



LE POTENTIEL DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES RENOUVELABLES DÉCENTRALISÉS AU MAROC

Transformer nos toitures, nos véhicules et nos
équipements en actifs énergétiques au service
d'un système propre, compétitif et résilient.



À propos de l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement

L'Initiative IMAL pour le Climat et le Développement est le premier think-tank climatique nord-africain indépendant à but non lucratif, basé au Maroc avec une perspective africaine, arabe et méditerranéenne.

Le think-tank porte comme nom «IMAL», un mot qui signifie « futur » en Tamazight.

Mû par ce souci d'avenir, IMAL s'est donné pour objectif stratégique d'appuyer la transition vers une économie verte et vers une résilience multidimensionnelle pérenne dans toute la région.

Le travail programmatique de l'Initiative couvre quatre domaines, à savoir l'économie verte, la résilience, la diplomatie et la coopération, la finance et l'investissement. En tant que think-tank, l'Initiative vise à avoir un impact en collaborant avec les différentes parties prenantes concernées par ces thématiques et en déployant des interventions stratégiques dans la recherche, le conseil et l'engagement, avec l'objectif d'éclairer les acteurs du secteur public, de la société civile, des entités territoriales ainsi que des secteurs privé et financier.

Les origines de l'équipe constituante de l'Initiative IMAL remontent à la COP22 de Marrakech, le Sommet des Nations unies sur le climat de 2016, que le Maroc a accueilli et présidé. De nombreux cofondateurs d'IMAL ont en effet travaillé, réfléchi, négocié dans le cadre de cet effort international, certains en tant que membres du gouvernement, d'autres comme experts, aux côtés de membres de la société civile ou de la coopération internationale.

Après plusieurs années de conceptualisation, l'Initiative Imal a été légalement constituée en 2022 et son siège se trouve à Rabat, où elle est enregistrée en tant qu'Association marocaine. L'Initiative est financée par des fondations philanthropiques et veille à préserver l'indépendance de son travail.

Auteurs principaux :

- M. Anas Hmimad, Chef de projet Énergie chez Mejorar Consulting, Senior Associate au sein de l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement.
- M. Rachid Ennassiri, co-fondateur/directeur, Initiative Imal pour le climat et le développement.

Nous tenons à remercier les pairs examinateurs qui ont contribué à la réalisation de cette étude. Leur expertise, leur dévouement et leur rigueur ont été essentiels pour mener à bien ce travail :

- M. Iskander Erzini Vernoit, co-fondateur/directeur exécutif, Initiative Imal pour le climat et le développement
- Mme Zahra Ait Hssaine, chercheuse, Programme Économie Verte, Initiative Imal pour le climat et le développement
- Mme Amina Harrous, Chercheuse, Programme Économie Verte, Initiative Imal pour le climat et le développement
- Mme Meriam Lagtari, Chercheuse Senior, Programme Économie Verte, Initiative Imal pour le climat et le développement
- M. Tayeb Amegroud, expert en planification énergétique et développement de projets, évaluation, financement et structuration
- Mme Rym Belhaj, Experte Senior dans les domaines durabilité et transition énergétique
- Mme Ayat-Allah Bouramdane, chercheuse au Laboratoire des Énergies Renouvelables et Matériaux Avancées (LERMA) et professeure assistante au collège ingénierie et architecture de l'Université Internationale de Rabat (UIR)
- M. Hamza Amargoulla, Consultant senior

Une reconnaissance particulière est adressée à toutes les institutions, chercheurs et praticiens qui ont partagé leur expertise et leur expérience pour l'élaboration de ce rapport. Leur contribution a été essentielle à la réalisation de cette étude.

Référence à citer : L'Initiative Imal pour le Climat et le Développement (2025) : Le potentiel des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés au Maroc (Octobre 2025).

Contact général : contact@imalinitiative.org

Contact presse et communication : contact@notabene.ma

Conception graphique : Nota Design, Nota Bene Consulting



Clause de non-responsabilité :

- Les résultats présentés dans ce rapport sont basés sur des estimations et des modèles calculés à partir des données disponibles dans les 12 régions marocaines. Les chiffres fournis sont sujets à des variations et des imprécisions liées à la collecte des données, aux hypothèses utilisées et aux limites des modèles utilisés. Il est important de tenir compte de ces facteurs lors de l'interprétation des résultats.
- Le rapport se concentre spécifiquement sur l'évaluation du potentiel de production d'électricité photovoltaïque verte sur les toitures des constructions bâties de 2000 à 2035, intégrée avec d'autres technologies, notamment les véhicules électriques, les bornes de recharges bidirectionnelles et les batteries.
- Il est également important de noter que ce rapport fournit des recommandations stratégiques spécifiques concernant les actions à entreprendre. Bien que les résultats présentés puissent servir de base pour une prise de décision éclairée, d'autres facteurs, tels que les politiques gouvernementales, les considérations économiques et les stratégies énergétiques globales, doivent également être pris en compte.
- Toutes les données, chiffres et résultats présentés dans cette étude ont été élaborés et vérifiés avec soin par les auteurs et les examinateurs. Pour garantir une totale transparence, les sources sont également communiquées clairement. Ni l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement, ni les auteurs ne peuvent être tenus pour responsables des pertes ou dommages qui pourraient éventuellement résulter directement ou indirectement de l'utilisation ou de l'exploitation des informations contenues dans la présente étude, ni des éventuelles erreurs, inexactitudes ou omissions dans les informations fournies.
- La duplication, la reproduction totale ou partielle de cette étude (y compris la transmission sous forme électronique) ainsi que sa distribution à des fins non commerciales sont autorisées à condition de mentionner l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement comme source. Toute autre utilisation, y compris la reproduction et la distribution totale ou partielle de cette étude à des fins commerciales, requiert l'autorisation écrite préalable de l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement.
- Nous invitons toute personne souhaitant contribuer à la mise à jour de cette étude ou nous poser des questions d'adresser un email à contact@imalinitiative.org.



Résumé exécutif

Le Maroc se trouve à un moment décisif de sa transition énergétique. La croissance démographique, l'élévation du niveau de vie et le développement industriel entraînent inévitablement une hausse considérable de la demande énergétique. Répondre à ce défi exige d'accélérer l'intégration des énergies renouvelables afin de réduire la dépendance aux combustibles fossiles importés, coûteux et émetteurs de gaz à effet de serre, et de concrétiser les engagements nationaux visant à tripler la capacité renouvelable installée d'ici 2030, portés par le Plan d'Équipement 2025-2030 de l'Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable (ONEE).

Dans ce contexte, les systèmes électriques renouvelables décentralisés (SERD) représentent une solution prometteuse. Le Nouveau Modèle de Développement du Maroc (2021-2035), dans ses orientations stratégiques, précise clairement que : « *la production décentralisée ... permettra de renforcer la fiabilité, la résilience, l'équilibre et la compétitivité du réseau énergétique en accompagnant les nouvelles formes de production par des technologies optimisant les rendements, minimisant les pertes et capitalisant sur les infrastructures existantes* ».

Le citoyen marocain, à travers ses bâtiments existants et futurs, peut contribuer considérablement à la transition énergétique au Maroc. Grâce à la combinaison du solaire photovoltaïque, du stockage, des véhicules électriques et des technologies numériques, en constante et rapide évolution, le citoyen peut évoluer de simple consommateur d'énergie vers un « *prosumer* » (producteur-consommateur), capable de produire, stocker, consommer, vendre et distribuer de l'électricité, tout en apportant une précieuse dimension de flexibilité au système électrique.

Le potentiel considérable des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés au Maroc

Ce rapport est le premier du genre au Maroc à proposer une analyse approfondie du potentiel de l'intégration des SERD, en mettant l'accent sur l'utilisation des toitures comme vecteur de production d'électricité verte. L'étude s'appuie sur des données officielles collectées auprès du Haut-Commissariat au Plan (HCP) et mobilise des modèles d'estimation pour évaluer : (i) la surface de toiture disponible pour l'installation de panneaux solaires photovoltaïques, région par région; (ii) la production potentielle d'électricité associée; (iii) le coût moyen de l'installation de cette capacité; (iv) l'intégration des technologies connexes (batteries, véhicules électriques, bornes bidirectionnelles, dispositifs connectés) et leur potentiel additionnel; (v) les émissions de CO₂ évitées.

Selon les scénarios modélisés dans ce rapport, **le potentiel des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés (SERD) au Maroc à l'horizon 2035 est considérable :**

1. **Dans le scénario optimiste**, le déploiement des SERD pourrait permettre de produire jusqu'à 66,8 TWh d'électricité, correspondant à une capacité installée d'environ 28,58 GW, générant un marché économique estimée à 31,08 milliards de dollars et évitant près de 48,19 millions de tonnes de CO₂.
2. **Dans le scénario médian**, la production atteindrait environ 40,1 TWh pour 17,15 GW de capacité installée, représentant un marché potentiel de 18,65 milliards de dollars et une réduction de 28,91 millions de tonnes de CO₂.



3. **Enfin, même dans le cadre du scénario pessimiste**, les SERD offriraient une contribution significative, avec 20,05 TWh produits, 8,57 GW installés, 9,3 milliards de dollars de marché potentiel économique et 14,46 millions de tonnes de CO₂ évitées.

A côté de la production énergétique, ces scénarios représentent également un potentiel de création d'emplois nationale et régionale non négligeable, précisé ci-dessous.

Potentiel d'intégration du solaire sur toitures et de la mobilité électrique intelligente à l'horizon 2035

A l'horizon 2035, le Maroc devrait compter environ 2,5 millions de véhicules électriques (VE) en circulation, conformément aux projections de la Stratégie Nationale Bas-Carbone 2050. Sur cette base, la généralisation de la mobilité électrique intelligente et bidirectionnelle, intégrée au solaire décentralisé sur les toitures, pourrait transformer en profondeur le système électrique marocain. En effet, un parc de 2,5 millions de véhicules électriques bidirectionnels offrirait au pays un réservoir d'énergie mobile capable de répondre à une part significative des besoins du réseau national et des bâtiments, tout en renforçant la souveraineté énergétique et la résilience territoriale :

- Le parc de VE représenterait une capacité totale de stockage d'environ 39 420 GWh, soit l'équivalent de 91 % de la demande électrique nationale projetée pour 2035 (43 145 GWh).
- Cette énergie stockée pourrait être mobilisée pour soutenir le réseau électrique via la recharge bidirectionnelle (Vehicle-to-Grid / V2G).
- Le solaire sur toitures, évalué dans le présent rapport, pourrait couvrir entre 59 % et 98 % de la demande de recharge de ces véhicules dans les scénarios optimiste et médian.

Les bénéfices socioéconomiques du développement des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés au Maroc

Selon des estimations provisoires, l'ouverture et le développement du marché des systèmes d'énergie renouvelable décentralisés (SERD) créeraient des dizaines de milliers d'emplois au Maroc, uniquement pour les phases de développement et d'installation des projets.

Sur une période de dix ans, à horizon 2035, le déploiement de 8,57 GW créerait environ 13 000 emplois, celui de 17,15 GW environ 26 000 emplois, et celui de 28,58 GW environ 43 000 emplois. Ces estimations, prudentes, reposent sur le coefficient de 15 emplois équivalents temps plein (ETP) par MW, la moyenne mondiale selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), un taux inférieur à celui observé dans les pays africains et pour les petites installations photovoltaïques en toiture. Elles correspondent à la réalité de l'emploi dans d'autres pays ayant développé leur marché des SERD, comme en Italie, où le secteur photovoltaïque en toiture a maintenu, en 2024, plus de plus de 65 000 emplois directs et indirects, soit environ 65 % de l'emploi total du secteur photovoltaïque, selon les données du EU Solar Jobs Report 2025.

Premières étapes du développement du marché marocain des SERD

Entre 2011 et fin 2023, les ménages et les entreprises marocaines ont investi au moins 3,36 milliards de dirhams pour installer environ 336 MWc de capacité solaire décentralisée, illustrant une dynamique réelle d'autoproduction. Cependant, l'absence d'un registre national des installations solaires empêche d'en mesurer pleinement les impacts économiques et énergétiques. Une cartographie menée par l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement révèle qu'une véritable révolution de la production décentralisée est en cours, appelant des politiques adaptées et un suivi plus étroit.

Le marché marocain des SERD est en expansion rapide, porté par un écosystème d'acteurs variés, des grandes entreprises aux start-ups locales, proposant des solutions d'énergie solaire, de stockage et d'efficacité énergétique. Plusieurs ESCO (Entreprises de Services Énergétiques) offrent déjà ces services, mais nombre d'acteurs opèrent encore sans reconnaissance officielle ESCO, limitant leur accès au financement et à la structuration du secteur.

Recommandations pour libérer le potentiel des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés au Maroc

Ces estimations suggèrent une opportunité majeure pour repenser et réévaluer le paradigme ainsi que le modèle économique actuel du secteur électrique, depuis la production jusqu'à la consommation. Cela ouvre la voie à une réorientation stratégique des investissements, y compris dans les planifications pluriannuelles, en matière de production, de transport et de distribution d'électricité, afin d'intégrer pleinement le potentiel croissant de l'électricité décentralisée autoproduite par les consommateurs conformément aux orientations du Nouveau Modèle de Développement.

Dans ce cadre, le gouvernement, à travers le ministère de la Transition Énergétique et du Développement Durable (MTEDD), ainsi que les ministères en charge de la gouvernance de l'ONEE et des Sociétés Régionales Multiservices (SRM), devraient veiller à ce que leurs mécanismes de planification ne freinent pas le déploiement des systèmes d'énergie renouvelable décentralisés (SERD), mais au contraire, le facilitent et l'intègrent dans la stratégie nationale.

Dans ce sens, le Maroc devrait adopter des arrangements institutionnels, réglementaires et incitatifs favorisant durablement la croissance des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés (SERD) dans les foyers, les entreprises, les écoles, les exploitations agricoles et l'ensemble des bâtiments publics et privés. En s'inspirant des meilleures pratiques internationales, le rapport présente également des recommandations visant à accompagner les décideurs publics et privés dans la mise en place de politiques et de solutions adaptées, notamment :

1. Investir dans les réseaux intelligents (« smart grids ») pour renforcer la flexibilité, la fiabilité et la sécurité du système.
2. Promouvoir l'effacement énergétique et la gestion intelligente de la demande à travers des tarifs dynamiques et des cadres d'agrégation.
3. Opérationnaliser la loi 82-21 sur l'autoproduction d'ici 2026 : décrets d'application, comptage bidirectionnel et mécanismes de compensation financière.



4. Adopter de nouveaux codes du bâtiment intégrant des technologies vertes pour les constructions neuves.
5. Créer un Fonds national d'intégration des SERD pour soutenir l'investissement des ménages et PME.
6. Développer la mobilité électrique et la plateforme « V2X Maroc » (« Vehicule-to-everything ») pour valoriser la flexibilité des véhicules électriques.
7. Renforcer la gouvernance et la planification à travers une meilleure coordination institutionnelle, une normalisation technique et un plaidoyer commun pour les SERD.

La production décentralisée peut ainsi devenir un véritable pilier de la transition énergétique à travers la solidarité énergétique nationale, en s'appuyant sur le potentiel des douze régions du Maroc et en permettant aux excédents de certaines régions de compenser les déficits d'autres territoires. Pour libérer le potentiel des systèmes d'énergie renouvelable décentralisés (SERD), il est nécessaire de renforcer les réseaux, le stockage et la tarification dynamique, tout en consolidant le cadre réglementaire et en valorisant leurs bénéfices qualitatifs et quantitatifs. Placés sur un pied d'égalité avec les investissements énergétiques traditionnels, les SERD pourraient contribuer pleinement à réaliser la vision du Nouveau Modèle de Développement, fondée sur une énergie décentralisée, compétitive et équitable au service de la souveraineté énergétique du Royaume et du développement inclusif de ses régions.

Liste des abréviations

AIE	: Agence internationale de l'énergie
ANRE	: Agence Nationale de Régulation de l'Électricité.
CAPEX	: Capital Expenditure
CDN	: Contribution Déterminée au niveau National.
CESE	: Conseil Économique Social et Environnemental
COP	: Conférence des Parties
COVNM	: Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
CVC	: Chauffage, Ventilation, Climatisation
DSO	: Distribution System Operator
ESCO	: Energy Service Company
GES	: Gaz à Effet de Serre
HCP	: Haut-Commissariat au Plan
IICD	: Initiative Imal pour le Climat et le Développement
NMD	: Nouveau Modèle de Développement
NU	: Nations unies
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONEE	: Office National de l'Électricité et de l'Eau potable
PIB	: Produit Intérieur Brut
PIUP	: Procédés Industriels et Utilisation des Produits
PV	: Photovoltaïque
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System
R&D	: Recherche & Développement
SED	: Systèmes Electriques Décentralisés
SERD	: Système Énergétique Renouvelable Décentralisé
SRM	: Société Régionale Multiservice
UE	: Union Européenne
UTCATF	: Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie
V2B	: Vehicle-to-Building
V2G	: Vehicle-to-Grid
V2X	: Vehicle-to-Everything
VE	: Véhicule électrique



Table des matières

À propos de l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement.....	1
Résumé exécutif.....	4
Liste des abréviations.....	9
Contexte général.....	15
I. La décarbonation au cœur du Nouveau Modèle de Développement du Maroc d'ici 2035	16
1. Ambition du Maroc à l'horizon 2035.....	16
2. Émissions par source.....	19
II. Contexte de la demande énergétique croissante au Maroc et des objectifs nationaux en matière d'énergies renouvelables, de stockage et de mobilité électrique	21
1. Électricité produite à partir de sources renouvelables (2030)	22
2. Intégration des SERD : une ressource négligée.....	22
III. Objectifs et structure du rapport.....	26
Chapitre 1 : Estimation de la surface de toiture disponible pour le photovoltaïque des 12 régions marocaines	27
1. Méthodologie utilisée pour le calcul des surfaces disponibles.....	27
2. Surfaces disponibles par région.....	28
Chapitre 2 : Modélisation de la production d'électricité sur la base de la surface estimée	29
1. Paramètres pris en compte dans la modélisation.....	29
2. Irradiation solaire moyenne par région	29
3. Rendement des panneaux solaires photovoltaïques.....	30
4. Facteurs de performance des installations.....	31
5. Définition du potentiel énergétique.....	31
6. Estimation de la production d'électricité par région	32
7. Répartition de la production d'électricité par région selon les scénarios	33
8. Identification des régions à fort potentiel de production d'électricité	36
9. Estimation de la puissance installée par région	38
10. Calcul du coût moyen de la capacité installée.....	42
11. Estimation du coût moyen de l'installation PV selon les scénarios.....	43
12. Comparaison entre le potentiel électrique et la consommation électrique	46
Chapitre 3 : Émissions de CO₂ évitables en utilisant l'espace disponible et leur représentation par rapport à l'objectif fixé dans la Contribution Déterminée au niveau National (CDN 3.0) du Maroc selon les scénarios	60



1. Introduction.....	60
2. Estimation du CO2 évité.....	61
3. Représentation des émissions de CO2 évitées par rapport à l'objectif fixé dans la CDN 3.0 (2026-2035)	63
4. Estimation des émissions de CO ₂ évitées.....	64
5. Comparaison directe avec les objectifs CDN 3.0 (2035).....	64
6. Interprétation et implications stratégiques	65
Chapitre 4 : Potentiel d'intégration du solaire sur toitures et de la mobilité électrique intelligente à l'horizon 2035	66
1. Technologies émergentes en matière de stockage	66
2. Les véhicules électriques comme batteries sur 4 roues en 2035.....	68
3. Intégration de la mobilité électrique	70
4. Impact sur la demande d'électricité.....	71
5. Déploiement des infrastructures de recharge.....	72
6. Recharge des véhicules électriques : exploiter le potentiel solaire marocain sur les toitures en 2035	74
7. Gestion de la demande.....	75
Chapitre 5 : recommandations pour libérer le potentiel des SERD intégrées	77
1. Investissement stratégique dans les smart grids (réseaux électriques intelligents).....	77
2. Promotion de l'effacement énergétique et de la gestion intelligente de la demande	78
3. Recommandations politiques, réglementaires, incitatives, et techniques prioritaires.....	80
4. Plateforme de collaboration Vehicle-to-Everything (V2X) et mobilité électrique intégrée.....	83
5. Recommandations transversales pour développer un marché SERD dynamique au Maroc	85

Table des illustrations

Figure 1: Ambition du Maroc à l'horizon 2035.....	16
Figure 2: Proposition du CESE sur le découpage selon les rôles de chaque acteur	18
Figure 3: Répartition par secteur des émissions de CO ₂ en 2010 et 2018	19
Figure 4: Répartition par secteur des émissions globales de CO ₂ en 2018.....	20
Figure 5: Évolution de la consommation énergétique au Maroc.....	21
Figure 6: Composants possibles d'un SERD.....	24
Figure 7: Évolution des surfaces bâties de 2025 jusqu'à 2035 inclus	28
Figure 8: Irradiation globale horizontale (IGH) annuelle du Maroc.....	30
Figure 9: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Tanger-Tétouan-Al Hoceima et Oriental	33
Figure 10: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Fès-Meknès et Rabat-Salé-Kénitra	34
Figure 11: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Béni Mellal-Khénifra et Casablanca-Settat.....	34
Figure 12: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Souss-Massa et Guelmim-Oued Noun	35
Figure 13: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Marrakech-Safi et Drâa-Tafilalet.....	35
Figure 14: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Laâyoune-Sakia El Hamra et Dakhla-Oued Eddahab.....	35
Figure 15: Classement des régions en matière de potentiel solaire selon les 3 scénarios agrégés.....	36
Figure 16: Potentiel énergétique pour toutes les régions du Maroc selon les scénarios optimiste et médian	37
Figure 17: Potentiel énergétique pour toutes les régions du Maroc selon le scénario pessimiste.....	37
Figure 18: Puissance électrique pour toutes les régions selon le scénario optimiste.....	39
Figure 19: Puissance électrique pour toutes les régions selon le scénario médian.....	40
Figure 20: Puissance électrique pour toutes les régions selon le scénario pessimiste.....	41
Figure 21: Coût estimé pour l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toitures pour toutes les régions du Maroc selon le scénario optimiste	43
Figure 22: Coût estimé pour l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toitures pour toutes les régions du Maroc selon le scénario médian	44
Figure 23: Coût estimé pour l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toitures pour toutes les régions du Maroc selon le scénario pessimiste	45
Figure 24: Consommation électrique vs potentiel électrique de toutes les régions du Maroc selon les trois scénarios.....	47
Figure 25: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Tanger-Tétouan-Al Hoceima	48
Figure 26: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de l'Oriental selon les trois scénarios	49
Figure 27: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Fès-Meknès selon les trois scénarios.....	50
Figure 28: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Rabat-Salé-Kénitra selon les trois scénarios.....	51
Figure 29: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Béni Mellal-Khénifra selon les trois scénarios.....	52
Figure 30: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Casablanca-Settat selon les trois scénarios.....	53
Figure 31: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Marrakech-Safi selon les trois scénarios.....	54
Figure 32: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Drâa-Tafilalet selon les trois scénarios.....	55
Figure 33: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Souss-Massa selon les trois scénarios.....	56

Figure 34: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Guelmim-Oued Noun selon les trois scénarios.....	57
Figure 35: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Laâyoune-Sakia El Hamra selon les trois scénarios.....	58
Figure 36: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Dakhla-Oued Eddahab selon les trois scénarios.....	59
Figure 37: Émissions de CO2 évitées pour toutes les régions du Maroc selon le scénario optimiste.....	61
Figure 38: Les émissions de CO2 évitées pour toutes les régions du Maroc selon le scénario médian	62
Figure 39: Les émissions de CO2 évitées pour toutes les régions du Maroc selon le scénario pessimiste	63
Figure 40: Comparaison entre les objectifs des émissions à éviter de la CDN 3.0 en 2035 et les émissions évitées selon les différents scénarios	64
Figure 41: Potentiel d'énergie journalière disponible sur une VE.....	69
Figure 42: Potentiel disponible du V2G	70
Figure 43: Potentiel d'énergie pour un million de VE	71
Figure 44: Capacité totale du potentiel des batteries.....	72
Figure 45: Principe des bornes de recharge bidirectionnelles	73
Figure 46: Potentiel d'énergie solaire selon les scénarios.....	75

Liste des tableaux

Tableau 1: Exemples potentiels d'un portefeuille SERD	25
Tableau 2: tableau récapitulatif des potentiels par région et par scénario	38
Tableau 3: Technologies de batterie pour la mobilité électrique.....	67



Contexte général

La mobilisation du plein potentiel des territoires est une priorité nationale en vue de développer les régions situées en dehors des principaux axes et d'aplanir les déséquilibres socio-économiques et intra-régionaux persistants. En effet, Casablanca-Settat représente à elle seule 32,2 % du PIB national¹. Avec Rabat-Salé-Kénitra, Fès-Meknès, Tanger-Tétouan-Al Hoceima et Marrakech-Safi, ces cinq régions ont concentré 74,6 % du PIB marocain en 2020. Cette tendance s'est confirmée en 2023, où les trois régions de Casablanca-Settat, Rabat-Salé-Kénitra et Tanger-Tétouan-Al Hoceima ont, à elles seules, généré 58,5 % du PIB, selon les comptes régionaux publiés par le Haut-Commissariat au Plan. Cette forte concentration traduit le dynamisme industriel, commercial et de services de ces territoires, mais accentue en parallèle les disparités régionales. Pour relever cet énorme défi, le Nouveau Modèle de Développement (NMD) propose notamment d'accélérer la régionalisation avancée et de mettre en œuvre une politique ambitieuse de réaménagement urbain et rural des territoires.

Le NMD du Maroc appuie son ambition par sa détermination à relever cinq paris d'avenir audacieux, qui – ensemble - feraient du Maroc un pôle économique et de savoirs parmi les plus dynamiques et les plus attractifs de la région et du continent.

Les cinq paris d'avenir sont les suivants :

- i. Devenir une nation numérique, où le potentiel transformationnel des technologies numériques est pleinement mobilisé ;
- ii. S'ériger en hub régional de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation ;
- iii. Devenir le champion régional de l'énergie à bas-carbone ;
- iv. Acquérir le statut de pôle financier régional de référence ;
- v. Faire du « Made in Morocco » un marqueur de qualité, de compétitivité et de durabilité, accélérant l'intégration dans les chaînes de valeur mondiales et régionales.

¹ Haut-Commissariat au Plan (HCP), Note d'information relative aux comptes régionaux de l'année 2020
Base 2014

I. La décarbonation au cœur du Nouveau Modèle de Développement du Maroc d'ici 2035

1. Ambition du Maroc à l'horizon 2035

Partant des atouts et de l'histoire millénaire du Royaume, l'ambition du Nouveau Modèle de Développement pour le Maroc (NMD) est définie comme suit :

« En 2035, le Maroc est un pays démocratique, où toutes et tous sont en pleine capacité de prendre en main leur devenir et de libérer leur potentiel, de vivre en dignité au sein d'une société ouverte, diverse, juste et équitable. C'est un pays créateur de valeur, qui fructifie ses potentialités de manière durable, partagée et responsable. Capitalisant sur ses progrès significatifs à l'échelle nationale, le Maroc s'érige en puissance régionale exemplaire, à l'avant-garde des grands défis qui interpellent le monde. »

Figure 1: Ambition du Maroc à l'horizon 2035



Parmi les objectifs du NMD, on peut citer le doublement du produit intérieur brut par habitant à l'horizon 2035, une maîtrise des apprentissages de base à la fin du cycle primaire par plus de 90 % des élèves, l'augmentation du nombre de médecins par habitants pour atteindre les normes de l'OMS, la croissance du taux d'activité des femmes à 45 % (contre 22 % en 2019), l'augmentation de la part du renouvelable dans la consommation totale d'énergie à 40 %, une baisse du coût de l'énergie pour les industries énergivores à 0,5 dh/kWh, et la contribution du dessalement de l'eau de mer et des eaux épurées à hauteur de 15 % dans la consommation totale de de l'eau.

