



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées  
Département de Génie des Mécanique

Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Mécanique

Spécialité : Énergétique

Présenté par

BELBEY ISHAK et BENABDESSADOK BOUHANIA

Thème

*ANALYSE DU CYCLE DE VIE DE  
BATIMENT A ENERGIE POSITIVE  
DE LA VILLE DE OUARGLA*

Soutenu publiquement le : 13/06/2024

Saifi Nadia

Président

MCA

Univ. Ouargla

Reciou iBakhta

Examinatrice

MCB

Univ. Ouargla

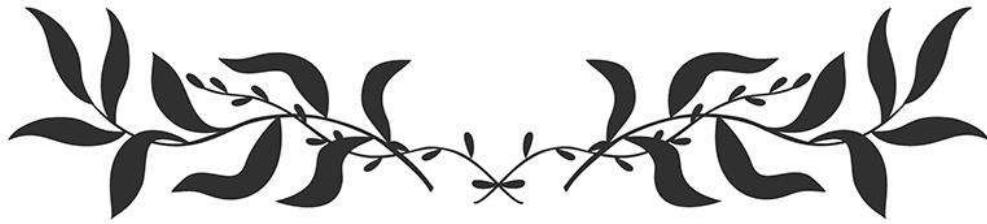
Ghedamsi Rebha

Encadreur

MCB

Univ. Ouargla

Année universitaire : 2023-2024



## REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, de m'avoir donné la force et la patience pour terminer ce travail.*

*J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon respectueuse encadrante Pr R. GHEDAMSI pour m'avoir constamment guidé tout long de ce projet et pour ces précieux conseils, son aide et son encouragement.*

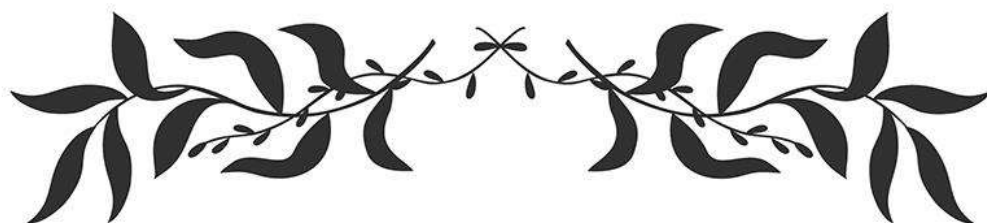
*Je tiens à remercier sincèrement tous les membres de mon comité de thèse pour leur précieuse contribution et leurs suggestions constructives. Votre examen attentif et vos commentaires éclairés ont grandement amélioré la qualité de ce mémoire.*

*Je tiens également à exprimer ma gratitude envers ma famille, précisément mes très chères parent pour leur soutien constant et leur encouragement indéfectible tout au long de mes études. Votre amour, votre confiance et vos encouragements ont été mes sources d'inspiration les plus profondes.*

*Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes collègues et mes amis qui ont soutenu et encouragé mes efforts tout au long de cette aventure académique. Votre soutien moral et inconditionnel, vos discussions enrichissantes ont été d'une valeur inestimable pour moi.*

*Enfin, grand merci à tous ceux et toutes celles qui ont contribués de près ou de loin dans l'accomplissement de ce projet de mémoire de fin d'étude.*

BELBEY ISHAK



# Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre 1 :situation énergétique en Algérie

1.1. Introduction .....	3
1.2. Ressources énergétiques en Algérie .....	3
1.2.1. Energies fossiles.....	3
1.2.2. Energie solaire.....	4
1.2.3. Energie éolienne .....	4
1.2.4. Energie Géothermique.....	4
1.2.5. Bioénergie .....	5
1.2. 6. Eau .....	6
1.3. Production nationale d'énergie .....	6
1.3.1. Production commerciale d'énergie primaire .....	6
1.3.2. Production d'énergie dérivée.....	8
1.4. Consommation d'énergie .....	9
1.4.1. Consommation nationale totale.....	9
1.4.2. Consommation Finale.....	9
1.4.3. Consommation par secteur .....	9
1.4.4. Consommation d'énergie par origine .....	10
1.5. Consommation énergétique dans le secteur du bâtiment .....	10
1.6. Efficacité énergétique.....	11
1.6.1. Principaux déterminants de la demande énergétique dans le bâtiment .....	11
1.6.2. Principes fondateurs du programme de l'efficacité énergétique.....	11
1.7. Consommation d'énergie par secteur de transport .....	12
1.7.1. Axes du secteur des transports en Alegria .....	12

## Sommaire

1.7.2. Renouveaulement du parc véhicule .....	13
1.8. Perspective de l'utilisation de l'hydrogène dans le domaine du transport en Algérie	14
1.9. Production d'hydrogène .....	14
1.10. Application d'énergies hybrides dans les bâtiments .....	15
1.10.1. L'énergie solaire .....	15
1.10.2. L'énergie éolienne.....	16
1.11. Impact environnemental.....	16
1.12. Programme National d'Efficacité Énergétique .....	16
1.13. Conclusion.....	17

### Chapitre2 :Etude bibliographique

2.1. Introduction .....	18
2.2. Exemples d'applications photovoltaïques dans les bâtiments et les transports.....	18
2.3. Conclusion.....	24

### Chapitre3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

3.1. Introduction .....	26
3.2. Méthodologie.....	26
Y3.3. Description du cas à étudier .....	28
3.4. Consommation d'énergie.....	29
3.4.1. Consommation d'énergie pour l'éclairage et l'équipement électroménager .....	29
3.4.2. Consommation électrique pour l'eau chaude sanitaire.....	30
3.4.3. Consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation .....	30
3-4.4. Consommation d'énergie par automobile léger .....	31
3.5. Modélisation du système énergétique hybride .....	31
3.5.1. Energie produite par un module photovoltaïque .....	31
3.5.2. Energie produite par l'électrolyseur .....	32
3.5.3. Système de stockage.....	32
3.5.4. Energie produite par la pile à combustible .....	33

## *Sommaire*

<b>3.5.5. Réseau électrique</b> .....	<b>33</b>
<b>3.6. Résultats</b> .....	<b>34</b>
<b>3. 7. Conclusion</b> .....	<b>38</b>
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>38</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>43</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>42</b>

# Nomenclature

$C_p$	Chaleur spécifique de l'eau	J /kg. °C
$E_c$	Consommation d'énergie de chauffage	kWh
$E_{ECS}$	consommation électrique d'eau chaude sanitaire	kWh
$E_{EL}$	Représente l'énergie entrante dans l'électrolyseur en kilowattheures	kWh
$E_{fc}$	Energie produite par la pile a combustible	W
$E_{H_2}$	Energie produite par l'hydrogène	W
$E_r$	Consommation d'énergie de refroidissement	kWh
$G^T$	L'irradiation solaire globale du lieu considéré	Wh/m
$P_{PV}^t$	rendement d'un générateur photovoltaïque	%
$S$	la surface utile	m <sup>2</sup>
$S_{PV}$	surface totale du module photovoltaïque	m <sup>2</sup>
$T_{entrée}$	Température de l'eau d'entrée	°C
$T_{Sortie}$	Température de sortie de l'eau	°C
$V$	Volume d'eau chaude consommé pour chaque personne	m <sup>3</sup> /jour
$\eta_{EL}$	rendement de l'électrolyseur	%
$\eta_{fc}$	le Rendement de la pile a combustible	%
$\eta_{FC}$	rendement de la pile à combustible	%
$\eta_{PV}$	rendement d'un générateur photovoltaïque	%
$\rho$	Masse volumique de l'eau	kg /m <sup>3</sup>

# Liste des figures

## Chapitre I :situation énergétique en Agérie

Figure 1 1. Structure de la production commerciale d'énergie primaire.....	8
Figure 1.2. Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité.....	10
Figure 1.3. Répartition de la consommation finale dans le secteur de bâtiment en Alegria.....	11
Figure 1.4. Production d'hydrogène.....	15

## Chapitre III : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

Figure 3.1. Schéma de l'outil d'application.....	27
Figure 3.2. Plan de l'habitation.....	28
Figure 3.3. Structure du mur multicouch.....	29
Figure 3.4. Profile d'énergie journalière consommée durant unjourtype en mois juillet.....	34
figure 3.5. Profile d'énergie journalière l'énergie produite par le photovoltaïque durant un jour type en mois juillet. ....	34
Figure 3.6. Energie consommée d'un habitat et le flux d'énergie horaire pendant unjourtype en mois juillet .....	35
Figure 3.7. Besoins énergétiques d'un habitat et le véhicule, l'énergie produite par le photovoltaïque et l'énergie d'hydrogène stuquée dans un réservoir d'hydrogène.....	36

# Liste des tableaux

## Chapitre I : situation énergétique en Agérie

Tableau 1 .1 . Production commerciale d'énergie primaire.....7

## Chapitre III : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

Tableau 3.1. Puissance électrique de chaque appareil électroménager.....30

Tableau 3.2. Caractéristiques techniques des panneaux utilisés.....32

Tableau 3.3. Energie mensuelle consommée, l'énergie produite mensuellement par le Un générateur PV et l'énergie d'hydrogène stockée dans un réservoir d'hydrogène.....37

# Introduction Générale

# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction générale

Les énergies fossiles jouent un rôle crucial dans notre vie quotidienne. Elles alimentent par exemple nos transports, maintiennent nos bâtiments au chaud ou au froid et font tourner nos usines. Mais elles sont également les grandes responsables des émissions de gaz à effet de serre, dont le CO<sub>2</sub>. Or ces émissions sont une cause reconnue du phénomène de qui met sérieusement en danger l'équilibre environnemental de notre précieuse planète.

Les énergies fossiles sont les principales sources d'énergie utilisées dans le monde. Ensemble, elles représentent 80 % des énergies consommées. Or, ce sont aussi les plus polluantes [1]. Le secteur du bâtiment est l'un des secteurs dont la consommation a un impact significatif sur la consommation globale d'énergie du pays soit 40% de la consommation finale et 30% des émissions de CO<sub>2</sub> [2].

En 2023, le secteur du bâtiment représente 48 % de l'énergie consommée en Algérie, loin devant le secteur des transports (28%). Le secteur du bâtiment responsable de 28,3% des émissions de gaz à effet de serre, ce qui en fait l'un des domaines clés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la transition énergétique. Pour rendre le bâtiment plus économe en énergie, il faut rénover massivement l'existant et développer des normes plus strictes en termes de consommation d'énergie pour les constructions neuves. C'est l'objet de la politique de l'énergie dans les bâtiments [3].

Le bâtiment à énergie positive est un concept du bâtiment très performant. Il peut constituer l'une des réponses possibles aux défis énergétiques et environnementaux d'aujourd'hui. Ce travail étudie de système de production d'énergies renouvelables pour alimenter les besoins énergétiques d'un bâtiment résidentiel et véhicule mobile. La méthode est appliquée à un cas d'étude de type habitat passif situé en Ouargla, afin de déterminer des solutions bâtiment à énergie positive à moindre coût d'investissement. Donc, nous cherchons à réduire la consommation d'énergie à travers les combustibles fossiles, qui a beaucoup d'inconvénients, et aller vers les énergies renouvelables et atteindre l'autosuffisance énergétique à travers elle, cette étude vise à utiliser des panneaux photovoltaïques dans une maison au niveau d'un toit afin d'atteindre l'autosuffisance énergétique complète et aussi faire fonctionner une voiture avec la consommation d'hydrogène pour un environnement sain et sans émissions. Nous avons donc mené cette étude qui est divisée en trois chapitres.

Dans le premier chapitre (situation énergétique en Algérie) nous abordons les sources d'énergie en Algérie et sa production, ainsi que la consommation d'énergie en Algérie et le pourcentage de consommation de chaque secteur et l'impact environnemental de l'énergie, en plus du programme national d'efficacité

## **INTRODUCTION GENERALE**

énergétique. Dans le deuxième chapitre, quelques exemples de l'utilisation des énergies renouvelables dans les études précédentes pour intégrer l'énergie photovoltaïque et autres et l'utilisation des voitures à hydrogène.

Tandis que le troisième chapitre montre la possibilité de convertir une maison individuelle à basse consommation d'énergie vers un bâtiment à énergie positive et d'alimenter les besoins énergétiques du véhicule de cet habitat par de l'énergie d'hydrogène.

# **Chapitre 1 : situation énergétique en Algérie**

---

# Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

## 1.1.Introduction

L'utilisation intensive de combustibles fossiles est l'une des principales sources d'émissions de gaz qui contribuent au réchauffement de la planète et au changement climatique. L'atténuation du changement climatique est actuellement l'un des principaux défis. Des consommations d'énergie importantes ont été identifiées dans les secteurs de la construction et des transports, qui peuvent être considérablement réduites grâce à une conception durable, à une efficacité énergétique accrue et à l'utilisation de sources d'énergie renouvelables.

## 1.2.Ressources énergétiques en Algérie

L'Algérie est riche en ressources naturelles diversifiées, notamment en hydrocarbures, où elle se classe respectivement 16<sup>e</sup> pour les réserves de pétrole, 16<sup>e</sup> pour la production en 2019, et 11<sup>e</sup> pour le gaz, avec la 10<sup>e</sup> place en exportation en 2019. Elle occupe également des positions significatives dans le monde pour ses ressources prouvées en 2020, la production et l'exportation de gaz. En tant que troisième fournisseur de gaz naturel à l'Union Européenne et quatrième fournisseur énergétique total, l'Algérie joue un rôle clé. En plus de ces ressources, le pays possède d'importants gisements de phosphate, zinc, fer, or, uranium, tungstène, entre autres. Enfin, l'Algérie dispose aussi de ressources renouvelables prometteuses.[1]

### 1.2.1. Energies fossiles

#### 1.2.1.1.Pétrole

L'Algérie est un pays membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP). Elle est le 3<sup>ème</sup> producteur de pétrole en Afrique derrière le Nigeria et l'Angola et le 11<sup>ème</sup> exportateur de pétrole (à l'échelle mondiale et occupe la 16<sup>ème</sup> place mondiale en matière de réserves pétrolières et 16<sup>ème</sup> producteur mondial de pétrole ( en2019) [2].

