

MASTER 2 « Urbanisme et Aménagement »
Parcours Urbanisme et Expertise Internationale
option Villes des Suds
Mémoire de fin d'études

**Le déploiement des systèmes solaires
photovoltaïques d'autoproduction dans la
région de Dakar et la cohabitation avec le
réseau conventionnel de la Senelec : vers
une transformation du système électrique ?**

Tomy GOULDING
N° étudiante : 259 118
Sous la direction de : Sylvie Jaglin
Année universitaire 2021/2022

*Version corrigée après la soutenance (09/2023) et sans la
partie rapport de stage*

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma tutrice de stage et directrice de mémoire, Sylvy Jaglin, pour son encadrement sans faille, sa bienveillance et ses précieux conseils tout au long de mon stage-recherche qui m'ont permis d'aboutir à ce travail. Mes remerciements vont également à Claire Simonneau, pour son soutien et ses précieux conseils, notamment lors de sa venue à Dakar pendant ma mission de terrain.

Ce mémoire a bénéficié de la bourse sortante du Graduate Program Urban Future porté par le Labex Futurs Urbains, qui a permis de mener dans les meilleures conditions la recherche de terrain. Je souhaite donc par la présente remercier Loïc Vadelorge, responsable scientifique du Labex Futurs urbains et porteur du Graduate Program, pour cette opportunité.

J'adresse mes remerciements à toute l'équipe du Laboratoire Territoires, Techniques et Sociétés (LATTS), chercheur.se.s, doctorant.e.s, personnels administratifs, pour avoir rendu cette expérience professionnelle d'autant plus enrichissante. J'en profite pour remercier Thomas Voltaire, ami et collègue du Master 2 également en stage au LATTS, pour nos échanges et nos partages de données au bureau comme sur le terrain.

Je souhaite remercier infiniment toutes les personnes rencontrées sur le terrain pour le temps qu'ils.elles m'ont accordé et les informations précieuses qu'ils.elles m'ont transmises. Mes remerciements vont à Momar Diongue, Directeur de l'Institut de Gouvernance Territoriale (IGT), pour son accueil, nos échanges précieux et la mise en relation avec des personnes-ressources. Merci à Lahat Ndiaye, doctorant en sociologie, de nous avoir guidés, Thomas et moi, dans le milieu périurbain à Tivaouane Peulh et pour avoir joué le rôle d'interprète lors des entretiens. Merci aux étudiants du Master à l'IGT, Mamebouh Thiao et Modou Laye Dangoura, pour le partage des connaissances sur la région de Dakar. Je remercie particulièrement Makhtar Seye, pour avoir accepté que je le suive lui et Ablaye Ba dans leur journée chantier solaire afin de répondre à mes nombreuses questions techniques, ainsi que pour sa bienveillance dans la vérification et les précisions apportées lors de la rédaction du mémoire.

Mes remerciements les plus sincères à mes proches pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de cette expérience. Merci à Fabienne, Léone et Cyril pour leurs relectures attentives.

Sommaire

Remerciements	2
Sommaire	3
Liste des abréviations	5
Table des figures.....	6
Introduction	8
Chapitre 1. La transformation énergétique : le cadre théorique du déploiement du solaire photovoltaïque dans les systèmes électriques	11
I. État de l’art	11
I.1. L’accès à l’électricité en Afrique et les transformations énergétiques	11
I.2 Les systèmes solaires photovoltaïques et leur contribution dans la transformation énergétique des villes des Suds.....	14
I.3 Choix et intérêt pour le sujet de recherche : les fondements de ce mémoire	16
II. Méthode de recherche	18
II.2 Définition de l’objet d’étude et du périmètre d’étude	18
II.3 Méthodologie	25
Chapitre 2. Le déploiement du solaire photovoltaïque dans le contexte énergétique du Sénégal et de la région de Dakar : la réglementation, les pratiques et les acteurs de la filière du solaire	31
I. Le réseau électrique conventionnel au Sénégal et dans la région de Dakar : les enjeux et les stratégies du secteur électrique.....	31
I.1. Le fonctionnement et le cadre institutionnel du réseau conventionnel au Sénégal : l’État aux commandes malgré l’ouverture du secteur d’électricité aux acteurs privés.....	31
I.2 La situation électrique au Sénégal et dans la région de Dakar : les enjeux à relever par le secteur énergétique	36
I.3 Conclusion : La promotion des énergies renouvelables pour le développement du réseau électrique conventionnel	39
II. Les limites du cadre pour le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d’autoproduction au Sénégal et dans la région de Dakar	40
II.1. Les dispositifs de promotion des énergies renouvelables (EnR) et du solaire.....	40
II.2. La contribution des acteurs de la filière du solaire dans le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques de la région de Dakar	44
Conclusion du chapitre 2	50
Chapitre 3. Les systèmes solaires photovoltaïques d’autoproduction dans les espaces urbains de la région de Dakar : un inventaire non-exhaustif des études de cas	51
I. Introduction : analyser le processus de déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar par l’approche sociotechnique territorialisée	51
II. L’identification des configurations de systèmes solaires photovoltaïques selon la méthode de l’étude de cas : l’inventaire non-exhaustif	54
II.1 Le corpus d’études de cas et l’enquête de terrain	55

II.2 Le traitement des données des études de cas	61
III. Description et récit des études de cas	62
III.1. Système solaire PV avec stockage branché à un dispositif manuel de basculement vers le réseau de la Senelec	66
III.2. Système solaire PV monitoré en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours	76
III.3. Les variantes du système solaire PV en autoconsommation directe couplé au réseau de la Senelec	85
Conclusion du chapitre 3	91
Conclusion générale. Le réseau d'électricité et les systèmes solaires décentralisés : une cohabitation en construction ?	94
Les enjeux de la cohabitation entre le réseau d'électricité et les systèmes solaires décentralisés .	94
Les obstacles techniques et institutionnels de la Senelec face à la cohabitation avec les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction	96
Le déploiement du solaire photovoltaïque n'attend pas la Senelec : les obstacles des dispositifs sociotechniques de cohabitation installés par les auto-producteurs	99
Une multitude de modes de cohabitation des systèmes électriques : faut-il l'intégrer dans les dispositifs réglementaires ?	100
Bibliographie	102
Table des matières	112
ANNEXES.....	112

Liste des abréviations

AEME : Agence Nationale pour l'Économie et la Maîtrise de l'Énergie

AFD : Agence Française de Développement

ANER : Agence Nationale des Énergies Renouvelables

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

ASER : Agence Sénégalaise d'Électrification Rurale

BOT : Built Operate and Transfer

CHOM : Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte

CRSE : Commission de Régulation du Secteur de l'Électricité

DCGT : Département Conduite et Gestion Technique de la Senelec

DGPU : Délégation Générale à la Promotion des Pôles urbains de Diamniadio et du Lac Rose

EnR : Énergies Renouvelables

ESP : École Supérieure Polytechnique

EUP : École d'Urbanisme de Paris

FIE : Fonctions d'Interface Énergétique

FPL : Fouta Poids Lourds

Ifri : Institut Française des Relations Internationales

IGT : l'Institut de Gouvernance Territoriale

INTENS : Fonctions d'interface énergétique dans les villes des Nords et des Suds : objets, systèmes, acteurs, métiers

IPP : Independent Power Producers

LATTS : laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés

LPDSE : Lettre Politique de Développement du Secteur de l'Énergie

ODD : Objectifs du Développement Durable

PACTE : Plan d'Action Environnemental

PCET : Plan Climat Énergie Territorial

PDU : Plan Directeur d'Urbanisme

PPP : Partenariat Public Privé

PSE : Plan Sénégal Émergent

PV : photovoltaïque

Senelec : Société Nationale de l'Électricité du Sénégal

SHS : Solar Home System

VDN : Voie de Dégagement N

Table des figures

Figures :

Figure 1 : Les étapes du traitement des données dans la méthode de recherche par l'étude de cas proposées par Yves-Chantal Gagnon. <i>Source : Gagnon, 2012 : 8</i>	61
Figure 2. Plan de situation des études de cas avec un système solaire PV avec stockage branché à un dispositif manuel de basculement vers le réseau de la Senelec.	68
Figure 3 : Système solaire PV de l'école Keur Fatou Kaba, Médina Gounass, Guédiawaye (Auteur, mai 2022)	70
Figure 4 : Chantier d'installation du système solaire PV pour l'entreprise Fouta Poids Lourds, Mbao, Pikine (Auteur, juillet 2022). Installation des panneaux solaires PV - raccordement à l'onduleur, régulateur et batteries - inverseur manuel (de gauche à droite).....	74
Figure 5. Plan de situation des études de cas avec un système solaire PV monitoré en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours.	78
Figure 6 Plan de situation des études de cas avec des variantes du système solaire PV en autoconsommation directe couplé au réseau de la Senelec	86
Figure 8 : Photographie de la brochure des kits proposés aux propriétaires des villas de Dakar Eco City... ..	88
Figure 9. L'inverseur manuel sur le chantier d'installation de l'entreprise Fouta Poids Lourds (Auteur, juillet 2022)	126
Figure 10. En blanc, l'armoire auto-maintenance du centre hospitalier CHOM (Auteur, juin 2022)	127
Figure 11. Compteur bidirectionnel intelligent installé sur la maison bioclimatique (Auteur, juin 2022)..	128

Cartes :

Carte 1 : La région de Dakar parmi les 14 régions du Sénégal.	20
Carte 2 : Les nouvelles limites administratives de la région de Dakar selon le ressort territorial établi par le décret n°2021-855 du 29 juin 2021.....	23
Carte 3 : Le découpage de la région de Dakar en trois zones à partir de la carte de l'occupation du sol. ...	25
Carte 4 : Surface de panneaux solaires installés dans la région de Dakar.	52
Carte 5 : Diversité des activités disposant de systèmes solaires PV.	56
Carte 6 : Diversité des systèmes solaires dans la région de Dakar.	65

Schémas :

Schéma 1 : Cadre institutionnel de la fourniture d'électricité conventionnelle.	35
Schéma 2 : Système d'acteurs territorialisé de la filière du solaire PV dans la région de Dakar.	48
Schéma 3 : Principe de fonctionnement du système solaire avec stockage de l'énergie solaire dans des batteries branché à un dispositif de basculement manuel (inverseur) vers le réseau de la Senelec.	66
Schéma 4 : Principe de fonctionnement du système solaire avec stockage de l'énergie solaire dans des batteries branché à un dispositif de basculement manuel (inverseur) vers le réseau de la Senelec couplé à un générateur de secours. <i>Source : production personnelle inspirée du schéma sur : https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/.....</i>	74
Schéma 5 : Principe de fonctionnement du système solaire en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours. <i>Source : production personnelle inspirée du schéma sur : https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/.....</i>	76
Schéma 6 : Principe de fonctionnement du système solaire du kit 1 avec micro-onduleurs couplé au réseau de la Senelec. <i>Source : production personnelle inspirée du schéma sur : https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/.....</i>	87

Schéma 7 : Principe de fonctionnement du système solaire de la maison bioclimatique en autoconsommation directe avec injection du surplus dans le réseau de la Senelec et les batteries. <i>Source : production personnelle inspirée du schéma sur : https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/</i>	89
--	----

Tableaux :

Tableau 1 : Liste des communes par arrondissements dans les départements de la région de Dakar.	22
Tableau 2 : La part de production d'électricité des IPP dans la production d'électricité globale du Sénégal.	33
Tableau 3 : Recensement des études de cas pour l'analyse du processus de déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction. <i>Source : Enquête de terrain juin-juillet 2022.</i>	57
Tableau 4 : Mode de collecte de données selon les études de cas à partir de l'enquête de terrain juin-juillet 2022.....	60
Tableau 5 : Les six types d'installations des systèmes solaires PV relevées parmi les onze études de cas.	64
Tableau 6 : Les caractéristiques d'une étude de cas à relever selon la matrice	92

Introduction

Alors que certains pays africains font encore face à une précarité électrique élevée et que la demande d'énergie sur le continent va doubler d'ici 2040, comment « garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable » d'ici 2030 (ODD n°7 des Nations Unis pour le développement durable) ? Face à cette demande exponentielle, la question est d'autant plus pertinente pour les villes africaines dont l'urbanisation, la croissance économique et démographique s'accroissent et où les habitants ont des conditions de vie qui ne cessent de s'améliorer.

En Afrique de l'Ouest, les énergies renouvelables, notamment le solaire dans une région où le soleil est abondant, sont apparues dès les années 60 comme une solution pour assurer la fourniture d'électricité et l'électrification, essentielles au développement économique et à l'indépendance énergétique des pays (Gecit, 2022). Différentes solutions sont déployées sur le continent, celles de grands projets pharaoniques de barrages hydroélectriques ainsi que des centrales solaires ou éoliennes pour alimenter les réseaux électriques conventionnels. Le déploiement de ces solutions a des limites, notamment le coût important des projets, leur rentabilité ainsi que la faisabilité de l'extension du réseau conventionnel. Dans les zones rurales, où le réseau est absent, des solutions décentralisées, telles que les systèmes solaires photovoltaïques (mini-réseau, installation individuelle, pico-solaire), sont installées pour assurer une pré-électrification. Les technologies solaires photovoltaïques s'observent également en milieu urbain, malgré la présence du réseau conventionnel, pour pallier ses faiblesses (Jaglin, 2019a). En effet, le réseau est déployé moins rapidement que la croissance démographique, couplée à l'urbanisation et à la demande croissante en électricité dans les villes. Par ailleurs, la présence du réseau n'exclut pas les défaillances du service électrique et les coupures qui poussent les particuliers et entreprises à investir dans des solutions alternatives d'autoproduction, telles que les groupes électrogènes diesels ou encore des installations solaires photovoltaïques (Solar Home System – SHS, *mini centrale solaire urbaine*). Le déploiement des solutions décentralisées coexistant avec le réseau centralisé en milieu urbain met en cause l'idéal du réseau conventionnel (Rateau, 2021). Cela conduit dans certains cas à des « processus de transformation urbaine vers le post-réseau » (Rutherford et Coutard, 2013).

Cependant, l'absence de fiabilité du réseau n'est pas la seule raison au déploiement du marché solaire décentralisé en milieu urbain. En effet, d'après l'étude Ifri « Les solutions solaires à l'assaut des

villes » réalisée par Hugo Le Picard et Matthieu Toulemont, l'autonomisation des consommateurs citoyens vis-à-vis du réseau est devenue une tendance de fond même lorsque le réseau conventionnel est de bonne qualité (Le Picard et Toulemont, 2022). La question des facteurs influençant le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction électrique en milieu urbain est dès lors posée. Selon l'étude Ifri, dont la méthodologie permet de superposer la géolocalisation des panneaux solaires dans la région de Dakar grâce au *Deep Learning* et les données socio-économiques, il s'agit essentiellement de facteurs socio-économiques spatialisés (mode de vie aisé, études supérieures, modernité du quartier) qui contribuent à la transformation du système électrique urbain (Le Picard et Toulemont, 2022). Cependant, il existe d'autres travaux qui explorent les transformations énergétiques selon une approche sociotechnique et territorialisée. C'est le cas de Sylvie Jaglin et Eric Verdeil (2017) qui, à travers quatre cas d'études de villes (Buenos Aires, Delhi, Istanbul et Cape Town), montrent comment les transformations énergétiques sont impactées par un contexte territorial urbain spécifique avec des acteurs divers responsables des changements.

Afin de contribuer au domaine de la recherche sur les transformations des systèmes électriques dans les villes africaines, ce mémoire prend comme étude de cas la région de Dakar (Sané, 2016) qui fait partie des quatorze villes retenues dans l'étude Ifri pour analyser la « pénétration du marché des systèmes solaires décentralisés dans les villes africaines » (Le Picard et Toulemont, 2022 : 4). Cette étude atteste la présence du déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar, notamment grâce à la cartographie des panneaux solaires installés. Cependant, focalisée sur les ménages et les facteurs socio-économiques, elle ne permet pas de fournir des informations sur la globalité du déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction dans la région de Dakar. Dans une perspective plus générale et en incluant notamment les entreprises, les industries et les équipements publics, essentiels à la compréhension des transformations du système électrique, ce mémoire propose d'analyser les processus de déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction ainsi que leur cohabitation avec le réseau conventionnel. Qui déploie les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction ? Où ? Quelles sont les caractéristiques des territoires concernés ? Quelles sont les raisons qui poussent les consommateurs d'électricité à faire appel à des systèmes solaires photovoltaïques et selon quelle configuration technique ? Enfin, comment les installations solaires photovoltaïques cohabitent-elles avec le réseau conventionnel ?

Pour répondre à ces questions, l'enquête de terrain qualitative, conduite de fin mai à fin juillet 2022, vise à identifier les acteurs de la filière du solaire dans la région de Dakar, à analyser divers types d'installations solaires photovoltaïques (PV) pour l'autoproduction, afin d'en établir un inventaire non exhaustif, et à comprendre les processus de déploiement des systèmes solaires PV, les formes de

cohabitation avec le réseau conventionnel et les réponses techniques de la Senelec, la société nationale d'électricité du Sénégal, face à cette dynamique. Cette recherche s'insère dans le projet de recherche INTENS, qui étudie les fonctions d'interface énergétique (FIE), telles que les systèmes d'énergies décentralisés, les compteurs bi-directionnels ; qui correspondent aux nouveaux objets sociotechniques, nouveaux marchés de l'énergie, nouvelles professions ou nouveaux rôles, dans un contexte de transformations électriques et de remise en cause du rôle du réseau conventionnel.

Dans ce cadre, la problématique de la recherche présentée dans ce mémoire est formulée comme suit :

Dans quelle mesure le réseau conventionnel Senelec est-il préparé aux transformations électriques en cours et à venir causées par les systèmes solaires photovoltaïques (PV) d'autoproduction dans la région de Dakar ?

L'objectif du mémoire est ainsi de contribuer à la compréhension des transformations des systèmes électriques dans les villes en Afrique en vue d'atteindre les objectifs de l'ODD n°7 « d'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable » d'ici 2030.

Le mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre présente le cadre théorique et la démarche méthodologique de ce travail de recherche. Les deux chapitres suivants restituent et analysent les données empiriques collectées.

Le deuxième chapitre expose le contexte énergétique dans lequel les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction sont déployés. Il présente ainsi le cadre réglementaire et fonctionnel du réseau conventionnel et des énergies renouvelables, notamment du solaire photovoltaïque d'autoproduction à l'échelle nationale et de la région de Dakar.

Le troisième chapitre analyse le processus du déploiement du solaire photovoltaïque à partir des études de cas collectées lors de l'étude de terrain.

Enfin, la conclusion générale discute les données collectées au regard de la problématique énoncée, afin d'identifier les transformations électriques qu'entraîne l'usage du solaire photovoltaïque d'autoproduction, et interroge leur prise en compte par le réseau conventionnel de la Senelec. Ainsi, à partir de l'état des lieux dressé dans les chapitres précédents, la conclusion générale met en lumière les enjeux de la cohabitation entre les deux systèmes électriques (solaire PV et conventionnel) et les obstacles qui limitent cette cohabitation tant du point de vue du réseau conventionnel que celui des systèmes solaires photovoltaïques, et enfin, le mémoire ouvre sur l'idée de la multitude des modes de cohabitation entre les systèmes électriques.

Chapitre 1. La transformation énergétique : le cadre théorique du déploiement du solaire photovoltaïque dans les systèmes électriques

I. État de l'art

I.1. L'accès à l'électricité en Afrique et les transformations énergétiques

La précarité électrique en milieu urbain est un des grands enjeux sur le continent Africain (IRENA, 2019 ; Westphal et al, 2017). Actuellement, le taux d'accès à l'électricité moyen en zone urbaine en Afrique subsaharienne est entre 58% et 72% (Westphal et al, 2017). Quant à la demande d'énergie, elle va doubler d'ici 2040 (IRENA, 2019). Face à ce contexte, comment « garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable » d'ici 2030 ? (ODD n°7 des Nations Unies pour le développement durable).

Dans les pratiques de fourniture d'accès aux services essentiels, notamment les services urbains d'électricité, l'accès au réseau est le modèle dominant considéré comme « plus performant » (Coutard, 2010). Cependant, dans le contexte des villes africaines, ce modèle se heurte aux difficultés de l'universalisation du réseau (Jaglin, 2012). En effet, les faibles taux d'électrification d'une part, et l'incapacité des opérateurs publics à étendre rapidement le réseau conventionnel d'autre part, remettent en question la pertinence du modèle en réseau dans les pays du Sud. En partant de ce constat, des études en sciences sociales ont permis de révéler d'autres modes d'accès à l'électricité qui coexistent avec le réseau conventionnel (Jaglin, 2012 ; Munro, 2020 ; Rateau, 2021). Selon Sylvie Jaglin (2012), une diversification des systèmes socio-techniques de dessertes, d'acteurs impliqués, des structures institutionnelles qui forment une différenciation des offres de services peut être relevée dans les villes en Afrique (Jaglin, 2012). Ces offres de services alternatives, formées à partir d'initiatives privées, individuelles, ou collectives, formelles ou informelles, combinées avec le réseau conventionnel constituent des **configurations de fourniture d'électricité** définies comme des « combinaisons d'acteurs, d'institutions et de moyens qui permettent à un bien d'être délivré [...] quelles que soient les formes de cette codélivrance : collaboration (directe ou indirecte, ponctuelle ou permanente), substitution, concurrence, complémentarité, etc. » (Olivier de Sardan et al., 2010 : 5-6).

Dans la continuité de cette approche de *l'hétérogénéité de l'accès à l'électricité*, en d'autres termes l'accès à l'électricité par une multitude de dispositifs sociotechniques fragmentés, Paul Munro (2020) quant à lui propose la notion de *bricoleurs urbains* pour caractériser l'implication des ménages « pauvres » dans l'élaboration de leurs propres accès à l'électricité à partir de leurs ressources à disposition (financières, matérielles, humaines). Ainsi, il se concentre davantage sur comment les habitants forment un paysage électrique hétérogène à partir de dispositifs sociotechniques de fourniture d'électricité variés, et non pas sur l'incapacité du réseau à fournir un accès.

Tout comme Paul Munro, Mélanie Rateau (2021), dans le cadre de sa thèse, étudie l'hétérogénéité de l'accès à l'électricité en analysant les pratiques des citoyens. Cependant, contrairement à lui, elle se concentre sur des citoyens de quartiers différents selon la diversité urbaine dans deux villes différentes et non pas seulement sur des citoyens « pauvres ». Ainsi, elle croise « les recherches sur les inégalités urbaines avec celles sur l'hétérogénéité sociotechnique des infrastructures » (Rateau, 2021 : 373). À travers son analyse des pratiques des citoyens, Mélanie Rateau identifie trois régimes d'accès à l'électricité : la combinaison d'intermittences, le bricolage de fortune et la satisfaction par accumulation.¹

En identifiant ces trois régimes d'accès, Mélanie Rateau montre comment les pratiques des citoyens alimentent le *processus d'hybridation*, qui correspond à une trajectoire sociotechnique où « le réseau poursuit son déploiement spatial et son renforcement fonctionnel, à la fois par addition de projets d'électrification émanant des politiques publiques et par infrastructuralisation incrémentale du bas, tandis que progresse parallèlement la diversification des dispositifs sociotechniques » (Jaglin, 2019a in Rateau, 2021 : 375). L'hybridation est ici considérée comme une des *trajectoires des configurations d'accès aux services électriques* parmi les trois identifiées par Sylvie Jaglin (2019a) : l'infrastructuralisation, l'hétérogénéisation et l'hybridation. Ainsi, la thèse de Mélanie Rateau (2021) contribue aux recherches sur *les transitions électriques urbaines*.

La fin de l'idéal du réseau conventionnel marquée par le déploiement de solutions alternatives et décentralisées conduit à des transitions infrastructurelles (Rutherford et Coutard, 2013). D'après

¹ Le premier régime correspond aux pratiques des domestiques qui combinent service en réseau et « dispositifs palliatifs » : l'accès à l'électricité devient une corvée quotidienne. Le régime de bricolage de fortune correspond, dans un contexte où le réseau est inaccessible, aux ménages qui « bricolent » leurs propres extensions à partir de dispositifs de petites qualités ou par la recharge en dehors du foyer. Ces solutions, qui limitent l'accès à l'électricité, sont considérées comme temporaires en attendant le réseau. Le régime de satisfaction par accumulation correspond à l'accumulation de dispositifs de fourniture d'électricité complémentaires en fonction de la capacité financière des ménages afin de satisfaire leur consommation d'énergie électrique.

Rutherford et Coutard (2013), ces transitions infrastructurelles participent aux transformations urbaines vers le « post-réseau ». Ils proposent quatre typologies de voies « post-réseau » :

Le « hors-réseau » qui correspond à l'initiative collective dans un objectif d'indépendance et d'autonomie du réseau conventionnel ; « boucler la boucle » qui se base sur la configuration hors-réseau en intégrant le modèle circulaire du cycle de vie (production-consommation, réutilisation, recyclage-production) ; « au-delà ou avant l'infrastructure collective » déploiement de solutions alternatives dans les zones où le réseau n'a pas été étendu pour cause de faible densité, non rentabilité ou difficultés techniques ; « injection dans le réseau » comme forme de cohabitation de technologies décentralisées et réseau centralisé (ex : installation solaire). Finalement, leur recherche fait l'hypothèse qu'il n'existe qu'une seule voie de transition infrastructurelle, celle du « post-réseau » avec quatre typologies de voies différentes. Cependant, d'autres recherches contribuent à démontrer la multitude des voies des transitions infrastructurelles (Guillou, 2022 ; Rateau, 2021 ; Jaglin et Verdeil, 2017).

En effet, d'après l'étude comparative des processus de transition énergétique dans quatre villes différentes (Le Cap, Buenos Aires, Delhi, Istanbul), Sylvie Jaglin et Eric Verdeil (2017) démontrent qu'il existe une multitude de configurations des **transformations sociales techniques des systèmes énergétiques** causées par divers facteurs et acteurs en fonction des contextes géographiques. La transition énergétique, définie comme une transformation du système énergétique pour tendre vers des modèles « durables », bas-carbone et reposant sur des énergies renouvelables et moins intensives (Jaglin et Verdeil, 2017 : 107) dont le modèle varie en fonction des contextes, est alors considérée comme un des « instruments », en d'autres termes facteurs, du changement énergétique dans les villes des Suds. Au Cap, par exemple, le système solaire photovoltaïque décentralisé répond avant tout à la crise (coupures de courant à répétition) du système électrique de l'opérateur Eskom, tout en étant favorable à une transition énergétique locale (Arik et al., 2019). Surtout lorsque les politiques électriques qui favorisent les énergies renouvelables apparaissent pour assurer avant tout une production suffisante d'électricité nécessaire à la fourniture, notamment au Sénégal (Gecit 2022 ; Caille et Badji, 2018). S'inscrivant au départ dans les recherches sur la transition énergétique, leur étude comparative contribue au final à identifier les facteurs et acteurs qui influencent les transformations énergétiques urbaines. Dans cette perspective, ce mémoire retiendra le terme des **transformations énergétiques**.

Dans les recherches présentées, et de manière générale, l'accès à l'énergie et les transitions électriques sont principalement étudiés du point de vue des usagers (Rateau, 2021 ; Jaglin 2012 ; Munro, 2020, 2017 ; Broto, Baptista et al., 2019 ; Lawhon et al., 2018) et portent peu sur les

organisations, les institutions et les travailleurs du secteur de l'énergie. Emmanuelle Guillou (2022) dans sa thèse approche les transitions électriques en étudiant la diversification des **modes de fournitures d'accès à l'électricité** dans les milieux urbains diffus à la suite de réformes institutionnelles dans le secteur électrique au Sénégal et en Tanzanie. En étudiant les modes de fournitures d'accès à l'électricité, Emmanuelle Guillou (2022) focalise sa recherche sur les fournisseurs de services électriques et les opérateurs opérationnels (conventionnels ou privés) qui ne fournissent pas seulement un équipement ou service électrique, mais un type d'accès à l'électricité. Par exemple, un fournisseur de SHS, qui fournit des équipements techniques tels que les panneaux solaires avec une télévision selon un forfait, conditionne un type d'accès à l'électricité.

Ce mémoire vise, en toute modestie, à s'inscrire dans les recherches des modes de fourniture et d'accès aux services urbains d'électricité et diversifier les approches d'analyse, tout en contribuant aux recherches sur les transformations énergétiques. Pour cela, le mémoire a pour objectif d'analyser le **déploiement des systèmes solaires photovoltaïques** dans la région de Dakar au Sénégal comme étant des **objets sociotechniques qui contribuent aux transformations du système électrique conventionnel**.

I.2 Les systèmes solaires photovoltaïques et leur contribution dans la transformation énergétique des villes des Suds

Les systèmes solaires photovoltaïques (PV) sont considérés comme des solutions qui peuvent accroître efficacement l'accès à une énergie fiable et « durable » en milieu urbain en Afrique tout en intégrant un système de production d'énergie inclusive et durable (Westphal et al., 2017). Les systèmes solaires PV décentralisés dans les pays des Suds font l'objet de nombreuses études dans les champs des sciences sociales (Francius, Trompette, Cholez, 2017 ; Muller et Harnmeijer, 2018 ; Cross et Murray, 2018 ; Jaglin, 2019a ; Ariztia et Raglianti, 2020 ; Melnyk et Singh, 2021 ; Dubresson et Jaglin, 2021 ; Boamah, 2020 ; Guillou, 2022 ; Le Picard et Toulemont, 2022). Toutefois, certaines des recherches mentionnées sont, en général, portées sur le milieu rural. Or, Muller et Harnmeijer (2018), signalent l'importance d'étudier le solaire PV en milieu urbain, car contrairement au milieu rural, c'est un milieu plus favorable au déploiement du solaire PV. Tout d'abord, les villes concentrent les chaînes de fournitures d'équipements solaires, la main-d'œuvre et l'expertise (entreprises du solaire, techniciens, laboratoires d'études), ainsi que les services financiers (crédits, capital financier...) qui facilitent l'installation des systèmes solaires PV (Muller et Harnmeijer, 2018 ; Guillou, 2022). De plus, les taux d'électrification et d'accès au réseau conventionnel plus élevés en ville assurent une meilleure possibilité d'injection du surplus de l'énergie solaire dans le réseau conventionnel, incitant le

déploiement des systèmes solaires PV. Parmi les études, certaines sont en faveur du déploiement du solaire PV (Westphal et al., 2017 ; Muller et Harnmeijer, 2018), tandis que d'autres remettent en cause ces solutions notamment selon le point de vue de la justice énergétique et de l'environnement (Boamah, 2020 ; Cross et Murray, 2018). D'autres chercheurs étudient le système solaire PV afin de comprendre les configurations de fourniture et d'accès à l'électricité. C'est le cas de Sylvie Jaglin, qui étudie dans divers de ses travaux le déploiement des systèmes solaires PV au Cap en Afrique du Sud afin de comprendre les transformations énergétiques dans les villes africaines (Jaglin et Verdeil, 2017 ; Arik, Jaglin et Verdeil, 2019). Tout comme elle, Le Picard et Toulemont (2022), étudient l'adoption de ces technologies décentralisées pour comprendre « l'évolution des systèmes électriques ». Ils étudient donc le déploiement du solaire décentralisé dans quatorze villes d'Afrique subsaharienne, notamment à Dakar, grâce à la méthodologie de Deep Learning, soit l'analyse d'images satellites pour géolocaliser les panneaux solaires, combinée à l'analyse économétrique. Cela leur permet d'établir que la pénétration du marché solaire dans les villes ne corrèle pas forcément avec la qualité du réseau, mais plutôt avec des facteurs socio-économiques (niveau de vie, modernité du quartier, niveau de scolarité) à l'origine du déploiement du système solaire PV. Dans le cadre de ce mémoire, il s'agit d'une part d'enrichir l'idée que « l'autonomisation progressive des consommateurs vis-à-vis du réseau est une tendance de fond » (Le Picard et Toulemont, 2022 : 1), et d'autre part, de porter un regard critique sur la méthodologie d'Hugo Le Picard et Matthieu Toulemont (2022) dans l'étude Ifri, qui ne permet pas de saisir complètement le processus de déploiement du solaire dans la ville de Dakar.

Ainsi, ce mémoire propose d'analyser le processus de déploiement des systèmes solaires PV selon une approche sociotechnique territorialisée afin de saisir les divers facteurs et acteurs des transformations énergétiques, comme mentionné par Sylvie Jaglin et Eric Verdeil (2017) dans leur étude comparative. Pour cela, je m'inspire grandement de la méthodologie adoptée par Emmanuelle Guillou (2022) et Mélanie Rateau dans leur thèse afin de construire la méthodologie de cette recherche qui est expliquée dans la deuxième partie de ce chapitre.

Finalement, ce mémoire tout en contribuant aux études sur la fourniture et l'accès à l'électricité à travers une recherche sur les transformations électriques, contribue à réaliser un état des lieux sur le système électrique dans la région de Dakar. En effet, il n'existe pas d'étude qui fait cet état des lieux, sauf l'étude d'ENDA énergie sur l'accès à l'énergie dans le milieu périurbain de Dakar qui date de 2008, quatre ans avant la crise électrique à Dakar ; ou encore l'étude d'Hugo Le Picard et Matthieu Toulemont (2022) qui permet pour la première fois de rendre compte de la pénétration des systèmes solaires PV dans le système électrique de la région de Dakar.

Afin de saisir pleinement la démarche de ce mémoire, je présente les choix et les intérêts pour le sujet de recherche dans la partie suivante.

I.3 Choix et intérêt pour le sujet de recherche : les fondements de ce mémoire

Ce mémoire était l'occasion d'approfondir mes connaissances sur les sujets d'accès à l'énergie, essentiellement en Afrique. Mon intérêt pour ce sujet tire son origine d'un atelier de conception d'un centre de recherche sur les énergies renouvelables en milieu rural au sud de Bamako (Mali) lors de mon Master 1 à la faculté d'architecture de l'Université Technique de Munich (TUM). Par la suite, les cours sur les services urbains dans les villes des Suds donnés par Sylvvy Jaglin, dans le cadre du premier semestre de mon Master 2 "Urbanisme Expertise Internationale, option Villes des Suds" à l'École d'Urbanisme de Paris, ont confirmé mon intérêt pour les questions d'accès aux services électriques en milieu urbain. Parmi les débats abordés en cours, celui autour du réseau conventionnel versus les solutions décentralisées a particulièrement retenu mon attention. C'est pourquoi lorsque j'ai exprimé mon souhait de faire un stage dans un laboratoire de recherche, Sylvvy Jaglin m'a conseillé de postuler à l'atelier FIERE, un projet de recherche-formation au sein du LATTIS ouvert au Master 2 dans le domaine des sciences humaines et sociales et en génie urbain. Cet atelier s'inscrit dans le cadre du projet de recherche « INTENS : fonctions d'interface énergétique dans les villes des Nords et des Suds : objets, systèmes, acteurs, métiers », qui étudie les fonctions d'interface énergétique (nouveaux objets sociotechniques, nouveaux marchés de l'énergie, nouvelles professions ou nouveaux rôles) dans un contexte où le réseau conventionnel subit de profondes transformations des systèmes électriques. Le projet de recherche a un double objectif : celui de comprendre la co-évolution des « fonctions d'interface énergétique » (FIE) avec leur territoire urbain, et celui d'analyser comment ces transformations contribuent à la diversité des « transitions énergétiques territoriales » (changement des cadres de gouvernance de l'énergie, évolution des réseaux d'acteurs et de la morphologie des systèmes énergétiques, diffusion d'énergies renouvelables à la place des énergies fossiles...).

C'est donc dans ce cadre que j'ai choisi d'étudier, dans un milieu urbain africain desservi par le réseau conventionnel, l'essor des solutions décentralisées que sont les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction. Depuis ces dernières années, le marché des systèmes solaires décentralisés connaît une rapide croissance sur le continent africain, notamment dans le milieu rural, mais il gagne aussi des parts de marché en milieu urbain, où le réseau est pourtant présent (Le Picard et Toulemont, 2022). « En 2018, 3,8 millions d'unités ont été vendues en Afrique, contre 3,16 millions en Asie, faisant du continent africain le plus important marché de systèmes solaires décentralisés au

monde. » (Le Picard et Toulemont, 2022 : 3). Ainsi, les systèmes solaires photovoltaïques décentralisés semblent être une solution pour parvenir à un accès universel à des services énergétiques abordables, fiables et durables d'ici 2030 selon l'ODD n°7, ainsi qu'à la demande croissante en électricité (GOGLA, 2020 ; IRENA, 2021). Cependant, certains chercheurs en sciences sociales et humaines questionnent la pertinence des systèmes solaires PV comme solution à l'accès à l'électricité selon l'ODD n°7. C'est le cas de Festus Boamah, qui pose la question suivante : « under which conditions can self-organised decentralised solar PV electrification contribute to the making of just, development-oriented and low-carbon energy futures in Africa? » (Boamah, 2020 : 2). En effet, d'une part, les systèmes solaires photovoltaïques peuvent être une solution pour réduire la pauvreté électrique (rapport IRENA, janvier 2019 ; Walker, 2008), mais, d'autre part, ils peuvent aussi impliquer un accès électrique irrégulier et un coût de régulation croissant de l'électricité conventionnelle pour les ménages ne possédant pas des équipements photovoltaïques (Franklin et Osborne, 2017 ; Arik, Jaglin et Verdeil, 2019). C'est le cas au Cap, où les systèmes photovoltaïques sont installés par la classe aisée et les entreprises, ce qui a pour conséquence le transfert des coûts de régulation des tarifs sur les ménages plus pauvres (Dubresson et Jaglin, 2021). Les intérêts pour la justice distributive ou la justice spatiale selon Festus Boamah (2020) s'accompagnent également de la question du partage des bénéfices socio-économiques ainsi que des coûts environnementaux.

Ce mémoire est donc l'occasion pour moi de contribuer à un débat qui retient toute mon attention : dans quelle mesure les systèmes solaires photovoltaïques contribuent-ils à « garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable » d'ici 2030 (ODD n°7 des Nations Unis pour le développement durable) ? Pour cela, je considère les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction comme des objets sociotechniques qui contribuent aux transformations du système électrique conventionnel et formule deux hypothèses. **La première est que le déploiement du solaire photovoltaïque en milieu urbain est un processus territorialisé dont les ressorts sont multi-acteurs et multi-factoriels, et dont les usages correspondent à des activités diverses.** La **deuxième hypothèse est que la cohabitation des deux systèmes électriques** (réseau conventionnel et système solaire PV d'autoproduction) **dans les mêmes espaces urbains a des effets transformants sur la fourniture d'accès à l'électricité conventionnelle.**

Ayant bénéficié d'une bourse de mobilité du Graduate Program Futurs urbains de l'Université Gustave Eiffel, j'ai pu conduire ma recherche à partir d'une étude de cas empirique et d'un travail de terrain. Pour cela, j'ai choisi d'étudier le processus de déploiement des systèmes solaires photovoltaïques (PV) d'autoproduction dans la région de Dakar, au Sénégal, en Afrique de l'Ouest. Ce choix est explicité dans la partie suivante avec la définition de l'objet d'étude : systèmes solaires photovoltaïques (PV) d'autoproduction.

