



Congrès
Management
du Cycle de Vie
2025

welcop



Procédé de recyclage innovant pour la construction d'une filière Batteries sans sulfate, fiable et pérenne

Auteurs :

Benoit SAMANOS (Mecaware)

Louis POYET (Mecaware)

Emilie GUILVERT (WeLOOP)

Naeem ADIBI (WeLOOP)

18/11/2025, MCV Bordeaux

QUI SOMMES-NOUS ?

Mecaware, une **start-up** **Clean-Tech** industrielle

- Lancée en **janvier 2021**
- Implantée dans le **pôle français de la chimie**, et en développement dans la **Vallée Européenne de l'électricité**
- **+60 employés**



Portefeuille principal de
Propriété Intellectuelle
10 brevets intercontinentaux



Producteur de métaux stratégiques
Issus du recyclage des déchets de batteries



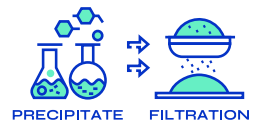
Circularité des ressources minérales
Pour permettre le développement d'une industrie européenne des batteries bas-carbone



Une structure agile
Chimies traitées : NMC, LFP, LCO, Na-ion

PROCÉDÉ INNOVANT D'HYDROMÉTALLURGIE

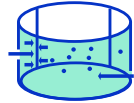
Un procédé innovant, **sans acide ni sulfate** et **sans effluent**, basé sur **l'hydrométallurgie verte**, a été mis au point pour limiter l'impact du recyclage sur l'environnement.



**Précipitation-
Filtration**



**Lixiviation
sélective**



Électrodéposition



**Lixiviation mécanique
sans acide ni sulfate**

Fonctionnement dans des conditions basiques (route ammoniac)



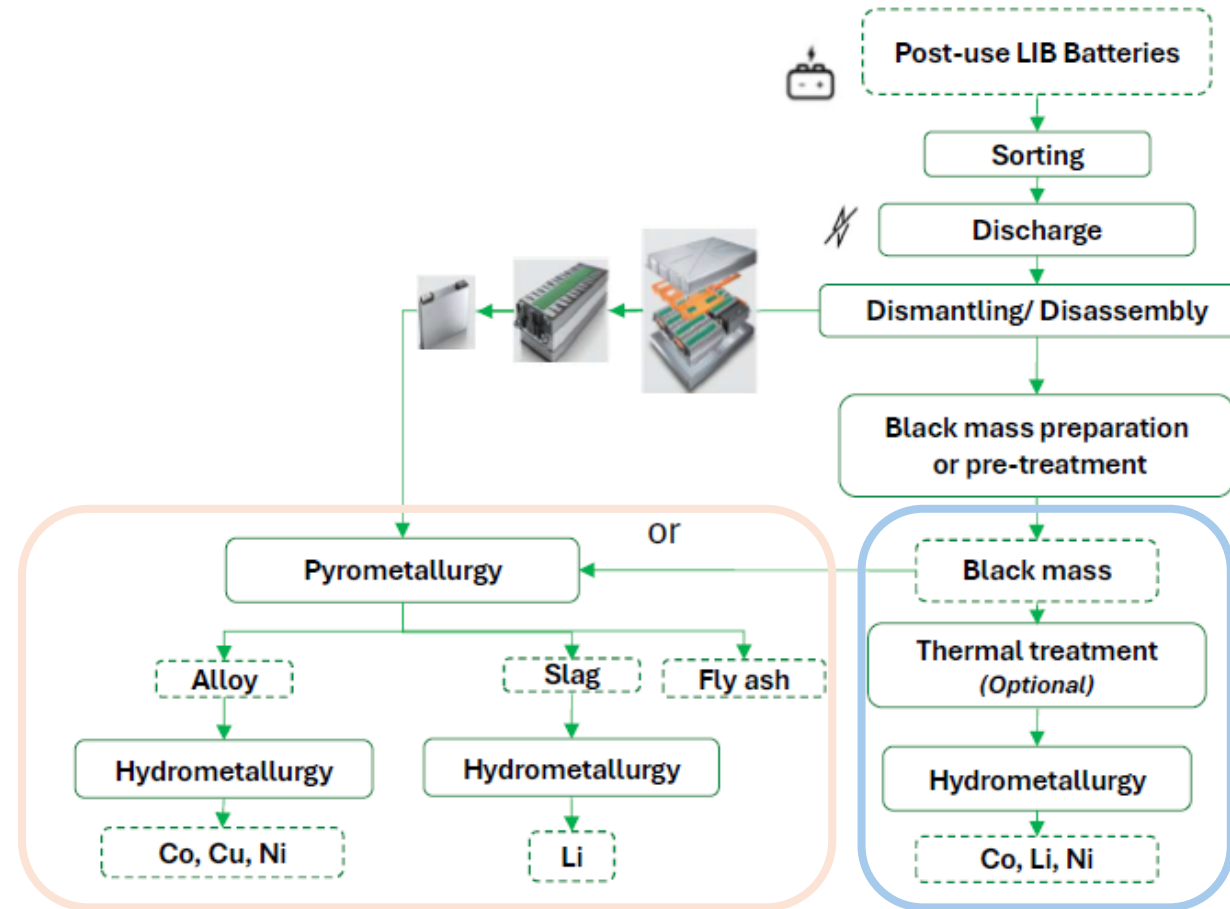
Pas d'effluent rejeté au cours du processus