#### 1.2.1.2.Gaz

En ce qui concerne le gaz, l'Algérie se positionne comme le premier producteur africain de gaz, représentant plus de 50% de la production de gaz sur le continent. En 2020, elle était classée au 10<sup>ème</sup> rang mondial des producteurs de gaz. De plus, elle est le troisième fournisseur de gaz naturel de l'Europe. En ce qui concerne les réserves prouvées de gaz naturel, l'Algérie disposait, au 1er janvier 2017, de plus de 4500 milliards de mètres cubes [2].

## **Chapitre1 : situation énergétique en Algérie**

---

### **1.2.2. Energie solaire**

L'Algérie jouit d'un potentiel solaire exceptionnel, étant parmi les pays les mieux pourvus en ressources solaires au monde. Grâce à sa position géographique, elle bénéficie de l'un des plus importants gisements solaires mondiaux. La durée d'ensoleillement dépasse les 2000 heures par an sur la quasi-totalité du territoire national et peut même atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara [2].

### **1.2.3. Energie éolienne**

L'énergie éolienne en Algérie varie considérablement d'un endroit à un autre, en raison principalement d'une topographie et d'un climat très diversifiés. Le pays, vaste, se divise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen, avec un littoral de 1200 km et un relief montagneux, comprenant les chaînes de l'Atlas tellien et saharien, ainsi que des plaines et des hauts plateaux au climat continental. Le Sud, quant à lui, est caractérisé par un climat saharien. En Afrique, le développement de l'énergie éolienne est encore limité, avec seulement 4,53 GW installés. Bien que l'Algérie ait un retard dans le développement des énergies renouvelables, son important programme gouvernemental offre de réelles opportunités d'investissement, notamment dans l'énergie éolienne, tout comme pour l'énergie solaire. Récemment, une première ferme éolienne de 10 MW a été mise en place dans la région de Cabernet, dans la wilaya d'Adrar [2].

### **1.2.4. Energie Géothermique**

La géothermie, une source d'énergie renouvelable, offre la possibilité de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur. Elle peut être utilisée selon le concept de cogénération géothermique, combinant ainsi la production d'électricité et de chaleur simultanément. L'exploitation de cette énergie est principalement locale, car les centrales géothermiques fournissent de l'énergie sur place ainsi que dans les régions environnantes à partir de la source géothermique [2].

Ce type d'installation peut contribuer à la décentralisation énergétique en répondant aux besoins énergétiques des régions isolées et montagneuses. En Algérie, l'énergie géothermique est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes, offrant diverses applications allant de l'usage direct comme la pisciculture, le chauffage des serres et la balnéothérapie, jusqu'aux utilisations industrielles comme la production d'électricité [2].

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

Les études menées par le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) montrent que le Sud algérien présente un gradient géothermique moyen de 3°C/100m. Dans la partie Est, une anomalie thermique de 3 à 4°C/100m est observée, tandis que le bassin de Béchar se distingue par un gradient dépassant les 7°C/100m, indiquant un potentiel géothermique significatif dans la région. Ces résultats démontrent que les conditions thermiques sont favorables dans le sud algérien, offrant ainsi un large éventail d'opportunités d'investissement dans ce domaine [2].

### 1.2.5. Bioénergie

L'Algérie est confrontée aux déséquilibres environnementaux provoqués par les changements climatiques. Parallèlement, la demande en énergie, particulièrement dans les pays en développement, ne cesse d'augmenter, mettant en lumière la nature épuisable des sources fossiles. Pour résoudre ces défis, les autorités prévoient un ambitieux programme de développement des énergies renouvelables, offrant ainsi une alternative durable et viable [2].

Parmi ces énergies renouvelables, la bioénergie, issue de la biomasse et des déchets, pourrait jouer un rôle crucial dans le mix énergétique de substitution. La production de bioénergie et de biocarburants à partir de cultures énergétiques, de déchets et d'autres formes de biomasse peut générer du biogaz, du bioéthanol, du biodiesel et du biohydrogène. Toutefois, il est crucial de gérer les déchets non traités, sources significatives de pollution notamment dans les décharges, les centres d'enfouissement technique et les rejets industriels [2].

La valorisation des déchets pour la production de biocarburants est une option viable, mais il est essentiel de garantir que les cultures énergétiques ne rivalisent pas avec les cultures alimentaires, ne consomment pas de grandes quantités d'eau et ne grignotent pas les terres destinées à l'agriculture alimentaire. Pour l'Algérie, les nouvelles générations de biocarburants représentent une alternative énergétique opportune pour les zones rurales nécessitant une source d'énergie décentralisée. Surtout lorsque la matière première est disponible localement, facilitant ainsi l'installation d'unités de production de petite taille, contribuant ainsi au développement économique local [2].

# Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

## 1.2. 6. Eau

Les ressources en eau de l'Algérie sont estimées à 18 milliards de mètres cubes par an, réparties comme suit : 12,5 milliards de mètres cubes par an dans les régions du Nord, dont 10 milliards proviennent des écoulements superficiels et 2,5 milliards des ressources souterraines renouvelables. Les régions sahariennes quant à elles disposent de 5,5 milliards de mètres cubes par an, avec 0,5 milliard provenant des écoulements superficiels et 5 milliards des ressources souterraines fossiles [2].

Selon les projections du ministère des ressources en eau, les besoins annuels en eau de l'Algérie d'ici 2030 devraient atteindre 12,9 milliards de mètres cubes, contre 10,4 milliards de mètres cubes actuellement. Ces prévisions sont basées sur la croissance démographique prévue et l'expansion urbaine anticipée, avec une urbanisation attendue à plus de 87% et une population proche de 50 millions de personnes d'ici 2030 [2].

D'après les données du ministère, ces besoins annuels prévus en 2030 se décomposent en 4 milliards de mètres cubes pour la consommation domestique (contre 3,3 milliards actuellement), 8,3 milliards de mètres cubes pour l'agriculture (contre 6,8 milliards actuellement) et 0,6 milliard de mètres cubes pour l'industrie (contre 0,3 milliard actuellement) [2].

Pour répondre à cette demande croissante en eau, un Plan national de l'eau a été élaboré pour l'horizon 2030. Ce plan repose sur la mobilisation continue des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles, en mettant l'accent sur les régions en déficit. Il vise à intensifier et à élargir le réseau de raccordement et de transfert entre les grands complexes hydriques du pays [2].

Le ministère des ressources en eau précise que 45% des besoins annuels prévus pour 2030 seront couverts par les barrages, 35% par les infrastructures de mobilisation et de production comme les stations de dessalement d'eau de mer et des eaux souterraines du Sud, tandis que les 20% restants seront assurés par les eaux souterraines du nord du pays et des Hauts plateaux, dont le renouvellement dépend des conditions météorologiques [2].

## 1.3. Production nationale d'énergie

### 1.3.1. Production commerciale d'énergie primaire

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

La production commerciale d'énergie primaire a atteint 165,4 M Tep en 2022, légèrement en hausse (0,6%) par rapport au niveau de production de 2021, qui a atteint 164,4 M Tep, comme indiqué dans le tableau ci-après [3]

**Tableau 1.1.** Production commerciale d'énergie primaire

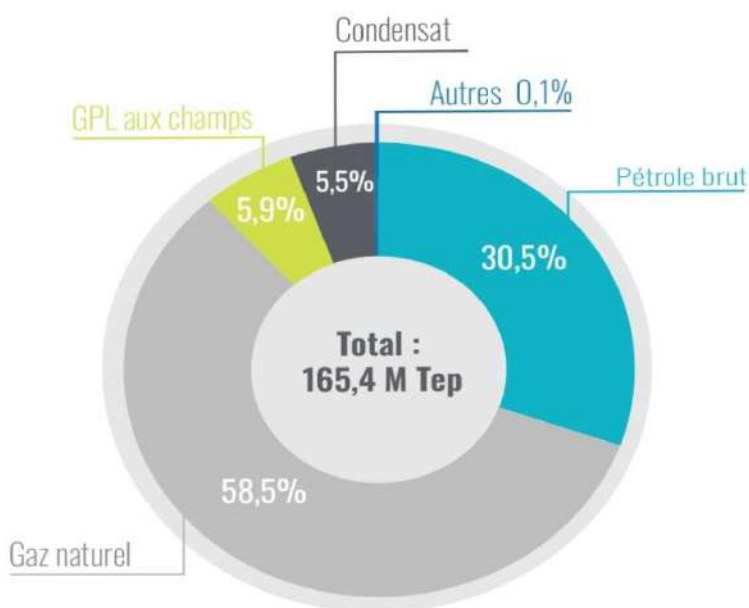
Produit	Unités	2021	2022	Evolution	
				Quantité	(%)
GAZ BRUT	K Tep	99260	95857	-3403	-3.4
	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	105037	101436		
Pétrole brut	K tep	47084	50437	3353	7.1
	K tonnes	42688	45727		
CONDENSET	K tep	8712	9063	350	4.0
	K tonnes	7696	8006		
GPL AUX CHAMPS	K tep	9222	9833	611	6.6
	K tonnes	7816	8333		
ELECTTRICITE PRIMAIRE	K tep	160	164	4	2.6
	GWH	662	681		
COMBUSTIBLES SOLIDES: BOIS	K tep	12	18	15	625
	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	13	91		
Total	K tep	164 442	165 372	930	0.6

L'accroissement de la production a été tiré par la hausse de la production de tous les produits, à l'exception du gaz naturel dont la production a connu une baisse (-3,4%). Pour le pétrole brut, la hausse de la production est due à l'augmentation des quotas de l'Algérie auprès de l'OPEP en application de décisions de l'OPEP+, passant d'une moyenne de 911 kb/j en 2021 à plus d'un million b/j en 2022. Elle intervient aussi suite à la mise en service des gisements Sud de Hassi Messaoud et la bonne performance des autres gisements. Concernant la production d'électricité primaire (ENR), elle a atteint 681 GWh, en légère hausse (2,9%) par rapport à 2021, suite à l'augmentation de la production : Des centrales

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

hydrauliques (76%), passant de 9 GWh en 2021 à 16 GWh en 2022, tirée par une hausse modérée de la pluviométrie comparativement à l'année d'avant Éoliennes (51%), passant de 11 GWh en 2021 à 16 GWh en 2022 [3] .

Malgré cette hausse, la part de la production électrique d'origine renouvelable reste très modeste, ne dépassant pas les 1% de la production d'électricité nationale, qui reste dominé par le gaz naturel à hauteur de 99%. La structure de la production d'énergie primaire commerciale reste dominée par le gaz naturel à hauteur de 58%, suivie par le pétrole (31%), comme illustré dans la figure ci-après (Figure 1.1) [3]:



**Figure 1.2.** Structure de la production commerciale d'énergie primaire.

### 1.3.2. Production d'énergie dérivée

La production d'énergie dérivée a atteint 67,2 millions tep à fin 2022, en quasi stabilité par rapport aux réalisations de la même période de l'année 2021. Une hausse de la production d'électricité thermique (6,6%) et des produits pétroliers (4,0%), a été enregistrée durant l'année 2022, et ce pour répondre aux besoins croissants du marché local. Toutefois, il a été constaté une baisse importante (-13,5%) de la production des complexes de liquéfaction, en étroite corrélation avec la baisse de la demande des clients étrangers de Sonagraphe [3].

# Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

## 1.4. Consommation d'énergie

### 1.4.1. Consommation nationale totale

#### 1.4.1.1. Evolution des différents agrégats

La consommation d'énergie a atteint 67,2 millions en 2021, avec une augmentation de la consommation de 7,7 % observée par rapport à 2020, principalement tirée par la consommation finale (8,0 %). La reprise de l'activité économique et la levée progressive des mesures sanitaires liées à la pandémie de Covid-19 ont conduit à une reprise de la consommation nationale d'énergie. La consommation des industries de l'énergie et des industries non énergétiques a augmenté de 6,9 % et de 8,4 %, respectivement [4].

#### 1.4.1.2 Evolution par forme d'énergie

La consommation nationale a augmenté de 7,7 % en 2021, passant de 62,3 millions tonnes à 67,2 millions de tonnes, grâce à l'électricité (11,5 %) et au gaz naturel (7,8 %). Le gaz naturel (38 %) continue de dominer la répartition de la consommation nationale par forme d'énergie, suivi de l'électricité (29 %) et des produits liquides (27 %)[4].

