

WALLACE

Cette action est organisée dans le cadre des missions d'intérêt public confiées par la WalLonie à GreenWin

2024 – Rapport final

GREEN WIN CLEANTECH INNOVATION BOOSTER

Wallonie

Table des matières

Executive Summary *3*

0. Préambule *7*

I. Analyse des Business Models de filières de collecte, massification et démantèlement pour le recyclage des flux « verre plat » et « châssis » *10*

1.1. Enjeux **10**
1.1.2. Décarbonation et préservation des ressources du secteur verrier 10
1.1.3. Gestion des châssis en fin de vie pour les menuisiers 11

1.2. Informations sur les flux concernés **12**
1.2.1. Approche méthodologique 12
1.2.2. Informations sur le flux « châssis » 12
1.2.3. Informations sur le flux « verre plat » 17
1.2.4. Potentiel de marché 18

1.3. Cartographie des initiatives en cours **19**

1.4. Pistes de solutions : Scenarii de Business models de filières de collecte « verre plat » et « châssis » **20**
1.4.1. Approche méthodologique 20
1.4.2. Présentation de deux scénarii 21
1.4.3. Analyse du scénario Business Model 1 type « industriel » 23
1.4.4. Analyse du scénario Business Model 2 type « économie sociale » 28

1.5. Recommandations **53**

1.6. Opportunités d'apprentissage et d'amélioration **55**

II. Analyse d'un Business Model d'un hub de massification « multi flux » *56*

2.1. Enjeux **56**

2.2. Informations sur les 3 flux spécifiques non inertes de construction : **57**
2.2.1. Approche méthodologique 57
2.2.2. Informations sur le flux « plâtre » 57
2.2.3 Informations sur le flux « plastique » 58
2.2.4 Informations sur le flux « laine de verre » 59
2.2.5. Centres de collecte, tri et regroupement 60

2.3. Cartographie des initiatives en cours **61**

2.4. Pistes de solutions : scenario d'un réseau de hubs « multi-flux » **62**
2.4.1. Approche méthodologique 62
2.4.2. Choix entre deux scenarii 65
2.4.3. Analyse du Business Model Hub de massification « multi-flux » 65
2.4.4. Interprétation des résultats 70

2.5. Recommandations **72**
2.5.1. Recommandations générales 72
2.5.2. Recommandations spécifiques pour le hub 72

2.6. Opportunités d'apprentissage et d'amélioration **73**

III. Conclusions Wallace 2024 ..... *74*

IV. Consommation budgétaire *75*

V. Bibliographie *76*

Executive Summary

WALLACE constitue le troisième volet d'une démarche débutée avec WaloSCRAP I et II. Cette initiative wallonne portée par le pôle GreenWin, et lancée en 2021 pour une durée de quatre ans, a été financée par la Région via le SPW-ARNE (Direction Sols et Déchets – DSD). Cette étude vise à améliorer la circularité des déchets(-ressources) issus du secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition, en cohérence avec les **objectifs du Plan wallon Déchets- Ressources (PWD-R)**.

Cette phase de recherche a permis d'analyser en profondeur la possibilité d'optimiser la gestion (collecte, tri, séparation, valorisation) de certains **flux identifiés comme prioritaires** (verre plat, châssis, laine de verre, plâtre, plastiques rigides, etc.), et d'explorer les **freins** et **leviers** au développement de **filières circulaires locales**, avec une attention particulière portée au concept de **hub de massification**.

Le hub de massification considéré comme un nouvel élément clé pour le développement et **l'amélioration de la circularité des filières**, permettrait de **faciliter la gestion** des déchets-ressources issus des chantiers de construction et démolition, et d'approvisionner davantage les industriels wallons en matériaux secondaires de **haute qualité**.

Afin de mener cette étude, GreenWin s'est appuyé à la fois sur l'identification de l'état de l'art des techniques et systèmes existants, a effectué des recherches théoriques et a interviewé les acteurs de terrain actifs sur les chaines de valeurs concernées. Aussi, GreenWin, en collaboration avec la fédération Embuild Wallonie et le consultant économique Möbius, a étudié différents scenarii de modèles économiques afin de soutenir le déploiement de certains hubs de massification.

Deux types de hubs ont été analysés :

1. **Un hub dédié à un flux spécifique** ici les menuiseries vitrées/ châssis- verre plat
2. **Un hub "multi-flux"** regroupant des matériaux comme le plâtre, la laine de verre et les plastiques rigides.

1. Un hub dédié au flux menuiserie vitrées

Deux scenarii de *Business Models* ont été étudiés pour **évaluer les conditions de viabilité et de reproductibilité d'un hub destiné au recyclage du verre plat et des châssis**, dans le but de promouvoir un recyclage « *cradle to cradle*[1] » du verre et de répondre aux enjeux de décarbonation de l'industrie verrière et à la problématique de gestion des châssis usagés auprès des menuisiers.

i. Un **modèle industriel** qui étudie le développement d'une filière de collecte initiée et coordonnée par un producteur verrier, avec comme cas de référence le modèle de logistique inverse en cours de développement chez **AGC**. Ce scénario implique que le transformateur verrier récupère les vitrages 'post-consommation' auprès de ses clients en logistique inversée, pour les acheminer vers un hub centralisé, et ensuite vers un recyclage « upcycling » de la matière vers des applications verre plat.

ii. Un **modèle d'économie sociale**, qui explore la mise en place d'une filière de récupération et de massification des menuiseries vitrées, gérée par des acteurs de l'économie sociale. Pour l'analyse de ce modèle économique, GreenWin a pris comme cas de référence **l'ASBL « Croisade Pauvreté »**. L'objectif ici est de permettre le réemploi des menuiseries vitrées lorsque cela est possible, ou de les démanteler, si le recyclage est la meilleure option. Dans ce scénario, GreenWin a cherché à analyser le seuil de rentabilité dans le *business model* où le recyclage est l'option privilégiée pour les menuiseries vitrées n'ayant plus les performances énergétiques nécessaires pour être réemployées. Ce modèle intègre deux

[1] Le recyclage « **cradle-to-cradle** » se comprend ici comme la réincorporation des déchets de verre plat dans la production de nouveaux verres plats

approches : (1) la première consiste en un **hub de massification installé dans une structure existante**, destiné à collecter et démanteler les châssis usagés provenant de petites et moyennes menuiseries, avec des volumes faibles de châssis remplacés par an. (2) La seconde approche prévoit des **ateliers mobiles**, associés au hub, pour démanteler les menuiseries sur de grands chantiers (d'une surface d'au moins 100 m²) afin de résoudre les contraintes logistiques liées au transport.

L'étude a permis de baliser les conditions nécessaires à la mise en œuvre de ces hubs de manière pérenne :

- Pour le **scénario industriel**, un soutien à la source en terme de financement, et de renforcement des compétences est requis pour alimenter le hub en quantité et qualité suffisante ;
- Pour le **scénario social**, la viabilité économique dépend notamment de l'optimisation simultanée de plusieurs paramètres dont la productivité des travailleurs, le prix de vente du service (prix d'entrée de la matière au sein du hub), le coût de traitement de la matière (prix de sortie vers les centres de recyclage et valorisation) et la possibilité d'augmenter le taux de réemploi.
- L'optimisation des **coûts logistiques** reste un prérequis transversal et permanant dans chacun des scénario étudiés.

Enfin, des conclusions ont été formulées pour déterminer les conditions de viabilité, d'extension et de réplicabilité de ces deux scenarii à l'échelle régionale. Des recommandations ont aussi été formulées pour adapter le cadre réglementaire, soutenir les initiatives visant à déployer de manière complémentaire les deux scénarii de type « industriel » et « économie sociale » et proposer des pistes d'amélioration pour mettre en œuvre une filière de collecte et de traitement des châssis et la valorisation de ses différentes composantes en ressource à plus haute valeur ajoutée.

2. Un hub "multi-flux" regroupant des matériaux comme le plâtre, la laine de verre et les plastiques rigides.

Le pôle Greenwin a ensuite analysé les conditions nécessaires à la viabilité du développement d'un réseau de hubs « multi-flux » pour massifier séparément les flux de plâtre, laine de verre et plastiques rigides. La particularité de ces hubs réside dans leur décentralisation, visant à les installer à proximité des centres urbains pour faciliter l'évacuation des déchets prétriés par les entrepreneurs ou entreprises de petite taille, ou pour leur permettre de trier directement les déchets au sein du hub, dans un service similaire à celui des parcs à conteneurs publics.

Pour déterminer le seuil de rentabilité d'un hub opérant la massification séparée de ces trois flux, GreenWin a pris pour référence le projet « **Recyparc Pro** », en raison de ses nombreuses similitudes avec un projet de réseau de hubs. Avec l'aide d'un consultant économique, **le pôle a analysé le seuil de rentabilité d'un tel hub de massification**, en prenant en compte de la possibilité de traiter séparément les trois flux et de les acheminer ensuite vers des recycleurs wallons ou dans une région limitrophe.

L'étude a mis en évidence les conditions nécessaires à la mise en œuvre de ce hub de manière pérenne :

- Pour les flux tels que le **plâtre, la laine de verre ou les plastiques rigides**, l'analyse a montré un intérêt économique plus marqué pour le flux plâtre dans un contexte de **massification multi-flux** proche des centres urbains.
- En ce qui concerne les deux autres flux, il a été conclu qu'une massification séparée des flux **« laine de verre** » et « **plastiques rigides** » seraient économiquement moins intéressants car cela demanderait un prix de vente nettement plus élevé ou similaire à un coût de traitement des déchets en mélange « classe 2 ».

Enfin, des **recommandations opérationnelles et réglementaires** ont été formulées afin de :

- **Soutenir le déploiement des hubs de manière coordonnées** en offrant la possibilité de massifier un gisement en quantité et en qualité, de manière pérenne, et en réduisant les coûts liés à la gestion de ces gisements à la source (collecte, tri, séparation)
- **Expérimenter sur des chantiers spécifiques** (périmètre d'action cible) avec les acteurs clés à impliquer à la démarche (depuis la collecte sur chantier, jusqu'à la valorisation matière)
- **Étudier la réplicabilité régionale des dispositifs** mis en œuvre dans une logique d'économie circulaire.
- **Accompagner et soutenir le lancement d'une filière** de collecte et massification des gisements à forte valeur ajoutée, afin de renforcer la viabilité économiquement de la filière concernée, et de soutenir la transition de l'industrie wallonne vers l'économie circulaire.

Synthèse des principaux enseignement par flux étudiés

Gisement(s) concerné(s)	Scénario étudié	Principales recommandations
Verre (calcin)	**Scénario « industriel »** : Hub de massification initié et coordonné par le producteur verrier (AGC)	- Optimiser les processus de gestion des déchets-ressources (collecte, tri et séparation) à la source : coûts, compétences, et inciter les acteurs à séparer le verre à la source de la manière la plus qualitative possible - Capter un maximum du gisement sur les chantiers de construction et démolition en impliquant l'ensemble des acteurs actifs sur cette chaine de valeur : pouvoir public, intercommunales, maître d'ouvrage, menuiseries, entrepreneurs, etc.
	Scénario « social » : Hub de massification initié et coordonné par une entreprise d'économie sociale avec une possibilité de déploiement d'ateliers mobiles	- Optimiser simultanément les quatre variables : i. Améliorer la **productivité** ii. Identifier les **prix d'entrée**, **prix de sortie** optimum tout en restant compétitif par rapport aux autres alternatives iii. Augmenter le **taux de réemploi** - Soutenir le déploiement de ce hub en terme financier, et de compétences - Identifier un modèle logistique pérenne (et réplicable)
Plâtre, laine de verre, plastique rigide	**Scénario « hub multi- flux »** Hub de massification séparée de trois flux spécifique	- A ce stade, seul le **flux plâtre** offre des perspectives économiques intéressantes - Augmenter la quantité et la qualité du gisement capté depuis la Wallonie reste un défi.

Nota Bene *. Tout en conservant une approche réaliste, certains* ***paramètres de modélisation méritent d'être considérés avec nuance****, en raison de choix méthodologiques adaptés au contexte de l'étude.*

- *Les analyses des différents scénarii de Business Models ont été développés à partir d'un* ***cas d'usage spécifique****, dans une logique de simplification, et doit être adapté au contexte local, économique et technique de chaque acteur.*
- *Dans le* ***modèle d'économie sociale*** *appliqué au démantèlement et à la valorisation des menuiseries vitrées, le choix de privilégier* ***la voie du recyclage*** *avec un faible taux de réemploi a permis de tester un scénario connu et structurant****,*** *tout en laissant entrevoir le* ***potentiel complémentaire du réemploi****.*
- *Les Business Models des* ***hubs de massification*** *et des* ***ateliers mobiles*** *ont été examinés séparément afin de* ***mieux isoler leurs logiques économiques respectives****, ce qui facilite leur compréhension et leur mise en œuvre individuelle.*
- *Enfin, l'exercice de modélisation a nécessité la* ***formulation d'hypothèses de base****, permettant d'assurer une* ***comparabilité entre les scénarios*** *tout en conservant une lisibilité opérationnelle.*

Les scénarios étudiés sont basés sur des cas d'usage simplifiés et des hypothèses spécifiques. Les résultats doivent être interprétés avec prudence, et toute extrapolation nécessite une adaptation au contexte local, à la réalité de terrain et aux évolutions à venir.

0. Préambule

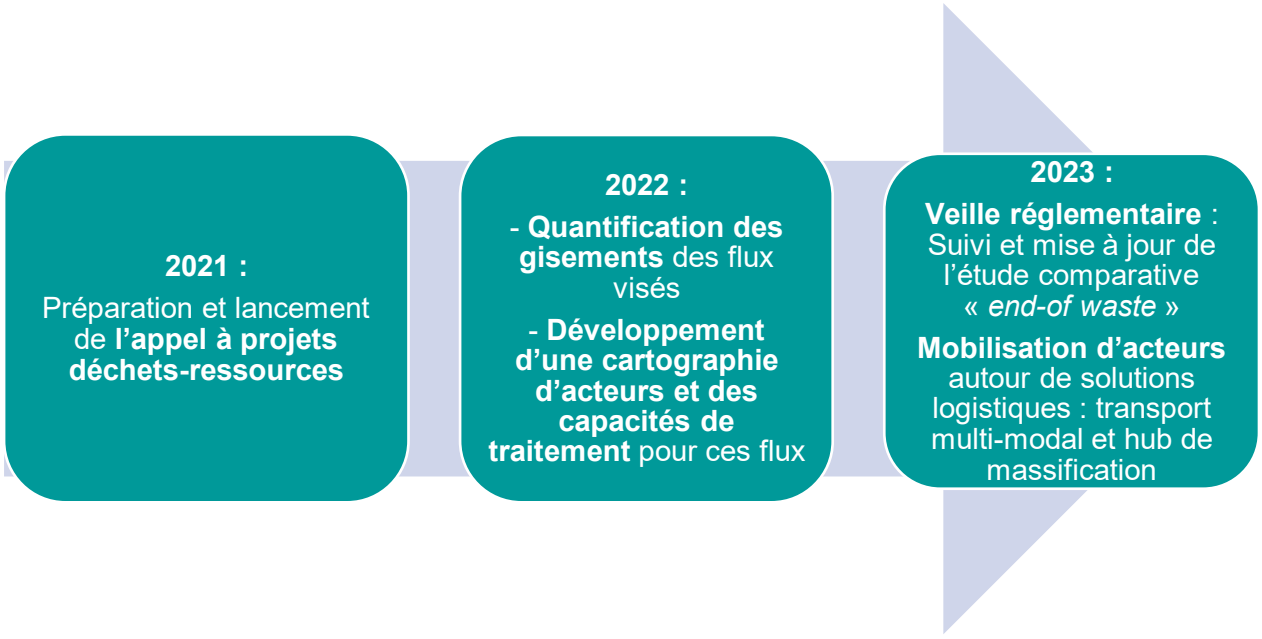
Depuis 2020, au travers de la Convention-Cadre Wallace le pôle GreenWin, avec le soutien de SPW-ARNE, s'est engagé à poursuivre ces activités visant à renforcer la circularité de certains flux de déchets spécifiques en Wallonie. Les objectifs de cette convention, qui s'étend sur la période 2021-2024, se sont articulés autour de trois priorités majeures :

- **Quantifier les gisements exploitables de ces flux de déchets** sur le territoire wallon, afin de mieux cerner leur potentiel de valorisation.
- **Identifier les opportunités de marché liées au recyclage et au réemploi** de ces matériaux, tout en facilitant la mise en relation des acteurs concernés.
- **Recenser les besoins d'innovation et accompagner le développement de projets innovants** pour accélérer la transition vers une économie circulaire dans le secteur des déchets.

Lors de ces précédents travaux (2021-2023), le pôle GreenWin, a exploré diverses solutions pour améliorer la circularité de différents flux spécifiques de déchets issus des chantiers de rénovation, de démolition et de déconstruction. Le pôle GreenWin s'est concentré sur certains flux considérés comme prioritaires, qui sont le :

> **Verre plat,**
> **PVC rigide,**
> **Plâtre,**
> **Béton cellulaire,**
> **Plastiques durs et**
> **Laines minérales (la laine de verre et de roche)**

Figure 1: Synthèse des actions WALLACE 2020-2023



La période 2021-2023 a été caractérisée par :

- Une **meilleure connaissance des gisements de déchets ciblés**, grâce à la collecte et à l'analyse de données régionales, permettant d'identifier les volumes exploitables et les flux prioritaires ;
- Le **renforcement des synergies entre parties prenantes** (acteurs de la chaine de valeur visée), via l'organisation d'action de réseautage (tables de travail, réunions thématiques ciblées, ...) favorisant l'émergence de projets pilotes et de collaborations innovantes dans le recyclage et le réemploi des matériaux ciblés ;
- La **priorisation de certains flux pour la mise en place d'initiatives** : Verre plat, châssis, plâtre, laine de verre, béton cellulaire et plastiques rigides ;
- L'**identification des besoins d'acteurs** industriels et entreprises de gestion de Déchets-Ressources pour améliorer leurs démarches circulaires ;
- Et **un focus sur l'analyse de modèles d'affaire spécifiques aux solutions de collectes et séparation de gisements post-consommation** existants, ou en cours de développement, dans le but de développer un modèle logistique optimum et assurant la viabilité de filières Régionales ciblées.

Ce bilan met en évidence la capacité du programme à fédérer les parties prenantes autour d'objectifs communs et à poser les bases d'une transition durable, tout en identifiant les chantiers à poursuivre pour consolider les acquis et lever les obstacles restants. Ce rapport 2024 propose une synthèse des avancées réalisées et des enseignements tirés au cours de ces trois années, illustrant la dynamique collective mise en place pour transformer les défis de la gestion des déchets en opportunités durables pour la Wallonie.

En observant les contraintes logistiques actuelles liées à la collecte sélective de ces flux spécifiques de déchets, GreenWin s'est focalisé durant cette année 2024, sur l'approfondissement de la piste de solution des **hubs de massification** qui répondrait aux besoins exprimés à la fois par les acteurs du secteur des déchets et ceux de la construction.

En effet, la massification est une approche pertinente pour répondre aux coûts logistiques lié au tri sélectif et le transport des matériaux secondaires vers les recycleurs. Cette activité de massification pourrait être gérée par des centres, appelés, « hubs » reposant sur des entités existantes en Wallonie comme des centres de tri ou de regroupement, des recycleurs, les intercommunales, des acteurs de la (dé)construction ou d'autres plateformes. Concrètement, l'activité d'un hub de massification consiste à **regrouper des petits volumes de déchets provenant de divers chantiers** (principalement résidentiels) dans des espaces spécifiques et **stratégiquement localisés** sur le territoire wallon, **avec les infrastructures et équipements adéquats**, en vue de **préserver leur qualité et d'augmenter les volumes disponibles** de matériaux secondaires.

Un hub peut se définir comme un maillon intermédiaire facilitant la connexion entre les « petits » chantiers de construction[2] et les acteurs spécialisés dans le traitement et la valorisation des flux de déchets spécifiques. Ce dispositif vise donc à atteindre **deux objectifs :**

[2] Le chantier de construction s'entend ici comme un chantier de rénovation/(dé)construction/démolition

- **Faciliter une gestion plus responsable des déchets par les entrepreneurs**, et ce, à moindre coût, tout en offrant aux acteurs des filières de valorisation de matériaux des ressources de qualité optimisée ;
- **Fournir un lieu d'approvisionnement pour des « déchets-ressources» de qualité**, avec des coûts logistiques optimisés.

Afin de garantir la pérennité de cette activité, chaque hub devrait disposer d'un modèle économique à part entière.

À travers ce rapport, le pôle GreenWin a donc pour objectif de proposer et d'analyser des scenarii de *business models* afin de déterminer les conditions de viabilité économique de l'activité de massification géré par un ou plusieurs hubs. Si les analyses confirment les conditions de viabilité d'un modèle, l'extension ou la réplicabilité de celui-ci sera également étudié.

Pour l'élaboration de ces scenarii, le modèle de hub se décline en 2 approches :

La première approche se concentre sur la massification d'un **« mono-flux »** : les menuiseries vitrées en PVC, aluminium et bois, appelées **hub « verre plat-châssis ».** L'objectif de cette approche est double : soit de préserver au mieux la qualité du verre plat, dans le cas où le recyclage serait la solution la plus pertinente, soit d'offrir davantage de possibilités de réemploi des châssis entiers. Malgré l'évolution positive du secteur du réemploi, **le pôle s'est concentré sur l'étude des gisements de menuiseries vitrées où le recyclage serait l'option la plus pertinente et a étudié un *business model* où l'économie sociale serait impliquée proactivement dans une filière de récupération et de démantèlement des menuiseries vitrées.**

La seconde approche, appelée **hub « multi-flux »,** se focalise sur la massification de certains flux spécifiques, généralement perdu dans le conteneur tout venant. Cette massification serait composée au moins des flux suivants ; plâtre, plastiques durs et laines de verre. L'intérêt de cette approche est **de développer les filières de traitement en Wallonie pour ces flux ainsi que d'optimiser un réseau de hubs décentralisés pouvant accueillir ces flux**. Ceux-ci étant souvent produits en petites quantités sur les chantiers, les coûts logistiques nécessaires pour massifier la matière atteignent généralement un niveau très élevé, rendant difficile l'alimentation d'une filière de recyclage économiquement viable.

Avant de présenter les résultats de cette analyse, il s'avère nécessaire de présenter les enjeux ainsi qu'une analyse synthétique des flux et filières étudiées dans ces deux approches, en récapitulant les conclusions des rapports précédents et les analyses plus approfondies menées par le pôle GreenWin.

I. Analyse des *Business Models* de filières de collecte, massification et démantèlement pour le recyclage des flux « verre plat » et « châssis »

1.1. Enjeux

1.1.2. Décarbonation et préservation des ressources du secteur verrier

La décarbonation de l'industrie verrière wallonne, secteur stratégique et historique pour la Wallonie, est essentielle pour garantir la transition durable de la Région. En effet, cette industrie est l'une des plus grandes sources d'émissions de CO_2 de la région, tout en étant également une grande consommatrice de matières premières naturelles dans d'autres régions, notamment le sable (ou silice), qui est soumis, selon les experts, à un risque croissant de pénurie. Pour donner un ordre de grandeur en termes d'émissions carbone, environ 580 000 tonnes de CO_2 ont été émises en 2021 en Wallonie par le secteur verrier, selon la fédération du verre Indufed.

Pour réussir à décarboner et préserver les ressources de ce secteur, deux stratégies pourraient être mises en œuvre :

1. L'intégration du verre recyclé

Aussi appelé « groisil » ou « calcin », l'intégration du verre plat recyclé dans la production de nouveaux verres plat présente des avantages environnementaux significatifs. Le recyclage d'une tonne de verre plat permettrait de **préserver 1,2 tonne de matières premières**, soit 700 kg de silice (sable), 500 kg de bicarbonate, et **de réduire de 700 kg les émissions de CO_2** (directes et indirectes). Si l'intégralité du gisement wallon, estimé aux alentours de 30 000 tonnes[3], était recyclée en « *cradle-to-cradle* » cela permettrait de sauvegarder environ 36 000 tonnes de matières premières et d'éviter l'émission de 21 000 tonnes de CO_2, soit l'équivalent d'au moins 21 000 vols aller-retour Paris-New York (EcoTree, 2023).