II. Méthode de recherche

II.2 Définition de l'objet d'étude et du périmètre d'étude

II.2.a) Les systèmes solaires photovoltaïques (PV) : un objet d'étude défini à partir du terrain et de lectures personnelles

Les faibles taux d'électrification, d'une part, et l'incapacité des opérateurs publics à étendre rapidement le réseau conventionnel, d'autre part, remettent en question la pertinence du modèle en réseau dans les pays du Sud. Dans ce contexte, des chercheur.se.s en étude urbaine se sont intéressé.e.s aux solutions alternatives d'accès et de fourniture d'électricité telles que les solutions décentralisées, également appelées solutions hors-réseau. Les solutions décentralisées ou hors-réseau peuvent être définies comme des " modes autonomes d'accès à l'électricité " (Jaglin, 2019a : 292), c'est-à-dire synonymes de production locale ou d'autosuffisante d'électricité. En Afrique subsaharienne, on peut observer trois grands types de solutions décentralisées (Jaglin, 2019a) : des mini-réseaux alimentés par des centrales électriques qui fournissent de l'électricité à une communauté ; des kiosques énergétiques offrant des services électriques, en rechargeant des téléphones portables par exemple ; enfin des systèmes individuels (kits solaires, torches, panneaux solaires). Parmi les solutions décentralisées, les systèmes solaires photovoltaïques (PV) sont le plus souvent étudiés (Francius, Trompette, Cholez, 2017 ; Muller et Harnmeijer, 2018 ; Cross et Murray, 2018 ; Jaglin, 2019a ; Ariztia et Raglianti, 2020 ; Melnyk et Singh, 2021 ; Dubresson et Jaglin, 2021 ; Boamah, 2020 ; Guillou, 2022 ; Le Picard et Toulemont, 2022). Cette technologie peut-être présente sous différentes formes : montée sur châssis au sol, comme nous en retrouvons par exemple dans les champs ou parking de plein pied, cependant en milieu urbain dense, où les surfaces vacantes sont rares, le PV est souvent installé sur les toitures grâce aux divers systèmes de fixation. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons à ces deux formes en écartant l'« *utility-scale solar power plant* » qui correspond aux centrales solaires dont l'électricité produite est revendue aux entreprises concessionnaires du service électrique.

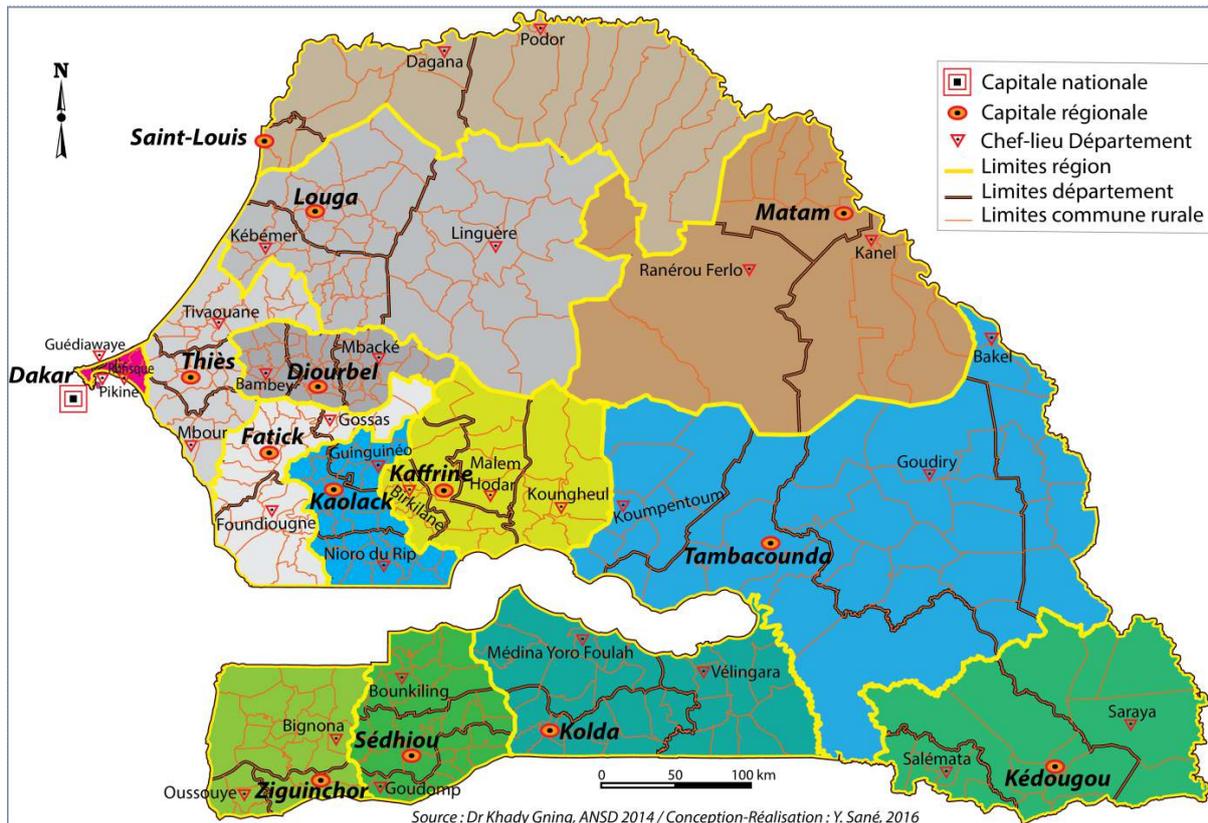
En milieu urbain, les systèmes solaires PV décentralisés sont considérés comme des modes autonomes ou autosuffisants d'accès à l'électricité, ce qui n'est pas en adéquation avec la réalité du terrain. En effet, l'usage du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar est, dans la majeure partie des cas, combiné à une connexion au réseau conventionnel de la Senelec. Au Sénégal, la nouvelle Loi n°2021-31 du 9 juillet 2021 portant Code de l'Électricité, permet de considérer les installations solaires photovoltaïques de « toiture » comme des systèmes d'autoproduction d'électricité. La Loi entend par

autoproduction la « production de l'énergie électrique principalement pour un usage personnel en vue de satisfaire les besoins à caractère domestique, industriel, agricole, commercial ou de service. » (Loi n°2021-31 du 9 juillet 2021 portant Code de l'Électricité, C1, art 3). Les personnes faisant de l'autoproduction sont quant à elles considérées par la Loi comme des **autoproducteurs**, soit « toute personne physique ou morale ou tout autre acteur assimilé qui fait de l'autoproduction et peut vendre le surplus de production conformément aux dispositions du présent Code ». À l'inverse, en France, le cadre réglementaire, en application de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, régle **l'autoconsommation** d'électricité. L'autoconsommation correspond au fait de consommer sa propre production tandis que l'autoproduction est le fait de produire pour sa propre consommation. Malgré l'association de ces deux termes, l'un met l'accent sur la consommation et l'autre sur la production. Par exemple, dans le cas où une installation solaire PV serait sous-dimensionnée par rapport aux besoins en énergie, la production d'électricité serait alors totalement consommée, le taux d'autoconsommation serait donc de 100 % tandis que le taux d'autoproduction en revanche serait faible. Inversement, dans le cas où l'installation solaire PV serait surdimensionnée par rapport au besoin énergétique, le taux d'autoproduction serait de 100%, mais le surplus étant perdu ou réinjecté dans le réseau, le taux d'autoconsommation serait faible. **Je me suis donc interrogée sur le terme à retenir, entre autoproduction et autoconsommation, dans le cadre de cette recherche.**

Tout d'abord, ce mémoire étant fondé sur une étude empirique dans la région de Dakar au Sénégal, il m'a paru préférable de me référer aux termes appliqués dans le contexte réglementaire d'étude, soit autoproduction et autoproducteurs. Par ailleurs, dans le cadre de ce mémoire, je m'intéresse avant tout à l'objet technique des installations solaires PV qui produisent et fournissent de l'électricité à des consommateurs et comment ces installations cohabitent avec le réseau conventionnel. Les pratiques des consommateurs, si elles m'intéressent avec d'autres éléments tels que les caractéristiques du territoire pour comprendre le processus du déploiement du solaire PV, ne sont pas au cœur de l'analyse. Il est donc bien question d'étudier **les systèmes solaires photovoltaïques (PV) d'autoproduction** dans la région de Dakar, selon la nouvelle Loi n°2021-31 du 9 juillet 2021 portant Code de l'Électricité au Sénégal. Ce sont des installations solaires photovoltaïques (mini-centrales, pico-solaires, Solar Home System -SHS, panneaux solaires individuels, lampadaires solaires...) qui produisent de l'énergie électrique pour un usage privé, individuel ou en vue de satisfaire des besoins à caractère domestique, industriel, agricole, commercial ou de service.

II.2.b) La région de Dakar comme cas d'étude empirique : les raisons de ce choix

La région de Dakar est le cas d'étude choisi pour ce mémoire. Elle représente le cœur du territoire sénégalais : 23% de la population du pays y vivent sur 0,28% du territoire (ANSD, 2019). La concentration démographique et une situation géographique stratégique, à la croisée des routes terrestres et de l'océan Atlantique, font de Dakar une région centrale : elle rassemble les activités économiques, industrielles, financières, administratives du pays, ainsi que les projets d'infrastructures du Plan Sénégal Emergent (PSE) et des ODD.



Carte 1 : La région de Dakar parmi les 14 régions du Sénégal.

Source : Dr Khady Gning, ANSD 2014, dans Sané (2016)

Ce choix s'explique d'abord par ma connaissance de la région de Dakar, ce qui rendait la construction de mon sujet de recherche à la fois plus facile et pertinente au regard des caractéristiques du territoire. En effet, j'ai eu l'occasion de me rendre dix jours à Dakar en décembre 2021 dans le cadre de l'atelier d'urbanisme professionnalisant du M2 "Urbanisme Expertise Internationale, option Villes des Suds" afin de réaliser une étude sur l'agriculture urbaine et péri-urbaine pour l'Agence Française de Développement (AFD). Au cours de cette enquête de terrain, j'ai pu me familiariser avec les dynamiques urbaines de la région de Dakar, notamment à travers des entretiens avec des collectivités territoriales, et avec celles de la transition énergétique, qui a été abordée comme composante du plan de développement urbain du territoire.

Ensuite, les conditions de l’approvisionnement électrique dans la région de Dakar rendent d’autant plus importante l’étude des transformations en cours. En effet, malgré un taux d’électrification élevé (supérieur à 95%² dans la ville de Dakar) et une amélioration notable de la fiabilité du service avec une baisse considérable de la durée des délestages depuis la crise électrique de 2009-2011, l’activité économique et l’amélioration des conditions de vie restent entravées par la défaillance des services électriques (Plan Directeur de Dakar 2035 : 34), alors que la consommation d’électricité augmente. Entre 2018 et 2019, la consommation d’énergie électrique (kWh) au niveau de la région a augmenté de 35% (ANSD, 2019 : 260). « Cette hausse est observable pour les différentes catégories de clients, mais reste particulièrement prononcée pour les clients basse tension (49%) et ceux vivant dans le département de Pikine (59%) » (ANSD, 2019 : 260). Finalement, le cas de la région de Dakar est particulièrement intéressant en raison de l’hétérogénéité des configurations urbaines, dont certaines provoquées par des transformations urbaines majeures, telles que le projet urbain de la ville nouvelle de Diamniadio, qui participe à un étalement urbain rapide et massif. L’hétérogénéité du territoire dakarois permet ainsi de travailler sur les facteurs territorialisés du déploiement du solaire photovoltaïque.

II.2.c) Le périmètre d’étude : les caractéristiques de la région de Dakar

D’après les écrits de Yousouph Sané (2016), le découpage administratif de la région de Dakar, qui rejoint celui donné par l’Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) dans le rapport de la *Situation Economique et Sociale Régionale 2019*, comprendrait 57 collectivités locales réparties ainsi : le département de Rufisque, les 4 villes (Dakar, Guédiawaye, Pikine, Rufisque), et les 52 communes qui composent les villes. Cependant, depuis le décret 2021-689 du 28 mai 2021, la commune de Keur Massar devient un département au même titre que les départements de Dakar, Guédiawaye, Pikine et Rufisque. Nous retiendrons dans le cadre de ce mémoire, ce nouveau découpage administratif de la région de Dakar, fixé par le décret n°2021-855 du 29 juin 2021, qui répartit dans les cinq départements (Dakar, Guédiawaye, Pikine, Rufisque et Keur Massar) les communes qui forment des arrondissements (voir le tableau 1 et carte 2).

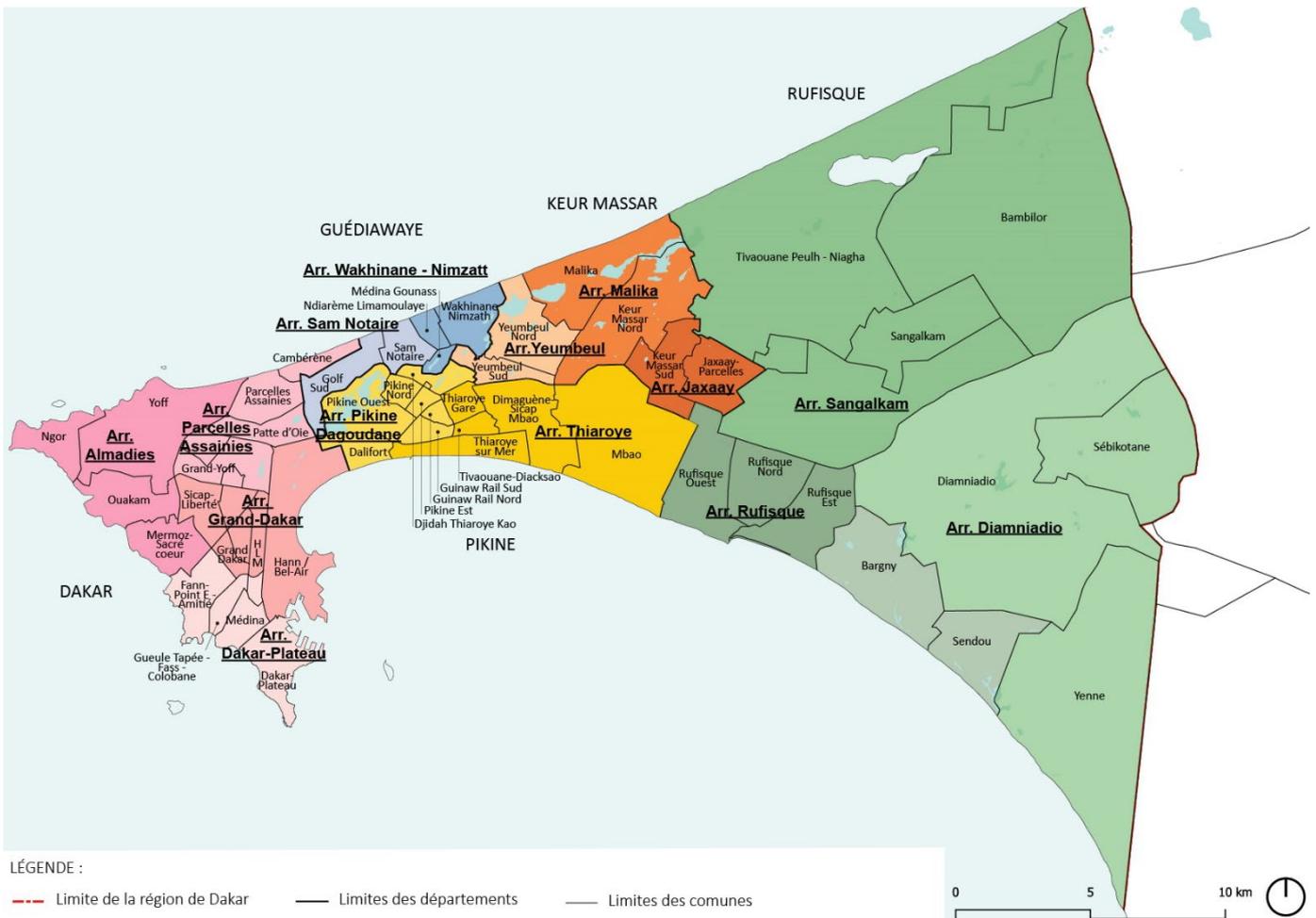
Départements	Communes hors arrondissement	Arrondissements	Communes
Dakar	Ville de Dakar Gorée	Dakar-plateau	Fann/Point E/Amitié, Gueule Tapée/Fass/Colobane, Médina, Dakar-Plateau

² https://www.ren21.net/cities-2021/cities/dakar/dakar/#target_i

		Grand-Dakar	Grand-Dakar, Hann Bel-Air, HLM, Sicap Liberté
		Almadies	Mermoz/Sacré Cœur, Ngor, Ouakam, Yoff
		Parcelles Assainies	Parcelles-Assainies, Grand-Yoff, Patte d'Oie, Cambérène
Guédiawaye	Ville de Guédiawaye	Sam Notaire	Golf-Sud, Sam-Notaire
		Wakhinane Nimzatt	Médina-Gounass, Ndiarème/Limamoulaye, Wakhinane/Nimzatt
Keur Massar		Yeumbeul	Yeumbeul Nord, Yeumbeul Sud
		Malika	Keur Massar Nord, Malika
		Jaxaay	Keur Massar Sud, Jaxaay-Parcelles
Pikine	Ville de Pikine	Thiaroye	Thiaroye-Gare, Mbao, Thiaroye-sur-Mer, Tivaouane/Diacksao, Diamagueune/Sicap-Mbao
		Pikine Dagoudane	Pikine Ouest, Pikine Est, Pikine Nord, Dalifort, Djidah Thiaroye Kao, Guinaw Rail Nord, Guinaw Rail Sud
Rufisque	Ville de Rufisque Bargny Sendou	Rufisque Est	Rufisque Est, Rufisque Ouest, Rufisque Nord
		Diamniadio	Diamniadio, Sébikotane, Yenne
		Sangalkam	Niakoulrab, Sangalkam, Bambilor, Tivaouane-Peulh/Niagha

Tableau 1 : Liste des communes par arrondissements dans les départements de la région de Dakar.

Source : Décret n°2021-855 du 29 juin 2021 modifiant le décret 2021-689 du 28 mai 2021 fixant le ressort territorial et le Chef-lieu des régions, départements et arrondissements, publié dans le journal officiel de la république du Sénégal du mardi 13 juillet 2021.



Carte 2 : Les nouvelles limites administratives de la région de Dakar selon le ressort territorial établi par le décret n°2021-855 du 29 juin 2021 (voir annexes)

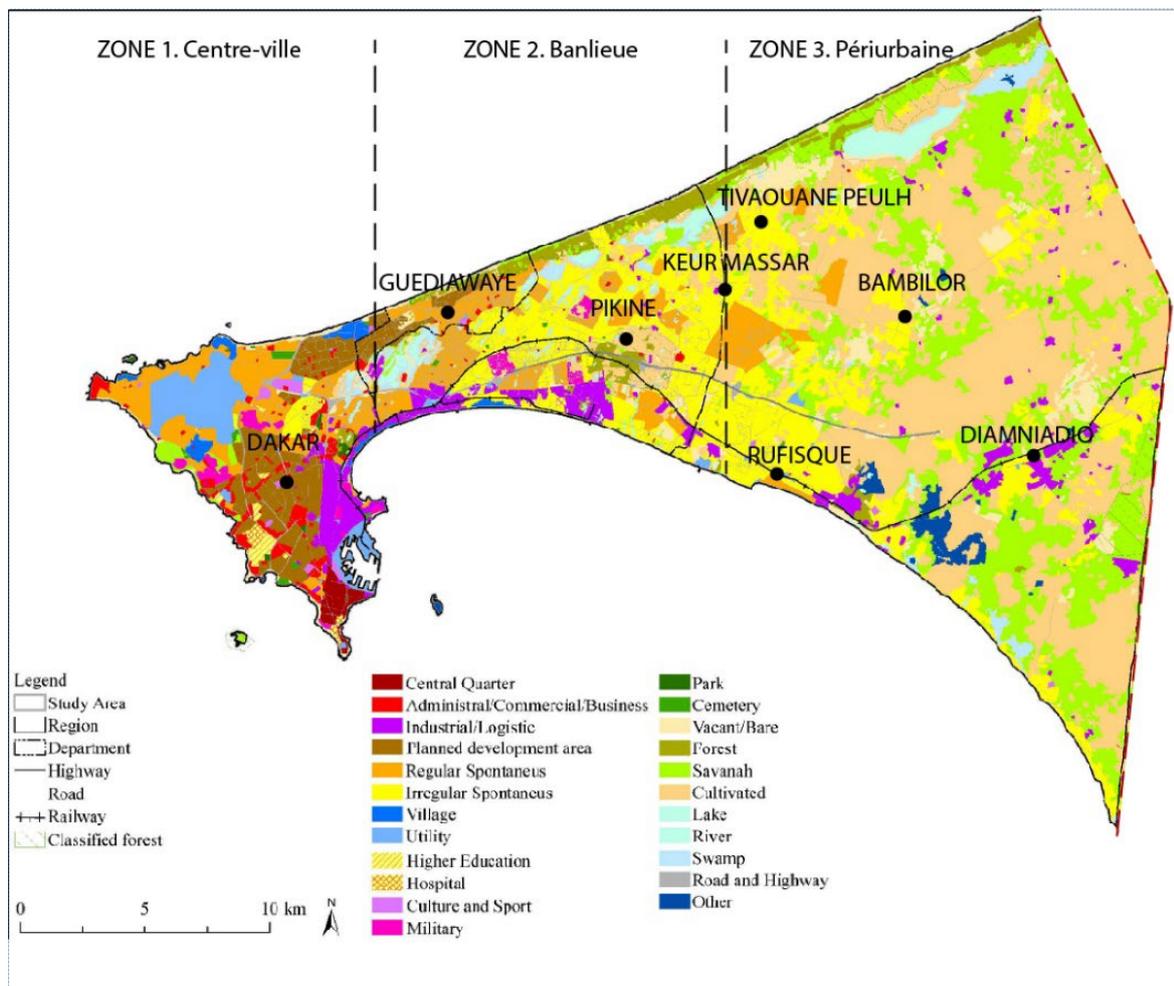
Tomy Goulding (2023) – Inspiration : « Macky redessine la carte de Dakar », *senepius.com* – Source : *OpenstreetMap(2023)*, *GéoSSB de l'ANSD (2023)* & Décret n°2021-855 du 29 juin 2021

C'est aussi le périmètre employé par l'étude Ifri pour l'analyse des images satellites comportant des systèmes solaires dans la région de Dakar. Étant donné que ce mémoire s'appuie sur cette étude pour identifier des cas d'études, il me paraît logique de garder le même périmètre.

La région de Dakar est un territoire doté d'une grande diversité de tissus urbains formés au fur et à mesure du développement urbain. Les évolutions spatiales héritées et les dynamiques urbaines actuelles permettent d'identifier trois grandes aires urbaines : le centre-ville, ancien village devenu ville coloniale où sont concentrées les activités administratives et économiques, qui s'est étendu vers le nord et où se situent les quartiers résidentiels de standing et les quartiers populaires tels que la Médina ; puis la banlieue est érigée, avec notamment la ville de Pikine, à partir des années 50 pour désengorger la ville ancienne surpeuplée ; enfin le périurbain, zone principalement maraîchère qui connaît depuis les années 2000 un important phénomène de périurbanisation (Diongue, 2010).

Chaque zone a des logiques et des configurations d'urbanisation distinctes (Momar Diongue, Dir. de l'Institut de Gouvernance Territoriale, entretien 28.05.2022). Dans le centre-ville, par exemple, il est question d'opérations de renouvellement urbain qui répondent essentiellement à des logiques immobilières. Cela implique le déplacement des populations et la transformation des axes avec le renouvellement des fonctions des espaces urbains. Des paradoxes sont ainsi créés, avec d'anciens quartiers du Grand Dakar mieux équipés que des quartiers récents supposés être des quartiers pour populations aisées, tels que les Almadies. Cependant, les réseaux et infrastructures des quartiers anciens rénovés se trouvent alors souvent inadaptés, puisque les transformations telles que la verticalisation, notamment dans le quartier de la Médina, changent la morphologie des R+2 en R+10. Aussi les réseaux conçus pour alimenter un quartier de bâtiments R+2 doivent être ajustés. De manière différente, dans les aires périurbaines, on observe une « périurbanisation différenciée » en fonction des territoires (Diongue, 2010). Du côté de Bambilor par exemple, ce sont les collectivités et de multiples acteurs (coopératives d'habitats, particuliers, promoteurs, ...) qui configurent l'espace. Des parcelles agricoles sont alors divisées (opération aussi appelée « bornage ») pour des projets d'habitation individuelle qui forment un tissu urbain de lotissement. Au Pôle Urbain de Diamniadio, autrement dit la ville nouvelle, qui se situe également dans le périurbain, ce sont les aménageurs privés et l'État, à travers la Délégation Générale à la Promotion des Pôles urbains de Diamniadio et du Lac Rose (DGPU) qui urbanisent un périmètre de 1644 ha³ sur d'anciennes terres agricoles. Le Pôle est morcelé en grandes parcelles, réparties en quatre « arrondissements » ayant chacun une fonction dominante préservant une certaine mixité fonctionnelle. Ces parcelles sont ensuite vendues par l'État, à travers la DGPU, à des opérateurs privés qui aménagent les parcelles parfois selon une logique de Partenariat Public Privé (PPP), notamment dans le cas des bâtiments publics où l'opérateur construit et exploite le bâtiment puis le rétrocède à l'État qui a payé un « loyer » mensuel pendant sept ans pour recouvrir le coût de la construction. Les réseaux VRD (eau, assainissement, internet fibre optique, électricité) du Pôle Urbain sont à la charge de la DGPU.

³ Source : DGPU (2019, 25 juin) Présentation des pôles urbains de Diamniadio et du Lac Rose [Powerpoint].



Carte 3 : Le découpage de la région de Dakar en trois zones à partir de la carte de l'occupation du sol.
 Source : Mission du JICA dans le Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses Environs Horizon 2035

Dans le cadre de ce mémoire, les configurations d'urbanisation différenciées sont prises en compte afin de valider, ou non, l'hypothèse de processus territorialisés du déploiement du solaire PV dans la région de Dakar. J'ai ainsi identifié et sélectionné des installations solaires pour les cas d'étude dans différentes configurations réparties dans les trois zones urbaines de la région. La prochaine partie explicite davantage la méthodologie de la recherche ainsi que le procédé de sélection des installations solaires PV à analyser.

II.3 Méthodologie

II.3.a) Du laboratoire à l'enquête de terrain

La recherche bibliographique

Dans un premier temps, la méthodologie a constitué à réaliser une recherche bibliographique pendant les deux premiers mois de stage au sein du LATTs afin de construire le sujet de recherche et

de préparer l'enquête de terrain. Le premier mois, je me suis essentiellement concentrée sur des recherches concernant l'énergie, l'accès et la fourniture d'électricité dans les villes des Suds, notamment à partir de solutions décentralisées, la transition énergétique, et l'hybridation des systèmes énergétiques. Cela m'a permis de construire le sujet. En parallèle, j'ai poursuivi des recherches sur la situation énergétique au Sénégal et dans la région de Dakar pour confirmer la pertinence du terrain d'étude. Le deuxième mois, tout en continuant le travail d'état de l'art, j'ai préparé l'enquête de terrain par la lecture d'articles sur l'organisation du territoire et celle de la filière solaire au Sénégal. L'objectif était de saisir les caractéristiques du périmètre d'étude et d'identifier des quartiers potentiels d'investigation ainsi que des acteurs clés à interroger. La recherche bibliographique a permis de mettre en évidence le manque de connaissances sur le processus de déploiement des systèmes solaires dans la région de Dakar ainsi que sur les modalités de cohabitation des deux systèmes électriques : le réseau conventionnel et les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction. Ces connaissances sont pourtant essentielles à la validation, ou non, des hypothèses posées pour ce mémoire :

Hypothèse 1 : le solaire photovoltaïque en milieu urbain est un processus territorialisé dont les ressorts sont multi-acteurs et multi-factoriels et dont les usages correspondent à des activités diverses.

Hypothèse 2 : la cohabitation des deux systèmes électriques (réseau conventionnel et système solaire PV d'autoproduction) dans les mêmes espaces urbains a des effets transformants sur la fourniture d'accès à l'électricité conventionnelle.

L'enquête empirique de terrain a donc un double objectif : produire un état des lieux du déploiement du solaire PV et de sa cohabitation avec le réseau conventionnel de la Senelec ; discuter la problématique de la recherche en testant les deux hypothèses. L'enquête de terrain a donc été imaginée pour collecter des données autour de quatre objets d'études dans le périmètre de la région de Dakar :

- (1) Caractéristiques socio-technico et spatiale du déploiement des systèmes solaires PV d'autoproduction** : *Quelles sont les différentes configurations des systèmes solaires PV en fonction des technologies, des usages et des territoires ?*
- (2) Acteurs et facteurs du déploiement** : *Quels sont les facteurs du déploiement des systèmes solaires PV ? Quelle est la répartition des facteurs sur le territoire ? Qui sont les acteurs et leurs motivations à l'initiative de l'installation des systèmes solaires PV ?*
- (3) Organisation de la filière** : *Comment est organisée la filière du solaire dans la région de Dakar ? Qui sont les acteurs actifs, quels sont leurs rôles respectifs, leurs interactions et leurs territoires d'action ?*

(4) Cohabitation entre systèmes solaires PV et réseau conventionnel dans la région de Dakar :

Quels métiers ou/et technologies favorisent cette coexistence ? Quels sont les conflits et progrès de cette cohabitation ? Quelles sont les actions/stratégies menées par les acteurs du réseau conventionnel (Senelec, Ministère des Energies,...) face à cette cohabitation ?

Les trois méthodes de collecte de données :

Pour collecter les données, j'ai choisi trois méthodes d'enquête. La première méthode a consisté à réaliser des entretiens semi-directifs avec les entreprises du solaire (installateurs et/ou fournisseurs d'équipements solaires PV). Cette méthode s'inspire de la méthodologie appliquée par Emmanuelle Guillou pour sa thèse sur les configurations électriques émergentes dans les aires d'urbanisation diffuse au Sénégal et en Tanzanie (Guillou, 2022). Étant donné son intérêt pour analyser les différentes configurations **de fourniture d'accès** à l'électricité, autrement dit les configurations d'offres de service électrique, elle a choisi une enquête de terrain essentiellement centrée sur les fournisseurs de services électriques. À l'inverse, dans le cadre de sa thèse, Mélanie Rateau (2021) a réalisé des enquêtes essentiellement auprès des ménages pour explorer la multiplicité des formes d'accès à l'électricité, autrement dit les configurations de la demande du service électrique. Tout comme dans le travail d'Emmanuelle Guillou, les questions posées par ce mémoire s'intéressent davantage aux configurations de fourniture d'accès à l'électricité, tels que les systèmes solaires PV, et à leurs acteurs dans un territoire donné. Ainsi, l'enquête auprès des entreprises du solaire qui opèrent dans la région de Dakar me permettait d'identifier les services proposés et les systèmes installés en fonction des entreprises du solaire, des localités d'intervention et des clients. Par ailleurs, cela me permettait d'identifier les différents types d'entreprises en fonction de l'organisation de la structure (nombre d'employé.e.s, organisation des tâches et rôles...), leur logique d'intervention (lieu d'intervention, type de clients...), les services et produits proposés, afin de mieux comprendre l'organisation de la filière du solaire dans la région de Dakar. L'entrée par les entreprises du solaire m'a également permis de suivre un technicien et chef de projet de l'entreprise Technikkom sur un chantier d'installation d'un système solaire PV, afin de comprendre les défis techniques du déploiement des systèmes solaires PV en milieu urbain.

La deuxième méthode a consisté à analyser le processus de déploiement du solaire PV à travers des études de cas sous la forme d'un inventaire non-exhaustif d'installations de systèmes solaires photovoltaïques dans la région de Dakar. Pour recouvrir un large spectre, les études de cas ont été sélectionnées pour englober une variété de secteurs d'activités (éducation, équipement public, entreprise, agriculture, domestique, santé...) et des configurations urbaines variées dans les 3 zones

urbaines identifiées de la région de Dakar : centre-ville, banlieue, périurbaine. Pour l'identification des études de cas, j'ai procédé de différentes manières :

- à travers des exemples d'installations solaires donnés par les entreprises du solaire au cours de mes différents entretiens et visites ;
- en identifiant des panneaux photovoltaïques à partir des points de la cartographie de l'étude Ifri et des images satellites de google maps ;
- à partir de revues de la presse ou et de recherches documentaires sur internet qui donnaient l'exemple d'une installation solaire. C'est le cas, par exemple, de l'école Keur Fatou Kaba qui fait partie d'une des études de cas ;
- par repérage de PV de toiture lors de l'arpentage à pied ou en véhicule d'un territoire aux configurations urbaines singulières. C'est le cas de l'étude de cas du projet immobilier Ecocity Dakar.

Pour chacune des études de cas, j'ai réalisé un entretien semi-directif avec les usagers ou responsables des installations solaires ou personne référente du projet dans le but de réaliser des fiches d'identité qui indiquent : le profil des usagers et les usages électriques, les raisons et la description technique de l'installation solaire PV. Des recherches, les observations in situ du territoire par arpentage et des entretiens complémentaires avec les collectivités locales ont permis de compléter le volet « description du territoire » de la fiche d'identité (coef. Annexe 2).

Finalement, comme troisième méthode de collecte des données, j'ai réalisé des entretiens semi-directifs avec des institutions dans le secteur de l'énergie (la Société nationale d'électricité du Sénégal – Senelec, le Ministère du Pétrole et des Energies, l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables – ANER, ...), des partenaires des institutions qui ont contribué aux projets d'énergies renouvelables au Sénégal (GIZ, AFD, des ONG telles que le GRET...) ainsi que les collectivités territoriales. L'objectif de ces entretiens était de rassembler des données sur la situation de cohabitation entre les deux systèmes électriques, d'identifier les dispositions particulières et le cadre du déploiement du solaire PV, ainsi que de relever les caractéristiques et enjeux des territoires urbains, notamment en termes de développement urbain et de service électrique.

II.3.b) Les limites de la recherche

Ce travail de terrain a permis de mettre en évidence deux grandes catégories de limites à la recherche que j'ai conduite.

Premièrement, des limites liées au sujet et à ma maîtrise des questions abordées. Ma formation d'architecte-urbaniste, face à un sujet technique portant sur le déploiement du solaire photovoltaïque a pu être déroutant autant pour moi que pour mes interlocuteurs. Le rapprochement entre le domaine de l'urbanisme et celui de l'énergie solaire pose question, notamment lors des études de cas et des visites d'entreprises d'installation du solaire. Il existe des avantages comme des inconvénients à ne pas être experte dans ce domaine. Tout d'abord, cela facilite les échanges avec les interlocuteurs et permet de poser des questions détaillées et de demander des précisions en jouant la carte de « l'ignorance » : « N'étant pas technicienne du solaire, je suis curieuse d'en savoir davantage, pourriez-vous préciser... ? ». Mon manque de connaissances techniques au départ a également eu l'avantage de me maintenir en position neutre, sans jugement par rapport à une configuration technique.

Cependant, au fur et à mesure que je visitais des installations et à la suite des deux semaines passées avec des techniciens sur un chantier, j'ai gagné en connaissances techniques. Au bout d'un mois, j'arrivais à relever les dysfonctionnements des installations par rapport aux besoins lors d'une visite. Par exemple, lorsque j'ai visité la mini centrale solaire urbaine sur le parking du stade Abdoulaye Wade au Pôle Urbain de Diamniadio, la configuration technique choisie me paraissait peu optimale par rapport à l'usage énergétique du stade, ce que l'ingénieur m'a confirmé. J'ai donc orienté l'entretien davantage vers les logiques humaines et de projet qui ont conduit à choisir une configuration technique par rapport aux autres. Ainsi, disposer des connaissances techniques a l'avantage de gagner du temps et d'approfondir les données récoltées.

Par ailleurs, en tant que française, mes interlocuteurs, notamment techniciens et ingénieurs, s'attendent parfois à ce que je les informe sur la manière dont s'opère le déploiement du solaire photovoltaïque en France. Étant très peu documentée sur le sujet, j'ai éprouvé des difficultés à répondre et ai ressenti une gêne dans l'inégalité des échanges. D'abord l'échange avec les interlocuteurs ne va que dans un seul sens, c'est-à-dire que mes interlocuteurs me donnent de leur temps « sans rien avoir en retour ». Puis, je me suis rendue compte que mes interlocuteurs n'étaient pas toujours entièrement au courant de la présence du solaire photovoltaïque et de son déploiement dans leur région : j'ai alors pu transmettre en retour des informations et des rapports tels que celui de l'Ifri sur le solaire photovoltaïque à l'assaut des villes africaines. Néanmoins, le manque de références sur la France limitait ma compréhension des défis, notamment lorsque j'échangeais avec des chefs techniques de la Senelec sur la cohabitation entre le réseau et les systèmes solaires PV.

Deuxièmement, des limites liées au terrain et ma connaissance de données linguistiques et culturelles. Le fait de ne pas parler couramment wolof m'a incitée à choisir une méthodologie me

permettant d'échanger en français avec la majeure partie de mes interlocuteurs. L'enquête, en ce sens, risque de manquer d'objectivité en écartant peut-être des territoires ou des acteurs. Ainsi, seul un entretien court de trente minutes avec un ménage en wolof dans le périurbain a été réalisé, avec l'accompagnement de Lahat Ndiaye, un doctorant en sociologie qui a joué le rôle d'interprète.

Enfin, alors que les installations importantes de mini-centrales solaires urbaines d'autoproduction de 1MW se trouvent dans le secteur industriel, je n'ai pas pu obtenir de rendez-vous pour des entretiens ou des visites de site. Je sais seulement, à partir d'articles de journaux web et d'entretiens avec les entreprises d'installation solaire, que les industries et entreprises ont tendance maintenant à faire appel aux systèmes solaires PV pour leur production d'énergie. Cela reste mon plus grand regret pour ce mémoire.

Chapitre 2. Le déploiement du solaire photovoltaïque dans le contexte énergétique du Sénégal et de la région de Dakar : la réglementation, les pratiques et les acteurs de la filière du solaire

Ce chapitre a pour objectif de renseigner le contexte de l'énergie électrique et des énergies renouvelables dans lequel les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction sont déployés dans la région de Dakar. Dans le cadre de ce mémoire, le contexte énergétique doit comprendre deux échelles de présentation, celle du Sénégal et celle de la région de Dakar qui seront mentionnées dans les parties du chapitre. Dans un premier temps, ce chapitre présentera la situation du réseau électrique conventionnel et ses enjeux dans le pays et dans la région de Dakar. Dans un deuxième temps, le chapitre expose le cadre politique, juridique, institutionnel et humain qui accompagne spécifiquement le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques au Sénégal, puis dans la région de Dakar.

I. Le réseau électrique conventionnel au Sénégal et dans la région de Dakar : les enjeux et les stratégies du secteur électrique

I.1. Le fonctionnement et le cadre institutionnel du réseau conventionnel au Sénégal : l'État aux commandes malgré l'ouverture du secteur d'électricité aux acteurs privés

Le cadre institutionnel du secteur de l'énergie a connu de multiples mutations au cours des quarante dernières années. Afin de comprendre le fonctionnement du cadre actuellement, sans retracer l'historique et les mutations, cette partie propose de revenir, dans un premier temps, sur la réforme du secteur électrique en 1998. Ce moment restructurant du secteur de l'énergie au Sénégal donne les bases actuelles de l'organisation du cadre institutionnel. C'est également un moment clé dans la définition du rôle de la Société nationale d'électricité du Sénégal (Senelec), créée en 1983, aujourd'hui concessionnaire de la production, du transport, de la distribution et de la commercialisation de l'électricité. La Senelec est donc un acteur central de la fourniture d'électricité au Sénégal qui interagit, toutefois, avec d'autres acteurs du secteur de l'énergie dans un cadre institutionnel que je présente davantage dans un deuxième temps.