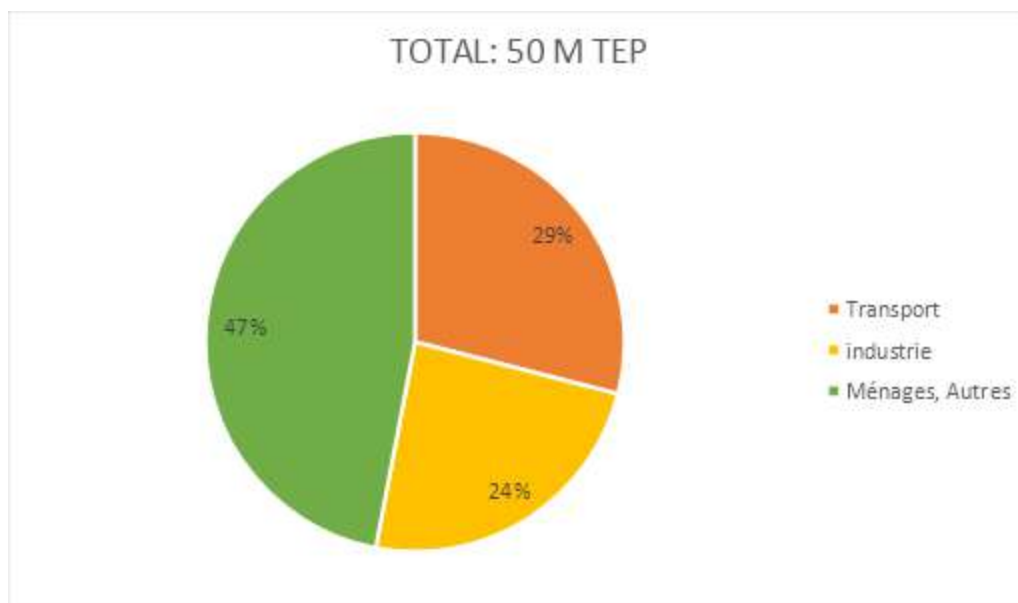
### 1.4.2. Consommation Finale

La consommation finale d'énergie en 2021 sera de 50,2 millions tonnes. Après une baisse de 8,6 % en 2020, elle a augmenté de 8,0 % en 2021, revenant aux niveaux de 2019. Cette augmentation est principalement due à la hausse de la consommation de presque tous les produits énergétiques, y compris l'électricité et le gaz naturel [4].

### 1.4.3. Consommation par secteur

Le secteur "ménages et autres" représente toujours 48% de la consommation finale, suivi par le secteur des transports (28%) et enfin par la part du secteur "industrie et construction (24%) (Figure 1.2) [4].

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie



**Figure 1.2.** Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité

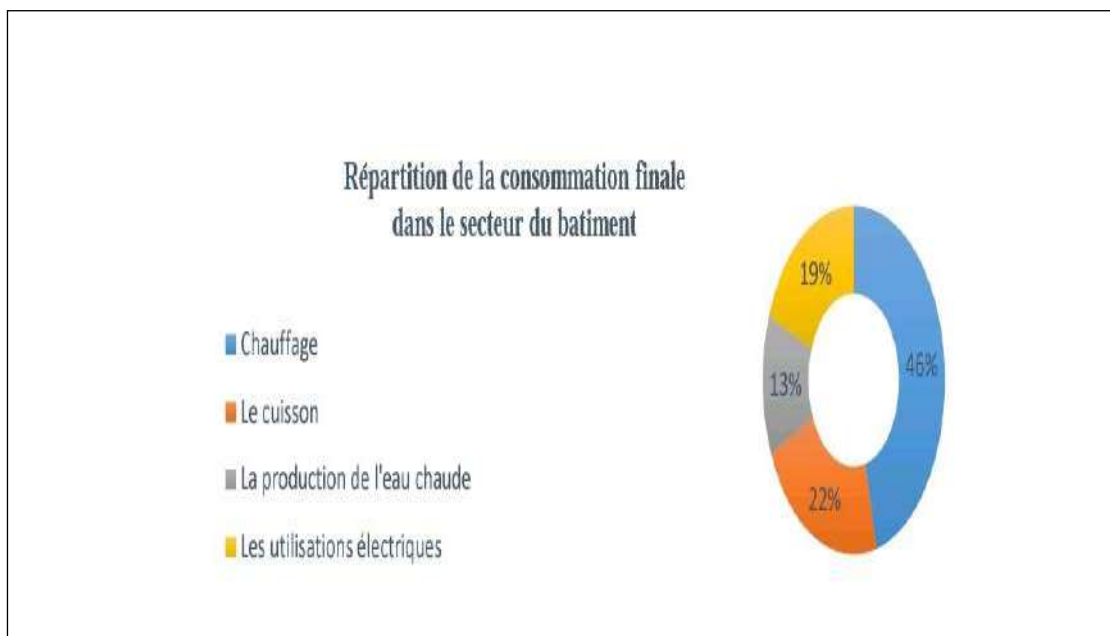
### 1.4.4. Consommation d'énergie par origine

L'énergie (domestique et finale) selon le produit primaire est consommée dans la production de gaz naturel, de pétrole, de condensats, de combustibles solides et d'électricité primaire (hydraulique et solaire). La production de gaz naturel consomme beaucoup d'énergie, avec une part de près de 74 % En ce qui concerne la consommation finale, la part du gaz naturel représente 70 %, en baisse par rapport à la part de la consommation nationale, le gaz naturel représentant l'essentiel de la consommation dans les industries énergétiques et non énergétiques [4].

### 1.5. Consommation énergétique dans le secteur du bâtiment

Selon un rapport du ministère de l'Énergie, la consommation d'énergie du pays continue d'augmenter et devrait doubler d'ici 2030 [5].

Le secteur de la construction est le principal secteur consommateur d'énergie en Algérie, et bien qu'il ne soit pas un secteur productif, il consomme beaucoup d'énergie. Consomme 41% de l'énergie finale. Le chauffage arrive en tête avec 46 % de la consommation totale dans le secteur de la construction, suivi de la cuisson (22 %), du chauffage de l'eau (13 %) et de la consommation d'électricité (19 %)(Figure 1.3)[5].



**Figure 1.3.** Répartition de la consommation finale dans le secteur de bâtiment en l'Algérie.

### 1.6. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique fait référence aux moyens de réduire la consommation d'énergie en utilisant moins d'énergie pour obtenir la même quantité de résultats bénéfiques. L'efficacité énergétique peut être définie comme le fait de remplir la même fonction avec moins d'énergie, c'est-à-dire de réduire le gaspillage d'énergie [6]

#### 1.6.1. Principaux déterminants de la demande énergétique dans le bâtiment

Un certain nombre de facteurs déterminent la demande d'énergie dans le secteur du bâtiment, notamment la population, l'activité (niveau d'équipement), la surface du bâtiment, les choix technologiques, l'enveloppe du bâtiment et la performance des équipements utilisés [6]

#### 1.6.2. Principes fondateurs du programme de l'efficacité énergétique

La stratégie nationale de l'Algérie vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 16 % d'ici 2020 (Agence pour la promotion de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, 2014, p. 21). En conséquence, le gouvernement algérien a adopté un certain nombre de mesures, en particulier dans le secteur du bâtiment : en 2011, le ministère de l'énergie a lancé le Plan national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE), qui prévoit d'installer 22 GW de capacité d'énergie renouvelable d'ici 2030. Les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique

## **Chapitre1 : situation énergétique en Algérie**

---

sont considérées comme les deux piliers du PNEREE. Les objectifs attendus du programme sont d'atteindre 27 % de la production nationale d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables d'ici 2030 ; de réduire la consommation globale d'énergie de 9 % d'ici 2030 ; de maîtriser la croissance de la demande d'énergie et de la stabiliser à 3 % ; de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre de 7 à 22 %. [6]

### **1.7. Consommation d'énergie par secteur de transport**

Le secteur des transports en Algérie est en pleine transformation. Un certain nombre de projets ont été mis en œuvre pour rendre le secteur plus efficace sur le plan énergétique afin de contribuer au développement économique du pays [7].

#### **1.7.1. Axes du secteur des transports en Alegria**

##### **1.7.1. 1.Transport aérien**

L'Algérie compte 35 aéroports, dont 13 aéroports internationaux, dont le plus grand est l'aéroport international Houari Boumediene, qui transporte plus de 6 millions de passagers par an et dispose actuellement d'une flotte de 58 avions commerciaux. Air Algérie est le principal transporteur national de passagers, transportant actuellement environ 6,1 millions de passagers. Malgré la présence d'autres compagnies aériennes, l'Algérie ambitionne de développer et de diversifier sa flotte à travers un programme ambitieux d'ajout de 35 nouveaux avions d'ici 2025 [7]

##### **1.7.1. 2. Transport maritime**

Le long des 1 200 km de côtes algériennes, on compte 51 infrastructures maritimes : 11 ports de commerce, 2 ports pétroliers, 41 ports de pêche et 1 marina ; entre 2000 et 2012, 19 infrastructures portuaires (ports de commerce et de pêche) et 4 plateformes aéroportuaires (aéroport et piste d'atterrissage) ont été construites. L'ENTMV (Entreprise Nationale de Transport Maritime de Voyageurs) possède quatre navires à passagers (Tassili, Ben ZiyadRoads, Alger et Eros). Elle affrète également des navires durant les mois d'été en cas de forte affluence de passagers, et a transporté environ 379 513 passagers en 2016 [7].

# Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

## 1.7.1. 3. Transport ferroviaire et la mobilité urbaine

Les chemins de fer algériens ont été ouverts pendant la période coloniale pour desservir les ports et les grandes villes le long de la côte et accéder aux mines et aux zones agricoles de l'intérieur du pays. Le réseau ferroviaire s'organise autour du Locad Nord, qui relie les grandes villes, les ports et les zones industrielles du nord d'est en ouest. Il y a quatre lignes directes de cet axe vers le sud, la majeure partie du réseau ferroviaire à voie unique. Le rail ne représente que 7 à 8 % du secteur national des transports et est donc moins interactif et surtout moins compétitif que le transport routier. Des plans sont en cours pour étendre le réseau ferroviaire, avec 2 000 kilomètres en construction et 6 500 km actuellement à l'étude [7].

Le réseau ferroviaire existant, d'une longueur de 4 000 kilomètres, sera étendu à plus de 12 500 kilomètres à l'avenir, et un certain nombre de projets de développement seront lancés, notamment l'éclairage, l'électrification des lignes et la formation du personnel de gestion et de maintenance.

- La zone sera équipée de trains modernes capables de transporter des passagers à une vitesse de 220 km/h et des marchandises à une vitesse de 120 km/h.
- Le métro d'Alger est en cours d'extension d'El Harrach à l'aéroport et d'Ain Najah à Berki [7].

## 1.7.1. 4. Transport routier

Le réseau routier algérien reste l'un des plus denses du continent africain, avec une longueur totale de 112 039 km, dont 29 573 km de routes nationales et plus de 4 910 ouvrages d'art. Le réseau routier se compose de deux axes interchangeables, Est-Ouest et Nord-Sud. Le réseau routier, qui assure environ 87 % des volumes de transport, est responsable d'environ 90 % du trafic de passagers et de marchandises du pays. 93% du parc automobile algérien est importé de l'étranger, principalement d'Europe. La production de véhicules domestiques est limitée aux véhicules industriels (camions, autobus, tracteurs agricoles). Le nombre de véhicules sur les routes passera de 8 millions à plus de 20 millions d'ici 2025. 97 % des transports en Algérie sont effectués par la route, le transport routier étant principalement supérieur aux autres modes de transport, représentant 94 % de la consommation totale du secteur des transports[8].

## 1.7.2. Renouvellement du parc véhicule

Le transport terrestre est prédominant par rapport aux autres modes de transport. Selon le ministère des transports, le nombre des immatriculations et ré-immatriculations des véhicules à

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

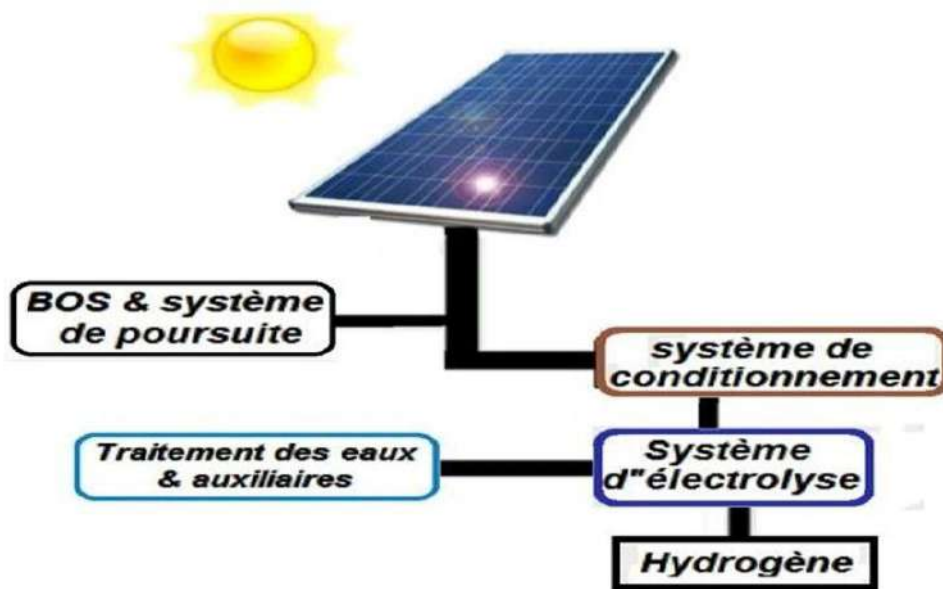
atteint 909.043 véhicules dont 159.633 unités neuves, durant le 1<sup>er</sup> semestre 2019, enregistrant une hausse de 22,18%, soit +165.000 véhicules par rapport à la même période en 2018, selon l'Office national des statistiques (ONS). Durant le 1<sup>er</sup> semestre 2019, le parc a atteint plus de 6,5 millions d'unités. Les données de l'Office montrent concernant la répartition du parc national automobile selon la source d'énergie que la part de l'essence est plus importante. Elle représente 65,04% alors que celle du gasoil en représente 34,96%. Onze wilayas ont dépassé les 100.000 unités roulant à l'essence. Alger en comptait, à elle seule, plus d'un million unités. Trois wilayas seulement comptaient plus de 100.000 unités roulant au gasoil, à savoir Alger, Oran et Tizi-Ouzou [9].