Bien qu'une filière de production de calcin existe déjà en Wallonie, gérée par le recycleur « Minérale », celle-ci approvisionne très peu la production de verre plat, en fournissant davantage les producteurs de laine de verre ou de verre creux, qui sont prêts à payer un prix plus élevé pour une qualité inférieure aux attentes du producteur verrier. De plus, si le producteur produit un calcin de meilleure qualité, le prix de celui-ci est perçu comme économiquement peu avantageux par l'industrie du verre plat par rapport à l'introduction de matières premières.

[3] Le gisement wallon de déchets de verre (calcin) estimé à 30 000 tonnes par an **correspond à la quantité de verre usagé collectée et disponible chaque année pour être recyclée en Wallonie, selon les données des principaux acteurs du secteur** (Indufed, Intercommunales [portail environnement wallonie], Recydata, Knauf Insulation, Minéral, Tradecowall, étude Intradel). Ce chiffre représente donc le potentiel annuel de verre qui peut être transformé en calcin, c'est-à-dire en verre broyé et purifié, prêt à être réintroduit dans la fabrication de nouveaux produits verriers.

La demande en calcin par l'industrie verrière a connu une forte croissance ces dernières années, cependant l'offre peine encore à suivre ce rythme, entraînant ainsi un déséquilibre sur le marché. Des entreprises comme AGC et Saint-Gobain Glass travaillent donc sur des initiatives visant à s'approvisionner davantage en verre recyclé pour leur production de verre plat.

Pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, le producteur verrier wallon AGC prévoit d'augmenter la part de calcin post-consommation introduit dans ses fours, en passant de 30 % à 50 %. Atteindre ce nouvel objectif nécessiterait 450 000 tonnes de calcin par an. Cela représente une augmentation de **180 000 tonnes supplémentaires** par rapport à la situation actuelle, où environ **270 000 tonnes** sont déjà utilisées. Ce chiffre découle d'une estimation globale de **900 000 tonnes** de matière première utilisée annuellement dans les fours.

2. La réutilisation et le réemploi de la menuiserie vitrée entière, de châssis ou du vitrage.

Cette filière de réemploi de menuiseries vitrées est en cours de développement en Wallonie et connaît une demande de plus en plus significative mais peu de données chiffrées permettent d'objectiver cette tendance. Des projets, tel que le projet Fineo, permettraient de remplacer des anciens vitrages sans changer les châssis (AGC Glass, 2024). Des projets de recherche visant à réemployer d'anciens vitrages ont également été menés mais n'ont pas pu déboucher sur une mise sur le marché.

Afin de répondre aux besoins de certains producteurs wallons en ressources secondaires, le pôle s'est principalement concentré sur des solutions de recyclage, bien que les solutions de réemploi fassent également partie des réflexions et méritent d'être approfondies dans la mise en œuvre effective des filières considérées. Ce rapport propose donc par la suite un modèle économique d'un "hub" qui combine à la fois les solutions de recyclage et de réemploi, ces deux approches pouvant être complémentaires dans le cas des vitrages (AD Vitam Material, 2024).

1.1.3. Gestion des châssis en fin de vie pour les menuisiers

En se basant sur les données recueillies par des enquêtes réalisées en 2014 et 2024 par Embuild Wallonie et lors de réunions réunissant plusieurs menuisiers, le pôle constate que **la gestion des châssis usagés demeure un véritable défi pour les menuisiers wallons, dont la majorité des entreprises sont de petites et moyennes structures spécialisées dans la fabrication, l'installation et le remplacement de châssis**[4].

Les enquêtes menées en 2014 et 2024 soulignent les **diverses contraintes opérationnelles** qui freinent les menuisiers dans le traitement en amont des châssis usagés, notamment au sein des plus petites d'entre elles. Cependant, ces dernières confirment que le **coût de gestion des déchets**, estimé à 250 €/tonne, représente une charge conséquente pour leurs activités. Malgré cela, **l'évacuation des matériaux séparés ne présente pas une solution suffisamment attractive (point de vue économique) pour provoquer un changement global de comportement**, en particulier dans les petites entreprises. Bien que des initiatives

[4] L'étude de 2024 a été commandité par GreenWin dans le cadre de la présente convention. Une synthèse des résultats obtenus est présentée dans la suite du rapport.

émergent pour améliorer la collecte du vitrage ou des châssis, elles restent encore peu connues et peu développées pour entraîner un véritable changement au sein du secteur de la menuiserie wallonne.

1.2. Informations sur les flux concernés

1.2.1. Approche méthodologique

Pour analyser ces flux, GreenWin a consolidé des données issues de différentes études et rapports d'entreprises ainsi que d'entretiens individuels menés avec les acteurs de la chaîne de valeur et les parties prenantes en vue de développer une filière de recyclage des châssis et du verre plat issu du secteur de la construction. Sur le tableau 1, nous pouvons prendre connaissance des acteurs rencontrés par GreenWin.

Tableau 1: Acteurs rencontrés sur la chaine de valeur « verre plat » et parties prenantes potentielles

Producteurs de matières premières	Fabricants de châssis	Menuisiers (poseurs)	Organismes de gestion et traitement de déchets	Recycleurs, valorisateurs et acteurs du réemploi	Fédérations	Organisme de formation, recherche et innovation	Acteurs présents dans d'autres pays
AGC, Deceuninck, Saint Gobain glass	Velux, Pierret, Tivolux	Comité technique des menuisiers en Wallonie	Bruco, Copidec, Dufour Tradecowall, Vanheede	Retrival (RecyparcPro), Minérale, 2valorise, Réseau Ressources	Embuild Menuisiers Wallonie, Embuild, Denuo, Indufed	Céfoverre, Buildwise sections menuiseries, Logistics-in-Wallonia, Filière bois	Valobat, Covanord (France), TNO, VRN

Ce travail de veille a permis d'obtenir et de synthétiser des données qualitatives et quantitatives sur le flux « verre plat » en Wallonie qui seront présentés dans les sections suivantes. Afin d'obtenir des données récentes (inférieures à 5 ans) sur le traitement des châssis usagés par les menuisiers et autres entreprises de construction en Wallonie, le pôle a commandité une étude à Embuild Wallonie pour réactualiser les données d'une enquête qu'ils ont menée en 2014. L'enquête de 2014 avait permis d'identifier les tendances des entrepreneurs concernant la gestion des châssis usagés, ainsi que les difficultés liées à leur traitement optimal. Cette nouvelle étude vise à évaluer l'évolution de la situation mais aussi à estimer le volume de châssis usagés par type de menuisier en 2024. Ce rapport détaillera plus amplement les résultats des études de 2014 et 2024 dans la section suivante.

1.2.2. Informations sur le flux « châssis »

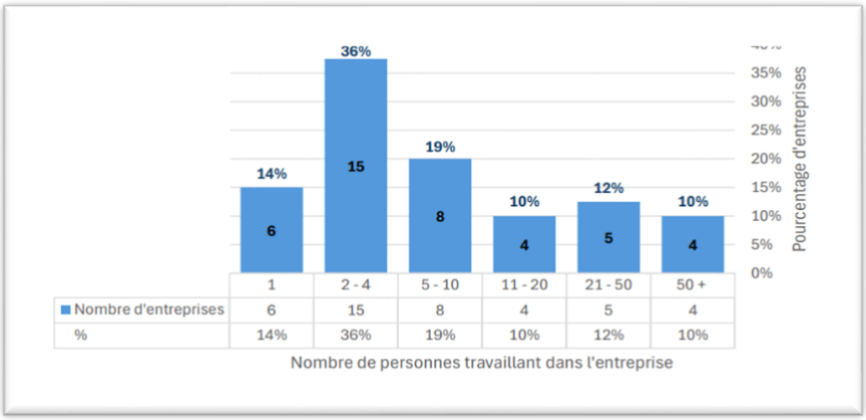
L'étude réalisée par Embuild en 2014 a permis de collecter des données et d'analyser les tendances relatives à la gestion des châssis usagés auprès de **67 menuisiers wallons**. En ce qui concerne **l'étude réalisée en 2024, 42 entreprises de menuiserie wallonnes** de tailles différentes ont répondu à l'enquête, avec des profils différents selon leur taille, leur

spécialisation et leur localisation. La figure 2 et 3 indique la répartition des répondants par taille d'entreprise et leur localisation.

Selon Embuild Menuisiers Wallons[5], la principale fédération professionnelle du secteur, on compte environ **700 entreprises affiliées réparties sur les cinq provinces wallonnes**. Toutefois, la filière bois wallonne regroupe au total plus de 9 000 entreprises, dont une majorité dans le sous-secteur de la menuiserie (42,7 % des sociétés de la filière bois en Wallonie)[6]. Cela représenterait environ **3 900 entreprises de menuiserie** (42,7 % de 9 143 entreprises de la filière bois).

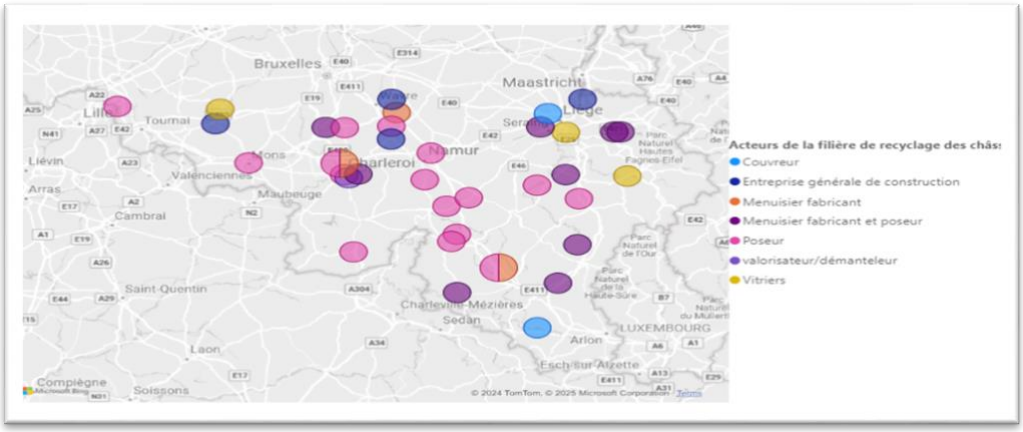
Sur base des données actualisées de la Filière Bois Wallonie (9 143 entreprises dans la filière, dont 42,7 % en menuiserie), le nombre total d'entreprises de menuiserie en Wallonie est estimé à environ 3 904. Parmi celles-ci, **42 entreprises ont répondu à l'étude Embuild, la proportion de répondants par rapport au secteur global est donc d'environ 1,08 %.**

Figure 2: Graphique sur la répartition des entreprises participantes à l'enquête de 2024 selon leur taille



Étude Embuild 2024

Figure 3: Localisation des entreprises répondantes de l'enquête de 2024



Étude Embuild 2024

L'étude complète est accessible en annexes, nous vous présentons les informations essentielles ci-après, en comparant l'évolution entre 2014 et 2024 du gisement disponible ainsi que les tendances sur la gestion des châssis usagés.

1. Taille et activités des entreprises

[5] Embuild Menuisiers Wallons asbl., joignable sur https://www.menuisiers.com/

[6] Information reprise dans des publications officielles et des rapports sectoriels de la région Wallonne, notamment par l'Office économique wallon du bois.

Les menuiseries interrogées restent majoritairement **des entreprises de petite taille**. En 2014, 63% des entreprises interrogées employaient 4 travailleurs ou moins (gérant inclus). En 2024, 50 % des entreprises de l'échantillon comptent moins de 5 employés.

- Les **projets de rénovation privée dominent les activités** (100 %), avec un tiers des entreprises également impliquées dans la rénovation publique et la moitié dans la construction neuve, comme indiqué sur la figure 4.

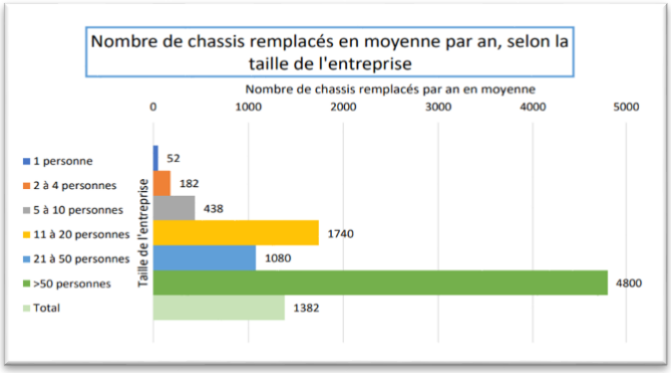
Figure 4: Répartition du nombre d'entreprises selon les types de chantiers réalisés.

Type de chantier	Rénovation - Privé	Rénovation - Public	Construction - Neuve	Démolition - Privé
Nombre d'entreprises	42	14	21	2
%	100%	33,3%	50%	4,7%

Étude Embuild, 2024

- Il est difficile d'estimer le nombre de châssis moyen remplacé par an, les résultats de l'enquête révèlent une grande diversité dans le nombre de châssis remplacés annuellement par les entreprises. Une **augmentation du taux de remplacement des châssis est observée par rapport à l'étude réalisée en 2014**, où la majorité des entreprises déclaraient remplacer moins de 100 châssis par an. Compte tenu de la prédominance des entreprises comptant 2 à 4 employés dans l'enquête de 2014, cela semble indiquer une tendance croissante à la rénovation, **la moyenne de châssis remplacés doublant presque** (de 100 à 184 pour les entreprises de 2 à 4 personnes en 2024) (figure 5). Globalement, on **observe une tendance à environ cinquante châssis remplacés par personne et par an**, avec une évolution stable en fonction de la taille croissante des entreprises. Cependant, **les entreprises comptant entre 11 et 20 personnes dérogent à cette tendance, affichant des chiffres nettement plus élevés**. Cette particularité s'explique par le fait que toutes les entreprises de cette catégorie ayant répondu à l'enquête sont des poseurs. En effet, les poseurs remplacent davantage de châssis que les autres corps de métier, car leur activité est spécifiquement axée sur l'installation de châssis, ce qui leur permet de se concentrer exclusivement sur ce type de travaux et d'en réaliser un volume plus important.

Figure 5: Répartition du nombre de châssis remplacés en moyenne par an et par taille d'entreprise



Étude Embuild, 2024

2. Composition, Gestion et traitement des châssis usagés

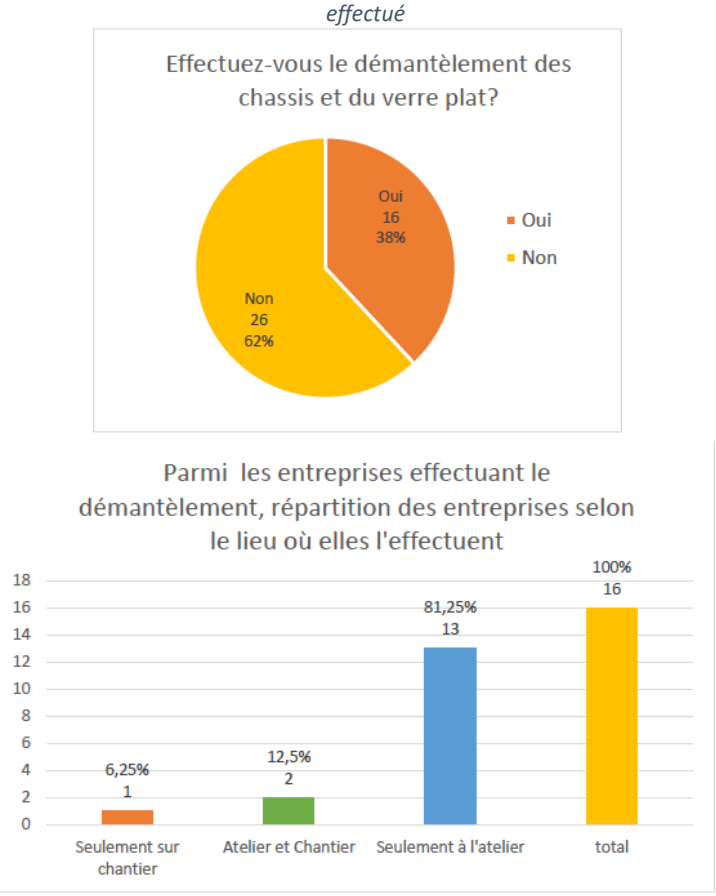
La composition des châssis usagés a évolué, avec une prédominance aussi bien de cadres en PVC que de ceux en bois. En 2014, la majorité des remplacements concernaient

des châssis en bois, suivis de ceux en plastique et en métal. En 2024, selon les enquêtes d'Embuild et de la Fédération Belge de la Menuiserie (par exemple : « Étude sur la filière du verre plat en Wallonie », Embuild, 2024) on constate que la majorité des châssis remplacés aujourd'hui sont en PVC, mais il subsiste encore une part significative de châssis bois et, dans une moindre mesure, en aluminium.

Le traitement des châssis usagés reste largement sous-optimal, malgré que la collecte par les entreprises soit élevée. En 2014, 88 % des entreprises prenaient en charge les châssis usagés, bien qu'une partie soit laissée à la responsabilité des clients. En 2024, cela monte à plus de 90 % des entreprises interrogées qui récupèrent les châssis usagés directement en atelier, mais seulement 25 % les envoient immédiatement vers un centre de tri.

Le pourcentage d'entreprises séparant le verre du cadre a diminué. En 2014, 65 % des entreprises séparaient le verre du cadre, alors qu'en 2024, 62 % des entreprises ne s'occupent pas du démantèlement elles-mêmes, laissant les châssis tels quels. Parmi les 38 % qui procèdent au démantèlement en 2024, 81,25 % le font en atelier, 6,25% sur chantier et 12,5% en chantier et atelier, comme l'indique les figures ci-dessous.

Figure 6: nombre d'entreprises qui effectuent le démantèlement des châssis et du verre plat et répartition selon le lieu où il est effectué

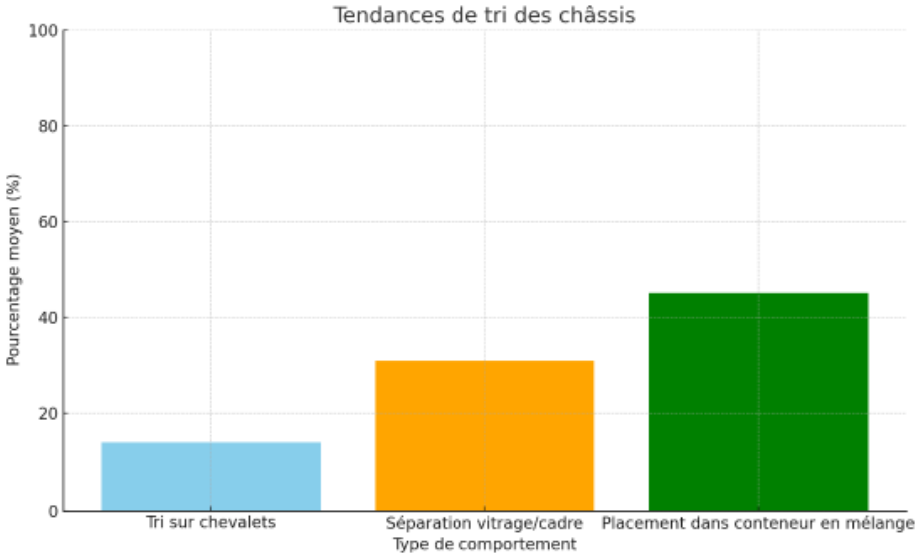


Étude Embuild, 2024

La tendance concernant la séparation du cadre et du vitrage a évolué. En 2014, la séparation était plus fréquente pour les cadres en bois (74 %) et en métal (72 %), mais moins courante pour le plastique (57 %). En 2024, quasi 100% des menuisiers faisant le démantèlement le font pour tous les types de châssis ;

La méthode d'évacuation prépondérante demeure le conteneur en mélange « classe 2 ». En 2014, 55% des entreprises utilisaient des conteneurs mixtes pour les déchets, tandis que seulement 8% utilisaient des conteneurs dédiés exclusivement au verre plat. En 2024, 14% des châssis sont triés en utilisant des chevalets, 31 % des châssis sont séparés entre vitrage et cadre avant d'être déposés dans des conteneurs distincts et 45 % des châssis sont déposés directement dans des conteneurs en mélange, sans tri préalable (Figure 7).

Figure 7: Tendance sur les modes de collecte en 2024



Étude Embuild, 2024

3. Contraintes rencontrées

Les contraintes restent globalement similaires et les principaux obstacles restent le coût perçu comme élevé d'un meilleur tri, **le manque d'alternatives dans les solutions de collecte, les risques sécuritaires liés au démantèlement, le manque d'espace pour les conteneurs et le manque de temps.**

4. Intérêt pour le recyclage et solutions proposées

De 2014 à 2024, encore peu d'entrepreneurs considèrent que leurs châssis ou vitrages en fin de vie sont traités dans des filières de recyclage, bien que :

- **L'intérêt pour des solutions de recyclage s'est accentué** passant de 72% à 95 % des menuisiers favorables aux solutions de recyclage ;
- Les solutions plébiscitées en 10 ans restent centrées sur un service de collecte amélioré des châssis mais évoluent vers des modèles plus structurés comme un **service de collecte spécifique pour les châssis entiers (44 %), des centres de massification situés de préférence à moins de 30 km (22 %), et la collecte des matériaux séparés (18 %).**

5. Tendances et évolutions globales

- **Progrès** : Les volumes de châssis remplacés augmentent, ce qui reflète une intensification des activités de rénovation et une participation accrue des entreprises à la gestion des déchets ;
- **Limites** : Le recyclage demeure sous-exploité, avec des infrastructures et solutions encore insuffisantes pour répondre aux besoins ;
- **Changement notable** : En 2024, une volonté plus marquée est observée d'améliorer la filière, avec un accent sur la réduction des contraintes logistiques et l'implémentation de services adaptés. Néanmoins, il existe peu d'évolution entre la situation de 2014 et 2024.

1.2.3. Informations sur le flux « verre plat »

Le tableau suivant décrit la matière « verre plat » issu des chantiers de construction, son gisement potentiel ainsi qu'une cartographie de sa filière de traitement en Belgique sur base de la consolidation des informations obtenus des précédents travaux Wallace, l'outil de guide de tri des déchets de construction et de démolition développé par Buildwise (Afvalstromen) et des acteurs du terrain présents sur la chaine de valeur du verre plat.

Tableau 2: gisement potentiel de verre plat et filière de traitement actuelle en Belgique

Verre plat	
Gisement potentiel estimé	▪ **60 000 à 70 000 tonnes en Belgique** issus des déchets de démolition, déconstruction et rénovation ▪ **30 000 à 35 000 tonnes en Wallonie** issus des déchets de démolition, déconstruction et rénovation Densité de déchets de verre issus des chantiers de rénovation sur base de la superficie du territoire wallon : 2 tonnes/km² (*voire Annexe1).*
Densité de la matière	**2500 kg/m³** (pour simple vitrage de 4 ou 6 mm)
Centres de traitement	**En Wallonie** : ▪ Le **recycleur « Minérale »** avec une capacité de traitement de 150 000 tonnes : 50% consacré au verre creux à Anvers et 50% consacré au verre plat à Charleroi ⇨ **Coût de traitement** : 20 à 40 €/tonne selon le type de verre (plat) ⇨ **Valorisation :** Calcin pour laine de verre, verre creux et verre plat **En Flandres :** ▪ Le **recycleur GRL** à Lummen et à Beerse. ⇨ **Coût de traitement :** non connu ⇨ **Valorisation** : Calcin pour laine de verre, verre creux et verre plat ▪ Le **recycleur Maltha** à Lommel. ⇨ **Coût de traitement** : non connu ⇨ **Valorisation** : Calcin pour laine de verre, verre creux et verre plat
Volume de déchets récupéré en Wallonie.	▪ **1612 tonnes récupérées** en 2013 dans les recycparcs wallons[7]

[7] PWD-R adopté par le gouvernement wallon le 22 mars 2018

	▪ **4 500 tonnes de verre plat** collecté en 2023 par les intercommunales[8] (Déclarations des Intercommunales relatives aux parcs à conteneurs)
Volume de déchets wallon traité en Wallonie	▪ **20 000 à 25 000 tonnes par an traités** actuellement par Minérale
Défis actuels de la filière en Wallonie	**Optimiser la collecte des vitrages en fin de vie provenant des chantiers** car une partie de celui-ci serait encore évacué dans des conteneurs en mélange « classe 2 » ou contaminés avec d'autres sources de déchets, ce qui empêche une valorisation de qualité de ce flux, et par conséquent, un faible approvisionnement de la matière secondaire dans la production de verre. Une meilleure collecte du verre permettrait de contribuer à différents enjeux liés à la stratégie de transition durable de la Wallonie.
Niveau de circularité de la filière wallonne	**A améliorer** car le verre est majoritairement recyclé dans des applications « *downcycling* » comme la laine de verre et le verre creux, et non pour des applications « *upcycling* » comme le verre plat, voire le réemploi.

