Réseau Cicle
Coopération internationale climat • énergie

Semaine d'accueil des délégations – Atelier d'échanges

Compte-rendu

Echange de pratiques sur la gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques au Sénégal et à Madagascar

Avec la participation et la visite de l'Atelier 21



À Madagascar, plusieurs projets pilotes ont été développés ces dernières années autour de la gestion des DEEE, sans toutefois bénéficier des conditions nécessaires à leur changement d'échelle. Plus récemment, dans le cadre du projet DECIM financé par la Banque mondiale, l'obligation pour les opérateurs de prévoir un système de gestion des équipements en fin de vie a été intégrée aux appels à projets. Mais pour répondre à ces obligations, la filière de traitement/reconditionnement est peu mature économiquement, et peu encadrée légalement, encourageant globalement l'exportation des batteries au plomb.

Au Sénégal, un travail est mené depuis plusieurs années afin de clarifier le cadre réglementaire et de structurer la filière de gestion des DEEE. Une étude de faisabilité menée avec Enabel a notamment permis d'estimer le potentiel des DEEE issus du solaire à l'horizon 2050 et de formuler des propositions en matière de réglementation et de gouvernance. La SONAGED (Société Nationale de Gestion Intégrée des Déchets), institution nationale

dédiée à la gestion des déchets, est également mobilisée afin d'accompagner la mise à niveau de son centre de tri.

Trois recycleurs formels sont par ailleurs agréés par l'État pour la gestion des batteries plomb-acide usagées. Ces différentes démarches se poursuivent afin de renforcer le cadre opérationnel, institutionnel et réglementaire de la filière. Ces deux expériences présentent des niveaux de structuration et des enjeux spécifiques, mais également des problématiques communes : responsabilité des opérateurs, organisation de la collecte et du stockage, modèles économiques, rôle des acteurs publics et privés, réglementation et perspectives de mise à l'échelle.

Objectifs de l'atelier

Cet atelier visait à mettre en dialogue les expériences sénégalaise et malgache en matière de gestion des DEEE issus des équipements solaires, à partager les enseignements des démarches engagées et à identifier des pistes de coopération. Plus spécifiquement, il s'agissait de :

- partager les retours d'expérience et les enseignements des initiatives menées dans les deux pays ;
- mettre en regard les cadres réglementaires, institutionnels et opérationnels existants ;
- échanger sur les principaux freins rencontrés et les solutions envisagées, notamment pour la collecte, le stockage et le traitement des batteries ;
- identifier des pistes de mutualisation, de coopération et de mise à l'échelle des initiatives existantes.

Liste des participant·e·s

Organismes	Représentant·e·s
Ministère de l'Énergie et des hydrocarbures (MEH) de Madagascar	Dina Razafimahatratra
Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER) de Madagascar	Niaina Tahiana Razafinome
Ministère de l'Energie et du Pétrole du Sénégal	El Hadji Ndiaye
Agence nationale des énergies renouvelables du Sénégal	Kader Diop Adja Aissatou Ndaw Gueye
Vohitra Environnement	Rasamimanana Faravololona
Ville de Pikine	Ndianga Fall
Enabel	Abdou Niane
ADEME	Hélène Sabathié-Akonor
Ministère de la transition écologique	Matthias Favre-Bulle
Fondem	Paul Testard Antoine Arpin Arno Louis dit Bizeau
GRET	Emeline Moreau
Experts Solidaires	Anthony Dufau
Electriciens sans frontières	Tania Chauvin
pS-Eau	Sophie de la Bassetière
Réseau Cicle	Cécile Gillot Corentin Oudot
Atelier 21	Cédric Carles Simon Bouchaudy Raphaël Luciani-Galais

Visite de l'Atelier 21

Un lieu éducatif et citoyen sur les systèmes de stockage de l'énergie.

L'Atelier 21 est une association implantée dans le quartier Bruneseau, dans le 13e arrondissement de Paris. Elle œuvre en faveur de la transition énergétique et appelle à la mobilisation citoyenne via une approche singulière : la méthodologie Paléo-énergétique. Via cet angle de travail, l'Atelier 21 repose sur une démarche de recherche participative qui recense plus de 400 inventions et bonnes pratiques oubliées. Les dispositifs étudiés relèvent notamment de la récupération de chaleur, de la cuisson solaire, des systèmes passifs et des infrastructures sobres , etc.

