

# Circularité des batteries : une opportunité pour l'emploi et la transition vers la décarbonation ?

IHEDATE - Cycle Territoires et mobilités 2025

**Marc ALOCHET**

CNRS / I3 - CRG / Ecole Polytechnique / Institut Polytechnique de Paris, France

[marc.alochet@polytechnique.edu](mailto:marc.alochet@polytechnique.edu)

# Programme de la présentation

1. De quelle économie circulaire parle-t-on ?
2. Application à la batterie du véhicule électrique
  - a) Les enjeux
  - b) Cadres réglementaires EU et Français
  - c) Périmètre de l'EC
  - d) Premières observations : acteurs, modèles d'affaire, conditions d'accessibilité à la filière
3. (Premières) Conclusions et discussion

# Economie Circulaire

## L'ancien modèle dominant



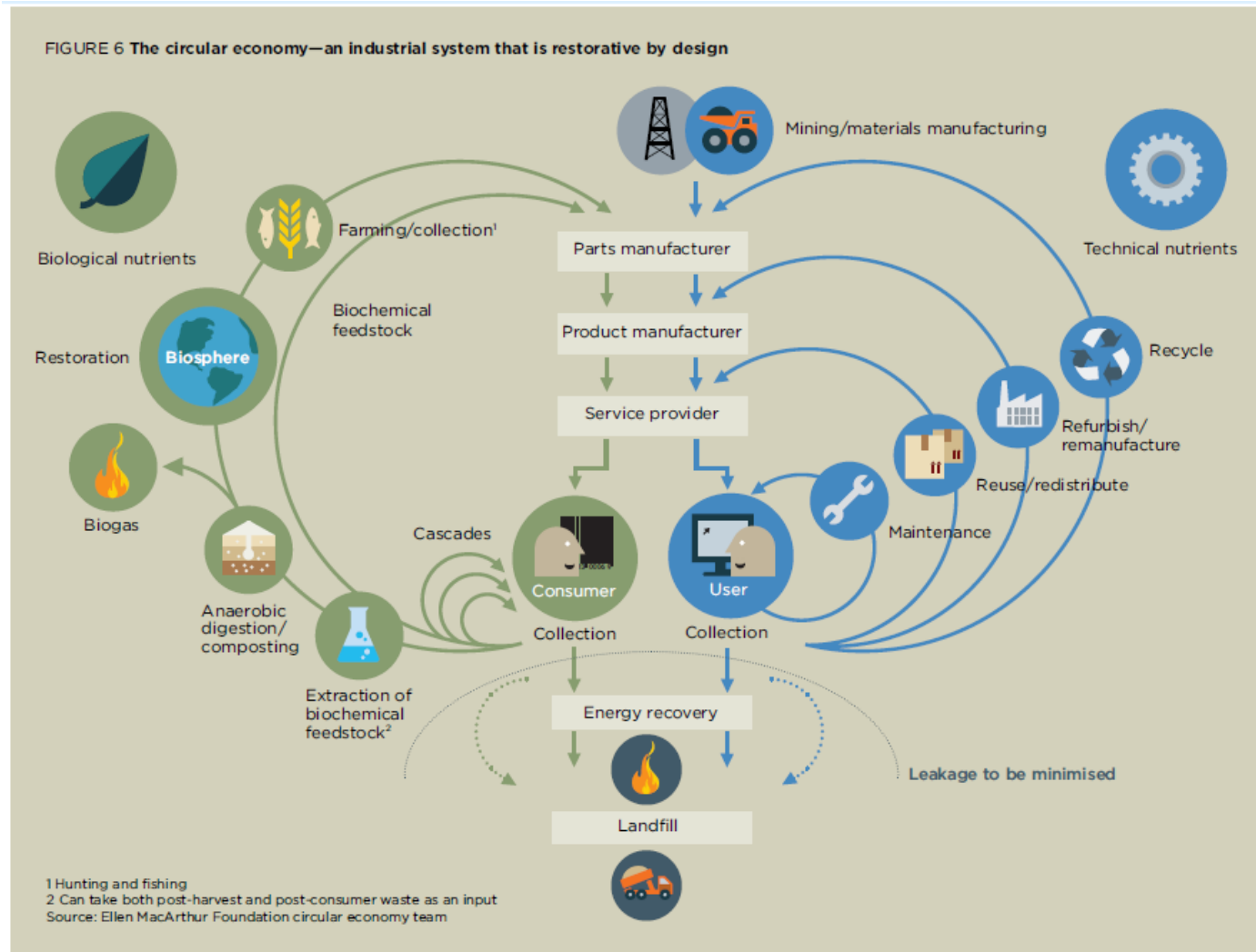
Qui avait disparu sous les effets :

1. De la révolution industrielle
2. De l'hygiénisme
3. Du consumérisme et du renouvellement accéléré des produits → économie linéaire actuelle

Source : Franck Aggeri (professeur de management au sein du Centre de gestion scientifique (CGS) de l'école des mines de Paris – PSL) – Présentation au GERPISA du 14 mars 2025

# Economie Circulaire

## Retour en force en 2013



Quelques mythes / risques :

1. La durabilité infinie des produits et matériaux
2. Le recyclage (taux de collection et taux de recyclage insuffisants)
3. Modèle de consommation

# Economie Circulaire

## Mais de quelle circularité parle-t-on ?

### Economie circulaire faible

- Poursuite du modèle de croissance en réduisant l'optimisation des matériaux et en mettant en œuvre du recyclage en fin de vie
- Persistance du techno solutionnisme
- L'impensé du « suffisant » → Toujours plus
- Limites :
  - L'adoption du modèle circulaire à la marge → pas ou peu d'impact
  - Risques d'effets rebond (plus de vêtements de seconde main, plus de véhicules émettant moins de CO2, plus de produits « electronics » seconde main...)

