

Louvain School of Management

Collaboration inter- organisationnelle et systèmes de reprise

**Une étude de cas autour des pneus et batteries
au sein de LETEC**

Auteur : Thibaut Renard
Promoteur : Christophe Lejeune
Année académique 2025-2026
Mémoire en vue d'obtenir le titre de
Master en Ingénieur de gestion
Horaire de jour

DECLARATION

The declaration below is **mandatory and must appear on the first page (after the front page) of your master's thesis.**

STATEMENTS ON YOUR USE OF GENERATIVE AI

Confirm the following statements:

Statements on responsible use of generative AI	Your answer
The content of my master's thesis is my original output, even if I used generative AI to help prepare it.	☒ Yes
I master the theories, tools and methods that I use for the thesis.	☒ Yes
I verified that the output presented in the thesis is accurate and valid, and that it contains no hallucination, no false reference, etc.	☒ Yes
I acknowledge that I master the final output and that I am able to explain it and answer questions about it.	☒ Yes
I made sure not to provide generative AI tools with access to confidential data or information.	☒ Yes

During the preparation of this master's thesis, the author used several AI tools, all freely available:

- Claude (Anthropic) to assist in the writing process, ensuring consistency between texts and correcting spelling, grammar, and syntax errors in the various sections.
- Picolo (UCLouvain) for transcribing interviews with experts. This tool was subsequently used to standardize the transcripts and facilitate summarizing and grouping the information provided.
- ChatGPT (OpenIA) was used to help formulate comprehensive and coherent questions for the experts during the interviews.
- Copilot (Microsoft) for translating passages from certain scientific texts or articles into other languages.

After using these tools, each piece of information and each word was reviewed and proofread by the author to ensure its accuracy. The author takes full responsibility for the final work and guarantees its originality and integrity.

By signing this declaration, the author confirms that the content of this master's thesis reflects their work and the skillful use of AI tools.

SIGNATURE

Sign your declaration:

Author last name, first name	Date	Signature
1 Renard Thibaut	29/07/2026	

Remerciements

Au travers de cette rubrique, je tiens à adresser mes remerciements à toutes les personnes grâce à qui la réalisation de ce mémoire a été possible.

Tout d'abord, merci à mon promoteur, Monsieur Christophe Lejeune. Pour son encadrement, ses retours avisés poussant à l'autoévaluation, l'amélioration perpétuelle, la réflexion continue et sa disponibilité tout au long du processus.

Je remercie également LETEC, spécialement Cindy et Jean-Pierre de la Cellule Qualité et Amélioration Continue (CéQAC), pour m'avoir accueilli en stage et donné accès au terrain qui constitue le cœur empirique de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi aux différents intervenants rencontrés au cours de cette recherche qualitative, pour le temps qu'ils y ont consacré, la qualité de leurs réponses et le vif intérêt manifesté envers le sujet.

Merci à ma famille, mes amis et mes proches pour leur soutien au quotidien, leurs encouragements et, surtout, leur patience à m'écouter parler sans relâche de ce sujet avec des oreilles attentives.

Un remerciement particulier à Charlotte, ma copine et relectrice pour son soutien moral et la qualité de ses conseils, qui ont grandement contribué à améliorer ce travail.

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Méthodologie	3
2.1	Positionnement épistémologique	3
2.2	Revue de la littérature scientifique	3
2.3	Terrain et collecte des données	4
2.4	Méthode d'analyse	4
3.	Cadre théorique	6
3.1	L'économie circulaire	6
3.2	Les take-back systems comme levier opérationnel de l'économie circulaire	8
3.2.1	Architecture et périmètre des systèmes de reprise	8
3.2.2	Les tensions structurelles qui conditionnent la performance opérationnelle	9
3.2.3	Étude de ces tensions dans deux filières	10
3.2.3.1	La filière pneus	11
3.2.3.2	La filière batteries	11
3.2.3.3	Bilan de ces deux filières	12
3.3	La collaboration comme condition de fonctionnement des take-back systems	12
3.3.1	La collaboration fondée sur le marché	13
3.3.2	La collaboration fondée sur la hiérarchie	15
3.3.3	La collaboration fondée sur le réseau : la forme réticulaire	16
4.	Analyse empirique du terrain	18
4.1	Introduction : deux filières, trois formes de coordination	18
4.2	Cas 1 : La filière pneus usagés	18
4.2.1	Architecture du système et gouvernance en Wallonie	18
4.2.2	Les trois formes de collaboration à l'œuvre dans la filière pneus	20
4.2.2.1	La forme hiérarchique	20
4.2.2.2	La forme marchande	21
4.2.2.3	La forme réticulaire	23
4.2.3	Tensions structurelles et leviers opérationnels identifiés	25
4.2.4	Synthèse : la filière pneus comme système de reprise	27
4.3	Cas 2 : La filière batteries de véhicules électriques	28
4.3.1	Un système en construction sous double impulsion réglementaire	28
4.3.2	La complexité des décisions d'orientation en fin de vie	30
4.3.2.1	La multiplicité des chimies : réalité économique du recyclage	30
4.3.2.2	Réemployer avant de recycler	31
4.3.3	Les formes de collaboration requises et émergentes	33

4.3.3.1	La forme hiérarchique.....	33
4.3.3.2	La forme marchande	34
4.3.3.3	La forme réticulaire	35
4.3.4	Freins structurels et enjeux prospectifs.....	36
5.	Conclusion analytique.....	38
6.	Limites de l'étude et pistes de recherches futures	41
6.1	Limites de l'étude.....	41
6.2	Pistes de recherche futures	41
7.	Bibliographie.....	43
8.	Annexes	48
8.1	Annexe 1 – Tableau récapitulatifs des profils rencontrés :	48
8.2	Annexe 2 - LETEC – Responsable achats matériel roulant	50
8.3	Annexe 3 - LETEC – Responsable technique matériel roulant, BU Liège-Verviers	53
8.4	Annexe 4 - LETEC - Directeur de l'Audit interne	56
8.5	Annexe 5 - LETEC - Stratégie et Pilotage.....	58
8.6	Annexe 6 - Recytyre	61
8.7	Annexe 7 - Bebat	66
8.8	Annexe 8 - Febelauto.....	71
8.9	Annexe 9 - SPW.....	73

1. Introduction

En 2025, l'Opérateur de Transport de Wallonie (OTW), plus connu sous sa marque LETEC, a bénéficié de plus de 853 millions d'euros de financements publics pour assurer ses missions de transport collectif. Avec près de 1 945 bus de la régie en circulation, 832 lignes desservies et près de 5 818 employés, l'entreprise occupe une position centrale dans la mobilité wallonne. Mais cette ampleur a un revers : chaque année, une partie de cette flotte arrive en fin de vie avec des tonnes de matières envoyées au rebut. Pourtant, une fraction significative de ces matières pourrait réintégrer un cycle productif.

L'expérience de LETEC illustre une tension qui traverse aujourd'hui une grande partie du monde industriel : comment passer d'une logique linéaire à une logique véritablement circulaire, dans laquelle les ressources sont maintenues en usage aussi longtemps que possible ?

L'économie circulaire offre un cadre pour répondre à cette question. Plutôt que de considérer les produits comme destinés à disparaître après usage, elle cherche à découpler création de valeur et consommation de ressources, en allongeant les cycles de vie et en réintégrant les matières dans de nouveaux processus. Parmi les outils concrets qu'elle mobilise, les systèmes de reprise occupent une place centrale : ce sont les dispositifs par lesquels un produit, arrivé en fin d'usage, est récupéré par le fabricant, le distributeur ou un tiers en vue d'être réutilisé, reconditionné ou recyclé.

Mais mettre en place de tels systèmes ne relève pas d'une logique purement technique. Cela suppose des arbitrages économiques, des cadres réglementaires adaptés et, surtout, des formes de collaboration qui dépassent les frontières habituelles des organisations. C'est précisément la nature de ces collaborations qui détermine en grande partie si un système de reprise peut réellement voir le jour et s'inscrire dans la durée.

C'est là que réside le cœur de ce travail. Les études scientifiques se sont beaucoup intéressées aux conditions générales de l'économie circulaire, mais sans véritablement s'attarder sur les mécanismes concrets de collaboration qui permettent d'en faire une réalité opérationnelle. C'est dans cet espace moins documenté que ce mémoire cherche à s'inscrire, en posant la question suivante : *Comment différentes formes de collaboration entre acteurs économiques*

et institutionnels facilitent-elles la mise en œuvre opérationnelle de l'économie circulaire à travers des systèmes de reprise ?

Pour y répondre, ce travail s'articule en quatre temps. Une partie méthodologique explicite d'abord les choix opérés pour conduire cette recherche. Un cadre théorique pose ensuite les fondements conceptuels mobilisés dans la suite : économie circulaire, systèmes de reprise et formes de collaboration inter-organisationnelle. L'analyse de terrain constitue le cœur du propos : elle s'appuie sur le cas de LETEC pour examiner comment ces dynamiques se traduisent concrètement, à travers les filières des pneus et des batteries, deux filières aux degrés de maturité contrastés. Une conclusion vient enfin synthétiser les enseignements et ouvrir des pistes de réflexion.

2. Méthodologie

Ce mémoire repose sur une méthodologie qualitative et interprétative, construite autour d'un terrain d'immersion au sein de LETEC et le territoire wallon ainsi que d'une revue de la littérature scientifique conduite en amont de l'analyse empirique.

2.1 Positionnement épistémologique

La démarche suit une logique itérative. Un entretien exploratoire conduit avec Christophe Martin, responsable des achats du matériel roulant chez LETEC, a permis d'identifier les filières pertinentes à étudier et de délimiter les premières pistes analytiques. Sur cette base, une revue de la littérature scientifique a été conduite. Les résultats obtenus ont structuré le cadre théorique et orienté la conception des entretiens ultérieurs. La démarche s'articule ainsi autour d'un aller-retour entre le terrain et la théorie, les observations initiales ayant permis de construire le cadre théorique qui a ensuite guidé le retour au terrain, sans procéder ni d'une induction pure ni d'une déduction formelle.

Ce mémoire adopte une stratégie d'étude de cas comparée portant sur deux filières identifiées au sein de LETEC et plus généralement en Wallonie pour leur complémentarité en termes de maturité : la filière pneus, système stabilisé, et la filière batteries, système en construction. Cette polarité permet de réaliser une comparaison systématique des formes de collaboration à l'œuvre selon des degrés d'adaptation à des contextes très différents. La validité de l'étude repose sur la triangulation de trois sources : la littérature scientifique et réglementaire, les entretiens semi-directifs et les sources documentaires secondaires.

2.2 Revue de la littérature scientifique

L'élaboration d'une revue d'articles scientifiques constitue une étape méthodologique à part entière, entre l'entretien exploratoire et les entretiens empiriques. Les recherches ont été menées à partir de bases de données académiques, en combinant des mots-clés propres aux systèmes de reprise et aux formes de collaboration inter-organisationnelle avec une attention particulière portée sur les contextes européen et belge. Lorsque c'était pertinent, le corpus a été complété par certains textes réglementaires, notamment le Règlement (UE) 2023/1542 et les dispositifs REP organisés par le SPW. Cette revue a permis d'articuler le cadre théorique autour des trois formes de coordination que distingue Powell (1990) et qui servent de grille de lecture pour l'ensemble de l'analyse empirique.

2.3 Terrain et collecte des données

Le choix de LETEC comme terrain principal s'explique d'abord par l'accès privilégié qu'un stage effectué au sein de la Cellule Qualité et Amélioration Continue (CéQAC) a rendu possible. La place occupée au sein de l'organisation a permis une double immersion : une présence quotidienne au sein des équipes favorisant l'accès à des réunions, à des échanges informels et à des documents internes, et une légitimité institutionnelle facilitant la prise de contact avec des interlocuteurs aux profils variés. Le choix d'un tel terrain se justifie également sur le plan analytique : en tant qu'opérateur public soumis aux ambitions réglementaires européennes de décarbonation, LETEC est confronté à plusieurs systèmes de reprise qui diffèrent par leurs stades de maturité, ce qui en fait un observatoire particulièrement riche des tensions et des leviers qui structurent ces dispositifs.

Des entretiens semi-directifs d'environ 45 minutes ont été conduits via Teams. Ces entretiens ont été organisés selon une planification en trois temps : l'entretien exploratoire avec Martin, les entretiens avec les acteurs internes à LETEC — Bonaventure, Coppens et Benoni —, et enfin les entretiens avec les acteurs externes — Lorquet (Recytyre), Van den Steen (Bebat/Sortbat), Thomasset (SPW) et Ceulemans (Febelauto). Les guides d'entretien combinent un socle de questions communes à tous les entretiens à des modules spécifiques adaptés au positionnement de chaque interlocuteur dans la chaîne. Les entretiens ont été enregistrés lorsque les interlocuteurs y ont consenti ; dans les autres cas, des comptes rendus détaillés ont été rédigés immédiatement après l'échange. Ces données ont été complétées par un corpus documentaire secondaire comprenant rapports institutionnels, arrêtés du SPW, publications des éco-organismes et articles de presse sectorielle. Un tableau récapitulatif des profils rencontrés est disponible en annexe 1.

2.4 Méthode d'analyse

L'analyse des données s'organise en deux temps complémentaires, conformément à la structure bipartite du terrain étudié.

Dans un premier temps, chaque filière fait l'objet d'une analyse de cas distincte, mais structurée de manière identique pour permettre la comparaison. Ces premières parties mobilisent les données issues des entretiens et les sources secondaires.

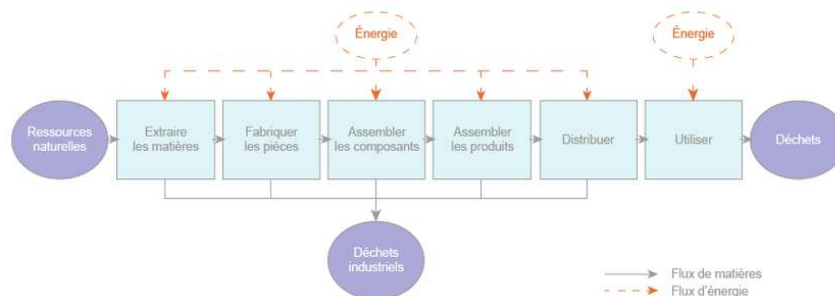
En conclusion, une lecture transversale permet de mettre les deux cas en dialogue. Il ne s'agit pas seulement de comparer leurs résultats, le but est également d'expliquer leurs divergences : pourquoi l'analyse révèle des architectures de collaboration aussi différentes, et quelles dynamiques sous-jacentes permettent d'en rendre compte. Cette mise en regard vise à dépasser la description des formes de coordination observées pour identifier ce qui détermine leur articulation effective et leur stabilité dans le temps, et à questionner, sur cette base, la validité du cadre théorique mobilisé pour le cas de LETEC.

3. Cadre théorique

Pour envisager la réponse à cette question, ce cadre théorique s'articule autour de trois ensembles de concepts étroitement liés dans la littérature. En premier lieu, l'économie circulaire est mobilisée comme modèle économique reposant sur des boucles de matières et de valeurs. Deuxièmement, les systèmes de reprise (take-back systems), également inscrits dans le concept de reverse supply chain comme un levier opérationnel central de cette circularité. Les architectures de ces systèmes et les tensions liées y seront analysées dans les deux filières analysées dans ce travail. Enfin, différentes formes de collaboration entre acteurs sont appréhendées afin de comprendre en quoi elles constituent une condition nécessaire au fonctionnement et à la pérennité des systèmes de reprise. Comme mentionné dans la méthodologie, le choix a été fait de se pencher sur des études de cas, plus précisément sur les batteries de véhicules électriques et les pneus en Wallonie et chez LETEC. Dans ce cadre théorique, ces deux filières seront déjà appréhendées au niveau wallon théorique, pour permettre d'illustrer les tensions structurelles des systèmes de reprise.

3.1 L'économie circulaire

L'économie circulaire se définit en opposition au modèle économique dit « linéaire » dominant depuis la révolution industrielle et fondé sur une logique séquentielle : extraire, fabriquer, assembler les composants, assembler les produits, distribuer et utiliser (Le Moigne, 2014).



Modèle de l'économie linéaire (Le Moigne, 2014)

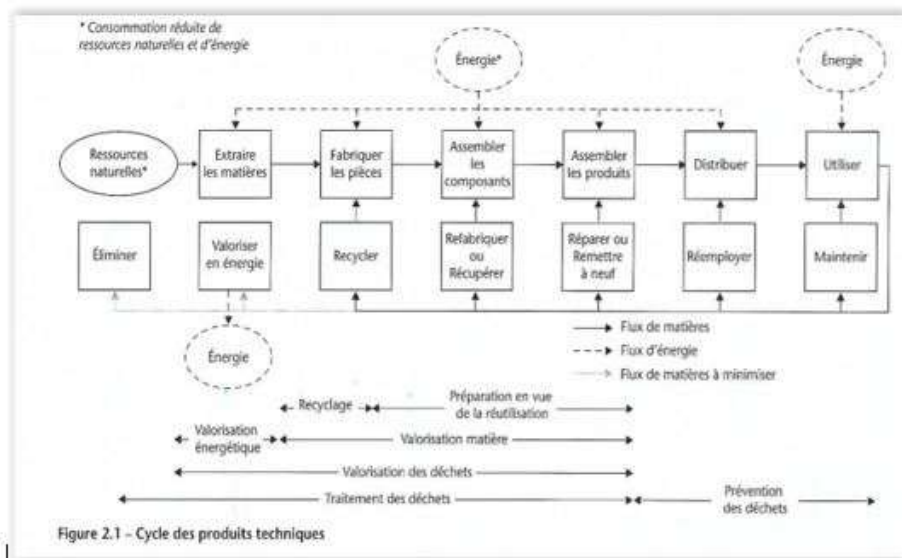
Ce modèle repose sur l'hypothèse implicite selon laquelle les ressources naturelles (matières premières, milieux ambiants et espaces) seraient disponibles de manière quasi illimitée. Or, de nombreuses études montrent que l'économie humaine s'inscrit dans un monde fini. Si certaines ressources disposent de capacités de renouvellement, celles-ci demeurent limitées et quantifiables à l'échelle humaine.

Les effets de l'économie linéaire ne se limitent pas à l'épuisement des ressources naturelles. Comme le montre Le Moigne dans la figure ci-dessus, les flux énergétiques et les déchets générés par un tel modèle s'inscrivent également dans une logique peu compatible avec une trajectoire durable, notamment en raison de leur caractère non renouvelable ou difficilement valorisable.

Dans ce contexte, l'économie circulaire vise à organiser une circularité des matières et des produits en cherchant à maintenir leur valeur, notamment par leur réintroduction dans la chaîne de valeur. Dans ce mémoire la valorisation énergétique, c'est à dire l'utilisation de déchets combustibles comme moyen de production d'énergie par incinération directe avec ou sans autres déchets mais avec récupération de chaleur, ne sera pas prise en compte comme une valorisation en tant que telle (Atasu et al., 2009).

Ce système économique suppose toutefois l'existence de mécanismes concrets permettant la récupération des produits et matériaux en fin d'usage ou de vie. Ainsi, la circularité ne peut être envisagée sans systèmes de reprise structurés, capables d'organiser le retour des produits vers des filières de réemploi, de remise à neuf ou de recyclage.

L'échelle de Lansink (voir schéma ci-dessous) permet de visualiser les cycles des produits, leurs flux, la hiérarchie des déchets et la réaffectation des ressources.



Cycle des produits techniques dans la reverse supply chain (Le Moigne 2014)

3.2 Les take-back systems comme levier opérationnel de l'économie circulaire

Si le concept de l'économie circulaire définit un horizon normatif pour la gestion des ressources, il ne précise pas par quels dispositifs concrets les produits en fin de vie peuvent effectivement être réintroduits dans l'économie. Les systèmes de reprise constituent précisément ce maillon opérationnel : ils traduisent les principes circulaires en flux physiques organisés de collecte, de tri, de traitement et de valorisation. La présente section précise l'architecture théorique de ces take-back systems(3.2.1), identifie les tensions structurelles qui en conditionnent la performance (3.2.2), puis les examine à travers les deux filières qui sont étudiées dans ce mémoire (les pneus et les batteries de véhicules électriques). Il s'agit de deux filières dont les enjeux spécifiques anticipent directement les formes de collaboration analysées dans la section suivante (3.2.3).

3.2.1 Architecture et périmètre des systèmes de reprise

Le système de reprise peut être défini comme l'ensemble des activités organisationnelles, logistiques et décisionnelles nécessaires pour collecter des produits en fin de vie ou d'usage et leur assigner une trajectoire de valorisation adaptée à leur état réel (Uhrenholt et al., 2022 ; Bockholt et al., 2020). Il se distingue fondamentalement de la chaîne logistique directe par la direction de ses flux – des utilisateurs finaux vers les producteurs ou valorisateurs – et par la nature intrinsèquement incertaine de ceux-ci, tant en volume qu'en qualité (Le Moigne, 2014).

Les études consultées distinguent plusieurs stratégies de valorisation hiérarchisées selon leur degré de préservation de la valeur incorporée : le réemploi direct, le reconditionnement (*remanufacturing*), le recyclage matière et, en dernier recours, la valorisation énergétique ou l'élimination (Khan et al., 2025 ; Uhrenholt et al., 2022). Cette hiérarchie détermine directement la performance économique et environnementale du système, dans la mesure où les options les plus proches du sommet permettent de conserver davantage de valeur et d'énergie incorporée dans le produit (Mikus et al., 2025). Le choix entre ces différentes options dépend de facteurs multiples : l'état du produit retourné, la disponibilité des infrastructures de traitement ou encore les conditions de marché pour les matières récupérées. Tous ces facteurs rendent la décision de valorisation propre à chaque lot entrant dans le système.

3.2.2 *Les tensions structurelles qui conditionnent la performance opérationnelle*

La mise en œuvre des systèmes de reprise se heurte à des tensions structurelles interdépendantes, dont la résolution conditionne la viabilité économique et environnementale de ces dispositifs.

La première de ces tensions est l'incertitude qui pèse sur les flux entrants. Alors que les chaînes logistiques directes, où l'approvisionnement en matières et produits est maîtrisé et planifié, les systèmes de reprise, quant à eux, font face à une double incertitude portant sur le volume des retours et sur la qualité des produits collectés (Bockholt et al., 2020 ; Uhrenholt et al., 2022 ; Le Moigne, 2014). Cette incertitude rend difficile la planification des capacités de traitement nécessaires et génère des coûts de stockage et de tri qui peuvent rapidement compromettre la rentabilité du dispositif. En comparant les systèmes de reprise à la chaîne de valeur linéaire, Rebehly et al. (2019) montrent que l'incertitude liée au transport et à la localisation des flux est un facteur non négligeable du développement du système circulaire. De la même manière, dans leur étude empirique portant sur un producteur industriel en contexte manufacturier discret, Bockholt et al. (2020) montrent combien le timing des retours et l'état des produits collectés sont les deux variables les plus déterminantes pour la performance financière d'un programme de reprise en fin de vie.