### 1.8. Perspective de l'utilisation de l'hydrogène dans le domaine du transport en Algérie

Des composés d'hydrogène ont été développés pour une utilisation au cours de la dernière décennie, cependant, l'utilisation de piles à combustible dans les véhicules. Il est confronté à de nombreux problèmes qui doivent être résolus, en particulier le coût élevé, les performances, la durée du carburant, l'infrastructure de distribution et l'absence d'infrastructure. Ils ont l'intention de produire et de stocker l'hydrogène dans des Installations de gaz naturel. Des projets d'utilisation d'hydrogène ont été développés dans le transport. L'un des projets les plus importants pour utiliser le projet est l'utilisation de l'hydrogène mixte. Ajout d'une quantité d'hydrogène dans le gaz naturel Améliore l'efficacité de la combustion et réduisant considérablement les gaz à effet de serre, appelés hythane (80% de gaz naturel, 20% d'hydrogène). La motivation n'utilise pas le gaz naturel comme carburant dans les moteurs à combustion interne est le manque de soufre et de plomb dans les gaz d'échappement. Lorsque vous réduisez les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> [10].

### 1.9. Production d'hydrogène

Système le plus attrayant et le plus simple pour utiliser les énergies renouvelables afin de produire de l'hydrogène en divisant l'eau consiste à combiner un module photovoltaïque qui capte l'énergie solaire et une cellule solaire électrolytique qui divise l'eau. La technologie de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est largement utilisée et a désormais atteint le stade industriel (Figure 1.4) [11].



**Figure 1.4.** Production d'hydrogène

### 1.10. Application d'énergies hybrides dans les bâtiments

L'Algérie possède des ressources abondantes telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne afin de l'intégrer dans la structure énergétique. L'Algérie a formulé un plan en deux phases pour encourager les investissements dans le domaine des énergies renouvelables. Où l'Algérie a commencé à mettre en œuvre des projets de production d'électricité propres (photovoltaïque, éolien) Le chauffage de l'eau consomme une grande quantité d'énergie et pour réduire cette consommation, nous pouvons utiliser l'énergie solaire à travers le complexe d'énergie solaire pour chauffer l'eau [12].

#### 1.10.1. L'énergie solaire

Avec l'utilisation des concentrateurs ou des panneaux photovoltaïque peut capter soleil et transformer en électricité, avec des collecteurs peut convertir en énergies thermiques, le soleil est une source à une large disponibilité dans la nature depuis l'existence d'être humain [13].

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

### 1.10.2. L'énergie éolienne

La puissance des vents qui transforme en électricité avec les utilisations des turbines fixées à certaines hauteurs pour capter le vent, les éoliennes sont installées dans les endroits où le vent a une vitesse entre 5 à 25 mètres par seconde [13]

### 1.11. Impact environnemental

L'énergie et l'environnement sont deux éléments fondamentaux pour étudier le développement durable dans un pays. L'Algérie, un grand pays méditerranéen avec une population de plus de 42,577 millions selon l'ONS (2018), dispose d'une capacité énergétique élevée, notamment dans le secteur des hydrocarbures. Face à un environnement climatique changeant, cela nécessite des actions et des programmes à long terme pour la protection de l'environnement. En Algérie, le secteur des hydrocarbures est un secteur stratégique pour l'énergie, mais pas à long terme, parmi les produits pétroliers combustibles ; le pétrole brut, le gaz naturel, ces derniers sont classés dans les énergies non renouvelables et contiennent des produits toxiques, tels que le soufre, l'azote et le benzène (pétrole brut) et cela peut provoquer le réchauffement climatique. Dans le même temps, l'Algérie entame une transition énergétique et envisage d'autres énergies pour son développement durable telles que les énergies renouvelables, le soleil représentant la source de base de ces énergies. La surproduction et la consommation croissante d'énergies fossiles entraînent l'émission de méthane et la déforestation, favorisant ainsi l'augmentation des gaz à effet de serre et entraînant une hausse de la température. Ces changements climatiques sont souvent responsables de catastrophes naturelles. Quelques solutions pour lutter contre le réchauffement climatique peuvent être évoquées. 67 projets de centrales solaires photovoltaïques, solaires thermiques et éoliennes hybridées avec du gaz naturel ou du diesel prodigués, le nouveau programme vise une vingtaine de wilayas du Sud, des Hauts plateaux et aussi aux Nord du pays (énergie éolienne). La capacité installée globale de ces projets sera de 2.357 MW à l'horizon 2020. Le solaire est la source de ces énergies renouvelable [14].

### 1.12. Programme National d'Efficacité Énergétique

Le programme d'efficacité énergétique de l'Algérie vise à encourager une utilisation plus responsable de l'énergie et à explorer toutes les possibilités pour préserver les ressources, en favorisant une consommation utile et optimale. Son objectif est de produire les mêmes biens ou

## Chapitre1 : situation énergétique en Algérie

---

services tout en minimisant la consommation d'énergie. Ce programme comprend des actions visant à privilégier les formes d'énergie les plus adaptées à chaque usage, nécessitant des changements de comportement et des améliorations d'équipements. Il prévoit également l'introduction de mesures d'efficacité énergétique dans les secteurs du bâtiment, du transport et de l'industrie, ainsi que le soutien à la création d'une industrie locale pour des produits tels que les lampes performantes, les chauffe-eau solaires et les isolateurs thermiques, grâce à des investissements locaux ou étrangers. L'objectif global est de créer un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie, avec des retombées économiques et sociales positives, telles que la création d'emplois, la génération de richesses et la préservation de l'environnement [15]

### 1.13. Conclusion

L'utilisation des énergies renouvelables (éolienne et solaire) dans le secteur des bâtiments réduit la consommation d'électricité provenant des combustibles fossiles, ce qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Quant à l'hydrogène, il est considéré comme l'un des carburants les plus propres et durables dans le secteur des transports. L'hydrogène est produit à partir de sources renouvelables telles que l'énergie solaire et éolienne, et peut être utilisé dans une variété de moyens de transport tels que les voitures, les bus, les trains et les camions. L'hydrogène agit comme un carburant propre car lorsqu'il brûle dans l'air, il ne produit que de l'eau comme sous-produit, ce qui réduit les émissions de gaz à effet de serre.

# **Chapitre2 :Etude bibliographique**

---

### 2.1. Introduction

L'abandon des combustibles fossiles pour produire de l'énergie se fait en les remplaçant par des énergies renouvelables qui sont considérées comme respectueuses de l'environnement et conservatrices, comme certaines personnes sont allées intégrer des panneaux photovoltaïques dans leurs centres d'utilisation et de besoins, il y a ceux qui les utilisent pour produire de l'énergie dans les serres et d'autres pour alimenter leurs maisons et de nombreux exemples, dont certains que nous aborderons dans notre prochain contexte.

### 2.2. Exemples d'applications photovoltaïques dans les bâtiments et les transports

Le secteur de la construction résidentielle et le secteur des transports ont fait l'objet d'une attention particulière ces dernières années en raison des émissions de carbone qui affectent les moyens de subsistance de l'homme. Les véhicules à hydrogène sont appelés à jouer un rôle essentiel dans la réduction de la dépendance à l'égard des combustibles non renouvelables et des incidences environnementales du secteur des transports. Les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments, quant à eux, pourront réduire les besoins en énergie et contribuer à la durabilité des bâtiments. Dans ce qui suit, on présentera quelque travail lié aux objectifs du présent travail,

Zheng Wang et al. ont réalisé une étude sur le système d'alimentation électrique des habitations. Il vise à étudier les mérites du système proposé en termes de performances énergétiques, économiques et environnementales en concevant trois scénarios distincts pour l'alimentation électrique, le chauffage des locaux, le refroidissement des locaux et l'eau chaude sanitaire (ECS). Une maison australienne typique équipée d'un système photovoltaïque solaire de 10 kW à Geelong, Victoria, est utilisée comme étude de cas. Trois scénarios sont modélisés à l'aide du logiciel TRNSYS, et la production photovoltaïque simulée, le chauffage des locaux et la charge d'ECS sont validés à l'aide des résultats réels mesurés. Les résultats montrent que le système proposé compense la totalité de la demande en gaz naturel de 6915 kWh requise par le scénario 1 en utilisant le système conventionnel à base de combustibles fossiles et augmente l'autoconsommation photovoltaïque et l'autosuffisance de 18 % à 24 % dans les scénarios 1 à 38 % et 75 %, respectivement. Après avoir ajusté la taille des composants selon le principe des rendements décroissants, le système proposé à une période de retour sur investissement de neuf ans et réduit les émissions de carbone de 67 %

par rapport au système conventionnel. Cette étude démontre la capacité du système proposé à électrifier les charges de nos maisons, contribuant ainsi à un avenir résidentiel décarbonisé [16].

Sunliang Cao et KariAlanne voulaient créer des bâtiments zéro émission et une voiture à hydrogène à zéro émission en même temps, donc ils ont conduit une étude technico-économique pour rechercher la faisabilité de l'intégration d'un bâtiment zéro émission avec un véhicule à hydrogène à l'échelle commerciale. L'analyse paramétrique est menée dans 16 groupes de simulation en ce qui concerne les options d'équipement des capteurs solaires thermiques, la pompe à chaleur géothermique (PCG) et les méthodes de ravitaillement, tandis que chaque groupe contient une série de cas avec une gamme de capacités de production d'électricité renouvelable (ER) sur site entre 0 et 16 kW. Les critères d'évaluation comprennent l'émission annuelle de CO<sub>2</sub> en équivalent opérationnel et la valeur actuelle nette relative (VANrel). Grâce à l'analyse paramétrique, les ensembles de cas non dominants dans le nuage des solutions analysées ont fait l'objet d'une étude approfondie en ce qui concerne les objectifs de réduction des émissions et des coûts. En ce qui concerne les critères de l'émission équivalente et de la VANrel dans le cadre du scénario de marché normal de l'électrolyseur (5000 EUR/kW), aucun des cas avec le système H<sub>2</sub> sur site ne peut être identifié comme supérieur à ceux sans le système H<sub>2</sub> sur site. Les cas non dominants sont principalement ceux avec un panneau photovoltaïque (PV) de 0-9,61 kW NOCT et une PCG de 5 kW, mais sans capteur solaire thermique, dont la VANrel se situe entre -4115 et 12 556 EUR et dont les émissions se situent entre 19,72 et 6,65 kg CO<sub>2</sub>, eq/m<sup>2</sup>. Cependant, en réduisant le coût de l'électrolyseur au scénario de marché le plus bas de 2000 EUR/kW, certains des cas avec le système H<sub>2</sub> sur site commencent à défier ceux sans le système H<sub>2</sub> sur site. En outre, la modification du facteur d'émission du combustible H<sub>2</sub> de 0,267 à 0,141 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh LHV ne modifiera pas l'ensemble des cas non dominants, mais réduira uniformément les émissions annuelles de ces cas d'une valeur de 3,83 kg CO<sub>2</sub>, eq/m<sup>2</sup>. [17]

Jia Liuet al., ont présenté un système hybride d'énergie renouvelable intégrés à une batterie stationnaire et à un système de stockage mobile de véhicules à hydrogène pour une communauté zéro énergie composée d'un campus, de bureaux et de bâtiments résidentiels, sur la base de données et de simulations pratiques d'utilisation de l'énergie. Un modèle de coût de pénalité du réseau en fonction de l'heure d'utilisation évaluant l'importation et l'exportation du réseau pendant les heures de pointe et les heures creuses est proposé pour atteindre la flexibilité et l'économie du réseau

électrique. Des optimisations multi objectifs sont menées pour dimensionner les bâtiments à énergie zéro et la communauté en tenant compte de l'autoconsommation d'énergie renouvelable, de la couverture de la charge sur site et des coûts de pénalité du réseau dans la plateforme couplée de TRNSYS et JE plus+EA. Les résultats de l'étude indiquent que le stockage par batterie améliore l'autoconsommation d'énergie renouvelable, la couverture de la charge, l'efficacité du système hydrogène et l'intégration au réseau de la communauté zéro énergie. Des réductions des coûts de pénalité du réseau de 145,36 % à 158,92 % et de 135,05 % à 164,41 % sont obtenues dans les scénarios d'énergie zéro avec et sans stockage de batterie par rapport aux scénarios de référence sans énergie renouvelable. La valeur actuelle nette sur la durée de vie des quatre scénarios zéro énergie avec stockage par batterie est augmentée de 22,39 % à 96,17 % par rapport aux scénarios de référence, tandis qu'elle est réduite de 6,45 % à 7,62 millions de dollars et de 1,90 % à 2,16 millions de dollars dans les campus et les bâtiments résidentiels zéro énergie sans stockage par batterie. Des avantages environnementaux substantiels sont également obtenus dans les scénarios énergie zéro avec et sans stockage de batterie pour réduire les émissions de carbone de 71,23 % à 90,93 % et de 67,57 % à 91,36 %, respectivement [18].

Jia Liuet al., ont présente une approche de planification énergétique robuste pour les systèmes hybrides photovoltaïques et éoliens avec des technologies de stockage de véhicules à batterie et à hydrogène dans un immeuble résidentiel typique de grande hauteur, en tenant compte de différents horaires de passage des véhicules à l'intérieur de l'immeuble. De multiples critères de conception, y compris la performance de l'approvisionnement, l'intégration au réseau et la valeur actuelle nette sur la durée de vie, sont adoptés pour dimensionner le système hybride et sélectionner la stratégie optimale de gestion de l'énergie. Quatre stratégies de prise de décision sont ensuite appliquées pour rechercher la solution optimale finale pour les principales parties prenantes ayant des préférences différentes. Les résultats de l'étude indiquent que la stratégie de gestion de l'énergie avec stockage dans une batterie avant le stockage de l'hydrogène convient aux systèmes hybrides dotés de grandes capacités d'installation photovoltaïque, éolienne et de batterie, afin d'obtenir une performance optimale en termes d'intégration de l'approvisionnement au réseau et d'économie. La stratégie de gestion de l'énergie avec stockage de l'hydrogène avant le stockage de la batterie a une applicabilité plus large, et cette stratégie devrait être sélectionnée lorsque l'on se concentre sur l'intégration du réseau d'approvisionnement ou la performance de l'économie de l'approvisionnement. Le taux annuel moyen d'autoconsommation, le taux de couverture de la

charge et l'efficacité du système hydrogène sont respectivement d'environ 84,79 %, 76,11 % et 77,06 % dans le cas de la priorité à l'utilisateur final. L'échange net annuel absolu avec le réseau est d'environ 4,55 MWh dans le cas prioritaire de l'opérateur du réseau de transport. La valeur actuelle nette sur la durée de vie du cas prioritaire de l'investisseur est d'environ 3,64 millions de dollars US, soit 29,88 % de moins que le cas prioritaire équivalent. Les solutions optimales finales ont un impact positif sur l'environnement avec des émissions annuelles de carbone négatives. Ce type de solution technico-économique environnementale [19].

