



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences appliquées
Département de Génie des Mécanique



Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Présenté par

BENSID ABDELHAK

Thème

*Développement d'une méthodologie de
conception de véhicule électrique et de
bâtiments à énergie positive*

Soutenu publiquement le :01/06/2025

Saifi Nadia	Président	Pr	Univ. Ouargla
Reciouï Bakhta	Examinatrice	MCA	Univ. Ouargla
Ghedamsi Rebha	Encadreur	MCA	Univ. Ouargla

Année universitaire : 2024-2025

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu, par Sa grâce les bonnes choses s'accomplissent, et grâce à Sa faveur, les chemins se sont ouverts devant moi jusqu'à atteindre ce stade.

À Dr.Ghdamssi Rabha, mon encadrante respectée, je vous adresse ma profonde gratitude pour votre disponibilité, vos conseils précieux et votre accompagnement constant tout au long de ce travail. Que Dieu vous récompense.

À Mesdames les membres du jury, Dr.Saifi Nadia et Dr.Resioui Bekhta, je vous remercie sincèrement pour votre présence et vos remarques pertinentes qui ont enrichi ce mémoire et lui ont donné toute sa rigueur scientifique.

Et à mon cher ami Yaakoub Merizige, un remerciement tout particulier et sincère pour ton appui constant, ta présence précieuse dans les moments difficiles, et ton aide inestimable. Tu as été un véritable pilier. Mille mercis.

À tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin, je vous adresse ma gratitude la plus sincère

Dédicace

À mes chers parents, qui ont semé en moi les valeurs de la vie, veillé à mon éducation et guidé mes pas... Votre soutien a été mon véritable pilier, et votre amour la lumière de mon chemin. Merci du fond du cœur.

À ma famille, à mes frères et sœurs, à tous ceux qui m'ont soutenu par une parole, une prière, un sourire ou une présence bienveillante... Merci pour votre amour.

À mes amis qui ont partagé avec moi ce long parcours, je vous adresse toute ma reconnaissance pour votre soutien et vos encouragements.

À tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin, je vous adresse ma gratitude la plus sincère

Sommaire

	Page
Nomenclature.....	II
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	VI
Introduction générale.....	1

Chapitre1 : 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	5
1.3. Production nationale d'énergie	6
1.3.1. Production commerciale d'énergie primaire	6
1.3.2. Production d'énergie dérivée.....	7
1.4. Consommation d'énergie.....	7
1.4.1. Consommation nationale totale	7
1.4.2. Consommation Finale.....	8
1.4.3. Consommation par secteur	8
1.4.4. Consommation d'énergie par origine.....	9
1.5. Consommation énergétique dans le secteur du bâtiment.....	9
1.6. Efficacité énergétique.....	10

1.6.1. Principaux déterminants de la demande énergétique dans le bâtiment..	10
1.7. Consommation d'énergie par secteur de transport	11
1.7.1. Axes du secteur des transports en Alegria.....	11
1.7.2. Renouvellement du parc véhicule.....	12
1 8. Impact environnemental	13
1.9. Application d'énergies hybrides dans les bâtiments	15
1.10. Conclusion.....	14

Chapitre2 : étude bibliographique

2.1. Introduction.....	15
2.2. Revue de littérature	15
2.3. Conclusion.....	20

Chapitre3 :Bâtiment a énergie positive et véhicule a électrique

3.1.1. Introduction	21
3.2. Méthodologie	21
3.3. Description du cas à étudier	22
3.4. Consommation d'énergie	24
3.4.1. Consommation d'énergie pour l'éclairage et l'équipement électroménager...24	
3.4.1. Consommation électrique pour l'eau chaude sanitaire	25
3.4.2. Consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation.....	25
3.4.3. Consommation d'énergie par automobile léger.....	25
3.5 Modélisation du système énergétique	25
3.5.1. Energie produite par un module photovoltaïque.....	25
3.5.2. Réseau électrique	26
4. Résultats	27
5. Conclusion.....	32
Conclusion Générale.....	33
Bibliographie... ..	34
Résumé	

Nomenclature

COP	le coefficient de performance de dispositif de climatisation	
C_p	Chaleur spécifique de l'eau	J /kg. °C
ECS	La consommation électrique d'eau chaude sanitaire	KWh
E_c	Consommation d'énergie de chauffage	KWh
E_r	Consommation d'énergie de refroidissement	KWh
E_é	consommation d'énergie pour l'éclairage et l'équipement électroménager	kWh
G^r	l'irradiation solaire globale du lieu considéré	Wh/m ²
n	le nombre des appareils électroménagers	%
P_é	la puissance des appareils électroménagers	W
P_{PV}^t	la quantité d'énergie produite par un générateur photovoltaïque	%
S	la surface utile	m ²
S_{PV}	étant surface totale du module photovoltaïque	m ²
T_é	Température de l'eau d'entrée	°C
T_s	Température de sortie de l'eau	°C
U	la coefficient global de transfert thermique	W/m ² .°C
V	Volume d'eau chaude consommé pour chaque personne	m ³ /jour

Symboles grecques

η_{PV}	le rendement d'un générateur photovoltaïque	%
η_s	Rendement du système de chauffage	%
ρ	Masse volumique de l'eau	kg /m ³

Liste des figures

Figure 1 1.	Structure de la production commerciale d'énergie primaire	7
Figure 1.2.	Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité	8
Figure 1.3.	Répartition de la consommation finale dans le secteur de bâtiment en Alegria	10
Figure 3.1.	Schéma de l'outil d'application	21
Figure 3.2.	Plan de l'habitation	23
Figure 3.3 :	Structure du mur multicouche	23
Figure3.4.	Consommation énergétique de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois de janvier	27
Figure3.5.	Consommation énergétique de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois d'avril	27
Figure3.6.	Consommation énergétique de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois de juillet	28
Figure3.7.	Consommation énergétique de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois d'octobre	28
Figure 3.8.	Profile d'énergie horaire durant un jour type en mois de juillet	29
Figure 3.9.	Flux d'énergie	30

Liste des tableaux

Tableau 3.1. Puissance électrique de chaque appareil électroménager	24
Tableau 3.2. Caractéristiques techniques des panneaux utilisés	26
Tableau 3.3. Energie consommée mensuellement, l'énergie produite par le générateur Photovoltaïque, le surplus d'énergie et le CO ₂ évité	31

INTRODUCTION

GENERALE

Il est désormais largement admis que l'énergie constitue un pilier fondamental du développement humain. Avec l'évolution rapide des technologies, la demande énergétique mondiale ne cesse de croître, rendant la problématique de l'approvisionnement en énergie d'autant plus cruciale, notamment dans les zones isolées où le recours aux sources d'énergie conventionnelles s'avère particulièrement coûteux. Cela est principalement dû à divers facteurs, tels que la difficulté du transport de carburant et le coût élevé de l'entretien des groupes électrogènes, ce qui impose la nécessité de recourir à des alternatives énergétiques plus durables et plus efficaces.

Actuellement, la majorité des systèmes énergétiques repose sur des ressources fossiles telles que le pétrole, le charbon, le gaz naturel ainsi que l'énergie nucléaire. Toutefois, les études récentes alertent sur l'imminence de l'épuisement de ces ressources, tout en soulignant les conséquences environnementales néfastes liées à leur exploitation massive. Dans ce contexte, la transition vers des sources d'énergie renouvelables s'impose comme une orientation stratégique pour répondre durablement aux besoins énergétiques futurs [1].

Les secteurs du bâtiment et de transport représentent plus de 65 % de la consommation d'énergie primaire et sont responsables de 60 % des émissions de carbone dans le monde, ce qui conduit à une urgence de réduire la consommation d'énergie des deux secteurs [2].

Le secteur du bâtiment représente 47% de l'énergie consommée en Algérie, suivi par le transport, avec 29%. Ces secteurs sont responsables plus de 50% 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. La pénétration des énergies renouvelables apporte la solution optimale pour accélérer les progrès de la neutralité carbone, qui favorise la prévalence des véhicules électriques et le développement des bâtiments à énergie positive. En conséquence, il apparut le concept de bâtiments à énergie positive pour répondre à la crise énergétique, défini comme un bâtiment qui peut compenser sa consommation annuelle d'énergie en combustibles fossiles par des énergies renouvelables [3].

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), pour atteindre des émissions nettes nulles, 50 % des bâtiments devraient atteindre des bâtiments à énergie positive d'ici 2040, tandis que 60 % des véhicules devraient être électriques d'ici 2030. Cette étude propose un système de production d'énergies renouvelables, pour réaliser un bâtiment à énergie positive et alimenter les besoins électriques du véhicule dans la région de Ouargla [4].

Introduction générale

Le travail a été divisé en trois chapitres principaux. 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, le pourcentage de consommation de chaque secteur et l'impact environnemental de l'énergie, en plus du programme national d'efficacité 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 électriques.

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 électrique,

Chapitre 1 : Situation énergétique en Algérie

1.1. Introduction

L'utilisation intensive des combustibles fossiles constitue un facteur majeur des émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi au réchauffement climatique et à l'aggravation du changement climatique. La lutte contre ce phénomène représente l'un des défis environnementaux les plus pressants de notre époque. Les études ont montré que les secteurs du bâtiment et des transports figurent parmi les plus grands consommateurs d'énergie. Toutefois, cette consommation peut être significativement réduite grâce à l'adoption de pratiques de conception durable, à l'amélioration de l'efficacité énergétique et au recours accru aux sources d'énergie renouvelables [5].

Dans ce chapitre 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 énergétique. t nous mettons particulièrement l'accent sur l'utilisation des énergies renouvelables (énergie solaire) pour répondre aux besoins en électricité dans les secteurs de l'habitat et du transport.

1.2. Ressources énergétiques en Algérie

L'Algérie est un pays riche en ressources naturelles diversifiées, notamment dans le domaine des hydrocarbures. Elle se classe au 16^e rang mondial pour les réserves de pétrole, ainsi que pour la production en 2019, et au 11^e rang pour les réserves de gaz, avec une 10^e place en termes d'exportation la même année. En 2020, elle a conservé des positions mondiales significatives en matière de réserves prouvées, de production et d'exportation de gaz. L'Algérie joue un rôle stratégique en tant que troisième fournisseur de gaz naturel de l'Union européenne et quatrième fournisseur d'énergie global. En plus de ces ressources, le pays possède d'importants gisements de phosphate, de zinc, de fer, d'or, d'uranium, de tungstène, entre autres. Enfin, l'Algérie dispose également de ressources renouvelables prometteuses [6].

1.2.1. Énergies fossiles

le principal producteur du continent Grâce à ses vastes réserves de pétrole et de gaz naturel, sa superficie de 2 381 741 km² et une population estimée à 34,8 millions d'habitants (soit une densité de 14,5 hab/km²), l'Algérie occupe une position stratégique en Afrique du Nord et à l'échelle internationale. Elle fait partie des dix plus grandes économies du continent africain et joue un rôle clé dans le domaine de l'énergie, en tant que producteur et exportateur majeur de ressources fossiles.

L'Algérie, membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), se classe troisième producteur de pétrole en Afrique, derrière le Nigeria et l'Angola, et onzième exportateur mondial. En 2019, elle occupait également le seizième rang mondial en termes de réserves prouvées et de production. Dans le secteur du gaz naturel, l'Algérie est le premier production a niveau

africain, avec plus de 50 % de la production totale. À l'échelle mondiale, elle se classait dixième en 2020 et figure comme le troisième fournisseur de gaz naturel de l'Union européenne. Au 1er janvier 2017, ses réserves prouvées de gaz naturel étaient estimées à plus de 4 500 milliards de mètres cubes. Dans le cadre de sa stratégie de développement de ce secteur stratégique, l'Algérie met en œuvre des programmes ambitieux en partenariat avec plusieurs grandes compagnies pétrolières internationales telles que BP (British Petroleum), Anadarko Petroleum et Talisman Energy [7].

