1,3 milliard de tonnes par an. Les pertes de production et de distribution ont des proportions similaires dans les pays développés et en développement, s'élevant à 31-33% en Europe et en Amérique du Nord (280-300 kg sur les 900 kg d'aliments produits par habitant par an) et 26-37% en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud/Sud-Est (120-170 kg sur 460 kg d'aliments produits par habitant et par an). Mais le gaspillage alimentaire de

Consommation est beaucoup plus élevée dans les pays développés (11-13%) que dans les pays en développement (1-2%).

Pour chaque grande région et groupe alimentaire, les données de la FAO montrent des pertes en pourcentage de la production agricole, de la manutention et de l'entreposage après récolte, de la transformation et de l'emballage, de la distribution au détail et de la consommation. À partir de ces données, on peut calculer le pourcentage total et le tonnage perdu ou gaspillé pour chaque groupe alimentaire. Pour les cultures directement consommées, les tonnes perdues ou gaspillées peuvent être divisées par le rendement moyen en tonnes par hectare pour déterminer combien d'hectares pourraient être libérés en éliminant les pertes et les déchets. Pour la viande et les produits laitiers, on peut calculer les quantités de différents types d'aliments pour chacun, puis la superficie utilisée pour produire l'aliment, et enfin (multiplier cette superficie par part de produit perdu) les terres épargnées (Tableau IV-4). [28]

Groupe alimentaire	Perte totale Tous les stades combinés	Production agricole	Manutention et entreposage après récolte	Traitement et emballage	Distribution : Supermarché Détail	Consommation
Céréales	20%	6%	8%	3%	2%	1%
Fruits, légumes	57%	11%	9%	23%	12%	3%
Viande	32%	18%	1%	5%	7%	2%
Lait	26%	6%	11%	0%	9%	0%
Oléagineux, légumineuses à grains	32%	14%	8%	7%	2%	1%
Racines et tubercules	51%	16%	18%	12%	3%	1%
Tous (sauf les fruits de mer)	36%	12%	9%	8%	6%	1%

Table IV 4 : Part de la production alimentaire perdue à différents stades de la chaîne alimentaire en Afrique.

IV.2.4 Potentiel de bioénergie des forêts productives

La biomasse forestière est constituée de toutes les parties de l'arbre, le tronc, l'écorce, les branches, les aiguilles ou les feuilles et même les racines. Il est possible de convertir cette biomasse en biocombustibles solides, liquides ou gazeux que l'on peut brûler pour produire de l'énergie, ou de l'utiliser comme combustibles de remplacement pour le transport ou les procédés industriels. Les arbres sont utiles sur le plan énergétique : ils convertissent l'énergie du soleil en biomasse grâce à la photosynthèse, un processus qui absorbe du dioxyde de carbone de l'atmosphère.

La plus grande partie de la biomasse forestière utilisée pour produire de la bioénergie provient de déchets ou de résidus de procédés de fabrication. La bioénergie forestière représente une part importante de l'énergie utilisée dans le secteur des pâtes et papiers, surtout parce qu'il est avantageux, sur le plan économique, de convertir en énergie ce qui constituerait autrement un déchet devant être enfoui ou incinéré. Diverses technologies permettent de convertir la biomasse en énergie. Les producteurs de pâtes et papiers produisent ainsi de l'énergie en brûlant le déchet liquide (appelé liqueur noire) issu du procédé de désintégration dans une chaudière de récupération qui permet également le recyclage de substances chimiques. Les producteurs de pâtes et papiers et de bois d'œuvre brûlent aussi des déchets ligneux (surtout de l'écorce) : la chaleur et parfois les vapeurs obtenues permettent d'actionner des turbines et de produire de l'électricité. Toutefois, on s'intéresse de plus en plus à produire de la bioénergie à partir de l'utilisation de sous-produits de biomasse se trouvant sur des sites de coupe ou des sites perturbés, qu'il s'agisse de branches, d'arbres de faible valeur, de résidus laissés au sol après des coupes, des incendies ou des infestations d'insectes, ou de résidus d'exploitation empilés en bordure de route. La culture ou la coupe d'arbres destinés à la production de bioénergie suscite également un intérêt croissant. [29]

IV.2.4.1 Pourquoi s'intéresse-t-on à la bioénergie forestière ?

Compte tenu de la fluctuation des prix de l'énergie et des préoccupations grandissantes concernant les changements climatiques, les entreprises et les gouvernements considèrent de plus en plus, la bioénergie pour assurer la sécurité énergétique, et comme solution de remplacement économique et écologique aux combustibles fossiles. La récente baisse de prix des produits forestiers et les difficultés financières éprouvées par ce secteur ont aussi stimulé l'utilisation de biomasse forestière pour la production d'une gamme de bioproduits, dont la bioénergie. La transition vers une bioéconomie s'accompagne d'un intérêt accru pour les

bioproduits à valeur élevée susceptibles d'améliorer le résultat net, comme les produits biochimiques et les biomatériaux pouvant remplacer des produits similaires fabriqués à l'aide de combustibles fossiles et qui sont souvent produits en même temps que la bioénergie. Il est également possible d'augmenter la production de bioénergie en employant de nouvelles technologies de conversion permettant de mieux capter l'énergie enfermée dans les résidus de produits forestiers. [29]

IV.3 La bioénergie en Algérie

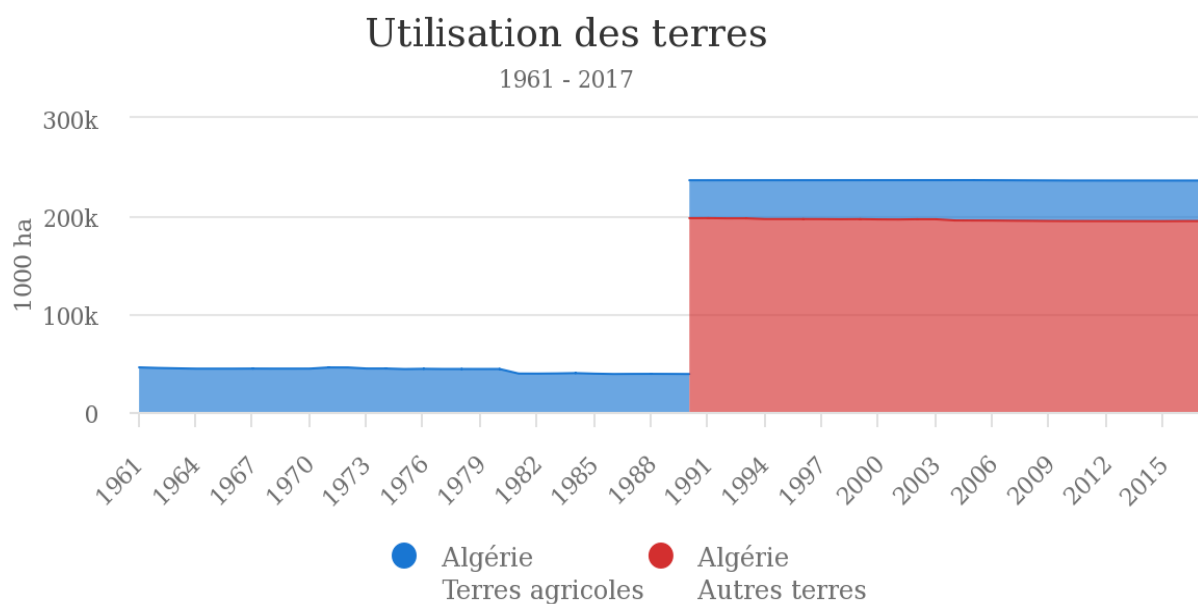
C'est dans un contexte de préoccupations énergétiques et environnementales que l'Algérie s'est dotée d'un programme destiné au développement des énergies renouvelables. Néanmoins, on note que ce programme n'accorde que très peu de considération à la bioénergie comparée aux autres sources renouvelables. Ainsi, l'objet est de mettre en exergue le potentiel national de bioénergie, ainsi que les bénéfices collatéraux de l'exploitation de certains gisements. Nous allons nous attarder sur deux gisements, qui en plus d'apporter des solutions énergétiques, permettent de répondre à des maux environnementaux et sanitaires.