Ce procédé permet de récupérer le lithium, le cobalt, le nickel, le manganèse et d'autres métaux essentiels sous forme de carbonates* et d'hydroxydes métalliques.



* Pas de sulfate dans les carbonates

VOIES DE RECYCLAGE EXISTANTES POUR BATTERIES Li-ion (*)



Pyro-hydrométallurgie : Mature en Europe (TRL 9)

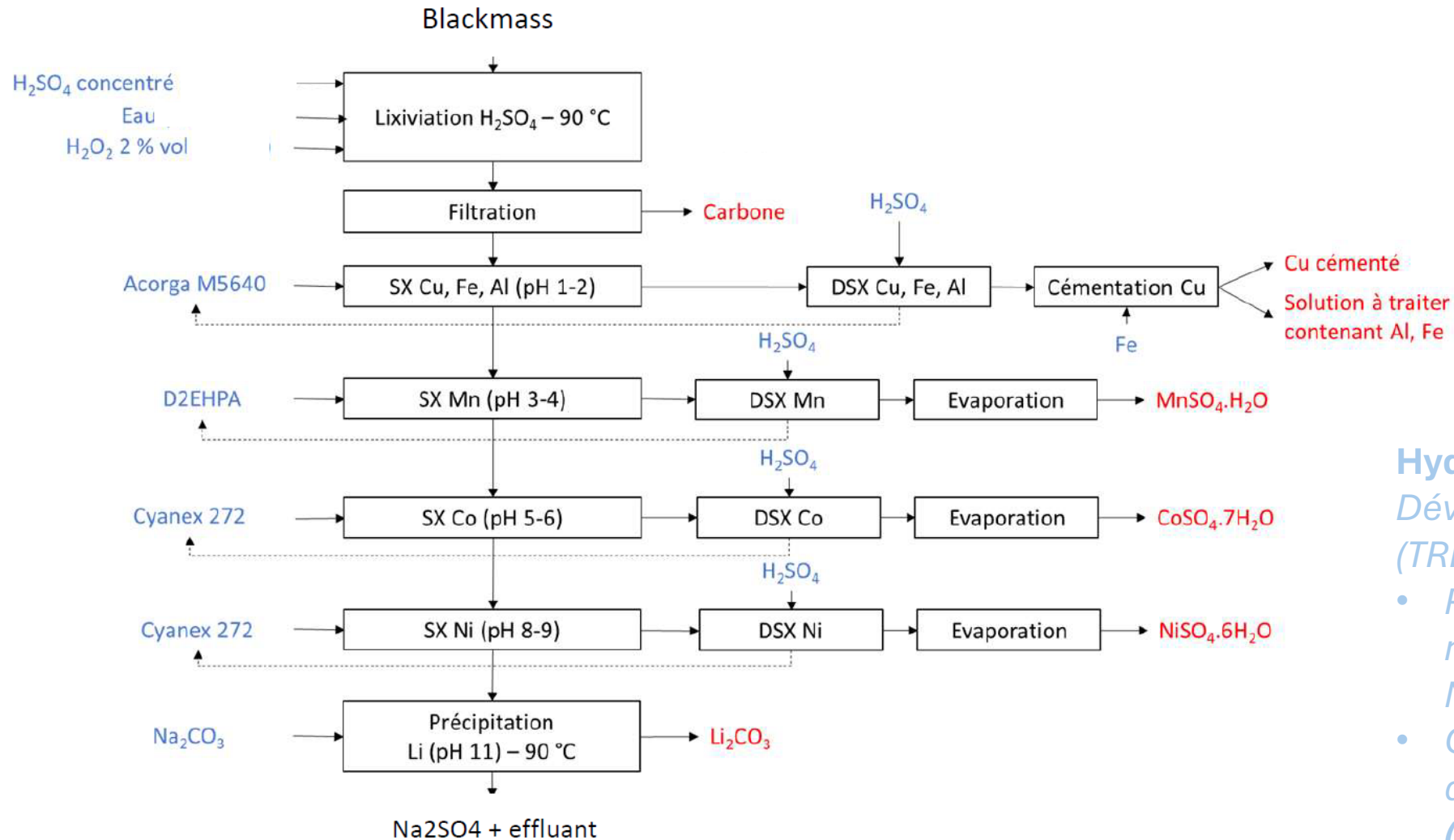
- Production d'oxydes
- Non valorisation de produits dans les scories/slages et cendres