1.2.4. Potentiel de marché

En raison de ces différents facteurs :

> Un **gisement potentiellement de déchets de verre** évalués à **~30 000 tonnes par an uniquement sur le territoire wallon** et dont une partie serait encore largement enfouie dans les déchets de construction en mélange.

> **L'augmentation des chantiers de rénovations énergétiques** pour atteindre l'objectif de la stratégie de rénovation wallonne de 125 rénovations profondes par jour. En effet, 80 % du parc des bâtiments résidentiels datent d'avant 1991 et environ 70 % de ce parc a un label de performance énergétique de F, E ou D. Pour qu'une habitation de plus de 40 ans atteigne les performances énergétiques attendues, la rénovation implique généralement un remplacement des châssis[9] (Gouvernement Wallon, 2020). Ce qui amènerait à une croissance du gisement disponible, en vue de son réemploi, ou de son recyclage.

> Selon les enquêtes réalisées par la fédération Embuild**, la majorité des menuisiers, en général de petites taille, ne démantèlent pas les menuiseries** pour diverses contraintes et sont ouverts à des solutions permettant de collecter ou de déposer les châssis entiers. Étant donné que le tissu entrepreneurial wallon est surtout composé d'entrepreneurs ou petites et moyennes entreprises, un vaste gisement de châssis entiers pourraient être traité par la filière d'économie sociale sachant qu'une menuiserie remplace 50 châssis en moyenne par employé.

> **La demande des producteurs verriers en calcin est en forte croissance**, ceci afin d'atteindre leurs objectifs de Green Deal.

[8] STRATÉGIE WALLONNE DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE À LONG TERME DU BÂTIMENT, SPW département énergie et bâtiment durable, 2020 - consulté sur gw-201112-strategie-renovation-2020-rapport-complet-final.pdf

Nous pouvons donc supposer qu'il existe **des marchés potentiels importants liés à une demande d'évacuation alternative des menuiseries entières ou vitrages ainsi qu'une demande croissante en verre recyclé de meilleure qualité.**

1.3. Cartographie des initiatives en cours

- **Projet « Recycle Glass »** [10] développé par le producteur verrier AGC : Le projet consiste à collecter du vitrage auprès des menuisiers et sur des chantiers. Ce dernier regroupe ensuite les matériaux pour les envoyer au recyclage. La première phase du projet a été menée à bien, avec déjà des volumes récupérés auprès des menuisiers clients et des chantiers pilotes ;

- **Acquisition de l'ASBL « Croisade Pauvreté »** [11], situé à Saint-Servais, par l'entreprise d'insertion sociale Retrival. Cette ASBL permet de collecter et massifier les menuiseries vitrées en Région Namuroise. Avec cette nouvelle acquisition, Retrival vise à développer de manière plus structurée la filière de réemploi des menuiseries vitrées ou de recyclage des matériaux issus de celles-ci.

Figure 8: Photos de la visite de l'ASBL « Croisade Pauvreté » en Novembre 2024





- **Le projet « Recyparc Pro »** (Tradecowall/Retrival) qui consiste à développer un réseau de dépôt-collecte de matériaux de construction (béton cellulaire, châssis, autres,) en vue du réemploi / recyclage (B2B/B2C), tout en optimisant la logistique inverse. Le projet

[10] https://www.agc-yourglass.com/fr-BE/marques/recycle-glass
[11] https://www.res-sources.be/fr/membres/croisade-pauvrete-asbl/

Recyparc Pro commence à récupérer des menuiseries vitrées usagées au sein de sa plateforme dédiée au réemploi pour les valoriser de manière « *upcycling* ».

- **Projet de Cefoverre** à Jumet qui vise à former les futurs corps de métier du verre aux principes d'économie circulaire.

- **Le projet « Go-back »** opéré par Deceuninck qui vise à récupérer des menuiseries entières en PVC dans des bigs bags. Ce projet commence à prendre une certaine ampleur en Wallonie.

- Le **projet développé par Pierret System** pour la récupération et le recyclage de leurs propres menuiseries en PVC.

1.4. Pistes de solutions : Scenarii de Business models de filières de collecte « verre plat » et « châssis »

1.4.1. Approche méthodologique

Afin d'élaborer et modéliser différents scénarii, le pôle s'est basé sur les initiatives en cours en lien avec la collecte de vitrages ou menuiseries vitrées vues précédemment.

> **Pour l'élaboration du scénario du *business model* 1 de type « industriel »**, le pôle a pris comme référence le projet « Recycle Glass » d'AGC, et plus particulièrement son initiative pilote de logistique inverse développée avec les clients de sa filiale de transformation du verre, Energypane.

> **Pour l'élaboration du scénario du *business model 2* de type « économie sociale »**, le pôle s'est basé sur le cas de « Croisade Pauvreté » comme potentiel hub de massification avec la possibilité de développer des ateliers mobiles.

Pour obtenir des données plus précises, le pôle a collecté des informations quantitatives et qualitatives lors des entretiens individuels auprès des acteurs de terrain ainsi qu'auprès de parties prenantes potentielles. GreenWin a également impliqué les acteurs des chaînes de valeur « verre » et « châssis » à travers des groupes de travail collaboratifs, dans le but de concevoir ou améliorer des projets de filières basées sur ces scénarii. Ces groupes ont réuni des producteurs de verre, des fabricants de châssis, des fédérations du verre et des déchets, des acteurs de l'économie sociale, ainsi que le département wallon du sol et des déchets. Un projet pilote, impliquant certains de ces acteurs, devait être lancé en septembre pour obtenir des données objectives permettant d'alimenter les deux scenarii de *business model.* Cependant, ce projet n'a pas pu se concrétiser en raison de problèmes logistiques liés au transport des ouvrants vitrés du fabricant de châssis.

Le pôle a également présenté les enjeux de la circularité du verre et les projets en cours de développement lors d'un comité technique de la fédération des menuisiers, afin de discuter collectivement des meilleures approches pour répondre à leurs besoins. En outre, le pôle a organisé des rencontres bilatérales entre les producteurs de verre et des gestionnaires de chantiers publics ou des fabricants de châssis pour évaluer la faisabilité du scénario «industriel».

Le pôle a aussi étudié les systèmes développés dans les pays voisins pour recycler le verre et les menuiseries vitrées en mode « *upcycling* », comme le **système VRN** ou le **projet Saint-Gobain Recycling**. Une rencontre avec des représentants de ce dernier projet a permis d'orienter le scénario 2 de type « économie sociale », visant à créer un réseau d'acteurs spécialisés dans le démantèlement des menuiseries, issu de l'économie sociale.

Concernant l'identification de sources de financement, le pôle s'est renseigné sur le site de répertoire des aides aux financements wallons. Des réunions ont également été organisées entre les porteurs de projets en lien avec les scenarii développés avec des organismes de financement comme Wallonie Entreprendre ainsi que des structures d'accompagnement de projets comme les pôles de compétitivité ou les projets Interreg, dans le but de soumettre des dossiers de financement. Cependant, certains critères ont constitué un frein pour la soumission d'un dossier pertinent.

1.4.2. Présentation de deux scénarii

Deux scénarios de modèles économiques ont été étudiés pour développer une filière dédiée au recyclage des "menuiseries vitrées", en concertation avec les acteurs wallons :

1. Scénario de business model 1 de type « industriel » : Service de collecte des vitrages géré par le producteur verrier

Ce scénario a été décrit sur base de l'initiative Energypane lancée par AGC, un projet pilote de récupération des vitrages en fin de vie. Cette initiative s'inscrit dans le cadre du programme "Recycle Glass" d'AGC lancé il y a 2 ans visant à augmenter le taux d'utilisation de matière recyclée dans ses fours de production de verre plat.

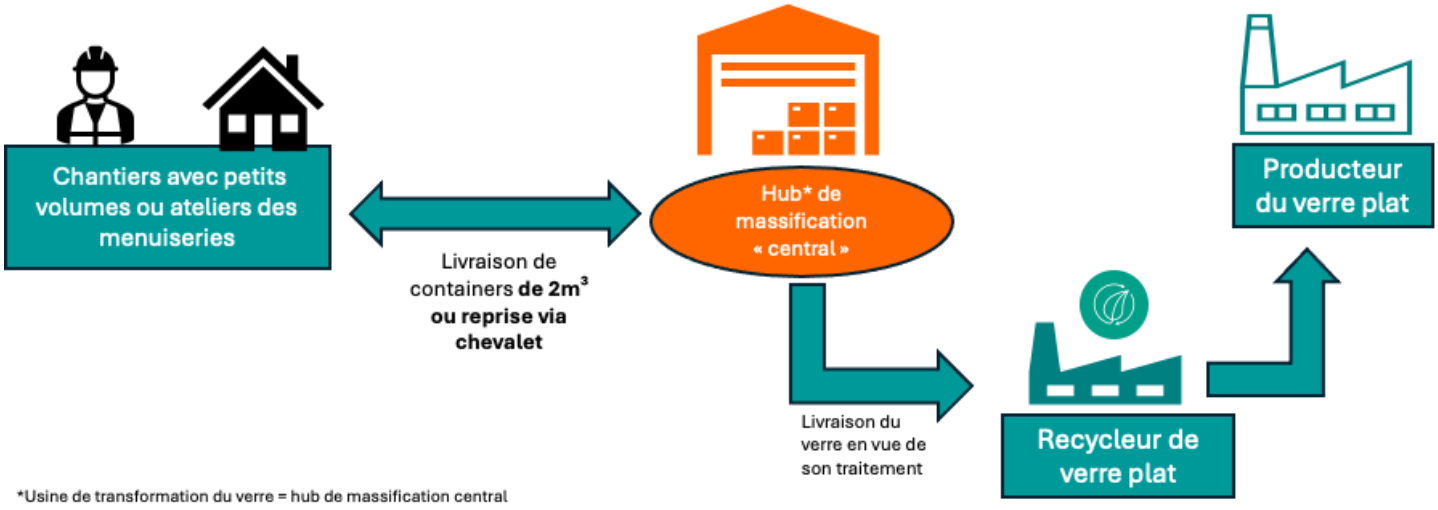
AGC Energypane propose un système de collecte avec des conteneurs sur mesure de 2m³ ou reprise sur chevalet, spécialement conçus pour la récupération des vitrages en fin de vie. Lors de rénovations ou de bris accidentels pendant l'installation, les professionnels stockent simplement les vitrages en fin de vie (sans cadre/châssis) dans ces conteneurs. Une fois pleins, ils sont collectés lors de la livraison de nouveaux vitrages par Energypane, grâce à un modèle de logistique inversée[12].

Dans ce scénario, le transformateur verrier développe sa propre filière de reprise de vitrages, via ses propres conteneurs (2 m^3) ou sur chevalet ayant servi à la livraison de nouveaux vitrages isolants, dans une démarche de logistique inversée. Les vitrages collectés sont acheminés vers leur centre usine de transformation de vitrage. Après un contrôle de qualité, les vitrages en fin de vie collecté sont placés dans un container dédiés au rebus de production qui seront ensuite envoyés vers un partenaire recycleur de verre plat en vue de leur traitement et revalorisation en calcin de qualité suffisante pour être réenfourné.

Sur chantier, la presqu'entièreté des vitrages en fin de vie sont mélangés aux inertes rendant impossible sa réutilisation dans un produit verrier (verre plat, verre bouteille, fibre de verre, etc.). Ce système garantit ainsi que davantage de déchets de vitrage soient réintroduits dans la fabrication de nouveaux verres, plutôt que d'être envoyés en décharge ou « downcyclés » (utilisation pour la production de bouteilles ou d'isolants).

[12] Information complète sur le projet pilote AGC Energypane à consulter sur ce lien : https://agcglassbelgium.be/fr/news/inzameling-van-beglazing-aan-het-einde-van-de-levensduur-bij-agc-energypane

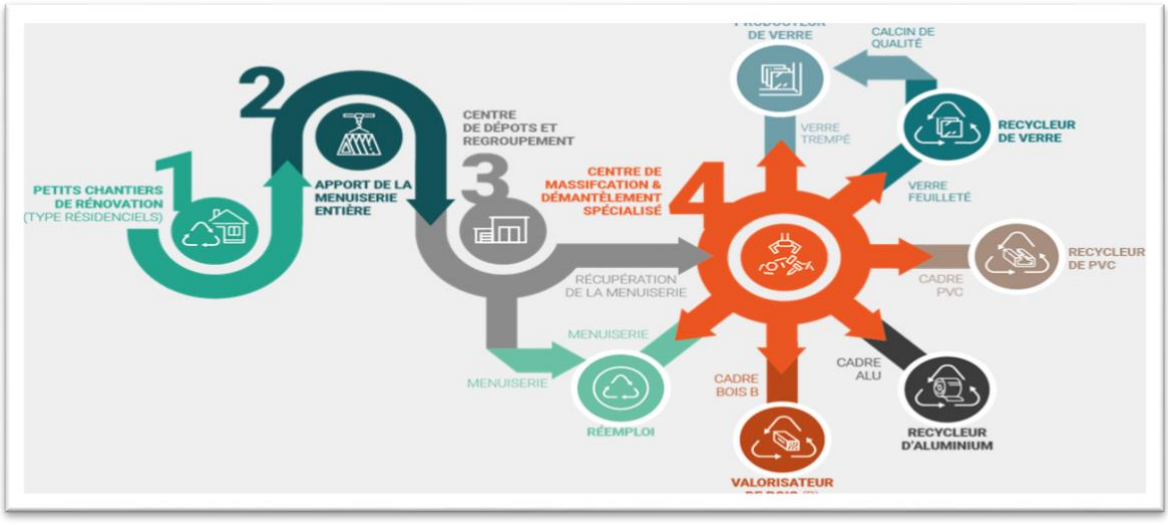
Figure 9: Représentation schématique du scénario du business model 1 type « industriel »



2. Scénario du business model 2 de type « économie sociale » : Plusieurs hubs pilotés par des entreprises sociales spécialisés dans la récupération et le démantèlement des menuiseries entières

Ce modèle propose de développer une activité spécialisée dans la collecte ou la massification de menuiseries entières en vue de les commercialiser vers du réemploi ou de séparer le châssis du vitrage et de valoriser ses composants (verre, PVC, Alu, bois). Ce modèle vise au développement d'une nouvelle filière incluant les menuisiers, des petits centres de dépôt et de regroupement à travers la Wallonie, ainsi que des centres spécialisés dans la massification et le démantèlement des menuiseries vitrées, des valorisateurs des matériaux et des acteurs du réemploi. Ces centres spécialisés ne seraient pas des nouvelles structures mais reposeraient sur le maillage existant en Wallonie. Nous avons décidé de baser notre analyse sur le cas de Retrival qui a été développé sous l'angle de l'économie sociale.

Figure 10: Représentation schématique simplifiée du scénario 2 type « économie sociale »



1.4.3. Analyse du scénario Business Model 1 type « industriel »

1. Approche méthodologique :

Pour décrire ce scénario, GreenWin s'est appuyé sur le projet pilote de mise en œuvre d'une logistique inverse visant à optimiser la récupération des vitrages en fin de vie auprès des clients d'AGC Energypane. Aussi, des groupes de travail bilatéraux et collectifs réguliers ont été organisés, pour récolter les informations essentielles à la construction d'un *Business Model* viable, et qui permettrait l'optimisation de la gestion de ce type de « Déchets-Ressources » au niveau de la région wallonne.

De plus, GreenWin a collecté des données de terrain afin de nourrir la réflexion sur la viabilité du modèle d'affaire, en identifiant à la fois des chantiers et des sources de financement. Les données présentées sont donc issues de l'analyse du développement de ce modèle et des retours de terrain fournis par le porteur du projet et les parties prenantes contactées. Des informations supplémentaires concernant le projet « Recycle Glass » et ses conditions d'acceptation sont accessible en annexe.

2. Analyse des critères qualitatifs du Business Model

Activités clés

- **Livraison et reprise via des chevalets ou des conteneurs de 2 m³ dédiés aux vitrages :** Lors de la livraison de nouveaux vitrages à ses menuisiers clients, le transformateur verrier organise la livraison des conteneurs de 2 m³ ou une reprise par chevalets dans une démarche de logistique inverse pour récupérer le verre issu des châssis usagés en atelier ou sur chantier. Les conteneurs sont livrés directement aux ateliers des menuiseries ramenant les vitrages en fin de vie en atelier lors de chantier de petites tailles (maisons résidentielles, appartements) ou directement sur chantier lorsque le nombre de châssis à remplacer est plus considérable (exemple : une école). Les menuisiers séparent donc le vitrage des châssis usagés qu'ils ont remplacés et placent les vitrages dans les conteneurs (ou sur chevalet). Lors d'une prochaine livraison, le transformateur verrier récupère en logistique inverse le conteneur rempli de verre, les vitrages récupérés sont empilés dans un conteneur de 15 m^3, puis envoyés au recycleur de verre. **Ce service ne s'applique que lorsque la quantité de vitrages usagés est considéré comme insuffisante (c'est-à-dire inférieur à 400 m^2 / chantier) ou si la logistique du chantier est trop complexe pour permettre l'installation d'un container de grande taille (typiquement dans les centres-villes)**.

- **Gestion de la collecte de conteneur de 15 m³ dédiés aux vitrages :** Pour les chantiers ayant une surface de vitrage d'environ 400 m², le producteur verrier fait appel à un gestionnaire de déchet pour livrer un conteneur de 15m³. Un accord est passé avec le maître d'ouvrage, ou l'installateur des châssis, qui devient responsable du démontage des anciens châssis, en séparant les profils du vitrage. Le producteur verrier collabore également avec un réseau de partenaires spécialisés dans le démontage des façades et le démantèlement des vitrages. Après le démontage, les vitrages sont placés dans le container prévu à cet effet sur le chantier. Ils sont ensuite transportés vers les centres de massification coordonnés par le producteur de verre (espace de stockage loué chez des gestionnaires de déchets indépendant, comme Bruco et Vanheed), en attendant leur traitement chez un recycleur de verre plat.

- **Contrôle de la qualité de traitement et réintégration du verre recyclé dans les fours :** Via ces deux activités de reprise, le verre est ensuite retraité avec le partenaire recycleur. Environ 50 % de la matière est réutilisable dans l'unité de production après un contrôle. Une traçabilité de la matière est ensuite fournie aux partenaires, indiquant la quantité de CO_2 évitée ainsi que les matières premières vierges non extraites.

Proposition de valeur

- **Valeur économique** : offrir un **service plus attractif d'évacuation des déchets**. Réduction du coût d'évacuation des vitrages en fin de vie. Précédemment, ils étaient généralement évacués avec les déchets généraux (DAB) ou inertes. Le système proposé implique généralement une réduction du coût de collecte, traitement et d'évacuation de la matière verrière.

- **Image environnementale de l'entreprise** : Cela est objectiver par une **attestation de valorisation de produits verriers en fin de vie** remises aux partenaires qui participent au système de reprise garantissant une circularité complète de la matière. Ce qui renforce la valeur ajoutée du service en améliorant l'image de la marque du client (=branding).

Segment de clientèle

- Fabricants de châssis, installateurs, vitriers généralement déjà « clients » chez le transformateur verrier
- Gestionnaires de grands chantiers de rénovation-déconstruction-démolition privés et publics avec une surface de vitrages à remplacer de minimum 400 m²
- Fabricants de châssis

Ressources nécessaires

Matérielles / Infrastructures

- Conteneurs adaptés aux tailles de chantiers
  - 30 conteneurs acquis dans le cadre de la phase 1 du pilote
  - Un chariot élévateur à tête rotative pour la manutention des containers de 2 m^3
- Chevalets et camion
  - Perte d'espace camion disponible préalablement alloué à la livraison de nouveaux verres sur chevalet.
- Espace de stockage ou zone de massification
  - Location espace de stockage chez les gestionnaires de déchets

Humaine

- Temps humain pour assurer la manutention des containers et la traçabilité de la matière entrante / sortante sur le site

Partenaires

- Collecteurs privés
- Sociétés de déconstruction ou rénovation
- Donneurs d'ordre publics (région, commune, etc.) et privés (entreprise de gestion immobilière, construction, etc.)

> Recycleur de verre

3. Analyse du seuil et conditions de rentabilité

Bien que l'initiative d'AGC soit encore au stade du projet pilote, la collecte actuelle des vitrages post-consommation auprès de ces clients pour les réintroduire sous forme de calcin dans la production de verre plat, **ne permet pas encore au producteur verrier d'atteindre le seuil économique**, qui rendrait la pratique autonome financièrement. Actuellement, pour être économiquement viable, la filière aurait besoin d'augmenter le volume et la qualité du gisement collecté sur chantier, mais aussi de réduire les coûts liés à la collecte, séparation et traitement du gisement concerné.

Actuellement, les pratiques de logistiques inverses initiées pas AGC produisent un *cash-flow* négatifs (CAPEx, OPEx négatifs en continu). Sans contribution financière extérieure ou la mise en place d'un système de soutien / d'incitants financiers « à la source », AGC n'est pas capable d'atteindre à lui seul la viabilité économique du modèle de récupération des vitrages en fin de vie.

Malgré tout, la mise en œuvre d'une telle filière permettrait au producteur verrier de faire des économies directes liées à la réduction des coûts :

- **Réduction des dépenses carbone** : le recyclage d'une tonne de verre évite 0,7 tonne de CO_2, réduisant ainsi cette charge financière.
- **Approvisionnement en matière première** : Chaque tonne de calcin recyclé économise 1,2 tonne de ressources naturelles (sable, roche), diminuant les coûts d'approvisionnement.
- **Efficacité énergétique** : Le processus de recyclage utilise 25% d'énergie en moins que la production de verre vierge, abaissant les coûts opérationnels.

Le bénéfice environnementale et économique, pousse donc le producteur verrier à continuer les activités dans ce sens et à optimiser les processus de collecte « à la source » en s'alliant à d'autres types d'acteurs en aval de la chaine de valeur de la filières verrière (entreprises de construction, menuiseries, entrepreneurs, ...).

A savoir, les offres de reprise des produits verriers sur chantier vont dépendre des conditions suivantes :

> La localisation du projet

> Les dates de début et date de fin prévue du projet (opérations de façade uniquement)

> La surface en m² qui sera démontée

> La possibilité de placer deux conteneurs en même temps sur le site du projet

Il est aussi fondamental que le menuisier ou l'entreprise de construction soit disposé à réaliser la séparation du cadre et du vitrage, que ce soit sur chantier ou dans son atelier. Celui-ci sera d'autant plus incité s'il s'agit de cadre en PVC ou aluminium car ces matériaux permettent de générer un profit dans la gestion de déchets par rapport à la solution du conteneur « classe 2 ».

Actuellement, le **delta coût du conteneur en mélange par rapport au conteneur séparé est trop faible** pour inciter les entrepreneurs à utiliser des conteneurs séparés, ce qui implique une perte de matière considérable qui part en décharge ou est dévalorisé en verre creux.

Néanmoins, il est essentiel de prendre en compte le surcoût que les entrepreneurs devront intégrer à leur modèle d'affaires pour assurer la séparation des matériaux, en particulier pour les petites structures. Afin de garantir une transition efficace vers des pratiques optimisées de tri et de séparation sur chantier, la mise en place d'un mécanisme de compensation pourrait être envisagée pour soutenir les acteurs confrontés à ces coûts supplémentaires, et garantir la durabilité de l'industrie de la construction Wallonne.

4. Interprétations des résultats :

Conditions de viabilité

En se référant au retour d'expérience de la phase test pilote, le système mis en place par le transformateur verrier permet de récupérer des volumes provenant de grands chantiers de déconstruction de bâtiments commerciaux (quand des opportunités se présentent).

- 1.5 Tonne/ container est récupéré en moyenne par installateur bénéficiant du service de reprise des vitrages en fin de vie, permettant ainsi d'éviter la dévalorisation complète de la matière en remblais pour les routes .

Cependant, le système mis en place par **cette initiative de type «industrielle» n'est pas encore considérée comme économiquement viable**, même avec l'augmentation des volumes récupérés.