Jia Liu et al., ont proposé un cadre de gestion et d'optimisation de la conception des systèmes d'énergie renouvelable pour faire progresser les bâtiments à consommation énergétique nette zéro intégrés avec des véhicules électriques et des batteries de stockage. Un modèle d'augmentation des données de charge du bâtiment est développé pour obtenir le profil de charge horaire annuel d'un bâtiment du campus sur la base des données collectées sur place en adoptant le réseau neuronal GâteRécurrent Unit. Une stratégie de gestion de l'énergie de protection du réseau du système d'alimentation et de stockage solaire photovoltaïque (PV) est proposée avec de nouveaux indicateurs d'évaluation comprenant le ratio d'utilisation du PV, le ratio d'adéquation de la charge et le facteur de flexibilité du réseau. Des optimisations multi objectifs sont menées pour identifier le dimensionnement optimal du système d'énergie renouvelable et son impact interactif sur des performances technico-économiques équilibrées. Les résultats de la recherche indiquent que le bâtiment à énergie positive atteint des performances optimales avec une configuration de 1050 kW d'énergie photovoltaïque en toiture, 300 véhicules électriques et 450 kWh de batteries. L'interaction véhicule-bâtiment introduisant la décharge du véhicule améliore la couverture de la charge (+12,08 %), la flexibilité du réseau (-29,63 %), la facture annuelle d'électricité (-18,70 %). Le bâtiment à énergie positive optimal présente une bonne faisabilité technico-économique et environnementale en ce qui concerne la couverture de la charge (+16,22 %), la flexibilité du réseau (-58,48 %), la facture annuelle d'électricité (-27,86 %), les avantages de la décarbonation (-34 fois) et la dégradation des véhicules. Le cadre de gestion et d'optimisation de la conception du système d'énergie renouvelable développé fournit une voie possible pour le bâtiment typique du campus vers des opérations sans carbone, et il offre également des conseils et des références aux parties prenantes pour développer des bâtiments similaires neutres en carbone [20].

S. Molina et al. ont réalisé une étude qui se concentre sur l'évaluation de l'impact sur le réchauffement climatique de la transition des voitures particulières légères du gaz naturel comprimé (GNC) aux véhicules H<sub>2</sub> utilisant des mélanges de GNC entre 2020 et 2050 et différents scénarios réalistes. Les résultats de la présente étude ont été obtenus en combinant une campagne d'essais expérimentaux qui a permis de voir comment les performances et les émissions des véhicules au GNC évoluent en fonction de la teneur en H<sub>2</sub> et une méthode d'évaluation du cycle de vie. Sur la base des résultats, le scénario dans lequel l'hydrogène est principalement produit à partir de Petit réacteur modulaire (PRM) s'est avéré avoir le potentiel d'atteindre et de dépasser le concept d'émission zéro grâce à l'utilisation du biogaz. D'après les résultats de cette étude, la teneur en H<sub>2</sub> recommandée dans les mélanges de HCNG qui offre un faible impact environnemental tout en évitant la sur demande d'hydrogène à court terme pour la décennie 2020-2030 est de 25 %, puis de 50 % d'ici 2030 et de 75 % à 100 % au cours de la décennie 2040-2050, ce qui permettra d'assurer la transition vers une technologie d'hydrogène pur qui minimise l'impact sur l'environnement [21].

Sanjay et al. ont évalué les performances énergétiques, économiques et environnementales des systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments avec recharge des véhicules électriques pour un bâtiment situé à Canberra, en Australie. Le bâtiment intégrer photovoltaïque BIPV avec chargeur de véhicule électrique VE peut aider à répondre aux besoins énergétiques du bâtiment, à charger les véhicules électriques et à réduire la dépendance au réseau. Différents scénarios de charge ont été étudiés pour optimiser la taille du système. Différentes dispositions de panneaux avec orientation ont été étudiées pour le système BIPV de 5kWp, chaque module ayant une puissance de 355 kWp. La production annuelle d'énergie du système BIPV a varié entre 8,56 MWh pour la disposition 1 et 7,08 MWh pour la disposition 3. Il a été constaté que le retour sur investissement du système BIPV proposé est de 4,46 ans, le Coût nivelé de l'énergie de 0,074AUD/kWh et le coût de charge des VE de 0,95AUD/100 km. Le système BIPV avec recharge des VE pourrait permettre d'économiser environ 160198 kgCO<sub>2</sub> d'émissions de gaz à effet de serre sur sa durée de vie[22].

Raffaëlli A. Agathokleous et al. ont présenté une vue d'ensemble des recherches publiées sur les systèmes bâtiments intégrer photovoltaïque BIPV, d'identifier les obstacles et les risques associés à l'application du BIPV et de discuter des perspectives et des solutions futures par le biais de recommandations pour la recherche et le développement futurs. Les obstacles les plus importants

des systèmes BIPV sont la mise en œuvre du tarif de rachat, l'acceptation du public, le soutien économique du gouvernement en termes de subventions et les aspects techniques tels que les pertes de puissance et les considérations architecturales. Les perspectives d'avenir des systèmes BIPV proposés sont basées sur les obstacles discutés. Il est indiqué que les nouvelles solutions dans l'industrie photovoltaïque sont nombreuses et variées et qu'il existe une marge d'amélioration en ce qui concerne la conception, la configuration, la ventilation, le positionnement, les lignes directrices, la surveillance et la prévision des performances. Au total, plus de 100 articles ont été identifiés et analysés depuis 2000. Beaucoup de ces articles se concentrent principalement sur l'étude des performances du système et la ventilation des panneaux PV dans les applications BIPV pour la production d'électricité, en raison du rôle négatif de la température sur l'efficacité électrique des PV et le comportement du système en matière de transfert de chaleur. Cet article montre que, bien que la recherche sur l'adoption des systèmes BIPV en termes de performance et d'optimisation soit relativement récente, elle a gagné en attention au cours des dernières décennies. Cependant, leurs applications pratiques ont été lentes par rapport aux panneaux photovoltaïques conventionnels montés en rack[23].

Mohammad A. Alim et al. Ont examiné les progrès récents des systèmes bâtiments intégrer photovoltaïque(BIPV) et les défis auxquels l'Australie est confrontée pour adopter cette technologie. En outre, les problèmes actuels d'émissions de carbone en Australie sont présentés afin de sensibiliser la population, ce qui contribuera à l'adoption de cette technologie. Une série d'études expérimentales et numériques ont été examinées afin d'identifier l'efficacité du BIPV sur les performances des bâtiments. Cette étude porte également sur la durabilité et la faisabilité économique des systèmes BIPV en termes de temps de retour énergétique et de temps de retour économique, respectivement. Sur la base de cette étude, on peut affirmer que le BIPV est techniquement et économiquement faisable pour l'Australie et que sa mise en œuvre pourrait commencer par les tuiles solaires [24].

Tatsuya.Oet al. Ont étudié, un système en réseau avec des panneaux solaires photovoltaïques (PV), un électrolyseur (EC), une pile à combustible, un réservoir d'hydrogène et un compresseur a été modélisé. Ce modèle a été utilisé pour analyser les changements dans le coût du système et les émissions de gaz à effet de serre (GES) avec une augmentation des capacités des dispositifs pour différentes capacités PV et taux d'autosuffisance. Les analyses quantitatives ont montré que

l'optimisation dans le cadre d'une mise en œuvre massive du photovoltaïque, qui a généré de grandes quantités d'électricité excédentaire et n'a pas nécessité de stockage saisonnier pendant plus de la moitié de l'année, rend le système de stockage d'énergie hydrogène (HES) plus attrayant sur le plan économique tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. La réduction du coût unitaire des dispositifs HES a permis d'augmenter la capacité optimale d'EC, ce qui a réduit la réduction de l'électricité excédentaire. Lorsqu'une contrainte SSR a été imposée, la réduction du coût unitaire des dispositifs HES a diminué la capacité PV optimale tout en réduisant la réduction de l'électricité excédentaire. La capacité photovoltaïque maximale installée dans un micro-réseau a également été examinée en fonction de la densité de la demande d'électricité et de la capacité de transmission du réseau [25].

El-Said A et al. ont réalisé une étude portée sur la combinaison de l'énergie éolienne, de l'énergie photovoltaïque (PV) et de la batterie pour répondre à la demande d'énergie d'une station de ravitaillement en hydrogène. L'éolien et le photovoltaïque sont les principales sources d'énergie de la station, tandis que la puissance de sortie de l'éolienne varie en fonction de la vitesse du vent et la puissance de sortie du photovoltaïque varie en fonction de l'irradiation : une batterie est intégrée à la production photovoltaïque/éolienne pour satisfaire les performances du système dans toutes les conditions. Cette recherche propose une nouvelle conception d'une station de ravitaillement en hydrogène en utilisant un système de refroidissement à eau pour la station de ravitaillement en hydrogène, puis en envoyant l'eau chaude à l'unité de lavage de voitures. La nouvelle conception augmente l'efficacité globale de la station en convertissant l'énergie thermique (dissipation d'énergie) en énergie utile. Le dimensionnement optimal des sources d'énergie hybrides PV/éolienne est proposé à l'aide du logiciel Homer. Un contrôleur proposé est utilisé pour la gestion de l'énergie entre les sources d'énergie et la charge. Un modèle de simulation pour les stations de ravitaillement en hydrogène a été développé à l'aide de MATLAB/Simulink. La simulation montre que la performance du système dans différentes conditions a été vérifiée en utilisant un profil de demande de charge et des données météorologiques réelles [26]

### 2.3. Conclusion

L'intégration de l'énergie solaire a donné d'excellents résultats dans de nombreux domaines, car elle était disponible et très efficace par rapport à l'utilisation de combustibles fossiles dans la production d'énergie. L'adoption de l'énergie photovoltaïque permet donc de réaliser des bénéfices

## Chapitre 2 : Etude bibliographique

---

et d'atteindre l'autosuffisance énergétique, mais aussi de faire fonctionner une voiture à hydrogène avec une bonne efficacité, ce qui fait que ce projet a permis de réduire considérablement les émissions de gaz toxiques et les pertes de matériaux.

# **Chapitre 3: Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène**

## Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

### 3.1. Introduction

L'énergie solaire offre une approche durable pour la production d'électricité, en convertissant la lumière du soleil en électricité à travers des panneaux solaires. Il est intéressant de noter qu'une partie de cette énergie générée peut être utilisée pour convertir l'eau en hydrogène via le processus d'électrolyse, l'hydrogène étant considéré comme un carburant propre.

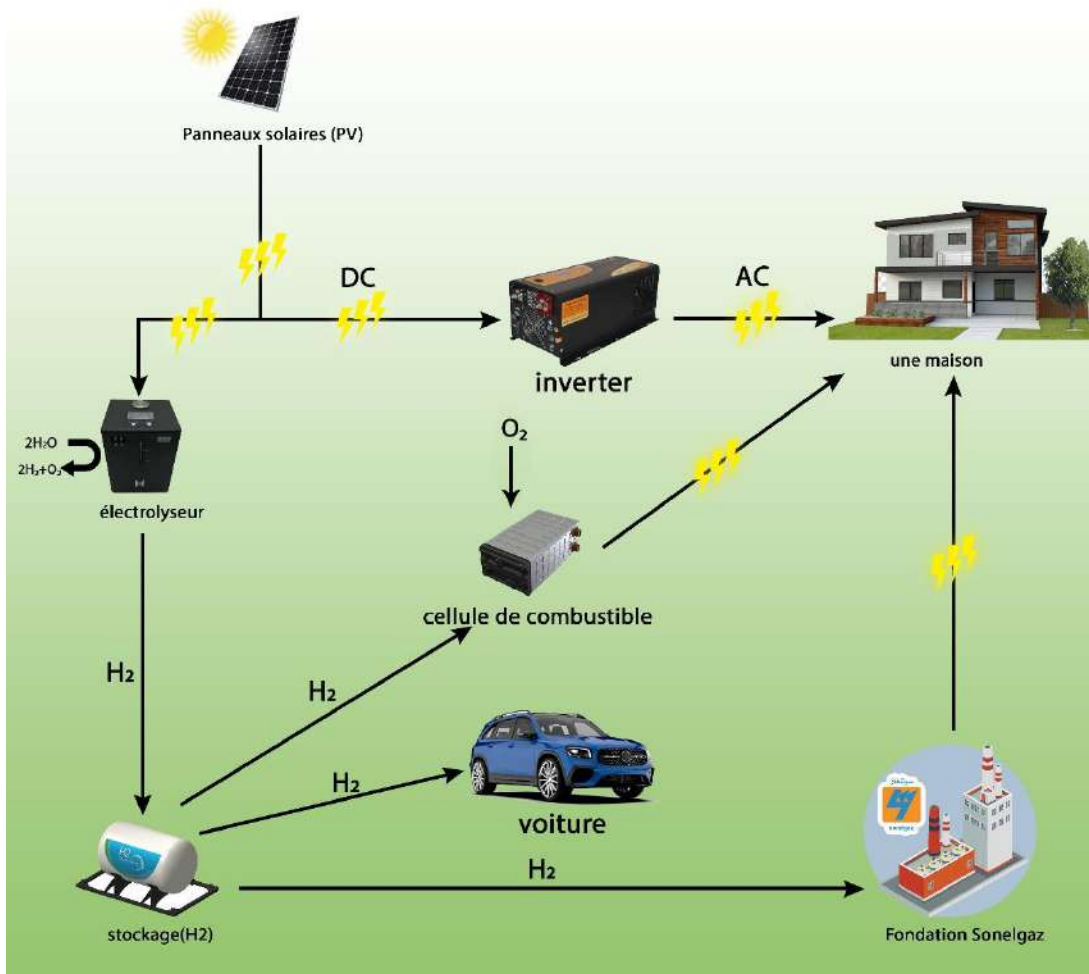
L'hydrogène peut être utilisé comme moyen de production d'énergie pour répondre les besoins énergétiques des bâtiments et des véhicules. En convertissant l'hydrogène en électricité via les cellules de combustible.