La deuxième de ces tensions est l'asymétrie d'information entre les acteurs quant à la composition et à l'historique des produits. L'efficacité des décisions de tri et de valorisation dépend de la justesse et de la quantité des informations disponibles sur les matériaux constitutifs, sur les traitements subis et sur l'état d'usure réel des matériaux prêts à entrer dans la chaîne de revalorisation. Les acteurs de la collecte ne détiennent généralement pas ces indicateurs et les détenteurs initiaux n'ont souvent pas d'incitation à les leur transmettre (Uhrenholt et al., 2022). Cette lacune informationnelle génère des erreurs d'orientation coûteuses et peut conduire à destiner au recyclage ou à la valorisation énergétique des produits qui auraient pu être réemployés ou reconditionnés à moindre coût. Elle est d'autant plus prononcée quand les produits sont techniquement complexes. Par exemple, les informations concernant les batteries de véhicules électriques sont particulièrement lacunaires. Or, l'état de santé (*state of health* - *SOH*) de ces batteries conditionne la décision

d'orientation entre réutilisation en seconde vie et recyclage (Seika & Kubli, 2024 ; Nie et al., 2023).

Cette asymétrie peut naître dès la phase de conception, notamment lorsque les produits sont conçus sans anticipation de leur fin de vie. Cette absence d'anticipation peut prendre plusieurs formes que nous aborderons plus tard : chimies propriétaires, architectures non standardisées, absence de marquage des matériaux, etc. Les acteurs de la collecte et du tri se retrouvent souvent structurellement démunis face à des objets dont la composition réelle est opaque (Bockholt et al., 2020 ; Uhrenholt et al., 2022). En revanche, les démarches d'éco-conception qui intègrent dès la conception la « démontabilité », la traçabilité des matériaux et la standardisation des composants peuvent participer à réduire mécaniquement cette asymétrie en rendant l'information disponible sans qu'une coordination supplémentaire entre acteurs soit nécessaire (Atasu et al., 2009 ; Mallick et al., 2024).

La troisième de ces tensions est la fragilité de la viabilité économique face à la volatilité des marchés aval. Les systèmes de reprise ne peuvent fonctionner durablement que si les flux collectés trouvent des débouchés de valeur suffisante pour couvrir les coûts logistiques, de tri et de traitement. Or, cette valeur dépend de conditions de marché extérieures au système : le prix des matières premières secondaires, la demande pour les produits reconditionnés ou encore les coûts énergétiques des procédés de transformation. Ces conditions fluctuent indépendamment des décisions des acteurs de la filière, qui présentent tous des intérêts différents (Atasu et al., 2009 ; Uhrenholt et al., 2022). Le prix des matières premières peut lui aussi influencer les pratiques de reprise. Ainsi, si ce prix est inférieur à celui des matières récupérées, l'influence sera négative (Mikus et al., 2025). Uhrenholt et al. (2022) montrent que, parmi les facteurs structurels affectant la performance financière des programmes de reprise, ce sont les choix initiaux de conception du produit, la structure des incitations le long de la chaîne de valeur linéaire et la stabilité des débouchés qui déterminent *in fine* la soutenabilité du modèle circulaire.

3.2.3 Étude de ces tensions dans deux filières

L'examen de deux filières wallonnes emblématiques, les pneus usagés et les batteries de véhicules électriques, illustre comment ces tensions se manifestent différemment selon le contexte sectoriel et technologique.

3.2.3.1 *La filière pneus*

Sur le plan opérationnel, la filière des pneus usagés constitue un cas relativement mature. En effet, les technologies de traitement sur la reverse supply chain, regroupant le rechapage, le broyage pour la production de granulats caoutchoutés, la pyrolyse et la valorisation énergétique, sont bien documentées et industriellement établies (Li et al., 2010 ; Ashaier Laftah & Rahman, 2025). En Wallonie, un cadre réglementaire structuré organise la filière : l'ASBL Recytyre, conventionnée par les pouvoirs publics, assure la collecte et le financement du dispositif via la contribution environnementale à la mise sur le marché (SPW, s. d.-c). Les principaux défis de la filière restent d'ordre logistique. La dispersion géographique des points de collecte et la faible densité des volumes dans les zones rurales constituent quelques-uns de ces défis. Les pays en voie de développement font également face à des lacunes logistiques liées à l'augmentation des flux ou encore d'ordre économique, en raison de la concurrence entre filières de valorisation et de la variabilité des marchés aval pour les granulats (Uriarte-Miranda et al., 2018 ; Ashaier Laftah & Rahman, 2025).

3.2.3.2 *La filière batteries*

La filière des batteries de véhicules électriques présente, par contraste, un degré de complexité et d'incertitude nettement supérieur. La multiplicité des chimies (LFP (lithium-fer-phosphate), NMC, NCA,...) et la variabilité des états de santé à la restitution compliquent considérablement les décisions d'orientation, entre réemploi et recyclage hydro-métallurgique ou pyro-métallurgique (Seika & Kubli, 2024 ; Mikus et al., 2025). La récupération des matières critiques et des métaux lourds comme le lithium, le cobalt, le manganèse, le nickel, etc. est encadrée par le Règlement Batteries européen (UE) 2023/1542 qui fixe aux États des objectifs de récupération progressifs. Pour les atteindre, une coordination renforcée entre plusieurs acteurs est nécessaire (Seika & Kubli, 2024). En Wallonie, le cadre REP pour les batteries est en cours d'adaptation afin d'intégrer les batteries industrielles de grande capacité issues des véhicules électriques aux côtés des batteries portables pour lesquelles la filière, plus ancienne, est déjà développée et encadrée (SPW, s. d.-a). Nie et al. (2023), dans leur revue de la littérature sur la réutilisation en cascade des batteries de puissance, soulignent que la performance du système dépend de l'interaction entre la disponibilité des données techniques sur l'état des batteries, les incitations économiques telles que des primes à chaque étape de

la chaîne de valeur et la gouvernance multi-acteurs du dispositif. Il s'agit de dimensions que ni la seule technologie ni la seule réglementation ne peuvent résoudre.

Dans ce contexte d'incertitude technique et économique, c'est la structuration institutionnelle de la filière qui constitue le déterminant le plus puissant de l'émergence d'une filière viable : Bhuyan et al. (2022), dans leur évaluation multicritères de l'industrie du recyclage des batteries en économie émergente, montrent que le cadre réglementaire prime sur les signaux de prix et sur les initiatives volontaires des acteurs privés, en particulier durant les phases d'amorçage, lorsque les volumes ne sont pas encore suffisants pour rentabiliser des investissements.

3.2.3.3 Bilan de ces deux filières

Ces deux filières partagent une caractéristique fondamentale : leur complexité opérationnelle excède les capacités d'un acteur isolé, que cet acteur soit producteur, collecteur ou (re)valorisateur. C'est précisément cette limite structurelle qui fait de la collaboration inter-organisationnelle non pas un choix stratégique parmi d'autres, mais une condition fonctionnelle des systèmes de reprise. La section suivante analyse les différentes formes de collaboration et les tensions qu'elles peuvent susciter

3.3 La collaboration comme condition de fonctionnement des take-back systems

Face à la complexité des systèmes de reprise, aucun acteur ne peut gérer seul l'ensemble du processus de collecte, de tri, de traitement et de réintroduction des produits dans l'économie (Sudusinghe & Seuring, 2022). Dans le cadre de ce mémoire, la collaboration inter-organisationnelle est entendue comme l'ensemble des mécanismes – qu'ils soient librement consentis, économiquement motivés ou institutionnalisés – par lesquels plusieurs acteurs coordonnent leurs ressources, leurs compétences et leurs responsabilités pour assurer le fonctionnement d'un système de reprise. Les études consultées convergent sur un point : la valeur générée par une telle collaboration dépasse la simple addition des contributions individuelles, elle émerge de la relation elle-même, sous des formes successivement plus intégrées à mesure que les liens entre acteurs se consolident (Le Pennec & Raufflet, 2018 ; Perotti et al., 2025).

Deux tensions structurantes expliquent à la fois pourquoi cette collaboration est nécessaire et pourquoi elle est difficile à instaurer. D'une part, nous avons l'asymétrie de l'information :

chaque maillon de la chaîne détient des connaissances sur le produit (composition, historique d'usage, état réel) qui conditionnent la qualité des décisions de tri et de valorisation, et dont le partage entre maillons réduit directement les coûts opérationnels du processus de reprise (Pedersen et al., 2025). D'autre part, l'on peut souligner la divergence des intérêts : la viabilité économique d'un système de reprise est liée à la valeur commerciale des flux collectés. Cela peut générer des tensions entre logiques environnementales et logiques de rentabilité que les mécanismes de gouvernance doivent alors absorber (Rebehy et al., 2019). C'est précisément face à ces deux tensions que se pose, pour chaque acteur impliqué dans un système de reprise, une question fondamentale : faut-il internaliser l'activité ou s'appuyer sur un partenaire externe ? Ce dilemme du *make or buy*, au cœur de la théorie des coûts de transaction (Alagheband et al., 2011), structure en profondeur les choix de gouvernance des acteurs de la reprise qui choisissent l'intégration hiérarchique, le recours au marché ou les structures hybrides en fonction du niveau d'incertitude, de la spécificité des produits concernés et du risque d'opportunisme d'un des acteurs.

C'est en réponse à ces tensions que Powell (1990) a théorisé trois archétypes de coordination inter-organisationnelle : le marché, la hiérarchie et le réseau. Depuis, ces archétypes ont largement été mobilisés par les articles sur l'économie circulaire pour analyser les configurations collaboratives des systèmes de reprise (Perotti et al., 2025 ; Köhler et al., 2022). Ces trois formes ne s'excluent pas mutuellement ; elles coexistent souvent au sein des mêmes systèmes. Nous verrons plus tard que chacune mobilise des leviers distincts pour répondre aux tensions décrites plus tôt.

3.3.1 La collaboration fondée sur le marché

La première forme de collaboration repose sur une logique de gains partagés : des acteurs s'engagent volontairement parce qu'ils y trouvent un bénéfice économique. Dans les termes de la théorie des coûts de transaction, cette première forme correspond au choix du *buy* : les organisations concluent des arrangements contractuels avec des partenaires spécialisés et en tirent un bénéfice – collecteurs, trieurs, reconditionneurs – dès lors que les coûts de coordination restent inférieurs à ceux d'une intégration verticale intra-organisationnelle (Alagheband et al., 2011). Dans le contexte des systèmes de reprise, cela se traduit par des partenariats au sein desquels les produits en fin de vie d'un acteur constituent des ressources pour un autre, à condition que ce dernier traite ces produits comme une source de valeur et

non comme un déchet. Ce renversement de perspective est central : lorsque les acteurs d'un système de reprise appréhendent les produits collectés comme des déchets, le potentiel de réutilisation est irrémédiablement perdu (Pedersen et al., 2025). Pour éviter cette dérive, deux mécanismes de gouvernance sont nécessaires : des contrats précisant les conditions de réutilisation des produits entre partenaires, et des projets portés par une firme chef de file capable de définir les standards attendus en amont de la collecte (Pedersen et al., 2025).

Au-delà de ces dispositifs contractuels, la réussite de cette forme de collaboration dépend également de capacités organisationnelles profondes. Köhler et al. (2022) montrent que les entreprises engagées dans des collaborations circulaires doivent développer conjointement trois aptitudes complémentaires. La première est celle de la *relational view* : la valeur créée dans un partenariat circulaire est générée par la relation elle-même et par l'interdépendance entre acteurs, non par la somme de leurs seuls actifs individuels. La deuxième est celle de l'*open innovation* : les organisations doivent mobiliser et transmettre des connaissances et des ressources externes à leurs frontières pour concevoir des solutions circulaires que leurs compétences internes seules ne permettraient pas. La troisième est celle des *dynamic capability* : la capacité d'une organisation à reconfigurer en continu ses processus et ressources face aux flux inverses et aux aléas propres à l'économie circulaire. Ces trois dimensions se renforcent mutuellement et conditionnent l'aptitude d'une organisation à transformer une opportunité de partenariat en pratique circulaire opérationnelle et durable.

Cette forme présente néanmoins des limites de stabilité. La coordination marchande engendre des coûts de négociation, de rédaction et de renégociation des contrats qui croissent avec l'incertitude sur les flux et la spécificité des produits impliqués (Alagheband et al., 2011). Lorsque ces situations se présentent, le marché tend à devenir sous-optimal, ce qui explique le recours à des formes de coordination plus intégrées. Par ailleurs, si la valeur économique des produits repris s'effondre, la motivation à collaborer disparaît et le système perd sa viabilité. C'est une fragilité que Rebehly et al. (2019) observent dans plusieurs systèmes de logistique inverse, où la valeur de reprise dépend de conditions de marché variables et de prix de rachat instables.

3.3.2 *La collaboration fondée sur la hiérarchie*

La deuxième forme de collaboration repose sur un mécanisme de gouvernance hiérarchique : un acteur dominant – il peut s’agir d’un État, d’un éco-organisme agréé ou conventionné, ou d’un opérateur en position structurante en amont ou en aval – impose ou structure la coordination entre parties prenantes. Pour Powell (1990) et Alagheband et al. (2011), cette forme correspond à une logique d'autorité qui contraint les comportements plutôt que de les aligner grâce aux incitations du marché. Elle intervient précisément là où cette convergence d'intérêts ne suffit pas, par exemple, lorsque les externalités environnementales ne sont pas intégrées dans les prix, ou lorsque la continuité des flux de reprise ne peut être garantie sans obligation réglementaire.

En Belgique et dans l’Union Européenne, le mécanisme le plus ancré est la Responsabilité Élargie du Producteur¹ (Ashaier Laftah & Rahman, 2025 ; SPW, s. d.). Conçue comme un dispositif de politique environnementale qui étend la responsabilité financière et physique des fabricants à la fin de vie de leurs produits, ses objectifs visent tant l’amont que l’aval de la production en incitant à l’éco-conception, à la standardisation et à la durabilité (Mallick et al., 2024). La REP organise une coordination collective des flux via des organisations de responsabilité des producteurs agréées par les pouvoirs publics, qui mutualisent coûts et infrastructures entre producteurs, opérateurs de collecte, municipalités et filières de recyclage (Leclerc & Badami, 2024). L'implication et l’harmonisation des municipalités dans la conception et la mise en œuvre de ces programmes est souvent synonyme de meilleurs résultats opérationnels, bien que les rôles qui sont attribués à ces acteurs varient fortement selon les contextes institutionnels (Leclerc & Badami, 2024). Park et al. (2018), dans leur analyse du système de gestion des pneus usagés en Colombie, font le même constat lorsqu’ils documentent les obstacles récurrents à l'efficacité de la REP. En effet, on retrouve parmi ces obstacles l’insuffisance des incitations pour mobiliser l'ensemble de la chaîne et faiblesse du suivi gouvernemental. Ces études illustrent une même tension structurelle. Dès lors que les acteurs de terrain ne disposent pas des ressources ou des incitations nécessaires, le cadre réglementaire qui met en mouvement un système de reprise ne garantit pas sa performance opérationnelle.

¹ REP

Lu et al. (2026), en se penchant sur le secteur du recyclage des batteries de véhicules électriques en Chine, confirment et quantifient cette limite. Dans cette étude, ils modélisent les comportements de cinq parties prenantes interdépendantes : gouvernements, constructeurs automobiles, fabricants de batteries, recycleurs tiers et consommateurs. Leurs résultats montrent que la transition vers une logique circulaire régénératrice ne s'enclenche que lorsque les bénéfices synergiques dépassent un seuil critique positif pour chacune de ces parties, et que les subventions publiques atteignent un niveau suffisant pour compenser les coûts d'adaptation. La gouvernance hiérarchique doit ainsi être couplée à des mécanismes d'incitation finement calibrés, faute de quoi certains acteurs – en particulier les recycleurs et les consommateurs – restent en dehors du système. Moalem et Kerndrup (2023) prolongent cette réflexion en montrant que les opérateurs publics de gestion des déchets, bien que potentiellement capables de jouer un rôle entrepreneurial dans la transformation de flux de déchets en flux de valeur, se heurtent à un cadre réglementaire qui limite leurs marges d'action et décourage les initiatives les plus innovantes.

3.3.3 La collaboration fondée sur le réseau : la forme réticulaire

La troisième forme de collaboration, que Powell (1990) distingue comme irréductible aux deux précédentes, repose sur des valeurs partagées, une confiance mutuelle et une perception commune des enjeux de la transition circulaire par les différents acteurs. Là où le marché aligne les intérêts par les prix et la hiérarchie par l'autorité, le réseau les aligne par la réciprocité et l'engagement volontaire. Cette forme de collaboration correspond à ce que Perotti et al. (2025) désignent comme les écosystèmes circulaires : des réseaux multi-acteurs à structure horizontale, où les rôles sont moins figés et la création de valeur distribuée entre plusieurs membres. Cette forme constitue la réponse stratégique la plus complète aux défis systémiques de la transition circulaire : manque de connaissances partagées, interactions insuffisantes entre secteurs, déficit de soutien institutionnel, etc. car elle mobilise des ressources que ni le contrat ni la réglementation ne peuvent produire seuls (Perotti et al., 2025 ; Köhler et al., 2022).

La viabilité de cette forme repose sur l'existence d'un orchestrateur capable d'animer le collectif sans faire basculer la collaboration dans une logique hiérarchique. Cet acteur-pivot doit aligner des parties prenantes aux temporalités et aux priorités différentes, tout en préservant la flexibilité adaptative qui distingue le réseau des deux autres formes de

gouvernance (Perotti et al., 2025 ; Köhler et al., 2022). Dans cette logique, la participation des consommateurs au système de reprise – souvent réduite à une cible de sensibilisation dans les dispositifs hiérarchiques – devient une condition de performance à part entière. Shokouhyar et Shahrabi (2022) montrent que les facteurs qui influencent l'engagement des consommateurs dans les schémas de collecte sont multiples et contextuels, et que l'intégration réelle des consommateurs comme acteurs du réseau requiert une relation de confiance que seule la logique réticulaire permet véritablement de construire.

La force du réseau est sa flexibilité : il peut s'adapter, évoluer et intégrer de nouveaux membres sans renégociation formelle, là où le marché exige un nouveau contrat et la hiérarchie une révision des procédures. Mais cette même caractéristique en constitue la limite : en l'absence de cadre formel, la cohésion repose entièrement sur des ressources relationnelles longues à construire et fragiles face aux chocs extérieurs. Sa mise en œuvre requiert un investissement continu dans la relation, souvent difficile à concilier avec les exigences de court terme des acteurs économiques, ce qui en fait le mode de gouvernance le plus puissant sur le plan systémique, mais aussi le plus exigeant à instaurer et à maintenir dans la durée.

4. Analyse empirique du terrain

4.1 Introduction : deux filières, trois formes de coordination

Le cadre théorique développé dans les parties précédentes a permis d'identifier les tensions structurelles qui traversent tout take-back system : incertitude sur les flux, alignement des incitations, gouvernance des acteurs, etc. Cette première étape explicite également les trois formes de coordination par lesquelles certaines de ces tensions peuvent être absorbées : la hiérarchie, le marché et le réseau. Les sections qui suivent mobilisent ce cadre pour le mettre à l'épreuve de deux filières empiriques, choisies pour la complémentarité de leur degré de maturité : la filière des pneumatiques usagés, système stabilisé doté d'une gouvernance établie et de technologies de valorisation éprouvées, et la filière des batteries de véhicules électriques, système encore en construction, marqué par une forte incertitude technologique, économique et réglementaire. L'examen de chaque filière en Wallonie passe par l'analyse de l'architecture du système, des formes de coordination à l'œuvre, des tensions et des leviers, l'objectif étant d'aboutir à une comparaison systématique en conclusion. Ces deux filières seront chaque fois illustrées par l'étude des take-back systems mis en œuvre par LETEC.

4.2 Cas 1 : La filière pneus usagés

4.2.1 *Architecture du système et gouvernance en Wallonie*

La filière pneus usagés constitue, dans le paysage wallon de l'économie circulaire, l'exemple le plus abouti d'un système de reprise structuré et opérationnellement mature. Son architecture repose sur un mécanisme de gouvernance formalisé : la Responsabilité Élargie du Producteur (REP), transposé en droit wallon et organisé autour de Recytyre, ASBL fondée en 1998 à l'initiative des principaux manufacturiers de pneumatiques. Recytyre n'opère pas sur la base d'un agrément formel délivré par les autorités régionales, mais en vertu d'une convention environnementale négociée directement avec celles-ci. Cette distinction est nécessaire pour comprendre la forme et le cadre de la collaboration entre Recytyre et les autorités publiques. Cependant, la version wallonne de cette convention est aujourd'hui échue et n'a pas été renouvelée², ce qui place la filière dans un vacuum juridique réel dont des effets opérationnels sont perceptibles (Lorquet, entretien, 2026).

² Le décret relatif aux déchets, à la circularité des matières et à la propreté publique du 9 mars 2023 substitue progressivement, pour l'ensemble des éco-organismes wallons, les conventions négociées par un agrément unilatéral qui impose désormais des charges non négociables (Thomasset, entretien, 2026).

Sur le plan opérationnel, Recytyre assure la coordination d'environ 738 producteurs et importateurs déclarants, de quelques 4 936 points de collecte enregistrés tels que les garages, les fast-fitters³, les centrales pneus, etc. ainsi que des collecteurs homologués répartis sur le territoire belge (Lorquet, entretien, 2026 ; *Tous les rapports annuels. Chiffres explicites* |Recytyre, s. d.).

Le financement du dispositif repose sur une contribution environnementale acquittée à la mise sur le marché de chaque pneumatique neuf, ce qui permet de mutualiser les coûts entre producteurs tout en garantissant la continuité du flux financier indépendamment de la valeur marchande fluctuante des matières récupérées. Recytyre applique le principe dit « 1 pour 1 » qui signifie que chaque pneu neuf vendu avec une contribution permet de remettre gratuitement un pneu dans le système de reprise. Ce mécanisme boucle le flux physique de la vie du pneu (Lorquet, entretien, 2026 ; Recytyre, s. d. ; SPW, s. d.).

