

Proposition d'une stratégie d'organisation pour la filière de gestion des déchets solaires au Sénégal

Rapport d'état des lieux

Juin 2021

**Programme Energies Durables (P.E.D.)
Energising Development (EnDev)**

Table des matières

Sigles et acronymes	2
I. Introduction : contexte et segmentation du marché.....	3
1.1 Le développement de l'énergie solaire : une opportunité pour le Sénégal, avec des impératifs de gestion durable des déchets générés	3
1.2 Segmentation des installations solaires et équipements associés.....	4
Segmentation des installations solaires	4
Équipements nécessaires pour les installations solaires	9
II. Etat des lieux du marché.....	10
2.1 Projection de la capacité des installations PV	10
2.2 Estimation des volumes et des typologies de déchets.....	12
Équipements secondaires	15
III. Potentiel de valorisation des déchets solaires.....	16
3.1 Modalités de gestion des déchets solaires	16
3.2 Potentiel économique	19
IV. Etat des lieux organisationnel.....	22
4.1 Rôles et responsabilités des acteurs du solaire	22
4.2 Circuit de gestion des déchets solaires au Sénégal.....	26
V. Etat des lieux politique, réglementaire et juridique	31
5.1 Revue du cadre juridique international	31
5.2 Revue du cadre juridique national.....	32
Revue des projets de textes en cours.....	34
5.3 Revue du cadre politique et stratégique.....	36
VI. Perspectives	38
Annexes.....	40
Annexe 1 : Sources pour estimation des capacités.....	40
Annexe 2 : Déchets générés au cours de la vie d'une installation	41
Annexe 3 : Méthode pour estimation des déchets générés.....	42
Annexe 4 : Liste des acteurs consultés	44

SIGLES ET ACRONYMES

Acronymes	Définition
ANER	Agence Nationale pour Energies Renouvelables
ASER	Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale
BTP	Bâtiments et Travaux Publics
COPERES	Conseil Patronal des Energies Renouvelables du Sénégal
DEEE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques
EnDev	Energising Development
ERIL	Electrification Rurale d'Initiative Locale
ERSEN	Projet d'Electrification Rurale Sénégal
GIZ	Agence allemande pour la coopération internationale
MW	Mégawatt
IPP	Independent Power Producer
IRENA	Agence internationale pour les énergies renouvelables
kWh/m ² /jour	KiloWatts heure par mètre carré et par jour
PANER	Plan d'Action National pour les Énergies Renouvelables
PASER	Plan d'Action Sénégalais d'Électrification Rurale
PED	Programme Energies Durables
	Promotion des Energies Renouvelables, de l'Electrification Rurale et de
PERACOD	l'Approvisionnement Durable en Combustibles Domestiques
PUDC	Programme d'Urgence de Développement Communautaire
PV	Photovoltaïque
SENELEC	Société Nationale d'Electricité du Sénégal

I. INTRODUCTION : CONTEXTE ET SEGMENTATION DU MARCHÉ

Les sources d'énergies renouvelables, dont le solaire photovoltaïque (PV), constituent une des réponses à la demande croissante de la consommation énergétique au Sénégal. Leur développement s'appuie néanmoins sur des équipements pouvant à terme poser des défis environnementaux, constitués à la fois des composants toxiques (plomb, mercure, cadmium), de plastiques et de métaux de base tels que l'acier, l'aluminium ou le cuivre. Au regard de la menace importante qu'ils présentent en termes de pollution de l'environnement, ces déchets requièrent une gestion et une prise en charge efficaces pour la préservation de la santé et du cadre de vie des populations. C'est dans un tel contexte que le gouvernement du Sénégal, avec l'appui de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), dans le cadre du Programme Energies Durables (PED) et du programme Energising Development (EnDev), s'est engagé à définir une stratégie pour la gestion durable des déchets solaires et ainsi anticiper la réponse aux défis d'une filière en pleine expansion. La nécessité d'une gestion adéquate de ces déchets constitue autant d'opportunités d'investissement, de partenariats, et de renforcement de capacités.

Ce chapitre présente :

- La place du solaire PV, dans la consommation énergétique du pays ;
- La segmentation des installations solaires, ainsi que le type d'équipements associés

1.1 Le développement de l'énergie solaire : une opportunité pour le Sénégal, avec des impératifs de gestion durable des déchets générés

L'énergie solaire apparaît de façon croissante comme une réponse aux besoins de consommation énergétique sénégalaise, aussi bien en milieu rural qu'urbain. Au cours des deux dernières décennies, le Sénégal a enregistré une nette amélioration en matière d'accès à l'énergie. Le taux d'accès à l'électricité est passé d'environ 38 % en 2000 à plus de 65 % en 2018, et la distribution d'électricité, qui couvrait à peine 75 % de la population urbaine et 15 % de la population rurale en 2000, s'est intensifiée et couvre à présent plus de 90 % de la population urbaine et plus de 40 % de la population rurale¹. Pour les années à venir, les projections récentes de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) estiment que le taux de croissance de la demande en électricité en Afrique de l'Ouest dépasserait 153 % sur la période 2018 à 2030². Le Nigéria, le Ghana, la Côte d'Ivoire et le Sénégal comptent pour presque 90 % de cette demande³.

Au Sénégal, l'énergie solaire est encore sous-exploitée au regard des différents avantages qu'elle pourrait procurer. Le solaire est compétitif face aux solutions thermiques (charbon, gaz, diesel), et sa simplicité de fonctionnement permet à la fois une relative rapidité de la construction des infrastructures et une facilité de maintenance, y compris dans des environnements isolés. Sa capacité

¹ Données Banque mondiale

² IRENA, Planification et perspectives pour les énergies renouvelables : Afrique de l'Ouest, 2018

³ Idem

à fonctionner hors réseau en fait une énergie capable d'alimenter immédiatement des populations rurales isolées sans attendre le déploiement souvent long et coûteux de lignes à haute tension⁴.

Ainsi, le Sénégal fait des énergies renouvelables et notamment du solaire PV une priorité nationale à travers ses programmes nationaux d'électrification. A l'ordre de ces programmes figurent (i) le Plan d'Action Sénégalais d'Électrification Rurale (PASER, 2009) combinant l'extension du réseau électrique aux systèmes solaires domestiques (SHS) et systèmes isolés hors réseau diesel ; (ii) le Plan d'Action National pour les Énergies Renouvelables (PANER, 2015) pour l'accès à l'électricité grâce à des systèmes hors réseau (mini-réseaux et systèmes autonomes) ; (iii) Le Plan Opérationnel pour la mise en œuvre du programme d'électrification rurale "Accès Universel-SE4ALL" de l'ASER, qui définit les objectifs de déploiement de mini réseaux, de kits individuels solaires ainsi que l'extension du réseau à horizon 2025 ; (iv) le Programme sénégal-allemand P.E.D. (Programme Energies Durables, 2015) visant à l'amélioration des conditions de mise en œuvre de services énergétiques durables et favorables à la protection climatique. Le Projet d'Electrification Rurale Sénégal (ERSEN 1, 2007 et ERSEN 2, 2010) s'inscrit dans cette logique et a été appuyée par le programme Energising Development (EnDev) (anciennement PERACOD), permettant l'électrification de 285 villages par SHS, mini-centrales hybrides (solaire/diésel) et raccordement au réseau MT.

Le développement de l'énergie solaire au Sénégal s'appuie néanmoins sur des équipements pouvant à terme poser des défis environnementaux. En effet, la plupart de ces équipements se transforment en fin de vie en Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE), constitués à la fois des composants toxiques (plomb, mercure, cadmium), de plastiques et de métaux de base tels que l'acier, l'aluminium ou le cuivre. La gestion des déchets issus de ces activités nécessite une maîtrise des circuits de mise sur le marché et une traçabilité des déchets des équipements en fin de vie. Il s'agit ainsi dans cette première phase d'étude d'établir une quantification du marché des déchets solaires ainsi qu'un état des lieux organisationnel et juridique de la filière. Ces éléments serviront de base à la définition de scénarios d'organisation dans la phase suivante.

1.2 Segmentation des installations solaires et équipements associés

Depuis une quinzaine d'années, le Sénégal a réalisé de nombreuses installations solaires, permettant de répondre à des usages diversifiés dans des contextes parfois très différents. Cette section propose une segmentation des installations solaires dans le contexte du Sénégal, et présente la liste des équipements nécessaires pour ces différents types d'installations.

Segmentation des installations solaires

L'énergie solaire se déploie dans deux types principaux de contextes :

- Les zones raccordées au réseau opéré par la SENELEC ou autres concessionnaires ;
- Les zones non raccordées au réseau, qualifiées de zones « hors réseau ».

A travers ces contextes, les installations solaires sont présentes sous multiples formes, se distinguant notamment par leurs capacités et le type d'usages auxquels elles sont destinées :

⁴ Institut Montaigne, Énergie solaire en Afrique : un avenir rayonnant, 2019

- Grands champs solaires (du mégawatt à quelques dizaines de mégawatts) ;
- Lampadaires solaires (quelques centaines de watts par lampadaire) ;
- Installations industrielles et commerciales (de la dizaine à la centaine de kilowatts) ;
- Minicentrales solaires et hybrides solaire/diesel (de quelques kilowatts à plusieurs dizaines de kilowatts) ;
- Kits / systèmes PV individuels, pour usages domestiques et productifs (quelques centaines de watts).

Tableau 1 : Segmentation des installations solaires à considérer

Segmentation	Installations solaires sur le réseau	Installations d'usage public	Installations solaires hors réseau pour usage professionnel, productif et domestique				
	A) Grands champs solaires raccordés au réseau	B) Lampadaires solaires	C) Installations industrielles et commerciales	D) Mini centrales			E) Kits individuels
<i>Détails</i>				<i>Usage productif & Communautaire</i>	<i>Mini centrales via concessions</i>	<i>ERIL</i>	<i>ERD - Usages domestiques et productifs</i>
Capacité	Du mégawatt à quelques dizaines de mégawatts	Quelques centaines de watts par lampadaire	De la dizaine à la centaine de kilowatts	Quelques dizaines kilowatts	Quelques kilowatts	Quelques kilowatts	Quelques centaines de watts
Propriétaire	Senelec / producteurs indépendants (IPPs)	Etat / Concessionnaires / Opérateurs ERILs	Industriel, opérateur télécom	Agriculteurs, commerces, structures communautaires en zone rurale (écoles, postes de santé, etc.)	Investisseurs et entrepreneurs (à travers différents programmes)	ERSEN / ASER	Opérateurs / Concessionnaires / Opérateurs ERILs / Particuliers

Les grands champs solaires

Ce segment regroupe, les centrales d'une capacité allant du mégawatt à quelques dizaines de mégawatts, permettant de produire un niveau de puissance qui est à la fois suffisant pour répondre aux besoins actuels d'une agglomération de 30 000 à 300 000 habitants et suffisamment modeste pour pouvoir s'insérer sur les réseaux électriques existants⁵.

Les lampadaires solaires

Les lampadaires solaires sont des installations effectuées pour l'éclairage public. La capacité de ces installations est d'environ quelques centaines de watts par lampadaire⁶. Bien que la plupart du temps, les lampadaires soient la propriété de l'Etat, ils peuvent aussi être la propriété des concessionnaires et/ou des opérateurs d'électrification rurale. Avec leur capacité limitée, les lampadaires solaires sont autonomes et ne sont pas raccordés aux réseaux de la SENELEC.

Les installations industrielles et commerciales

Ce segment regroupe des centrales d'une capacité allant de la dizaine à la centaine de kilowatts, permettant de produire un niveau de puissance suffisant pour répondre aux besoins d'opérateurs télécoms, d'entreprises industrielles ou encore manufacturières. Les installations industrielles et commerciales sont généralement réalisées sur les toitures des sites de production, ou au niveau des parkings à l'aide d'ombrières solaires, et permettent d'améliorer les coûts de production pour les bénéficiaires de l'énergie générée.

Les minicentrales

Une minicentrale répond à la demande d'électricité dans les zones non raccordées au réseau. À la différence de l'installation individuelle, la minicentrale permet de raccorder plusieurs points de consommation, typiquement au sein d'un village ou d'un groupe de villages à travers un réseau basse tension (BT). Ce type d'installation comprend généralement un système de stockage pour assurer l'approvisionnement en électricité pendant la nuit. Leur capacité est limitée à quelques dizaines de kilowatts.⁷

Les minicentrales sont de trois catégories : (i) les minicentrales à usage productif et communautaire, (ii) les minicentrales via concessions et (iii) les minicentrales des projets d'Electrifications Rurales d'Initiative Locale (ERIL) :

- **Les minicentrales à usage productif** sont des installations utilisées par des acteurs comme les agriculteurs, les commerces, les structures communautaires en zone rurale (écoles, postes de santé, etc.). Pour les usages communautaires, le développement des installations est coordonné par l'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) et le Programme d'Urgence de Développement Communautaire (PUDC) ;
- Les installations des **minicentrales via concessions** sont effectuées à travers différents programmes étatiques pour accroître l'accès à l'électricité dans les zones rurales. Pour chaque concession, un plan d'électrification local est développé, définissant des objectifs en

⁵ Institut Montaigne, Énergie solaire en Afrique, 2019

⁶ Fonroche Éclairage, site web consulté en juin 2021

⁷ Banque Mondiale, Electrification Rurale du Sénégal SE4ALL, 2018

termes de technologie, type d'investissement, et mesures à mettre en place pour faciliter une utilisation productive. Le développement des minicentrales est coordonné par l'Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale (ASER) ;

- **Les Electrifications Rurales d'Initiative Locale (ERIL)** ont également été développées pour accélérer le processus d'électrification rurale. Dans le cadre du programme des ERIL, les opérateurs sont accompagnés par l'Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale (ASER) pour réaliser un contrat portant sur une licence de 15 ans pour la vente d'électricité, et d'une concession de 25 ans pour la distribution de l'électricité.