Ce chapitre montre la possibilité de convertir une maison individuelle à basse consommation d'énergie vers un bâtiment à énergie positive et d'alimenter les besoins énergétiques du véhicule de cet habitat par de l'énergie d'hydrogène, cette maison située dans la ville de Ouargla. Pour cela, une simulation numérique a été réalisée avec l'outil MATLAB.

### 3.2. Méthodologie

Ce travail est proposé un système hybride de sources d'énergie renouvelable (photovoltaïque (PV) et électrolyseur (EL)) pour réaliser un bâtiment à énergie positive et alimenter les besoins énergétiques du véhicule de cet habitat. Le bâtiment situé dans la ville de Ouargla, caractérisée par un climat chaud et aride. Pour cela, une simulation numérique a été réalisée à l'aide de l'outil MATLAB. Le système d'alimentation hybride proposé comprend une technique photovoltaïque pour la production d'électricité, onduleur, un électrolyseur, un réservoir de stockage d'hydrogène (RSH), pile combustible (FC) et réseau électrique (RE), Le système photovoltaïque produit l'énergie. L'excès d'énergie produite à partir du système PV est exporté en électrolyseur pour produire l'hydrogène qui a été dont une partie sert à répondre aux besoins énergétiques de la voiture du bâtiment et d'autre partiestocké réservoirs de stockage d'hydrogène. Si l'énergie produite par le PV est inférieure à l'énergie demandée par le bâtiment étudié, la pile à combustible est utilisée pour alimenter le manque d'énergie. Lorsque la pile à combustible ne peut pas répondre le manque d'énergie, l'habitat importera l'énergie du réseau électrique (figure 3.1).

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène



**Figure 3.1.** Schéma de l'outil d'application

Des panneaux solaires photovoltaïques sont installés sur le toit ou dans un endroit exposé au soleil. Ces panneaux sont constitués de cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Lorsque la lumière du soleil frappe les cellules photovoltaïques, elle excite les électrons qui circulent dans un circuit électrique, produisant ainsi un courant électrique continu.

L'onduleur est utilisé pour convertir le courant continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif utilisable pour faire fonctionner les appareils électroménagers. Une partie de l'électricité produite, excédentaire par rapport à la consommation du bâtiment en électricité à partir des panneaux solaires, est dirigée vers un électrolyseur. Cet électrolyseur utilise cette électricité pour décomposer l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en hydrogène ( $\text{H}_2$ ) et en oxygène ( $\text{O}_2$ ) via un processus appelé électrolyse. L'hydrogène produit est stocké dans des réservoirs spécialement conçus pour stocker ce gaz inflammable en toute sécurité. Ces réservoirs

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

peuvent être placés près du bâtiment ou dans un endroit dédié. Cet hydrogène est utilisé comme carburant pour les voitures, et en cas de surplus, il est vendu à la société réseau électrique.

Lorsqu'il y a besoin d'électricité, l'hydrogène stocké est dirigé vers une pile à combustible. Dans la pile à combustible, l'hydrogène réagit avec l'oxygène dans l'air pour produire de l'eau, de la chaleur et de l'électricité. Ce processus est appelé réaction d'oxydoréduction. En résumé, l'énergie solaire est convertie en électricité, une partie de cette électricité est utilisée pour produire de l'hydrogène à partir de l'eau via l'électrolyse, et cet hydrogène est utilisé dans une pile à combustible pour générer de l'électricité lorsque nécessaire. En cas de déficit d'électricité produit par les panneaux solaires et l'hydrogène, nous achetons de l'électricité auprès de réseau électrique.

#### Y3.3. Description du cas à étudier

Un habitat individuel choisi pour faire le but de notre travail de 120 m<sup>2</sup>. Cet habitat est composé d'un salon 4.00m\*5.00m orienté au Nord-est, trois chambres 3.20m\*4.20m, hall et cuisine 3.50\*2.00m , salle de bain 2.50m\*2.00m avec un garage 5.50m\*3.50m (figure 3.2).

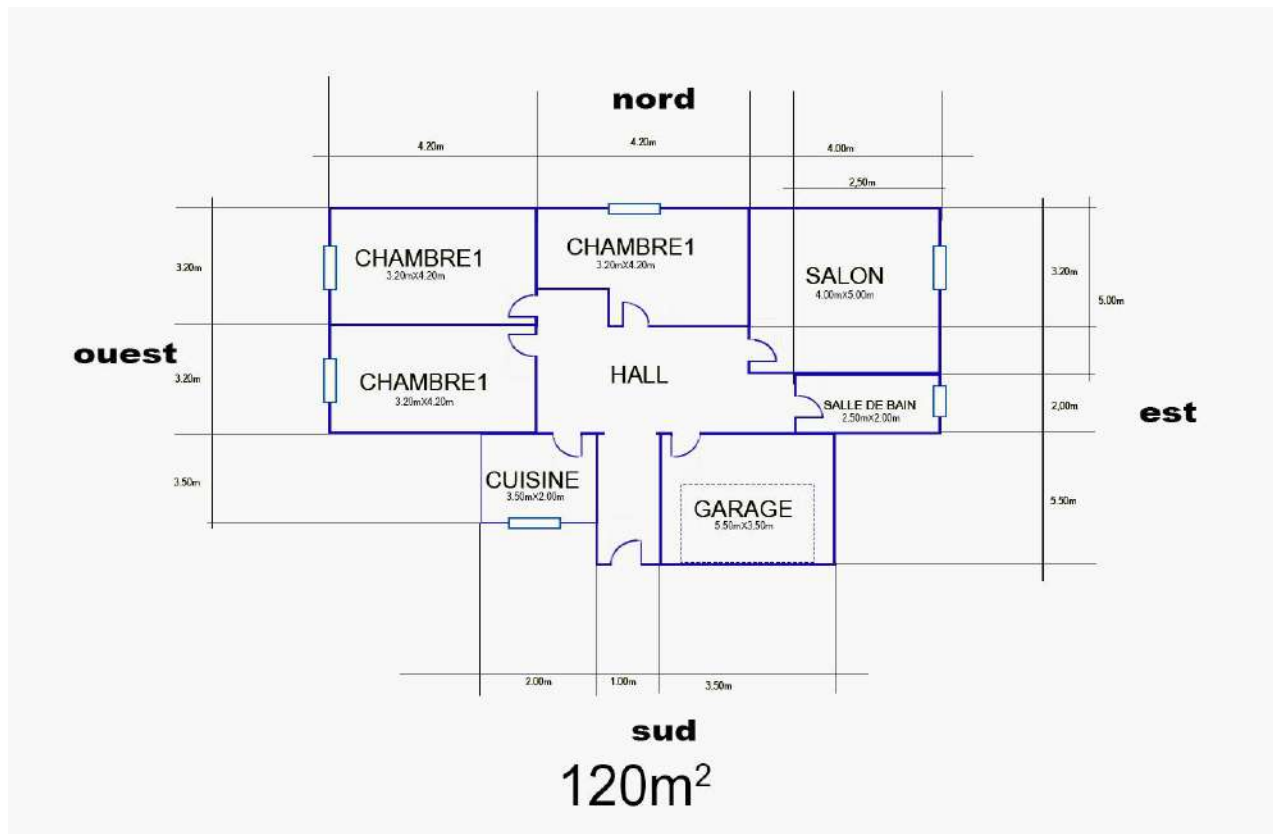


Figure 3.2. Plan de l'habitation

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

La surface extérieure du mur est exposée au rayonnement solaire périodique et à la température de l'air extérieur. La surface intérieure ayant une température constante égale à celle de l'air de la pièce. Le mur extérieur se compose, de l'extérieur à l'intérieur, d'une couche de ciment, brique, espace d'air, brique et couche de plâtre, comme représente la figure 3.3, avec des épaisseurs de chaque matériau utilisé respectivement 2 cm, 2cm,10 cm; 5cm, 15 cm et 2 cm.

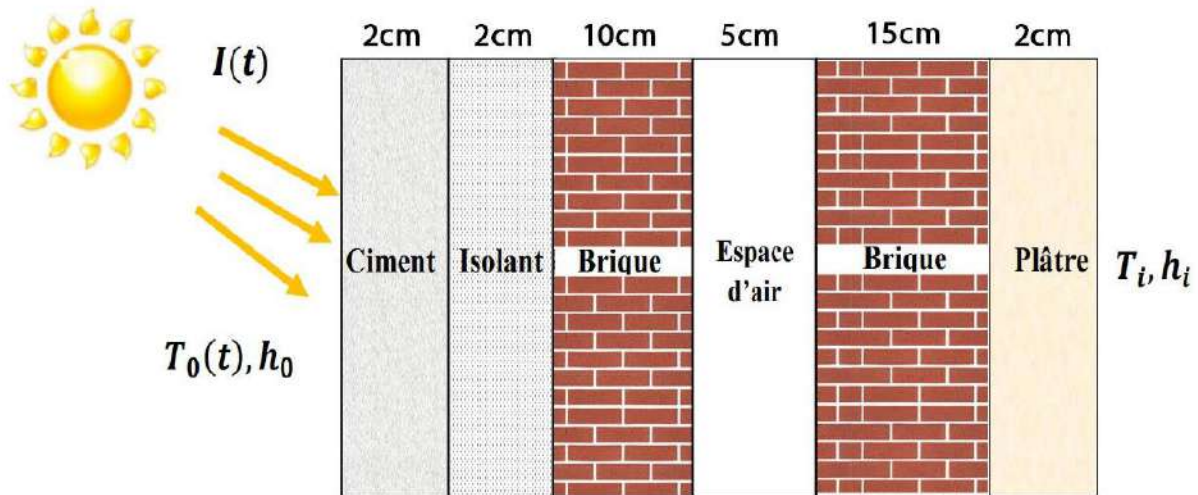


Figure 3.3 : Structure du mur multicouche

#### 3.4. Consommation d'énergie

##### 3.4.1. Consommation d'énergie pour l'éclairage et l'équipement électroménager

La consommation d'énergie pour l'éclairage et l'équipement électroménager ( $E_{\text{élc,éque}}$ , (kWh)) a été estimée comme suit :

$$E_{\text{élc,éque}} = n * P_{\text{élc,éque}} * t_f \quad (3.1)$$

Avec,  $P_{\text{élc,éque}}$  est la puissance des appareils électroménagers (W),  $t_f$  est le temps de fonctionnement des appareils électroménagers (h) et  $n$  le nombre des appareils électroménagers. Le tableau 3.1 représente la puissance des appareils électroménagers utilisés de notre travail.

## Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

**Tableau 3.1.** Puissance électrique de chaque appareil électroménager

Appareils	puissance (W)
Télévision	150
Congélateur	40
Réfrigérateur	39.8
Eclairage	7
Micro-ondes	100
Cuisson	800
Fer à repasser	800
Machine à laver	50

### 3.4.2. Consommation électrique pour l'eau chaude sanitaire

La consommation électrique d'eau chaude sanitaire ( $E_{ECS}$ , (kWh)) peut être calculée comme suit [27] :

$$E_{ECS} = \frac{\rho * Cp * V * (T_{Sortie} - T_{Entrée})}{3600} \times t_f \quad (3.2)$$

Avec

$\rho$  : Masse volumique de l'eau ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$Cp$  : Chaleur spécifique de l'eau ( $\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$V$  : Volume d'eau chaude consommé pour chaque personne ( $\text{m}^3/\text{jour}$ )

$T_{\text{entrée}}$ : Température de l'eau d'entrée ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{\text{Sortie}}$ : Température de sortie de l'eau

### 3.4.3. Consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation

La consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation est calculée comme suit :

$$E_c = \frac{HDD \times U \times S}{\eta_s} \times t_f \quad (3.3)$$

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

$$E_r = \frac{CDD \times U \times S}{COP} \times t_f \quad (3.4)$$

Avec,  $HDD$  et  $CDD$  sont les degré-heure de chauffage et de climatisation ( $^{\circ}C$  heure),  $\eta_s$  Rendement du système de chauffage,  $S$  est la surface utile ( $m^2$ ),  $U$  est le coefficient global de transfert thermique ( $W/m^2^{\circ}C$ ) et  $COP$  est le coefficient de performance de dispositif de climatisation [28].

#### 3-4.4. Consommation d'énergie par automobile léger

Selon des études, la distance moyenne parcourue par une voiture moyenne en un an est de 10220 km, 851,67 km en un mois et 28 km en un jour.

Le hydrogène véhicule (HV) est modélisé sur la base d'un produit commercialisé, la Toyota Mirai 2019, avec un stockage complet d'hydrogène de 5 kg à 700 bars et suffisant pour une autonomie de croisière de 502 km[29].

Donc pour chaque 28 km (jour) il y a besoin de 0.28 kg de  $H_2$  et pour 10220 km (1 an) besoin de 101.8 kg de  $H_2$ .