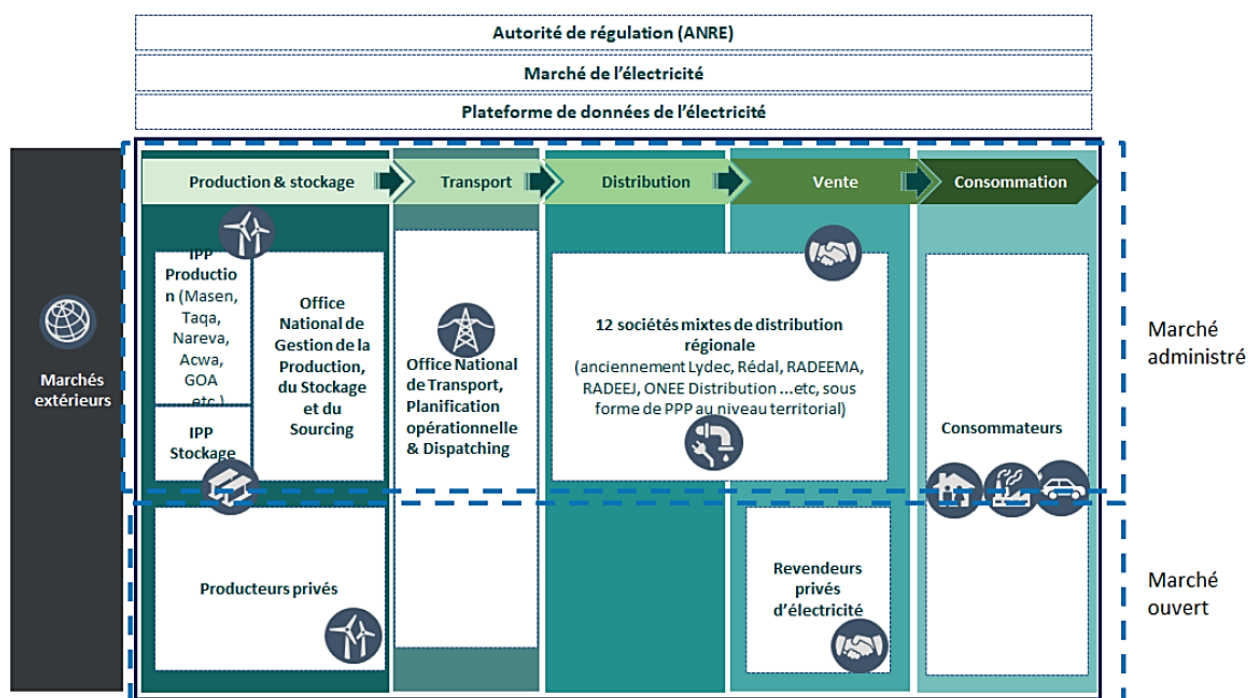
Le pari du « Maroc, champion de l'énergie compétitive et verte »

À l'horizon 2035, dans la perspective d'enclencher un véritable choc de compétitivité, l'ambition du NMD est de faire de l'énergie verte un levier d'attractivité et de développement autour de critères de prix et de modes de production bas-carbone. Une telle approche permettra de renforcer la sécurité

énergétique du pays (en volumes et en prix) et de l'ériger en acteur mondial dans la durabilité et dans le domaine des énergies renouvelables, en donnant une impulsion forte à la R&D et à l'industrialisation des équipements de production énergétique. Tenant compte des éléments du diagnostic et de l'ambition proposée, sept orientations stratégiques ont été identifiées dans la perspective d'accélérer le processus de transition énergétique du Maroc et de lui permettre de répondre au mieux à ses besoins en termes de compétitivité économique et de durabilité :

1. **Mettre en place une nouvelle architecture institutionnelle** autour de l'Autorité Nationale de Régulation de l'Électricité (ANRE) pour devenir un régulateur du réseau électrique et énergétique fort, indépendant et crédible pour l'ensemble du secteur, capable d'asseoir les bases d'un marché libre et de garantir les règles de concurrence loyale et de transparence.
2. **Développer la production décentralisée, efficace et intelligente**, pour donner un accès à une électricité compétitive dans les territoires, renforcer la fiabilité, la résilience, l'équilibre et la compétitivité du réseau énergétique en accompagnant les nouvelles formes de production par des technologies optimisant les rendements, minimisant les pertes et capitalisant sur les infrastructures existantes. L'installation de *smart grids* ou d'installations d'autoproduction de sources d'énergie renouvelable dans l'industrie, l'agriculture ou encore le résidentiel permettra de maîtriser la consommation énergétique de l'auto-producteur et d'injecter une partie de l'excédent dans un marché régulé et adaptable.
3. **Mettre en place une politique tarifaire transparente**, dynamique et compétitive, reposant sur une séparation claire du rôle des acteurs en regroupant clairement les activités de service public (transport et distribution) et celles du secteur marchand (production et commercialisation) : les objectifs de la politique de tarification de l'énergie doivent être clairement énoncés et doivent favoriser la transparence (accès à l'information du régulateur), le dynamisme (en accompagnant les changements du marché), et la concurrence (garantie des tarifs les plus compétitifs possibles).

Figure 2: Proposition du CESE sur le découpage selon les rôles de chaque acteur²



4. **Restructurer le business model de l'ONEE** pour lui permettre de mieux assurer sa fonction stratégique de modernisation du réseau de transport d'électricité et d'accompagnement de la réforme du secteur. Il s'agit de renforcer la transparence sur le coût réel de l'énergie et de fonder le climat des affaires sur une base de référence juste et comparable au profit des investisseurs et producteurs.
5. **Accélérer l'implémentation de la stratégie d'efficacité énergétique** autour d'objectifs précis assortis de mécanismes de suivi-évaluation assurant l'atteinte de ces mêmes objectifs et généraliser l'utilisation de technologies comme les *smart grids* et les solutions éco-climatiques dans la planification de l'aménagement et le développement des régions et des villes.
6. **Déplafonner l'accès au gaz naturel pour l'industrie et pour le développement du pays :** le Maroc devrait recourir au gaz naturel pour la production d'électricité en complément des unités de production à partir d'énergie solaire ou éolienne, et dans les processus industriels, essentiellement pour produire de la chaleur.
7. **Ériger le Maroc en tant que plateforme régionale dans les échanges énergétiques :** Il est crucial d'augmenter la capacité d'échange des interconnexions avec l'Europe, et de conforter la position du Maroc en tant que point d'échange principal d'électricité entre le Maghreb et

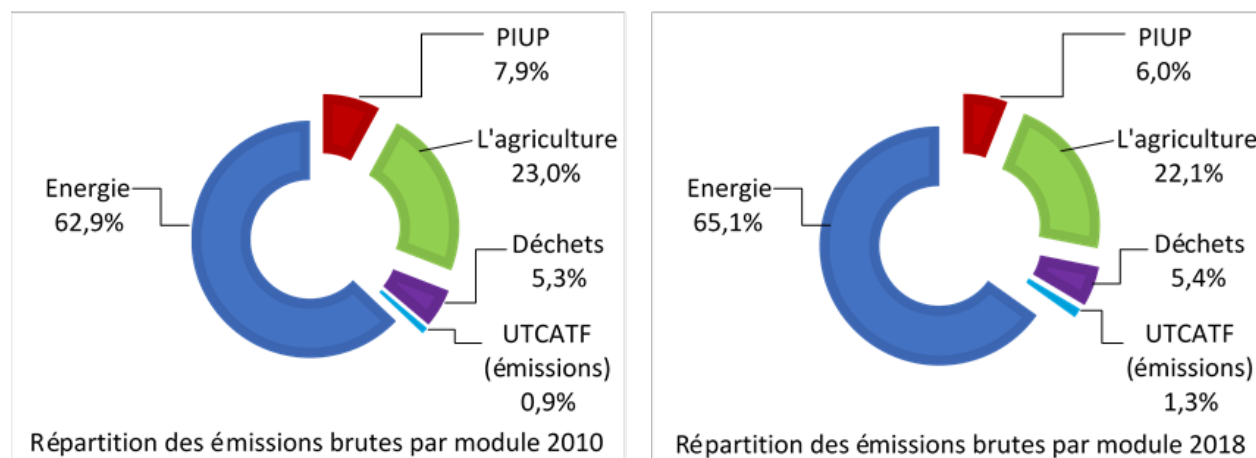
² Source : Avis du CESE « Accélérer la transition énergétique pour installer le Maroc dans la croissance verte », page 47

l'Europe du Sud. Le positionnement du Maroc comme hub énergétique devrait s'accompagner d'une véritable intégration industrielle territorialisée. Le développement à moyen terme des filières industrielles de Power-to-X, des énergies marines renouvelables et l'investissement dans les activités de recherche et développement et d'innovation présentent également un réel potentiel d'accélération de la décarbonation des différents secteurs productifs de l'économie nationale.

2. Émissions par source

Sur le plan sectoriel, le module Énergie, responsable d'environ 89,8 % du dégagement de CO₂ est de loin le premier émetteur de GES avec 67,3 % en 2018³. Ce module est aussi responsable de la majeure partie des émissions des gaz NO_x et CO avec plus de 95 % chacun, des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) avec 43 % environ et du SO₂ avec 76,3 %. Vient ensuite le module Agriculture, responsable de 22,8 % des émissions globales de GES en 2018. Il contribue à plus de 90 % des émissions de N₂O et à près de 62,3 % de celles de CH₄, tout en n'émettant pratiquement pas de CO₂. La part des émissions de GES du module PIUP⁴ est de 6,2 % des émissions globales nettes de 2018, celle du module Déchets est de 5,6 %, alors que les absorptions du module UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) représentent 1,9 %. Les émissions de CH₄ du module déchets représentent 30,6 % et 32,9 % des émissions totales de ce gaz respectivement en 2010 et 2018.

Figure 3: Répartition par secteur des émissions de CO₂ en 2010 et 2018⁵



Répartition par secteur des émissions de CO₂ : En 2018, les émissions de CO₂ étaient de 63 636 Gt eq CO₂, soit 70 % des émissions de GES du Maroc. L'industrie de l'énergie est le secteur le plus émetteur de CO₂ avec une part de 36,1 % des émissions de CO₂. Le transport est le second secteur émetteur de CO₂ avec une part de 28,2 % des émissions de CO₂. Le troisième et le quatrième secteur émetteur de CO₂ sont

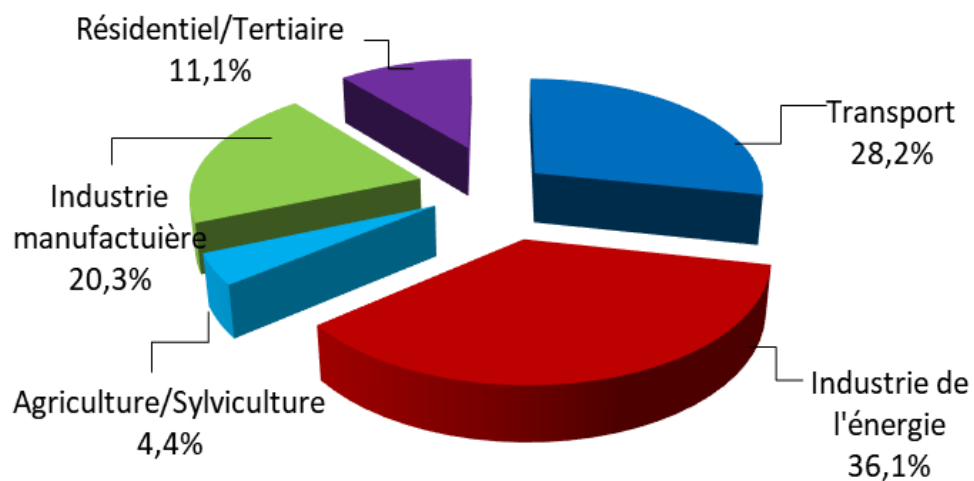
³ Source : Quatrième Communication Nationale (QCN) du Maroc, 2021

⁴ PIUP : secteur procédés industriels et utilisation des produits

⁵ Source : Quatrième Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (2020)

l'industrie manufacturière avec une part de 20,3 %, puis le secteur résidentiel et tertiaire avec une part de 11,1 %.

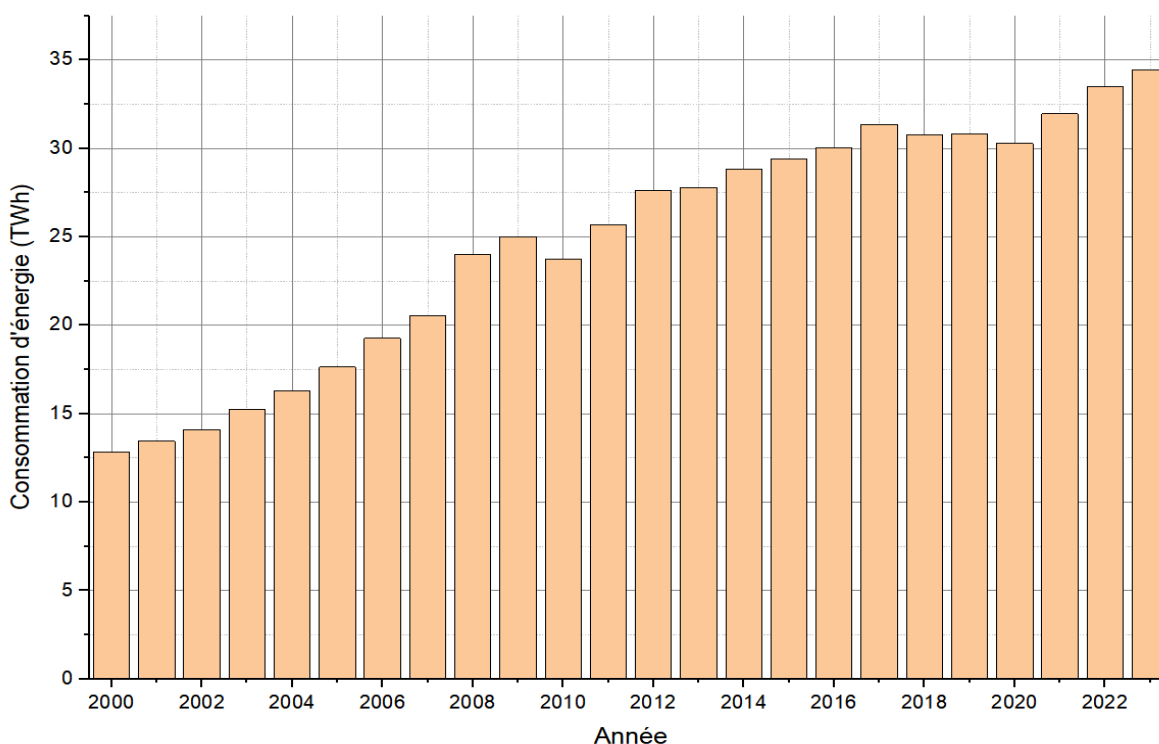
Figure 4: Répartition par secteur des émissions globales de CO₂ en 2018



II. Contexte de la demande énergétique croissante au Maroc et des objectifs nationaux en matière d'énergies renouvelables, de stockage et de mobilité électrique

Le Maroc fait face à une demande croissante en énergie due à sa population en expansion, à la croissance économique et au développement industriel. Cette demande accrue met une pression sur les ressources énergétiques traditionnelles, principalement les combustibles fossiles importés, qui sont non seulement coûteux, mais aussi une source majeure d'émissions de gaz à effet de serre.

Figure 5: Évolution de la consommation énergétique au Maroc



Cette situation intervient à un moment charnière pour le pays, qui se prépare à accueillir des événements internationaux majeurs à l'horizon 2030, dont la Coupe du Monde de football. Cette dynamique crée des conditions favorables à la convergence des politiques publiques y compris climatiques dans les villes organisatrices (aménagement urbain, mobilité durable, énergie, eau, déchets), et offre une fenêtre d'opportunité unique pour traduire le potentiel des SERD en projets concrets et bancables.

Conscient des défis climatiques et des enjeux liés à la dépendance énergétique, le Maroc s'est engagé à diversifier son mix énergétique et à promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables. Le Royaume a adopté une vision ambitieuse en matière d'énergies propres et s'est fixé des objectifs nationaux clairs pour augmenter la part des énergies renouvelables dans son mix énergétique.

1. Électricité produite à partir de sources renouvelables (2030)

Les objectifs nationaux du Maroc en matière d'énergies renouvelables reposent sur la Stratégie Énergétique Nationale 2009, qui vise à atteindre les objectifs suivants :

- ✓ **Objectif de production d'énergie renouvelable** : le Maroc a réaffirmé ses ambitions énergétiques en inscrivant la transition du secteur électrique, principal contributeur aux émissions nationales de GES, au cœur de sa nouvelle Contribution Déterminée au niveau National 2026-2035 (CDN). Dans le prolongement des engagements pris lors de la COP28, le pays vise à tripler sa capacité installée en énergies renouvelables pour dépasser 15 GW à l'horizon 2030. L'Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable (ONEE) a, dans cette perspective, lancé un plan d'équipement 2025-2030 d'un montant de 177 milliards de dirhams, destiné à renforcer les infrastructures électriques et accélérer l'intégration des énergies renouvelables. Ce programme ambitionne d'atteindre 56 % de capacités installées renouvelables dès 2027, dépassant ainsi l'objectif initial de 52 % fixé pour 2030.
- ✓ **Promotion de l'efficacité énergétique** : Le Maroc accorde de l'intérêt à l'efficacité énergétique à travers une stratégie nationale dédiée et met en œuvre plusieurs programmes visant à réduire la consommation d'énergie dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. L'objectif est de minimiser les pertes d'énergie, optimiser l'utilisation des ressources disponibles et améliorer la performance énergétique globale du pays.
- ✓ **Promotion de l'investissement et de l'innovation** : le Maroc encourage l'investissement national et étranger dans le secteur des énergies renouvelables en offrant des incitations financières, y compris à travers la charte de l'investissement, des réglementations favorables et des mécanismes de soutien.
- ✓ Le pays encourage également l'innovation technologique et la recherche dans le domaine des énergies renouvelables pour favoriser le développement de solutions durables.

2. Intégration des SERD : une ressource négligée

La décennie à venir sera une période de changement rapide pour le réseau électrique du Maroc. Les politiques publiques ambitionnent une montée accélérée des énergies renouvelables, de l'électrification et de la flexibilité, le changement climatique accentue les pics de demande et fragilise certaines ressources (*exemple : l'hydraulique*), les tensions géopolitiques rendent volatiles les importations d'énergie. Cette combinaison poussera le réseau à évoluer à un rythme inédit. L'écosystème institutionnel en charge de la planification énergétique est confronté au défi de gérer ces changements tout en faisant progresser simultanément les performances du système électrique en visant six objectifs :

1. **Fiabilité et renforcement de la résilience** : les SERD accroissent la fiabilité et la résilience du système, même en cas de météo extrême ou de menaces croissantes en cybersécurité. En cas de tempête, de panne ou de rupture d'approvisionnement, des toitures solaires couplées à des batteries peuvent maintenir l'alimentation des sites essentiels (hôpitaux, eau, écoles, etc). Les batteries derrière le compteur offrent un secours rapide et stabilisent localement le

réseau, tandis que les véhicules électriques peuvent renvoyer de l'électricité au réseau ou aux bâtiments (V2G/V2B), limitant ainsi l'ampleur et la durée des coupures ;

2. **Accessibilité** (prix abordables) : réduire le poids de la facture énergétique des ménages et l'exposition budgétaire de l'État, en atténuant la volatilité des prix internationaux et les risques de perturbations d'approvisionnement ;
3. **Décarbonation** : réduire les émissions de gaz à effet de serre pour répondre aux objectifs climatiques nationaux de la CDN 3.0, de compétitivité industrielle, et offrir une énergie décarbonée aux entreprises tout en se préparant aux exigences du Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (CBAM) ;
4. **Électrification et atténuation du changement climatique** : permettre une électrification rapide des logements, des transports et de l'industrie pour réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de l'économie, tout en contribuant à atténuer les impacts du changement climatique ;
5. **Santé** : réduire significativement la morbidité et la mortalité liées à la pollution de l'air ($PM_{2,5}$, NO_x , SO_2) émise par les centrales fossiles. Le déploiement des SERD et la baisse des heures de marche des centrales thermiques diminuent l'exposition des populations et les coûts sanitaires. À l'international, l'IEA⁶ montre que des trajectoires de décarbonation forte améliorent nettement la qualité de l'air et évitent des millions de décès prématurés d'ici 2030. En pratique, ces effets santé sont traités comme des co-bénéfices et des contraintes réglementaires (normes de qualité de l'air) dans la planification électrique, plutôt que comme un objectif autonome ;
6. **Pouvoir du consommateur** : faire des usagers des acteurs du système via l'autoproduction et, le cas échéant, la vente/partage des excédents, la réponse à la demande et des mécanismes de consultation/données ouvertes. Ce n'est pas un objectif autonome des planificateurs, mais un co-bénéfice d'une réforme orientée flexibilité et efficacité et un principe reconnu à l'international tel que le « marchés » consumer-centered » de la Directive (UE) 2019/944⁷, le cadre IEA sur systèmes centrés utilisateur⁸).

Malheureusement, les SERD ont souvent été négligés par les décideurs politiques, les services publics et les consommateurs au cours de la première phase de la stratégie énergétique nationale. Le présent rapport définit les SERD dans le contexte des défis et opportunités émergents, discute de leurs avantages et potentialités, et fournit un ensemble de recommandations stratégiques et opérationnelles pour développer le marché des SERD au Maroc.

⁶ Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector

⁷ https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/1_internal-market-for-electricity.html?utm_source=chatgpt.com

⁸ https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023/how-are-consumers-benefiting-from-system-efficiency?utm_source=chatgpt.com

Nous définissons les SERD comme des agrégations de ressources énergétiques décentralisées intégrées au réseau. Cette définition comporte deux parties clés :

- Au cœur, un SERD est composé de centaines ou de milliers d'appareils situés chez les particuliers et les entreprises. Certains de ces actifs (par exemple, les batteries derrière le compteur, le solaire photovoltaïque, les véhicules électriques, les chargeurs de véhicules électriques, etc.) sont facilement dispatchables.
- **Agrégation (mise à disposition du système)** : les SERD sont regroupées en portefeuilles afin d'être visibles, préqualifiés, mesurés et mobilisables par le gestionnaire du système/réseau. Ils fournissent alors des services d'équilibrage, de réserve, de gestion de la congestion et de soutien tension/fréquence. Selon le cadre, l'activation peut être directe (contrôle/dispatch du gestionnaire) ou indirecte via un agrégateur sur la base de signaux-prix et d'engagements de performance, avec des exigences d'interopérabilité et de cybersécurité.

La figure 6 illustre les composants possibles d'un SERD. Installés chez les ménages, les entreprises ou sur des sites publics, ces actifs connectés et pilotables peuvent être coordonnés pour fournir de la flexibilité (déplacement de charge, soutien tension/fréquence, effacement) et maintenir l'alimentation locale en cas d'aléas.

Figure 6: Composants possibles d'un SERD

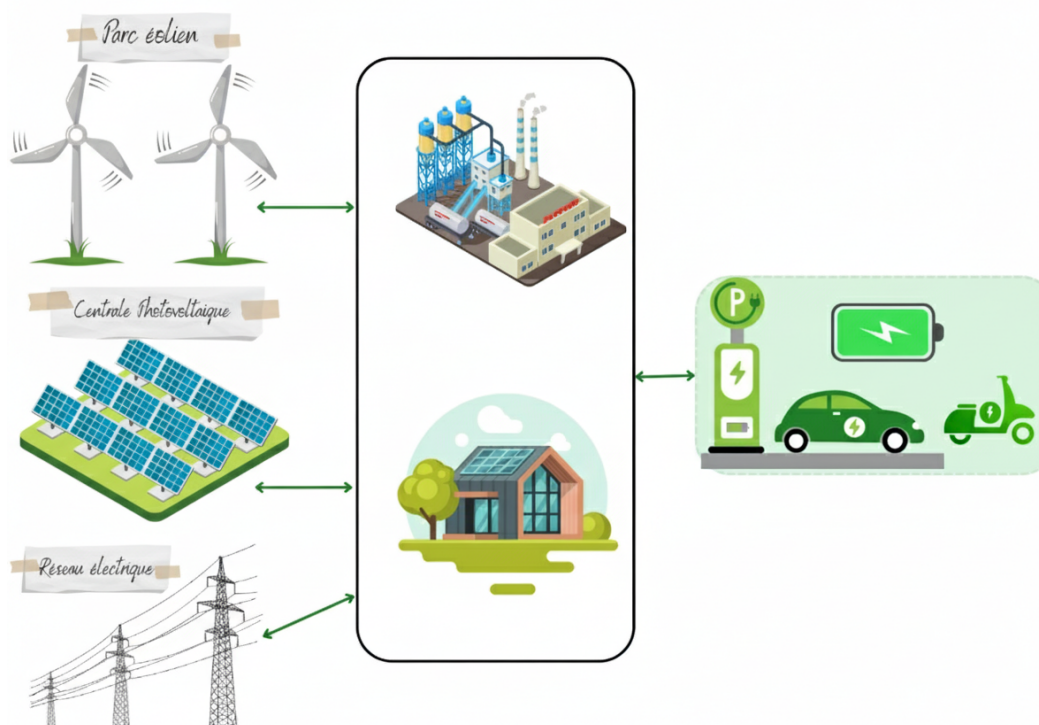


Tableau 1: Exemples potentiels d'un portefeuille SERD

Un portefeuille de SERD activement contrôlés pour apporter des avantages au système électrique, aux consommateurs et à l'environnement					
SERD Exemples d'éléments potentiels		Les clients autorisent la gestion directe de leur SERD - sous réserve des contraintes opérationnelles du service public, des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD) concernés et du cadre réglementaire en place.		Les services publics et les GRD gèrent les SERD de manière à fournir des avantages au réseau (par exemple, réduire la demande pendant les heures de pointe afin d'éviter d'investir dans des capacités de production conventionnelles).	
Panneaux PV sur les toitures	Véhicules électriques (VE)	Les économies réalisées grâce au SERD sont partagées entre les participants individuels, le service public et la société dans son ensemble.	GRD ou entreprise de services publics disposant d'un système de gestion des ressources énergétiques distribuées	Le système électrique est développé et exploité à un coût total inférieur, la fiabilité est préservée et les émissions sont réduites.	 Système électrique (réseau de distribution, réseau de transport, production d'électricité)
Batteries distribuées	Chargeurs bidirectionnels				
Thermostats intelligents	Systèmes d'automatisation des bâtiments commerciaux				

III. Objectifs et structure du rapport

L'objectif global du rapport est de fournir une évaluation complète du potentiel de l'intégration des SERD sur les toitures des 12 régions du Maroc, en mettant en évidence les avantages environnementaux, économiques et sociaux associés à leur utilisation.

Spécifiquement, le présent rapport couvre ce qui suit :

- **Premièrement**, il vise à estimer la surface de toiture disponible dans chaque région du Maroc pour l'installation de SERD. Cette évaluation permettra de quantifier des projections et hypothèses sur le potentiel d'utilisation des toitures en termes de surface exploitable pour la production d'électricité d'origine solaire.
- **Deuxièmement**, il modélise le déploiement des SERD à partir de la surface estimée. En utilisant des données disponibles et spécifiques à chaque région, des modèles sont développés pour estimer la quantité d'énergie électrique pouvant être générée à partir des SERD installés sur les toitures. Cette analyse permettra de déterminer le potentiel de contribution de ces systèmes à la satisfaction de la demande énergétique régionale.
- **Troisièmement**, il calcule le coût moyen de cette capacité installée pour les systèmes photovoltaïques sur les toitures.
- **Quatrièmement**, il évalue les émissions de CO₂ évitées en utilisant l'espace disponible sur les toitures et définit ce que ça représente par rapport à l'objectif fixé dans la nouvelle Contribution Déterminée au niveau National 2026-2035 (CDN 3.0).
- **Cinquièmement**, il analyse l'apport environnemental et économique additionnel de l'intégration des SERD avec des technologies pertinentes pour le contexte marocain, y compris les véhicules électriques (VE) et les chargeurs bidirectionnels, qui peuvent fournir une énergie auxiliaire pour alimenter les foyers qui peut également être injectée dans le réseau lorsque l'énergie solaire n'est pas fonctionnelle.
- **Finalement**, le rapport passe en revue les obstacles et les mesures d'ordre politique, législatif et réglementaires qui permettront aux SERD de jouer pleinement leur rôle dans la décarbonation, l'innovation et l'obtention de résultats positifs pour les citoyens et les communautés.

Chapitre 1 : Estimation de la surface de toiture disponible pour le photovoltaïque des 12 régions marocaines

1. Méthodologie utilisée pour le calcul des surfaces disponibles

La présente section décrit la méthodologie utilisée pour estimer la surface de toiture disponible pour l'installation de panneaux photovoltaïques dans les 12 régions du Maroc.

Collecte des données :

Pour évaluer la disponibilité de la toiture, nous avons utilisé les données officielles du Haut-Commissariat au Plan (HCP), l'institution nationale chargée de collecter, d'analyser et de diffuser des données statistiques et socio-économiques. Le HCP fournit des informations détaillées sur les constructions bâties au cours de la période allant de 2000 à 2020. Ces données comprennent la surface totale des bâtiments dans chaque région ainsi que leur répartition par secteur (résidentiel, commercial, industriel, etc.).

Hypothèse de calcul :

Nous avons posé l'hypothèse que la surface de toiture est équivalente à la surface bâtie des constructions. Pour tenir compte des contraintes techniques et architecturales (ombrage, équipements, orientation), nous avons appliqué un coefficient de correction de 80 %. Cette approche fournit une estimation opérationnelle du potentiel en toitures à l'échelle nationale, tout en reconnaissant une marge d'incertitude liée aux spécificités locales. Elle constitue un cadre transparent et reproductible, susceptible d'être affiné par des analyses régionales plus détaillées, qui seront menées lors de consultations au niveau régional par l'Initiative Imal pour le Climat et le Développement, en collaboration avec l'Alliance Marocaine pour le Climat et le Développement Durable (AMCDD).

Scénarios de disponibilité des toitures :

Au cours de cette étude, nous avons développé trois scénarios basés sur la disponibilité de la toiture pour l'installation de panneaux solaires. Ces scénarios ont été définis en fonction de la faisabilité technique et des contraintes architecturales. Chaque scénario représente une estimation différente de la surface de toiture disponible pour le photovoltaïque dans les 12 régions marocaines.



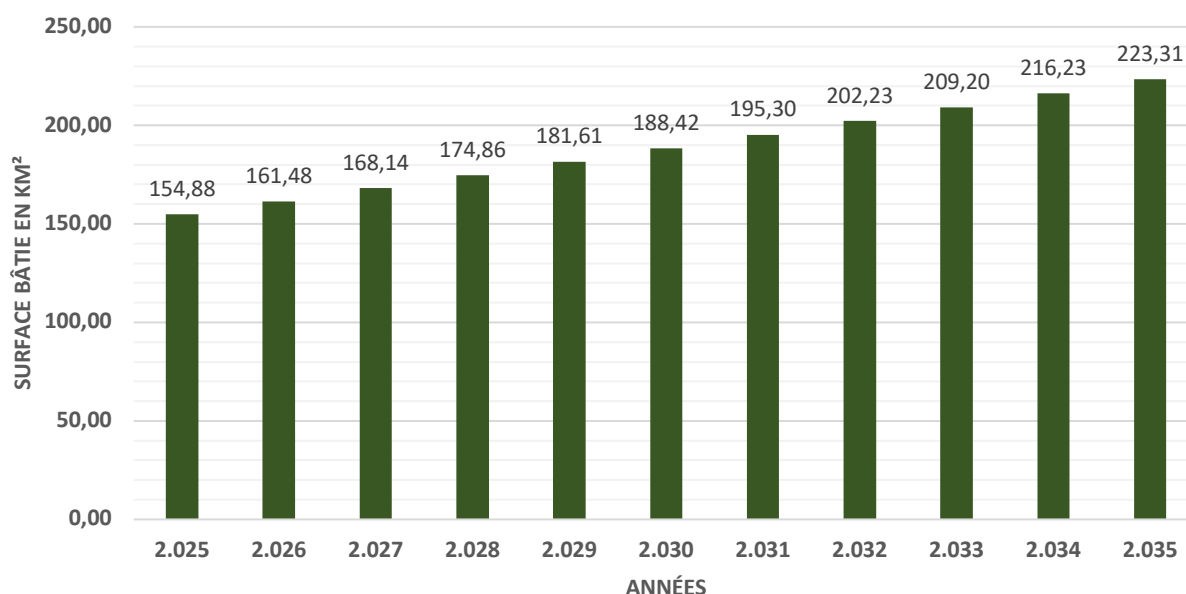
2. Surfaces disponibles par région

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation des surfaces disponibles pour l'installation de panneaux photovoltaïques sur les toitures⁹ au Maroc, région par région. L'hypothèse de travail considère que la surface bâtie équivaut à la surface exploitable en toitures. Toutefois, des contraintes telles que les murs, l'ombrage ou d'autres facteurs peuvent influencer cette estimation. Afin d'en tenir compte, un coefficient de correction de 80 % a été appliqué et trois scénarios distincts ont été élaborés pour mieux refléter la réalité. Ces aspects sont détaillés dans le chapitre 2.