Les kits individuels

Pour les populations vivant en zones rurales non connectées au réseau, l'acquisition d'un kit solaire individuel, (aussi appelé « Solar Home System ») permet de couvrir les besoins tels que la recharge d'un téléphone portable, l'éclairage, voire l'utilisation d'une télévision ou d'un petit réfrigérateur. Le déploiement des kits est réalisé par les acteurs privés du secteur (importateurs, concessionnaires, opérateurs de paiement « pay as you go », et opérateurs ERIL « fee for service »). Avec une capacité d'une centaine de kilowatts, les kits individuels disposent d'une autonomie d'environ trois à cinq heures par jour.

Equipements nécessaires pour les installations solaires

Pour la construction et l'utilisation des installations solaires, quatre types d'équipements sont nécessaires :



Les panneaux solaires, pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique



Les batteries, pour stocker l'énergie



Les équipements de conversion et de contrôle de l'énergie, pour acheminer l'énergie produite à l'utilisateur final (onduleurs, régulateurs de charge, transformateurs, câbles)



Les équipements secondaires (pompes, lampes, chargeurs, télévisions, réfrigérateurs, ventilateurs), dans le cas des kits intégrant à la fois l'outil productif (panneau solaire) et le matériel fonctionnant à l'énergie solaire.

Note : Des supports métalliques sont requis pour les installations solaires. Cependant, puisque la filière de récupération de la ferraille est en place à travers la récupération et la revente aux fonderies, ces déchets ne sont pas considérés dans le cadre de cette étude.

Tableau 2 : Segmentation des équipements associés aux différentes installations solaires

Segmentation	Installations solaires sur le réseau	Installations d'usage public	Installations solaires hors réseau pour usage professionnel, productif et domestique				
	A) Grands champs solaires raccordés au réseau	B) Lampadaires solaires	C) Installations industrielles et commerciales	D) Mini centrales		E) Kits individuels	
Détails				Usage productif & Communautaire	Mini centrales via concessions	ERIL	ERD - Usages domestiques et productifs
Equipements requis	<p>Equipements fixes</p> <ul style="list-style-type: none"> Panneaux solaires photovoltaïques Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie <p>Equipements fixes spécifiques aux installations</p> <ul style="list-style-type: none"> Lampadaires solaires : batteries (et lampes LED) Mini centrales : batteries 					<p>Equipements mobiles : Kits solaire individuels avec panneaux solaires, équipements de conversion et de contrôle de l'énergie, batteries, et pouvant inclure des équipements secondaires</p>	

II. ETAT DES LIEUX DU MARCHÉ

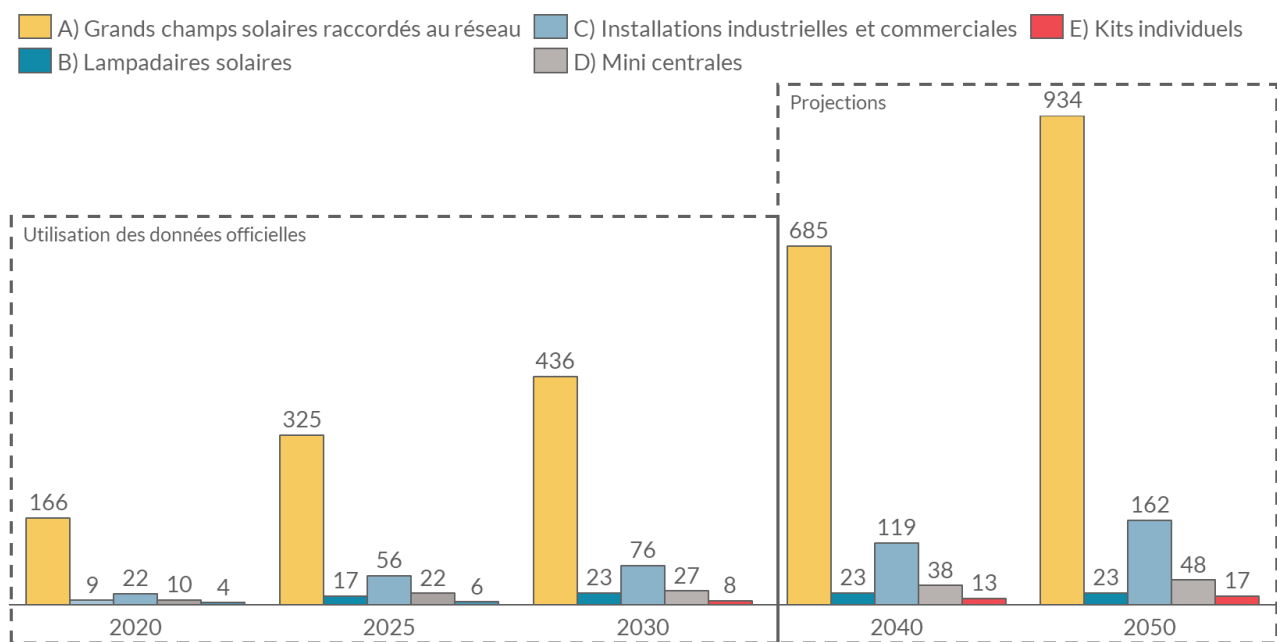
2.1 Projection de la capacité des installations PV

Les ambitions nationales de développement d'énergies renouvelables, ainsi qu'un état des lieux des installations existantes permettent d'établir la capacité installée en 2020, et d'obtenir des estimations de production d'énergie solaire à horizon 2030. Des projections ont été réalisées pour estimer les capacités installées au-delà de 2030, jusqu'en 2050. L'annexe 1_ détaille les sources documentaires (plans nationaux, études sectorielles, données terrain, etc.) ayant servi au calcul des capacités installées et à l'estimation des capacités à horizon 2030, ainsi que les hypothèses utilisées pour les projections à horizon 2050.

Cette analyse des projections installées fait ressortir les tendances suivantes :

- Les installations des grands champs solaires représentent environ 80 % de la capacité installée jusqu'à horizon 2050 ;
- La contribution du segment des installations industrielles et commerciales est importante, représentant entre 10 à 15 % de la capacité installée ;
- Les lampadaires solaires, les mini centrales et les kits solaires représentent moins de 10 % de la capacité installée.

Figure 1 : Synthèse des capacités photovoltaïques cumulées par type d'installation (MW)



Les installations des grands champs solaires représentent environ 80 % de la capacité installée en 2020. A ce jour, huit centrales solaires ont été mises en service dans le pays dans l'objectif de (i) améliorer le mix énergétique dans une optique durable, et (ii) faire baisser le tarif moyen de l'électricité. Le Sénégal a déjà atteint son objectif de 2025 de 30 % de pénétration de l'apport en énergie renouvelable et ressources énergétiques locales. Ces progrès ont contribué à faire passer à 22 % la part du renouvelable dans le mix énergétique du Sénégal, dont 12,5 % de solaire⁸. Bien qu'il

⁸ APIX, Fiche d'opportunité sectorielle- Energie, 2020

n’y ait pas encore de nouveaux objectifs établis au-delà de 2030, des investissements seront nécessaires pour maintenir ce ratio tout en répondant à la croissance de la demande (et notamment au vu de l’augmentation de la capacité prévue de production d’électricité à partir de gaz).

Tableau 3 : Dernières réalisations et projets prévus pour les grandes centrales solaires au Sénégal⁹

Site	Année de mise en service	Puissance installée (MW)
Diamniadio	2014	2
Bokhol	2016	20
Malicounda	2017	22
Santhiou Mékhé	2017	29.5
TEN Mérina	2017	29.5
Kahone + Sakal	2018	20
Sakal	2018	20
Diass	2020	23
Kahone scaling solar	2021	35
Kael scaling solar	2021	25
Walo storage	En cours (2022)	16
Teranga storage	En cours (2022)	30

Le marché de l’énergie solaire commerciale et industrielle en Afrique sub-saharienne est encore petit, mais est en forte croissance avec une capacité installée passée de 3 MW en 2016 à 35 MW en 2018 en Afrique sub-saharienne¹⁰. Au Sénégal, les installations industrielles et commerciales représentent 10 % de la capacité solaire en 2020, avec une augmentation à environ 15 % prévue à horizon 2030. Ces installations interviennent en soutien des entreprises confrontées à des difficultés sur le plan énergétique. Outre le surcoût lié à l’usage de groupes électrogènes qui viennent dégrader leur compétitivité, certaines activités industrielles requièrent une alimentation électrique stable et de qualité - la moindre coupure se traduisant par des dommages sur la production industrielle¹¹. Des industriels, des entreprises agro-alimentaires, des entreprises tertiaires ou encore des opérateurs télécom utilisent ces installations pour pallier les aléas du délestage.

Les segments des lampadaires solaires, des mini centrales et des kits individuels représentent environ 10 % de la capacité des installations en 2020. Bien que de nombreux plans stratégiques soient mis en place pour accompagner le développement de ces segments, ils restent relativement faibles comparés aux grands champs solaires et aux installations industrielles et commerciales. Ceci s’explique par la taille unitaire relativement inférieure de ces installations.

Concernant les lampadaires solaires, le plan d’actions de la LPDSE¹² fait du développement et de la pérennisation de l’éclairage public solaire une priorité. L’objectif d’éclairage public solaire généralisé est en cours de réalisation à travers (i) l’installation de 50.000 lampadaires solaires PV qui a été réalisée, (ii) la mise en place de 1.800 lampadaires dans les routes et pistes rurales, et (iii) une nouvelle phase de déploiement de 100.000 lampadaires. Une fois installé sur tout le territoire, il est prévu une

⁹ Analyses de Dalberg

¹⁰ Bloomberg, Solar for Businesses in Sub-Saharan Africa, 2019

¹¹ Institut Montaigne, Énergie solaire en Afrique, 2019

¹² MPE, Lettre de Politique de Développement du Secteur de l’Energie (LPDSE), 2019-2023

extension du réseau et un renouvellement des installations défectueuses, comme expliqué dans les scénarios considérés.

Au niveau des minicentrales, le plan d’actions de la LPDSE vise à intensifier l’utilisation des énergies renouvelables et notamment du solaire dans les installations pour usage productif & communautaire. Il est prévu plus de 9 MW de puissance installée pour des usages productifs, et près de 2 MW installé dans les infrastructures communautaires et édifices publics.¹³ Par ailleurs, de nombreux projets sont en cours pour les concessions et les ERLs. On recense plus d’une dizaine de projets financés par différents programmes des partenaires techniques et financiers, représentant plus de 900 installations à travers le pays. Par ailleurs, des objectifs de capacité de 10 MW sont fixés pour les minicentrales à horizon 2030 dans le PANER¹⁴, en ligne avec le plan opérationnel pour l’électrification universelle 2025.

Tableau 4 : Dernières réalisations et projets prévus pour les minicentrales

Année	Programme	Nombre de minicentrales
1996	Projet Nippon	3
2000	Projet Convention/GoS	53
2005	Projet Isofoton	9
2008	PERACOD/ERSEN	18
2010	PERACOD/ERSEN	79
2011	Projet Daye Owens	10
2011	Projet Autrichien	27
2018	ECREEE	40
2020	EU	70
2020	Islamic Development Bank, West African Development Bank, ECREEE, ASER	188
2020	Projet European Renewable Energy Federation, ASER	2
2020	PUDC	122
2021	GAUFF	300

L’installation de kits individuels pour usage domestique (aussi appelé « Solar Home Systems ») est en forte croissance. Selon le programme *Lighting Africa* de la Banque mondiale, un taux de croissance annuel moyen de plus de 50 % a été observé au Sénégal entre 2014 et décembre 2017¹⁵.

2.2 Estimation des volumes et des typologies de déchets

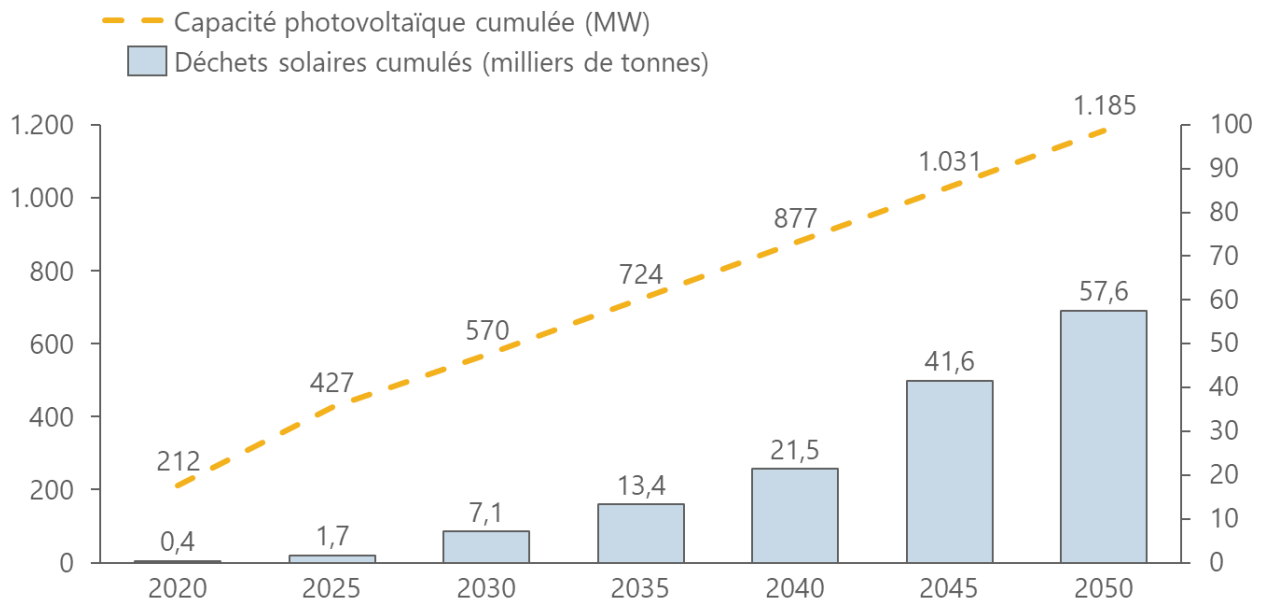
L’objectif de cette section est de quantifier les futurs flux de déchets liés aux installations de solaire photovoltaïque. La figure ci-dessous présente l’estimation des déchets solaires générés au Sénégal à horizon 2050. L’annexe 2_ détaille la méthodologie utilisée pour le calcul des déchets solaires générés.