### Economie circulaire forte

- Découpler l'utilisation des ressources de la production des biens et services
- Explorer le « suffisant » : produire et consommer mieux et moins
- Changer les règles de conception, les usages et les modèles d'affaire des entreprises :
  - Etendre la durabilité des produits (conception, réparabilité, recyclabilité)
  - Etendre l'usage des produits (X as a service, partage, ...)
  - Créer de la valeur « autrement » : réutilisation des déchets de production, intégration de produits recyclés dans la chaîne de valeur, remanufacturer, remettre à neuf les produits, ...

# Economie Circulaire pour la batterie des VE

## Enjeux

- Conformité aux exigences réglementaires EU plus France ,
  - Soutenabilité : contribuer à réduire l’empreinte CO2 des VE ,
  - Ecologiques : traiter les déchets de batterie, avoir des processus de fabrication moins émetteurs de polluants et moins consommateurs d’eau et d’énergie (décarbonée) ,
  - Economiques (client) : TCO VE, coût réparation, seuil réparation économiquement rentable (poids relatif des assureurs par rapport aux constructeurs et équipementiers de rang 1),
- 
- Structuration de la filière :
    - Filière émergente « de jure » impliquant des acteurs forts versus filière existante « de facto » avec beaucoup de « petits » acteurs
    - Qui sont les acteurs actuels et de demain ?
    - Qui peut faire quoi, y-a-t-il des voies à privilégier ?
    - Compétences à développer et à trouver
- 
- Industriels : souveraineté , investissements, installations à risque, emplois non délocalisables, ...

# Economie Circulaire

## EU : un cadre réglementaire prescriptif

### Cadre général

- Le pacte vert pour l'Europe (2019) ,
- Le plan d'action pour l'économie circulaire (CEAP - 2020) ,
- Révision du cadre de suivi de l'économie circulaire (2023 – Adopté 2018) avec des indicateurs concernant :
  - Production et consommation,
  - Gestion des déchets,
  - Matières premières secondaires ,
  - Compétitivité et innovation,
  - Durabilité et résilience mondiales.

# Economie Circulaire

## EU : un cadre réglementaire prescriptif

### Applicables à la batterie

- Règlement (UE) 2023/1542 du 12 Juillet 2023 entré en vigueur le 18 Août 2025 (directement applicable) :
  - Responsabilité élargie des producteurs (REP) : obligation d'assurer la collecte, le traitement et le recyclage des batteries en fin de vie,
  - Obligations renforcées d'enregistrement et de déclaration,
  - Conception axée sur la capacité à remplacer les pièces,
  - Passeport numérique des batteries applicable en février 2027 : empreinte carbone, contenu recyclé, performances ,
  - Objectifs en matière de contenu recyclé au 18 Août 2031 : 26 % pour le cobalt, 12 % pour le lithium et 14 % pour le nickel (85 % pour le plomb),
  - Gestion des risques sociaux et environnementaux dans les chaînes d'approvisionnement, en particulier pour les matières premières à compter d'août 2027 (retardé de deux ans).
- Gestion des produits et installations à risque :
  - Le règlement (CE) n°1907/2006 dit REACH pour « Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals » entré en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2007,
  - Le règlement (CE) n° 1272/2008 dit CLP pour classification, étiquetage et emballage des substances et des mélanges entré en vigueur le 20 janvier 2009,
  - La directive 2012/18/UE, dite Seveso 3, entrée en vigueur le 15 juin 2015.
- Classement des déchets de batterie en déchets dangereux et interdiction de les exporter hors de l'OCDE en date du 5 Mars 2025.

# Economie Circulaire

## EU : un cadre réglementaire prescriptif

### INCOMPLET

- La directive « Batteries » doit encore être complétée par de nombreux textes délégués ;
- La directive « Batteries » doit fixer des exigences de réparabilité, allonger les durées de disponibilité des pièces et mises à jour logicielles ;
- Les objectifs industriels à horizon 2030 (CRMA, NZIA) sont peu ambitieux, vagues et pas soutenus par un cadre réglementaire et financier ad-hoc ;
- Angle mort de REACH : une batterie au lithium est un cas limite entre un article et une substance à savoir “un article (scellé) dont un mélange de substances chimiques fait partie intégrante” → pas d’obligation de FDS → flou sur les dispositions à prendre en cas de stockage ;
- L’interdiction d’export des déchets de batterie en dehors de l’OCDE ne va pas bloquer totalement les flux potentiels d’importation en Chine : les pays de l’OCDE hors EU-27 pourront toujours exporter vers la Chine qui vient d’autoriser l’importation de la blackmass (en date du 18 Août 2025) ;

### CONTESTÉ

- Mise en œuvre des exigences sociales et environnementales sur la chaîne de valeur décalée en 2027 (‘Omnibus IV’ package adopté par la CE le 21 Mai 2025 pour simplifier le cadre réglementaire) ;
- En date du 11 Septembre 2025, EUROBAT (association of European automotive and industrial batteries manufacturers) demande un décalage de l’application de la directive « Batteries » à fin 2030