Pour atteindre ces objectifs, le **producteur verrier wallon prévoit d'introduire 180 000 tonnes supplémentaires de calcin dans leurs fours**. La **quantité de déchet de verre disponible en Wallonie a été estimée à ~30 000 tonnes par an**, ce chiffre représente le potentiel annuel mobilisable de verre pouvant être transformé en calcin – c'est-à-dire du verre broyé et purifié, prêt à être réintroduit dans la fabrication de nouveaux produits verriers.

Le **gisement disponible en Wallonie permettrait de répondre seulement à une fraction des besoins du producteur verrier AGC**. Toutefois, ce volume ne reflète pas nécessairement l'intégralité du gisement théorique disponible. **Des pertes subsistent en raison d'un tri insuffisant, d'une collecte incomplète ou d'une contamination des flux**. Le gisement pourrait donc être partiellement accru par une meilleure captation, notamment grâce à l'optimisation des dispositifs de collecte, une sensibilisation renforcée du public, ou encore par des innovations en matière de tri.

Les **surcoûts opérationnels** du producteur verrier proviennent principalement de la mise en place du système de reprise par chevalets ou conteneurs. Ces surcoûts sont liés à des coûts de transport moins avantageux en logistique inversée, ainsi qu'à des frais de manutention supplémentaires au sein du centre de massification. Ces coûts, essentiellement variables, empêchent le modèle économique d'atteindre son seuil de rentabilité, même si celui-ci repose sur l'atteinte d'un volume plus important de vitrages à récupérer.

Par ailleurs, la **difficulté à capter un gisement de vitrages en qualité et en quantité suffisantes affaiblit davantage le modèle économique**. Les acteurs actifs sur les chantier de construction et démolition (entrepreneurs, menuisiers, etc.) ne disposent ni des compétences nécessaires pour réaliser un démantèlement de qualité, ni des ressources financières pour effectuer un tri et une séparation efficaces sur chantier.

En conclusion, même si ce système de reprise par logistique inverse est opérationnel et peut s'étendre selon certaines conditions, **il ne peut être économiquement viable dans les circonstances actuelles.**

Par conséquent, les systèmes d'incitations actuelles de la Région Wallonne pour stimuler la collecte et le tri séparé sont encore à renforcer. Ceci afin d'augmenter le taux de calcin potentiellement captable en Région Wallonne et d'attirer les flux limitrophes, afin de garantir la continuité des activités du producteur verrier en Wallonie et de diminuer l'impact de l'industrie de la construction sur l'environnement.

Plusieurs leviers d'action pourraient être envisagés :

- **Renforcement de la collecte sélective** :
  - Réflexion sur le prix des conteneurs en mélange vs prix des conteneurs séparés
  - Création d'un système de type REP (Responsabilité Élargie du Producteur) ou autres systèmes similaires (VRN au Pays-Bas), selon les bénéfices pour la Région ainsi que pour l'ensemble des acteurs actifs sur la Chaine de Valeur. Afin de compenser les surcoûts opérationnels de tri, logistique inversée et massification.
  - La facilitation du tri et séparation de la matière « à la source » : via un système d'obligation, accompagné d'un soutien à la transition ;

- **Soutien logistiques et économiques aux acteurs de terrain :**
  - Subvention ou prime à l'investissement pour des équipements de tri sur chantier, des installations de massification et de traitement locales ;
  - Un soutien aux projets intercommunaux ou privés autour du verre plat ;
  - Encouragement de la mutualisation logistique entre entreprises (collecte groupée, hubs régionaux).

- **Accompagnement et formation des professionnels :**
  - Formations obligatoires ou incitatives pour les entrepreneurs, menuisiers, déconstructeurs sur :
    - Le tri des vitrages.
    - Les techniques de déconstruction sélectives.
  - L'intégration du sujet dans les cahiers des charges publics ou dans les appels à projets circulaires (ex : marchés de rénovation).

Sans dispositif incitatif mis en place « à la source », la viabilité de ce modèle de reprise restera fragile. Il serait pertinent d'activer plusieurs leviers complémentaires, notamment le renforcement de la collecte sélective, un soutien logistique et économique aux acteurs de terrain, ainsi qu'un accompagnement pour développer les compétences nécessaires. Ces actions sont essentielles pour assurer la mise en œuvre opérationnelle du dispositif, en garantir la pérennité, et permettre sa réplicabilité à l'échelle de l'ensemble du gisement wallon.

La Région wallonne dispose d'un levier important d'orientation, de coordination et d'incitation. Une approche hybride combinant régulation, incitation et soutien opérationnel paraît la plus efficace pour améliorer à la fois : le volume capté de verre post-consommation et sa qualité, indispensable à son réemploi en calcin vers des applications à Haute Valeur Ajoutée.

Le producteur verrier pourrait étendre son service de reprise à davantage de menuisiers s'il **réduit ses surcoûts opérationnels liés aux contraintes logistiques** et si un dispositif incitatifs « à la source » est mis en place.

Pour les entreprises de menuiserie de type TPE ou PME, la réplicabilité du système de reprise via des conteneurs de 2m³ ou des chevalets dépendra du nombre de menuisiers pouvant être approvisionnés en logistique inverse par le producteur verrier, ainsi que du respect des conditions de rentabilité évoquées précédemment.

En l'absence de mise en place d'un tel service, les vitrages en fin de vie collecté par les professionnels du secteur continueront à être dévalorisés. En effet, par manque d'espace disponible sur leur site, les professionnels (TPME, PME) favorisent généralement la mise en place d'un container unique de type « classe 2 » dans lequel différents types de déchets (bois, inerte, verre, etc.) sont placés. Les gestionnaires de déchets récupérant ces matières ne sont pas en mesure de séparer le verre des autres matières menant à sa dévalorisation en remblais. Il n'est pas possible pour l'industrie de la fibre de verre (ex. Knauf), de la bouteille (ex. Saverglass), des microbilles (ex. Potters) et encore moins de l'industrie du verre plat (ex. AGC) de considérer le résidu de matière verrière provenant du traitement de la matière « classe 2 » réalisé par les gestionnaires de déchets. »

Enfin, pour les menuisiers qui ne peuvent pas être servis par logistique inverse, la réplicabilité du modèle dépendra de la possibilité de mise en œuvre d'un service de collecte par conteneurs de 2 m³ ou de reprise par chevalets et des coûts logistiques liés au déploiement de ce système. Afin d'éviter des surcoûts excessifs, le système devra probablement évoluer vers un modèle de « tournée en porte à porte » selon des zones géographiques spécifiques. À l'heure actuelle, aucune étude de faisabilité n'a encore été menée pour déterminer le seuil de rentabilité de ce modèle.

L'intégration d'un système régional incitatifs renforcera l'initiative industriel dans son ensemble, en garantissant l'accès à un plus grand volume de matière de qualité suffisante.

1.4.4. Analyse du scénario Business Model 2 type « économie sociale »

1. Pertinence de l'économie sociale

Dans ces scénarii, **l'économie sociale** pourrait jouer un rôle clé en tant que **nouveau maillon** pour développer la filière de recyclage de verre plat et de réemploi des menuiseries vitrées. Cette réflexion repose sur plusieurs éléments :

- **Expertise des "matériauthèques-ressourceries"** dans la récupération des matériaux : De nombreuses matériauthèques collaborent déjà avec des acteurs de l'économie sociale, qui possèdent des compétences en matière de récupération et de valorisation des matériaux de construction par réemploi. Ainsi, la récupération et la valorisation des châssis pourraient constituer une opportunité intéressante pour développer leurs activités. **En 2016, plusieurs matériauthèques avaient expérimenté la récupération et le démontage de châssis en vue de créer une filière commune. Malheureusement, en raison de moyens financiers insuffisants, cette filière n'a pas pu se mettre en place** (Réseau Ressources, 2016).
- **Caractérisation du flux entrant** : Grâce à leur expérience dans les filières de réemploi, les acteurs de l'économie sociale seraient bien placés pour analyser le flux entrant et

identifier les exutoires possibles En effet, certaines voies de valorisation en réemploi peuvent être limitées, car une grande partie des vitrages et châssis usagés proviennent d'avant les années 2000 et ne répondent plus aux normes de performance énergétique des bâtiments exigées aujourd'hui. L'acteur de l'insertion sociale qui réceptionnerait ce flux aurait la responsabilité de caractériser les types de flux entrants et de les rediriger vers les voies de valorisation les plus adaptées : recyclage et réemploi.

- **Efficacité Humaine vs. Machine** : Si le recyclage s'avère être la solution la plus appropriée, la récupération du vitrage pour sa réintégration dans la production de verre plat nécessite des opérations délicates et précises pour préserver la qualité de la matière. Selon des producteurs verriers comme Saint Gobain et AGC, le travail humain a prouvé une meilleure efficacité par rapport à l'utilisation de machines pour obtenir un verre de qualité suffisante.
- **Réplicabilité du modèle** : En cas de saturation d'un acteur de l'économie sociale en raison de l'ampleur du gisement évalué à 30 000 tonnes/an, le réseau en Wallonie et à Bruxelles est suffisamment dense pour permettre de former et répliquer le modèle auprès d'autres acteurs de l'économie sociale, créant ainsi un véritable réseau belge spécialisé dans la valorisation des menuiseries vitrées.

2. Deux approches possibles

En se basant sur le modèle proposé par Retrival le projet « Croisade Pauvreté », fonctionnant à petite échelle depuis plusieurs décennies, nous avons pu étudier deux approches afin d'élaborer un *business model* intégrant le service de collecte et séparation mené par des acteurs de l'économie sociale :

- **Première approche** : Un ou plusieurs centres ou « **hub » de massification des châssis**, qui sont également spécialisés dans le démantèlement. L'intérêt de ce hub est que les menuisiers puissent y déposer leurs châssis usagés à un prix plus attractif que la solution « conteneur en mélange » après leur chantier ou une première massification au sein de leur atelier. Ces menuisiers pourraient également s'approvisionner en châssis de seconde main au sein de ce hub reconditionnés par les travailleurs sociaux pour un prix démocratique. De plus, cela permettrait au hub d'externaliser les coûts logistiques liés à la collecte du gisement si les menuisiers apportent eux-mêmes les châssis.

  A noter que, **la condition indispensable pour que les menuisiers viennent réellement déposer leur châssis dans ce hub de massification est que le différentiel de prix avec le conteneur tout venant soit assez intéressant pour inciter les acteurs**. Si cette condition n'est pas atteignable, il est dès lors souhaitable de prévoir également une possibilité de réaliser des enlèvements sur chantier. avec un atelier mobile.

  Au sein de ce hub, les menuiseries vitrées qui ne trouvent pas de débouchés vers du réemploi vont être démantelées afin d'acheminer le verre et le cadre (en PVC, aluminium et bois) vers les filières de recyclage adéquates.

- **Deuxième approche** : Déploiement d'**ateliers mobiles** installés directement sur les chantiers ou des petits centres de massification à proximité. L'objectif de ce type de projet consiste à séparer le vitrage du cadre sur de pied de chantier ou des petites

zones de massification (exemple : un Recyparc Pro) à proximité de ceux-ci afin de répondre aux difficultés logistiques liés au transport d'un volume conséquent de menuiseries : manutention, risque de dégradation du verre durant le transport, sécurité.

L'objectif de **ces deux approches** est de **permettre à l'entreprise sociale d'adapter son offre de services** à l'ensemble du « marché », c'est-à-dire de pouvoir répondre avec une **offre de service standardisée** aux différents types de demandes d'évacuation des menuiseries vitrées usagées, favorisées par les responsables de leur gestion.

Le fait de lier réemploi et recyclage permet d'envisager une meilleure rentabilité de la filière, en optimisant la plus-value générée par le tri des menuiseries.

Ces deux approches visent par conséquent la **complémentarité** et l'**ajustement** aux besoins d'évacuation des châssis usagés, **selon le type de chantier ou le profil des menuisiers** et permettent d'optimiser le *business model* dans l'optique d'atteindre le seuil de rentabilité.

L'approche des ateliers mobiles est intégrée dans le modèle économique du hub mais sa mise à disposition va différer selon certains critères spécifiques liés aux composantes d'un business model.

3. Analyse des critères qualitatifs du Business Model

Activités clés

Communes aux deux approches :

- Caractériser la meilleure voie de valorisation selon le type de vitrage : réemploi ou recyclage.
- Si recyclage, opérer la séparation du cadre du châssis (avec ateliers mobiles ou au sein du hub).
- Si réemploi, orienter les châssis vers la structure de commercialisation
- Gérer l'acheminement des matériaux récupérés issus des menuiseries vitrées vers les valorisateurs adéquats.

Hub de massification :

- Massifier les menuiseries vitrées et les matériaux récupérés : verre, PVC, bois et aluminium
- Commercialiser les menuiseries vitrées en réemploi.

Ateliers mobiles :

- Gérer le démantèlement, la récupération et le transport des matériaux au pied de chantier ou dans des zones pouvant faire une première massification à proximité des chantiers (exemple : les RecycparcPro)

Proposition de valeur

Commune aux deux approches :

- Fournir un nouveau service pour garantir la transition durable des chaines de valeur châssis et verre en Wallonie.

Hub de massification :

- Fournir un point de dépôt pour les menuisiers qui serait une solution alternative plus intéressante que celles existantes.
- Être un lieu d'approvisionnement unique pour des matériaux de réemploi ou des matières secondaires (verre, PVC, bois et aluminium) de qualité.

Ateliers mobiles :

- Offrir un service de reprise des châssis et du vitrage directement sur chantier.

Segment de clientèle

Commun aux deux approches :

- Les recycleurs ou valorisateurs de verre plat, bois B, PVC (menuiseries) et aluminium.

Hub de massification :

- Les entrepreneurs ayant des faibles volumes de menuiseries vitrées usagées par chantier (<10 tonnes/an), cherchant à évacuer de manière plus efficace et durable leurs châssis usagés.
- Les menuisiers ou maitres d'ouvrages utilisateurs de matériaux de réemploi.

Ateliers mobiles :

- Les gestionnaires de chantiers et/ou maîtres d'ouvrages ayant des chantiers comportant une surface minimum de vitrage usagé de 100 m².

Ressources nécessaires

Communes aux deux approches :

- Main d'œuvre qualifiée : 2 ouvriers et 1 encadrant technique au minimum.
- Équipements : Chevalets (mobiles si possible) , équipements de sécurité, un clark, des conteneurs pour les flux spécifiques.

Hub de massification :

- Des infrastructures avec 3 espaces d'activités : une zone pour le stockage et le reconditionnement, une zone pour la commercialisation et une zone pour démantèlement.
- Équipements : Potence avec ventouse, un poste de travail fixe/ un pont de pesée.

Ateliers mobiles :

- Équipements : un poste de travail mobile, un camion

⇨ **Investissements nécessaires** pour l'ensemble des équipements (hub de massification + ateliers mobiles) : **30 000 €.**

Partenaires potentiels

Communs aux deux approches :

- Les centres de regroupement pour matériaux de construction
- Gestionnaire de déchets – collecteurs – centres de tri
- Les fabricants de menuiseries
- Les architectes
- Les donneurs d'ordre public
- Les sociétés de déconstruction-démolition
- SPW infrastructures.
- Les fédérations de corps de métier de la construction et des déchets (Denuo et Embuild)
- Les organismes d'accompagnement dans le secteur de la construction et la rénovation (Buildwise, IIS, …)
- Pôles de compétitivité, projets structurants)
- Les producteurs de verre et PVC
- Des valorisateurs énergétiques locaux
- Les ressourceries
- Les organismes de financement de projets wallons

4. Calcul et analyse du Seuil de rentabilité des *business models*

Méthodologie

Pour obtenir les données relatives aux sources de revenus, le pôle a effectué des recherches dans des bases de données publiques sur les matières premières. Le but était d'analyser les prix actuels et leur évolution potentielle, puis de les comparer avec ceux des matières secondaires. Il a également maintenu une veille régulière auprès des acteurs wallons des chaînes de valeur « châssis » et « verre », ainsi que des fédérations (Denuo, Indufed, Embuild), à travers des réunions individuelles ou des groupes de travail. En raison de la volatilité ou de la sensibilité de certaines données, les chiffres présentés sont des données empiriques obtenues auprès d'entretiens avec des acteurs.

Sur base de ces informations, le pôle a ensuite cherché à calculer **le seuil de rentabilité qui est le point où les coûts fixes sont couverts par la marge de coût variable.** Pour y parvenir, il est nécessaire de déterminer ces trois paramètres :

- **Les coûts fixes** qui restent constants indépendamment du volume de châssis entrant. Ils ne changent pas avec la quantité de déchets châssis à traiter.
- **Les coûts variables en €/t** qui sont les dépenses de l'entreprise qui fluctuent en fonction du volume de châssis entrant à démanteler.
- **Le chiffre d'affaires en €/t** déterminé selon les sources de revenus par tonne de châssis entrant.

Une fois que ces différents paramètres sont identifiés, il est nécessaire de calculer

- La marge sur coûts variables qui est égale à la différence entre chiffre d'affaires en €/t et les coûts variables.
- Le seuil de rentabilité se calcule en divisant les coûts fixes par la marge sur coûts variables :

Marge sur coût variable = chiffre d'affaires en €/t - coûts variables en €/t

Seuil de rentabilité en tonne (ou break even) = Coûts fixes/ marge

Seuil de rentabilité en chiffres = Break even*(CA/tonne)

Hypothèses

Pour la conceptualisation des *business models,* le pôle a posé **trois hypothèses fondamentales** pour le modèle :

1. **Première hypothèse fondamentale :**

L'évaluation du seuil de rentabilité a pour objectif de déterminer les conditions de faisabilité économique dans un scénario **où le recyclage constitue la meilleure option de valorisation,** selon l'échelle de Lansink, pour une partie des flux de menuiseries vitrées récupérées. Ce gisement concerne principalement les menuiseries vitrées dont les vitrages ne sont plus conformes aux normes énergétiques, et pour lesquelles les opportunités de réemploi sont limitées.

L'objectif principal consiste à évaluer la viabilité d'une filière de recyclage du groisil, ainsi que sa réintégration dans le processus de production du verre plat. Le taux de réemploi a été intégré comme un seuil minimal de référence, permettant de garantir une base comparative. Ce choix méthodologique vise à concentrer l'analyse sur des données spécifiques au recyclage, tout en prenant en compte l'incidence potentielle du réemploi sur l'équilibre et les performances économique de la filière.

Une hypothèse minimale du taux de valorisation en « réemploi » a été fixée **à 2 %, et est prise en compte dans le gisement entrant de châssis destinés aux filières de recyclage.** L'élément clé du modèle économique réside dans le fait que, si le réemploi ne génère pas d'opportunités économiques intéressantes pour les menuiseries vitrées, une partie du flux récupéré serait orienté vers des filières de recyclage, conformément à l'échelle de Lansink.

2. **Deuxième hypothèse fondamentale :**

Le modèle étudié dans ce rapport prend donc en compte le fait que **l'activité permettant le recyclage** est **adossée à une structure existante et ne prend en compte que les coûts nécessaires à son fonctionnement.** Hormis les frais liés aux coûts des travailleurs et aux coûts logistiques (=de transport), **le *business model* ne tient pas compte d'autres frais de fonctionnement liés aux infrastructures** (consommation en gaz et électricité, loyers, les dépenses d'entretien, …) qui seront à reprendre dans un *business model* plus global de l'entreprise.

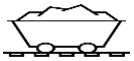
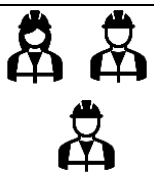
Cette limite méthodologique repose sur une hypothèse volontaire de simplification, visant à concentrer l'analyse sur certains paramètres ciblés des modèles économiques. Néanmoins, il convient de noter que cette contrainte logistique, souvent récurrente sur le terrain, constitue un frein significatif au développement effectif de la filière, tant en termes de coûts que d'organisation. La nécessité de se déplacer jusqu'aux chantiers pour récupérer les matériaux, notamment auprès des menuisiers, engendre des charges / coûts supplémentaires qui mériteraient d'être intégrées dans une modélisation plus poussée lors d'une phase ultérieure.

3. **Troisième hypothèse fondamentale :**

Pour évaluer le seuil de rentabilité, le *business model* intègre les **activités du hub de massification et des ateliers mobiles comme des activités séparées mais complémentaires**, afin de permettre la valorisation des matériaux issus des menuiseries telles que : verre, PVC, bois (B) et aluminium.

Pour déterminer le seuil de rentabilité, le pôle a ensuite cherché à **identifier et quantifier les sources de revenus potentiels ainsi que la structure de coût** permettant de développer une nouvelle filière de recyclage.

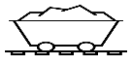
Pour chaque approche, des hypothèses ont été faites pour déterminer le seuil de rentabilité **d'un scénario « classique »** sur base de données empiriques collectées en fin 2024 à travers les différentes réunions de travail effectuées avec les acteurs actifs dans la collecte, le traitement et la valorisation des matières concernées, mais aussi les potentiels utilisateurs et producteurs verriers, ainsi que la collecte de données provenant des diverses études déjà effectuées sur le sujet :

Hypothèses pour le Hub de massification dans un scénario « classique »		
FLUX IN 	**Le gisement de volume de menuiseries vitrées entrants ne représente pas une contrainte** étant donné la taille du marché supposée de châssis usagés à traiter sur le territoire wallon.	Hypothèse fixe
	Une menuiserie vitrée **pèse en moyenne 25 kg/m²**. Cette donnée a été choisie selon une moyenne de poids des châssis comportant des vitrages ayant une grande probabilité d'être retraité en recyclage : simple vitrage (de 4 et 6 mm d'épaisseur) et feuilleté.	Hypothèse (très) variable selon le flux à traiter
	Les châssis collectés pour être recyclé peuvent être composé de verre, de bois, de PVC, ou d'aluminium. Ici on émet l'hypothèse que sur **1 tonne de châssis collectés on récupère 50% de verre, 20% de bois, 15% de PVC, 3% d'aluminium, avec 2% de châssis « réemployables » et 10% de « pertes »[13].**	Hypothèse (très) variable selon le flux à traiter
	L'opération de démantèlement/séparation (de la réception de la menuiserie jusqu'au stockage des matériaux séparés) nécessite **un encadrant technique employé à 5% d'ETP** et coûtant **60€/heure** ainsi que **2 ouvriers employés à 100% d'ETP** et coûtant **40 €/heure.**	Hypothèse fixe

[13] Cette hypothèse se base sur les résultats de l'enquête sur la gestion des déchets de verre plat/châssis usagés Menuisiers, poseurs de châssis et couvreurs belges réalisée par Embuild en 2014. Ces résultats ont été extrapolés et confronté aux réalités de terrain dans les discussions avec Damien Verraver de Retrival.