Hydrométallurgie : Développement en Europe (TRL 7)

- Production de sulfates métalliques (CoSO_4 , NiSO_4 , MnSO_4)
- Génération d'effluents et déchets : sels de Glauber (Na_2SO_4)

(*) Données issues du projet BATTERS de WELOOP

VOIES DE RECYCLAGE EXISTANTES POUR BATTERIES Li-ion (*)



Hydrométallurgie : Développement en Europe (TRL 7)

- Production de sulfates métalliques (CoSO_4 , NiSO_4 , MnSO_4)
- Génération d'effluents et déchets : sels de Glauber (Na_2SO_4)

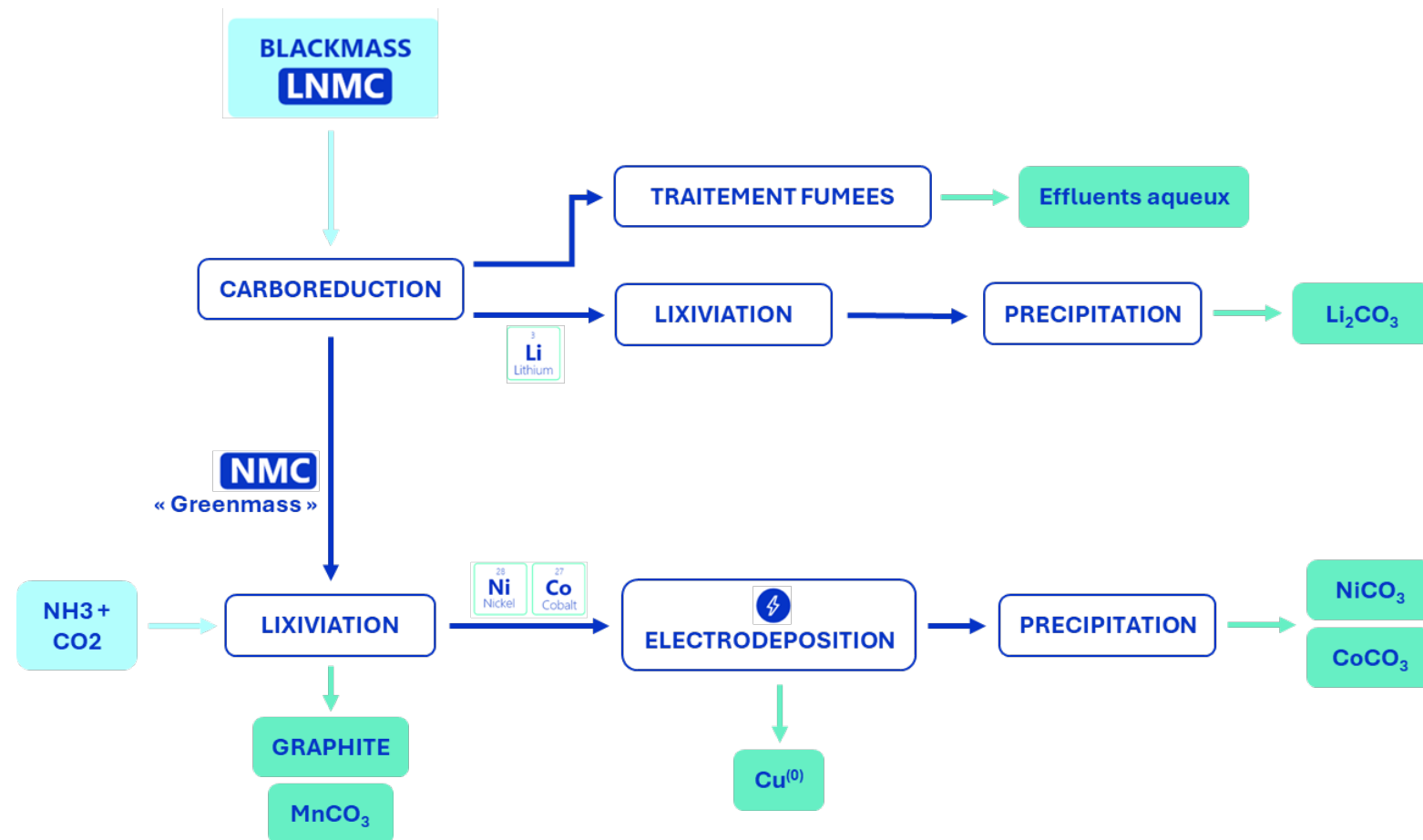
(*) Données issues du projet BATTERS de WELOOP

