

# Démarche REVALO – Fenêtre en fenêtre

Recyclage en boucle fermée des menuiseries en fin de vie issues des chantiers de rénovation thermique et de réhabilitation lourde

Décembre 2014

Projet de recherche coordonné par : GTM Bâtiment  
Appel à projet de recherche : Déchets BTP, édition 2012  
N° de contrat : 1206C0072

**Coordination technique :** CHATEAU Laurent – **Direction\Service :** Direction Economie Circulaire et Déchets - Service Mobilisation et Valorisation des Déchets



## Synthèse

En partenariat avec :



**VEOLIA**  
PROPRETÉ

**AGC**  
GLASS UNLIMITED



## CITATION DE CETTE NOTE

**GTM Bâtiment. 2014.** Démarche REVALO – Fenêtre en fenêtre – Note de synthèse. Convention ADEME 1206C0072. 19 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

## A retenir

Le projet a mis en évidence la faisabilité technique, économique et environnementale d'une filière de recyclage en boucle fermée des fenêtres PVC. Ses principales caractéristiques et modalités de fonctionnement sont présentées ci-dessous.

### Où réaliser le tri / démantèlement des fenêtres ?

La séparation sur chantier est l'idéal pour la garantir rentabilité de la filière. Les 2 procédés de démantèlement applicables sur chantier sont les suivants :

- la casse d'un coin,
- le déparclosage manuel (cf.§4.1 pour une description des techniques).

Malgré sa productivité 20 fois supérieure au démontage manuel, la séparation des fenêtres sur centre de tri par grappinage, ne permet pas de respecter le cahier des charges de qualité du verre plat.

### Les moyens de collecte

Pour les chantiers ayant suffisamment de place pour 2 bennes, l'utilisation de 2 bennes ampliroll (20m<sup>3</sup> ou 30m<sup>3</sup>) est la plus adaptée : cela demande moins d'organisation que la benne organisée et pas de coût de location supplémentaire par rapport à la benne bi-flux (PVC / verre). Ces 2 dernières restent à privilégier sur les chantiers ayant une place limitée pour le tri des menuiseries.

Dans tous les cas, le nettoyage préalable de la benne reste indispensable. De même que d'importantes précautions pour éviter la pollution de la benne par d'autres déchets (cf. § 4.2).

### Massification - Périmètre d'opérationnalité de cette filière

Quelques soient les moyens de démantèlements et de collecte, une massification du gisement devra être opérée afin de constituer un stock suffisant à envoyer à un fabricant de calcin (recycleur).

Le retour d'expérience en Ile-de-France, déterminé dans le cadre du projet, a montré la rentabilité de la filière : le tri du verre plat et sa mise en filière de recyclage « verre plat » permettrait un gain de 25% à 50% par rapport au coût de gestion « DIB ». Toutefois, L'implantation de nouveaux recycleurs dans certaines villes stratégiques permettrait d'optimiser le transport du verre et surtout rendre la filière accessible à davantage de gisements, donc d'optimiser la rentabilité de la filière, en plus de réduire l'empreinte carbone liée au transport.

Du point de vue environnemental, le taux de valorisation matière potentiel du verre est de 80% dont 55% en « upcycling » (verre plat en verre plat) et 90% pour le PVC.