En effet, est considéré comme biomasse, toute matière organique provenant de substances végétales ou animales disponibles sur une base renouvelable. Le gisement de biomasse peut ainsi prendre différentes formes. Outre la biomasse disponible dans la nature (à l'état naturel), on compte aussi les déchets agricoles, industriels, municipaux, etc.

En effet, est considéré comme biomasse, toute matière organique provenant de substances végétales ou animales disponibles sur une base renouvelable. Le gisement de biomasse peut ainsi prendre différentes formes. Outre la biomasse disponible dans la nature (à l'état naturel), on compte aussi les déchets agricoles, industriels, municipaux, etc. La biomasse est une source d'énergie renouvelable unique puisqu'elle peut se présenter sous forme liquide, solide, ou encore gazeuse. Dès lors la bioénergie jouit d'un avantage certain comparé aux autres énergies renouvelables, puisqu'elle permet de produire différentes formes d'énergie : de l'électricité, des carburants pour le transport, et de la chaleur. La bioénergie peut être stockée et déplacée en cas de besoin. Autant de propriétés, qui font de la bioénergie une composante indispensable dans les énergies renouvelables.

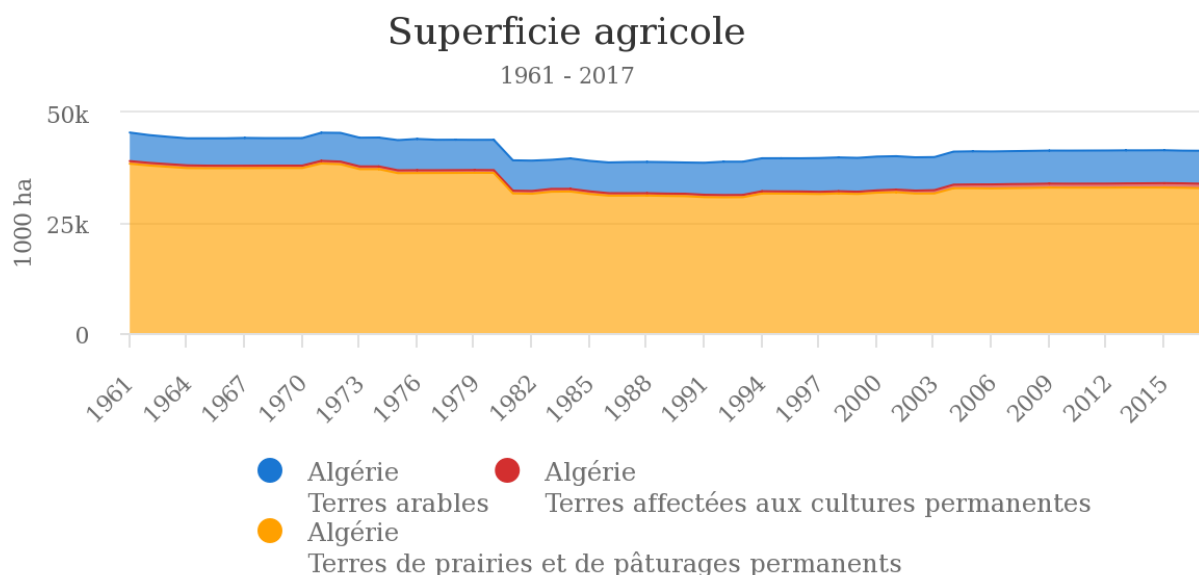
En dépit de toute la panoplie de biomasse nationale valorisable en énergie, nous allons nous concentrer sur le potentiel énergétique des déchets (ménagers et industriels), ainsi que les boues des stations d'épuration des eaux usées (STEP). Ces deux sources étant disponibles de manière durable et en quantité, dans la mesure où la population algérienne continue de croître, de même pour son niveau de vie – consommation de biens.[30]

La bioénergie permettra également d'exploiter des zones agricoles plus vastes là où nous nous attendons Le développement de l'agriculture et l'attribution de grandes zones dans ce domaine à L'avenir et cela permet le développement de la bioénergie comme nous l'observons dans les figures IV-1 et IV-2.



Source: FAOSTAT (août 23, 2020)

Figure IV-1: Utilisation des terres [FAO].

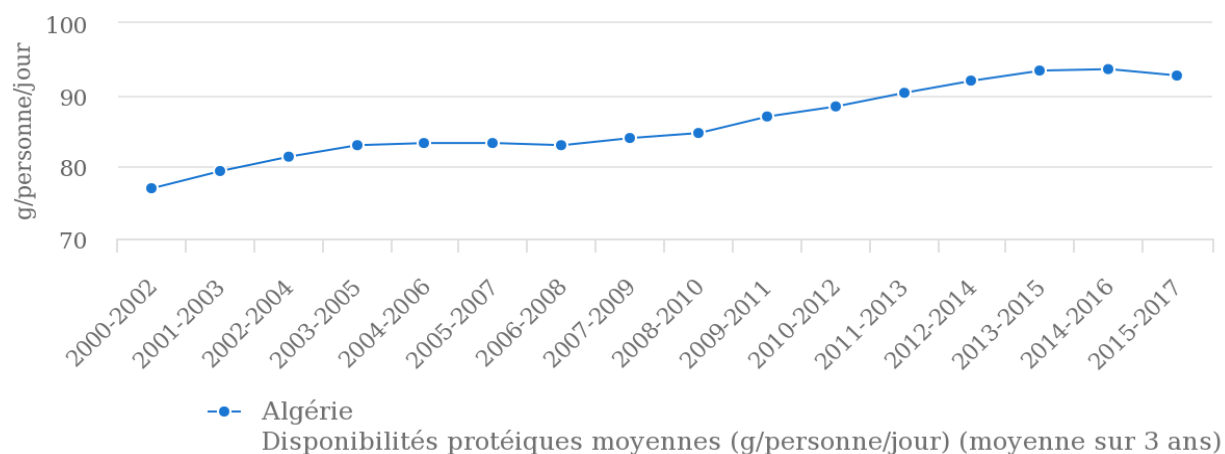


Source: FAOSTAT (août 23, 2020)

Figure IV-2: Superficie agricole [FAO].

IV.3.1 Déchets ménagers

L'augmentation du revenu moyen du peuple algérien et le changement de ses habitudes alimentaires se traduisent par une augmentation significative des déchets ménagers. Pour que la quantité moyenne de déchets quotidiens générés par habitant augmente constamment, on note la quantité de consommation entre 2000 et 2017 dans les figures IV-3 et IV-4.



Source: FAOSTAT (août 23, 2020)

Figure IV-3: Disponibilités protéiques moyennes [FAO].