¹³ MPE, Lettre de Politique de Développement du Secteur de l’Energie (LPDSE), 2019-2023

¹⁴ ANER, Plan d’Actions National des Energies Renouvelables (PANER) 2015-2020/2030, Décembre 2015

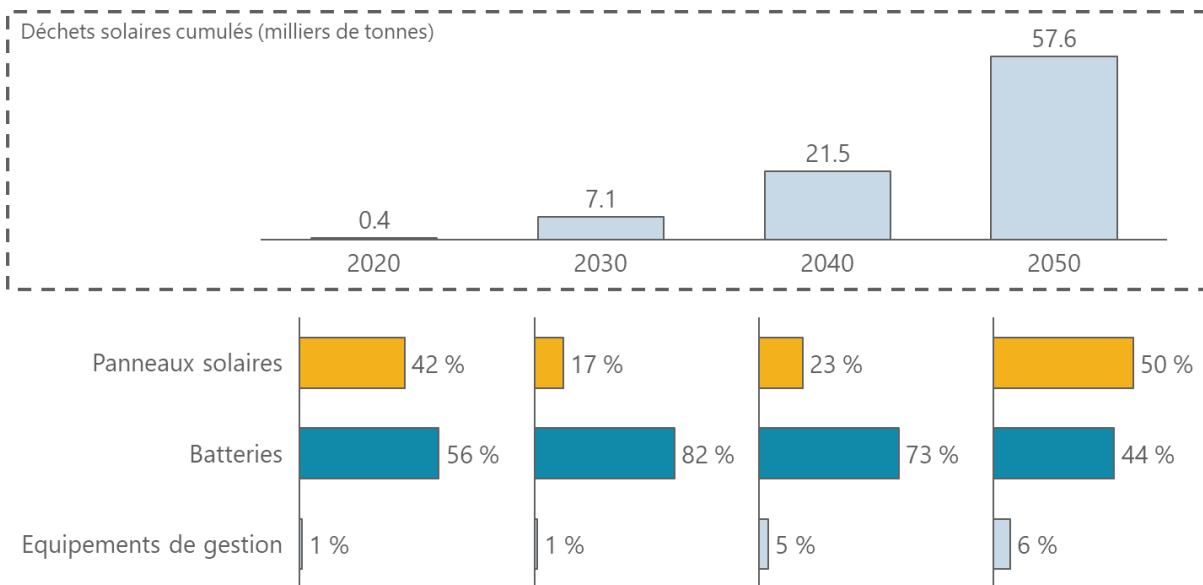
¹⁵ World Bank Lighting Africa, Senegal: Off-grid, a much-needed market, 2018

Figure 2 : Synthèse des capacités photovoltaïques cumulées (MW) et des déchets solaires (milliers de tonne)



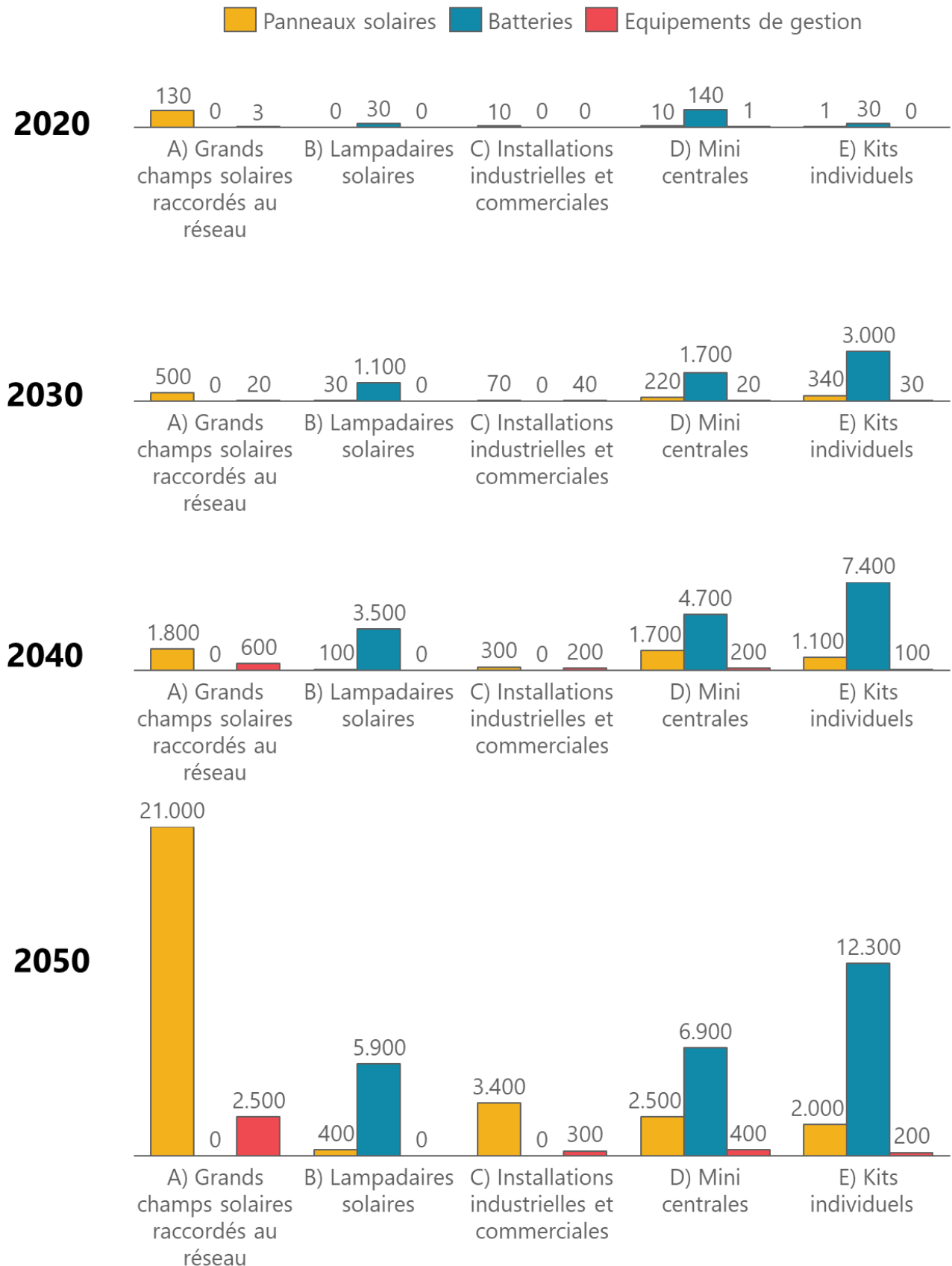
La grande majorité des volumes de déchets solaires arrivera sur le marché à horizon 2045-2050. Cette échéance correspond à la fin de vie des grands champs solaires, qui représentent la majorité des installations réalisées entre 2018 et 2022, et dont les panneaux solaires ont une durée de vie de 25 ans.

Figure 3 : Evolution des types de déchets solaires générés (cumulés en milliers de tonne)



Avec des durées de vie moyennes entre 6 et 10 ans, les déchets issus des autres équipements tels que les batteries et les équipements de conversion et de contrôle de l'énergie seront les premiers à arriver sur le marché. Ces équipements seront renouvelés entre 2 et 3 fois pendant la durée de vie d'une installation solaire. De plus, le poids des batteries est relativement important (par exemple : 43% du poids des équipements requis pour les équipements photovoltaïques des mini-centrales), ce qui contribue à expliquer leur contribution importante.

Figure 4 : Evolution des déchets solaires générés par segment (cumulés en tonne)



Les batteries, notamment représentent un enjeu important de gestion des déchets dès les 10 prochaines années. Les principales sources de batteries usagées sont les lampadaires, les mini centrales et les kits individuels. La faible durée de vie des batteries explique la quantité importante

de déchets générés. Les batteries sont prévues pour durer 10 ans pour les lampadaires installés par Fonroche, 6 ans pour les mini centrales et de 4 ans pour les kits individuels. Après cela, elles sont remplacées pour le cycle suivant. Cependant, les lampadaires solaires sont conçus pour durer 30 ans, et donc pour chaque lampadaire installé, 3 batteries seront consommées pendant la durée de vie de l'installation. La figure ci-dessous explique ce phénomène sur les différents segments.

Tableau 5 : Synthèse des batteries usagées générés par les différentes installations

	A) Grands champs solaires raccordés au réseau	B) Lampadaires solaires	C) Installations industrielles et commerciales	D) Mini centrales	E) Kits individuels
Capacité installation type	20 MW	265 W	10 kW	10 kW	40 W
Durée de vie considérée de l'installation	25 ans	30 ans	25 ans	15 ans	10 ans
Durée de vie des batteries	N/A	10 ans	N/A	6 ans	4 ans
Batteries consommées durant la durée de vie de l'installation	N/A	3 x 27.5 kg	N/A	2.5 x 670 kg	2,5 x 17.5 kg

Il est à noter que les batteries des différents types d'installations sont de technologies différentes. A ce jour :

- Les batteries des mini centrales sont au plomb ;
- Les batteries des lampadaires solaires installés à partir de 2019 sont au Nickel-Hydrure Métallique (NiMH) ;
- Les batteries de Solar Home Systems sont au Lithium et plomb (hors pompes solaires).

Avec l'évolution de la technologie, des batteries type lithium vont intégrer les installations des mini centrales. A l'avenir, il n'est pas non plus exclu que les batteries des futurs lampadaires solaires soient au lithium.

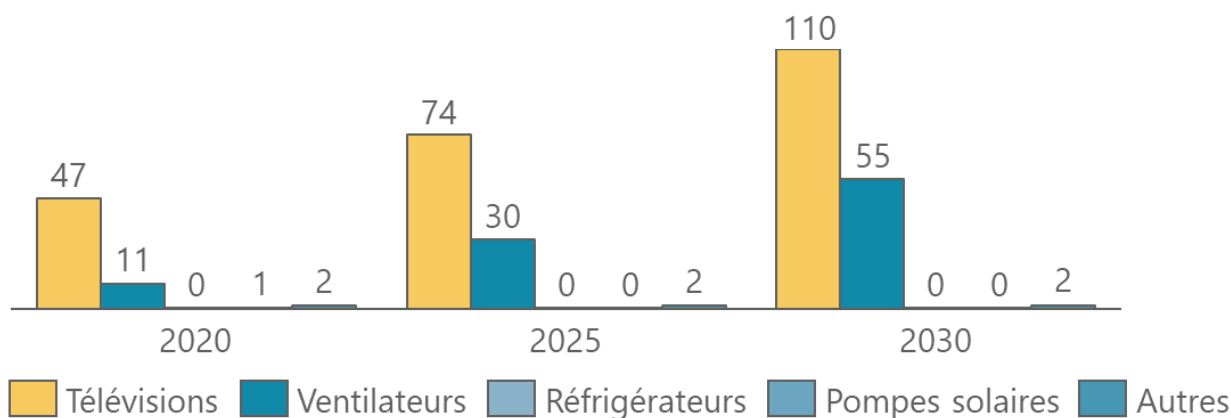
Equipements secondaires

Dans le cadre de cette étude, les équipements secondaires considérés sont les suivants, directement intégrés aux kits : (i) kit avec télévision, (ii) kit avec ventilateur, (iii) kit avec réfrigérateur, (iv) kit avec pompe solaire et (v) autres kits¹⁶ (inclue les machines agro-alimentaires, les climatiseurs, fer à repasser, tondeuses à cheveux, machines à coudre, etc.).

¹⁶ GOGLA, sales report 2018 et 2019.

Il ressort que les principaux kits en utilisation aujourd’hui sont composés de télévision et de ventilateurs, qui une fois usagés se retrouveront dans la filière existante des DEEE. Le nombre de kits en 2020 et à horizon 2030 est présenté ci-dessous.

Figure 5 : Répartition des équipements secondaires utilisés avec les kits solaires (cumulés, en milliers)¹⁷



Le secteur des kit individuels enregistre une hausse des ventes en raison de la hausse des pouvoirs d’achat des ménages, de la baisse des prix, et des avancées technologiques¹⁸. A travers cette hausse du pouvoir d’achat, de nombreux équipements secondaires deviennent abordables pour les ménages, comme les machines à laver, les climatiseurs, les ordinateurs, etc¹⁹. Il est à noter que cette évolution dans l’utilisation des équipements secondaires n’a pas été prise en compte dans le cadre de cette étude.