## TABLE DES MATIERES

A retenir .....	3
1. Contexte du projet.....	5
1.1. La démarche REVALO.....	5
1.2. Les enjeux associés au recyclage des menuiseries .....	5
1.2.1. Enjeu économique .....	6
1.2.2. Enjeu environnemental .....	6
1.2.3. Enjeu social & sociétal .....	6
2. Objectifs.....	6
3. Phasage du projet .....	7
3.1. Optimiser les processus de séparation du verre des menuiseries .....	7
3.2. Expérimenter le recyclage du verre de chantier en usine de fabrication de verre plat .....	8
3.3. Concevoir et dimensionner les matériels de conditionnement et de transport du verre .....	8
3.4. Modéliser la chaîne logistique du recyclage du verre .....	9
4. Résultats .....	9
4.1. Optimisation des procédés de séparation des menuiseries.....	9
4.2. Expérimentation du tri et du recyclage des menuiseries .....	11
4.3. Conception et dimensionnement de matériels de conditionnement et de transport du verre .....	12
4.4. Modélisation de la chaîne logistique du recyclage du verre .....	12
5. Bilan : vers la mise en place d’une filière de recyclage en boucle fermée du verre et du PVC des menuiseries.....	13
5.1. Tri / démantèlement : sur chantier ou sur plate-forme ? .....	13
5.2. Les moyens de collecte .....	13
5.3. Massification - Périmètre d’opérationnalité de cette filière .....	14
5.4. Cahier des charges du calcin pour fabrication de verre plat .....	14
5.5. Bilan économique et environnemental de la filière .....	14
6. Conclusions et perspectives.....	15

## 1. Contexte du projet

### 1.1. La démarche REVALO

Le projet de recyclage en boucle fermée des menuiseries en fin de vie s'inscrit dans le cadre d'une démarche globale portée par l'entreprise GTM Bâtiment, intitulée REVALO - Réduction et Valorisation des déchets du BTP.



Figure 1 - Logo Réduction et Valorisation des déchets

Elle se décompose en 6 axes de développement (connaître, estimer, sensibiliser, prévenir, trier, recycler) et 1 axe de déploiement opérationnel. Les travaux présentés dans cette note font partie du volet « Recycler » qui englobe la recherche sur les filières de valorisation.

La problématique de gestion des déchets est souvent minimisée dans l'activité de construction, réhabilitation ou déconstruction de bâtiment. Une majeure partie des déchets du bâtiment est encore enfouie aujourd'hui.

La raréfaction des sites d'enfouissement, l'augmentation drastique des coûts d'élimination des déchets en décharge et la prise de conscience environnementale rendent de plus en plus pressant le besoin d'inverser le schéma actuel. Il s'agit pour cela d'optimiser la logistique du déchet en s'adaptant aux différentes caractéristiques des chantiers et d'augmenter la valorisation des déchets afin de les convertir en de véritables réservoirs de matières premières secondaires.

### 1.2. Les enjeux associés au recyclage des menuiseries

Les efforts de la démarche REVALO portent en particulier sur les chantiers de rénovation qui présentent un gisement de déchets varié et diffus. Contrairement aux constructions neuves et aux réhabilitations lourdes, la quantité de gravats est très faible et atteindre le taux de valorisation matière des déchets non dangereux du BTP de 70% fixé par la directive 2008/98/CE et la future loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) d'ici 2020 est alors très difficile.

Les engagements contractuels associés au respect des multiples certifications de plus en plus exigeantes (HQE, LEED, BREEAM...) exigent d'atteindre des taux de valorisation matière importants. Pour les atteindre, développer et standardiser le tri à la source est essentiel.

Les menuiseries usagées déposées représentent de 10% à 30% (en poids) des déchets produits sur les opérations de rénovation thermique. Par ailleurs, les objectifs de performance énergétique du patrimoine existant imposés par le Grenelle de l'Environnement vont contraindre le remplacement des menuiseries, ce qui va générer une augmentation des déchets de menuiseries, notamment en PVC puisque la majorité des menuiseries issues de la rénovation sociale d'ici 2020 seront en PVC double vitrage. Il est donc essentiel de disposer d'une filière opérationnelle pour les recycler.

Ce projet permettra de structurer la filière de recyclage du verre issu des chantiers en verre plat, tout en confortant celle de recyclage du PVC, pour créer de nouvelles menuiseries. L'ensemble du secteur du BTP pourra alors la solliciter.

