



Guide open source

Collecte, tri et reconditionnement de batteries lithium

Réalisé par LAGAZEL dans le cadre du programme Global Leap Solar E-waste Challenge

Février 2024

contact@lagazel.com

www.lagazel.com

Introduction

Lagazel est une entreprise qui fabrique des produits solaires en Afrique, afin d'apporter une solution de qualité et de proximité aux 650 millions d'Africains n'ayant pas accès à l'électricité. Lagazel fabrique une gamme de lampes solaires, kits solaires et stations de charge collective, au Burkina Faso depuis 2016 et au Bénin depuis 2021. Grâce à la proximité des ateliers de fabrication (disponibilité de pièces détachées et techniciens formés sur les produits), la réparation et le service après-vente font partie intégrante du modèle économique de Lagazel. Pour en savoir plus : www.lagazel.com.

Global LEAP Awards est un concours international qui identifie et promeut les appareils hors réseau les plus efficaces sur le plan énergétique. Depuis 2014, Global LEAP Awards a organisé 12 concours et défis pour les technologies émergentes à haut impact en matière d'efficacité énergétique, plus récemment pour les chambres froides, les pompes à eau solaires et les autocuiseurs électriques. Global LEAP Awards sert de source réputée d'informations précises et exploitables sur la qualité et la performance énergétique des appareils conçus pour être utilisés dans des contextes à contrainte énergétique. Pour en savoir plus : <https://efficiencyforaccess.org/global-leap-awards-2>

Dans le cadre du programme Global Leap Solar E-waste Challenge, Lagazel a démarré en 2020 un projet pilote dont l'objectif est de **développer des pack batteries de seconde-vie adaptés à des applications différentes afin d'optimiser l'utilisation des cellules** et la continuité du service malgré des cellules défectueuses. Au cours de ce projet, diverses activités ont été menées : mise en place de partenariats de collecte ; collecte, transport et stockage de batteries usagées ; diagnostic de cellules li-ion ; mise en place d'une stratégie de tri ; développement d'outils de test à bas-coût ; recherche sur une technique de réassemblage sans soudure ; prototype de batteries seconde-vie...

Une des productions de ce projet est la réalisation d'un **Guide open source sur le tri et le reconditionnement de batteries**. Ce guide est organisé sous forme de fiches qui peuvent être utilisées de manière indépendante et peuvent servir de support à des formations et mises en application.

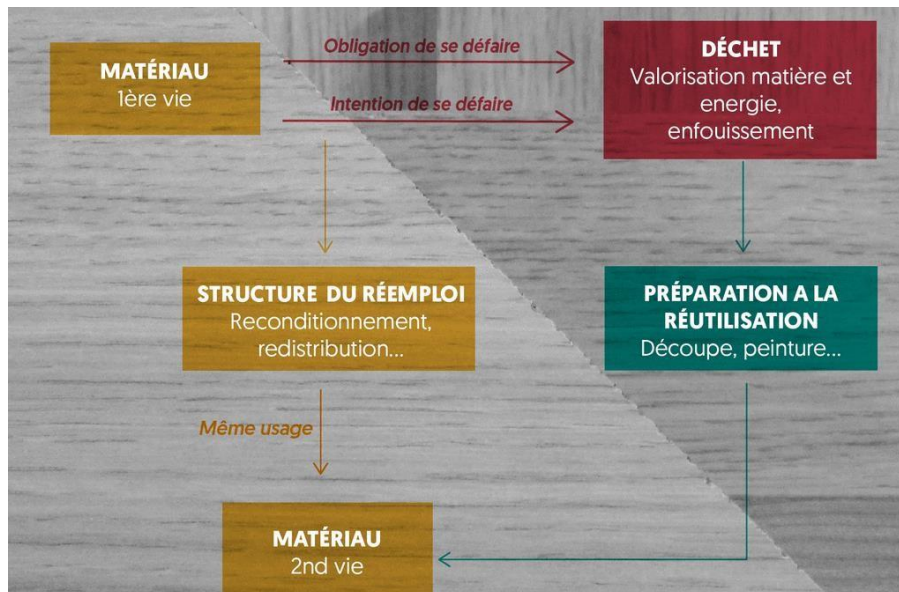
Ce guide open source capitalise deux années du projet pilote réalisé par Lagazel. Mais en tant que fabricant de produits solaires hors-réseau, Lagazel n'est pas un spécialiste de la gestion des déchets ou du traitement des batteries ; il peut donc persister des erreurs ou des inexactitudes dans le contenu de ces fiches. Si cela est le cas, n'hésitez pas à nous le signaler par mail à l'adresse : contact@lagazel.com.



Sommaire du guide open source

1. Définitions autour du reconditionnement
2. Définitions autour de la batterie
3. Acteurs du secteur de la gestion des DEEE et déchets solaires
4. Filière et acteurs de la valorisation des déchets ultimes en France
5. Cadre législatif autour de la gestion des déchets solaires
6. Dangers et mesures de sécurité pour la manipulation de batteries lithium
7. Procédure pour la collecte de batteries usagées (remplissage des futs de collecte)
8. Procédure transport lithium (emballage, préparation des cartons et transport)
9. Procédure de stockage des batteries lithium
10. Démanteler un pack batterie
11. Procédure d'inspection visuelle
12. Protocole de test état de santé des batteries lithium usagées
13. Procédure pour assembler un pack batterie 1S7P et 1S1P

Les activités de réemploi, de réutilisation et de reconditionnement permettent d'allonger la durée d'usage des produits manufacturés. Le recyclage intervient en fin de vie quand le produit ne peut plus être reconditionné. Ce sont des actions à mener plusieurs niveaux, et qui ont de multiples impacts : environnementaux avec la diminution des déchets, social avec la création d'emploi locaux et enfin économique avec la diminution des coûts.



Source : <https://mineka.fr/>, mai 2021

Réemploi

Il s'agit de toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. Le produit garde son statut de produit et ne devient à aucun moment un déchet. Il s'agit d'une composante de la prévention des déchets.

Reconditionnement

Le reconditionnement est l'opération par laquelle un produit usé ou en panne est remis en état pour être utilisable. Il s'agit d'un autre moyen de prolonger la durée de vie des produits pour retarder leur arrivée dans le traitement des déchets. Les produits reconditionnés ne sont donc pas des déchets. Ils sont dans un état de fin de vie réversible.

La différence avec la réutilisation se trouve dans le fait que les produits reconditionnés subissent des réparations et tests, certaines pièces peuvent même être changées afin de les remettre en état, tandis que dans la réutilisation, ils subissent de simples opérations de préparation. Ce procédé est très populaire avec les déchets électroniques, notamment les smartphones.

Réutilisation

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau. La réutilisation est une opération qui s'amorce lorsqu'un propriétaire d'un bien usagé s'en défait. Il va déposer son bien usagé dans une borne d'apport volontaire, par exemple, ou dans les déchetteries. Le bien usagé prend alors un statut de déchet. Il subit ensuite une opération de traitement des déchets appelée "préparation en vue de la réutilisation", lui permettant de retrouver son statut de produit. Il peut alors bénéficier à un détenteur qui lui donnera une seconde vie.

La principale différence avec le réemploi figure donc dans le fait que les produits passent par la case déchet avant de revenir sur le marché.

Recyclage

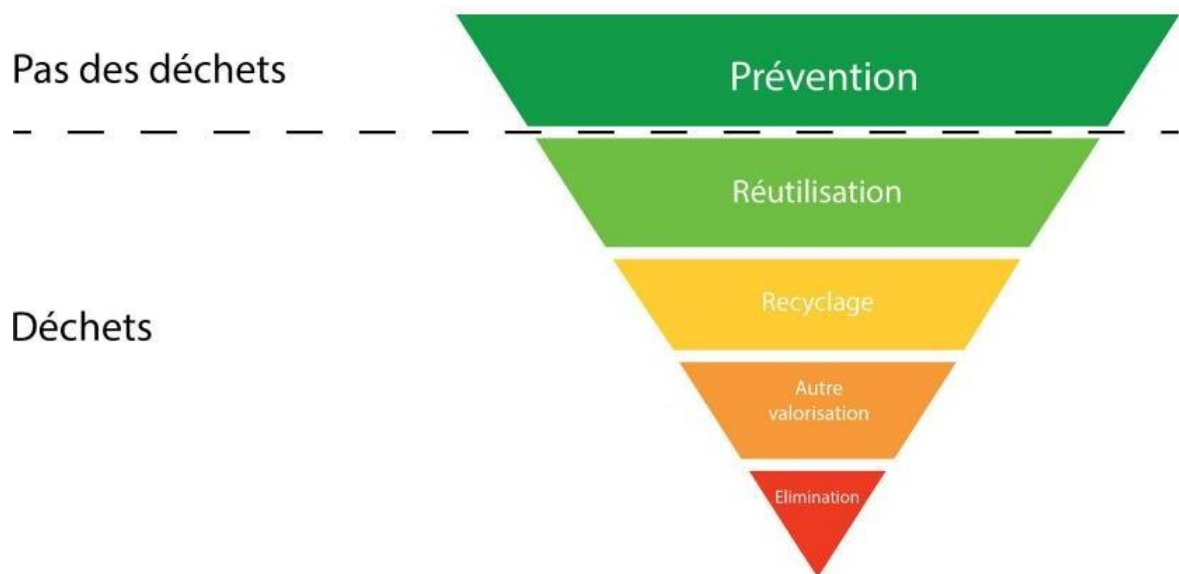
Le recyclage quant à lui, intervient quand un produit, une pièce ou un emballage en fin de vie ne peut plus être réutilisé, même après reconditionnement. Il subit alors un démontage, un filtrage ou tout autre procédé permettant de séparer les matières premières qui le composent. Ces matières premières seront ensuite réintroduites dans la chaîne de production afin d'être à nouveau transformée en produit.