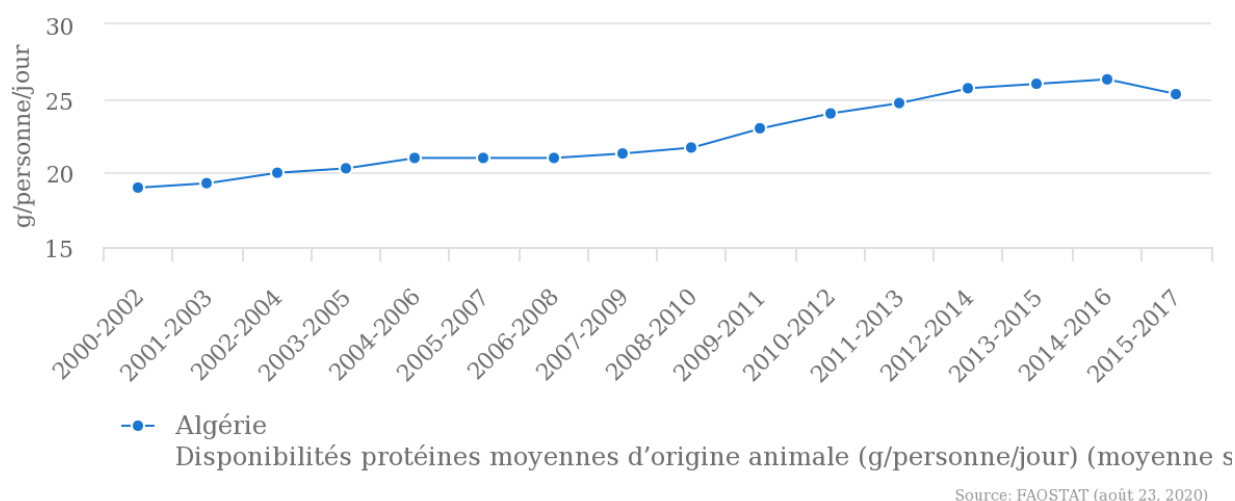


Figure IV-4: Disponibilités protéines moyennes d'origine animale [FAO].

La valorisation énergétique des déchets ménagers et assimilés peut être réalisée de deux façons :

- Par incinération dans des usines d'incinération d'ordures ménagères.
- Par méthanisation, en récupérant le biogaz à partir des fractions putrescibles des déchets.

Ces deux voies de valorisation permettent de produire de l'électricité ou de la chaleur, ou bien les deux au même temps grâce aux procédés de cogénération. Seulement, la seconde catégorie (production de biogaz) permet aussi d'utiliser le biogaz comme combustible.[30]

Au niveau national, la quantité de déchets ménagers et de résidus est représentée dans certaines cultures que nous afficherons au tableau IV-5 et à la figure IV-5.

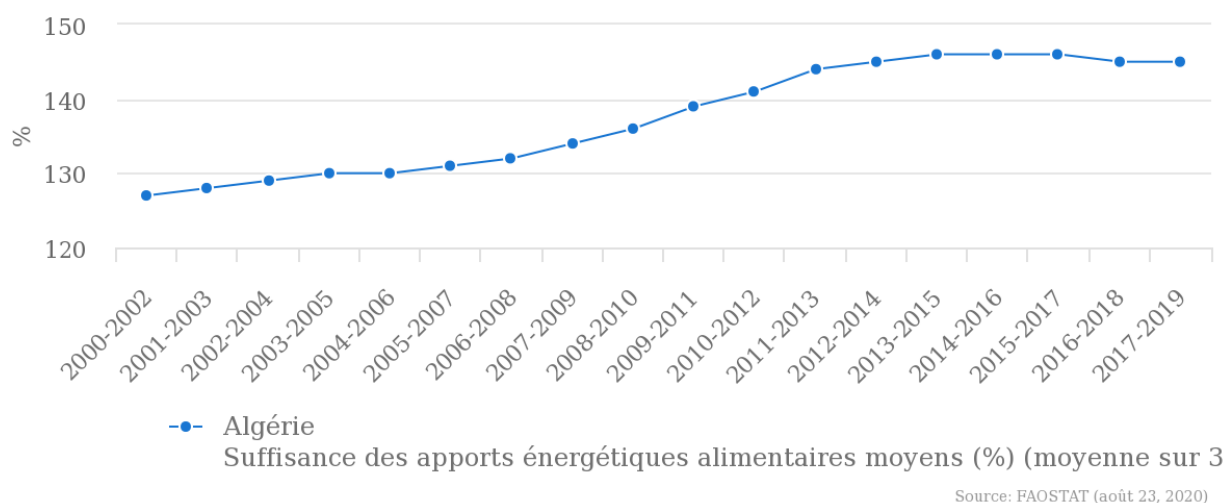


Figure IV-5: Suffisance des apports énergétiques alimentaires moyens (%) [FAO].

Les résidus (Résidus de récolte)	Value (kg of nutriments)
Orge	17418786.5474
Haricots secs	21737.8262
Maïs	22404.1224
L'avoine	1181268.7749
Pommes de terre	7804129.8738
Rizière	3954.9645
Sorgho	38363.9352
Blé	36756649.5649

Table IV-4: Statistiques Résidus de culture Algérie 2017[FAO].

IV.3.2 Les boues des stations d'épuration des eaux usées (STEP)

Les stations d'épuration peuvent produire d'importantes quantités d'énergie propre. En effet, lors du processus de traitement des eaux usées – riches en matières organiques – d'importantes quantités de biogaz sont générées. Ces dernières peuvent être valorisées comme combustible pour produire de l'électricité, de la chaleur, ou encore utilisé comme carburant dans les transports. Par ailleurs, les boues produites peuvent avoir plusieurs usages. Outre, la valorisation comme engrais dans l'agriculture, celles-ci peuvent être utilisées comme combustibles dans des incinérateurs d'ordures ménagères, ou des cimenteries. La figure IV-6 dresse un panorama des applications possibles grâce à la valorisation énergétique des eaux usées.

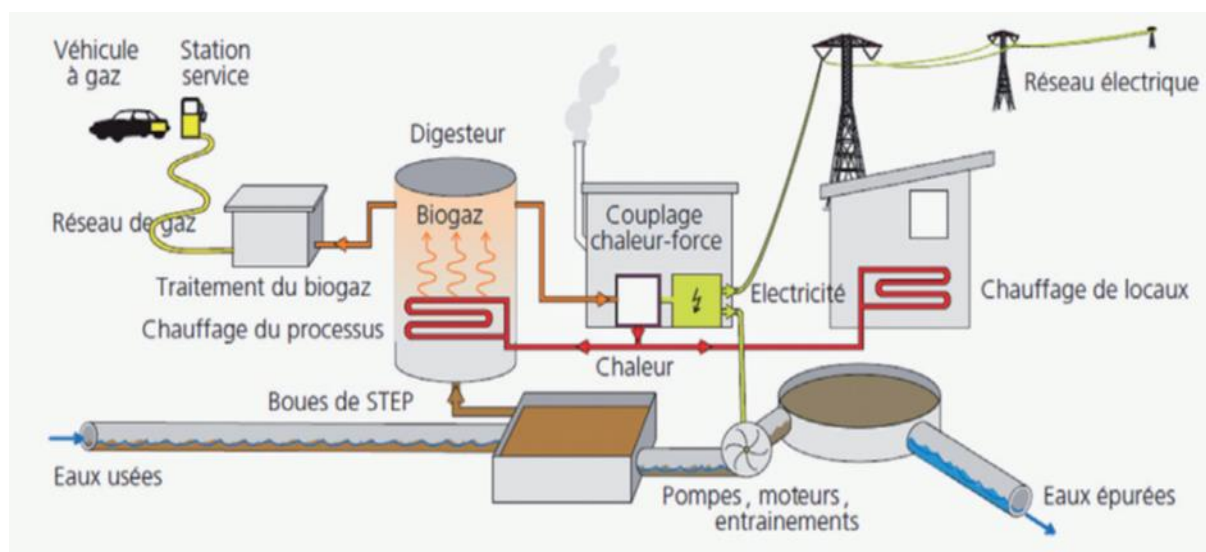


Figure IV-6: Le biogaz de STEP- Une énergie de grande classe.