	Un investissement de départ de 30 000 € (en équipements et machines nécessaires pour l'activité de démantèlement, projets de recherche et développement, formations) amortis sur 10 ans. ⇨ **Amortissements considérés comme des coûts fixes de 3000 €/an, soit 250 €/mois**	Hypothèse fixe
	**Une journée de travail est de** 8h avec un mois composé de **164,4 heures/mois**.	Hypothèse fixe
	La productivité est estimée à **1 tonne de châssis démantelée par ouvrier par jour, soit 2 tonnes au total et donc 0,25 tonne par heure de châssis démantelé,** comprenant la manutention des châssis entrant et stockage des matériaux. Cette donnée a été évaluée selon le retour d'expériences d'entreprises d'économie sociale ayant déjà expérimenté des projets de séparation de vitrage et du cadre (Réseau Ressources, 2016).	Hypothèse variable selon la capacité des ouvriers à séparer un certain nombre de châssis par jour
	Les coûts logistiques sont représentés par les coûts de transport liés aux coûts de livraison des matériaux séparés. Le temps nécessaire pour la livraison du verre est estimé à 2 heures, avec une fréquence mensuelle. Pour le PVC, le transport prend 6 heures et a lieu tous les deux mois, tandis que celui de l'aluminium nécessite 1h30 et se fait une fois tous les six mois. **Points d'attention :** > Dans le cas du hub, hypothétiquement et pour simplifier, nous considérons qu'il n'y a pas de coûts logistiques liés à l'approvisionnement car que les menuisiers viennent y déposer leurs menuiseries vitrées. > Les coûts de stockage n'ont pas pu être quantifiés.	Hypothèse fixe
	La capacité maximum d'un camion pour assurer le transport des matériaux est de **8 tonnes.**	Hypothèse fixe

Hypothèses supplémentaires ou modifiées si déploiement d'ateliers mobile dans un scénario « classique »		
	Une menuiserie vitrée **pèse en moyenne 40 kg/m²** > Point d'attention : nous estimons ici que le poids du vitrage au mètre carré est plus élevé car l'atelier mobile ne se déploiera que si les volumes et tonnages de châssis et vitrages sont plus importants que dans le cas du hub. Il	Hypothèse variable

	s'agit d'un prérequis essentiel pour assurer la viabilité économique du modèle « atelier mobile »	
	Dans le cas de l'atelier mobile nous considérons que sur **1 tonne de châssis collecté pour être recyclé ont obtient en moyenne de 65% de verre, 10% de bois, 15% de PVC, 5% d'aluminium, 5% de « pertes »**. > Point d'attention : la quantité de verre récupéré augmente dû au déploiement de l'atelier mobile sur des chantiers avec une plus grande quantité de vitrage au mètre carré, telle que des chantiers de type commerciaux	Hypothèse variable
	Le nombre de chantiers ou autres sites de massification (exemple : un Recyparc Pro) ayant un tonnage de vitrage relativement élevé à valoriser Dans les scénarii proposés, ce **nombre sera de 2**	Hypothèse variable
	Le coût d'installation et de désinstallation de l'atelier mobile est de **350 € par chantier** Dans ce scénario « classique », il s'élèverait à 350 *2 = **700 €** et serait considéré comme un **coût fixe par mois.** **Le montant des amortissements ne sera pas compté pour les ateliers mobiles car les équipements nécessaires font partie de l'investissement global du hub.**	Hypothèse variable
	Temps de trajet par mois par rapport aux chantiers ou des petits sites de massification + temps de (dé)chargement des équipements de l'atelier mobile, **estimés à 1h par trajet** ⇨ Dans les scénarii des ateliers mobiles, on peut estimer **le nombre de trajets totaux à 6h** sur le mois Le transport lié à la livraison des matériaux n'est pas repris dans la structure de coûts des ateliers mobiles.	Hypothèse (très) variable selon les chantiers ou petits sites de massification
	Le nombre d'ouvriers nécessaires dépendra du gisement potentiellement exploitable sur le chantier. Dans les scénarii proposés, nous en comptons **4** pour atteindre **une productivité de 0,5 tonne/heure et un coût par ouvrier de 40 €/heure**[14]. L'encadrant technique est toujours considéré à 5% d'ETP	Hypothèses très variables

[14] Le coûts des primes de déplacement ne sont pas intégrée au Business Model pour une question de simplification, mais devront être considérés dans une phase ultérieure.

⚠	L'atelier mobile ne sera déployé que si la capacité maximale du camion, soit **8 tonnes, peut être remplie à 75 % par chantier.**	Condition fixe

Analyse des sources de revenus

Les sources de revenus identifiés et utilisés pour le business model sont :

> **Revenus « FLUX IN » :**

- **Le prix d'entrée du hub ou tarif de démantèlement au pied de chantier pour les menuiseries vitrées** proposé par l'entreprise sociale est fixé hypothétiquement à : **100 €/tonne** pour les menuiseries vitrées entrant, et ce pour rester concurrentiel aux autres propositions d'évacuation de déchets. Les deux tarifs sont supposés égaux dans la modélisation du seuil de rentabilité.

> **Revenus « FLUX OUT » :**

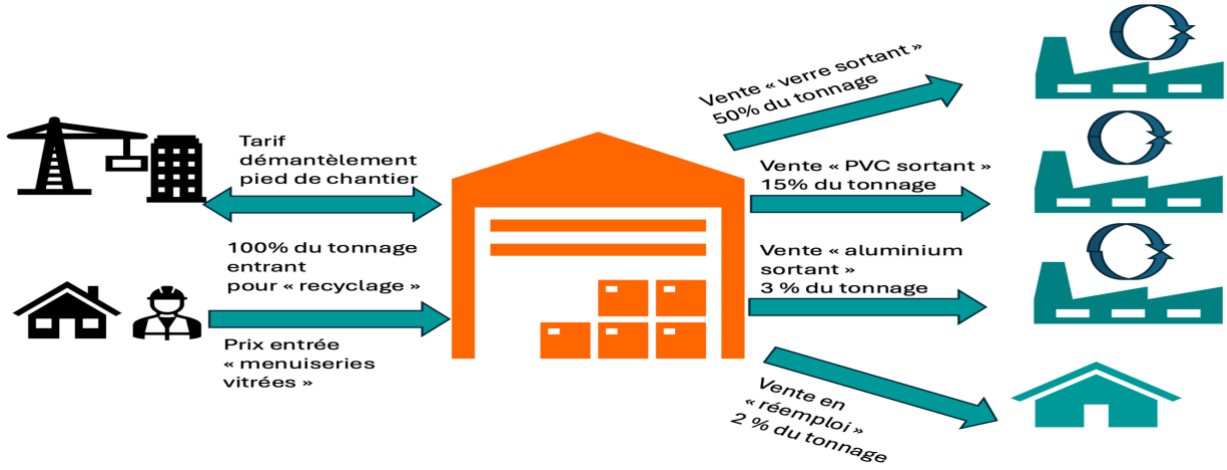
- **La vente du « verre sortant »** après démantèlement et valorisé selon un prix de référence de **100 €/tonne**. Le « verre sortant » représente **50% du tonnage de châssis entrant** dans le cas du hub de massification et de 65% dans le cas de l'atelier mobile.
- **Le vente du « PVC sortant »** après démantèlement **au prix de référence de 75 €/tonne.** Le « PVC sortant » » représente **15 % du tonnage de châssis entrant** dans les deux scénario mis à l'étude (hub et atelier).
- **La vente de « l'aluminium sortant »** après démantèlement et valorisé au prix de référence de **700 €/tonne.** « L'aluminium sortant » représente **3% du tonnage de châssis entrant** dans le cas du hub de massification et **5%** dans le cas de l'atelier mobile.
- **La vente en « réemploi »** est valorisé au prix de référence de **4000 €/tonne**. Prix de vente calculé sur base des hypothèses suivantes : poids moyens châssis = 25Kg/m^2 et prix de revente des châssis = 100€/m^2 :

Étape 1 :
$$\text{Prix au kg} = \frac{100\,€}{25\,\text{kg}} = 4\,€/kg$$

Étape 2 :
$$\text{Prix par tonne} = 4\,€/kg \times 1\,000\,\text{kg} = 4\,000\,€/tonne$$

Le réemploi a été représenté à un taux minimum de **2% du tonnage de châssis entrant dans le cas du hub de massification.** Pour une question de simplification, nous n'avons pas intégré le réemploi dans le scénario d'atelier mobile, celui-ci devra être intégré dans une phase ultérieure d'analyse afin d'affiner le *Business Model* de l'économie sociale.

Figure 11: Représentation schématique des Flux IN & OUT



En tenant compte des hypothèses vues précédemment pour chaque approche, les revenus par tonne sont évalués comme suit :

> **Pour le hub de massification,**

Sources de revenus		**% tonnage entrant (hypothèse)**	
Flux IN			
Prix entrée	100 €/tonne	100 %	100 €/tonne
Flux OUT			
Prix « verre sortant »	100 €/tonne	50 %	50 €/tonne
Prix « PVC sortant »	75 €/tonne	15 %	11,25 €/tonne
Prix « aluminium Sortant »	700 €/tonne	3%	21 €/tonne
Prix « réemploi »	4000 €/tonne	2%	80 €/tonne
Chiffre d'affaires à la tonne			**262 €/tonne**

> **Pour l'atelier mobile**

Sources de revenus		**% tonnage entrant (hypothèse)**	
Flux IN			
Prix entrée	100 €/tonne	100 %	100 €/tonne
Flux OUT			
Prix « verre sortant »	100 €/tonne	65 %	65 €/tonne
Prix « PVC sortant »	75 €/tonne	15 %	11,25 €/tonne
Prix « aluminium Sortant »	700 €/tonne	5%	35 €/tonne
Chiffre d'affaires à la tonne			**211,25 €/tonne**

Points d'attention sur les sources de revenus :

> **Les données sont évolutives selon le cours des matières premières et les conditions de marché :** Ces valeurs empiriques sont basées sur des données recueillies sur le terrain au moment de l'élaboration du business model et **sont**

susceptibles d'évoluer depuis le moment où ont été analysés ces *business models*. De plus, la vente du bois de châssis pourrait constituer une source de revenus potentielle, mais de faible ampleur, lorsque son cours est positif. De même, à un niveau moindre, le prix du PVC est également volatil et même s'il est souvent considéré comme positif, son prix de vente peut également varier selon le cours des prix des plastiques vierges, qui dépend du cours du pétrole. Le prix du verre, basé sur le prix de la matière vierge nécessaire pour produire du verre, est moins volatil que le PVC ou le bois mais peut aussi évoluer en fonction du prix des quotas carbone, et donc de l'énergie.

- **Impact de la volatilité des prix sur le *business model* :** Dans ce modèle économique, **les revenus générés par le « flux in » et le « verre sortant » sont les plus significatifs sur** le résultat final, qui hypothétiquement sont plutôt stables par rapport à d'autres matériaux. Bien que leurs prix soient attractifs dans ce business model, les **revenus issus de la vente du PVC et de l'aluminium restent relativement marginaux et peu significatifs** en raison du faible volume potentiellement récupéré. Étant donné la **forte volatilité des prix du bois**, ce dernier est intégré hypothétiquement dans la structure des coûts que nous allons détailler. Toutefois, que ce soit comme source de revenus ou comme coût supplémentaire, l'impact économique du bois reste limité sur le résultat global.

- **Impact du réemploi :** Vu l'impact financier très positif du réemploi en termes de revenu, un tri méticuleux et la création d'un marché parallèle pour la commercialisation de menuiseries extérieures sont des activités clés pour la pérennisation du modèle.

Structure de coûts

A savoir, l'analyse des *business models* présentée dans cette étude se concentre principalement sur la **viabilité économique de la filière une fois celle-ci opérationnelle**. Par souci de simplification et de clarté, les investissements initiaux nécessaires n'ont volontairement pas été intégrés aux calculs. Cette approche permet de mieux cerner les conditions de rentabilité en phase de régime.

Identification et Quantification des coûts variables :

- **Coût d'évacuation du bois** : **Estimé à 15 €/tonne** et **représente 20% du tonnage de châssis entrant.** Ce coût varie en raison de la volatilité difficile à prévoir du cours du bois[15]. Toutefois, étant donné les observations récentes sur le terrain, la valeur du bois est considérée comme une charge.

- **Coût de l'opération de démantèlement :** Ce coût est supposé être supporté par la main-d'œuvre ouvrière, estimé à **40 €/heure** par ouvrier et celui-ci comprend le salaire ainsi que des frais d'exploitation liés au personnel (frais de structure, assurance,…)

- **Coût de gestion de l'activité « recyclage des menuiseries vitrées »** : Ce coût est pris en charge par l'encadrant technique, dont le salaire horaire est estimé à **60 €/heure.** Il est variable en fonction du temps consacré à la gestion de la récupération, du démantèlement des menuiseries vitrées, et de l'acheminement des matériaux vers les filières de recyclage, ainsi que du nombre d'encadrants nécessaires.

[15] Le prix est de 25€/tonne en 2025, ceci sera à intégrer dans l'analyse ultérieure du *Business Model*.

- **Coût de transport** : Le coût d'un camion de transport est évalué à **65 €/heure** (chauffeur compris). Pour le **hub de massification**, ces coûts seront représentés par les **coûts de livraison des matériaux séparés** tandis que pour les **ateliers mobiles,** ces coûts seront les **coûts de transport liés aux temps de trajet des ateliers mobiles**

Identification et Quantification des coûts fixes

- **Pour le hub de massification,** les coûts fixes correspondent aux amortissements de l'ensemble des investissements nécessaires au bon fonctionnement de l'activité, évalués à 30 000 € sur une période de 10 ans. Cela équivaut à un amortissement annuel de **3 000 €, soit 250 € par mois.**

- Pour le déploiement **d'un atelier mobile**, il faut compter **350 € en moyenne par chantier** pour l'installation et la désinstallation du poste de travail mobile. Comme l'évaluation du nombre de chantiers par mois sera connu à l'avance, ce paramètre est considéré comme un coût fixe

Par soucis de simplification, l'investissement nécessaire au déploiement de l'atelier mobile est inclus dans les 30 000 € imputés au modèle de hub de massification. L'analyse du modèle atelier mobile se concentre sur la viabilité de celui-ci une fois opérationnel. Un investissement supplémentaire en équipements, évalué à 20 000 € spécifiquement pour l'atelier mobile, devra être considéré dans un modèle global visant à estimer le budget de mise en place d'une filière complète pour le gisement châssis-verre plat.

En tenant compte des hypothèses vues précédemment pour chaque approche, la structure de coûts peut se décomposer comme suit :

- **Pour le hub de massification :**

Paramètres de calcul	**Valeur**
Nombre d'ouvriers (100% ETP)	2
Productivité total (tonnage de châssis démantelé par heure)	0,25 tonne /heure
Encadrant technique (5% ETP)	1
Coûts fixes	
Amortissements des investissements	250 € (/mois)
Coûts variables	
Coût évacuation du bois B (volatil) (20 % du tonnage IN	15 €/tonne
Coût opération de démantèlement (Hypothèse : 2 ouvriers à 100% ETP et 40 €/h)	320 €/tonne
Coût de gestion des flux et de l'équipe (Hypothèse : 1 encadrant technique à 5% ET¨P et 60 €/heure)	12 €/tonne
Coût de livraison du verre (minimum par mois)	16,25 €/tonne

Coût de livraison du PVC	24,375 €/tonne
Coût de livraison de l'aluminium	2,03 €/tonne
Coûts variables par tonnes (CV/t)	**390 €/tonne**

> **Pour l'atelier mobile :**

Paramètres de calcul	**Valeur**
Productivité	0,5 tonne /heure de châssis démantelés
Nombre de chantier sur le mois	2 chantiers
Temps de trajet total (comprenant le temps de (dé)chargement)	6 h
Coût d'installation et désinstallation de l'atelier mobile	350 €/chantier
Capacité du camion	8 tonnes/jour
Condition de déploiement = capacité du camion remplie	75%
Quantité de verre collecté sur le mois (= 2 chantiers *8 tonnes *75% de la capacité du camion remplie)	12 tonnes
Structure de coûts	
Coûts fixes	
Coûts de (dé)installation de l'atelier mobile par le nombre de chantiers par mois (pour 2 chantiers)	700 €
Coûts variables	
Coût évacuation du bois B (10 % du tonnage IN)	15 €/tonne
Coût opération de démantèlement (Hypothèse : 4 ouvriers à 100% ETP et 40 €/h et 2 chantiers)	320 €/tonne
Coût de gestion des flux et de l'équipe (Hypothèse : 1 encadrant technique à 5% ETP et 60 €/h)	6 €/tonne
Coût de transport par tonne de verre récupéré sur 1 mois (2 chantiers)	32,5 €/tonne
Coûts variables par unité mobile	**373, 5 €/tonne**

Calcul du seuil de rentabilité du scénario « classique »

> **Pour le hub de massification**, en se référant aux hypothèses précédentes, le calcul de rentabilité devient :

Sources de revenus

Chiffre d'affaires à la tonne (CA/t)	**262,25 €/t**

Coûts fixes	
Amortissements des investissements	**250 € (/mois)**
Coûts variables	
Coûts variables par tonnes (CV/t)	**390 €/tonne**

Résultat	
Marge sur coûts variables[16]	**-127 €**
Seuil de rentabilité	Non atteint (car CV/t > CA/t)

> **Pour l'atelier mobile,** en se référant aux hypothèses précédentes, le calcul de rentabilité devient

Sources de revenus	
Chiffre d'affaires à la tonne	**211,25 €/t**

Structure de coûts	
Coûts fixes	
Coûts de (dé)installation de l'atelier mobile par chantier	700 €
Coûts variables par tonnes	
Coûts variables par tonnes (CV/t)	**373,5 €/tonne**

Résultat	
Marge sur coûts variables (CA/t-CV/t)	**-162,25 €**
Seuil de rentabilité	Non atteint (car CV > CA/t)

Dans le cadre de ces scénarii, les coûts variables par tonne sont plus élevés que le chiffre d'affaire par tonne, il n'est donc pas possible d'atteindre le seuil de rentabilité. Néanmoins, pour atteindre son seuil de rentabilité, le modèle peut jouer sur 4 paramètres significatifs :

> **L'augmentation de la productivité des travailleurs sociaux** = tonnes de châssis démantelé par heure

[16] **CA/t - CV/t**

- **L'augmentation du prix d'entrée** = prix de vente du service, alternative à l'évacuation via conteneur en mélange
- **L'augmentation du prix du verre sortant** = prix de vente de la matière après tri et séparation, avant d'aller vers un centre de traitement et valorisation
- **L'augmentation du taux de châssis « réemployable » pour le hub de massification.**

L'objectif recherché serait d'identifier sur quel paramètre nous pourrions agir afin d'optimiser le *business model* et atteindre le seuil de rentabilité. Ceci reste à titre indicatif et nous permettra à terme de cibler les pistes de solutions existantes pour améliorer la viabilité du modèle.

Variation de la variable « productivité »

> Pour le hub de massification

Pour un chiffre d'affaires à la tonne restant à **262,25 €/t**

Productivité par ouvrier (nombre de châssis démantelé en tonne par jour)	**Productivité total (hypothèse pour 2 ouvriers)**	**Coûts variables par tonne en €/t**	**Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)**
1	2	390	-127
1,25	2,5	323	-61
1,5	3	279	-17
1,62	3,24	263	0
1,75	3,5	247	15

> Pour l' ateliers mobile

Pour un chiffre d'affaires à la tonne restant à **211,25 €/t**

Productivité par ouvrier (nombre de châssis démantelé en tonne par jour)	**Productivité total (hypothèse pour 4 ouvriers)**	**Coûts variables par tonne en €/t**	**Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)**
1	4	373,5	-162,25
1,25	5	308,3	-97,05
1,5	6	264,83	-53,58
1,75	7	233,79	-22,54
1,99	7,96	211,32	0
2	8	210,5	0,75

Niveau d'impact et valeur optimale du prix d'entrée :

Dans le scénario du hub de massification, il faudrait un niveau de productivité de **1,62 tonnes de châssis de démantelé par ouvrier par jour** (8h) pour atteindre le seuil de rentabilité, soit **3,2 tonnes par jour**, et donc près de **400 kg de châssis par heure**. Si nous nous référons au poids moyen d'un châssis estimé à 25 kg, ça ferait près de **16 châssis par heure pour 2 ouvriers.**

Pour le déploiement des ateliers mobiles, il faudrait un niveau de productivité de presque **2 tonnes de châssis de démantelé par ouvrier par jour (8h)** pour atteindre le seuil de

rentabilité, soit **8 tonnes par jour pour 4 ouvriers**, et donc près de **1 tonne de châssis par heure**. Si nous nous référons au poids moyen d'un châssis estimé à 40 kg, ça ferait près de **25 châssis par heure pour 4 ouvriers**.

Pistes de solution :

Dans l'optique d'augmenter la productivité des travailleurs, **l'intégration progressive de technologies de caractérisation des matériaux, de tri et de séparation mécaniques, ainsi que de solutions robotiques,** pourrait être envisagée. Le développement d'un modèle hybride associant intervention humaine et automatisation permettrait de conjuguer l'expertise humaine avec la performance des machines, tout en assurant un niveau de qualité élevé des matériaux valorisés. Cette optimisation devra être réfléchie et pensée avec les acteurs de terrain si cela s'avère pertinent.

Une **meilleure optimisation des procédés** permettrait aussi de réduire le temps nécessaire à la séparation du cadre du vitrage. Ce paramètre est crucial pour atteindre la rentabilité du modèle.

Variation de la variable « flux in »

> Pour le hub de massification

Pour des coûts variables restant à **390 €/tonne**

Prix entrée en €/t	**Chiffre d'affaires en €/t**	**Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)**
100	262,25	-127
125	287,25	-102
150	312,5	-77
175	337,25	-52
200	362,25	-27
225	387,25	-2
227	389,25	0

> Pour les ateliers mobiles

Pour des coûts variables restant à **373, 5 €/tonne**

Tarif démantèlement en €/t	**Chiffre d'affaires en €/t**	**Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)**
100	211,25	-162,25
125	236,25	-137,25
150	261,25	-112,25
175	286,25	-87,25
200	311,25	-62,25
225	336,25	-37,25
250	361,25	-12,25
262,25	373,5	0

Niveau d'impact et valeur optimale du prix d'entrée :

Une variation du prix d'entrée a un impact plus significatif sur les résultats économiques qu'une variation du prix du verre sortant. Pour atteindre le seuil de rentabilité, le prix d'entrée dans un hub de massification devrait être fixé à **227 €/tonne.** Le tarif de démantèlement pour les ateliers mobiles devrait être de **262,25 €/tonne**.

Cependant, il est important de considérer que pour le hub de massification, les entrepreneurs devront prendre en compte **des frais de transport supplémentaires pour l'acheminement des châssis usagés**. En ce qui concerne les ateliers mobiles, il est probable que ce tarif ne soit pas suffisamment attractif pour les maîtres d'ouvrage, ce qui compliquerait la justification d'un traitement séparé des châssis.

Les enquêtes précédentes réalisées par Embuild ont montré que le **conteneur « classe 2 »** demeure la méthode principale utilisée par les menuisiers pour l'évacuation de leurs châssis usagés, **à un coût avoisinant les 250 €/tonne**. En comparaison, le tarif proposé par le hub pour la dépose des châssis est légèrement inférieur, bien qu'il faille tenir compte des frais de transport supplémentaires pour les menuisiers. Par ailleurs, certains gestionnaires de déchets proposent des tarifs compris entre 100 et 150 €/tonne pour l'évacuation des châssis, bien que cette méthode ne garantisse pas la qualité des matériaux, notamment du verre, qui seront retraités.

Pistes de solution :

Dans le contexte actuel, le coût des conteneurs « classe 2 » n'incite pas les entrepreneurs à explorer d'autres solutions, telles que le hub ou les ateliers mobiles. Dans le cas où un le prix du conteneur venait à augmenter, l'entreprise sociale pourrait envisager une légère hausse du prix d'entrée ou du tarif de démantèlement, à condition que cette augmentation demeure compétitive par rapport aux autres tarifs d'évacuation du marché, et qu'elle reste attractive pour les menuisiers.

Bien que porteuse de potentiel, cette piste de solution demeure sensible. Le secteur de la construction en Wallonie subit déjà une forte pression économique, avec des marges réduites et une nécessité croissante de compétitivité. Imposer des coûts supplémentaires aux entrepreneurs et aux menuisiers — notamment pour favoriser la collecte et la valorisation d'un plus grand volume de matériaux — risquerait de fragiliser davantage des acteurs souvent de petite ou moyenne taille, et pourrait freiner l'adhésion à une filière pourtant essentielle pour la circularité régionale.

Variation de la variable « prix sortie du verre »

> Pour le hub de massification

Pour des coûts variables restant à **390 €/tonne**

Prix du verre sortant (en €/tonne)	**Chiffre d'affaires en €/t**	**Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)**
100	262,25	-127
150	287,25	-102
200	312,25	-77
250	337,25	-52
300	362,25	-27

350	387,5	-2
355	390	0

> Pour les ateliers mobiles

Pour des coûts variables restant à **373,5 €/tonne**

Prix du verre sortant (en €/tonne)	Chiffre d'affaires en €/t	Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)
100	211,25	-162,25
150	243,75	-129,75
200	276,25	-97,25
250	308	-64,75
300	341,25	-32,25
349,85	373,5	0
350	373,75	0,25

Niveau d'impact et valeur optimale du prix d'entrée :

Une variation du prix du verre peut avoir un impact significatif sur la marge des coûts variables et donc sur le résultat final.

Pour le hub de massification, le prix du « verre sortant » devrait être d'au moins **355 €/tonne** pour atteindre le seuil de rentabilité, soit plus du triple par rapport aux prix du marché.

Pour les ateliers mobiles, ce prix devrait être de **350 €/tonne**, la légère diminution du prix par rapport au hub s'explique par le fait que le déploiement d'ateliers mobiles vise des chantiers avec un gisement plus élevé de vitrages. Néanmoins, dans ce scénario, le prix reste très élevé par rapport au prix du marché.