Le recyclage est une transformation de la matière, et une bonne partie de celle-ci est perdue, comme dans toutes les transformations. C'est également un procédé qui nécessite souvent l'incinération de tout ou une partie du produit, ce qui cause des émissions de CO₂. Bien entendu le recyclage reste une bien meilleure alternative que la destruction ou le stockage des déchets, d'un point de vue économique et écologique.

Conclusion

En conclusion, réemploi, réutilisation, reconditionnement et recyclage sont quatre procédés ayant tous pour objectif de réduire l'impact écologique et économique de la production de déchets d'abord par la prévention, puis par la valorisation de ceux-ci.

Sur l'échelle de Lansink, le réemploi fait partie des procédés de prévention, au même titre que la prévention à la conception et le reconditionnement. Réutilisation et recyclage font eux, partie des procédés de valorisation des déchets, tout comme la récupération d'énergie par incinération des composants non recyclables.



De la cellule au pack



Source: Laurent Torcheux, 18 juin 2010, EDF

La **cellule** est le plus petit élément électrochimique

Le **module** est un assemblage de plusieurs cellules

Le **pack batterie** est constitué de plusieurs modules et du système de gestion du pack batterie.

Le **BMS** (Battery Management System) ou système de contrôle des batteries d'accumulateurs est un système électronique permettant le contrôle et la charge des différents éléments d'un pack batterie.

Lors d'un assemblage de cellules ou de modules il est courant d'observer le terme **xS yP** avec :

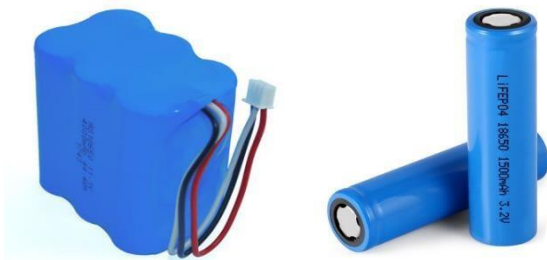
- x le nb de cellules et / ou modules connectés en série.
- y le nb de cellules et / ou modules connectés en parallèle

Ainsi, une batterie 1S2P est constituée de 2 cellules en parallèle.

Technologies de batteries

Les grandes familles de batteries sont : les batteries plomb (Pb, VRLA), les batteries nickel (NiCd, NiMH, NiZn..), les batteries Lithium (Li-ion, LiFePo4, LiPo...) et les batteries Sodium (Zebra Na-NiCl2, NaS). Deux types de technologies (électrochimies) servent 98% des besoins mondiaux : Plomb et Lithium-ion.

Dans le cadre de son projet de reconditionnement, Lagazel s'intéresse aux batteries cylindriques. Les batteries acceptées par Lagazel sont du type cylindrique au Lithium (LiFePO4 et Li-Ion) et au Nickel (Ni.mh).



Batteries issues des équipements solaires domestiques.



Batteries issues des équipements de mobilité électrique.

La mise en place du projet de collecte, tri et reconditionnement de batteries par Lagazel a nécessité la mobilisation et des interactions avec différents acteurs, au Burkina Faso et à l'échelle internationale.

■ Importateurs / distributeurs

Les importateurs mettent sur le marché des produits solaires ou autres produits électroniques contenant des batteries lithium. Ils peuvent vendre directement les produits solaires ou par l'intermédiaire de distributeurs et revendeurs.

Exemples : Oolu Solar, Engie Energy Access, Nafa Naana, ARESS, Total Energies, Qotto...

■ Consommateurs / utilisateurs

Les consommateurs achètent et utilisent les produits solaires. Quand le produit ne fonctionne plus, ils peuvent chercher à le faire réparer, le stocker ou s'en débarrasser.

■ Acteurs de la réparation et du reconditionnement

Les réparateurs collectent et réparent des produits solaires ou autres produits électroniques, et récupèrent donc des batteries usagées. Sur le marché burkinabè, la plupart font partie du secteur informel.

Quelques acteurs ont démarré des activités de réparation et/ou reconditionnement de produits solaires en Afrique de l'Ouest. Ce peut-être les distributeurs eux-mêmes ou des organisations séparées.

Exemple : Engie Energy Access au Bénin, Miawodo au Togo

En Europe, on retrouve aussi des acteurs de la réparation et du recyclage dans le domaine de la mobilité électrique.

Exemple : Doctibike

Enfin, quelques acteurs ont démarré des initiatives dans le domaine du reconditionnement de batteries lithium.

Exemples : Lagazel au Burkina Faso et Bénin, Aceleron Energy au Nigeria

■ Acteurs de la collecte des déchets

Les acteurs de collecte, formels ou informels, collectent les différents flux de déchets.

Les acteurs informels procèdent par du « cherry-picking » en ne collectant que les métaux qui ont de la valeur. Les batteries sont conditionnées tout ou en partie afin d'être exportées illégalement vers des recycleurs. L'étude sur la gestion des déchets solaires menées par l'ANEREE au Burkina Faso a identifié 39 acheteurs/revendeurs de matériaux issus de produits solaires.

Les acteurs formels peuvent avoir une simple activité de collecte, ou s'impliquer également sur le tri, le conditionnement, le pré-traitement...

Exemples : Association Burkinabè pour la Promotion des Emplois Verts (APBEV), Association Badeya

■ Acteurs du recyclage

De la même façon, le recyclage est assuré soit par des acteurs formels ou informels. Le recyclage informel est réalisé dans des conditions de santé, de sécurité et environnementales dégradées (fonte de métaux, brulage de câbles pour extraire les métaux,...).

S'il existe quelques initiatives ou projets de démantèlement et pré-traitement en Afrique de l'Ouest, les fractions doivent actuellement être exportées vers l'Europe pour être recyclées dans des filières formelles. Certains centres de traitement sont également équipés d'une ligne de réemploi.

Exemples : Morphosis et Weecycling pour les DEEE, SNAM pour les batteries, Veolia, Pour les panneaux solaires : Envie 2E Aquitaine, Rosi Solar...

■ Acteurs académiques et centres de recherche

Divers acteurs académiques ou centres de recherche mènent des actions autour de la seconde vie de produits solaires et de la valorisation des déchets. Dans le cadre du projet Lagazel a collaboré avec le CEA/INES à Chambéry.

Exemples : Université Norbert Zongo à Koudougou

■ Institutions nationales et internationales

L'Etat, au travers du Ministère de l'Environnement, met en place les politiques nationales en matière de déchets électroniques et déchets solaires. Certaines agences gouvernementales sont également impliquées sur la thématique. Par exemple :

- Au Burkina Faso, l'Agence Nationale des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (ANEREE), à travers sa Cellule Environnementale et Sociale, ambitionne de traiter le problème de production des déchets liés au système photovoltaïque et aux équipements énergétiques efficaces en proposant un plan de gestion de ces déchets.
- En France, l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable et la Direction Économie Circulaire et Déchets (DECD) travaille sur la thématique.

■ **Eco-organismes**

Un éco-organisme est une organisation détenue par les producteurs et distributeurs pour prendre en charge, dans le cadre de la Responsabilité élargie du producteur (REP), la fin de vie des équipements qu'ils mettent sur le marché.

- En France, les éco-organismes agréés par les pouvoirs publics pour la collecte et le traitement des piles et accumulateurs portables sont Corepile et Screlec. Soren est l'éco-organisme agréé pour la collecte et le traitement des panneaux photovoltaïques. Eco-systèmes et Ecologic sont agréées pour l'ensemble des DEEE.
- Epron, au Nigeria, est le premier éco-organisme agréé pour la gestion des DEEE en Afrique de l'Ouest.

■ **Organismes de normalisation**

Les organismes de normalisation contribuent à l'établissement et au maintien des normes. L'IEC (Commission électrotechnique internationale) développe des normes internationales pour assurer fiabilité et la sécurité des équipements dans les domaines de l'électricité et de l'électronique et notamment dans le domaine de la production et gestion de de la fin de vie des batteries. L'IEC est représentée par des Comités Nationaux Electrotechniques dans 174 pays.

■ **Réseaux et structures d'accompagnement**

Divers réseaux d'acteurs travaillent sur la thématique de la gestion des déchets solaires ou des DEEE.