Le nombre de stations d'épuration des eaux usées (STEP) a considérablement augmenté durant la dernière décennie. En ne considérant que les STEP exploitées par l'Office National de l'Assainissement (ONA), leur nombre est 268 centres, en Janvier 2020. Le volume d'eau épurée par ces STEP est 21 Millions de m³ chaque mois.[31]

Nous avons exposé les principales expériences de production de biogaz à partir des boues de STEP réalisées en Algérie. Ces expériences témoignent de la réalité du potentiel énergétique des stations d'épuration des eaux usées en Algérie. L'exemple de la STEP d'El Kerma (Oran) en est illustratif. Le bilan de 2013 affichait en moyenne, une production de boue de 650 tonnes de matière sèche/mois, ainsi qu'une production de biogaz de 216 000 N m³/ mois.

Au niveau national, la production de boues est estimée à environ 250 000 t/an. Le potentiel de production de biogaz est estimé à environ 18 millions de m³/an, on obtient un potentiel exploitable de près de 750 millions de mètres cube de biogaz. Transformée en électricité cette quantité de biogaz permet de produire plus de 1560 GWh, soit la consommation moyenne d'un million d'algériens.

Par ailleurs, d'autres sources de biomasse peuvent être mobilisées en Algérie, afin de produire de la bioénergie de manière durable. Parmi les sources que nous pouvons citer : les déchets d'abattoirs, les coproduits des industries oléicoles, les coproduits des industries laitières... Bien qu'elles existent en quantités relativement faibles, la valorisation énergétique de ces gisements représente une solution concrète et environnementale.[30]

IV.4 Aperçu du stockage d'énergie

La forte expansion des énergies renouvelables variables, qui devraient représenter plus de la moitié des ajouts de la capacité mondiale à 2040, selon le scénario des nouvelles politiques de l'AIE, a des implications majeures pour l'électricité, en premier lieu la nécessité d'une flexibilité accrue. À l'échelle mondiale, la demande d'électricité devrait augmenter de plus de 20 % au cours de la prochaine décennie, mais la flexibilité – la capacité du réseau électrique à s'adapter rapidement aux changements de l'offre et de la demande d'électricité – augmente d'environ 80 %. La flexibilité sera donc la pierre angulaire des futurs réseaux électriques. Elle sera satisfaite non seulement par les sources traditionnelles de flexibilité – comme les centrales électriques conventionnelles et les réseaux électriques – mais aussi par de nouvelles sources de flexibilité, y compris le stockage des batteries et la réponse du côté de la demande, qui devraient croître rapidement et contribuer 400 GW d'ici 2040 (Figure IV-7).[32]

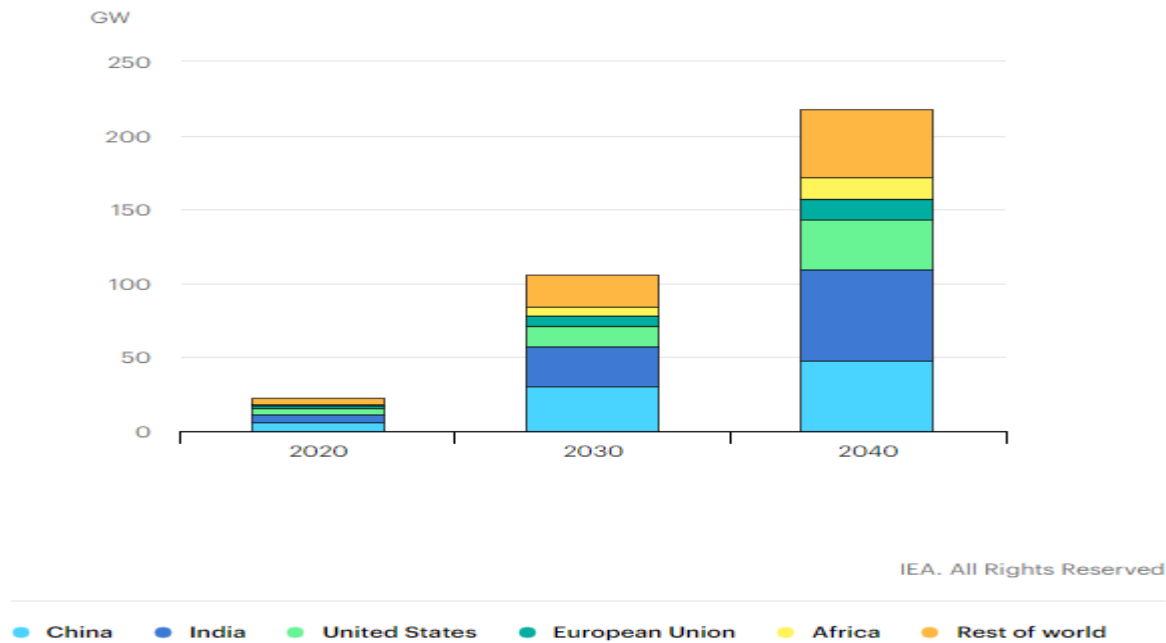


Figure IV-7: Capacité installée des systèmes de stockage de batteries à l'échelle des services publics dans le scénario des nouvelles politiques, 2020-2040. [IEA]

Le stockage d'électricité par batterie est une technologie clé dans la transition mondiale vers un système énergétique durable. Les systèmes de batteries peuvent prendre en charge un large éventail de services nécessaires à la transition, allant de la réponse en fréquence, de la capacité de réserve, de la capacité de démarrage au noir et d'autres services de réseau, au stockage de l'énergie dans les véhicules électriques, à la mise à niveau des mini-réseaux et au soutien de « l'autoconsommation ». De l'énergie solaire sur les toits.[33]

Le stockage d'électricité fondé sur l'amélioration rapide des batteries et d'autres technologies permettra une plus grande souplesse du système, un atout clé à mesure que la part des énergies renouvelables variables augmentera. Plus directement, le stockage de l'électricité rend possible un secteur de transport dominé par les véhicules électriques ; permet des systèmes solaires domestiques hors réseau efficaces 24 heures sur 24 ; et prend en charge des mini-réseaux 100 % renouvelables. [34]

Les batteries à l'échelle des services publics, par exemple, peuvent permettre une plus grande intégration des énergies renouvelables dans le réseau en stockant la production excédentaire et en renforçant la production d'énergie renouvelable. De plus, surtout lorsqu'elles sont jumelées à des génératrices renouvelables, les batteries contribuent à fournir de l'électricité fiable et moins coûteuse dans les réseaux isolés et dans les collectivités hors réseau, qui dépendent autrement du carburant diesel importé et coûteux pour produire de l'électricité.[35] Un autre facteur qui alimentera l'essor du stockage des batteries est le besoin de capacité de pointe, qui devrait augmenter de trois quarts à l'échelle mondiale jusqu'en 2040, et pour laquelle les

batteries autonomes deviendront concurrentielles sur le plan des coûts et de la valeur dans de nombreuses régions à court terme.

D'autre part, les systèmes de stockage de batteries, qui sont modulaires, permettent une large gamme d'applications. Alors que les coûts continuent de chuter, les installations ont triplé en moins de trois ans, en grande partie grâce aux batteries lithium-ion - principalement destinées à fournir un stockage à court terme - qui représentent maintenant un peu plus de 80 % de la capacité totale de la batterie. Pour les applications avec des durées de stockage plus longues, d'autres types de batteries, y compris le soufre de sodium et en particulier les batteries de débit, suscitent un intérêt accru. [32]

IV.4.1 Batterie Li-ion

Introduites par Sony Corporation au début des années 1990, les batteries Li-ion rechargeables sont rapidement devenues la technologie la plus importante pour l'électronique grand public mobile. Il existe une grande variété de systèmes à base de lithium. La façon habituelle de les classer est de les regrouper en joignant le type d'électrode négative (c.-à-d. anode) et le type d'électrolyte.