I.1 a) La réforme du secteur électrique en 1998 : une refonte du cadre institutionnel et du rôle de la Senelec

En 1998, le secteur électrique au Sénégal connaît une réforme importante qui conditionne le fonctionnement actuel du réseau électrique conventionnel. Cette réforme sectorielle, qui acte la privatisation de la Senelec, tout en maintenant l'État sénégalais comme actionnaire à 90% (Guillou, 2022 : 148), avait pour objectif principal l'amélioration du taux d'électrification, alors très bas, notamment en milieu rural (5% d'électrification en moyenne avant 1995⁴). La réforme permet, en premier lieu, **la libéralisation du secteur électrique**, notamment en autorisant des sociétés indépendantes (Independent Power Producers - IPP) à produire de l'électricité pouvant être revendue à la Senelec. En 2020, l'énergie totale produite s'élève à 4 814,54 GWh dont 1 910,07 GWh soit 39,67% provient de la production globale de la Senelec, le reste a été fourni par les achats d'énergie qui s'élèvent à 2 904,48 GWh, notamment auprès de producteurs privés tels que les IPP (Senelec, 2020 : 17). D'après le tableau ci-dessous, les IPP ont fourni au réseau conventionnel 2842,04 GWh d'électricité, soit 59,03% de la part de l'électricité totale produite au Sénégal. La Senelec n'a donc plus le monopole de la production qui lui avait été accordé lors de sa création en 1983.

IPP	Sources d'énergie	Production d'électricité fournie en 2020 (GWh)	Part dans la production globale d'électricité en 2020 (%)
Contour Global	Fuel et gaz naturel	509	10,57
Kounoune Power (Dakar)	Fuel	106,39	2,21
Tobéne Power (Taiba Ndiaye)	Fuel	271,75	5,64
Centrale flottante Karpowership (centrale flottante)	Gaz naturel liquéfié (GNL)	1 106	22,97
Barrage Manantali	Hydroélectrique	285,8	5,94
Centrale Félou	Hydroélectrique	69,7	1,45

⁴ <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?locations=SN>

Industries Chimiques du Sénégal (ICS) - auto-producteur	Charbon	38	0,79
Senergy 2 (Bokhol)	Solaire	36,7	0,76
Solaria (Malicounda)	Solaire	35	0,73
PV Senergy (Santhiou Mékhé)	Solaire	49	1,02
PV-Ten Mérina Ndakhar	Solaire	48,7	1,01
Centrale Energy Ressources (Kahone)	Solaire	26,3	0,55
Centrale PV Innovent (Sakal)	Solaire	42,3	0,88
Parc Eolien Taïba Ndiaye (PETN)	Eolien	217,4	4,52
TOTAL		2842,04 GWh	59,03 %

Tableau 2 : La part de production d'électricité des IPP dans la production d'électricité globale du Sénégal.

Source : Senelec, 2020

Pour permettre l'amélioration de l'accès à l'électricité, la réforme prévoit **également la séparation entre l'électrification rurale et urbaine**. Le périmètre d'intervention de la Senelec se réduit, en théorie, aux zones urbaines et périurbaines pour laisser des acteurs privés intervenir dans l'électrification des zones rurales selon trois modalités d'intervention. La première correspond à l'attribution de concessions d'électrification rurale : mais seulement six des dix concessions qui découpent le territoire sénégalais sont été attribuées à des opérateurs privés, laissant les quatre concessions restantes à la Senelec. La deuxième modalité concerne les projets d'électrification rurale d'initiative locale (ERIL) dans les villages situés hors des concessions. L'électrification de ces villages se fait par des acteurs privés qui font essentiellement appel aux technologies solaires photovoltaïques pour y parvenir. La troisième et dernière modalité correspond au programme d'urgence d'électrification rurale, surtout pris en charge par l'Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale (ASER) et la Senelec à travers des coopérations bilatérales, afin de pallier les lenteurs de la mise en œuvre des concessions. Malgré la place faite au secteur privé pour assurer le développement du réseau électrique conventionnel (Loi 1998-29 relative au secteur de l'électricité), la Senelec détient un rôle central dans la fourniture d'électricité, même en milieu rural (Guillou, 2022). La Senelec est donc aujourd'hui le concessionnaire de l'ensemble de la chaîne électrique - de la production à la fourniture

- mais également de l'identification, du financement et de la réalisation de nouveaux ouvrages sur son périmètre (Loi 98-29 modifiée par la Loi 2002-01).

Quant aux activités privées dans le secteur électrique, la Loi 1998-29 les oblige à disposer d'une licence ou d'un contrat de concession délivrés par le ministère en charge de l'Énergie. La réforme a donc impliqué la refonte du cadre institutionnel du secteur électrique, notamment par la création d'un organe régulateur de toutes les activités dans le secteur de l'électricité nommé Commission de Régulation du Secteur de l'Électricité (CRSE). Son rôle est, d'une part, la supervision des licences et du respect des normes d'exploitation d'électricité érigées par le CRSE, d'autre part, la régulation et la fixation de la tarification de l'électricité. La réforme a également acté la création de l'Agence Sénégalaise d'Électrification Rurale (ASER), chargée par la Loi de 98-29 de promouvoir l'électrification rurale en fournissant assistance technique et financière aux projets ; elle fait également partie des institutions qui assistent le ministère chargé des Énergies.

1.1 b) Le cadre institutionnel de la fourniture d'électricité conventionnelle aujourd'hui

Comme le présente le schéma du cadre institutionnel ci-dessous, la fourniture des services en quantité et qualité suffisante est principalement assurée par la Senelec, responsable d'environ 1/3 de la production, du transport, de la distribution et de la commercialisation de l'électricité aux consommateurs. Elle est accompagnée par des acteurs privés, tels que les IPP, qui assurent essentiellement la production d'électricité ou des services de fourniture d'accès à l'électricité dans les milieux ruraux (Guillou, 2022). La Senelec, les acteurs privés et les consommateurs forment un système de fourniture d'électricité qui est orienté et régulé par le ministère du Pétrole et des Énergies, dont le directeur de l'Électricité est également responsable des énergies renouvelables. Le ministère du Pétrole et des Énergies coordonne et met en œuvre les orientations politiques du Gouvernement en matière d'énergie, il est également chargé de définir les politiques, les normes et de planifier le développement du secteur énergétique. Il agit en étroite collaboration avec des structures opérationnelles, telles que les agences nationales spécialisées (ANER pour la promotion des énergies renouvelables, AEME pour la maîtrise de l'énergie, ASER pour la promotion de l'électrification rurale), et l'organisme de surveillance et de régulation, la Commission de Régulation du Secteur de l'Énergie (CRSE). Ces structures jouent un rôle essentiel de conseil et d'appui à la mise en œuvre des politiques énergétiques instaurées par le ministère chargé des Énergies (ministère du Pétrole et des Énergies).

La mise en œuvre des politiques nécessite des financements qui sont mis à disposition par les acteurs-investisseurs, tels que les bailleurs internationaux, des donateurs, des investisseurs privés. Les modes de financement du secteur électrique sont variés, soit les investisseurs financent le système de fourniture en donnant directement aux acteurs du système, soit ils donnent aux acteurs qui régulent le système. Par exemple, la Senelec, chargée de la recherche de financement, peut-être en lien direct avec des investisseurs privés ou recevoir des financements de l'Etat subventionnés par des coopérations bilatérales. Pour compléter ce panorama, ajoutons les collectivités territoriales, rarement mentionnées, car leurs compétences n'intègrent pas le service électrique, qui jouent tout de même un rôle dans la fourniture d'électricité. En effet, elles sont en relation avec la Senelec pour les autorisations de travaux ainsi que pour les demandes d'extension du réseau sur leur territoire. Par ailleurs, elles sont autorisées à délivrer des terrains à usage professionnel aux promoteurs des projets d'énergies renouvelables (Loi n°2010-11 de décembre 2010).

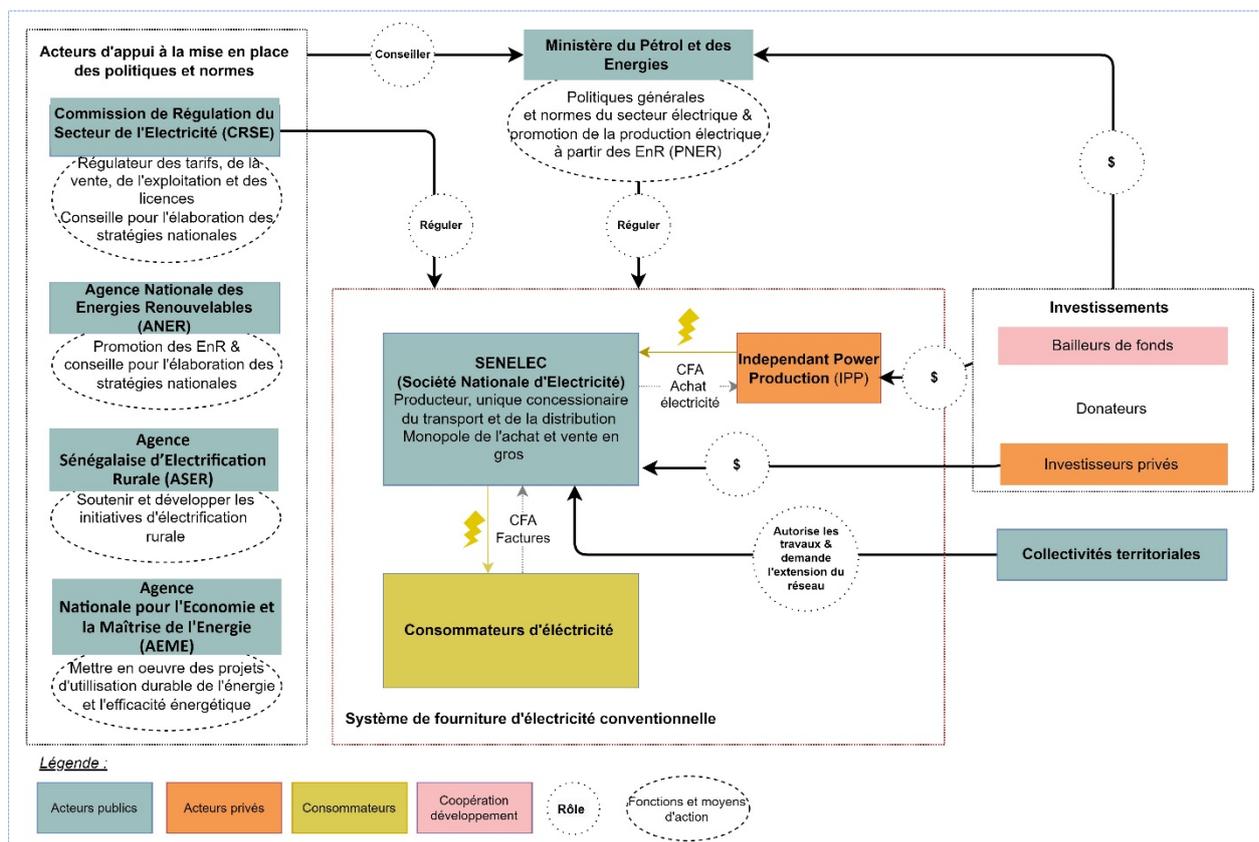


Schéma 1 : Cadre institutionnel de la fourniture d'électricité conventionnelle.

Source : Inspiré du schéma de Dalberg dans Ba, A., S (2018)

I.2 La situation électrique au Sénégal et dans la région de Dakar : les enjeux à relever par le secteur énergétique

Le Plan Sénégal Emergent (PSE), qui vise à l'émergence économique du pays d'ici 2035, place au cœur de ses fondements le secteur énergétique en garantissant un accès large, fiable et bon marché (PSE 2014 : 92). Pour cela, le PSE met en place un plan de relance intégré de l'électricité dont l'objectif est de fournir l'électricité en quantité suffisante, fiable et à un coût compétitif indispensable au développement de l'économie et à la réduction des inégalités sociales du pays. L'Etat décline également ses stratégies du secteur énergétique dans la Lettre Politique de Développement du Secteur de l'Énergie 2019-2023 (LPDSE 2019-2023), inspirée par le PSE, qui vise l'amélioration et l'optimisation de l'offre électrique, l'augmentation de la production, l'extension du réseau de transport et de la distribution. Afin d'y parvenir, ce cadre politique et stratégique intègre les enjeux du secteur électrique propre au contexte sénégalais. Cette partie présente ces enjeux et les moyens en place pour les relever à travers des stratégies et projets étatiques ou de la Senelec.

I.2 a) La production et la demande d'électricité au Sénégal : vers l'indépendance énergétique afin d'assurer l'électricité à moindre coût et en quantité suffisante

Depuis la crise électrique de 2011, la situation s'est nettement améliorée. Les coupures sont actuellement de 72 heures par an au lieu de 90 jours à 100 jours par an avant la crise électrique en 2011 (Directrice des Études Générales, Senelec, 07.06.2022). L'une des raisons de cette amélioration vient de l'augmentation de la capacité installée du parc de production passée de 570 W en 2012 à 1 500 MW en 2020. La source d'énergie primaire majoritaire dans le parc de production est thermique (fuel, gaz naturel liquéfié, charbon), elle représente 70% du mix énergétique, laissant une part de 30% aux énergies renouvelables (Senelec, 2020). La production d'électricité est fortement dépendante de l'approvisionnement en fuel, qui est essentiellement importé. Cela a de fortes conséquences sur le prix de l'électricité qui fluctue en fonction du prix des énergies combustibles. En 2020, le prix moyen global est de 114,51 FCFA/kWh (0,18 €/kWh) soit 6,6% de plus qu'en 2019. Le coût de l'électricité au Sénégal figure parmi les plus élevés en Afrique⁵ alors que le revenu moyen annuel est l'un des plus bas au monde. À l'enjeu du coût de l'électricité s'ajoute celui de la quantité produite. En effet, en 2020, l'énergie totale produite est de 4814 GWh alors que les données prévoient une augmentation de la demande en électricité qui pourrait atteindre 10 000 GWh à l'horizon 2030⁶.

⁵ Source : Analyse Performances Group dans le résumé du Plan YESSAL Senelec 2020 [PDF].

⁶ Source : Prévission de la Senelec avec le modèle PVDE dans le résumé du Plan YESSAL Senelec 2020.

Face à ces enjeux, la découverte des gisements de pétrole et de gaz au Sénégal en 2014 marque le début d'une nouvelle ère énergétique, les politiques misant désormais toutes les stratégies du secteur sur cette ressource. Actuellement, les centrales thermiques sont reconverties pour le gaz naturel et trois nouvelles centrales sont en cours de construction, dont une de 300 MW et deux de 225 MW. Il est attendu de ces investissements une diminution du coût de l'électricité ainsi qu'une sécurisation de la production en quantité suffisante. Malgré un environnement climatique et juridique favorable aux énergies renouvelables, l'énergie thermique est favorisée pour réduire les coûts de production et le prix de l'électricité.

1.2.b) La disparité d'accès entre le milieu rural et urbain : les stratégies de la Senelec entre extension du réseau et renforcement du réseau

Alors que le Sénégal fait partie des pays africains ayant un taux élevé d'accès à l'électricité (70% en 2020⁷), des disparités territoriales persistent. En milieu urbain, le taux d'accès est de 95% ; il est de 47% en moyenne en milieu rural selon les données de la Banque Mondiale, mais avec de meilleurs taux de couverture à l'ouest du pays qu'au sud-est (Directeur de l'Électricité en charge des Énergies Renouvelables, Ministère du Pétrole et des Énergies, 31.05.2022). Ainsi, l'accès universel par extension du réseau en milieu rural fait partie des premiers objectifs des stratégies sectorielles. C'est une composante essentielle du deuxième axe du plan stratégique Dolli 2021-2025 de la Senelec (voir Zoom 1). Cependant, dans la région urbaine de Dakar, où le taux d'accès est supérieur à 95%, les logiques de déploiement du réseau électrique diffèrent. En effet, il est davantage question de renforcement du réseau afin d'assurer un service de qualité dans une région qui concentre 60% de la consommation d'électricité du pays et où la clientèle est la plus exigeante (Directrice des Études Générales, Senelec, 07.06.2022).

⁷ <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.ELC.ACCS.ZS?view=map>

Zoom 1 : Le plan stratégique Dolli « Rajouter » 2021-2025 de la Senelec

Afin d'améliorer le service électrique à l'échelle du pays, la Senelec met en place un plan stratégique 2021-2025, intitulé Dolli qui signifie « rajouter » en wolof. Ce plan stratégique est dans la continuité des plans stratégiques DAKA qui signifie « Rallumer » et YESSAL 2016-2020 « Réhabilitation » qui impliquaient le déploiement des infrastructures de transport, le maillage du paysage électrique en réponse à la crise électrique en 2011. À la suite de ces plans stratégiques, le délestage a nettement diminué. C'est pourquoi le nouveau plan stratégique 2021-2025 se concentre sur le renforcement de capacité.

Afin d'y parvenir, le plan Dolli présente 6 axes :

- **Axe 1 : La transition énergétique pour le développement industriel.** *À travers cet axe, la Senelec souhaite intégrer la découverte du gaz naturel dans la production d'électricité d'ici 2024 ainsi que la pénétration des énergies renouvelables dans le réseau.*
- **Axe 2 : L'accès universel et le développement socio-économique.** *L'objectif est d'atteindre un taux d'électrification de 100 % d'ici 2025 grâce à l'extension du réseau et des raccordements notamment en milieu rural. La Senelec est à la recherche des investisseurs pour des investissements identifiés à hauteur de 700 milliards FCFA .*
- **Axe 3 : Amélioration de la Satisfaction des Clients.** *L'objectif est d'assurer l'efficacité de la Senelec à travers la généralisation des compteurs à prépaiement WOYOFAL, l'amélioration de la qualité de facturation, la fidélisation des clients d'affaires qui contribuent à 35% du chiffre d'affaires, la réduction des pertes non techniques, et le renforcement de capacité du personnel.*
- **Axe 4 : Performance financière, sécurisation des revenus et maîtrise des risques.** *L'objectif est d'assurer la performance financière grâce à la rationalisation du parc de production, le recouvrement des factures clients et le respect des délais des projets planifiés.*
- **Axe 5 : Diversification et innovation.** *Afin d'augmenter les revenus de la Senelec, cet axe propose d'investir dans des projets de formations, d'outils et applications numériques, de trading et d'exportation d'électricité.*
- **Axe 6 : Digitalisation des fonctions métiers et aux supports.** *Afin d'améliorer la productivité du travail, l'axe vise à simplifier les processus commerciaux, des ressources humaines et autres par l'informatique et les outils de communication numérique.*

De plus, l'augmentation future de la demande d'électricité devrait être principalement concentrée dans la région de Dakar. D'ici 2030, la demande dans la région de Dakar pourrait presque doubler en passant de 2582 GWh en 2022 à 4 437 GWh en 2030⁸. Afin de répondre à la demande croissante et à la qualité du réseau exigée dans la région de Dakar, la Senelec mène un projet « Extension et Densification du Réseau à Dakar » qui vise à développer le réseau MT / BT sur des sites où le réseau de distribution est surchargé ou absent. Par ailleurs, la Senelec améliore les procédures de demande d'extension et de raccordement avec l'ouverture d'un Guichet Unique qui fait l'interface entre le client et les différents services concernés de la Senelec.

I.3 Conclusion : La promotion des énergies renouvelables pour le développement du réseau électrique conventionnel

L'énergie est nécessaire au développement économique et social indispensable à l'objectif d'émergence d'ici 2035 que se fixe le Sénégal. Cependant, la dépendance du secteur électrique aux hydrocarbures liquides et gazeux majoritairement importés et les disparités territoriales d'accès ont pour conséquence de freiner la compétitivité et la productivité économique. Face aux enjeux du coût abordable de l'électricité, d'une production en quantité suffisante et de service de qualité sur l'ensemble du territoire sénégalais, l'État, acteur central du secteur énergétique, impulse des politiques et des stratégies tournées vers la diversification du mix énergétique et le développement des énergies renouvelables. Suite aux découvertes de gaz naturel sur le territoire sénégalais, le secteur énergétique investit grandement dans les centrales thermiques à gaz naturel comprises dans les stratégies de transition énergétique du pays et de diversification du mix énergétique. Par ailleurs, les énergies renouvelables (EnR), telles que le solaire, sont aussi en développement. Ce qui implique la création d'un cadre propice au développement des EnR et du solaire, qui sera abordé dans la partie suivante.

⁸ Source : Évolution de la demande, Senelec.

II. Les limites du cadre pour le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction au Sénégal et dans la région de Dakar

Depuis les années 70, à la suite du choix pétrolier, le Sénégal fait preuve d'une volonté politique dans la promotion des énergies renouvelables (EnR) pour pallier les difficultés de la fourniture d'électricité dans le pays (Caille et Badji, 2018). La Loi n°98-29 relative au secteur de l'électricité témoigne de cette volonté par la privatisation de la production qui autorise les IPP à produire de l'électricité à partir des énergies fossiles ou des énergies renouvelables. Toutefois, la Loi n°98-29, n'incite pas clairement et spécifiquement au développement des énergies renouvelables. Cette partie présentera, dans un premier temps, les dispositifs politiques, juridiques et incitatifs qui contribuent à la promotion des EnR telles que les énergies solaires dans le pays et dans la région de Dakar. Dans un deuxième temps, une partie sera dédiée aux acteurs de la filière du solaire photovoltaïque qui contribuent au déploiement du solaire photovoltaïque dans le périmètre d'étude la région de Dakar.

II.1. Les dispositifs de promotion des énergies renouvelables (EnR) et du solaire

II.1.a) Des dispositifs à l'échelle nationale

La promotion des EnR devient réellement effective à partir de 2010 à travers la Loi 2010-21 portant loi d'orientation sur les énergies renouvelables. Celle-ci met en place un cadre juridique pour la production, le stockage, le transport ainsi que la commercialisation des énergies renouvelables sur le territoire sénégalais. La Loi 2010-21 permet donc la promotion des EnR à travers des mécanismes tels que l'incitation fiscale et douanière, l'exonération de la TVA sur les matériels et équipements de production énergétique pour l'autoconsommation domestique, le transfert de compétence aux communes pour délivrer des terrains aux producteurs d'énergies renouvelables. Ensuite, en 2012, d'autres cadres politiques et juridiques viennent renforcer la promotion des énergies renouvelables dans le secteur électrique. D'une part, l'adoption par le Sénégal de la Politique des Énergies Renouvelables de la CEDEAO (PERC), oblige l'État à réaliser un Plan National des Énergies Renouvelables (PANER) qui vise une part de 23% d'EnR dans le mix énergétique d'ici 2030. D'autre part, la signature en 2012 de la Lettre de Politique du Développement du Secteur de l'Énergie 2012-2017 (LPDSE 2012-2017) décrète la création de l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER), dont le rôle jusqu'à présent est la promotion et le développement des EnR afin d'atteindre 15% d'EnR dans le mix énergétique d'ici 2020. Ce cadre a contribué, en 2013, à la signature des premiers contrats entre la Senelec et des IPP pour l'exploitation de six centrales solaires.

Ces politiques et les adaptations du cadre juridique favorisent l'émergence des EnR dans la production nationale d'électricité à travers les IPP, dans les concessions en milieu rural, ainsi qu'à travers les auto-producteurs. Cependant, les secteurs des EnR et de l'électricité ne disposaient pas d'un cadre commun. D'où **la mise en vigueur récemment de la Loi 2021-31 du 9 juillet 2021 portant Code de l'Électricité** qui abroge la Loi 98-29 et la Loi 2010-21 en regroupant les lois sur la maîtrise de l'énergie du secteur électrique et sur le recours aux énergies renouvelables. Enfin, le nouveau code intègre l'autoproduction dans le système électrique, notamment grâce à des systèmes solaires photovoltaïques, en autorisant l'injection du surplus de la production des auto-producteurs dans le réseau conventionnel. Cependant, le code ne permet pas de fixer les modalités et les conditions de vente, les limites quantitatives et les dispositifs spécifiques de l'autoproduction, qui devront être fixés par un décret encore en cours d'élaboration. Malgré l'émergence d'un cadre juridique autorisant l'autoproduction, l'attente de ce décret et de ses précisions techniques et réglementaires limite pour l'heure la promotion des énergies renouvelables et l'autoproduction.

D'autres dispositifs de promotion des énergies renouvelables accompagnent le nouveau code de l'électricité et témoignent de l'ouverture du pays à la pénétration des systèmes d'autoproduction dans le système électrique, tels que le solaire photovoltaïque de bonne qualité. **La mise en place de l'exonération de la T.V.A sur les équipements de production d'énergies renouvelables** (solaire, éolienne et biogaz) est un premier exemple. Ce dispositif a pour objectif de diminuer les coûts d'acquisition des équipements, tels que les panneaux solaires photovoltaïques, les onduleurs solaires, les kits de lampe solaire, les lampadaires solaires, afin d'assurer l'accès universel à l'électricité surtout en milieu rural. Par ailleurs, pour bénéficier de l'exonération de la TVA, les équipements doivent être certifiés afin de garantir la qualité des produits qui entrent sur le territoire. La certification, qui part d'une bonne intention, complique toutefois la procédure d'importation et de fourniture d'équipements, ce qui peut devenir un inconvénient pour les entreprises du solaire qui dans tous les cas ne paient pas la TVA, elles sont assujetties à la TVA. Ainsi, le dispositif d'exonération de la TVA facilite essentiellement l'acquisition des équipements solaires pour les consommateurs, notamment les ménages qui sont les principaux concernés par le paiement de la TVA. Ce sont donc essentiellement les Solar Home Systems (SHS) qui sont favorisés par ce dispositif (Directeur, entreprise Solène Afrique de l'Ouest, 17.06.2022). Or, le coût d'une installation solaire semble être supérieur au pouvoir d'achat de nombreux ménages au Sénégal, dont le salaire mensuel moyen brut est estimé à 89 730 FCFA en 2019 selon le Ministère de l'Économie du Sénégal, alors que le solaire de qualité coûte environ 5 millions de FCFA⁹. La mise en place de l'exonération de la T.V.A sur les équipements de production

⁹ D'après des entretiens avec les entreprises solaires.

d'énergies renouvelables est donc à double tranchant : d'une part, elle incite à la pénétration d'équipements d'autoproduction solaire de qualité, d'autre part, elle complique la procédure d'acquisition d'équipements solaires auprès des entreprises du solaire pour finalement bénéficier seulement une portion de la population qui a les moyens de se procurer des systèmes solaires PV de qualité.

D'autre part, la mise en place de **deux laboratoires de contrôle de qualité des systèmes solaires photovoltaïques de l'ANER** entre dans le cadre du renforcement de la promotion des systèmes photovoltaïques. L'objectif de ce dispositif est d'améliorer la qualité des équipements de production d'énergies solaires vendus afin d'assurer des installations de bonne qualité sur le territoire. L'ANER, accompagnée de la coopération allemande (PTB), a financé à hauteur de 2 millions FCFA l'installation de deux laboratoires, l'un au Centre d'Études et de Recherches sur les Energies Renouvelables (CERER) et l'autre à l'École Supérieure Polytechnique (ESP).

Zoom 2 : Présentation brève de l'ESP et des travaux de recherche du laboratoire du solaire

L'École Supérieure Polytechnique est avant tout une école qui forme des techniciens bac+2, licence, master et des ingénieurs dans six départements : génie mécanique, génie civil, génie informatique, génie tertiaire pour la gestion, génie chimique, génie électrique. Elle forme donc des techniciens et des ingénieurs dans le domaine du solaire. L'une des particularités de l'école est sa spécialité dans le développement de service à la communauté. Pour cela, elle vend son expertise et des projets de développement dans les domaines de l'accès aux services essentiels (ex : accès à l'eau et l'électricité en milieu rural principalement).

Concernant la recherche, le rôle du laboratoire solaire de l'ESP est de trouver des solutions pour l'intégration des systèmes électriques solaires aux conditions environnementales au Sénégal et la sous-région. Le laboratoire étudie donc comment se comporte le photovoltaïque dans l'environnement et comment il se dégrade dans cet environnement ? À ce titre, le laboratoire travaille essentiellement sur la dégradation des batteries. Il teste donc les batteries dans l'environnement et les manières de les utiliser. Le processus de mise en place est encore inachevé depuis le lancement du projet, il y a moins de 2 ans. C'est un projet de recherche lancé par le gouvernement sénégalais accompagné de la GIZ dont bénéficie l'ESP.

II.1.b) Des dispositifs dans la région de Dakar

Pour accompagner les changements métropolitains et lever les verrous énergétiques, la municipalité de Dakar a élaboré, en relation avec les politiques nationales, diverses stratégies favorisant les énergies renouvelables, notamment dans le Plan d'Action Environnemental (PACTE), le Plan Directeur de Dakar 2035 (PDU), ainsi que dans un Plan Climat Énergie Territorial (PCET) conçu dans le cadre de la coopération des C40 Cities. Les villes de Pikine et de Guédiawaye ont également proposé un projet de Planification Intercommunale Sensible au Changement Climatique et à l'Énergie (PICEP) qui a pour ambition de favoriser la mixité énergétique des ménages grâce aux systèmes solaires¹⁰. Ce projet a reçu l'assistance technique de l'ONG sénégalaise ENDA énergie basée à Dakar, qui développe des projets en Afrique subsaharienne, mais principalement au Sénégal, pour la promotion des énergies renouvelables pour l'accès aux énergies durables pour tous. Les stratégies proposées par les villes dans le cadre de leur compétence pour la planification urbaine sur leur territoire administratif peuvent avoir un impact sur le développement des systèmes hors réseau. Par exemple, le PCET propose d'équiper 50% des bâtiments publics avec des panneaux photovoltaïques. La ville de Dakar démarre donc en octobre 2022 un projet pilote d'installation de systèmes solaires afin d'alimenter quatre bâtiments publics de la ville (la direction des services publics de la mairie de Dakar, un centre de santé à Ouakam, un lycée et un collège).

II.1.C) Conclusion

Les dispositifs politiques, juridiques et incitatifs pour la promotion des énergies renouvelables et du solaire à l'échelle nationale ainsi qu'à l'échelle des collectivités locales de la région de Dakar témoignent de la volonté du Sénégal d'intégrer le solaire photovoltaïque dans le secteur énergétique. Toutefois, les dispositifs ont des limites qui peuvent dans certains cas être un obstacle au déploiement des systèmes solaires photovoltaïques. De plus, les dispositifs de promotion doivent également être accompagnés par des acteurs impliqués afin d'assurer un déploiement effectif. Au cours de ma mission de terrain, l'un des objectifs était donc de comprendre l'organisation de la filière du solaire photovoltaïque afin de saisir quels en sont les acteurs et leurs rôles dans la région de Dakar. La partie suivante expose donc la contribution des acteurs de la filière du solaire dans le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction dans la région de Dakar.

¹⁰ D'après un entretien mené avec le Secrétaire Municipale, Alé Diane, de la commune de Pikine Nord le 10 décembre 2022 à la mairie de Pikine Nord. Élément confirmé par la brochure donnée par le Secrétaire Général de la Ville de Pikine le jour même.

II.2. La contribution des acteurs de la filière du solaire dans le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques de la région de Dakar

Lorsque la filière du solaire est étudiée en Afrique de l'Ouest (Gbossou, 2019), ce sont essentiellement les acteurs institutionnels, financiers (bailleurs...), la société civile (ONG et associations) et les consommateurs qui sont mentionnés. Cependant, comme j'ai pu l'observer sur place, les acteurs institutionnels (ANER...) et financiers (AFD, GIZ...) n'interviennent pas directement dans la région de Dakar, même s'ils y siègent. En effet, l'emploi du solaire photovoltaïque, selon ces acteurs, est avant tout une question d'accès universel à l'électricité, qui n'est pas un enjeu urbain, encore moins dans la région de Dakar avec un taux d'électrification supérieur à 95%. Cela m'a donc permis de confirmer l'importance d'analyser la filière du solaire en fonction du territoire d'étude choisi. En d'autres termes, il s'agit de territorialiser la filière du solaire en analysant les actions menées par un acteur et son rôle en fonction du territoire dans lequel il intervient. Dans le cadre de ce mémoire, il est donc question d'analyser les actions menées par les acteurs qui agissent dans la filière du solaire dans la région de Dakar. Ainsi, certains acteurs de la filière du solaire au Sénégal qui interviennent hors de la région de Dakar ne seront pas compris dans l'analyse, tels que le GRET, la GIZ ou l'AFD dont les projets de déploiement du solaire touchent le milieu rural.

Les acteurs qui contribuent activement au déploiement des installations solaires photovoltaïques d'autoproduction dans la région de Dakar appartiennent à d'autres catégories d'acteurs telles que la « chaîne d'installation d'équipements solaires photovoltaïques » (les producteurs-industriels, les fournisseurs et les entreprises d'installation d'équipements solaires PV), les clients et les collectivités locales. Dans le cadre de ce mémoire, j'ai décidé de ne pas remonter la chaîne d'installation aux industriels producteurs et fournisseurs d'équipements puisque c'est une filière à part entière qui est implantée à l'international, principalement en Asie et en Europe. Je me suis donc concentrée sur les entreprises d'installation et de distribution solaire ainsi qu'à leur mode de fourniture d'équipements solaires, en m'intéressant tout de même à la provenance et aux marques d'équipements solaires photovoltaïques favorisées. Toutefois, j'ai interrogé une entreprise turque manufacturière de batteries et d'équipements solaires, Solance, lors du Salon International de la Construction, de la Finition et de l'Infrastructure et des Énergies Renouvelables au mois de juin au CICAD (Centre International de Conférence au Pôle Urbain de Diamniadio). L'entreprise a un site de production à Sandiara (département de M'bour) dans la région de Thiès avec des boutiques dans la région de Dakar. Le site ne produit pas pour l'instant les équipements solaires, mais il n'est pas impossible que l'industrie étende sa gamme de production dans les années à venir. Il faudra alors revoir l'organisation de la filière solaire au Sénégal et dans la région de Dakar. En attendant, cette

partie présentera, dans un premier temps, la chaîne d'installation d'équipements solaires PV dans la région de Dakar à travers les différentes entreprises et leurs modes d'approvisionnement en équipements solaires PV. Pour conclure, la deuxième sous-partie présentera comment la chaîne d'installation s'inscrit de manière plus large dans la filière solaire, parmi les institutions, les clients, et les collectivités locales.

II.2.a) Les entreprises du solaire et leur mode d'approvisionnement d'équipements

Au cours de la mission de terrain, seulement six entreprises (Oolu Solar, SN Energy, la solution solaire, Solène Afrique de l'Ouest, TotalEnergies, Technikkom) ont accepté de s'entretenir avec moi et l'une d'elles, Technikkom, a accepté que je suive des agents sur chantier. Parmi les cinq entreprises, l'une a été créée depuis moins d'un an, SN Energy, et intervient seulement dans le milieu rural. Il n'empêche que l'entretien m'a permis de comprendre davantage les logiques des entreprises du solaire ainsi que les enjeux de la filière dans la région de Dakar. L'analyse est donc non-exhaustive, mais la diversité des entreprises interviewées permet déjà une première compréhension des différentes typologies d'entreprises. Les typologies se basent sur les caractéristiques suivantes : type de structure (petite, moyenne ou grande en fonction des effectifs et de l'étendue de l'activité), type de services et de produits d'accès à l'électricité proposés, type de clients et de lieux d'intervention, mode de fourniture des équipements.

Parmi les entreprises intervenant dans la filière du solaire dans la région de Dakar, j'ai identifié six types :

- **Les entreprises transnationales qui commercialisent des Solar Home Systems (SHS)**, autrement dit des kits solaires, essentiellement en zone rurale ou en milieu périurbain auprès de clients variés dans l'attente de l'extension du réseau. C'est le cas de l'entreprise Oolu Solar, qui déploie des kits solaires dans le milieu périurbain et rural de la région de Dakar (Bambilor, Diamniadio, Toubab Dialaw...). Ils disposent d'un département logistique et d'un lieu de stockage dans la région de Thiès qui leur permet de se fournir en gros auprès de l'industriel Greenlight.
- **Les entreprises internationales d'énergie, appelées « développeurs »**¹¹, installent des systèmes solaires et proposent un contrat de paiement mensuel pour rembourser le prix de l'installation et les services selon une durée déterminée pour les entreprises et industries.

¹¹ Le terme « développeurs » est employé par les entreprises lors de mes entretiens pour définir de grandes entreprises internationales/multinationales qui assurent l'installation et la maintenance de système solaire photovoltaïque pour des entreprises à travers un contrat de paiement mensuel de type location-vente.

C'est le cas de TotalEnergies, qui développe, depuis un an, ce service d'énergie solaire B2B (Business to Business) afin que leurs clients puissent améliorer leur empreinte carbone et faire des économies sur facture. D'après l'entretien avec le chargé B2B des énergies renouvelables de TotalEnergies, il est plus simple pour un industriel ou une grande entreprise de payer tous les mois un service, plutôt que de se lancer dans l'installation d'une centrale alors qu'elle ne détient aucune expertise (Chargé B2B des énergies nouvelles, TotalEnergies Sénégal, 21.06.2022). À la fin du contrat, l'installation revient au client. Les « développeurs » jouent donc un rôle important dans le déploiement des énergies solaires dans le secteur industriel. Ces multinationales de l'énergie disposent de filiales sur toute la chaîne d'installation, même dans l'approvisionnement de matériel solaire.

- **Les entreprises transnationales dans l'installation du solaire toute application** (off-grid, on-grid, chauffe-eau solaire, pompes solaires...) dans une grande variété de projets d'autoproduction dans tous les secteurs (particulier, industrie, agriculture, santé, éducation...) Ces entreprises interviennent aussi bien en milieu urbain que rural. Parmi les entreprises interviewées, l'entreprise Solène Afrique de l'Ouest correspond à la description. Elle assure tous les services autour de l'IPT (Inductive Power Transfert), soit toutes les dimensions de l'installation solaire photovoltaïque : du dimensionnement à la construction, et l'installation des équipements ainsi que leur maintenance. Elle intervient sur l'ensemble du territoire de la région de Dakar sans aucun profil de client en particulier. L'entreprise se fournit auprès des fournisseurs au fur et à mesure en fonction des projets, elle ne dispose donc pas de stock. Cependant, afin de faciliter la procédure de fourniture, l'entreprise Solène Afrique de l'Ouest a contribué à la création de l'entreprise fournisseuse « La solution solaire » (Technico-commerciale, La solution solaire, 28.05.2022). L'entreprise fournisseuse assure la gestion des stocks et la qualité des produits, dont la demande va en augmentant.
- **Les entreprises sénégalaises de travaux en électricité, qui se spécialisent également dans le solaire photovoltaïque sur le territoire national.** L'entreprise Technikkom fait partie de ces entreprises qui interviennent dans les grands travaux de distribution d'électricité et dans les chantiers de génie civil pour le réseau conventionnel, tout en intervenant dans le domaine des installations solaires on-grid et off-grid. Tout en étant une entreprise sous-traitante directe de la Senelec, elle participe au déploiement du solaire photovoltaïque dans la totalité de la région de Dakar, que ce soit pour des particuliers ou des entreprises. Pour se fournir en équipements solaires, l'entreprise passe des commandes auprès de ses propres fournisseurs au fur et à mesure des projets.
- **Les petites et moyennes entreprises d'installation solaire photovoltaïque.** Aucune entreprise interviewée.

- **Les autoentrepreneurs électriciens.** Pas d'entretien réalisé dans le cadre de l'enquête. Certains des auto-entrepreneurs sont identifiés par les entreprises d'installation solaire comme les « électriciens de la rue » qui diversifient leur activité d'électricien en proposant des services d'installation solaire auprès de particuliers « sans aucune formation ». Je n'ai pas eu l'occasion de rencontrer ce profil d'acteur. Par ailleurs, d'après des discussions informelles et d'après la thèse d'Emmanuelle Guillou (2022), ces autoentrepreneurs sont parfois des techniciens d'entreprises électriques proposant leurs services en dehors de leur emploi pour leur propre compte.
- **Les distributeurs d'équipements qui se spécialisent dans la vente d'équipements solaires** pour des particuliers et des entreprises installatrices. Par exemple, l'entreprise « La solution solaire » fournit à la fois les entreprises d'installation en équipements solaires et les particuliers qu'elle met en relation avec des partenaires installateurs. Dans les deux cas, l'entreprise réalise l'étude de dimensionnement afin de fournir au client le bon système solaire. L'entreprise dispose d'une multitude de produits (panneaux photovoltaïques, batteries, onduleurs, régulateurs, chauffe-eau solaire, fusible) de la marque allemande Lorentz et de la marque hollandaise Victon energy. Par ailleurs, l'entreprise a la particularité de former des entreprises ou des entrepreneurs du solaire aux produits et à leur installation.