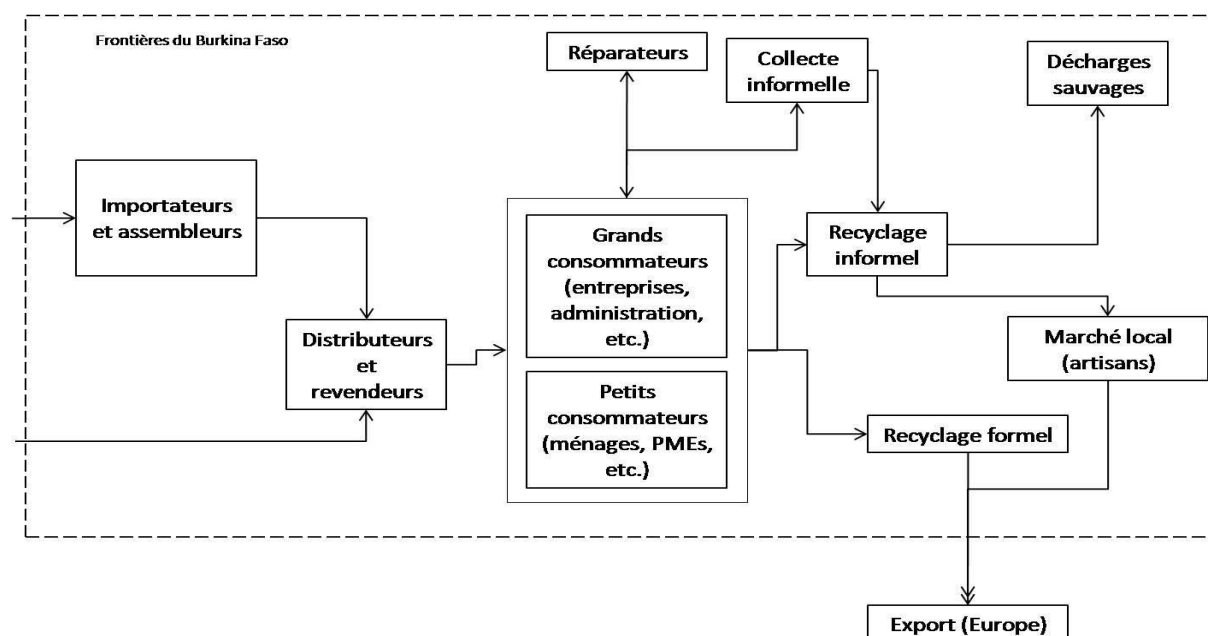
Exemples: *Circularity working group de GOGLA, PREVENT Waste Alliance...*

■ Partenaires techniques et financiers

De nombreux partenaires techniques et bailleurs de fonds s'intéressent au sujet de la gestion des DEEE et produits solaires.

Exemples: *GIZ, World Bank, EU, AFD, Global Green Growth Institute, AFD, BAD, Fonds vert climat...*

En conclusion, le schéma ci-dessous résume les acteurs du domaine de la gestion des DEEE au Burkina Faso.



Source : *Etude diagnostic, présentation Alassane Sanou de l'ABPEV, Atelier déchets solaires en Afrique de l'Ouest, 10 mars 2022*

A ce jour, il n'existe pas de filière formelle de recyclage des DEEE en Afrique. Il existe des usines de démantèlement de DEEE au Nigeria et au Cameroun et des initiatives informelles ou artisanales dans les autres pays. Les acteurs formels ont des activités de collecte, tri et conditionnement, puis exportent les déchets ultimes vers des usines de valorisation en Europe.

Acteurs du recyclage des batteries usagées en France

Eco-organismes piles et accumulateurs portables

En France, il existe deux éco-organismes agréés par les pouvoirs publics pour la période 2016-2021. Les deux éco-organismes sont : **Corepile** et **Screlec**.

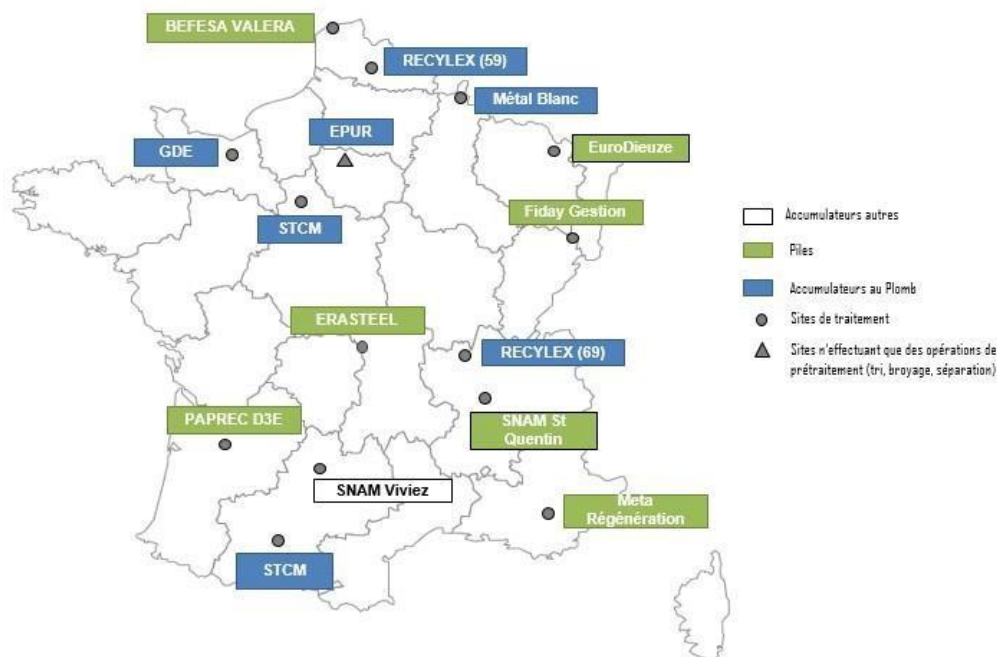


Ils prennent en charge, pour le compte de leurs adhérents, la collecte et le traitement des déchets de piles et accumulateurs portables et sont ainsi chargés de mutualiser l'effort de collecte sur l'ensemble du territoire.



Acteurs de la valorisation des batteries

Le traitement des déchets de piles et accumulateurs en France est assuré par 12 opérateurs repartis sur 15 sites sur l'ensemble du territoire.



■ Valorisation matière des batteries

Les différents procédés de valorisation matière permettent la séparation des métaux constituant les accumulateurs.

- Les accumulateurs Ni-MH peuvent être fondus directement pour élaborer des ferro-alliages à base de nickel et de cobalt.
- Les accumulateurs Lithium sont broyés et les composants sont isolés par séparation mécanique. Le nickel, le fer, le cobalt et le manganèse qu'ils contiennent peuvent être valorisés sous forme d'alliage ou de ferro-alliages.

En 2018, les différents composants des déchets de piles, d'accumulateurs et des batteries sont valorisés à hauteur de :

- 41,7% pour le zinc et de ses dérivés sous forme de métal ou d'oxyde. Ces matières sont utilisées dans la fabrication de toiture et de gouttières.
- 26,7% pour les alliages de nickel (sous forme de métal ou d'oxyde), de fer (sous forme de ferraille ou incorporé dans un ferroalliage), d'acier. Ils permettent de fabriquer des aciers inoxydables que l'on retrouve dans les couverts et carrosseries de voiture.

Acteurs du recyclage des panneaux photovoltaïques usagés en France

■ Eco-organismes panneaux photovoltaïques

En France, la collecte et le recyclage des panneaux photovoltaïques usagés est géré par un éco-organisme appelé SOREN (anciennement PV CYCLE).

Pour le traitement et la valorisation des panneaux solaires usagés, Soren a lancé en 2021 des appels d'offres afin de disposer de nouvelles unités de traitement, en visant les régions les plus équipées en panneaux (Nouvelle-Aquitaine et Occitanie).



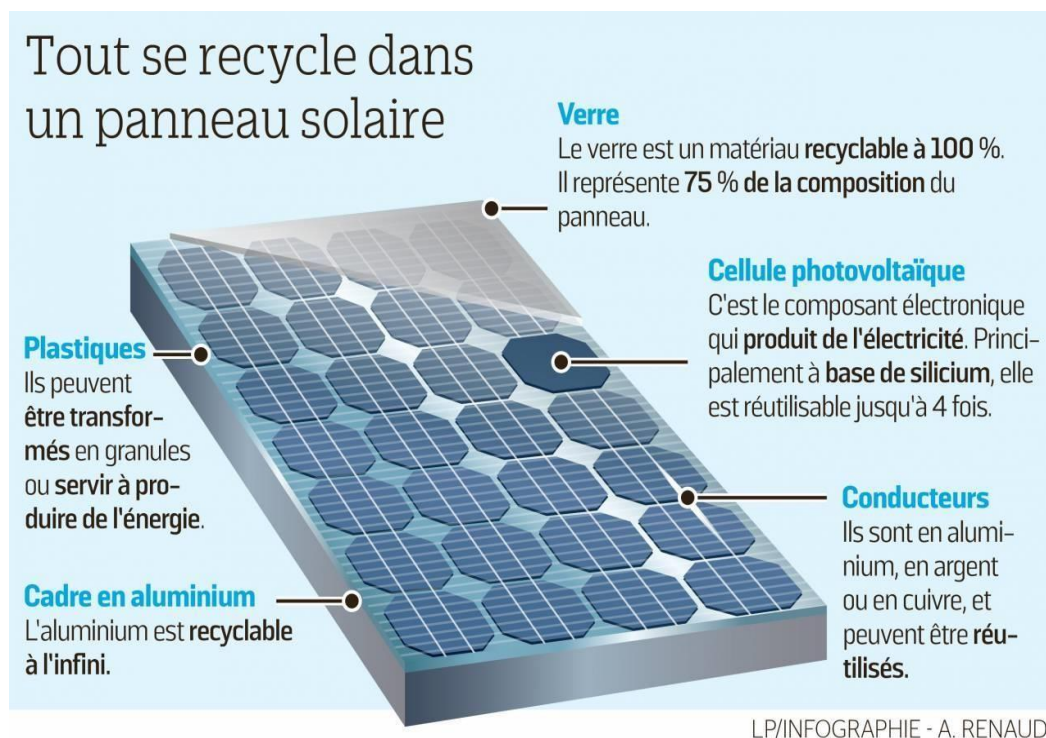
■ Traitement et valorisation des panneaux photovoltaïques

Jusqu'à 2021, une seule usine permettait le traitement et la valorisation des déchets usagés en France. Il s'agit du site **Véolia** de Rousset dans les Bouches-du-Rhône, qui traite environ 4 000 tonnes de modules annuellement.