1.2.2. Énergie solaire

Dotée de plus de 3000 heures d'ensoleillement par an sur l'ensemble de son territoire, l'Algérie dispose d'un des plus grands potentiels solaires au monde. Son gisement solaire théorique est estimé à 170 TWh/an. Plusieurs projets ont été lancés dans le cadre du programme national des énergies renouvelables, notamment dans les wilayas d'Adrar, de Ghardaïa et de Biskra [8].

1.2.3. Énergie éolienne

Le sud algérien bénéficie de vents réguliers, avec des vitesses dépassant 6 m/s, ce qui en fait une zone prometteuse pour l'énergie éolienne. La première ferme éolienne du pays (10 MW) a été mise en service à Kabertène (Adrar). Malgré un développement encore modeste, les études révèlent un potentiel important dans des régions comme Tindouf, Naâma et El Bayadh [8].

1.2.4. Énergie géothermique

L'énergie géothermique constitue l'une des principales sources d'énergie renouvelable dont l'Algérie dispose d'un potentiel important, notamment dans les régions du sud du pays. Cette forme d'énergie repose sur l'exploitation de la chaleur provenant du sous-sol terrestre pour la production d'électricité ou pour le chauffage, et représente une technologie stratégique pour atteindre un développement durable, en particulier dans les zones isolées et montagneuses. Une étude de terrain intitulée « Étude géothermique du Sud de l'Algérie » a révélé que le sud algérien présente un gradient géothermique moyen de 3 °C pour 100 mètres de profondeur, avec des anomalies thermiques significatives ; la région de Béchar, par exemple, enregistre un gradient supérieur à 7 °C/100 m. Cela indique un potentiel thermique important pouvant être exploité dans des applications telles que la production d'électricité, le chauffage des serres, la pisciculture et la balnéothérapie. Ces résultats soulignent l'importance d'investir dans cette source d'énergie renouvelable et la nécessité d'intensifier les recherches géologiques et énergétiques pour identifier les sites d'exploitation optimaux [9].

1.2.5. Bioénergie

La bioénergie représente l'une des alternatives prometteuses dans le cadre de la stratégie de l'Algérie visant à diversifier ses sources d'énergie et à réduire sa dépendance aux combustibles fossiles, notamment face aux défis environnementaux croissants liés aux changements climatiques et à l'augmentation constante de la demande énergétique. Cette forme d'énergie repose sur l'exploitation de la biomasse et des déchets pour produire différents types de biocarburants, tels que le biogaz, le biodiesel et le bioéthanol, offrant ainsi des solutions écologiques et économiques efficaces, en particulier dans les zones rurales [10].

1.2.6. Eau

L'Algérie dispose d'un volume annuel estimé à 18 milliards de mètres cubes de ressources en eau, réparties de manière inégale entre les différentes régions du pays. Le Nord concentre environ 12,5 milliards de m³ par an, dont 10 milliards proviennent des eaux de surface et 2,5 milliards des nappes souterraines renouvelables. En revanche, les régions sahariennes disposent de 5,5 milliards de m³ annuels, comprenant 0,5 milliard issus des eaux de surface et 5 milliards provenant des nappes fossiles. Selon les projections du ministère des Ressources en eau, les besoins hydriques du pays devraient atteindre 12,9 milliards de mètres cubes par an d'ici 2030, contre 10,4 milliards actuellement. Cette hausse est expliquée par la croissance démographique attendue et l'expansion urbaine, avec un taux d'urbanisation estimé à plus de 87 % et une population qui pourrait avoisiner les 50 millions d'habitants à cet horizon. La répartition des besoins projetés pour 2030 se décline comme suit :

- **4 milliards de m³** destinés à la consommation domestique (contre 3,3 milliards actuellement),
- **8,3 milliards de m³** pour le secteur agricole (contre 6,8 milliards actuellement),
- **0,6 milliard de m³** pour les usages industriels (contre 0,3 milliard actuellement).

Afin de satisfaire cette demande croissante, un **Plan national de l'eau** a été élaboré à l'horizon 2030. Ce plan stratégique repose sur la mobilisation accrue des ressources en eau conventionnelles (eaux de surface, nappes renouvelables) et non conventionnelles (dessalement d'eau de mer, exploitation des eaux souterraines profondes), avec une attention particulière portée aux régions en situation de stress hydrique. L'objectif est également de renforcer les infrastructures de transfert et d'interconnexion entre les grands systèmes hydrauliques du pays. Le ministère précise que pour répondre aux besoins de 2030 :

- **45 %** proviendront des barrages,

- **35 %** des unités de mobilisation et de production, incluant notamment les stations de dessalement et les forages sahariens,
- **20 %** des nappes phréatiques du Nord et des Hauts Plateaux, dont la recharge dépendra fortement des conditions climatiques [6].

1.3. Production commerciale d'énergie

1.3.1. Production commerciale d'énergie primaire

La production commerciale d'énergie primaire a atteint 165,4 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2022, enregistrant une légère hausse de 0,6 % par rapport à l'année 2021, où elle s'élevait à 164,4 Mtep,

La croissance de la production a été portée par l'augmentation de la production de l'ensemble des sources d'énergie, à l'exception du gaz naturel dont la production a enregistré un recul de 3,4 %. En ce qui concerne le pétrole brut, la hausse est attribuée à l'augmentation des quotas de production accordés à l'Algérie par l'OPEP, dans le cadre des décisions de l'OPEP, avec un passage de 911 000 barils par jour en moyenne en 2021 à plus d'un million de barils par jour en 2022. Cette progression s'explique également par la mise en exploitation des gisements du Sud de Hassi Messaoud ainsi que par la bonne performance des autres gisements. S'agissant de la production d'électricité primaire à partir des énergies renouvelables (ENR), elle s'est établie à 681 GWh en 2022, enregistrant une légère augmentation de 2,9 % par rapport à 2021. Cette évolution est principalement due à la hausse de la production des centrales hydroélectriques, qui a grimpé de 76 % (de 9 GWh en 2021 à 16 GWh en 2022), favorisée par une pluviométrie modérément supérieure à celle de l'année précédente, ainsi qu'à une hausse de 51 % de la production éolienne (passant de 11 GWh à 16 GWh entre 2021 et 2022) [8]. Cependant, malgré cette progression, la part de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables reste très limitée, ne dépassant pas 1 % de la production nationale d'électricité, laquelle demeure largement dominée par le gaz naturel, représentant 99 % du total. La structure de la production commerciale d'énergie primaire reste également dominée par le gaz naturel à hauteur de 58 %, suivi par le pétrole avec une part de 31 %, comme illustré dans la figure ci-dessous (Figure 1.1) [7].

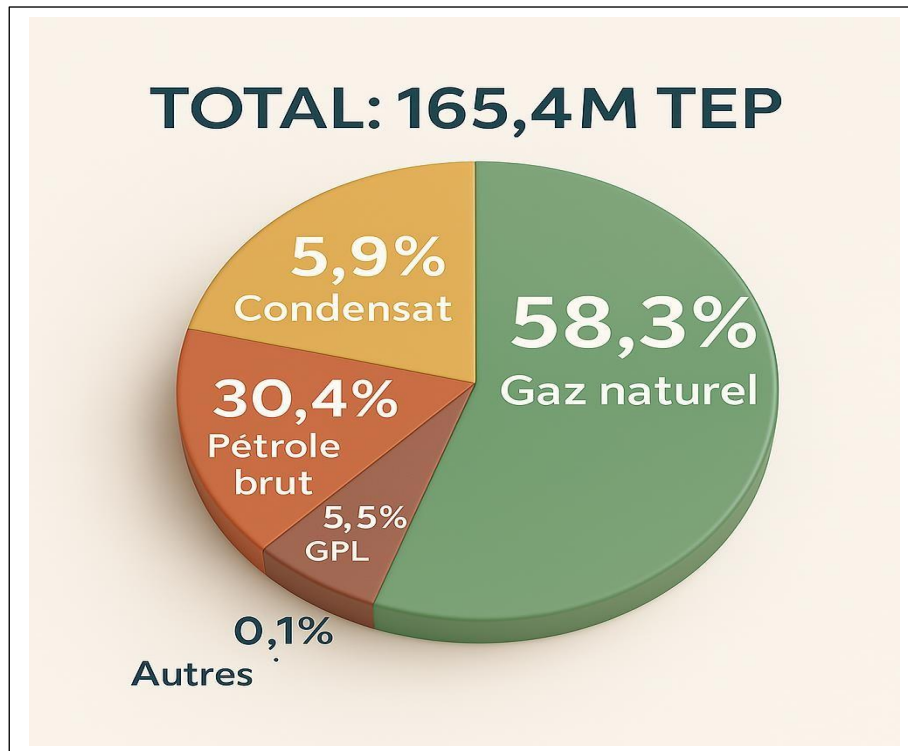


Figure 1.1. Structure de la production commerciale d'énergie primaire.

1.3.2. Production d'énergie dérivée

La production d'énergie dérivée en Algérie a atteint 71,8 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) à la fin de l'année 2023, enregistrant une hausse de 6,8 % par rapport à la même période de 2022. Cette augmentation est principalement due à la progression de la production des unités de liquéfaction du gaz naturel (+27,4 %), suivie de celle de l'électricité thermique (+2,9 %) et des produits pétroliers (+0,6 %), afin de répondre à la demande croissante des clients étrangers ainsi qu'à la couverture des besoins du marché local. [12].

1.4. Consommation d'énergie

1.4.1. Consommation nationale totale

En 2023, la consommation d'énergie a atteint 72,2 millions de tonnes équivalent pétrole, enregistrant une hausse de 3,2 % par rapport à l'année 2022. Cette augmentation est principalement due à la progression de la consommation finale, qui a connu une croissance de 2,1 % [12].

1.4.2. Evolution par forme d'énergie

La consommation d'énergie au niveau national a connu une hausse de 3,2 % en 2023, passant de 69,6 millions de tonnes équivalent pétrole à 72,2 millions de tonnes équivalent pétrole. Cette augmentation est principalement due à la hausse de la consommation d'électricité (3.2 %) et de gaz

naturel (1.6 %) et pétrolier (5.5%) Le gaz naturel reste la principale source d'énergie consommée avec une part de 39 %, suivi de l'électricité (31 %) et des produits pétroliers liquides (22 %) [12].

1.4.3. Consommation Finale

La consommation finale d'énergie en Algérie a atteint 54,2 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2023, contre 53,1 millions de tonnes en 2022, enregistrant ainsi une hausse de 2,1 %. Cette augmentation est due à la croissance de la consommation de la majorité des produits énergétiques, à l'exception du gaz naturel qui a connu une baisse [12].

1.4.4. Consommation par secteur

Le secteur « ménages et autres » demeure le principal consommateur d'énergie finale, représentant 47 % de la consommation nationale totale. Il est suivi par le secteur des transports avec 29 %, puis par le secteur de l'industrie et de la construction, qui enregistre une part de 24%. Cette répartition traduit la forte demande énergétique liée à l'usage domestique (chauffage, cuisson, électroménager), mais aussi la croissance continue du parc automobile et l'essor des activités industrielles [13].