Contacts : hello@atelier21.org

Site web : https://atelier21.org/

Délégation du Sénégal et de Madagascar accueillis à l'Atelier 21 par son directeur Cédric Carles



À l'Atelier 21, le stockage de l'énergie est considéré comme la clé de voûte de la transition énergétique. L'une des réponses est née de la recherche Paléo-énergétique : un chercheur bénévole s'est inspiré d'un brevet de 1980 tombé dans le domaine public. Sur la base de ces travaux, l'Atelier 21 a produit la RegenBox, qui permet de recharger des piles à usage unique jusqu'à cinq fois. En effet, jusqu'à deux tiers des piles jetées seraient en réalité encore utilisables ou réparables. Grâce à Regenbox, l'association sauve déjà environ 100 000 piles par an, et s'est fixé un objectif de 2 millions à moyen terme. L'appareil sert aussi d'outil pédagogique et de support d'apprentissage concret. Autre initiative marquante, l'Atelier 21 a développé le Solar Sound System, un kit DJ mobile fonctionnant à l'énergie solaire et avec des vélos équipés de générateurs. Ce système mobile a déjà été utilisé en Allemagne et en Côte d'Ivoire.

Présentation de la méthode paléo-énergétique



Pour aller plus loin

- Atelier 21, rencontre avec Cédric Carles
- Atelier 21: The Citizen Ecolab Making the Energy Transition Tangible - Cooperative City
- VIDÉO - Pédaler pour faire de la musique... et financer la transition énergétique !

Atelier d'échange de pratiques sur la gestion des DEEE à Madagascar et au Sénégal

Table ronde avec les participant·es à cet atelier sur la gestion des déchets issus des équipements électriques et électroniques, regards croisés entre le Sénégal et Madagascar



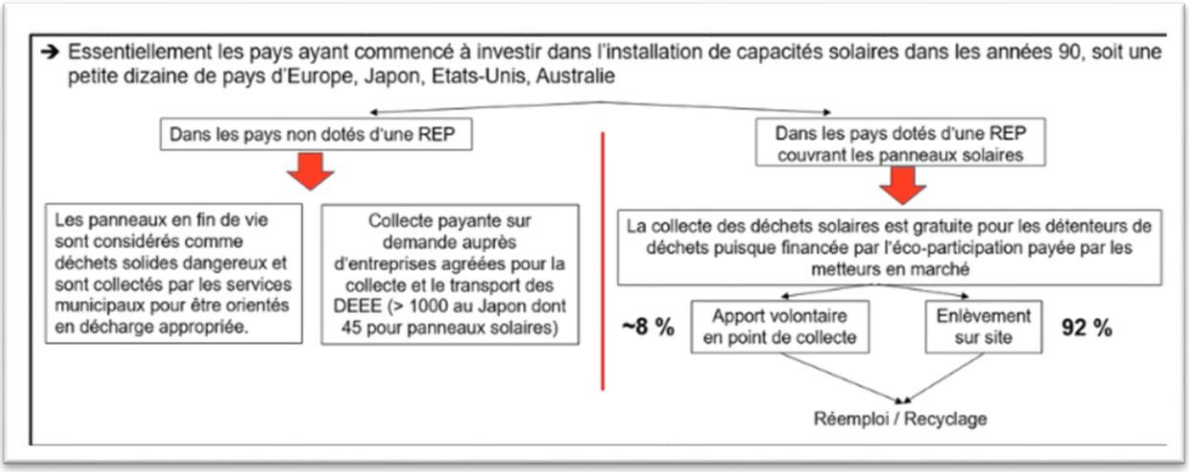
Session 1 - Panorama international de la gestion des équipements solaires en fin de vie

Présentation d'Hélène Sabathié-Akonor de l'ADEME

Sur la base d'une étude réalisée de février à août 2024 par Philgea, Moringa et Alcor, l'ADEME dresse un état des lieux international de la fin de vie des équipements solaires, principalement les panneaux photovoltaïques et les batteries, avec un focus sur le hors-réseau. Elle s'appuie sur 8 études de cas : Ghana, Inde, Vietnam, Chili, Nigeria, Rwanda, Tunisie et Zambie.