Pistes de solution :

Le marché des quotas carbone, qui est lié aux prix de l'électricité et du gaz, influence directement le prix du verre sortant. En effet, étant donné qu'une tonne de calcin permet d'économiser 700 kg d'équivalent CO_2, il serait envisageable d'intégrer la valeur économique du CO_2 évité dans le prix du calcin.

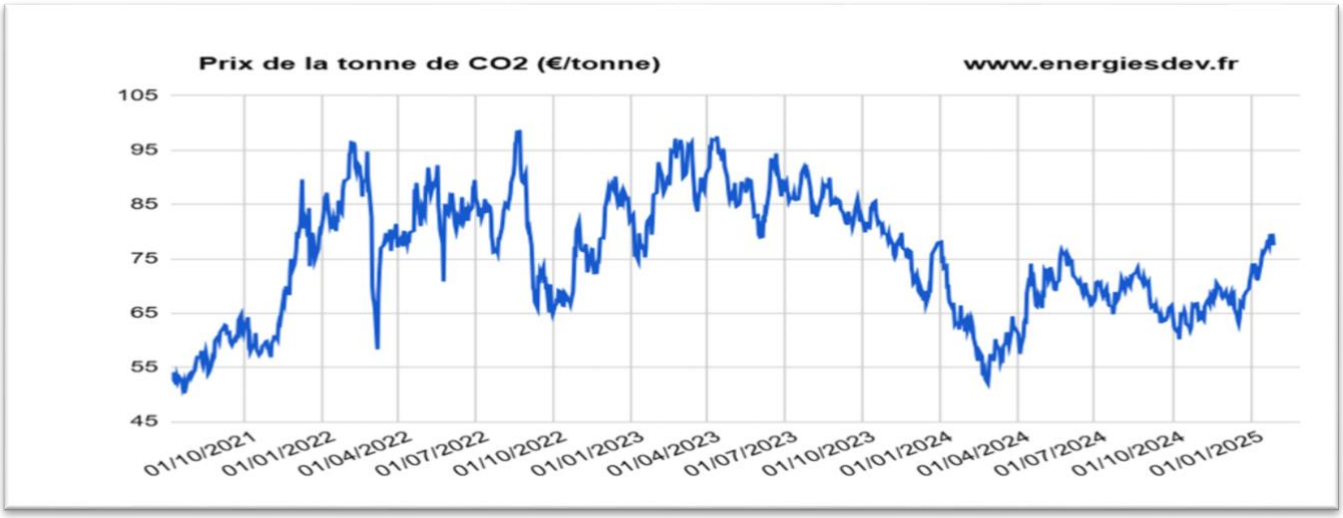
Selon le graphique ci-dessous, le prix du CO_2 était évalué à 70 €/tonne à la fin de l'année 2024. Ainsi, **la valeur économique du CO_2 évité pour une tonne de calcin pourrait atteindre un maximum de 49 €/tonne**. Cette valeur pourrait se répercuter sur le prix du verre sortant. L'entreprise sociale pourrait alors négocier entre un minimum de 100 € (prix de référence) et un maximum de 149 € (prix de référence majoré de la valeur économique actuelle du CO_2 évité), afin que le prix du verre sortant reste compétitif par rapport à celui de la matière première et reflète la valeur économique des coûts de carbone évités.

Tableau 3: Valeur économique du CO_2 évité pour l'incorporation de calcin

Volume calcin entrant dans la production de verre plat	Équivalent C0² évité d'une tonne de calcin dans la production de verre plat	Prix actuel des quotas CO² (fin 2024)	Coût potentiel du C0² évité pour une tonne de calcin

1 tonne	-0,7 tonne de CO^2 évité	70 €/t de CO^2	-49 € t de CO^2

Figure 12: Évolution du prix des quotas carbone



Source : Prix du CO2 - EnergiesDev Consulting

D'ici 2030, plusieurs projections tentent de prédire l'évolution des prix des quotas carbone. Une reprise industrielle accélérée pourrait entraîner une hausse des prix au-delà de 150 €/t, **la valeur économique du CO_2 évité pour une tonne de calcin serait alors de 105 €/t**. Par ailleurs, une crise énergétique ou une offre limitée pourrait maintenir les prix autour de 140 €/t en moyenne, avec la possibilité d'atteindre des pics à 200 €/t. (Optima Energie, 2024).

Un levier économique à envisager serait que le prix du verre sortant incorpore la valeur du coût de CO_2 évité dans son prix final. Cependant, cette valeur économique dépendra des quotas carbones qui représentent un marché volatil et difficile à prédire.

Dans les conditions actuelles (productivité travailleur et prix d'entrée), nous pouvons observer que le prix du verre sortant qui permettrait d'atteindre le seuil de rentabilité reste trop élevé.

Variation du taux de réemploi (uniquement pour le hub de massification)

> Pour le hub de massification

Pour des coûts variables restant à **390 €/tonne**

Taux de réemploi	Chiffre d'affaires en €/t	Marge sur coûts variable en €/t (CA/t-CV/t)
2%	262,25	-127
3%	302,25	-87
4%	342,4	-47
5%	382,25	-7
5,2%	390	0
6%	422,25	33

> Pour l'atelier mobile

Ce paramètre n'a pas été pris en compte mais devrait être intégré dans les phases ultérieures de réflexion vu l'impact économique du réemploi sur l'ensemble du système.

Niveau d'impact et valeur optimale du taux de réemploi au sein du hub :

Une variation du taux de réemploi des « châssis » dans le flux destiné au recyclage a un impact considérable sur la marge des coûts variables, et par conséquent, sur la rentabilité du modèle. **Pour atteindre le seuil de rentabilité, ce taux devrait plus que doubler, atteignant près de 5%.** De plus, une augmentation du taux de réemploi devrait faire diminuer les coûts variables liés au démantèlement. Néanmoins, cette hypothèse n'a pas été prise en compte dans le business model où le taux de réemploi ne se reflète que dans les sources de revenus potentiels.

Cependant, **la ré-employabilité des menuiseries vitrées ne répondant plus aux normes énergétiques dépendra des opportunités de marché** pour le réemploi de celles-ci. Même si le vitrage ne remplit plus les conditions minimales de performance énergétique, il existe toujours un marché pour le réemploi en cloisons intérieures ou en utilisation alternative. Cette étude n'explore pas l'évolution du marché de réemploi pour les menuiseries vitrées.

Pistes de solution :

De plus en plus de projets émergent en Wallonie visant à augmenter le taux de réemploi des matériaux de construction. Si des mesures politiques ou réglementaires favorisent cette augmentation, une part plus importante du flux initialement destiné au recyclage pourra être réutilisée dans de nouveaux projets de construction ou de rénovation.

Tableau 4: Tableau synthétique de la valeur optimale des paramètres significatifs, toutes choses égales par ailleurs, pour atteindre le seuil de rentabilité

Variables significatives	**Productivité**	**Prix d'entrée**	**Prix du verre sortant**	**Taux de réemploi**
Valeur actuelle	1 tonne/heure	100 €/tonne	100€/tonne	2%
Valeur optimale pour atteindre le seuil de rentabilité si toutes choses égales par ailleurs	**Hub de massification** : **1,62 tonnes par ouvrier par jour** **Ateliers mobiles :** 1,99 tonnes par ouvrier par jour	**Hub de massification :** **227 €/tonne** **Atelier mobile :** **263 €/tonne**	**Hub de massification :** **355 €/tonne** **Atelier mobile :** **350 €/tonne**	**Hub de massification :** **5 %** **Atelier mobile :** *paramètre non pris en compte*
Pistes de solution pour une optimisation de ces variables	Intégrer progressivement les technologies mécanique (tri, séparation, ...) et la robotique au processus de démantèlement pour améliorer la	**À prendre avec précaution** : augmentation des prix des autres solutions d'évacuation du déchet, en	Augmentation des quotas carbones qui pourraient se répercuter dans le prix de vente du verre secondaire	Favoriser les politiques de réemploi

	productivité des ouvriers	particulier celui du classe 2 Ou mettre en place un système de compensation / financement		

Ces analyses montrent qu'il faut augmenter considérablement les paramètres suivants pour atteindre le seuil de rentabilité :

- Productivité de la main d'œuvre
- Prix d'entrée ou tarif de démantèlement
- Prix du « verre sortant »
- Taux de réemploi

Néanmoins, le ***business model*** **ne peut pas dépendre de l'augmentation d'un seul de ces 4 paramètres pour atteindre le seuil de rentabilité** car chacune des valeurs optimales n'est pas considérée comme réaliste étant donné les conditions actuelles.

La solution est **d'augmenter dans des proportions rationnelles chacun de ces paramètres simultanément** pour qu'ils soient conformes aux réalités du terrain.

Dans la section suivante le pôle, explore différents scénarii « optimistes » en modifiant chacun des paramètres pour le hub et les ateliers mobiles pour atteindre le seuil de rentabilité.

Scénarii « optimistes »

> Pour le hub de massification

Scénario 1

Paramètre	**Valeur**
Productivité	1,25 t/ouvrier/jour
Prix entrée	120 €/t
Prix verre	130 €/t
Taux de réemploi	3 %
Résultats	
Marge sur Coûts Variables	13,99 €/tonne
Volume seuil avec 2 ouvriers	51,375 tonnes par mois

Scénario 2

Paramètre	**Valeur**
Productivité	1,25 t/ouvrier/jour
Prix entrée	130 €/t
Prix verre	150 €/t
Taux de réemploi	2,5 %
Résultats	

Marge sur Coûts Variables	13,99 €/tonne
Volume seuil avec 2 ouvriers	51,375 tonnes par mois

Scénario 3

Paramètre	**Valeur**
Productivité	1,5 t/ouvrier/jour
Prix entrée	110 €/t
Prix verre	120 €/t
Taux de réemploi	2 %
Résultats	
Marge sur Coûts Variables	3,26 €/tonne
Volume seuil avec 2 ouvriers	61,65 tonnes par mois

Scénario 4

Paramètres significatif	**Valeur**
Productivité	1,25 t/ouvrier/jour
Prix entrée	115 €/t
Prix verre	120 €/t
Taux de réemploi	3 %
Résultats	
Marge sur Coûts Variables	3,99 €/tonne
Volume seuil avec 2 ouvriers	51,375 tonnes par mois

> Pour l'atelier mobile

Scénario 1

Paramètre	**Valeur**
Productivité	1,5 t/ouvrier/jour
Prix entrée	130 €/t
Prix verre	140 €/t
Résultats	
Marge sur Coûts Variables	2,42 €/tonne
Volume seuil avec 4 ouvriers	123,3 tonnes par mois

Scénario 2

Paramètre	**Valeur**
Productivité	1,3 t/ouvrier/jour
Prix entrée	150 €/t
Prix verre	160 €/t
Résultats	
Marge sur Coûts Variables	1,98 €/tonne
Volume seuil avec 4 ouvriers	106,86 tonnes par mois

5. Interprétations des résultats

Conditions de viabilité

Le *business model* développé dans ce rapport montre que **compte tenu des conditions actuelles du marché et de l'expérience des entreprises sociales** ayant déjà tenté de développer cette filière, il apparaît que **la viabilité économique de la filière de démantèlement, incluant un hub de massification et des ateliers mobiles gérés par une entreprise d'économie sociale, ne soit pas garantie.**

Cependant, cette filière pourrait devenir viable si les paramètres suivants augmentent de manière proportionnelle et simultanée :

- La **productivité des ouvriers** en optimisant les procédés de manutention, de caractérisation et de démantèlement des châssis via l'intégration progressive des technologies de pointes et le déploiement d'un processus hybride « humain-machine ».
- Le **prix « d'entrée »** des menuiseries vitrées usagées vers le hub, en ajustant le prix d'entrée des châssis ou le tarif de démantèlement sur chantier en fonction de l'évolution des tarifs d'évacuation des conteneurs dédiés aux déchets de construction en mélange.
- Le **prix du verre « sortant »** en intégrant une part de la valeur économique du CO_2 évité dans le prix de vente du « verre sortant », en fonction du prix des quotas carbone.
- Le **taux de réemploi** (au moins 0,5 à 1%) en s'associant avec des acteurs ou des projets qui développent le réemploi de matériaux de construction.

L'analyse des *business models* étudiés dans ce rapport montre également que

- L'augmentation des paramètres doit être plus accru pour les ateliers mobiles que pour le hub de massification ;
- L'augmentation de la productivité ou du taux de réemploi a un impact plus significatif, sans nécessiter une hausse trop importante des autres paramètres ;
- Le seuil de rentabilité, en termes de tonnage, se situe entre **25 et 30 tonnes par mois par ouvrier pour le hub de massification, ainsi que pour les ateliers mobiles**, dans des scénarios « optimistes » réalistes.
- Les coûts logistiques doivent être compris dans une modèle économique global entre le hub de massification et les ateliers mobiles étant donné l'impact significatif que peuvent avoir les coûts de transport surtout pour les ateliers mobiles (sans prendre les coûts de stockage et autres contraintes logistiques).

Des leviers comme l'optimisation logistique auraient également un impact significatif même si leur sensibilité économique n'a pas été prouvée dans ces scénarii de modèles économiques. Néanmoins, le développement d'autres sites de massification (partenariats avec des fabricants de châssis, producteurs de verre, gestionnaires de déchets ou autres matériaux) permettrait que les menuisiers éloignés du hub puissent y évacuer leurs châssis, et que les ateliers mobiles aient des distances plus prévisibles à parcourir chaque mois.

Il est important de noter que le modèle économique étudié dans ce rapport repose sur plusieurs hypothèses variables, telles que le poids moyen des menuiseries, leur composition en matériaux. Pour les ateliers mobiles, le temps de trajet et le nombre de chantiers ayant un

volume suffisant de châssis à démonter sont aussi des paramètres pouvant faire varier les coûts logistiques et se répercuter de manière significative sur le business model.

De plus, la volatilité des prix de certains matériaux (bois, PVC) ou de l'énergie (sur le prix du verre) peut avoir un impact significatif sur la rentabilité du modèle. La concurrence avec certains gestionnaires de déchets peut également avoir un impact sur le prix d'entrée ou le tarif de démantèlement. Les critères de permis sont aussi importants à prendre en compte car ils peuvent limiter la quantité et le temps de stockage, et donc limiter la capacité de jouer sur la volatilité des prix des matériaux.

Ainsi, l'entreprise d'économie sociale doit **prendre en compte la variabilité de nombreuses hypothèses et adapter son modèle économique en conséquence.**

Tableau 5: Tableau récapitulatif des valeurs optimales pour les paramètres significatifs

Variables significatives	**Productivité**	**Prix d'entrée**	**Prix du verre sortant**	**Taux de réemploi**
Valeur actuelle	1 tonne/heure	100 €/tonne	100€/tonne	2%
Valeurs recommandées	**1 à 1,6 tonne/heure**	**100 à 130 €/tonne** (selon les prix du marché des coûts de traitement)	**100 à 160 €/tonne** (selon le prix des quotas carbone)	**2 à 3%**

Conditions de réplicabilité

Si les conditions de rentabilité vues précédemment sont remplies pour le modèle de hub, celui-ci pourrait être reproduit dans différentes zones géographiques afin de réduire les distances entre les chantiers/ateliers et le hub de massification. Idéalement, ces distances ne devraient pas dépasser 30 km pour un hub de massification selon les menuisiers, ou 200 km par mois si l'atelier mobile est sollicité**. En supposant que le seuil de rentabilité se situe entre 30 et 50 tonnes de châssis par mois, composées en moyenne de 50 % de verre, l'entreprise d'économie sociale devrait traiter entre 15 et 25 tonnes de verre par mois, soit 180 à 300 tonnes par an. Cela représenterait moins de 1 % du gisement de verre plat estimé.**

En se basant sur le large réseau d'entreprises sociales ou de matériauthèques en Wallonie et à Bruxelles, le modèle de type social pourrait être répliqué au sein de certaines de ces entreprises, et une partie du gisement de menuiseries entières usagées à traiter pourrait être répartie par zone géographique, en fonction des capacités de traitement de chaque entreprise sociale et du nombre de rénovations. Toutefois, ces entreprises devront intégrer dans leur modèle économique leur niveau de productivité, le pourcentage de réemploi possible, ainsi que les distances avec les recycleurs afin d'atteindre le seuil de rentabilité. Il serait également pertinent d'étudier les possibilités de mutualisation de certains équipements pour éviter de nouveaux coûts pour chaque entreprise sociale.

Figure 13: Acteurs d'économie sociale ayant déjà réalisé des projets dans le démantèlement des châssis



> Croisade Pauvreté, Retrival, Réseau Ressources, Recma, La Ressourcerie « le Carré » (Tournai), La Ressourcerie Liègeoise, La Ressourcerie Namuroise, La Ressourcerie du Val de Sambre (Réseau Ressources, 2016)

Il est important de souligner que, bien que cette filière puisse se développer, elle ne pourra pas couvrir l'ensemble du marché, car une partie du gisement de verre est déjà traitée en Wallonie par les recycleurs. Étant donné que l'enjeu principal de cette filière réside dans une collecte plus respectueuse des châssis, il est essentiel de collaborer avec les gestionnaires de déchets afin d'offrir un service complémentaire aux leurs.

1.5. Recommandations

1. Adapter le cadre réglementaire (sur le court terme)

> Introduire une clause de circularité dans les marchés publics pour les projets de rénovation de bâtiments publics, afin de promouvoir le recyclage « upcycling » du verre et/ou le réemploi des menuiseries vitrées.

> Adapter la réglementation afin de faciliter la mise en place de cette filière pour les acteurs de terrain. Par exemple :

- Création d'un **mécanisme d'accompagnement en terme de compétence et financier :** destiné à aider les entrepreneurs à intégrer les nouvelles pratiques et absorber les surcoûts liés à l'implantation et à l'organisation d'un service de tri et de collecte directement sur chantier;
- Favoriser la **mise en place d'un système de collecte** qui optimise la qualité du verre recyclé et favorise le développement d'une filière circulaire performante à moindre coût. Identifier une solution structurée qui réponde à la problématique de collecte des déchets de verre issus des chantiers de construction (tel que le système VRN aux Pays-Bas : points de collecte, logistique centralisée, financement par contribution des producteurs de verre).

- Prévoir un mécanisme de flexibilité pour le stockage des matériaux (bois, PVC) de manière à intégrer la volatilité du prix du marché des matériaux.

2. Soutenir, accompagner et structurer les initiatives en cours (sur le court-moyen terme)

- **Connecter les initiatives existantes entre elles** (Croisade Pauvreté, AGC Glass, bigs bags de Deceuninck, etc.) afin de créer une filière unique qui permet de croiser les intérêts respectifs des porteurs de projet et améliorer la viabilité économique de cette filière. L'idée ici serait d'optimiser l'utilisation des ressources et ainsi éviter la « concurrence » sur les gisements de menuiseries vitrées usagées, ce qui pourrait compromettre la viabilité économique des projets en cours. Par exemple, pour les menuisiers qui ne démontent pas leurs châssis et qui remplacent de petits volumes chaque mois, la solution « économie sociale » pourrait être la plus appropriée, en intégrant la livraison des conteneurs du modèle industriel au sein du hub de l'entreprise sociale. Pour des chantiers avec des volumes importants de châssis à démanteler, une collaboration entre le producteur verrier, chargé de l'aspect logistique, et les ateliers mobiles, responsables du démantèlement, pourrait également être envisagée ;
- **Soutenir le « scale-up / montée en puissance »** des projets de filières, et plus particulièrement de collecte des vitrages en intégrant les solutions de réemploi et de démantèlement des menuiseries vitrées ;
- **Identifier des solutions permettant de diminuer les surcoûts opérationnels** contraintes logistiques et de transport liés à la manipulation de châssis et vitrages pour assurer leur qualité.

3. Soutenir les projets pour améliorer la collecte et le traitement des châssis ainsi que dans la valorisation du verre plat (sur le moyen- long terme)

- **Développer des outils numériques** permettant de localiser les gisements de menuiseries vitrées usagées, afin d'optimiser la collecte ou l'acheminement vers un centre de massification.
- **Améliorer les équipements ou les machines** pour réduire le temps d'opération de démantèlement des châssis.
- **Développer les innovations technologiques** permettant de caractériser rapidement le type de vitrage selon ses performances énergétiques.
- Développer un outil pour **définir les critères pour réemploi et recyclage**.
- **Travailler sur le réemploi des anciens simples vitrages** pour les transformer en double ou triple vitrages conformes aux normes énergétiques de la rénovation.
- **Améliorer le traitement du verre recyclé ou calcin post-consommation** pour le transformer à nouveau en verre plat.
- **Développer des technologies de recyclage** des pare-brise ou vitrages issus de l'automobile pour les retransformer en verre destiné au secteur de la construction.

1.6. Opportunités d'apprentissage et d'amélioration

La conceptualisation de modèles économiques basée sur différents types de scénarios offre de nombreuses opportunités d'apprentissage et d'amélioration continue :

- **Approche ciblée et évolutive**
  La conceptualisation de ces modèles d'affaires commence par l'étude approfondie d'un cas particulier, ce qui permet de tester et d'ajuster les solutions dans un cadre maîtrisé avant un déploiement plus large.
- **Analyse détaillée des *business models***
  Chaque scénario permet d'explorer en profondeur le *business model* d'un acteur clé de la chaîne de valeur, tout en gardant la possibilité d'élargir progressivement l'analyse à l'ensemble des parties prenantes concernées. Cette approche séquencée garantit une meilleure compréhension des enjeux spécifiques à chaque maillon.
- **Valorisation du recyclage et du réemploi**
  Le recyclage est systématiquement pris en compte comme une solution complémentaire, permettant d'optimiser l'utilisation des ressources et de générer des bénéfices environnementaux et économiques, même dans des marchés émergents ou en structuration.
- **Complémentarité des modèles dans l'économie sociale**
  L'étude indépendante des modèles d'affaires liés à la massification et aux ateliers mobiles permet d'identifier des synergies potentielles et d'envisager des complémentarités futures, renforçant ainsi la résilience et la diversité des solutions proposées.
- **Investissements progressifs et adaptés**
  L'analyse des investissements nécessaires à la revalorisation de la filière est réalisée de manière progressive, ce qui permet d'ajuster les efforts en fonction des retours d'expérience et d'optimiser l'allocation des ressources au fil du temps.
- **Validation continue des hypothèses**
  Le modèle repose sur des hypothèses évolutives, qui devront être régulièrement réévaluées et validées lors des premières phases d'opérationnalisation. Cette flexibilité favorise l'adaptation rapide aux réalités du terrain et l'intégration des enseignements issus des expérimentations.

II. Analyse d'un Business Model d'un hub de massification « multi flux »

2.1. Enjeux

Lors des précédents travaux réalisés dans la Convention Wallace, nous avons constaté que certains flux spécifiques de déchets de construction issus des chantiers wallons, **comme le plâtre, la laine de verre et les plastiques rigides**, ne seraient pas entièrement réintégrés dans des filières de valorisation de ces ressources au sein de l'industrie wallonne ou des pays limitrophes. En effet, **les volumes de plâtres générés en Wallonie ne sont pas totalement intégré dans l'unité de traitement de plâtre existante**[17] dû à des problématiques logistiques et la complexité du gisement Wallon (contamination, ...). Les volumes de laine seraient incinérés avec d'autres déchets de construction. Le traitement des plastiques rigides reste méconnu malgré leur potentiel volume élevé.

Cette situation découle du fait que ces flux continuent d'être principalement **évacués dans des conteneurs de « classe 2 »**, car souvent générés en petits quantités sur les chantiers, les entrepreneurs et entreprises de constructions ont tendance à ne pas privilégier un tri sur chantier à cause de contraintes liées à la place et au temps. Cette pratique accroît les risques de dégradation de la qualité des volumes collectés, réduisant ainsi le potentiel de valorisation. **Une collecte sous-optimale de ces flux peut entraîner un approvisionnement insuffisant en déchets wallons pour les filières de recyclage déjà existantes dans la région**. Cependant, de plus en plus d'intercommunales, comme Ipalle et Idelux, mettent en place des conteneurs séparés pour collecter le plâtre, la laine de verre et les plastiques. Malgré ces efforts, ces initiatives sont confrontées à un risque élevé de dégradation de la qualité des matériaux collectés, faute de moyens de contrôle suffisants pour garantir leur qualité. Les gestionnaires de déchets privés proposent également des solutions en fonction des conditions du marché, mais la volatilité de ces derniers rend parfois le tri séparé économiquement moins avantageux. Des projets de recherche, tels que CD² et Recyparc Pro, testent de nouvelles approches visant à améliorer le tri et/ou à proposer des services de reprise des déchets pour accroître leur valorisation.