### 1.2.1. Enjeu économique

Les enjeux économiques diffèrent d'un partenaire à l'autre :

- GTM Bâtiment souhaite freiner l'augmentation des coûts de traitement des déchets en sollicitant les filières de recyclage en place, voire développer celles qui manquent en priorité, en regard des tonnages produits. A titre indicatif, la dépense déchet de GTM Bâtiment s'élève à 0.5% du CA et la hausse moyenne du coût des déchets est de 5% par an. GTM Bâtiment attend donc que la mise filière de recyclage des fenêtres coûte moins cher que la gestion comme « DIB » ;
- VEOLIA doit faire face à la volonté de l'Etat de réduire l'envoi en installation de stockage des déchets et doit donc développer une offre commerciale attractive pour le recyclage des déchets ;
- VEKA Recyclage n'atteint pas encore la capacité maximale de son usine de recyclage à Vendevre-sur-Barse, la filière serait l'occasion d'augmenter la quantité de matière entrante et rentabiliser l'usine ;
- Concernant la fabrication de verre plat, l'augmentation de l'utilisation de calcin a un impact positif sur la consommation énergétique des fours (cf. §1.2.2). Ainsi, la filière permettrait à AGC de réduire ses dépenses énergétiques mais également de contrer la hausse du prix des matières premières.

### 1.2.2. Enjeu environnemental

En 2012, 75% des fenêtres issues des chantiers étaient jetées en mélange avec les autres déchets non dangereux sans espoir de pouvoir récupérer le vitrage pour le recycler sous forme de calcin, ce dernier étant utilisé pour fabriquer l'un des 3 produits usuels suivants :

- Le verre d'emballage,
- La laine de verre,
- La mousse de verre.

L'objectif de développer une filière en boucle fermée (verre plat en verre plat) vise une plus haute valeur ajoutée économique et environnementale que les 3 autres, le cahier des charges du calcin pour fabrication de laine ou de mousse de verre, voire dans une moindre mesure de verre d'emballage, étant moins contraignant.

On peut résumer les principaux gains environnementaux comme suit :

- Réduction de l'empreinte carbone du transport des déchets (foisonnement inférieur du verre trié) ;
- 1 Tonne de verre recyclé = 0.315 Tonne de CO<sub>2</sub> non émis par le four ;
- +5% de verre recyclé dans un vitrage = -1% d'énergie consommée par le four ;
- 1 Tonne de verre recyclé = 1 tonne de matière première prélevée sur la planète en moins ;
- Réduction de la quantité de verre mise en décharge.

### 1.2.3. Enjeu social & sociétal

Les compagnons sur chantiers pourront trouver autour de ce projet des moyens innovants permettant de limiter les distances parcourues pour l'évacuation des déchets (choix et dimensionnement des contenants, positionnement sur le chantier...). Actuellement, on estime que la distance quotidienne moyenne parcourue par les compagnons est de 10 km / jour. Par ailleurs, ce projet a pour ambition de créer des postes d'insertion sur les chantiers dédiés à la gestion des fenêtres en fin de vie.

## 2. Objectifs

Compte tenu des tonnages prépondérants de verre et de PVC dans les années à venir, le projet s'axe sur les points suivants :

1. La mise en place d'une filière opérationnelle de recyclage du verre en boucle fermée en levant les freins techniques & logistiques associés ;
2. La consolidation de la filière de recyclage du PVC en boucle fermée en émergence.

Le verre de chantier demeure à ce jour un des matériaux les plus difficilement recyclables en pratique, du fait des exigences qualitatives de l'industrie verrière. En théorie, il est recyclable à l'infini : il peut être refondu et remis en forme sans aucune dégradation chimique. En pratique, 3 facteurs s'opposent à cette boucle parfaite :

- La difficulté à impulser le tri du verre à la source sur les chantiers (séparation de la menuiserie, problématiques de sécurité, contenants type « bennes » inadaptés pour assurer une bonne qualité, etc.) ;
- Le manque d'offre de collecte de verre plat, qui induit des coûts logistiques importants ;
- L'absence de campagne de test de fabrication industrielle de verre plat à partir de verre de chantier. Le cahier des charges des fabricants de calcin est alors resté sur les standards de verre issu du secteur industriel, et difficilement compatible avec l'environnement chantier.