RUPTURE ET INNOVATION MECAWARE

Hydrométallurgie

Mecaware (TRL 6) :

- Production de **carbonates métalliques** (CoCO_3 , NiCO_3 , MnCO_3)
- Absence de **sels de Glauber** (Na_2SO_4)
- Réincorporation des effluents dans le procédé = *peu de déchets*



COMPARAISON DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES

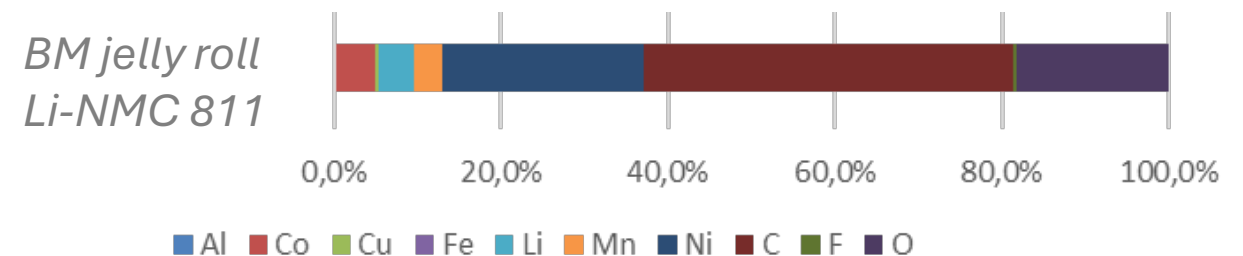


Objectifs recherchés à travers l'ACV

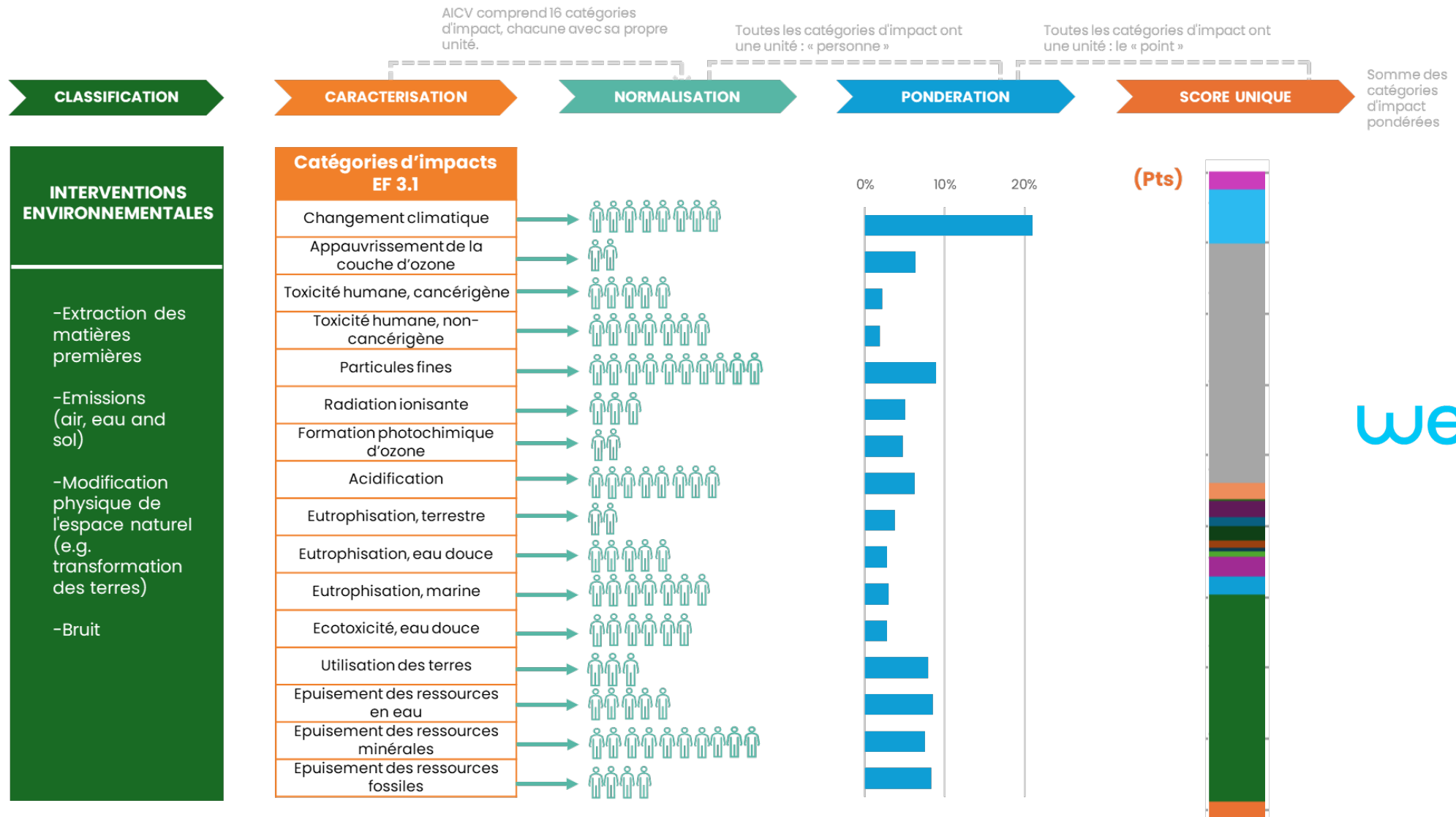
- Evaluer les sources d'impact du procédé Mecaware (points chauds)
- Mener une approche d'éco-conception
- Comparer méthodiquement sa performance environnementale aux procédés conventionnels de recyclage
- Comparer les émissions de nos sels (produits) aux émissions de produits commerciaux (sels vierges)