Malgré le fait que l'ancien électrolyte polymère a été conçu dans les années 1970 et continue de s'améliorer, le type d'électrolyte le plus courant est un mélange de solvants organiques liquides avec des sels de lithium dissous, et la composition des substances peut varier. Ici, l'accent est mis sur la chimie et les techniques liées aux technologies Li-ion avec électrolytes liquides.

Le lithium-ion est la chimie dominante des batteries rechargeables pour l'électronique grand public, et il est sur le point de devenir commun dans les applications industrielles, de transport et de stockage d'énergie. Cette chimie diffère de celle des batteries rechargeables (p. ex., nickel, nickel, cadmium et hydrure acide de plomb) précédemment courantes de plusieurs façons. D'un point de vue technologique, en raison de l'intensité énergétique élevée, la technologie Li-ion est un type de batterie efficace pour une utilisation dans la sécurité et la protection incendie, créant une densité d'énergie élevée associée à une solution d'électrolyte organique combustible, non-eau. Un certain nombre de nouveaux défis en ce qui concerne la conception des batteries contenant des cellules Li-Ion et l'extinction des incendies.[36]

IV.4.1.1 Anatomie d'une cellule Li-ion

Dans le sens le plus simple, le terme « batterie Li-ion » désigne une batterie où l'électrode négative (anode) et les matériaux de l'électrode positive (cathode) servent d'hôte pour l'ion lithium (Li+). Les ions lithium se déplacent de l'anode à la cathode pendant la décharge et sont

intercalés (insérés dans les vides) dans la structure cristallographique de la cathode. Les ions inversent de direction pendant le chargement, comme indiqué sur la Figure IV-8.

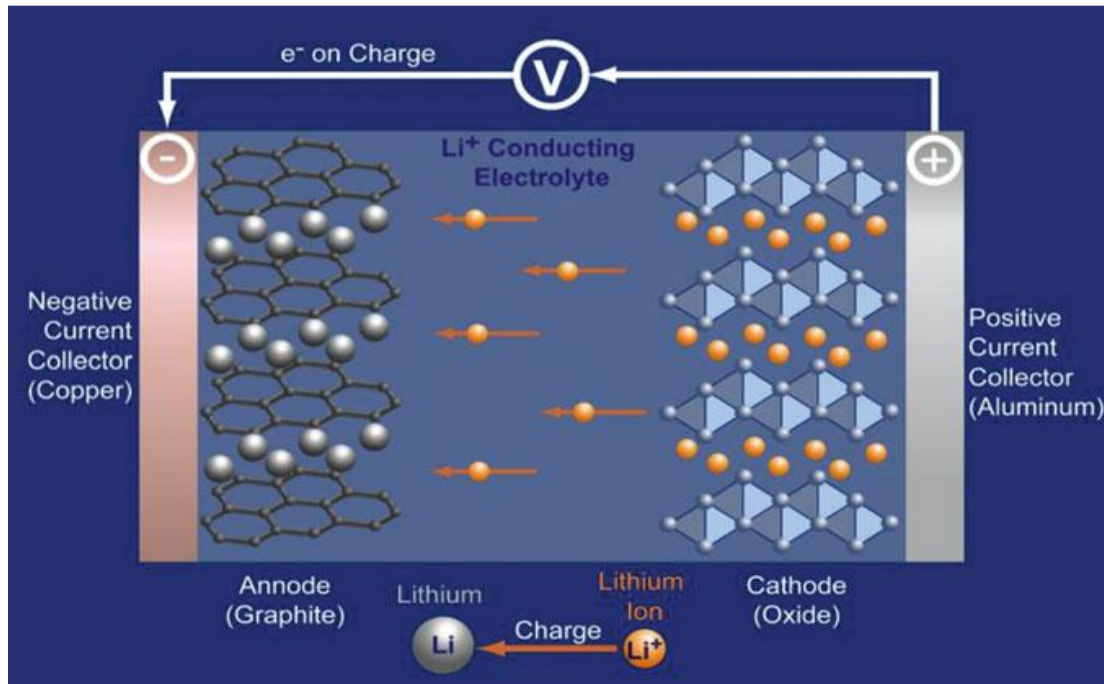


Figure IV-8: Fonctionnement de la cellule Li-ion : pendant le chargement, les ions lithium s'intercalent dans l'anode, l'inverse se produit pendant le déchargement.

Étant donné que les ions lithium sont intercalés dans les matériaux hôtes pendant la charge ou la décharge, il n'y a pas de lithium-métal libre dans une cellule Li-ion, donc, si une cellule s'enflamme en raison d'un impact de flamme externe ou d'une défaillance interne, les techniques d'extinction des incendies de métaux ne sont pas appropriées pour contrôler l'incendie. Dans une cellule Li-ion, des couches alternées d'anodes et de cathodes sont séparées par un film poreux (séparateur). Un électrolyte composé d'un solvant organique et de sel de lithium dissous fournit le milieu pour le transport de Li-ion. Une cellule peut être construite en empilant des couches alternées d'électrodes (typiques pour les cellules prismatiques à haut débit), ou en enroulant de longues bandes d'électrodes dans une configuration de « rouleau de gelée » typique pour les cellules cylindriques, comme le montre la Figure IV-9.

Les piles d'électrodes ou les rouleaux peuvent être insérés dans des boîtiers durs scellés avec des joints d'étanchéité (la plupart des cellules cylindriques commerciales), des boîtiers durs soudés au laser ou enfermés dans des pochettes en feuille avec des coutures thermoscellées (communément appelées cellules en polymère Li-ion¹¹), comme le montre la figure IV-10.[36]

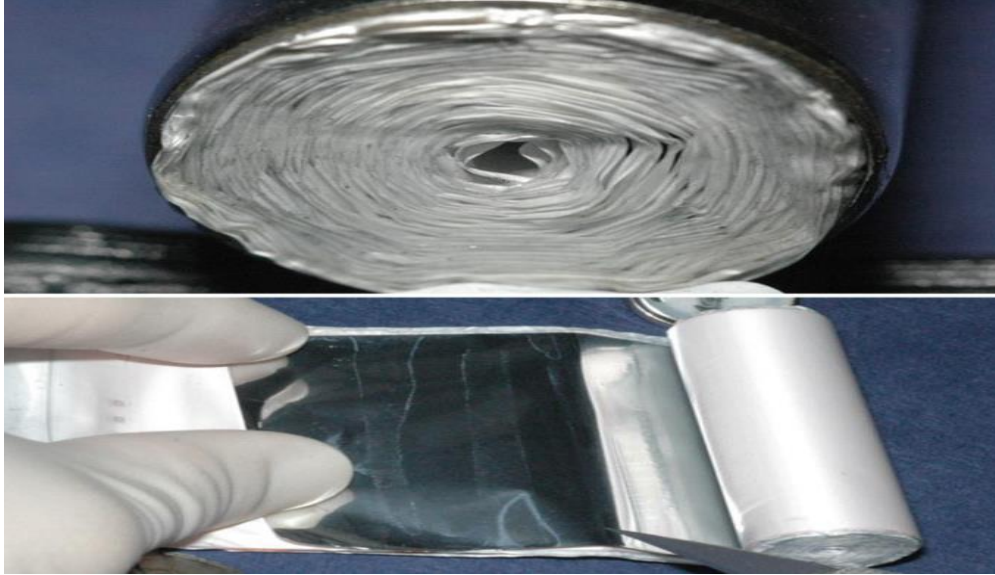


Figure IV-9: Base d'une cellule Li-ion cylindrique.