La fin de vie des équipements solaires, un enjeu mondial

Au niveau mondial, le développement du solaire et de sa dispersion à travers le globe entraîne mécaniquement plus de déchets. Majoritairement produits en Chine, les modules PV se retrouvent ainsi disséminés sur toute la planète. Si en Europe, des filières REP (responsabilité élargie du producteur) existent, ailleurs les réglementations restent limitées. C'est là tout l'enjeu de cette étude.

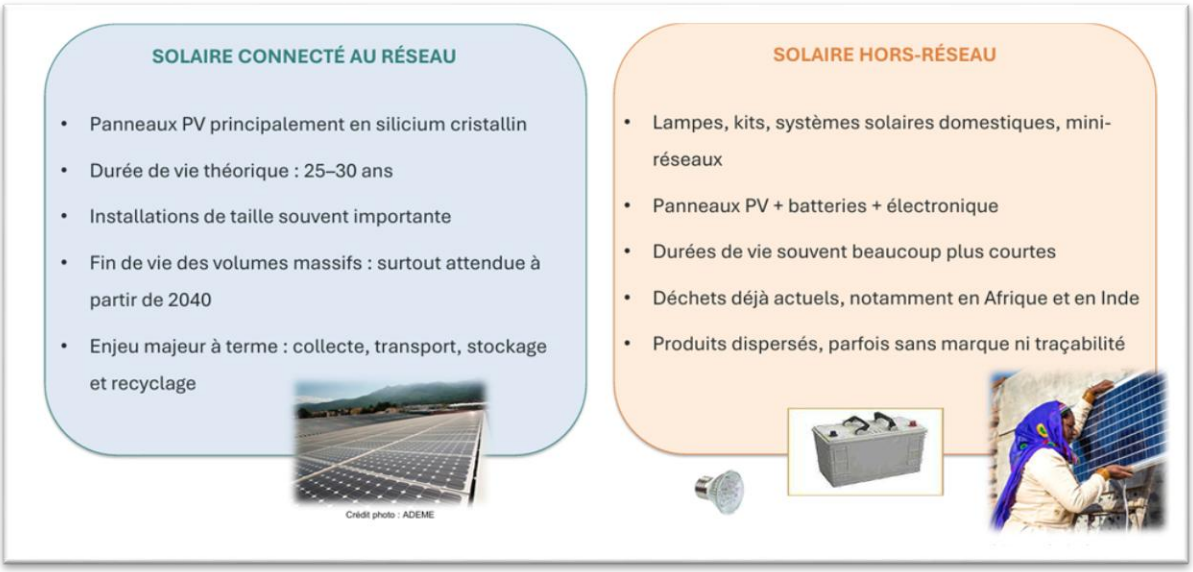


Hors-réseau aujourd'hui, réseau demain : deux familles, deux calendriers

Le solaire connecté au réseau repose sur des panneaux en silicium cristallin, d'une durée de vie de 25 à 30 ans, et sa fin de vie massive viendra surtout après 2040. Le solaire hors réseau (lampes, kits, systèmes domestiques) a des durées de vie bien plus courtes : environ 3 ans pour les lampes, 5 ans pour les systèmes domestiques, 2 à 6 ans pour les batteries plomb-acide et 4 à 10 ans pour les Li-ion. Ses déchets sont donc déjà là, notamment en Afrique et en Inde. L'Inde (11,7 M de pièces) et le Kenya (10,3 M) sont en tête des ventes hors-réseau entre 2016 et 2022. Les projections de déchets de panneaux raccordés sont incertaines : de 1,7 à 8 Mt en 2030, et de 60 à 78 Mt en 2050 selon le scénario. Ces chiffres reposent sur des estimations anciennes (2016).

On ne peut pas traiter de la même façon les équipements réseaux (panneaux solaires connectés) et les équipements hors réseau. Pour les équipements réseaux on parle de panneaux solaires au silicium pour plus de 95% des cas dans le monde, avec une durée de vie supérieure à 25 ans (peut aller jusqu'à 35), et une forte concentration géographique de ces panneaux dans les centrales solaires.