Actuellement, **un hub dédié à la massification de ces flux, en les séparant au maximum à la source pour assurer la qualité**, pourrait constituer une réponse efficace pour répondre aux coûts logistiques généralement considérés comme élevés pour acheminer ces matières secondaires de meilleure qualité vers leurs centres de recyclage.

Quant à la valorisation du béton cellulaire, les procédés de recyclage sont encore en phase de recherche. Étant donné le gisement potentiellement important et disponible de ce flux, une filière de recyclage à plus grande échelle devra être mise en place dès que des débouchés auront été identifiés. Cependant, en raison du manque de maturité de la filière de traitement, une massification de ce flux ne semble pas encore appropriée et ce flux ne sera pas repris dans l'analyse du hub.

[17] REPLIC : unité pilote de traitement de plâtre

En partant de cette analyse, GreenWin et le Comité d'accompagnement ont décidé d'analyser la faisabilité d'**un modèle économique d'un réseau de hubs décentralisés qui pourraient massifier séparément les flux : plâtre, plastique et laine de verre.** Ces hubs seraient répartis stratégiquement dans la région, proches des principaux centres urbains et zones industrielles. Le réseau permettrait aussi l'interconnexion entre ces hubs pour partager des ressources et optimiser les flux de matériaux.

2.2. Informations sur les 3 flux spécifiques non inertes de construction :

2.2.1. Approche méthodologique

Au début de la Convention Wallace, le pôle et le SPW-ARNE ont décidé d'étudier plus en détail la possibilité d'améliorer la circularité de certains flux spécifiques non inertes, tels que le « plâtre », les « plastiques rigides » et la « laine de verre », qui sont encore majoritairement collectés dans des conteneurs dédiés aux déchets de construction en mélange « classe 2 »..

Le pôle a donc également décrit ces matières spécifiques en identifiant les gisements de déchets potentiels ainsi que la cartographie de ces filières de traitement pour ces flux en Belgique. Pour cela, le pôle a consolidé les données issues des précédents rapports Wallace, de l'étude Möbius commandée cette année par GreenWin, des premières analyses de l'étude Recydata, ainsi que de l'outil de cartographie des filières développé par Buildwise.

2.2.2. Informations sur le flux « plâtre »

Tableau 6: estimation du gisement potentiel de plâtre en RW

Plâtre	
Gisement potentiel évalué	30 000 tonnes en Belgique 15 000 tonnes en Wallonie
Densité	850 à 950 kg/m³ (Möbius, 2024)
Exutoires en recyclage	**En Wallonie :** ▪ Replic (Pecq) avec une capacité de traitement d'au moins 10 000 tonnes. ⇨ **Coût de traitement :** [18] Catégorie A : 40€/t (qualité élevée) Catégorie B : 55€/t (qualité moyenne) Catégorie C : 100€/t (faible qualité) A cela s'ajoute les coûts de transport. (*voir Annexes 3.)* ⇨ **Valorisation** : plaques de plâtre (si bonne qualité) ou cimenterie (si qualité moyenne ou faible)

[18] Le coût de traitement se comprend ici comme le coût d'évacuation pour le détenteur du déchet en amont de la filière.

	En Flandre : • New West Gypsum à Kallo avec une capacité de traitement 40 000 tonnes. ⇨ **Coût de traitement :** 46,5 €/t + coût de transport ⇨ **Valorisation :** plaque de plâtre **Aux Pays-Bas :** • Gips Recycling Benelux avec une capacité de traitement et des coûts d'évacuation non connus
Volume récupéré par les gestionnaires de déchets publics et privés	9 200 tonnes récupérés par les intercommunales en 2023. (Déclarations des Intercommunales relatives aux parcs à conteneurs) Environ 10 000 tonnes/an par un centre de tri privé spécialisé dans les déchets de construction mais peu d'informations sur la provenance du gisement et son exutoire. **Point d'attention :** Il n'est pas possible d'additionner ces deux volumes, car une partie des déchets provenant des gisements peut être envoyée vers les centres de tri privés.
Volume de déchets wallon retraité en Wallonie	En 2024, l'unité REPLIC a traité un volume de **20 000 tonnes de plâtre**. Les ¾ de ce gisement proviennent de France, dont la collecte a fortement augmenté depuis la mise en place d'une REP sur ce gisement. Par ailleurs, **5 000 tonnes de plâtre traitées en 2024 proviennent du gisement wallon** (et aussi de Flandre)
Défis actuels de la filière de traitement en Wallonie	➢ En Wallonie, les conditions d'acceptation du plâtre sont plus exigeantes sur la qualité entrante par rapport à la Flandres. ➢ Peu de déchets plâtres « wallons » sont actuellement revalorisés par la filière de recyclage wallonne.
Niveau de circularité de la filière « wallonne »	**Fragile** si cette filière doit compter principalement sur l'approvisionnement de gisements « wallons »

2.2.3 Informations sur le flux « plastique »

Tableau 7: estimation du gisement potentiel plastiques durs en RW

Plastique rigides (comprenant les profilés en PVC et les tuyaux PVC)	
Gisement potentiel	Non connu hormis pour les profilés en PVC estimés à 18 000 tonnes en Belgique. (Recydata, 2024)
Densité	Entre 80kg/m³ et 120kg/m³ (Möbius, 2024)
Centres de recyclage	**En Wallonie :** • Rulo avec une capacité de traitement de 20.000 t/an pour du PVC rigide. ⇨ **Coût de traitement** : non connu • Le réseau Polyconnect Recycling avec des points de massification pour les tuyaux en PP, PE et PVC à Bruges , Charleroi, Eupen, Harelbeke, Kalmthout, Nossegem, Overpelt e et Temse (» PolyConnect Recycling inzamelpunten PolyConnect) qui les envoient ensuite aux producteurs de tuyaux pour les recycler. ⇨ **Coût de traitement** : recyclage gratuit **En Flandre :**

	• Le fabricant de menuiseries vitrées **« Deceuninck »** avec une capacité de recyclage de 45 000 tonnes pour les menuiseries extérieures en PVC. ⇨ **Coût de traitement :** Si du verre est présent dans le flux de déchet, il faut demander le prix du traitement au point de collecte. Location d'un big bag de 6m³ est mis à disposition pour un montant de 210 euros via le système « Go Bag »(comprenant l'envoi du big bag par la poste, le transport du big bag rempli depuis le chantier jusqu'au centre de recyclage, et le traitement) + prix de traitement supplémentaire du verre si vitrage non séparé (coût pas connu). ⇨ **Valorisation :** Profilés en PVC pour menuiseries extérieures (outil Buildwise, 2024)) VanWerven avec une capacité de traitement de 150 000 tonnes à Lanaken (seul site en Belgique). ⇨ **Coût de traitement** : Entre 100€/t et 200€/t + coût de transport ⇨ **Valorisation** : granulés en plastiques (Möbius, 2024)
Volume de déchets récupéré en Wallonie.	9 000 tonnes de plastiques rigides et 640 tonnes de déchets de construction de tri en PVC. Collecté par les intercommunales en 2023. (Déclarations des Intercommunales relatives aux parcs à conteneurs) Environ 5 000 tonnes/an par un centre de tri privé spécialisé dans les déchets de construction mais peu d'informations sur la provenance du gisement et son exutoire
Volume du gisement wallon retraité en Wallonie	Très peu élevé parce que la grande partie des gisements sont acheminés en Flandres ou dans d'autres régions.
Défis actuels de la filière de traitement	En raison de la chute actuelle des prix du baril de pétrole, le plastique vierge devient plus attractif. Ainsi, de nombreux collecteurs et recycleurs ont des difficultés à écouler leurs stocks de plastiques, car les débouchés sont limités. Il subsiste également une incertitude quant à l'évolution future des prix du plastique vierge et recyclé. (Möbius, 2024).
Niveau de la circularité de la filière en Wallonie	**Fragile** car en raison de la volatilité actuelle des prix, la collecte séparée des différents types de plastiques devient encore moins avantageuse, ce qui réduit l'optimisation de leur valorisation. Par ailleurs, le manque d'informations fiables pour suivre correctement les flux de plastiques en Wallonie empêche de garantir une valorisation optimale de ces derniers.

2.2.4 Informations sur le flux « laine de verre »

Tableau 8: estimation du gisement potentiel laine de verre en RW

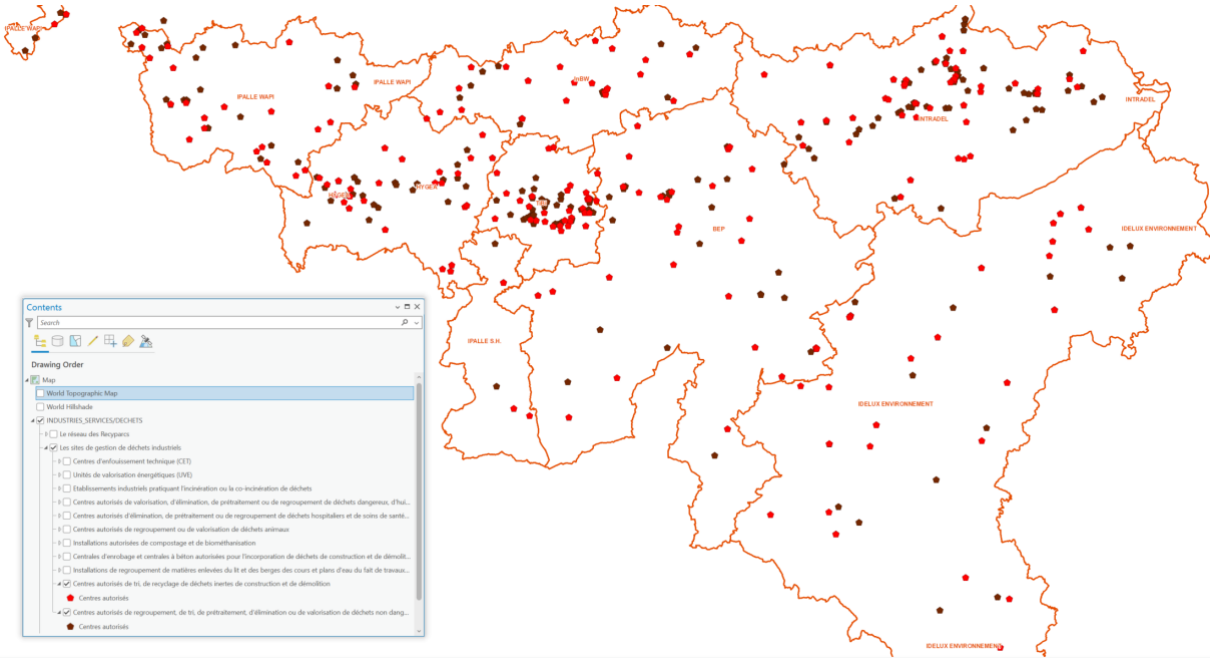
Laine de verre	
Gisement potentiel estimé	10 000 tonnes en Belgique Entre 4000 et 6000 tonnes en Wallonie
Densité	25 kg/m³
Centres de recyclage	**En Wallonie** : Knauf Resulation avec une capacité de traitement de 20 000 tonnes. ⇨ **Coût de traitement** : 140 €/tonne Pas de capacité de traitement **en Flandres.**

Volume de déchets récupéré en Wallonie.	Très peu élevé ou envoyé vers l'incinération. Pas d'information sur les quantités
Volume de déchets wallon retraité en Wallonie	Entre 50 et 100 tonnes par an traité par Knauf via les recyparcs d'Idelux.
Défis actuels de la filière	- Distinction et séparation nécessaire de la laine de verre par rapport à la laine de roche dans les flux collectés. - Presser la laine de verre afin d'augmenter sa densité et réduire les coûts liés au transport de cette matière ;
Niveau de la circularité de la filière en Wallonie	**Fragile** car le centre de recyclage n'atteint pas le volume attendu notamment à cause d'un manque d'approvisionnement en gisements wallons.

2.2.5. Centres de collecte, tri et regroupement

Par ailleurs, le pôle a cartographié sur une carte les sites de gestion de déchets en Wallonie :

Figure 14: Implantation des sites de gestion de déchets en Région Wallonne



Parmi ces sites, GreenWin a également identifié les centres de collecte (avec location de container), tri et de regroupement en Wallonie pouvant récupérer séparément ces déchets sont les suivants:

Nom du centre	Province-Commune	Type	Plâtre	Plastiques Durs	Laine de verre
Achene Recycling	Ciney	Regroupement	x		
Ardenne container	Gouvy	Collecte, tri et regroupement	x	x	x
Intercommunale BEP	Namur	Parc à conteneur		x	
Bruco Sambreville	Sambreville	Collecte, tri et regroupement	x	x	x
Centre de tri de Tinlot	Tinlot	Regroupement	x		
CETT Monseu	Rochefort	Collecte et tri	x	x	
Cheron. D	Soignies	Collecte et regroupement	x	x	
Claus Serg	Binche	Regroupement	x		
Dufour Marquain	Marquain	Collecte, tri et regroupement	x	x	
Intercommunale Hygea	Mons	Gestion de parcs à conteneur		x	
Intercommunale Idelux	Luxembourg	Gestion de parcs à conteneur	x	x	
Intercommunale InBW	Brabant Wallon	Gestion de parcs à conteneur	x		
Intercommunale Intradel	Liège	Gestion de parcs à conteneur	x		
Intercommunale Ipalle	Hainaut	Gestion de parcs à conteneur	x	x	
Lavano / lavaert group	Mouscron	Collecte, tri et regroupement	x		
Recynam	Namur	Regroupement			
Recymex	Saint Ghilsain	Regroupement			
Renewi – site de Seraing	Seraing	Collecte, tri et regroupement		x	x
Satea (Wanty)	Binche	Collecte, tri et regroupement	x		
Soret (Vanheede)	Nivelles	Collecte, tri et regroupement	x	x	
Tibi (14 recyparcs)	Charleroi	Gestion de parcs à conteneur		x	
Vanheede - Dottignes	Dottignes	Collecte, tri et regroupement	x	x	
Vanheede - Quévy	Quevy	Collecte, tri et regroupement	x	x	
Véolia Herstal	Herstal	Collecte, tri et regroupement	x	x	

2.3. Cartographie des initiatives en cours

Parmi les projets qui visent à améliorer la collecte d'un ou de ces flux, nous pouvons citer :

- **POLYCONNECT Recycling** : POLYCONNECT se consacre à la collecte et au recyclage des tuyaux en PVC, PP et PE, avec des points de collecte à Fleurus et Eupen. Le projet ambitionne de créer une chaîne de valeur circulaire pour les plastiques industriels, en collaborant avec des entreprises locales pour optimiser le tri et le recyclage des matériaux plastiques.
- **CD²** : Le projet CD², impliquant Dufour, PMC, Saint-Gobain, Knauf, Wienerberger et Galère, se focalise sur la promotion du tri sélectif sur les chantiers. En organisant des chantiers pilotes, le projet démontre les avantages de la séparation des déchets à la source, réduisant ainsi les coûts de transport et facilitant le recyclage sur site.
- **RECYPARCPRO** : RecyparcPro, collaborant avec Tradecowall, Recynam, Retrival et Vescobel, propose une solution de "one-stop shopping" pour favoriser le réemploi et recyclage des déchets de construction. Les entreprises de construction peuvent déposer en logistique inverse lorsqu'ils se rendent sur le site de Recynam divers types de déchets et récupérer des matériaux recyclés de haute qualité, favorisant une économie circulaire locale

- **OPTIDEMO :** Optidemo propose un traitement mobile des déchets de démolition sur site, en collaboration avec Wanty. Ce projet permet de traiter les déchets directement sur les chantiers, réduisant les coûts de transport et facilitant le recyclage sur place

Parmi les projets qui visent à améliorer la collecte d'un ou de ces flux :

- **CIRCUCELL** : Circucell, soutenu par Tradecowall, se concentre sur le recyclage du béton cellulaire en Wallonie. Le projet comprend la déconstruction sélective, la collecte structurée, le développement de filières de valorisation et la création d'un outil de traitement. Il teste diverses applications pour les produits recyclés, comme les applications drainantes et les murs végétalisés.
- **VALOCELL** : Valocell cible la collecte, le tri et la valorisation du béton cellulaire via un réseau de recyparcs communaux. En collaboration avec Dufour, CTP et BBE, le projet transforme les déchets de béton cellulaire en ressources réutilisables, contribuant ainsi à l'économie circulaire.

2.4. Pistes de solutions : scenario d'un réseau de hubs « multi-flux »

2.4.1. Approche méthodologique

Pour déterminer les conditions de faisabilité d'un projet de hub massification décentralisé permettant la séparation des flux spécifiques de déchets, le pôle a pris comme référence le modèle du projet « Recycparc Pro », implanté sur le site de Recynam (Tradecowall) soutenu par la Wallonie. Ce projet se distingue par son approche qui pourrait être assimilée à un réseau de hubs de massification de déchets de construction issus de chantiers de petite taille. En effet, le projet « RecyparcPro » permet aux entrepreneurs et entreprises de construction de taille moyenne de déposer divers types de déchets provenant de leurs chantiers, tels que : bois de structure (bois B), déchets « classe 2 », souches, béton cellulaire sans plâtre, verre plat, plâtre propre et sec, châssis PVC, et d'autres ressources valorisables pour le recyclage et le réemploi.



Visite d'un « Recyparc Pro » sur le site de Recynam



En initiant une première phase pilote sur le site de Recynam, le projet RecyparcPro vise à mettre en place un service comparable à celui des parcs à conteneurs pour particuliers, mais spécialement conçu pour les professionnels du secteur de la construction. L'objectif est de renforcer le développement des filières de réemploi et de recyclage. Dans cette perspective, le modèle Recyparc Pro pourrait servir de référence pour la massification séparée de certains flux de déchets issus de la déconstruction et de la rénovation. De plus, si sa viabilité économique d'un tel projet est confirmée sur le site de Recynam, ce modèle pourrait être déployé sur d'autres sites de Tradecowall, permettant ainsi une plus grande couverture du territoire wallon et la création d'un véritable réseau de hubs avec une optimisation des coûts logistiques liés à la collecte.

Figure 15: Réseau des sites potentiels de Recyparc Pro



A l'heure actuelle, hormis pour le béton cellulaire et le verre plat, le projet « Recycparc Pro » ne met pas encore à disposition des espaces permettant une massification séparée des flux de déchets : plâtre, laine de verre et plastiques durs. Les déchets qui ne peuvent donc être revalorisés en réemploi sont donc massifiés dans une logette « classe 2 » en mélange.

Photo de la logette « classe 2 » au sein d'un Recyparc Pro



GreenWin a donc confié la réalisation d'une étude au consultant Möbius visant à déterminer les conditions de faisabilité économique d'une massification séparée de trois flux spécifiques : **plâtre, laine de verre et plastiques rigides** pour que ceux-ci ne soient pas évacués avec la « logette classe 2 ». Le béton cellulaire est déjà traité séparément au sein d'un Recyparc Pro pour le projet de recherche « CircuCell »

De plus, des groupes de travail ont été régulièrement organisés entre les porteurs du projet RecyparcPro, Möbius et Greenwin afin de collecter des données et discuter des scénarios envisageables ;

Des entretiens ont également été menés avec des acteur de la chaîne de valeur afin d'identifier les conditions du marché et leurs besoins éventuels pour développer davantage les filières de recyclage ainsi qu'avec d'autres porteurs de projet pour détecter de potentielles synergies.

Tableau 9: Acteurs rencontrés pour le business model hub « multi-flux »

Société de démolition et déconstruction	Centres de collecte, tri et traitement de déchets	Intercommunales	Recycleurs	Centres de recherche et bureaux d'études
Wanty (projet Optidemo), Nonet	Bruco, Sambreville, Dufour, Nonet, Denuo, Tradecowall (fédération)	BEP, Idelux, Ipalle, Copidec (fédération)	Replic (plâtre), Knauf (laine de verre), VanWerven, Polyconnect Recycling (plastiques)	Buildwise, Recydata (organisme pour le développement d'un système de REP[19]) , Centre de recherche Terre et Pierre (projet Valocell)

Dans le cadre de cette étude, les exutoires retenus pour le calcul du seuil de rentabilité sont les suivants :

[19] Responsabilité élargie du producteur

Flux	Exutoire	Coût d'évacuation
Plâtre	Replic	55 €/tonne pour l'évacuation du plâtre de qualité B
Laine de verre	Knauf	140 €/tonne
Plastique	VanWerven	100 €/tonne

Le pôle a en effet choisi d'étudier la possibilité d'acheminer directement les flux vers les recycleurs afin de satisfaire leurs besoins en approvisionnement à partir des gisements wallons.

2.4.2. Choix entre deux scenarii

Lors de l'étude réalisée par Möbius, deux scenarii ont été envisagés :

- **Scénario 1 :** les flux de déchets arrivent en mélange en logette « classe 2 » et seront triés par les ouvriers dédiés au projet Recyparc Pro.

- **Scénario 2** : les flux sont prétriés par les entrepreneurs et les entreprises de construction, et sont versé dans des containers ou logettes spécifiques au sein d'un Recyparc Pro.

Après avoir analysé les deux scénarii de tri avec Möbius, Greenwin a décidé de se concentrer plus en détail sur le scénario 2, c'est-à-dire celui dans lequel le tri est réalisé par les entrepreneurs eux-mêmes.

Ce scénario présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, la qualité du flux sera probablement meilleure, car le tri est effectué à la source, réduisant ainsi les risques de contamination et de dégradation des flux. De plus, les entrepreneurs pourraient bénéficier de tarifs réduits en compensation de leurs efforts de tri, ce qui pourrait les inciter à participer activement au processus.

Le scénario 1 a été abandonné en raison des surcoûts nécessaires pour assurer un tri qualitatif des déchets. De plus, une récupération de déchets mélangés en classe 2 augmente les risques de contamination des matériaux, ce qui pourrait compromettre la qualité des flux et entraîner un refus par les filières de recyclage si les exigences de qualité ne sont pas respectées. De plus, le tri des déchets déjà mélangés présente des risques accrus pour la sécurité des personnes chargées du tri, avec un danger de blessures plus élevé.

2.4.3. Analyse du Business Model Hub de massification « multi-flux »

1. Analyse des critères qualitatifs du Business Model

Activités clés

- Organiser la massification séparée des flux entrants
- Opérer un Contrôle qualité des flux entrants
- Organiser la livraison des flux vers leurs exutoires.
- Fournir une plateforme de réemploi

Proposition de valeur

- Offrir une solution de dépôt pour les entrepreneurs souhaitant éviter l'évacuation de déchets « classe 2 en mélange » (coûtant environ 250 €/tonne) en leur permettant de trier au sein du hub ou évacuer leurs déchets triés sur les chantiers.
- Être un maillon dans la chaine d'approvisionnement garantissant la qualité de matériaux secondaires pour les recycleurs.
- Offrir un espace de stockage et une meilleur qualité de matières afin de permettre une revalorisation de celles-ci à plus haute valeur ajoutée.

Segment de clientèles

- Les entrepreneurs ou entreprises de construction de petite taille dont le coût d'évacuation des déchets est élevé et qui souhaite mieux trier à la source aux alentours du site du hub.

Ressources nécessaires

- 1 ou 2 travailleurs sociaux avec des ETP adaptés selon les flux entrants
- Conteneurs à louer
- Espaces pour les flux séparés
- Deux investissements suggérés : une machine d'enrubannage et de presse pour la laine de verre ainsi qu'une balance adaptée à des plus petits volumes (Möbius, 2024).

Flux de revenu

- Coût d'évacuation des déchets-ressources
- + possibilité de revente de la matière si une filière de revalorisation existe

2. Calcul et analyse du Seuil de rentabilité des *business models*

Le seuil de rentabilité correspond au niveau d'activité minimum à partir duquel l'activité d'une entreprise devient rentable. Il est calculé par chacun des flux étudié en intégrant les conditions de marché actuelles et les différentes variables de coûts et revenus associés à la filière considérée.

Méthodologie

De même que pour le business model sur le hub « verre-châssis », le pôle a déterminé le seuil de rentabilité pour les trois flux en identifiant ces trois paramètres

- Les coûts fixes en €/t
- Les coûts variables en €/t
- Le chiffre d'affaires ou prix de vente en €/t
- Marge sur coût variable

Marge sur coût variable = chiffre d'affaires en €/t - coûts variables en €/t

Seuil de rentabilité en tonne (ou break even) = Coûts fixes/ marge

Seuil de rentabilité en chiffres = Break even*(CA/tonne)

Il a donc été essentiel de déterminer le prix de vente du service du hub pour chaque flux. Ce prix de vente correspond au prix d'évacuation attribué aux entreprises qui viennent déposer leurs Déchets au sein du hub. Il constitue **l'unique source de revenu** dans les trois business model envisagés.