Méthode suivie

- ACV menée avec l'expertise de WeLOOP
 - ❑ Logiciel utilisé : SimaPro 10
 - ❑ Base de données : Ecoinvent 3.10
 - ❑ Méthode de calcul : EF 3.1
 - ❑ Mix électrique français
- Même unité fonctionnelle considérée entre les procédés comparés : 100 kg de blackmass recyclée



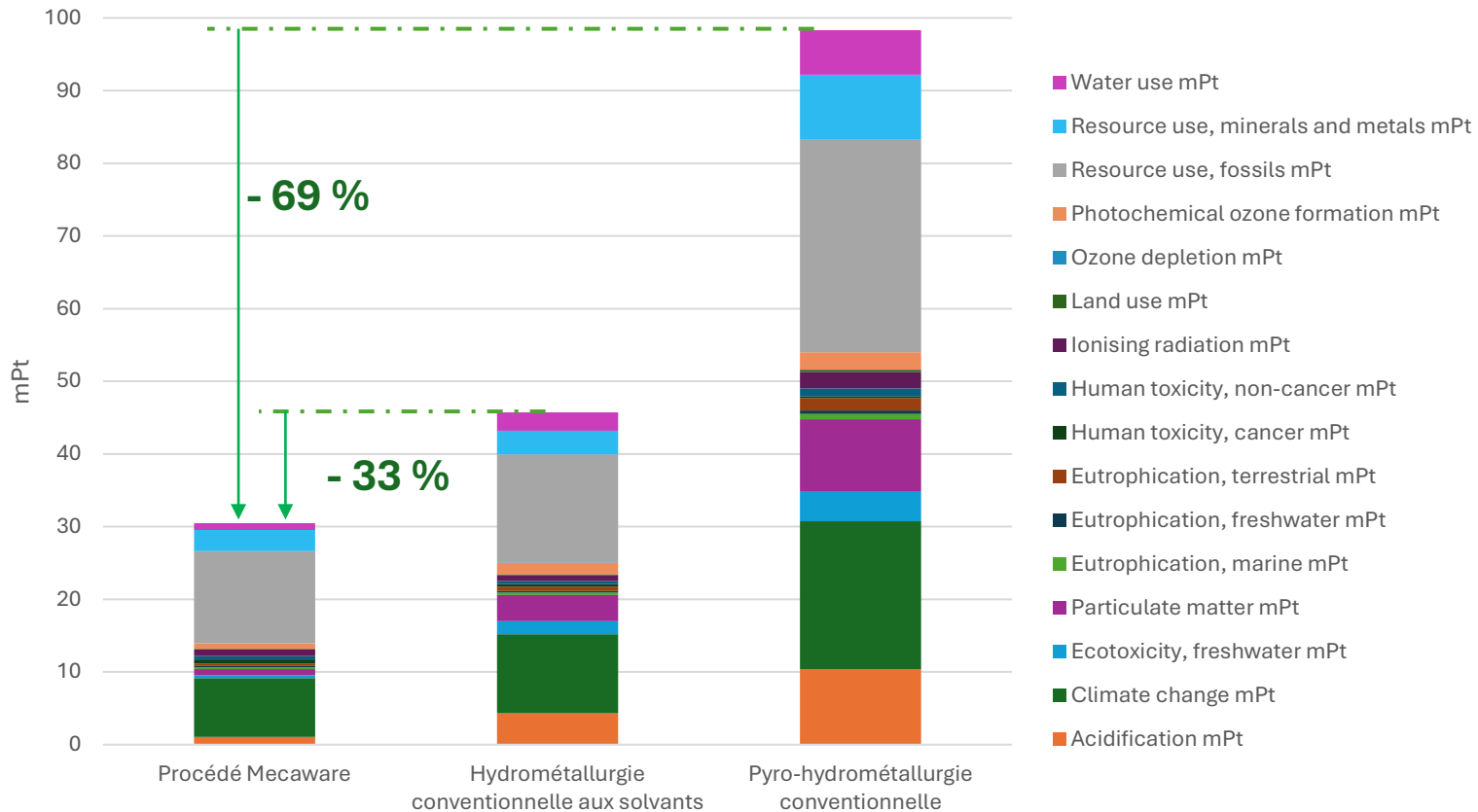
MÉTHODE D'ACV EF 3.1 : SCORE UNIQUE POUR COMPARAISON