La start-up **Rosi Solar** (Return of Silicon), implantée à La Mure dans l'Isère, devrait ouvrir courant 2023 afin de valoriser 3 000 tonnes de panneaux chaque année. Rosi Solar a noué un partenariat avec **Envie 2E Aquitaine**, qui réalisera le prétraitement des panneaux photovoltaïques en enlevant le cadre en aluminium ou la vitre en verre. Envie 2E Aquitaine sera également équipé d'une ligne de réemploi en 2022.

■ Valorisation matière des panneaux photovoltaïques

En ce qui concerne les panneaux solaires photovoltaïques, plusieurs éléments peuvent être recyclés.



Sources

[1] Rapport annuel. *Registre des piles et accumulateurs*. Angers : ADEME, 2018, 119p.

[2] Rapport. *Plan de gestion des déchets du système photovoltaïque et des équipements énergétiques efficaces*. Ouagadougou : ANEREE, 2019, 56p.

[3] Rapport annuel. *Recyclage des panneaux solaires photovoltaïques*. PARIS : PV CYCLE FRANCE, 2019, 71p.

[4] <https://www.lesechos.fr/pme-regions/auvergne-rhone-alpes/ro-si-solar-va-recycler-des-panneaux-photovoltaïques-1377287>

Cadre global

La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination

L'objectif primordial de la Convention de Bâle est de protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes des déchets dangereux. Ce traité international a été conçu afin de réduire la circulation des déchets dangereux entre les pays. Il s'agissait plus particulièrement d'éviter le transfert de déchets dangereux des pays développés vers les Pays en développement (PED). La convention a aussi pour but de minimiser la quantité et la toxicité des déchets produits, et d'aider les PED à gérer de façon raisonnable les déchets, nocifs ou pas, qu'ils produisent.

La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POPS)

La Convention de Stockholm se concentre sur la gestion appropriée de certains composants des déchets électroniques : les importations de produits en plastique, de biens électriques et électroniques, d'ordinateurs, de téléphones portables, de mousses et de retardateurs de flamme qui constituent la majeure partie des POP nouvellement répertoriés. Le principal défi lié à l'utilisation des produits chimiques est leur gestion correcte tout au long de leur cycle de vie. Une mauvaise gestion des produits chimiques a un prix, à savoir une mauvaise santé et des écosystèmes dégradés.

Cadre régional Afrique de l'Ouest

La Convention de Bamako

La Convention de Bamako interdit l'importation en Afrique et le déversement ou l'incinération en mer et dans les eaux intérieures de déchets dangereux ; elle établit le principe de précaution et prévoit une gestion rationnelle de ces déchets sur le continent.

Le paysage législatif sur les DEEE est naissant mais en pleine croissance. En 2017, 10 pays en Afrique disposaient de politiques nationales contraignantes en matière de gestion des DEEE. D'autres ont des législations non contraignantes ou des législations en matière de gestion des déchets non biodégradables. Le Ghana et Le Nigeria ont les législations les plus avancées.

Cadre législatif au Burkina Faso



Au Burkina Faso, la gestion des déchets des batteries Lithium et les panneaux solaires est régie par l'article 50 de la loi N°006-2013/AN du 02 avril 2013 portant code de l'Environnement. Ce code concrétise certains droits fondamentaux en matière d'environnement à savoir, le droit à un environnement sain, le droit d'accéder aux informations relatives à l'environnement et le droit de participer aux décisions concernant son environnement immédiat.

La gestion des déchets des batteries Lithium et les panneaux solaires est à la charge de la Direction Générale de la Préservation de l'Environnement et l'ANEREE (Agence Nationale des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique).

Pour plus d'informations sur le cadre législatif en Afrique

- ✓ E-Waste Legislative Framework Map, <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/e-waste-legislative-framework-map/>
- ✓ Panorama du cadre juridique et réglementation dans la région Afrique de l'Ouest, présentation réalisée par Ruweyda Stillhart, cheffe de projet dss+, dans le cadre de l'atelier sur les déchets solaires en Afrique de l'Ouest
- ✓ Policy brief: Solar e-waste in Sub-Sahara Africa, ACE-TAF, Janvier 2020
- ✓ E-waste Toolkit Module 4 Briefing Note, E-waste Regulation and Compliance, GOGLA, 2019

Cadre législatif en Europe



■ Cas des batteries au lithium

Au niveau Européen, la collecte et le traitement des déchets de batteries au Lithium sont fixés par la directive 2006/66/CE du 6 septembre 2006. Elle donne les directives et les actions à mener à chaque Etat membre de l'Union Européenne.

La directive 2006/66/CE est connue sous le nom de la Directive sur les batteries, elle régle la fabrication et l'élimination de batteries dans l'Union européenne dans le but de contribuer ainsi à la protection, à la préservation et à l'amélioration de la qualité de l'environnement et de la santé humaine.

■ Cas des panneaux photovoltaïques

Le recyclage et le traitement des déchets des panneaux solaires photovoltaïques sont fixés par la Directive 2002/96/CE du parlement Européen et du Conseil du 27 janvier 2003, relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE).

Il convient que cette directive englobe tous les équipements électriques et électroniques utilisés par les consommateurs, ainsi que les équipements électriques et électroniques destinés à un usage professionnel.

Cadre législatif en France



■ Cas des batteries au lithium

En France, Le décret n°2009-1139 du 22 septembre 2009 est adapté à la directive 2006/66/CE. Ce décret est relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à l'élimination des piles et accumulateurs usagés.

■ Cas des panneaux photovoltaïques

Pour le traitement des déchets des panneaux solaires photovoltaïques le décret est entré en vigueur en 2014 et correspond au décret n° 2014-928 du 19 août 2014 dans le droit français. Ce décret étend le principe de la Responsabilité Elargie du Producteur (REP) aux panneaux photovoltaïques.

La collecte, le stockage, le transport, les tests électriques, le montage/démontage des batteries et désassemblage/réassemblage des panneaux photovoltaïques usagés peuvent présenter des problématiques de sécurité. Il convient de respecter certaines consignes de sécurité.

Dangers des batteries lithium

Les batteries au lithium présentent de nombreux risques : elles contiennent des substances toxiques, sont inflammables et parfois même explosives...

- **La toxicité**

Les batteries lithium-ion contiennent diverses substances toxiques en fonction de la technologie : Lithium, Cobalt, Nickel, Manganèse... Certaines de ces substances sont neurotoxiques, d'autres sont cancérogènes, mais elles peuvent toutes être mortelle en fonction des cas mais surtout des doses auxquels on peut être exposé.

En cas de fuite, elle laisse échapper d'importantes quantités de fluorure d'hydrogène depuis le casing des cellules, un gaz incolore et très corrosif à l'odeur piquante. Le fluorure d'hydrogène est la base de l'acide fluorhydrique, un des seuls acides capables de dissoudre le verre. Son acidité en forte concentration est comparable à celle de l'acide sulfurique (pH0 de -11 contre -12 pour l'acide sulfurique).

Mis à part ses propriétés acides, ce gaz est également très inflammable, très corrosif et très toxique pour l'homme.

Ce gaz, à température ambiante, et contre toute attente est à l'état liquide. Cela s'explique par le fait qu'il se présente sous sa forme dimérisée (HF)₂. Comme il s'agit également d'un composé fluoré, il peut causer la fluorose suite à une forte exposition.

- **L'emballlement thermique**

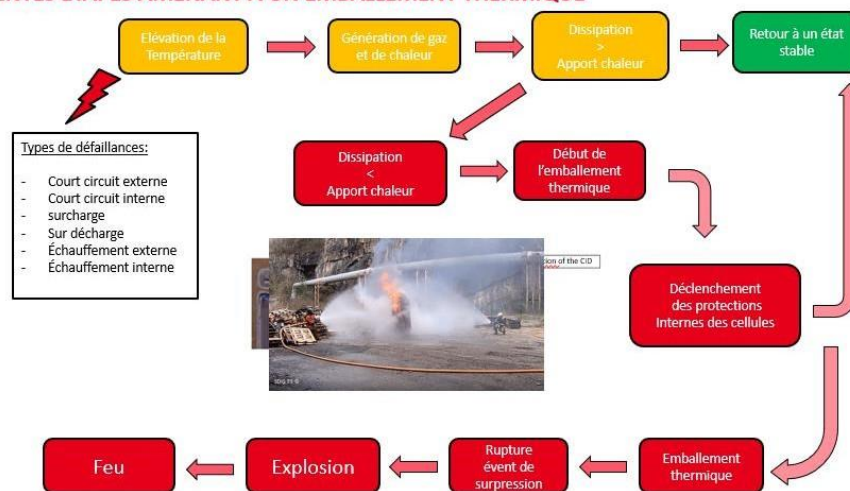
L'emballlement thermique est un phénomène lié à la chimie des batteries lithium-ion qui survient en réponse à une accumulation de chaleur et surtout de pression dans la batterie (dommage, court-circuit, température ambiante...). L'emballlement thermique déclenche des réactions chimiques qui créent d'avantage de chaleur et de pression dans la cellule. Cela

génère alors une boucle de rétroactions positives au sein de la cellule qui peuvent facilement se répandre d'une cellule à l'autre et créer des explosions et incendies. L'emballement thermique peut être dû à :

- ✓ Un choc mécanique
- ✓ Une exposition à des températures trop élevées pendant la charge ou la décharge, mais aussi pendant le stockage
- ✓ La surcharge de la batterie
- ✓ La surchauffe de la batterie
- ✓ Un taux de décharge trop important.