Le PVC est lui aussi recyclable mais le gisement provenant des démolitions et des rénovations est peu mobilisé. En 2012 et 2013, VEKA Recyclage a recensé que seul ~11,5% du tonnage total de PVC reçu sur leur site de Vendevre-sur-Barse provenaient directement des chantiers (via leur Service Chantier).

### 3. Phasage du projet

Pour atteindre les objectifs, le projet a été décomposé en 4 étapes présentées brièvement ci-dessous. Les incertitudes identifiées, d'ordres scientifique, technique, organisationnel et managérial, sont également explicitées.

#### 3.1. Optimiser les processus de séparation du verre des menuiseries

La réussite du projet est avant tout conditionnée par le tri à la source des menuiseries en fin de vie. Si ce sujet peut sembler élémentaire à première vue, il se révèle être très ardu à réaliser sur le terrain pour les raisons suivantes :

- Contractuellement, GTM Bâtiment réalise une grande partie de ses ouvrages en tant qu'Entreprise Générale. Elle sous-traite alors l'ensemble des travaux (sauf le Gros Œuvre). Les sous-traitants ont souvent à leur charge l'évacuation de leurs propres déchets. Il est **donc délicat d'imposer une filière de recyclage** à un sous-traitant (aucune exigence de la part du Maître d'Ouvrage ou de GTM Bâtiment à ce sujet). Cependant, l'idée d'intégrer une telle demande au Dossier de Consultation d'Entreprise est en étude ;
- Les chantiers de rénovation thermique ont lieu en milieu urbain dense avec des **espaces de stockage très restreints** ne permettant pas une collecte sélective des déchets ;
- Les exigences en matière de gestion des déchets des maîtres d'ouvrages (notamment les bailleurs sociaux) sont très faibles. La mise en place d'un tri à la source innovant **ne peut être valorisée** sans un argumentaire économique ;
- Les équipes de chantier sont déjà très mobilisées dans la réalisation des ouvrages. Elles n'ont **pas a priori de temps** à accorder aux déchets de chantier, sauf intérêt économique du chantier ;
- Une des contraintes majeures du tri à la source du verre provient du fait qu'il est assemblé avec d'autres matériaux composant la menuiserie (PVC, bois, aluminium, joints...). Lors des phases de dépose des anciennes fenêtres, il est impossible de trier le verre seul sans manipulations supplémentaires qui induisent un surcoût à court terme.

Il est donc indispensable de mener des travaux de recherche en optimisation des processus de séparation du verre pour connaître le seuil de rentabilité de la séparation (surcoût de manutention contrebalancé par la réduction du coût de traitement des déchets). Pour cela, les objectifs sont :

- Identifier et caractériser des processus de séparation du vitrage qui prennent en compte : la sécurité, le temps de manutention et la propreté des déchets séparés ;
- Décrire les différentes méthodologies ;
- Expérimenter les procédés et mesurer les indicateurs (seuils de rentabilité, taux de valorisation) ;
- Rédiger un document précis permettant de chiffrer la performance d'un tel recyclage.

### 3.2. Expérimenter le recyclage du verre de chantier en usine de fabrication de verre plat

Avant de s'atteler aux optimisations de la filière, il est indispensable de confirmer la viabilité technique du recyclage. Pour cela, il convient d'alimenter les usines d'AGC en verre trié sur chantier. A noter que tous les types de vitrage mis en œuvre sur le marché sont recyclables s'ils sont dépourvus de pollutions extérieures (verre classique, verre à isolation thermique / acoustique renforcée, verre trempé, etc.).

Ainsi, l'enjeu porte sur la mise en place d'une politique de tri des menuiseries sur les chantiers de réhabilitation. Une présence régulières sur le terrain est nécessaire afin de :

- Rencontrer les équipes travaux,
- Présenter les enjeux de la démarche,
- Quantifier le gisement et chiffrer les gains environnementaux et économiques induits par le tri,
- Suivre très régulièrement la qualité du tri réalisé,
- Faire remonter les freins / contraintes rencontrés par les équipes travaux.