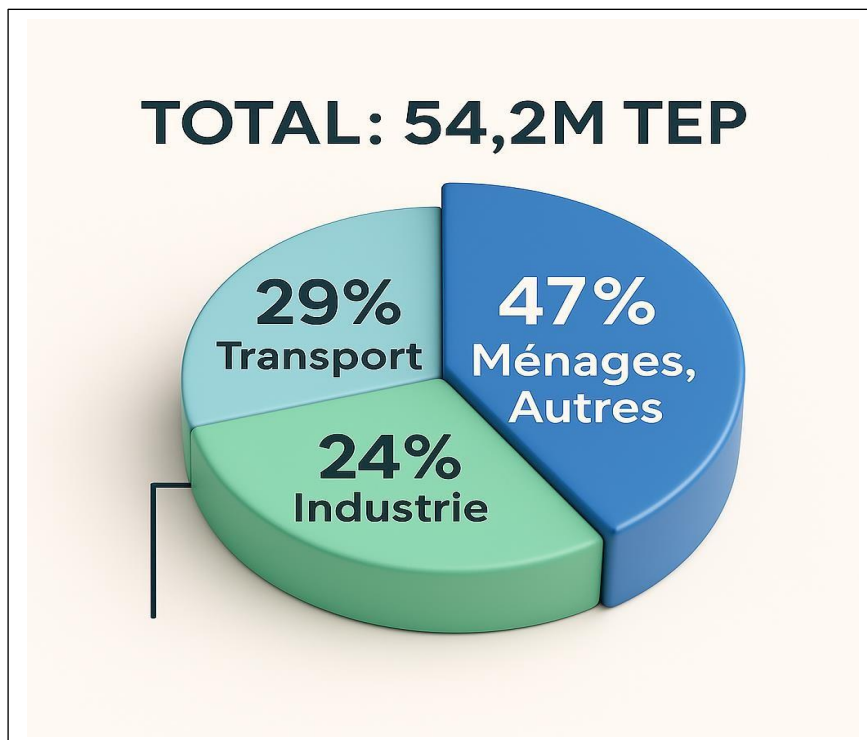


Figure 1.2. Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité.

1.4.5. Consommation d'énergie par origine

L'énergie, qu'elle soit destinée à la consommation domestique ou finale, est produite à partir de plusieurs sources primaires telles que le gaz naturel, le pétrole brut, les condensats, les combustibles solides, ainsi que l'électricité primaire (notamment l'hydroélectricité et l'énergie solaire). Parmi ces sources, la production de gaz naturel est la plus consommatrice d'énergie, représentant environ 74 % de la consommation d'énergie primaire. En ce qui concerne la consommation finale, la part du gaz naturel atteint environ 70 %, ce qui constitue une légère baisse par rapport à sa part dans la consommation nationale globale. Cette forte dépendance au gaz naturel s'explique par son rôle central dans les industries énergétiques (comme la production d'électricité et de chaleur) ainsi que dans les industries non énergétiques [14].

1.5. Consommation énergétique dans le secteur du bâtiment

Le secteur du bâtiment en Algérie représente l'un des principaux pôles de consommation énergétique, avec une part estimée à 47 % de la consommation finale d'énergie. Bien qu'il ne soit pas un secteur productif en soi, il demeure fortement énergivore. Selon les projections du ministère de l'Énergie, la consommation énergétique nationale continue d'augmenter et pourrait doubler d'ici 2030 si aucune mesure d'efficacité énergétique n'est mise en œuvre. À l'intérieur du secteur du bâtiment, le chauffage constitue la plus grande part de la consommation, atteignant 46 %, suivi de la cuisson (22 %), du chauffage de l'eau (13 %), et enfin de la consommation d'électricité domestique (19 %). Ces données soulignent l'importance d'initiatives de rénovation énergétique et de construction durable. (Figure 1.3) [15].

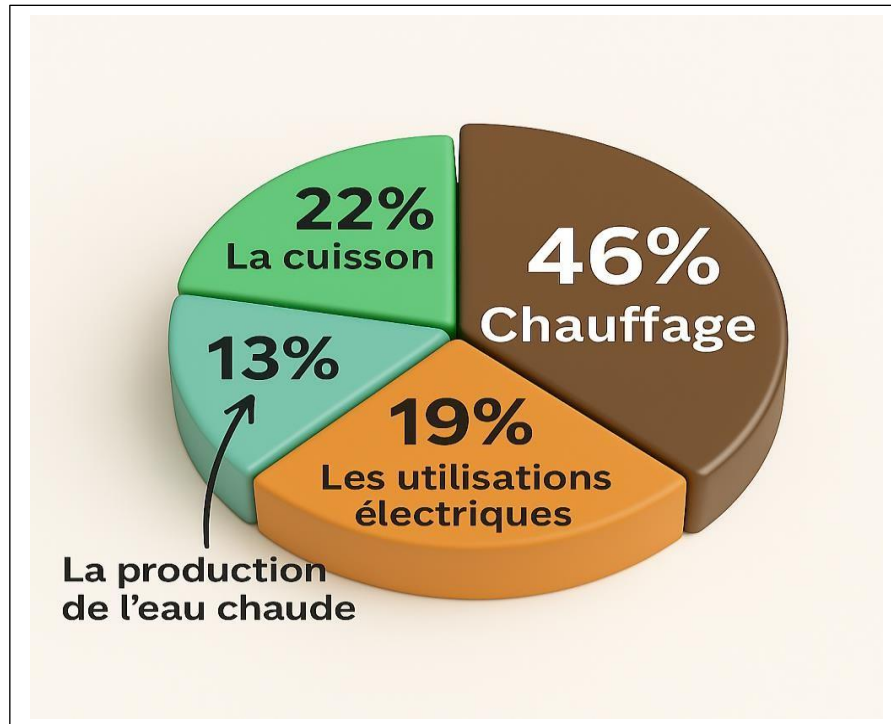


Figure 1.3. Répartition de la consommation finale dans le secteur de bâtiment en l'Algérie.

1.6. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique désigne les méthodes et les technologies permettant de réduire la consommation d'énergie tout en obtenant les mêmes résultats. En d'autres termes, elle consiste à accomplir une fonction donnée en utilisant moins d'énergie, ce qui permet de limiter le gaspillage énergétique. L'efficacité énergétique est cruciale pour atteindre des objectifs de durabilité environnementale et pour réduire les coûts économiques, tout en minimisant l'empreinte carbone. Elle joue un rôle central dans la transition énergétique, en contribuant à la réduction de la dépendance aux sources d'énergie fossiles [16].

1.6.1. Principaux déterminants de la demande énergétique dans le bâtiment

La demande énergétique dans le secteur du bâtiment est influencée par plusieurs facteurs clés. Parmi les plus déterminants figurent la population (qui affecte la taille et l'utilisation des bâtiments), le niveau d'activité (représenté par le niveau d'équipement domestique et industriel), ainsi que la surface du bâtiment. De plus, les choix technologiques (tels que les matériaux utilisés et les systèmes énergétiques installés), l'enveloppe du bâtiment (qui détermine la performance énergétique en termes d'isolation et d'étanchéité) et la performance des équipements (comme les systèmes de chauffage, ventilation, climatisation, et éclairage) sont des éléments essentiels pour évaluer la demande en énergie [17].

1.7. Consommation d'énergie par secteur de transport

Le secteur des transports en Algérie connaît une dynamique de transformation significative, motivée par des impératifs de performance énergétique et de durabilité. Face à une demande croissante en mobilité, les autorités publiques ont initié plusieurs projets structurants visant à moderniser les infrastructures, diversifier les modes de transport (ferroviaire, tramway, transport électrique) et réduire la consommation de carburants fossiles. Ces efforts visent à améliorer l'efficacité énergétique du secteur, à réduire son empreinte carbone, et à contribuer de manière durable au développement économique national [18].

1.7.1. Axes du secteur des transports en Alegria

1.7.1.1. Transport aérien

Le secteur du transport aérien en Algérie constitue un maillon stratégique de la connectivité nationale et internationale. Le pays dispose de 35 aéroports, dont 13 sont internationaux, à la tête desquels se trouve l'aéroport international Houari Boumediene à Alger, qui accueille plus de 6 millions de passagers par an. La compagnie Air Algérie, transporteur national principal, assure environ 6,1 millions de passagers par an avec une flotte composée actuellement de 58 avions commerciaux. Afin de faire face à la croissance de la demande et de renforcer sa compétitivité, l'Algérie a engagé un programme de modernisation ambitieux visant l'acquisition de 35 nouveaux avions d'ici 2025, dans une logique de diversification et de développement durable du secteur [19].

1.7.1.2. Transport maritime

Avec un littoral s'étendant sur 1 200 km, l'Algérie dispose d'un important réseau d'infrastructures maritimes composé de 51 installations portuaires, dont 11 ports de commerce, 2 ports pétroliers, 41 ports de pêche et une marina. Entre 2000 et 2012, l'État a réalisé 19 nouvelles infrastructures portuaires (à usage commercial et halieutique), en plus de 4 plateformes aéroportuaires. Le transport maritime de passagers est principalement assuré par l'ENTMV (Entreprise Nationale de Transport Maritime de Voyageurs), qui possède une flotte de quatre navires : Tassili, Ben Ziyad Roads, Alger et Eros. Cette entreprise recourt également à l'affrètement temporaire de navires pendant la haute saison estivale. En 2016, elle a transporté environ 379 513 passagers, ce qui souligne l'importance croissante du transport maritime dans la stratégie de mobilité nationale [20].

1.7.1.3. Transport ferroviaire et la mobilité urbaine

Le réseau ferroviaire algérien remonte à la période coloniale, conçu principalement pour relier les ports du littoral aux centres urbains, aux zones agricoles et aux exploitations minières de l'intérieur. Aujourd'hui, le réseau est structuré autour de l'axe Nord, qui connecte les grandes villes, ports et zones industrielles d'est en ouest. Bien que le rail ne représente que 7 à 8 % du transport national, il fait l'objet d'un plan de modernisation ambitieux, visant à porter la longueur du réseau de 4 000 à 12 500 km, dont 2 000 km en cours de construction et 6 500 km à l'étude. Ce plan prévoit également l'électrification des lignes, l'amélioration de l'éclairage, et la formation de personnel spécialisé en gestion et maintenance. Par ailleurs, le pays prévoit l'introduction de trains à grande vitesse pouvant atteindre 220 km/h pour les passagers et 120 km/h pour le fret. Sur le plan urbain, le métro d'Alger connaît une expansion majeure, notamment vers l'aéroport à partir d'El Harrach et de Aïn Naâdja jusqu'à Baraki, afin de répondre aux besoins croissants de mobilité urbaine durable [21].

1.7.1.4. Transport routier :

Le réseau routier algérien est l'un des plus développés du continent africain, avec une longueur totale de 112 039 km, incluant 29 573 km de routes nationales et plus de 4 910 ouvrages d'art. Il est structuré autour de deux axes principaux : Est-Ouest et Nord-Sud. Ce réseau supporte près de 87 % du volume total de transport dans le pays, couvrant environ 90 % du trafic de passagers et de marchandises. Environ 93 % du parc automobile algérien est importé, majoritairement d'Europe, tandis que la production locale se limite essentiellement aux véhicules industriels (camions, autobus, tracteurs). On estime que le nombre de véhicules en circulation passera de 8 millions à plus de 20 millions à l'horizon 2025. Le transport routier reste le mode dominant en Algérie, représentant 97 % des déplacements, et 94 % de la consommation énergétique du secteur des transports [22].

1.7.2. Renouvellement du parc véhicule

Le transport terrestre reste le mode de déplacement prédominant en Algérie. D'après les données du ministère des Transports, le nombre d'immatriculations et de ré-immatriculations de véhicules a atteint 909 043 unités au premier semestre de 2019, dont 159 633 véhicules neufs, marquant ainsi une hausse de 22,18 % (environ 165 000 véhicules supplémentaires) par rapport à la même période de l'année précédente, selon l'Office National des Statistiques (ONS). À la fin du premier semestre 2019, le parc automobile national comptait plus de 6,5 millions de véhicules.

En ce qui concerne la répartition selon la source d'énergie, les véhicules à essence dominent le parc avec 65,04 %, tandis que ceux fonctionnant au gasoil représentent 34,96 %. Onze wilayas dépassent

les 100 000 véhicules à essence, avec Alger en tête, dépassant un million d'unités. Pour les véhicules diesel, seules trois wilayas – Alger, Oran et Tizi Ouzou – ont franchi le seuil des 100 000 unités. Dans une dynamique de transition énergétique et de réduction de l'empreinte carbone, l'Algérie s'oriente progressivement vers l'adoption des véhicules électriques. Ce choix stratégique s'inscrit dans une politique nationale de modernisation du parc automobile et de promotion de la mobilité durable. À cet effet, le gouvernement algérien a lancé plusieurs initiatives pour encourager l'importation et la fabrication locale de voitures électriques, ainsi que pour installer un réseau national de bornes de recharge. Cette stratégie vise à généraliser l'usage des véhicules électriques à moyen et long terme, en intégrant pleinement cette technologie dans le tissu urbain et les infrastructures nationales [23].