En hors réseau, ce sont des lampes solaires, des mini réseaux, SHS, à batterie plomb et lithium-ion, LFP ou NMC (nickel, manganèse, cobalt). On note une grande variabilité des durées de vie de 4 à 5 années, voire dans certains cas quelques mois. Installés en zone rurale, il faut appréhender une forte dispersion, la toxicité des composants comme le plomb et l'inflammabilité notamment du lithium.



Pour quelles raisons un équipement peut il être obsolète de façon précoce ?

1. Problème d'installation/d'usage/de transport : un exemple de mauvais usage peut être par exemple d'utiliser des batteries acide plomb originellement pour les automobiles en usage stationnaire, ce qui abime le reste de l'équipement.
2. Problème d'intempérie : typhon, cyclone, mais aussi poussière et rayonnement massifs au niveau des zones désertiques pour les pays des Suds.
3. Problème de repowering : remplacer les équipements solaires qui fonctionnent encore par des plus performants. En Australie par exemple, le certificat de technologie à petite échelle incite les consommateurs à remplacer sans prendre en compte la gestion de fin de vie des équipements en état de fonctionnement.

Ces motifs sont souvent peu prévisibles et provoquent une urgence dans la maintenance ou la gestion des équipements solaires dont la fin de vie a été prématurée par un facteur exogène ou par la mauvaise utilisation.

Une chaîne de valeur mondiale, une collecte très locale

La fabrication est dominée par la Chine, mais la fin de vie se joue à l'échelle locale. Le secteur informel joue un rôle majeur dans la collecte, la réparation et le pré-traitement dans de nombreux pays des Suds. La dispersion rurale rend la collecte coûteuse. La réglementation progresse mais reste hétérogène : filières REP en Europe, initiatives aux moyens limités dans les pays des Suds, et problèmes de classification des déchets et de transferts transfrontaliers. La collecte est présentée comme le premier maillon critique, avec quatre modèles : reprise volontaire, secteur informel, collecte par un tiers (éco-organisme) et collecte nationale intégrée. Les obstacles principaux sont la traçabilité, la dispersion géographique, les produits « orphelins », les coûts de transport et le manque d'incitations au retour des équipements.

Sur l'amont, domination de la Chine : sur les 200 usines de méga batteries qui sont en projet d'ici à 2030, 148 sont en Chine. La Chine produit 85% des cellules PV et du polysilicium, 97% des plaquettes et contrôle 77% des capacités de production de cellules de batterie Li-ion. Dans le reste du monde, notamment dans les pays des Suds, la plupart des usines dites de « fabrication de panneaux solaires » font de l'encapsulation à partir de cellules asiatiques et de verre également achetés en Asie, en somme de l'assemblage de matériaux asiatiques.

Pour les batteries plomb, les entreprises leaders sont aux Etats-Unis, en Inde, en Europe.

Sur l'aval, la réparation, le réemploi, et le pré-traitement sont réalisés à l'échelle locale, mais les possibilités de recyclage final sont en réalité limitées à quelques pays. Pour les panneaux solaires, les unités de recyclage sont en Europe (Allemagne, Belgique, Espagne, France avec notamment Rosi Solar, Italie, Royaume-Uni), et en Chine, Corée du Sud, Etats-Unis, Inde, Israël, Japon.

Pour les batteries acide-plomb le recyclage et le raffinage du plomb est courant bien que moins développé dans les pays des suds qui souffrent de la concurrence du secteur informel. Par exemple, au Nigéria les entreprises officielles de recyclage du plomb n'arrivent pas à récupérer les batteries acide plomb usagées car détournées par le secteur informel. Les investissements lourds pour le recyclage sont donc non rentables.