Les technologies Lithium-ion les moins stables peuvent être amenées à exploser à cause de ce phénomène.

DIFFÉRENTES ÉTAPES AMENANT À UN EMBALLEMENT THERMIQUE



Source : Présentation Loïc Lonardini, CEA, Atelier déchets solaires en Afrique de l'Ouest, 10 mars 2022

• Dangers électriques

Dans certaines situations comme par exemple les courts-circuits externes ou les incendies, l'énergie stockée dans les batteries peut poser de graves problèmes de sécurité.

Mis à part le danger d'électrisation/électrocution, les arcs électriques qui peuvent être alors générés sont très dangereux pour l'homme. Il s'agit d'un phénomène pendant lequel l'électricité se propageant d'un point à l'autre dans l'air devient visible. Comme il s'agit d'un courant électrique se propageant dans l'air, le risque d'électrisation est toujours présent. Mais les rayons ultra-violet (UV) dégagés alors sont également très dangereux pour l'œil humain.

Equipements de sécurité nécessaires pour le reconditionnement

■ Equipements de sécurité du bâtiment

Pour la sécurité des biens et des personnes, le bâtiment doit être doté d'extincteurs du type CO2 (Gaz carbonique) de bacs à eau et/ou de bacs à sable et de bâches ignifugées.



Extincteur CO2



Bac à eau



Bac à sable



Bâche ignifugée

- L'extincteur permettra de circonscrire un départ de feu si cela se présente.
- Le bac à eau et le bac à sable serviront à refroidir une batterie en cas d'échauffement.
- La bâche ignifugée permettra aussi d'étouffer le feu en cas d'incendie.

■ Equipements de sécurité individuelle

Avant de démarrer la procédure de reconditionnement de batterie au Lithium, il est **obligatoire** d'avoir les équipements de sécurité ci-dessous :

- Les EPI (Equipements de protection Individuelle) tels que les gants, les lunettes de protection ou visières et une tenue de travail adaptée (anti-feu).



Gant de protection



Lunette de protection



Visière de protection

Les recommandations à appliquer lors du transport et stockage des batteries lithium sont abordées dans les fiches n°9 et n°10.

Les batteries ayant été utilisées une première fois dans un équipement solaire domestique ou de mobilité sont considérées comme des « déchets dangereux ». Ainsi, il est primordial de respecter des conditions strictes pour la collecte de ces batteries.

Equipements nécessaires pour la collecte



Fût en polyéthylène



Sachet plastique



Vermiculite



Scotch

- Le fût en polyéthylène permet de collecter les batteries. Il doit être en bon état et étanche.
- Le sachet plastique permet de séparer les batteries usagées (écoulement, percées, gonflées...).
- La vermiculite permet d'éviter que les étages de batteries se touchent et de limiter la propagation de la chaleur en cas d'échauffement. Utiliser du sable en cas de manque de vermiculite.
- Le scotch permet d'isoler les pôles de la batterie.

Types de batteries acceptées

Les batteries acceptées par Lagazel sont du type cylindrique au Lithium (LiFePO4 et Li-Ion) et au Nickel (Nimh).



Batteries issues des équipements solaires domestiques.



Batteries issues des équipements de mobilités.

Pour remplir correctement un fût de collecte, veuillez respecter les étapes ci-dessous :



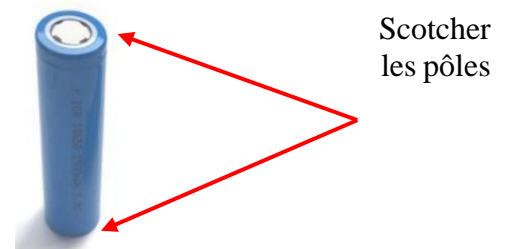
ATTENTION : Si vous avez des batteries endommagées et/ou démontées, vous devez impérativement les emballer individuellement dans un sachet avant de les déposer dans le fût.



→ Etape 1

Cette étape consiste à la préparation des packs individuels.

- Si la batterie dispose de connecteurs et ne présente aucun signe de détérioration, alors vous pouvez la mettre directement dans le fût.
- Si la batterie dispose de connecteurs sectionnés ou un risque de court-circuit, alors il faut scotcher les bornes et vérifier que les deux câbles positif et négatif ne se touchent pas avant de mettre la batterie dans le fût.
- Si la batterie est gonflée et présente des traces d'écoulements d'électrolyte ou présente des poches souples, alors il faut mettre la batterie dans un sachet individuel avant de la mettre dans le fût. Il est impératif de porter des gants de protection avant de toucher les batteries endommagées.
- Pour les cellules individuelles sans connectiques, il faut scotcher les pôles avant de les déposer dans le fût.



→ Etape 2

Mettre un grand sachet plastique dans le fût en laissant déborder en dehors. Cela permettra de torsader le sachet plastique une fois le fût plein.

Ensuite mettre une première couche de vermiculite dans le fond du fût.



→ Etape 3

Mettre les batteries dans le fût. Pour les gros packs de batteries comme ceux des trottinettes, veuillez les poser de façon verticale.



→ Etape 4

Mettre une deuxième couche de vermiculite et passer à l'étape suivant. Répéter la même opération jusqu'à ce que le fût soit plein.



→ Etape 5

Une fois que le fût est plein, remonter le sachet plastique pour le torsader et le scotcher proprement.



→ Etape 6

Fermer le fût en vissant bien le couvercle ou en utilisant le système approprié.



Vue intérieure du fût à la fin de la collecte



Sachet plastique

Couche de vermiculite séparant les étages de batteries

Batteries collectées

Fût en polyéthylène



CONSIGNES DE SECURITE



QUE FAIRE EN CAS D'ÉCHAUFFEMENT OU DE DÉPART DE FEU ?



- Il faut refroidir la batterie soit en la plongeant dans un très grand volume d'eau soit en la recouvrant complètement de sable puis attendre.
- Une fois la batterie refroidie, elle est considérée comme endommagée, il conviendra de la mettre dans un sachet plastique avant de la déposer dans le fût.



Bac à eau



Pour toutes questions
LAGAZEL Route de Rivas – BP16
42330 Saint-Galmier – France
contact@lagazel.com

Les batteries contenant du lithium présentent des risques d'explosion et d'inflammation pendant le transport lorsque l'emballage n'est pas bien fait. Cela peut impacter les différents acteurs de la chaîne : les points de collecte, les transporteurs, les centres de stockage, les unités de tri et les centres de traitements. Ainsi, pour éviter les différents risques, il faut respecter les consignes détaillées dans ce guide.



Les principaux risques liés au transport

- Risque de court-circuit
- Risque de fuite / écoulement de l'électrolyte
- Risque de réactions dangereuses du mélange d'électrolyte
- Risque d'incendie



Face aux ces risques, différentes recommandations doivent être adoptées pour le transport

- Fuite => utilisation de matière absorbante (vermiculite)
- Contact électrique => Isolation physique (alvéoles, sacs, scotch)
- Condensation/corrosion => Absorbant humidité

Classification des batteries au Lithium

Le transport des batteries au lithium est soumis à la réglementation de transport des matières dangereuses :

- ADR pour le transport routier
- IATA pour le transport aérien

Les deux réglementations classent les batteries au lithium en CLASSE 9. Les réglementations ont fixé quatre codes intitulés « codes ONU » correspondants aux différents types de piles/batteries ou d'utilisation. A chaque code sont liées des dispositions spéciales et des instructions d'emballages. Le classement est le suivant :

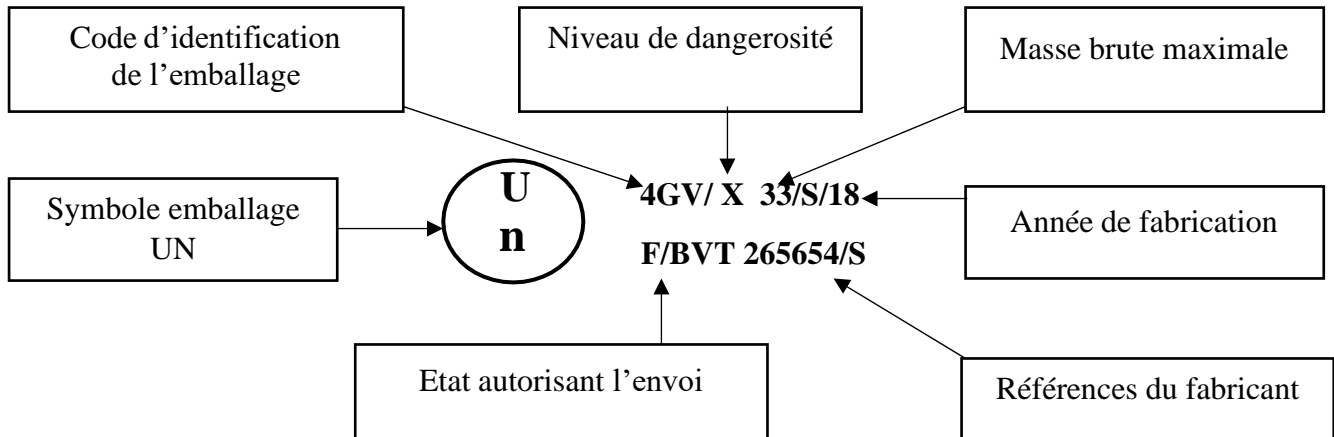
- **UN 3480** : Batteries au lithium ionique.
- **UN 3481** : Batteries au lithium ionique contenues dans un équipement ou emballées avec un équipement



Emballage et étiquetage

L'emballage et l'étiquetage doivent respecter les prescriptions suivantes :

■ Symbole emballage UN



Pour le niveau de dangerosité :

- **X** représente le groupe **I** pour les produits très dangereux.
- **Y** représente le groupe **II** pour les produits moyennement dangereux.
- **Z** représente le groupe **III** pour les produits peu dangereux.