III. POTENTIEL DE VALORISATION DES DECHETS SOLAIRES

3.1 Modalités de gestion des déchets solaires

Il existe différentes options de gestion des équipements solaires – certaines présentant des opportunités de valorisation déjà disponibles au Sénégal, ou uniquement à l’international. Avant d’examiner l’organisation actuelle des acteurs pour la gestion des déchets solaires au niveau national, cette section synthétise les différentes options de gestion et de valorisation qui pourraient être considérées.

Ces options de gestion et de valorisation diffèrent selon les types d’équipements utilisés dans les installations PV :

- Le panneau solaire est composé essentiellement de verre (ainsi que de plastique et de silicium), et ses composants sont en majorité recyclables ;
- Les batteries sont généralement recyclables, mais le niveau de complexité et le coût de ce recyclage dépend de leur type ;
- Les équipements de conversion et de contrôle de l’énergie sont composés de cartes électroniques, de câbles, et de plastiques;

¹⁷ Global LEAP, « The State of the Off-Grid Appliance Market », 2016

¹⁸ Dalberg & World Bank Lighting Africa, Off-Grid Solar Market Trends Report 2018, 2018

¹⁹ Global LEAP, « The State of the Off-Grid Appliance Market », 2016

- Les équipements secondaires sont composés de pompes, lampes, chargeurs, télévisions, réfrigérateurs, ventilateurs.

Ces options sont détaillées dans le tableau ci-dessous.



Tableau 6 : Options de gestion et de valorisation par type d'équipement

Segmentation	Composition	Méthode de valorisation
 Panneaux solaires	<p>Deux types de cellules photovoltaïques existent :²⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les cellules cristallines. La matière première utilisée est du silicium (Si) • Les cellules en couche mince. Les technologies utilisées sont au tellurure de cadmium (CdTe) et à base d'un alliage de cuivre, indium, gallium et sélénium (CIGS). 	<p>Recyclage par traitement thermique : Consiste à brûler les plastiques pour séparer les cellules du verre. Celui-ci est récupéré pour être traité dans la filière classique de recyclage de verre. Ensuite, les cellules sont traitées chimiquement afin d'en retirer les contacts métalliques. Le silicium est ensuite récupéré pour fabriquer de nouvelles cellules photovoltaïques</p> <p>Recyclage par traitement chimique (applicable aux panneaux à couches minces). Consiste à broyer les panneaux pour en extraire les matériaux, qui sont ensuite retraités afin d'obtenir des matériaux secondaires.</p>
 Batteries	<p>Parmi les différents types des batteries, les batteries électrochimiques sont les plus utilisées pour les applications PV. Pour les batteries, il convient de distinguer les batteries (i) au Plomb, (ii) au Lithium-Ion, (iii) et au Nickel-Hydrure Métallique (NiMH).</p>	<p>Recyclage des batteries au plomb usagées²¹ Il est possible de recycler la quasi-totalité des éléments d'une batterie au plomb. Les principales étapes du processus de recyclage sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Séparation des différents composants des batteries • Fusion et affinage des composants en plomb • Nettoyage, puis concassage ou fusion des composants en plastique • Purification et traitement de l'électrolyte (acide sulfurique) <p>Recyclage des batteries au Lithium-Ion²² Il est possible de recycler la quasi-totalité des éléments d'une batterie au lithium. C'est une opération techniquement difficile qui présente un enchaînement de procédés thermiques et chimiques. Les principales étapes sont les suivantes :</p>

²⁰ IRENA, End of life management, 2016

²¹ Organisation Mondiale de la Santé, Recyclage des batteries au plomb usagées, 2017

²² ENS, Le stockage de l'énergie électrochimique en technologie Lithium-ion, 2021



		<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisation de la batterie en la déchargeant • Prétraitement, afin d'isoler les différents modules et de réduire les températures nécessaires (ainsi que le besoin en traitement du gaz d'échappement) • Hydrométallurgie – Les métaux sont dissous en utilisant un acide, puis isolés par extraction liquide/liquide, par précipitation, ou encore par électrodéposition. Les métaux récupérés peuvent être réutilisés. • Pyrométallurgie – Les modules entiers de batterie peuvent être introduits directement dans un four comportant plusieurs zones successives <p>Recyclage des batteries au Nickel-Hydrure Métallique : Les batteries NiMH peuvent être traitées par pyrométallurgie</p>
 Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie	Onduleurs Régulateurs	<p>Recyclage via la filière classique DEEE Démantèlement, dépollution et séparation des différents composants et recyclages dans les filières appropriées : métal, plastique, batterie au plomb</p>
 Equipements secondaires	Pompes, lampes, chargeurs, télévisions, réfrigérateurs, ventilateurs	<p>Recyclage via la filière classique DEEE</p>

La section suivante s'intéresse spécifiquement aux panneaux solaires et aux batteries, dont le recyclage n'est pas prévu dans la filière classique DEEE.

3.2 Potentiel économique

La majorité des composants contenus dans les équipements solaires sont ainsi recyclables. Cependant, les coûts liés aux process mis en œuvre pour les extraire sont importants - sauf certains cas où les volumes sont suffisants pour rentabiliser la structure. Le statut par type d'équipement est synthétisé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Présentation du potentiel économique des différents déchets

Types de déchets	Volumes générés (Tonnes par an)	Intérêt économique du recyclage	Solution de traitement à envisager
 Panneaux solaires	2020 à 2040 : 120 T/an 2040 à 2050 : 2400 T/an	Non-rentable : Au vu des faibles volumes générés par an, le recyclage des panneaux solaires n'est pas rentable. Les activités deviendraient rentables à partir de 19 000 tonnes/an, en raison de la baisse des coûts opérationnels et des économies d'échelle ²³	<i>Dans l'attente de solutions de traitement complètes :</i> démantèlement manuel et revalorisation locale dans le BTP (mais marché à confirmer)
 Batteries	2020 à 2040 : 736 T/an 2040 à 2050 : 987 T/an	Batteries au plomb - Rentable : Le recyclage des batteries au plomb est intéressant économiquement générant 200 FCFA par kg de batterie recyclé	Solution déjà présente au Sénégal pour les batteries au plomb
		Batteries au lithium Rentable sous réserve que l'ensemble des DEEE soit pris en compte	Développement de l'infrastructure de traitement à envisager pour les batteries au lithium

Panneaux solaires

Comparés à d'autres produits électroniques, les modules photovoltaïques sont économiquement peu attrayants pour le recyclage pour plusieurs raisons : (i) les matériaux sont mélangés, ce qui rend la séparation difficile et coûteuse (ii) la matière recyclée a peu de valeur²⁴. Les modules de panneaux solaires nécessitent un enchaînement de procédés chimiques et thermiques, impliquant un coût d'investissement et d'opération important²⁵. En parallèle, les revenus générés sont faibles puisque le panneau est composé à 70 % de verre, avec un prix de rachat en 2019 de seulement 24 euros par

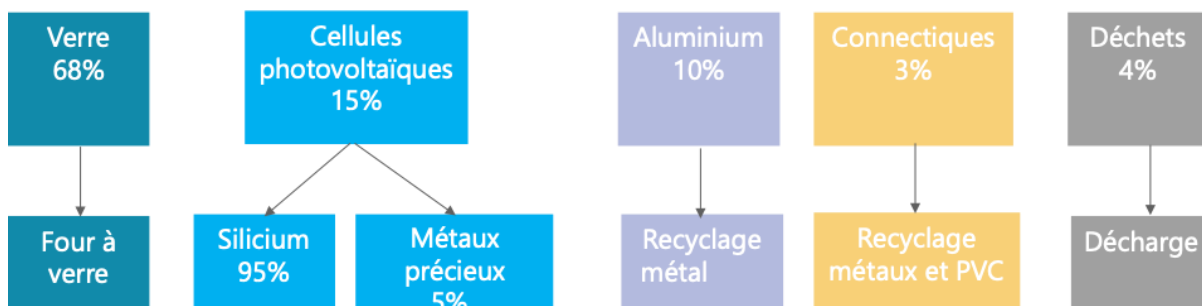
²³ Choi JK, Fthenakis V. Crystalline silicon photovoltaic recycling planning: macro and micro perspectives, 2014

²⁴ Deng et al, A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling, 2019

²⁵ Idem

tonne²⁶. Les matières à forte valeur de rachat (aluminium, silice) sont présentes en trop faibles quantités pour rentabiliser le process.

Figure 6 : Composition d'un panneau PV



Pour l'instant, une structure de recyclage des panneaux PV ne serait pas économiquement viable et l'alternative serait d'expédier ces panneaux vers un centre de recyclage (le plus proche étant PV Cycle en France). Dans l'attente de potentiels mécanismes de financement tels que les écotaxes, des possibilités de pré-traitement de ces déchets peuvent également être envisagés. Une alternative serait ainsi de procéder à un démantèlement manuel du cadre d'aluminium et des connectiques. Le panneau sera ensuite broyé sans être dépollué (le procédé étant trop coûteux). Ainsi la réutilisation du panneau broyé sera limitée à certaines utilisations, notamment dans le BTP. Cependant, il conviendra de confirmer qu'il existe bien un marché pour ces panneaux broyés.

Figure 7 : Utilisation de panneaux solaire broyés dans l'industrie du BTP

Le béton est composé de ciment, de granulats (sable et gravillons), et d'eau. Eventuellement, des minéraux, des colorants et des fibres sont ajoutés²⁷. Plusieurs études sont en cours pour permettre l'utilisation du verre usagé, et notamment le verre issu des panneaux photovoltaïques, en remplacement partiel des granulats fins pour la production du béton²⁸.

Les résultats des études montrent que le béton fabriqué avec du verre recyclé provenant de panneaux photovoltaïques est utilisable dans les fondations de bâtiments ainsi que pour les structures porteuses de bâtiments de faible hauteur.

Le verre recyclé provenant des panneaux photovoltaïques serait donc potentiellement valorisable dans les unités de maçonnerie en béton, mais il conviendra de confirmer l'existence d'acteurs locaux prêts à l'utiliser.

Le recyclage à l'échelle industrielle des modules photovoltaïques est peu généralisé à ce stade, avec des usines qui ont été recensées en France, aux Etats Unis, en Allemagne, en Malaisie, en Afrique du Sud et au Japon.

²⁶ Prix de reprise du verre en 2019 pour la France selon « Verre et Avenir »

²⁷ Site web de tousurlebeton.fr, consulté en Juin 2021

²⁸ Zainab et al, Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete, 2009 ; De Castro et al, Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates, 2013; Stehlik et al, Possibilities of use of glass recycle from photovoltaic panels for concrete masonry units, 2019

Tableau 8 : Initiatives de recyclage des panneaux photovoltaïques recensées à travers le monde (non exhaustif)

France	En juillet 2018, Veolia et PV CYCLE ont ouvert la première usine de recyclage de panneaux solaires en fin de vie en Europe ²⁹
Etats-Unis, Allemagne et Malaisie	First Solar est une société américaine et l'un des principaux fournisseurs mondiaux de solutions complètes d'énergie solaire à base de PV. L'entreprise a mis en place le premier programme de recyclage de modules du secteur en 2005, avec des installations de recyclage opérationnelles aux États-Unis, en Allemagne et en Malaisie ³⁰
Afrique du sud	Reclite SA propose des services de gestion des déchets photovoltaïques en Afrique du Sud. L'entreprise a développé sa propre technologie pour retirer le verre des panneaux ³¹
Japon	La société NPC, un fabricant de panneaux et d'équipements solaires, a créé en 2016 une filiale pour recycler les panneaux solaires. NPC commercialise aujourd'hui des technologies de recyclage des panneaux solaires ³²

Batteries au plomb

Le recyclage des batteries au plomb est une nécessité d'un point de vue environnemental. En effet, une batterie compte en moyenne 65% de plomb et d'oxyde de plomb, et 10% à 15% d'acide sulfurique. Le plomb est un métal lourd, et de nombreux cas d'empoisonnements ont déjà eu lieu par le passé à cause de la gestion informelle de ces batteries. Une fois au sol, il peut arriver jusqu'à la nappe phréatique puis être ingéré, ce qui peut être mortel. L'acide sulfurique peut quant à lui causer des brûlures extrêmement graves au niveau de la peau et des yeux, et rejeté dans l'environnement contribue à son acidification.

La haute teneur en plomb en fait un produit intéressant à recycler compte tenu de la valeur du plomb sur le marché. Un acteur est déjà présent au Sénégal et rachète le kg à 200 FCFA.

Batteries au Lithium

Le potentiel toxique de ces batteries n'est pas à négliger, et à cela s'ajoute les risques liés à la sécurité. En effet exposée à une forte chaleur, une surcharge ou encore une interaction entre elles, les batteries sont susceptibles de prendre feu, voire d'exploser. Actuellement il n'existe aucune solution au Sénégal pour les batteries au Lithium, l'ultime alternative étant de les exporter. Les coûts étant élevés, les batteries sont pour l'instant gérées de manière informelle, souvent jetées à la décharge.

Une alternative existe cependant : une nouvelle technologie est aujourd'hui disponible et développée par l'entreprise chinoise Taisen, permettant un potentiel de valorisation économique plus important de ces batteries³³. En considérant que les ordinateurs portables, les téléphones

²⁹ Site internet de Veolia, consulté en juin 2021

³⁰ Sharma et al. Global review of policies & guidelines for recycling of solar PV modules, 2019

³¹ Entretiens de Dalberg

³² Site internet de NPC, consulté en juin 2021

³³ Une usine est prévue d'être installée au Nigéria courant 2021. Source : Global LEAP Solar E-Waste Challenge: Lessons on Take-Back, Collection, Repair & Recycling of Off-Grid Solar Products

mobiles et de nombreux équipements solaires contiennent des batteries lithium, l'opportunité de développer cette technologie à l'avenir pourrait être explorée. Il peut être stratégique de mettre en place une usine de recyclage de ces batteries.