1.8. Impact environnemental

L'énergie joue un rôle central dans le développement économique, mais elle est aussi l'une des principales sources de dégradation environnementale. En Algérie, un pays riche en ressources fossiles, notamment le pétrole brut et le gaz naturel, le secteur des hydrocarbures reste dominant dans le mix énergétique. Toutefois, ces sources, classées parmi les énergies non renouvelables, libèrent lors de leur combustion des substances polluantes comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et le benzène, contribuant ainsi au réchauffement climatique elle contribue également à l'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone CO_2 émise, qui a atteint 180 millions de tonnes en 2023. Avec les changements climatiques qui deviennent de plus en plus visibles à travers les phénomènes extrêmes (sécheresses, inondations, désertification), l'Algérie s'est engagée dans une transition énergétique vers des sources plus propres et durables. Parmi les projets stratégiques figure le développement des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, avec un potentiel solaire exceptionnel estimé à plus de 3 000 heures d'ensoleillement par an dans plusieurs régions du pays. Dans ce cadre, plusieurs programmes ont été lancés, notamment l'installation de 67 projets de centrales solaires photovoltaïques, thermiques, et éoliennes, hybrides avec le gaz naturel, couvrant plus de 20 wilayas du pays. La capacité installée totale prévue pour ces projets était estimée à 2 357 MW à l'horizon 2020, selon les objectifs du gouvernement dans sa politique de diversification énergétique [24].

1.9. Programme National d'Efficacité Énergétique

Le programme d'efficacité énergétique en Algérie vise à promouvoir une utilisation rationnelle et responsable de l'énergie, en adoptant une consommation efficiente qui contribue à la préservation des ressources naturelles. L'objectif principal de ce programme est de maintenir le même niveau de production de biens et de services tout en réduisant au minimum la consommation d'énergie. Ce programme comprend un ensemble de mesures visant à privilégier la forme d'énergie la plus adaptée

à chaque usage, ce qui nécessite des changements de comportements ainsi qu'une amélioration des équipements et des dispositifs utilisés. Il inclut également l'intégration de mesures d'efficacité énergétique dans des secteurs clés comme le bâtiment, le transport et l'industrie. De plus, il encourage le développement d'une industrie locale dédiée à la fabrication de produits à haute performance énergétique tels que les lampes économiques, les chauffe-eau solaires et les matériaux d'isolation thermique, grâce à des investissements nationaux ou étrangers. L'objectif global de ce programme 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 richesse et la protection de l'environnement [25] .

1.10. Conclusion

La situation énergétique en Algérie se caractérise par une consommation en constante augmentation, notamment dans les secteurs du bâtiment et des transports, ainsi qu'une dépendance quasi totale aux sources d'énergie fossile, ce qui accentue les pressions économiques et aggrave les impacts environnementaux. Dans ce chapitre, nous avons analysé cette réalité énergétique, en mettant en évidence les défis qui y sont liés, notamment la hausse de la demande et la limitation des ressources fossiles. Dans une optique de remédiation à cette problématique, l'accent a été mis sur l'importance du recours aux sources d'énergie renouvelable, en particulier l'énergie solaire, en tant qu'option stratégique en adéquation avec les importantes potentialités naturelles dont dispose l'Algérie. L'adoption de cette orientation représente une étape fondamentale vers la construction d'un système énergétique plus durable et autonome, notamment dans les secteurs à forte consommation comme le bâtiment et le transport.

Chapitre 2 : Etude bibliographique

2.1. Introduction

Le secteur de la construction résidentielle et celui des transports ont suscité un intérêt croissant ces dernières années en raison des émissions de carbone qui nuisent à l'environnement et à la santé humaine. Les véhicules électriques jouent un rôle central dans la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles et dans la diminution des impacts environnementaux du transport. Par ailleurs, les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments constituent une solution efficace pour réduire la consommation d'énergie et favoriser la durabilité des constructions. Dans ce qui suit, quelques travaux en lien avec les objectifs de cette étude seront présentés.

2.2. Revue de littérature

Zheng et al., ont réalisé une étude sur le système d'alimentation électrique des habitations. Cette étude vise à évaluer les avantages du système proposé en termes de performances énergétiques, économiques et environnementales, à travers la conception de trois scénarios distincts pour l'alimentation en électricité, le chauffage et le refroidissement des locaux, ainsi que la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Une maison australienne typique située à Geelong, dans l'État de Victoria, équipée d'un système photovoltaïque de 10 kW, est utilisée comme étude de cas. Les trois scénarios ont été modélisés à l'aide du logiciel TRNSYS, et la production photovoltaïque simulée, le chauffage des locaux et la charge de l'ECS ont été validés à l'aide de données réelles mesurées. Les résultats montrent que le système proposé permet de compenser l'ensemble de la demande en gaz naturel, estimée à 6915 kWh, requise dans le scénario 1 utilisant un système conventionnel à base de combustibles fossiles. Il améliore également l'autoconsommation photovoltaïque et l'autonomie énergétique, en les faisant passer de 18 % à 24 % dans le scénario 1, et jusqu'à 38 % et 75 % respectivement dans les autres scénarios. Après ajustement de la taille des composants selon le principe des rendements décroissants, le système proposé présente une période de retour sur investissement de neuf ans et permet de réduire les émissions de carbone de 67 % par rapport au système conventionnel. Cette étude démontre la capacité du système proposé à électrifier les charges domestiques, contribuant ainsi à un avenir résidentiel décarboné [26].

Jia L et al, ont proposé un modèle d'optimisation de la conception des systèmes d'énergie renouvelable dans le but de promouvoir des bâtiments à consommation nette d'énergie zéro, intégrés avec des véhicules électriques et des batteries de stockage. Un modèle d'augmentation des données de charge du bâtiment a été développé pour obtenir le profil de charge horaire d'un bâtiment du campus, basé sur les données collectées sur site. Une stratégie de gestion de l'énergie pour la protection du réseau

du système d'alimentation et de stockage photovoltaïque (PV) a été proposée, avec de nouveaux indicateurs d'évaluation, tels que le ratio d'utilisation du PV, le ratio d'adéquation de la charge et le facteur de flexibilité du réseau. Des optimisations multi-objectifs ont été réalisées pour déterminer la taille optimale du système d'énergie renouvelable et étudier son impact interactif sur des performances techniques et économiques équilibrées. Les résultats de l'étude montrent que le bâtiment à énergie positive atteint des performances optimales avec une configuration de 1050 kW d'énergie photovoltaïque sur le toit, 300 véhicules électriques et 450 kWh de batteries. L'interaction véhicule-bâtiment, incluant le déchargement des véhicules, améliore la couverture de la charge (+12,08 %), réduit la flexibilité du réseau (-29,63 %) et diminue la facture annuelle d'électricité (- 18,70 %).

Le bâtiment à énergie positive optimal montre une bonne faisabilité technique, économique et environnementale, avec une couverture de la charge (+16,22 %), une flexibilité du réseau (-58,48 %), une réduction de la facture annuelle d'électricité (-27,86 %), des avantages en matière de décarbonation (-34 fois) et une détérioration des véhicules. Le cadre développé pour la gestion et l'optimisation de la conception du système d'énergie renouvelable fournit une voie potentielle pour le bâtiment type du campus vers des opérations sans carbone [27].

Sanjay et al., ont mené une étude visant à évaluer les performances énergétiques, économiques et environnementales des systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV) couplés à la recharge de véhicules électriques, dans un bâtiment situé à Canberra, en Australie. Ces systèmes visent à couvrir les besoins énergétiques du bâtiment, permettre la recharge des voitures électriques, et réduire la dépendance au réseau électrique traditionnel. Différents scénarios de recharge ont été analysés afin d'optimiser la taille du système. Diverses configurations d'installation et orientations de panneaux solaires d'une puissance totale de 5 kW (avec des modules de 355 W chacun) ont été testées. Les résultats montrent que la production annuelle d'électricité varie selon la disposition choisie, atteignant 8,56 MWh pour la meilleure configuration et 7,08 MWh pour la moins performante. Sur le plan économique, le système propose une période de retour sur investissement d'environ 4,46 ans, avec un coût actualisé de l'énergie de 0,074 AUD/kWh et un coût de recharge des véhicules électriques estimé à 0,95 AUD pour 100 km. D'un point de vue environnemental, le système BIPV avec recharge de véhicules électriques pourrait permettre d'éviter environ 160 198 kg de CO₂ sur toute sa durée de vie, renforçant ainsi son rôle dans la transition vers une énergie propre [28].

Raffaëlli A. et al, ont présenté une analyse approfondie des publications scientifiques portant sur les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV). Leur objectif était d'identifier les principaux obstacles et risques liés à l'implémentation de ces systèmes, tout en explorant les perspectives futures et en proposant des recommandations pour orienter la recherche et le développement dans ce domaine. Les principaux obstacles identifiés pour les systèmes BIPV sont:

- Les difficultés liées à l'application du système de tarif de rachat.
- Le manque d'acceptation du public face à cette technologie émergente.
- Le soutien économique insuffisant de la part des gouvernements, notamment en matière de subventions.
- Des défis techniques, tels que les pertes d'énergie et les contraintes architecturales.

À partir de ces constats, les chercheurs ont proposé des perspectives d'avenir en soulignant les nombreuses solutions technologiques nouvelles disponibles dans l'industrie photovoltaïque, avec un fort potentiel d'amélioration dans des domaines comme la conception, la ventilation, l'agencement, l'orientation, la surveillance et la prévision des performances [29].

Mohammad A. et al, ont mené une étude portant sur les avancées récentes des systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV), en mettant l'accent sur les défis rencontrés par l'Australie dans l'adoption de cette technologie. L'étude aborde également les problèmes actuels liés aux émissions de carbone dans le pays, dans le but de sensibiliser la population et de favoriser l'acceptation sociale des solutions d'énergie renouvelable. Une série de recherches expérimentales et de modélisations numériques ont été examinées pour évaluer l'impact des systèmes BIPV sur la performance énergétique des bâtiments. La durabilité et la faisabilité économique de ces systèmes ont aussi été analysées à travers les indicateurs de temps de retour énergétique et économique. Les résultats de l'étude concluent que les systèmes BIPV sont techniquement et économiquement viables en Australie. Leur mise en œuvre pourrait débiter par l'intégration de technologies telles que les tuiles solaires, constituant ainsi une étape prometteuse vers des bâtiments durables et à faibles émissions. Plus de 100 études publiées depuis l'an 2000 ont été analysées, dont une grande partie s'est concentrée sur l'évaluation des performances des systèmes BIPV et sur la ventilation des modules solaires, en raison de l'impact négatif de la température sur l'efficacité des cellules photovoltaïques et le comportement thermique global du système. L'article conclut que bien que la recherche sur la performance et l'optimisation des systèmes BIPV soit encore relativement récente, elle a connu une attention croissante au cours des dernières décennies. Toutefois, leur application

concrète reste encore lente par rapport aux panneaux photovoltaïques classiques montés sur structures fixes [30].

Fonseca D et al., ont réalisé une étude pour concevoir un système énergétique intégré combinant des panneaux solaires installés sur les toits (d'une capacité de 10 kW), des batteries de stockage et une voiture électrique alimentée par une source d'énergie renouvelable, en tenant compte du climat local et de la consommation domestique.

Les chercheurs se sont appuyés sur des données climatiques réelles et sur la consommation électrique quotidienne pour évaluer les performances du système sur une période de 25 ans. Les résultats ont montré que le système intégré pouvait réduire la dépendance au réseau électrique jusqu'à 80 %, tout en générant une économie d'environ 100 dollars par mois par rapport à un système conventionnel entièrement connecté au réseau. L'étude a également démontré que l'installation de ce système devenait économiquement rentable après une période d'amortissement comprise entre 7 et 10 ans, en particulier lorsqu'on bénéficie des incitations fiscales fédérales.