Pour projeter les surfaces disponibles sur les toitures dans les années à venir, le logiciel OriginLab a été mobilisé, permettant de réaliser des analyses statistiques et des prévisions fondées sur des données historiques. Les données fournies par le Haut-Commissariat au Plan (HCP) ont permis de dégager les tendances de développement urbain et de construction sur les toitures entre 2000 et 2020. Ces tendances ont ensuite servi de base pour identifier les dynamiques de croissance des surfaces bâties exploitables et les extrapoler jusqu'en 2035 inclus.

Les projections à long terme permettent de mieux appréhender l'évolution de la disponibilité des toitures pour le photovoltaïque et d'anticiper les besoins futurs d'une demande d'électricité renouvelable orientée vers les consommateurs au Maroc. Il demeure toutefois essentiel d'intégrer explicitement les incertitudes propres à ces exercices, autant pour l'interprétation des résultats et des conclusions que pour les prochaines mises à jour de l'estimation du potentiel.

Figure 7: Évolution des surfaces bâties de 2025 jusqu'à 2035 inclus



⁹ Étant donné la non-disponibilité de données, ces résultats n'incluent pas les ombrières des parkings.

Chapitre 2 : Modélisation de la production d'électricité sur la base de la surface estimée

1. Paramètres pris en compte dans la modélisation

Afin de mieux évaluer le potentiel électrique photovoltaïque des toitures du Maroc, cette partie vise à définir les paramètres clés qui vont jouer un rôle crucial dans l'estimation de la production d'électricité à partir de l'énergie solaire disponible sur les toitures de chaque région.

2. Irradiation solaire moyenne par région

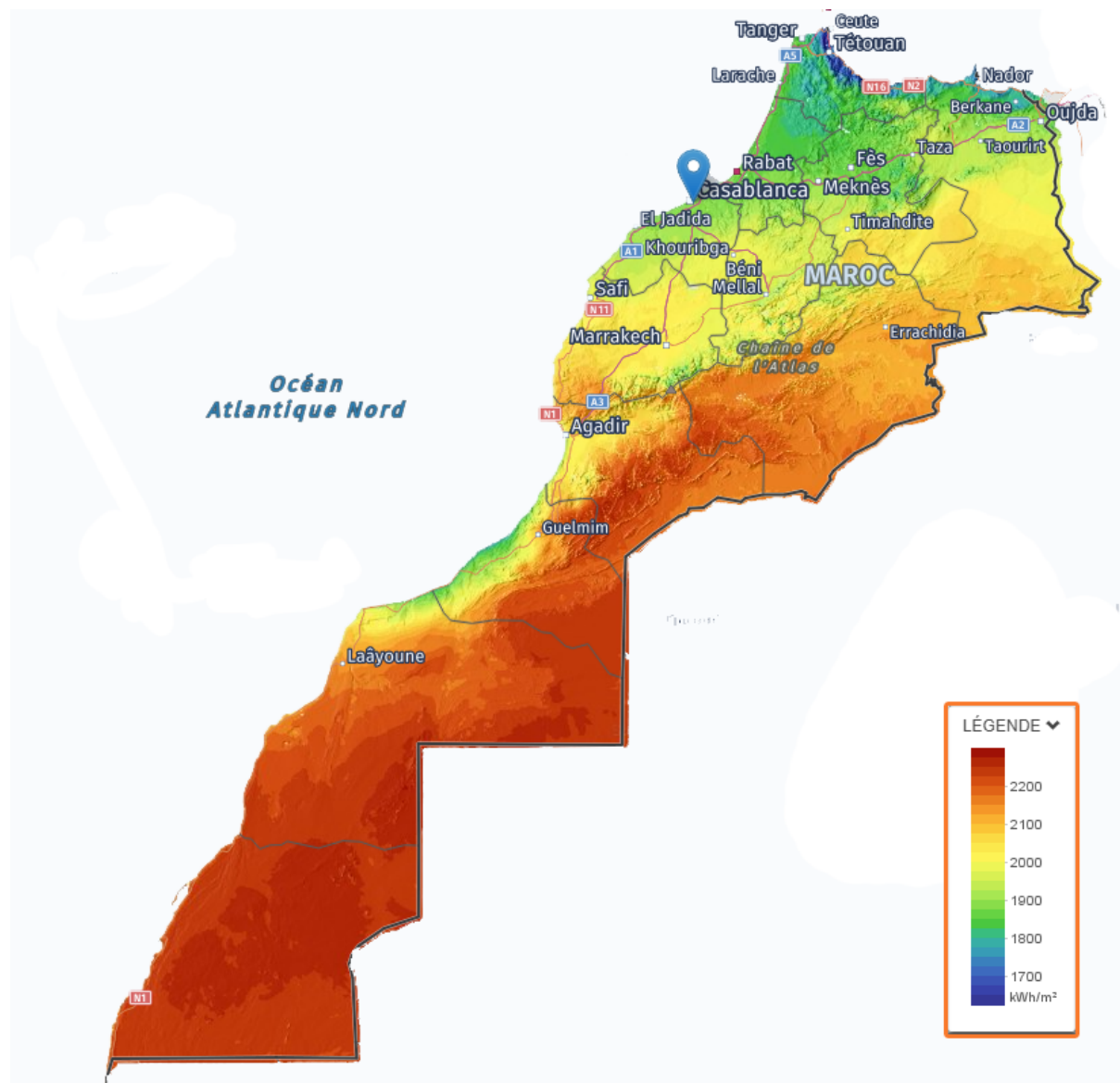
L'un des paramètres essentiels pris en compte dans la modélisation de la production d'électricité solaire est l'irradiation solaire moyenne par région. Elle correspond à la quantité d'énergie solaire reçue par unité de surface sur une période donnée (journalière, mensuelle ou annuelle). En intégrant les variations saisonnières, les différences de latitude et les caractéristiques géographiques, cette donnée permet d'évaluer avec précision le potentiel de production d'énergie solaire d'une région.

Le Maroc bénéficie d'un ensoleillement exceptionnel tout au long de l'année, ce qui en fait l'un des pays les plus favorables à l'exploitation de l'énergie solaire. Selon les données de MASEN et Solargis, le pays enregistre en moyenne de 3000 à 3500 heures d'ensoleillement par an, et une irradiation globale annuelle variant généralement entre 1700 et 2500 kWh/m²/an, selon les régions.

Les niveaux les plus élevés d'irradiation sont observés dans les régions méridionales et sahariennes (Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun, Laâyoune-Sakia El Hamra, Dakhla-Oued Eddahab), où ils dépassent souvent 2300 à 2500 kWh/m²/an, tandis que les régions du Nord et du littoral atlantique affichent des valeurs comprises entre 1700 et 2000 kWh/m²/an.



Figure 8: Irradiation globale horizontale (IGH) annuelle du Maroc¹⁰



La collecte des données d'irradiation solaire nécessite une base de données crédible. Pour les besoins du présent rapport, la base de données Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)¹¹ a été utilisée. Il s'agit d'une application web permettant à l'utilisateur d'obtenir des informations sur les systèmes de production d'énergie solaire et photovoltaïques.

3. Rendement des panneaux solaires photovoltaïques

Le rendement mesure la capacité des panneaux solaires à convertir l'énergie solaire incidente en électricité. Plus il est élevé, plus la production est importante pour une même surface. Il s'agit d'un paramètre clé pour évaluer la performance d'un système photovoltaïque et sa contribution

¹⁰ <https://solaratlas.masen.ma/>

¹¹ https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/

potentielle à la production nationale. Si le rendement dépend de plusieurs facteurs (technologie, température, orientation, etc.), les panneaux actuellement disponibles atteignent couramment $\geq 20\%$. Dans ce rapport, nous retenons un rendement nominal unique de 20 % pour l'ensemble des scénarios.

4. Facteurs de performance des installations

Ces facteurs tiennent compte des pertes et des inefficacités associées au fonctionnement des installations énergétiques. Les pertes de conversion ou de transmission, les variations saisonnières, les temps d'arrêt de maintenance et les conditions météorologiques défavorables sont quelques-uns de ces facteurs.

5. Définition du potentiel énergétique

Le potentiel énergétique solaire correspond à l'estimation de la quantité d'électricité pouvant être produite à partir de l'irradiation solaire incidente sur une surface donnée équipée de panneaux photovoltaïques. Il s'agit d'une valeur théorique qui dépend directement de l'énergie solaire reçue, des caractéristiques techniques du système et des conditions locales.

L'**irradiation solaire** constitue le facteur principal de ce potentiel. Elle représente la quantité d'énergie solaire reçue sur une surface horizontale ou inclinée, exprimée en kilowattheures par mètre carré et par an ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$). Ce paramètre varie selon la latitude, l'orientation, l'inclinaison des modules, ainsi que les conditions climatiques propres à chaque région.

Le calcul du potentiel énergétique annuel prend également en compte :

- La **surface exploitable**, issue de la surface disponible corrigée des contraintes techniques ;
- Le **taux de performance** (PR), qui intègre les pertes du système (température, câblage, onduleur...) ;
- Le **rendement nominal des panneaux photovoltaïques**.

La formule retenue dans cette étude est la suivante :

$$P_{ene} = I_{\alpha} \times \text{Surface exploitable} (\text{m}^2) \times PR \times \beta_{PV}$$

Avec :

P_{ene} : Potentiel énergétique de la surface [kWh/an]

I_{α} : Irradiation Solaire selon l'inclinaison et l'orientation optimales pour chaque région [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$]

Surface exploitable : 80 % de la surface disponible [m^2]

PR : Taux de performance de l'installation PV

β_{PV} : Rendement des panneaux photovoltaïques



6. Estimation de la production d'électricité par région

L'étude de l'estimation de la production énergétique selon trois scénarios de la surface exploitable vise à évaluer le potentiel de production d'électricité solaire dans une région donnée en fonction de différentes contraintes d'utilisation de la surface pour les installations photovoltaïques (PV). Les trois scénarios examinés sont :

1. **Le scénario optimiste** avec une exploitation de **100 %** de la surface disponible pour le PV,
2. **Le scénario médian** avec une exploitation de **60 %** de la surface disponible pour le PV,
3. **Le scénario pessimiste** avec une exploitation de seulement **30 %** de la surface disponible pour le PV.

Dans le scénario optimiste, l'étude suppose qu'il est possible d'utiliser l'intégralité (**100%**) de la surface considérée pour installer des panneaux solaires. Cela signifie que toutes les zones appropriées sont exploitées au maximum pour capter le rayonnement solaire et générer de l'électricité de manière efficace. Ce scénario permet d'obtenir une estimation théoriquement élevée de la production électrique.

Le scénario médian prend en compte certaines limites ou restrictions, ce qui conduit à ce que seuls **60 %** de la surface disponible peut être utilisée pour les installations PV. Ces contraintes pourraient inclure l'indisponibilité de toute la surface pour le solaire, ou encore des contraintes techniques ou réglementaires. La production électrique estimée dans ce scénario est généralement plus réaliste, car on y tient compte de facteurs susceptibles de limiter l'expansion totale des installations solaires.

Pour le scénario pessimiste, l'étude suppose que seulement **30 %** de la surface disponible peut être exploitée pour les panneaux solaires. Cela peut être dû à un manque d'espace disponible ou des limitations importantes à la mise en place de grandes installations solaires. En conséquence, la production électrique estimée dans ce scénario est la plus basse des trois, reflétant une utilisation limitée et peu optimale de la surface disponible.

Pour le calcul du potentiel électrique photovoltaïque sur les toitures du Maroc, les hypothèses suivantes ont été retenues :

1. **Inclinaison et orientation des panneaux solaires** : une inclinaison fixe des panneaux solaires de 30 degrés direction sud. Cette inclinaison est choisie en fonction des meilleures performances moyennes dans les régions du Maroc et permet d'optimiser la capture de l'énergie solaire tout au long de l'année.
2. **Taux de rendement PV** : Le taux de rendement des panneaux solaires photovoltaïques est estimé à 20 %. Ce taux représente l'efficacité avec laquelle les panneaux convertissent l'énergie solaire en électricité.
3. **Indice de performance système** : également connu sous le nom de facteur de performance (PRF), il est fixé à 80 %. Cet indice prend en compte les pertes d'énergie liées à des facteurs tels que les variations de température, chute de tension dans les câbles, etc.
4. **Coefficient de correction de la surface disponible due aux contraintes toitures** : le coefficient de correction appliqué est de 80 % et tient compte des contraintes liées aux

toitures, tels que les murs, l'ombrage, ou d'autres facteurs qui peuvent réduire la quantité d'énergie solaire captée par les panneaux photovoltaïques.

7. Répartition de la production d'électricité par région selon les scénarios

Les résultats de l'étude présentent l'évolution du potentiel électrique sur une période allant de 2020 à 2035 pour chacune des 12 régions marocaines. Le potentiel électrique inhérent à l'exploitation de la surface disponible est calculé selon trois scénarios, chacun explorant différentes possibilités d'utilisation de la surface exploitable pour capter l'énergie solaire.

- **Le scénario optimiste :** la courbe correspondant à ce premier scénario montre une augmentation significative du potentiel électrique au fil du temps. Elle reflète une augmentation de la surface construite, entraînant une augmentation rapide de la production d'énergie solaire.
- **Le scénario médian :** la courbe représentative du second scénario est également ascendante, mais à un rythme moins rapide. L'utilisation de 60 % de la surface exploitable traduit une exploitation significative de l'énergie solaire avec toutefois des facteurs limitant une utilisation plus étendue.
- **Le scénario pessimiste :** la courbe qui correspond à ce troisième scénario montrera la croissance la plus lente du potentiel électrique solaire par rapport aux deux autres scénarios. Le fait de n'utiliser que 30 % de la surface exploitable peut signifier des restrictions importantes sur l'exploitation de l'énergie solaire, peut-être en faveur de la préservation d'autres utilisations du territoire, ou encore liées à des défis techniques.

Figure 9: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Tanger-Tétouan-Al Hoceima et Oriental

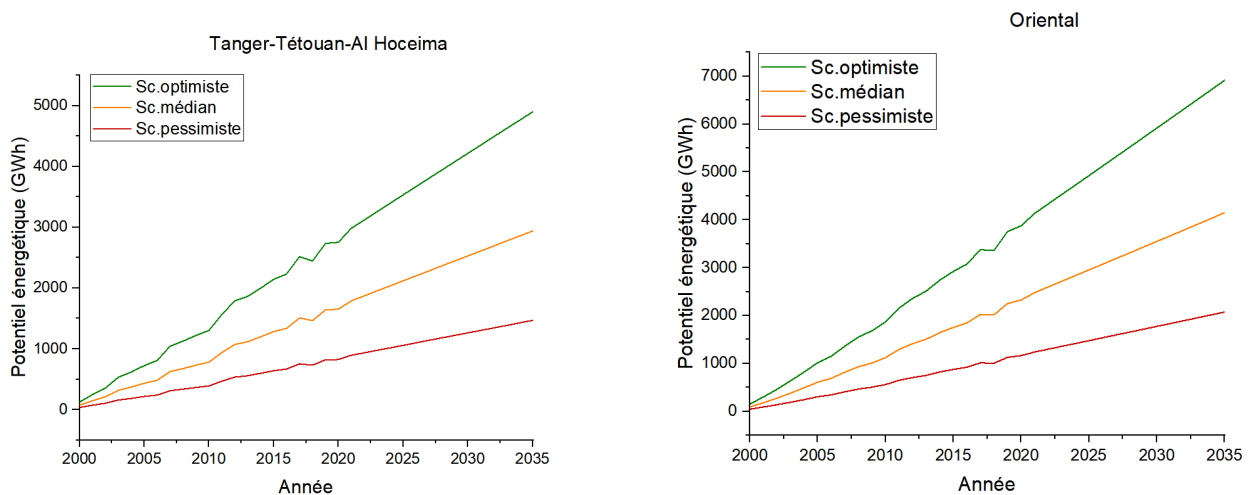


Figure 10: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Fès-Meknès et Rabat-Salé-Kénitra

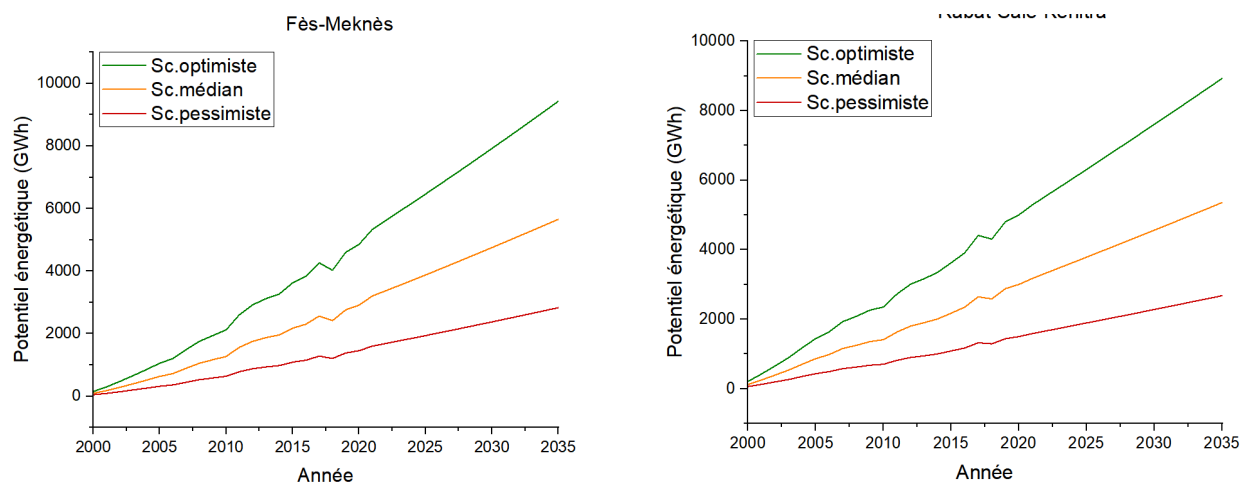


Figure 11: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Béni Mellal-Khénifra et Casablanca-Settat

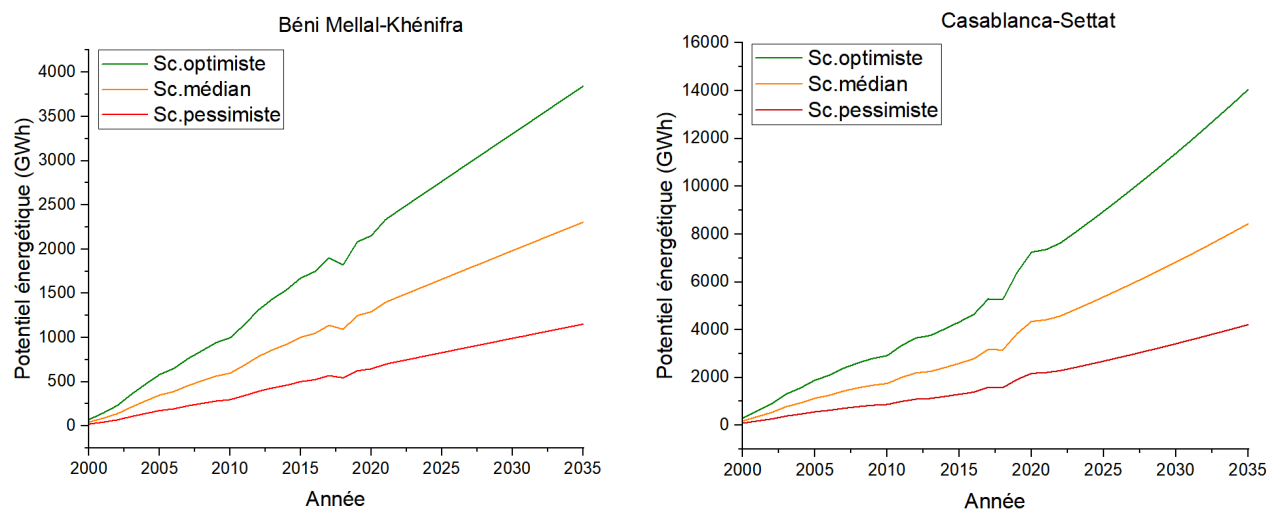


Figure 13: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Marrakech-Safi et Drâa-Tafilalet

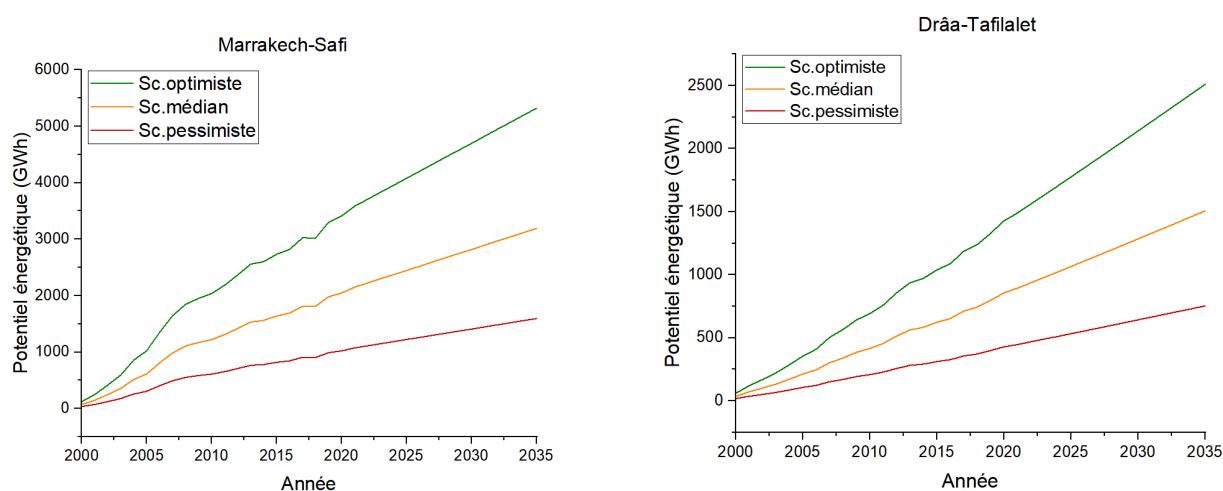


Figure 12: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Souss-Massa et Guelmim-Oued Noun

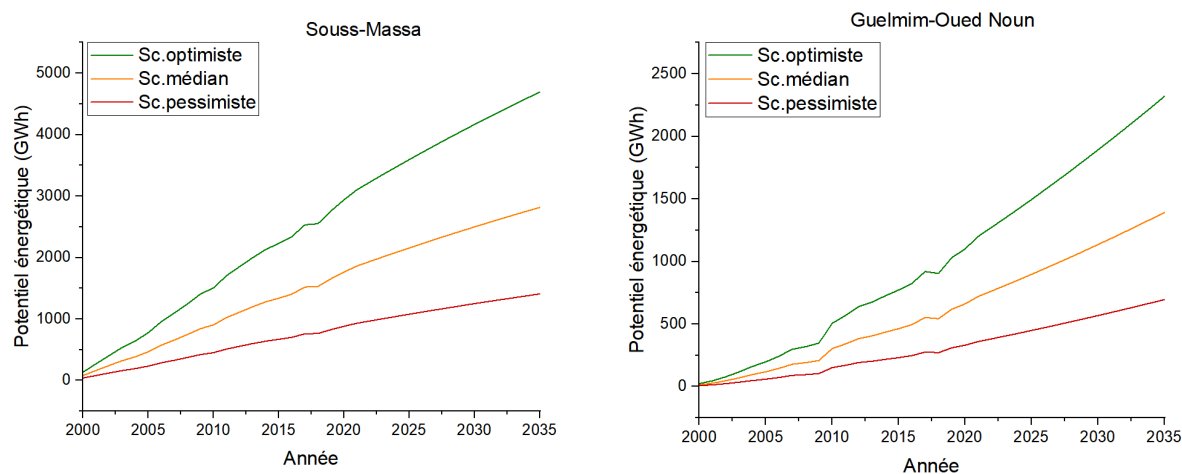
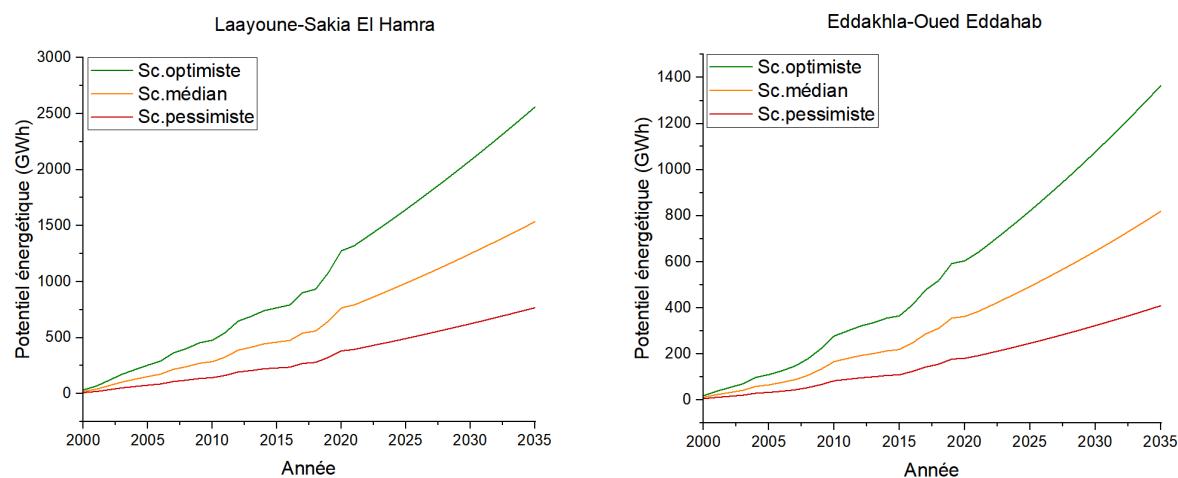


Figure 14: Évolution du potentiel électrique par scénario des régions de Laayoune-Sakia El Hamra et Eddakhla-Oued Eddahab



8. Identification des régions à fort potentiel de production d'électricité

Les figures 16 et 17 illustrent l'évolution du potentiel électrique pour chaque région selon les trois scénarios. Ces figures montrent que **les 3 régions : Casablanca-Settat, Fès-Meknès et Rabat-Salé-Kénitra** produisent à elles seules 50 % de la totalité de l'électricité verte produite par les régions. Ce potentiel supérieur est dû à la présence d'une surface exploitable importante dans ces régions. Quant aux régions qui se distinguent par une irradiation élevée, comme Marrakech-Safi, Souss-Massa et Béni Mellal-Khénifra, elles ont une production d'électricité moyenne. Les autres régions ont une faible production d'énergie due principalement à une faible surface bâtie.

Figure 15: Classement des régions en matière de potentiel solaire selon les 3 scénarios agrégés



Figure 16: Potentiel énergétique pour toutes les régions du Maroc selon les scénarios optimiste et Médian

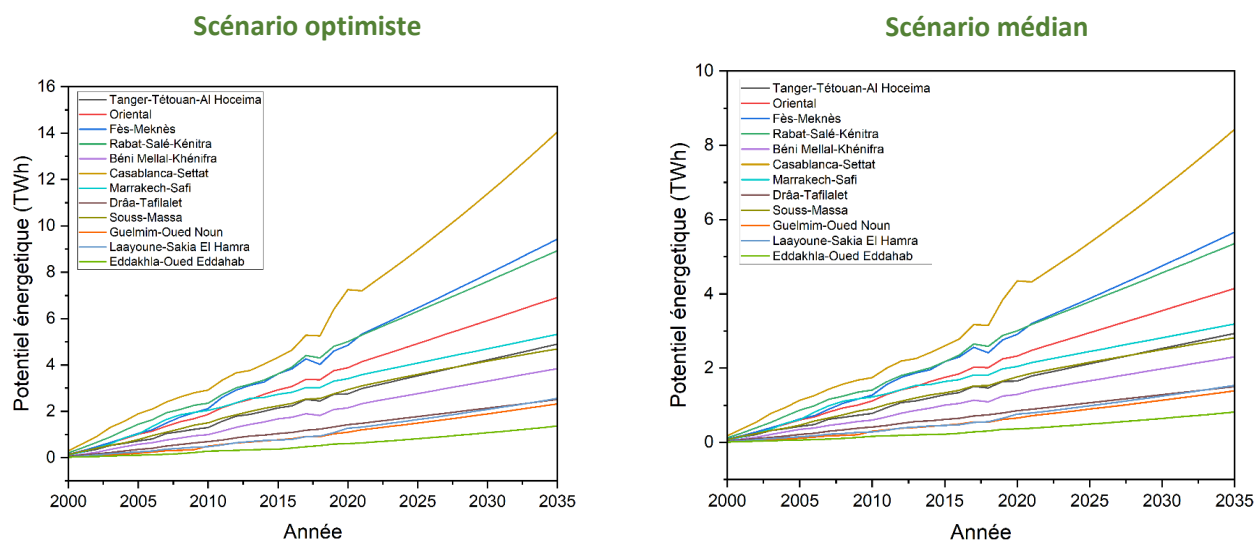


Figure 17: Potentiel énergétique pour toutes les régions du Maroc selon le scénario pessimiste

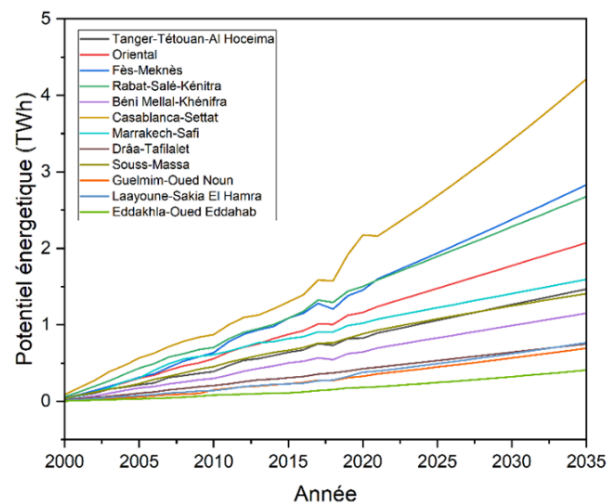


Tableau 2: tableau récapitulatif des potentiels par région et par scénario

	Potentiel énergie en 2035-Sc optimiste (TWh)	Potentiel énergie en 2035-Sc médian (TWh)	Potentiel énergie en 2035-Sc pessimiste (TWh)
Casablanca-Settat	14,05	8,43	4,22
Fès-Meknès	9,43	5,66	2,83
Rabat-Salé-Kénitra	8,93	5,36	2,68
Oriental	6,91	4,15	2,07
Marrakech-Safi	5,32	3,19	1,60
Tanger-Tétouan-Al Hoceima	4,90	2,94	1,47
Souss-Massa	4,69	2,82	1,41
Béni Mellal-Khénifra	3,84	2,30	1,15
Laayoune-Sakia El Hamra	2,56	1,54	0,77
Drâa-Tafilalet	2,51	1,51	0,75
Guelmim-Oued Noun	2,32	1,39	0,70
Eddakhla-Oued Eddahab	1,36	0,82	0,41

9. Estimation de la puissance installée par région

La puissance électrique maximale pouvant être installée dans une région dépend de la surface exploitable disponible ainsi que de la technologie photovoltaïque adoptée, en tenant compte des contraintes physiques et techniques.