Sur le plan technologique, la filière du pneumatique dispose aujourd'hui d'un éventail de traitements bien documentés et industriellement éprouvés. Ashaier Laftah et Rahman (2025), dans leur revue exhaustive des technologies de recyclage des pneumatiques, distinguent quatre grandes voies de valorisation hiérarchisées selon leur degré de préservation de la matière : le rechapage, qui prolonge la durée de vie du pneumatique sans en transformer la structure ; le broyage mécanique, qui produit des granulats de caoutchouc destinés aux revêtements sportifs, aux aires de jeux ou aux mélanges bitumineux ; la pyrolyse, procédé thermochimique permettant de récupérer des huiles, du noir de carbone et du gaz de synthèse ; et enfin la valorisation énergétique en cimenterie ou en centrale, option de dernier recours lorsque les conditions de marché ou l'état du pneu rendent les autres voies inexploitable. Cette hiérarchie théorique trouve aujourd'hui une traduction empirique notable dans le contexte belge : la valorisation énergétique y est quasi éliminée depuis 2024 grâce à un mécanisme incitatif spécifique, de sorte qu'aucun kilogramme de pneu collecté ne transite plus vers les cimenteries, et la matière est revalorisée à 100%⁴ (Lorquet, entretien, 2026). La pyrolyse est encore peu utilisée en Belgique. Pourtant, il pourrait s'agir d'une option

³ **fast-fitter** désigne un centre de réparation automobile rapide. Ces ateliers sont spécialisés dans l'entretien courant des véhicules (pneus, freins, vidanges, échappements) et se caractérisent par des interventions **sans rendez-vous** et des tarifs forfaitaires.

⁴ 91,51 % sont revalorisés en granulats, 4,86 % sont réemployés, 3,11 % en rechapage et 0,26% en fil d'acier. (*Tous les rapports annuels. Chiffres explicites* |Recytyre, s. d.)

économiquement viable, c'est pourquoi des projets d'unités industrielles sont en cours de démarrage en Belgique, avec pour débouchés l'huile de pyrolyse orientée vers la chimie industrielle et le noir de carbone à valeur marchande. Si ces unités atteignent leur plein régime, cela pourrait réduire significativement le cout net de valorisation et alléger la contribution environnementale actuellement supportée par le consommateur (Lorquet, entretien, 2026).

Li et al. (2010), dans une étude comparative des technologies de traitement de fin de vie appliquée au contexte chinois, montrent que la rentabilité relative de ces filières est fortement conditionnée par les politiques publiques d'accompagnement : en l'absence de soutien au rechapage ou de marchés publics favorisant les granulats recyclés, la valorisation énergétique tend à dominer par défaut, au détriment des options à plus haute valeur ajoutée. Ce constat, formulé dans un contexte asiatique, trouve une résonance directe dans le contexte wallon⁵, où le maintien de la valorisation résulte moins de signaux de prix spontanés que d'une architecture d'incitations délibérément construite.

4.2.2 Les trois formes de collaboration à l'œuvre dans la filière pneus

L'examen de la filière pneus wallonne, notamment illustrée par le cas de LETEC, révèle une coexistence des trois formes de collaboration théorisées par Powell (1990) et explicitées dans le cadre théorique, chacune intervenant à un stade différent de la chaîne de valeur inversée et avec des leviers distincts.

4.2.2.1 La forme hiérarchique

La forme hiérarchique constitue le socle structurant de la filière wallonne via la REP organisée par Recytyre conventionné par le SPW. À l'échelle régionale, la coordination de milliers de points de dépôt (garages, distributeurs, etc.) est un défi colossal. Elle n'est possible que grâce à ce cadre réglementaire solide qui définit le cadre d'autorité : l'obligation légale de reprise, la convention environnementale du SPW et le pilotage centralisé par Recytyre. Cette

⁵ Un fait réglementaire récent mérite d'être signalé ici : depuis le 1er janvier 2025, l'intégralité des pneus collectés en Belgique doit être valorisée au sein de l'Union européenne. Cette interdiction des exports hors UE, introduite progressivement (50 % en 2024, puis 100 % en 2025) à la demande des autorités régionales, met fin à une pratique antérieure d'exportation massive vers l'Inde et le Pakistan via des traders intermédiaires. Si elle a engendré un surcout estimé à environ 2 % des couts de valorisation, elle renforce en contrepartie la traçabilité des flux et la certitude de valorisation matière conforme aux standards européens (Lorquet, entretien, 2026).

coordination crée également les conditions minimales d'un système de reprise viable en garantissant des flux prévisibles aux opérateurs de traitement.

Cependant, la convention environnementale étant aujourd'hui échue, il convient de préciser que la nature exacte de cette forme hiérarchique est moins une pyramide d'autorité formellement verrouillée qu'une architecture contractuelle négociée, dont la robustesse dépend de la qualité des relations entre Recytyre et les autorités publiques (Thomasset, entretien, 2026).

Par ailleurs, la structure hiérarchique permet également de résoudre le problème du passager clandestin⁶ inhérent à tout système collectif (Atasu et al., 2009). En rendant la contribution financière obligatoire pour tout opérateur mettant des pneus sur le marché, cette structure garantit que les coûts de la filière sont portés par l'ensemble des bénéficiaires et non uniquement par les plus vertueux. Elle répond ainsi directement à la première tension structurelle identifiée dans le cadre théorique : l'incertitude sur les flux, partiellement résorbée par le caractère obligatoire et mutualisé du système. LETEC se conforme à l'ensemble de ce cadre réglementaire : les carcasses de pneus en fin de vie sont orientées vers des filières conformes aux normes en vigueur, et les partenaires sont eux-mêmes agréés selon les exigences de la réglementation environnementale applicable.

Cette résolution dans la filière pneus n'est toutefois pas parfaite. Lorquet (2026) et différents articles de presse documentent empiriquement une fragilité croissante du dispositif : le développement du commerce transfrontalier, notamment via internet, qui génère un flux significatif de pneus mis sur le marché sans contribution acquittée, principalement en provenance d'opérateurs asiatiques dont les pratiques ne peuvent juridiquement pas être atteintes par la législation belge. En Wallonie, ce phénomène est aggravé par l'absence totale de contrôles effectifs et de sanctions (Lorquet, entretien, 2026).

4.2.2.2 *La forme marchande*

Chez LETEC, la forme marchande s'articule autour de configurations contractuelles successives qui jalonnent le cycle de vie du pneumatique. Elle n'est pas constituée par un mécanisme

⁶ **Passager clandestin** : situation dans laquelle un acteur profite des bénéfices d'un bien ou d'un dispositif collectif sans contribuer de manière proportionnelle à son coût, ce qui crée un risque de sous-participation. Ici il s'agirait d'un pneu pour lequel la REP n'aurait pas été honorée et pourtant entre dans la filière de récupération pneu.

uniforme mais par une série de relations de marché distinctes, chacune mobilisant une logique économique propre selon le stade de la chaîne de valeur inversée considéré.

Avant cette externalisation, LETEC opère un premier tri interne : les pneus dont la carcasse présente encore une épaisseur suffisante font l'objet d'un retailage en atelier, prolongeant leur durée de vie sans nécessiter le recours à un acteur extérieur. Cette boucle intra-organisationnelle constitue, au sens strict, la première forme de circularité au sein de la filière. Cette première forme est la seule qui soit entièrement maîtrisée par les services de maintenances chez LETEC. Son existence illustre une logique de *make* au sens d'Alagheband et al. (2011), distincte du recours au marché qui suit lorsque la carcasse est épuisée.

Ensuite, les pneus qui ne sont plus en mesure d'être retillés en interne sont envoyés vers le rechapage, soit à chaud soit à froid. Cette relation entre le rechapteur et LETEC relève du choix du *buy* au sens d'Alagheband et al. (2011). En effet, LETEC externalise les compétences de transformation et de valorisation en les confiant à des spécialistes, tant que les coûts de cette coordination restent inférieurs à ceux d'une intégration verticale. LETEC étant un opérateur public, cette externalisation est soumise à un marché public élaboré à partir des besoins de LETEC et de la réglementation environnementale relative. Au niveau régional de la filière, il convient de noter que les objectifs de rechapage fixés par les autorités publiques font l'objet d'une contestation explicite de la part de Recytyre, au motif que ces chiffres n'ont pas suffisamment fait l'objet d'études de faisabilité (Lorquet, entretien, 2026). Cette tension entre objectif réglementaire imposé et réalité économique de la filière illustre précisément la limite d'une coordination purement hiérarchique et déconnectée des signaux de marché. Chez LETEC, pourtant, ce sont ces signaux qui poussent au rechapage dans son système propre.

En fin de vie du pneu, une autre opération marchande a lieu. En effet, si la carcasse de pneu ne peut plus être prolongée (rechapage ou retaille), LETEC s'en sépare au profit du traitement du « déchet ». Les transporteurs, broyeurs, recycleurs et valorisateurs énergétiques opèrent dans un cadre concurrentiel régulé où Recytyre joue le rôle de firme chef de file décrit par Pedersen et al. (2025). En définissant les standards de qualité, les conditions de réception et les cahiers des charges des appels d'offres, Recytyre oriente les choix de valorisation vers les options les plus pertinentes sur le plan circulaire.

Lorquet (2026) affine cependant cette lecture en lui ajoutant une donnée structurelle : toutes les filières de valorisation actuelles fonctionnent en réalité à perte nette du point de vue du collecteur. Celui-ci est intégralement rémunéré par la contribution environnementale prélevée en amont, et ne tire aucun revenu de la matière collectée – la seule exception marginale étant le tri des pneus d'occasion et le rechapage poids lourd qui peuvent être rémunérés chez certains acteurs comme celui à qui LETEC envoie ses pneus pour les rechapier avant de les renvoyer dans la filière, en échange d'un petit revenu résiduel (Lorquet, entretien, 2026). Ainsi, les granulats de caoutchouc, qui représentent 91,51 %⁷ des volumes de pneus traités en 2024, génèrent un coût net pour le collecteur qui doit financer leur traitement que le marché en aval ne permet pas forcément de compenser. Cette réalité nuance substantiellement la thèse d'un alignement économique spontané par les signaux de prix : ce n'est pas la valeur marchande des matières secondaires qui maintient la filière en équilibre, mais l'architecture financière de la contribution qui substitue une rémunération garantie à une valorisation aléatoire et non-traçable. La valeur économique des granulats de caoutchouc et des huiles de pyrolyse pourrait constituer un levier incitatif réel, mais sa volatilité introduit une fragilité structurelle : lorsque les cours des matières premières secondaires s'effondrent, la hiérarchie des valorisations tend à se renverser en faveur de la voie énergétique, dont les coûts variables sont les plus faibles. Cette dynamique illustre la limite de la coordination marchande employée comme seule logique, soulignée par Rebehy et al. (2019) dans plusieurs secteurs de logistique inverse. De plus, un horizon réglementaire à surveiller modifiera prochainement la structure des débouchés marchands car, à partir de 2030, l'utilisation de granulats comme infill⁸ dispersé sur les terrains de sport en gazon synthétique sera interdite, ce qui contraindra le développement d'applications alternatives et accélérera la nécessité de développer la pyrolyse comme filière de substitution aux granulats économiquement peu viables (Lorquet, entretien, 2026).

4.2.2.3 La forme réticulaire

La collaboration fondée sur le réseau est plus diffuse mais non moins réelle. En effet, même si elle repose sur des liens qui ne s'objectivent ni dans un texte réglementaire ni dans un contrat formel, la forme réticulaire est présente dans la filière pneus. L'entretien avec Lorquet permet

⁷ (Tous les rapports annuels. Chiffres explicites |Recytyre, s. d.)

⁸ Les **granulats d'infill** (ou de remplissage) sont des matériaux granulaires utilisés pour stabiliser, amortir et maintenir les fibres des terrains de sport ou aménagements paysagers.

ici de dépasser le niveau d'abstraction auquel cette forme risquait de rester cantonnée, en décrivant ses rouages opérationnels effectifs.

La première manifestation de cette forme réticulaire dans la filière pneus peut se trouver dans l'architecture même du marché des collecteurs, dont la conception reflète un choix délibéré de coordination par la confiance plutôt que par l'attribution hiérarchique d'un territoire. Ainsi, aucune exclusivité géographique n'est imposée : chaque point de vente est libre de choisir son collecteur homologué, et chaque collecteur est libre d'opérer partout en Belgique sous réserve d'accréditation. Ce dispositif, loin d'être le résultat mécanique de la réglementation, est le produit d'une architecture relationnelle construite avec le temps. Les relations entre collecteurs et points de collecte reposent davantage sur les certitudes d'un service adapté – la réputation, la régularité ou encore la confiance accumulée – que sur une obligation contractuelle contraignante (Lorquet, entretien, 2026). C'est précisément ce que Powell (1990) désigne comme la logique propre au réseau : une coordination fondée sur la réciprocité et sur l'attente d'une relation durable, irréductible à la fois à la contrainte hiérarchique et au calcul marchand instantané. Cette logique s'observe dans la relation quotidienne qu'entretient Recytyre avec le tissu relativement dense de points de collecte du territoire et avec les petits garagistes indépendants dont la motivation à participer au système repose plus sur une relation de confiance et d'habitude construite sur la durée que sur une contrainte directe. La technique de suivi du terrain déployée par Recytyre, qui envoie des agents vérifiant le respect du principe « 1 pour 1 » chez les points de vente, illustre cette hybridation caractéristique : ce qui ressemble à un mécanisme de contrôle hiérarchique fonctionne en pratique comme un outil de maintien de la relation, dont l'effet principal n'est pas la sanction du point de vente mais sa réintégration dans le système déclarant (Lorquet, entretien, 2026). Lorquet souligne que dans neuf cas sur dix, à l'issue de cette vérification, le garagiste qui achète à l'étranger sans contribution cesse cette pratique ou devient membre déclarant. Ce résultat ne s'explique pas par la contrainte, mais par la qualité de la relation entretenue.

Nous retrouvons cette même qualité dans les relations que LETEC entretient avec ses partenaires de rechapage et dont le maintien repose moins sur des obligations formelles que sur une logique de réciprocité et de fidélité opérationnelle construite avec le temps. C'est cette dimension que Köhler et al. (2022) associent à la notion de relational view : la valeur générée

par le partenariat de rechapage ne réside pas seulement dans la compétence technique du recapeur, mais dans les standards de qualité partagés et dans la prévisibilité des flux que cette relation produit au fil des cycles d'exploitation.

L'organisation que décrit Lorquet concrétise la logique réticulaire de Powell à travers une coopération tripartite (cabinet politique, administration, organismes de gestion) fondée sur la confiance mutuelle plutôt que sur le contrôle systématique : « Ce n'est qu'avec une bonne collaboration qu'on arrivera à de bons résultats » (Lorquet, 2026). La représentante du SPW le confirme : « C'est fort une question de personnes, ça dépend si les gens sont actifs, pro-actifs ou travaillent au minima » (Thomasset, entretien, 2026). Analytiquement, cette approche substitue l'autorité hiérarchique par une dynamique de réseau dont la qualité conditionne la performance globale. Le fonctionnement continu de la filière en Wallonie, malgré une convention échue et non renouvelée, en est l'illustration parfaite : dans les zones grises réglementaires, c'est la robustesse des relations et non la solidité du cadre juridique formel qui garantit la continuité opérationnelle du système.

Ces liens, informels et non contractualisés dans leur grande majorité, jouent un rôle de stabilisateur du système que ni le contrat ni la réglementation ne peuvent produire seuls. Ils absorbent ce que Moalem et Kerndrup (2023) désignent comme les incertitudes relationnelles irréductibles à toute formalisation : la confiance dans la continuité du partenaire, la prévisibilité informelle des comportements, et la capacité à négocier des ajustements hors cadre réglementaire lorsque les circonstances l'exigent.

4.2.3 Tensions structurelles et leviers opérationnels identifiés

En dépit de sa maturité relative, la filière pneus demeure traversée par des tensions réelles que les études consultées documentent de manière convergente et que les entretiens permettent de préciser, de nuancer, ou dans certains cas de corriger empiriquement.

La première tension concerne la dispersion géographique des points de collecte et l'incertitude sur les volumes entrants qu'elle contribue à engendrer. En zone rurale, la faible densité des flux ne justifie pas toujours, d'un point de vue économique, le déplacement d'un transporteur dédié. Cela peut conduire à des délais d'enlèvement prolongés et à une accumulation de stocks intermédiaires coûteuse. Ce problème de densité des flux, en particulier en zone rurale, est l'une des manifestations les plus directes de l'incertitude sur les volumes entrants décrite par

Bockholt et al. (2020). L'architecture du marché libre des collecteurs, avec l'absence d'attribution territoriale et avec la liberté de choix des points de vente, constitue une réponse partielle à cette tension : en permettant à plusieurs collecteurs de se concurrencer sur un même territoire, elle incite à l'optimisation des tournées, mais cela ne résout pas structurellement le problème de rentabilité dans les zones à faible densité (Lorquet, entretien, 2026).

La deuxième tension concerne la concurrence des acteurs de la filière de valorisation. Il s'agit d'un enjeu structurel de la viabilité économique du système. Lorquet introduit ici une correction analytique importante : contrairement à l'hypothèse d'un alignement spontané par les signaux de prix formulée dans le cadre théorique, toutes les filières de valorisation actuelles fonctionnent à perte nette du point de vue du collecteur, intégralement rémunéré par la contribution environnementale et non par la valeur marchande de la matière récupérée. Ashaier Laftah et Rahman (2025) montrent que les granulats de caoutchouc produits par broyage mécanique se heurtent à une acceptabilité variable selon les marchés applicatifs, et que leur substitution aux matériaux vierges dans les marchés publics reste insuffisamment encouragée par des prescriptions techniques contraignantes. Cette fragilité est appelée à s'accroître à l'horizon 2030, date à laquelle l'interdiction des granulats comme infill dispersé sur les terrains de sport en gazon synthétique supprimera l'un des débouchés les plus stables de la filière (Lorquet, entretien, 2026). L'absence de débouchés stables et valorisants pour certaines fractions de la matière récupérée fragilise l'équilibre économique de l'ensemble du système, confirmant l'analyse d'Uhrenholt et al. (2022) selon laquelle la stabilité des marchés aval est l'un des déterminants les plus puissants de la viabilité des programmes de reprise.

La troisième tension, documentée empiriquement, concerne la croissance du phénomène des passagers clandestins via le commerce transfrontalier et notamment via internet. En Wallonie, ce phénomène est aggravé par l'absence totale de sanction (Lorquet, entretien, 2026). Cette asymétrie dans l'application de la réglementation illustre une limite fondamentale de la forme hiérarchique : sa robustesse est strictement conditionnée par la capacité d'application de l'autorité publique. Là où celle-ci fait défaut, ni la contribution mutualisée ni le principe « 1 pour 1 » ne suffisent à garantir l'équité du système. Face à ce problème, deux réponses structurelles sont envisagées : d'une part, un dispositif de traçabilité par blockchain permettant de fermer la filière en amont dès le producteur, cependant, une telle solution est

actuellement inenvisageable en raison de la maturité technologique insuffisante des petits opérateurs ; d'autre part, un renversement du modèle de financement REP consistant à faire supporter la contribution par le dernier maillon, ici le point de collecte, plutôt que par le producteur, ce qui garantirait mécaniquement un « 1 pour 1 » parfait si cela ne se heurtait pas à la directive européenne qui impose que ce soit le producteur qui s'acquitte de la REP (Lorquet, entretien, 2026). Notons également l'absence de mécanisme financier contraignant, comme une caution par exemple, sur le flux de retour dans la filière pneus (Coppens, entretien, 2026). Cela signifie que, si la valeur résiduelle des carcasses devient nulle ou négative, la motivation à organiser un retour structuré peut s'effacer : le système repose entièrement sur la REP imposée et la persistance de l'alignement d'intérêts entre LETEC et ses partenaires. C'est donc une force mais aussi une fragilité.

Enfin, la mise en œuvre de ce cycle multi-vies dans la filière pneus est rendue possible par une condition que les articles consultés identifient comme déterminante pour tout système de reprise performant : la standardisation du produit. Le pneumatique est un produit homogène, dont la collecte et le traitement sont largement automatisables, précisément parce que ses caractéristiques physiques sont prévisibles et stables d'un opérateur à l'autre (Lorquet, entretien, 2026 ; Coppens, entretien, 2025). Cependant, la mise en œuvre de ce cycle multi-vies se heurte au retard préoccupant de l'éco-conception. Si les manufacturiers font la promotion de leur production à base de produit recyclé, les questions de la dégradation de la qualité après plusieurs cycles et de l'absence de traçabilité des composants en fin de vie restent sans réponse. Pour Recytyre, cette lacune est structurelle : l'obligation REP s'arrête aux distributeurs nationaux sans pouvoir remonter jusqu'aux maisons-mères industrielles où se décide la formulation chimique. Ce verrou technique et institutionnel montre que, sans éco-conception en amont, la viabilité et la circularité à long terme de la filière restent limitées.

4.2.4 Synthèse : la filière pneus comme système de reprise

La filière pneus illustre comment la viabilité d'un système de reprise résulte non d'une forme de coordination unique, mais de l'articulation de trois logiques complémentaires dont aucune ne suffit isolément. La hiérarchie garantit la masse critique des flux et résout le problème du passager clandestin — mais sa robustesse est strictement conditionnée par la capacité d'application de l'autorité publique. Le marché optimise l'allocation entre filières de valorisation — mais l'entretien avec Lorquet oblige à nuancer l'hypothèse d'un alignement

spontané par les signaux de prix : c'est l'architecture financière de la contribution, et non la valeur marchande des matières secondaires, qui maintient aujourd'hui le système en équilibre. Les liens réticulaires, enfin, absorbent ce que ni le contrat ni la réglementation ne peuvent produire — comme l'illustre la continuité opérationnelle de Recytyre en dépit de l'échéance non renouvelée de la convention wallonne. Pour LETEC, l'intégration dans ce cadre tripartite est acquise et constitue le système de reprise le plus opérationnellement mature de l'opérateur.

Cette articulation permet de formuler une première réponse empirique. Interrogé directement sur ce qui distingue les systèmes de reprise viables de ceux qui échouent, Lorquet répond sans ambiguïté : « Il faut faire confiance aux acteurs » (Lorquet, entretien, 2026). L'alignement des incitations économiques et la qualité des relations inter-organisationnelles s'affirment ici comme des prédictors plus robustes de la viabilité que la seule contrainte réglementaire.

4.3 Cas 2 : La filière batteries de véhicules électriques

4.3.1 *Un système en construction sous double impulsion réglementaire*

Si la filière pneus offre l'image d'un système de reprise arrivé à maturité, la filière batteries de véhicules électriques se présente comme son miroir inverse : un système en construction, porté par une impulsion réglementaire exceptionnellement forte mais confronté à des incertitudes techniques, économiques et organisationnelles sans équivalent dans les autres filières de reprise. En Wallonie, cette transition s'inscrit dans un double contexte : d'une part, l'accélération de l'électrification des flottes de transport, notamment marquée chez LETEC avec l'acquisition du premier bus 100 % électrique en 2025, ce qui constitue un signal institutionnel fort (LETEC, 2025) ; et d'autre part, la montée en charge d'une réglementation européenne qui redessine en profondeur l'architecture des responsabilités de la filière.