COMPARAISONS D'ACV DES PROCÉDES CONV. ET MECAWARE



Comparaison des scores uniques de procédés de recyclage (*)



Catégorie de dommages	Procédé Mecaware (mPt)	Ecart à l'hydrométallurgie conventionnelle (solvants)
Total	30,5	-33,3%
Water use	0,94	-62,5%
Resource use, minerals and metals	2,92	-10,0%
Resource use, fossils	12,70	-15,0%
Photochemical ozone formation	0,75	-52,7%
Ozone depletion	0,01	-61,3%
Land use	0,07	-43,8%
Ionising radiation	0,91	17,1%
Human toxicity, non-cancer	0,46	4,8%
Human toxicity, cancer	0,57	85,3%
Eutrophication, terrestrial	0,35	-44,3%
Eutrophication, freshwater	0,18	-11,0%
Eutrophication, marine	0,24	-26,2%
Particulate matter	0,87	-76,0%
Ecotoxicity, freshwater	0,38	-78,8%
Climate change	8,10	-25,6%
Acidification	1,05	-75,6%

Dans cette modélisation, les **sels de Glauber** sont considérés comme **valorisés** (détergents, engrais....)

(*) Données issues du projet BATTERS de WELOOP

LIMITES DE LA COMPARAISON ? MODELISATIONS DE SCENARIO ALTERNATIFS



Procédés	Quantité de Na ₂ SO ₄ produit pour 100kg black mass traitée (kg)
Mecaware	/
Pyro-hydrométallurgie	440kg extrait à 2 étapes (évaporation comprise)
Hydrométallurgie aux solvants	145kg extrait à la dernière étape (évaporation comprise)

Type de Na ₂ SO ₄	Contamination	Valorisation / traitement
Scénario 1 : Na ₂ SO ₄ pur, inorganique	Aucune	Valorisation possible (détergent, engrais, matière première industrielle)
Scénario 2 : Na ₂ SO ₄ avec contamination organique	Solvants, liants, résidus d'extraction	Incinération déchet dangereux pour détruire l'organique → Na ₂ SO ₄ est inerte et valorisé ensuite (cendres vers décharge)
Scénario 3 : Na ₂ SO ₄ avec contamination métallique	Co, Ni, Mn, Li	Les métaux lourds ne sont pas détruits par incinération ; déchet toxique envoyé en décharge (non valorisé)
Scénario 4 : Na ₂ SO ₄ avec contamination organique et métallique	Les 2 cas précédents	Incinération pour détruire l'organique → cendres vers décharge spécialisée et déchet avec métaux vers décharge (non valorisé)