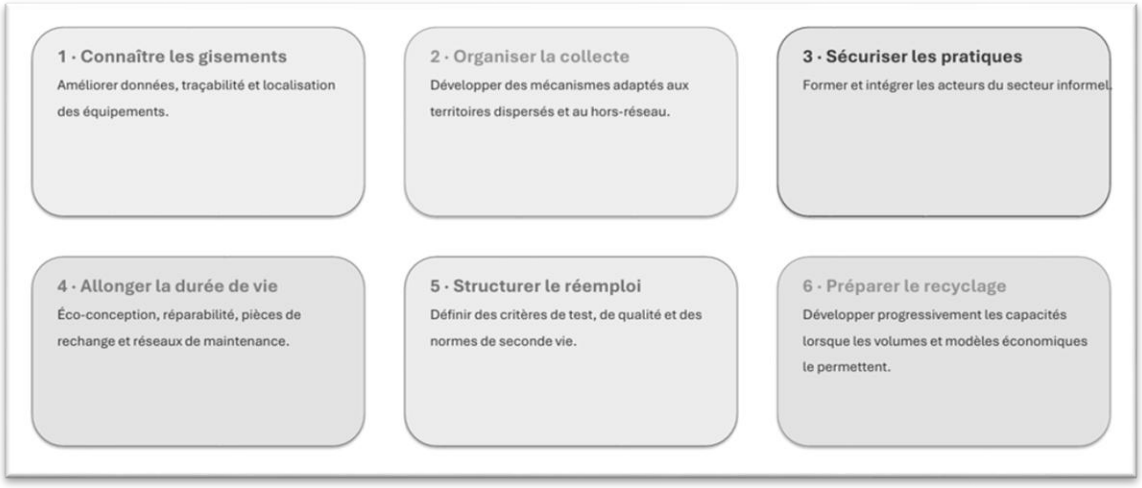
En somme, il y a pour l'essentiel des cas un prétraitement local mais le retraitement final se fait en Europe, ou dans un centre régional comme en Afrique du Sud pour la région d'Afrique Australe.

5. Six messages et six priorités pour bâtir des filières adaptées

Six messages sont à retenir :

- le hors-réseau est l'urgence actuelle ;
- le solaire connecté prépare une vague de déchets dès 2040 ;
- collecte, transport et stockage sont aussi importants que le recyclage ;
- le secteur informel doit être intégré ;
- réemploi et réparation réduisent déchets et coûts ;
- les solutions doivent s'adapter aux réalités locales.

Six priorités d'action en découlent : connaître les gisements, organiser la collecte, sécuriser les pratiques informelles, allonger la durée de vie, structurer le réemploi et préparer progressivement le recyclage.



Pour aller plus loin

- ADEME, PHILGEA, ALCOR, MORINGA. Panorama international de la gestion des équipements solaires en fin de vie. Rapport Final. Juillet 2025, 69 pages.
- Royal Academy of Engeneering. *High-level review of the end of life of photovoltaic infrastructure in low- and middle-income countries.* Londres, juin 2026, 58 pages.

Session 2 – Retour sur la filière DEEE à Madagascar

Présentation de Dina Razafimahatratra du MEH et de Rasamimanana Faravololona de Vohitra Environnement

Cadre légal

À Madagascar les batteries usagées sont classées déchets dangereux. Leur gestion relève du cadre environnemental général :

- le décret MECIE (décret n° 99-954 du 15 décembre 1999, modifié par le décret n° 2004-167 du 3 février 2004) ;
- la Charte de l'environnement malagasy (loi n° 90-033 du 21 décembre 1990, actualisée par la loi n° 2015-003 du 19 février 2015) ;
- la loi n° 99-021 du 19 août 1999 sur la gestion et le contrôle des pollutions industrielles ;
- la loi n° 98-022 du 20 janvier 1999 autorisant la ratification de la Convention de Bâle.

Les règles de stockage (local ventilé, bac de rétention, registre des entrées et sorties) sont peu appliquées, faute de moyens de contrôle. Il n'existe ni système national de reprise, ni centre de stockage agréé pour les batteries. Cela relève généralement de l'opérateur qui les stocke la plupart du temps sur site. Les équipements d'énergies renouvelables sont exonérés de droits de douane. Le ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures (MEH) travaille activement sur le sujet : le projet DECIM (Banque mondiale) intègre un appui à la gestion de fin de vie des équipements énergétiques, et le MEH travaille à la création d'un projet pilote œuvrant tant sur la partie collecte, que formation, sensibilisation, et retraitement de premier niveau, en collaboration avec le secteur informel.