IV. ETAT DES LIEUX ORGANISATIONNEL

L'état des lieux organisationnel est articulé autour des (i) rôles et responsabilités des acteurs du solaire, et (ii) des circuits actuels de gestion des déchets solaires.

4.1 Rôles et responsabilités des acteurs du solaire

Le cycle de vie d'une installation photovoltaïque est constitué d'une succession d'étapes, depuis la construction et l'exploitation jusqu'à la fin de vie de l'installation. Selon les types d'installation, des dispositions sont prévues à plusieurs niveaux pour la gestion des équipements, mais ne prennent globalement pas assez en compte les déchets générés par ces installations.

Tableau 9 : Rôle des acteurs du solaire, par étape de cycle de vie des différents types d'installations

Segmentation	Détails	Installation	Maintenance	Démantèlement
A) Grands champs solaires raccordés au réseau		La SENELEC et le MPE réalisent des appels d'offre pour la construction des centrales. Les filiales locales de groupes internationaux auxquels sont confiés ces marchés s'occupent de la construction et de l'opération des grands champs solaires, comme Clemessy (Eiffage), SolaireDirect (Engie), etc.		Les contrats d'achat d'électricité de la SENELEC spécifient les modalités de démantèlement des sites, mais pas de gestion des déchets générés. Le code de l'électricité est en cours de révision à ce sujet.
B) Lampadaires solaires		L'ANER lance les appels d'offres pour les installations et la maintenance auprès des acteurs privés. La maintenance du parc installé est prévue à travers un contrat avec l'acteur privé (Ex. Fonroche) sur une période donnée. Une part mineure de ces lampadaires est installée et maintenue par des opérateurs ERIL au nom de l'ASER et concessionnaires		La fin de vie de ces installations n'est pas prise en compte dans les documents contractuels régissant ces installations
C) Installations industrielles et commerciales		Les acteurs privés souhaitant produire de l'énergie pour leur propre utilisation font appel à des sociétés spécialisées dans l'installation et la maintenance des installations solaires, comme Daystar power, la Société Africaine de Technologie (SATECH), GIE Tima électrique SN		La gestion de la fin de vie de ces installations sera à la charge de leurs propriétaires

D) Mini centrales	Usage productif et communautaire	<p>Pour les usages productifs, certains acteurs privés font appel à des sociétés spécialisées dans l'installation et la maintenance des installations solaires, comme Bonergie</p> <p>Pour les installations communautaires, l'ANER réalise les appels d'offre auprès d'acteurs privés qui se chargeront de l'installation et de la maintenance</p>	<p>Pour les usages productifs, la gestion de la fin de vie de ces installations sera à la charge de leurs propriétaires</p> <p>Pas d'information au niveau des contrats des installations communautaires</p>
	Mini centrales via concessions	<p>Les Concessions d'Electrification Rurale (CER) sont attribuées par l'Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale (ASER) qui organise périodiquement des appels d'offres, suivant le plan arrêté par le Ministre chargé de l'Energie. Les opérateurs retenus ont la responsabilité de l'installation, l'opération, et de la maintenance des installations solaires</p>	<p>Les contrats ne spécifient ni la nécessité de démanteler les sites, ni les responsabilités en termes de gestion des déchets solaires</p> <p>Pour les ERIL, les contrats de gestion n'étant pas encore signés, il existe une opportunité pour y intégrer la gestion du matériel en fin de vie</p>
	ERIL	<p>L'ASER, avec le soutien des partenaires financiers, réalise des appels d'offres pour la construction des ERIL. Les acteurs auxquels sont confiés ces marchés s'occupent de la construction et de l'exploitation des installations</p>	
E) Kits individuels		<p>Réseau formel : Les distributeurs installent et réparent les équipements à travers leurs réseaux d'entrepreneurs (Oolu, Peg, Baobab, etc.)</p> <p>Réseau informel : De nombreux installateurs et réparateurs existent</p>	<p>Aucune obligation n'est en place. Cependant, plusieurs acteurs du secteur envisagent de mettre place des procédures de gestion de certains déchets, comme les batteries et le plastique</p> <p>La gestion des kits déployés dans le cadre des ERIL pourrait par ailleurs être intégrée dans les contrats de gestion, dès que signés</p>

Les grands champs solaires

Le segment des grands champs solaires est structuré autour de deux types d'acteurs principaux, en charge : (i) du développement et financement de projets, et (ii) de la construction et la maintenance. Les entreprises internationales sont majoritaires sur ces deux types d'activités. Pour le développement et le financement de projets, il s'agit d'acteurs comme Tenergy, Lekela, Meridiam et Greenwish Partners. Concernant la construction et la maintenance, plusieurs filiales locales de grands groupes internationaux sont en charge des sites de production, comme Clemessy (Eiffage), SolaireDirect (Engie), etc.

Dans les contrats de vente d'électricité à la SENELEC (Power Purchase Agreement, PPA) : Des clauses existent pour le démantèlement des installations en fin de vie. Cependant, aucune obligation n'est spécifiée pour la prise en compte des équipements en fin de vie³⁴. Le code de l'électricité en cours de révision prévoit d'adresser la question de fin de vie des équipements. Il est prévu pour les producteurs indépendants des dispositions relatives au démantèlement et à la gestion des déchets, conformément aux dispositions du code de l'environnement et des lois en vigueur. Il conviendra de définir comment appliquer ces directives aux installations déjà réalisées.

Les lampadaires solaires

Sous l'égide du Ministère du Pétrole et des Energies et de l'Agence Nationale pour les Energies Renouvelables (ANER), des dizaines de milliers de lampadaires solaires sont en train d'être installés dans les rues du Sénégal. Ce programme est porté par l'ANER et exécuté par des opérateurs privés comme Fonroche qui a finalisé le programme d'installation de 50 000 lampadaires solaires à travers le Sénégal.

L'opérateur privé est responsable de l'installation et de la maintenance des équipements installés. La maintenance par l'opérateur privé est généralement signée sur une durée limitée ; elle est ensuite transférée à la structure qui porte le programme.

La question des responsabilités sur les installations en fin de vie n'est pas prise en compte pour le moment.

Les installations industrielles et commerciales

La plupart des entreprises présentes sur le marché proposent des services d'installation de base pour des industriels, des opérateurs télécoms, ou autres acteurs souhaitant s'auto-provisionner en énergie. Certains acteurs proposent des modèles innovants, tel que Redavia qui propose des produits solaires en location à divers segments de marché, dont le secteur minier.

Concernant la responsabilité de gestion des déchets, aucune modalité n'est spécifiée sur la fin de vie des installations, dont la gestion serait à la charge du propriétaire.

³⁴ Le code de l'électricité en cours de révision adresse la fin de vie des équipements. Il est prévu pour les IPP des dispositions relatives au démantèlement et à la gestion des déchets, conformément aux dispositions du code de l'environnement et des lois en vigueur.

Les mini centrales

Les **acteurs privés ayant des usages productifs** font appel à des sociétés spécialisées dans l'installation et la maintenance des installations solaires, comme Bonergie. Tout comme le segment des installations commerciales et industrielles, la gestion de la fin de vie des installations à usage productifs est à la charge de leurs propriétaires. Pour les installations communautaires, l'ANER coordonne le développement des initiatives, cependant aucune information n'a été trouvée au niveau des contrats des installations.

Sur le segment des **mini centrales via concessions**, le territoire est divisé en 10 zones dénommées Concession d'Electrification Rurale (CER)³⁵. Ces concessions sont confiées à des opérateurs privés sélectionnés par appels d'offres. Ces opérateurs ont la responsabilité des études techniques, de l'acquisition et de l'installation des équipements d'approvisionnement, l'opération, la maintenance et le renouvellement, aussi de la facturation et la gestion de la clientèle sur la durée de la Concession (25 ans). La liste ci-dessous présente les différents concessionnaires :

- Compagnie Morocco-Sénégalaise d'Electricité (COMASEL) pour les concessions Louga-Linguère, Kébemer et Dagana-Podor-Saint- Louis ;
- Energie Rurale Africaine (ERA) pour la concession Kaffrine-Tambacounda-Kédougou ;
- Electricité du RIP (EDR) pour la concession Kaolack-Nioro-Fatick-Gossas ;
- Enco pour la concession Kolda-Vélingara ;
- Steg-Coselec-LCS (SCL) Energie Solutions pour la concession Mbour.

Au moment de l'étude, seul le concessionnaire ERA gère une mini centrale solaire.

Au niveau des **ERIL**, l'ASER, avec le soutien des partenaires financiers, réalise des appels d'offre auprès d'entreprises spécialisées dans les installations solaires. Des acteurs s'occupent de la construction, comme Solene, Sagemcom, Rayon Vert, et Suntaeg. L'exploitation des installations est assurée par les opérateurs ERIL comme Sud Solar System, Energie R, NS Resif, Sud Energie, Faye Solaire, ENERSA, et Salensol. Concernant la responsabilité de gestion des déchets, les contrats de concessions et d'ERIL ne spécifient ni la nécessité de démanteler les sites, ni les responsabilités en termes de gestion des déchets solaires. Néanmoins, les contrats de gestions des ERIL n'étant pas encore signés, il existe une opportunité pour y intégrer la gestion du matériel en fin de vie.

Les kits individuels

Des kits individuels alimentés à l'énergie solaire sont distribués par plusieurs entreprises sénégalaises telles que Oolu Solar, PEG et Baobab. Ces entreprises proposent généralement des mécanismes de financement mieux adaptés aux usagers individuels, tels que le leasing payant ou le paiement mobile « on-the-go ».

Aucune responsabilité contractuelle n'oblige le distributeur (Oolu Solar, PEG, etc.) à assurer la récupération de ses produits. Cela est en partie dû au fait que la plupart des entreprises sur ce segment sont jeunes, avec entre 5 à 10 ans d'existence, et que les systèmes installés ne sont pas encore en fin de vie. Cependant, Il peut arriver que le fabricant des équipements demande au distributeur de mettre en place une procédure de prise en charge des déchets.

³⁵ CRSE, Rapport annuel, 2018

4.2 Circuit de gestion des déchets solaires au Sénégal



Cette section examine l'état des lieux de la chaîne de valeur de gestion des déchets solaires au Sénégal, reprenant les étapes de collecte, de récupération / revente, et de recyclage – par type d'installation et d'équipement.


Comme illustré ci-dessous, l'organisation des acteurs est à ce stade embryonnaire sur ce sujet (quel que soit le type d'installation considéré) - avec l'opportunité d'accélérer cette organisation en anticipation de l'arrivée des déchets solaires sur le marché dans les prochaines années.

En synthèse :

- Les rôles et responsabilité en termes de collecte et de gestion des déchets, bien que parfois intégrés aux contrats d'installation, sont à préciser de façon systématique sur l'ensemble des segments ; et l'implémentation de ces obligations à vérifier
- Le secteur informel a tendance à récupérer les fractions facilement revendables des équipements solaires en brûlant certains composants (libérant des substances toxiques) et en jetant les fractions non valorisables dans la nature
- Aucun acteur en local ne prend aujourd'hui en charge spécifiquement le recyclage des déchets solaires, que ce soient les panneaux solaires, les batteries et les équipements de conversion et de contrôle de l'électricité ;
 - (Dans l'attente de volumes et mécanismes de financement permettant la rentabilité d'un centre de recyclage de panneaux solaires), des solutions de pré-traitement et de valorisation pourraient être explorées – mais non initiées à date
 - Le recyclage des batteries au plomb est pris en compte par un acteur déjà présent sur le marché – avec un enjeu de volume à anticiper dans les prochaines années, ainsi qu'un enjeu de diversification pour pouvoir prendre en compte les autres types de batteries (Lithium notamment) utilisées pour les installations PV
- Plusieurs entreprises distribuant des kits individuels ont une politique de récupération des composants défectueux, et de certains produits en fin de vie dans le cadre de leur service après-vente. Certaines entreprises envisagent par ailleurs le développement d'activités de recyclage des batteries et du plastique émanant de ces kits en interne - considérant ces activités comme de potentiels nouveaux vecteurs de croissance.