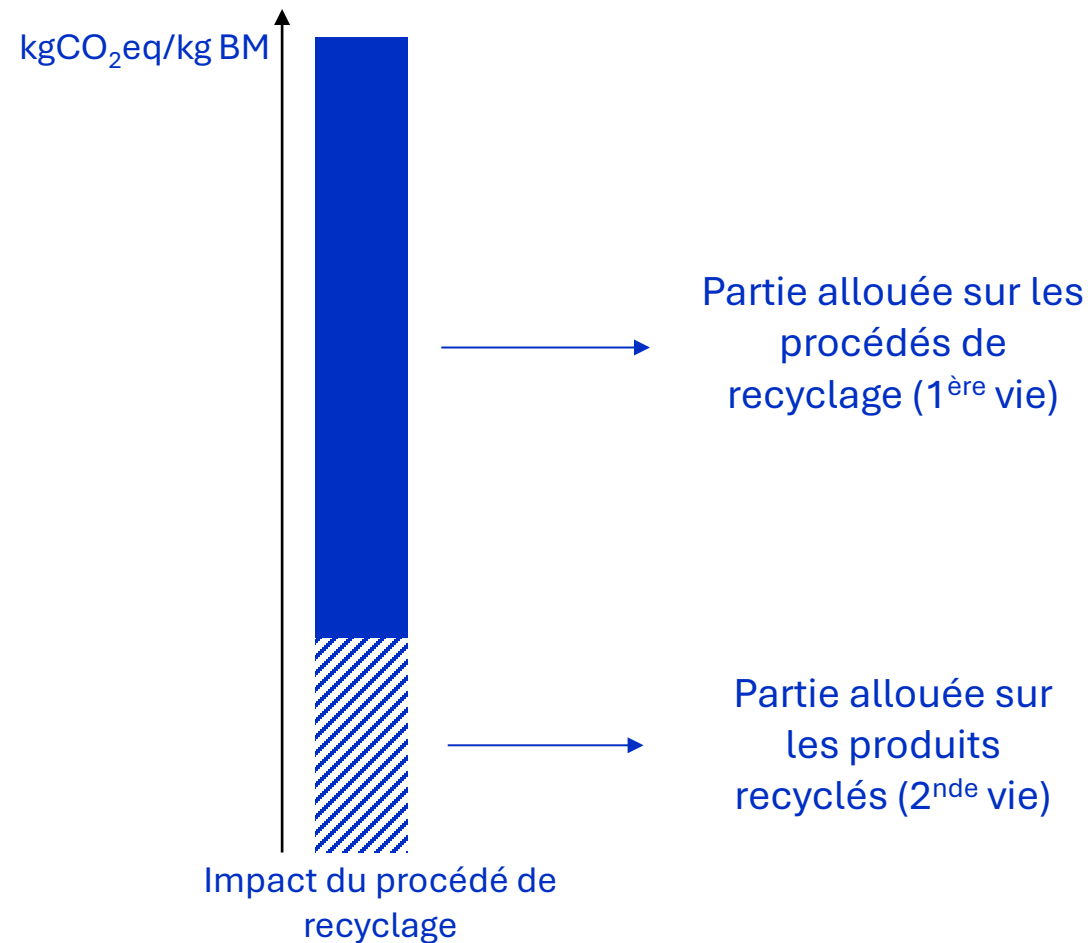
MODELISATIONS DES SCENARIO EXISTANTS



Impact sur le changement climatique du procédé de recyclage (en $\text{kqCO}_2\text{eq}/100\text{kg Blackmass}$)				
Procédés	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Mecaware	290,33	290,33	290,33	290,33
Pyro-hydrométallurgie	728,63	842,84	825,02	934,69
Hydrométallurgie aux solvants	390,48	428,12	422,25	455,43

	- 26 % CO₂ émis	- 32 % CO₂ émis	- 31 % CO₂ émis	- 36 % CO₂ émis
--	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

Objectif de la CFF



Circular Footprint Formula : PEF (Product Environmental Footprint)

Material

$$(1 - R_1)E_V + R_1 \times \left(A \times E_{\text{recycled}} + (1 - A)E_V \times \frac{Q_{\text{Sin}}}{Q_P} \right) + (1 - A)R_2 \times \left(E_{\text{recyclingEoL}} - E_V^+ \times \frac{Q_{\text{Sout}}}{Q_P} \right)$$