Ce prix de vente a été calculé selon un **taux de marge sur coûts variables** (TMCV) **hypothétique de 20%**. Cela signifie que 20 % du prix de vente servent à couvrir les coûts fixes et à générer un éventuel bénéfice, tandis que 80 % couvrent les coûts variables directement liés au traitement du flux. De plus, ce taux de marge représente un facteur commun pour comparer la rentabilité des flux.

Pour obtenir le **prix de vente**, il faut donc calculer : les coûts variables à la tonne/ (1-20%).

Flux « Plâtre »

Structure de coûts

Coûts variables	
Contrôle qualité	42 €/t
Coût d'évacuation des déchets	140 €/t
Transport	27,94€/t
Coûts variables totaux par mois	***124, 88 €/t***
Coûts fixes	
Location container	120 €/mois

Source de revenus

En tenant compte d'un taux de marge sur coût variable de 20%, le prix de vente par tonne serait de **156 €/tonne (=124,88/80%)**

Ce prix est inférieur aux prix de l'évacuation du conteneur des déchets en mélange « classe 2 » estimé à 250 €/tonne.

Seuil de rentabilité

Pour le flux de déchets plâtre, l'étude montre que le seuil de rentabilité pourrait être atteint à partir de **3,43 tonnes** collectées par mois à un prix de **156,1 €**/t.

Tableau 10: Tableau synthétique du seuil de rentabilité « plâtre »

Coûts variables totaux par mois (CV)	Prix de vente recommandé par mois (PV= CV/(1-20%))	Marge sur coûts variables (MCV = 20%*PV)	Coûts fixe par mois (CF)	Break even, quantité de plâtre à collecter pour atteindre la rentabilité (CF/MCV)
124, 88 €/t	**156, 1 €/t**	31 €/t	120 €	**3,43 tonnes/mois**

Flux « Plastique »

Structure de coûts

Coûts variables	
Contrôle qualité	41,94 €/t
Coût d'évacuation des déchets	100 €/t
Transport	70 €/t
Coûts variables totaux par mois	***212 €/t***
Coûts fixes	
Location container	120 €/mois

Source de revenus

En tenant compte d'un taux de marge sur coût variable de **20%,** le prix de vente par tonne pour le flux « plastique » serait de **265 €/tonne (212/(1-20%)),** qui est supérieur au prix du conteneur.

Seuil de rentabilité

Concernant les plastiques, il est nécessaire d'atteindre une quantité de **2,3 tonnes** par mois à un prix de **265 €/t.**

Tableau 11: Tableau synthétique du seuil de rentabilité « plastiques durs »

Coûts variables totaux par mois (CV)	Prix de vente recommandé par mois (PV= CV/(1-20%))	Marge sur coûts variables (MCV = 20%*PV)	Coûts fixe par mois (CF)	Break even, quantité de plastiques durs à collecter pour atteindre la rentabilité (CF/MCV)
212€/t	265 €/t	53 €/t	120 €	**2,3 tonnes/mois**

Flux « laine de verre »

Structure de coûts

Sans investissement au préalable

Coûts variables	
Contrôle qualité	41,94 €/t
Coût d'évacuation des déchets	140 €/t
Transport	**250 €/t**
Coûts variables totaux par mois	***431, 94€/t***
Coûts fixes	
Location container	240 €/mois

Pour récupérer la laine de verre, deux conteneurs ont été jugés nécessaires pour atteindre le volume suffisant étant donné la faible densité de ce matériau.

Avec investissement dans une presse et une machine d'enrubannage :

Coûts variables	
Contrôle qualité	41,94 €/t
Coût d'évacuation des déchets	140 €/t
Transport	**28 €/t**
Coûts variables totaux par mois	***168,33 €/t***
Coûts fixes	
Location container	240 €/mois

Les investissements dans une presse et une machine d'enrubannage permettent de réduire considérablement les coûts de transport, qui passent de 250 €/t à 28 €/t. Cependant, le montant de ces investissements ne sont pas repris dans cette structure de coûts.

Source de revenus

En tenant compte d'un taux de marge sur coût variable de 20%, le prix de vente par tonne pour le flux « laine de verre» sans investissement au préalable serait de 539,9 €/tonne, ce qui est largement supérieur au prix d'un conteneur proposant un service d'évacuation en mélange.

L'introduction d'une presse permet de réduire considérablement les coûts de transport, qui passent de 250 €/t à 27,94 €/t. Dans ce cas, les coûts variables totaux seraient de 168,33 €/t. Le prix de vente serait alors de 210,41 €/t.

Seuil de rentabilité

L'analyse des coûts et des revenus sans l'utilisation d'une presse indique qu'il serait nécessaire d'atteindre une quantité de 2,2 tonnes par mois à un prix de 539,9 €/t pour atteindre le seuil de rentabilité. Cependant, étant donné ce prix élevé, atteindre ce seuil semble peu réaliste.

Avec l'introduction d'une presse, le prix de vente serait réduit à **262,8 €/t,** et il faudrait verser **4,57 tonnes** par mois pour atteindre le seuil de rentabilité. Toutefois, étant donné un prix

légèrement plus élevé que le coût de traitement en mélange « classe 2 » (sans inclure les investissements dans les coûts), il paraît peu probable que le hub investisse pour atteindre le seuil de rentabilité.

Tableau 12: Tableau synthétique du seuil de rentabilité « laine de verre »

Coûts variables totaux par mois (CV)	Prix de vente recommandé par mois (PV= CV/(1-20%))	Marge sur coûts variables (MCV = 20%*PV)	Coûts fixe par mois (CF)	Break even, quantité de laine de verre à collecter pour atteindre la rentabilité (CF/MCV)
Sans investissement				
431, 94€/t	**539,9 €/tonne**	108 €/t	240 €	2,2 tonnes/mois
Avec investissement dans une machine d'enrubannage et de presse				
168,33 €/t	**262,8 €/tonne**	52,5 €/t	240 €	4,57 tonnes/mois

2.4.4. Interprétation des résultats

1. Conditions de viabilité et de réplicabilité

En partant des conclusions effectuées dans le cadre de l'étude de massification séparée au sein d'un « Recyparc Pro », il semble difficile de répliquer un modèle de hub décentralisé pouvant massifier séparément :

- Le flux « laine de verre » à cause du coût de traitement en Wallonie, la nécessité d'investir dans des équipements pour économiser les frais de transport et la nécessité de la séparer de la laine de roche.
- Le flux « plastiques » en raison du cours actuel des prix du plastique vierge qui rend moins intéressant le coût de traitement des plastiques. De plus, il est aussi nécessaire d'optimiser les coûts logistiques et de transport.

Concernant le flux « plâtre », l'analyse du Recyparc Pro montre qu'il faudrait atteindre une quantité de 3,84 tonnes par mois à un prix de 156,1 €/t pour atteindre le seuil de rentabilité.

D'après les observations du projet CD², il est nécessaire de traiter 8 chantiers de construction neuve de maisons avec une surface moyenne de 80 m² pour remplir un conteneur de 10 m³ rempli à 80%, ce qui correspond à 5,3 tonnes de plâtre.

Conditions	Scénario 1

Prix de vente du service hub pour flux plâtre	156 €/t
Tonnage nécessaire pour seuil de rentabilité	3,45
Nombre de chantiers de construction neuve de 80 m²	5

Ainsi, pour atteindre le seuil de rentabilité de 3,45 tonnes, il serait nécessaire d'avoir au moins 5 chantiers de construction neuve de 80 m², à condition que les entrepreneurs acceptent de trier et d'évacuer eux-mêmes le plâtre pour un tarif de 156 €/tonne, ce qui pourrait leur faire économiser 100 €/t par rapport à la solution du conteneur « classe 2 ». Étant donné les objectifs de rénovation énergétique, il serait pertinent de réaliser la même analyse pour des projets de rénovation de bâtiments résidentiels en collaboration avec Buildwise et Embuild.

En tenant compte de la distance par rapport au recycleur, il serait intéressant de massifier le plâtre dans des zones avec un nombre de chantiers de rénovations ou de construction neuve constants.

Cependant, il est important de noter que, sur un gisement potentiel de 15 000 tonnes, une grande partie se trouve actuellement dans les parcs à conteneurs publics ou est traitée dans les centres de tri via des conteneurs « classe 2 ». Toutefois, le manque d'informations précises empêche une estimation exacte du taux de valorisation obtenu par ces méthodes de collecte. Quoi qu'il en soit, il est crucial de continuer à collaborer avec les intercommunales et les centres de tri existants, qui disposent des infrastructures et équipements nécessaires pour traiter ce type de matériau. Un hub de massification devrait venir compléter leurs services, afin qu'ils puissent en tirer à la fois une plus-value économique et environnementale.

2. Perspectives

Les conclusions de l'analyse des conditions de rentabilité ont été présentés à l'ensemble des parties prenantes du projet « RecyparcPro » et ont suscité une réflexion sur la possibilité de mettre en place une massification séparée des flux de plâtre, de laine de verre et de plastiques. Il en ressort que le coût de tri de la laine de verre de manière séparée serait trop élevé compte tenu des conditions actuelles du marché et de la faible densité de la laine de verre. L'une des problématiques réside également dans le fait que Knauf n'accepte pas la laine de roche alors que ce flux est souvent mélangé à la laine de verre.

Le coût de traitement du plastique serait également trop élevé dans les circonstances actuelles. Toutefois, la forte volatilité des prix du plastique pourrait entraîner des évolutions favorables dans les années à venir, rendant les prix d'évacuation des déchets plastiques plus intéressants. De plus, la société de recyclage de plastiques VanWerven cherche à augmenter ses approvisionnements dans l'ouest de la Wallonie et peut organiser des tournées de collecte, notamment en s'appuyant sur le réseau de « PolyConnect Recycling » Selon la manière dont l'opération de collecte et de versage est organisée avec VanWerven, cela pourrait constituer une solution concrète pour le projet RecyparcPro si la valeur économique du plastique devient plus intéressante.

Concernant la massification séparée du flux de plâtre, cette option semble prometteuse, mais il serait pertinent d'approfondir la question pour déterminer si les entrepreneurs sont disposés à traiter ce flux à un coût de 156,9 €/tonne. **Cette conclusion pourrait ouvrir la voie à une initiative pilote avec Replic, à condition qu'une étude de faisabilité économique plus approfondie confirme un partenariat avantageux pour les deux parties. Le projet**

Recyparc Pro pourrait aussi envisager de collaborer avec des intercommunales comme le BEP pour réorienter vers eux les flux de plâtre, actuellement jetés comme inertes. Enfin, le projet Recyparc Pro pourrait également démarrer une phase de test pilote avec le projet (CD)², qui explore les solutions de tri et de collecte de plâtre sur chantier, afin d'évaluer les bénéfices d'une filière spécifique pour ce type de déchet.

2.5. Recommandations

2.5.1. Recommandations générales

Système d'incitant

- Inciter positivement les entrepreneurs à trier le flux « plâtre » en amont

Problématique gisement

- Identifier les meilleures techniques de traitement pour palier à la contamination de la matière et permettre d'obtenir une ressource qualitative pour être valorisée via l'unité pilote wallonne.

Massification matière

- Soutenir l'activité de massification séparée dans les zones où le taux de rénovation des bâtiments résidentiels est le plus élevé ou sur les grands chantiers des bâtiments publics pour atteindre le seuil de rentabilité
- Développer un mécanisme de flexibilité du stockage de matériaux pour contrer la volatilité de certains matériaux comme les plastiques.

2.5.2. Recommandations spécifiques pour le hub

1. **Assurer la qualité des flux prioritaires**

- Renforcer le tri à la source sur les chantiers en collaborant avec les entrepreneurs, en les incitant à utiliser des conteneurs spécifiques pour prévenir la contamination des flux.
- Travailler directement avec des recycleurs pour la valorisation des flux et ainsi réduire les coûts. Actuellement, BRUCO trie et envoie le plâtre et le plastique aux recycleurs.
- Collaborer avec les recycleurs pour identifier les meilleures pratiques de tri et organiser des formations à destination des entrepreneurs.

2. **Mettre en place les dispositifs pour atteindre la masse critique**

- Développer une logistique collaborative pour regrouper les flux de plusieurs chantiers avant leur transport vers les hubs, afin d'optimiser les trajets.
- Offrir des incitations financières (réductions tarifaires) aux entreprises qui participent activement au tri à la source, afin de rendre le prix de vente du service suffisamment attractif pour couvrir les efforts de tri sur chantier.

3. **Acquérir les équipements nécessaires**

- Investir dans des outils adaptés en fonction des types de flux (balances, presses, enrubanneuse,…)
- Collaborer avec des acteurs disposant déjà d'infrastructures spécifiques, comme des presses à haute densité pour la laine de verre, afin de réduire les coûts de transport.

4. Nouer des partenariats stratégiques

- Renforcer les partenariats avec des recycleurs et collecteurs locaux pour garantir des débouchés stables pour les matériaux et renforcer les Business Models
- Développer des partenariats avec les autorités locales pour intégrer les hubs dans les stratégies régionales de gestion des déchets.

5. Analyser les sources de financement et le contexte économique

- Suivre les fluctuations des prix de certains matériaux en mettant en place un suivi trimestriel des coûts et revenus pour chaque flux, afin d'ajuster les prix en fonction des variations du marché (par exemple, les prix du plastique recyclé).
- Identifier les subventions publiques ou européennes disponibles pour réduire les coûts fixes, notamment pour l'installation de presses et l'achat de conteneurs. (Möbius, 2024)

2.6. Opportunités d'apprentissage et d'amélioration

La conceptualisation du modèle économique repose sur l'analyse d'un cas spécifique actuellement en cours de développement. À ce jour, il n'existe pas encore d'approche de marché validée par une expérimentation concrète de ce type de hub de centralisation, et le modèle d'affaires associé demeure en cours de construction.

Par ailleurs, certaines variables clés évoluent encore, ce qui limite la capacité à figer les hypothèses de travail. Dans les étapes d'analyse ultérieures, il sera essentiel d'objectiver les résultats et d'intégrer cette initiative au sein d'un système structuré. Celui-ci devra viser à soutenir le développement d'une filière performante, économiquement viable et accessible pour l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur.

Enfin, cette étude s'est principalement concentrée sur l'évaluation des coûts opérationnels liés au déploiement d'un hub. Cependant, l'un des intérêts majeurs de ce type de dispositif réside dans la réduction des kilomètres parcourus pour la collecte de petites quantités de déchets, en optimisant les trajets et en n'envoyant les containers au recyclage que lorsqu'ils sont pleins. Ce bénéfice n'a de réel impact que si les hubs sont suffisamment répartis sur le territoire wallon et permettent ainsi de collecter efficacement des déchets triés en petites quantités, sans devoir multiplier les points de collecte. Cette dimension n'a pas été traitée dans la présente analyse. Cet aspect logistique, qui pourrait influencer la pertinence et l'efficacité du service, devra être considéré dans un analyse ultérieure.

III. Conclusions Wallace 2024

En élaborant et analysant divers scénarii de *business model* de hubs et filières, le rapport Wallace 2024 conclut que la viabilité économique de ces *business model* n'est pas garantie en raison des surcoûts opérationnels occasionné par la mise en place d'une telle filière de recyclage et valorisation, bien que des pistes de solution concrètes existent.

Concernant les hubs ou filières dédiés à une collecte plus respectueuse du vitrage ou des châssis, le **scénario de type « industriel »** est en train d'être déployé via un projet pilote en cours de développement, et initié par le producteur verrier wallon, AGC. Ce projet met en évidence des surcoûts opérationnels, principalement liés aux contraintes logistiques, actuellement assumés par le producteur verrier. Par ailleurs, la gestion des ressources (collecte, tri, séparation) « à la source » reste insuffisamment optimisée pour permettre leur réintégration dans la production de verre plat et renforcer la viabilité du modèle étudié. En conséquence, la majorité du gisement est aujourd'hui orientée vers des applications à plus faible valeur ajoutée.

Le **scénario de type « économie sociale »**, pour sa part, montre qu'avec les conditions de marché actuelles et sans une optimisation rationnelle et simultanée des paramètres du *Business Models*, un hub de massification et de démantèlement des menuiseries vitrées à destination des menuiseries de petite-moyenne taille, ainsi que les ateliers mobiles associés à destination des grands chantiers, ne seraient pas économiquement viables. Néanmoins, ce scénario de *business model* pourrait devenir viable si quatre paramètres clés sont optimisés de manière rationnelle : le prix de vente du service (référence comme prix d'entrée des menuiseries vitrées au sein du hub), la productivité des travailleurs (le temps nécessaire pour démanteler efficacement un châssis, actuellement estimé à 0,25 tonnes de châssis démantelés par jour par ouvrier), le coût de traitement de la matière (prix de sortie vers les centres de recyclage et valorisation), et le taux de réemploi du verre destiné au recyclage. Une optimisation des coûts logistiques devra également être réfléchie pour le déploiement des ateliers mobiles, en tenant compte du fait que ces coûts sont généralement externalisés dans le cadre du hub, à l'exception des frais de livraison.

Ce rapport souligne également que ces filières ou hubs dédiés aux châssis ne sont pas simplement des « scenarii », mais se concrétisent déjà en projets entrepreneuriaux réels depuis 2023, à travers des initiatives comme « Recycle Glass » d'AGC, « Croisade Pauvreté », la collecte en « go-bag » de Deceuninck. Cependant, ces initiatives fonctionnent indépendamment les unes des autres. Étant donné les modèles économiques encore expérimentaux de chaque initiative**, il serait pertinent d'analyser la compatibilité de leurs *business model* et déterminer s'il serait possible de converger leurs intérêts respectifs dans une filière commune et structurée**. Une collaboration entre ces acteurs au sein d'une filière structurée pourrait permettre de répondre collectivement à une grande partie de la demande d'évacuation des menuiseries entières ou des vitrages, un marché en pleine croissance en raison des rénovations énergétiques prévues en Wallonie. En fonction du profil et de la taille de la menuiserie, l'une de ces initiatives pourrait offrir une solution de collecte économiquement plus attractive, tout en préservant la qualité des matériaux et en permettant une meilleure valorisation de la matière secondaire ou des châssis entiers, qu'il s'agisse de réemploi ou de recyclage.

Enfin, des leviers d'action devraient être envisagés afin de **renforcer les initiatives de collectes sélectives**, d'**optimiser les aspects logistiques et économiques des *Business***

***Models* considérés et de renforcer le socle de compétences des professionnels de la construction.**

Concernant **le *business model* d'un réseau de hubs « multi-flux »,** il s'avère que l'option consistant à amener un flux mélangé pour le trier au sein du site n'est pas économiquement viable. De plus, même si les flux arrivent pré-triés ou sont triés dans le hub, la massification séparée des flux « plastiques rigides » et « laine de verre » ne s'avère pas non plus économiquement viable avec les conditions de marché actuelles, car les prix de vente recommandés seraient plus élevés ou similaires aux coûts de traitement des déchets mélangés en « classe 2 », évalués à 250 €/tonne. En effet, la volatilité des prix des plastiques rend la matière vierge actuellement plus attractive que la matière recyclée, créant ainsi un manque d'incitations économiques pour trier ce flux à la source. Quant à la laine de verre, les coûts de traitement pratiqués par l'unique recycleur wallon, y compris les frais de transport, sont trop élevés. Même si le hub investit dans une machine d'enrubannage et de presse pour réduire les coûts de transport de la laine de verre, le prix de vente resterait trop proche du prix d'évacuation vers un conteneur « classe 2 ».

Le flux qui s'avère pertinent à massifier séparément étant donné les conditions de marché actuelles est le plâtre. Le prix de vente du service hub pour le plâtre pourrait être plus attractif que la solution « classe 2 », évalué à 250 €/tonne. Pour objectiver les coûts réels d'un traitement séparé du plâtre du chantier jusqu'au recycleur en passant par un centre de massification, un projet commun de traitement du plâtre, impliquant les porteurs de projets CD², RecyparcPro et Replic, est recommandé pour tester et dynamiser cette filière en Wallonie.

Enfin, les hubs de massification constituent une solution prometteuse pour améliorer la gestion et le traitement de certains flux spécifiques de déchets comme les vitrages, les châssis ou le plâtre. En effet, l'implémentation des hubs de massification doit s'inscrire dans une réflexion globale où la gestion et le traitement des déchets générés par l'augmentation des rénovations énergétiques doivent être perçus comme une opportunité pour développer des modèles économiques innovants sur l'ensemble d'une chaîne de valeur, plutôt que comme une contrainte financière. Cependant, **nous constatons que le développement d'une activité de hub ou d'une nouvelle filière de collecte entraîne des surcoûts relativement élevés en fonction du *business model* choisi pour la phase de « scale-up ». Il est donc nécessaire de mener une réflexion globale pour déterminer comment neutraliser les surcoûts opérationnels selon le *business model* à adopter, afin de lancer une phase opérationnelle pilote et développer l'un des scénarii à l'échelle régionale.**

IV. Consommation budgétaire

Sur la période du 1er janvier 2024 au 31 décembre 2024, la consommation budgétaire s'élève à 202 861,71 euros sur un budget prévisionnel de 211 000 euros

WALLACE	Réalisé 2024
Rubrique 1 - Frais de personnel et de consultants internes	€ 121.778,63
Rubrique 2 - Frais de sous-traitance	€ 59.970,54
Rubrique 2 - Frais de fonctionnement	€ 19.992,54
Rubrique 4 - Frais de communication	€ 1.120,00
TOTAL DEPENSES	**€ 202.861,71**

V. Bibliographie

- AGC Glass Europe. (2023). *Le recyclage du verre plat en fin de vie.* *https://sol.environnement.wallonie.be/files/Dechets/Formations/Zerodechetconstruction/Jour1apresmidi/12_3-_10_AGC%20EUROPE%20CONTINO%20Le%20recyclage%20du%20verre%20plat.pdf*
- AGC Glass Europe. (2024). RenoWindow SRL (AGC Glass Europe) - Les SDGs pour les entreprises wallonnes
- Boulvain, J. (2019). *Interreg REC² - CHÂSSIS ET MENUISERIES PVC EN FIN DE VIE -Groupe de travail pour la mise en place d'une filière wallonne*
- Buildwise. (2024). Afvalstromen
- Déclarations des Intercommunales relatives aux parcs à conteneurs
- Deloitte . (2016). *Economic study on recycling of building glass in Europe.* https://www.glassforeurope.com/wp-content/uploads/2018/04/Economic-study-on-recycling-of-building-glass-in-Europe-Deloitte.pdf
- EcoTree. (2023, 17 janvier). La tonne équivalent CO2 pour mesurer l'impact carbone de son activité - Blog d& # 039 ; EcoTree. *EcoTree*. https://ecotree.green/entreprises/blog/la-tonne-equivalent-co2-pour-mesurer-l- impact-carbone-de-son-activiteRapport de Layman. (2017). *Projet Life : Flat to Flat*
- Embuild. (2014). *Gestion des déchets de verre plat/châssis usagés Menuisiers, poseurs de châssis et couvreurs belges. Résultats de l'enquête*
- Embuild. (2014). *Pré-étude de marché filières verre plat, PVC et gypse*
- GTM Bâtiment. (2014). *Démarche REVALO – Fenêtre en fenêtre*)
- gw-201112-strategie-renovation-2020-rapport-complet-final.pdf)
- https://www.agc-yourglass.com/fr-BE/marques/recycle-glass
- https://www.res-sources.be/fr/membres/croisade-pauvrete-asbl/
- Indufed. (2018). *Recueil statistique 2018 – Un regard chiffré sur l'industrie verrière belge.*
- Polyconnect Recycling. (2024). » PolyConnect Recycling inzamelpunten PolyConnect
- Prix du CO2 - EnergiesDev Consulting
- RecylcePro, publication article, 2022. Consulté sur https://recyclepro.eu/fr/nouvelles/un-centre-de-recyclage-du-platre-innovant-et-idealement-situe/
- Réseau Ressources. (2016). *Châssis et menuiseries en fin de vie.*
- Saint-Gobain. (2016). *Objectif 50% de calcin dans le vitrage Saint-Gobain d'ici 2025.*