Dans notre étude, nous considérons que 80% de la surface totale disponible est exploitable, ce coefficient prenant en compte l'espace nécessaire entre les panneaux pour l'installation, la maintenance, ainsi que les zones d'ombres éventuelles.

Le rendement nominal des panneaux est fixé à 20%, ce qui correspond au rendement moyen des panneaux monocristallins modernes utilisés au Maroc à l'heure actuelle.

Par ailleurs, la performance globale du système, exprimée par le facteur de performance (Performance Ratio - PR), est estimée à 80%. Ce facteur englobe les pertes liées aux câbles, aux

onduleurs, à la surchauffe des modules, à la poussière et à d'autres effets réels qui réduisent la production effective.

La puissance crête installée (en kWp) est donc calculée par la formule suivante :

$$P_{\text{installée}} = S_{\text{totale}} \times 0,8 \times \eta_{\text{PV}} \times \text{PR}$$

où :

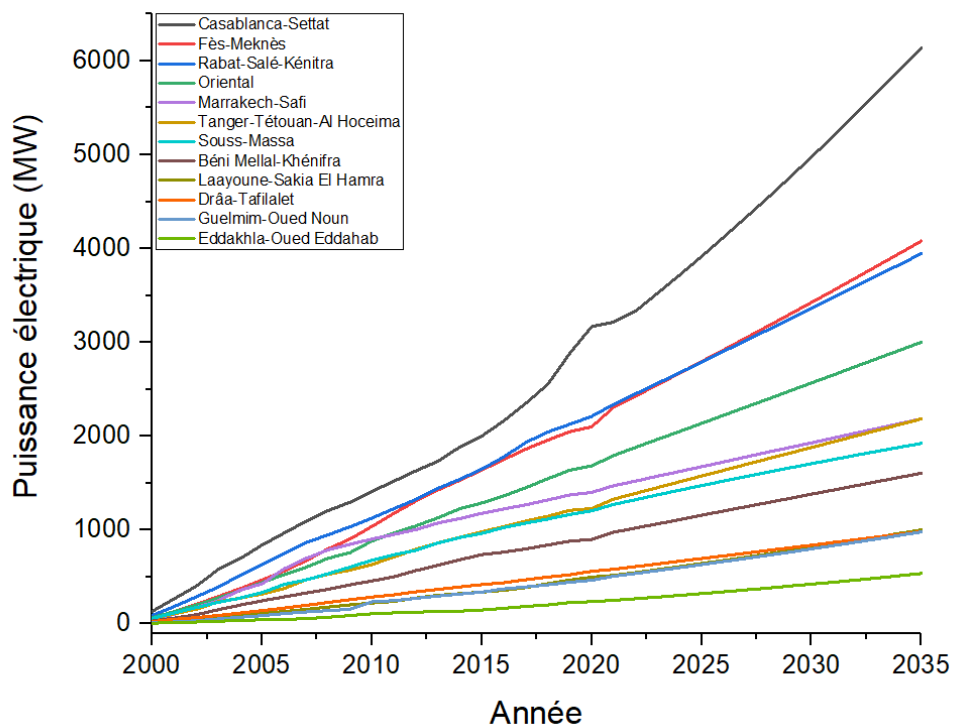
- $P_{\text{installée}}$ est la puissance crête installée (kWp),
- S_{totale} la surface totale disponible (m^2),
- 0,80 le coefficient de surface exploitable,
- $\eta_{\text{PV}}=0,20$ le rendement nominal des panneaux,
- $\text{PR}=0,80$ le facteur de performance système.

Cette formule permet d'estimer de manière réaliste la capacité photovoltaïque maximale que l'on peut installer pour une surface donnée, en intégrant à la fois le rendement technologique et les pertes d'exploitation liées au contexte d'installation.

Les figures 18, 19 et 20 représentent l'évolution de la puissance électrique pour chaque région, selon les trois scénarios.

Scénario optimiste :

Figure 18: Puissance électrique pour toutes les régions selon le scénario optimiste

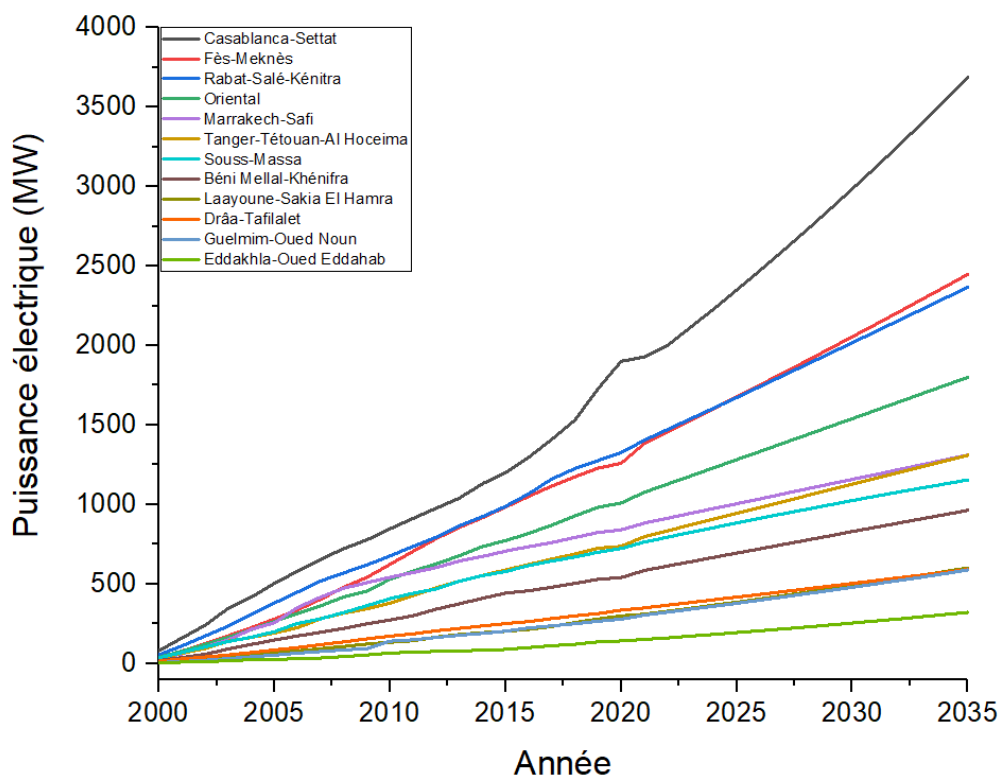


En 2035, le scénario optimiste pour l'installation de panneaux solaires au Maroc révèle un potentiel total de 28,58 GW de puissance solaire installable sur toitures, réparti selon trois groupes de régions :

- **Groupe 1 - Régions à fort potentiel (49% de la capacité totale) :**
Casablanca-Settat, Fès-Meknès et Rabat-Salé-Kénitra se démarquent avec environ 49% (14,17 GW) de la puissance totale installable, ce qui confirme l'importance stratégique de ces régions pour le déploiement des systèmes renouvelables décentralisés.
- **Groupe 2 - Régions à potentiel modéré (33% de la capacité totale) :**
Oriental, Marrakech-Safi, Tanger-Tétouan-Al Hoceima et Souss-Massa représentent un potentiel significatif avec près de 33% (9,30 GW) de la capacité installable.
- **Groupe 3 - Autres régions (18% de la capacité totale) :**
Béni Mellal-Khénifra, Laâyoune-Sakia El Hamra, Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun et Dakhla-Oued Eddahab offrent environ 18% (5,11 GW) de la puissance installable.

Scénario médian :

Figure 19: Puissance électrique pour toutes les régions selon le scénario médian



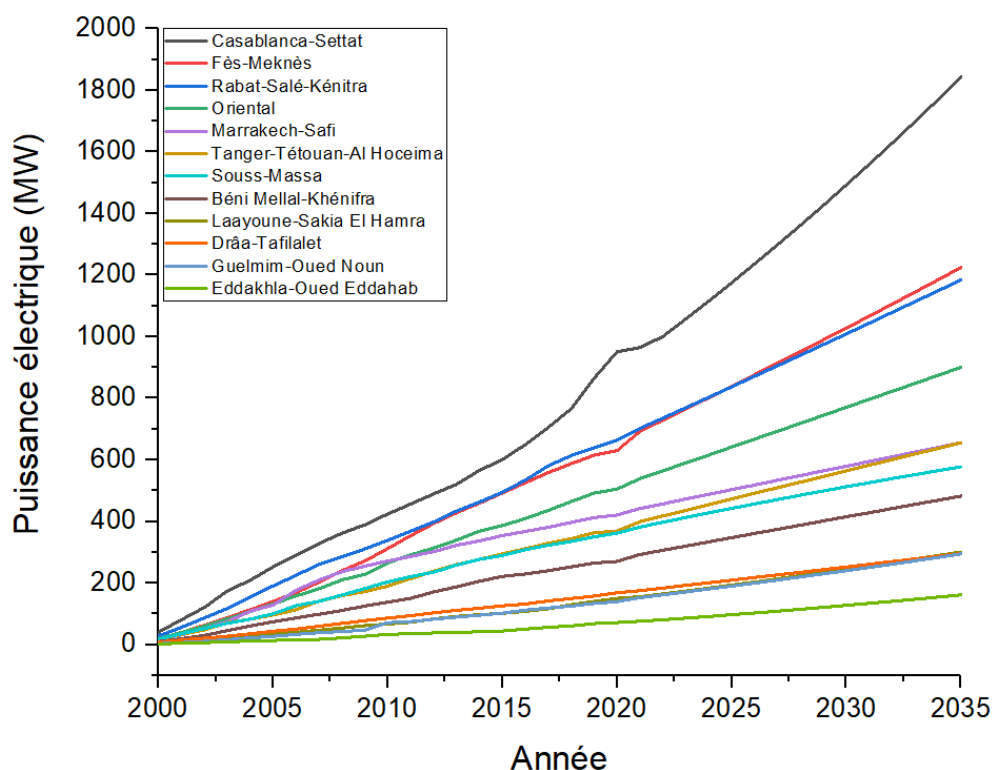
S'agissant du scénario médian pour l'installation de panneaux solaires au Maroc jusqu'en 2035, nécessitant **17,15 GW** de puissance solaire décentralisé :



- La seule région de **Casablanca-Settat** monopolise près de **21 % (3,68 GW)** de la puissance totale de ce scénario.
- **Fès-Meknès et Rabat-Salé-Kénitra**, requièrent environ **28 % (4,81 GW)** de la puissance totale.
- **Oriental, Marrakech-Safi, Tanger-Tétouan-Al Hoceima et Souss-Massa** représentent ensemble environ **33 % (5,58 GW)** de la puissance totale nécessaire.
- **Béni Mellal-Khénifra, Laâyoune-Sakia El Hamra, Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun, Dakhla-Oued Eddahab** auront besoin d'environ **18 % (3,07 GW)** de la puissance totale.

Scénario pessimiste :

Figure 20: Puissance électrique pour toutes les régions selon le scénario pessimiste



Dans le scénario pessimiste pour l'installation de panneaux solaires sur les toitures au Maroc à l'horizon 2035, la puissance solaire nécessaire est estimée à 8.57 GW, plusieurs éléments clés à noter:

- **Casablanca-Settat** conserve son importance, même dans ce scénario, accumulant environ **21 % (1,84 GW)** de la puissance totale.
- **Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra** représentent **28 % (2,41 GW)** du besoin total en puissance.
- **L'Oriental, Marrakech-Safi, Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Souss-Massa** nécessitent environ **33 % (2,79 GW)** de la puissance totale.

- **Béni Mellal-Khénifra, Laâyoune-Sakia El Hamra, Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun, Dakhla-Oued Eddahab** représentent environ **18 % (1,53 GW)** de la puissance totale nécessaire.

10. Calcul du coût moyen de la capacité installée

Le coût moyen estimé pour une installation photovoltaïque représente la dépense moyenne prévue pour la mise en place d'un système solaire photovoltaïque convertissant l'énergie solaire en électricité.

Ce coût peut varier considérablement en fonction de divers facteurs, tels que la taille et la capacité du système, la qualité et l'efficacité des équipements utilisés, le coût de la main-d'œuvre locale, la réglementation locale en matière d'urbanisme et tout autre coût lié à la mise en connexion avec le réseau, les subventions ou incitations gouvernementales disponibles et les conditions du marché. Au début de 2024, le coût moyen estimé pour une installation photovoltaïque est d'environ 10 dirhams par watt installé. Ce coût inclut l'ensemble des dépenses liées au projet, tels que l'achat et la pose des panneaux solaires, les onduleurs, les structures de support, les câbles, les systèmes de fixation, les coûts de main-d'œuvre et autres frais accessoires.

Il est important de noter que le coût moyen estimé ne doit pas être confondu avec le coût total de possession, qui inclut également les coûts d'exploitation et de maintenance ainsi que les coûts d'élimination en fin de vie du système. Une analyse complète du coût total des projets est essentielle pour évaluer la viabilité financière de l'installation photovoltaïque sur le long terme.

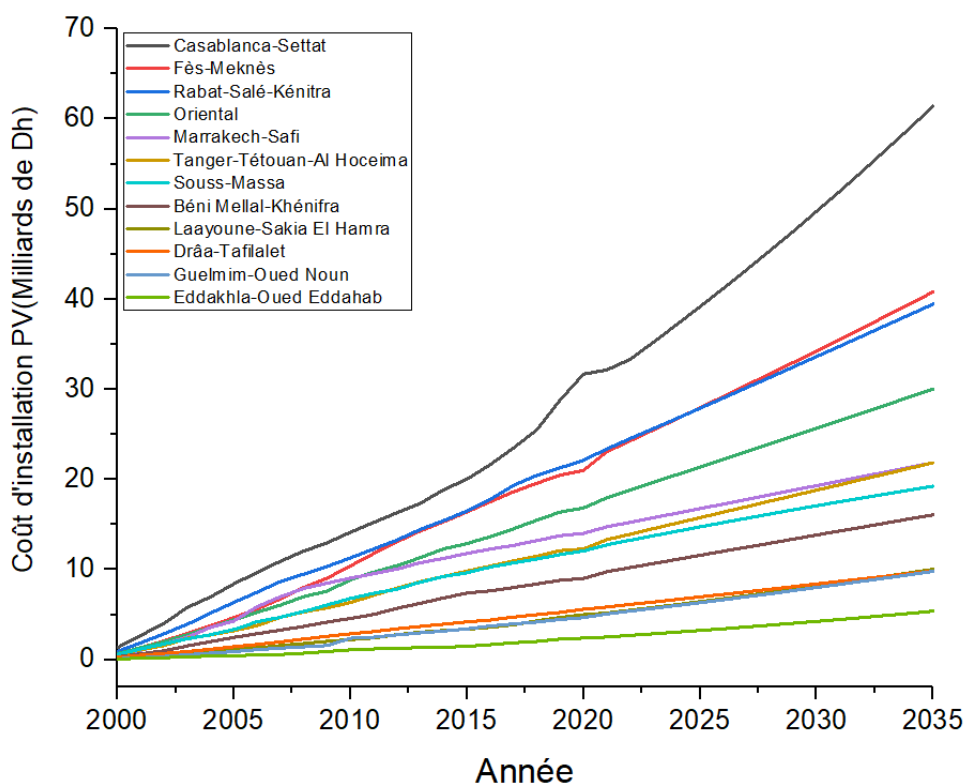
La formule suivante permet d'estimer le coût de l'installation photovoltaïque

$$\text{Le coût de l'installation PV (Dh)} = 10 \frac{\text{Dh}}{\text{W}} \times \text{La puissance électrique installée (W)}$$

11. Estimation du coût moyen de l'installation PV selon les scénarios

Scénario optimiste :

Figure 21: Coût estimé pour l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toitures pour toutes les régions du Maroc selon le scénario optimiste

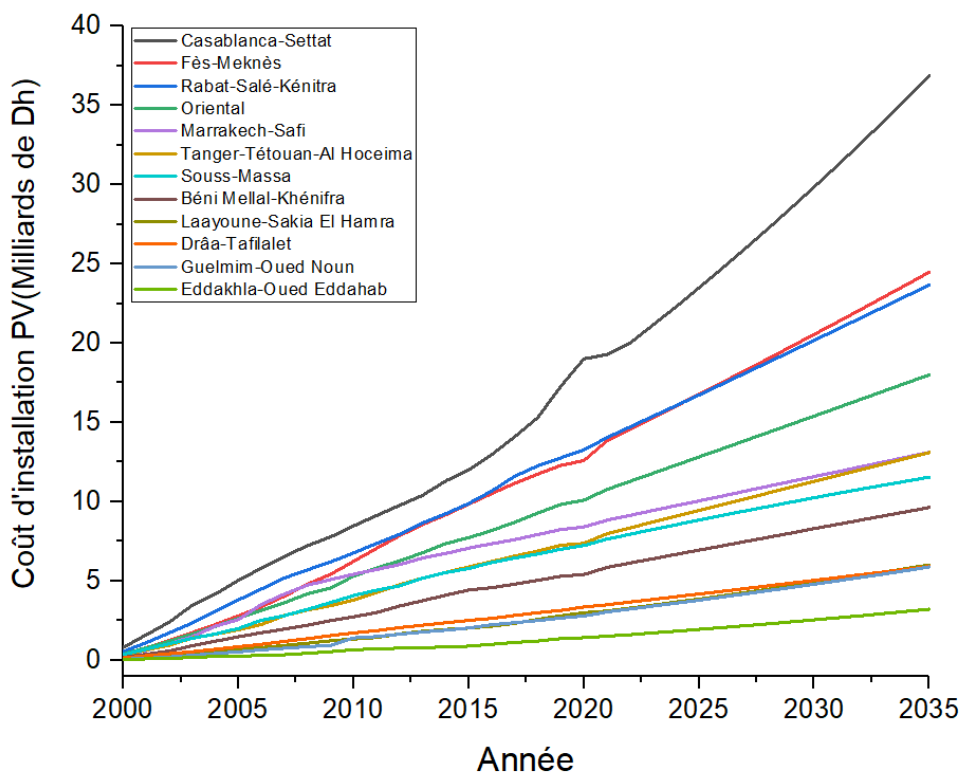


Dans le scénario optimiste, les coûts associés à l'installation de panneaux solaires estimés pour les 12 régions marocaines jusqu'en 2035 sont significatifs :

- **Casablanca-Settat** nécessite le plus gros investissement financier avec environ 61,42 milliards de dirhams (6,67 Milliards de \$), représentant **21 %** du coût total.
- **Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra** représentent environ **28 %** des coûts totaux soit 80,29 milliards de dirhams (8,72 Milliards de \$).
- **L'Oriental, Marrakech-Safi, Tanger-Tétouan-Al Hoceïma, Souss-Massa**, nécessitent près de **33 %** des coûts totaux soit 92,98 milliards de dirhams (10,09 Milliards de \$).
- **Béni Mellal-Khénifra, Laâyoune-Sakia El Hamra, Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun et Dakhla-Oued Eddahab** : ce groupe nécessite un investissement de 51,14 milliards de dirhams (5,55 Milliards de \$), représentant environ 18% du coût total.

Scénario médian :

Figure 22: Coût estimé pour l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toitures pour toutes les régions du Maroc selon le scénario médian

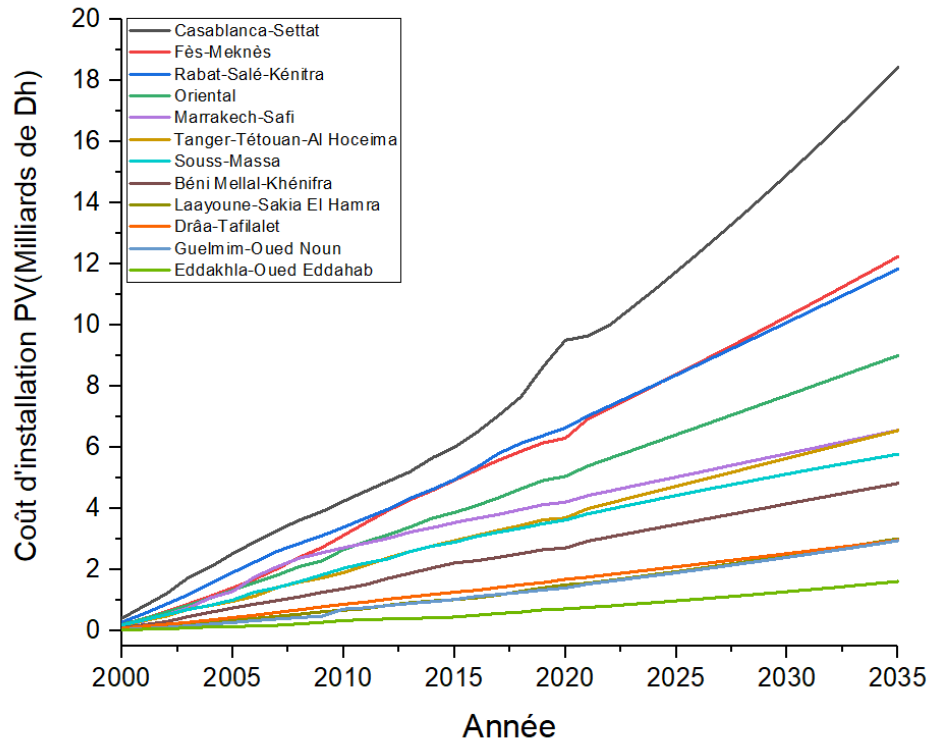


Dans le scénario médian, qui reflète une transition énergétique plus modérée vers l'énergie solaire sur les toitures, les coûts associés à l'installation de panneaux solaires dans les 12 régions marocaines jusqu'en 2035 sont moins élevés que dans le scénario optimiste :

- **Casablanca-Settat** nécessite l'investissement financier le plus important correspondant à environ 36,85 milliards de dirhams (4 Milliards de \$), représentant **21 %** du coût total.
- **Fès-Meknès et Rabat-Salé-Kénitra** requièrent ensemble environ 48,17 milliards de dirhams (5,23 Milliards de \$), soit près de **28 %** du coût total.
- **L'Orient, Marrakech-Safi, Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Souss-Massa, Béni Mellal-Khénifra, Laâyoune-Sakia El Hamra, Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun et Dakhla-Oued Eddahab** : ces régions nécessitent un investissement de 86,47 milliards de dirhams (9,39 Milliards de \$), représentant environ **51 %** du coût total.

Scénario pessimiste :

Figure 23: Coût estimé pour l'installation des panneaux photovoltaïques sur les toitures pour toutes les régions du Maroc selon le scénario pessimiste



Pour le scénario pessimiste, qui implique des niveaux d'investissement plus bas, voici une analyse des coûts d'investissement pour l'installation de panneaux solaires photovoltaïques par région marocaines jusqu'en 2035 :

- **Casablanca-Settat** nécessitera le plus gros investissement d'environ 18,42 milliards de dirhams (2 Milliards de \$), soit **21 %** du coût total.
- **Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra, Oriental, Marrakech-Safi, Tanger-Tétouan-Al Hoceima** : elles représentent environ **54 %** des coûts totaux avec un investissement en 2035 de l'ordre de 46,21 milliards de dirhams (5,02 Milliards de \$),
- **Souss-Massa, Béni Mellal-Khénifra, Laâyoune-Sakia El Hamra, Drâa-Tafilalet, Guelmim-Oued Noun, Dakhla-Oued Eddahab** : elles représentent **25 %** des coût totaux, ce qui représente 21,12 milliards de dirhams (2,29 Milliards de \$). Tout au long de la période considérée, ces régions nécessitent un investissement initial relativement bas pour atteindre leur potentiel énergétique, les coûts restants constants ou augmentant légèrement par rapport aux années précédentes. Cela indique une accessibilité favorable aux ressources ou une infrastructure existante propice au développement énergétique.

12. Comparaison entre le potentiel électrique et la consommation électrique

Les figures 24 à 36 illustrent le potentiel électrique généré par les installations photovoltaïques (PV) sur les toitures par rapport à la consommation électrique de chacune des 12 régions selon les trois scénarios (*optimiste, médian et pessimiste*). Cette comparaison donne un aperçu du pourcentage de satisfaction des besoins de chaque région et ses résultats font apparaître deux cas :

Lorsque la consommation électrique dépasse le potentiel électrique (Cas A) :

Indépendamment du scénario retenu, certaines régions présentent une consommation électrique supérieure au potentiel de production offert par les installations photovoltaïques. Ce déséquilibre peut résulter du facteur suivant :

- Un déséquilibre entre l'offre et la demande d'électricité, résultant d'une forte densité de population ou d'une activité industrielle importante, conjuguée à une capacité photovoltaïque insuffisante (*surface de toitures limitée par rapport aux besoins énergétiques de la région*).

Dans ce cas de figure, les services du réseau électrique centralisé pourraient compléter les installations décentralisées photovoltaïques. L'analyse présentée ici se limite à la production issue des panneaux solaires installés sur les toitures. Ainsi, une région est considérée excédentaire ou déficitaire uniquement au regard de ce potentiel photovoltaïque local. Dans la réalité, d'autres sources d'énergie renouvelable ou conventionnelle, existantes ou projetées, viendraient bien entendu contribuer à l'équilibre énergétique régional. Par ailleurs, ces régions pourraient envisager d'importer de l'électricité d'autres zones disposant d'un surplus d'électricité verte ou d'intégrer d'autres technologies couvertes dans ce rapport, telles que la mobilité électrique intelligente et le stockage par batteries.

Lorsque le potentiel électrique est supérieur à la consommation électrique (Cas B) :

Quel que soit le scénario considéré, il est observé dans certaines régions que le potentiel électrique généré par les installations PV dépasse la consommation électrique d'une région donnée. Cela peut être dû à :

- Une économie moins dépendante de l'électricité ou une faible densité de population entraînant une faible demande en l'électricité ;
- Des installations photovoltaïques suffisantes par rapport à la demande électrique de la région donnée (*surface des toitures suffisante pour satisfaire/surpasser les besoins de la région*).

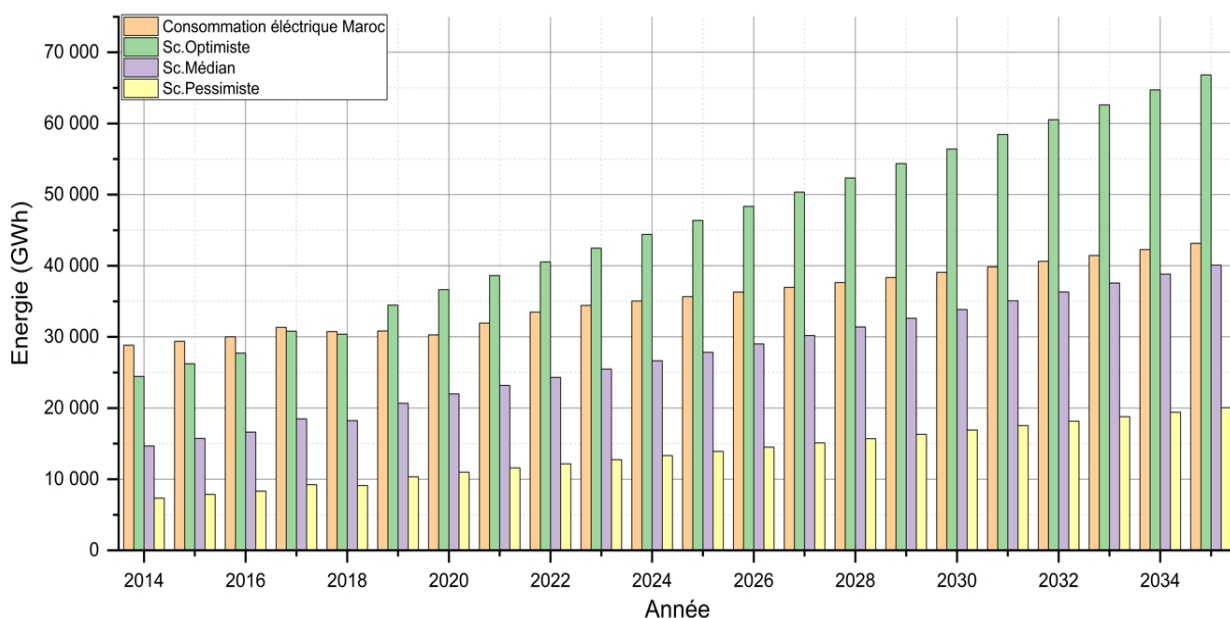
Ces régions ont la possibilité d'utiliser leur excès pour fournir de l'électricité à d'autres régions, industries ou pays voisins via le réseau national. Pour ce faire, il faudra repenser en profondeur, d'un point de vue stratégique, technique et financier, une approche à la fois centralisée et décentralisée qui contribuerait à la stimulation de l'économie des régions, à la création d'emplois et à une adoption plus large des énergies renouvelables.