L'étude a également mis en évidence l'importance de la technologie "Vehicle-to-Home" (V2H), qui permet d'utiliser la batterie d'un véhicule électrique comme source d'alimentation de secours pour la maison pendant les pics de consommation ou les coupures de courant, augmentant ainsi l'autonomie et l'efficacité du système global. Les chercheurs concluent que la généralisation de ce modèle pourrait constituer une avancée significative vers une transition énergétique durable et une réduction des émissions de carbone dans les zones résidentielles [31].

Nygaard A a mené en 2014, à l'Université norvégienne des sciences et de la technologie (NTNU), en collaboration avec la société Snøhetta et le Centre de recherche ZEB (Zero Emission Buildings), une étude de terrain et de conception intitulée "ZEB Multi-Comfort House". Ce projet consistait en une maison expérimentale située à Larvik, en Norvège, visant à atteindre l'autosuffisance énergétique, tout en produisant un excédent d'énergie suffisant pour couvrir les besoins domestiques et recharger un véhicule électrique parcourant jusqu'à 20 000 km par an. La conception repose sur un système solaire hybride composé de panneaux photovoltaïques (PV) pour la production d'électricité et de panneaux solaires thermiques pour le chauffage de l'eau, avec un toit incliné à 19 degrés orienté sud-est pour une captation solaire optimale. Le système est intégré à une gestion énergétique intelligente qui pilote les charges, planifie la recharge du véhicule et stocke les surplus dans des batteries, tout en incorporant des techniques d'isolation renforcée et de réutilisation des eaux grises. Les matériaux utilisés sont respectueux de l'environnement, à faibles émissions,

notamment du bois local traité et du béton écologique. Les résultats ont montré que le bâtiment produit plus d'énergie qu'il n'en consomme annuellement, constituant un véritable modèle de bâtiment à énergie positive. Cette étude soutient l'intégration future de l'habitat et du transport électrique dans le cadre des villes intelligentes et durables, en faisant de cette expérience une référence pratique pour l'application des énergies renouvelables dans les climats froids [32].

L'étude a été réalisée en 2023 sous le titre « Étude de cas : Recharge des véhicules électriques et consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels au nord de Chypre » à l'Université du Proche-Orient à Chypre. Cette recherche a été menée par Youssef Qassem Hussein Gokce et Al-Mukhtar Al-Jatlawi, et visait à évaluer la faisabilité technique et économique de l'utilisation de systèmes photovoltaïques solaires pour répondre aux besoins énergétiques des habitations et alimenter les stations de recharge des véhicules électriques.

L'étude s'est appuyée sur des données mensuelles de rayonnement solaire extraites de la base de données de la NASA afin de déterminer le potentiel solaire de la région. Les résultats ont montré que le nord de Chypre dispose de ressources solaires abondantes et stables, ce qui rend l'utilisation de l'énergie solaire une option pratique et efficace. La consommation énergétique quotidienne des habitations et des véhicules électriques a été estimée pour déterminer la capacité nécessaire des systèmes, en plus de la collecte de données sur les prix des équipements tels que les panneaux solaires, les onduleurs et les systèmes de stockage, afin d'analyser la faisabilité économique [33].

2.3. Conclusion

L'examen des études précédentes met en évidence que l'intégration des systèmes photovoltaïques dans les bâtiments, combinée à l'utilisation des véhicules électriques et aux technologies de stockage intelligent de l'énergie, constitue une orientation prometteuse pour atteindre la durabilité dans les secteurs du bâtiment et du transport. Les recherches menées dans divers contextes climatiques et géographiques ont démontré la faisabilité de ces systèmes sur les plans technique, économique et environnemental, ce qui renforce leur potentiel à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à limiter les émissions de carbone. Par ailleurs, ces études ont mis en lumière plusieurs défis, notamment l'acceptation sociale, le soutien gouvernemental insuffisant et certains obstacles techniques liés à l'intégration de ces solutions dans les infrastructures existantes. Néanmoins, les résultats positifs en matière d'amélioration des performances énergétiques, de réduction des factures d'énergie et de raccourcissement des périodes de retour sur investissement, ainsi que les bénéfices environnementaux significatifs, constituent

autant d'indicateurs solides montrant que ces solutions pourraient servir de fondement à une véritable transition vers des habitations et des communautés à faible empreinte carbone. Par conséquent, la recherche et le développement continus dans ce domaine, en synergie avec des politiques incitatives et de soutien, représentent des piliers essentiels pour accélérer la transition vers un modèle énergétique plus durable.

Chapitre 3 : bâtiment a énergie positive et véhicule aélectrique

3.1. Introduction

L'énergie solaire constitue une solution durable et efficace pour la production d'électricité, en convertissant la lumière du soleil en énergie électrique grâce à des panneaux photovoltaïques. Cette source d'énergie naturelle et renouvelable permet de répondre aux besoins en électricité des habitations, notamment dans les régions à fort ensoleillement. Le système solaire proposé repose sur l'intégration de panneaux photovoltaïques avec une batterie de stockage, permettant de conserver l'électricité excédentaire produite pendant les périodes d'ensoleillement maximal, afin de l'utiliser en l'absence de soleil ou lors des pics de consommation. Ce travail étudie la possibilité de transformer un habitat individuel à faible consommation d'énergie en un bâtiment à énergie positive et alimenter les besoins électriques du véhicule dans la région de Ouargla. Une simulation numérique réalisée à l'aide du logiciel Matlab pour évaluer les performances du système solaire doté d'un dispositif de stockage électrique.

3.2. Méthodologie

Le système énergétique étudié consiste en des panneaux solaires (PV) pour la production d'électricité, un onduleur pour la conversion du courant, une batterie pour le stockage de l'électricité et un réseau électrique.

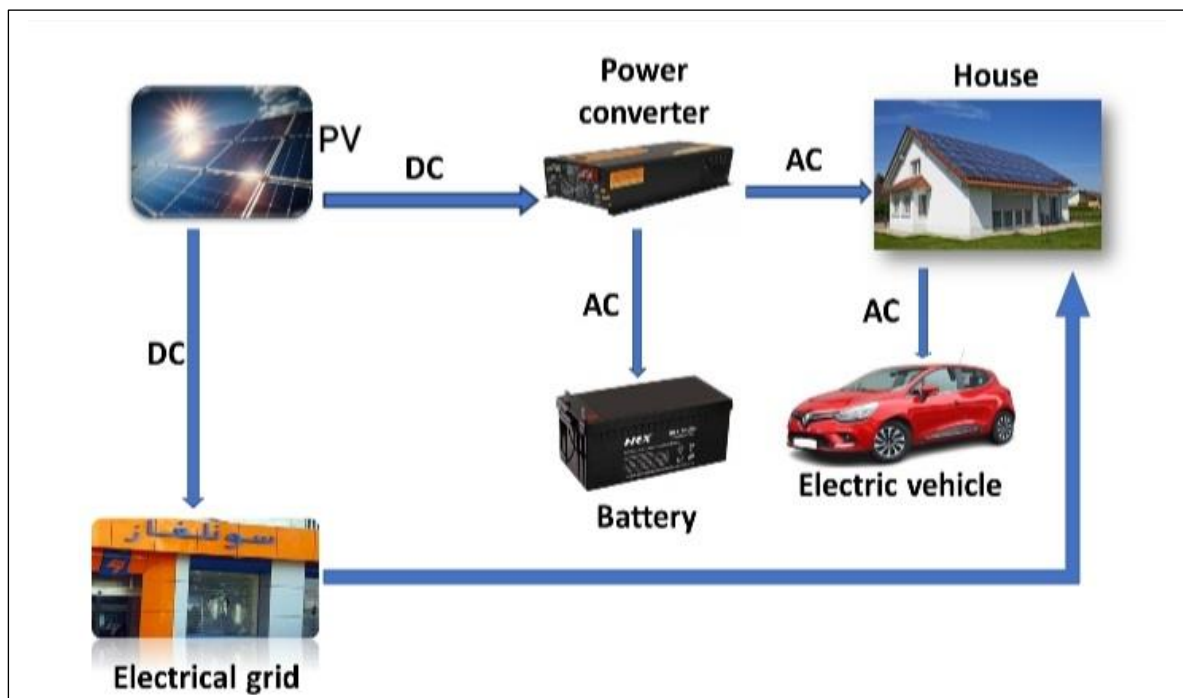


Figure 3.1. Schéma de l'outil d'application.

Ce système énergétique est mis en œuvre à travers les étapes suivantes :

Étape 1 : Collecte de l'énergie solaire

Les panneaux solaires sont installés à un emplacement optimal pour tirer le meilleur parti du rayonnement solaire élevé à Ouargla, qui est caractérisé par un climat chaud et aride. Les panneaux solaires convertissent l'énergie solaire en énergie électrique en courant continu (DC).

Étape 2 : Conversion du courant continu en courant alternatif

La sortie des panneaux solaires est connectée à un onduleur qui transforme le courant continu (DC) en courant alternatif (AC).

Étape 3 : Stockage de l'énergie électrique

Étant donné que la production d'énergie solaire n'est pas constante (en raison des variations du rayonnement solaire entre le jour et la nuit), le surplus de l'énergie électrique est stocké dans des batteries.

Étape 4 : Distribution de l'énergie vers différentes utilisations

Après conversion en courant alternatif et stockage de l'excédent d'énergie, l'électricité est distribuée vers :

- Une maison pour alimenter les besoins énergétiques.
- Une voiture électrique, ce qui réduit la dépendance aux carburants fossiles.
- Le réseau électrique en cas d'excédent de production (nous vendons le surplus d'énergie au réseau électrique).
- En cas d'insuffisance de l'électricité produite par les panneaux solaires, nous achetons de l'électricité auprès de Sonelgaz.

3.3. Description du cas à étudier

Un habitat individuel choisi pour faire le but de notre travail de 140 m². Cet habitat est composé d'un séjour orienté au nord-est, trois chambres, hall, cuisine et salle de bain (figure 3.2).

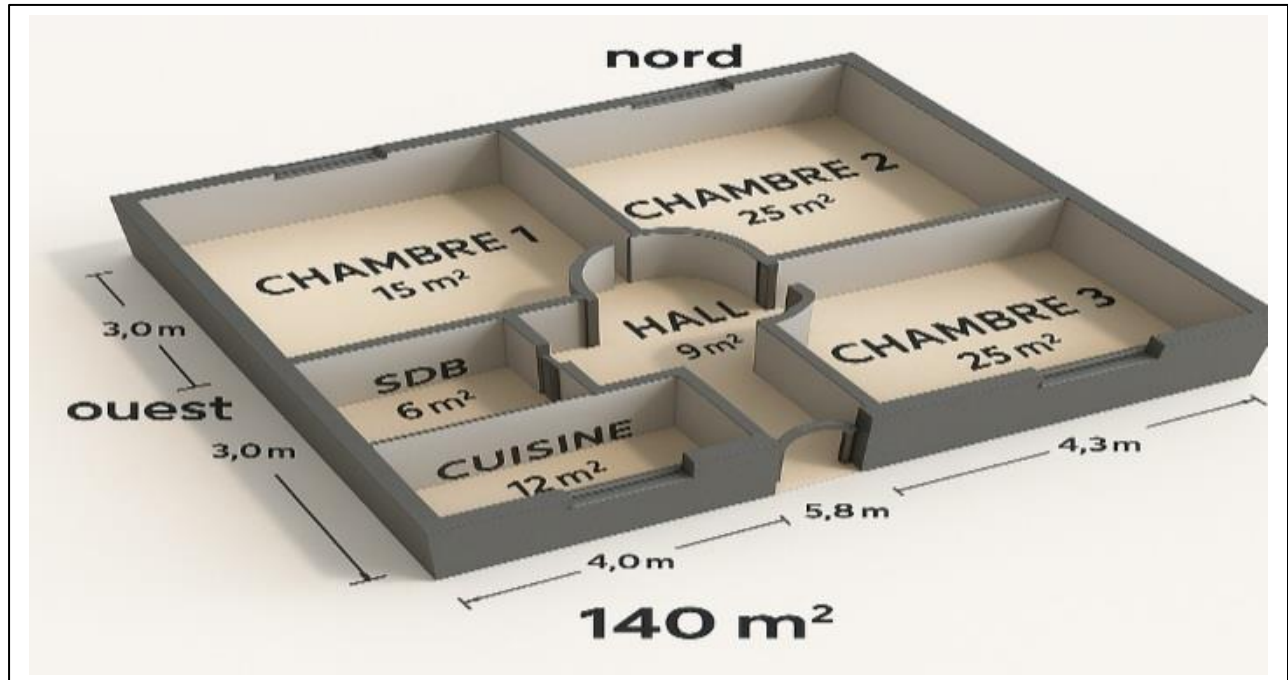


Figure 3.2. Plan de l'habitation

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, 10 cm; 5cm, 15 cm et 2 cm.