Tableau 10 : Statut de la gestion des déchets solaires au Sénégal

Segmentation	Collecte	Récupération / Revente	Recyclage
A) Grands champs solaires raccordés au réseau	Après le démantèlement des équipements, la collecte est en principe réalisée par les opérateurs des installations s'ils en ont l'obligation	Circuit formel : Des équipes techniques évaluent chaque équipement pour identifier s'ils sont récupérables, et réutilisables sur un autre site	 <p>Pas de centre de recyclage des panneaux solaires à date Les acteurs actuellement actifs dans le recyclage des DEEE pourraient diversifier leurs activités et inclure le pré traitement des panneaux solaires. Sous réserve de disponibilité du volume critique, des acteurs spécialisés pourraient envisager un traitement complet des panneaux.</p>
B) Lampadaires solaires	Pas d'information sur les acteurs en charge de la collecte et de la récupération des lampadaires installés		
C) Installations industrielles et commerciales	La collecte est en principe réalisée par les sociétés en charge de l'installation de la maintenance des équipements s'ils en ont l'obligation (souvent par la maison mère ou pour des besoins de certification)	Circuit formel : Des équipes techniques évaluent chaque équipement pour identifier s'ils sont récupérables, et réutilisables sur un autre site	 <p>Un centre de traitement des batteries au plomb existe au Sénégal, Gravita est d'ailleurs la seule entreprise agréée par le Ministère de l'Environnement à ce jour*</p> <p>Pour les autres types de batteries, il n'existe à ce jour aucun acteur au Sénégal avec l'infrastructure nécessaire pour les traiter. Gravita n'a à ce jour pas d'ambition dans ce sens.</p>
D) Mini centrales	La collecte est en principe réalisée par les concessionnaires des mini centrales solaires et opérateurs d'ERIL* s'ils en ont l'obligation	Circuit formel : Des équipes techniques évaluent chaque équipement pour identifier s'ils sont récupérables Circuit informel : Des récupérateurs offrent une seconde vie à certains équipements	

<p>E) Kits individuels</p>	<p>La collecte est réalisée de plusieurs manières :</p> <ul style="list-style-type: none"> • A travers les programmes de récupération des distributeurs de kits ; • Par des acteurs informels 	<p>Produits certifiés (circuit formel) : Des équipes techniques évaluent chaque équipement pour identifier s’il est récupérable</p> <p>Produits non-certifiés (circuit informel) : Des récupérateurs offrent une seconde vie à certains équipements</p>	 <p>Les équipements de conversion et de contrôle de l'énergie et les équipements secondaires alimentent la filière existante des DEEE</p>
----------------------------	---	---	--

Légende :

Inexistant	En cours	Existant
------------	----------	----------

***Note** : PAGRIK S.A (Gravita) recycle les batteries au plomb depuis 2010³⁶. Le site de recyclage dispose d'un four à charbon, mais également d'équipements de traitement des rejets atmosphériques, notamment un collecteur de poussières, un cyclone, tour de refroidissement. Gravita dispose actuellement d'un site de traitement des batteries au plomb d'une capacité de 1 000 tonnes par an et qui fonctionne à 50% de capacité. L'entreprise de recyclage « Gravita » est en train d'investir sur un autre site de traitement à Sandiara avec une capacité de traitement de 2 000 tonnes par an. Cependant, l'entreprise n'a à ce jour pas d'ambition sur le traitement des autres types de batteries (lithium ion et Nikel-Hydrure Métallique). Dans le cadre de la stratégie et dans une logique de montée en volume, il conviendra d'accompagner Gravita (et potentiels autres acteurs à venir) à réaliser les opérations en application de toutes les règles environnementales.

Spécificités de gestion liées aux kits individuels

Pour les kits individuels, les circuits de gestion et les acteurs impliqués sont différents selon que les kits solaires soient certifiés ou non certifiés. Les principales différences sont présentées ci-dessous :

Tableau 11 : Définition des produits certifiés et non-certifiés³⁷

Segmentation	Produits certifiés	Produits non-certifiés
Qualité des composants	Produits solaires de haute qualité qui ont une très longue durée de vie (3 à 5 ans)	Produits électroniques de faible qualité comprenant des produits sans nom, des imitations et des contrefaçons
Acteurs	Acteurs affiliés à GOGLA et qui adhèrent à sa charte de qualité (Oolu, PEG, etc.)	Acteurs non- affiliés à GOGLA

³⁶ CRCBS-AF, Développement d'un modèle de filière industrielle respectueuse l'environnement dans la gestion des Batteries Acide-Plomb Usagées au Sénégal

³⁷ IFC, Lighting Global, 2018

Méthode de vente	Vendus via un réseau d'entrepreneurs formés à l'installation et à la réparation des produits	Vendus de manière informelle et souvent importés illégalement ou sous forme de groupage
------------------	--	---

Il est difficile de quantifier la part de marché des produits non certifiés. Une étude réalisée en 2018 dans plusieurs pays africains (Kenya, Tanzanie, Ethiopie, Ouganda, Nigeria) met en lumière que les produits non affiliés représentent entre 35 et 72 % des kits individuels sur le marché³⁸.

Pour les produits certifiés, plusieurs entreprises interrogées ont une politique de récupération des composants défectueux, et de certains produits en fin de vie dans le cadre de leur service après-vente³⁹. Cela permet aux clients de renvoyer les équipements défectueux pour réparation ou échange.

Figure 8 : Exemple de programme de récupération (et valorisation partielle) mis en place par un distributeur de kits individuels⁴⁰

Pour réparer et recycler les kits installés, un modèle de logistique inversé est utilisé dans le cadre du service après-vente. Les utilisateurs contactent les représentants de l'entreprise, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'ambassadeur de leur village et signalent une panne ou un appareil en fin de vie. Des conseils pour des réparations simples peuvent être donnés par téléphone, mais si cela ne fonctionne pas, un agent se rendra sur place et réparera le système défectueux. Si une réparation n'est pas possible, un autre système sera installé et le système défectueux sera emmené au point de stockage régional.

Lorsque le volume est suffisant, les entrepôts régionaux transfèrent le stock défectueux vers le centre de réparation national, où une équipe évalue chaque composant. Si possible, les composants sont réparés ou remplacés, afin que le système puisse être réutilisé.

- Pour les pièces contenant du plastique, elles sont ensuite envoyées dans un centre de recyclage local ;
- S'il s'agit d'un composant électronique ou d'une batterie défectueuse, il est stocké dans un entrepôt national jusqu'à ce que le volume soit suffisant pour exporter le stock vers une installation de recyclage européenne (volume non atteint à date).

Pour les produits non certifiés, il n'existe pas de circuit formel de gestion : les produits sont récupérés dans les villages et les décharges, avec des réparateurs qui assurent parfois une seconde vie au matériel.

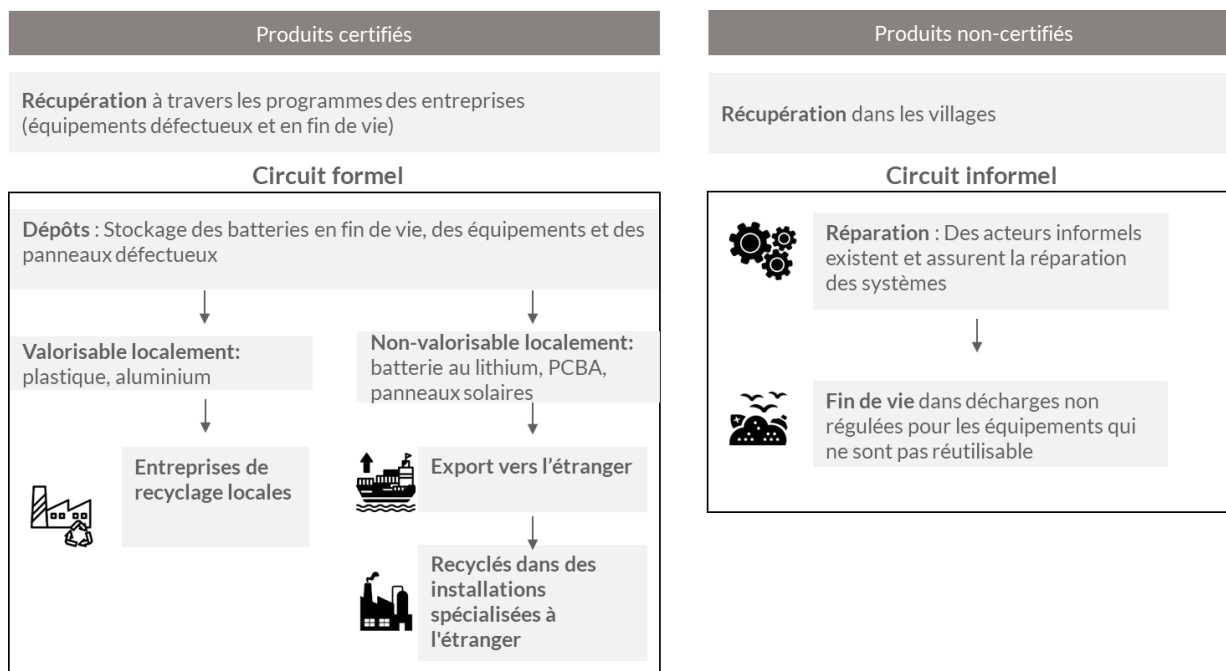
³⁸ IFC, Lighting Global, 2018

³⁹ Analyses de Dalberg

⁴⁰ Idem

Le circuit de gestion pour les produits certifiés et non certifiés est synthétisé ci-dessous.

Figure 9 : Présentation des circuits de gestion pour les différents types de produits



Sur le segment des kits individuels, il conviendra ainsi de mettre en place des mécanismes de contrôle et d'incitations à l'utilisation d'équipements certifiés - ce pour favoriser leur gestion, mais aussi pour assurer une durée de vie plus longue des équipements (et ainsi réduire les déchets émanant de ces équipements à terme). Aujourd'hui, les normes des équipements à l'importation sont jugées non-contraignantes, ce qui favoriserait à l'inverse l'importation de produits de basse qualité, avec des durées de vie faibles.

V. ETAT DES LIEUX POLITIQUE, REGLEMENTAIRE ET JURIDIQUE

Les déchets solaires sont classés au plan mondial dans la catégorie des déchets dangereux, et plus spécifiquement des Déchets des Equipements Electriques et Electroniques (DEEE). Les panneaux photovoltaïques constituent ainsi la 7ème catégorie de la classification DEEE selon la réglementation européenne correspondante.

Ce chapitre propose une revue des textes juridiques internationaux et nationaux pertinents (dont textes en cours), ainsi que du cadre politique en vigueur. Il intervient dans un contexte où de nombreuses réflexions sont menées sur la gestion des déchets dangereux au niveau national (dont plusieurs initiatives en cours).

5.1 Revue du cadre juridique international

Le Sénégal a ratifié la quasi-totalité des conventions internationales en rapport avec la gestion des déchets dangereux. Il en est ainsi de :

- La **convention de Bâle de 1989 sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et leur élimination**, à laquelle le Sénégal a adhéré en 1992. Pour rappel, le principe fondateur de la convention de Bâle est la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux. Ce principe est entendu comme toutes mesures pratiques permettant d'assurer que les déchets dangereux ou d'autres déchets sont gérés d'une manière qui garantisse la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets. Les trois piliers de base de la convention de Bâle sont la réduction des mouvements transfrontières de déchets dangereux, la réduction au minimum de la production des déchets et l'interdiction d'envoyer des déchets dangereux vers les pays n'ayant pas les moyens d'éliminer les déchets dangereux de façon écologiquement rationnelle. La convention vise à faire en sorte que la génération de déchets dangereux soit réduite au minimum, à ce que les déchets dangereux soient éliminés autant que possible dans leur pays d'origine, à accroître les contrôles en ce qui concerne l'exportation et l'importation de déchets dangereux, à interdire l'expédition de déchets dangereux dans les pays qui n'ont pas les capacités légales, administratives et techniques pour les traiter et les éliminer d'une façon écologique et à assurer une coopération en ce qui concerne l'échange d'informations et le transfert de technologies ;
- La **convention de Bamako de 1991 sur l'interdiction d'importer des déchets dangereux en Afrique**, que le Sénégal a signé le 30 janvier 1991 et ratifié le 16 février 1994. L'article 3 stipule à cet effet en son point 1 : « *Chaque Etat notifie au Secrétariat de la Convention dans un délai de six mois après être devenu Partie à la Convention, ses déchets, autres que ceux indiqués dans l'annexe I de la présente Convention, qui sont considérés ou définis comme dangereux par sa législation nationale ainsi que toute autre disposition concernant les procédures en matière de mouvement transfrontière applicables à ces déchets* » ;
- La **convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants** adoptée le 22 mai 2001 et entrée en vigueur le 17 mai 2004, que le Sénégal a ratifié le 8 octobre 2003. L'article 6 de cette convention donne les indications sur les mesures propres que doivent prendre les parties à la convention pour réduire ou éliminer les rejets émanant des stocks et déchets ;
- La **convention de Minamata sur le mercure**, adoptée le 10 octobre 2013 à Kumamoto et ratifiée par le Sénégal en 2016. Cette convention traite de la question du stockage provisoire

du mercure ainsi que de son élimination une fois devenu déchet, des sites contaminés ainsi que des aspects sanitaires.

5.2 Revue du cadre juridique national

Sur le plan national, plusieurs textes juridiques traitent également de la gestion des déchets dangereux. Il en est ainsi⁴¹ :

- De la loi 2001-01 du 15 janvier 2001 portant **partie législative du code de l'environnement** au Sénégal ;
- Du décret 2001-282 du 12 avril 2001 portant application du **code de l'environnement** ;
- De la loi 2010-21 du 20 décembre 2010 portant **loi d'orientation sur les énergies renouvelables**, qui renvoie à un texte réglementaire pour la gestion des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables ;
- Du décret n° 2010-1281 du 16 septembre 2010 réglementant les **conditions d'exploitation du plomb issu des batteries usagées** et d'autres sources, et de l'utilisation du mercure et de ses composés.

Le tableau ci-dessous propose une synthèse des limites des textes juridiques actuellement en vigueur qui peuvent être pertinents pour l'organisation efficace de la filière des déchets solaires au Sénégal.