Le Règlement (UE) 2023/1542 relatif aux batteries et aux déchets de batteries constitue le pivot réglementaire de cette transition⁹. Il introduit des objectifs progressifs et contraignants de collecte et de récupération des matières, des exigences de passeport numérique pour chaque batterie mise sur le marché européen, ainsi qu'un renforcement substantiel du régime

⁹ Au niveau wallon, ce règlement est relayé par le décret Déchets du 9 mars 2023, qui en fixe le cadre transversal, tandis qu'un accord de coopération interrégional imminent va coordonner les obligations à l'échelle belge. Cet accord doit encore donner lieu à des accords d'exécution spécifiques pour les batteries de véhicules électriques (Thomasset, entretien, 2026).

de responsabilité élargie du producteur (REP) pour l'ensemble des catégories de batteries, y compris pour les batteries industrielles de grande capacité issues des véhicules électriques (Règlement (UE) 2023/1542, 2023). Van den Steen, représentant de Bebat et de son entité technique Sortbat, confirme que ce règlement a profondément restructuré l'action de l'éco-organisme en faisant passer la nomenclature réglementaire de trois à cinq catégories juridiques distinctes : batteries portables, batteries SLI¹⁰, batteries EV¹¹ batteries LMT¹² et batteries industrielles fixes (Van den Steen, entretien, 2025). Seika et Kubli (2024) soulignent que ce règlement ne constitue pas seulement une contrainte supplémentaire pour les acteurs de la filière : en fixant des objectifs de récupération de la matière assortis de délais progressifs, il crée également une demande institutionnellement garantie pour les services de collecte et de recyclage, transformant ainsi une externalité environnementale diffuse en un signal économique tangible pour les investisseurs.

En Belgique, la mise en œuvre de cette réglementation repose sur deux organismes agréés aux mandats complémentaires (SPW, s. d.). Bebat, asbl fondée en 1995 dans le cadre de la REP des batteries portables, a progressivement étendu son périmètre aux batteries de grande taille. Ce large périmètre a mené au rapprochement de Bebat de partenaires très hétérogènes. C'est donc au travers d'une approche de services sur mesure et d'un réseau européen dédié, Reneos, que Bebat fédère les acteurs de la collecte et du recyclage à l'échelle continentale (Bebat, s. d.). Febelauto, de son côté, assure spécifiquement la gestion de la REP pour les batteries de véhicules légers et électriques en Belgique, en coordonnant les relations entre constructeurs automobiles, gestionnaires de fin de vie et recycleurs agréés (SPW, s. d.). Van den Steen nous apprend également qu'un compromis entre les instituteurs de la REP et les fédérations sectorielles – qui représentent les importateurs et les producteurs de véhicules – a fixé le poids de 25kg comme seuil¹³ : pour les batteries en dessous de ce seuil, le modèle d'éco-cotisation classique s'applique ; au-delà de 25kg, le producteur acquitte une cotisation administrative symbolique à l'enregistrement¹⁴, et l'obligation légale de recycler se matérialise

¹⁰ Starting, Lighting, Ignition

¹¹ Electric Vehicle, traction des véhicules électriques)

¹² Light Means of Transport, dédiées à la micromobilité

¹³ Selon Thomasset (2026), ce seuil a été proposé par Bebat sans coordination préalable avec le SPW, afin d'éviter la gestion administrativement lourde d'une tarification au gramme sur des modèles très divers. Cette divergence s'explique par une logique de simplification portée par l'éco-organisme, elle-même soumise au SPW.

¹⁴ *Cotisations administratives.* (s. d.). Bebat. Consulté 1 juin 2026, à l'adresse <https://website-backend.prod.bebat.hosted-temp.com/fr/produire-importer/cotisations/administrative>

en une garantie de traitement contractualisée, soit avec Bebat, soit avec un opérateur privé concurrent. Le cout de ce traitement est facturé de manière individualisée, à partir des couts réels et au cas par cas, lorsque la batterie arrive effectivement en fin de vie.

Cette dualité institutionnelle reflète la complexité des flux : les batteries de moins de 25kg obéissent à une logique de collecte diffuse et de volumes élevés sous forme de régime hiérarchisé par la REP tandis que les batteries plus importantes imposent une logique de gestion unitaire, de traçabilité renforcée et de compétences techniques spécialisées qui induisent une logique marchande dans ce secteur.

4.3.2 La complexité des décisions d'orientation en fin de vie

La singularité de la filière des batteries de véhicules électriques tient moins à la difficulté de collecter les batteries en fin de vie qu'à la complexité des décisions d'orientation qui s'imposent une fois la batterie récupérée. Cette complexité procède de deux sources interdépendantes : la multiplicité des chimies et l'hétérogénéité des états de santé à la restitution.

4.3.2.1 La multiplicité des chimies : réalité économique du recyclage

La multiplicité des chimies – entre autres lithium-fer-phosphate (LFP), nickel-manganèse-cobalt (NMC) ou nickel-cobalt-aluminium (NCA) – implique que chaque type de batterie requiert un procédé de traitement distinct, que ce soit par voie hydrométallurgique ou pyrométallurgique, et induit des rendements de récupération matière et des bilans économiques très différents selon les fractions visées (Nie et al., 2023).

Les batteries NMC (nickel-manganèse-cobalt), principalement utilisées dans les voitures électriques des particuliers, contiennent des métaux précieux dont la valeur marchande est élevée et cotée sur les marchés mondiaux. Lorsqu'un constructeur automobile garantit à un recycleur un flux massif, stable et homogène, ce recycleur peut automatiser sa ligne de traitement et atteindre des rendements qui rendent la filière non seulement viable, mais rémunératrice : la valeur des métaux récupérés dépasse alors le cout logistique et technique, si bien que le recycleur peut même rémunérer le constructeur par batterie restituée (Van den Steen, entretien, 2025). Ce modèle correspond, dans les termes du cadre théorique, à une collaboration marchande stabilisée par l'alignement spontané des incitations économiques.

La situation est radicalement différente pour les batteries LFP (lithium-fer-phosphate), qui constituent la technologie de prédilection des opérateurs de transport public comme LETEC et ses homologues flamand et bruxellois De Lijn et la STIB, en raison du coût d'acquisition significativement inférieur des batteries produites à partir de cette technologie. Cette chimie présente une valeur résiduelle quasi nulle en fin de vie : ne contenant ni nickel ni cobalt, ses seules matières récupérables sont le fer et le phosphate de fer, dont le coût d'extraction dépasse la valeur marchande. La situation se voit aggravée par la fragmentation des flux : contrairement aux constructeurs automobiles capables de garantir des lots homogènes et massifs, les opérateurs des transports publics envoient à Bebat un flux composite de petites quantités issues de marques et de modèles différents étalés sur différentes années d'acquisition, rendant exorbitant le coût des analyses chimiques nécessaires à l'évaluation de chaque lot avant traitement. Le modèle économique est totalement inversé : ce sont les opérateurs publics et l'éco-organisme qui doivent alors rémunérer le recycleur pour qu'il accepte de prendre en charge les batteries (Van den Steen, entretien, 2025). Ce constat, anticipé par Mikus et al. (2025) dans leur évaluation de la circularité en fin de vie, se vérifie pleinement pour les batteries de bus. En effet, leur étude économique et environnementale montre que le choix de la seconde vie dépend d'arbitrages complexes. Il faut concilier les coûts de diagnostic, la valeur des matières récupérables, l'empreinte des procédés et la maturité du marché. Ces contraintes accentuent la dépendance à une gouvernance hiérarchique et fragilisent la logique marchande.

4.3.2.2 Réemployer avant de recycler

Du côté des équipes de LETEC, la réflexion sur la seconde vie des batteries est encore émergente. Martin reconnaît que, même si certains constructeurs développent d'ores et déjà des systèmes de réhabilitation des batteries et des logiques d'usage domestique après la première vie des batteries de traction, le sujet demeure encore peu structuré au niveau opérationnel au sein de LETEC (Martin, entretien, 2026).

L'état de santé de la batterie (state of health, SOH) constitue la variable pivot de décision d'orientation en fin de vie. Une batterie ayant conservé plus de 80 % de sa capacité initiale est généralement éligible à une réutilisation en seconde vie — notamment dans des applications de stockage stationnaire d'énergie moins exigeantes sur le plan de la densité énergétique, par exemple dans le secteur agricole où les exploitants disposent de larges surfaces équipées en

panneaux photovoltaïques — tandis qu’une batterie dégradée en deçà de ce seuil doit être orientée vers le recyclage (Seika & Kubli, 2024). Or, la mesure fiable du SOH requiert des équipements de diagnostic spécialisés et un temps d’intervention non négligeable, ce qui génère des coûts opérationnels que les acteurs de la collecte ne sont pas toujours en mesure d’absorber. Par ailleurs, la demande en batteries de « seconde main » n’est pas encore assez développée (Van den Steen, entretien, 2025). Le prix de ces batteries recyclées devra se négocier entre la nécessité de trouver un prix suffisamment rentable pour le « récupérateur » et celle de maintenir un prix acceptable pour l’acheteur, un compromis difficile à trouver (Neubauer et al., 2012). McGrath et al. (2022), dans leur étude empirique sur l’exploitation de bus électriques à batteries au Royaume-Uni, documentent des profils de dégradation variables selon les conditions d’exploitation. Parmi ces conditions, l’on retrouve l’intensité d’usage, les températures extérieures, les stratégies de recharge ou encore la manière de conduire. Par exemple, LETEC déplore le manque de conscience à l’éco-conduite chez certains opérateurs (Benoni, entretien, 2026). En effet, l’éco-conduite, en plus de renforcer le confort des passagers et réduire de la consommation et l’usure du matériel (moteur, embrayage, freins et pneumatiques), présente l’avantage de préserver davantage les batteries (Benoni, entretien, 2026). Ces nombreuses conditions rendent difficile toute normalisation des procédures de diagnostic sur la base des seuls paramètres nominaux du fabricant. Cette hétérogénéité des états à la restitution illustre, dans le contexte spécifique des batteries d’autobus électriques, la tension d’asymétrie d’information identifiée dans le cadre théorique comme un des principaux obstacles à la performance des systèmes de reprise (McGrath et al., 2022). Nie et al. (2023), dans leur revue de la littérature sur la réutilisation en cascade des batteries de puissance, montrent que la performance du système ne peut être maximisée que si les données techniques sur l’état des batteries circulent effectivement entre les différents maillons de la chaîne qui va du producteur vers le collecteur en passant par l’utilisateur, puis du collecteur vers le recycleur ou le réaffecteur. En l’absence de tels flux d’informations, des batteries encore valorisables en seconde vie se retrouvent systématiquement orientées vers le recyclage, avec une perte de valeur incorporée significative.

C’est précisément pour remédier à ces lacunes que le Règlement (UE) 2023/1542 introduit l’obligation d’un passeport numérique de batterie. En centralisant les données de fabrication,

d'usage et de maintenance, ce mécanisme vise à réduire structurellement l'asymétrie d'information qui fragilise les décisions d'orientation en fin de vie.

4.3.3 Les formes de collaboration requises et émergentes

La gouvernance de la filière batteries de véhicules électriques mobilise les trois formes de coordination identifiées dans le cadre théorique, mais avec des intensités et des configurations très différentes de celles observées dans la filière pneus. L'architecture de collaboration est également plus complexe, dans la mesure où aucune forme de coordination n'est suffisante à elle seule pour assurer la viabilité du système.

4.3.3.1 La forme hiérarchique

Dans la filière batteries de véhicules électriques, la forme hiérarchique est à la fois plus présente et plus contraignante. Le Règlement (UE) 2023/1542 constitue une forme d'autorité supranationale qui s'impose à l'ensemble des acteurs sans leur laisser de marge de manœuvre, à la différence de la REP pneus qui s'appuie sur un dispositif principalement intégralement régional, en l'absence de toute réglementation européenne spécifique aux pneumatiques (Thomasset, entretien, 2026). Les éco-organismes agréés pour la filière batteries en Wallonie exercent une fonction de gouvernance déléguée qui structure les obligations de collecte et de reporting des producteurs, imposant une coordination collective là où la convergence spontanée d'intérêts serait insuffisante. L'exemple des batteries LFP le démontre. La hiérarchie joue ici un double rôle : elle contraint les comportements des acteurs qui seraient tentés de se soustraire à leurs obligations, et elle crée les conditions minimales d'un système de reprise en garantissant des flux prévisibles aux opérateurs de traitement. Bhuyan et al. (2022), dans leur évaluation de l'industrie du recyclage des batteries lithium-ion en économie émergente, confirment que le cadre réglementaire constitue le déterminant le plus puissant de la structuration des filières, bien plus que les signaux de prix ou les initiatives volontaires des acteurs privés, du moins dans les phases d'émergence du système.

Toutefois, l'absence de contrôle effectif en Wallonie, documentée par Van den Steen, rappelle que, lorsque les mécanismes de sanction sont inopérants, le cadre réglementaire peut mettre en mouvement un système de reprise, mais ne sait pas en garantir la performance opérationnelle (Van den Steen, entretien, 2025). Cette fragilité de contrôle de la filière semble toutefois concerner davantage les flux diffus de piles et batteries portables que le segment des

batteries de véhicules lourds. Thomasset (2026) estime que le marché des batteries de véhicules électriques est plus hermétique : les constructeurs professionnels sont identifiés et il est rare que les utilisateurs fassent recours à un garagiste non agréé. Cela sécurise la filière. Cependant, cette sécurisation constitue également une limite que Moalem et Kerndrup (2023) avaient précisément identifiée à propos des opérateurs publics de gestion des déchets. En effet, dans ce cas précis des batteries, le SPW se retrouve confronté aux marges étroites et limites imposées par son propre cadre réglementaire.

4.3.3.2 La forme marchande

La forme marchande est, dans cette filière, à la fois plus nécessaire et plus fragile que dans la filière pneu étudiée précédemment. Pour les batteries NMC ou NCA, la valeur des matières premières critiques récupérables rares telles que le lithium, le cobalt, le nickel ou encore le manganèse représente un potentiel économique considérable qui justifie, en théorie, un investissement privé substantiel dans les capacités de traitement lorsque cela est possible. Attention cependant, cette valeur est volatile et dépend de marchés mondiaux qui sont très sensibles aux dynamiques géopolitiques et aux décisions d'acteurs extérieurs à la filière wallonne (Mikus et al., 2025).

Pour les batteries de plus de 25kg, la coordination marchande prend la forme de contrats individualisés de prestation de services facturés à partir du cout réel de chaque intervention. Dans le cas des batteries LFP des bus, dont la valeur résiduelle est quasi nulle, ce modèle de coordination implique un cout net pour l'opérateur. Ainsi, par exemple, LETEC et Bebat doivent financer le traitement de ces batteries sans en tirer un revenu. Ce renversement du modèle économique soulève une question de répartition des responsabilités que le cadre réglementaire actuel ne résout pas : l'obligation légale de traitement incombe au producteur de la batterie, mais le cout effectif est supporté par l'opérateur public de transport et par l'éco-organisme, qui se retrouvent donc à financer la gestion d'une externalité dont ils ne sont pas à l'origine. Cette asymétrie entre responsabilité juridique et charge financière réelle constitue précisément le type de déséquilibre que Park et al. (2018) et Atasu et al. (2009) identifient comme l'un des facteurs les plus déstabilisants pour la pérennité des systèmes de reprise : lorsque ceux qui supportent les couts ne sont pas ceux qui ont le levier pour agir sur la conception du produit en amont, la REP perd une partie de son potentiel incitatif. La stabilité de ces arrangements marchands est aussi fragilisée par la volatilité des cours des métaux

critiques qui contraignent à une réévaluation systématique des contrats de reprise. Ce niveau d'incertitude élève considérablement les coûts de transaction décrits par Alagheband et al. (2011) et génère une instabilité chronique que ni les acteurs de la filière ni les opérateurs de transport public ne peuvent absorber seuls.

Bebat illustre une tentative de stabilisation de ce maillon marchand en se positionnant comme intermédiaire fiable entre producteurs, collecteurs et recycleurs. En s'appuyant sur le réseau Reneos à l'échelle européenne, il mutualise les flux de manière à atteindre des volumes suffisants pour intéresser des recycleurs industriels de premier rang et réduire la dépendance à un seul débouché national (Bebat, s. d.).

4.3.3.3 La forme réticulaire

Dans cette filière, la forme réticulaire prend plusieurs aspects. Une des premières formes concerne le partage d'informations entre le gestionnaire de flotte, le constructeur et le recycleur. Dans la configuration d'un opérateur public de transport comme LETEC, l'existence d'une relation de longue durée avec les constructeurs des bus et les fournisseurs de batteries peut ouvrir la voie à une forme de collaboration réticulaire que les cadres contractuels seuls ne peuvent produire. En effet, la transmission volontaire des données d'exploitation et de maintenance, qui conditionne directement la qualité des décisions de fin de vie, relève d'une logique de réciprocité et de confiance plus que d'une obligation formelle (Nie et al., 2023). Cependant, dans le cas de LETEC, Martin nous explique que cette relation n'existe pas encore et est difficile à construire voire à imaginer à l'heure actuelle. Pourtant, plus largement, cette forme réticulaire répond également à la tension identifiée par Perotti et al. (2025) à propos de la nécessité d'avoir un orchestrateur capable d'aligner des parties prenantes aux temporalités et aux intérêts différents, sans faire basculer la collaboration vers une logique purement hiérarchique. Une telle approche s'incarne principalement dans la plateforme RENEOS, cofondée par Bebat pour répondre à la demande des constructeurs automobiles qui gèrent leurs flottes à l'échelle européenne. Cette infrastructure numérique de gestion inter-opérationnelle et transfrontalière fait automatiquement basculer les ordres de collecte vers l'éco-organisme national compétent selon la localisation géographique de la batterie, garantissant ainsi une traçabilité unifiée sans nécessiter l'intervention d'un éco-organisme supranational.

4.3.4 *Freins structurels et enjeux prospectifs*

La filière batteries de véhicules électriques est confrontée à un paradoxe temporel qui en constitue le frein structurel le plus délicat à gérer : les volumes de batteries issus de l'électrification des flottes lourdes ne seront significativement en fin de vie qu'à l'horizon 2030-2035¹⁵, compte tenu des durées de vie typiques des batteries de traction dans les conditions d'exploitation intensive des véhicules de transport en commun (McGrath et al., 2022). Ce décalage entre l'urgence réglementaire d'organiser la filière dès aujourd'hui et l'absence de volumes opérationnels suffisants pour rentabiliser des investissements lourds en infrastructures de traitement génère une incertitude structurelle que ni la réglementation ni les signaux de marché ne peuvent résorber seuls. Bhuyan et al. (2022) soulignent, dans leur analyse par critères multiples appliquée à un contexte multi parties prenantes, que cette incertitude sur les volumes futurs est le principal obstacle déclaré par les recycleurs à l'engagement d'investissements de capacité. Cette dynamique de cercle vicieux illustre précisément la limite d'une gouvernance purement marchande dans les phases d'amorçage d'une filière, et justifie le recours à des instruments hybrides combinant obligation réglementaire, incitation financière et animation réticulaire.

Au-delà de la question purement économique de la valeur résiduelle, plusieurs obstacles techniques et informationnels menacent la performance opérationnelle du système.

- Le premier est l'impossibilité pratique d'automatiser le démantèlement des batteries. Van den Steen souligne que les projets de robotisation des lignes de désassemblage échouent face à l'absence totale d'homogénéité des produits : l'architecture des packs de batterie varie radicalement selon les marques et les modèles, et au sein d'une même marque de bus, le design et la visserie changent tous les deux ans, (information confirmée en entretien par Martin) ce qui rend le coût en main-d'œuvre du démantèlement manuel incompatible avec toute rentabilité de la filière (Van den Steen, entretien, 2025). Cette hétérogénéité contraste avec la standardisation de la conception qui caractérisait la filière pneus et qui la rendait si fluide. La batterie de traction est un objet profondément singulier, la diversité de ses architectures reflète la

¹⁵ Ce paradoxe est même appelé à se complexifier car la réglementation sur les véhicules hors d'usage ne cible aujourd'hui que les voitures de particuliers et les utilitaires légers, sans inclure les bus. Un futur règlement européen devrait étendre cette responsabilité élargie aux constructeurs de bus, mais les modalités précises ne pas encore connues, ni arrêtées (Thomasset, entretien, 2026).

compétition technologique encore ouverte entre des fabricants qui visent la performance plutôt qu'une fin de vie aisée.

- Le deuxième frein concerne la mise en œuvre du passeport numérique de batterie prévu par le Règlement (UE) 2023/1542. Son déploiement se heurte à la protection de la propriété intellectuelle des fabricants de cellules : pour ne pas divulguer leurs formules chimiques à la concurrence, les constructeurs rédigent des fiches de données de sécurité particulièrement évasives (exemple : entre 3% et 25% de cobalt). Cela empêche les recycleurs d'anticiper précisément la valeur et la dangerosité d'un lot avant ouverture (Van den Steen, entretien, 2026). Cette tension entre la transparence informationnelle requise par le système de reprise et la protection de la propriété intellectuelle illustre concrètement l'asymétrie d'information identifiée dans le cadre théorique comme l'un des obstacles structurels les plus persistants à la performance des systèmes de tri et de (re-)valorisation (Uhrenholt et al., 2022 ; Seika & Kubli, 2024).
- Une innovation technologique potentiellement novatrice mérite enfin d'être signalée : le Direct Recycling, ou recyclage direct. Ce procédé mécanique consiste à sectionner précisément le sommet de la batterie, à en extraire les électrodes intactes, à les laver et à les réinjecter directement dans les lignes de production de nouvelles cellules. Ce processus évite la destruction chimique et permettrait d'atteindre des taux de valorisation matière suffisants pour rendre viable le recyclage des batteries LFP, dont l'impasse économique actuelle constitue le principal obstacle structurel pour des opérateurs comme LETEC (Van den Steen, entretien, 2025). Si cette innovation se concrétise industriellement, elle pourrait modifier substantiellement les termes de la collaboration entre gestionnaires de flottes électriques et recycleurs. En transformant une relation dans laquelle l'opérateur public paie pour se débarrasser d'un déchet en une relation dans laquelle la batterie LFP redevient une ressource dotée d'une valeur marchande positive, cette innovation crée les conditions d'un alignement des incitations que ni la réglementation ni les contrats de service individualisés ne peuvent aujourd'hui produire.

5. Conclusion analytique

La question qui a guidé ce mémoire portait sur la manière dont différentes formes de collaboration entre acteurs économiques et institutionnels facilitent la mise en œuvre opérationnelle de l'économie circulaire à travers des systèmes de reprise. L'examen comparé des deux filières chez LETEC permet d'apporter une réponse qui dépasse le simple constat de coexistence des trois formes de coordination théorisées par Powell (1990), pour proposer une lecture de leur articulation dans le temps.