**Un cadre réglementaire adapté est impératif pour réussir une telle transition !**

# Economie Circulaire

## Le cadre réglementaire Français - REP

- Loi Anti-Gaspillage pour une Economie Circulaire (AGEC) du 10 février 2020 qui a amendé le code de l'environnement (1ère version au 21 Septembre 2000) et introduit (entre autres) :
  - Titre IV : LA RESPONSABILITÉ DES PRODUCTEURS (Articles 61 à 92)
  - Article 61 de la loi s'appliquant à l'article . L. 541-9.-I du code de l'environnement
  - « Art. L. 541-9.-I.-La fabrication, la détention en vue de la vente, la mise en vente, la vente et la mise à la disposition de l'utilisateur, sous quelque forme que ce soit, de produits générateurs de déchets peuvent être réglementées en vue de faciliter la gestion desdits déchets ou, en cas de nécessité, interdites.  
« II.-Afin d'atteindre les objectifs de recyclage fixés par la loi ou le droit de l'Union européenne et de soutenir les filières de recyclage, la mise sur le marché de certaines catégories de produits et matériaux peut être subordonnée au respect d'un taux minimal d'incorporation de matière recyclée dans ces produits et matériaux, à l'exception des matériaux issus des matières premières renouvelables, sous réserve que l'analyse du cycle de vie de cette obligation soit positive... »
  - « IV.-Au plus tard le 1er janvier 2030, les producteurs, metteurs sur le marché ou importateurs, responsables de la mise sur le marché d'au moins 10 000 unités de produits par an et déclarant un chiffre d'affaires supérieur à 10 millions d'euros, doivent justifier que les déchets engendrés par les produits qu'ils fabriquent, mettent sur le marché ou importent sont de nature à intégrer une filière de recyclage... »

# Economie Circulaire

## Le cadre réglementaire Français - REP

- Article 62 de la loi s'appliquant à l'article . L. 541-10 du code de l'environnement
- « En application du principe de responsabilité élargie du producteur, il peut être fait obligation à toute personne physique ou morale ..., dite producteur au sens de la présente sous-section, de pourvoir ou de contribuer à la prévention et à la gestion des déchets qui en proviennent ainsi que d'adopter une démarche d'écoconception des produits, de favoriser l'allongement de la durée de vie desdits produits en assurant au mieux à l'ensemble des réparateurs professionnels et particuliers concernés la disponibilité des moyens indispensables à une maintenance efficiente, de soutenir les réseaux de réemploi, de réutilisation et de réparation tels que ceux gérés par les structures de l'économie sociale et solidaire ou favorisant l'insertion par l'emploi, de contribuer à des projets d'aide au développement en matière de collecte et de traitement de leurs déchets et de développer le recyclage des déchets issus des produits. »
- « Les producteurs s'acquittent de leur obligation en mettant en place collectivement des éco-organismes agréés dont ils assurent la gouvernance et auxquels ils transfèrent leur obligation et versent en contrepartie une contribution financière »
- « Chaque éco-organisme crée un comité des parties prenantes, composé notamment de producteurs, de représentants des collectivités territoriales compétentes en matière de gestion des déchets, d'associations de protection de l'environnement agréées en application de l'article L. 141-1 et d'associations de protection des consommateurs ainsi que d'opérateurs de la prévention et de la gestion des déchets, dont ceux de l'économie sociale et solidaire. »
- « N'est pas considérée comme producteur la personne qui procède à titre professionnel à des opérations de préparation en vue du réemploi ou de la réutilisation de produits usagés, sous réserve que ces opérations ne modifient pas les caractéristiques essentielles du produit ou que la valeur des éléments utilisés pour ces opérations reste inférieure à celle du bien usagé augmentée du coût de l'opération. »