Pour toutes les analyses qui suivent, et afin de valoriser le potentiel calculé, des investissements en stockage sont fortement recommandés afin d'exploiter les excédents de production. Le stockage est bien entendu abordé dans ce rapport, en particulier sous l'angle de l'intégration du solaire en toiture, combiné à d'autres technologies éprouvées sur le marché.

Interprétation des résultats obtenus pour l'ensemble des régions marocaines

- Dans le **scénario optimiste**, en 2035 le potentiel électrique est plus grand que la consommation électrique ¹²totale de toutes les régions, avec un surplus de 23 689,8 GWh. En d'autres termes, si le Maroc optait pour une approche optimiste, l'énergie solaire aurait la capacité de répondre à la demande d'électricité totale du pays. C'est une projection prometteuse, car elle suggère que l'énergie solaire pourrait permettre au pays de devenir largement autosuffisant en énergie et aussi de pouvoir exporter cette énergie verte aux autres pays.
- Selon le **scénario médian**, en 2035, le potentiel électrique total de toutes les régions serait légèrement inférieur à la consommation électrique avec un déficit de 3 044 GWh. Malgré le fait que le scénario typique ne peut pas atteindre la parfaite autosuffisance, il démontre tout de même que l'énergie solaire dispose d'un potentiel considérable pour contribuer à satisfaire une part importante de la demande finale électrique du pays. Cette électricité pourrait être complémentaire à d'autres sources d'énergie renouvelable centralisées.
- D'après le **scénario pessimiste**, en 2035, le potentiel électrique total de toutes les régions est beaucoup plus faible que la consommation électrique totale avec un besoin de 23 094,3 GWh, ce qui indique que le scénario pessimiste ne serait pas suffisant pour répondre à la demande totale en électricité du pays.

Figure 24: Consommation électrique vs potentiel électrique de toutes les régions du Maroc selon les trois scénarios

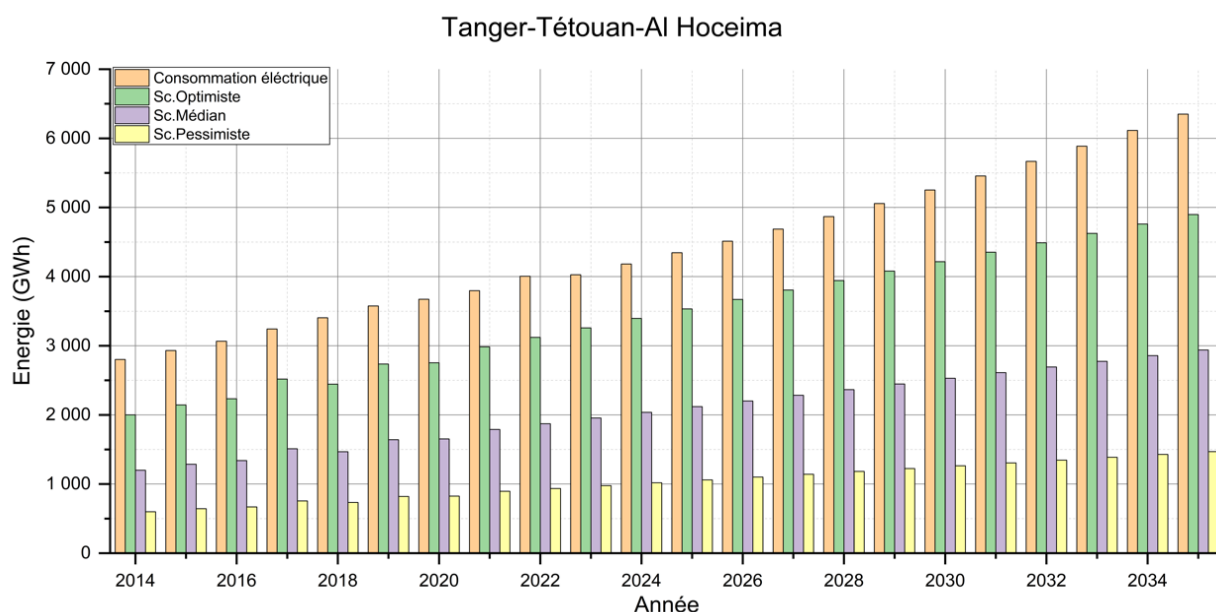


¹² Source : <https://www.hcp.ma/downloads/?tag=Annuaire+statistiques+du+Maroc>

Interprétation¹³ des résultats obtenus pour la région de Tanger-Tétouan-Al Hoceima

- La consommation énergétique augmente de manière significative chaque année, reflétant une demande croissante d'énergie dans la région de Tanger-Tétouan-Al Hoceima.
- **Dans le scénario optimiste**, le taux de couverture par le PV en toiture progresse, mais demeure inférieur à 100 %, laissant une part de demande non couverte estimée en moyenne à 951,9 GWh/an.
- Les scénarios médian et pessimiste affichent un taux de couverture plus faible, avec une part non couverte moyenne de 2 333,1 GWh/an (scénario médian) et 3 369 GWh/an (scénario pessimiste).
- L'écart maximal entre consommation et production PV toits survient en 2035 : 1 453 GWh (optimiste), 3 412,1 GWh (médian) et 4 881,4 GWh (pessimiste).
- Ces résultats caractérisent la contribution potentielle du seul PV en toiture. L'équilibre régional réel dépendra des autres filières (existantes ou projetées), des échanges interrégionaux, de la gestion de la demande et de l'intégration de solutions de stockage/mobilité électrique, traitées dans ce rapport.

Figure 25: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Tanger-Tétouan-Al Hoceima

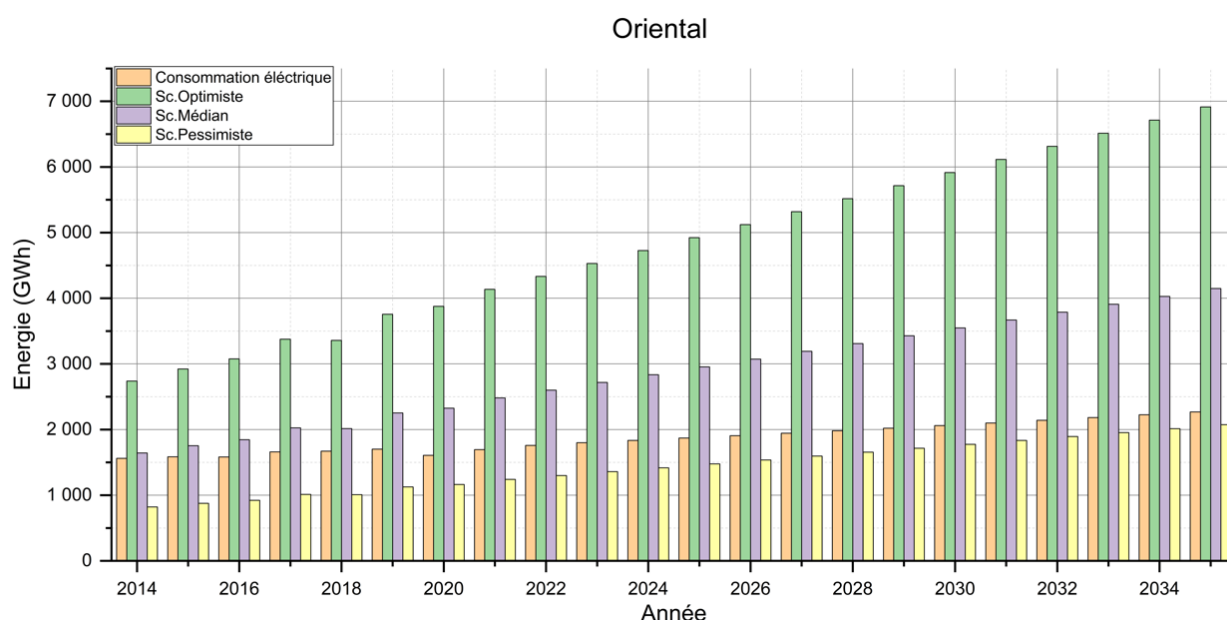


¹³ L'Interprétation porte uniquement sur le potentiel PV en toiture et ne préjuge pas de l'équilibre régional incluant autres moyens de production.

Interprétation des résultats obtenus pour la région de l'Oriental

- La consommation d'électricité dans la région de l'Oriental a connu une stabilité relative entre 2015 et 2023, avant de reprendre une trajectoire haussière en 2024.
- Scénario optimiste** : le potentiel de production PV en toiture progresse chaque année et dépasse la consommation projetée sur l'horizon étudié, la part de demande potentiellement couverte par le PV toits excède 100 %, avec un excédent potentiel de 4 646,1 GWh en 2035.
- Scénario médian** : le potentiel est inférieur à l'optimiste mais demeure supérieur à la consommation, excédent potentiel de 1 880,3 GWh en 2035.
- Scénario pessimiste** : le potentiel augmente également, mais reste inférieur à la consommation, part non couverte de 194 GWh en 2035.
- Ces résultats caractérisent la contribution du seul PV en toiture. Ils suggèrent un gisement significatif pouvant soutenir la demande locale et, selon les scénarios, alimenter des flux sortants vers d'autres régions. L'équilibre effectif dépendra toutefois des autres filières de production, des échanges interrégionaux, de la flexibilité (stockage, pilotage de la demande, mobilité électrique) et des contraintes réseaux.

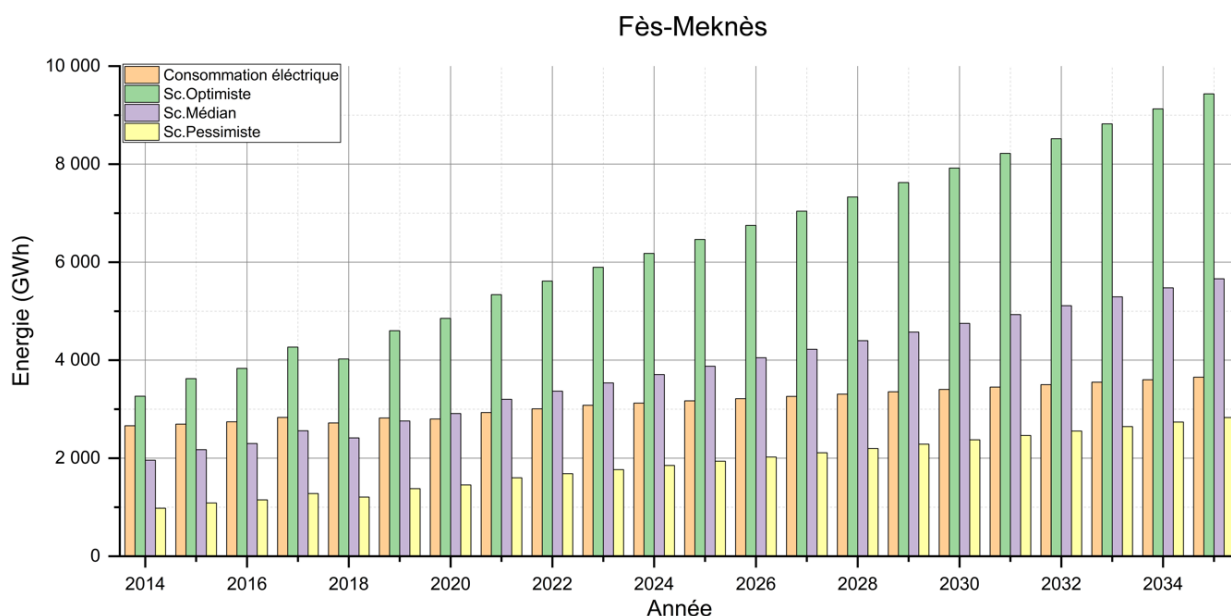
Figure 26: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de l'Oriental selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Fès-Meknès

- La consommation d'électricité augmente régulièrement sur la période étudiée, passant d'environ 2 663 GWh en 2014 à 3 653,9 GWh en 2035.
- **Scénario optimiste** : le potentiel de production PV en toiture progresse chaque année et dépasse largement la consommation dès 2015. En 2035, le potentiel atteint 9 433,5 GWh, soit une part de demande couverte au-delà de 100 % avec un excédent potentiel de 5 779,5 GWh.
- **Scénario médian** : jusqu'à 2019, la consommation excède le potentiel avec un écart moyen de 384,9 GWh/an. À partir de 2020, le potentiel dépasse la consommation, pour un excédent potentiel moyen de 1 040,8 GWh/an entre 2020 et 2035. Cette inversion suggère une capacité potentielle d'export vers d'autres régions si cette trajectoire se confirme.
- **Scénario pessimiste** : le potentiel, bien qu'en hausse annuelle, reste inférieur à la consommation, avec une part non couverte de 823,9 GWh en 2035.

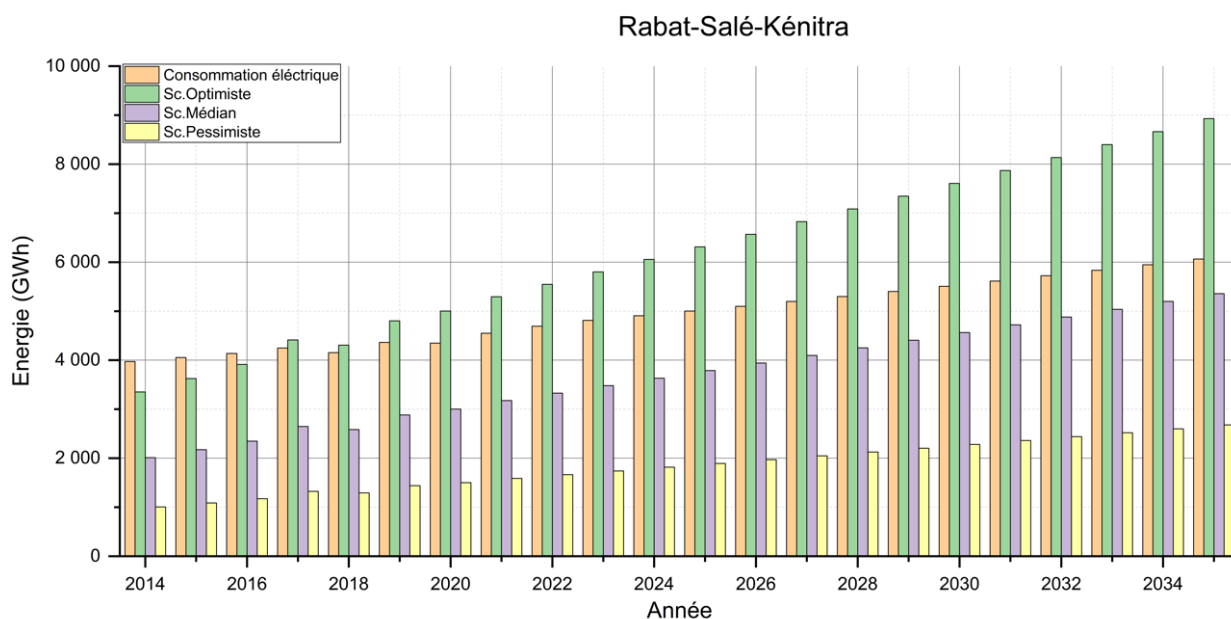
Figure 27: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Fès-Meknès selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Rabat-Salé-Kénitra

- La consommation d'électricité augmente de façon continue sur la période, passant de 3 972,3 GWh en 2014 à 6 063,4 GWh en 2035.
- **Scénario optimiste** : la consommation dépasse légèrement le potentiel entre 2014 et 2016 (écart moyen 424,7 GWh/an). À partir de 2017, le potentiel PV en toiture excède la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 1 484,3 GWh/an (2017–2035).
- **Scénario médian** : la consommation reste supérieure au potentiel sur l'ensemble de 2014–2035, avec un écart moyen de 1 246,2 GWh/an (part de demande non couverte par le PV toits).
- **Scénario pessimiste** : la consommation dépasse constamment le potentiel, avec un écart moyen de 3 098,9 GWh/an sur 2014–2035.

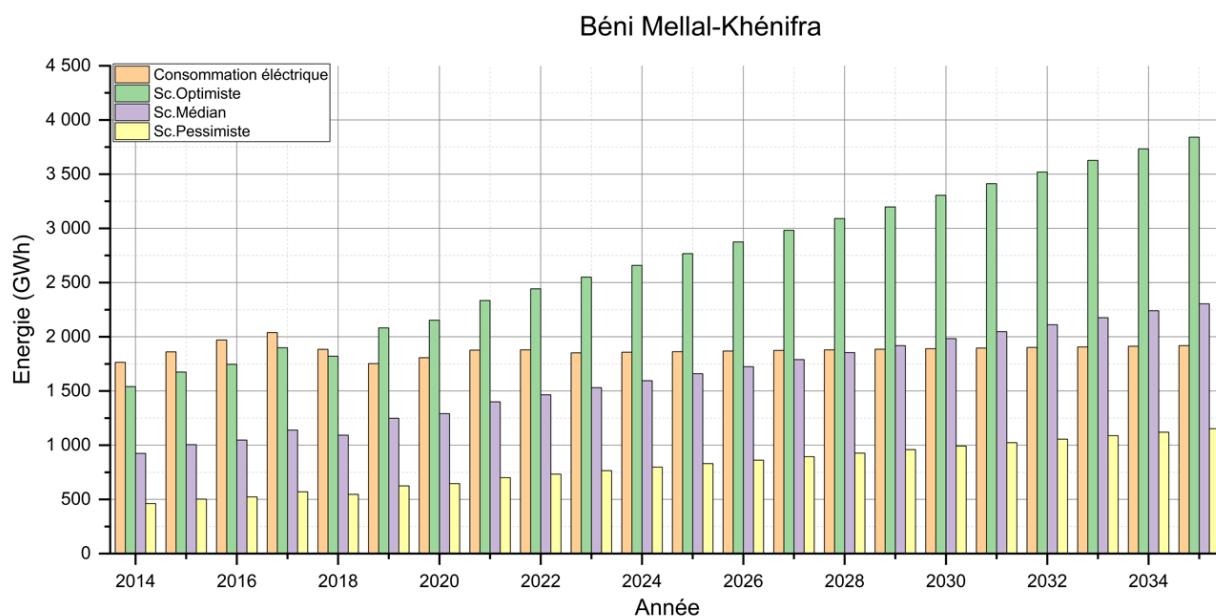
Figure 28: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Rabat-Salé-Kénitra selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Béni Mellal-Khénifra

- **Scénario optimiste** : de 2014 à 2018, la part de demande non couverte par le PV en toiture est en moyenne de 167,6 GWh/an. À partir de 2019, le potentiel PV toits dépasse la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 1 102,9 GWh/an.
- **Scénario médian** : de 2014 à 2028, la consommation dépasse le potentiel, soit un écart moyen de 484,1 GWh/an (part non couverte). À partir de 2029, le potentiel devient supérieur à la consommation, conduisant en 2035 à un excédent potentiel de 386 GWh.
- **Scénario pessimiste** : sur 2014–2035, le potentiel reste inférieur à la consommation, avec un écart moyen de 1 071,3 GWh/an (part non couverte). Cette situation implique un besoin récurrent à des compléments via d'autres sources locales.

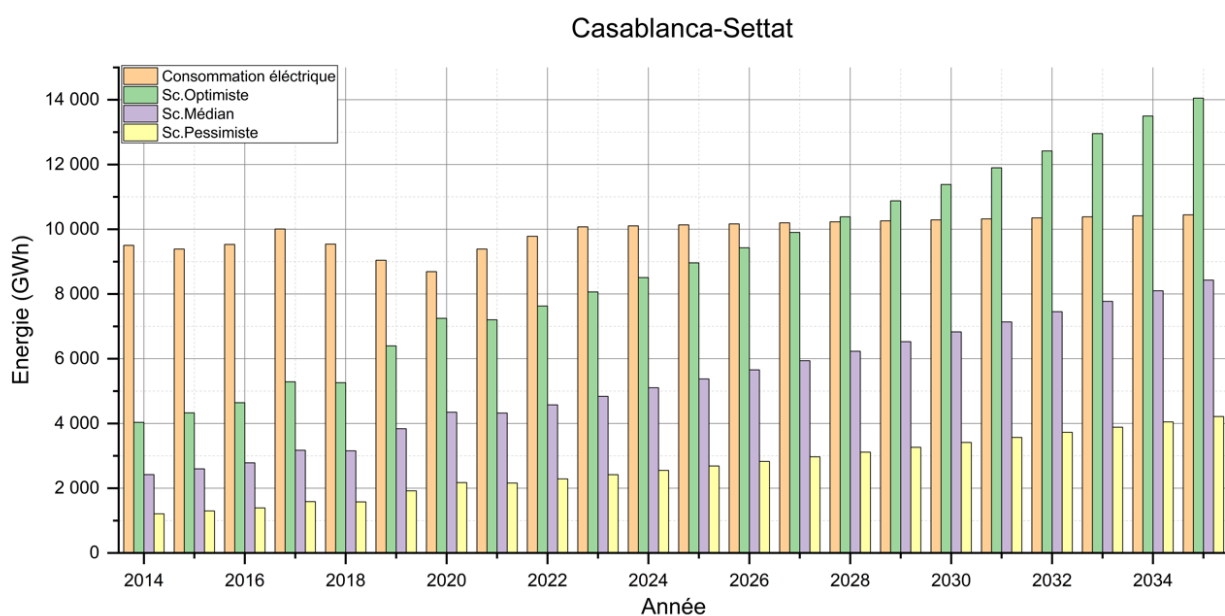
Figure 29: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Béni Mellal-Khénifra selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Casablanca-Settat

- **Scénario optimiste** : de 2014 à 2026, la consommation dépasse le potentiel PV toits (écart moyen 2 951,3 GWh/an). À partir de 2027, le potentiel devient supérieur à la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 1 608,9 GWh/an (2027–2035).
- **Scénario médian** : le potentiel reste inférieur à la demande sur l'ensemble de la période, avec un écart moyen de 4 619,9 GWh/an (part de demande non couverte par le PV en toiture).
- **Scénario pessimiste** : sur 2014–2035, la consommation excède constamment le potentiel, pour un écart moyen de 7 270,5 GWh/an.

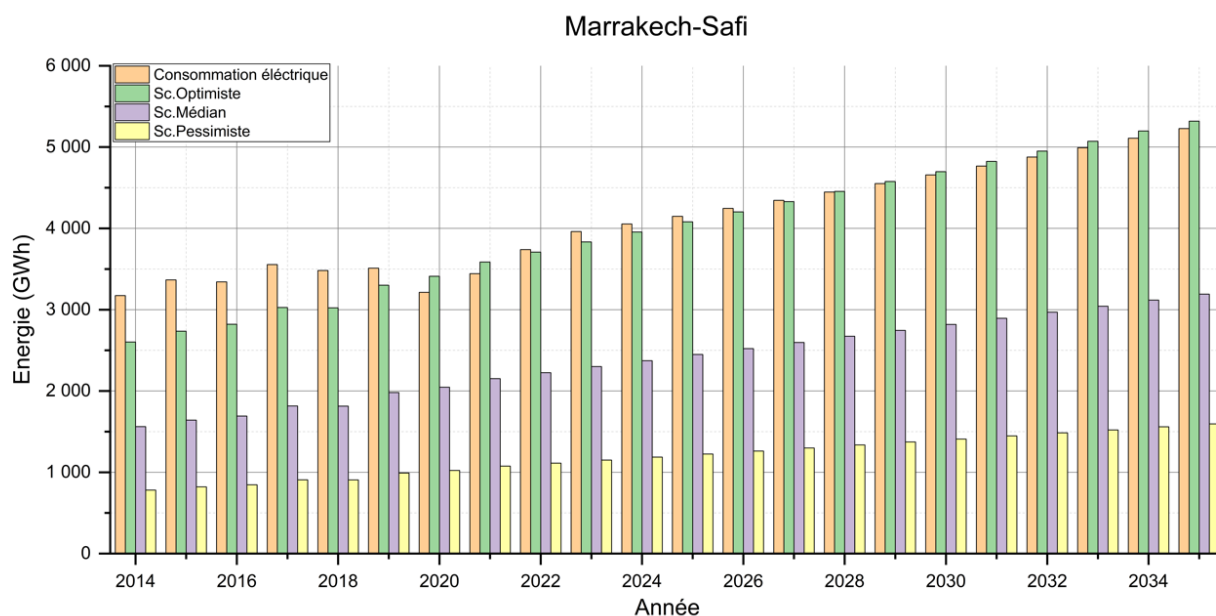
Figure 30: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Casablanca-Settat selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Marrakech-Safi

- **Scénario optimiste** : entre 2014 et 2019, la consommation dépasse le potentiel (écart moyen 486,5 GWh/an). À partir de 2020, le potentiel PV toits devient supérieur à la consommation, pour un excédent potentiel moyen de 26,3 GWh/an, ouvrant la possibilité de flux sortants vers d'autres régions.
- **Scénario médian** : sur 2014–2035, le potentiel reste inférieur à la consommation, avec un écart moyen de 1 708,2 GWh/an (part de demande non couverte par le PV en toiture).
- **Scénario pessimiste** : la consommation excède systématiquement le potentiel, avec un écart moyen s'élevant à 2 904,3 GWh/an sur 2014–2035.

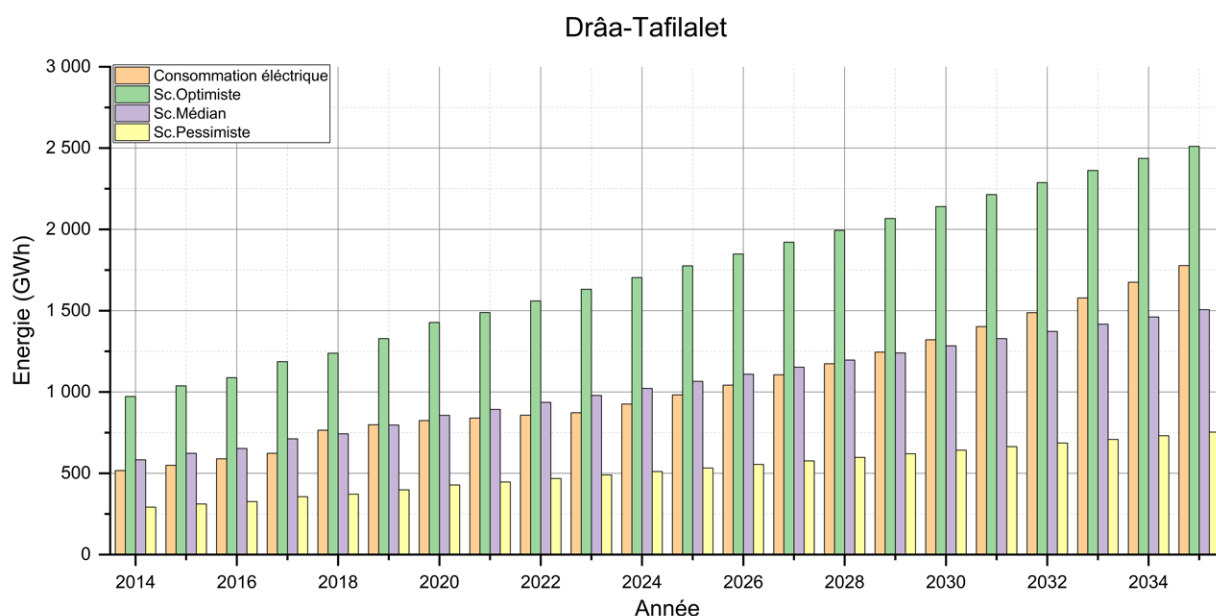
Figure 31: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Marrakech-Safi selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Drâa-Tafilalet

- **Scénario optimiste** : sur 2014–2035, le potentiel PV en toiture demeure supérieur à la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 694 GWh/an. Cela suggère une marge de manœuvre pour accompagner la croissance de la demande et, le cas échéant, des flux sortants vers d'autres régions ou des usages locaux créateurs de valeur.
- **Scénario médian** : deux phases de potentiel, la consommation (2014–2017 et 2020–2028) pour un excédent potentiel moyen de 67,7 GWh/an sur ces périodes, deux phases de consommation, le potentiel (2018–2019 et 2029–2035) avec un écart moyen de 100,1 GWh/an (part de demande non couverte par le PV toits).
- **Scénario pessimiste** : sur 2014–2035, le potentiel reste inférieur à la consommation, avec un écart moyen de 522,1 GWh/an (part non couverte).