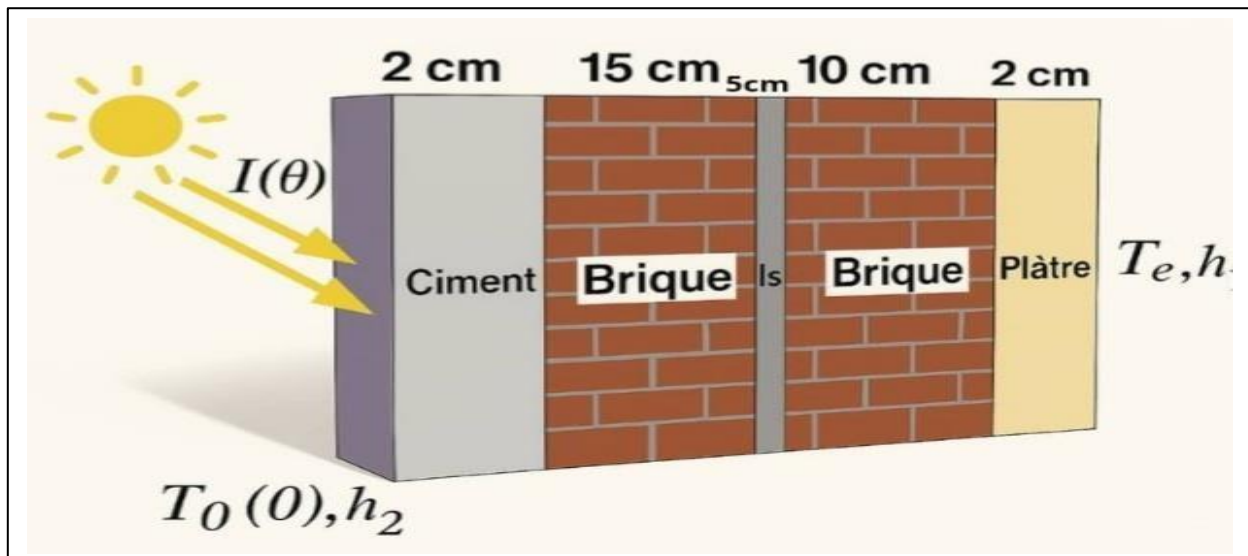


Figure 3.3 : Structure du mur multicouche

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_e , (kWh)) a été estimée comme suit :

$$E_e = n * P_e * t \quad (3.1)$$

Avec, P_e , est la puissance des appareils électroménagers (W), t est le temps de fonctionnement des appareils électroménagers (h) et n est le nombre des appareils électroménagers. Le tableau 3.1 représente la puissance des appareils électroménagers utilisés dans notre travail.

Tableau 3.1. Puissance électrique de chaque appareil électroménager .

Appareils	puissance (W)
Télévision	75
Congélateur	225
Réfrigérateur	130
Eclairage	63
Pompe-eau	1100
Cuisson	800
Chauffe-eau	1500
Climatiseur	2200
Machine à laver	470

3.4.2. Consommation électrique pour l'eau chaude sanitaire

La consommation électrique d'eau chaude sanitaire (E (kWh)) peut être calculée comme suit :

$$E_{ECS} = \frac{\rho * C_p * (T_s - T_E)}{3600} \times t \quad (3.2)$$

Avec, ρ est la masse volumique de l'eau (kg/m^3), C_p est la chaleur spécifique de l'eau ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$), V est le volume d'eau chaude consommé pour chaque personne (m^3/jour), T_E est la température de l'eau d'entrée ($^\circ\text{C}$) et T_s est la 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 :

$$Ec = [(HDD \times U \times S) / \eta_s] \times t \quad (3.3)$$

$$Er = [(CDD \times U \times S) / Cop] \times t \quad (3.4)$$

$$HDD = \sum_{jours} (T_b - T_0)^+ \quad (3.5)$$

$$CDD = \sum_{jours} (T_0 - T_b)^+ \quad (3.6)$$

Avec HDD et CDD sont les degrés-heure de chauffage et de climatisation ($^{\circ}\text{C}$ heure), η_s est l'efficacité du système de chauffage, S est la surface utile (m^2), U est le coefficient global de transfert thermique ($\text{W}/\text{m}^2\text{^{\circ}C}$) et COP est le coefficient de performance de dispositif de climatisation.

3.4.4. Consommation d'énergie par automobile léger

Selon des études, la distance moyenne parcourue par une voiture standard est de 13140 km/an, soit 1095 kilomètres par mois et 36 kilomètres par jour. Le véhicule électrique est modélisé sur la base d'un modèle commercial disponible en Algérie, la Chery eQ1. Ce véhicule est équipé d'une batterie électrique d'une capacité de 40,3 kWh, offrant une autonomie de 408 kilomètres par recharge complète. Cela le rend adapté aux déplacements quotidiens et annuels dans les limites mentionnées. Sur la base d'une distance moyenne quotidienne de 36 km, une seule charge peut couvrir plus de 11 jours d'utilisation normale, ce qui souligne son efficacité énergétique et sa capacité à répondre aux besoins de mobilité dans un environnement urbain ou semi-urbain [35].

3.5. Modélisation du système énergétique

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 :

$$P_{PV} = \eta_{PV} * S_{PV} * G^T \quad (3.7)$$

Avec η_{PV} représentant le rendement d'un panneau photovoltaïque, S_{PV} étant la surface totale du PV (m^2), et G^T désignant l'irradiation solaire globale de la région étudiée (en Wh/m^2). Les caractéristiques techniques des panneaux utilisés sont décrites dans le tableau ci-dessous [36] :

Tableau 3.2. Caractéristiques techniques des panneaux utilisés .

Type	Puissance crête (W)	Surface unitaire (m ²)	Rendement (%)
CEM240P-60	240	1.62	16.4

3.1.1. Réseau électrique

Dans le cas où l'énergie produite est supérieure aux besoins énergétiques de l'habitat et au véhicule électrique, nous vendrons le surplus d'électricité auprès de Sonelgaz. Dans le cas où l'énergie produite est inférieure aux besoins énergétiques, le déficit énergétique est acheté à Sonelgaz. En Algérie, le tarif d'achat de l'électricité est d'environ 0,05 USD/kWh. En cas de surplus de production, l'électricité peut être injectée dans le réseau au même tarif, ce qui renforce la viabilité économique du système [36].

4. Résultats

Les figures suivantes représentent la consommation d'énergie de la maison et du véhicule électrique pendant un jour type pour les mois de janvier, avril, juillet et octobre.

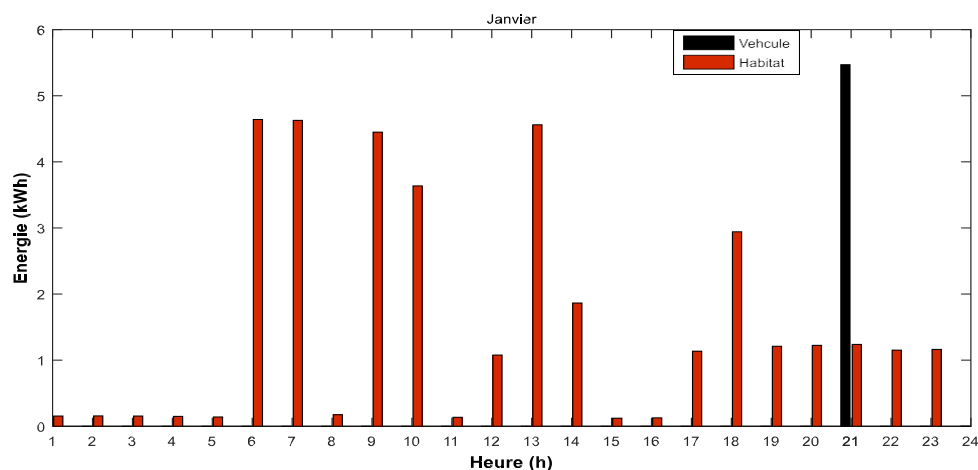


Figure 3.4. Consommation d'énergie de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois de janvier.

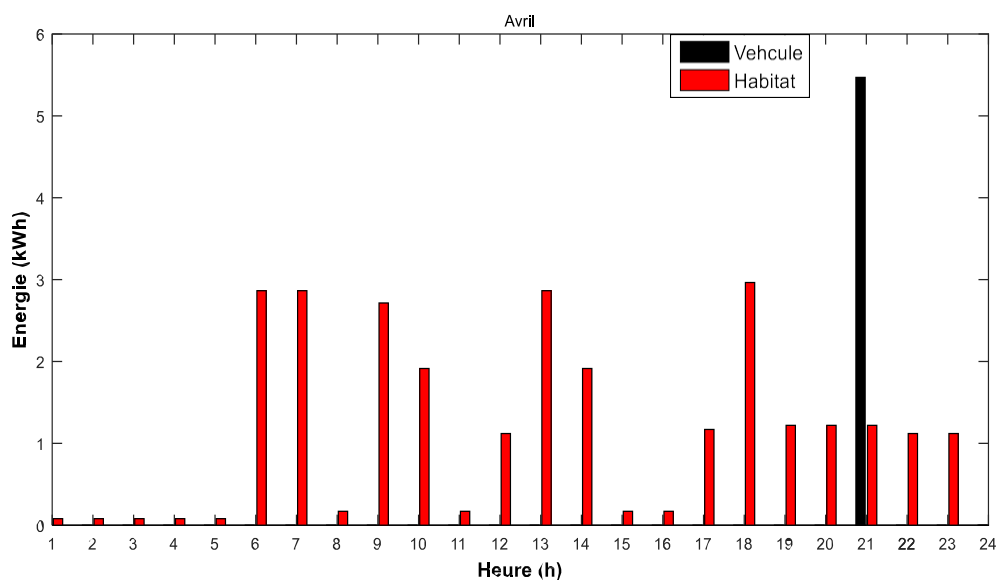


Figure 3.5. Consommation d'énergie de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois d'avril.

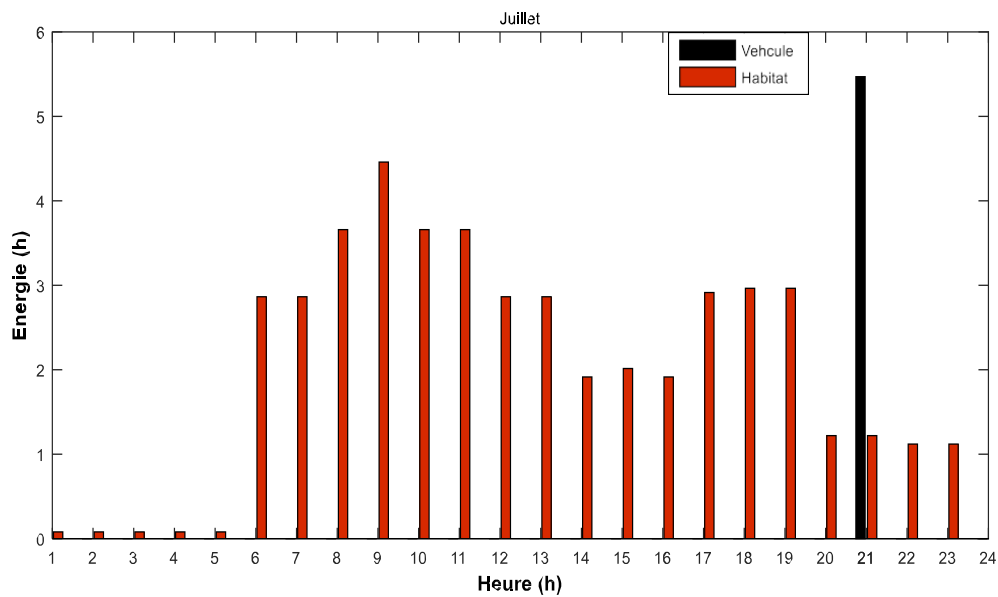


Figure 3.6. Consommation d'énergie de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois de juillet.