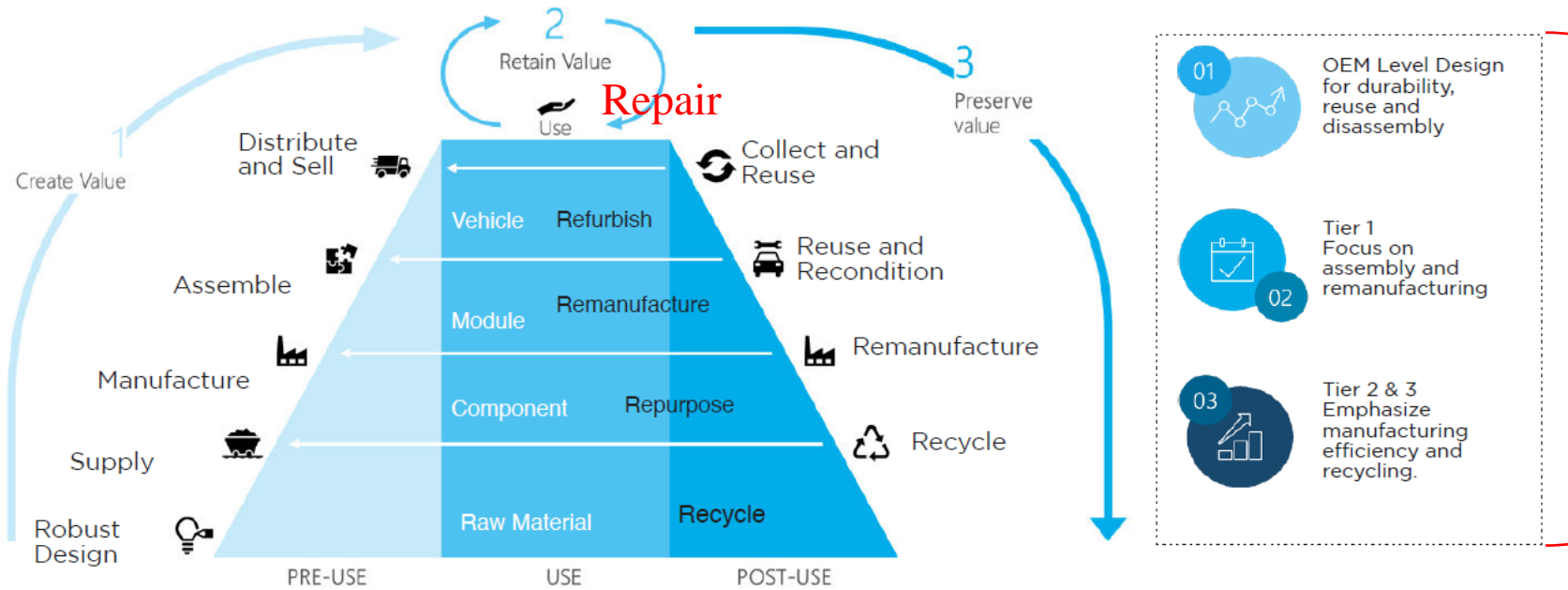
# Economie Circulaire

## Le cadre réglementaire Français – Installations, sites à risque

- Le code de l'environnement comprend le Livre V consacré à la prévention des pollutions, des risques et des nuisances (articles L501-1 à L597-46) ;
  - L'article L. 511-1 du Titre Ier du Livre V définit « Installation Classée pour la Protection de l'Environnement » (ICPE) ;
  - L'article L. 512-1 précise que « les ICPE sont définies dans une nomenclature des installations classées ... et les soumet à un régime de classement (i.e., déclaration, enregistrement ou autorisation) suivant la gravité des dangers ou des inconvénients que peut présenter leur exploitation ».
- Le code de l'environnement évolue pour transposer les réglementations européennes (loi n° 2013-619 du 16 juillet 2013 portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne a transposé la directive Seveso 3) et pour tenir compte des retours d'expérience et des enquêtes réalisées suite aux incendies concernant les batteries Lithium Ion.

# Economie Circulaire

## Application à l'industrie automobile



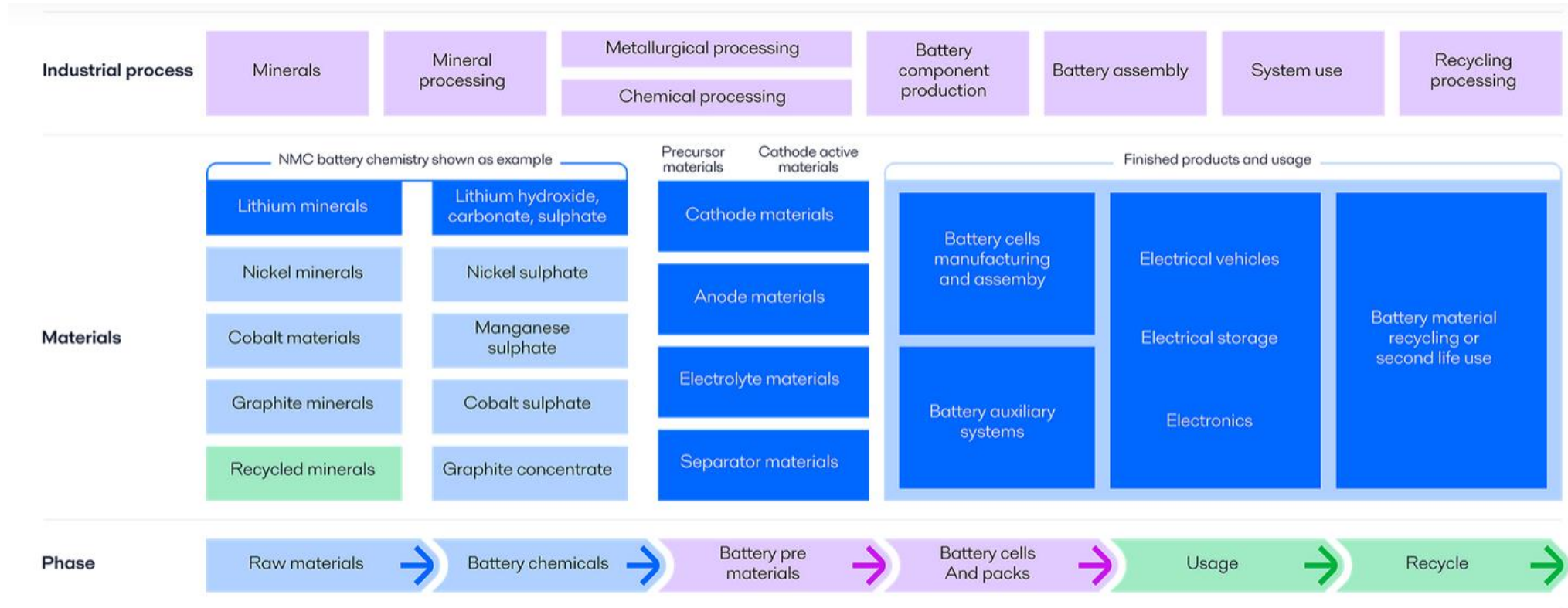
"7Rs" Automotive Supply Chain Framework:  
Reduce, Reuse, Robust-Design, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle

Reste centré sur  
les chaînes de  
valeur  
traditionnelles  
de l'industrie  
Ne prend pas en  
compte  
l'écosystème  
complet

ESCP MBA students' mission to create value for Eurogroup Consulting clients – March 2025, p17