Stock et flux

Près de 100 % des batteries sont importées. En 2023, les importations atteignent 2 190 t de batteries solaires, auxquelles s'ajoutent environ 4 000 t/an de petits accumulateurs et 3 500 t de batteries de démarrage. Sur 2014-2023, les douanes recensent environ 46 351 t de batteries plomb-acide et 518 t de lithium-ion (moins de 2 % du total). Le gisement de plomb-acide usagées est estimé à environ 1 500 t en 2025. Toutefois, à l'avenir, la dynamique risque de s'inverser, les importations de batteries li-ion étant majoritaires depuis 2024.

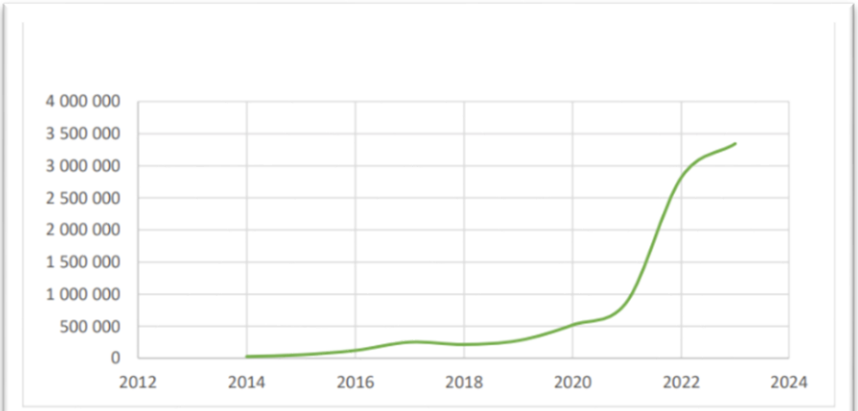


Figure 10: Courbe de croissance d'importation des lampes solaires (source : Douanes)

Un point important à noter à Madagascar est la dispersion extrêmement forte de petits équipements de type lampes solaires ou kits individuels.

Filière

La collecte est peu organisée et largement informelle. Beaucoup de batteries restent stockées chez les utilisateurs, sont abandonnées ou cédées à des ferrailleurs, avec un démontage artisanal polluant. Seuls Vohitra Environnement et ADONIS assurent un traitement formel du plomb (broyage, fonte en lingots exportés ou réutilisés), sans recyclage « fermé » sur place. A date, aucune installation ne recycle le lithium-ion : les modules sont exportés (Afrique du Sud, Europe, Asie) via des conditionneurs comme N'Connect, Valomada ou Gamma.

C'est pourquoi le MEH, en partenariat avec le Réseau Cicle, Vohitra Environnement, WWF, la Fondem et les institutions compétentes, œuvre au montage d'un projet pilote afin de proposer une structure claire pour disposer de ces batteries en fin de vie. Un travail important en matière de législation est également en cours afin d'appuyer un tel projet via un cadre clair et facilitant, et sécurisant du point de vue économique pour la filière sur l'île. En cette matière, le MEH est à l'initiative d'un groupe de travail interministériel sur la question des DEEE.



Session 3 – Retour sur la filière DEEE au Sénégal

Présentation de El Hadji Ndiaye du MEP et de Adja Aissatou Ndaw Gueye de l'ANER

Cadre légal

Au Sénégal, les DEEE relèvent d'un cadre réglementaire transversal, complété par des dispositions sectorielles.

- Le socle est la loi n° 2023-15 du 2 août 2023 portant Code de l'environnement, principal cadre applicable à la gestion des déchets et à la protection de l'environnement. Il couvre la prévention des pollutions et nuisances, les conditions de collecte, transport, traitement, valorisation et élimination, les déchets à risque pour l'environnement et la santé, et les substances chimiques dangereuses.
- À ce socle s'ajoutent des dispositions sectorielles, notamment l'article 35 de la loi n° 2018-28 portant Code des communications électroniques. Il soumet les équipementiers, opérateurs, importateurs et distributeurs d'équipements et d'installations électroniques aux normes environnementales en vigueur.

Quelques angles morts subsistent, notamment préciser la responsabilité élargie du producteur (REP) « lorsque retenue » et mieux contrôler les flux. L'avis du CESE (Conseil économique, social et environnemental) recommande une politique et une législation spécifiques, le principe de REP, l'encadrement des acteurs et une meilleure traçabilité.