TEXTES JURIDIQUES	PERTINENCE POUR LES DÉCHETS SOLAIRES	LIMITES
Code l'environnement de 2001 et ses textes d'application	Loi 2001-01 du 15 janvier 2001 : le chapitre III du Titre II de cette loi pose les principes et les règles d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets par l'Etat, les collectivités locales et les autres opérateurs à travers les dispositions de l'alinéa 1 de l'article L30, des article L31 à L34, de l'alinéa 1 de l'article L37 et des articles L39 à L43	<ul style="list-style-type: none"> - Les normes⁴², conditions⁴³, sujétions techniques particulières⁴⁴ et prescriptions⁴⁵, prescriptions techniques et règles particulières⁴⁶ nécessaires pour cette gestion écologiquement rationnelle des déchets et prévues dans ces différents articles cités dans la colonne précédente ne sont pas encore mises en place ; - A notre connaissance, les normes visées à l'article L31, les sujétions techniques particulières visées à l'article L32, les conditions visées à l'article L34 et les prescriptions visées à

⁴¹ Le décret 2008-1007 du 18 janvier 2008 portant réglementation de la gestion des déchets biomédicaux, et l'arrêté interministériel n°009311 du 5 octobre 2007 portant gestion des huiles usagées, adressent également les déchets dangereux – mais non considérés pour cette analyse car non pertinents pour la gestion des déchets solaires

⁴² L'article 31 renvoie à des normes en vigueur en ce qui concerne le recyclage des déchets.

⁴³ L'article L34 renvoie à des conditions à respecter pour effectuer les opérations de collecte, de tri, de stockage, de transport, de récupération, de réutilisation, de recyclage ou de toute autre forme de traitement ainsi que l'élimination finale des déchets.

⁴⁴ L'article L32 renvoie à des sujétions techniques particulières sur lesquelles doivent s'appuyer les collectivités locales pour assurer l'élimination des déchets autres que ménagers.

⁴⁵ L'article 37, alinéa 1 renvoie à prescriptions à définir par le Ministre chargé de l'environnement qui autorise et surveille l'élimination des déchets par les structures industrielles productrices ou traitantes de déchets ;

⁴⁶ L'article L42 renvoie à des prescriptions techniques et règles particulières à respecter par les opérateurs pour l'enfouissement des déchets dans le sous-sol

TEXTES JURIDIQUES	PERTINENCE POUR LES DÉCHETS SOLAIRES	LIMITES
		<p>l'article L37 ainsi que les prescriptions techniques et règles particulières visées à l'article L42 ne sont pas encore définies par les pouvoirs publics sénégalais ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le code de l'environnement est en cours de révision. La question des déchets solaires n'y est pas spécifiquement visée mais plutôt adressée via le volet général des déchets dangereux.
<p>Loi 2010-21 du 20 décembre 2010 portant Loi d'orientation sur les énergies renouvelables</p>	<ul style="list-style-type: none"> - L'article 2 indique que la loi s'étend à toutes les filières des énergies renouvelables ainsi que leur sûreté et leur sécurité. - L'article 6 traite du démantèlement et de la gestion des déchets : « <i>les modalités de gestion et de recyclages des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables se feront conformément aux dispositions du code de l'environnement ...les conditions spécifiques aux énergies renouvelables seront spécifiées par voie réglementaire. Un arrêté interministériel du Ministre de l'environnement et du Ministre chargé des énergies renouvelables fixera ces conditions</i> ». 	<ul style="list-style-type: none"> - A notre connaissance, l'arrêté interministériel devant fixer les conditions de gestion des déchets énergies renouvelables prévues par l'article 6 n'est pas encore pris ; - Par ailleurs le nouveau code de l'électricité qui vient d'être adopté le 26 mai 2021 en conseil des ministres prévoit d'abroger cette loi et comporte comme la loi de 2010 un seul article sur les déchets des équipements des énergies renouvelables. Cet article reprend les dispositions de l'article 6 de la loi d'orientation de 2010 et reste très général. En effet, ce projet d'article 65 du nouveau code dispose que "<i>les modalités de démantèlement et de gestion des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables sont mises en œuvre conformément aux dispositions de la réglementation en vigueur</i>"
<p>Décret n° 2010-1281 du 16 septembre 2010 réglementant les conditions d'exploitation du plomb issu des batteries usagées et des autres sources et de l'utilisation du mercure et de ses composés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ce texte réglemente l'importation, la collecte, le transport, le recyclage, le stockage, le traitement et l'élimination du plomb issu des batteries usagées et d'autres sources, ainsi que l'utilisation du mercure ou des équipements en contenant ; - Sa portée sanitaire et environnementale est nettement affirmée⁴⁷ : « <i>limiter les conséquences nocives sur la santé humaine et sur l'environnement des pratiques d'exploitation du plomb, du mercure et de ses composés contenus dans les différentes sources notamment les batteries usagées</i> » 	<ul style="list-style-type: none"> - + 10 ministères techniques sont listés pour la mise en œuvre des dispositions de ce décret – ce qui implique la capacité des acteurs à travailler ensemble en se coordonnant autour d'objectifs sécuritaire et de protection de l'environnement - La rédaction de l'article 6 pose un problème de clarté dans la répartition institutionnelle des secteurs concernés et donc d'efficacité dans la mise en œuvre
<p>Loi n° 98-29 du 14 avril 1998 relative au secteur de l'électricité</p>	<p>N/A</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune disposition de cette loi ne fait référence à la gestion des

⁴⁷ Des intoxications au plomb ont été notées chez de nombreux enfants et personnes adultes en 2008 à Thiaroye sur Mer dans la banlieue de Dakar.

TEXTES JURIDIQUES	PERTINENCE POUR LES DÉCHETS SOLAIRES	LIMITES
Arrêté interministériel n°010158 du 28 mai 2020 fixant la liste des matériels destinés à la production d'énergies renouvelables exonérés de la taxe sur la valeur ajoutée	L'article 2 de ce texte fixe la liste des matériels destinés à la production d'énergie solaire exonérés de la taxe sur la valeur ajoutée	<p>déchets en général et des déchets solaires en particulier⁴⁸</p> <ul style="list-style-type: none"> - Au regard de la tendance actuelle que connaît le développement des énergies alternatives au niveau du pays, on peut s'attendre à un développement exponentiel des déchets issus de ces types d'équipements électriques et électroniques - Or, aucune disposition relative à la préservation de l'environnement n'y est mentionnée ; - Par ailleurs, le MEDD et ses différentes directions pertinentes ne sont pas cités parmi les administrations chargées de sa mise en œuvre⁴⁹

Revue des projets de textes en cours

Plusieurs projets de textes sont par ailleurs élaborés ou en cours d'élaboration. Il en est ainsi :

- Du projet de loi portant nouveau code de l'électricité au Sénégal adopté en conseil des ministres le 26 mai 2021 ;
- De l'avant-projet de loi portant organisation de la gestion des déchets dangereux au Sénégal élaboré en 2019 par le projet de gestion écologiquement rationnelle des déchets solides municipaux dans les villes de Tivaouane et de Ziguinchor mis en œuvre par la Direction de l'environnement et des établissements classés ;
- Du projet de décret sur les déchets des équipements électriques et électroniques initié par l'Agence de l'Informatique de l'Etat (ADIE) et aujourd'hui porté par la Direction de l'environnement et des établissements classés avec l'appui de l'Institut Mondial pour la Croissance Verte (GGGI) dans le cadre du projet de gestion durable des déchets plastiques, des eaux usées et des déchets des équipements électriques et électroniques dans les villes de Touba, Tivaouane et Dakar.

Comme indiqué précédemment, le projet de nouveau code de l'électricité au Sénégal prévoit dans ses dispositions transitoires d'abroger la loi de 1998 portant code de l'électricité ainsi que celle de 2010 portant loi d'orientation sur les énergies renouvelables au Sénégal. Il comporte un seul article relatif à la gestion des déchets des équipements propres aux énergies renouvelables. La rédaction de cet article est très générale⁵⁰ par rapport à celle de l'article 6 de la loi de 2010 sur la même

⁴⁸ Un nouveau code de l'électricité devant abroger cette loi vient d'ailleurs d'être adopté en conseil des ministres le 26 mai 2021

⁴⁹ En effet, les articles 5, 6 et 7 de ce texte visent trois acteurs majeurs dans la mise en œuvre des dispositions de l'arrêté interministériel : la direction générale des douanes en ce qui concerne les importations de tels matériels, la direction générale des impôts et domaines en ce qui concerne la production locale de ces matériels et l'Association Sénégalaise de Normalisation en ce qui la conformité aux prescriptions techniques internationalement admises

⁵⁰ Ce projet de loi à son article 65 relatif au démantèlement des installations et gestion des déchets dispose que « Les modalités de démantèlement et de gestion des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables sont mises en œuvre conformément aux dispositions de la réglementation en vigueur ».

question et qui renvoyait à un arrêté interministériel des ministres chargés de l'environnement et de l'énergie pour fixer les conditions spécifiques à la gestion et au recyclage des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables.

L'orientation générale qui se dégage de la lecture de l'avant-projet de loi sur les déchets dangereux est d'une part, de définir le cadre général de la gestion des déchets dangereux dans le pays en fixant les types de déchets dangereux à prendre en compte et pour chaque type de déchet dangereux, développer un plan d'action spécifique et d'autre part, permettre de définir par les administrations sectorielles concernées les prescriptions techniques nécessaires à la gestion écologiquement rationnelle de chaque type de déchet dangereux spécifique.

L'article premier de cet avant-projet dispose que « La présente loi a pour objet d'organiser la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux au Sénégal afin d'assurer qu'ils ne créent pas de dommages à l'environnement, à la santé humaine et animale et aux écosystèmes naturels. Elle vise :

- La prévention de la nocivité des déchets dangereux et la réduction de leur production ;
- L'organisation des opérations matérielles de gestion des déchets notamment le tri, le conditionnement et le reconditionnement, la collecte, le transport, le stockage, le traitement y compris la valorisation des déchets dangereux et leur élimination de façon écologiquement rationnelle ;
- La réglementation des sites et installations de traitement des déchets dangereux ;
- La définition des rôles et responsabilités des acteurs intervenant dans le domaine de la gestion des déchets dangereux ;
- La planification nationale et locale de la gestion des déchets dangereux ;
- L'information du public sur les effets nocifs des déchets dangereux, sur la santé publique et l'environnement ainsi que sur les mesures de prévention ou de compensation de leurs effets préjudiciables ;
- La mise en place d'un système de contrôle et de répression des infractions commises dans ce domaine."

L'alinéa 1 de l'article 2 de cette loi dispose que « la présente loi s'applique à toutes les activités de gestion des déchets dangereux tels que définis à l'article 8⁵¹. Elle couvre l'ensemble des opérations de gestion desdits déchets, incluant la prévention, la production, la collecte, le tri, le conditionnement et reconditionnement, le transport, le stockage, le recyclage, la valorisation énergétique ou et l'élimination". **L'alinéa 2 du même article précise que** « sont exclus du champs d'application de la présente loi : les déchets radioactifs, les explosifs déclassés, les effluents gazeux émis dans l'atmosphère, les eaux usées, les déchets résultants des activités utilisant les OGM".

Le chapitre II du titre II de cet avant-projet de loi traite des prescriptions techniques de gestion des déchets dangereux. **L'article 10 dispose que** « les déchets dangereux doivent être gérés conformément aux dispositions de la présente loi et de ses textes d'application... Chaque type de déchet dangereux peut, outre les dispositions de la présente loi, faire l'objet de mesures spécifiques supplémentaires de gestion couvrant l'ensemble du cycle de gestion des déchets et fixées dans un manuel des prescriptions techniques.... Les prescriptions techniques spécifiques de gestion de chaque type de déchet dangereux sont élaborées à l'initiative des ministères sectoriels concernés par l'activité génératrice de déchets, en collaboration avec le Ministère chargé de l'Environnement. Chaque

⁵¹ L'article 8 de ce texte précise les propriétés de dangerosité qui caractérisent un déchet dangereux.

prescription technique spécifique devra être validée par le Ministère sectoriel concerné et le Ministère chargé de l'Environnement ».

L'article 11 dispose que « le manuel des prescriptions techniques prévu à l'article précédent est adopté par décret pris sur proposition du Ministre chargé de l'environnement. »

Si l'on reste dans les orientations de cet avant-projet loi, les déchets solaires pourraient faire l'objet de prescription techniques spécifiques pour leur gestion. Seulement, cet avant-projet de loi reste du droit en devenir et non du droit positif. Certaines de ses dispositions seraient versées dans le code de l'environnement en cours de révision.

A côté de cet avant-projet de loi, il y a également un avant-projet de décret sur les déchets des équipements électriques et électroniques dont le processus d'élaboration a commencé avec l'Agence de l'Informatique de l'Etat. A la lecture de ce texte, l'on note qu'il a pour objet de fixer :

- Le cadre organisationnel, fonctionnel et financier de la gestion des DEEE au Sénégal ;
- La collecte et le transport des DEEE ;
- Les modalités de délivrance de l'autorisation d'ouverture des installations spécialisées ;
- Le stockage, le démantèlement, le traitement en vue de la valorisation, de l'élimination des DEEE ou toute autre activité connexe ;
- Les autorisations d'importation et d'exportation des équipements électriques et électroniques ou de leurs sous-produits.

Néanmoins les initiatives, les réflexions et processus qui ont jusque-là sous tendu l'élaboration de cet avant-projet de décret étaient axés sur les déchets des équipements informatiques et ceux des petits appareils de télécommunications. Il sera donc nécessaire de d'articuler le processus d'élaboration de la stratégie de gestion des déchets solaires avec la finalisation de ce texte.

5.3 Revue du cadre politique et stratégique

En amont des textes juridiques, l'Etat définit des orientations stratégiques et programmatiques à travers des documents cadres. Deux documents stratégiques sont examinés dans le cadre de la présente étude :

- Le **plan national de gestion des déchets dangereux** pour la période **2020-2024** ;

La **lettre de politique de développement du secteur des énergies** pour la période **2019-2023**

Le tableau ci-dessous donne un aperçu de ces documents, même-si, les orientations et programmes qui y sont définis ne sont pas toujours explicites par rapport à la question des déchets solaires.