# Economie Circulaire

## Application à l'industrie automobile

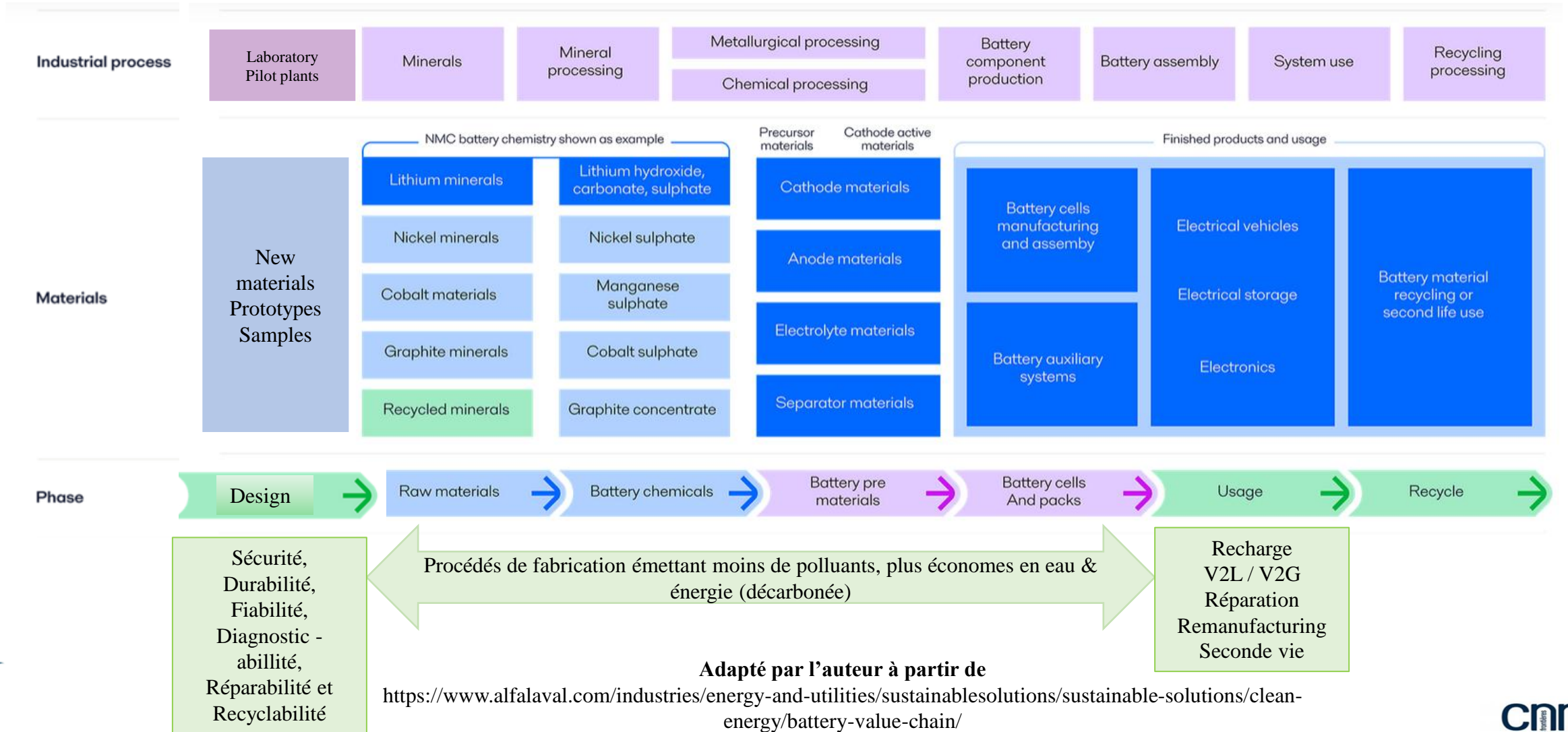


The battery value chain refers to the sequence of processes involved in the production and the use of batteries, from raw materials extraction (like lithium and cobalt) to manufacturing, use, and recycling.

<https://www.alfalaval.com/industries/energy-and-utilities/sustainable-solutions/sustainable-solutions/clean-energy/battery-value-chain/>

# Economie Circulaire

## Application à l'industrie automobile



# Economie Circulaire

## Quels acteurs peuvent accéder à la réparation de la batterie ?

### “Voiture électrique : l’enfer de la réparation des batteries”, Les Echos, 21 novembre 2023.

Voyant rouge  
chaîne de traction  
électrique



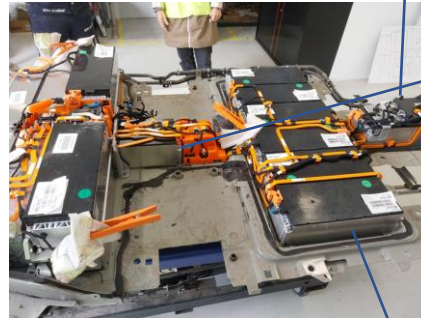
Diagnostic :  
Outils de diagnostic  
batterie dans / hors  
véhicule  
Techniciens formés et  
compétents  
PF assistance niveau 2

Compétences  
(disponibilité):  
2 techniciens certifiés  
(ANFA) pour les  
interventions lourdes

Investissements  
Moyens et locaux  
démontage / remontage  
batteries  
Outillages pour rééquilibrer  
un module, décharger la  
batterie  
Station de charge (ICPE D  
> 600KW)

Garage

1. Réseau constructeur
2. Réseau spécialiste
3. Indépendant  
appartenant à un réseau  
réparation VE
4. Indépendant



Echange  
standard  
BMS

Réparation carte  
électronique par  
spécialiste pour  
réemploi

Mise à jour logicielle  
Accès aux bases de  
données constructeur  
(nomenclature et logiciels)  
Risques cybersécurité

Echange  
standard  
Boitier relais,  
câblages

Réparation par  
spécialiste pour  
réemploi

Echange  
standard  
Module

Remanufacturing  
ou recyclage  
module

Remanufacturing =  
fabricant de cellule et  
recyclage  
ICPE D  
Seveso Haut

Acteur Industriel spécialiste

1. Haut niveau  
d'investissement
2. Compétences et moyens  
opérationnels en gestion  
des risques
3. Personnel qualifié