Enjeux du renforcement du cadre règlementaire des DEEE au Sénégal



Stock et flux

L'ANER a engagé, avec l'appui d'Enabel, une étude de référence qui constitue le point de départ de la stratégie nationale. Elle comprend :

- un inventaire et une cartographie des équipements solaires en fin de vie ;
- une analyse des flux de déchets ;
- l'identification des parties prenantes de la filière.

Elle projette un volume cumulé d'environ 22 000 tonnes de déchets solaires.

L'ANER participe également a deux projets pilotes qui visent à améliorer la collecte de ces déchets : avec SETIC et le programme Réparek. Cela permettrait la mise en place de 557 points de collecte. À la suite d'une étude préalable, l'ANER a également élaboré une feuille de route avec la GIZ comportant un volet de sensibilisation important.

Filière

Du point de vue légal, même si une partie de la filière demeure de facto informelle, un premier travail de normalisation a été entamée par le Sénégal, et est identifié par la Direction du Développement des Energies Renouvelables comme un des enjeux prioritaires à anticiper. Si des efforts sont faits sur l'établissement d'un cadre légal adapté, il demeure parcellaire et des initiatives de terrain tel que le projet Recup II viennent amorcer une démarche empirique accompagnée par les institutions (ANER/ASER).

Session 4 – Présentation du projet RECUP II de la Fondem

Présentation de Paul Testard et Antoine Arpin de la Fondem

RECUP 2 est un projet de la Fondem portant sur la gestion durable des déchets solaires au Sénégal. Il fait suite à l'étude RECUP 1 (2024-2025), qui a permis de cartographier les acteurs du plomb et du lithium dans les régions de Thiès et de Sédhiou.

L'objectif de cette étude était d'identifier trois recycleurs formels agréés pour les batteries plomb-acide (Gravita, Solance, EMP Industries), appréhender la part d'informalité chez les collecteurs, grossistes et réparateurs, sans équipements de protection individuelle (EPI), et documenter des risques sanitaires et environnementaux.

Un gisement de déchets solaires en forte hausse, sans cadre réglementaire spécifique

Trois constats justifient RECUP 2 :

- Les déchets solaires explosent : 30 % des capacités installées au Sénégal sont renouvelables (2023), avec plus de 22 000 t de déchets prévues d'ici 2040 et jusqu'à 90 000 t en 2050 sans filière structurée.
- Le vide réglementaire persiste : aucun décret spécifique aux DEEE solaires n'est adopté. Un projet de décret GGGI est en réflexion depuis 2021, et un plan d'action national ANER/Enabel date de 2025.
- Les acteurs sont exposés : pratiques informelles en zones rurales, pas de formation dédiée, filière de collecte et de valorisation embryonnaire.