Dans la région de Dakar, il existe donc une variété d'entreprises solaires qui contribuent au déploiement du solaire photovoltaïque dans différents secteurs (domicile, entreprise, industrie, agriculture, santé, école...). Leurs services varient en fonction des lieux d'intervention (en centre-ville, en banlieue, dans le périurbain, en zone rurale) et des clients qu'elles souhaitent atteindre. Par ailleurs, elles adoptent des modes de fourniture variés en fonction de leur taille, des types de projets et de leurs moyens (entrepôts à disposition ou non, compétence de gestion de stock dans l'équipe...). Ainsi, j'ai identifié trois modes de fourniture d'équipements solaires : l'entreprise détient un stock et passe des commandes en gros à un fournisseur ou à un industriel du solaire ; l'entreprise fait des commandes au fur et à mesure en fonction des projets à des fournisseurs réguliers ; les entreprises commandent directement sur internet (c'est le cas pour les petites entreprises).

Maintenant que les différents types d'entreprises ont été identifiés et que leur rôle dans le déploiement du solaire est clarifié, intéressons-nous à la manière dont elles interagissent avec les autres acteurs de la filière du solaire.

II.2.b) Le schéma d'acteurs territorialisé de la filière solaire dans la région de Dakar : les entreprises du solaire et les clients au cœur du déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction

Contrairement au milieu rural, où les projets de solaire photovoltaïque sont essentiellement déployés dans le cadre de programmes nationaux ou bilatéraux, tels que le Programme Energie Durable de la GIZ qui participe à l'installation de systèmes solaires pour l'électrification et l'usage productif de l'énergie en milieu rural, dans la région de Dakar, les initiatives d'installation de systèmes solaires photovoltaïques proviennent essentiellement des consommateurs d'électricité ou des collectivités locales. En effet, celles-ci jouent un double rôle, celui de développer des stratégies en relation avec les politiques nationales favorisant les énergies renouvelables sur leur territoire (PCET, PACTE, PDU, PICEP, voir plus haut dans le chapitre II.1.b. pour plus d'informations) et celui d'être à l'initiative d'installations solaires sur les équipements publics de leur territoire administratif (écoles, bâtiments administratifs, lieux de culte...). Dans ce cadre, les collectivités reçoivent parfois l'assistance technique d'ONG spécialisées dans le déploiement du solaire PV, telle qu'ENDA énergie. Cependant, les ONG nationales ou internationales se concentrent essentiellement à déployer le solaire PV en milieu rural, comme j'ai pu le relever à travers mes entretiens (Expert Energie et EnR, chargé mission et du suivi du projet UPE-S, GRET, 28.05.2022).

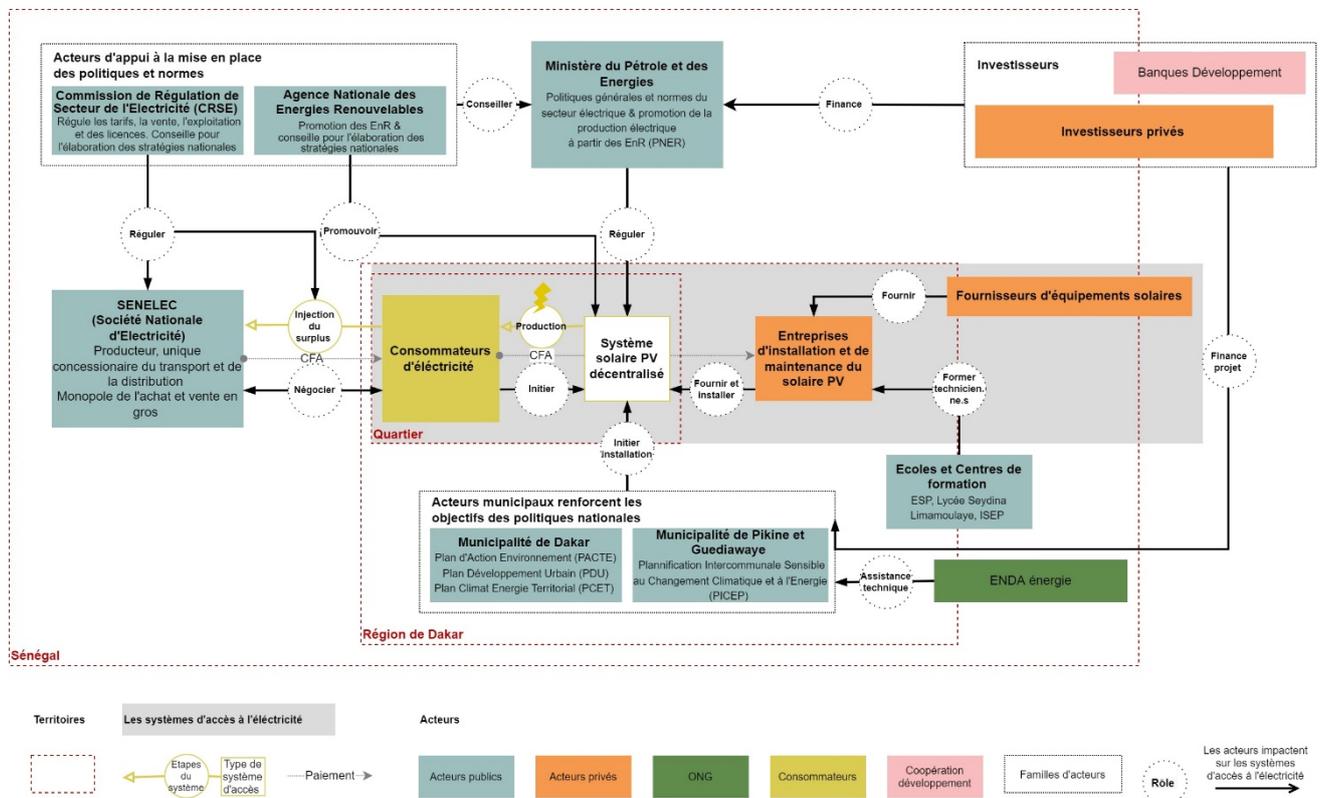


Schéma 2 : Système d'acteurs territorialisé de la filière du solaire PV dans la région de Dakar.

Source : production personnelle à partir de l'analyse des entretiens lors de la mission de terrain 2022.

Toutefois, il y a des exceptions, tout comme il existe en milieu rural des consommateurs qui installent des systèmes solaires selon leur propre initiative (Guillou, 2022). En milieu urbain, l'État et des institutions du secteur énergétique, telles que l'ANER, mettent en œuvre parfois directement l'installation de systèmes solaires PV. Par exemple, dans le Pôle Urbain de Diamniadio, l'État, à travers la DGPU, assure l'installation de mini centrale solaire sur les bâtiments publics (Sphères ministérielles, équipements sportifs et culturels). Quant à l'Agence Nationale des Énergies Renouvelables (ANER), à travers le programme d'éclairage public national, elle contribue directement au déploiement des lampadaires solaires dans la région de Dakar. Ces interventions restent tout de même marginales au regard de leurs interventions dans la filière solaire rurale. L'État à travers le Ministère du Pétrole et des Énergies et les institutions du secteur énergétique telles que l'ANER et le CRSE ont un rôle de régulateur et de promoteur du déploiement des systèmes solaires PV décentralisés dans l'ensemble du pays. En effet, à travers les dispositifs juridiques et incitatifs instaurés par le ministère du Pétrole et des Énergies, tels que le nouveau code de l'électricité qui autorise et régule l'autoproduction, l'État contribue au déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction dans de bonnes conditions au Sénégal. Par ailleurs, les institutions d'aides au développement telles que la GIZ contribuent indirectement par leur soutien financier et d'expertise auprès de l'Etat pour la mise en place d'un cadre favorable au déploiement du solaire PV dans le pays, même si leurs projets sont majoritairement situés en milieu rural (Responsable des volets Électrification rurale et Usages productifs de l'énergie solaire, GIZ, 12.07.2022).

Jusqu'à présent, les acteurs présentés ont soit le rôle de régulateur ou promoteur (Ministère, ANER...) soit le rôle d'initiateur (consommateurs, collectivités) des installations de systèmes solaires photovoltaïques. Le rôle d'exécution des installations, qui est central au déploiement de systèmes solaires PV décentralisés dans la région de Dakar, quant à lui, est exercé par les entreprises d'installation du solaire. La plupart de ces entreprises sont installées dans la région de Dakar et interviennent autant en milieu urbain que dans les autres régions, notamment rurales (Guillou, 2022). Elles interagissent directement avec les clients consommateurs en leur fournissant et installant les systèmes solaires PV. Pour cela, les entreprises d'installations solaires se procurent les équipements solaires auprès de fournisseurs qui peuvent être localisés dans la région de Dakar ou encore des fournisseurs à l'international. Par ailleurs, les entreprises nécessitent de technicien.ne.s et ingénieur.e.s formé.e.s au solaire, c'est pourquoi les entreprises d'installation du solaire sont indirectement liées aux écoles et centres de formation. Cependant, il existe très peu de formation spécialisée dans le solaire au Sénégal. Dans la région de Dakar, seulement l'École Supérieure Polytechnique (ESP) et le lycée professionnel semblent proposer une formation pour des technicien.ne.s ainsi que l'Institut Supérieur d'Enseignement Professionnel (ISEP) à Thiès. Enfin, le

schéma nous permet de nous rendre compte que les entreprises de l'installation solaire n'ont pas de relation directe avec les acteurs régulateurs et promoteurs dans la filière du solaire PV (ANER, Ministère...), malgré l'impact que peut avoir le cadre juridique et réglementaire sur leur activité

Conclusion du chapitre 2

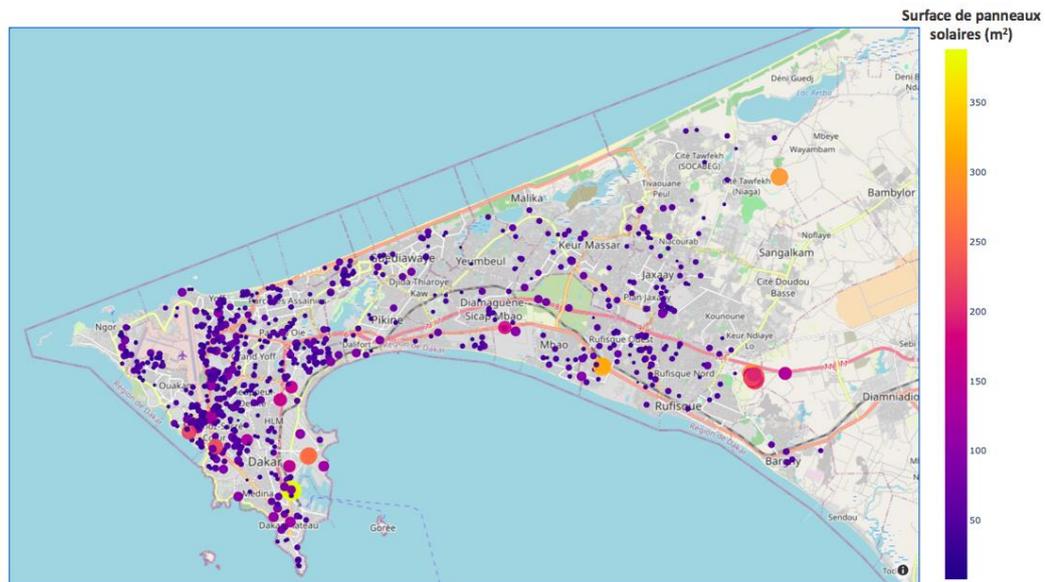
Au sein du cadre régulateur et incitatif promu par l'Etat sénégalais pour le développement des énergies renouvelables, notamment solaires, les acteurs et dispositifs d'action à l'œuvre dans la région de Dakar présentent des spécificités. En effet, si l'on se réfère aux travaux de Christophe Gbossou K., (2019) sur la filière du solaire au Sénégal, les pouvoirs publics sont des « acteurs dominants » qui influencent les entreprises d'installation, considérées comme des « acteurs relais », et les consommateurs des « acteurs dominés ». Le jeu d'acteur que présente ici Christophe Gbossou K. fait sens dans les projets solaires en milieu rural, essentiellement soutenus financièrement et techniquement par les institutions internationales et de coopération. Or, ce n'est pas le cas de la région de Dakar. Avec un taux d'électrification supérieur à 95%, elle ne fait pas partie des lieux d'intervention prioritaire pour des projets solaires nationaux ou internationaux destinés à accélérer un accès universel à l'électricité. Ainsi, la mission de terrain a permis d'adapter le système d'acteurs de la filière du solaire dans la région de Dakar qui, pour être moins visible des politiques publiques et projets de développement, n'en reste pas moins essentiel au déploiement global des systèmes photovoltaïques d'autoproduction dans le pays. Afin de comprendre plus en détail ce processus de déploiement et sa spatialisation dans l'aire urbaine dakaroise, le chapitre suivant développe, à partir d'études de cas, une analyse sociotechnique territorialisée de systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction.

Chapitre 3. Les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction dans les espaces urbains de la région de Dakar : un inventaire non-exhaustif des études de cas

Ce chapitre a pour objectif de renseigner le processus de déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction à partir d'études de cas de configurations sociotechniques. Dans un premier temps, il présente globalement le déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar. Dans un deuxième temps, le chapitre présente la méthodologie de recherche par étude de cas et le corpus identifié lors de l'étude de terrain. Dans un troisième temps, le chapitre décrit, à partir de « récits », les configurations sociotechniques territorialisées des cas d'étude visités. En conclusion, j'interrogerai une méthode de compréhension des processus de déploiement qui prend en compte des facteurs sociaux, techniques et territorialisés variés.

I. Introduction : analyser le processus de déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar par l'approche sociotechnique territorialisée

L'étude Ifri « Les solutions solaires à l'assaut des villes » réalisée par Hugo Le Picard et Matthieu Toulemont (2022), démontre la présence du déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar, grâce à la méthodologie de Deep Learning qui permet de repérer la présence de panneaux solaires PV à partir d'images satellites et de les géolocaliser. La carte produite (carte 3) à partir de cette méthode témoigne d'un déploiement des panneaux solaires photovoltaïques sur l'ensemble du territoire depuis le centre-ville jusqu'en dans le milieu périurbain en passant par la banlieue (Pikine, Guédiawaye). À la question de savoir quels sont les facteurs du déploiement en milieu urbain, l'étude Ifri répond qu'il s'agit essentiellement de facteurs socio-économiques spatialisés et non de la « fiabilité du réseau » (Le Picard et Toulemont, 2022).



Carte 4 : Surface de panneaux solaires installés dans la région de Dakar.

Source : Le Picard et Toulemont (2022)

Pour le montrer, l'étude réalise une *analyse économétrique* qui croise la carte des panneaux solaires géolocalisés avec des données socio-économiques (niveau de vie, niveau éducatif, modernité du quartier, de la fiabilité de l'accès à l'électricité, ...) afin « de mener une analyse des déterminants socio-économiques qui expliquent le développement du marché des systèmes solaires décentralisés » (Le Picard et Toulemont, 2022 : 4). Les résultats de l'analyse présentent comme facteurs du déploiement de solutions solaires décentralisées :

- le niveau de vie, en premier lieu : les foyers au niveau de vie aisé sont plus susceptibles de posséder un système solaire tandis que les foyers plus pauvres font plutôt appel aux systèmes pico-solaires ;
- la formation universitaire : les personnes disposant d'une formation universitaire sont plus susceptibles de vivre dans une zone avec une forte pénétration du marché solaire décentralisé ;
- la modernité du quartier : plus le quartier est moderne et raccordé, plus la probabilité que des foyers disposent de systèmes solaires décentralisés est élevée.

Ces résultats sont intéressants, car ils permettent d'ouvrir la réflexion sur le déploiement des systèmes solaires décentralisés à d'autres facteurs que celui de la fiabilité du réseau, qui n'est pas toujours adaptée aux contextes urbains. Cependant, l'étude Ifri présente des limites que l'approche sociotechnique réalisée dans le cadre ce mémoire discute pour permettre une meilleure compréhension du déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar.

Tout d'abord, l'approche socio-économique de l'étude mentionnée réduit le déploiement du solaire photovoltaïque aux ménages. Or, mon travail de terrain permet de confirmer la multiplicité des

domaines d'activités qui installent des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction. Parmi ceux-ci, j'ai pu relever : le résidentiel, les commerces et industries, les services (administration, santé, éducation), les équipements publics (sportifs, d'éclairage public) et l'agriculture. Cette diversité expliquerait la répartition sur le territoire des panneaux solaires observée sur la carte ci-dessus. Les installations sont essentiellement localisées dans le centre-ville et la banlieue (Pikine, Guédiawaye) qui regroupent à la fois les quartiers résidentiels, les équipements et services ainsi que les activités industrielles vers le port. Dans le milieu périurbain, chaque zone détient une fonction principale, ce qui peut expliquer la concentration moins dense des installations que l'on observe sur la carte. En effet, le long de la route nationale reliant Dakar à Rufisque se concentrent les industries, alors que vers le Pôle Urbain de Diamniadio il y a essentiellement des équipements publics administratifs et sportifs (Arena, le stade national, les sphères ministérielles...) et des zones résidentielles, et la commune de Bambilor concentre les activités agricoles et des quartiers résidentiels émergents.

Par ailleurs, réduire aux facteurs socio-économiques les raisons du déploiement ne permet pas d'intégrer la situation du réseau électrique, dont la mission de terrain montre qu'elle joue un rôle dans le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques. Comme indiqué dans le chapitre 2, le prix moyen de l'électricité figure parmi les plus élevés en Afrique alors que le revenu moyen annuel est l'un des plus bas au monde. De plus, le réseau d'électricité conventionnel, malgré une nette amélioration depuis la crise de 2011, enregistre toujours des heures de délestages, soit 0.98 jour de coupures en 2020 contre 100 jours en 2011 (Senelec, 2020). Cette situation conduit certains consommateurs à installer des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction afin principalement de réduire le montant de leur facture, et ensuite d'assurer la continuité d'accès à l'électricité lors des rares coupures. Ces deux raisons sont présentes pour l'ensemble des usagers de systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction dans des domaines d'activités variés. Deux autres motivations, plus rares, sont repérables : celle de réduire l'empreinte carbone par intérêt écologique ou celle d'améliorer le bilan carbone pour des grandes entreprises et industries.

Si la présence du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar n'est plus à prouver, il reste à comprendre comment s'opèrent les processus de ce déploiement. Afin de saisir le processus, je propose d'adopter une approche sociotechnique et territorialisée de l'analyse des configurations de systèmes solaires photovoltaïques.

L'approche sociotechnique s'inscrit dans le champ de la sociologie des techniques qui cherche à « démontrer la construction sociale des objets » (Guillou, 2022 : 28). Autrement dit, l'approche sociotechnique fait le lien entre les objets techniques et les dispositifs sociaux hétérogènes qui se co-construisent (Ulsrud et al., 2011). Dans la continuité du champ, l'anthropologie des techniques analyse

les relations entre les systèmes techniques et leur « environnement », autrement dit leur contexte, afin de montrer que le système technique est à la fois une émanation du contexte dans laquelle il se déploie, et un facteur de changement de ce dernier (Akrich, 1989). Dans le cadre de certaines études en Sciences Techniques et Sociales (STS), la notion de territoire est indissociable de la compréhension des configurations sociotechniques (Jaglin et Verdeil, 2019 ; De Bercegol, 2021 ; Koepke, Monstadt et al., 2021). En effet, les objets techniques et les dispositifs sociaux co-construits sont localisés dans un lieu, autrement dit un territoire, dont les limites sont soit bien définies en tant que limites administratives ou politiques, soit elles sont floues et relèvent du ressenti et de l'appropriation d'habitants d'un lieu (Vanier, 2009). La territorialisation permet de spécifier l'action d'un acteur dans un territoire. (Jérôme Monnet, cours schéma d'acteurs territorialisés, M2 Urbanisme et Expertise Internationale, option villes des Suds, EUP, le 9.03.2022) Ainsi, la territorialisation de l'approche sociotechnique permet de spécifier les interactions entre les objets techniques et les dispositifs sociaux en les situant dans un territoire.

La compréhension du processus de déploiement des systèmes solaires photovoltaïques permettra, dans la conclusion générale, d'analyser comment ces systèmes cohabitent avec le réseau d'électricité conventionnel et contribuent à ses transformations.

II. L'identification des configurations de systèmes solaires photovoltaïques selon la méthode de l'étude de cas : l'inventaire non-exhaustif

Pour identifier des configurations de systèmes solaires photovoltaïques, collecter des données et les analyser, j'ai adopté l'étude de cas comme méthode de recherche. Celle-ci permet une compréhension des processus et personnes qui prennent part à un phénomène (Gagnon, 2012 : 2), tel que le déploiement solaire photovoltaïque d'autoproduction dans le cadre de ce mémoire. En effet, l'étude de cas est une méthode qui est adaptée pour la description (qui, quoi, ou, quand et comment ?) et l'explication (pourquoi ?) d'un processus, essentielles à l'analyse des phénomènes dans leur contexte (Gagnon, 2012 : 2). J'ai réalisé les études de cas à partir d'entretiens semi-directifs et des visites d'installations solaires PV lors de l'enquête de terrain. Cette méthode a permis de réaliser un inventaire non-exhaustif des différentes configurations des systèmes solaires photovoltaïques identifiées lors de l'enquête de terrain afin d'en expliquer le déploiement. Le terme non-exhaustif est très important puisque la méthode d'étude de cas par l'enquête de terrain demande beaucoup de

temps pour assurer une démarche systématique et rassembler suffisamment de cas pour faire un inventaire au panel large. Or, j'ai composé avec le temps que je me suis fixé pour l'enquête de terrain, soit deux mois, ainsi qu'avec les acteurs rencontrés qui disposent plus ou moins de temps et d'informations.

Cette partie présentera la méthodologie mise en place en commençant par la présentation du corpus d'études de cas et l'enquête de terrain, puis le traitement des données.

II.1 Le corpus d'études de cas et l'enquête de terrain

Au cours de l'étude de terrain, j'ai recueilli des entretiens pour dix études de cas dans des secteurs de consommation d'électricité variés : résidentiel, commercial, services (santé, éducation, administration), équipements publics (sportifs). Par ailleurs, les études de cas sont réparties sur l'ensemble du territoire de la région de Dakar représentant les trois zones aux configurations urbaines variées : centre-ville, banlieue, périurbaine.

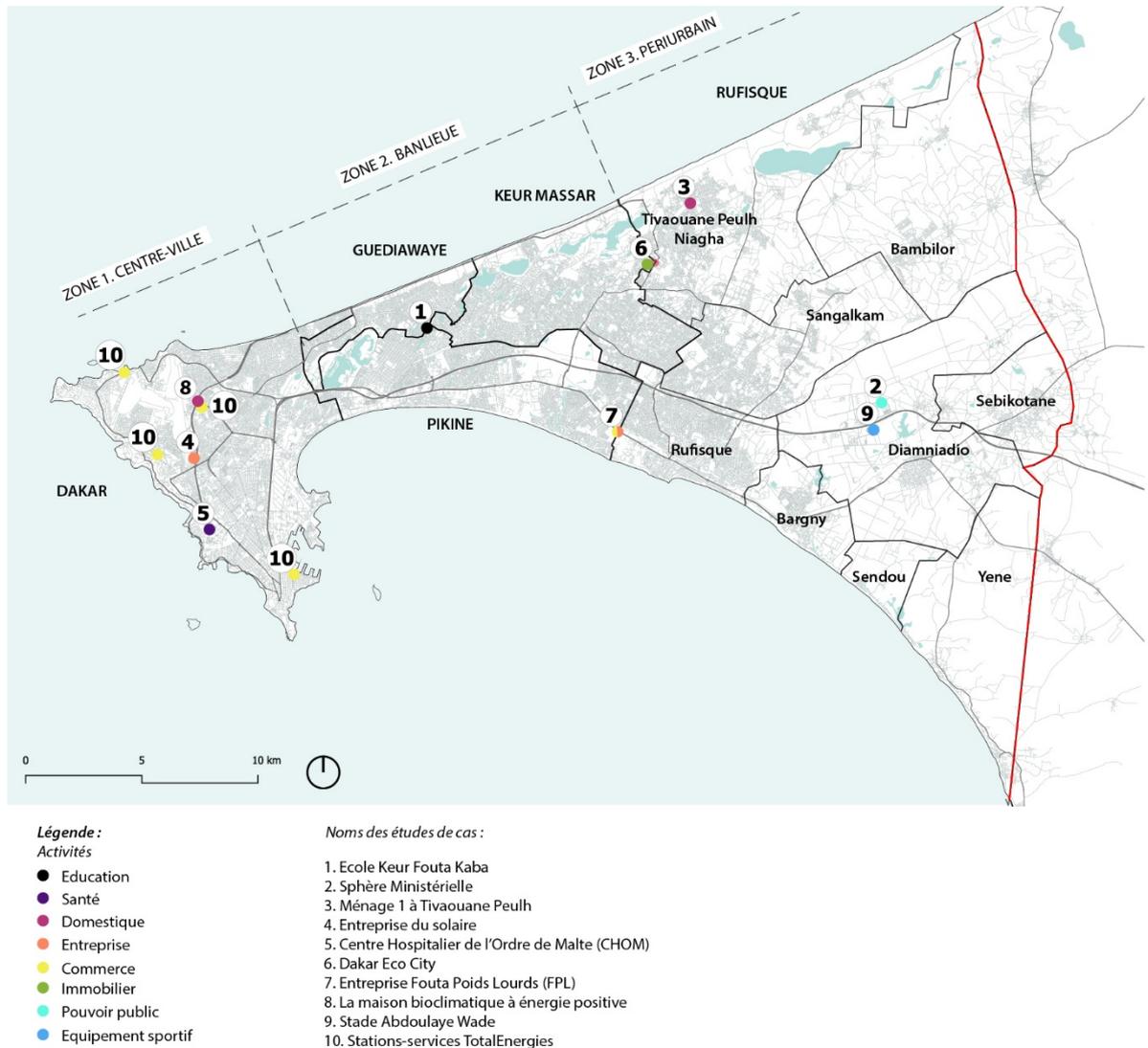
Malheureusement, je n'ai pas pu interroger ni visiter des installations solaires photovoltaïques dans les secteurs de l'industrie et de l'agriculture, malgré leur présence dans la région de Dakar. La mini centrale solaire de l'industrie agro-alimentaire SENICO faisait partie des études de cas que je souhaitais intégrer, mais il m'a été impossible d'obtenir un rendez-vous pour un entretien. Le corpus a donc des limites, que j'ai partiellement compensées par des entretiens semi-directifs complémentaires, notamment avec la ville de Dakar, l'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) et la GIZ, ainsi que par des lectures (articles et rapports), qui permettent d'identifier, sans entrer dans le détail, d'autres exemples de configuration de systèmes solaires photovoltaïques. Ces exemples permettront d'ouvrir, dans la dernière partie du chapitre, sur les éventuelles perspectives d'évolution du déploiement du solaire.

Cette partie a pour objectif de présenter les dix études de cas retenues pour l'analyse, puis la méthode de collecte de données.

II.1. a) Les études de cas des installations de systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction

L'identification des études de cas a été explicitée dans la méthodologie du chapitre 1. Lors de l'enquête de terrain, des entretiens ont été recueillis pour dix installations solaires photovoltaïques aux systèmes techniques et secteurs d'activités différents réparties dans les trois zones de la région de Dakar (le centre-ville, la banlieue et le périurbain) comme le montre la carte ci-dessous. Parmi ces installations solaires, j'ai pu faire une visite guidée de huit d'entre-elles et observer par déambulation

les deux restantes. Le tableau, ci-dessous, permet de faire le recensement des études de cas dans l'ordre chronologique des visites et des entretiens selon les caractéristiques du secteur d'activité, le lieu, la zone et une courte description de l'activité.



Carte 5 : Diversité des activités disposant de systèmes solaires PV.

Tomy Goulding (2022) – Fond de carte : OpenStreetMap (2023) & GéoSSB de l'ANSD (2023) – Source : Terrain (2022)

N°	Secteur d'activité	Nom	Lieu	Zone (centre-ville, banlieue, périurbaine)	Activité	Visite guidée du solaire PV
1	Education	L'école Keur Fatou Kaba	Médina Gounass, Guédiawaye	Banlieue	École élémentaire de 310 élèves	Oui
2	Pouvoir public	Sphère Ministerielle 1	Pôle Urbain de Diamniadio	Périurbaine	Rassemble les fonctionnaires des ministères	Oui
3	Domestique	Ménage 1	Tivaouane Peuhl (Nord, sortie)	Périurbaine	Famille 2 parents + 7 enfants	Oui
4	Entreprise	Entreprise du solaire	Sacré cœur 3, Mermoz, Dakar	Centre-ville	Les bureaux de l'entreprise d'installation solaire	Oui
5	Santé	Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM)	Fann, Dakar	Centre-ville	Institut d'orthopédie et de léprologie	Oui
6	Immobilier	Dakar Eco City	Tivaouane Peuhl (Sud, entrée)	Périurbaine	Cité « écologique » de 236 villas sur 7ha. 3/5 construit	Non
7	Commerce / Entreprise	Fouta Poids Lourds	RN1, Mbao, Pikine	Banlieue	Vente de pièces détachées pour les poids lourds	Oui, participation à l'installation en cours
8	Domestique	La maison bioclimatique à énergie positive	Liberté 6, Dakar	Centre-ville	Famille 2 parents + 2 enfants	Oui
9	Équipement sportif	Stade Abdoulaye Wade	Pôle Urbain de Diamniadio	Périurbaine	Stade Olympique d'une capacité de 50 000 pax	Oui
10	Commerce	Stations-services Total Energies	Guédiawaye, Ngor, Ouakam, VDN Foire, Plateau	Centre-ville et banlieue	Vente d'essence, services de nettoyage et alimentation générale	Non

Tableau 3 : Recensement des études de cas pour l'analyse du processus de déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction. Source : Enquête de terrain juin-juillet 2022.

II.1.b) Les trois modes de collecte de données pour les études de cas : les entretiens semi-directifs, les observations in situ et la recherche bibliographique

Pour chaque étude de cas, des données sur l'usage de l'électricité (heure d'utilisation, équipements, mode de paiement...), le système solaire photovoltaïque (technique, coûts, bénéfices, pertes, dysfonctionnement, raisons...) et le territoire d'implantation (morphologie urbaine, enjeux urbains, situation service électrique...) devaient être récoltées. Un entretien semi-directif systématique a été mené avec des consommateurs ou des chargés du projet d'installation solaire PV. Dans certains cas, des entretiens complémentaires ont été menés avec des acteurs de l'aménagement urbain, tels que les collectivités locales, pour saisir la configuration urbaine du territoire. Ainsi, trois guides d'entretiens ont été réalisés selon les types d'acteurs interrogés pour les études de cas : le consommateur, la collectivité territoriale, le technicien (coef annexe 1). Par ailleurs, l'observation in situ accompagnée de photographies a également été employée pour collecter des informations sur le territoire ainsi que sur le système solaire. D'où l'importance des visites accompagnées d'une déambulation dans le quartier. Finalement, les recherches bibliographiques ont permis de collecter des données complémentaires concernant les territoires ainsi que de valider le fonctionnement du système solaire photovoltaïque.

Les études de cas impliquent par nature différents acteurs avec leur histoire propre, leurs disponibilités, leurs intérêts, leurs connaissances. Elles suscitent donc une combinaison de modes de collecte singuliers à chacune afin de respecter autant que possible la démarche systémique qu'impose la méthode de recherche par étude de cas. Par exemple, dans le cadre de l'étude de cas n°1 de l'école élémentaire, la disponibilité du directeur de l'école, sa bienveillance et ses relations avec les collectivités locales m'ont permis de passer la journée entière à l'école, de rendre visite au responsable du service d'urbanisme de la mairie juste en face de l'école, et de prendre le temps de faire des observations in situ du quartier. À l'opposé, pour l'étude de cas avec le ménage 1, la mère de famille, qui ne parlait que wolof, avait seulement trente minutes à nous accorder. Afin de rester la plus transparente possible sans pour autant raconter l'histoire derrière chaque collecte de données, le tableau ci-dessous permet de relever pour chaque étude de cas les modes de collecte des données employés (entretiens semi-directifs, observations in situ, recherches bibliographiques) pour quel type de données (usage de l'électricité, système photovoltaïque, territoire d'implantation). Pour les entretiens réalisés, le tableau précise les acteurs et le type de données collectées.

N°	Secteur d'activité	Nom	Acteurs interviewés	Type de données récolté	Observation in-situ	Recherches bibliographiques
1	Education	L'école Keur Fatou Kaba	Association Keur Fatou Kaba Directeur de l'école Responsable du service d'urbanisme de la mairie	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Territoire • Documents : devis 	Morphologie et services électriques du quartier // fonctionnement et usage de l'électricité // branchement et composante du système solaire	Non
2	Pouvoir public	Sphère Ministérielle 1	Conseiller technique en charge des affaires foncières de la DGPU Responsable du service monitoring du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Territoire • Documents : plans d'aménagement, réseau VRD, présentation du projet 	Morphologie et services électriques du quartier // composantes du système solaire // fonctionnement du monitoring	Oui : territoire
3	Domestique	Ménage 1	Propriétaire, mère de famille	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV 	Morphologie et services électriques du quartier // composantes du système solaire	Oui, pour collecter des données sur le territoire
4	Entreprise	Entreprise du solaire	Directeur de l'entreprise	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV 	Morphologie et services électriques du quartier // composantes du système solaire	Oui, pour collecter des données sur le territoire
5	Santé	Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM)	Responsable technique du centre hospitalier	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Documents : devis + rapport d'installation de l'entreprise solaire 	Morphologie et services électriques du quartier // composantes du système solaire	Oui, pour collecter des données sur le territoire

6	Immobilier	Dakar Eco City	Responsable commercial du projet immobilier	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Documents : brochures du projet et des kits solaires 	Morphologie urbaine (observation très rapide en transport en commun)	Oui, pour collecter des données sur le territoire
7	Commerce / Entreprise	Fouta Poids Lourds	Chef de projet solaire Chef d'équipe techniciens MTBT	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Documents : Excel du dimensionnement du système 	Participation active sur le chantier // Morphologie et services électriques du quartier// fonctionnement et usage de l'électricité// branchement et composante du système solaire	Oui, pour collecter des données sur le territoire
8	Domestique	La maison bioclimatique à énergie positive	Propriétaire, père de famille	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Territoire 	Morphologie et services électriques du quartier// fonctionnement et usage de l'électricité// branchement, composante et monitoring du système solaire,	Oui
9	Équipement sportif	Stade Abdoulaye Wade	Ingénieur chargé du projet du Stade à la SOGIP	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV • Territoire 	Stade Olympique d'une capacité de 50 000 pax	Oui
10	Commerce	Stations-services Total Energies	Chargé B2B des énergies nouvelles, TotalEnergies	<ul style="list-style-type: none"> • Usage de l'électricité • Système solaire PV 	Non	Non

Tableau 4 : Mode de collecte de données selon les études de cas à partir de l'enquête de terrain juin-juillet 2022.

II.2 Le traitement des données des études de cas

Dans le cadre de ce mémoire, le traitement des données s'appuie sur les quatre activités proposées par le guide de réalisation des études de cas présenté par Yves-Chantal Gagnon (2012) dans l'introduction de son ouvrage *L'étude de cas comme méthode de recherche*.

ÉTAPE 6 – LE TRAITEMENT DES DONNÉES	
Objectif : Effectuer un examen systématique fertile des données recueillies.	
ACTIVITÉS	OBJECTIFS
1. Épurer les données recueillies.	Assurer que les données sont pertinentes, dans un format approprié et que la source et la façon dont elles ont été recueillies sont connues.
2. Codifier les données recueillies.	Organiser et trier les données pour faciliter leur analyse.
3. Analyser les données codifiées.	Faire parler les données, en faisant émerger toutes les tendances qu'elles recèlent.
4. Rédiger chaque étude de cas.	Organiser en récit les données qui soutiennent les tendances dégagées dans l'analyse.

Figure 1 : Les étapes du traitement des données dans la méthode de recherche par l'étude de cas proposées par Yves-Chantal Gagnon. *Source : Gagnon, 2012 : 8*

Tout d'abord, la multiplicité des modes de collecte et l'éparpillement des données nécessitent de mettre en place un moyen de regrouper et d'épurer les données recueillies. Pour cela, j'ai choisi de réaliser une fiche d'identité par étude de cas qui permet de regrouper et de trier les informations nécessaires à l'analyse (voir annexe 2). Cependant, les fiches d'identité ne permettent pas une lecture transversale assurant la compréhension des facteurs sociotechniques et spatiaux du déploiement des systèmes solaires PV. C'est pourquoi une matrice d'analyse de ces facteurs a été développée. Elle consiste en un tableau Excel divisé en cinq familles de facteurs par étude de cas : identité de l'étude de cas (nom, secteur d'activité, lieu, zone, activité), accès à l'électricité (usage, consommation, raccordement/abonnement, raisons installation du PV), système solaire photovoltaïque (type installation, puissance installée, production par jour, monitoring, dysfonctionnement, bénéfices, pertes), territoire (configuration urbaine, paysage urbain, situation du réseau électrique), profil socio-

économique, seulement dans le cadre des études de cas des ménages (modèle famille, profession, niveau scolaire, enfants à l'école, femme de maison, transport). Afin de remplir la matrice, il est nécessaire de réaliser un premier travail de catégorisation par groupe de mots-clés à partir des informations remplies dans les fiches d'identité (les mots en bleu dans les fiches). Les mots clés sont ensuite rentrés dans la matrice. Ce travail de lecture par catégorie qu'offre la matrice permet, dans un troisième temps, l'analyse par comparaison des études de cas. J'ai choisi, comme point de départ pour l'analyse, de regrouper les études de cas qui avaient la même installation solaire pour comparer les facteurs sociaux, techniques et territoriaux qui variaient. Cela a permis, dans un dernier et quatrième temps, d'organiser le récit de l'enquête qualitative, présenté dans la partie suivante.

III. Description et récit des études de cas

Les installations solaires visitées au cours de l'enquête de terrain étaient toutes accompagnées du réseau conventionnel de la Senelec. Cela permet aux consommateurs de produire leur propre électricité la journée tout en s'approvisionnant au réseau si besoin. Dans certains cas, cela permet au système solaire de se passer des batteries de stockage qui coûtent cher, tout en ayant une durée de vie limitée et des impacts environnementaux non négligeables. Ainsi, j'ai relevé **deux catégories de systèmes solaires photovoltaïques (PV)** :

- Injection indirecte de l'énergie solaire dans le réseau électrique du bâtiment en passant par le stockage dans des batteries. On parle alors d'un **système solaire avec stockage** ;
- Injection directe de l'énergie solaire dans le réseau électrique du bâtiment sans nécessairement passer par le stockage de l'énergie dans des batteries, autrement dit l'énergie produite est directement consommée, on parle alors de **système solaire avec autoconsommation directe**.