DOCUMENT DE POLITIQUE OU DE STRATÉGIE	PERTINENCE POUR LES DÉCHETS SOLAIRES	LIMITES
Plan national de gestion des déchets dangereux (2020-2024)	Vision : « à l'horizon 2035, le Sénégal est doté d'un système performant et écologiquement rationnel de gestion intégrée des déchets dangereux, assurant une sécurité sanitaire et environnementale »	- Ce document bien que récent⁵² ne prend pas en compte les déchets solaires . En effet, l'analyse contextuelle réalisée, les domaines d'actions prioritaires identifiés et traduits en cadre de résultats et le plan d'action

⁵² Élaboré en 2019 avec l'appui du PRODEMUD ; mis en œuvre par la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés du Ministère de l'Environnement et du développement durable

		opérationnel de 5 ans pour la période 2021-2025 n'intègrent aucun aspect de la gestion des déchets solaires.
Lettre de politique de développement du secteur des énergies (2019-2023)	<ul style="list-style-type: none"> - Vision : « une énergie durable, de qualité, respectueuse de l'environnement et fondement de l'émergence du pays » - Objectif général : « renforcer l'accès de tous à une énergie en qualité et en quantité suffisantes à moindre coût, durable et respectueuse de l'environnement » 	<ul style="list-style-type: none"> - Bien que la vision et l'objectif général intègrent la dimension de respect de l'environnement, les quatre orientations stratégiques définies et les huit programmes qui leur sont adossés ne mentionnent la gestion des déchets en général et des déchets solaires en particulier.

Conclusions partielles

Les principaux constats qui se dégagent des développements qui précèdent sont les suivants :

- Le cadre juridique actuel de gestion des déchets en vigueur, à l'exception de la loi d'orientation sur les énergies renouvelables⁵³ et du décret sur les batteries usagées, ne prend pas spécifiquement en compte la gestion écologiquement rationnelle des déchets solaires ;
- Le cadre politique et stratégique de gestion des déchets dangereux et des énergies renouvelables ne mentionne spécifiquement la gestion des déchets solaires⁵⁴ ;
- Les projets de textes⁵⁵ offrent cependant des opportunités pour une prise en charge juridique spécifique de la gestion des déchets solaires. Toutefois, une démarche concertée sera nécessaire entre les différents processus de production des projets de textes que sont le code de l'environnement, l'avant-projet de loi sur les déchets dangereux, le nouveau code de l'électricité et le projet de décret sur les DEEE.

⁵³ Pour rappel, l' Article 6 de cette loi dispose « les modalités de gestion et de recyclages des déchets issus des installations propres aux énergies renouvelables se feront conformément aux dispositions du code de l'environnement...les conditions spécifiques aux énergies renouvelables seront spécifiées par voie réglementaire. Un arrêté interministériel du Ministre de l'environnement et du Ministre chargé des énergies renouvelables fixera ces conditions ».

⁵⁴ Pour le plan national de gestion des déchets dangereux, ni l'analyse contextuelle réalisée, ni les domaines d'actions prioritaires identifiés et traduits en cadre de résultats et plan d'action opérationnel de 5 ans pour la période 2021-2025 n'intègrent aucun aspect de la gestion des déchets solaires. Il en est de même pour la lettre de politique de développement du secteur des énergies (2019-2023).

⁵⁵ Avant-projet de loi sur les déchets dangereux et avant-projet de décret sur les DEEE

VI. PERSPECTIVES

En perspective de la phase de définition de la stratégie de gestion des déchets solaires, des tendances clés ressortent de la phase d'état des lieux, et pourront guider les propositions :

- Les déchets solaires générés à horizon 2050 seront dominés par deux types d'équipements, et leur croissance sera tirée par deux types principaux d'installations :
 - La grande majorité des volumes de déchets solaires sera composée de panneaux solaires et de batteries. Le reste des équipements nécessaires aux installations solaires sera pris en charge par la filière classique des DEEE ;
 - Alors que la plupart des panneaux solaires en fin de vie arriveront sur le marché à horizon 2040-2050, les batteries représentent un enjeu important de gestion des déchets dès les dix prochaines années, du fait de leur faible durée de vie comparée aux panneaux solaires ;
 - Avec l'évolution de la technologie, de nouveaux types de batteries arriveront sur le marché⁵⁶. Ces batteries peuvent poser des défis de recyclage (besoin d'un système de traitement différent, d'investissements additionnels etc.). Il peut être pertinent pour le Sénégal d'harmoniser les technologies de batteries qui seront déployées sur le marché afin de mutualiser les investissements de traitement
 - Les grands champs solaires et les kits individuels sont les contributeurs les plus importants au volume total de déchets solaires. Il sera important de préciser les responsabilités des acteurs (démantèlement, gestion des déchets etc.) pour ces deux segments en particulier
- Les options techniques et économiques de valorisation des déchets solaires générés sont embryonnaires à ce stade :
 - Le Sénégal ne dispose pas d'un volume de panneaux solaires en fin de vie suffisant pour rendre économique les activités de recyclage. A court terme, des activités de prétraitement pourraient être envisagées dans l'optique d'identifier un marché permettant la réutilisation de certaines matières issues des panneaux solaires sur le marché local ;
 - Au niveau des batteries, il conviendra de prioriser la montée en capacité sur le traitement des batteries au plomb, et en compétence sur le traitement des batteries au lithium
 - A plus long terme, la création de hubs nationaux ou au niveau de la sous-région pour le traitement de certains de ces déchets pourrait être envisagée
- Ces développements devront être encadrés via l'adaptation des textes juridiques, notamment en termes de financement de la filière et d'organisation du marché :
 - Il s'agira au préalable de réduire et maîtriser le volume de déchets à venir, en contrôlant la qualité des équipements qui sont importés dans le pays (kits individuels notamment) et en élaborant/appliquant un système de certification
 - Il conviendra ensuite d'assurer une prise en compte suffisante des équipements liés aux installations solaires dans les textes pertinents (dont mécanismes de

⁵⁶ Lithium ion, Nickel-Hydrure Métallique

financement), et d'explorer entre autres les synergies possibles avec le décret DEEE en cours

- Il s'agira enfin de proposer un système effectif d'intégration des acteurs de l'informel.

ANNEXES

Annexe 1 : Sources pour estimation des capacités

Segmentation	A) Grands champs solaires raccordés au réseau	B) Lampadaires solaires	C) Installations industrielles et commerciales	D) Mini centrales			E) Kits individuels
				<i>Usage productif & communautaire</i>	<i>Mini centrales via concessions</i>	<i>ERIL</i>	<i>ERD - Usages domestiques et productifs</i>
Détails							
Sources	Données de la SENELEC jusqu'en 2023	Données disponibles de l'ASER jusqu'en 2023	Plan d'action LDPSE à horizon 2023 « Extrait 3.2: Intensification des énergies renouvelables dans les usages productifs" (page 29)	Plan d'action LDPSE à horizon 2023 « énergies renouvelables dans les usages productifs » (page 59)	Données entretiens ASER, PUDC a construit 78 mini centrales (hypothèse de 10 kW par centrale, moyenne installée pour les ERIL)	Base de données étude ERILs réalisée par la GIZ	PANER de 2010 à 2018 (page 23) Prise en compte des SHS ERSEN déployés dans le cadre des ERIL GOGLA pour les données en 2019-2020
Horizon 2030	Au-delà de 2023, avec les nouvelles capacités de gaz to power, il conviendra de continuer à investir pour maintenir	Projection en utilisant la croissance du PIB moyenne entre 2019 et 2024 (FMI)	Projection en utilisant la croissance du PIB moyenne entre 2019 et 2024 (FMI)	Projection en utilisant la croissance du PIB moyenne entre 2019 et 2024 (FMI)	Données issues du PANER		Projection en utilisant la croissance du PIB moyenne entre 2019 et 2024 (FMI)

	l'objectif de 30 % d'énergie renouvelable					
Horizon 2050	Croissance linéaire à partir de la différence entre 2029 et 2030	La majorité des lampadaires sont installés à horizon 2030	Croissance linéaire à partir de la différence entre 2029 et 2030	Croissance linéaire à partir de la différence entre 2029 et 2030	Sénégal sera électrifié donc pas de mini réseaux supplémentaires	Croissance linéaire à partir de la différence entre 2029 et 2030

Annexe 2 : Déchets générés au cours de la vie d'une installation

Le modèle de prévision des déchets couvre les étapes du cycle de vie des installations solaires suivantes : (i) le transport (ii) l'installation et l'utilisation, et (iii) la gestion de la fin de vie.

		Réaliste	Source/méthode
Dégâts pendant le transport	% déchets sur capacité installée	0.5%	IRENA, end of life panel management, 2016
Mauvaise installation		0.5%	
% des panneaux deviendront des déchets après 10 ans en raison de défaillances techniques.		2.0%	
% des panneaux deviendront des déchets après 15 ans en raison de défaillances techniques. Note : Ce pourcentage est appliqué à 10 ans sur les mini centrales		4.0%	

Annexe 3 : Méthode pour estimation des déchets générés

			A) Grands champs solaires raccordés au réseau		B) Lampadaires solaires		C) Installations industrielles et commerciales		D) Mini centrales	
		Unité	Données	Sources	Données	Sources	Données	Sources	Données	Sources
Panneaux solaires	Durée de vie	Années	25	Données fournisseur (ET Solar)	30	Puissance lampadaire Fonroche African Clean Energy, E-Waste policy handbook, 2019*	25	Données fournisseur (ET Solar)	15	Puissance : ASER (puissance par panneau des installations en cours et à venir) Base de données étude ERIL – Kaffrine (seule centrale 100% solaire)
	Puissance par module PV	Watts	355		265		355		250	
	Poids par module	kg	20		8		20		19.8	
	Poids par MW installé	t / MW	56		30		56		79	
Batteries	Durée de vie	Années	N/A		10	Données fournisseur (Fonroche)	N/A		6	Base de données étude ERIL – Kafrine (seule centrale 100% solaire)
	Hypothèses de poids Batteries	t batteries / MW installé	N/A		27,5	Comparaison avec une batterie Ni-MH et calcul du poids par kWh. Les batteries Fonroche font 1,248 kWh	N/A		67	
Equipements de conversion et de contrôle de l'énergie	Durée de vie onduleur	Années	15	Données fournisseur (SMA) Données fournisseur (Schneider)		African Clean Energy, E-Waste policy handbook, 2019	10	Base de données étude ERIL - Kafrine	10	Base de données étude ERIL - Kafrine
	Hypothèses de poids onduleur Hypothèses de poids transformateurs	t onduleur / MW installé	1.7 4.8		1.98		9		9	

			E) Kits individuels					Sources
			Kit TV	Kit Ventilato	Kit Réfrigérateurs	Pompes solaires	Autres SHS	
		Unité	Données	Données	Données	Données	Données	Sources
Panneaux solaires	Durée de vie	Années	Durée de vie de 10 ans					Données fournisseurs (Oolu, LittleSun, nrjsolaires) African Clean Energy, E-Waste policy handbook, 2019
	Puissance par module PV	Watts	40	20	140	2 000	550	
	Poids par module	Kg	2.45	1.12	51	10	1.8	
	Poids par MW installé	kg/kit	6.5					
Batteries	Durée de vie	Années	Durée de vie de 4 ans					African Clean Energy, E-Waste policy handbook, 2019
	Hypothèses de poids Batteries	kg/kit	17.5					
Equipements de conversion et de contrôle	Durée de vie	Années	Durée de vie de 6 ans					African Clean Energy, E-Waste policy handbook, 2019
	Hypothèses de poids	kg/kit	0.525					

Annexe 4 : Liste des acteurs consultés

Prénoms et Noms	Institution	Fonction
Acteurs privés		
Julian HORN	Lekela	Consultant en énergie renouvelable
Tetsunori MURAKAMI	CFAO Group	Structuration de projet
Vincent NKONG-NJOCK	Ilemel	Directeur Général
Joan LE FUR	Little sun	Directeur Général - Sénégal
Vincenzo CAPOGNA	Oolu	Directeur technique
Souleymane DIA	Oolu	Responsable Chaîne d'approvisionnement
Baba DIEYE	Oolu	Responsable Technique
Mansour DIOP	Global Engineering	Responsable Commercial
Cheikh Mbacke NDIAYE	SOS Energie	Directeur Général
Saliou BA	Leaf Energy	Directeur Général
Awa NIANG	Soleil Eau et Vie	Responsable Commerciale
Ousseynou TOURE	Vitalit	Manager
Marie KANE	Fonroche	Chargée de projet
Aziz DIA	COMASEL	Chef de projet
Mariam FNAICHE	SIMPA	Manager
Daniel NDIAYE	Baobab	Responsable Logistique, Achats et Moyens Généraux
Elhadj Mamadou FOFANA	PEG	Chef des opérations
COFIL		
Youssef NDIAYE	COPERES	Directeur
Namory Doumbia	GOGLA	Chef des services aux membres
Modou FALL	GGGI	Chef de projet DEEE
Ibrahima NIANE	MPE	Directeur de l'Electricité
Abdou DIOP	ASER	Chef de Division Etudes et Développement Durable
Acteurs institutionnels		
Papa Macodou SALL	SENELEC	Direction Grand Projet
Ameth NDIAYE	ANER	Ingénieur chef de projet
Fatou DIOP	PUDC	Chargée de projet électrification rurale