■ Identification Classe 9

Selon l'ADR (Accord européen relatif au transport international de marchandises Dangereuses par Route) chaque matière dite dangereuse correspond à un risque bien particulier. La classe 9 correspond aux risques liés aux transports des batteries au lithium.



■ Energie nominale

Lors d'un envoi, l'énergie contenue par les batteries ne doit pas être supérieure à 20 Wh par cellule et 100 Wh pour l'ensemble du carton.

Energie nominale = U x Q x n

U : Tension d'une cellule en volt (V)

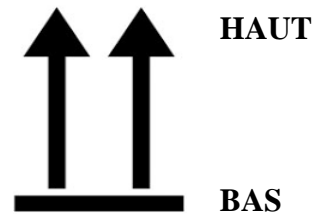
Q : Capacité d'une cellule en Ampère-heure (Ah)

n : Nombre total de cellules

Energie nominale en Watt-heure (Wh)

■ Orientation du carton

Cette icône permet d'identifier le sens du carton.



■ Cartons homologués pour le transport

Les cartons homologués sont des cartons très résistants en double ou triple cannelure répondant aux normes d'exportation de l'ONU (Organisation des Nations Unies). Ils sont adaptés pour l'expédition des batteries au Lithium par voie routière, ferroviaire, maritime et aérienne. Comme exemples de références, nous avons DAP27 en double cannelure et DAP70 en triple cannelure.



■ Documents liés au transport

Lors du transport des cartons contenant des batteries au lithium les informations et documents ci-dessous sont nécessaires :

- Nom et l'adresse de l'expéditeur.
- Nom et l'adresse du destinataire.
- Une fiche de demande de Transport de marchandises dangereuses non radioactives (Voir Annexe).
- Un avis d'expédition spécifiant le mode d'envoi, le nombre de colis, le motif de l'envoi, le mode de transport et les instructions d'emballages (Voir Annexe).

Préparation des cartons pour le transport

➔ Etape 1

Séparer l'intérieur du carton par des intercalaires en cartons pour éviter que les batteries se touchent entre elles.



➔ Etape 2

Disposer les batteries à l'intérieur du carton par type de technologie si possible ou par provenance. Ensuite, s'il y a différents types de packs, alors il faut les ranger selon leur modèle (Capacité). Les bornes positives doivent être dirigées vers le haut.

Pour les packs qui disposent de connectiques, veuillez-vous assurer que les câbles rouges et noirs ne se touchent pas.

Attention : Mettre le pack batterie dans un sachet individuel en cas de poche souple ou une suspicion d'écoulement.



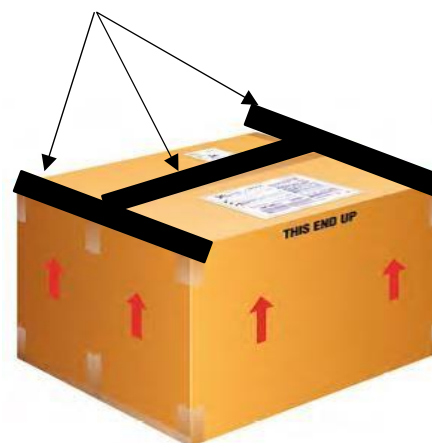
➔ Etape 3

Fermer le carton et le scotcher proprement à l'aide de la méthode en H.

Sceller tous les joints de fermeture du carton.

En cas d'écoulement, une étanchéité doit être assurée au carton.

Méthode en H



Pour toutes questions
LAGAZEL Route de Rivas – BP16
42330 Saint-Galmier – France

contact@lagazel.com

Le stockage des batteries lithium est très exigeant, en effet il faut à la fois éviter les accidents, et éviter leur vieillissement prématuré.

Différencier les technologies

Avant de stocker les batteries, il faut faire attention de bien différencier les différentes technologies (Li-ion, LFP, NMC...): elles n'ont pas les mêmes exigences en termes de sécurité. Le plus simple à cette étape, est de récolter toutes les informations concernant les batteries au moment de la réception. (Si les informations ne peuvent être récupérées à la réception, plusieurs options s'offrent à nous, voir la fiche n°11 – inspection visuelle)

Pour nous permettre de différencier facilement les batteries de technologies différentes, plusieurs solutions sont envisageables :

- Gommettes autocollantes avant la mise en stock
- Scotch (type «chatterton») autour du casing de la cellule
- Gaine thermo-rétractable dans le cas où il est prévu un reconditionnement.

Etat de charge intermédiaire

Contrairement aux idées reçues les batteries lithium-ion doivent être stockées dans un état intermédiaire de charge. Trop chargées ou trop déchargées, elle ne vieillirait que plus rapidement. De plus trop d'énergie dans des batteries les rendrait potentiellement plus dangereuses.

Après avoir effectué les tests à réception des batteries, si elles doivent aller en stock avant de subir les autres types de test, alors il faut les mettre à l'état de charge de stockage.

Nous recommandons de les laisser à 50% de leur charge maximale ou du moins entre 40% et 60%.

Isolation des pôles

Avant de mettre les batteries au stockage, il faut vérifier l'isolation des pôles de celles-ci (cf fiche n°8 sur comment emballer les batteries).

L'un des plus gros risques encourus est le court-circuit des batteries. Celles-ci seraient alors détériorées mais surtout cela pourrait causer des risques d'incendies ou explosions avec certaines technologies.

Température de stockage

Un autre paramètre important est la température de charge. En effet nos batteries redoutent les températures trop élevées. Cela est tout aussi important pendant leur stockage que leur utilisation. Nous recommandons de les stocker à des températures inférieures à 45°C.

Cela implique également de ne pas laisser les batteries exposées à la lumière directe du soleil.

Date de mise en stock

Quel que soit le mode de traçabilité choisi, il est important d'identifier le jour de mise en stock de chaque cellule. Cela sert à effectuer des cycles de contrôle et de remise à l'état du niveau de charge.

Pour Lagazel, la date de mise en stock de chaque batterie reçue fait partie intégrante du code de traçabilité lui étant attribué.

Espace de stockage

- Les batteries sont stockées dans des bacs en plastique dont on se sert pour les séparer en fonction de leurs dates de mise en stockage (n° lot) et de la technologie correspondante.
- Il n'y a pas d'inconvénient à stocker les différentes technologies dans les mêmes conditions environnementales. Ces bacs sont rangés dans un local de stockage séparé du reste de l'atelier. En effet, il est important de séparer la zone de stockage de la zone

de production. Cela permet de limiter les sinistres en cas d'accident. Il faut aussi veiller à espacer les différents lots au sein de l'espace de stockage. Cela permettra de limiter la propagation des dégâts en cas d'incendie.

- Le stockage à l'ombre doit se faire à l'ombre, dans une pièce tempérée pour limiter la température
- Les moyens d'essais doivent être dissociés des batteries : la séparation physique entre les voies de tests permet d'éviter la propagation d'un défaut.
- Les personnes doivent être séparées des batteries en test : paroi coupe-feu entre les personnes et les batteries, restriction d'accès aux batteries en tests
- Pour l'évacuation des personnes, il faut prévoir des issues de secours accessibles sans passage devant une zone à risque
- Des extincteurs CO2 ou poudre ABC doivent être accessibles facilement dans les zones à risques.

Le démantèlement des packs est une activité souvent inévitable mais qui peut se révéler périlleuse. Il faut pour cela respecter certaines mesures de sécurité, et être correctement équipé.

Equipements

Mis à part les EPI classiques, il faut pour cette opération, s'être équipé d'outils isolés et adaptés à nos besoins. Voici un aperçu des outils indiqués pour cette opération :



Tous les outils doivent être isolés électriquement (tournevis, pinces...)

Lagazel et le CEA recommandent l'utilisation des équipements suivants :

- Pinces FACOM418.MT pour arracher les clinquants soudés par points sur les cellules.
- Tapis isolants pour isoler notre espace de travail.
- Un rouleau de scotch isolant est également un bon investissement qui peut s'avérer très utile pour isoler des connecteurs ou des batteries dont la gaine plastique est endommagée.



Les objets métalliques tels que les bracelets, les colliers et autres doivent être retirés avant toutes opérations.



Méthodologie

Les packs batteries sont presque toujours contenus dans des packagings en plastique plus ou moins difficiles à ouvrir. A ce niveau, il n'y a pas vraiment de méthodologie. Il faut s'adapter au packaging et tâcher de l'ouvrir sans désolidariser les cellules les unes des autres.