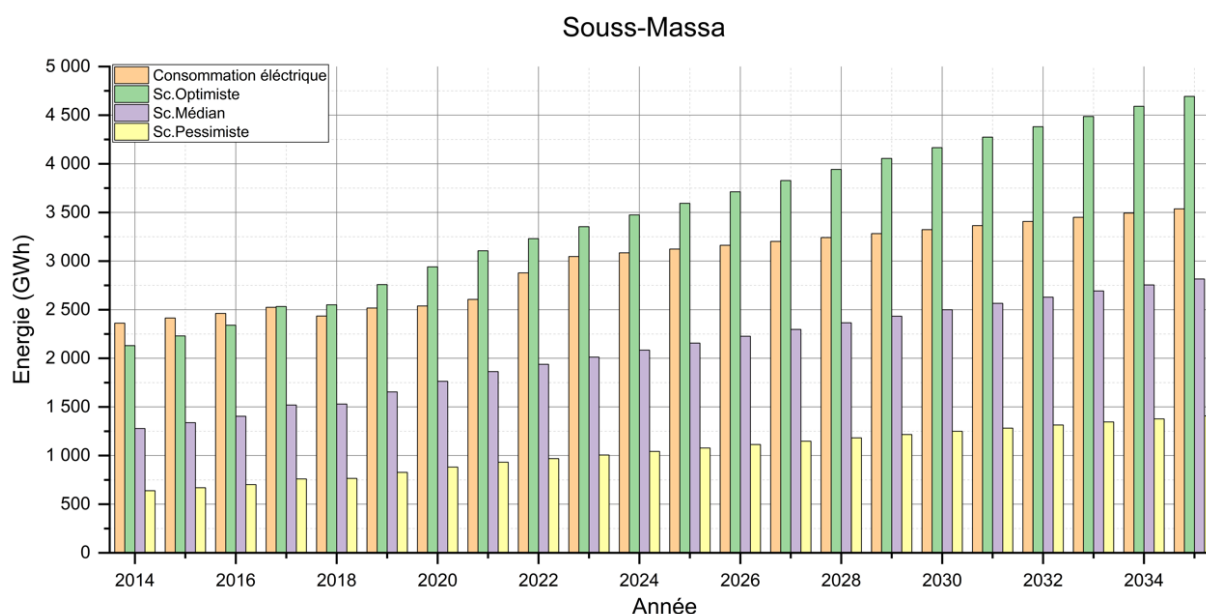
Figure 32: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Drâa-Tafilalet selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Souss-Massa

- **Scénario optimiste** : de 2014 à 2016, la consommation dépasse le potentiel (écart moyen 178,9 GWh/an). À partir de 2017, le potentiel PV en toiture devient supérieur à la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 602,9 GWh/an, ouvrant la voie à des flux sortants ou à des usages locaux supplémentaires.
- **Scénario médian** : sur 2014–2035, le potentiel reste inférieur à la consommation, avec un écart moyen de 892,3 GWh/an (part de demande non couverte par le PV toits).
- **Scénario pessimiste** : sur toute la période, la consommation excède nettement le potentiel, pour un écart moyen de 1 933,8 GWh/an.

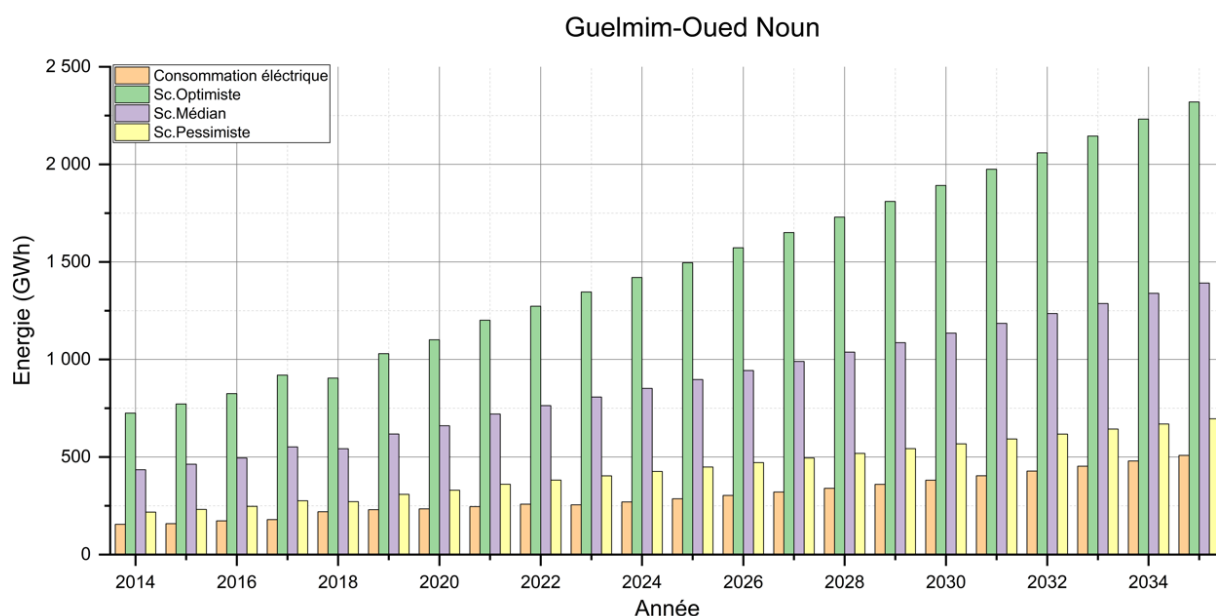
Figure 33: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Souss-Massa selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Guelmim-Oued Noun

- **Scénario optimiste** : le potentiel PV en toiture dépasse largement la consommation locale, avec un excédent potentiel moyen de 1 170,5 GWh/an. Cet excédent pourrait être injecté dans le réseau régional, valorisé dans des projets de développement local, alimenter des stations de dessalement et/ou soutenir des projets d'hydrogène vert (via l'alimentation des électrolyseurs), ou encore être exporté vers d'autres régions.
- **Scénario médian** : le potentiel excède de manière significative la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 581,5 GWh/an.
- **Scénario pessimiste** : même dans cette hypothèse, le potentiel reste supérieur à la consommation, pour un excédent potentiel moyen de 139,7 GWh/an.

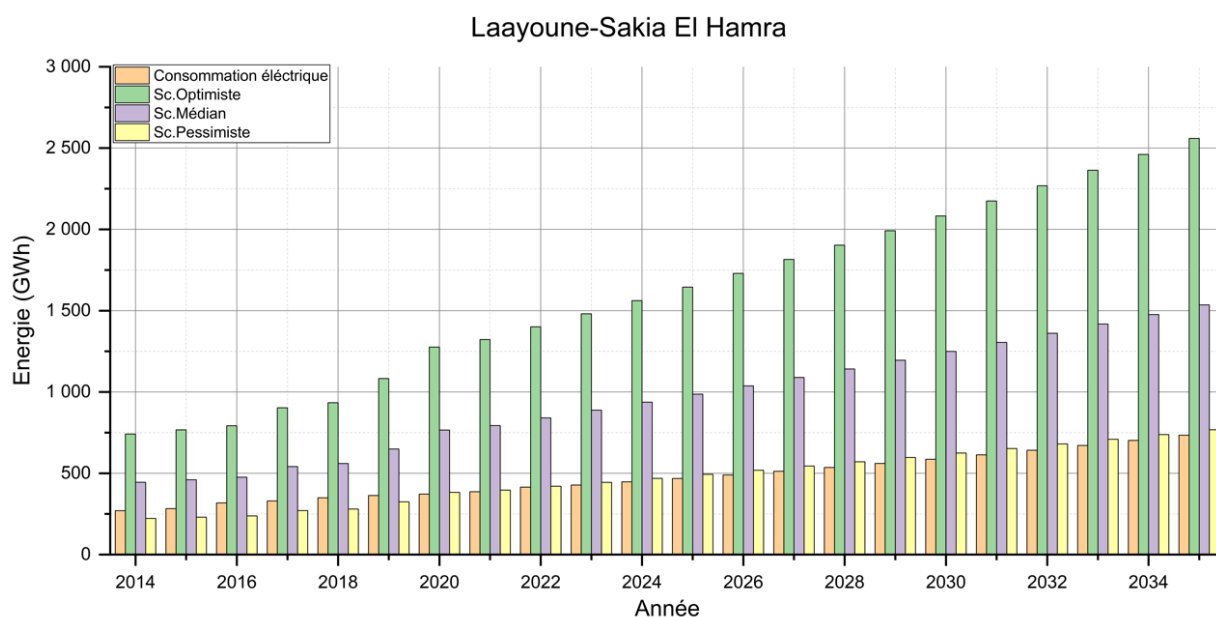
Figure 34: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Guelmim-Oued Noun selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Laâyoune-Sakia El Hamra

- **Scénario optimiste** : sur 2014–2035, le potentiel PV en toiture dépasse largement la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 1 126,2 GWh/an.
- **Scénario médian** : le potentiel est généralement supérieur à la consommation, pour un excédent potentiel moyen de 485,2 GWh/an.
- **Scénario pessimiste** : de 2014 à 2019, la consommation excède le potentiel (part de demande non couverte moyenne de 58 GWh/an). À partir de 2020, le potentiel devient légèrement supérieur à la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 27,8 GWh/an.

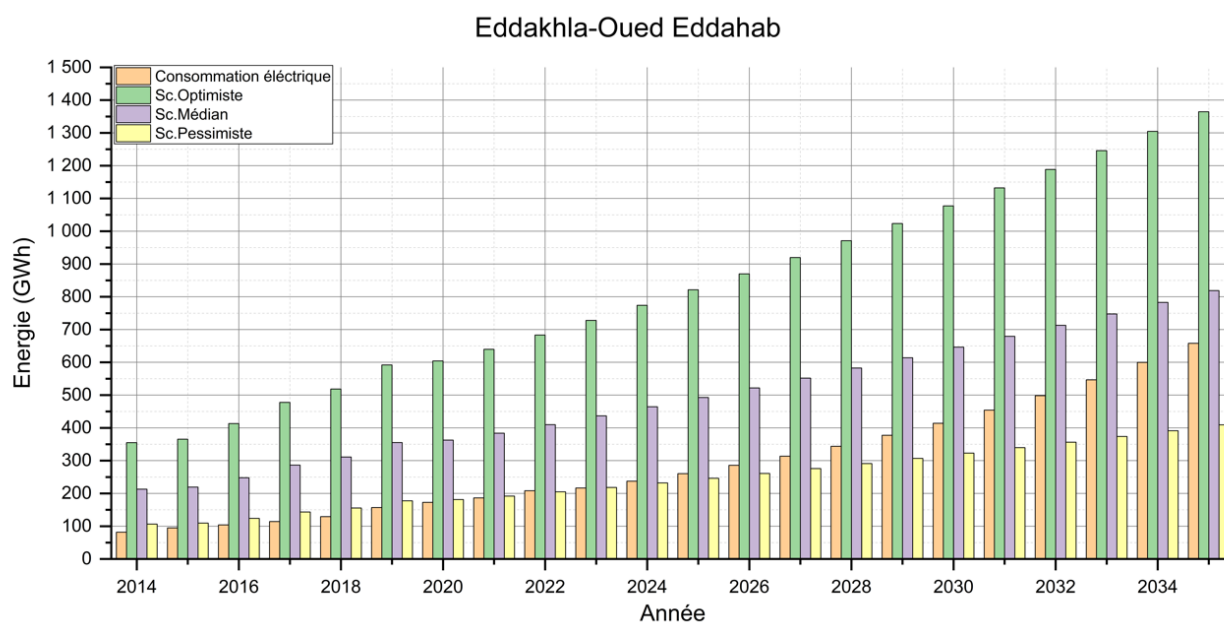
Figure 35: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Laâyoune-Sakia El Hamra selon les trois scénarios



Interprétation des résultats obtenus pour la région de Dakhla-Oued Eddahab

- **Scénario optimiste** : sur 2014–2035, le potentiel PV en toiture est nettement supérieur à la consommation, avec un excédent potentiel moyen de 528 GWh/an. Cela ouvre des perspectives de valorisation locale.
- **Scénario médian** : le potentiel dépasse également la consommation sur la majeure partie de la période, avec un excédent potentiel moyen de 199,4 GWh/an.
- **Scénario pessimiste** : de 2014 à 2021, le potentiel reste supérieur à la consommation (excédent potentiel moyen de 18,7 GWh/an). À partir de 2023, la consommation devient supérieure au potentiel, avec une part de demande non couverte moyenne de 84,6 GWh/an.

Figure 36: Consommation électrique vs potentiel électrique de la région de Dakhla-Oued Eddahab selon les trois scénarios



Chapitre 3 : Émissions de CO₂ évitables en utilisant l'espace disponible et leur représentation par rapport à l'objectif fixé dans la Contribution Déterminée au niveau National (CDN 3.0) du Maroc selon les scénarios

1. Introduction

L'utilisation des surfaces de toitures disponibles pour l'installation de panneaux photovoltaïques offre un moyen innovant de réduire considérablement les émissions de dioxyde de carbone (CO₂). Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE)¹⁴, en 2023, l'électricité produite au niveau mondial par des sources renouvelables telle que l'énergie solaire a augmenté de près de 22 % par rapport à l'année 2022. L'expansion rapide de l'énergie solaire photovoltaïque est le principal moteur de cette croissance.

Selon une étude de l'Union européenne, si seulement 20 % des toits de l'UE étaient équipés de panneaux solaires, cela permettrait de réduire les émissions de CO₂ de près de 50 millions de tonnes par an. En termes plus concrets, cela équivaldrait à retirer environ 10 millions de voitures de la circulation chaque année. Les bénéfices environnementaux seraient donc considérables, en contribuant activement à la lutte contre le changement climatique et à la réalisation des objectifs de l'Accord de Paris. Les avantages vont au-delà de la réduction des émissions de CO₂. Selon l'Agence internationale de l'énergie, si les politiques énergétiques et les investissements sont intensifiés, l'énergie solaire pourrait représenter 23 % de la production mondiale d'électricité d'ici 2050. Cela permettrait la création de millions d'opportunités d'emploi dans le domaine des énergies renouvelables tout en favorisant la croissance économique et la préservation de l'environnement¹⁵.

¹⁴ <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>

¹⁵ Étude du potentiel de développement de l'énergie photovoltaïque dans les régions de Meknès Tafilalet, Oriental et Souss-Massa-Drâa

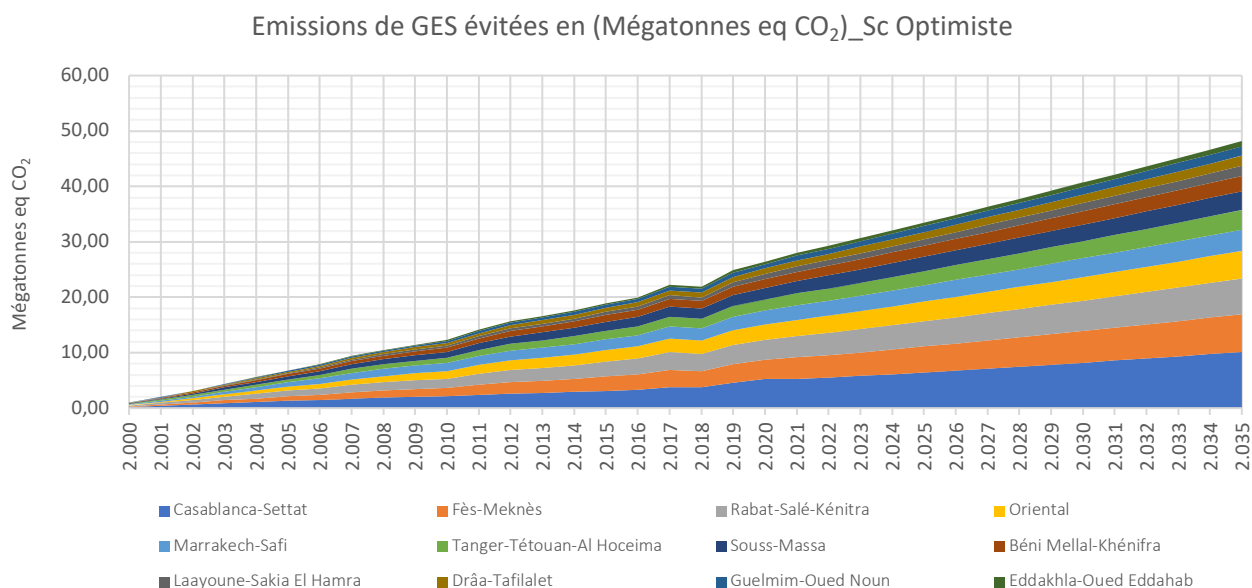


2. Estimation du CO₂ évité

L'estimation des émissions de CO₂ évitées présentées dans ce présent rapport a été calculée en utilisant le facteur d'émission spécifique au Maroc, **établi à 721 tonnes de CO₂ par gigawattheure (t/GWh)**. Pour maintenir la précision des évaluations, il sera tenu compte, par la suite, de toute évolution future du facteur d'émission.

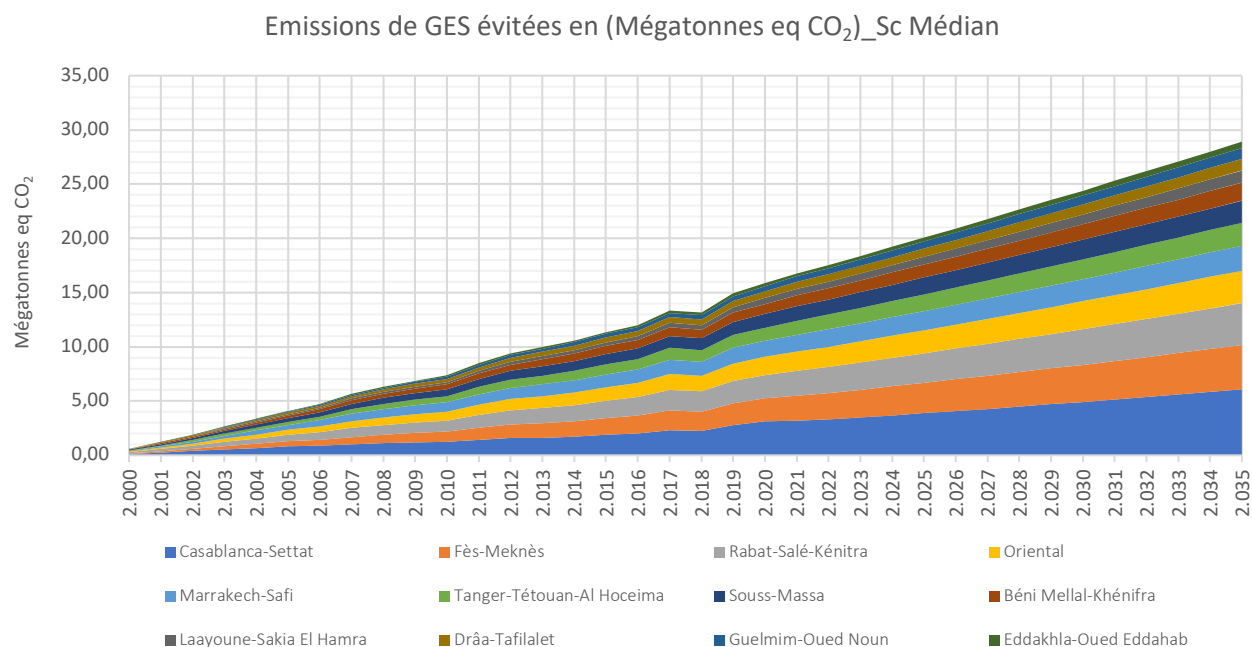
La figure 37 présente les émissions de CO₂ évitées par chaque région grâce à l'intégration d'installations photovoltaïques (PV) selon le **scénario optimiste**, qui correspond à une exploitation à 100 % de la surface disponible. Cette figure démontre, qu'en 2035, jusqu'à 48.19 Mt eq CO₂ peuvent être évitées à travers les régions du Maroc. La capacité accrue de production d'énergie solaire permet de réduire davantage l'utilisation des sources d'énergie fossile (comme le charbon ou le gaz naturel) pour la production d'électricité. Plus l'énergie solaire est utilisée, moins de combustibles fossiles sont brûlés, et par conséquent, moins d'émissions de CO₂ sont produites.

Figure 37: Émissions de CO₂ évitées pour toutes les régions du Maroc selon le scénario optimiste



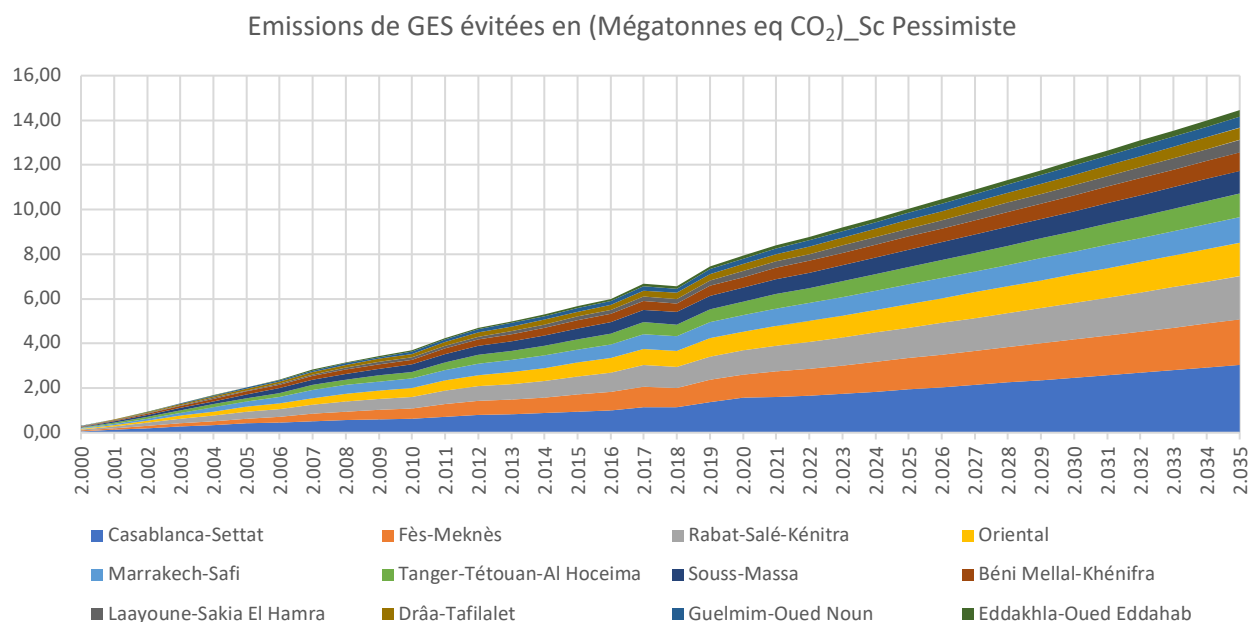
La figure 38 présente les émissions de CO₂ évitées par l'intégration des installations photovoltaïques (PV) par chaque région selon le **scénario médian**. Dans un scénario médian, où la surface disponible est exploitée à 60 % pour les installations PV, les émissions de CO₂ évitées seront légèrement inférieures à celles du scénario optimiste. Cette figure indique qu'en 2035, **il est possible d'éviter jusqu'à 28,91 Mt eq CO₂ dans toutes les régions du Maroc**. Bien que la production d'énergie solaire soit inférieure au scénario optimiste, une grande partie des émissions de CO₂ peut encore être évitée. Ce scénario offre un compromis entre le potentiel de production d'énergie et les contraintes susceptibles d'affecter les surfaces disponibles pour l'installation de PV ; il peut donc être considéré comme un objectif réaliste pour atteindre des avantages environnementaux significatifs.

Figure 38: Les émissions de CO₂ évitées pour toutes les régions du Maroc selon le scénario médian



La figure 39 présente les émissions de CO₂ évitées par l'intégration des installations photovoltaïques (PV) par chaque région selon le scénario le plus pessimiste, où la surface disponible est exploitée à 30 % seulement pour le PV. Dans ce scénario pessimiste, les émissions de CO₂ évitées seront les moins élevées : pour l'ensemble des régions marocaines, elles ne **s'élèvent qu'à 14,46 Mt eq CO₂**. Ce scénario, moins ambitieux en termes de réduction des émissions, offre néanmoins toujours des avantages par rapport aux énergies fossiles et peut contribuer au développement d'une économie plus verte et durable.

Figure 39: Les émissions de CO2 évitées pour toutes les régions du Maroc selon le scénario pessimiste



En conclusion, ces résultats soulignent l'importance de maximiser l'utilisation des installations photovoltaïques afin d'obtenir des avantages environnementaux considérables. Un scénario optimiste, utilisant la totalité de la surface disponible, peut réduire de manière conséquente les émissions de CO₂ (jusqu'à 48,19 Mt eq CO₂ en 2035), tandis qu'un scénario médian, qui utilise 60 % de la surface, offre un compromis réaliste entre le potentiel de production d'énergie et les avantages environnementaux avec des émissions évitées en 2035 de 28,91 Mt eq CO₂. Tout recours à l'énergie solaire permettra de réduire les émissions de CO₂ et de promouvoir des sources d'énergie plus propres et renouvelables.

3. Représentation des émissions de CO2 évitées par rapport à l'objectif fixé dans la CDN 3.0 (2026-2035)

La Contribution Déterminée au niveau National (CDN 3.0) du Maroc fixe, pour la période 2026-2035, un objectif d'atténuation global de 53 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport au scénario de référence « Cours Normal des Affaires » (CNA). Cet objectif se décline comme suit :

- Réduction inconditionnelle : 21,6 %, soit 36,02 Mt eqCO₂ ;
- Réduction conditionnelle : 53 %, soit 88,23 Mt eqCO₂ en 2035 ;
- Contribution spécifique du secteur de la production d'électricité : 36,70 Mt eqCO₂

L'objectif de cette section est de comparer ces valeurs avec le potentiel d'évitement d'émissions attribuable aux systèmes photovoltaïques (PV) installés sur toitures, selon trois scénarios de déploiement : optimiste (100 %), médian (60 %) et pessimiste (30 %).

4. Estimation des émissions de CO₂ évitées

Les émissions évitées ont été calculées à partir du facteur d'émission moyen du réseau électrique marocain, estimé à 721 t CO₂/GWh, appliqué à la production d'électricité potentielle issue du solaire sur toitures. Les résultats pour l'année 2035 sont :

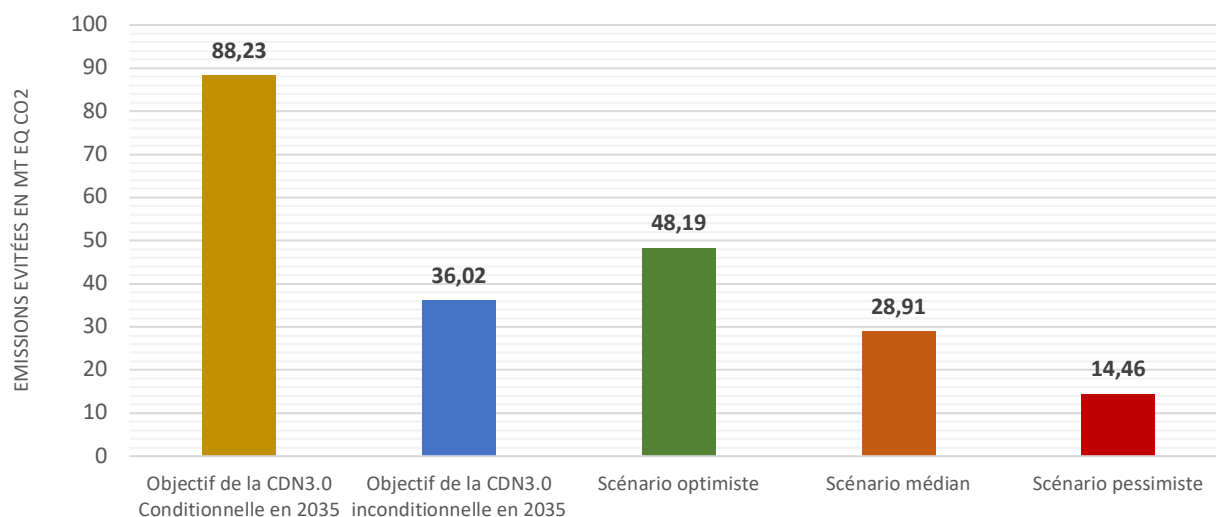
Scénario	Taux d'exploitation des toitures	Émissions évitées (Mt éqCO ₂)
Optimiste	100 %	48,19 Mt
Médian	60 %	28,91 Mt
Pessimiste	30 %	14,46 Mt

Ces valeurs représentent respectivement 133,8 %, 80,3 % et 40,1 % de l'objectif inconditionnel, et 54,6 %, 32,8 % et 16,4 % de l'objectif conditionnel de la nouvelle CDN 3.0 du Maroc. Ainsi, le scénario optimiste dépasse même la cible inconditionnelle fixée dans la CDN 3.0, et couvre plus de la moitié de la cible conditionnelle.

5. Comparaison directe avec les objectifs CDN 3.0 (2035)

La figure ci-dessous illustre la comparaison en **valeurs absolues (Mt éqCO₂)** entre les objectifs de la CDN 3.0 et les émissions évitées par les systèmes solaires sur toitures.

Figure 40: Comparaison entre les objectifs des émissions à éviter de la CDN 3.0 en 2035 ¹⁶et les émissions évitées selon les différents scénarios



¹⁶ Source : LT-LEDS Plan sectoriel de décarbonation de l'Énergie |Projet de la stratégie de développement bas-carbone 2050 du Maroc

- Les deux premières barres (88,23 Mt et 36,02 Mt) représentent les objectifs conditionnel et inconditionnel de la CDN 3.0.
- Les trois suivantes (48,19 Mt ; 28,91 Mt ; 14,46 Mt) montrent les émissions évitées selon les trois scénarios PV.
- Visuellement, le scénario optimiste dépasse la réduction inconditionnelle et atteint plus de la moitié de la réduction conditionnelle ; le scénario médian s'en approche fortement. Même le scénario pessimiste reste significatif dans la trajectoire nationale.

6. Interprétation et implications stratégiques

Cette comparaison met en évidence la capacité stratégique du solaire décentralisé à contribuer aux objectifs climatiques du Maroc. L'intégration à grande échelle du PV sur toitures présente plusieurs avantages :

- Renforce l'objectif de tripler la capacité renouvelable d'ici 2030 et d'éliminer progressivement le charbon pour la production d'électricité
- Les réductions issues du PV sur toitures peuvent couvrir, à elles seules, la quasi-totalité des objectifs assignés au secteur électrique (36,7 Mt eqCO_2)¹⁷.
- Baisse des coûts énergétiques, développement de l'emploi local, amélioration de la résilience des ménages et entreprises.

Dans le cadre de l'Article 6 de l'Accord de Paris, ces réductions peuvent générer des crédits carbone valorisables sur les marchés volontaires ou bilatéraux, avec un prix indicatif d'environ 35 USD/t eqCO_2 , renforçant la viabilité financière des projets.