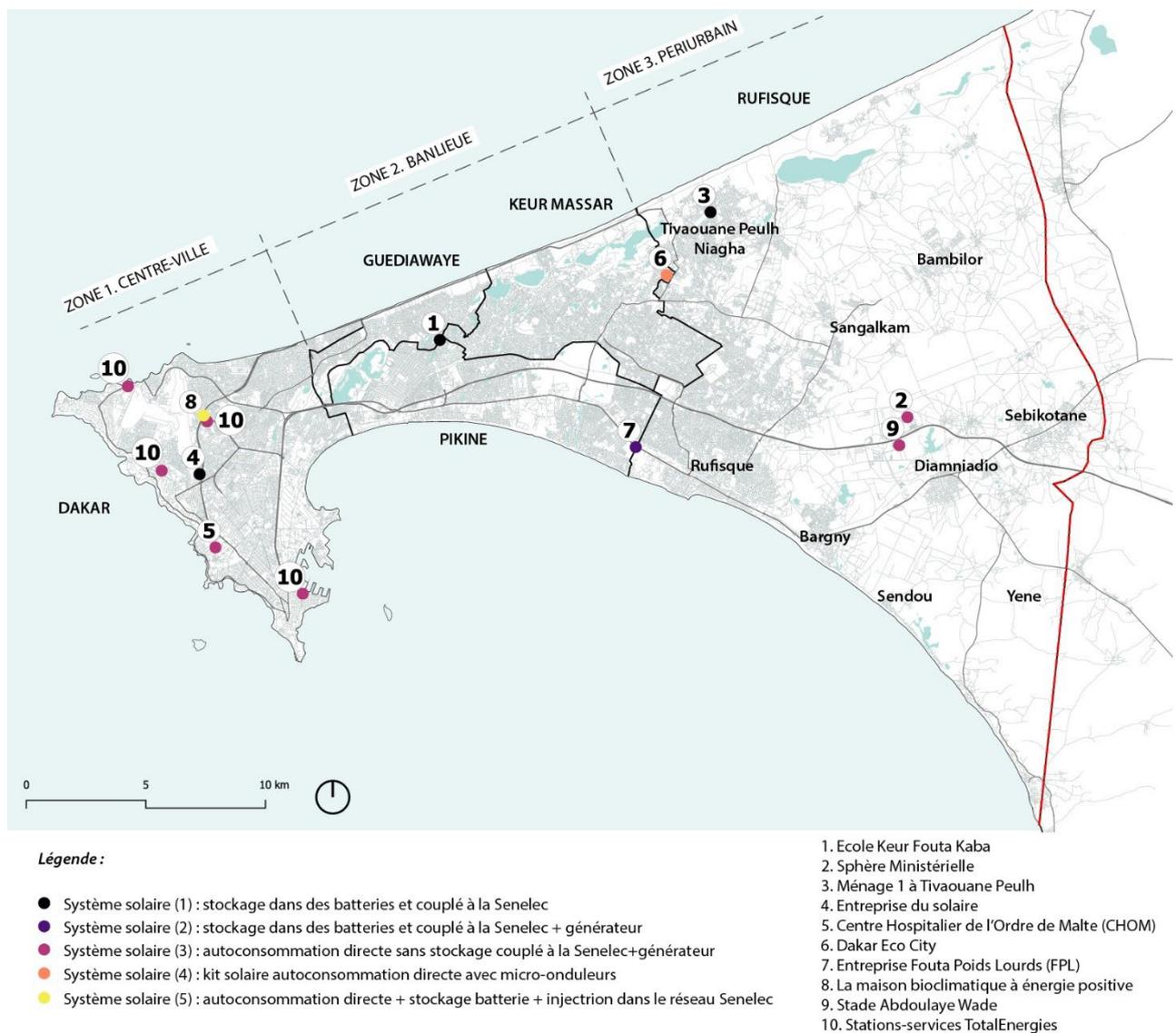
Au sein de ces deux catégories, une multiplicité de configurations techniques des systèmes solaires PV se développe dans la région de Dakar. Parmi les études de cas, il existe **six types d'installation de systèmes solaires PV** en fonction de la catégorie du système (avec ou sans stockage), de son fonctionnement (injection directe dans le bâtiment, indirecte par batterie, injection surplus, monitoring), de la combinaison avec d'autres solutions de fourniture d'énergie (Senelec, groupe électrogène, chauffe-eau), ainsi que des équipements solaires employés (onduleur, micro-onduleur, ...). Le tableau ci-dessous présente les familles de configurations des systèmes solaires PV en fonction de leur catégorie et des études de cas.

Catégorie de systèmes solaires PV	Type d'installation des systèmes solaires PV	Études de cas
Système solaire avec stockage	<p>(1) Stockage batteries + Senelec + inverseur manuel :</p> <p>Système solaire avec stockage de l'énergie solaire dans des batteries qui injectent dans le réseau du bâtiment. L'inverseur manuel permet de basculer sur le réseau de la Senelec raccordé au bâtiment.</p>	<p>N°1. Ecole Keur Fouta Kaba</p> <p>N°3. Ménage 1 à Tivaouane Peulh</p> <p>N°4. Entreprise du solaire</p>
	<p>(2) Stockage batteries + Senelec + générateur + inverseur manuel :</p> <p>Système solaire PV avec stockage de l'énergie solaire dans des batteries qui injectent dans le réseau du bâtiment. L'inverseur manuel permet de basculer sur le réseau de la Senelec raccordé au bâtiment. Un groupe électrogène permet d'alimenter automatiquement le bâtiment en cas de coupure de la Senelec (Système automatique Senelec/générateur).</p>	<p>N°7 Entreprise Fouta Poids Lourds (FPL)</p>
Système solaire avec autoconsommation directe	<p>(3) Injection directe sans stockage + Senelec + générateur + Monitoring :</p> <p>Système solaire qui injecte directement dans le réseau électrique du bâtiment l'énergie produite par les panneaux solaires. Ce système n'a pas de système de stockage, mais nécessite un raccordement à la Senelec pour assurer la continuité de fourniture d'électricité. Un groupe électrogène permet d'alimenter automatiquement le bâtiment en cas de coupure de la Senelec (Système automatique Senelec/générateur). Ce système est complètement automatisé ce qui permet le</p>	<p>N°2 Sphère Ministérielle</p> <p>N°5 Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM)</p> <p>N°9 Stade Abdoulaye Wade</p> <p>N°10 Stations-services TotalEnergies</p>

	monitoring de la consommation selon l'origine de l'énergie (solaire ou Senelec).	
	<p>(4) Kit solaire additionnel Injection directe sans stockage + Senelec : KIT 1 avec micro-onduleur</p> <p>Formule de kits qui additionnent les équipements solaires nécessaires en fonction de la consommation d'électricité. Dans l'ensemble des kits proposés, l'énergie solaire produite est directement injectée dans le réseau électrique du bâtiment. Ce système n'a aucun système de stockage, mais nécessite un raccordement à la Senelec pour assurer la continuité de fourniture d'électricité. C'est un système automatisé : lorsqu'il y a une coupure de la Senelec le système solaire est également coupé. Un système de monitoring sur clé USB est prévu à partir du Kit 2.</p>	N°6 Dakar Eco City
	<p>(5) Injection directe + stockage + injection du surplus dans réseau de la Senelec + générateur + Monitoring :</p> <p>Système solaire qui injecte directement dans le réseau électrique du bâtiment l'énergie produite par les panneaux solaires. Le surplus d'énergie solaire produite dans la journée est soit stockée dans des batteries, soit, lorsque les batteries sont rechargées, le surplus est injecté dans le réseau de la Senelec qui le restitue le soir. Ainsi, la continuité de la fourniture d'électricité est assurée. Un système d'application de monitoring relié au système permet le suivi de la consommation d'énergie.</p>	N°8 La maison bioclimatique à énergie positive

Tableau 5 : Les six types d'installations des systèmes solaires PV relevées parmi les onze études de cas.

Cette partie présentera plus en détail, à partir des récits des études cas, les facteurs sociaux (secteur d'activité, fonctionnement de l'activité, usages et usagers de l'électricité...), techniques (disposition, utilisation et coût des équipements solaires, configuration bâtiment...) et territoriaux (configuration urbaine, occupation de sol, acteurs de l'urbanisation, service électrique...) qui constituent les configurations socio-techniques territorialisées pour chaque type d'installation de système solaire PV. L'objectif est de démontrer que le déploiement des systèmes solaires PV est un processus territorialisé, dont les ressorts sont multi-acteurs, multi-factoriels et concernent différents secteurs d'activités.



Carte 6 : Diversité des systèmes solaires dans la région de Dakar.

Tomy Goulding (2022) – Fond de carte : OpenStreetMap (2023) & GéoSSB de l'ANSD (2023) – Source : Terrain (2022)

III.1. Système solaire PV avec stockage branché à un dispositif manuel de basculement vers le réseau de la Senelec

Le système solaire PV avec stockage de l'énergie produite dans des batteries pour être injectée dans le réseau du bâtiment est le système traditionnel, notamment employé en milieu rural dans des zones non-desservies par le réseau conventionnel. L'énergie solaire produite par les panneaux solaires passe par un régulateur qui permet de contrôler la charge et de limiter la décharge des batteries. Il joue un rôle central dans la durée de vie de la batterie. L'énergie solaire alors stockée dans les batteries est transférée dans l'onduleur qui permet de convertir le courant continu de l'énergie solaire en courant alternatif pour l'injecter dans le réseau électrique du bâtiment grâce au tableau électrique de la maison, autrement appelé « coffret des modulaires » par les techniciens sénégalais. Étant donné que les études de cas se situent en milieu urbain en présence du réseau de la Senelec, le système solaire PV dispose d'un inverseur manuel qui permet de basculer manuellement entre le système d'injection d'électricité par le système solaire PV et celui de la Senelec. L'onduleur se branche donc à l'inverseur. Le schéma ci-dessous permet d'illustrer le fonctionnement de ce système solaire PV.

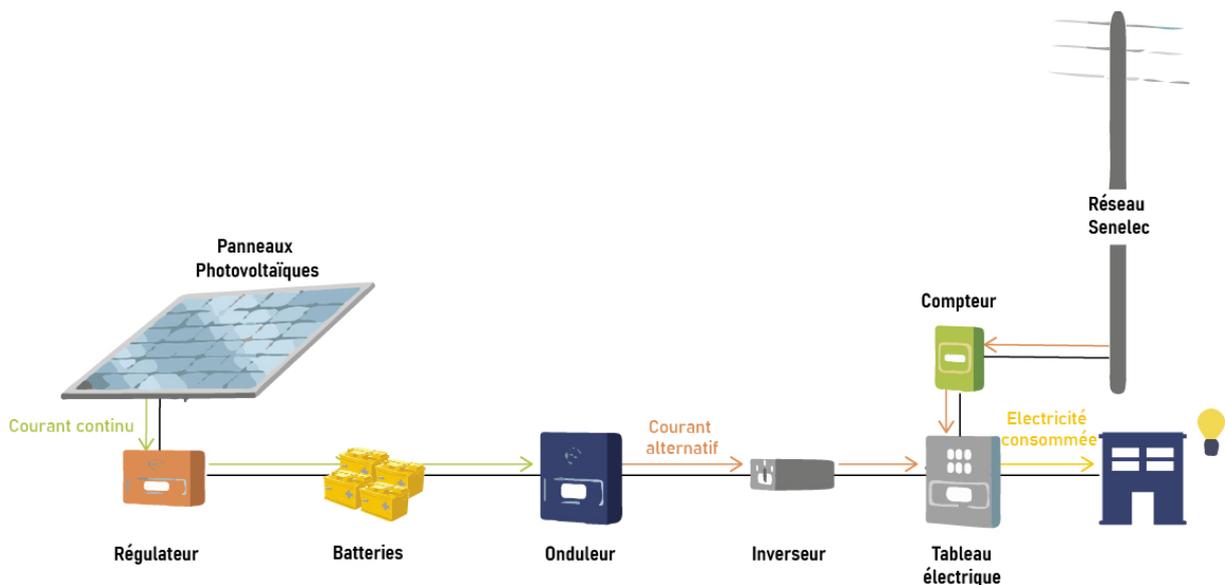


Schéma 3 : Principe de fonctionnement du système solaire avec stockage de l'énergie solaire dans des batteries branché à un dispositif de basculement manuel (inverseur) vers le réseau de la Senelec.

Source : production personnelle inspirée du schéma sur : <https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/>

Parmi les études de cas, trois disposent de ce type d'installation solaire PV. Il s'agit de l'école Keur Fouta Kaba à Médina Gounass à Guédiawaye dans la banlieue, de la maison du ménage 1 à Tivaouane Peulh dans le milieu périurbain, ainsi que de l'entreprise du solaire dans le quartier de Sacré-Cœur III à Mermoz dans le centre-ville. Une autre étude de cas, l'entreprise Fouta Poids Lourds à Mbaou

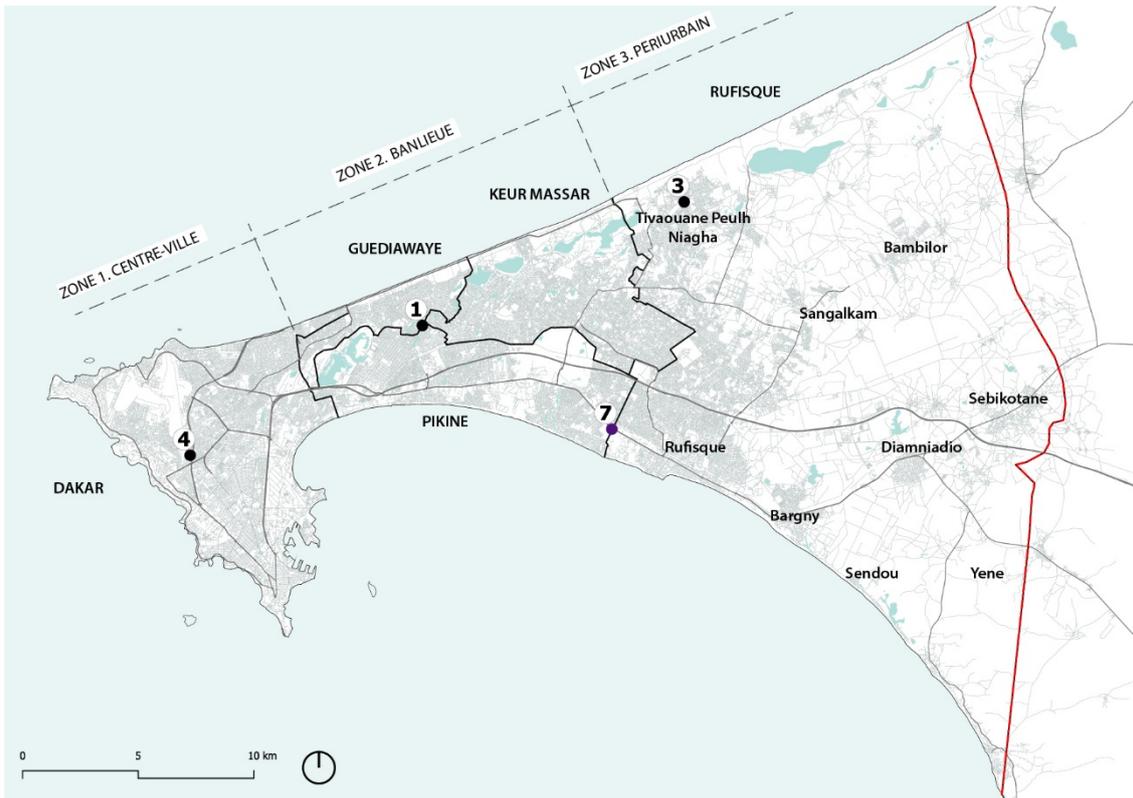
entre la banlieue et le milieu périurbain, fait appel à ce système solaire avec stockage tout en disposant d'un générateur de secours en cas de coupure de la Senelec, qui modifie légèrement le schéma de fonctionnement du système solaire. Les études de cas sont réparties dans des territoires différents, avec des configurations urbaines et des paysages propres à chacune.

En plus de se situer dans trois espaces distincts, les études de cas concernent des secteurs d'activités différents (éducation, résidentiel, entreprise). L'école Keur Fatou Kaba, située dans un quartier populaire irrégulier, est une école élémentaire qui accueille 310 élèves du quartier dont les parents souhaitent une bonne éducation pour leurs enfants, mais qui n'ont pas les moyens de les envoyer à l'école privée. Les enfants sont répartis dans neuf classes allant du CI (Classe intermédiaire) au CM2, soit environ trente à quarante élèves par classes. Huit enseignantes, deux enseignants, deux femmes chargées de l'entretien et une personne en service civique pour les cours d'informatique y travaillent. La maison du village de Tivaouane Peulh abrite depuis 2016 une famille de sept enfants avec leurs deux parents, le père est un imam, la mère quant à elle s'occupe des enfants.

L'entreprise spécialisée dans le solaire toutes applications (off-grid, on-grid, chauffe-eau solaire, pompe solaire) est la plus ancienne à Dakar et dans l'Afrique de l'Ouest. Elle est présente également en Guinée (dix à douze employés permanents) et au Mali (six employés permanents). Au Sénégal, il y a vingt-cinq employés et quinze intérimaires.

L'entreprise Fouta Poids Lourds est le seul commerce de Dakar qui vend des pièces détachées adaptables à toutes marques de véhicules poids lourds.

Malgré leurs différentes activités et localités, les études de cas ont fait appel au même type d'installation solaire PV selon des facteurs sociaux, techniques et territoriaux propres qui sont présentés à travers les récits suivants.



Légende :

- Système solaire (4) : stockage dans des batteries et couplé à la Senelec
- Système solaire (2) : stockage dans des batteries et couplé à la Senelec + générateur



1. Ecole Keur Fouta Kaba, à Médina Gounass, Guédiawaye (Auteur, 2022)



3. Ménage 1 à Tivaouane Peulh (Auteur, 2022)



4. Entreprise du solaire, à Sacré Coeur 3, Mermoz, Dakar (Auteur, 2022)



7. Entreprise Fouta Poids Lourds, Mbao, Pikine (Auteur, 2022)

Figure 2. Plan de situation des études de cas avec un système solaire PV avec stockage branché à un dispositif manuel de basculement vers le réseau de la Senelec.

Carte : Tomy Goulding (2022) – Fond de carte : OpenStreetMap (2023) & GéoSSB de l'ANSD (2023) –

Source : Terrain (2022)

III.1.a) Le récit du cas de l'École Keur Fatou Kaba : « avoir de l'électricité tout le temps à moindre coût », enfin presque ...

L'école élémentaire se situe dans le quartier irrégulier de Médina Gounass apparu à partir des années 60 avec l'arrivée des habitants dans les communes de Pikine et Guédiawaye. Le quartier irrégulier aux rues étroites longées essentiellement par des habitations basses en parpaing et toiture de tôle construites « spontanément », forme un tissu urbain à structure organique qui représente un défi pour l'accès aux services urbains. Notamment, le réseau d'électricité de la Senelec dont les coupures dans le quartier durent en moyenne 1h, le matin ou l'après-midi, dix jours par mois, et s'intensifient lors de la saison chaude. La situation instable du service d'électricité empêche donc « le bon déroulement » de l'apprentissage des élèves (Directeur de l'école Keur Fatou Kaba, 30.05.2022). C'est pourquoi le directeur de l'école a décidé d'installer un système solaire PV afin d'assurer la continuité de l'accès à l'électricité pour « bien travailler ». Par exemple, en cas de coupure de la Senelec, le système solaire permet d'assurer le fonctionnement de la photocopieuse et celui du projecteur lorsque les enseignant.e.s ont prévu de faire cours avec un film, et le bon déroulement des cours d'informatique. De plus, l'électricité coûte cher surtout pour l'école qui s'auto-subventionne à partir de la contribution mensuelle des parents qui ont les moyens, à hauteur de 2500 à 3000 FCFA/mois (environ 7€/mois) en fonction de leur situation financière. Les parents aux revenus trop bas contribuent en nature (pêche, récolte de légumes...). Le directeur pensait donc économiser sur sa facture bimensuelle d'environ 50 000 FCFA grâce au solaire PV, qu'il considérait comme une solution pour « avoir de l'électricité tout le temps à moindre coût ». L'entreprise a installé un système solaire de 2,5 kWc avec 10 panneaux photovoltaïques 250W/24V, 9 batteries gel 100 Ah, 1 onduleur de 3,5 KVA, 1 régulateur MPPT 60 A et un inverseur manuel ainsi qu'un surpresseur d'eau (dispositif pour pomper l'eau du réservoir d'eau et la distribuer dans le bâtiment). La puissance installée de 2,5kWc doit permettre d'alimenter l'ensemble des équipements : 12 lampes de 18w pendant 6h ; 15 ordinateurs 60w /4h, 1 imprimante 25w/1h, 1 photocopieuse 350w/1h, 3 ventilateurs de 60w/5h, 1 modem de 20w/4H et 1 photocopieuse Canon 1500W/ 20mn en plus du surpresseur 50w/220v. Cette installation réalisée en 2017 a fonctionné pendant 1 an. Après une faible utilisation pendant les trois mois d'été des dysfonctionnements sont apparus malgré plusieurs interventions de l'entreprise installatrice. Cela fait maintenant un an que l'école n'utilise plus le système solaire. Toutefois, le directeur de l'école a fait appel à une nouvelle entreprise qui a diagnostiqué le problème venant d'un surdimensionnement du surpresseur qui fait disjoncter le système solaire. Le directeur envisage donc de faire réparer le système lorsque l'école disposera suffisamment de moyens à nouveau. En effet, lorsque le système solaire marchait, il permettait des enseignements sur des plages de temps plus

larges. Les élèves pouvaient apprendre à tout moment jusqu'au soir tout en payant moins cher l'électricité du réseau. Le directeur payait entre 10 000 et 7 000 FCFA la facture d'électricité au lieu de 50 000 – 60 000 FCFA, soit environ six fois moins cher. Toutefois, le système solaire dispose d'inconvénients tels que la difficulté d'accéder aux panneaux solaires pour la maintenance¹². Par ailleurs, les batteries ne sont pas de qualité ce qui a un impact environnemental. Finalement, l'installation du système solaire implique un financement important, dans le cas de l'école au total 7 035 160 CFA en prenant en compte l'installation des équipements solaires (4 993 760 FCFA), de la



Figure 3 : Système solaire PV de l'école Keur Fatou Kaba, Médina Gounass, Guédiawaye (Auteur, mai 2022)

plomberie (790 600 FCFA) et du réservoir d'eau (1 250 800 FCFA), pour une courte longévité du système solaire.

III.1.b) Le récit du cas de la maison à Tivaouane Peulh : « accéder à l'électricité en attendant l'arrivée du réseau de la Senelec »

Le ménage a emménagé en 2016 dans cette maison, en R+1 avec une toiture terrasse et des balcons aux chambres à l'étage et les pièces communes en RDC, qui est construite dans l'extension du village Tivaouane Peulh. Encore un hameau dans les années 1970, puis érigé en communauté rurale en 2011 par décret, Tivaouane Peulh est devenue une ville qui ne cesse de s'étendre et de grignoter les terres maraîchères, du fait de la périurbanisation. Différents faits contribuent à l'urbanisation de Tivaouane Peulh. Tout d'abord, la réalisation d'importantes infrastructures, telles que le prolongement de la voie de dégagement N (VDN) qui relie le centre-ville jusqu'à Tivaouane Peulh et les projets de

¹² Je confirme pour avoir essayé l'échelle, j'ai eu peur de m'aventurer plus loin en voyant la toiture en tôle sans aucun appui stable, alors je n'imagine même pas ce que ça doit être avec un seau à la main.

pôles urbains de Diamniadio et du Lac Rose à proximité, facilite l'accès et l'attractivité du village. De plus, la saturation et la raréfaction du foncier à Dakar et dans la banlieue, associée à une augmentation excessive du prix du foncier, poussent les habitants non-proprétaires vers les zones périurbaines qui disposent de terrains constructibles à coûts abordables, notamment à Tivaouane Peulh l'une des plus grandes réserves foncières de la capitale (Ngom, 2013). Par ailleurs, l'absence de politique de rationalisation de l'espace et de plan d'occupation de l'espace favorise l'extension du village selon une logique d'occupation spontanée (Ngom, 2013). En effet, les terres maraîchères, rachetées par des particuliers ou promoteurs, sont divisées en parcelles (phénomène de bornage des terres agricoles). Soit les parcelles sont vendues par les promoteurs à des particuliers qui y construisent des villas ou des immeubles R+2. Il arrive que des particuliers, désespérant de trouver un terrain, achètent sans même visiter la parcelle qui peut se trouver en zone inondable (Lahat Ndiaye, doctorant sociologie UCAD, visite de terrain juin 2022). Soit le promoteur poursuit le projet immobilier et construit un lotissement, dont il revend les villas par la suite. L'un des défis de la périurbanisation spontanée est la difficulté du déploiement des infrastructures des services urbains en réseau (eau, assainissement, électricité) et de construction des équipements nécessaires à la vie quotidienne des habitants. En 2016, lorsque le ménage emménage, il n'y avait pas le réseau de la Senelec dans la commune. Le ménage décide donc d'installer du solaire photovoltaïque, afin d'accéder à l'électricité en attendant l'arrivée du réseau pour alimenter les équipements de la maison (climatisation, le frigo, les ventilateurs, la télévision, le fer à repasser) et les dix ampoules. La mère de famille, en charge de l'installation, a fait appel à un particulier électricien spécialisé dans le solaire qui a installé huit panneaux PV avec six batteries qui injectaient l'électricité dans le système électrique de la maison¹³. Le système solaire a coûté au total 3 millions FCFA.

À l'arrivée du réseau, en 2018 suite à une demande collective l'année précédente, le ménage combinait les deux systèmes : l'énergie solaire le jour et l'électricité du réseau, la nuit, grâce à l'inverseur manuel. Cependant, depuis que les batteries ont besoin d'être remplacées, il y a au moins un an de cela, le ménage a cessé d'utiliser l'énergie solaire. Actuellement, leur situation financière ne leur permet pas de remplacer les batteries, le ménage se satisfait donc du réseau instable de la Senelec avec quelques minutes par jour de coupures pour 5000 FCFA/2jours quand il fait chaud et 5000 FCFA/semaine quand il fait froid. Le ménage dispose d'un compteur à prépaiement Woyofal comme l'ensemble des maisons dans le quartier. Tout comme eux, d'autres ménages dans le quartier ont fait appel au solaire PV pour accéder à l'électricité. Certains continuent à utiliser le solaire PV tandis que d'autres ont arrêté avec l'arrivée de la Senelec.

¹³ Lors de l'entretien, elle ne se souvenait pas des détails techniques et n'avait pas de documents à disposition.

Dans ce cas, le système solaire PV avec stockage a permis au ménage d'accéder à l'électricité dans une zone hors-réseau. Cependant, la longévité des batteries et leurs coûts élevés ne permettent pas l'utilisation à long terme.

III.1.c) Le récit du cas de l'entreprise du solaire : « réduire la facture d'électricité tout en assurant la continuité du travail de l'entreprise »

L'entreprise se situe dans le quartier Sacré cœur III, de la commune de Mermoz. C'est un quartier principalement à usage d'habitation construit entre 1983-1991 (Dicker, 2016), l'une des dernières phases d'extension du centre-ville au nord. Cependant, avec la saturation de Dakar plateau, les services et les commerces investissent le quartier Sacré Cœur III, notamment le long de la VDN qui facilite l'accès aux entreprises comme dans ce cas d'étude. Le quartier est bien desservi en électricité avec des coupures de 5h à 6h par an seulement, soit l'équivalent des coupures mensuelles dans le quartier de l'école Keur Fatou Kaba. Ainsi, le directeur de l'entreprise a choisi de faire appel au système solaire PV, en premier lieu afin de réduire les coûts élevés de la facture d'électricité qui s'établit à 30 000 FCFA/bimensuel. En deuxième lieu, le système solaire PV a été conçu pour une autonomie de 8h afin d'assurer la continuité de l'accès à l'électricité essentielle pour la poursuite des activités de l'entreprise lors des rares temps d'interruption. Un groupe électrogène aurait pu faire l'affaire, cependant le directeur a préféré installer un système solaire PV pour des questions de nuisances sonores et économiques. L'installation solaire de 3kWc (10 panneaux solaires PV de 300w, un onduleur de 48V/230V/6K et 24 batteries) sur la toiture de l'entreprise permet d'alimenter l'ensemble des équipements bureautiques (imprimantes, ordinateurs), mais pas la climatisation. Il y a sept bureaux avec une lumière par bureau et une quinzaine d'ordinateurs. Dès qu'il y a une panne du système solaire, un boîtier permet de basculer manuellement sur le réseau de la Senelec.

III.1.d) Le récit du cas de l'entreprise Fouta Poids Lourds : « réduire la facture d'électricité tout en assurant la continuité du travail de l'entreprise »

Fouta Poids Lourds est un commerce qui vend des pièces adaptables à toutes marques et modèles de véhicules poids lourds pour les rénover ou réparer. Son local de neuf mètres de haut environ, est divisé en deux parties. La première partie accueille les clients avec un comptoir et les caisses ainsi que les espaces d'administrations (bureau du directeur et celui de la secrétaire). La deuxième partie est un entrepôt où les pièces détachées sont stockées pour être vendues. L'entreprise se situe à Mbao, le long de la RN1 reliant Rufisque à Dakar, l'une des seize communes du département de Pikine située entre l'océan au Sud et Keur Massar au Nord, Rufisque à l'Est.

Anciennement un village de Lébous¹⁴, Mbao a été massivement urbanisée, notamment avec le projet de Zone d'Aménagement Concertée (ZAC) initié en 1981 qui s'inscrit dans les politiques « bulldozers » menées par l'État dès les années 70 (Diatta, 2012). La ZAC de Mbao a été créée en 1992 par le décret 92-1035/MUH/DUA (PDU, 1988) en réponse à une politique de l'État de délocalisation des habitats des zones irrégulières vers des espaces modernes aménagés en banlieue. L'objectif était de régler le problème des logements denses du centre-ville de Dakar (Diatta, 2012). En parallèle, des mécanismes politiques sont mis en place afin de favoriser la croissance industrielle de la zone Hann Bel-Air Mbao (Diop, 2014). Notamment, la réalisation de la RN1 accélère dès les années 60 (PDU, 1951) la transformation de terres agricoles en zones industrielles offrant de grandes emprises foncières aux entreprises. C'est le cas de la Zone Franche Industrielle créée à Mbao comme « cadre d'accueil attractif pour inciter les investisseurs (...) à venir implanter des entreprises tournées vers l'exportation et grandes utilisatrices de mains d'œuvre » (Diop, 2014). Dans le prolongement des zones industrielles, des entreprises et commerces se développent le long de la RN1, où s'implantent des ateliers mécaniques et de menuiserie, des industries, des magasins de vente de pièces détachées telles que l'entreprise Fouta Poids Lourds. Dans ce contexte d'urbanisation de Mbao, entre ZAC et Zone industrielle, le déploiement du réseau BT d'électricité de la Senelec recouvre la majeure partie de la zone. En effet, la procédure de ZAC comporte à la fois la mise à disposition gratuite du foncier et le déploiement gratuit des réseaux primaires et secondaires d'eau et d'électricité par les concessionnaires, laissant à la charge des bénéficiaires le financement des réseaux tertiaires (Diatta, 2012).

Malgré son raccordement au réseau BT, l'entreprise Fouta Poids Lourds (FPL) dispose d'un générateur afin d'assurer la continuité de la fourniture d'électricité lors des coupures de la Senelec. L'électricité est essentielle au bon déroulement de l'activité commerciale de l'entreprise puisqu'elle sert à faire fonctionner, durant la journée de 8h à 19h, les équipements bureautiques (ordinateurs, imprimantes, caisses, ...), les ventilateurs, les lumières ainsi que les monte-charges de l'entrepôt. L'entreprise se retrouve donc avec des factures d'électricité élevées entre 200 000 – 300 000 FCFA. Afin de rentabiliser son activité, l'entreprise a souhaité installer un système solaire PV pour réduire les factures d'électricité. Le système doit permettre de retirer le générateur et de se substituer autant que possible à la Senelec tout en assurant un accès continu à l'électricité. C'est pourquoi l'entreprise a choisi un système solaire PV avec stockage dans des batteries branchées à un dispositif manuel de basculement vers le réseau de la Senelec, et couplé au générateur, même s'il est prévu de retirer ce dernier à terme.

¹⁴ Les Lébous sont les habitants originels de Dakar, présents avant l'arrivée des colons. Traditionnellement ce sont des pêcheurs, certains pratiquent également l'agriculture.

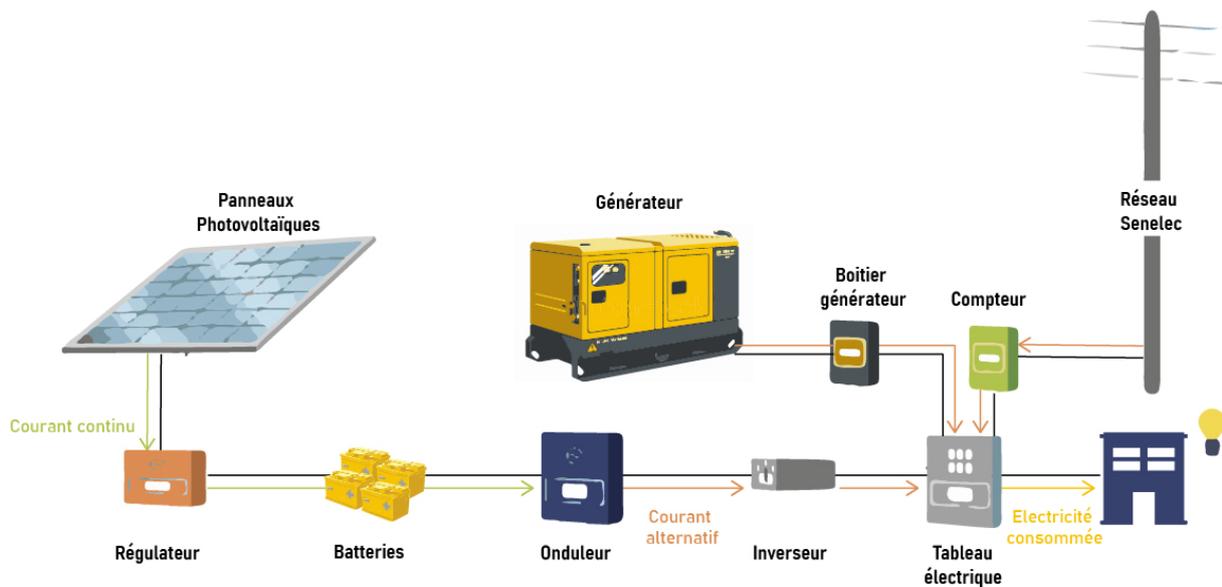


Schéma 4 : Principe de fonctionnement du système solaire avec stockage de l'énergie solaire dans des batteries branché à un dispositif de basculement manuel (inverseur) vers le réseau de la Senelec couplé à un générateur de secours. Source : production personnelle inspirée du schéma sur : <https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/>

J'ai eu la chance de pouvoir participer à l'installation du système solaire depuis la fixation des supports des panneaux jusqu'au branchement du système solaire PV au réseau électrique du bâtiment. Le chantier a duré plus d'une semaine, pendant laquelle j'ai suivi toute la journée les techniciens du solaire Makhtar Seye, chef de projet, et Ablaye Ba, chef d'équipe de techniciens BTMT, de l'entreprise Technikom. Nous avons fixé trente-cinq panneaux PV de 450 Wc, soit une puissance totale installée de 15 kWc, sur les supports en métal réalisés par le métallurgiste de FPL. Avec les techniciens du solaire, nous avons ensuite connecté les panneaux solaires PV en série de sept panneaux, soit cinq séries, reliées au régulateur qui a pour rôle de contrôler la charge et limiter la décharge des batteries. Nous avons ensuite connecté l'onduleur monophasé de 20 kWc qui permet de redistribuer en courant alternatif l'énergie solaire emmagasinée dans les batteries vers le bâtiment via le coffret électrique sur lequel est branché un inverseur manuel pour basculer du système solaire au réseau de la Senelec.



Figure 4 : Chantier d'installation du système solaire PV pour l'entreprise Fouta Poids Lourds, Mbao, Pikine (Auteur, juillet 2022). Installation des panneaux solaires PV - raccordement à l'onduleur, régulateur et batteries - inverseur manuel (de gauche à droite).

L'installation a rencontré plusieurs difficultés. Principalement, la complexité du réseau électrique du bâtiment qui superpose un système monophasé et triphasé¹⁵ alors que l'onduleur acheté par le directeur de Fouta Poids Lourds (FPL) est un monophasé, malgré les préconisations des techniciens¹⁶, complexifie l'installation au point que le système solaire dysfonctionne. En effet, les équipements électriques triphasés de l'entreprise ne peuvent pas fonctionner avec un onduleur monophasé et créent des courts-circuits au niveau de l'onduleur. L'entreprise FPL a finalement acheté un onduleur triphasé afin d'assurer le bon fonctionnement du système solaire comme demandé par les techniciens. L'installation est trop récente pour dresser un bilan des avantages et des inconvénients. Dans le meilleur des cas, elle permettra de réduire la facture d'électricité. Toutefois, le système solaire avec stockage ne semble pas être adapté à l'usage de l'énergie solaire. En effet, l'électricité sert essentiellement lors des ouvertures de l'entreprise de 8h à 19h lorsqu'il y a du soleil, le stockage dans les batteries ne semble pas nécessaire. Un système solaire avec autoconsommation directe de l'énergie solaire sans stockage aurait permis de faire des économies sur les batteries, ainsi que d'assurer la longévité du système solaire.

III.1.e) Conclusion :

À travers ces quatre études de cas, nous remarquons que le système solaire PV avec stockage de batterie qui injecte dans le réseau du bâtiment branché à un inverseur est un système qui se déploie dans l'ensemble des zones de la région de Dakar et divers secteurs d'activités, peu importe que le réseau de la Senelec soit présent de manière stable ou instable ou tout simplement absente. Cependant, les raisons du déploiement diffèrent. En effet, dans le cas de l'école Keur Fatou Kaba, où le réseau du quartier est très instable, le directeur a fait appel au système solaire PV avant tout pour assurer la continuité de l'accès à l'électricité qui contribue aux bonnes conditions de l'enseignement. Alors que dans le cas des bureaux de l'entreprise du solaire, où le réseau Senelec du quartier est stable, la raison principale du directeur de l'entreprise est de réduire sa facture d'électricité afin d'assurer la rentabilité de son activité. Enfin, dans le cas de la maison de Tivaouane Peulh, l'absence du réseau a

¹⁵ Il existe deux systèmes électriques. Le monophasé qui permet seulement d'alimenter des équipements électriques monophasés dans le bâtiment, soit des équipements avec une puissance inférieure à 12kVA. Les équipements de 36kVA ont besoin d'un système triphasé.

¹⁶ Le directeur de FPL, a fait appel à l'entreprise Technikkom spécialisée dans les infrastructures électriques et les installations solaires, dont le directeur est un ami. Les relations amicales avec l'entreprise d'installation a permis au directeur de FPL d'acheter lui-même les équipements solaires auprès de ses fournisseurs dans le but de réduire les coûts de l'installation. Les techniciens de Technikkom ont fait l'étude de dimensionnement et ont fourni au directeur de FPL la liste des équipements à acheter.

conduit le ménage à faire appel à ce système solaire PV, mais, avec l'arrivée du réseau, il n'a plus ressenti la nécessité de maintenir et de renouveler les batteries. À partir de ces quatre cas, nous remarquons que les critères territoriaux et d'activités peuvent impacter les raisons du déploiement. Par ailleurs, nous relevons, avec le cas de Fouta Poids Lourds, que le choix du type de système solaire a été fait à partir de caractéristiques techniques et électriques du bâtiment, mais aussi de la configuration du système d'acteurs entre l'entreprise cliente et l'entreprise installatrice.

Ainsi, les caractéristiques du territoire, des activités des consommateurs d'énergie solaire et les systèmes d'acteurs sont des facteurs à intégrer dans l'analyse du processus de déploiement du système solaire photovoltaïque. À partir d'exemples d'autres types d'installations, nous pourrions vérifier quels sont les autres facteurs qui peuvent impacter le processus de déploiement des systèmes solaires PV, notamment le choix d'un système solaire par rapport à un autre.