Une fois l'opération réalisée, on obtient un pack dénudé, semblable à celui-ci :

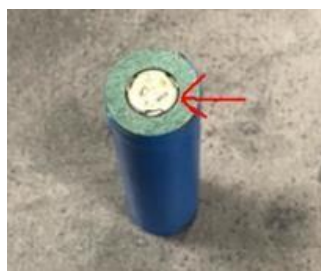


A partir de là, si l'on décide de démonter le pack plutôt que de le tester en entier, on va devoir arracher les clinquants présents sur les polarités de chaque cellule du pack en s'assurant bien que celui-ci n'est pas sous tension lors de cette opération.

Il faut faire attention cependant à ne pas créer de court-circuit pendant cette étape. Et pour cela, nous recommandons de bien prendre le temps de les retirer un à un en évitant de créer des courts-circuits.

Ces courts-circuits peuvent intervenir de deux manières différentes :

- Des bandes de nickels connectées à une polarité positive entrent en contact directement ou par l'intermédiaire d'un autre conducteur, avec d'autres bandes de nickel, encore en contact avec la borne négative de la même cellule ou du même groupe de cellules.
- En essayant d'arracher la bande de nickel soudée sur la borne positive d'une cellule, on insère par mégarde la pince à l'intérieur de la fente qui s'y trouve (flèche rouge en bas à gauche), sous la gaine plastique, et celle-ci vient s'insérer entre la partie chargée positivement et celle chargée négativement de la cellule (zone entourée de bleu en bas à droite).



Une fois que les clinquants sont retirés, il est important de repasser avec la pince pour retirer les morceaux de nickels éventuels qui seraient restés sur les pôles de chaque cellule (en dessous, avant après).



Traçabilité

Même au sein du même lot, il est important de pouvoir distinguer les cellules issues du même pack batterie. Pour cela, nous attribuerons à chacune un numéro unique à 02 chiffres supplémentaire à leurs codes de traçabilité.

Le tri visuel permet d'écarter les cellules dont la défaillance est flagrante et de les regrouper en préparation de la phase de test. Un premier tri visuel rapide peut être effectué lors de la collecte pour éviter de récupérer des cellules endommagées qui ne pourront pas être réutilisées. Sinon, le tri visuel se fait à réception à l'usine, en prenant les précautions de sécurité nécessaires.

Défauts visuels

Certains défauts visuels sont à éliminer avant la phase de test, car ils rendent nos cellules instables et dangereuses :

- **Ecoulement de l'électrolyte**

Parfois on peut retrouver des traces de l'écoulement de l'électrolyte sur les cellules en fin de vie. Cela s'apparente à une brûlure et à première vue, on a l'impression que la cellule a baigné dans de l'acide.



- **Présence de traces de brûlures ou de rouille sur la batterie**

Certaines cellules ont pu être brûlées lors de leurs premières vies ou d'autres ont des traces de rouille sur leurs surfaces. Dans les deux cas, il s'agit de cellules à éliminer.



- **Bosses**

Lorsque l'on peut distinguer des bosses sur la surface de nos cellules cylindriques, elles doivent être écartées dès le début.



Les cellules endommagées non réutilisables seront stockées dans des bacs de collecte et conditionnées en vue du transport vers des unités de recyclage spécialisées (cf Fiche n°8 sur le remplissage des fûts de collecte).

D'autres cellules sont à réparer immédiatement :

- **Gaine plastique endommagée**

Lorsque la gaine est endommagée sur le côté du cylindre, on appliquera simplement un morceau de scotch isolant dessus.



Lorsque la borne positive est endommagée, on appliquera un œillet isolant pour rendre son intégrité à notre cellule.



Technologies

Si aucun de ces défauts n'est repéré, on dit que l'état visuel de la batterie est RAS (Rien à signaler).

Une fois que les batteries visuellement défectives ont été correctement isolées, on doit s'assurer de différencier les différentes technologies. C'est une étape très importante pour la suite du procédé de réutilisation des batteries.

Le tri continue alors au niveau des technologies de batteries. On distinguera :

- **Les batteries lithium-Ion (NMC, NCA...)**

Tension nominale 3.6V ; Capacité nominale 2500-4000mAh



- **Les batteries Lithium-Fer-Phosphate (LiFePo4)**

Tension nominale 3.2V ; Capacité nominale 1300-2000mAh



- **Les batteries au Nickel (NiMH, NiCd)**

Tension nominale 1.2V ; Capacité nominale 500-1500mAh



Pack batteries

On peut connaître les technologies des batteries à partir de leurs caractéristiques indiquées sur la gaine plastique.

Sinon, à l'intérieur d'un pack, on fera une division de la tension totale par le nombre de cellule en série pour obtenir la tension de chaque cellule, et en déduire la technologie utilisée.

Une division de la capacité totale par le nombre de cellules en parallèles donne la capacité de chaque cellule. Cela peut également aider à identifier la technologie utilisée.

Le total de cellules dans le pack correspond au produit entre ces deux valeurs.

Bien souvent, le nom de la technologie utilisée est gravé sur le pack ou écrit sur la fiche de lot. Auquel cas on pourra se servir des relations citées ci-haut pour déduire le nombre de cellules du pack sans avoir à l'ouvrir.



Une fois la technologie identifiée, les cellules sont triées et placées dans des bacs de stockage séparés. La traçabilité doit être conservée à l'issue du tri visuel et pendant le stockage.

1 bac = 1 même lot et 1 même technologie de cellules

Les batteries usagées ne sont pas toutes récupérables. Après une première inspection visuelle qui a permis d'isoler les cellules présentant un défaut visuel, il faut effectuer plusieurs types de mesures permettant d'évaluer l'état de santé des batteries, ce qui permettra de les classer en vue du reconditionnement. A chaque étape, l'opérateur devra prendre soin de bien relever toutes les mesures prises et de les consigner soigneusement dans un tableau pour assurer la traçabilité au cours du process.

Les mesures à réaliser

Il y a principalement 3 types de mesures à réaliser :

- **La tension**

Appareil :

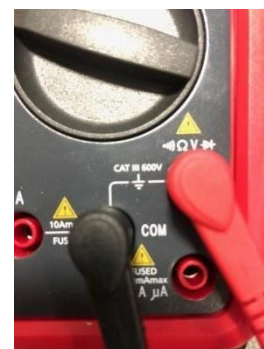
Multimètre, Chargeur ou déchargeur (testeur de capacité).



Méthode :

Bien souvent les chargeurs et déchargeurs que nous utilisons pour les tests affichent la valeur de la tension en temps réel. Si cela facilite le travail au niveau des tests de charge et décharge, pour les tests à réception, nous serons contraints d'utiliser un multimètre voici le mode opératoire pour son utilisation :

1. Allumer le multimètre et le régler sur la fonction voltmètre (V) en courant continu (DC en anglais, CC en français).
2. Brancher les sondes : La sonde rouge (positive) sur la prise correspondant au voltmètre (regarder les symboles) et la sonde noire (négative) sur la prise COM.
3. Mettre en contact la sonde rouge avec la borne positive de la batterie (face avec téton s'il s'agit d'une batterie sans connectique, câble rouge si elle en est équipée), et la sonde noire avec la borne négative de la batterie (face pleine s'il s'agit d'une batterie sans connectique, câble noir si elle en est équipée).



- Attendre quelques secondes que la valeur de la tension qui s'affiche sur l'écran du multimètre se stabilise, et la relever.
- Débrancher les sondes et éteindre le multimètre.

- **La capacité**

Appareil :

Testeur de batterie (déchargeur) ou chargeur.

Méthode :

Certains chargeurs, configurés pour cela, peuvent renvoyer la capacité reçue par la batterie pendant la charge, mais ils ne sont pas tous configurés pour cette fonction. Dans tous les cas, cette mesure de capacité pendant la charge n'est pas capitale, bien qu'elle puisse être intéressante pour des besoins de recherche.

Cependant lors de la décharge, il est impératif de pouvoir mesurer la capacité que peut fournir la batterie. Raison pour laquelle il est impératif de s'équiper d'un testeur de capacité fournissant des mesures précises de la capacité après décharge complète.

- **La résistance interne**

Appareil

Appareil de mesure de résistance interne. Au vu du nombre d'appareil peu précis ou non adapté que nous avons vus, nous recommandons « Hioki » (en bas à gauche) pour des mesures précises et fiables ou le DIYFull (à droite) pour des mesures peu précises mais permettant néanmoins d'assurer le tri préalable de nos batteries.



Test à réception

Les tests à réception permettent d'avoir un aperçu de l'état des batteries. Il s'agit, après avoir relevé les éventuels défauts visibles à l'œil nu (cf. fiche n°11 sur la procédure d'inspection visuelle), de **mesurer la tension (en V) et l'impédance interne (en mOhm)** de ces batteries.

On appliquera les méthodes décrites plus haut.

Grâce à ces tests, on peut déjà déterminer quelles sont les batteries en décharge profonde (tension généralement inférieure à 2.5V pour les cellules 18650) et les batteries totalement usées (pas de tension). Les batteries en état de décharge profonde (DoD) sont souvent récupérables après un boost. Quant à celles qui n'ont aucune tension, elles sont irrécupérables.