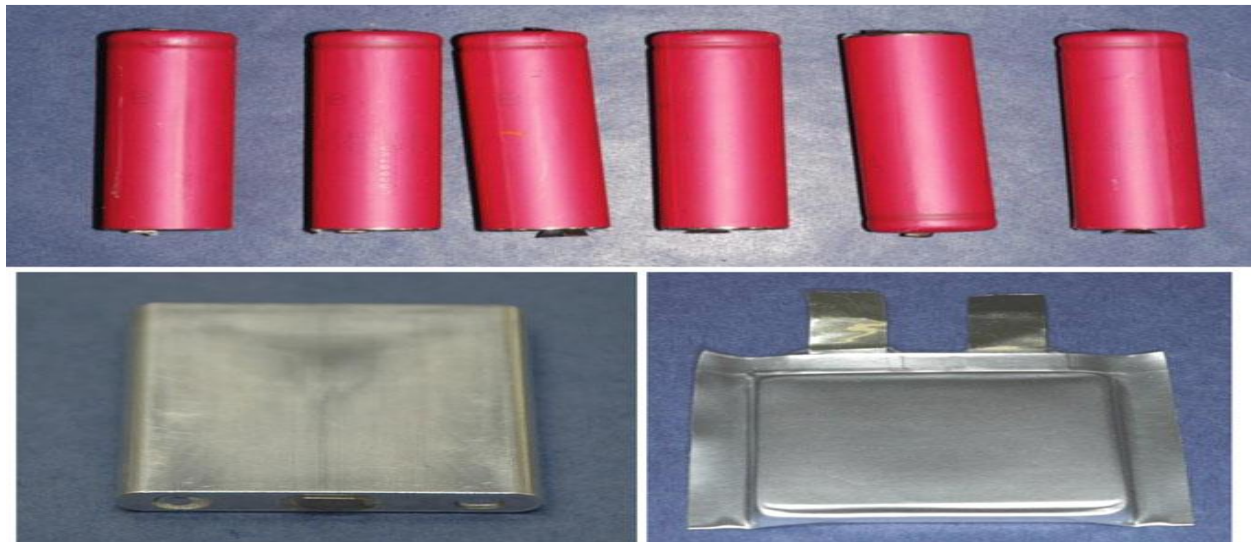


Figure IV-10: Exemple de cellules cylindriques ; cellule prismatique en étui rigide (en bas à gauche) ; et cellule polymère en étui souple (en bas à droite).

IV.4.1.2 Caractéristiques et dangers des cellules Li-ion

L'électrolyte dans une cellule Li-ion typique comprend un liquide à base d'hydrocarbures volatils et un sel de lithium dissous (qui est une source d'ions lithium), comme l'hexafluorophosphate de lithium. Les cellules de la batterie sont hermétiquement scellées pour empêcher l'humidité dans l'air de dégrader les cellules. Les cellules Li-ion ne sont pas ventilées dans l'atmosphère comme

les batteries au plomb, par conséquent, dans des conditions d'utilisation normales, elles n'évacuent pas les vapeurs. En utilisation normale, l'électrolyte cellulaire ne doit pas être rencontré par quiconque manipulant une batterie Li-ion, ce qui rend très éloigné le risque de déversement d'électrolyte de toute batterie Li-ion commerciale. De plus, dans la plupart des cellules commerciales, l'électrolyte est largement absorbé dans les électrodes, de sorte qu'il n'y a pas d'électrolyte libre ou « versable » dans les cellules scellées individuelles. Dans de tels cas, de graves dommages mécaniques (p. ex., écrasement sévère) peuvent faire fuir une petite fraction de la quantité totale d'électrolyte hors d'une seule cellule ; cependant, tout électrolyte libéré est susceptible de s'évaporer rapidement.

Les cellules Li-ion sont des unités scellées et, par conséquent, dans des conditions normales d'utilisation, l'évacuation de l'électrolyte ne devrait pas avoir lieu. En cas de chauffage anormal ou d'autres conditions abusives, les produits de décomposition électrolytique et électrolytique peuvent se vaporiser et être évacués des cellules. L'accumulation d'électrolyte liquide est peu probable en cas de chauffage anormal. L'électrolyte évacué est inflammable et peut s'enflammer au contact d'une source d'inflammation compétente, comme une flamme nue, une étincelle ou une surface suffisamment chauffée. L'électrolyte évacué peut aussi s'enflammer au contact des cellules qui subissent une réaction thermique de fuite. La composition des gaz d'évent des cellules dépend d'un certain nombre de facteurs, y compris la composition des cellules, l'état de charge des cellules et la cause de la ventilation des cellules. Les gaz évacués peuvent comprendre des composés organiques volatils, de l'hydrogène, du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, de la suie et des particules contenant des oxydes de nickel, d'aluminium, de lithium, de cuivre et de cobalt. Les gaz d'évent des cellules sont généralement chauds et, à leur sortie, ils peuvent dépasser 600 °C (1112 °F). Le contact avec les gaz chauds peut causer des brûlures thermiques.[36]

IV.4.1.3 Conception de la batterie Li-ion

Une batterie Li-ion est fabriquée à partir de plusieurs cellules individuelles emballées avec leur système de contrôle associé et l'électronique de protection. En connectant les cellules en parallèle, les concepteurs augmentent la capacité du pack. En connectant les cellules en série, les concepteurs augmentent la tension du pack. Ainsi, la plupart des batteries seront étiquetées avec une tension nominale qui peut être utilisée pour déduire le nombre d'éléments de série et, avec l'énergie totale de la batterie (en wattheures [Wh]), peut être utilisé pour déterminer la capacité (en ampères heures [Ah]) de chaque élément de série (taille des cellules individuelles ou nombre de cellules connectées en parallèle). Une batterie Li-ion, bien qu'elle soit conforme à un certain nombre de normes de sécurité, peut présenter un risque important de haute tension et d'électrocution si elle a été lourdement endommagée. Comme les cellules Li-ion ne sont pas réglées à 0 V, une batterie Li-ion, même dans un état normalement déchargé, est susceptible de

contenir une charge électrique importante. Le découpage dans une batterie normalement déchargée peut provoquer des étincelles ou créer des risques d'électrocution.

Pour les batteries grand format, les cellules peuvent être connectées ensemble (en série et/ou en parallèle) dans des modules. Les modules peuvent ensuite être connectés en série ou en parallèle pour former des batteries complètes. Les modules sont utilisés pour faciliter les configurations facilement changées et le remplacement facile des parties défectueuses de gros packs de batteries. Ainsi, l'architecture des batteries grand format peut être complexe.

Les batteries de stockage d'énergie électrique utilisent généralement de nombreuses cellules individuelles constituées de modules, qui sont assemblées pour former un grand format de batterie. Les batteries grand format contiennent généralement un système de protection actif pour surveiller le courant électrique, la tension et la température des cellules afin d'optimiser le rendement des batteries et d'atténuer les défaillances potentielles, y compris les incendies.[36]

IV.4.2 Chargement et décharge des batteries Li-ion

Un bon contrôle de la charge et des circuits de protection sont essentiels pour les batteries Li-ion. La surcharge d'une batterie Li-ion peut entraîner un incendie ou une explosion, et la surcharge peut endommager la batterie de façon permanente.