### 3.5. Modélisation du système énergétique hybride

#### 3.5.1. Energie produite par un module photovoltaïque

Les données d'irradiation globale sur une surface inclinée, la température ambiante et les spécifications du fabricant sont utilisées pour évaluer la quantité d'énergie produite par un générateur photovoltaïque. La quantité utilisée pour le module photovoltaïque spécifique est calculée en utilisant la formule suivante.

$$P_{PV}^t = \eta_{PV} * S_{PV} * G^T \quad (3.5)$$

Avec  $\eta_{PV}$  représentant le rendement d'un générateur photovoltaïque,  $S_{PV}$  étant la surface totale du module photovoltaïque ( $m^2$ ), et  $G^T$  désignant l'irradiation solaire globale du lieu considéré

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

(en Wh/m<sup>2</sup>). Le rendement d'un générateur photovoltaïque, Les caractéristiques techniques des panneaux utilisés sont décrites dans le tableau ci-dessous. [28]

**Tableau 3.2 : Caractéristiques techniques des panneaux utilisés**

Type	Puissance crête (W)	Surface unitaire (m <sup>2</sup> )	Rendement (%)
Panneau condor CEM240P-60	240	1.46	16.4

#### 3.5.2. Energie produite par l'électrolyseur

Le surplus d'énergie sera utilisé pour la production d'hydrogène par électrolyseur. L'électrolyse de l'eau est la décomposition de l'eau (H<sub>2</sub>O) suite à l'application d'un courant électrique entre deux électrodes. Cette réaction peut être représentée par:



La production d'hydrogène dépend de l'énergie électrique fournie et de l'efficacité de l'électrolyseur. La quantité d'hydrogène produite peut être déterminée à l'aide de l'équation suivante :

$$m_{H_2} = \frac{E_{EL} \cdot \eta_{EL}}{E_{H_2-SPEC}} \rightarrow E_{EL} = \frac{m_{H_2} \cdot E_{H_2-spec}}{\eta_{EL}} \quad (3.7)$$

$E_{EL}$  Représente l'énergie entrante dans l'électrolyseur (kWh),  $\eta_{EL}$  est rendement de l'électrolyseur, et  $E_{H_2-SPEC}$  est la densité énergétique de l'hydrogène (39.44 kWh/kg) [30]

#### 3.5.3. Système de stockage

Le système de stockage d'hydrogène permet de stocker l'hydrogène produit par l'électrolyseur. La quantité d'énergie hydrogène stockée dans le système de stockage d'hydrogène (HSS) à un moment donné peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$E_{HSS}(t + 1) = E_{HSS}(t) + \xi_{el} \times (E_{pv}(t) - \frac{E_l(t)}{\eta_{inv}}) \times \eta_{el} - \xi_{FC} (\frac{E_l(t)}{\eta_{inv pv}} - E_{pv}(t)) / \eta_{FC} \quad (3.8)$$

## Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

$$\text{Où } \begin{cases} \xi_{el}, \xi_{FC} \in (0, 1) \\ \xi_{el} + \xi_{FC} \leq 1 \end{cases}$$

où  $E_{HSS}(t+1)$  et  $E_{HSS}(t)$  sont l'énergie stockée (kWh) dans le HSS aux instants (en heures) de  $t+1$  et  $t$ , respectivement. Les variables  $\xi_{el}$  and  $\xi_{FC}$  déterminent respectivement les relations entre l'électrolyseur et le système de stockage d'hydrogène (HSS) et entre le HSS et la pile à combustible (FC). Une seule de ces variables peut être active à un moment donné en fonction de la stratégie de gestion de l'énergie. Lorsque l'énergie produite par le système SDS dépasse la demande,  $\xi_{el}$  est activée, permettant à l'électrolyseur d'utiliser le surplus d'énergie pour générer de l'hydrogène et le stocker dans le HSS. En revanche, lorsque l'énergie produite par le système SDS est insuffisante,  $\xi_{FC}$  est activé, permettant au FC de fournir l'énergie supplémentaire nécessaire pour répondre aux besoins de la charge [31].

### 3.5.4. Energie produite par la pile à combustible

Le système fonctionne principalement en mode de production par pile à combustible lorsque le ciel est nuageux, pendant la nuit ou lorsqu'il n'y a pas de ou lorsqu'il n'y a pas suffisamment de lumière du soleil. L'hydrogène stocké dans le HSS est transféré dans la pile à combustible, où il peut être utilisé pour produire de l'électricité par la recombinaison de l'hydrogène et de l'oxygène, comme indiqué dans l'équation 3.9 :



Dans cette étude, une pile à combustible à membrane d'échange de protons est utilisée comme source de production. L'énergie électrique produite par la pile à combustible peut être déterminée à l'aide de l'équation suivante :

$$|E_{FC}(t)| = \eta_{FC} \times |E_{H_2}(t)| \quad (3.10)$$

Où  $\eta_{FC}$  est l'efficacité de la pile à combustible [32].

### 3.5.5. Réseau électrique

Lorsque le système photovoltaïque et le système de stockage d'hydrogène ne suffisent pas. Les besoins énergétiques, le réseau électrique sont utilisés pour combler le déficit d'énergie. En

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

Algérie, le tarif d'achat de l'électricité est de 0,05 \$/kWh. En cas de disponibilité d'export l'électricité au réseau, le taux de vente de l'électricité est supposé être le même [32].

#### 3.6. Résultats

La figure 3.4 présente la profile d'énergie journalière consommée durant un jour type en mois juillet. Pour la ville de Ouargla.



Figure 3.4. Profile d'énergie journalière consommée durant unjourtype en mois juillet.

La figure 3.5 présente la profile d'énergie journalière l'énergie produite par le photovoltaïque durant un jour type en mois juillet. Pour la ville de Ouargla.

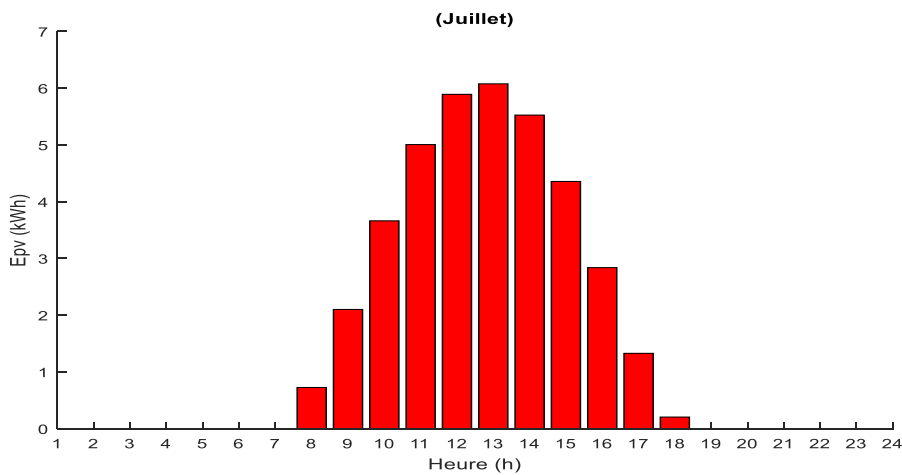
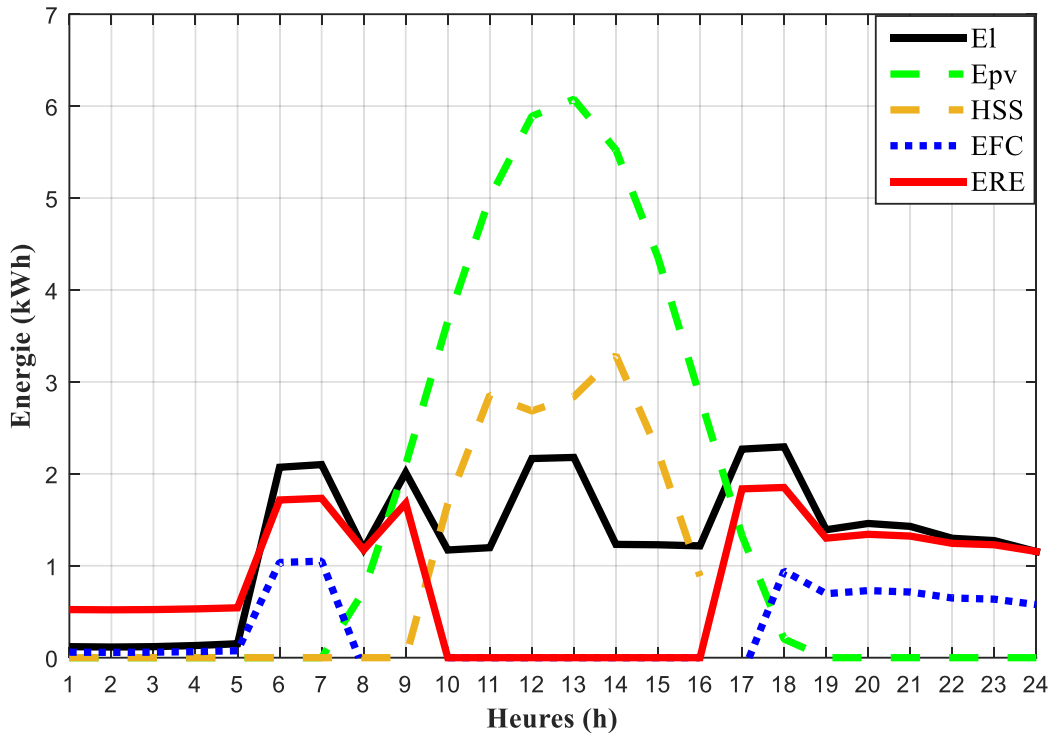


figure 3.5. Profile d'énergie journalière l'énergie produite par le photovoltaïque durant un jour type en mois juillet.

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

Après avoir obtenu les besoins énergétiques d'un habitat étudié, une étude sur la détermination le nombre de modules photovoltaïques, qui correspondent au coût minimal de l'installation pour convertir ce bâtiment à un bâtiment à énergie positive.

La figure 3.5 représente l'énergie consommée d'un habitat et le flux d'énergie horaire pendant un jour type en mois juillet.



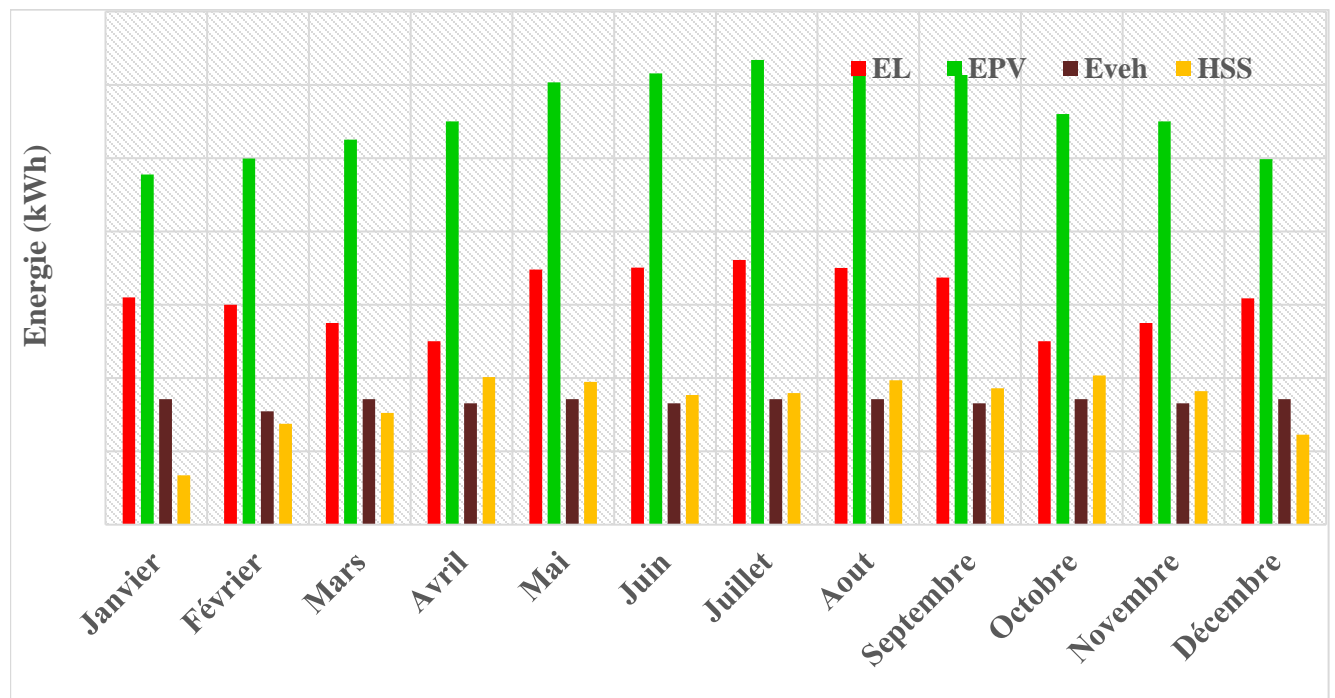
**Figure 3.6** .Énergie consommée d'un habitat et le flux d'énergie horaire pendant un jour type en mois juillet.

D'après la figure ci-dessus, nous observons, pendant l'heure de 1:00 du matin à 9 :00 du matin, que les besoins énergétiques sont obtenus par la pile à combustible et le réseau électrique en l'absence de l'irradiation solaire, donc l'absence de production d'énergie. Nous observons que, pendant l'heure de 10 :00 du matin à 16 :00 du soir, les besoins énergétiques sont obtenus par l'énergie produite par le panneau photovoltaïque. Comme on le constate, le système de stockage d'hydrogène est chargé par l'hydrogène dans chaque heure durant cette période.

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

Pendant l'heure de 17 :00 du soir à 12 :00 du matin que les besoins énergétiques sont obtenus par la pile à combustible et le réseau électrique en l'absence ou faible de l'irradiation solaire, donc l'absence de production d'énergie.