Test en charge

Ces tests permettent de vérifier que les batteries acceptent encore la charge. Ils sont bien plus longs pour les batteries en état de décharge profonde (DoD). Le chargement des batteries en DoD est appelé boost. Ils sont réalisés grâce à des chargeurs pour batterie lithium Ion qui peuvent généralement effectuer ces boosts.

Comme les appareils sont très divers, il faudra adapter le mode d'emploi à l'appareil utilisé.

Mais dans tous les cas il faudra bien s'assurer que :

- Les batteries sont correctement connectées
- Les courants de charges n'excèdent pas ce que peut supporter la batterie. Nous recommandons des régimes de charges entre $C/4$ et $C/2$.
- La tension de fin de charge correspond à celle de la technologie de la cellule testée
 - 4.1~4.2 pour les batteries Lithium Ion (NMC, NCA, LTO...)
 - 3.7 pour les cellules lithium fer phosphate (LiFePo4)



A la fin de la charge, il nous faut relever la **tension et la résistance** encore une fois.

Test en décharge

Il s'agit d'un des tests les plus importants puisque c'est à travers celui-ci que l'on peut mesurer la **capacité (en mAh)** et la **puissance (en mWh)** des cellules. Ils sont réalisés grâce à des testeurs de capacité.



Cette fois encore, il faut relever la **tension** et la **résistance interne**.

Test de cyclages

La répétition de ces tests de charge et décharge et la comparaison des résultats obtenus à chaque fois, correspond au **test de cyclage**.

Après avoir effectué 02 tests de charge et en avoir fait la moyenne, on calcule le rapport entre cette capacité moyenne et la capacité d'origine de la batterie (configuration d'usine), on obtient le **SOH (State of health)** en % de la batterie.

Et c'est à partir de celui-ci que l'on pourra ensuite différencier et classer les batteries en vue du reconditionnement. C'est ce qu'on appelle le grading.

Qu'est-ce qu'un pack batterie ?

Un pack batterie, est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension et de capacité désirée. Ces accumulateurs sont parfois appelés « cellules ».

Equipements de sécurité nécessaires pour faire un pack batterie

Avant de démarrer la procédure pour faire un pack batterie, il est **obligatoire** d'avoir les équipements de sécurité ci-dessous :

- Les EPI (Equipements de protection Individuelle) tels que les gants, les lunettes de protection ou visières et une tenue de travail adaptée (anti-feu).



Gant de protection



Lunette de protection



Visière de protection

Outils nécessaires pour faire un pack batterie

Pour faire un pack batterie, les outils ci-dessous sont nécessaires :

- **Un poste à souder**

Le poste à souder permet de faire les soudures par points sur les bornes des cellules. Il est constitué de 3 éléments principaux (deux électrodes, une commande par pédale et le poste à souder lui-même).



■ **Une gaine PVC thermorétractable**

La gaine PVC thermorétractable permettra de contenir les cellules.



■ **Un décapeur thermique ou un appareil pouvant générer de l'air chaud**

Le décapeur thermique permettra de souffler de l'air chaud sur la gaine PVC pour la rendre rétractable.



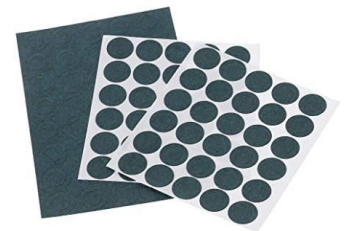
■ **Une pince coupante**

La pince coupante servira à couper les fils électriques, les isolants, la tôle en nickel et la gaine PVC thermorétractable.



■ **De l'isolant**

L'isolant servira à isoler chaque borne (positive et négative) des cellules.



■ **Une bande en nickel**

Les bandes de nickel permettra d'assembler les cellules entre elles. Elle sert aussi de conducteur pour le passage du courant.



■ **Une bande adhésive isolante**

La bande adhésive isolante servira à renforcer l'isolation des bornes des cellules (positives et négatives).



■ **Un fer à souder**

Le fer à souder servira à souder la tôle en nickel sur les câbles électriques.



Pour faire un pack batterie de 1S7P, veuillez suivre les étapes ci-dessous :

→ Etape 1

Allumer et régler le poste à souder

- Fixer les deux électrodes.
- Brancher la commande à pédale.
- Régler l'impulsion de la soudure à 2P à l'aide des boutons indiquant les flèches et l'étoile.
- Régler le pourcentage du courant à 60 à l'aide des boutons indiquant les flèches et l'étoile.
- Le bouton situé au-dessus du poste à souder permet d'ajuster la pression de soudure de la pédale (pour diminuer la pression, il faut tourner le bouton vers la gauche. Pour augmenter la pression, il faut tourner le bouton vers la droite).



→ Etape 2

Assemblage des cellules

- Assembler les 7 cellules à l'aide d'un support.
- Vérifier bien que les bornes sont identiques de part et d'autre.
- Vérifier que les cellules ne bougent pas.



→ Etape 3

Faire des points de soudure

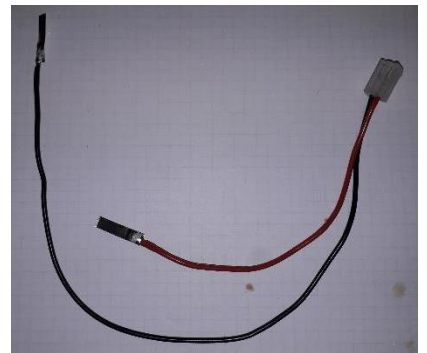
- Mettre l'ensemble (cellules et bande nickel) au niveau des 2 électrodes du poste à souder.
- Appuyer sur la commande à pédale.
- Faire 4 points de soudure sur chacune des bornes des cellules.
- Assembler les 7 cellules en faisant des points de soudure. (Faire cette opération sur les bornes positives et négatives des cellules).



→ Etape 4

Sertir les câbles électriques et mettre la connectique

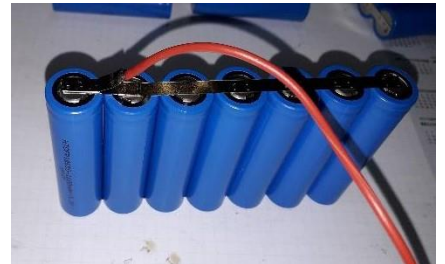
- Utiliser des câbles électriques de **0,75 mm²** (câble rouge pour la borne positive et câble noir pour la borne négative).
- Pour les longueurs des câbles (il faut **160 mm** pour le câble rouge et **325 mm** pour le câble noir).
- Sertir à l'aide d'une sertisseuse l'une des extrémités de chaque câble.
- Souder une tôle en nickel sur les deux autres extrémités des câbles à l'aide de l'étain et d'un fer à souder.
- Mettre les câbles sertis dans la connectique.



→ Etape 5

Liaison des câbles électriques sur les cellules

- Souder la tôle en nickel du câble rouge sur la borne positive de la première cellule.
- Souder la tôle en nickel du câble noir sur la borne négative de la dernière cellule.
- Mesurer la tension du pack. Elle doit être de 3,2 ou 3,3 Volts pour du LiFePO₄.



→ Etape 6

Mettre les isolants sur toutes les bornes des cellules

- Mettre un isolant sur chacune des bornes (positives et négatives) des cellules.



→ Etape 7

Renforcer l'isolation

- Mettre la bande adhésive isolante sur les bornes (positives et négatives) des cellules pour renforcer l'isolation.



→ Etape 8

Mettre le pack dans le PVC thermorétractable

- Couper la gaine PVC thermorétractable légèrement plus longue que la longueur du pack batterie.
- Mettre le pack batterie dans la gaine PVC thermorétractable.
- Chauffer l'ensemble du pack batterie à l'aide du décapeur thermique.



Pour faire un pack batterie de 1S1P, veuillez suivre les étapes ci-dessous :

→ Etape 1

Allumer et régler le poste à souder

- Faire les mêmes opérations que l'étape 1 décrite plus haut.

→ Etape 2

Sertir les câbles électriques et mettre la connectique

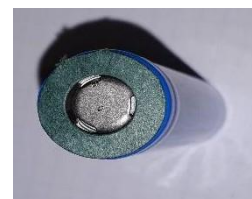
- Utiliser des câbles électriques de **0,36 mm²** (câble rouge pour la borne positive et câble noir pour la borne négative).
- Pour les longueurs des câbles (il faut **115 mm** pour le câble rouge et **176 mm** pour le câble noir).
- Sertir à l'aide d'une sertisseuse l'une des extrémités de chaque câble.
- Souder une tôle en nickel sur les deux autres extrémités des câbles à l'aide de l'étain et d'un fer à souder.
- Mettre les câbles sertis dans la connectique.



→ Etape 3

Liaison des câbles électriques sur la cellule

- Mettre une partie de l'isolant sur la borne positive de la cellule.
- Souder la tôle en nickel du câble rouge sur la borne positive de la cellule.
- Souder la tôle en nickel du câble noir sur la borne négative de la cellule.
- Mesurer la tension de la cellule. Elle doit être de 3,2 ou 3,3 Volts.



→ Etape 4

Renforcer l'isolation

- Mettre l'isolant sur les bornes (positives et négatives) de la cellule pour renforcer l'isolation.



→ Etape 5

Mettre la cellule dans le PVC thermorétractable

- Couper la gaine PVC thermorétractable légèrement plus longue que la longueur de la cellule.
- Mettre la cellule dans la gaine PVC thermorétractable.
- Chauffer l'ensemble à l'aide du décapeur thermique ou un autre appareil pouvant générer de l'air chaud.