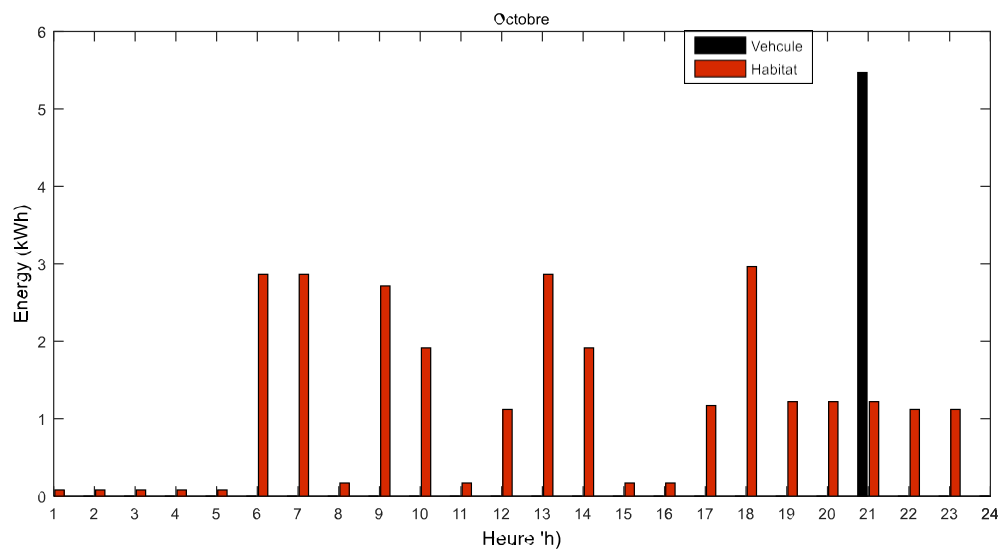


Figure 3.7. Consommation d'énergie de l'habitat et du véhicule électrique pendant un jour type pour le mois d'octobre.

D'après les figures 3.4, 3.5, 3.6 et 4.7, nous remarquons que la consommation d'énergie varie entre chaque mois. Nous notons également que le mois de juillet est le mois où la plus grande quantité d'énergie est consommée en raison du refroidissement à cause du climat chaud et aride de la région. En Algérie, la quantité d'énergie électrique nécessaire à la voiture est constante tout au long de l'année (5.47 kWh). Nous la rechargeons quotidiennement à 21 heures.

La figure 3.8 présente le flux d'énergie au mois de juillet.

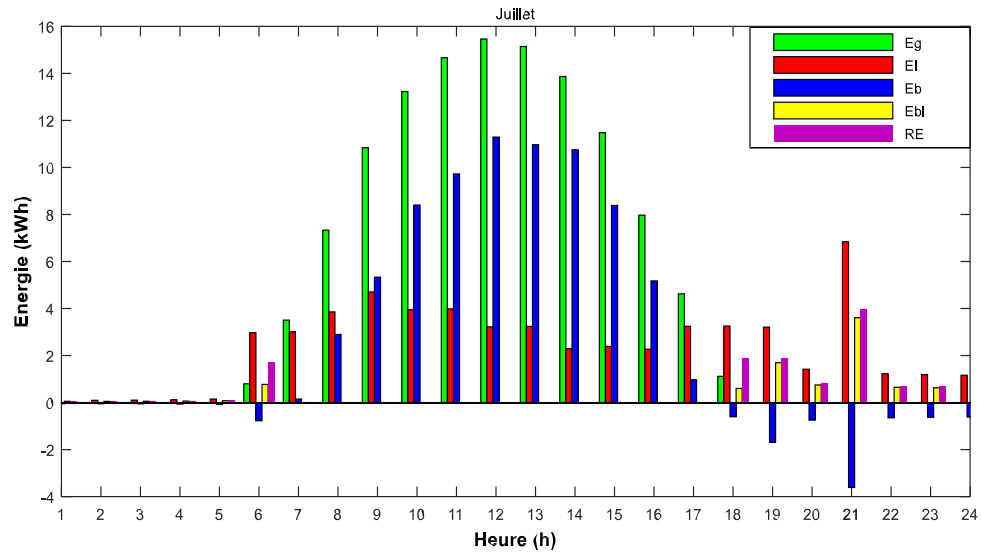


Figure 3.8. Profile d'énergie horaire durant un jour type en mois de juillet.

Période de minuit à tôt le matin (de 0h à 5h) :

Durant cette plage horaire, aucune énergie solaire (Eg) n'est produite. Le système dépend entièrement de la batterie, comme l'indiquent les valeurs positives de l'énergie sortante de la batterie (Eb), utilisée pour couvrir la demande énergétique. La demande (El) est présente de manière continue, reflétant une consommation nocturne. Aucun stockage d'énergie (Eb) n'est enregistré pendant cette période.

Période du matin au coucher du soleil (de 6h à 18h) :

Dès le lever du soleil, la production solaire (Eg) augmente progressivement pour atteindre un pic entre 11h et 13h. Une grande partie de la demande énergétique (El) est alors directement couverte par cette énergie solaire. Le surplus de production est stocké dans la batterie (Eb), ce qui est visible aux colonnes bleues positives. Parallèlement, les valeurs négatives indiquent que la batterie est en phase de décharge.

Période du coucher du soleil à minuit (de 18h à 24h) :

Avec la disparition progressive de la lumière solaire, la production d'énergie diminue jusqu'à s'arrêter complètement. La batterie et le réseau électrique fournissent les besoins énergétiques.

La figure suivante présente l'évolution mensuelle de la consommation, de la production et des échanges d'énergie électrique au cours de l'année.

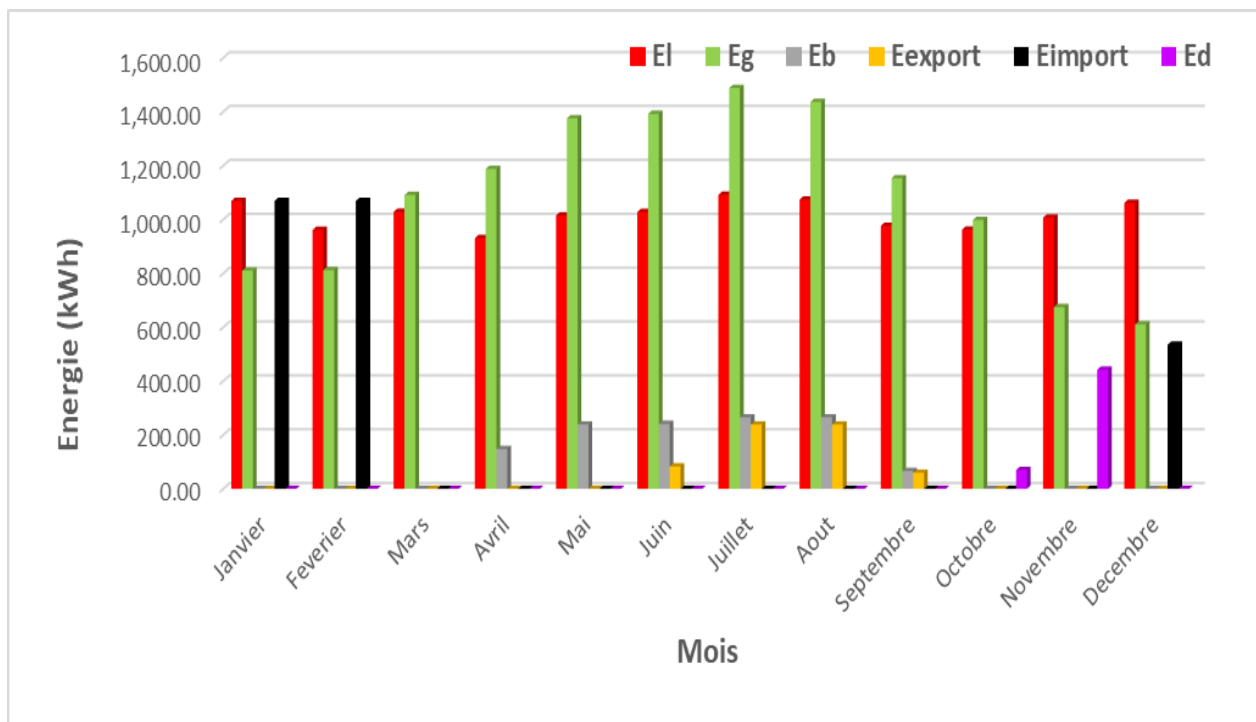


Figure 3.9. Flux d'énergie.

En les mois janvier, février, novembre et décembre, la consommation d'électricité (El) est relativement élevée tandis que la production (Eg) est faible, ce qui nécessite l'importation d'énergie (Eimport) pour compenser le déficit. Au printemps (mars à mai), la production augmente progressivement alors que la consommation reste stable ou diminue légèrement. En été (juin à août), la production atteint son pic. En automne (septembre et octobre), la production baisse progressivement tandis que la consommation augmente légèrement, ce qui entraîne une diminution des exportations.

Le tableau 3.3 présente la consommation d'énergie électrique, à la production issue du système photovoltaïque, ainsi qu'à l'excès d'énergie et aux quantités de dioxyde de carbone évitées (CO₂ évités).

Tableau 3.3. Energie consommée mensuellement, l'énergie produite par le générateur photovoltaïque, le surplus d'énergie et le CO₂ évité.

Mois	Energie consommée (kWh)	Energie produite (kWh)	Surplus d'énergie (kWh)	CO ₂ évités (kg)
Janvier	1 069,31	810,4299	-258.8801	444.1155
Février	961,534	812,3444	-149.1896	445.1647
Mars	1 028,91	1 091,12	62.21	597.9337
Avril	931,152	1 187,91	256.758	650.9746
Mai	1 015,22	1 375,76	360.54	753.9164
Juin	1 028,09	1 392,59	364.5	763.1393
Juillet	1 091,82	1 488,42	396.6	815.6541
Aout	1 074,15	1 437,03	362.88	787.4924
Septembre	976,77	1 153,48	176.71	632.1070
Octobre	962,1904	998,2124	36.022	547.0203
Novembre	1 007,22	675,252	-331.968	370.038
Décembre	1 062,18	610,7868	-451.3932	334.7111
Annuel	12208.5464	13033.3355	824.7891	7142.2678

L'analyse de ces données révèle que le système solaire affiche une performance de production élevée durant la période allant d'avril à septembre, où l'énergie produite dépasse la consommation, générant ainsi un excès énergétique pouvant être stocké dans une batterie ou injecté dans le réseau. Par exemple, cet excès a atteint un maximum au mois de mai avec une valeur de 360,54 KWh, tandis que la plus grande quantité de CO₂ évitée a été enregistrée en juillet (815,6541), ce qui reflète une performance environnementale optimale. En revanche, les mois d'hiver, notamment de janvier à mars et d'octobre à décembre, connaissent une baisse de la production par rapport à la consommation, entraînant un déficit énergétique nécessitant le recours à des sources alternatives ou un renforcement de la capacité de stockage. Sur le plan annuel, la consommation totale s'élève à 12 208,5464 KWh, contre une production de 13 033.3355KWh, soit un excès annuel de 824,7891 KWh, accompagné d'un impact environnemental positif représenté par 7142,27 kg de CO₂ évités. Ces résultats

témoignent de l'efficacité du système photovoltaïque dans la couverture des besoins énergétiques annuels tout en contribuant à la réduction des émissions polluantes.