Source : synthèse de l’auteur suite à entretiens et observations terrains

Page n° 17

# Economie Circulaire

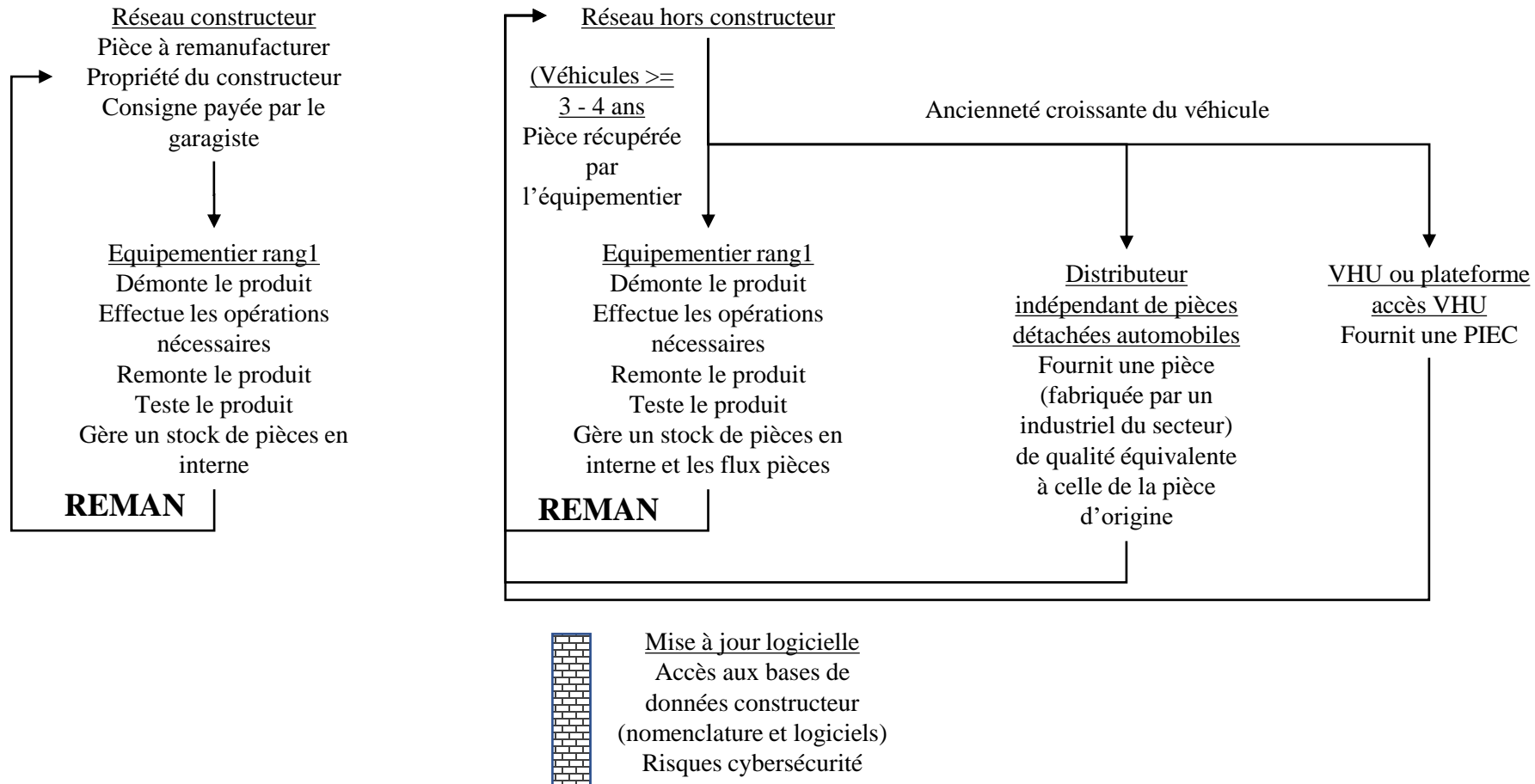
## Le remanufacturing

- Les motivations sont doubles :
  - Economie circulaire (la plus récente);
  - Offrir des alternatives économiques de qualité à l'achat du neuf pour les réparations en réseau (claim : reman is as good as new) ;
- Demandes fortes des constructeurs pour les pièces à forte valeur (monétaire et/ou potentiel de recyclage) ;
- Demandes des clients sur des véhicules anciens « en parfait état » pour la pièce « critique » concernée ;
- Difficulté à convaincre les garagistes d'utiliser les pièces de REMAN car leur seule obligation légale est de proposer une alternative à une pièce neuve ;
- Confusion des termes :
  - Echange Standard : pièce installée remise à neuf suivant spécifications constructeur et pièce usagée remise au réparateur (pièce remanufacturée) ;
  - PIEC (pièce issue de l'économie circulaire) : pièce automobile d'occasion qui a été préparée pour être réutilisée ou qui a été remise en état selon les spécificités du fabricant.