Les batteries Li-ion sont généralement chargées en deux étapes. La première étape est une charge à courant constant à 0,5-1C jusqu'à ce que la batterie atteigne sa tension maximale, généralement 4,1-4,2 V/cellule. Une fois la tension de fin atteinte, la batterie est chargée à une tension constante jusqu'à ce que le courant descende en dessous d'un seuil, entre 0,02C et 0,1C, ou pour une durée fixe, environ 2 heures. Si la batterie est gravement épuisée, une charge lente (0,1C) est nécessaire pour porter la tension à 2,5-3 V/cellule avant que la charge de 0,5-1C puisse commencer ; cependant, tenter de charger une batterie gravement épuisée peut être dangereux, et la batterie peut subir une perte de capacité permanente (Figure IV-11).

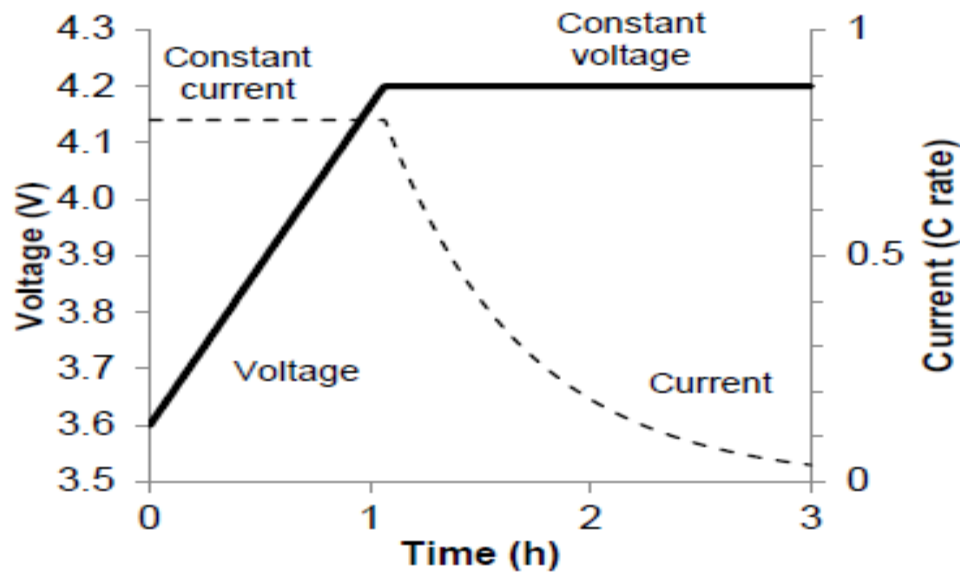


Figure IV-11: Courant et tension approximatifs pendant le cycle de charge Li-Ion typique.

Les batteries Li-ion ne sont pas endommagées par une charge partielle ; en fait, la charge à une tension inférieure prolongera la durée de vie de la batterie, mais avec une pénalité de capacité importante. La charge d'une batterie de 4,2 volts à 4,1 V entraîne une réduction de capacité de 10 % ou plus. Une régulation précise de la tension est essentielle pour charger en toute sécurité les batteries Li-ion ; la tolérance de surcharge peut être de 50 mV ou moins. Les cellules de charge en série nécessitent des circuits pour équilibrer la tension entre les cellules afin qu'aucune cellule individuelle ne dépasse sa tension maximale.

La plupart des batteries Li-ion ne devraient pas être chargées à des températures ambiantes inférieures à 0 °C ou supérieures à 45-50 °C. Le chargement à haute température réduira la durée de vie du cycle et pourrait présenter un risque pour la sécurité ; les batteries à base de phosphate peuvent avoir un rendement quelque peu meilleur à haute température que les autres batteries Li-chimies ioniques. Le chargement à basse température peut entraîner la croissance de dendrites de lithium-métal, ce qui peut entraîner un court-circuit interne, détruire la batterie et potentiellement causer un incendie.

S'assurer que la température demeure dans la plage acceptable est particulièrement important pour les produits qui peuvent être chargés à l'extérieur en plein soleil.

La décharge complète d'une batterie Li-ion réduit sa durée de vie, et la décharge de la batterie en dessous de 2,5-3 V/cellule peut causer un endommagement permanent ou un court-circuit.[37]

IV.5 Conclusion

Ce chapitre, a été réservé au recyclage de la biomasse et traitement des matières organiques qui pourraient être éliminées et exploitées de manière correcte et apporter de ce fait des avantages environnementaux et sanitaires. Cette approche serait une solution à la gestion des déchets, et à la récupération d'énergie. Cette voie est parfaitement envisageable en l'Algérie, où les biocarburants seront une bonne alternative à l'énergie, notamment dans les zones rurales qui nécessitent une source d'énergie décentralisée.

L'importance du stockage de l'énergie et de l'utilisation des systèmes de stockage (batterie) comme l'une des principales solutions pour intégrer une grande capacité d'énergie solaire et de biomasse dans les systèmes énergétiques dans le monde entier est également présenté.

Conclusion générale

Il est apparu ces dernières décennies, que les énergies renouvelables pourraient largement contribuer à répondre aux besoins énergétiques de notre société. Elles permettront également de limiter notre dépendance aux énergies fossiles, dont les réserves prouvées s'épuisent rapidement et qui de plus sont polluantes et donc responsables de la dégradation de notre environnement.

Dans ce sens, notre projet de master a porté sur la production d'énergie à partir de la biomasse et/ou de l'énergie solaire photovoltaïque.

Notre étude a montré que les technologies de production de froid à partir des énergies renouvelables, notamment dans les zones isolées, arides ou semi arides, dépourvues généralement de réseaux électriques performants, doivent être fortement encouragées. Elles permettront de répondre aux besoins de froid de ces régions tout en réduisant significativement les émissions de gaz à effet de serre. En outre cela permettra le recyclage de la biomasse et le traitement des matières organiques qui pourraient être éliminées et exploitées de manière adéquate et apporter de ce fait, une solution à la gestion des déchets, tout en permettant la récupération d'énergie. Cette voie est parfaitement envisageable en l'Algérie, où les biocarburants seraient une excellente alternative à l'énergie issue des combustibles fossiles, notamment dans les zones rurales qui nécessitent une source d'énergie décentralisée.

Références bibliographiques

- [1]. A.S.Kalogirou. Solar Energy Engineering processes and systems. Solar Energy Engineering processes and systems. 2009, p. 361, Elsevier, Academic Press.
- [2]. R.Wang ,T.Ge. Advances in Solar Heating and Cooling,2016, p. 230, Woodhead Publishing
- [3]. D.Chwieduk, Solar Energy in Buildings. 2014, p. 338, Academic Press
- [4]. seven industry applications for refrigeration: from district cooling to data centers. Araner. [En ligne] 2020. <https://www.araner.com/blog/industrial-refrigeration-applications-district-cooling/>.
- [5]. M. A. Djebiret, A. Tetbirt. Rafrâichissement solaire par sorption en Algérie. 2015, pp. 64-65, Revue des Energies Renouvelables.
- [6]. clima maison. <https://www.climamaison.com/lexique/climatisation-solaire.htm>. [En ligne]
- [7]. M.Kaltschmitt, [éd.]. Energy from Organic Materials (Biomass). New York, Springer, 2019. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Second Edition.
- [8]. I.Sarbu,C.Sebarchievici. Solar Heating and Cooling Systems. Academic Press,2016.
- [9]. green tech journal. green tech journal. [En ligne] <https://www.greentechjournal.fr/>.
- [10]. dhcnews.com. [En ligne] 2014-2020. <https://www.dhcnews.com/pourquoi-installer-refrigeration-ecologique/>.
- [11]. P.Roopesh;Agricultural Utilization Research Institute. Biomass for Cooling System Technologies: A Feasibility Guide. Minnesota : s.n., 2016.
- [12]. Quelle énergie. CHAUDIÈRE BIOMASSE. Quelle énergie. [En ligne] 2020. <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/chaudiere-bois/chaudiere-biomasse>.
- [13]. viessmann. [En ligne] 2020. <https://www.viessmann.fr/fr/chauffage-maison-individuelle/chaudiere-biomasse.html>.
- [14]. Thermique du bâtiment. [En ligne] 2010. http://www.thermique-du-batiment.wikibis.com/tour_de_refroidissement.php.
- [15]. Cooling Towers. deltacooling. [En ligne] 2020. <https://deltacooling.com/products/cooling-towers/anti-microbial-cooling-towers>.
- [16]. —. Biomass for Cooling System Technologies: A Feasibility Guide. Minnesota : s.n., 2016.
- [17]. iea. Solar. iea. [En ligne] 2020. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>.
- [18]. irena. Solar energy. irena. [En ligne] 2020. <https://www.irena.org/solar>.
- [19]. seia. seia. [En ligne] 2020. <https://www.seia.org/initiatives/concentrating-solar-power>.