L'analyse de terrain confirme que la forme hiérarchique ne suffit pas à elle seule à garantir la performance d'un système de reprise : elle en constitue la condition d'amorçage, non la condition de pérennité. C'est elle qui crée la masse critique des flux, résout le problème du passager clandestin et impose la mutualisation des coûts là où la convergence spontanée d'intérêts serait insuffisante. Mais une fois le système enclenché, c'est l'alignement économique entre les acteurs, ou à l'inverse son absence, qui détermine s'il se maintient de manière autonome ou s'il demeure structurellement dépendant de la contrainte réglementaire pour perdurer.

La filière pneus illustre le premier scénario. Bien que la convention environnementale wallonne soit aujourd'hui échue et non renouvelée, le système continue de fonctionner : la valeur résiduelle positive des carcasses, conjuguée à l'architecture financière de la contribution environnementale, maintient un alignement d'intérêts suffisant pour que les parties prenantes de la filière poursuivent leur collaboration indépendamment de la solidité du cadre juridique formel. La forme réticulaire et marchande prennent alors le relais de la hiérarchie défaillante : la résorption progressive du phénomène des passagers clandestins repose moins sur la sanction que sur la combinaison d'une relation de confiance construite par les agents de terrain et d'un intérêt économique retrouvé une fois le garagiste réintégré dans le système déclarant. La filière batteries LFP illustre le scénario inverse : la hiérarchie réglementaire y est plus contraignante que dans le cas des pneus, mais l'absence de valeur résiduelle positive empêche tout relais par l'alignement économique. Le système ne tient que parce que la contrainte réglementaire et la relation tripartite LETEC-Bebat-recycleur compensent, à perte, ce que le marché ne peut produire spontanément. Rien dans la configuration actuelle ne garantit que cette compensation perdurerait si l'effort financier venait à excéder ce que les acteurs publics sont prêts à absorber.

Cette divergence trouve sa source dans une condition située plus en amont encore, identifiée comme condition dans le cadre théorique et confirmée empiriquement dans les deux cas : la conception du produit. Le pneumatique, objet homogène et prévisible, rend possibles l'automatisation de la collecte, la mutualisation des flux et, *in fine*, l'émergence d'une valeur résiduelle exploitable. La batterie de traction, à l'inverse, est un objet dont la diversité des architectures empêche l'automatisation du démantèlement et la diminution du coût d'extraction de la valeur. La conception n'est donc pas une condition parmi d'autres : elle conditionne la possibilité même que l'alignement économique se substitue un jour à la contrainte hiérarchique. Sans elle, aucune forme de collaboration, même la plus sophistiquée, ne peut transformer une charge en ressource.

Ce résultat invite à nuancer la portée de la REP comme instrument de politique circulaire. La REP agit différemment selon le stade de maturité de la filière qu'elle encadre. Dans les phases d'amorçage, elle est un déclencheur indispensable, comme le confirment Bhuyan et al. (2022) pour les filières émergentes. Mais elle ne devient un facteur constitutif d'une performance à long terme que si les conditions matérielles du produit lui permettent de produire, à terme, une dynamique de marché autonome. Le cas des pièces LETEC suggère ainsi que les trois formes de coordination de Powell ne sont pas substituables entre elles de façon stable, mais sont complémentaires de façon conditionnelle : leur articulation efficace dépend de la valeur résiduelle du flux considéré — elle-même déterminée dès la conception par le degré de standardisation du produit en amont.

Pour LETEC, cette lecture a une implication concrète. Elle suggère que les efforts de gouvernance interne — c'est-à-dire renforcer les relations avec les constructeurs, professionnaliser le suivi des batteries, anticiper les volumes futurs, etc. —, aussi bien menés soient-ils, ne suffiront pas à eux seuls à transformer la filière batteries en système autonome, tant que la valeur résiduelle des batteries de type LFP reste structurellement négative. L'enjeu prioritaire de LETEC n'est donc pas d'investir davantage dans la coordination, mais de peser, par sa position d'acheteur public important de flottes électriques, sur les choix de conception des constructeurs et sur le suivi des solutions de recyclage direct qui sont en cours de développement. À court terme, cela implique de documenter systématiquement l'état de santé des batteries en fin de vie et de l'intégrer dans les cahiers des charges d'acquisition futurs, de manière à constituer progressivement les données nécessaires à leur éventuelle

seconde vie. C'est par ce biais, plus que par l'intensification de la collaboration en tant que telle, que LETEC peut contribuer à faire advenir les conditions de marché nécessaires à la mise en place d'un modèle économique linéaire qui font aujourd'hui défaut. De cette manière, la filière des batteries sera en mesure de se doter d'une trajectoire plus stable, à l'exemple de la filière pneus.

6. Limites de l'étude et pistes de recherches futures

6.1 Limites de l'étude

Ce travail présente plusieurs limites qu'il convient de mentionner pour en circonscrire la portée.

La première de ces limites est la restriction du périmètre empirique. Seules deux filières ont été retenues dans le seul segment des véhicules poids lourds exploités par LETEC. D'autres flux pertinents ont été écartés afin de garantir une certaine profondeur de l'analyse. Une extension à d'autres types de matières permettrait de tester si les variables causales identifiées conservent leur pouvoir explicatif dans des configurations différentes.

La deuxième limite est géographique. L'analyse s'ancre dans le contexte wallon, belge et européen. Les dynamiques institutionnelles propres à la Wallonie, comme les conventions environnementales, l'asymétrie entre régions linguistiques, le poids des opérateurs publics, etc., limitent la transposabilité directe des résultats à d'autres contextes.

La troisième limite est temporelle. Les entretiens ont été conduits dans une fenêtre courte, dans un secteur en transformation rapide. Certaines observations sur la filière batteries reposent sur des configurations encore embryonnaires, dont la vérification empirique ne sera possible qu'à l'horizon 2030-2035.

Enfin, cette recherche partage les limites inhérentes à toute démarche qualitative fondée sur des entretiens : disponibilité et volonté des interlocuteurs, formulation des questions, dynamiques propres à chaque échange. Les résultats reflètent nécessairement une reconstruction partielle de la réalité des filières étudiées.

6.2 Pistes de recherche futures

Plusieurs directions méritent d'être explorées pour prolonger ce travail. Une première piste consisterait à élargir le périmètre géographique en comparant les configurations de collaboration observées en Wallonie avec celles d'autres régions européennes ou de contextes extra-européens, afin d'évaluer dans quelle mesure les conclusions tiennent au-delà d'un cadre institutionnel particulier.

Une deuxième piste porterait sur l'extension à d'autres secteurs ou à d'autres types d'opérateurs. Confronter les résultats obtenus chez un opérateur public comme LETEC à ceux

d'un opérateur privé soumis à des contraintes de rentabilité différentes permettrait par exemple de tester si la logique d'alignement économique identifiée joue de la même manière lorsque l'acteur central n'est pas porté par une mission de service public.

Une troisième piste, plus prospective, concernerait la dimension législative. Ce mémoire traite la réglementation comme une donnée contextuelle sans analyser les mécanismes par lesquels elle se construit, se négocie et évolue. Une approche centrée sur la fabrique de la REP, les rapports de force entre lobbies industriels, éco-organismes et pouvoirs publics, ou encore les effets concrets des seuils réglementaires sur les comportements des acteurs, ouvrirait une lecture complémentaire et nécessaire des systèmes de reprise.

7. Bibliographie

- Alaghehband, F. K., Rivard, S., Wu, S., & Goyette, S. (2011). An assessment of the use of Transaction Cost Theory in information technology outsourcing. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(2), 125-138. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.04.003>
- Alessandrini, A., Cignini, F., Ortenzi, F., Pede, G., & Stam, D. (2017). Advantages of retrofitting old electric buses and minibuses. *Energy Procedia*, ATI 2017 - 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, 126, 995-1002. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.260>
- Ally, J., & Pryor, T. (2016). Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems : An Australian case study. *Energy Policy*, 94, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.039>
- Ashaier Laftah, W., & Rahman, W. A. W. A. (2025). A comprehensive review of tire recycling technologies and applications. *Materials Advances*, 6(15), 4992-5010. <https://doi.org/10.1039/D5MA00463B>
- Atasu, A., Van Wassenhove, L. N., & Sarvary, M. (2009). Efficient Take-Back Legislation. *Production and Operations Management*, 18(3), 243-258. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01004.x>
- Bhuyan, A., Tripathy, A., Padhy, R. K., & Gautam, A. (2022). Evaluating the lithium-ion battery recycling industry in an emerging economy : A multi-stakeholder and multi-criteria decision-making approach. *Journal of Cleaner Production*, 331, 130007. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130007>
- Bockholt, M. T., Hemdrup Kristensen, J., Colli, M., Meulengracht Jensen, P., & Vejrum Wæhrens, B. (2020). Exploring factors affecting the financial performance of end-of-life take-back program in a discrete manufacturing context. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120916. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120916>
- Brambilla, P. C., & Girardi, P. (2025). Life Cycle Assessment of Urban Electric Bus : An Application in Italy. *Sustainability*, 17(21), 9786. <https://doi.org/10.3390/su17219786>
- Casteels, F. (2025, mai 21). Le premier bus 100 % électrique du TEC : Un cap décisif vers une mobilité plus durable ! LETEC. <https://presse.groupe.letec.be/le-premier-bus-100--electrique-du-tec--un-cap-decisif-vers-une-mobilite-plus-durable>
- Cotisations administratives. (s. d.). Bebat. Consulté 1 juin 2026, à l'adresse <https://website-backend.prod.bebat.hosted-temp.com/fr/produire-importer/cotisations/administrative>
- Dabic-Miletic, S., Simic, V., & Karagoz, S. (2021). End-of-life tire management : A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(48), 68053-68070. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16263-6>
- Debo, L. G., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Tire recovery : The RetreadCo case. In S. D. P. Flapper, J. A. E. E. Van Nunen, & L. N. Van Wassenhove (Éds.), *Managing Closed-Loop Supply Chains* (p. 119-128). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27251-8_11
- Domenech, T., & Davies, M. (2011). Structure and morphology of industrial symbiosis networks : The case of Kalundborg. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 4th & 5th UK Social Networks Conferences, 10, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.01.011>

- Doyen, J. (2023). Gestion durable des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) : Perceptions des consommateurs à l'égard des appareils électroniques revalorisés. <https://thesis.dial.uclouvain.be/entities/masterthesis/ab9eaaac-5142-4bd4-8222-48522d53c109>
- European Commission. (2023). 2030 zero-emissions target for new buses and trucks [Text]. European Commission - European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_762
- Flémal, J. (2021). Dashboard et outil d'aide à la décision pour la Supply Chain du TEC Liège-Verviers. <https://luck.synhera.be/handle/123456789/2040>
- García, A., Monsalve-Serrano, J., Lago Sari, R., & Tripathi, S. (2022). Life cycle CO₂ footprint reduction comparison of hybrid and electric buses for bus transit networks. *Applied Energy*, 308, 118354. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118354>
- Hardis Supply Chain. (s. d.). Reverse Logistics : Definition, Challenges & ROI. Hardis Supply Chain. Consulté 5 juin 2026, à l'adresse <https://www.hardis-supplychain.com/en/blog/reverse-logistics-definition-management-and-advantages/>
- Jakub, S., Adrian, L., Mieczysław, B., Ewelina, B., & Katarzyna, Z. (2022). Life cycle assessment study on the public transport bus fleet electrification in the context of sustainable urban development strategy. *Science of The Total Environment*, 824, 153872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153872>
- Khan, I. A., Haq, F., Kiran, M., & Aziz, T. (2025). Circular economy and waste management : Transforming waste into resources for a sustainable future. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(16), 17327-17346. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06750-5>
- Kobayashi, M. (2014). Relational View. *Annals of Business Administrative Science*, 13(2), 77-90. <https://doi.org/10.7880/abas.13.77>
- Köhler, J., Sönnichsen, S. D., & Beske-Jansen, P. (2022). Towards a collaboration framework for circular economy : The role of dynamic capabilities and open innovation. *Business Strategy and the Environment*, 31(6), 2700-2713. <https://doi.org/10.1002/bse.3000>
- Le Pennec, M., & Raufflet, E. (2018). Value Creation in Inter-Organizational Collaboration : An Empirical Study. *Journal of Business Ethics*, 148(4), 817-834. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-3012-7>
- Leclerc, S. H., & Badami, M. G. (2024). Extended producer responsibility : An empirical investigation into municipalities' contributions to and perspectives on e-waste management. *Environmental Policy and Governance*, 34(2), 111-124. <https://doi.org/10.1002/eet.2059>
- Leising, E., Quist, J., & Bocken, N. (2018). Circular Economy in the building sector : Three cases and a collaboration tool. *Journal of Cleaner Production*, 176, 976-989. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.010>
- LETEC Blog. (2026, juin 5). Journée mondiale de l'environnement : Que fait LETEC ? <https://coulisses.letec.be/journee-mondiale-de-lenvironnement-que-fait-letec/>

- Li, X., Xu, H., Gao, Y., & Tao, Y. (2010). Comparison of end-of-life tire treatment technologies : A Chinese case study. *Waste Management, Special Thematic Section: Sanitary Landfilling*, 30(11), 2235-2246. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.006>
- Lu, Z., Jin, Z., Qin, J., & Wang, Y. (2026). Five-Stakeholder Collaboration in Power Battery Recycling Within Reverse Supply Chains : Threshold Analysis and Policy Recommendations via Evolutionary Game and System Dynamics. *Sustainability*, 18(1), 382. <https://doi.org/10.3390/su18010382>
- Luu, L. Q., Riva Sanseverino, E., Cellura, M., Nguyen, H.-N., Nguyen, T. M., & Nguyen, H. A. (2022). Comparative life cycle impact assessment of electric and conventional bus in Vietnam. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102873. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102873>
- Mallick, P. K., Salling, K. B., Pigosso, D. C. A., & McAloone, T. C. (2023). Closing the loop : Establishing reverse logistics for a circular economy, a systematic review. *Journal of Environmental Management*, 328, 117017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117017>
- Mallick, P. K., Salling, K. B., Pigosso, D. C. A., & McAloone, T. C. (2024). Designing and operationalising extended producer responsibility under the EU Green Deal. *Environmental Challenges*, 16, 100977. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100977>
- McGrath, T., Blades, L., Early, J., & Harris, A. (2022). UK battery electric bus operation : Examining battery degradation, carbon emissions and cost. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 109, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103373>
- Mikus, F., Jorio, M., & Ferreira, P. (2025). Economic and environmental assessment of circularity in End-of-life batteries. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06927-5>
- Moalem, R. M., & Kerndrup, S. (2023). The entrepreneurial role of waste companies in transforming waste streams to value streams : Lessons from a Danish Municipal waste company. *Waste Management & Research*, 41(3), 620-634. <https://doi.org/10.1177/0734242X221124048>
- Neubauer, J. S., Pesaran, A., Williams, B., Ferry, M., & Eyer, J. (2012). A Techno-Economic Analysis of PEV Battery Second Use : Repurposed-Battery Selling Price and Commercial and Industrial End-User Value. 2012-01-0349. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0349>
- Nie, Y., Wang, Y., Li, L., & Liao, H. (2023). Literature Review on Power Battery Echelon Reuse and Recycling from a Circular Economy Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4346. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054346>
- Orban, T. (2025). Quelle comparaison peut-on établir entre une transition de la flotte de bus de la STIB vers des Bus Électriques à Batterie (BEB) et une transition vers des véhicules à hydrogène, appelés en anglais Fuel Cell Electric Bus (FCEB), évaluées à travers leurs impacts économiques, environnementaux et opérationnels ? <https://hdl.handle.net/2078.2/43657>
- Ou, A. Y., Varriale, L., & Tsui, A. S. (2012). International Collaboration for Academic Publication : Implications From the Resource-Based View and Transaction Cost Theory. *Group & Organization Management*, 37(4), 407-451. <https://doi.org/10.1177/1059601112448422>

- Padilla, L., Díaz, Á., & Anzules, W. (2025). Eco-management of end-of-life tires : Advances and challenges for the Ecuadorian case. *Waste Management & Research*, 43(2), 181-191. <https://doi.org/10.1177/0734242X241237104>
- Park, J., Díaz-Posada, N., & Mejía-Dugand, S. (2018). Challenges in implementing the extended producer responsibility in an emerging economy : The end-of-life tire management in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 189, 754-762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.058>
- Pedersen, T., Jørgensen, R., Lilja, J., & Hedlund, C. (2025). Creating value, not waste : Ecosystem collaboration for take-back. *Cleaner Environmental Systems*, 17, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100268>
- Perotti, F. A., Alon, I., Gupta, B., & Ferraris, A. (2025). Unravelling Inter-Organisational Collaboration to Address the Circular Economy Transitions : A Systematic Literature Review. *Business Strategy and the Environment*, 34(8), 10653-10680. <https://doi.org/10.1002/bse.70136>
- Piles et batteries lithium-ion. (s. d.). Bebat. Consulté 22 mai 2026, à l'adresse <https://website-backend.prod.bebat.hosted-temp.com/fr/academy/piles-et-batteries-lithium-ion>
- Powell, W. (1990). Neither Market Nor Hierarchy : Network Forms of Organization. *Research in Organizational Behaviour*, 12, 295-336.
- Rajala, R., Hakanen, E., Mattila, J., Seppälä, T., & Westerlund, M. (2018). How Do Intelligent Goods Shape Closed-Loop Systems? *California Management Review*, 60(3), 20-44. <https://doi.org/10.1177/0008125618759685>
- Razy-Yanuv, E., & Meron, N. (2024). Early transition to cleaner bus fleets : Benefits, costs, and policy evaluation of alternatives from a life cycle perspective. *Cleaner Environmental Systems*, 12, 100172. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100172>
- Rebehy, P. C. P. W., Andrade dos Santos Lima, S., Novi, J. C., & Salgado, A. P. (2019). Reverse logistics systems in Brazil : Comparative study and interest of multistakeholders. *Journal of Environmental Management*, 250, 109223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.124>
- Recytyre. (s. d.-a). À notre propos. Structures. Historique | Recytyre. Consulté 22 mai 2026, à l'adresse <https://www.recytyre.be/fr/qui-sommes-nous>
- Recytyre. (s. d.-b). Traitement et recyclage des pneus : Qu'est-ce ? | Recytyre. Consulté 22 mai 2026, à l'adresse <https://www.recytyre.be/fr/traitement-et-recyclage-que-se-passe-t-il-precisement>
- Recytyre. (s. d.-c). Vendeur pneus : Obligations, explications | Recytyre. Consulté 12 juin 2026, à l'adresse <https://www.recytyre.be/fr/quelles-sont-les-attentes-votre-egard-en-tant-que-vendeur-ou-point-de-collecte>
- Regulation (EU) 2023/1542* of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 Concerning Batteries and Waste Batteries, Amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and Repealing Directive 2006/66/EC (Text with EEA Relevance), 191 OJ L (2023). <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>
- REP. (s. d.). Bebat. Consulté 1 juin 2026, à l'adresse <https://website-backend.prod.bebat.hosted-temp.com/fr/produire-importer/rep>

Seika, J., & Kubli, M. (2024). Repurpose or recycle? Simulating end-of-life scenarios for electric vehicle batteries under the EU battery regulation. *Sustainable Production and Consumption*, 51, 644-656. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.023>

Shokouhyar, S., & Shahrasbi, A. (2022). Revealing the reality behind consumers' participation in WEEE treatment schemes : A mixed method approach. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(13), 2436-2467. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1972284>

SPW. (s. d.-a). Batteries. L'Environnement en Wallonie. Consulté 22 mai 2026, à l'adresse <https://environnement.wallonie.be/home/gestion-environnementale/dechets/categories-de-dechets-ressources/dechets-soumis-a-rep/batteries.html>

SPW. (s. d.-b). Déchets soumis à REP. L'Environnement en Wallonie. Consulté 22 mai 2026, à l'adresse <https://environnement.wallonie.be/home/gestion-environnementale/dechets/categories-de-dechets-ressources/dechets-soumis-a-rep.html>

SPW. (s. d.-c). Pneus. L'Environnement en Wallonie. Consulté 22 mai 2026, à l'adresse <https://environnement.wallonie.be/home/gestion-environnementale/dechets/categories-de-dechets-ressources/dechets-soumis-a-rep/pneus.html>

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

Sudusinghe, J. I., & Seuring, S. (2022). Supply chain collaboration and sustainability performance in circular economy : A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 245, 108402. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108402>

Tous les rapports annuels. Chiffres explicites | Recytyre. (s. d.). Consulté 18 juin 2026, à l'adresse <https://www.recytyre.be/fr/apprenez-mieux-nous-connaître-consulter-nos-rapports-annuels>

Uhrenholt, J. N., Kristensen, J. H., Rincón, M. C., Jensen, S. F., & Waehrens, B. V. (2022). Circular economy : Factors affecting the financial performance of product take-back systems. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130319>

Uriarte-Miranda, M.-L., Caballero-Morales, S.-O., Martinez-Flores, J.-L., Cano-Olivos, P., & Akulova, A.-A. (2018). Reverse Logistic Strategy for the Management of Tire Waste in Mexico and Russia : Review and Conceptual Model. *Sustainability*, 10(10), 3398. <https://doi.org/10.3390/su10103398>

Zamora Giraldo, E. (2021). Synergie entre l'économie circulaire et le modèle organisationnel coopératif : Le cas des acteurs de la réutilisation dans le secteur textile bruxellois. <https://hdl.handle.net/2078.2/23247>

8. Annexes

8.1 Annexe 1 – Tableau récapitulatifs des profils rencontrés :

Nom	Fonction	Organisation	Filière	Apport principal
Christophe Martin	Responsable achats matériel roulant	LETEC	Transversale	Identification des filières pertinentes et cadrage des enjeux de gestion du matériel roulant
Nicolas Bonaventure	Responsable technique matériel roulant, BU Liège-Verviers	LETEC	Pneus / Batteries	Fonctionnement opérationnel des systèmes de reprise au niveau des ateliers et des dépôts
Nicolas Coppens	Directeur de l'Audit interne	LETEC	Pneus / Batteries	Clarification des mécanismes financiers et traçabilité des pièces effectivement appliqués, notamment l'absence de caution et le modèle de revalorisation
Fabrice Benoni	Stratégie et Pilotage	LETEC	Transversale	Vision stratégique de la transition vers l'électrique et enjeux d'éco-conduite
Chris Lorquet	Directeur général	Recytyre	Pneus	Architecture de la filière pneus, gouvernance, tensions sur les passagers clandestins et perspectives pyrolyse
Benny Van den Steen	Responsable Technique Commercial	Bebat / Sortbat	Batteries	Fonctionnement de la REP batteries, complexité des chimies LFP/NMC et

				logique de facturation au cout réel
Elke Ceulemans	Responsable de projet	Febelauto	Batteries	Gouvernance de la REP pour les véhicules électriques légers et coordination inter- organismes
Emilie Thomasset	Chargée de mission – attachée de direction	SPW Environnement (département du Sol et des Déchets)	Pneus / Batteries	Cadre réglementaire wallon, transition des accords entre organismes et positionnement institutionnel du SPW

8.2 Annexe 2 - LETEC – Responsable achats matériel roulant

Entretien avec Christophe Martin — Responsable Matériel Roulant Bus, LETEC

(Entretien exploratoire — phase préliminaire à la construction du cadre théorique)

1. Fonction et processus d'achat des bus

Question : Pouvez-vous décrire votre fonction chez LETEC et expliquer comment se déroule un processus d'achat de bus ?