III.2. Système solaire PV monitoré en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours

Le système solaire PV en autoconsommation directe sans stockage est un système qui injecte l'énergie produite par les panneaux solaires directement dans le réseau électrique du bâtiment en passant par un onduleur. Il se peut qu'un onduleur hybride ou une armoire auto-maintien se charge de faire le basculement automatiquement vers le réseau de la Senelec couplé à un générateur de secours. L'ensemble dispose d'un système de monitoring (application, salle de monitoring...) qui permet de faire le suivi de la consommation énergétique et de la production d'énergie solaire.

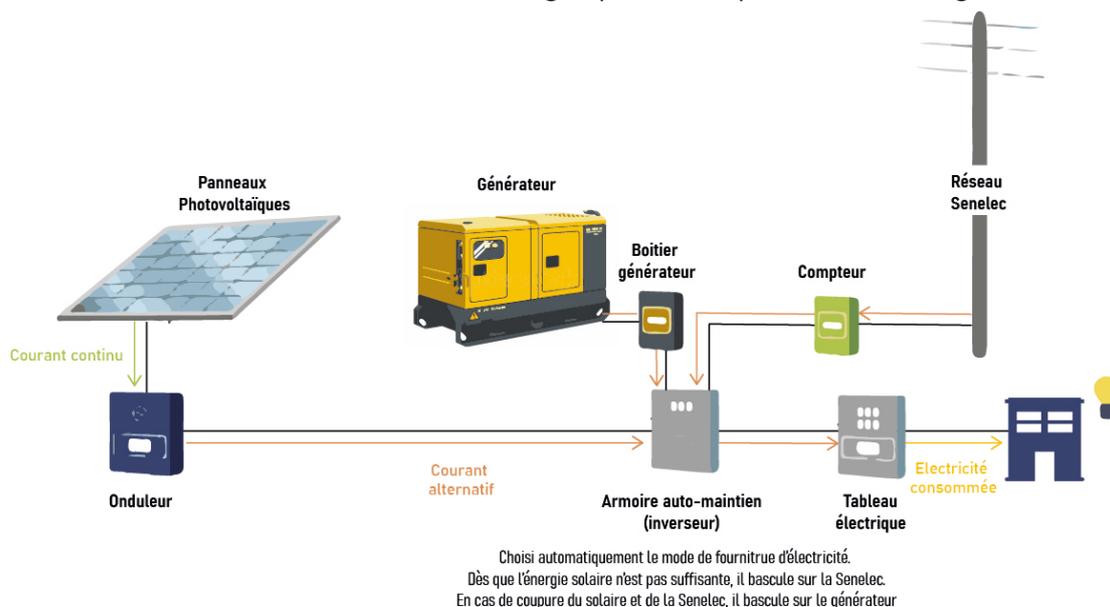


Schéma 5 : Principe de fonctionnement du système solaire en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours. Source : production personnelle inspirée du schéma sur : <https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/>

Parmi les études de cas, quatre d'entre elles disposent de ce type d'installation solaire PV. Il s'agit de la Sphère Ministérielle 1 et du stade Abdoulaye Wade localisés tous deux au Pôle Urbain de Diamniadio dans le milieu périurbain, du Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM) à Fann en centre-ville, et le programme de solarisation des stations-essence de TotalEnergies, essentiellement en centre-ville. Ces études de cas sont localisées en centre-ville aussi bien que dans le Pôle périurbain de Diamniadio. Par ailleurs, les secteurs d'activités diffèrent (administration, santé, équipement public sportif, entreprise commerciale). La Sphère Ministérielle 1 rassemble les fonctionnaires des ministères dans les quatre bâtiments du site. Le stade Abdoulaye Wade est le stade olympique de Diamniadio, d'une capacité de 50 000 personnes, c'est un projet stratégique dans le secteur sportif national. Il a été érigé pour accueillir les Jeux Olympiques de la Jeunesse en 2026. Le CHOM est un établissement privé à vocation de santé publique. Anciennement, l'institut de Léprologie Appliquée de Dakar (ILAD), il dispose également depuis 2010 de la vocation orthopédique. Les stations-service de TotalEnergies offrent des services de vente d'essence, de nettoyage de véhicules ou d'alimentation générale. À travers les récits suivants, je souhaite mettre en avant les facteurs qui contribuent aux configurations du système solaire à injection directe sans stockage monitoré.



Légende :

- Système solaire (3) : autoconsommation directe sans stockage couplé à la Senelec+générateur



2. Sphère Ministérielle 1, Pôle Urbain de Diamniadio (Auteur, 2022)



5. Centre Hospitalier CHOM, Fann, Dakar (Auteur, 2022)



9. Stade Abdoulaye Wade, Pôle Urbain de Diamniadio (Auteur, 2022)



10. Station-service TotalEnergies, Ngor, Dakar (Senpages.com)

Figure 5. Plan de situation des études de cas avec un système solaire PV monitoré en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours.

Carte : Tomy Goulding (2022) - Fond de carte : OpenStreetMap (2023) & GéoSSB de l'ANSD (2023) - Source : Terrain (2022)

III.2.a) Le récit du cas de la Sphère Ministérielle : « assurer l'exploitation à moindre coût »

La Sphère Ministérielle 1 est un équipement public majeur dans le Pôle Urbain de Diamniadio. Ce projet de ville nouvelle, lancé en 2014 par l'État, a pour objectif de désengorger l'agglomération de Dakar en accueillant 300 000 habitants, en rassemblant les fonctionnaires de l'État ainsi que les grands équipements culturels et sportifs nationaux (stades, l'Arena, le CICAD). Le Pôle Urbain de Diamniadio est un « grand projet » étatique qui participe à la périurbanisation selon une dynamique de production de l'urbain (configurations urbaines et ses acteurs) qui lui est unique par rapport au reste de l'agglomération. En effet, pour mener à bien le projet, l'État a créé trois structures : la Société de Gestion des Infrastructures Publiques (SOGIP), qui est chargée de superviser l'exécution et la rentabilité des projets d'équipements publics dans le cadre de Partenariats Public-Privé (stade, l'Arena, CICAD), l'APIX S.A qui est chargée de la préparation et du suivi de la mise en œuvre des grands projets d'infrastructures de l'État (autoroute à péage, TER, Zones Economiques Spéciales intégrées), et la Délégation Générale à la Promotion des Pôles Urbains de Diamniadio et du Lac Rose (DGPU), qui est en charge de l'exécution et du suivi du projet d'aménagement des Pôles (gestion du foncier, aménagement VRD, conformité des projets aux lignes directrices). Le Pôle Urbain de Diamniadio est en grande partie financé selon le système Built Operate and Transfert (BOT), qui se réfère au Partenariat Public-Privé (PPP) : des opérateurs privés investissent dans la construction et la gestion du bâtiment pendant sept ans, tandis que l'État paie un loyer. Après les sept ans écoulés, l'opérateur rétrocède le bâtiment à l'État. Ainsi, l'État favorise les acteurs privés pour le développement du Pôle Urbain. Ces opérateurs doivent présenter leur projet à la DGPU qui examine les aspects techniques, valide et attribue du foncier à l'opérateur/promoteur. Le projet est par la suite suivi par la DGPU pour s'assurer de la conformité de la construction avec les normes techniques et les lignes directrices pour l'intégration du développement durable du « GUIDE VERT » établi par la DGPU. La DGPU suit donc la construction jusqu'à la livraison. C'est le cas de la Sphère Ministérielle 1, dont l'opérateur Envol était chargé de la réalisation avec la supervision de la DGPU et aujourd'hui s'assure de l'exploitation des quatre bâtiments qui forment la Sphère Ministérielle 1.

Dans ce contexte, trois éléments ont favorisé l'installation du système solaire PV sans stockage. Premièrement, le « GUIDE VERT » qui donne les lignes directrices à suivre par les opérateurs et promoteurs pour assurer l'efficacité énergétique de toutes constructions (orientation, volumétrie, façades, matériaux...) dans le but de limiter la climatisation incite au déploiement du solaire. En effet, lorsque la hauteur du bâtiment est supérieure à 25m, soit cinq étages, il est obligatoire d'installer des énergies solaires à minima pour l'éclairage des parties communes et l'eau chaude. Deuxièmement, dans le cadre du financement BOT, l'opérateur chargé des bâtiments cherche à rentabiliser l'exploitation pendant sept ans avant de rétrocéder les bâtiments à l'État. Ainsi, le système solaire a

été installé par l'opérateur de la Sphère Ministérielle 1, Envol, pour réduire les factures d'électricité afin de rentabiliser l'exploitation du bâtiment tant pour lui que pour l'État. Toujours dans cette optique de faire du profit sur la construction et l'exploitation du bâtiment, c'est un système solaire sans stockage qui a été choisi afin de faire des économies et rentabiliser l'installation solaire. En effet, ce système évite l'utilisation de batteries, qui est la composante la plus chère d'une installation solaire avec la plus courte durée de fonctionnement (la durée varie en fonction de la qualité des batteries). Dans un système solaire classique avec stockage, comme présenté dans la partie précédente, les coûts sont répartis comme suit : 1/3 pour les PV, 1/3 pour les batteries et 1/3 pour le reste (onduleur, régulateur, supports et coût de l'installation). De plus, l'électricité qui alimente les bureaux, les équipements bureautiques, les salles de conférences et de réunions, la climatisation et la lumière de la Sphère Ministérielle 1 est seulement nécessaire la journée entre 8h et 18h lorsque les panneaux solaires produisent l'énergie solaire. Ainsi de 8h à 18h, lors des journées ensoleillées, c'est de l'énergie solaire qui est injectée directement dans le système électrique de la Sphère. L'électricité de la Senelec compense en cas de rendement insuffisant du système solaire, notamment lors des journées couvertes. En cas de coupures de la Senelec, un générateur compense à son tour afin d'assurer une alimentation en électricité sans interruption. Chaque bâtiment dispose de son système électrique indépendant des autres, autrement dit, il dispose de son système solaire avec ses propres panneaux solaires sur le toit, et son propre compteur. Dans chaque bâtiment, un local regroupe son système électrique qui permet de basculer automatiquement entre le système solaire à autoconsommation directe, la Senelec, et le groupe électrogène dans le cas où les deux premiers sont insuffisants ou en panne. Un système de monitoring centralisé dans un local d'un des bâtiments permet de gérer et suivre la fourniture d'électricité dans l'ensemble des bâtiments. Trois personnes sont chargées du monitoring, dont une responsable qui reporte les données chaque mois pour montrer les économies de coûts et du tonnage en CO2 atteintes grâce au système électrique en place. Le monitoring est couplé avec un système de coupure automatique de bureaux qui permet d'éviter le gaspillage d'énergie.

Afin d'assurer la production d'énergie solaire suffisante, chaque bâtiment dispose d'une puissance installée de 200kWc soit au total la Sphère Ministérielle détient une installation solaire de 800 kWc. Sur les 280 kWc de puissance énergétique requis en moyenne pour l'alimentation d'un bâtiment de la Sphère, 60% proviennent du système solaire et 40% du réseau de la Senelec. Ainsi, le système solaire avec autoconsommation directe sans stockage couplé à la Senelec assure une fourniture d'électricité de manière constante tout en réduisant la consommation d'électricité du réseau, ce qui permet de réduire les coûts de facture d'électricité. Par ailleurs, le système de monitoring permet une meilleure gestion de la fourniture d'électricité du bâtiment pour assurer l'efficacité énergétique.

Troisièmement, la Sphère Ministérielle se situe dans un territoire où l'accès au réseau de la Senelec est privilégié. En effet, la DGPU conçoit les réseaux VRD, la recherche de financement pour réaliser le réseau intégré et pilote sa construction. Dans le cas du réseau électrique, la DGPU demande à leurs « intermédiaires spéciaux » de la Senelec l'extension du réseau qu'elle rembourse sur factures des services rendus par la Senelec. Ainsi, la DGPU prévoit pour chaque îlot un raccordement au réseau de la Senelec et s'assure de son alimentation lors de la livraison de la construction. Dans le cas de la Sphère, un poste transformateur de la Senelec est directement sur le site afin de fournir de l'électricité aux bâtiments. Par ailleurs, le pôle urbain étant un « grand projet étatique », il dispose d'une attention particulière de la Senelec pour assurer la fourniture stable et continue d'électricité. C'est un contexte favorable pour le déploiement d'un système solaire sans stockage couplé à la Senelec.

III.2.b) Le récit du cas du Stade Abdoulaye Wade : « rentabiliser un projet d'infrastructure publique grâce à l'énergie solaire »

Le stade olympique de Diamniadio, d'une capacité de 50 000 personnes, est un projet stratégique dans le secteur sportif national. Tout comme la Sphère Ministérielle, il est localisé dans le Pôle Urbain de Diamniadio. Malgré des logiques de configuration urbaine similaire, nous distinguons des particularités qui influencent le déploiement du même type de système solaire. Contrairement à la Sphère Ministérielle 1, où la DGPU joue un rôle central dans la supervision des bâtiments publics en partenariat public privé, dans le cadre du Stade Abdoulaye Wade, c'est la SOGIP, créée par l'État en tant que MOA, qui assure la rentabilité et la gestion des infrastructures publiques (Aréna, CIRAD, Stade). Elle supervise donc la conformité de la construction du stade réalisée par l'entreprise turque SUMMA qui livre le projet clé en main (conception + exécution des travaux). La DGPU n'intervient que pour l'affectation de foncier pour la réalisation des projets d'équipements. Actuellement en phase de livraison¹⁷, la SOGIP gère l'exploitation du stade en attendant la signature d'un contrat avec un éventuel exploitant privé. C'est une autre forme de partenariat public privé qui diffère légèrement du BOT. L'État investit et détient l'infrastructure qu'il loue à une entreprise qui exploite et maintient l'infrastructure en y organisant des événements. Dans ce contexte, le système solaire a été envisagé dès le début afin de rentabiliser le projet d'infrastructure publique pour le maintenir dans la durée. Par ailleurs, le stade a été conçu pour pouvoir accueillir des matchs organisés par la FIFA. L'une des exigences du règlement de la FIFA est que l'infrastructure sportive dispose d'un système d'autoconsommation (générateurs, mini centrale à énergie renouvelable). L'entreprise SUMMA a

¹⁷ C'est la phase où la SOGIP fait l'état des lieux du bâtiment pour s'assurer que les travaux réalisés par l'entreprise SUMMA sont conformes aux plans et aux normes fixées par contrat.

proposé dans le projet clé en main un système solaire où les panneaux photovoltaïques recouvrant le parking de 2500 places injectent l'énergie produite directement dans le stade sans stockage. Ainsi, l'énergie solaire produite par une installation de 2MW alimente seulement le stade de jour lorsque sa consommation d'électricité est la plus basse. Alors que le soir, lors des matchs et des événements, où l'électricité est indispensable pour alimenter les vestiaires des joueurs, les loges VIP, la suite présidentielle, l'éclairage du stade et tous les équipements électriques nécessaires au bon déroulement d'un événement, c'est le réseau de la Senelec ainsi que les huit groupes électrogènes à carburant qui alimentent le bâtiment. Une grande partie de l'énergie solaire produite reste donc inexploitée. Le système solaire par injection directe ne permet pas dans ce cas une exploitation optimale du système solaire. Les raisons de ce choix inadapté à l'usage énergétique de l'infrastructure semblent être politiques. L'ingénieur du projet est d'accord qu'un système de stockage aurait été préférable par rapport à l'usage de l'électricité de cette infrastructure. Une convention entre la SOGIP et la Senelec est en cours d'élaboration pour permettre l'injection du surplus d'énergie solaire produite par le système solaire du stade dans le réseau de la Senelec. Dans ce cas, le système solaire à injection directe du stade deviendrait rentable et optimal. Ainsi, un tel système solaire permet de faire des économies sur le coût de l'installation du système solaire tout en réduisant de 50% la consommation d'énergie et les coûts de maintenance. Ce qui est un argument de vente pour les futurs exploitants de l'infrastructure. Ce système permettrait également des bénéfices environnementaux en réduisant l'utilisation des générateurs à carburant lors des coupures de la Senelec la journée. Par ailleurs, le système solaire dispose actuellement d'un système de monitoring sur internet et un système de gestion à distance qui permet de gérer et faire le suivi de la consommation de l'infrastructure.

III.2.c) Le récit du cas du Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM) : « faire des économies pour maintenir le centre hospitalier CHOM en activité »

Le CHOM, un établissement privé à vocation de santé publique localisé dans l'hôpital de Fann, est à la fois dans le domaine orthopédique et la léprologie. Il dispose d'environ soixante-dix employés pour une moyenne de soixante patients dans la journée. L'établissement dépendant de l'Ordre de Malte est à but non lucratif et son fonctionnement dépend principalement des recettes des consultations. Le solaire a donc été envisagé pour faire des économies sur les dépenses en électricité afin d'assurer le bon fonctionnement du centre hospitalier.

L'établissement peut recevoir une capacité maximale de trente-sept patient.e.s hospitalisé.e.s, soit vingt-trois lits en orthopédie et quatorze lits en léprologie. L'activité du centre se concentre donc essentiellement dans la journée où la demande en électricité est la plus forte pour alimenter les

équipements médicaux électroniques (lits, machines, radiologie...). La nuit, l'électricité sert seulement à l'éclairage des chambres des patients hospitalisés et au fonctionnement de quelques lits électriques. C'est pourquoi il a été choisi un système solaire sans stockage, avec injection directe de l'énergie solaire dans le réseau du centre hospitalier. En effet, la demande d'électricité étant concentrée la journée, il n'est pas utile de stocker l'énergie solaire dans des batteries, qui coûtent cher et qui augmentent considérablement le coût de l'installation, pour une vingtaine de patients hospitalisés dont la consommation énergétique peut-être fournie le soir grâce au réseau de la Senelec. Durant la journée, il y a une répartition entre le solaire qui injecte en priorité (environ 16kW en temps réel) et la Senelec qui complète (12 à 15 kW en temps réel). Comme le CHOM est isolé au sein de l'hôpital de Fann, le centre détient son propre poste de transformation. En tant que centre de santé, le CHOM bénéficie d'un rapport privilégié avec la Senelec qui garantit, en cas de coupure, le rétablissement du courant en priorité pour les centres hospitaliers. De plus, le centre est muni d'un groupe électrogène de secours en cas - rare - de coupure afin d'assurer le bon déroulement des activités d'hospitalisations et de consultations. Dans ce cas, le système solaire n'a jamais été choisi pour assurer un service continu du centre hospitalier. Une première installation a été réalisée en 2016 de 20kWc en autoconsommation (injection directe) sans stockage, raccordée au réseau de distribution d'électricité et couplée à un générateur. En 2019, avec l'extension du service de kinésithérapie, de radiologie et la salle de téléenseignement, une deuxième mini centrale photovoltaïque d'une puissance de 18kWc a été fixée sur la toiture Bac AluZinc du nouveau bâtiment en complément de la première installation. Les deux installations forment une installation de 30 kWc, pour un total de 30 millions FCFA, soit une installation d'une puissance dix fois supérieure à celle du cas de l'Ecole Keur Fatou Kaba pour un coût seulement quatre fois plus élevé. Grâce à cette installation, le centre hospitalier fait entre 40 et 70% d'économie sur leur facture d'électricité en fonction de la fluctuation du prix de l'électricité.

III.2.d) Le récit du cas des stations-essence de TotalEnergies : « du solaire pour réduire l'empreinte carbone ! »

Dans un objectif global de réduction de l'empreinte carbone du groupe, l'entreprise TotalEnergie a démarré un programme de solarisation des stations-essence dans la région de Dakar depuis 2018. Jusqu'à présent, les stations-service TotalEnergies de Ngor, Ouakam, VDN Foire, Guédiwaye, Port de Dakar ont été solarisées. Chaque année, de nouvelles stations sont solarisées. Dans ce cadre, un système solaire d'autoconsommation directe sans stockage couplé à la Senelec a été installé. La puissance installée dépend de la taille de la station, du nombre de pompes, l'espace

disponible sur l'auvent des pompes à essence, du fonctionnement de la station (services de nettoyage). Elle permet du moins de couvrir en grande partie le besoin en électricité pour alimenter les pompes à essence, les climatisations, l'éclairage, les frigos, les bureaux et équipements bureautiques, les pompes à eau et lave voiture (dans le cas où la station dispose de services nettoyage). Un système de monitoring permet à chaque station de superviser sa consommation d'électricité en provenance de l'installation solaire et du réseau Senelec. En cas de panne du système solaire, le monitoring permet à l'équipe de la station-essence de faire appel aux équipes internes de TotalEnergies.

III.2.e) Conclusion :

Dans l'ensemble des cas, le système solaire n'a pas été mis en place pour des questions de continuité d'accès à l'électricité. En effet, les quatre études de cas se situent dans des territoires où la qualité du service électrique est meilleure, plus stable avec des rares coupures et dispose d'une plus grande attention de la Senelec. En effet, « les configurations du réseau sont liées à l'urbanisation », autrement dit plus la zone est urbanisée, meilleure sera le service d'électricité (Chef de Département Conduite et Gestion Technique, Senelec, 14.06.2022). Il y a donc des zones où la fourniture d'électricité demande une plus grande considération de la Senelec, notamment dans les territoires qui regroupent des services, des entreprises et commerces tels que le centre-ville de Dakar et le Pôle Urbain de Diamniadio. Dans la majeure partie des cas, le système solaire d'autoconsommation directe sans stockage combiné au réseau de la Senelec est un système qui a été choisi afin de réduire les factures d'électricité soit dans le but de rentabiliser l'exploitation d'une infrastructure ou bâtiment (stade Abdoulaye Wade et Sphère Ministérielle 1), soit dans le but de faire des économies afin de maintenir une activité dans le temps (centre hospitalier CHOM). Dans les deux premiers cas, ce sont des logiques d'urbanisation et de systèmes d'acteurs propres au territoire du Pôle Urbain de Diamniadio qui influencent grandement le choix du type de système solaire PV. Dans le deuxième cas, ce sont des logiques d'usages d'électricité et de fonctionnement de l'activité de l'établissement qui influencent le choix du type de système solaire. Dans le cas du programme de solarisation des stations solaires TotalEnergies, il n'était pas question de réduction de facture d'électricité, ni d'accès continu à l'électricité, mais de réduction de l'empreinte carbone. En effet, l'acteur du déploiement est ici un groupe multinational qui opère selon des stratégies et objectifs globaux. La raison du choix du type d'installation solaire PV, relève ici davantage de facteurs techniques en fonction des configurations architecturales et fonctionnelles des stations-service.

À travers ces études de cas, nous remarquons que les choix pour un même système solaire PV sont grandement impactés par des facteurs sociaux, territoriaux ainsi que techniques. Au cours de la mission de terrain, j'ai relevé des variantes techniques au système solaire en autoconsommation

directe dont les configurations sociotechniques diffèrent. La sous-partie suivante permet de les présenter.

III.3. Les variantes du système solaire PV en autoconsommation directe couplé au réseau de la Senelec

Le système solaire en autoconsommation directe présente des variantes dans les études de cas analysées, telles que le projet immobilier Dakar Eco City à Tivaouane Peulh en milieu périurbain, ainsi que la maison bioclimatique à liberté 6 à Dakar dans la zone centre-ville. La première étude propose des kits solaires PV en autoconsommation directe évolutifs et adaptables en fonction des besoins énergétiques des clients du projet immobilier. La deuxième étude propose un système solaire PV en autoconsommation directe avec stockage et injection du surplus dans le réseau de la Senelec. Je présenterai les deux variantes, les raisons de leur déploiement et les facteurs qui ont impacté les choix techniques de chacune.



Légende :

- Système solaire (4) : kit solaire autoconsommation directe avec micro-onduleurs
- Système solaire (5) : autoconsommation directe + stockage batterie + injection dans le réseau



6. Dakar Eco-City, Tivaouane Peulh (La maison du Sénégal, 28.08.202, facebook)



8. La maison bioclimatique à énergie positive, Liberté 6, Dakar (Auteur, 2022)

Figure 6 Plan de situation des études de cas avec des variantes du système solaire PV en autoconsommation directe couplé au réseau de la Senelec .

Carte : Tomy Goulding (2022) - Fond de carte : OpenStreetMap (2023) & GéoSSB de l'ANSD (2023) - Source : Terrain (2022)

III.3.a) Le récit du projet immobilier Dakar Eco City : « l'énergie solaire, un argument de vente »

Dakar Eco City est un projet immobilier de cité « écologique » mené par l'entreprise promoteur SATUR. S.A sur 7 ha à l'entrée de Tivaouane Peulh. Il est prévu la construction de 236 villas (F4 à 28 millions FCFA, F5 à 55 M FCFA, F5+ à 60 M FCFA) équipées d'un kit solaire de base sur le toit. 3/5 du projet sont déjà construits et accueillent entre 70 à 60 habitants. C'est un projet qui a duré plus de 10 ans, dont 5 années de construction. C'est un exemple de projet immobilier de promoteur qui contribue à la périurbanisation spontanée de Tivaouane Peulh, mentionnée dans l'étude de cas du ménage 1 (voir III.1.b). Cependant, la cité diffère, car c'est l'une des premières dans la région de Dakar à se vouloir « écologique », avec un intérêt pour l'énergie solaire. L'idée pour réaliser une cité écologique est en lien avec la localisation du site en zone naturelle non loin du lac rose (Chef du projet immobilier, SATUR S.A, 22.06.2022). Dans ce contexte « naturel », l'énergie solaire est apparue comme un moyen de figurer comme cité écologique tout en créant un argument de vente qui suscite de l'intérêt. Par ailleurs, la zone de Tivaouane Peulh est éloignée de la ville de Dakar et du réseau, ce qui constitue un autre argument pour faire appel à l'énergie solaire. Entre temps, ils ont construit eux-mêmes leur

propre poste de transformation pour raccorder le quartier au réseau de la Senelec. Maintenant que l'énergie solaire photovoltaïque apparaît comme une stratégie écologique, commerciale, et d'accès à l'électricité, quel type de système solaire adopter dans le cadre d'un projet immobilier où les typologies de villa et profils de clients varient ? En effet, le profil de clients pour les éco-villas est très large, regroupant des cadres, employés de banque, agents des agences nationales (Sonatel, Senelec...), ainsi qu'une dame qui vend des beignets. Le système solaire doit pouvoir être adaptable en fonction de la demande énergétique des clients. Ainsi, chaque villa dispose à la base d'un kit solaire en autoconsommation directe sans stockage avec deux panneaux PV (640Wc) et leur micro-onduleur qui convertit le courant continu du PV en courant alternatif pour l'injecter dans le réseau électrique domestique à travers le tableau électrique de la maison. L'électricité solaire produite est directement injectée dans la consommation quotidienne. L'installation de micro-onduleurs à chaque panneau facilite la gestion de l'autoconsommation et permet dans le cas où l'un des panneaux PV est défectueux de ne pas impacter l'ensemble du système. Il est également prévu dans ce système solaire la coupure du système d'autoconsommation, lorsque la Senelec intervient, afin de garantir la sécurité des techniciens.

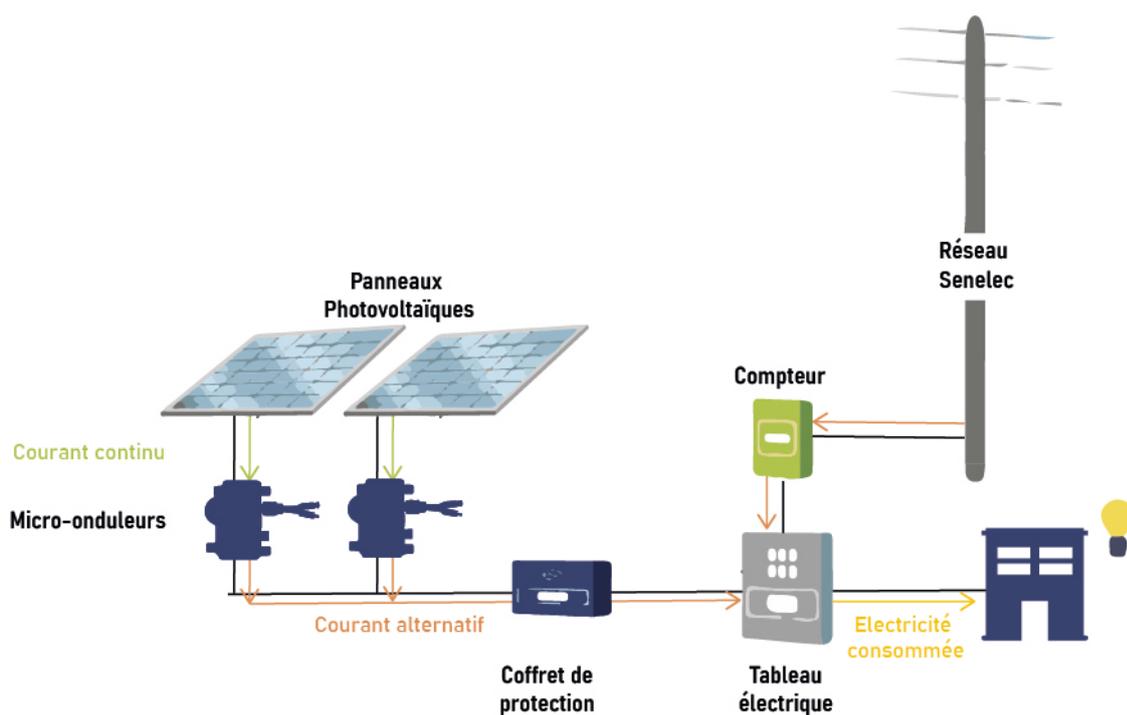


Schéma 6 : Principe de fonctionnement du système solaire du kit 1 avec micro-onduleurs couplé au réseau de la Senelec. Source : production personnelle inspirée du schéma sur : <https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaique/>

Par la suite, une fois que les propriétaires ont découvert les principes de la consommation d'énergie solaire PV, ils peuvent demander des kits additionnels adaptés à leur besoin énergétique. En collaboration avec l'entreprise du solaire SPE, dans laquelle travaille le chef de projet immobilier en tant que commercial, le promoteur propose six options, la première étant le kit de base à 640Wc qui permet d'alimenter l'éclairage, les prises et un frigo. Les trois premiers kits conservent le même fonctionnement que le kit 1 de base, seulement le nombre de panneaux solaires, la gamme et la puissance installée augmentent pour alimenter davantage d'équipements. Le kit 3 de 1920Wc (six panneaux et trois micro-onduleurs avec système de monitoring) permet d'alimenter la climatisation de la villa. À partir du Kit 4 de 2560 Wc, nous retournons sur un système avec un onduleur central qui regroupe tous les panneaux. L'entreprise peut également adapter les kits en fonction de la demande des clients, notamment s'ils souhaitent un système avec batterie de stockage. Actuellement, une vingtaine de demandes de raccord additionnel a été faite auprès du promoteur. Le système solaire PV a été conçu comme système incitatif en kit adaptable aux besoins énergétiques des clients. Ce système à l'avantage, dès le premier kit, de permettre aux clients de faire des économies sur leur facture.

KITS SOLAIRES AUTOCONSOMMATION
 ► L'installation solaire réalisée par SPE est incluse dans chaque kit

Kit	Puissance (Wc)	Prix (CFA)	Garantie	Economie mensuelle (CFA)	Economie sur 30 ans (CFA)	Autonomie	Notes manuscrites
KIT 1	640	1.170.000	10 ANS SAV INCLUS	19.000	5.000.000	jusqu'à 60%	meilleure prix à l'achat Auto → facture →
KIT 2	1280	1.950.000	10 ANS SAV INCLUS	38.000	10.000.000	jusqu'à 60%	Havtoning
KIT 3	1920	2.860.000	10 ANS SAV INCLUS	55.000	15.000.000	jusqu'à 60%	Clim
KIT 4	2560	3.770.000	10 ANS SAV INCLUS	75.000	20.000.000	jusqu'à 60%	qd + 400 onduleur central
KIT 5	3840	5.200.000	10 ANS SAV INCLUS	110.000	32.000.000	jusqu'à 60%	de voir le prix de l'achat de l'unité centrale de l'auto kit
KIT 6	4800	5.900.000	10 ANS SAV INCLUS	144.000	41.000.000	jusqu'à 60%	

Web : www.speafrika.com **SPE** AFRICA - EXPERT EN SOLAIRE
 Pour des besoins plus importants, nous contacter

Figure 7 : Photographie de la brochure des kits proposés aux propriétaires des villas de Dakar Eco City.
 Source : Document donné le 26.06.202 par le chef de projet immobilier de l'entreprise promoteur SATUR S.A.

III.3.b) Le récit de la maison bioclimatique à énergie positive

En 2007, le propriétaire décide de construire une maison bioclimatique à énergie positive sur fonds propres, dans la cité Cypres 2, à Liberté 6. Le quartier a été érigé en 1997 par un promoteur immobilier. C'est un quartier bien structuré, avec des infrastructures (eau, assainissement, électricité), qui accueille une population plutôt aisée. La construction débute en 2009 et sa famille (une femme et deux enfants) y habite à partir de 2010. En tant qu'ingénieur en énergies renouvelables pendant dix ans en Allemagne et consultant en développement des énergies renouvelables, le propriétaire de la maison décide dès le départ d'installer un système solaire. Il a un triple intérêt pour les installations solaires PV. Tout d'abord par intérêt et passion pour l'écologie, ensuite par besoin de montrer un exemple afin de contribuer à la mise en place d'un cadre pour les EnR, et enfin réduire la facture d'électricité, comme la famille a un mode de vie « européen ». En effet, le ménage consomme en moyenne jusqu'à 7kWh/jour, soit 2555 kWh/an alors que la consommation moyenne d'un ménage au Sénégal est de 800 kWh/an¹⁸. L'électricité sert à alimenter les appareils électroménagers (machine à laver, four), la télé, les ventilateurs, lumières, et les équipements électroniques de la famille (les ordinateurs et les téléphones) qui fonctionnent autant la journée que la nuit. Pour cela, il installe un système solaire dont le surplus d'énergie produit non consommé par l'autoconsommation directe est injecté dans des batteries et, lorsque celles-ci sont rechargées, dans le réseau de la Senelec grâce au compteur bidirectionnel intelligent.

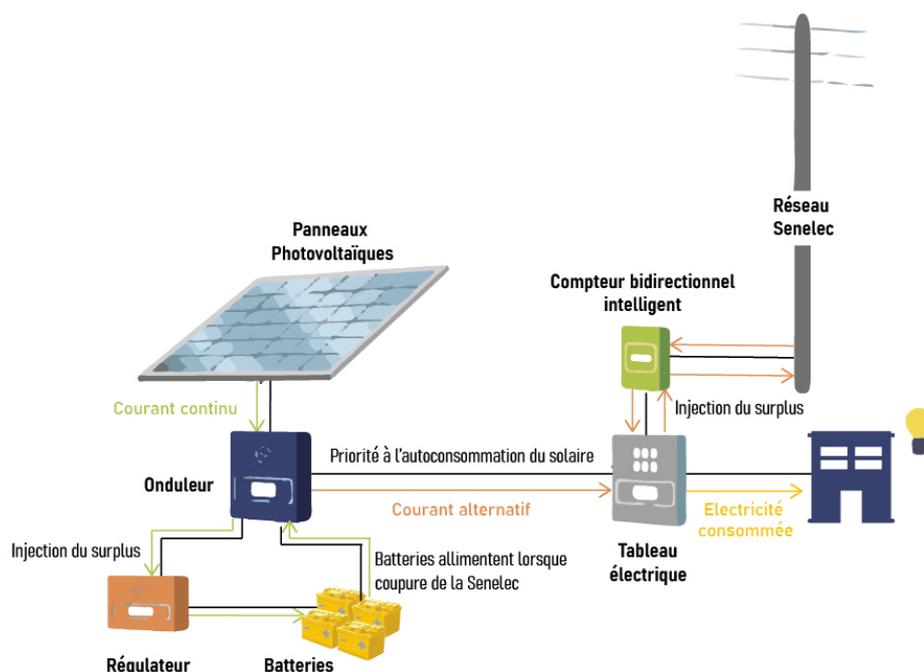


Schéma 7 : Principe de fonctionnement du système solaire de la maison bioclimatique en autoconsommation directe avec injection du surplus dans le réseau de la Senelec et les batteries. Source : production personnelle inspirée du schéma sur : <https://www.gre-enr.fr/autoconsommation-photovoltaïque/>

¹⁸ Lettre Géopolitique de l'Électricité N°74 - 30 avril 2017 sur <https://www.geopolitique-electricite.fr/>

Avant d'installer le compteur bidirectionnel en 2015, il disposait d'un compteur normal et payait une facture de 5000 FCFA / mois en basculant seulement les weekends sur le réseau de la Senelec. Cet arrangement a été négocié avec la Senelec, lorsque celle-ci s'est rendue compte que le ménage ne consommait aucune électricité du réseau conventionnel et donc ne payait aucune facture alors que la Senelec déployait des moyens humains et financiers sur son accès, notamment avec le relevé du compteur à la fin des mois.



Figure 6 : L'installation solaire sur le toit de la maison bioclimatique, Liberté 6, Dakar , (Auteur, juin 2022)

Actuellement, le système solaire permet au ménage d'injecter gratuitement dans le réseau, qui sert comme dispositif de stockage puisque le soir le ménage récupère l'électricité injectée la journée. En effet, le système solaire d'une puissance installée de 2kWc permet de produire 10 kWh/jour d'électricités solaires, soit un surplus de 2 kWh par rapport à sa consommation journalière qui

est injectée dans le réseau de la Senelec. Le propriétaire a investi lui-même sur le compteur bidirectionnel pour lui permettre de voir sa consommation. Lorsqu'il y a une coupure de la Senelec le soir, les batteries permettent d'alimenter la maison en électricité. Il dispose également d'un chauffe-eau solaire pour l'eau sanitaire de la maison sur lequel il a branché sa machine à laver pour qu'elle reçoive directement de l'eau chaude. Cela permet de réduire de 80% la consommation d'énergie de la machine à laver.

Ce système solaire lui permet de ne consommer aucune électricité de la Senelec et donc de ne payer aucune facture depuis l'installation du compteur bidirectionnel. Par ailleurs, l'utilisation du réseau de la Senelec comme dispositif de stockage permet de ne pas fatiguer les batteries et ainsi de les préserver le plus longtemps possible et de faire des économies. Cependant, ce système présente des inconvénients. Tout d'abord, il est difficile de gérer les instabilités de la Senelec dans ce système solaire. De plus, dès qu'il y a un court-circuit dans la maison, l'onduleur s'arrête. Seul un électricien spécialisé dans le solaire peut intervenir ; or, il est difficile de trouver des électriciens du solaire bien formés.

III.3.c) Conclusion

Dans les deux études de cas, l'intérêt écologique constitue l'une des raisons du déploiement du système solaire PV. Cependant, l'origine et le but de cet intérêt diffèrent. En effet, dans le cas du projet immobilier, c'est l'environnement naturel à proximité qui a suscité l'intérêt écologique qui a mené en partie à l'installation du solaire PV dans le but de créer un argument de vente pour les futurs clients des villas. Tandis que dans le cas de la maison bioclimatique, l'intérêt écologique est un intérêt personnel du propriétaire, nourri par ses expériences professionnelles en tant qu'ingénieur des énergies renouvelables. Dans ce cas, le solaire PV était un moyen de poursuivre des expérimentations tout en réduisant la facture d'électricité. Ainsi, nous voyons à travers ces études de cas que les raisons du déploiement du solaire photovoltaïque, même si elles sont similaires, ne peuvent être dissociées de leur contexte.

Conclusion du chapitre 3

En complément de l'étude Ifri, la méthodologie mise en place dans ma recherche permet d'enrichir la compréhension des processus de déploiement des solutions solaires décentralisées et de préciser leurs motivations, leurs acteurs et leurs usages dans la région de Dakar.