Energy

$$(1 - B)R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec})$$

Disposal

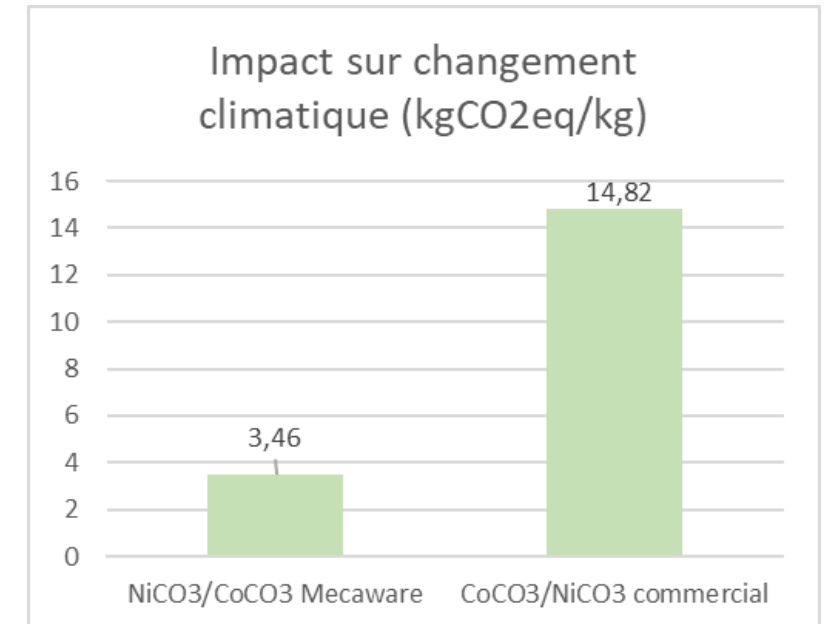
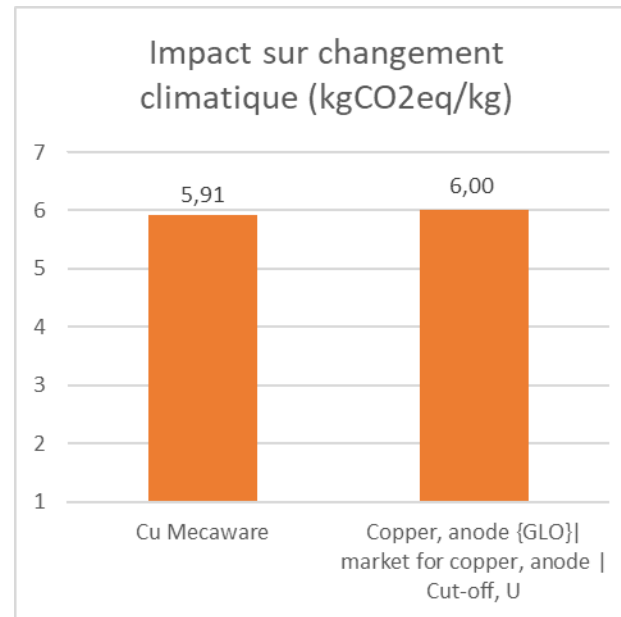
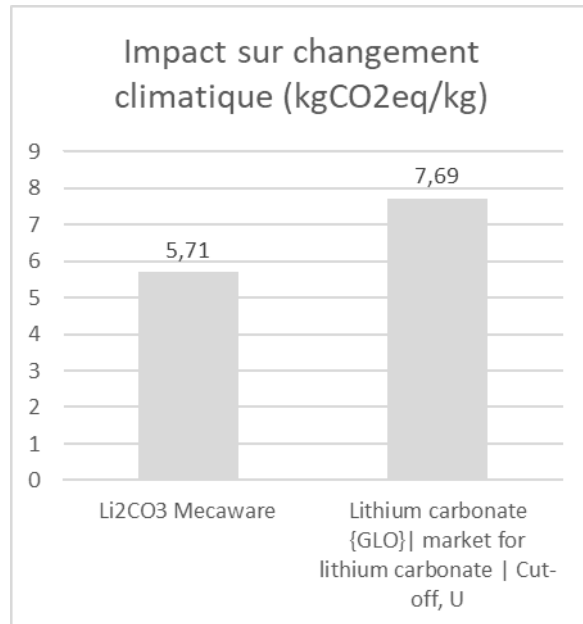
$$(1 - R_2 - R_3)E_D$$

Nouvelle formule attendue avec le Draft Delegated Act du calcul d'empreinte carbone des batteries

BENEFICES DU PROCEDE MECAWARE POUR FILIERE BATTERIE



Méthode allocation économique suivie :



→ **Produits Mecaware présentant une empreinte CO₂ amoindrie par rapport aux matériaux primaires**

Importance de l'Analyse du Cycle de Vie dans la conception d'une solution industrielle

L'ACV a été utilisée dès les premières ébauches du procédé

- ✓ Outil **d'analyse** de la **performance environnementale** d'une solution
 - Impact des intrants
 - Impact des sous-produits
 - Impact des déchets

- ✓ **Identification** des **parties** de process les plus **émissives**
 - Optimisation du process
 - Eco-conception

- ✓ **Empreinte carbone**
 - Du procédé
 - Des produits recyclés

Contact :



Benoît SAMANOS
COO

benoit.samanos@mecaware.com

PULSALYS



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



Région
Hauts-de-France



inno

bpifrance

EIC
ScalingClub




mecaware