Réponse synthétique : Christophe Martin est responsable du matériel roulant bus au TEC. Son rôle consiste notamment à coordonner les processus d'acquisition des véhicules, en lien avec de nombreux acteurs internes et les obligations liées aux marchés publics. Le processus suit une logique très formalisée et encadrée juridiquement, articulée en cinq temps : validation du besoin par les instances internes et le conseil d'administration, publication du marché public sur les plateformes officielles belges et européennes, sélection des candidatures sur base de critères prédéfinis, évaluation multidisciplinaire des offres, puis attribution du marché sous contrôle juridique strict afin d'éviter les recours. LETEC mobilise dans cette évaluation les services techniques, d'exploitation, de maintenance, d'accessibilité, d'infrastructure et les utilisateurs terrain, avec pour objectif d'éviter une décision trop subjective et de garantir une vision collective des besoins. Les critères techniques et administratifs priment largement, et les innovations circulaires doivent s'intégrer dans un cadre juridique très rigide.

2. Temporalité et complexité des marchés publics

Question : Combien de temps faut-il entre l'idée d'acheter un bus et son arrivée effective ?

Réponse synthétique : Le processus peut être particulièrement long en raison des procédures administratives, des validations internes, des éventuels recours juridiques et des délais industriels de production. Christophe Martin insiste sur le fait que les marchés publics sont fortement sécurisés juridiquement afin d'éviter des contestations devant le Conseil d'État. Cette lourdeur administrative limite parfois la flexibilité et la capacité d'intégrer rapidement de nouvelles pratiques, notamment en matière de circularité.

3. Intégration des systèmes de reprise dans les marchés publics

Question : LETEC intègre-t-il des clauses de reprise dans ses marchés publics ?

Réponse synthétique : LETEC n'a pas développé de système structuré de reprise des bus complets par les constructeurs. Christophe Martin explique que cela tient principalement à la gestion progressive du déclassement des véhicules : les bus ne quittent pas tous simultanément la flotte, certains restant utilisés temporairement, d'autres conservés comme réserve ou valorisés autrement. Un bus encore fonctionnel possède souvent davantage de valeur économique en poursuivant son exploitation qu'en étant immédiatement envoyé vers une filière matière ou de recyclage : « Il est économiquement plus intéressant de prolonger l'usage d'un bus encore fonctionnel plutôt que de le valoriser directement comme matière. »

4. Réemploi interne et récupération de pièces

Question : Existe-t-il des pratiques de récupération ou de réemploi de composants ?

Réponse synthétique : Des pratiques de récupération existent, mais de manière peu structurée. Lorsqu'un bus est immobilisé ou déclassé, certaines pièces — moteurs, boîtes de vitesse, compresseurs, systèmes Webasto, organes mécaniques divers — peuvent être récupérées pour éviter l'achat de pièces neuves. Cette logique reste toutefois largement improvisée : il n'existe pas de système systématique de démontage, les pièces ne sont pas toujours stockées ou reconditionnées de manière organisée, et la récupération dépend surtout des besoins ponctuels des ateliers, généralement à proximité géographique.

5. Réparation et reconditionnement des pièces

Question : LETEC pratique-t-il le reconditionnement de pièces ?

Réponse synthétique : Oui, certaines pièces importantes sont réparées et réinjectées dans le stock via le système SAP. Un moteur défectueux peut par exemple être retiré d'un bus, envoyé en révision, puis replacé en stock après réparation. Cette logique permet de réduire certains coûts, de prolonger la durée de vie des composants et d'éviter des achats externes systématiques. Christophe Martin ne dispose cependant pas de données précises sur les économies réalisées, les pourcentages de pièces reconditionnées ou les gains financiers exacts.

6. Les pneus : l'exemple le plus structuré de circularité

Question : Existe-t-il des exemples concrets de système circulaire déjà opérationnel chez LETEC ?

Réponse synthétique : Le cas des pneus apparaît comme l'exemple le plus mature et structuré. Les pneus sont recreusés, peuvent être rechapés, et repartent dans un nouveau cycle d'utilisation. Il existe également un système de reprise des carcasses via des entreprises spécialisées. Ce système offre plusieurs intérêts simultanés : prolongation de la durée de vie, réduction des coûts, récupération de matière et limitation des déchets. Christophe Martin souligne que ce modèle fonctionne précisément parce que la filière est déjà structurée, les flux standardisés, la valeur résiduelle du produit identifiable et les acteurs industriels organisés — autant de conditions qui ne sont pas encore réunies pour d'autres composants du bus.

7. Influence des critères environnementaux dans les marchés publics

Question : La recyclabilité ou les critères circulaires influencent-ils les décisions d'achat ?

Réponse synthétique : La recyclabilité est prise en compte dans certains marchés, mais représente actuellement une part très faible des critères d'attribution, estimée à environ 0 à 1 %. Les constructeurs doivent parfois documenter le pourcentage de matière recyclable, fournir des études externes et démontrer certains engagements environnementaux. Les

critères économiques restent largement dominants et les exigences circulaires demeurent secondaires dans les décisions effectives.

8. Évolution des réglementations européennes vers davantage de circularité

Question : Les réglementations européennes évoluent-elles vers davantage d'exigences circulaires ?

Réponse synthétique : Christophe Martin estime que les réglementations européennes vont progressivement imposer davantage de recyclabilité, de contenu recyclé, de critères environnementaux et de transparence sur le cycle de vie. Plusieurs pays commencent déjà à intégrer ce type d'exigences dans leurs marchés publics. Il anticipe une montée progressive des obligations liées à la circularité dans les années à venir, qui devrait modifier le poids relatif des critères environnementaux dans les procédures d'attribution.

9. Batteries et seconde vie des véhicules électriques

Question : Existe-t-il une réflexion autour des batteries et de leur seconde vie chez LETEC ?

Réponse synthétique : Le sujet est encore émergent au niveau opérationnel chez LETEC. Christophe Martin reconnaît que certains constructeurs, comme le suédois Volvo, développent déjà des systèmes de réhabilitation des batteries, des usages stationnaires après la première vie des batteries de traction et des logiques de seconde vie énergétique. Ces développements restent toutefois peu structurés au niveau opérationnel au sein de LETEC, et la relation d'information entre LETEC et les constructeurs sur ces sujets n'est pas encore établie.

8.3 Annexe 3 - LETEC – Responsable technique matériel roulant, BU Liège-Verviers

Entretien avec Nicolas Bonaventure — Responsable Matériel Roulant, Service technique LETEC Liège-Verviers

1. Fonction et volume opérationnel des flux de pneus

Question : Pouvez-vous décrire votre fonction au sein du TEC et préciser l'ordre de grandeur du flux annuel de pneus pour votre Business Unit ?

Réponse synthétique : Nicolas Bonaventure est responsable du matériel roulant au sein du service technique de LETEC à Liège, BU Liège-Verviers. Son rôle l'amène à gérer le suivi technique et l'optimisation opérationnelle des cycles de vie des composants des bus. Le volume de flux de pneumatiques pour cette seule entité territoriale s'élève à environ 1 200 pneus par an mis au rebut ou sortis de la flotte, selon une logique linéaire simple : tout ce qui rentre, sort.

2. Absence de système de caution sur les pneumatiques

Question : Existe-t-il un système de consigne financière ou de caution sur les carcasses de pneus achetées auprès des fournisseurs ?

Réponse synthétique : Contrairement à d'autres flux de pièces techniques, il n'existe aucun système de caution ou de consigne financière sur les pneus achetés par LETEC. L'entreprise achète le pneu de manière ferme et en devient entièrement propriétaire, sans qu'un flux monétaire de garantie ne vienne contraindre ou inciter financièrement le renvoi de la carcasse en fin de vie vers le manufacturier initial. La discipline de retour repose sur l'intérêt économique à long terme d'obtenir un pneu rechapé moins cher, et non sur la récupération d'un dépôt financier à court terme.

3. Cycle de vie technique complet et multi-vies du pneumatique

Question : Comment se déroule concrètement le cycle d'utilisation, de retailage et de rechapage d'un pneu chez LETEC ?

Réponse synthétique : Le cycle de vie d'un pneumatique au sein de la régie suit un processus d'optimisation technique en cinq étapes. Le pneu est d'abord acheté neuf et obligatoirement monté à l'avant du véhicule, sur l'essieu directionnel, pour des raisons de sécurité absolue. Lorsqu'il atteint une usure laissant entre 4 et 6 mm de gomme, il subit un retailage — on creuse la structure de 3 à 4 mm supplémentaires — puis est permuté sur l'essieu arrière, non directionnel. Une fois usé à 3 mm, il est déposé et envoyé chez un prestataire pour expertise en vue d'un rechapage à froid. En cas de refus technique, la carcasse est soumise à une expertise pour rechapage à chaud. Si elle subit un second refus, elle part définitivement au rebut. Si la carcasse est validée — à chaud ou à froid — elle reçoit une nouvelle bande de roulement et entame une deuxième vie, exclusivement positionnée sur l'essieu arrière. Le pneu rechapé reproduit alors les étapes de retailage et d'évaluation de fin de vie, et le

processus se répète autant de fois que l'intégrité de la carcasse métallique le permet techniquement.

4. Indicateurs de performance kilométrique par type de cycle

Question : Quel rendement kilométrique attendez-vous d'un pneu selon qu'il soit neuf, rechapé ou retaillé ?

Réponse synthétique : Les performances kilométriques varient sensiblement selon la nature du cycle appliqué. Un pneu neuf offre une longévité d'environ 80 000 km. Un pneu rechapé à froid offre une performance équivalente, soit environ 80 000 km. Un pneu rechapé à chaud présente un rendement inférieur, estimé à environ 55 000 km. Chaque opération de retailage restitue quant à elle un potentiel marginal de 5 000 à 10 000 km supplémentaires. L'enchaînement de ces cycles permet ainsi de doubler ou tripler la performance kilométrique initiale d'une seule et même structure métallique.

5. Logistique inverse de fin de vie : valorisation résiduelle et externalisation

Question : Qu'advient-il des carcasses définitivement non rechapables ? Conservent-elles une valeur et qui s'occupe de leur gestion ?

Réponse synthétique : Lorsque les carcasses atteignent le stade ultime du rebut, elles entrent dans une filière de logistique inverse. Bien que dépourvues de valeur d'usage, elles conservent une très faible valeur d'échange : LETEC perçoit une prime financière lors de leur enlèvement, représentant entre 1 000 et 1 500 euros par an pour l'ensemble de la BU Liège-Verviers — un montant minime et non significatif à l'échelle de la gestion globale. C'est la société spécialisée QRetread qui assure la reprise, la collecte et le traitement de ces carcasses en fin de vie. Cette entreprise est agréée et répond à des normes strictes environnementales et de sécurité, indispensables pour l'évaluation des risques d'un opérateur public.

6. Facteurs de motivation : équation économique-environnementale

Question : Les pratiques de maximisation de la vie du pneu découlent-elles d'une contrainte réglementaire, d'une motivation économique ou d'une conscience écologique ?

Réponse synthétique : Selon Nicolas Bonaventure, ces pratiques ne résultent pas d'une contrainte réglementaire subie, mais d'une vision hybride qu'il qualifie lui-même d'« économique-environnementale ». La boucle de circularité mise en place s'impose d'elle-même car elle réconcilie deux objectifs sans compromis à effectuer : la réduction significative des coûts d'exploitation matières — un pneu rechapé ou retaillé évite l'achat d'un pneu neuf — et la diminution de l'empreinte environnementale de la flotte par la préservation des ressources. Réduire le volume de déchets coïncide directement avec une baisse des dépenses d'approvisionnement en pneus neufs, ce qui démontre que l'économie circulaire s'opérationnalise plus facilement lorsque les indicateurs de rentabilité financière s'alignent organiquement avec les objectifs de durabilité. La mise en œuvre opérationnelle de ce modèle repose par ailleurs entièrement sur l'existence d'un écosystème industriel mature : LETEC externalise la logistique de qualification et de transformation à des acteurs spécialisés — le recapeur et QRetread pour le rebut final —, et c'est la standardisation du produit pneu

combinée à l'organisation de ce réseau de partenaires qui rendent le système viable et efficient pour une structure publique.

8.4 Annexe 4 - LETEC - Directeur de l'Audit interne

Entretien avec Nicolas Coppens — Directeur de l'audit interne, LETEC

1. Fonction et angle d'analyse de l'audit interne

Question : Pouvez-vous décrire votre fonction et expliquer sous quel angle l'audit interne a analysé la gestion des cautions ?

Réponse synthétique : Nicolas Coppens occupe la fonction de responsable de l'audit interne au sein de LETEC. Son service a récemment mené un audit spécifiquement axé sur la gestion des cautions, abordé sous un prisme strictement économique et financier, avec pour objectif de s'assurer que l'entreprise ne subit pas de pertes financières et optimise la récupération des montants versés. Le focus portait sur l'efficacité organisationnelle et l'absence de gaspillage, et non sur la réduction de l'impact environnemental ou une vision écologique. Cet entretien met en lumière une distinction claire des rôles en interne : tandis que l'audit interne traque les pertes financières et la conformité des processus, d'autres profils au sein de LETEC portent les objectifs environnementaux, de réutilisation et de circuits courts.

2. Le principe des pièces cautionnées et le parallèle avec la grande distribution

Question : Comment fonctionne concrètement le système des pièces cautionnées pour le matériel roulant ?

Réponse synthétique : Le mécanisme de caution repose sur le même principe général qu'une vidange ou que les palettes standardisées de la grande distribution. Il s'agit d'un accord contractuel avec le fournisseur : l'acheteur paie le prix de la pièce ainsi qu'un montant de caution, intégralement récupéré lorsque la pièce usée est restituée au fabricant. Nicolas Coppens souligne toutefois une différence majeure avec le secteur de la consommation de masse : le système n'est pas standardisé de manière ouverte. Il est impossible de restituer une pièce achetée chez un fournisseur A à un fournisseur B pour en récupérer la valeur. Deux exemples majeurs sont cités : les étriers de frein, dont la mâchoire métallique conserve sa valeur et est facilement reconditionnée par le fabricant, les seules pièces d'usure étant les blocs internes ; et les batteries traditionnelles, dont l'enveloppe et les métaux lourds représentent une valeur résiduelle élevée même hors d'usage.

3. Traçabilité des cautions et intégration dans l'ERP SAP

Question : Les pièces cautionnées et les flux de remboursement sont-ils correctement répertoriés dans SAP ?

Réponse synthétique : D'un point de vue comptable, les cautions sont enregistrées de manière rigoureuse dans SAP : elles représentent une valeur financière immobilisée figurant à l'actif du bilan, l'argent appartenant toujours juridiquement à LETEC. Cependant, le système permettant de lier dynamiquement l'achat opérationnel d'une pièce à sa caution spécifique n'est pas utilisé à son plein potentiel. C'est l'un des points d'amélioration majeurs identifiés par l'audit : l'entreprise prévoit de standardiser et d'automatiser ce suivi à l'occasion de sa prochaine migration vers une nouvelle version de SAP.

4. Différenciation conceptuelle : caution contractuelle vs revalorisation des déchets — le cas des pneus

Question : La carcasse des pneus fait-elle l'objet d'un système de caution au niveau comptable ?

Réponse synthétique : Nicolas Coppens apporte ici une nuance analytique fondamentale. D'après l'analyse des comptes, les montants répertoriés comme « cautions de pneus » sont marginaux, isolés et potentiellement liés à des particularités de certaines Business Units ou à des erreurs d'imputation comptable. Le modèle effectivement appliqué aux pneus usés n'est pas une caution au sens strict — dans laquelle de l'argent est déposé chez le fournisseur à l'achat pour être récupéré au retour — mais un modèle de revalorisation des déchets : le pneu en fin de vie est cédé à une société tierce capable d'en extraire une valeur résiduelle. Cette distinction est analytiquement importante : la caution impose un cadre contractuel et une discipline de marché stricte, tandis que la filière déchet dépend de l'organisation externe et de la fluctuation de la valeur des matières, ce qui en fait un système structurellement plus fragile.

5. Les conditions de réussite d'un système de reprise performant

Question : Selon votre expérience, qu'est-ce qui est indispensable pour qu'un système de reprise fonctionne à grande échelle ?

Réponse synthétique : Nicolas Coppens identifie trois piliers fondamentaux, valables dans une structure publique comme privée. Premièrement, une discipline interne de suivi : les équipes opérationnelles doivent appliquer les processus de tri et de renvoi avec une rigueur absolue. Deuxièmement, un outil informatique dédié : un système de traçabilité robuste de type ERP/SAP permettant d'associer chaque flux physique à son flux financier sans surcout administratif rédhibitoire. Troisièmement, la standardisation des composants : un système de reprise n'est économiquement viable que lorsque la pièce est standard, rapidement démontable et possède des cycles d'usure prévisibles, à l'image de l'étrier de frein.

6. Les freins à la circularité totale d'un véhicule complet

Question : Quels sont les obstacles financiers et opérationnels au déploiement d'un système de reprise intégral pour un bus ?

Réponse synthétique : Trois freins structurants sont identifiés. La temporalité et l'immobilisation financière d'abord : un bus a une durée de vie moyenne d'environ 16 ans chez LETEC, ce qui rend économiquement absurde l'immobilisation de fonds sous forme de cautions contractuelles sur des durées aussi longues pour la trésorerie d'une entreprise publique. L'équation économique globale ensuite : favoriser le recyclage ou la réutilisation ne peut se faire que si le bilan financier s'avère intéressant ou, à minima, maîtrisé, or les contraintes budgétaires actuelles forcent l'organisation à guider ses opérations par le coût direct. Le manque d'agilité organisationnelle enfin : contrairement à une entreprise privée commerciale capable de modifier rapidement sa structure et ses compétences, une entité publique ou parapublique souffre d'une forte inertie interne qui freine l'adaptation aux nouveaux modèles circulaires.

8.5 Annexe 5 - LETEC - Stratégie et Pilotage

Entretien avec Fabrice Benoni — Responsable Climat & Développement Durable, LETEC

1. Méthodologie et limites du premier bilan carbone du TEC

Question : Comment LETEC a-t-il conduit son premier bilan carbone et quelles en sont les limites opérationnelles ?

Réponse synthétique : LETEC vient de finaliser son tout premier bilan carbone. S'agissant d'un exercice inaugural, de nombreuses données de base n'ont pu être collectées avec précision : les calculs reposent sur des estimations macroscopiques issues de la littérature générale, en s'appuyant directement sur le bilan comptable. Par exemple, un montant de 7 millions d'euros de dépenses en déchets est traduit mécaniquement en un volume théorique de tonnes de CO₂ via des facteurs généraux. Cette méthode comptable présente d'importantes limites opérationnelles : elle n'offre presque aucun levier d'action pour piloter une réduction efficace, car elle ne permet pas de connaître la nature réelle ni l'origine fine des composants jetés.

2. Processus de collecte des données et granularité des flux de déchets

Question : Comment les données sur les déchets sont-elles remontées du terrain et quel niveau de détail est-il possible d'atteindre ?

Réponse synthétique : Pour dépasser le seul bilan comptable, un inventaire des tonnages par type de déchets a été initié, couvrant une cinquantaine de catégories théoriques. Fabrice Benoni qualifie lui-même le processus de collecte actuel de « bricolage » : il repose sur une demande transmise à chaque Business Unit de compiler manuellement les bordereaux physiques d'enlèvement, l'exercice s'étant limité à centraliser entre 50 et 100 bordereaux issus exclusivement de prestataires professionnels comme Renewi. Concernant les pièces détachées de bus spécifiquement, le service Climat ne dispose d'aucune visibilité : il existe une estimation globale des tonnages de ferraille, mais sans pouvoir distinguer ce qui relève d'une portière, d'une aile de bus, de fils électriques ou d'un carburateur.

3. Dysfonctionnements logistiques et financiers du flux des consignes

Question : Quels dysfonctionnements l'audit interne a-t-il mis en évidence dans la gestion des pièces consignées ?

Réponse synthétique : LETEC utilise des composants soumis à une consigne financière par les fournisseurs : à l'achat, une provision est comptabilisée, puis annulée et remboursée lorsque la pièce usagée est retournée au fabricant. L'audit mené par Nicolas Coppens a mis en évidence un manque critique de fiabilité dans cette chaîne, aboutissant à 400 000 euros de pertes sur les cinq dernières années, uniquement parce que les pièces usagées n'ont pas été renvoyées aux fournisseurs dans les temps. Trois failles opérationnelles sont identifiées : les agents réceptionnaires en dépôts ne sont pas toujours informés qu'une pièce est consignée, bloquant le réflexe de retour ; des écarts de conformité existent entre l'encodage dans le système comptable et la réalité des stocks physiques dans les racks ; enfin, les rôles et

responsabilités entre direction financière, gestionnaires de stocks et réceptionnaires souffrent de graves manquements de définition.

4. Stratégie de déploiement durable des flux consignés

Question : Quelle est la stratégie envisagée pour fiabiliser et étendre le système de consignés ?

Réponse synthétique : Les recommandations de l'audit — clarifier les responsabilités, cartographier les flux, formaliser les méthodes d'étiquetage et d'encodage à la réception — n'ont pas encore été pleinement déployées sur le terrain. Fabrice Benoni refuse catégoriquement d'élargir le volume de pièces soumises à consigne tant que le processus sous-jacent n'est pas robuste : augmenter le périmètre dans un système défaillant reviendrait à multiplier les pertes. Une fois le système fiabilisé, la stratégie consistera à analyser les divergences contractuelles entre BU — comprendre pourquoi Liège sollicite des fournisseurs imposant des consignés circulaires tandis que Charleroi recourt à des circuits différents pour des modèles de bus identiques — afin de généraliser les meilleures pratiques.

5. Implication du service Climat dans les filières batteries et pneumatiques

Question : Quel est le rôle du service Climat dans la gestion opérationnelle des batteries de traction et des pneumatiques ?

Réponse synthétique : Concernant les batteries de traction des bus électriques, le service Climat n'exerce aucun contrôle technique ni opérationnel. La rédaction des clauses environnementales des cahiers des charges — reprise par les constructeurs, traitement de la valeur résiduelle, circuits de recyclage obligatoires — relève exclusivement des compétences de Christophe Martin. Sur les pneumatiques, Fabrice Benoni valide la pertinence d'étudier l'optimisation de l'usure des pneus pour prolonger la durée de vie des carcasses, mais précise ne pas disposer de contacts opérationnels directs au niveau des ateliers des BU.