En plus d'identifier une multiplicité de domaines d'activités concernés, l'analyse comparative de dix études de cas a permis d'identifier trois principales raisons à leur installation de systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction. La principale est la réduction du montant des factures d'électricité ; la seconde vise à assurer la continuité de l'accès à l'électricité ; la troisième, plus rare, cherche à réduire l'empreinte carbone. Ces raisons pour l'obtention d'un système solaire photovoltaïque ainsi que le choix du type de système solaire sont fortement impactés par des facteurs sociaux (secteur d'activité, fonctionnement de l'activité, usages de l'électricité, histoires des usagers...), techniques (système électrique du bâtiment, utilisation et coût des équipements solaires, configuration du bâtiment...) et territoriaux (configuration urbaine, occupation de sol, acteurs de l'urbanisation, réseau et service électrique...) variés. Ainsi, nous remarquons que des études de cas aux caractéristiques territoriales, sociales et techniques différentes peuvent développer la même raison pour l'intégration de l'énergie solaire dans leur système électrique ou installer le même type de système solaire PV adapté en fonction de leur propre contexte.

En conclusion, l'analyse des études de cas permet de valider l'hypothèse de départ qui suggérait que le déploiement du solaire photovoltaïque d'autoproduction en milieu urbain est un processus territorialisé, dont les ressorts sont multi-acteurs et multi-factoriels, et dont les usages correspondent à des activités diverses. Afin de saisir complètement le processus de déploiement des systèmes solaires PV, ce travail d'analyse des études de cas a permis de constituer un premier modèle de matrice. En d'autres termes, un tableau Excel qui permet de rentrer les caractéristiques d'une configuration de système solaire PV en fonction d'éléments qui constituent des facteurs sociaux, techniques, territoriaux et socio-économiques à prendre en compte pour la compréhension de processus de déploiement. Cependant, avec dix études de cas, il n'est pas possible, à ce stade, de considérer la matrice comme un cadre d'analyse généralisable. Il serait donc intéressant de poursuivre ce travail en testant la matrice sur un plus grand nombre d'études de cas dans la région de Dakar, ainsi que dans une autre ville en Afrique subsaharienne afin de la rajuster en fonction.

Éléments factoriels	Caractéristiques de la configuration de système solaire à relever
Identité de l'étude de cas	Secteur d'activité, nom, lieu, zone urbaine (ville, banlieue, périurbaine), description de l'activité (acteurs, fonctionnement, ...)
Situation électrique	Usages de l'électricité ; consommation d'électricité (prix de la facture, ou en kWh) ; raccordement et contrat au réseau électrique ; raisons d'installer du PV
Système solaire PV	Type de système (avec stockage, autoconsommation directe, couplé avec la Senelec, injection du surplus, couplé chauffe-eau solaire...) ; support des panneaux solaires ; système de maintenance ; puissance installée ; production solaire journalière ; monitoring ; rapport utilisation solaire / Senelec / générateur ; dysfonctionnement ; avantages ; inconvénients
Territoire	Configuration de l'urbanisation (périurbanisation spontanée, ville nouvelle, renouvellement urbain, quartier irrégulier...); acteurs de l'urbanisation ; paysage urbain ; services électriques (stable, instable, absent...); heures de délestage (mois, jour, an)
Socio-économique (ménage uniquement)	Profession, niveau scolaire, enfants à l'école ; employés de maison ; mode de transport

Tableau 6 : Les caractéristiques d'une étude de cas à relever selon la matrice

L'analyse des études des cas permet également d'identifier la cohabitation systématique du système solaire photovoltaïque avec le réseau de la Senelec. En effet, le réseau de la Senelec est présent dans l'ensemble des cas, soit dans le dispositif technique de l'installation lorsque le système solaire est couplé au réseau de la Senelec, soit comme élément de contexte déterminant les modalités de déploiement de systèmes solaires PV. Ainsi, l'analyse du processus de déploiement de systèmes

solaires photovoltaïques permet d'identifier comment cohabitent les deux systèmes électriques, solutions solaires photovoltaïques décentralisées et réseau conventionnel de la Senelec.

La compréhension de la cohabitation des deux systèmes électriques est d'autant plus importante dans la région de Dakar que les installations solaires photovoltaïques se multiplient. En effet, l'enquête de terrain a permis de relever des exemples de projet d'installation en cours ou à venir, notamment dans le secteur de l'industrie, ainsi que dans les équipements publics et lieux de cultes de la ville de Dakar. Dans le secteur de l'industrie, il existe déjà, par exemple, la mini centrale solaire en autoconsommation de 1,5 MWc de l'industrie agroalimentaire SENICO. L'objectif de l'entreprise est de réduire les factures d'électricité et l'empreinte carbone de l'entreprise¹⁹. Lors d'un entretien avec une entreprise d'installation du solaire, j'ai noté deux autres installations solaires de 1MWc qui sont en projet pour des industries. De plus, des groupes tels que TotalEnergies, en prévision du déploiement grandissant du solaire dans le secteur de l'industrie, développent des solutions et des services de solarisation afin de permettre aux industries de réduire leur empreinte carbone et de faire des économies sur l'électricité. Par ailleurs, la ville de Dakar mène dans le cadre du Plan Climat Énergie Territorial (PCET), un projet pilote d'installation de systèmes solaires afin d'alimenter quatre bâtiments publics de la ville : la direction des services publics de la mairie de Dakar, un centre de santé à Ouakam, un lycée et un collège. Par ailleurs, la Direction des Services Techniques de la ville de Dakar conduit des projets de solarisation des lieux de cultes. Par exemple, la cathédrale de Dakar dispose d'une installation solaire en autoconsommation qui permet d'alimenter l'éclairage et les haut-parleurs afin de réduire la facture d'électricité.

Face au déploiement croissant des systèmes solaires photovoltaïques de production, comment le réseau électrique conventionnel est-il impacté ? La conclusion générale qui suit présente les enjeux de la cohabitation entre les deux systèmes afin de contribuer à la question générale : dans quelle mesure le déploiement du solaire photovoltaïque engendre-t-il des transformations dans le système électrique ? Dans quelle mesure le réseau conventionnel de la Senelec est-il préparé à ces transformations ?

¹⁹ <https://fr.greenyellow.com/fr/news/greenyellow-realise-plus-grande-centrale-solaire-en-autoconsommation-senegal>

Conclusion générale. Le réseau d'électricité et les systèmes solaires décentralisés : une cohabitation en construction ?

À partir de l'analyse du processus de déploiement des configurations des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction, ce mémoire a pour objectif d'analyser la cohabitation entre ces systèmes électriques alternatifs et le réseau d'électricité afin d'identifier dans quelle mesure les systèmes solaires photovoltaïques peuvent contribuer aux transformations électriques en cours ou à venir et dans quelle mesure le réseau électrique conventionnel est préparé à ces transformations. Je reviendrai donc, dans un premier temps, sur les enjeux de la cohabitation entre les deux systèmes électriques (solaire et Senelec). Dans un deuxième et troisième temps, je présenterai les obstacles du cadre réglementaire et du réseau de la Senelec ainsi que ceux des systèmes solaires PV dans la construction de la cohabitation entre les deux systèmes électriques. Finalement, j'interroge l'existence d'une multitude des modes de cohabiter entre les systèmes électriques.

Les enjeux de la cohabitation entre le réseau d'électricité et les systèmes solaires décentralisés

Le chapitre 3 a permis de constater que le déploiement du système solaire PV dans la région de Dakar cohabite nécessairement avec le réseau de la Senelec, soit par un couplage des deux systèmes électriques, soit comme élément de contexte déterminant les modalités de déploiement de systèmes solaires PV. Les deux éléments principaux qui motivent le déploiement du solaire sont en lien avec le réseau conventionnel. Il s'agit en premier lieu du prix élevé de l'électricité qui est un réel défi pour le secteur de l'énergie. Malgré la subvention de l'électricité de l'Etat, le prix reste élevé à 120 FCFA / kWh, sans la subvention le prix augmenterait de 34%. Cela a un coût conséquent de 150 millions FCFA à la charge de l'État et de la Senelec afin de maintenir le prix de l'électricité (Directeur de l'Électricité en charge des Énergies Renouvelables, Ministère du Pétrole et des Énergies, 31.05.2022). L'une des raisons du prix élevé est la non-maîtrise du produit pétrolier (fuel) essentiel à la production d'électricité par les centrales thermiques. C'est pourquoi le pays envisage d'ici 2024 d'exploiter le gaz naturel trouvé sur son territoire afin de réduire les coûts de la subvention et ainsi réduire les tarifs. En deuxième lieu, l'attente des habitants de Dakar pour un service électrique fonctionnel 24h/24 7j/7 motive le déploiement du solaire photovoltaïque. La région de Dakar concentre 30% de la population ainsi que les services, les industries, l'économie et l'administration du pays dont l'électricité en continu

est essentielle pour leur fonctionnement. À cela s'ajoute l'augmentation de la demande d'électricité de 10% dont le réseau conventionnel doit assurer la disponibilité.

Dans ce contexte de fluctuation des prix et de demande croissante de l'électricité sans interruption, les systèmes solaires photovoltaïques (PV) décentralisés, qui permettent une indépendance aux consommateurs d'électricité, semblent être une solution. Toutefois, le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques pose quatre problèmes majeurs au réseau de la Senelec.

Premièrement, le déploiement du solaire PV décentralisé dans l'industrie concurrence le réseau électrique de la Senelec. En effet, 70% du budget de la Senelec provient de ses clients industriels. En installant un système solaire PV pour réduire leur facture d'électricité, les industries peuvent provoquer une perte importante du chiffre d'affaires de la Senelec. Actuellement, la concurrence est petite, cependant d'ici dix ou quinze ans, elle pourrait poser des problèmes pour la Senelec (Directeur de l'Électricité en charge des Énergies Renouvelables, Ministère du Pétrole et des Énergies, 31.05.2022). Deuxièmement, le déploiement du solaire photovoltaïque peut fausser les prévisions de la consommation d'énergie faites par le département d'achat d'énergie de la Direction Exploitation du Système des Achats (DESA). Chaque jour, la DESA réalise une prévision de la demande afin d'identifier les placements d'énergie à faire par la distribution. Cependant, la DESA ne dispose d'aucun outil pour prendre en compte les clients possédant d'une installation solaire PV, dont la consommation d'électricité de la Senelec est moindre, ce qui fausse la prévision de la demande. Cela a pour conséquence le gaspillage de l'énergie de la Senelec accompagnée d'une perte économique qui a également un impact sur l'environnement (Chef de Département Conduite et Gestion Technique-DCGT, Senelec, 14.06.2022).

Ainsi, le nouveau code de l'électricité a été réalisé afin d'établir la nature de la relation et le cadre de la cohabitation entre le réseau conventionnel de la Senelec et les systèmes solaires photovoltaïques. Jusqu'à présent, les consommateurs d'électricité souhaitant disposer d'une installation photovoltaïque avaient pour obligation de déposer une demande d'autorisation auprès du Ministère du Pétrole et des Énergies. Avec les nouvelles lois du code de l'électricité de 2021, il ne sera plus nécessaire sous un certain seuil de production de demander une autorisation au Ministère. De plus, le nouveau code autorise les auto-producteurs à vendre et injecter le surplus de l'énergie solaire dans le réseau de la Senelec. Cependant, l'injection du surplus est le troisième problème de la cohabitation puisqu'elle demande à la Senelec d'assurer la stabilité du réseau en présence d'énergies intermittentes ; or une injection trop importante peut perturber le service électrique. Techniquement, la Senelec n'est pas encore en mesure d'assurer cette stabilité, c'est pourquoi elle n'accepte pas encore les demandes de vente de surplus des auto-producteurs. Quatrièmement, l'intégration des

systèmes solaires PV dans le système électrique conventionnel, permise par le code de l'électricité, contribue au changement du modèle de fonctionnement du secteur électrique basé sur un système « production, transport, distribution », à un modèle « autoproduction et distribution ». Ce changement de modèle demande donc une restructuration du secteur électrique, notamment au sein de la Senelec, ce qui implique des moyens financiers et humains.

Comme l'indique le chapitre 2 de ce mémoire, il existe tout un cadre politique et réglementaire qui accompagne le déploiement de solutions solaires PV décentralisées, et permet de construire les relations de cohabitation avec le réseau conventionnel, notamment grâce au nouveau code de l'électricité de 2021. Cependant, l'absence du décret ne permet pas de concrétiser les relations de cohabitation des deux systèmes impulsés par le nouveau code de l'électricité. La partie suivante met en lumière les obstacles techniques et institutionnels du réseau conventionnel dans la mise en place d'un cadre réglementaire qui assure la cohabitation entre les systèmes solaires PV et le réseau de la Senelec. La prochaine partie permettra, entre autres, de saisir les avantages et inconvénients du déploiement des systèmes solaires PV sur le réseau de la Senelec.

Les obstacles techniques et institutionnels de la Senelec face à la cohabitation avec les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction

La cohabitation du réseau conventionnel et des systèmes solaires PV est « un sujet très nouveau » (Chef de Département Conduite et Gestion Technique (DCGT), Senelec, 14.06.2022) qui est venu avec la permission légale et réglementée par le code de l'Électricité de juillet 2021 de l'injection du surplus des auto-producteurs dans le réseau de la Senelec. Depuis que la loi permet l'achat, il y a « beaucoup » de demandes pour l'injection du surplus d'énergie solaire, notamment des demandes d'équipements publics tels que le Stade Abdoulaye Wade. Cependant, la Senelec n'a toujours pas validé la possibilité de le faire. En effet, d'après le Département Conduite et Gestion Technique (DCGT) de la Senelec, le réseau électrique conventionnel n'est pas prêt à accueillir du surplus, car il manque de la **visibilité sur le réseau basse tension (B.T)**. En d'autres termes, l'injection du surplus peut provoquer des surtensions locales avec un réseau qui n'est pas dimensionné pour recevoir des charges en plus, avec pour conséquences des incendies et/ou électrisations. Afin d'éviter les surtensions, il est indispensable, en premier lieu, que la Senelec puisse avoir une bonne visibilité de qui réinjecte, où et combien, dans le réseau B.T. Cependant, l'absence de généralisation des compteurs électriques intelligents sur le réseau B.T. rend difficile la supervision de ce dernier. L'obstacle ici n'est pas tant le dimensionnement du réseau, mais l'anticipation de son fonctionnement et l'adaptation en temps réel

de sa gestion. Une étude qui permet d'évaluer la situation du système de supervision serait nécessaire, ce qui n'est toujours pas fait. En deuxième lieu, pour éviter tous risques d'incendies et/ou d'électrifications causés par une surtension, il faudrait **renforcer les protections du réseau de la Senelec**, soit grâce au redimensionnement du réseau, ce qui demande un apport financier et humain important, soit plus simplement grâce à des systèmes de protection électriques. Actuellement, il n'y a pas de disjoncteur sur les postes, seulement des fusibles qui ne peuvent pas être calibrés. Il faudrait donc mettre des nouvelles protections sur le réseau afin de permettre la cohabitation entre les deux systèmes électriques.

Face aux contraintes actuelles de l'injection du surplus dans le réseau, j'ai pu relever deux actions menées par les institutions du secteur de l'énergie, afin de concrétiser la relation de cohabitation imaginée par le nouveau code de l'électricité, soit une relation où l'auto-producteur injecte et vend le surplus de sa production au réseau de la Senelec.

Tout d'abord, un **projet pilote** de deux ans est mené sur 10MW de clients qui peuvent injecter avec des mesures d'accompagnement afin de récolter les données en fonction des différents types de clients (Directeur de l'Electricité en charge des Énergies Renouvelables, Ministère du Pétrole et des Energies, 31.05.2022). Ce projet pilote doit permettre à la CRSE de disposer des informations nécessaires pour réaliser le décret avant que la Senelec puisse accepter les demandes des auto-producteurs pour l'injection de leur surplus d'énergie solaire dans le réseau.

Par ailleurs, de son côté la Senelec dispose actuellement d'un groupe de travail qui fait un **benchmarking**, notamment avec la Tunisie pour trouver des solutions. Les recommandations indiquent qu'un **système de monitoring est indispensable afin d'assurer la cohabitation** (Chef de Département Conduite et Gestion Technique (DCGT), Senelec, 14.06.2022). En effet, il est indispensable que la Senelec puisse connaître la puissance d'énergie produite et injectée avec un dispositif qui lui permette de déconnecter dans le cas où il y a un surplus trop important par rapport à la prise du réseau. Depuis 2018-2019, le Département Conduite et Gestion Technique (DCGT) assure la « téléconduite » des postes de distribution, c'est-à-dire, qu'elle fait le relevé des compteurs télécommandés toutes les cinq minutes. Avec ce système, 80 à 90% des clients qui appellent pour une coupure sont réalimentés en moins de cinq minutes (Chef de Département Conduite et Gestion Technique (DCGT), Senelec, 14.06.2022). La Senelec dispose donc déjà de l'expérience et des compétences pour gérer le monitoring du réseau, **le challenge reste maintenant la gestion du projet et le suivi du monitoring pour l'injection de l'énergie solaire auto-produite dans le réseau ainsi que l'engagement en interne de la Senelec**. Pour ce qui est de la gestion de projet, cela peut être facilité

par le **dispositif de guichet unique** qui permet actuellement de faciliter le suivi d'un projet entre le client et les différents services de la Senelec ²⁰.

En ce qui concerne **l'engagement en interne de la Senelec**, je pense que la cohabitation entre le réseau conventionnel et les systèmes solaires photovoltaïques n'est pas leur priorité. En effet, la stratégie 2021-2025 de la Senelec afin de renforcer ses capacités se concentre sur la construction des centrales à gaz naturel, l'extension du réseau et des raccordements en milieu rural et la généralisation des compteurs à prépaiement pour faciliter la facturation, ainsi que le marché WAPP (West Africa Power Pool). Il n'est donc pas question de stratégies axées sur la cohabitation du réseau avec les systèmes solaires PV d'autoproduction. Ce qui semble normal pour une société concessionnaire d'électricité qui suit le modèle de système électrique suivant : « Production – Transport – Distribution » ; or la cohabitation du réseau électrique avec des systèmes solaires PV d'autoproduction qui injecteraient dans le réseau demande d'intégrer le modèle « Autoproduction – Distribution » (Chef de Département Conduite et Gestion Technique (DCGT), Senelec, 14.06.2022). Ce point sur le modèle demanderait, selon moi, une étude sociologique approfondie des institutions du secteur de l'énergie afin de saisir dans quelle mesure le changement de modèle est possible et nécessaire afin d'assurer la mise en œuvre de l'injection de l'énergie solaire auto-produite dans le réseau de la Senelec ? Y-a-t-il des « imaginaires » (Simmet, 2017) du réseau électrique qui font blocage ? Ou, plus simplement, le faible engagement ne vient-il pas d'un manque de moyens humains et financiers ? Toutefois, la Senelec témoigne tout de même d'un intérêt pour la cohabitation entre les deux systèmes électriques à travers les activités de brainstorming mentionnées précédemment et à travers le projet d'étude sur le déploiement des systèmes solaires PV dans les entreprises et industries, mais l'opérateur national manque de moyens humains pour mener cette étude (Directrice des Études Générales, Senelec, 07.06.2022).

En attendant le décret, les relations de cohabitation entre les deux systèmes électriques (solaire et Senelec) semblent se construire par les auto-producteurs grâce au système technique du solaire photovoltaïque qui comprend des équipements techniques et les acteurs de l'installation du solaire. Par exemple, dans le cas d'un système solaire avec stockage couplé à la Senelec, l'inverseur joue un rôle clé dans la construction de la cohabitation entre les deux systèmes puisqu'il permet entre autres

²⁰ Le guichet unique permet de rassembler en un seul point les demandes de projet des clients, telles que la demande de raccordement ou d'extension du réseau, sous forme de dépôt de dossier qui est numérisé puis dispatché dans les différents services techniques de la Senelec pour recevoir les différents avis qui sont remontés au comité d'approbation la semaine suivante qui valide ou non la demande.

de basculer de l'un à l'autre. Dans le cas du système solaire PV en autoconsommation directe sans stockage couplé à la Senelec avec système de monitoring, ce dernier joue également un rôle dans la définition de la cohabitation entre les deux systèmes, puisqu'il permet le suivi de la consommation d'énergie solaire et de la Senelec en prévision de la possibilité d'injecter le surplus dans le réseau. Par ailleurs, dans les études de cas analysées, nous avons identifié un cas qui injecte déjà dans le réseau de la Senelec grâce à un boîtier bidirectionnel. Nous reviendrons sur les études de cas pour présenter les obstacles techniques rencontrés à l'échelle de l'installation des systèmes solaires PV pour la construction de la cohabitation entre les deux systèmes électriques (solaire et Senelec).

Le déploiement du solaire photovoltaïque n'attend pas la Senelec : les obstacles des dispositifs sociotechniques de cohabitation installés par les auto-producteurs

À travers les analyses des études de cas, nous pouvons relever quatre dispositifs sociotechniques de cohabitation qui correspondent à un système solaire PV : l'inverseur manuel (le plus commun), l'armoire de maintien automatique ou onduleur hybride, le dispositif de monitoring avec l'application de suivi de consommation énergétique, le compteur bidirectionnel intelligent. Chacun des dispositifs, présentés davantage dans l'annexe 3, correspondent à un système solaire PV ainsi qu'à une configuration sociotechnique.

À la suite de la mission de terrain, nous relevons des obstacles techniques et surtout humains qui limitent la mise en œuvre de ces dispositifs mis en place par les auto-producteurs qui permettent la cohabitation entre le réseau de la Senelec et le système solaire PV. Ces obstacles ont été abordés plus en profondeur lors d'entretiens avec des institutions, des chercheurs et techniciens.

Premièrement, la qualité des installations des systèmes solaires PV, qui dépend en partie de la **qualité des équipements ainsi que de la qualité des formations données aux techniciens qui installent les équipements**, est un obstacle à la cohabitation des deux systèmes électriques. La qualité des équipements des systèmes solaires PV est un réel enjeu pour le Sénégal, où le marché du solaire PV regroupe toutes sortes d'équipements de mauvaise qualité et non adaptés aux contextes. C'est pourquoi deux laboratoires ont été mis en place à Dakar, l'un à l'ANER et l'autre à l'ESP, qui permettent de certifier la qualité du matériel qui rentre dans le pays ainsi que de mener des études sur la dégradation des batteries. D'autres chercheurs, tels que Arouna Darga, de l'institut photovoltaïque de

l'île de France, étudie la dégradation des panneaux solaires dans le contexte climatique et environnemental de l'Afrique de l'Ouest. Il n'y a pas tant de recherche sur les dispositifs de cohabitation entre les deux systèmes électriques (inverseur, onduleur hybride...) puisque l'enjeu est avant tout de faire fonctionner le système solaire photovoltaïque. Par ailleurs, la question de la formation des techniciens est un volet souvent abordé. En effet, il a été mentionné à plusieurs reprises par des auto-producteurs, des chercheurs ou des entreprises de solaire la difficulté de pouvoir trouver des « bons » techniciens « réellement » spécialisés dans le solaire qui puissent installer correctement un système solaire. Partant de ce constat, l'ESP lance pour une période de deux ans « *un projet d'appui à la filière photovoltaïque par la formation, la recherche et le soutien technique aux entreprises* » en collaboration avec l'EPFL, Senelec, CRDI, (2021). Ce projet cherche à renforcer les capacités de 200 agents-cadres et techniciens ainsi que de porter deux thèses sur le contrôle de qualité des systèmes solaires PV.

Deuxièmement, certains **dispositifs de monitoring telles que les applications demandent des moyens financiers et humains pour réaliser le suivi**. Par ailleurs, ces dispositifs demandent une **infrastructure internet et numérique opérationnelle sans panne**, seulement les pannes font partie du quotidien d'un tel dispositif, comme je l'ai relevé lors de l'enquête.

Finalement, les institutions telles que la Senelec, sont des obstacles au déploiement de dispositifs tels que le compteur bidirectionnel. En effet, leur **manque d'engagement vis-à-vis du déploiement du solaire PV, ne facilite pas les procédures d'installation des compteurs bidirectionnels**.

Une multitude de modes de cohabitation des systèmes électriques : faut-il l'intégrer dans les dispositifs réglementaires ?

Le développement des techniques « décentralisées » n'annonce pas la « fin des grands réseaux ». En pratique, on observe la mise en œuvre de combinaisons diverses entre les différentes techniques au sein de systèmes composites dont les formes d'organisation, de fonctionnement et de contrôle, comme les implications, ne sont d'ailleurs pas stabilisées. » (Coutard et Rutherford, 2009 : 11) ?

La présentation des dispositifs de cohabitation entre systèmes solaires PV et Senelec met en lumière l'existence, dans la région de Dakar, d'une **multitude de modes de cohabitation entre le réseau de la Senelec et les systèmes solaires PV**. L'étude nous a permis de relever **trois modes de cohabitation entre les deux systèmes électriques** : l'injection du surplus de l'énergie solaire

autoproduite dans le réseau de la Senelec, le basculement manuel ou automatique d'un système électrique à un autre grâce à une technologie électrique, et enfin la cohabitation monitorée. Dans le cadre du premier mode de cohabitation, pris en compte dans le code de l'électricité, les obstacles techniques du réseau Senelec semblent être la raison principale de la difficulté de son déploiement. En creusant davantage, nous nous rendons compte qu'il est essentiellement question d'un manque d'engagement de la Senelec pour débloquer les obstacles techniques qui relèveraient de la gestion de projet et de monitoring dont la Senelec détient déjà les compétences. Ainsi, **les trois modes de cohabitation identifiés relèvent actuellement d'initiatives « bottom-up »**, c'est-à-dire des initiatives de particuliers ou de privés qui ont souhaité installer des systèmes solaires photovoltaïques selon divers facteurs. **Ces modes de cohabitation, qui rencontrent des obstacles pour leur mise en œuvre, ne sont pas encore pris en compte dans la réglementation**, notamment dans le nouveau code de l'électricité de 2021 qui fixe pour la première fois les conditions de la cohabitation entre les deux systèmes électriques (solaire et Senelec).

En effet, malgré **les dispositifs sociotechniques et la réglementation en faveur de la cohabitation, chaque système électrique est pensé et étudié séparément**. La recherche sur le solaire PV se concentre essentiellement sur son fonctionnement interdépendant d'équipements solaires uniquement, pareillement pour le réseau conventionnel. Cependant, le déploiement du solaire PV semble bien sur une trajectoire de croissance et obligera une transformation du système électrique conventionnel. En effet, le déploiement du solaire PV à grande échelle, notamment dans le secteur de l'industrie, concurrence le réseau de la Senelec en réduisant sa rentabilité. Par ailleurs, le déploiement du PV et l'autorisation de l'injection du surplus des auto-producteurs dans le réseau de la Senelec impliquent des complications techniques que le réseau Senelec doit relever. Notamment, le changement de modèle électrique de « production, transport, distribution » afin d'inclure le modèle « autoproduction, distribution ». Dans cette optique, **il semblerait important que le cadre réglementaire et politique intègre la multitude des modes de cohabitation entre les deux systèmes électriques afin d'assurer une cohabitation bien construite**.

Bibliographie

Akrich, M. (1989). "La construction d'un système socio-technique", *Anthropologie et sociétés*, vol. 13, n° 2, p. 31-54

ANAT (2019) Plan National d'Aménagement et de Développement Territorial (PNADT) Horizon 2035, version provisoire

ANSD (2019), *Situation Economique et Sociale de la région de Dakar*, sur <https://satisfaction.ansd.sn/ressources/ses/SES-Dakar-2019.pdf>

Arik, E., Jaglin, S. et Verdeil, É. (2019) "Transitions énergétiques à Istanbul et Le Cap: À propos de transformations plurielles", *Multitudes*, n°77(4), p. 101. doi:[10.3917/mult.077.0101](https://doi.org/10.3917/mult.077.0101).

Aritzia, T. et Raglianti, F. (2020) "The material politics of solar energy: Exploring diverse energy ecologies and publics in the design, installation, and use of off-grid photovoltaics in Chile", *Energy Research & Social Science* n°69

Ba Ahmadou Saïd (2018), *Accès universel et durable à l'électricité au Sénégal. Les conditions du succès*, Université Paris Dauphine, PSL Research University

Boamah, F. (2020), "Desirable or debatable? Putting Africa's decentralised solar energy futures in context", *Energy Research & Social Science*, Vol.62, pp. 1-9.

Boccanfuso, D., Estache, A. et Savard, L. (2009) "A Macro–Micro Analysis of the Effects of Electricity Reform in Senegal on Poverty and Distribution", *The Journal of Development Studies*, 45(3), pp. 351–368. Available at: <https://doi.org/10.1080/00220380802582361>.

Borderon, M., Oliveau, S., et al. (2014) "Qualifier les espaces urbains à Dakar, Sénégal", *Cybergeog: European Journal of Geography* [Enligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 670, consulté le 27 avril 2022. URL : <https://journals.openedition.org/cybergeog/26250>

Bridge, G. et al. (2013) "Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy", *Energy Policy*, 53, pp. 331–340. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>.

Broto, V. (2017) "Energy landscapes and urban trajectories towards sustainability", *Energy Policy*, 108, pp. 755–764. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.009>.

Broto, V. et al. (2018) "Energy justice and sustainability transitions in Mozambique", *Applied Energy*, 228, pp. 645–655. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.057>.

Broto, V. et Baker, L. (2018) "Spatial adventures in energy studies: An introduction to the special issue", *Energy Research & Social Science*, 36, pp. 1–10. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.002>.

Business France (2021) Les énergies renouvelables au Sénégal, Disponible sur : <https://www.businessfrance.fr/>

Caille, F. et Badji M., (2018), *Du soleil pour tous. L'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*, Sciences et bien commun, Québec

Coetzer, P. *et al.* (no date) "Développer les entreprises inclusives du secteur de l'énergie solaire au Sénégal", p. 106.

Coutard O. (2010). "Services urbains : la fin des grands réseaux ?". In COUTARD O., LÉVY J.-P. (dir.), *Écologies urbaines. État des savoirs et perspectives*. Paris: Économica-Anthropos, coll. « Villes », 372 p.

Coutard, O. et Rutherford, J. (2009) "Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques « décentralisées »"; *Flux*, n° 76-77(2), pp. 6–13. Available at: <https://doi.org/10.3917/flux.076.0006>.

Cross, J. et Murray, D. (2018) "The afterlives of solar power: Waste and repair off the grid in Kenya", *Energy Research & Social Science*, 44, pp. 100–109. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.034>.

CRSE (2018) *Document de consultation publique relative à la détermination du tarif d'achat du surplus d'énergie électrique d'origine renouvelable résultant d'une production pour consommation propre*

De Bercegol, R. (2021) "Transition urbaine et électrification domestique en Afrique de l'Est: La diversification énergétique des périphéries de Dar Es Salaam", *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement*, [En ligne] at : <http://journals.openedition.org/tem/8230>

De Bercegol. R., et Gowda S., (2014) " L'accès à l'eau entre inégalités urbaines et contraintes techniques. La décentralisation du service dans quatre petites municipalités d'Uttar Pradesh", *Seuil*, n°203, pp114-135

Diatta S. (2012) *L'impact de l'urbanisation dans la gestion foncière de la commune d'Arrondissement de Mbao*, [Mémoire de Master 2, Aménagement et Gestion Urbaine en Afrique (AGUA)], Université Cheikh Anta DIOP, Dakar

Diongue, M. (2010) "Périurbanisation différentielle : mutations et reorganisation de l'espace à l'est de la région dakaroise (Diamniadio, Sangalkam et Yene), Sénégal", *Carnets de géographes* [Preprint], (1). Available at: <https://doi.org/10.4000/cdg.2085>.

Diop, O., (2014) *Cohabitation industries et habitats sur l'espace Hann Bel-Air Mbao le long du littoral sud de la presqu'île du Cap-Vert*, Mémoire Master 2, Aménagement et Gestion Urbaine en Afrique (AGUA), Université Cheikh Anta DIOP, Dakar

Dubresson, À. et Jaglin, S. (2021) "Énergie électrique décentralisée et réseau municipal : hautes tensions autour d'un bien commun urbain dans la province du Western Cape (Afrique du Sud)", *Flux* n° 124-125, pp. 81-97

Fall, A. et al. (2008) "Modern energy access in peri-urban areas of West Africa: the case of Dakar, Senegal", *Energy for Sustainable Development*, 12(4), pp. 22–37. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(09\)60005-3](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(09)60005-3).

Francius, R., Trompette, P. et Cholez, C. (2017) "Lampes solaires, kit, batteries... Les nouveaux marchés de l'électrification rurale en Afrique", dans *Energies africaines, L'ARCHICUBE, revue de l'Association des anciens élèves, élèves et amis de l'École Normale Supérieure*, pp. 65-72.

Franklin, R. et Osborne, T. (2017) "Toward an urban political ecology of energy justice: the case of rooftop solar in Tucson, AZ", *Journal of Political Ecology*, Vol. 24, pp 1056 -1076

Gbossou K. C., (2013) *Mise en place d'un pôle intégré d'excellence pour les énergies renouvelables. Cas de l'énergie solaire en Afrique de l'Ouest*. Thèse. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. Français. NNT : 2013EMSE0694. tel-00904378

Gecit, J. (2022) "Le départ raté de l'énergie solaire en Afrique de l'Ouest, 1960- 1987 ", *Journal of Energy History/Revue d'Histoire de l'Énergie* [Enligne], n°7, mis en ligne le 06 janvier 2022, URL: energyhistory.eu/node/285.

Sy Fallou., (2020) *Maintenance Curative et Etude d'Efficacité Energétique des charges d'un chantier photovoltaïque chez un particulier*, Mémoire de fin de stage, Université Assane Seck, Ziguinchor

GRET, Fiche projet UPE-Solaire, Usages productifs de l'énergie solaire au Sénégal

Guillou E. (2022), *En réseau - Hors réseau : configurations électriques émergentes dans les aires d'urbanisation diffuse (Sénégal et Tanzanie)*, Thèses en préparation à Paris Est , dans le cadre de l'École doctorale Ville, Transports et Territoires , en partenariat avec LATTTS - Laboratoire Techniques, Territoires, Sociétés (laboratoire)

IRENA (2019), *Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access: An opportunity not to be missed*, Abu Dhabi,

Jaglin, S. (2019a) "Urban electricity systems in a time of "solar revolution": hybridisations and local technopolitical regime(s) in the Western Cape (South Africa)", in *Session 15: Hybrid electrical configurations: from heterogeneity to new conceptualization of energy transition in Southern countries? (1)*, Royal Geographical Society with IBG Annual International Conference 2019, London.

Jaglin, S. (2019b) "Electricity Autonomy and Power Grids in Africa: from Rural Experiments to Urban Hybridizations", in Lopez, F., Pellegrino, M., et Coutard, O. (eds) *Local Energy Autonomy*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., pp. 291–314. doi:[10.1002/9781119616290.ch13](https://doi.org/10.1002/9781119616290.ch13)

Jaglin, S. and Verdeil, E., (2017), "Emerging countries, cities and energy. Questioning transitions", In Bouzarovski, S., Pasqualetti, M. J., Castán Broto, V., *The Routledge Research Companion to Energy Geographies*, Routledge, pp.106-120, 2017. halshs-01546666

Jaglin, S. (2014) "Urban Energy Policies and the Governance of Multilevel Issues in Cape Town », *Urban Studies*, n°51, pp°1394-1414.

Jaglin, S. (2012) 'Services en réseaux et villes africaines : l'universalité par d'autres voies ?', *L'Espace géographique*, Tome 41(1), pp. 51–67. Available at: <https://doi.org/10.3917/eg.411.0051>.

Kébé C.M.F. (2021) *Projet d'appui à la filière photovoltaïque par la formation la recherche et le soutien technique aux entreprises*, École Supérieure Polytechnique (ESP) de Dakar

KfW, GIZ, IRENA (2020), *La transition vers les énergies renouvelables en Afrique*, Francfort-sur-le-Main

Koepke, M. et al. (2021) "Rethinking energy transitions in Southern cities: Urban and infrastructural heterogeneity in Dar es Salaam", *Energy Research & Social Science*, 74, p. 101937. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101937>.

Lawhon, M., et al. (2018) "Thinking through heterogeneous infrastructure configurations", *Urban studies*, Vol 55(4), pp°720-732

Le Picard H., Toulemont M. (2022), "Le solaire décentralisé à l'assaut des villes africaines. Une analyse originale d'analyse satellite et de Deep Learning ", *Briefings de l'Ifri*, Ifri, [en ligne] le 18 janvier 2022 sur : <https://www.ifri.org/>

Lettre Géopolitique de l'Électricité N°74 - 30 avril 2017 sur <https://www.geopolitique-electricite.fr/>

Le Dessous des cartes : Electrification de l'Afrique : quelle(s) énergie(s) ? (2020), [Reportage] réalisé par Jean-Christophe Ribot, émission du 07/11/2020 en ligne sur ARTE : <https://www.arte.tv/fr/videos/091146-025-A/le-dessous-des-cartes/>

Lopez, Fanny, Pellegrino, Margot et Coutard, Olivier. (2019). " Introduction ", in *Les territoires de l'autonomie énergétique*, London : ISTE Editions, p. 3-14.

Mane M., (2021) Les pôles urbains du triangle Dakar -Thuès-Mbour et la politique du logement social, ACRESA, [en ligne] disponible sur <https://acresa.org/les-poles-urbains-du-triangle-dakar-thies-mbour-et-la-politique-du-logement-social>

Melnyk, A. et Singh, A., Chapter 3 - Constructing an inclusive vision of sustainable transition to decentralised energy. Local practices, knowledge, values and narratives in the case of community-managed grids in rural India" in A.Kumar, J. Höffken & A.Pols, *Dilemmas of Energy Transitions in the Global South. Balancing Urgency and Justice*, Routledge, pp39-54, 2021

Ministère de l'Énergie et du Développement des Énergies Renouvelables (2015) *Plan d'Action National des Énergies Renouvelables (PANER)*, période 2015-2020/2030

Ministère du Renouveau Urbain, de l'Habitat et du Cadre de Vie, (2016), Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses Environs Horizon 2035 (PDU), Dakar

Müller, F. *et al.* (2020) "Is green a Pan-African colour? Mapping African renewable energy policies and transitions in 34 countries", *Energy Research & Social Science*, 68, p. 101551. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101551>.

Muller, M. et Harnmeijer, J. (2018) "Enabling policy for solar PV: the gap in the urban global south", *Int. J. Technology Intelligence and Planning*, Vol. 12, No. 1,

Munro, P. (2020) "On, off, below and beyond the urban electrical grid the energy bricoleurs of Gulu Town", *Urban Geography*, vol. 41, n° 3, p. 428-447.

Ndiaye I. (2015) "Étalement urbain et différenciation socio-spatiale à Dakar (Sénégal)", *Cahiers de géographie du Québec*, Vol.59, n° 166, pp°.47-69

Ngom, C.A.L. (2013), *Urbanisation et problématique de l'aménagement urbain dans la périphérie de Dakar : le cas de la localité de Tivaouane Peulh-Niaga*, Mémoire de Master II Espace Société Développement, AGUA de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, disponible sur : <http://196.1.97.20/viewer.php?c=mmoires&d=meml%5f7879>

Niang, F. (2020) Mutations urbaines, dynamiques socio-démographiques et modernisation à Dakar : vers une transition des modes de déplacement urbains ?, Mémoire Master 2 Urbanisme et Aménagement, École d'Urbanisme de Paris

Olivier de Sardan J.-P., *et al.* (2010). *Gouvernance locale et biens publics au Niger*. Londres : Overseas Development Institute, document de travail no 10, 35 p.

Plan Sénégal Emergent 2014-2018

PNUD

Rateau, M. (2021) *Configurations électriques, inégalités d'accès et pratiques citoyennes à Ibadan (Nigéria) et à Cotonou (Bénin)*, Thèse Géographie, Université Paris-Est Sup

REN21 (2021), *Renewables in Cities 2021 Global Status Report, Case study*, (Paris: REN21 Secretariat) ; consultable sur : <https://www.ren21.net/>

Rutherford, J., et Coutard, O. (2014), "Urban Energy Transitions: Places, Processes and Politics of Socio-technical Change", *Urban Studies*, Vol.51(7), pp. 1353-1377.