¹⁷ Source : Contribution déterminée au niveau national CDN 3.0 du MAROC – page 41

Chapitre 4 : Potentiel d'intégration du solaire sur toitures et de la mobilité électrique intelligente à l'horizon 2035

Le stockage d'énergie constitue un levier essentiel pour accompagner le déploiement de la mobilité électrique. Il permet de conserver l'énergie produite, notamment à partir de sources renouvelables intermittentes, pour la restituer ultérieurement, en fonction des besoins du réseau. Ce mécanisme contribue à équilibrer l'offre et la demande d'électricité, tout en renforçant la résilience du système électrique face aux fluctuations de production et de consommation. Voici quelques points clés à considérer :

- **Diversité des technologies** : les systèmes de stockage d'énergie incluent des batteries électrochimiques, des supercondensateurs, et l'hydrogène vert. Chaque technologie a ses avantages et ses inconvénients en termes d'efficacité, de coût et de durabilité.
- **Amélioration de l'infrastructure** : pour que le stockage d'énergie soit efficacement intégré dans la mobilité électrique, il est nécessaire d'avoir des infrastructures de recharge avancées et des réseaux intelligents capables de gérer efficacement l'approvisionnement et la demande. Pour faciliter la mobilité électrique, cette infrastructure doit être accessible, rapide, fiable et largement répandue.

1. Technologies émergentes en matière de stockage

La mobilité électrique repose largement sur la performance des batteries qui alimentent les véhicules électriques (VE). Différentes technologies de batteries présentent des avantages distincts, mais aussi des inconvénients spécifiques. Le tableau 2 explore ces technologies et évalue leurs caractéristiques dans le contexte de la mobilité électrique :

Tableau 3: Technologies de batterie pour la mobilité électrique

Technologies de batteries pour la mobilité électrique		
Batteries	Avantages	Inconvénients
Batterie lithium-ion (Li-ion)	• Densité énergétique élevée : les batteries Li-ion offrent une excellente densité énergétique, fournissant une autonomie étendue aux véhicules électriques. • Faible taux d'autodécharge : les Li-ion ont un faible taux d'autodécharge, ce qui signifie qu'elles conservent bien leur énergie lorsqu'elles ne sont pas utilisées.	• Coût élevé : leur production est relativement coûteuse. • Potentiel de surchauffe : il existe des risques de surchauffe, bien que des systèmes de gestion thermique soient en place pour atténuer ce problème
Batterie lithium-fer-phosphate (LiFePO4)	• Stabilité thermique : les LiFePO4 sont réputées pour leur stabilité thermique accrue, réduisant les risques de surchauffe. • Durée de vie prolongée : elles ont généralement une durée de vie plus longue que d'autres types de batterie.	• Densité énergétique plus basse : comparées aux Li-ion, les LiFePO4 ont une densité énergétique légèrement inférieure.
Batterie sodium-ion (Na-ion)	• Abondance des matériaux : le sodium est plus abondant que le lithium, rendant potentiellement les batteries au sodium moins coûteuses. • Stabilité : Elles sont considérées comme plus stables que certaines technologies au lithium.	• Densité énergétique limitée : les batteries au sodium ont actuellement une densité énergétique inférieure.
Stockage de l'hydrogène (Batterie à hydrogène)	• Recharge rapide : temps de recharge plus court. • Autonomie étendue : plus grande autonomie que certaines batteries.	• Infrastructure limitée : manque d'infrastructures de recharge. • Coûts élevés : production et infrastructure coûteuses.

2. Les véhicules électriques comme batteries sur 4 roues en 2035

Le présent chapitre analyse le potentiel d'intégration du solaire sur toitures et de la mobilité électrique intelligente au Maroc à l'horizon 2035, dans le cadre du développement des systèmes énergétiques renouvelables décentralisés (SERD).

Les véhicules électriques (VE) bidirectionnels, que l'on pourrait qualifier de « batteries mobiles », présentent le potentiel d'accroître la sécurité énergétique du pays, la vitalité économique et la qualité de vie. En les intégrant avec le potentiel des toitures évalués dans ce rapport, les VE bidirectionnels pourraient jouer un rôle clé dans l'avenir du transport¹⁸ dans le pays et présenter une opportunité pour soutenir le réseau électrique dans le cadre d'une approche plus large d'intégration du véhicule au réseau (V2G).

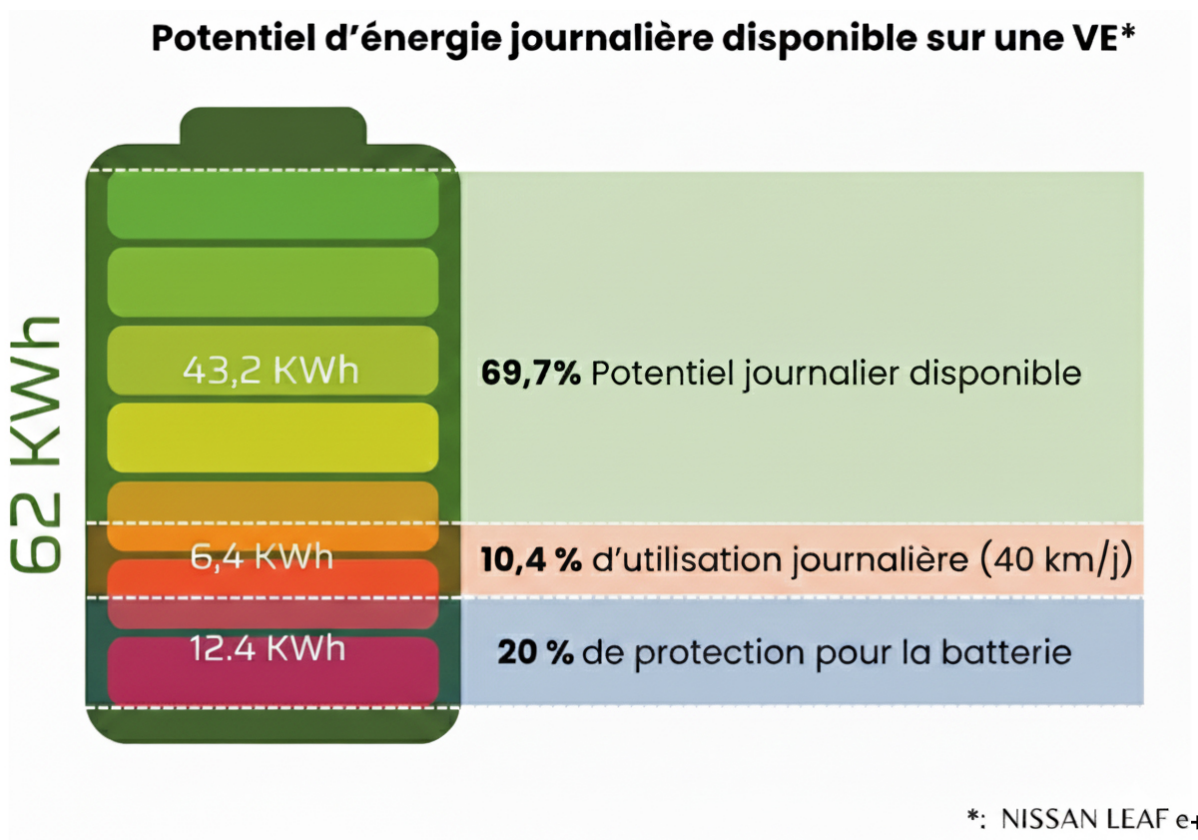
Du fait que les véhicules peuvent être déplacés d'un lieu à l'autre, ils auront la capacité de charger ou de redistribuer de l'énergie au réseau en divers endroits. Des entreprises ou des supermarchés pourraient proposer des recharges gratuites pour attirer la clientèle. Des parkings, comme ceux des aéroports ou des gares, pourraient rémunérer les propriétaires pour accéder temporairement à la batterie de leur véhicule, tout en garantissant une charge suffisante pour leurs déplacements.

La capacité des batteries des voitures individuelles rend tout cela réalisable. Par exemple, une *Nissan Leaf e+* dispose d'une capacité d'environ 160 kW et 62 kWh, tandis qu'une *Tesla Model S* offre jusqu'à 595 kW et 93 kWh. Ces capacités sont amenées à s'accroître dans les années à venir.

Globalement, en moyenne, un véhicule couvre 11 000 km par an, nécessitant un chargement de 7 kWh par jour, soit 15 % à 25 % d'une batterie de taille modeste allant de 30 kWh à 65 kWh.

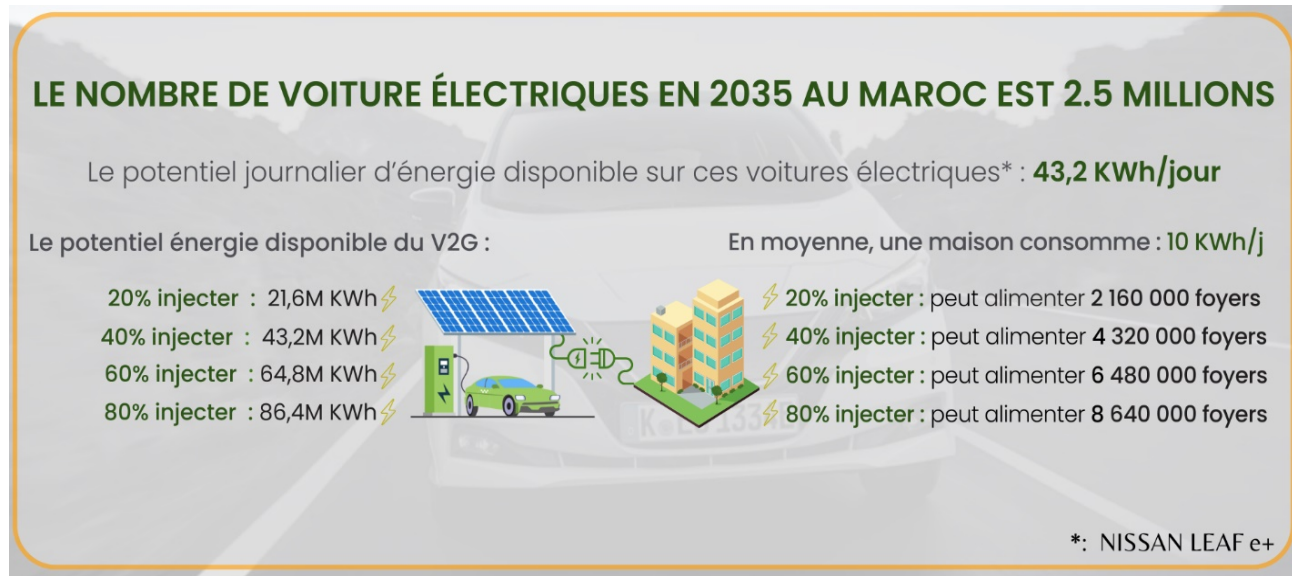
¹⁸ (Source : LT-LEDS Maroc) : le transport représente une part croissante de la demande énergétique au Maroc : entre 2005 et 2015, celui-ci recouvrait 36% de la demande finale, soit plus d'un tiers de la consommation totale. Entre 2015 et 2019, cette part atteignait les 40%.

Figure 41: Potentiel d'énergie journalière disponible sur une VE*



Par ailleurs, une maison consomme en moyenne 10 kWh par jour. Ainsi, une telle batterie pourrait fournir l'électricité nécessaire à une habitation pendant 2 à 3 jours. Un véhicule doté d'une batterie plus conséquente pourrait alimenter une maison pendant une semaine, voire plus, si des mesures d'optimisation énergétique sont mises en place. Cela revêt une importance capitale pour garantir la résilience face à des événements comme des incendies ou des inondations qui peuvent interrompre la fourniture d'électricité centrale.

Figure 42: Potentiel disponible du V2G



Mettre en place des normes adaptées pour la recharge des véhicules électriques bidirectionnels présente de nombreux enjeux. Il s'agit notamment de s'assurer que la recharge ne surcharge pas indûment le réseau et que la technologie V2G profite à tous. Ce champ d'action représente un travail de longue haleine. Dans ce contexte, Imal, via son programme dédié à l'économie verte, se propose d'étudier ces défis et d'apporter des perspectives éclairées pour guider les décisions relatives à l'intégration des VE au réseau dans les prochaines années.

3. Intégration de la mobilité électrique

L'objectif de ce chapitre est d'explorer, de manière quantitative et prospective, les opportunités de réduction des émissions susceptibles d'accélérer et de faciliter l'intégration des VE (Véhicules Électriques) bidirectionnels dans les installations décentralisées des ménages et des secteurs économiques.

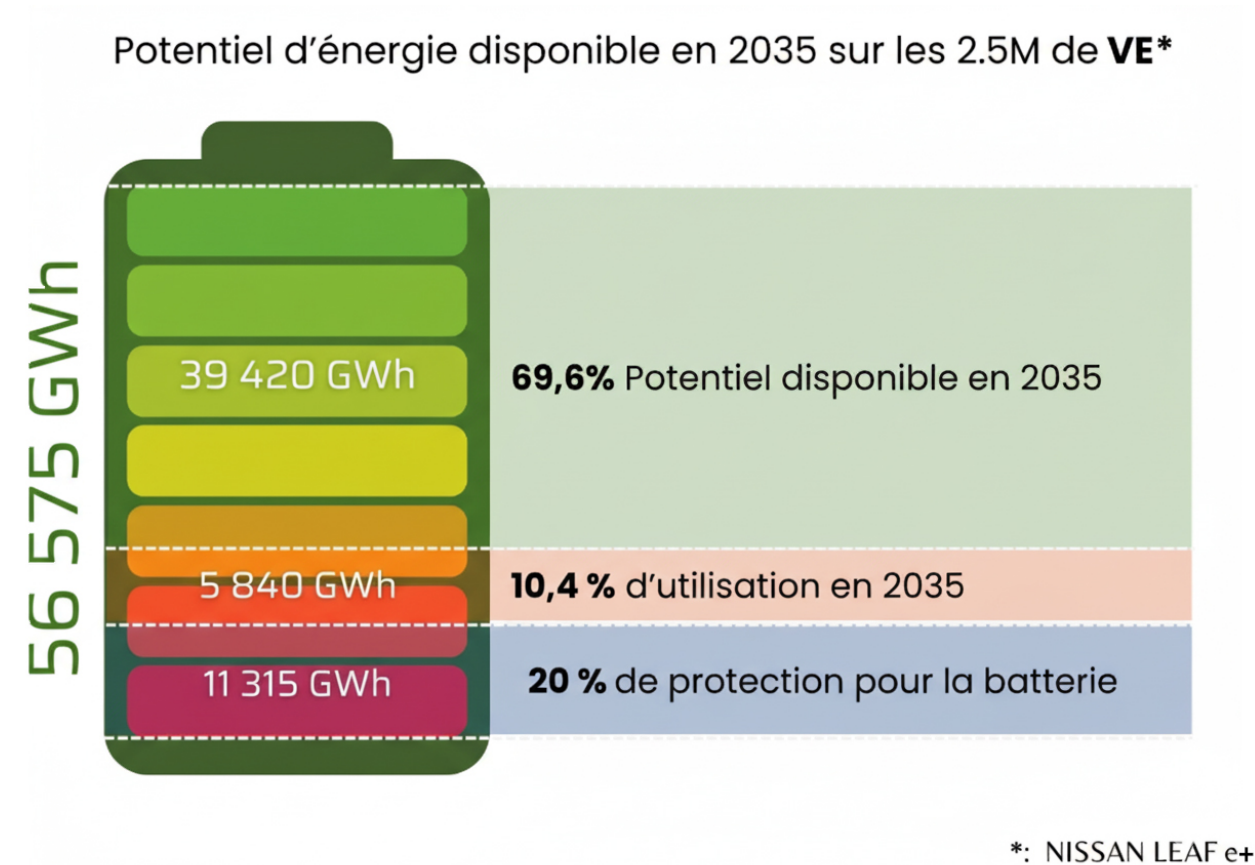
Le scénario idéal envisagé repose sur les projections à l'horizon 2030 et 2035 de la Stratégie Nationale Bas-Carbone 2050. Il consiste à atteindre une couverture de 100 % en stations de recharge bidirectionnelles, à collecter et analyser les données afférentes, et à élaborer des conclusions technico-économiques permettant d'évaluer le cas d'affaire ambitieux du V2X (Vehicle-to-Everything).

Le Maroc a accompli des progrès importants dans le développement de la mobilité électrique, qui constitue un pilier central de sa stratégie bas carbone. D'après la Stratégie Nationale Bas Carbone, le pays prévoit un déploiement massif des véhicules électriques, avec environ 1 million d'unités à l'horizon 2030 et plus de 2,5 millions en 2035, avant d'atteindre près de 10 millions en 2050. Cette transition s'appuie sur la mise en place d'un réseau national de bornes de recharge et sur des mesures réglementaires et fiscales incitatives.

4. Impact sur la demande d'électricité

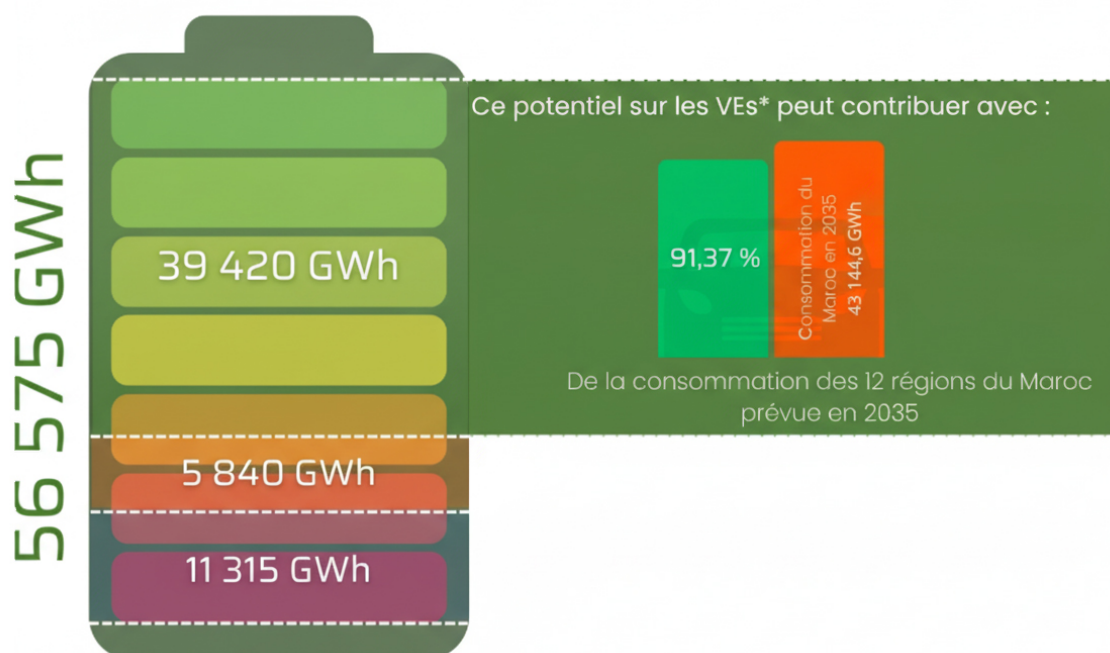
L'introduction des véhicules électriques sur le marché marocain entraînera une augmentation de la demande d'électricité. Cette hausse de la demande, combinée à la croissance économique et démographique, nécessitera une planification minutieuse de l'expansion de la capacité de production d'électricité pour répondre aux besoins futurs. Dans les scénarios favorables à la mobilité électrique, une part significative de la demande supplémentaire sera satisfaite par l'énergie produite localement à partir des SERD, renforçant ainsi la décentralisation du système énergétique.

Figure 43: Potentiel d'énergie pour un million de VE



L'évaluation du potentiel disponible des batteries de ces véhicules révèle une capacité totale de **39 420 GWh**, ce qui représente 91,37 % de la consommation électrique des 12 régions du Maroc prévue en 2035, mobilisable pour répondre aux besoins du réseau électrique.

Figure 44: Capacité totale du potentiel des batteries



*: NISSAN LEAF e+

La recharge bidirectionnelle (Vehicle-to-Grid - V2G) est une pierre angulaire de cette transition, permettant d'injecter l'énergie excédentaire dans le réseau électrique. Les batteries des VE peuvent être activement utilisées pour répondre aux fluctuations de la demande énergétique, renforçant ainsi la stabilité du réseau électrique.

5. Déploiement des infrastructures de recharge

Le déploiement des infrastructures de recharge pour la mobilité électrique joue un rôle clé dans les scénarios de développement des ressources des systèmes électriques décentralisés à l'horizon 2035 au Maroc. Pour faciliter la transition vers la mobilité électrique et optimiser l'utilisation de l'énergie renouvelable produite localement, des mesures innovantes telles que les bornes de recharge bidirectionnelles et l'utilisation de voitures électriques comme batteries peuvent être mises en place graduellement.

- Bornes de recharge bidirectionnelles

Figure 45: Principe des bornes de recharge bidirectionnelles¹⁹



Dans les scénarios favorisant la mobilité électrique, les bornes de recharge bidirectionnelles jouent un rôle essentiel. Ces bornes permettent non seulement de charger les véhicules électriques, mais également de les utiliser comme sources d'énergie temporaires.

En période de pointe de la demande, lorsque l'énergie renouvelable produite localement est abondante, les véhicules électriques branchés sur ces bornes peuvent injecter les **39 420 GWh** de surplus d'électricité dans le réseau. Cette approche favorise une utilisation intelligente et flexible de l'énergie, permettant d'équilibrer la demande d'électricité et d'éviter les surcharges du réseau pendant les heures de pointe.

¹⁹ Source : <https://www.tcs.ch/fr/tests-conseils/brochures-publications/magazine-touring/articles/reinhardt-ketterer.php>

Lorsque la demande d'électricité est élevée, les propriétaires de voitures électriques peuvent être encouragés à participer à des programmes de recharge intelligente. Ils pourront recevoir une notification sur leur téléphone lorsque l'électricité est abondante et bon marché, leur proposant de charger leur véhicule, et une autre pour le débrancher pendant les heures de pointe. La borne de recharge bidirectionnelle pourra alors utiliser l'électricité stockée dans la batterie du véhicule pour la réinjecter dans le réseau de distribution.

La possibilité d'injecter cette énergie excédentaire dans le réseau électrique émerge comme une opportunité stratégique. Ce potentiel équivaut à une contribution de 91,37 % à la demande énergétique totale, qui elle-même est estimée à 43 144,6 GWh. Cette injection planifiée permettrait d'apporter une contribution substantielle aux besoins énergétiques du pays, soulignant ainsi le rôle crucial des VE dans la création d'un réseau électrique plus robuste et résilient pour le Maroc en 2035.

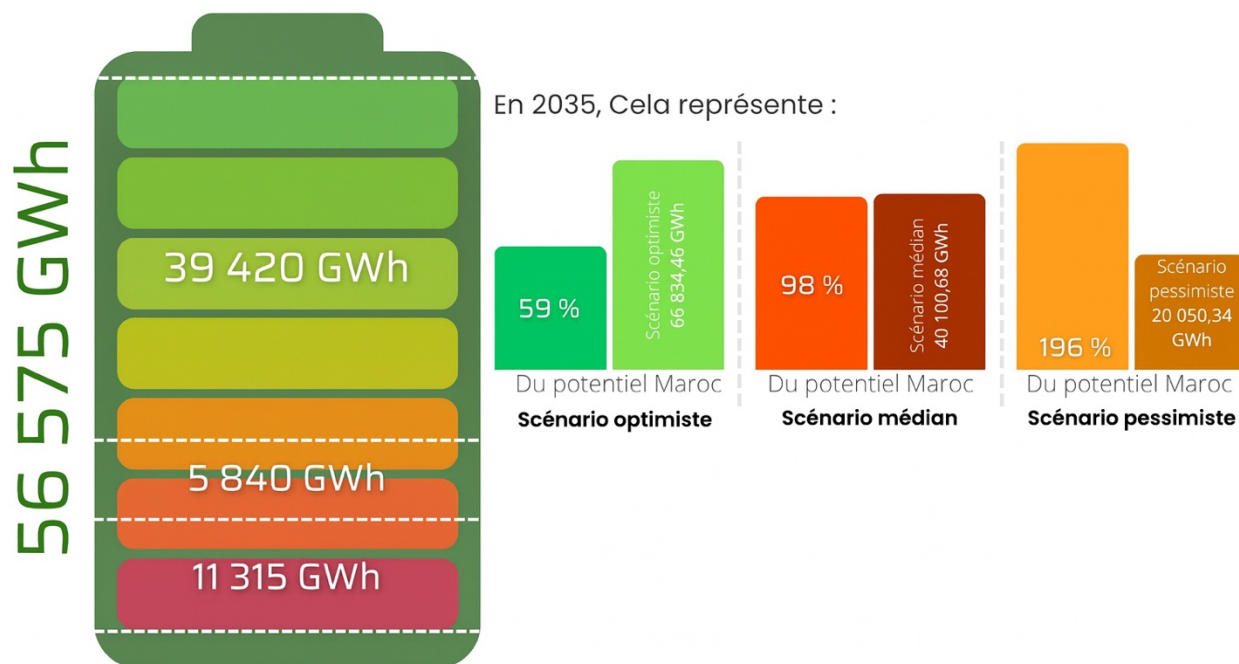
La mobilité électrique ne se limite pas à la réduction des émissions, mais s'étend à une participation active dans la création d'un réseau énergétique durable et adaptable aux défis futurs.

Cette approche favorise la flexibilité du système et permet une meilleure utilisation de l'énergie produite localement à partir des SERD.

6. Recharge des Véhicules Électriques : exploiter le potentiel solaire marocain sur les toitures en 2035

Au Maroc, la recharge des véhicules électriques (VE) est considérée comme un élément essentiel de la transition énergétique. En 2035, le pays disposera d'un potentiel prometteur pour l'énergie solaire qui peut être stratégiquement exploité pour répondre à la demande énergétique croissante des véhicules électriques (VE).

Figure 46: Potentiel d'énergie solaire selon les scénarios



Dans le scénario optimiste, la demande énergétique des véhicules électriques représente 59% du potentiel solaire calculé sur les toitures, démontrant que le solaire décentralisé peut largement couvrir cette demande tout en générant un excédent d'énergie propre et renouvelable. Le scénario médian présente un équilibre remarquable, où la recharge des VE équivaut à 98% du potentiel solaire disponible, confirmant la faisabilité d'une couverture quasi-totale de la mobilité électrique par l'énergie solaire. Dans le scénario pessimiste, où l'adoption du solaire sur toitures est plus limitée, la demande des VE atteint 196% du potentiel solaire, indiquant qu'un complément énergétique issu d'autres sources renouvelables ou du réseau national serait nécessaire pour répondre pleinement aux besoins de mobilité électrique. Les stations de recharge alimentées par l'énergie solaire peuvent non seulement répondre à la demande croissante de mobilité électrique, notamment dans les scénarios optimiste et médian, mais également constituer un pilier essentiel d'une infrastructure énergétique véritablement durable, résiliente et décarbonée.

7. Gestion de la demande

L'intégration des véhicules électriques avec le solaire des toitures offre une opportunité de flexibilité pour la gestion de la demande. En utilisant des mécanismes de tarification et des technologies de recharge intelligents, les opérateurs du réseau pourront équilibrer la demande d'électricité en fonction de la disponibilité de l'énergie renouvelable. Cela permettra de réduire la pression sur le

réseau pendant les heures de pointe et de maximiser l'utilisation des SED et des énergies renouvelables.

L'intégration de la mobilité électrique dans les scénarios de développement des SERD à l'horizon 2035 représente une opportunité sans précédent pour accélérer la transition vers un système énergétique plus durable et décarboné au Maroc. L'adoption de politiques énergétiques favorables, le déploiement d'infrastructures de recharge appropriées et la promotion de l'énergie produite localement à partir des SED sont des éléments clés pour réussir cette transition. En saisissant ces opportunités, le Maroc peut renforcer sa position en tant que leader régional dans la promotion de la mobilité électrique et de l'énergie propre, tout en contribuant à atteindre ses objectifs nationaux en matière de développement durable.

Chapitre 5 : recommandations pour libérer le potentiel de SERD intégrées

Au cours de la prochaine décennie (2025-2035), les SERD devraient jouer un rôle central pour répondre aux besoins du réseau national et de la société marocaine. Cependant, des obstacles liés à la structuration du marché, aux offres de détail et à la sensibilisation des consommateurs doivent être surmontés pour libérer le plein potentiel des SERD. Un plaidoyer effectif pour « challenger » les choix de planification et de politique des prochaines années définiront la voie pour le développement du marché des SERD au cours des prochaines années.

1. Investissement stratégique dans les *smart grids* (réseaux électriques intelligents)

Des investissements importants dans les *smart grids* sont indispensables pour maximiser l'efficacité, la flexibilité et la durabilité des SERD au Maroc. Les *smart grids* offrent de multiples avantages :

- **Optimisation de la production et de la distribution** : en exploitant des technologies de surveillance avancée, d'automatisation et de stockage intelligent, les *smart grids* permettent d'optimiser en continu les flux d'énergie entre production décentralisée et consommation locale.
- **Flexibilité et adaptabilité opérationnelle** : grâce à des systèmes de contrôle en temps réel, un réseau intelligent peut s'adapter rapidement aux variations de la production solaire/éolienne ou de la demande. Il ajuste les paramètres de fonctionnement de façon agile pour répondre aux changements d'injection ou de consommation d'énergie, garantissant une réponse rapide aux aléas.
- **Interconnectivité et gestion holistique** : en déployant des protocoles de communication avancés entre les technologies (compteurs, onduleurs, bornes de recharges, batteries, véhicules électriques, etc.) et avec le réseau, les *smart grids* offrent une vision intégrée de l'écosystème énergétique local.
- **Sécurité et fiabilité améliorées** : les réseaux intelligents renforcent la fiabilité d'alimentation en intégrant des dispositifs de protection et des solutions de cybersécurité modernes. Ils détectent et isolent plus rapidement les pannes, intègrent des capacités d'auto-guérison du réseau, et protègent les infrastructures SERD contre d'éventuelles cybermenaces, ce qui accroît la résilience face aux événements imprévus.

Investir de manière stratégique dans les *smart grids* au Maroc créera un cercle vertueux : un réseau plus efficace et intelligent stimule le déploiement de SRED, et la prolifération des SERD rend d'autant plus nécessaire un réseau flexible et pilotable. À cet égard, le Maroc a déjà initié des démarches notables, par exemple en adoptant un décret sur le compteur intelligent en 2024 pour



assurer le suivi de l'énergie injectée/soutirée par les autoproductions. Ces compteurs intelligents bidirectionnels, fabriqués en partie localement, contribueront à accélérer la mise en place de réseaux intelligents et à une meilleure maîtrise de la nature variable des énergies renouvelables injectées dans le réseau.