6. Moteurs et freins à la circularité au sein du TEC

Question : Quels sont les leviers et les obstacles structurels à la mise en œuvre d'une logique circulaire au sein du TEC ?

Réponse synthétique : Fabrice Benoni identifie une hiérarchie claire des priorités : légal, puis économique, puis environnemental. La conformité réglementaire est le moteur exclusif : la transition vers la flotte électrique n'est pas le fruit d'une volonté proactive de circularité, mais découle uniquement de l'obligation de se conformer à la directive européenne Clean Vehicles. Sans cette contrainte légale, l'entreprise n'aurait pas bougé. Les initiatives durables — rechapage des pneus, gestion des consignés — sont systématiquement portées par des motivations d'économies budgétaires directes, l'avantage écologique étant valorisé comme bénéfice secondaire. La contrainte de la dotation publique pèse structurellement : dépendant d'une enveloppe fixe de la Région wallonne, LETEC s'interdit formellement d'adopter des solutions durables si elles s'avèrent plus onéreuses que les solutions linéaires standard, sauf si elles démontrent des gains opérationnels nets ou une amélioration directe de la santé et de la sécurité des travailleurs — comme la substitution d'une huile minérale par une huile

biologique non toxique dans les ateliers. La culture de l'exploitation constitue l'obstacle culturel principal : le mot d'ordre dans les dépôts reste historiquement « faire sortir les bus », et la conscience de la valeur économique intrinsèque des composants ne percole pas suffisamment jusqu'aux agents de terrain. Enfin, l'hétérogénéité de la flotte — près de 2 000 bus répartis en de nombreux modèles et configurations distincts — complique fortement la standardisation des flux de pièces et l'obtention d'effets d'échelle inter-BU.

7. Programme d'éco-conduite : un levier sous-exploité

Question : Quel bilan faites-vous du programme d'éco-conduite au TEC et à quoi attribuez-vous les résultats mitigés ?

Réponse synthétique : L'éco-conduite constitue un levier transversal majeur : elle réduit l'usure mécanique prématurée du matériel roulant — freins, embrayages, moteurs —, prolonge la durée de vie des carcasses de pneumatiques et génère théoriquement 10 à 15 % d'économies de carburant selon la littérature. Pourtant, l'évaluation du programme au TEC ne démontre qu'une baisse de consommation de 3 à 4 %. Fabrice Benoni attribue ce résultat à un manquement managérial dans la continuité du suivi : contrairement aux pratiques appliquées chez Bpost — où les conducteurs faisaient l'objet d'un suivi mensuel individualisé avec bilans comparatifs avant/après formation et sessions de rappel en cas de dérive — LETEC valide la formation comme une case cochée lors de l'intégration du conducteur, sans exploiter ni suivre les données réelles de conduite sur la durée.

8. Initiatives locales de seconde main

Question : Quelles initiatives de réemploi existent en dehors du cœur d'activité industriel du TEC ?

Réponse synthétique : Des initiatives locales ont vu le jour dans la BU Hainaut, en cours de répliation vers Namur-Luxembourg, consistant à donner le mobilier de bureau usagé et les ordinateurs déclassés à des ASBL de revalorisation régionales. Fabrice Benoni qualifie ces actions d'excellentes sur le plan écoresponsable, mais de « micro-niche » — une goutte d'eau à l'échelle de l'entreprise — restant déconnectées du cœur d'activité industriel lié aux composants lourds des bus.

9. Contacts et pistes documentaires validés pour la recherche

Question : Quels contacts ou sources documentaires recommandez-vous pour approfondir la recherche ?

Réponse synthétique : Trois pistes sont proposées. David François, acheteur au sein de la BU Hainaut, est désigné comme point de contact clé pour les détails sur les conventions de reprise du mobilier et les flux de bureau avec le tissu associatif. Jason Flemal, ancien collaborateur du TEC passé à la SNCB, a rédigé un travail de recherche sur les failles de traçabilité des pièces en fin de vie sous SAP au sein de la supply chain de la BU Liège-Verviers — profil recommandé pour comparer les dynamiques de logistique inverse entre entreprises publiques. Enfin, les rapports annuels REP et les documents institutionnels du SPW Environnement sont validés comme sources de cadrage juridique des obligations de reprise.

8.6 Annexe 6 - Recytyre

Entretien avec Chris Lorquet — CEO de Recytyre

1. Profil de l'informant et statut juridique de Recytyre

Question : Quelle est la nature juridique de Recytyre, comment le système s'est-il mis en place et quel est le rôle exact de l'organisation dans la filière ?

Réponse synthétique : Chris Lorquet est CEO de Recytyre depuis 2005, date à laquelle le système est devenu opérationnel. Recytyre est une ASBL fondée en 1998 par les six principaux manufacturiers de pneus — seul statut non commercial accepté par les autorités pour les organismes de gestion REP. Contrairement à ce que la littérature sur les éco-organismes agréés pourrait laisser attendre, Recytyre n'est pas formellement agréé par les régions belges : la filière fonctionne sur la base d'une convention environnementale négociée directement avec les autorités régionales. La convention conclue avec la Wallonie est échue depuis plusieurs années et n'a pas été renouvelée, faisant de la Wallonie l'autorité la plus complexe à gérer selon Lorquet. Recytyre constitue un quasi-monopole de fait à l'échelle belge, les plans individuels étant anecdotiques et limités à la Flandre. Une transition est en cours vers un accord interrégional harmonisé, avec une instance de supervision commune en cours de constitution.

2. Architecture du système de financement et fonctionnement opérationnel

Question : Comment fonctionne concrètement le système de financement de la filière et quels acteurs coordonne-t-il ?

Réponse synthétique : La contribution environnementale constitue la colonne vertébrale financière du système. Elle transite du producteur ou importateur vers le consommateur final via la chaîne de distribution, et finance ensuite la collecte et la valorisation. Le système repose sur environ 770 membres producteurs et importateurs déclarants, quelque 5 000 points de collecte enregistrés — garagistes, fast-fitters, centrales pneus — et entre 40 et 43 collecteurs homologués rémunérés par Recytyre via un système en cascade. Les déclarations sont mensuelles, trimestrielles ou annuelles selon les volumes. Le principe directeur est le 1 pour 1 : pour chaque pneu neuf vendu avec contribution, un pneu usé peut être remis au système gratuitement. Le marché des collecteurs est libre : aucune attribution territoriale n'est imposée — chaque point de vente choisit librement son collecteur, et chaque collecteur peut opérer partout en Belgique sous réserve d'accréditation.

3. Complexité juridique actuelle et vacuum réglementaire

Question : Quelle est la situation juridique actuelle de la filière en Wallonie et quelles en sont les conséquences opérationnelles ?

Réponse synthétique : Lorquet décrit une situation juridique qu'il qualifie d'inextricable. L'accord interrégional est partiellement finalisé mais ses accords d'exécution ne le sont pas. Le décret wallon contient des dispositions incompatibles avec l'accord interrégional, et les juristes du SPW sont eux-mêmes dans l'incapacité de déterminer quels textes s'appliquent. Ce

vacuum réglementaire génère des difficultés opérationnelles et juridiques réelles pour Recytyre, tout en illustrant paradoxalement la capacité du système à se maintenir par la qualité des relations entre acteurs plutôt que par la solidité du cadre juridique formel.

4. Le phénomène des passagers clandestins : nature, ampleur et solutions

Question : Dans quelle mesure le phénomène des free-riders fragilise-t-il la filière et quelles réponses structurelles sont envisagées ?

Réponse synthétique : Le phénomène des passagers clandestins — opérateurs mettant des pneus sur le marché sans s'acquitter de la contribution — est réel et croissant, principalement alimenté par le e-commerce transfrontalier. La législation belge s'arrêtant à la frontière, les pneus commandés à l'étranger, notamment en provenance d'Asie, arrivent sans contribution payée. En Wallonie, l'absence totale de contrôle et de sanction aggrave le phénomène, contrairement à la Flandre où l'OVAM effectue des audits ciblés sur des entreprises suspectes. Le mécanisme de détection existant repose sur des agents de terrain vérifiant le principe 1 pour 1 chez les points de vente : dans neuf cas sur dix, le garagiste cesse d'acheter à l'étranger ou devient membre déclarant à l'issue de l'interaction. Les plateformes de type Amazon sont désormais tenues de vérifier si le vendeur tiers est membre Recytyre, et de se substituer au déclarant dans le cas contraire. Deux solutions structurelles sont proposées par Lorquet. La première est un dispositif de traçabilité par blockchain permettant de fermer la filière dès le producteur, dont la maturité technologique reste insuffisante à court terme pour les petits opérateurs, bien que des intermédiaires de la chaîne pourraient l'adopter d'ici cinq à sept ans. La seconde consiste à inverser le modèle REP en faisant supporter la contribution par le dernier maillon — le point de vente au moment de la demande de collecte — ce qui garantirait mécaniquement un 1 pour 1 parfait, mais se heurte à la directive européenne qui impose que ce soit le producteur qui finance. Lorquet envisage de négocier cette évolution avec les autorités.

5. Réalité économique des filières de valorisation

Question : Les filières de valorisation actuelles sont-elles économiquement viables de manière autonome, et comment s'articulent-elles entre elles ?

Réponse synthétique : Lorquet confirme une donnée analytiquement cruciale : toutes les filières de valorisation actuelles fonctionnent à perte nette du point de vue du collecteur, intégralement rémunéré par la contribution environnementale et non par la valeur marchande de la matière récupérée. La seule exception marginale est le tri des pneus d'occasion et des pneus de rechapage poids lourd, dont le petit revenu résiduel est laissé au collecteur. Les granulats représentent environ 87 % des volumes traités : le collecteur paye le granulateur, sans revenu en retour. La valorisation énergétique en cimenterie est quasi éliminée depuis 2024 grâce à un mécanisme incitatif spécifique — en 2024, plus aucun kilogramme de pneu collecté ne transite vers cette filière en Belgique. Le rechapage représente environ 5 % des volumes ; l'objectif wallon fixé à 10 % est explicitement contesté par Lorquet, aucune étude de faisabilité n'en ayant jamais justifié le chiffre. Le réemploi de pneus d'occasion représente environ 3,4 % des volumes.

6. La pyrolyse comme rupture économique structurante

Question : Quel est le potentiel de la pyrolyse pour transformer l'équilibre économique de la filière ?

Réponse synthétique : La pyrolyse constitue la grande rupture économique attendue à court terme. Cinq projets d'unités industrielles sont en cours de démarrage en Belgique. Si elles atteignent leur régime, les volumes belges ne suffiront pas à les approvisionner toutes. L'huile de pyrolyse, orientée vers la chimie industrielle — notamment vers des acteurs comme BASF — constitue de la valorisation matière économiquement positive. Le char résiduel, ou carbon black, possède également une valeur marchande. Les granulateurs actuels alimenteront ces unités de pyrolyse, sans disparaître, mais avec un échelon supplémentaire dans la chaîne. L'impact attendu sur la filière est structurant : une réduction significative du coût de valorisation matière devrait permettre une baisse de la contribution environnementale payée par le consommateur. Recytyre applique un principe de non-intervention : c'est le marché libre qui organisera l'approvisionnement des unités, sans attribution par l'organisme de gestion.

7. Restriction des exports hors Union européenne depuis 2025

Question : Quelle est la politique actuelle concernant les exports de pneus collectés vers les pays tiers ?

Réponse synthétique : Depuis le 1er janvier 2025, sur demande des autorités régionales, la totalité des pneus collectés — hors pneus d'occasion — doit être valorisée au sein de l'Union européenne. Avant 2025, des exports massifs transitaient via des traders vers l'Inde et le Pakistan. La transition a été graduelle : 50 % d'interdiction en 2024, puis 100 % depuis janvier 2025. Le surcoût induit est estimé à environ 2 % des coûts de valorisation, absorbé sans remise en cause du système. Le bénéfice principal est un meilleur contrôle de la chaîne et la certitude d'une valorisation matière conforme aux exigences européennes. Cette information n'était pas disponible dans les sources documentaires consultées avant l'entretien.

8. Horizon 2030 : interdiction des granulats sur les terrains synthétiques

Question : Quels changements réglementaires à venir affecteront les débouchés de la filière granulats ?

Réponse synthétique : À partir de 2030, l'utilisation de granulats de caoutchouc comme infill dispersé sur les terrains de sport en gazon synthétique sera interdite. Les pistes d'athlétisme coulées restent autorisées. Cette restriction supprimera l'un des débouchés les plus stables de la filière et forcera le développement d'applications alternatives — sous-couche, asphalte modifié, etc. — tout en accélérant la nécessité de la pyrolyse comme filière de substitution.

9. Standardisation du produit et éco-conception : conditions structurelles de la filière

Question : Dans quelle mesure la standardisation du pneu et l'éco-conception conditionnent-elles la viabilité de la filière ?

Réponse synthétique : Lorquet confirme la standardisation comme condition de viabilité implicite, tout en nuancant : le problème de traçabilité dans la filière pneus ne provient pas

d'une hétérogénéité du produit lui-même — contrairement aux batteries — mais de l'opacité du canal commercial (e-commerce) et du morcellement des acteurs déclarants. Le pneu en lui-même est un produit homogène, ce qui rend sa collecte et son traitement largement automatisables. Sur l'éco-conception, Lorquet est explicitement critique. Si les manufacturiers intègrent des matières recyclées avec un objectif affiché de 50 % de contenu recyclé, personne ne répond à la question fondamentale : comment récupérer ces 50 % lors du recyclage en fin de vie, et quelle sera la qualité dégradée de la matière après plusieurs cycles ? L'obstacle structurel est institutionnel : Recytyre n'a de contacts qu'avec les distributeurs belges, et non avec les maisons-mères industrielles à Clermont-Ferrand, Milan ou Hanovre, là où se décident les formulations chimiques. Un lobbying actif est mené en réunions européennes pour faire avancer les exigences d'écodesign, mais Lorquet décrit des résistances fortes de la part des industriels. Un enjeu émergent est également soulevé : celui des microplastiques issus de l'usure des pneus, dont la collecte est quasi impossible et dont la réponse devra passer par la formulation chimique du produit lui-même.

10. Scénario prospectif : pneus biosourcés et détournement de valeur

Question : Quels risques prospectifs pèsent sur le modèle REP à mesure que certains pneus acquièrent une valeur résiduelle positive ?

Réponse synthétique : Lorquet anticipe un scénario futur dans lequel certains pneus premium — équipés d'une puce électronique et fabriqués à partir de matériaux biosourcés — acquerront une valeur résiduelle suffisamment positive pour que des acteurs privés les détournent avant que Recytyre ne les collecte, à l'image de ce qui se produit déjà avec les piles bouton. Ce phénomène poserait un problème d'atteinte des objectifs de collecte et forcerait une révision profonde du modèle REP.

11. Réglementation versus alignement économique : position normative

Question : Les systèmes de reprise qui fonctionnent le mieux sont-ils ceux où la réglementation est la plus contraignante ou ceux où les acteurs ont construit un intérêt économique partagé ?

Réponse synthétique : Lorquet répond sans hésitation : « Sans aucun doute la deuxième. Dans le mot responsabilité étendu du producteur, il y a responsabilité et producteur. À un moment donné, définir les règles, dire qui, quoi, comment, à quel prix et avec qui, ça ne fonctionne pas. Il faut faire confiance aux acteurs. » Il appuie cette position par une comparaison internationale : les Pays-Bas, où l'autorité se mêle peu du fonctionnement de Recypneu, offrent un modèle plus efficace que la France, où l'ADEME impose des règles croissantes à Aliapur. La seule alternative radicale qu'il juge cohérente est le modèle danois — l'autorité impose une taxe et gère elle-même le marché via appels d'offres. L'hybride dans lequel l'autorité supervise ET les producteurs sont responsables ne fonctionne pas. Concernant la Wallonie spécifiquement, Lorquet critique l'imposition d'objectifs sans étude de faisabilité — l'exemple du 10 % de rechapage — et une méfiance institutionnelle envers Recytyre qui se traduit par une volonté de faire réviser le réviseur. Il souligne également un paradoxe réglementaire : si les autorités imposent des débouchés obligatoires, les acheteurs captifs fixent les prix à la hausse et détruisent l'équilibre économique de la filière.

12. Vision de la gouvernance idéale et forme réticulaire

Question : Quelle forme de gouvernance vous semble la plus efficace pour assurer la pérennité d'un système de reprise ?

Réponse synthétique : Lorquet formule une vision de la gouvernance idéale directement articulée autour d'une coopération tripartite entre le cabinet politique — qui change tous les cinq ans —, l'administration — stable dans le temps — et les organismes de gestion. La clé est la confiance mutuelle et la bonne foi reconnue de part et d'autre, et non le contrôle systématique. « Ce n'est qu'avec une bonne collaboration qu'on arrivera à de bons résultats, ce n'est pas en tirant un boulet rouge sur les organismes de gestion. »

8.7 Annexe 7 - Bebat

Entretien complet avec M. Van den Steen — Représentant de Bebat / Sortbat

Synthèse structurée et exhaustive de l'entretien

1. Profil, historique et évolution législative de Bebat

- **Question :** *Quelle est l'origine de Bebat, comment son portefeuille d'adhérents évolue-t-il et comment la nouvelle législation européenne de 2023 a-t-elle restructuré ses activités ?*
- **Réponse synthétique :** Fondée en 1995 sous la forme d'une association sans but lucratif (ASBL), Bebat a pour mission historique d'offrir une solution collective de gestion pour toutes les catégories de piles et batteries en Belgique. Au fil des ans, son portefeuille s'est densifié pour atteindre aujourd'hui **plus de 6 000 producteurs et metteurs sur le marché adhérents**. Ce réseau est d'une hétérogénéité totale, englobant des géants de la tech (Apple, Dell), des fabricants de machines industrielles (chariots élévateurs, tracteurs) et des importateurs de véhicules. La législation européenne sur les piles et batteries de 2023 a profondément bouleversé sa structure en faisant passer le marché de 3 à **5 catégories juridiques distinctes** :
 1. *Portable* (piles domestiques classiques) ;
 2. *SLI (Starting, Lighting, Ignition)* (batteries de démarrage, d'éclairage et d'allumage des véhicules) anciennement « automotive » ;
 3. *EV (Electric Vehicles)* (batteries de traction des voitures, bus et camions électriques) ;
 4. *LMT (Light Means of Transport)* (nouvelle catégorie dédiée à la micromobilité : vélos électriques, trottinettes, hoverboards, monowheels) ;
 5. *Industrial* (batteries industrielles fixes et parcs de stockage stationnaire).

2. Le mécanisme de financement de la REP : L'arbitrage de la barrière des 25 kg

- **Question :** *Comment s'est structuré le modèle économique de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) pour les très grandes batteries, et pourquoi y a-t-il une différence majeure de traitement selon le poids de l'actif ?*
- **Réponse synthétique :** Lors de la mise en place de la filière pour les grosses batteries, Bebat souhaitait appliquer le modèle classique des piles portables, à savoir la perception d'une éco-cotisation totale et immédiate lors de la mise sur le marché du véhicule, calculée pour couvrir l'ensemble des coûts futurs de transport, démantèlement et recyclage. Les fédérations sectorielles (**Febiac et Febelauto**) s'y sont fermement opposées, redoutant qu'une cotisation complète immédiate sur des batteries pesant entre 500 et 700 kg (voire plus pour des bus) ne rende les véhicules électriques financièrement inabordable à l'achat. Un compromis réglementaire a donc été validé autour d'un **pivot fixé à 25 kilogrammes** :

- **En dessous de 25 kg** : Le modèle de l'éco-cotisation classique s'applique à la vente pour financer la collecte de masse mutualisée.
- **Au-dessus de 25 kg (Cas des voitures électriques et des bus)** : Le producteur ne paie qu'une **cotisation administrative symbolique de 5 centimes (0,05 €)** lors de la déclaration de mise sur le marché. Cette somme sert uniquement à l'enregistrement. En contrepartie, la loi oblige le metteur sur le marché à contracter une garantie de traitement (avec Bebat ou un opérateur privé concurrent). Le cout réel de la logistique inverse, de la sécurisation et du traitement n'est pas mutualisé en amont : il est facturé de manière individualisée, au cas par cas, via un contrat de prestation de services lorsque l'actif arrive effectivement en fin de vie. La loi interdit tout abandon ou stockage indéfini : 100% de ces batteries industrielles doivent être recyclées.

3. Logistique inverse opérationnelle et l'intervention chez LETEC via l'entité Sortbat

- **Question** : *Qu'est-ce que l'entité Sortbat, quel est son rôle technique exact et comment s'est déroulée son intervention concrète pour le compte de l'opérateur public wallon (LETEC) ?*
- **Réponse synthétique** : Pour répondre au manque de compétences industrielles face aux flux de batteries de traction lourdes, Bebat a créé et développé en interne au cours des trois dernières années une entité technique baptisée **Sortbat**. M. Van den Steen insiste sur un point crucial : **Bebat/Sortbat n'est pas un recycleur final**. L'organisation prend en charge les étapes critiques intermédiaires de la chaîne de valeur : la sécurisation des sites, la logistique inverse conforme aux normes de transport de matières dangereuses (ADR), les tests de diagnostic de l'état de santé (*State of Health*), et le démantèlement physique du pack pour descendre au niveau des modules ou des cellules unitaires. Concernant le transport public wallon, M. Van den Steen précise que si LETEC n'est pas encore pleinement en règle de manière structurelle avec ses obligations de producteur (contrairement à De Lijn en Flandre), Bebat est intervenue de façon ponctuelle pour gérer **deux batteries endommagées issues d'un bus hybride/électrique** :
 - La première batterie est restée bloquée en raison d'un litige juridique complexe avec le constructeur du véhicule (Volvo).
 - Pour la seconde batterie, Bebat a remis une offre technico-commerciale conjointe avec **Saft** (le fabricant initial de la batterie). Après validation par LETEC, les équipes de Sortbat se sont déplacées pour **démanteler la batterie directement sur site**, l'extraire en toute sécurité et l'acheminer vers la filière de traitement adéquate.