Source : entretien de l'auteur avec un équipementier de rang 1 ayant une longue et forte expérience du Reman

# Economie Circulaire

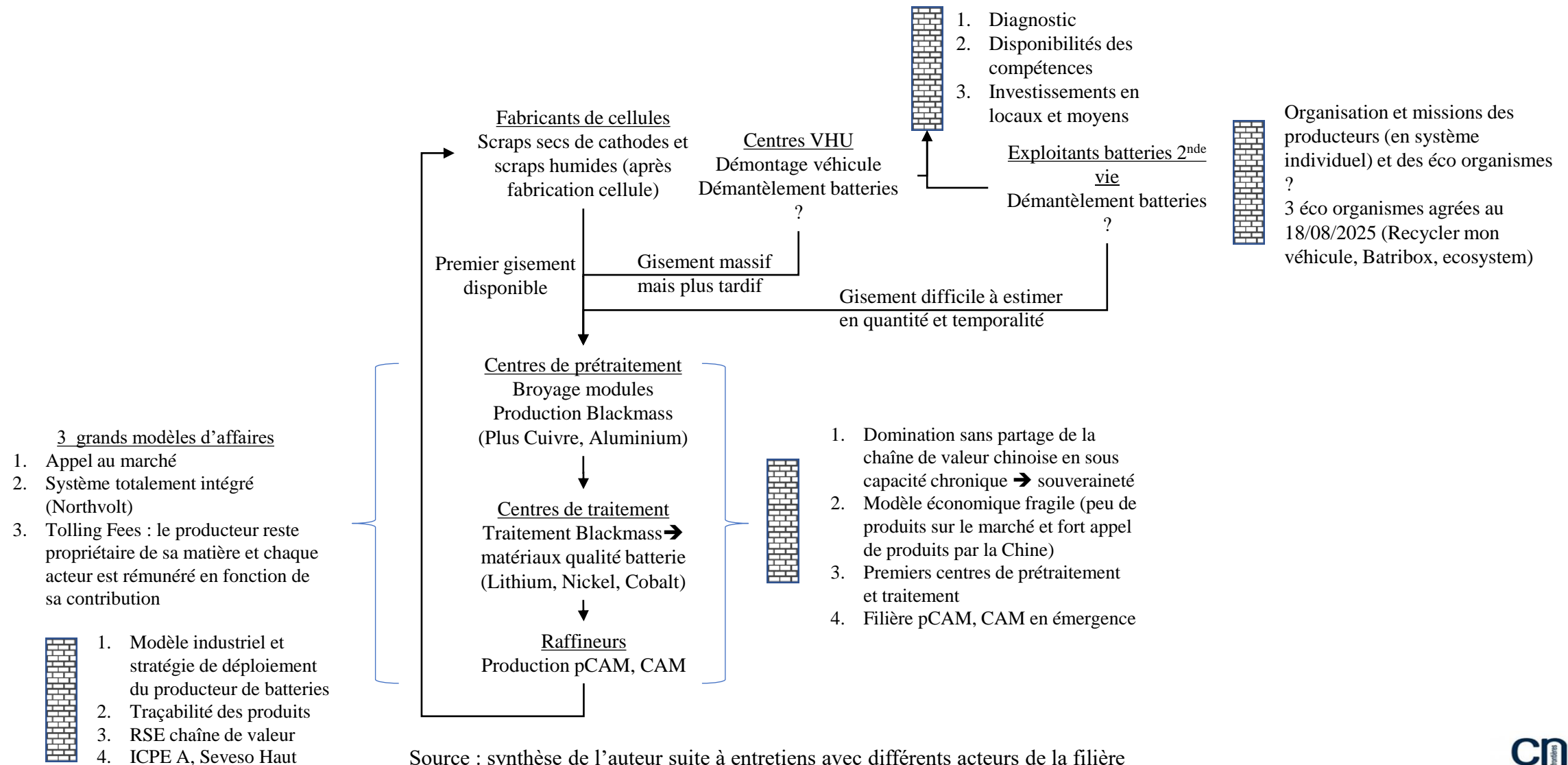
## La chaîne de valeur et les acteurs du remplacement de pièces



Source : entretien de l'auteur avec un équipementier de rang 1 ayant une longue et forte expérience du Reman

# Economie Circulaire

## La chaîne de valeur et les acteurs du recyclage de la batterie



Source : synthèse de l'auteur suite à entretiens avec différents acteurs de la filière

# Economie Circulaire

## (Premières) conclusions et discussion

1. C'est un écosystème :
  - En pleine phase d'apprentissage,
  - En position de challenger dans un fort environnement concurrentiel,
  - Avec un fort potentiel de sauvegarde / création d'emplois locaux et donc de réindustrialisation (mais avec des produits, installations et sites à risque)
2. Il y a trois grandes barrières à l'entrée à lever pour permettre l'accès à la filière:
  - Compétences en diagnostic, disponibilité des ressources compétentes, capacité à investir locaux et installations pour les garagistes, les centres VHU et les acteurs de la seconde vie,
  - Installation des logiciels dans les pièces issues du Remanufacturing ou PIEC,
  - Les capacités à gérer des installations ICPE A et niveaux Seveso Haut / Bas pour les installations de remanufacturing des modules et de recyclage.

# Economie Circulaire

## (Premières) conclusions et discussion

3. Les cadres réglementaires et financiers EU et Français sont à faire évoluer pour faciliter l'émergence et la pérennité de cette nouvelle filière:
  - Inscription dans les textes d'exigences factuelles de réparabilité, accès aux données de diagnostic, réparation et mises à jour logicielles,
  - Indice de réparabilité, recyclabilité des batteries,
  - Introduire des indicateurs favorisant la localisation : empreinte CO2, % opérations process locales (ROO), nombre d'emplois créés, contribution à l'autonomie stratégique, etc.
  
4. Territoires « Facilitateurs d'industrie » (cf. présentation toiles AGUR):
  - Vision systémique : interconnecter tous les systèmes (énergie, utilities, production, logistique, éducation, ...)
  - Coopération entre tous les acteurs et toutes les parties prenantes ,
  - Développer des mécanismes de soutien transitoires (investissement, formation, logistique, ...)
  - Avoir des démarches pragmatiques pour assurer la sécurité des produits et installations (processus d'apprentissage des DREAL sur le sujet),
  - Piloter des indicateurs favorisant la localisation : empreinte CO2, % opérations process locales (ROO), nombre d'emplois créés, contribution à l'autonomie stratégique, etc.