Il convient d'amplifier ces efforts en :

- **Établissant des normes de communication communes pour les technologies vertes SERD (protocoles d'échange de données entre onduleurs, batteries, véhicule et réseau, etc.),** afin de garantir leur interopérabilité. Une harmonisation des standards évite une fragmentation coûteuse des solutions : « un électron dans une région se comporte comme un électron dans une autre région », il est donc contre-productif d'avoir plusieurs standards différents pour la flexibilité.
- **Développant une industrie nationale des composants SERD** : un obstacle identifié à l'essor des SERD est le manque d'une filière complète marocaine de fabrication (panneaux solaires, onduleurs, régulateurs, batteries...). Il est recommandé de mettre en place des partenariats public-privé et des incitations (zones franches, avantages fiscaux) pour attirer des investissements industriels dans ces domaines. La fabrication locale de composants clés renforcerait la souveraineté technologique, réduirait les coûts à long terme et créerait des emplois verts hautement qualifiés.

2. Promotion de l'effacement énergétique et de la gestion intelligente de la demande

L'effacement énergétique, c'est-à-dire la modulation volontaire de la consommation électrique en réponse aux conditions du système, émerge comme un pilier crucial pour optimiser les SERD. Encourager et valoriser l'effacement (*aussi appelé demand response*) présente de multiples bénéfices pour l'intégration des ressources décentralisées :

- **Gestion des pointes de demande** : l'effacement permet de réduire proactivement les pics de consommation lors des heures de forte demande, en incitant certains usages à se décaler dans le temps. En aplanissant les pointes, on soulage le réseau et on évite de mobiliser des centrales de pointe coûteuses ou de subir des surtensions. Cela augmente la stabilité du système électrique et diminue les risques de coupures pendant les périodes critiques.
- **Intégration des énergies renouvelables variables** : les SERD sont souvent alimentés par des sources renouvelables intermittentes (panneaux solaires photovoltaïques, etc.). En adaptant la consommation aux fluctuations de la production locale, l'effacement garantit qu'aucun kWh renouvelable n'est perdu. Concrètement, cela signifie augmenter la demande (*via des charges flexibles comme les chauffe-eaux, climatiseurs, bornes de VE*) pendant les périodes de forte production solaire/éolienne, et au contraire réduire ou décaler la demande lors des baisses de production.
- **Réduction des coûts et optimisation financière** : en participant à des programmes et efforts d'effacement ou en réagissant à des tarifs dynamiques, les consommateurs peuvent

réaliser des économies substantielles sur leur facture d'électricité. Des prix variables selon les heures (heures pleines/heures creuses, tarifs de pointe critique, etc.) encouragent l'utilisateur à consommer lorsque l'électricité est abondante et bon marché, et à réduire sa consommation lors des périodes onéreuses. De cette façon, l'effacement valorise économiquement la flexibilité des usagers : un ménage équipé d'un système domotique peut, par exemple, programmer son chauffe-eau ou sa machine à laver pour éviter les heures les plus chères et bénéficier de tarifs réduits la nuit. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, de telles mesures de gestion active de la demande pourraient réduire la facture des ménages de 7 à 12 % dans les économies avancées d'ici 2050, et jusqu'à 20 % dans les économies émergentes.

- **Amélioration de la fiabilité du réseau** : en évitant les surcharges et les déséquilibres soudains, l'effacement renforce la qualité de l'alimentation électrique. Il agit comme un tampon en lissant les fluctuations de la demande, ce qui minimise les risques de défaillance ou de délestage involontaire. Un réseau avec une forte composante de flexibilité côté demande pourra mieux faire face aux aléas (vagues de chaleur, pointes saisonnières) sans compromettre l'approvisionnement des usagers sensibles. L'effacement contribue ainsi à stabiliser la fréquence et la tension du système pendant les moments tendus.
- **Réduction des émissions de CO₂** : en optimisant l'utilisation du parc de production, l'effacement permet d'éviter le recours aux centrales fossiles de secours lors des pointes de demande. Chaque kWh effacé aux heures de pointe est un kWh qui n'a pas besoin d'être produit par une unité au fioul ou au gaz. À l'échelle du système, la gestion intelligente de la demande réduit le facteur de charge des centrales thermiques les plus émettrices et limite les démarrages à froid inefficients. Il en résulte une baisse directe des émissions de gaz à effet de serre liées à la production électrique.
- **Flexibilité pour l'intégration de nouvelles technologies** : enfin, un solide cadre d'effacement offre une flexibilité précieuse pour incorporer de nouvelles solutions énergétiques décentralisées. Par exemple, la diffusion des batteries domestiques et des véhicules électriques peut aller de pair avec des stratégies d'effacement : en chargeant les batteries aux heures creuses ou lors d'excédents PV, **puis en les sollicitant aux heures de pointe (vehicle-to-home ou vehicle-to-grid)**, on stabilise encore davantage le réseau.

Promouvoir l'effacement énergétique revient à doter le Maroc d'un gisement invisible d'énergie : celui des mégawatts économisés ou déplacés plutôt que produits. Cette ressource de demande flexible offre un levier rapide et relativement peu coûteux pour améliorer l'adéquation offre-demande, en complément des investissements physiques dans les infrastructures. L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) classe d'ailleurs le « demand response » parmi les piliers des transitions vers les énergies propres, au même titre que les *smart grids* et le stockage, car il appui à gérer l'impact des renouvelables variables sur la stabilité du réseau. Dans le scénario mondial Net Zéro 2050, l'IEA estime qu'environ 500 GW de capacité d'effacement devraient être déployés à l'horizon 2030, soit un décuplement par rapport à 2020 pour suivre le rythme de l'électrification et de la montée en puissance du solaire et de l'éolien. Le Maroc doit s'inscrire dès aujourd'hui dans cette

dynamique en développant massivement les programmes d'effacement électrique, qu'ils soient implicites (via des tarifs horaires, une tarification en temps réel, etc.) ou explicites (via des appels d'offres où un agrégateur est rémunéré pour réduire la demande à la demande du gestionnaire de réseau).

Concrètement, les actions recommandées incluent :

- La mise en place de tarifs incitatifs (heures creuses prononcées la nuit, tarification dynamique indexée sur le coût marginal du système, etc.) ;
- Le déploiement accéléré des compteurs intelligents communicants chez tous les clients ;
- L'élaboration d'un cadre réglementaire pour agréger les effacements (permettant à des acteurs tiers de regrouper les petites flexibilités diffuses et de participer aux marchés),
- La sensibilisation des consommateurs aux éco-gestes numériques (*applications mobiles signalant les pics, équipements connectés automatisant les ajustements de consommation, etc.*).

3. Recommandations politiques, réglementaires, incitatives, et techniques prioritaires

Il est nécessaire d'adopter des mesures concrètes, inscrites dans le calendrier législatif et réglementaire, pour accélérer l'intégration des SERD. **Voici les principales recommandations d'actions pour le gouvernement, les autorités réglementaires, le secteur privé, la société civile et les institutions de recherches :**

- **Adapter la gouvernance du marché électrique et la régulation des réseaux pour valoriser les SERD.** En alignement avec les efforts déjà entamés (lois récentes sur les énergies renouvelables, création de l'ANRE, etc.), il est impératif de réviser le modèle de régulation des gestionnaires de réseaux notamment de distribution afin de corriger le manque d'incitations actuelles vis-à-vis des SERD. Le modèle traditionnel de l'ONEE et des distributeurs, basé sur la vente de kWh et la limitation des coûts, n'encourage pas spontanément l'accueil de production décentralisée qui pourrait réduire les revenus volumétriques ou nécessiter des adaptations du réseau. Il convient donc d'évoluer vers une régulation "output-based" (axée sur la performance) et "agnostique technologiquement".
- **Dans le même esprit, il est recommandé de rappeler aux SRMs d'évaluer systématiquement, pour chaque problème de congestion ou de capacité,** les solutions "non-filaires" (SERD, effacement) en alternative à l'extension du réseau. En pratique, cela signifie donner au régulateur le pouvoir d'auditer les plans d'investissement des distributeurs et de promouvoir les alternatives décentralisées lorsque leur analyse coûts-bénéfices est positive.
- **Promouvoir et opérationnaliser - la loi 82-21 sur l'autoproduction d'ici début 2026 :** adoptée en 2022-2023, la loi n°82-21 relative à l'autoproduction d'énergie électrique a posé un cadre légal crucial pour autoriser l'autoconsommation et l'injection des excédents sur le réseau. Il s'agit maintenant de passer du principe à la pratique en publiant rapidement les décrets d'application manquants et en levant les obstacles administratifs restants.

Concrètement, le gouvernement en concertation avec l'ANRE et les opérateurs doit établir les modalités de comptage et de compensation financière de l'énergie injectée sur le réseau par les autoproductions. Le récent décret sur le compteur intelligent bidirectionnel (septembre 2024) constitue une première étape, définissant les fonctionnalités de mesure de l'énergie soutirée et injectée. La prochaine étape est de fixer le régime de rémunération des excédents : tarif de rachat, net-métrage (net metering) avec crédit sur la facture, net-billing (vente du surplus à un prix de marché moins une surcharge), etc, en veillant à rester équitable pour tous les acteurs. Le CESE recommande à cet égard d'« injecter l'excédent dans le réseau, dans des conditions financières gérées par l'autorité de régulation, susceptibles de créer un marché dynamique de la production décentralisée ». Suivant ce principe, l'ANRE pourrait établir un barème incitatif (par exemple un tarif d'achat de l'excédent calculé à partir du coût évité pour le système, ou lié au prix spot) qui rémunère justement l'apport des petits producteurs au réseau.

- **L'opérationnalisation de la loi 82-21** implique de faciliter l'accès au réseau des autoproductions : simplification des procédures de demande de raccordement, mise en place d'un guichet unique "autoproduction" dans chaque région, transparence sur les capacités d'accueil disponibles. La loi garantit un droit d'accès au réseau pour évacuer l'excédent, il faut le rendre effectif sur le terrain. D'ici fin 2026, chaque consommateur marocain (industriel, agricole, particulier, etc) qui installe des panneaux solaires devrait avoir visibilité sur la façon dont il sera crédité pour son surplus injecté, et assurance de pouvoir se raccorder sans délais indus. Si ces dispositions sont mises en œuvre, la confiance dans le cadre réglementaire augmentera et on peut s'attendre à une accélération des investissements privés dans l'autoproduction.
- **Adopter de nouveaux codes du bâtiment pro-SED d'ici fin 2026.** Le secteur du bâtiment représente un gisement important pour le déploiement massif de SERD comme le quantifie cette présente analyse. Pour saisir cette opportunité, l'État devrait traduire son engagement envers les SERD dans la réglementation de la construction. Concrètement, il est recommandé d'introduire dans le code de la construction des dispositions rendant obligatoire l'intégration de capacités de production d'énergie renouvelable sur site pour certaines catégories de nouvelles constructions. Par exemple, on pourrait exiger que toute nouvelle maison individuelle ou immeuble résidentiel de petite taille dispose, lors de sa livraison, d'une installation photovoltaïque d'une puissance minimale (p. ex. 3 kW par logement individuel) ou à défaut, soit pré-équipé pour en accueillir (réservation de toiture, conduits pour câbles, etc.). De même, les nouveaux bâtiments tertiaires (bureaux, commerces) au-dessus d'un certain seuil de surface pourraient avoir l'obligation d'installer soit des panneaux PV en toiture/parking, soit des systèmes solaires thermiques pour l'eau chaude, afin de couvrir au moins X% de leurs besoins énergétiques. Pour le Maroc, inscrire une exigence de SERD dans les permis de construire enverrait un signal fort aux promoteurs et aux fabricants – en créant de facto un marché captif de la construction solaire – et contribuerait à l'objectif de 2 millions de foyers équipés évoqué plus loin. Bien sûr, ces obligations devront être calibrées en tenant compte des réalités (ensoleillement du site, type de bâtiment). On pourra prévoir des exceptions ou flexibilités (par ex. possibilité de contribuer à un projet renouvelable local si le

bâtiment lui-même ne peut installer de PV en raison de contraintes techniques). Quoi qu'il en soit, l'adoption de ces codes dès 2024 donnerait le temps au secteur de s'adapter et, combinée aux incitations financières du fonds SERD (point suivant), créerait un boom de l'offre et de la demande en matière de bâtiments équipés de SERD dès la seconde moitié de la décennie.

- **Créer un Fonds national d'intégration des SERD d'ici mi-2026.** Pour catalyser les investissements à grande échelle dans les SERD, il est proposé de mettre en place un fonds de soutien public ou privé dédié avant fin 2026. Ce fonds aurait pour mission de mobiliser des ressources financières variées afin de co-financer l'équipement en systèmes distribués d'énergie de millions de clients à horizon 2035. Pour atteindre cette échelle ambitieuse, le fonds devra agréger des financements multiples : dotations budgétaires de l'État, contributions des distributeurs (via des obligations de service public), prêts concessionnels d'institutions internationales, participation de fonds philanthropiques et climat internationaux intéressés par la transition énergétique du Maroc. Le fonds offrirait une panoplie d'incitations financières ciblées :
 - Subventions à l'investissement pour les ménages modestes (couvrant par ex. 30-50% du coût d'un kit PV résidentiel de 3 kW),
 - Mécanismes de garantie pour faciliter les prêts bancaires verts à taux réduits, appels d'offres par les municipalités pour déployer des micro-grids urbains, etc.
 - Une attention particulière doit être portée à la durabilité du modèle : plutôt que de simplement subventionner à perte, le fonds pourrait fonctionner sur le principe de paiement à la performance (par ex, versement d'une prime pour chaque kWh effectivement produit et autoconsommé sur 5 ans) ou en investissant en capital dans des projets ESCO avec un retour sur investissement. Ce modèle ESCO devrait être privilégié pour le déploiement terrain : le fonds pourrait financer partiellement des ESCO locales ou des coopératives énergétiques qui installent les SERD chez les clients sans coût initial, puis se remboursent via les économies sur les factures d'électricité (modèle de tiers-financement). Ainsi, on crée un cercle vertueux où le fonds, réapprovisionné par les retours des projets, peut engager de nouvelles installations.
 - Le calendrier proposé serait : conception du fonds et de ses mécanismes d'ici mi 2026 (en veillant à la complémentarité avec d'autres instruments type ligne de crédit verte existante), lancement officiel fin 2026, montée en puissance sur 2026-2030.
- **Mettre en place des mécanismes de flexibilité locaux d'ici fin 2027.** À mesure que la pénétration des SERD va croître, certaines portions du réseau électrique (notamment en basse tension ou moyenne tension) pourraient faire face à des contraintes locales : congestion de lignes à cause d'injections solaires en surplus à midi, surtensions en bout de ligne, ou au contraire creux de tension lors de la charge simultanée de nombreux équipements, notamment les véhicules électriques, en soirée. Plutôt que de systématiquement renforcer le réseau de manière coûteuse et parfois sous-utilisée, il est recommandé d'implémenter des solutions de flexibilité locales pour gérer ces contraintes de façon optimale. Concrètement, le régulateur devrait exiger que les gestionnaires de réseau de

distribution (SRM) déploient, avant fin 2027, des mécanismes de gestion de congestion locaux dans les zones où les analyses prévisionnelles montrent des problèmes à venir du fait des SERD.

- **Deux approches complémentaires peuvent être envisagées :**

- a) Des marchés locaux de flexibilité où l'opérateur lance des appels d'offres ou des enchères pour que des acteurs effacent de la charge ou injectent de l'énergie selon les besoins à un endroit donné ;
- b) Des accords de raccordement flexibles (Flexible Connection Agreements) où un producteur décentralisé accepte une limitation de sa puissance injectée à certaines périodes en échange d'un raccordement plus rapide ou moins cher.

4. Plateforme de collaboration Vehicle-to-Everything (V2X) et mobilité électrique intégrée

La convergence entre électrification des transports et décentralisation énergétique offre de nouvelles opportunités qu'il convient de saisir rapidement. D'ici mi-2026, il est proposé que le secteur privé, en partenariat avec des organismes publics et de recherche, mette en place une plateforme "V2X Morocco" dédiée à accélérer la promotion, le développement et la commercialisation des technologies Vehicle-to-Everything (Véhicule vers Tout). Le concept V2X englobe plusieurs applications bidirectionnelles des véhicules électriques : Vehicle-to-Grid (V2G) lorsque le véhicule injecte de l'énergie sur le réseau, Vehicle-to-Home (V2H) lorsqu'il alimente une habitation ou un bâtiment isolé, Vehicle-to-Load (V2L) lorsqu'il alimente directement des appareils ou des charges spécifiques.

L'ambition de la plateforme V2X Maroc serait de démontrer la viabilité technique et commerciale de ces solutions dans le contexte marocain, afin de les intégrer au marché énergétique dans les années à venir. En résumé, la création d'une plateforme de collaboration V2X vise à garder le Maroc à la pointe de l'innovation dans le domaine des SERD et de la mobilité électrique. Elle s'inscrit en complément des mesures précédentes : alors que celles-ci renforcent le réseau et les règles du jeu, la démarche V2X explore de nouvelles frontières technologiques pour tirer le meilleur parti des véhicules électriques en tant que ressources énergétiques décentralisées. C'est une approche proactive pour s'assurer que la transition vers la mobilité propre apporte aussi un plus au système électrique national, et inversement que le réseau soit prêt à tirer parti de la flexibilité embarquée dans les batteries des véhicules.

Plusieurs objectifs concrets sont assignés à cette plateforme collaborative :

- **Promouvoir et diffuser les connaissances** : il s'agit d'organiser des ateliers, séminaires, publications pour améliorer la compréhension des opportunités technologiques et économiques offertes par les véhicules électriques bidirectionnels. Par exemple, quantifier le potentiel d'une flotte de VE pour fournir des services d'équilibrage au réseau (en kW disponibles, en Dirhams de revenus potentiels par véhicule), ou présenter des retours d'expérience de projets pilotes à l'étranger (comme ceux menés au Danemark ou aux États-

Unis sur le V2G). La plateforme servira de centre de ressources sur le V2X, à destination des professionnels comme du grand public.

- **Soutenir l'éducation et l'adhésion des citoyens** : un axe majeur sera de concevoir des actions de sensibilisation et des pilotes terrain orientés client final, pour démontrer l'intérêt du V2X dans la vie quotidienne. Par exemple, développer des supports pédagogiques expliquant comment un propriétaire de voiture électrique peut économiser de l'argent en alimentant sa maison aux heures de pointe grâce à son véhicule (V2H) ou en vendant de l'électricité à la demande du réseau (V2G). La plateforme pourrait soutenir des démonstrations réelles chez des volontaires (foyers équipés d'un chargeur bidirectionnel, entreprises dotées de bornes V2G sur leur parking). L'emphase sera mise sur des solutions "réglez-et-oubliez" – c'est-à-dire automatisées et simples d'usage afin que l'expérience client soit fluide. Par exemple, une application mobile qui gère automatiquement la charge et la décharge du véhicule selon des préférences préétablies, sans intervention quotidienne de l'utilisateur.
- **Fournir un accès aux compétences de base et aux infrastructures de test** : la plateforme V2X Maroc regroupera des experts en intégration véhicule-réseau, en électronique de puissance, en normes de charge, etc., provenant d'universités, de centres de recherche (IRESEN, Green Energy Park, etc), d'industriels automobiles et électriques. Ces experts pourront appuyer des projets de R&D et de démonstration. L'idée est de mettre à disposition des porteurs de projets un laboratoire V2X vivant : par exemple, un site d'essai équipé de panneaux solaires, de chargeurs bidirectionnels et de quelques véhicules, pour tester en conditions réelles différentes fonctionnalités (injection sur le réseau en mode îloté, secours d'un bâtiment par un véhicule lors d'une panne, échanges d'énergie entre véhicules et éclairage public, etc.). Ce démonstrateur servira de vitrine technologique et permettra de valider les modèles technico-économiques (durée de vie des batteries en mode V2G, gains financiers nets pour l'utilisateur, effets sur la courbe de charge locale, etc.).
- **La plateforme V2X Maroc pourrait démarrer par des actions pilotes alignées avec les engagements du Maroc en matière de mobilité propre**. Par exemple, la CDN (Contribution Déterminée au niveau National 2.0) du Maroc envisage d'augmenter de 30% la part des véhicules "écologiques" (hybrides ou électriques) dans la flotte de l'État. La plateforme pourrait se greffer à cette initiative en proposant une approche intégrée : équiper certains sites gouvernementaux de panneaux solaires et de chargeurs bidirectionnels, convertir une partie de la flotte à l'électrique, et démontrer les synergies "sur site, sur route, sur réseau". Concrètement, les voitures électriques de service seraient utilisées le jour pour les besoins de l'administration, puis branchées le soir en V2G pour fournir de l'énergie au bâtiment ou au réseau pendant les pointes, avant de se recharger en heures creuses nocturnes.
- **En matière de financement**, le lancement de cette plateforme et de ses projets pilotes nécessite des sources flexibles. On pourra solliciter des fonds de recherche et d'innovation, mais aussi des soutiens de fondations philanthropiques internationales engagées dans la mobilité durable, ainsi que des opportunités de finance climat (le Fonds Vert pour le Climat

soutient parfois des projets de démonstration innovants dans les pays émergents). L'investissement initial dans V2X Maroc serait modeste comparé aux bénéfices potentiels : en posant les bases d'un écosystème où le véhicule électrique est intégré au réseau, le Maroc peut à terme multiplier les usages de sa future flotte électrique (stockage distribué, secours en cas de blackout, optimisation de l'autoconsommation solaire, etc.) et amortir plus rapidement les coûts de ces véhicules grâce aux revenus énergétiques qu'ils généreront.

5. Recommandations transversales pour développer un marché SERD dynamique au Maroc

Toutes ces recommandations transversales qui suivent, permettront d'établir un environnement politique, institutionnel, réglementaire, et technique propice à la croissance des SERD. Elles visent à la fois:

- à créer la demande (via des obligations et des incitations financières),
- à lever les barrières réglementaires (via l'opérationnalisation des lois et décrets associés de l'autoproduction décentralisée et la réforme de la régulation) et ;
- à optimiser l'insertion systémique des SERD dans le système (via la flexibilité et les *smart grids*).

Il est important de souligner que les recommandations de ce rapport sont interdépendantes : par exemple, le succès d'un mécanisme incitatif national d'intégration SERD sera décuplé si en parallèle les conditions d'accès au réseau, les tarifs dynamiques et l'effacement sont en place, car un foyer équipé en PV+batterie pourra alors valoriser pleinement son investissement. De même, obliger des bâtiments à s'équiper en PV n'aura un impact maximal que si la loi 82-21 est bien revue et appliquée derrière pour leur assurer un retour sur investissement.

Afin de stimuler le développement des SERD à court et moyen terme et de permettre à un maximum de citoyens d'accéder à des offres décentralisées attractives, une approche multithématique s'impose sur les 3 prochaines années. Plusieurs recommandations transversales ont été identifiées pour lever les freins actuels et créer un écosystème propice aux SERD sur la décennie à venir :

Identifier, étudier et communiquer les avantages des SERD :

- **Il est crucial de mieux faire connaître, chiffres à l'appui, la proposition de valeur des SERD pour le Maroc.** Le présent rapport en a décrit et quantifié certains bénéfices (économies pour les consommateurs, report d'investissement réseau, réduction des émissions, amélioration de la résilience, etc.), mais un travail plus approfondi reste à mener. Par exemple, une cartographie exhaustive du marché actuel des SERD (nombre d'installations d'autoproduction, capacités installées en PV résidentiel, projets de micro-grids industriels, etc.) permettrait de visualiser la progression en cours et les gisements disponibles.
- **Des études de modélisation régionales à l'horizon 2035 devraient être conduites régulièrement pour évaluer l'impact potentiel des SERD sur la fiabilité du système, l'abordabilité de l'électricité, la décarbonation et d'autres objectifs politiques clés** (sécurité énergétique, création d'emplois locaux, etc.). Ces analyses prospectives éclaireront

les décideurs sur le niveau de flexibilité et la capacité de production décentralisée dont le Maroc pourrait avoir besoin et sur les économies réalisables en évitant des investissements centralisés.

- **Il faudra communiquer activement ces bénéfices et résultats de recherche aux différentes parties prenantes** : d'une part aux acteurs techniques (opérateurs de réseau, régulateur, agences publiques, etc) via des rapports détaillés, des ateliers de formation, etc., et d'autre part au grand public et aux élus via des synthèses pédagogiques. Par exemple, expliquer concrètement aux ménages comment les SERD peuvent réduire leur facture et augmenter leur autonomie énergétique, ou montrer aux élus locaux comment la production décentralisée peut soutenir l'électrification rurale et la création d'emplois.

Développer des meilleures pratiques, des normes et des feuilles de route sectorielles.

- Une fois les bénéfices potentiels mieux compris et partagés, **il convient de passer à l'action en uniformisant et simplifiant le cadre de développement des SERD**. Actuellement, le marché des SERD au Maroc est naissant et caractérisé par une mosaïque d'approches disparates, qu'il s'agisse des mécanismes réglementaires et tarifaires (ex: conditions d'accès au réseau pour les autoproductions, niveau de rémunération des excédents, etc.), des modalités de financement (crédits bancaires classiques, tiers-investissement par des ESCO, subventions ponctuelles, etc.) ou encore des protocoles technologiques (chaque fournisseur de solution PV/batterie ayant parfois son logiciel propriétaire, peu interopérable avec d'autres). Cette hétérogénéité crée des frictions de marché inutiles, complexifie les projets SERD et peut décourager certains investisseurs ou clients. Pour éliminer ces frictions, il est recommandé que l'ensemble des parties prenantes, fournisseurs de services énergétiques, opérateurs de réseaux, institutions de planification énergétique, régulateur, fournisseurs de technologies, associations professionnelles, collaborent à l'élaboration d'un socle commun de meilleures pratiques, et de normes techniques. Ce travail collaboratif pourrait prendre la forme de comités techniques ou de plateformes d'échange public-privé, et devrait couvrir par exemple :
 - **L'harmonisation des standards d'interopérabilité des équipements et systèmes SERD**. Il s'agit de s'accorder sur quelques protocoles de communication ouverts²⁰ (par ex. adopter les normes CEI/ISO pertinentes pour les échanges entre onduleurs PV et systèmes de supervision, ou entre les bornes de recharge VE et les opérateurs réseau).
 - **L'établissement de protocoles financiers et contractuels éprouvés pour le déploiement des SERD**. Cela inclut la promotion de modèles de financement innovants tels que le modèle ESCO (Entreprises de Services Énergétiques). Dans un tel modèle, une entreprise tierce finance et installe les équipements (p. ex. des

²⁰ Aux États-Unis, en Australie ou en Asie, l'adoption généralisée du standard IEEE 2030 pour les communications DER a par exemple fortement simplifié l'intégration des onduleurs et batteries chez les particuliers. L'Europe travaille également sur un règlement d'interopérabilité de la réponse à la demande (Demand Response Interoperability) pour standardiser ces communications. Le Maroc devrait suivre ces tendances et veiller à ce que ses futures installations SERD puissent communiquer facilement avec les systèmes des opérateurs et des agrégateurs, à moindres coûts.

panneaux solaires et batteries chez un client) puis se rémunère sur les économies d'énergie réalisées ou via un contrat de performance énergétique sur le long terme. Ce schéma de tiers-investissement est particulièrement utile pour lever le frein du coût initial (CAPEX) pour les ménages et PME. Un pas important a été franchi en 2024 avec l'adoption du décret fixant le cahier des charges des ESCO au Maroc. Il faut maintenant élargir le champ d'action de ces ESCO au-delà de l'efficacité énergétique, pour qu'elles puissent financer et opérer des projets SERD (photovoltaïque en toiture, micro-réseau villageois, etc.), en partageant les bénéfices avec les clients. De même, développer des contrats standards de performance énergétique ou d'achat de l'électricité excédentaire des SERD apporterait de la clarté et de la confiance aux investisseurs.

- **La définition de feuilles de route sectorielles SERD par segment de clientèle (résidentiel, industriel, agricole, tertiaire, etc.) et par technologie.** Chaque segment sectoriel a ses spécificités. Il convient donc d'identifier, secteur par secteur, les barrières spécifiques et de proposer un calendrier de mesures pour les lever. Par illustration, une feuille de route pour les SERD résidentiels pourrait fixer des objectifs annuels (ex: X milliers de nouveaux foyers équipés par an), prévoir l'évolution des subventions à la baisse à mesure que les coûts diminuent, et introduire progressivement des obligations. Une feuille de route pour les bâtiments tertiaires et industriels pourrait, elle, mettre l'accent sur le solaire en toiture couplé à du stockage, avec incitations fiscales à la clé, et sur la participation de ces clients à des programmes d'effacement rémunérés.

Informier et façonner l'élaboration des politiques publiques en faveur des SERD

Les recommandations précédentes sont essentielles, mais demeureront insuffisantes sans une évolution volontariste du cadre politique et réglementaire. Il est donc recommandé que les acteurs soutenant la croissance du marché SERD unissent leurs forces pour porter haut et fort leur vision dans les espaces de décision nationaux et territoriaux. Autrement dit, il faut un plaidoyer coordonné en faveur des SERD. Cela peut passer par des dialogues réguliers entre les acteurs des énergies décentralisées rassemblant des entreprises du secteur privé (fournisseurs de solutions PV, opérateurs d'efficacité énergétique, start-ups du *smart grid*, etc.), des représentants de consommateurs *prosumers*, des experts indépendants, etc. Ensemble, ces défenseurs des SERD pourront mutualiser leurs ressources et leur poids institutionnel pour participer activement aux consultations publiques, aux commissions parlementaires, aux ateliers du régulateur, etc. L'objectif est d'influencer positivement les réformes pour que les SERD soient considérés sur un pied d'égalité avec les investissements traditionnels (grandes centrales, réseaux conventionnels) dans le système électrique.

THE
IMAL
INITIATIVE
FOR CLIMATE AND DEVELOPMENT



مبادرة إمال للمناخ والتنمية
ᐃᐃᐃᐃᐃᐃ ᐃᐃᐃᐃ ᐃᐃᐃᐃᐃᐃ ᐃᐃᐃᐃᐃᐃ
L'INITIATIVE IMAL POUR LE
CLIMAT ET LE DÉVELOPPEMENT