4. La réalité économique du recyclage : Le clivage NMC (Voitures) vs LFP (Bus)

- **Question** : *La valorisation des métaux permet-elle de rendre le recyclage des batteries de transport public autonome et rentable, et quelles sont les différences majeures entre les technologies chimiques ?*

- **Réponse synthétique** : Actuellement, le recyclage des batteries lourdes n'est absolument pas rentable de manière autonome et requiert le soutien financier contractuel du producteur. La viabilité économique dépend entièrement de la chimie interne de la batterie, ce qui crée un clivage net entre les véhicules particuliers et les bus publics :
- **Le modèle vertueux du NMC (Nickel-Manganèse-Cobalt)** : Principalement utilisé dans les voitures électriques grand public (Tesla, Mercedes). Ces métaux précieux possèdent une forte valeur marchande sur les boursiers mondiaux. Lorsqu'un constructeur comme Mercedes garantit à un recycleur un flux massif, stable et homogène (par exemple 100 tonnes par mois sur deux modèles standardisés), le recycleur peut automatiser sa ligne de traitement. Dans ce cas de boucle fermée industrielle, la valeur des métaux récupérés dépasse le coût logistique et technique : le recycleur **rémunère le constructeur** (environ 100 € par batterie restituée).
- **L'impasse économique du LFP (Lithium-Phosphate de Fer) dans les bus** : Les exploitants de transports publics (LETEC, De Lijn) et les constructeurs de chariots élévateurs privilégient massivement la technologie LFP, car elle est beaucoup moins coûteuse à l'achat. Cependant, cette chimie présente une **valeur résiduelle quasi nulle** en fin de vie car elle contient **0% de nickel et 0% de cobalt**. Extraire le fer et le phosphate coûte beaucoup plus cher que la valeur marchande de ces matières. De plus, comme Bebat ne reçoit pas des flux industriels homogènes mais un "grand mix" fragmenté de petites quantités de marques différentes, les recycleurs refusent de faire des analyses chimiques coûteuses sur de petits lots. Par conséquent, pour le flux des bus LFP, le modèle économique est totalement inversé : **Bebat et l'exploitant doivent payer le recycleur** pour qu'il accepte de prendre en charge et de traiter les batteries.

5. Analyse détaillée des verrous et obstacles systémiques

- **Question** : *Quels sont les freins techniques, informationnels, organisationnels et politiques qui bloquent l'efficacité des boucles de retour (Take-Back) selon l'expérience terrain de Bebat ?*
- **Réponse synthétique** : M. Van den Steen dresse une liste exhaustive de verrous interconnectés :
- **L'impossibilité technique d'automatiser le démantèlement** : Les projets de robotisation des lignes de désassemblage échouent face à l'absence totale d'homogénéité des produits. L'architecture varie radicalement selon les marques (Tesla agglomère des milliers de petites piles cylindriques coulées dans de la résine et indémontables, tandis que d'autres utilisent de grands blocs prismatiques faciles à manipuler). Pire, au sein d'une même marque de bus, le design et le type de visserie changent tous les deux ans. Le coût en main-d'œuvre pour dévisser et ouvrir manuellement chaque pack détruit toute rentabilité.
- **Les limites du Passeport Numérique face au secret industriel** : Le futur passeport numérique (QR Code obligatoire) se heurte à la protection de la propriété intellectuelle

(*intellectual property*) des fabricants de cellules. Pour ne pas divulguer leurs formules chimiques exclusives à la concurrence, les constructeurs rédigent des fiches de données de sécurité (*MSDS*) très évasives (ex. : "Taux de cobalt compris entre 3% et 25%"). La règle légale de déclaration obligatoire dès le seuil de 0,1% reste trop floue pour permettre aux recycleurs d'anticiper précisément la valeur et la dangerosité du lot avant ouverture.

- **La volatilité des marchés des matières premières** : Le cours des métaux critiques comme le cobalt subit des fluctuations massives, pouvant varier de **20 à 25% en l'espace de seulement six mois**. Cette instabilité chronique empêche de fixer des tarifs logistiques à long terme ; les contrats de reprise doivent être réévalués en continu tous les 3 à 6 mois pour s'ajuster à la macroéconomie.
- **L'inertie des entreprises et le déficit de contrôle étatique régional** : Les services de maintenance et les départements juridiques des grandes entreprises ont tendance à temporiser et à rester dans le flou concernant le partage des responsabilités de fin de vie avec leurs fournisseurs. Cette inertie est renforcée par une rupture majeure dans les contrôles en Belgique : en Flandre, l'**OVAM** (Société publique des déchets) audite activement un échantillon de 3 à 4% des entreprises suspectes ciblées par Bebat, tandis qu'il **n'y a absolument aucun contrôle sur le terrain ni aucune sanction en Wallonie et à Bruxelles**, ce qui décourage la mise en conformité des acteurs locaux.
- **L'opposition catégorique au système de caution financière (consigne)** : Bebat refuse fermement l'idée d'instaurer une consigne monétaire sur les batteries. Si une petite batterie de PC ou de vélo électrique se voyait attribuer une valeur de caution incitative (ex. : 5 €), cela déclencherait immédiatement une vague de criminalité et de vandalisme sauvage sur les infrastructures publiques (vélos partagés, parcs de stockage) uniquement pour en arracher les batteries. De plus, les manipulations d'extraction commises par des particuliers non professionnels démultiplieraient les risques d'incendies par court-circuit, un problème déjà en forte hausse dans les centres de tri de déchets classiques.

6. Perspectives d'avenir et leviers d'innovation pour l'économie circulaire

- **Question** : *Quelles solutions concrètes et innovations technologiques émergent pour optimiser la gestion transfrontalière et redonner de la valeur aux flux de batteries en fin de vie ?*
- **Réponse synthétique** : Trois leviers majeurs se structurent pour l'avenir de la filière :
- **La mutualisation européenne via la plateforme RENEOS** : Les constructeurs automobiles gérant leurs flottes à l'échelle européenne exigeaient un guichet unique. Bebat a donc cofondé **Reneos**, une plateforme numérique d'interopérabilité transfrontalière. Lorsqu'un constructeur émet un ordre de collecte n'importe où en Europe, la plateforme bascule automatiquement la mission logistique vers l'éco-organisme national compétent (Bebat en Belgique, Stibat aux Pays-Bas, GRS en

Allemagne), garantissant une traçabilité numérique unifiée sans avoir besoin d'un éco-organisme supranational.

- **Le développement du marché de la "seconde vie" (Stockage stationnaire agricole) :** Environ **10% à 20% des batteries** de véhicules hors d'usage ont des cellules suffisamment saines pour être réutilisées. Le débouché idéal identifié est le secteur agricole. Les agriculteurs possèdent d'immenses toitures de panneaux photovoltaïques mais manquent de moyens pour acheter des batteries de stockage neuves. Assembler des modules d'occasion issus de voitures ou de bus permet de créer des parcs de stockage stationnaire décentralisés chez les fermiers, prolongeant la vie de l'actif de **5, 6 ou 7 ans**. Ce levier stagne encore par manque de forces de vente dédiées pour structurer commercialement le marché.
- **La rupture technologique du "Direct Recycling" (Recyclage Direct) :** Pour surmonter la faillite économique du traitement des batteries LFP des bus (qui peinent à atteindre le taux légal de 50% de valorisation matière par les voies thermiques ou chimiques classiques), des entreprises belges investissent dans le *Direct Recycling*. Ce procédé mécanique consiste à scier de manière extrêmement précise le sommet de la batterie, à en extraire les électrodes intactes, à les laver et à les réinjecter directement dans les lignes de production de nouvelles cellules. Cela évite la destruction chimique des composants et permet de sauvegarder la viabilité financière de la filière des bus et du stockage domestique (*home storage*).

8.8 Annexe 8 - Febelauto

Entretien avec Elke Ceulemans — Représentante de Febelauto asbl

Synthèse structurée de l'entretien

1. Fonction de Febelauto et périmètre de Responsabilité Élargie du Producteur (REP)

- **Question :** *Quel est le rôle de Febelauto dans la filière automobile belge et travaillez-vous directement avec les opérateurs de transport public ?*
- **Réponse synthétique :** Febelauto est l'association sans but lucratif chargée de gérer la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) pour les véhicules ainsi que pour les batteries des véhicules hybrides et électriques en Belgique. Son rôle consiste à organiser, coordonner et superviser la filière de collecte et de traitement. Concernant les acteurs publics, **Febelauto ne travaille pas avec les opérateurs de transport public**. Son champ d'action et ses flux opérationnels se concentrent sur le réseau des centres de dépollution et de recyclage agréés pour les véhicules grand public.

2. Fonctionnement opérationnel du réseau et gouvernance des flux

- **Question :** *Comment s'organisent la collecte, le démontage et la valorisation des composants au sein de votre réseau ?*
- **Réponse synthétique :** Febelauto s'appuie sur une collaboration étroite avec des centres de recyclage agréés. Le processus de traitement respecte une logique industrielle stricte :
 1. **Dépollution :** Retrait obligatoire de tous les fluides et composants dangereux.
 2. **Tri à la source et stockage sélectif :** Tous les déchets issus de la dépollution sont stockés séparément directement dans les centres agréés pour éviter les mélanges de matières.
 3. **Logistique inverse spécialisée :** Ces flux triés sont collectés par des sociétés de recyclage spécialisées.
 4. **Démontage (Optionnel) :** Si l'état de la pièce le permet, les centres procèdent au démontage de pièces d'occasion pour le marché du réemploi.
 5. **Broyage :** Le reste de la carcasse du véhicule est envoyé vers des centres de broyage pour la récupération des métaux.

3. Nature du marché du recyclage et absence de régulation des prix

- **Question :** *Comment sont fixés les prix et les tendances de valorisation des véhicules hors d'usage ?*
- **Réponse synthétique :** Febelauto n'intervient pas dans les transactions financières liées à la valeur des matières ou des véhicules. Le marché du recyclage des véhicules hors d'usage est un **marché libre**. Ce sont les dynamiques économiques classiques

(offre, demande, cours des métaux et des matières recyclées) qui dictent les tendances et la rentabilité de la filière, et non l'organisme de gestion.

4. Analyse des incitants financiers : Actions commerciales vs Primes institutionnelles

- **Question :** *Existe-t-il des systèmes de consigne, des primes régionales ou des incitants financiers publics pour encourager le take-back des véhicules ?*
- **Réponse synthétique :** Il n'existe **aucun système de consigne étatique, ni aucune prime financière fédérale ou régionale** en Belgique pour l'abandon ou le recyclage d'un véhicule en fin de vie. Les seules "primes de recyclage" existantes sur le marché (octroyées lors de la remise d'un véhicule hors d'usage pour l'achat d'un modèle neuf) sont exclusivement des **actions commerciales** privées initiées par les marques automobiles pour stimuler leurs ventes.

5. Cas spécifique des pneus en fin de vie : Un modèle d'appel d'offres centralisé

- **Question :** *Comment est gérée la filière de reprise des pneumatiques des véhicules arrivés en fin de vie au sein de votre organisme ?*
- **Réponse synthétique :** Pour éviter la dispersion des flux de pneumatiques, Febelauto a mis en place un système de gestion centralisé et standardisé :
 - **Financement :** Le coût opérationnel est intégralement pris en charge en amont par les importateurs de véhicules.
 - **Service :** Ce financement permet d'offrir un système de collecte totalement gratuit pour l'ensemble des centres de recyclage agréés du réseau.
 - **Gouvernance :** Febelauto procède par attribution via un **appel d'offres global** et collabore de manière exclusive avec **un seul partenaire spécialisé** pour l'exécution logistique et le traitement de l'ensemble des pneumatiques collectés.

8.9 Annexe 9 - SPW

Entretien avec le Représentant du Service Public de Wallonie (SPW)

Fiche thématique de synthèse

1. Rôle du SPW : Cadre réglementaire et supervision des éco-organismes

- **Thème abordé** : Le positionnement de l'administration publique face aux éco-organismes et l'architecture des textes juridiques.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :
 - Le SPW gère les relations et assure le suivi de nombreux éco-organismes agréés pour la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) : Bebat (piles/batteries), Febelauto (batteries de véhicules électriques), Recytyre (pneus), Recupel (appareils électriques) ou encore Valumat (matelas).
 - L'action du SPW s'articule prioritairement autour de l'élaboration de la réglementation environnementale. L'administration instruit les dossiers, remet des avis et doit valider ou approuver des documents stratégiques, à l'instar des montants des cotisations environnementales appliquées lors de la mise sur le marché des produits.

2. L'architecture législative des REP : Le clivage Europe / Régions / Interrégional

- **Thème abordé** : La superposition des niveaux de pouvoir en Belgique et la spécificité des flux de batteries et de pneumatiques.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :
 - **La filière Batteries (Impulsion européenne)** : Ce flux découle d'anciennes directives (2006) désormais transposées sous la forme d'un Règlement européen (2023) directement applicable. Au niveau régional wallon, le cadre transversal est fixé par le décret Déchets du 9 mars 2023. Au niveau belge, les obligations sont coordonnées via un accord de coopération interrégional récent, qui donnera lieu à des accords d'exécution spécifiques pour les batteries électriques afin de compléter les aspects non couverts par l'Europe.
 - **La filière Pneumatiques (Spécificité belgo-belge)** : Contrairement aux batteries, il n'existe aucune réglementation spécifique aux pneus au niveau européen. L'ensemble des obligations, des objectifs et des mécanismes de la REP pneus est donc intégralement défini et encadré à l'échelon régional.

3. Le mécanisme des cotisations de Bebat et le cas de l'électrification des bus (LETEC)

- **Thème abordé** : La tarification des cotisations batteries, la segmentation des poids et la responsabilité lors de l'achat de bus électriques.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :

- **La fixation du seuil des 25 kg** : Ce découpage catégoriel émane d'une proposition directe de Bebat. Face à la diversité infinie des modèles, l'éco-organisme a regroupé les batteries par tranches de poids pour éviter une gestion administrativement lourde d'une tarification au gramme. Ces cotisations évoluent régulièrement. Selon le type de batterie, la cotisation peut être "environnementale" (couvrant l'ensemble du cycle : collecte et traitement) ou uniquement "administrative".
- **L'imputation financière pour les bus électriques** : L'obligation légale de financement (le paiement de la cotisation REP) pèse sur le metteur sur le marché. Dans le cas des bus du TEC, la responsabilité incombe directement au constructeur (ex: Van Hool, Volvo, Mercedes-Citaro) s'il est basé en Belgique, ou à l'importateur si le véhicule est produit à l'étranger.

4. Frontières de compétences : Déchets (Régions) versus Éco-conception (Fédéral)

- **Thème abordé** : Les leviers d'action pour imposer la standardisation, l'amovibilité ou le démontage des batteries en amont.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :
 - Le SPW et les régions possèdent des compétences juridiques strictement limitées à la **phase déchet** des produits (correspondant par exemple au seul chapitre 8 du Règlement européen sur les batteries).
 - Toutes les décisions, réglementations ou influences relatives à l'**éco-conception**, à la mise sur le marché, à l'obligation d'amovibilité ou à la standardisation des composants techniques relèvent de la compétence exclusive de l'État fédéral. Le niveau régional ne dispose d'aucun moyen légal pour agir sur ces leviers industriels amont.

5. Opérations techniques sur les batteries usagées et interdiction de "bricolage" en interne

- **Thème abordé** : La capacité pour un opérateur public comme LETEC de pré-traiter, tester ou démanteler ses propres batteries en fin de vie.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :
 - Dès lors qu'une batterie est qualifiée de statut "déchet", LETEC ne peut effectuer aucune manipulation ou pré-traitement de son propre chef dans ses ateliers. Ces opérations requièrent des autorisations environnementales spécifiques et des compétences techniques de pointe très strictes, s'agissant de composants industriels hautement dangereux présentant des risques majeurs d'électrocution (décharges électriques).
 - Les flux doivent être confiés à des centres industriels spécialisés. Ces derniers procèdent au démantèlement (filière : batterie -> packs -> cellules) afin de tester individuellement les cellules. Les cellules mortes sont envoyées au recyclage, tandis que celles encore viables sont orientées vers des applications

de seconde vie (réemploi). Le rôle des régions est de pousser à cette prévention et de favoriser ces options de réemploi plutôt que le recyclage pur.

6. Évolution des objectifs légaux et intégration future des bus dans la "REP Véhicules"

- **Thème abordé** : Les quotas imposés et l'élargissement futur des contraintes réglementaires aux véhicules lourds.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :
 - **Pas d'obligation isolée sur les pneus** : Il n'existe actuellement aucun taux ou obligation légale de rechapage imposé de manière isolée pour les pneus.
 - **Objectifs globaux de la Directive Véhicules Hors d'Usage (VHU)** : Les obligations de résultat actuelles fixent un taux de 85 % de réemploi et de recyclage combinés, mais cet objectif s'applique globalement sur la masse totale du véhicule et non spécifiquement sur sa seule batterie.
 - **Élargissement réglementaire** : Actuellement, la REP VHU ne cible que les voitures de tourisme (M1) et les utilitaires légers de moins de 3,5 tonnes (N1). Cependant, un futur règlement européen sur les véhicules hors d'usage va étendre cette obligation de responsabilité élargie aux constructeurs de bus dans les années à venir (les dates d'application précises restent à formaliser). Le SPW n'exclut pas, à terme, de fixer des objectifs belgo-belges spécifiques dédiés au réemploi.

7. Phénomène des Passagers Clandestins (*Freeriders*) et concurrence Bebat / Febelauto

- **Thème abordé** : La traçabilité du marché, le contrôle de l'e-commerce et le conflit d'intérêts financier entre éco-organismes.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW** :
 - **Un risque quasi nul sur le véhicule lourd** : Contrairement au marché des pneus ou des petites piles de consommation courante achetées sur des plateformes asiatiques d'e-commerce, le secteur des batteries de véhicules et de bus est très hermétique. Les constructeurs professionnels sont identifiés, et le recours obligatoire à un garagiste agréé pour la maintenance sécurise la filière. Les dérives de *freeriders* y sont exceptionnelles.
 - **La dualité concurrentielle Bebat / Febelauto** : Historiquement, seule Bebat gérait ces volumes. Jugeant les tarifs de Bebat trop élevés, les constructeurs automobiles ont poussé à la création de la filière automobile Febelauto pour reprendre la REP des batteries de traction. Les bus électriques de nouvelle génération entrent précisément dans cette phase de transition.
 - **La crainte du transfert de coûts** : Bebat exprime une vive inquiétude historique quant au risque de voir des cellules usagées issues de véhicules affiliés chez Febelauto être abandonnées dans ses propres canaux de collecte grand public.

Bebat assumerait alors le cout financier du recyclage d'un déchet lourd pour lequel elle n'a jamais perçu de cotisation en amont.

8. Friction juridique : Le passage des "Conventions" aux "Agréments"

- **Thème abordé :** L'évolution des rapports de force juridiques entre l'État wallon et les organismes de gestion privés.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW :**
 - Jusqu'à récemment, la relation reposait sur des **conventions environnementales contractuelles**, négociées et signées entre les ministres régionaux et les éco-organismes. Le SPW déplore les limites de ce modèle : s'agissant d'une négociation bilatérale, si un éco-organisme (comme Bebat) refusait d'améliorer la transparence de son reporting, l'administration se retrouvait bloquée et incapable de l'y contraindre, sous peine de voir l'organisme refuser de signer la convention.
 - Pour briser ce blocage, le décret Déchets de 2023 impose un **système d'agrément unilatéral (ou d'autorisation)**. L'organisme doit soumettre un plan d'action détaillé, et l'autorité publique octroie l'agrément en y adossant des charges et des obligations non négociables.
 - Bebat s'est farouchement opposée à cette perte de pouvoir contractuel, mais cette bascule est désormais sanctuarisée par le nouveau droit européen qui proscriit les mécanismes de conventions négociées au profit des régimes d'autorisations étatiques. Il n'existe aucun marché public ou flux financier direct entre le SPW et Bebat.

9. La pénurie d'infrastructures de recyclage de proximité pour le Lithium

- **Thème abordé :** Les capacités de traitement en Belgique, les monopoles techniques et la neutralité de l'État.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW :**
 - La Belgique souffre d'un déficit important de capacités industrielles pour traiter les batteries au lithium sur son territoire. Le groupe Umicore est le seul acteur national disposant de la technologie requise, mais ses capacités restreintes l'amènent à refuser une partie des volumes de Bebat et de Febelauto.
 - Par conséquent, la quasi-totalité des batteries au lithium collectées en Belgique est contrainte de **partir à l'exportation vers la France et l'Allemagne**. Les éco-organismes doivent se livrer à une véritable "guerre commerciale" pour réserver des capacités de traitement chez les rares recycleurs européens opérationnels.
 - En vertu d'un strict devoir de neutralité de l'État et des règles européennes de libre concurrence, le SPW ne peut pas nouer d'accords interrégionaux ou d'ententes bilatérales avec des États voisins pour réserver des quotas de

recyclage. Sur le plan local wallon, un projet d'usine de recyclage dédiée aux batteries LFP (Lithium-Fer-Phosphate) a reçu son permis d'urbanisme à Dour, mais l'état d'avancement industriel reste incertain.

10. Les facteurs clés de succès d'un système de reprise (*Take-back*)

- **Thème abordé :** Vision critique sur la viabilité ou l'échec d'une filière circulaire.
- **Réponses synthétiques du représentant du SPW :**
 - **Le facteur humain et managérial ("Une question de personnes") :** Au-delà des règles écrites, la réussite d'une filière dépend de la proactivité des dirigeants de l'éco-organisme. Certains acteurs se montrent moteurs et visionnaires, tandis que d'autres se cantonnent strictement au service minimum exigé par la loi.
 - **L'équilibre financier :** Le coût logistique et technique de reprise finit inévitablement par impacter le prix payé par le consommateur final.
 - **La judiciarisation systématique comme frein réglementaire :** Le représentant du SPW déplore l'attitude de certains organismes de gestion, citant explicitement Bebat, qui adoptent une posture de contestation systématique. À chaque parution d'un nouveau texte ou décret régional visant à modifier les règles de gestion, ces entités intentent des recours en justice irréfléchis (valables sur l'ensemble du territoire belge et non spécifiques à la Wallonie). Cette stratégie de blocage juridique rend une partie des dispositions REP du décret Déchets temporairement inopérante et freine considérablement l'action de l'administration.

Résumé :

Chaque année, des centaines de pneus usés quittent les dépôts de LETEC. Bientôt, des batteries de traction dégradées suivront le même chemin. Ces flux de matières en fin de vie posent une question simple en apparence, mais redoutablement complexe dans la pratique : qui collecte, qui traite, qui finance, et surtout, comment ces acteurs parviennent-ils à s'accorder ?

Ce mémoire part d'un terrain concret, celui de l'Opérateur de Transport de Wallonie, pour examiner comment différentes formes de collaboration entre acteurs économiques et institutionnels facilitent la mise en œuvre opérationnelle de l'économie circulaire à travers des systèmes de reprise. Deux filières sont étudiées en miroir : les pneus usagés, système mature dont la gouvernance tient depuis vingt ans, et les batteries de véhicules électriques, filière en construction confrontée à des incertitudes techniques, économiques et réglementaires sans équivalent.

À travers des entretiens menés auprès des différents acteurs des filières étudiées, ce travail explore les conditions concrètes qui permettent à un système de reprise de voir le jour, de tenir dans le temps, ou au contraire de rester suspendu entre obligation réglementaire et réalité économique.

Un résultat qui, au-delà du cas wallon, invite à repenser la façon dont on construit les filières circulaires de demain.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique
www.uclouvain.be/lsm