# Circularité des batteries : une opportunité pour l'emploi et la transition vers la décarbonation ?

IHEDATE - Cycle Territoires et mobilités 2025

**Marc ALOCHET**

CNRS / I3 - CRG / Ecole Polytechnique / Institut Polytechnique de Paris, France

[marc.alochet@polytechnique.edu](mailto:marc.alochet@polytechnique.edu)

# Exemples évaluation risques

Tableau 4 : Synthèse des classifications ICPE et Seveso des installations du site *Eurovision AESC*

Rubriques ICPE	Caractéristiques Installations	Classement
1434 - Liquides inflammables, liquides de point éclair compris entre 60° C et 93° C, fiouls lourds et pétroles bruts,	5m <sup>3</sup> / h <= & < 100m <sup>3</sup> / h Solvants organiques pour fabrication électrodes	DC
1436 - Liquides de point éclair compris entre 60 °C et 93 °C	100T <= & < 1000T Solvants organiques pour fabrication électrodes	DC
1510 - Entrepôts couverts (installations, pourvues d'une toiture, dédiées au stockage de matières ou produits combustibles en quantité supérieure à 500 tonnes)	50 000 m <sup>2</sup> <= & < 300 000 m <sup>2</sup> Stockage	E
1978 - Solvants organiques (installations et activités mentionnées à l'annexe VII de la directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles	73,1 T / jour Solvants organiques pour fabrication électrodes	D
2560 - Travail mécanique des métaux et alliages	Puissance maximale des machines : 5 253,5 kW Fabrication cellules (modules ?)	E
2915 - Chauffage (procédés de) utilisant comme fluide caloporteur des corps organiques combustibles	Fabrication électrodes	NC
2925 - Accumulateurs électriques (ateliers de charge d')	Puissance maximale pour l'étape de charge des batteries : 35,000 kW Puissance de charge des AGV > 600 kW	D
2940 - Vernis, peinture, apprêt, colle, enduit, etc. (application, revêtement, laquage, stratification, imprégnation, cuisson, séchage de)	Application de colle pour l'assemblage du module : 2 082 kg/j	E
3670 - Traitement de surface de matières, d'objets ou de produits à l'aide de solvants organiques, notamment pour les opérations d'apprêt, d'impression, de couchage, de dégraissage, d'imperméabilisation, de collage, de peinture, de nettoyage ou d'imprégnation, avec une capacité de consommation de solvant organique	1- Une capacité de consommation de solvant organique : 3,05 t/h pour 31,5 GWh Fabrication électrodes	A GF
4120 - Toxicité aiguë catégorie 2, pour l'une au moins des voies d'exposition	≥ 50 t Risques opérateurs fabrication cellules	A GF SH
4150 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles (STOT) exposition unique catégorie 1.	≥ 5 t et < 20 t Risques opérateurs fabrication cellules	D
4331 - Liquides inflammables de catégorie 2 ou catégorie 3	≥ 100 t et < 1 000 t Installations fabrication électrodes	E
4734 - Produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution	< 50 t Installations fabrication électrodes	NC

Source : Analyse « Mémoire en réponse suite à l'avis de l'autorité environnementale émis le 23 juin 2022 par le CGEDD » - *Eurovision*, p35 à 41

Légende : A : Autorisation ; A GF : Autorisation avec Garantie Financière ; E : enregistrement ; D : Déclaration ; DC : Déclaration avec Contrôle périodique par organisme ; NC : Non Classé ; SH : Seveso Haut

Tableau 5 : Synthèse des classifications ICPE et Seveso des installations du site *SNAM à Viviez (Aveyron)*

Rubriques ICPE	Caractéristiques Installations	Classement
2718-1 - Installation de transit, regroupement ou tri de déchets dangereux, à l'exclusion des installations visées aux rubriques 2710, 2711, 2712, 2719, 2792 et 2793.	3200 T piles, accumulateurs Lithium Ion	A
2770 - Installation de traitement thermique de déchets dangereux	22 T / jour piles, accumulateurs Lithium Ion	A
2790 - Installation de traitement de déchets dangereux	50 T / jour piles, accumulateurs Lithium Ion	A
2791-1 - Installation de traitement de déchets non dangereux à l'exclusion des installations classées	10T / jour piles, accumulateurs Lithium Ion (broyage / diagnostic)	A
2910-A-2 - Combustion	2,9MW	DC
3420-e - Fabrication en quantité industrielle par transformation chimique ou biologique de produits chimiques inorganiques	Extraction de métal à partir de la masse active issue du broyage	A
3510 - Élimination ou valorisation des déchets dangereux, avec une capacité de plus de 10 tonnes par jour	35 T / jour	A
3520-b - Élimination ou valorisation de déchets dans des installations d'incinération des déchets ou des installations de Co incinération des déchets :	22 T / jour piles, accumulateurs Lithium Ion	A
3550 - Stockage temporaire de déchets dangereux	Stockage déchets dangereux	A GF
4310-2-A - Gaz inflammables catégorie 1 et 2.	Unité hydro métallurgique	A SB
4441 - Liquides comburants catégorie 1, 2 ou 3.	60 T	A SH
4510-1 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie aiguë 1 ou chronique 1.	1102,5 T	A SH

Source : Analyse arrêté préfectoral d'autorisation n° DAPP-DREAL 12-2023-12-12-00002 du 12 décembre 2023, p9 à 12  
Légende : A : Autorisation ; A GF : Autorisation avec Garantie Financière ; DC : Déclaration avec Contrôle périodique par organisme ; SB : Seveso Bas ; SH : Seveso Haut