De ces résultats, nous concluons que nous avons atteint un bâtiment à énergie positive et un véhicule électrique. Le nombre de panneaux requis est 24 modules, ce qui correspond à une surface totale d'environ 39 m² de panneaux photovoltaïques.

5. Conclusion

Ce travail propose un système intégré de production d'énergie renouvelable visant la création d'un bâtiment à énergie positive, capable de couvrir ses propres besoins électriques ainsi que ceux d'un véhicule électrique, dans la région d'Ouargla. Les résultats obtenus permettent de conclure que les objectifs principaux ont été atteints, avec la réalisation effective d'un bâtiment à énergie positive et l'approvisionnement énergétique d'un véhicule électrique. Le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires est de 24 unités, ce qui correspond à une surface totale d'environ 39 m². L'étude montre que ce système contribue efficacement à réduire la dépendance au réseau électrique public, constituant ainsi une étape importante vers l'autonomie énergétique locale. Par ailleurs, la combinaison de l'énergie solaire avec les technologies de stockage de l'énergie électrique représente une opportunité prometteuse pour accompagner la transition vers un modèle énergétique plus durable et respectueux de l'environnement. L'un des indicateurs environnementaux les plus significatifs du projet est la réduction des émissions de CO₂, estimée à 7142,2678 kg (7,1422678TEN) par an, ce qui renforce l'impact positif de cette solution sur l'environnement local et global.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude vise à évaluer la faisabilité de la réalisation d'un bâtiment à énergie positive dans la ville d'Ouargla, caractérisée par un climat chaud et aride, en utilisant un système énergétique hybride combinant panneaux photovoltaïques et batterie de stockage. Ce système a pour objectif de couvrir les besoins énergétiques du bâtiment tout en alimentant un véhicule électrique rattaché à ce dernier.

Une simulation numérique du système a été effectuée à l'aide du logiciel MATLAB. Le système proposé est composé de 24 modules photovoltaïques à base de silicium polycristallin d'une puissance unitaire de 300 W, soit une puissance totale de 5.76 kW, installés sur une surface de 39 m² du toit de la maison, avec une orientation optimisée pour capter au mieux le rayonnement solaire. L'un des indicateurs environnementaux les plus significatifs du projet est la réduction des émissions de CO₂, estimée à 7142,2678 kg (7.14226) par an, ce qui renforce l'impact positif de cette solution sur l'environnement local et global.

Les résultats de la simulation ont démontré l'efficacité de ce système dans l'exploitation de l'énergie solaire abondante dans les zones désertiques, permettant ainsi une grande autonomie énergétique et une réduction significative de la dépendance au réseau électrique public. Ce modèle représente une solution prometteuse et reproductible, capable de contribuer à la réduction de la consommation nationale de combustibles fossiles de plusieurs centaines de millions de tonnes équivalent pétrole par an, favorisant ainsi la transition énergétique et le développement urbain durable.

En conclusion, les avancées dans le domaine des technologies solaires et des systèmes de stockage électrique constituent aujourd'hui un pilier fondamental pour construire un avenir énergétique propre. Elles offrent également un terrain fertile pour la recherche scientifique et les applications futures, notamment dans les régions à fort potentiel solaire. Ainsi, la généralisation de ce type de solutions représente une étape prometteuse vers la réalisation de la sécurité énergétique et de la durabilité environnementale.

Bibliographie

- [1] Louazane ML. Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla [Mémoire de Magister]. 2008.
- [2] Ministère de l'Énergie et des Mines et des Énergies Renouvelables. Bilan énergétique national – Année 2023. Alger (Algérie) : Ministère de l'Énergie et des Mines ; 2024. 233p.
- [3] Ministère de l'Énergie et des Mines et des Énergies Renouvelables. Bilan énergétique national – Année 2022. Alger (Algérie) : Ministère de l'Énergie et des Mines ; 2024. 233p
- [4] Li Y, Senthil Kumar GM, Cao S, Wang S. Electric vehicle-based distant energy sharing between zero-emission coastal office and hotel buildings. *J Build Eng*. 2024.
- [5] International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2023 [Internet]. 2023 [cité 2025 mai 22]. Disponible sur: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>
- [6] Alegria INVEST est un produit. 2021 [Internet]. Disponible sur: www.algeriainvest.com. [Consulté le 22 janvier 2022].
- [7] Boudghene Stambouli A, Khiat Z, Flazi S, Kitamura Y. A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renew Sustain Energy Rev*. 2012;16(7):4445–60.
- [8] Himri Y, et al. Renewable and sustainable energy reviews. 2008 Sep 9.
- [9] Ouali S. Étude géothermique du sud Algérien [Mémoire de Master]. Mars 2006.
- [10] Reciouï B, Meussoudi L, Naili A. La valorisation énergétique de la biomasse en Algérie et perspectives à l'horizon 2050 [Mémoire de Master]. 2018.
- [11] Djeddi S. *Revue Le Manager*. 2022;9(3):184–229.
- [12] Ministère de l'Énergie et des Mines et des Énergies Renouvelables. Bilan énergétique national – Année 2023. Alger (Algérie) : Ministère de l'Énergie et des Mines ; 2024. 233 p.
- [13] Boulalem K. Le rôle du gaz naturel dans le mix énergétique algérien : entre réalité et enjeux futurs [Thèse de doctorat]. Université de Batna 1; 2023.
- [14] Messaoudi A. Efficacité énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie : enjeux et perspectives [Mémoire de Master]. Université de Boumerdès; 2021.
- [15] Mekki N. L'impact de l'efficacité énergétique sur la performance des bâtiments en Algérie [Thèse de doctorat]. Université de Tlemcen; 2022.
- [16] Khaled S. Optimisation de la performance énergétique des bâtiments en Algérie : défis et solutions [Thèse de doctorat]. Université de Tizi Ouzou; 2022.
- [17] Belkacem A. Évaluation des politiques publiques d'efficacité énergétique en Algérie : étude du PNEREE [Thèse de doctorat]. Université de Constantine 1; 2022.

- [18] Boukerch M. Analyse de la consommation énergétique dans le secteur des transports en Algérie : perspectives de transition énergétique [Mémoire de Master]. Université de Boumerdès; 2021.
- [19] Tebbani A. Analyse stratégique du transport aérien algérien face aux mutations mondiales [Thèse de doctorat]. Université d'Alger 3; 2023.
- [20] Mekki S. Analyse stratégique du transport maritime algérien et perspectives d'intégration régionale [Thèse de doctorat]. Université de Skikda; 2022.
- [21] Bensalem N. Développement du transport ferroviaire en Algérie : état des lieux et perspectives [Mémoire de Master]. Université de Constantine 1; 2022.
- [22] Cheriet L. L'évolution du transport terrestre en Algérie et ses enjeux énergétiques [Thèse de doctorat]. Université de Batna 2; 2021.
- [23] Mouhouche A. Le secteur automobile algérien : défis et opportunités de renouvellement du parc véhicules [Thèse de doctorat]. Université de Tlemcen; 2021.
- [24] Bouziane S. L'impact de la transition énergétique sur le développement durable en Algérie [Mémoire de Master]. Université de Tlemcen, Faculté des Sciences Économiques; 2021.
- [25] Khouja Y. Les politiques de rationalisation de la consommation énergétique et les perspectives du développement durable en Algérie [Mémoire de Master]. Université Blida 2 – Lounici Ali; 2021.
- [26] Zheng W, Mark L, Peter H, Matthews J, Chunlu L. Performance investigation of transitioning building services system in photovoltaic homes. Australie; 2024 Mai 1.
- [27] Jia L. Renewable energy design and optimisation for a net-zero energy building integrating electric vehicles and battery storage considering grid flexibility. Chine; 2023.
- [28] Sanjay K. Roof integrated photovoltaic for electric vehicle charging towards net zero residential buildings. Australie; 2021.
- [29] Rafaela A. Status, barriers and perspectives of building integrated photovoltaic systems. Cyprus; 2020.
- [30] Mohammad A, Alim A. Is it time to embrace building integrated Photovoltaic's? A review with particular focus on Australia. 2019.
- [31] Fonseca D, Johnson J, Choi M. Residential Net-Zero Energy Buildings in Florida: Modeling and Economic Analysis. Université de Floride; 2023.
- [32] Nygaard A. ZEB Multi-Comfort House: A Pilot Project for Zero Emission Buildings [Thèse de Master]. Norwegian University of Science and Technology (NTNU); 2014.
- [33] Al-Jatlawi H . Utilization of Solar Energy for Electric Vehicle Charging and the Energy Consumption of Residential Buildings in Northern [Pays non spécifié]; 2023.
- [34] Chery Algérie. Disponible sur: <https://www.cheryalgerie.com> [Consulté le 13 Mai 2025].

- [35] G Rebha . Développement d'une méthodologie de conception à énergie positive en Algérie [Thèse de doctorat]. Université Kasdi Merbah Ouargla; 2018.de bâtiments
- [36] Markvart T, Castañer L. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Elsevier; 2003.
- [37] Aissaoui B. Gestion de stockage d'énergie dans un système photovoltaïque [Mémoire de Master]. Université Abderrahmane Mira – Béjaïa; 2022.

Résumé :

Les secteurs du **bâtiment** et des **transports** figurent parmi les plus grands consommateurs d'énergie, ce qui rend indispensable le recours à des solutions énergétiques durables afin de limiter leurs impacts environnementaux. Dans ce cadre, cette étude vise à évaluer la possibilité de transformer un bâtiment résidentiel en un bâtiment à **énergie positive**, à travers l'intégration d'un système **photovoltaïque** à base de modules polycristallins, couplé à une **batterie** pour le stockage de l'excédent d'énergie électrique. Les résultats obtenus montrent que le système proposé permet d'atteindre l'autosuffisance énergétique du bâtiment, tout en assurant l'alimentation d'un **véhicule électrique** rattaché à l'habitation. Cela permet de réduire la dépendance au réseau électrique public et contribue à la diminution des émissions de **dioxyde de carbone**, constituant ainsi une avancée vers un développement énergétique durable.

Mots clés : Bâtiment à énergie positive, véhicule électrique, photovoltaïque

Abstract:

The **building** and **transport** sectors are among the largest energy consumers, making it essential to adopt sustainable energy solutions to minimize their environmental impact. In this context, this study aims to evaluate the feasibility of converting a residential building into a **Net Zero Energy** building by integrating a **photovoltaic** system based on polycrystalline modules, coupled with a **battery** for storing excess electrical energy. The results show that the proposed system enables the building to achieve energy self-sufficiency while also meeting the energy needs of an **electric vehicle** associated with the residence. This reduces dependence on the public power grid and contributes to lowering **carbon dioxide** emissions, representing a step forward toward sustainable energy development.

Keywords: Net zero building, electric vehicle, photovoltaic.

ملخص

تعدّ قطاعات **البناء** والنقل من أكثر القطاعات استهلاكاً للطاقة، مما يجعل من الضروري التوجه نحو حلول طاقة مستدامة للحد من آثارها البيئية. في هذا الإطار، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية تحويل مبنى سكني إلى مبنى **إيجابي الطاقة** من خلال دمج نظام **كهروضوئي** متعدد البلورات مع **بطارية** لتخزين فائض الكهرباء. وقد أظهرت النتائج أن النظام المقترح يحقق الاكتفاء الذاتي الطاقوي للمبنى، بالإضافة إلى تغطية احتياجات **سيارة كهربائية** مرتبطة به، مما يقلل من الاعتماد على الشبكة العمومية ويسهم في تقليص انبعاثات غاز **ثاني أكسيد الكربون**، في خطوة نحو تحقيق تنمية طاقة مستدامة

الكلمات المفتاحية: بناء الطاقة الإيجابية، مركبة الكهربائية، كهروضوئي