La figure 3.6 représente les besoins énergétiques d'un habitat ( $E_{el}$ ) et le véhicule ( $E_{veh}$ ), l'énergie produite par le photovoltaïque ( $E_{pv}$ ) et l'énergie d'hydrogène stockée dans un réservoir d'hydrogène (HSS) pendant chaque mois dans l'année.



**Figure 3.7.** Besoins énergétiques d'un habitat et le véhicule, l'énergie produite par le photovoltaïque et l'énergie d'hydrogène stockée dans un réservoir d'hydrogène.

Le système hybride d'énergie pour atteindre un bâtiment à énergie positive, qui rassemble un électrolyseur et un générateur PV poly cristallins d'une puissance de 3.6 kW composé de 15 modules de puissance unitaire de 240 W, qui correspond à une surface de 21.9 m<sup>2</sup> de toiture.

Dans les bâtiments à énergie positive, la production annuelle d'énergie renouvelable est supérieure à la consommation annuelle pour tous les usages domestiques.

### Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène

Le tableau 3.3 représente l'énergie mensuelle consommée, l'énergie produite mensuellement par le un générateur PV et l'énergie d'hydrogène stockée dans un réservoir d'hydrogène.

**Tableau 3.3...**Energie mensuelle consommée, l'énergie produite mensuellement par le un générateur PV et l'énergie d'hydrogène stockée dans un réservoir d'hydrogène.

Mois	EL (kWh)	EPV (kWh)	Eveh(kWh)	HSS (kWh)
Janvier	620.44	955	342.24	154.71
Février	600.34	999	309.12	275.44
Mars	550.43	1050	342.24	304.88
Avril	500.22	1100	331.2	402.52
Mai	695.84	1207.016	342.24	389.48
Juin	700.89	1230.84	331.2	354.11
Juillet	722	1267.83	342.24	359.07
Aout	700.42	1260.83	342.24	393.96
Septembre	674.025	1226.94	331.2	372
Octobre	500.22	1120	342.24	407.09
Novembre	550	1100	331.2	364.47
Décembre	617.23	997	342.24	265.86
Annuel	7432.055	13514.456	4029.6	4040.59

Il semble que chaque mois, la production d'énergie des bâtiments dépasse la consommation, avec une valeur maximale de production atteignant 1267.83 kWh en juillet, il y a eu un excédent considérable de 545.805 kWh, alors que la consommation des bâtiments en énergie était de 722 kWh. Cette corrélation linéaire avec la production d'énergie solaire est notable.

L'intégration de système d'énergie renouvelable dans la maison étudiée permettra la production d'une énergie annuelle d'environ 13514.456 kWh. Dans ce cas et sur une base annuelle, l'énergie produite dépasse la consommation totale du bâtiment (13514.45kWh), donc, le but à atteindre un bâtiment à énergie positive a été réalisé. Nous aurons un excès d'énergie annuelle

### **Chapitre 3 : Bâtiment à énergie positive et Véhicule à hydrogène**

d'environ 6082.4 kWh qui correspond à presque 4040.59 kWh d'énergie d'hydrogène qui sert à alimenter le véhicule de maison.

#### **3. 7. Conclusion**

Ce chapitre montre la possibilité de convertir une maison individuelle à basse consommation d'énergie vers un bâtiment à énergie positive, cette maison située dans la ville de Ouargla. Pour cela, une simulation numérique a été réalisée avec l'outil MATLAB ; pour atteindre cet objectif, on utilise un système hybride comportant un électrolyseur et un module PV poly cristallin de puissance unitaire de 240 W. Dans cette étude, on peut conclure que le système hybride d'énergie pour atteindre un bâtiment à énergie positive et alimenter les besoins énergétiques de véhicule de cet habitat comporte un électrolyseur et un générateur PV poly cristallin d'une puissance de 3.6 kW composé de 15 modules de puissance unitaire de 240 W, qui correspond à une surface de 21.9 m<sup>2</sup> de toiture. Alors la technologie de l'énergie solaire et de l'hydrogène offre de grandes opportunités pour une transition vers un avenir plus durable et respectueux de l'environnement.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

### Conclusion Générale

La consommation énergétique nationale en 2023 s'était établie à 50 Mtep, le secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires ayant représenté le plus grand consommateur d'énergie avec 48 % du total suivi par le transport, avec 28 % [3]. L'intégration des énergies renouvelables dans ces secteurs elle permet de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Cette étude a proposé un système hybride de sources d'énergie renouvelable (photovoltaïque (PV) et électrolyseur (EL)) pour réaliser un bâtiment à énergie positive et alimenter les besoins énergétiques du véhicule de cet habitat. Le bâtiment situé dans la ville de Ouargla, caractérisée par un climat chaud et aride. Pour cela, une simulation numérique a été réalisée à l'aide de l'outil MATLAB.

Dans ce travail, on peut conclure que le système hybride d'énergie pour atteindre un bâtiment à énergie positive et alimenter les besoins énergétiques de véhicule de cet habitat comporte un électrolyseur et un générateur PV poly cristallin d'une puissance de 3.6 kW composé de 15 modules de puissance unitaire de 240 W, qui correspond à une surface de 21.9 m<sup>2</sup> de toiture. Pour que nous peut par cette étude économiser environ 30 Mtep de la consommation énergétique nationale. Alors la technologie de l'énergie solaire et de l'hydrogène offre de grandes opportunités pour une transition vers un avenir plus durable et respectueux de l'environnement.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

- [1] : Alegria INVEST est un produit, 2021. [www.algeriainvest.com](http://www.algeriainvest.com).(Consulté le 22 janvier 2022)
- [2] :Ministère de l'énergie (ME), 2022. Bilan Energétique National de l'année 2021.
- [3] :Djeddi S, 2022 , Revue Le Manager Vol. 09 N°3 : 184-229PAR.
- [4] : ChettibiH, 2020.Bâtiment à basse consommation énergétique. Thème de Master Université 08 Mai 1945 de Guelma.
- [5] ::Kamouche F, Mokrane A , December 2022.La politique de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment .de Alegria.
- [6] :Benabdelkader F E,2021,,Potentiel de maitrise de l'énergie dans le domaine des transports en Algérie . Thème de Master .Université KASDI Merbah Ouargla
- [7] :Mohammedi, M.,10 Juillet 2016, Gestion de l'énergie pour une chaîne multi sources. Thème de Master .Université Mohamed Khider.
- [8] : AI, 2017. Salon international des transports, de la logistique et de la mobilité.(Consulte en 2022).de Algérie.
- [9] : A LA ,octobre 2023,convention cadre des nations unies sur le changement climatique. Premier rapport biennal actualise de l'Algérie.
- [10] :Sameur A., Raoueche A. 2007 .Les Perspectives de l'utilisation de l'hydrogène dans le transport en Algérie.
- [11]: BoudriesR..2014.L'hydrogène en tant que carburant dans le secteur du transport Cas de l'Algérie.
- [12]: Mohammed- B, Amal A, 15/06/2023 .Integration of renewable energy sources in Algeria, Realization and perspective.
- [13]:Soumia O, Abdelkader H, Ismahane M, Djaffer S ,Fatiha B2020.international journal of Scientific Research &Engineering Technology (IJSET) .N°4 :130-134
- [14] :Leila L. Fossile Energie in Alegria in the face of a changent environnement LOUKIL Leila Centre Universitaire de Tamanrasset

## Bibliographie

- [15] :Assia H,2016. Le programme des énergies renouvelables en Algérie Vers une efficacité énergétique d'ici 2030.de Algérie .
- [16]:Zheng W, Mark L, Peter H, Jane Matthews, Chunlu L,1May 2024. Performance investigation of transitioning building services system in photovoltaic homes, de Australie
- [17]: Sunliang C et Kari A, 1 February 2018.The techno-economic analysis of a hybrid zero-emission building system integrated with a commercial-scale zero-emission hydrogen vehicle. De Finland
- [18:]: Jia L, 2021. Hybrid renewable energy applications in zero-energy buildings and communities integrating battery and hydrogen vehicle storage. de Chine
- [19]: Jia L, 2021.Energy planning of renewable applications in high-rise residential buildings integrating battery and hydrogen vehicle storage.De Chine
- [20]:Jia L, 2023.Renewable energy design and optimisation for a net-zero energy building integrating electric vehicles and battery Storage considering grid flexibility.de Chine
- [21]: MolinaS., 1 February2024.Evaluation of the environmental impact of HCNG light-dutyvehicles in the 2020–2050 transition towards the hydrogen economy.de Espagne
- [22]:Sanjay K, 2021.Roof integrated photovoltaic for electric vehicle charging towards net zero residential buildings in Australia.
- [23]: Rafaela A, Status, 2020. barriers and perspectives of building integrated photovoltaic systems.de Cyprus
- [24]: Mohammad A. Alim A,2019.Is it time to embrace building integrated Photovoltaic's ? A review with particular focus on Australia.
- [25]:Tatsuya O,2023.Factors affecting the techno-economic and environmental performance of on-griddistributedhydrogen energy storage systems with solar panels.de Japon
- [26] :Said A. Othman A,2015.New design of A Hydrogen Fueling Station Powered By Renewable Energy Sources.de Egypt
- [27]:Touhami B , Mohamed T, Hanane B , Fatima B ,2020.Etude des performances d'un chauffe-eau solaire individuel installé à Oran USTO-MB. Faculté de Mécanique, Laboratoire de Carburants Gazeux et Environnement, Oran, Algérie.
- [28] :Rebha G,16/12/2018.Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à énergie positive en Algérie.Thème de DOCTORAT Université KasdiMerbah Ouargla.

## **Bibliographie**

[29]:Jia L,2021. Hybrid renewable energy applications in zero-energy buildings and communities integrating battery and hydrogen vehicle storage.De la Chine

[30] :Peter V .The potential for integration of hydrogen for complete energy self-sufficiency in residential buildings with photovoltaic and battery storage systems Jan Lokar.Faculty of Energy Technology, University of Maribor. de Slovenia.

[31] :Rebha G,Djilali M ,Nadia S ·Noureddine S ·Bakhta R .Soumia Rahmouni<sup>1</sup> ,Yasmina Mokhbi<sup>1</sup>,2023.Technical and economic assessment of hydrogenbased electricity generation from PV sources in tertiary buildings: a case study of a hospital building in Algeria .

[32] :Charaf M,2020. Design optimization of grid-connected PV Hydrogen for energy presumes considering sector-coupling paradigm: Case study of a university building in Algeri

## Résumé

---

### Résumé :

La consommation d'énergie dans les secteurs du **bâtiment** et des **transports** représente respectivement 48 % et 28 % de la consommation finale d'énergie, Par conséquent, l'impact négatif de ces deux secteurs sur **l'environnement** doit être minimisé par l'utilisation d'énergies **renouvelables** dans les bâtiments pour les bâtiments à **énergie positive** (intégration de l'énergie **photovoltaïque** dans les bâtiments), qui est une solution pour réduire la pollution de l'environnement et un environnement sans émissions, ainsi que pour atteindre l'autosuffisance énergétique au niveau des bâtiments. Elle permet également d'atteindre l'autosuffisance énergétique au niveau des bâtiments et d'obtenir des rendements positifs à moyen ou long terme, et à travers notre étude de l'intégration de l'énergie photovoltaïque dans les bâtiments, nous constatons que l'autosuffisance énergétique a été atteinte dans le bâtiment et le fonctionnement de la voiture à **hydrogène** avec d'assez bons bénéfices, Nous atteignons ainsi notre objectif de réduction des émissions de **CO<sub>2</sub>** et de la pollution de l'environnement.

Mots clés : Bâtiment à énergie positive, véhicule à hydrogène, environnement.

### Abstract:

Energy consumption in the **buildings** and **transport** sectors accounts for 48% and 28% of final energy consumption respectively, It also results in approximately 26% of carbon dioxide emissions, which causes rather severe **environmental** pollution. Therefore, the negative impact on the environment by the two sectors must be minimized through the use of **renewable** energies in buildings for **positive energy** buildings (integration of photovoltaic energy in buildings), which is a solution to reduce environmental pollution and an emission-free environment, as well as to achieve energy self-sufficiency at the level of buildings. It also allows to achieve energy self-sufficiency at the level of buildings and positive returns in the medium or long term, and through our study of the integration of **photovoltaic** energy in buildings, we see that energy self-sufficiency has been achieved in the building and the operation of the **hydrogen** car with fairly good benefits, thus achieving our goal of reducing **CO<sub>2</sub>** emissions and environmental pollution.

Keywords: Net zero building, hydrogen vehicle, environment.

ملخص :

إن استهلاك الطاقة في قطاع المبانى والنقل يمثلان 48% و 28% على الترتيب من الطاقة النهائية , كما انه ينتج عن ذلك ما يقارب 26% من انبعاثات ثنائي اكسد الكربون مما يسبب تلوث بيئي حاد نوعا ما و لهذا يجب الحد من التأثير السلبي على البيئة من طرف القطاعين من خلال استعمال الطاقات المتجددة في المباني من اجل مباني ذات طاقة ايجابية (دمج الطاقة الكهروضوئية في المباني ) و اللتي تعتبر حل من اجل الحد من التلوث البيئي و وسط خالي من الانبعاثات كما تسمح بتحقيق اكتفاء ذاتي من الطاقة على مستوى المباني والخروج بعائدات ايجابية على المدى المتوسط او البعيد و من خلال دراستنا لدمج الطاقة الكهروضوئية في المباني نرى انه تم تحقيق الكفاءة الذاتي من الطاقة في المبنى و تشغيل السيارة هيدروجينية مع تحقيق فوائد جيدة نوعا ما ,و بذلك حققنا مرادنا وهو الحد من الانبعاثات الغازية للثنائي اكسيد الكربون و التلوث البيئي

لكلمات المفتاحية: بناء الطاقة الإيجابية، مركبة الهيدروجين، البيئة.