Rutherford, J., et Coutard, O., (2013) "Vers l'essor de villes post-réseaux : infrastructures, changement sociotechnique et transition urbaine en Europe", *L'innovation face aux défis environnementaux de la ville contemporaine*, p. 97-118.

Sané, Y. (2016) "La décentralisation au Sénégal, ou comment réformer pour mieux maintenir le statu quo", *Cybergeo* [Preprint]. Disponible sur : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27845>.

Saupique, T. (2002) "L'électrification de la ville de Dakar après 1945", *Outre-mers*, 89(334), pp. 85–104. Disponible sur : <https://doi.org/10.3406/outre.2002.3926>.

Senelec (2020) Plan Yessal, presentation PDF

Senelec, Rapport annuel 2018

Senelec, Rapport annuel 2019

Senelec, Rapport annuel 2020

Silver, J. et Marvin, S. (2017) "Powering sub-Saharan Africa's urban revolution: An energy transitions approach", *Urban Studies*, 54(4), pp. 847–861. Disponible sur : <https://doi.org/10.1177/0042098016668105>.

Simmet, H.R. (2018) "Lighting a dark continent": Imaginaries of energy transition in Senegal', *Energy Research & Social Science*, 40, pp. 71–81. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.022>.

Smith S., (2019) "Hybrid networks, everyday life and social control: Electricity access in urban Kenya", *Urban Studies*, Vol. 56, pp 1250–1266

Ulsrud, K., Winther, T., Palit, D., Rohracher, H., et Sandgren, J. (2011). "The Solar Transitions research on solar mini-grids in India : Learning from local cases of innovative socio-technical systems". *Energy for Sustainable Development*, 15(3), 293-303.

Vanier M.(dir.) (2009), *Territoires, territorialité, territorialisation : controverses et perspectives*, Presses universitaires de Rennes.

Ville de Dakar (2021) Plan Climat Énergie Territorial (PCET) de la ville de Dakar, 2021-2025

Ville de Dakar (2013) Plan d'Action Environnemental (PACTE) 2013-2017, Dakar

Voldoire, T.(2022) *Accès à l'énergie électrique et croissance urbaine au Sénégal : des configurations particulières dans les coopératives d'habitat de la région de Dakar*, Mémoire Master 2 Urbanisme et Aménagement, École d'Urbanisme de Paris

Walker.G, (2008) "Decentralised systems and fuel poverty", *Energy Policy* n°36, pp. 4514–4517

Westphal, M.I., Martin, S., Zhou, L. et Satterthwaite, D. (2017) *Powering Cities in the Global South: How Energy Access for All Benefits the Economy and the Environment*, World Resources Report

SITES INTERNETS :

<http://www.senelec.sn>

<https://www.crse.sn/la-production>

<https://www.acteursdudeveloppement.org>

<https://www.ren21.net/>

<https://www.europages.fr/entreprises/S%C3%A9n%C3%A9gal/energie-renouvelable.html>

<https://www.businessfrance.fr/>

<https://fr.greenyellow.com/fr/news/greenyellow-realise-plus-grande-centrale-solaire-en-autoconsommation-senegal>

TEXTES REGLEMENTAIRES :

Loi n° 98-29 du 14 avril 1998 relative au secteur de l'électricité

Loi n°2010-21 Portant Loi d'Orientation sur les Energies Renouvelables

Loi n°2021-31 du 9 juillet 2021 portant Code de l'Electricité

Loi n°2021-32 du 9 juillet 2021 portant création, organisation et attributions de la CRSE

Décret n°2021-855 du 29 juin 2021 modifiant le décret n°2021-689 du 28 mai 2021 fixant le ressort territorial et le Chef-lieu des régions, départements et arrondissement dans le Journal officiel de la République du Sénégal, n°7439, du mardi 13 juillet 2021

Table des matières

Remerciements	2
Sommaire	3
Liste des abréviations	5
Table des figures.....	6
Introduction	8
Chapitre 1. La transformation énergétique : le cadre théorique du déploiement du solaire photovoltaïque dans les systèmes électriques	11
I. État de l’art	11
I.1. L’accès à l’électricité en Afrique et les transformations énergétiques	11
I.2 Les systèmes solaires photovoltaïques et leur contribution dans la transformation énergétique des villes des Suds.....	14
I.3 Choix et intérêt pour le sujet de recherche : les fondements de ce mémoire	16
II. Méthode de recherche	18
II.2 Définition de l’objet d’étude et du périmètre d’étude	18
II.2.a) Les systèmes solaires photovoltaïques (PV) : un objet d’étude défini à partir du terrain et de lectures personnelles	18
II.2.b) La région de Dakar comme cas d’étude empirique : les raisons de ce choix.....	20
II.2.c) Le périmètre d’étude : les caractéristiques de la région de Dakar.....	21
II.3 Méthodologie	25
II.3.a) Du laboratoire à l’enquête de terrain	25
La recherche bibliographique.....	25
II.3.b) Les limites de la recherche.....	28
Chapitre 2. Le déploiement du solaire photovoltaïque dans le contexte énergétique du Sénégal et de la région de Dakar : la réglementation, les pratiques et les acteurs de la filière du solaire	31
I. Le réseau électrique conventionnel au Sénégal et dans la région de Dakar : les enjeux et les stratégies du secteur électrique.....	31
I.1. Le fonctionnement et le cadre institutionnel du réseau conventionnel au Sénégal : l’État aux commandes malgré l’ouverture du secteur d’électricité aux acteurs privés.....	31
I.1 a) La réforme du secteur électrique en 1998 : une refonte du cadre institutionnel et du rôle de la Senelec.....	32
I.1 b) Le cadre institutionnel de la fourniture d’électricité conventionnelle aujourd’hui.....	34
I.2 La situation électrique au Sénégal et dans la région de Dakar : les enjeux à relever par le secteur énergétique	36
I.2 a) La production et la demande d’électricité au Sénégal : vers l’indépendance énergétique afin d’assurer l’électricité à moindre coût et en quantité suffisante.....	36
I.2.b) La disparité d’accès entre le milieu rural et urbain : les stratégies de la Senelec entre extension du réseau et renforcement du réseau.....	37

I.3 Conclusion : La promotion des énergies renouvelables pour le développement du réseau électrique conventionnel	39
II. Les limites du cadre pour le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction au Sénégal et dans la région de Dakar	40
II.1. Les dispositifs de promotion des énergies renouvelables (EnR) et du solaire	40
II.1.a) Des dispositifs à l'échelle nationale	40
II.1.b) Des dispositifs dans la région de Dakar	43
II.1.c) Conclusion	43
II.2. La contribution des acteurs de la filière du solaire dans le déploiement des systèmes solaires photovoltaïques de la région de Dakar	44
II.2.a) Les entreprises du solaire et leur mode d'approvisionnement d'équipements	45
II.2.b) Le schéma d'acteurs territorialisé de la filière solaire dans la région de Dakar : les entreprises du solaire et les clients au cœur du déploiement des systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction	48
Conclusion du chapitre 2	50
Chapitre 3. Les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction dans les espaces urbains de la région de Dakar : un inventaire non-exhaustif des études de cas	51
I. Introduction : analyser le processus de déploiement du solaire photovoltaïque dans la région de Dakar par l'approche sociotechnique territorialisée	51
II. L'identification des configurations de systèmes solaires photovoltaïques selon la méthode de l'étude de cas : l'inventaire non-exhaustif	54
II.1 Le corpus d'études de cas et l'enquête de terrain	55
II.1.a) Les études de cas des installations de systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction	55
II.1.b) Les trois modes de collecte de données pour les études de cas : les entretiens semi-directifs, les observations in situ et la recherche bibliographique	58
II.2 Le traitement des données des études de cas	61
III. Description et récit des études de cas	62
III.1. Système solaire PV avec stockage branché à un dispositif manuel de basculement vers le réseau de la Senelec	66
III.1.a) Le récit du cas de l'Ecole Keur Fatou Kaba : « avoir de l'électricité tout le temps à moindre coût », enfin presque	69
III.1.b) Le récit du cas de la maison à Tivaouane Peulh : « accéder à l'électricité en attendant l'arrivée du réseau de la Senelec »	70
III.1.c) Le récit du cas de l'entreprise du solaire : « réduire la facture d'électricité tout en assurant la continuité du travail de l'entreprise »	72
III.1.d) Le récit du cas de l'entreprise Fouta Poids Lourds : « réduire la facture d'électricité tout en assurant la continuité du travail de l'entreprise »	72
III.1.e) Conclusion :	75

III.2. Système solaire PV monitoré en autoconsommation directe, sans stockage, couplé au réseau de la Senelec et d'un générateur de secours	76
III.2.a) Le récit du cas de la Sphère Ministérielle : « assurer l'exploitation à moindre coût »	79
III.2.b) Le récit du cas du Stade Abdoulaye Wade : « rentabiliser un projet d'infrastructure publique grâce à l'énergie solaire ».....	81
III.2.c) Le récit du cas du Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM) : « faire des économies pour maintenir le centre hospitalier CHOM en activité »	82
III.2.d) Le récit du cas des stations-essence de TotalEnergies : « du solaire pour réduire l'empreinte carbone ! »	83
III.2.e) Conclusion :	84
III.3. Les variantes du système solaire PV en autoconsommation directe couplé au réseau de la Senelec	85
III.3.a) Le récit du projet immobilier Dakar Eco City : « l'énergie solaire, un argument de vente » .	86
III.3.b) Le récit de la maison bioclimatique à énergie positive	89
III.3.c) Conclusion	91
Conclusion du chapitre 3	91
Conclusion générale. Le réseau d'électricité et les systèmes solaires décentralisés : une cohabitation en construction ?	94
Les enjeux de la cohabitation entre le réseau d'électricité et les systèmes solaires décentralisés .	94
Les obstacles techniques et institutionnels de la Senelec face à la cohabitation avec les systèmes solaires photovoltaïques d'autoproduction	96
Le déploiement du solaire photovoltaïque n'attend pas la Senelec : les obstacles des dispositifs sociotechniques de cohabitation installés par les auto-producteurs	99
Une multitude de modes de cohabitation des systèmes électriques : faut-il l'intégrer dans les dispositifs réglementaires ?	100
Bibliographie	102
Table des matières	1029
ANNEXES.....	112
Annexe 1 : Grilles d'entretiens semi-directifs.....	113
Annexe 2 : Fiche d'identité d'une étude de cas.....	123
Annexe 3 : Présentation des dispositifs sociotechniques de cohabitation entre les systèmes solaires PV et la Senelec.....	126
Annexe 4 : Carte des nouvelles limites administratives de la région de Dakar selon le ressort territorial établi par le décret n°2021-855 du 29 juin 2021.....	129

ANNEXES

Annexe 1 : Grilles d'entretiens semi-directifs.....	113
Annexe 2 : Fiche d'identité d'une étude de cas.....	123
Annexe 3 : Présentation des dispositifs sociotechniques de cohabitation entre les systèmes solaires PV et la Senelec.....	126
Annexe 4 : Carte des nouvelles limites administratives de la région de Dakar selon le ressort territorial établi par le décret n°2021-855 du 29 juin 2021.....	Error! Bookmark not defined.

Annexe 1 : Grilles d'entretiens semi-directifs

Objectifs des entretiens :

- Récolter des données pour produire de la connaissance sur le processus de déploiement des systèmes solaires PV à Dakar
- Récolter des données pour comprendre la cohabitation entre les 2 systèmes électriques : réseau conventionnel et solaire PV.
- Faire le lien entre les différents acteurs et leur rôle
- Recueillir de la documentation complémentaire (plan, brochure, projet, ...)

Catégories d'enquêté.e.s :

1. Institutions du secteur électrique et des énergies renouvelables

Acteurs visés : SENELEC, Guichet unique de la SENELEC, Ministère du pétrole et de Energies Renouvelables, CRSE

2. Entreprises du solaire (installateur, distributeurs d'équipements, ...)

Acteurs visés : Entreprises d'installation, distributeurs d'équipements, revendeurs d'équipements, ...

3. Techniciens du solaire (installateur, distributeurs d'équipements, ...)

Acteurs visés : Entreprises d'installation, distributeurs d'équipements, revendeurs d'équipements, ...

4. Collectivités territoriales

Service de l'urbanisme ville de Dakar (resp. PCET), communes

Services généraux et techniques ville Dakar, et communes

Élus villes et communes

5. Consommateurs

Équipements : école, stade

Servies et équipements publics : éclairage public, ...

Entreprises : agro-alimentaire, ferme

6. Associations / ONG solaire

ENDA énergie

7. Chercheur.euse.s électrique / urbain

Professeurs, chercheurs UCAD

CERER (Centre d'Études et de Recherche sur les Énergies Renouvelable) de l'UCAD

8. Représentant de quartier

1. Institutions du secteur électrique et des énergies renouvelables

a) Présentation

- pourriez-vous présenter brièvement votre structure et votre fonction ?
- pourriez-vous présenter le rôle, missions, projet de votre structure dans le secteur électrique ainsi que dans le déploiement des EnR, notamment le solaire PV ?

b) Situation et développement du réseau électrique

- Quelle est la situation actuelle du réseau électrique au Sénégal / à Dakar / dans le quartier ?
 - offre : taux d'électrification, production, distribution, tarification
 - demande et satisfaction des usagers
 - auriez-vous des documents / statistiques / chiffres récents qui permettent de donner un aperçu de la situation ?
- Quels sont les défis du réseau électrique à Dakar aujourd'hui ?
- Quelles sont les orientations, stratégies, projets de votre structure pour développer/améliorer le service électrique à Dakar ?
- Quelles sont les stratégies actuelles et les orientations futures de votre structure concernant la transition énergétique ? Comment intègrent-elles les EnR, notamment solaire PV ?

c) Relation avec les acteurs de la filière solaire / ville

- Qui sont vos partenaires privilégiés ? Dans quel cadre travaillez-vous avec eux ?
- Quelles sont vos relations avec les acteurs de la planification urbaine dans la région de Dakar (collectivités territoriales, bureau d'études, urbanistes, ...) ?
- Qui sont selon vous les acteurs de la filière solaire ? Dans quel cadre travaillez-vous avec ces acteurs ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?

d) Attente/vision sur la cohabitation systèmes solaires PV et réseau conventionnel

- Selon vous, pourquoi les systèmes solaires photovoltaïques se déploient-ils à Dakar ?
- Comment le déploiement des systèmes solaires PV impacte-t-il le réseau électrique conventionnel ?
 - les conséquences sur le système technique :
 - conséquence sur les tarifs :
 - conséquences en termes de service électrique à Dakar :
- Quelles sont les stratégies actuelles et les orientations futures de votre structure face à cette cohabitation des deux systèmes électriques ?
- selon vous, les systèmes solaires sont-ils une solution ou un problème au développement du service électrique urbain ?

QUESTION FIN CHAPITRE / PARTIE / ENTRETIEN est-ce qu'il y a des choses qui vous semblent importantes dont on n'a pas parlé ?

2. Entreprises solaires

a) Présentation entreprise

- pourriez-vous présenter brièvement votre entreprise (date de création) et votre fonction ?
- Quels sont les services que vous proposez ?
- pourriez-vous me communiquer vos gammes de prix pour vos services ?
- pourriez-vous préciser vos activités en lien avec vos services ?
- Combien de personnes travaillent dans l'entreprise ?
- Comment est organisée l'entreprise ? (Qui fait quoi ? organigramme)

b) Technique

- Quels sont les systèmes solaires PV et équipements que vous proposez et pourquoi ? (Énergie produite, coûts, ...)
- Combien de temps cela prend en moyenne pour les installer ?
- Quels sont les critères pour choisir les configurations techniques des installations PV pour vos clients ? (fonction du quartier, client, demande d'énergie, ...)
- Quelles sont les différentes étapes à l'installation PV ? (conception, organisation chantier, ...)

c) Localisation de l'activité et des installations : pour qui, pourquoi, où, comment ?

- Quels sont les profils de vos clients ? (Particuliers, entreprises, villes, aisés, modestes...)
- Pourquoi vos clients font-ils appel à vous ? (type consommation du client)
- Quelle est votre relation avec vos clients ?
- Quels sont les principaux quartiers dans la région de Dakar où vous intervenez ?
- Combien d'installations PV/clients par quartier ?
- Pourquoi intervenez-vous dans ces zones en particulier ? (proche de l'entreprise, service électrique déficient, concentration de client,...)
- Dans quel type de quartier vos équipes rencontrent-elles des difficultés ou des facilités pour intervenir ?
- Quels sont les types d'installations PV/d'équipements/services en fonction des quartiers ?

d) Relation avec les acteurs de la filière solaire

- Qui sont vos partenaires/collaborateurs privilégiés ? Dans quel cadre travaillez-vous avec vos partenaires ? Quelles sont vos relations avec vos partenaires ?
- Qui sont selon vous les acteurs de la filière solaire ? Dans quel cadre travaillez-vous avec ces acteurs ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?
- Travaillez-vous avec les institutions du secteur électrique (SENELEC, Ministère, CRSE) ? Dans quel cadre ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?
- Travaillez-vous avec les planificateurs urbains (ville, commune, urbaniste,)? Dans quel cadre ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?
- Quelles sont vos connaissances sur les projets d'aménagements urbains à l'œuvre dans les quartiers où vous travaillez ?

e) Attente/vision sur la cohabitation systèmes solaires PV et réseau conventionnel

- Selon vous, quels sont les obstacles et opportunités au déploiement des installations PV ?
- Depuis la création de l'entreprise, y a-t-il eu des évolutions dans la filière du solaire ? Si oui, lesquelles et comment votre entreprise s'est adaptée ? (Évolution du nombre de client, nouveaux équipements, variétés des services, demande, offre ...)
- Quelle est la place du réseau électrique dans vos installations PV ? (analyse du réseau, raccordé, travail avec techniciens de la SENELEC,...)
- Quelles sont les stratégies actuelles et les orientations futures de votre entreprise face à cette cohabitation des deux systèmes électriques ?
- selon vous, en quoi les systèmes solaires seraient-elles une solution ou problématique au développement du service électrique urbain ?
- Quel impacte cela aurait sur le réseau conventionnel ?

QUESTION FIN CHAPITRE / PARTIE / ENTRETIEN est-ce qu'il y a des choses qui vous semblent importantes dont on n'a pas parlé ?

3. Techniciens du solaire (installateur/maintenance)

a) Présentation

-pourriez-vous vous présenter brièvement (depuis quand travaille dans l'entreprise, rôle et mission dans l'entreprise, « formation ») ?

- Quelles sont les différentes tâches de votre travail ? pourriez-vous me décrire le dérouler d'une de vos journées type ?

b) Technique

- Sur quels chantiers/installations travaillez-vous ? Combien de temps cela prend-il ?

- de quels éléments techniques sont-ils/elles composé.e.s ?

-pourriez-vous expliquer le mécanisme de fonctionnement de façon simple ?

- Les installations PV sont-elles raccordées au réseau de la SENELEC ? Si oui, comment cela fonctionne-t-il ?

- Combien coûte l'installation ? et combien d'électricité produit-elle ?

c) Localisation de l'activité et des installations : pour qui, pourquoi, où, comment ?

- Qui sont les utilisateurs des installations PV ? (Particuliers, entreprises, villes, aisés, modestes...)

- Pourquoi ont-ils besoin de l'installation PV ?

- Quelles sont vos relations et la nature de vos échanges avec les clients ?

- Quels sont les principaux quartiers dans la région de Dakar où vous intervenez ?

- Combien d'installations PV par quartier ?

- Pourquoi intervenez-vous dans ces zones en particulier ? (proche de l'entreprise, service électrique déficient, concentration de client,...)

- Dans quel type de quartier rencontrez-vous des difficultés ou facilités pour les installations PV et pourquoi ?

- Quelles sont les solutions que vous avez trouvées pour faire face aux difficultés ?

- Quels sont les types d'installations PV en fonction des quartiers ?

d) Relation avec les acteurs de la filière solaire

- Qui sont vos partenaires/collaborateurs privilégiés ? Dans quel cadre travaillez-vous avec ? Quelles sont vos relations avec vos partenaires/collaborateurs ?

- Travaillez-vous avec les techniciens de la SENELEC ? Dans quel cadre ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?

- Travaillez-vous avec les planificateurs urbains (ville, commune, urbaniste,)? Dans quel cadre ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?

- Quelles sont vos connaissances sur les projets d'aménagements urbains à l'œuvre dans les quartiers où vous travaillez ?

e) Attente/vision sur la cohabitation systèmes solaires PV et réseau conventionnel

- Selon vous, quels sont les obstacles et opportunités au déploiement des installations PV ?

- Depuis que vous travaillez dans la filière du solaire, y a-t-il eu des évolutions ? Si oui, lesquelles et comment vous êtes-vous adapté ? (nouveaux équipements, variétés des services, demande, offre ...)

- Comment prenez-vous en compte le réseau électrique dans vos installations PV ? (analyse du réseau, raccordé, travail avec techniciens de la SENELEC,...)
- Dans quelle situation/quand est-ce que l'existence des deux systèmes électriques, le panneau PV et le réseau conventionnel, pose problème ? et inversement, solve des problèmes ?
- selon vous, les systèmes solaires PV seraient une solution ou problématique au développement du service électrique urbain ? pourquoi ?

QUESTION FIN CHAPITRE / PARTIE / ENTRETIEN est-ce qu'il y a des choses qui vous semblent importantes dont on n'a pas parlé ?

4. Collectivités territoriales

a) Présentation

- pouvez-vous présenter brièvement votre structure et votre fonction ?

b) Caractéristiques du territoire

- pouvez-vous présenter brièvement votre ville/commune/quartier ?
- Quels sont les enjeux/ défis auxquels le territoire doit faire face ? (urbanisation, environnement, inondations, constructions informelles,...)
- Quels sont actuellement les projets urbains sur votre territoire ?
- Quelle est la situation du service électrique sur votre territoire (couverture du réseau, coupures, projets, ...) ? Quelle est la demande en électricité de votre territoire ?
- Quelles sont les stratégies actuelles et les orientations futures concernant la transition énergétique sur votre territoire ?

c) Localisation de l'activité et des installations PV

- Que pensez-vous du déploiement du PV dans les territoires urbains ?
- Des installations PV sont-elles présentes sur votre territoire ?
 - Si oui, quel type d'installation peut-on rencontrer, dans quelle zone et pourquoi ?
 - Si non, pourquoi ?
- Quelles sont les stratégies actuelles et les orientations futures concernant le déploiement du PV sur votre territoire ? (PCET, projet d'éclairage public, subvention, équiper les équipements publics, ...)

c) Relation avec les acteurs de la filière solaire / électricité

- Qui sont vos partenaires privilégiés ? Dans quel cadre travaillez-vous avec eux ?
- Quelles sont vos relations avec les institutions électriques (SENELEC, Ministère, ...) ?
- Quelles sont vos connaissances sur les logiques du déploiement du réseau sur votre territoire ?
- Comment prenez-vous en compte les installations du réseau électrique dans vos plans d'urbanisme ?
- Qui sont selon vous les acteurs de la filière solaire ? Dans quel cadre travaillez-vous avec ces acteurs ? Quelles sont vos relations avec ces acteurs ?
- Quelles sont vos connaissances sur les logiques du déploiement du PV sur votre territoire ?
- Comment prenez-vous en compte les installations PV dans vos plans d'urbanisme ?

d) Attente/vision sur la cohabitation systèmes solaires PV et réseau conventionnel

- Selon vous, quels sont les obstacles et opportunités au déploiement des installations PV sur votre territoire ?
- Dans quelle situation l'existence des deux systèmes électriques, le panneau PV et le réseau conventionnel, sur votre territoire pose problème ? et inversement, solve des problèmes ?
- Comment le déploiement des systèmes solaires PV impacte-t-il le réseau électrique sur votre territoire ?
 - les conséquences sur le système technique :
 - conséquence sur les tarifs :
 - conséquences en termes de service électrique à Dakar :

- Quelles sont les conséquences actuelles du déploiement du PV sur le service électrique de votre territoire ?

- selon vous les systèmes solaires sont-ils une solution ou un problème au développement du service électrique urbain ?

QUESTION FIN CHAPITRE / PARTIE / ENTRETIEN est-ce qu'il y a des choses qui vous semblent importantes dont on n'a pas parlé ?

5. **Consommateurs**

a) Observations

Qualité de la construction (logement, entreprise, école,)	Pauvre, populaire, Moyen, Supérieur
Typologie de construction	Construction isolée, Construction en bande, Immeuble, Villa, hangar // étages :
Densité du bâti	Dense, moyennement dense, lâche
Forme urbaine	Urbain, intra-urbain, péri-urbain, rural
Électricité du quartier	Groupe électrogène, toiles d'araignée, solaire, bon réseau
Voirie du quartier	
Localisation	

b) Présentation

Prénom, Nom :

Contacte :

Profil (particulier, entreprise,...) :

Activité :

Quelle est sa consommation ? :

c) Caractéristiques de l'occupation et du territoire

- Année d'occupation du quartier/logement :
- Région d'origine :
- Statu de l'occupation :
- Pouvez-vous présenter brièvement votre ville/commune/quartier ?
- Quelle est la situation du service électrique dans votre quartier (couverture du réseau, coupures, projets, ...) ?

c) Usage de l'électricité et accès au réseau :

- Comment le courant arrive-t-il à vous ? (compteur, installation, branchements, ...)
 - Quel est votre abonnement (basse ou moyenne tension) ?
 - Comment est-ce que vous payez ? (prix kwh, compteur à recharge, sur facture au guichet de la SENELEC, prélèvement, ...)
 - [Si ce n'est pas trop indiscret] combien vous payez par mois ?
- Si vous n'avez pas le courant, est-ce que vous avez fait la demande pour avoir le courant ? Comment et auprès de qui ?
- À quoi vous sert l'électricité ? (éclairage, équipements électrique, cuisiner, recharger le téléphone, ...)
- Quels équipements électriques avez-vous à la maison/ dans l'entreprise/école/ferme ?
- Quelle est votre consommation en électricité par mois ?

c) Technique PV

- Pourquoi avez-vous installé un système solaire PV ?

- Combien d'énergie électrique produit votre installation PV ?
- Pourriez-vous expliquer le mécanisme de fonctionnement de votre installation de façon simple ?
- Votre installation est-elle connectée au réseau de la SENELEC ? Si oui, pourquoi et comment cela fonctionne-t-il ? Si non, pourquoi ?
- Combien vous coûte votre système solaire PV ? (installation, maintenance, ...)
- Quel bénéfice tirez-vous de l'installation ?

c) Relation avec les acteurs de la filière solaire / électricité

- Quelles sont vos relations avec les entreprises solaires ?
- Quelles sont vos relations avec la SENELEC ? Comment considérez-vous le service électrique de la Senelec ?
- Quelles sont vos relations avec les collectivités territoriales ?
- Quelles sont vos connaissances sur le déploiement du réseau dans votre quartier ?
- Quelles sont vos connaissances sur le déploiement du PV dans votre quartier ?

d) Attente/vision sur la cohabitation systèmes solaires PV et réseau conventionnel

- Selon vous, quels sont les obstacles et opportunités au déploiement des installations PV dans votre quartier ?
- Dans quelle situation l'existence des deux systèmes électriques, le panneau PV et le réseau conventionnel, sur votre territoire pose problème ? et inversement, solve des problèmes ?
- selon vous, en quoi les systèmes solaires seraient-elles une solution ou un problème au développement du service électrique urbain ?
- Quels impacts cela aurait sur le réseau conventionnel ?

e) niveau socio-économique :

Profession :

Niveau scolaire :

Les enfants à l'école (privée/publique) :

Employés de maison :

Mode de transport :

QUESTION FIN CHAPITRE / PARTIE / ENTRETIEN est-ce qu'il y a des choses qui vous semblent importantes dont on n'a pas parlé ?

Annexe 2 : Fiche d'identité d'une étude de cas

ETUDE DE CAS N° 1	
NOM	Ecole Keur Fatou Kaba
SECTEUR	Education
LIEU	Médina Gounass à la limite avec la commune de Djiba Thiaroye Kao, Guédiawaye
ZONE	Banlieue
ACTIVITÉ	<p>L'école élémentaire accueille 310 élèves dont les parents souhaitent une bonne éducation pour leurs enfants, mais qui n'ont pas les moyens de les envoyer dans l'école privée. Les enfants sont répartis dans 9 classes allant du CI (Classe intermédiaire) au CM2, soit environ 30 à 40 élèves par classes. 10 enseignant.e.s, 2 femmes chargées de l'entretien et une personne en service civique pour les cours d'informatiques y travaillent.</p> <p>Depuis cette année, ils ont ouvert une deuxième structure l'école périscolaire (à cinq minutes à pied de l'école élémentaire, dans la commune de Djiba Thiaroye Kao) pour les enfants de 2 à 5 ans. Elle accueille 122 élèves, 5 monitrices et une femme en charge de l'entretien.</p>
USAGE DE L'ÉLECTRICITÉ	
<p>Description usage de l'électricité :</p> <p>L'électricité est utilisée la journée lors des horaires d'ouverture de l'école de 8h à 18h afin d'enseigner dans les meilleures conditions. Elle sert essentiellement à alimenter les équipements bureautiques (16 ordinateurs, une imprimante, la photocopieuse, le vidéoprojecteur) surtout pour les cours d'informatique, les 7 ventilateurs et les lumières le soir et le matin tôt lorsqu'il fait sombre (elles ne sont pas toujours présentes dans toutes les salles). Elle permet également de faire fonctionner le surpresseur qui alimente l'école en eau.</p>	  
<p>Équipements électriques :</p>	
<p>Consommation d'électricité :</p> <p>50 000CFA/2mois</p>	
<p>Système de raccordement au réseau :</p> <p>Depuis le poteau électrique du réseau, un câble est directement raccordé dans l'école. Dans l'école élémentaire, il y a un câble basse tension qui passe par les escaliers.</p>	
<p>Raisons appel au PV :</p> <p>« Avoir de l'électricité tout le temps aux moindres coûts »</p>	

Il a installé du solaire afin de « bien travailler ». Par exemple permettre à la photocopieuse de fonctionner même pendant les coupures. Mais aussi le projecteur, lorsque les enseignant.e.s ont prévu de faire cours avec un film. Assurer le bon déroulement des cours d'informatique. De plus que l'électricité coûte cher.

= **assurer continuité de l'accès à l'électricité + réduire coût de la facture**

SYSTÈME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Le système solaire PV :

10 panneaux solaires 2450W/24V, 9 batteries gel 100 Ah, 1 onduleur de 3,5KVA, 1 régulateur 60 A et un « inverseur » manuel

Les 10 panneaux solaires sont installés sur le toit. Ils sont reliés au régulateur qui charge les batteries. Les panneaux solaires chargeaient les batteries qui injectent dans le réseau du bâtiment grâce à l'onduleur. Lorsqu'il y avait des coupures, le directeur devait changer manuellement pour passer de l'électricité solaire à l'électricité de la Senelec.

= **système solaire stockage batterie + senelec avec inverseur manuel**

Support d'installation des PV :

Les panneaux sont installés sur le toit du 2^e étage de l'école, sur **supports métalliques fixés sur des plots de ciment pour ne pas abimer le toit de fibrociment.**

Système de maintenance :

Une petite passerelle + une échelle fixée sur la façade de l'école au R+2 permet de les atteindre pour les nettoyer au jet. L'accès reste difficilement accessible.

Coûts du système :

Pour les coûts d'installation (équipements solaires + plomberies + réservoir eau) :
4 993 760 + 790 600 + 1 250 800 = **7 035 160 CFA**

Puissance installée : ??

Production solaire / jour : ne peuvent pas savoir, car pas de monitoring

Monitoring : non

Rapport utilisation solaire, senelec, générateur / jour :

ne peuvent pas savoir, car pas de monitoring

Dysfonctionnement :

Le PV ne fonctionne plus depuis 1 an. Avant cela fonctionnait de 8h à 9h puis cela s'éteignait dès que le surpresseur était en route. Le problème viendrait du **surdimensionnement du surpresseur.**

= **mauvais dimensionnement de l'entreprise**

Avantages et bénéfices générés par le système :

Quand ça marche le solaire c'est un gain de temps, car les enseignements se passent normalement avec de l'électricité 24h/24. Les élèves peuvent apprendre à tout moment, même le soir ils peuvent continuer à apprendre. Cela tout en payant



moins cher l'électricité du réseau entre 10 000 et 7 000 CFA, soit environ 6 fois moins cher. = accès à l'électricité sans interruption + réduction de la facture

Inconvénients et pertes générés par le système :

Faire l'entretien des panneaux est un inconvénient, car les panneaux PV sont difficilement accessibles sur le toit [je confirme pour avoir essayé l'échelle, j'avais même peur de m'aventurer plus loin en voyant la toiture en tôle sans aucun appui stable]. De plus, que si l'on n'a pas beaucoup d'espace cela peut encombrer. Aussi les batteries, ne sont pas de qualités ce qui impact sur l'environnement. Beaucoup d'argent dépensé pour un système qui ne fonctionne pas finalement.

= maintenance + non-opérationnalité dans la durée + l'impact sur l'environnement

DESCRIPTION DU TERRITOIRE D'IMPLANTATION DU SYSTÈME SOLAIRE

Description (lieu, commune, démographie, occupation du sol, activités,...) :

C'est un quartier irrégulier apparu à partir des années 60 avec l'arrivée des habitants dans les communes de Pikine et Guédiawaye. C'est une zone inondable, mais avec les sécheresses des années 70', les habitants ne voyant plus d'eau ont pensé s'installer. Jusqu'aux années 90' où les pluies ont inondé les quartiers. L'État a donc mené des projets pour agrandir les rues et démolir certaines maisons pour faire des bassins de rétention. Les habitants ont été recasés à Keur Massar dans l'initiative de logements sociaux du Président Abdoulaye Wade. « Grâce à ces travaux de transformation et le projet de canalisation aujourd'hui cela a amélioré la situation des inondations. La population est soulagée. La commune s'est beaucoup transformée. »

C'est un quartier qui regroupe essentiellement des logements et des activités « informelles » avec une population essentiellement jeune.

= quartier irrégulier

Paysage urbain :

Quartier irrégulier : des rues étroites avec un tissu organique aux habitations basses en parpaing et toiture de tôle.

Enjeux urbains du territoire :

Régulariser le quartier : restructuration foncière (projet participatif)

La mise en place des équipements de base (école, santé,...) insuffisant par rapport à la population

Réduire les risques d'inondation et assurer l'évacuation des eaux pluviales : projet en 2ème phase (bassin rétention + infra tertiaire et primaire)

Service urbain électrique :

L'électricité du réseau est instable, « il y a des coupures alors que c'est cher ». Cela empêche le bon déroulement de l'apprentissage. » Les coupures varient entre 1h voir la matinée/ou après-midi 10j/30j (mois). Il y a plus de coupures quand il fait chaud.

= réseau instable avec des coupures fréquentes.



Annexe 3 : Présentation des dispositifs sociotechniques de cohabitation entre les systèmes solaires PV et la Senelec

1) L'inverseur manuel

Ce dispositif est présent dans les études de cas disposant d'un système solaire avec stockage couplé à



Figure 8. L'inverseur manuel sur le chantier d'installation de l'entreprise Fouta Poids Lourds (Auteur, juillet 2022)

la Senelec (voir chapitre 3, III.1.), soit le cas de l'école Keur Fatou Kaba, le ménage 1 de Tivaouane Peulh, les bureaux de l'entreprise du solaire, l'entreprise Fouta Poids Lourds. L'inverseur manuel permet aux utilisateurs de basculer rapidement d'une source d'électricité à une autre en fonction de leur disponibilité (solaire, Senelec, générateur). Ainsi, l'inverseur est le lien direct qui permet en cas de production insuffisante ou de dysfonctionnement du système solaire PV de passer sur le réseau de la Senelec, et inversement. C'est une forme de cohabitation qui diffère de celle par injection du surplus du solaire dans le réseau de la Senelec défini par le nouveau code de l'électricité de 2021. Elle présente donc des avantages et inconvénients différents. Tout

d'abord, le basculement implique quelques minutes de coupures qui peuvent avoir un impact néfaste sur les équipements électriques. C'est pourquoi nous retrouvons ce dispositif dans des configurations sociotechniques qui peuvent se permettre des micro-coupures. C'est le cas, par exemple, d'une école ou d'un ménage dont l'activité tolère des coupures. Dans le cas des entreprises, telles que Fouta Poids Lourds, des micro-onduleurs pour équipements électriques (ordinateur) permettent de maintenir les équipements allumés entre 10 et 30 minutes le temps de sauvegarder le travail et d'éteindre en toute sécurité l'équipement pour éviter qu'il ne s'abîme. L'avantage reste que les consommateurs disposent d'électricité à tout moment.

III.1. b) L'armoire auto-maintien et onduleur hybride

Tout comme l'inverseur manuel, ces dispositifs permettent de basculer d'une source d'électricité à une autre, mais de manière automatique. L'armoire auto-maintien ou onduleur hybride permet donc une cohabitation en continu sans aucune micro-coupure entre le système solaire PV et le réseau Senelec. C'est pourquoi nous retrouvons ce dispositif dans les études de cas dont l'activité requiert un



Figure 9. En blanc, l'armoire auto-maintien du centre hospitalier CHOM (Auteur, juin 2022)

III.1.c) Le dispositif de monitoring

L'application de monitoring de la consommation d'énergie permet de faire le suivi de l'énergie solaire produite autoconsommée et la consommation de l'électricité de la Senelec. Le dispositif est principalement présent pour les systèmes solaires PV d'autoconsommation directe sans stockage ou avec stockage couplé à la Senelec (voir chap.3 III.2 et 3), tel est le cas de la maison bioclimatique, le centre de santé CHOM, le stade Abdoulaye Wade, la sphère Ministérielle, et les stations-services TotalEnergies. Dans les études de cas, l'application s'intitule SMA. Elle apporte une autre forme de cohabitation entre le système solaire et le réseau de la Senlec qui n'est pas de l'ordre de la continuité de l'accès à l'électricité, mais celle du suivi et de la gestion. Pour l'ensemble des études de cas en possession de l'application, ce dispositif de monitoring permet d'évaluer la rentabilité du système solaire ainsi que les économies d'émission de CO₂. Dans le cas de la maison bioclimatique, le dispositif permet également de recueillir des données dans l'objectif de poursuivre des expérimentations afin de contribuer à la recherche sur les énergies renouvelables et la mise en place d'un cadre favorable à leur déploiement. Il arrive, cependant, que l'application tombe en panne, c'était le cas lors de ma visite de la sphère ministérielle. Dans ce cas, le suivi et le monitoring n'est plus assuré ce qui limite la cohabitation, et peut être problématique dans des bâtiments automatisés tels que la sphère, le stade et le centre hospitalier.

III.1.d) Le compteur bidirectionnel intelligent



Figure 10. Compteur bidirectionnel intelligent installé sur la maison bioclimatique (Auteur, juin 2022)

Le compteur bidirectionnel permet à l'auto-producteur d'injecter le surplus de l'électricité solaire dans le réseau conventionnel tout en permettant au réseau conventionnel d'assurer le monitoring pour la stabilité du réseau. Ce dispositif permet donc la cohabitation entre le système solaire et le réseau conventionnel tel que décrit par le nouveau code de l'électricité 2021. Parmi les études de cas visitées, seule la maison bioclimatique dispose de ce dispositif, que le propriétaire s'est procuré par ses propres moyens. L'avantage de ce dispositif est qu'il permet au propriétaire d'utiliser le réseau de la Senelec comme lieu de stockage et ainsi de préserver ses batteries. Ce mode de cohabitation pose des difficultés à la Senelec, comme décrite dans la partie précédente, ainsi qu'à l'auto-producteur, qui doit investir par lui-même et se charger des procédures de raccordement rendu

difficile par la réticence de la Senelec (Propriétaire, maison bioclimatique, 30.06.2022).