Un projet en deux phases, structuré autour de trois leviers

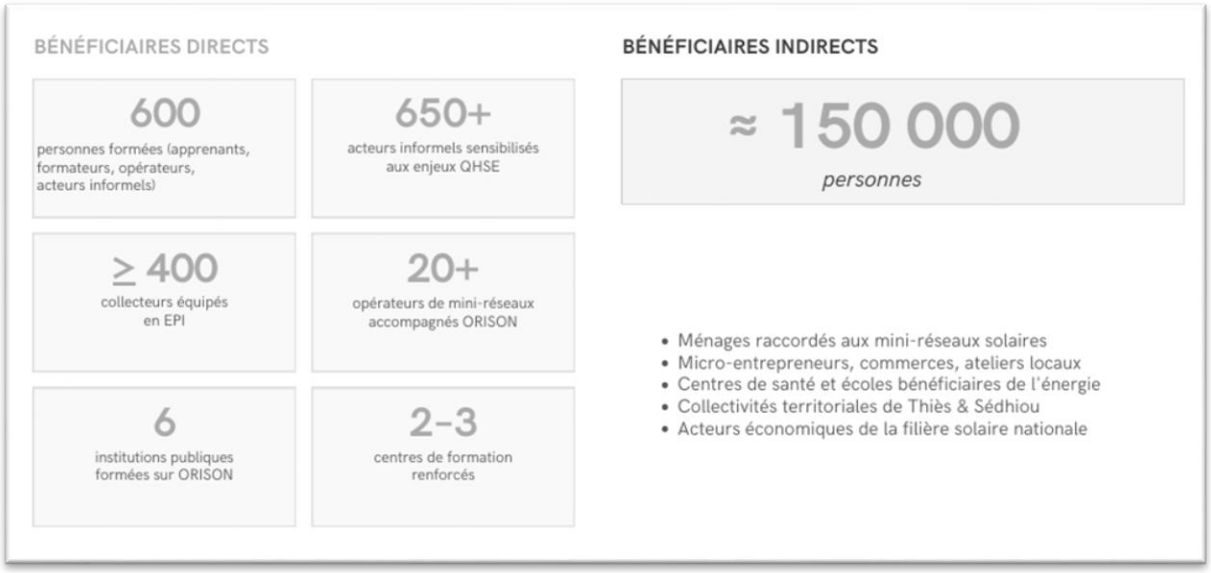
Les trois leviers sont le pilotage technique fondé sur les données, la formation et l'insertion professionnelle (en priorité des jeunes et des femmes), et l'appui au cadre réglementaire et aux mécanismes de financement. La Phase I (0-36 mois) est un pilote sur Thiès. La Phase II prévoit d'étendre et de consolider le projet à Sédhiou.

- OS1, données et gestion technique : la plateforme ORISON, outil d'aide à la décision pour les mini-réseaux solaires, suit l'état des équipements et anticipe leurs fins de vie. Elle doit être déployée sur 10 à 15 mini-réseaux, avec 20 opérateurs et 6 institutions formés (ANER, ASER, SENELEC, SONAGED). La cible est d'au moins 80 % des mini-réseaux avec un jeu de données complet.
- OS2, formation, insertion et professionnalisation : 2 à 3 centres de formation sont renforcés avec des démonstrateurs (Atelier 21 pour le plomb et le PV, Lagazel pour le lithium). Les cibles sont 600 personnes formées, 4 modules (installation, maintenance, démantèlement, QHSE), plus de 650 acteurs informels sensibilisés et au moins 400 collecteurs équipés en EPI, avec SONAGED pour les identifier.
- OS3, cadre réglementaire : la Phase I produit un diagnostic juridique et institutionnel, une feuille de route conjointe et 10 recommandations. La Phase II élabore et valide une norme nationale sur les D3E solaires, forme 25 agents institutionnels et organise au moins 4 ateliers de concertation multi-acteurs.

Partenaires et bénéficiaires

Les partenaires de mise en œuvre sont Atelier 21, Lagazel (atelier de démantèlement, tri et reconditionnement des batteries lithium, 100 à 150 cellules/jour) et l'École Polytechnique de Thiès (recherche appliquée sur la viabilité économique des filières).

Côté institutionnel, l'ANER assure la planification sectorielle et la structuration du cadre réglementaire, avec une convention de collaboration signée en juillet 2026. L'ASER donne accès aux opérateurs de mini-réseaux et la SONAGED articule le projet avec la filière nationale des déchets.



Synthèse des échanges et des questions/réponses

- Batteries plomb vs batteries lithium, quelle différence de traitement ?

Vohitra environnement avise d'opter pour une solution locale de traitement du lithium et ce pour plusieurs raisons : d'abord il existe plusieurs types de technologies lithium, ensuite car la classification à l'exportation est plus complexe, et enfin car sur le plomb plusieurs filières informelles sont déjà existantes, ce qui est moins ou pas le cas sur le lithium.

- Un souci pour les installations hors réseaux est la cartographie en temps réel des volumes de batterie à disposer. Quelles pistes de solution ?

Au Sénégal, les nouveaux modèles de centrales solaires intègrent des technologies smart control avec suivi des données. La normalisation de ce type de centrale pourrait servir sur la question des DEEE à l'avenir.

Ce rapport a été réalisé avec l'appui de l'Intelligence Artificielle Plaud, à des fins de retranscription d'échanges oraux, sous le contrôle et la responsabilité du rédacteur.

Le Réseau Cicle est soutenu par :