- [20]. Xudong, Zhao et Xiaoli, Ma. Advanced Energy Efficiency Technologies for Solar Heating, Cooling and Power Generation. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG 2019, 2019.
- [21]. irena. Bioenergy. irena. [En ligne] 2020. <https://www.irena.org/bioenergy>.
- [22]. F.Robert. Renewable Energy Intermittency Explained: Challenges, Solutions, and Opportunities. scientific american. [En ligne] 2015. <https://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/renewable-energy-intermittency-explained-challenges-solutions-and-opportunities/>.
- [23]. R.Z. Wang, T. S.Ge. Advances in Solar Heating and Cooling. Advances in Solar Heating and Cooling. s.l.: Joe Hayton, 2016, p. 230.
- [24]. Martin, Kaltschmitt, [éd.]. Energy from Organic Materials (Biomass). New York: Springer, 2019.
- [25]. I.Sarbu,Calin, Sebarchievici. Solar Heating and Cooling Systems. [éd.] Lisa Reading. London: Joe Hayton, 2017.
- [26]. Solid biomass supply for heat and power. Irena. [En ligne] 2019. <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Solid-Biomass-Supply-for-Heat-and-Power>.
- [27]. Organic waste has huge untapped potential to provide clean energy around the world. iea. [En ligne] 19 March 2020. <https://www.iea.org/news/organic-waste-has-huge-untapped-potential-to-provide-clean-energy-around-the-world>.
- [28]. Biofuel Potential in Sub-Saharan Africa Raising food yields, reducing food waste and utilising residues. Abu Dhabi : IRENA 2017, 2017.
- [29]. Bioénergie forestière. rncan. [En ligne] 2020. <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets-foresterie/industrie-commerce-forestiere/bioeconomie-bioenergie-bioproduct/bioenergie-forestiere/13326>.
- [30]. A.Amine. La bioénergie en Algérie : Un gisement important, et des bénéfices environnementaux. 2014.
- [31]. Office National de l'Assainissement (ONA). [En ligne] 2020. <https://ona-dz.org/L-ONA-en-chiffres.html>.
- [32]. Battery storage is (almost) ready to play the flexibility game. iea. [En ligne] 2019. <https://www.iea.org/commentaries/battery-storage-is-almost-ready-to-play-the-flexibility-game>.
- [33]. Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. irena. [En ligne] 2017. <https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>.
- [34]. Electricity Storage. irena. [En ligne] 2020. <https://www.irena.org/costs/Electricity-Storage>.
- [35]. Battery Storage Paves Way for a Renewable-powered Future. irena. [En ligne] 2020. <https://www.irena.org/newsroom/articles/2020/Mar/Battery-storage-paves-way-for-a-renewable-powered-future>.
- [36]. F Andrew, R Blum et Long, Jr Thomas. Fire Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems. New York: by Springer Nature, 2016.

[37]. TECHNICAL NOTES. s.l.: Lighting Global, 2019.

Study of autonomous photosolar systems for energy production

Abstract

Energy has always been an essential part of human life. The increase in energy demand and the excessive exploitation of fossil fuels have strongly impacted our environment, leading to significant pollution, and climate change. It has become essential to think about alternative energies, to ensure the future of humanity.

Our master project inscribed in the context of sustainable development. The energy production from biomass and / or solar photovoltaic energy, have been the subject of our work. This way will allow us to reduce environmental pollution, while ensuring access to energy services for all citizens.

In recent years, it has appeared that cold production technologies, from unconventional sources, solar energy and biomass, can meet the needs of arid, semi-arid and / or isolated areas, often devoid of electricity networks. In addition, and in the latter case, it will allow the recycling of biomass and the treatment of organic matter that could be eliminated and exploited adequately and thus bring a solution to manage the wastes, while allowing energy recovery.

Keywords: Energy, Renewable energy, Solar cooling, Waste.

دراسة الأنظمة الضوئية المستقلة لإنتاج الطاقة

ملخص

لطالما كانت الطاقة جزءاً أساسياً من حياة الإنسان. أثرت الزيادة في الطلب على الطاقة والاستغلال المفرط للوقود الأحفوري بشدة على بيئتنا ، مما أدى إلى تلوث كبير وتغير مناخي. لقد أصبح من الضروري التفكير في الطاقات البديلة لضمان مستقبل البشرية.

إن مشروع ماستر الذي نقدّمه يشكل جزءاً من التنمية المستدامة. وبالتالي إنتاج الطاقة من الكتلة الحيوية و/أو الطاقة الشمسية الكهروضوئية وهو محور عملنا. وهذا من شأنه أن يقلل من التلوث البيئي، في حين يضمن حصول كل المواطنين على خدمات الطاقة.

وفي السنوات الأخيرة، أصبح من الواضح أن تكنولوجيات الإنتاج البارد من المصادر غير التقليدية، الطاقة الشمسية والكتلة الحيوية، يمكن أن تلبي احتياجات المناطق القاحلة وشبه القاحلة و/أو المعزولة، التي غالباً ما تكون بدون شبكات كهرباء. وبالإضافة إلى ذلك، وفي الحالة الأخيرة، سيمكّن هذا البرنامج من إعادة تدوير الكتلة الحيوية ومعالجة المواد العضوية التي يمكن التخلص منها واستغلالها بطريقة كافية، وبالتالي توفير حل لإدارة النفايات، مع السماح باسترداد الطاقة في الوقت نفسه

الكلمات المفتاحية : الطاقة، الطاقات المتجددة ، التبريد الشمسي، المخلفات.

Résumé

L'énergie a toujours été un élément essentiel de la vie humaine. L'augmentation de la demande énergétique et l'exploitation excessive des énergies fossiles, ont fortement impacté notre environnement, conduisant à une pollution significative, et au changement climatique. Il est devenu essentiel, de réfléchir à des énergies de substitution, pour assurer l'avenir de l'humanité.

Notre projet de master s'inscrit dans le cadre du développement durable. La production d'énergie à partir de la biomasse et/ou de l'énergie solaire photovoltaïque, ont ainsi fait l'objet de notre travail. Cette voie permettra de réduire la pollution de l'environnement, tout en garantissant l'accès aux services énergétiques à tous les citoyens.

Il est apparu, ces dernières années que les technologies de production de froid, à partir de sources non-conventionnelles, énergie solaire et biomasse, peuvent répondre aux besoins des zones, arides, semi arides et/ou isolées, souvent dépourvues de réseaux électriques. De plus, et dans le dernier cas, cela permettra le recyclage de la biomasse et le traitement des matières organiques qui pourraient être éliminées et exploitées de manière adéquate et apporter de ce fait, une solution à la gestion des déchets, tout en permettant la récupération d'énergie.

Mots clés : Energie, Energies renouvelables, Froid solaire, Déchets.