La massification des flux est assurée par VEOLIA Propreté via une alvéole dédiée, sur un seul site dans le cadre du projet, ce qui constitue une réelle contrainte en matière de transport et de pratique d'entreprise, les conducteurs de VEOLIA ayant été formés à limiter au maximum les distances entre le chantier et l'exutoire.

La réussite du projet est avant tout conditionnée par plusieurs critères :

- **La qualité du calcin** produit à partir de verre de chantier : le taux de **KSP** (Céramique, Pierre, Porcelaine) doit être inférieur à 5 grammes par tonne de calcin pour AGC. Au-dessus de cette valeur les taux de rebut de production seront ingérables par l'exploitant. La qualité dépendra de la propreté du stockage des vitrages démontés (benne, alvéole de stockage, logistique) ;
- **Le coût de la logistique** : le verre de base est un produit de grande masse avec un coût de production faible. Pour que l'industriel l'utilise il faut que le prix du calcin livré à l'usine ne dépasse pas le prix des matières premières et de l'énergie nécessaire pour fondre le calcin. C'est ce qu'on appelle le « breakeven » du calcin (environ 70 EUR/T livré).

Les axes de travail sont les suivants :

- Analyser la qualité du calcin entrant dans l'usine, tester la qualité du verre plat recyclé. estimer la part optimale de calcin par rapport à la matière première ;
- Etudier les gains énergétiques et environnementaux induits par l'usage du calcin issu du BTP ;
- A terme, statuer sur la viabilité de la filière et écrire le cahier des charges adapté au secteur du BTP.

### 3.3. Concevoir et dimensionner les matériels de conditionnement et de transport du verre

Pour lever les verrous qui pèsent sur le développement de la filière verre, des travaux de R&D portant sur les contenants mobiles de chantier et sur les contenants de collecte sont essentiels. Le but étant d'assurer :

- Le non-mélange des déchets à la source,
- La sécurité des salariés,
- La réduction des pénibilités,
- L'optimisation de la logistique,
- La qualité du verre déposé.

Les principales difficultés liées à la collecte de ce type de déchet sont les suivantes :

- **L'espace de stockage très restreint** sur les chantiers et les **faibles débits de production** contraignant à revoir les moyens et les fréquences de collecte ainsi que la logistique (dépôt/retrait le même jour à des horaires imposés, conception d'une benne compartimentée permettant de transporter simultanément deux types de déchet) ;

- Une exigence élevée de la **propreté de la benne** est indispensable aux cahiers des charges des filières de valorisation car la matière transportée doit être exempte de toute impureté.

Les problématiques liées à la massification, quant à elles, diffèrent entre le flux de PVC et le flux de verre :

- Le processus de recyclage du PVC est devenu relativement tolérant aux différentes impuretés qui peuvent se trouver sur un centre de transfert de déchets (bois, ferraille, inertes...). Ainsi, la seule contrainte est de disposer d'un **lieu de stockage** pour accueillir le volume d'une à deux semi-remorques de matière. Cependant, l'espace étant souvent déjà occupé par d'autres activités, la difficulté reste de convaincre les exploitants de tels centres de changer leur organisation interne pour accueillir ce nouveau flux ;
- En revanche, le processus de recyclage du verre étant particulièrement intolérant aux impuretés, notamment aux inertes non fusibles (graviers...), le stockage et le rechargement de cette matière doit faire l'objet de précautions particulières pour **éviter toute pollution**.

### 3.4. Modéliser la chaîne logistique du recyclage du verre

Si des expérimentations locales de collecte de fenêtres sont possibles, il est en revanche difficile de prévoir et de calculer les tarifs de transport à l'échelle nationale si le nombre de chantiers augmente.

Avant de réfléchir aux solutions d'optimisation de la future filière de recyclage du verre du BTP, il convient de réaliser une première modélisation de la chaîne logistique avec les moyens actuellement en place. Pour pouvoir rassembler un nombre suffisant de données, le présent projet associe plusieurs acteurs clés de la région Ile-de-France :

- GTM Bâtiment, VEOLIA Propreté et VEKA Recyclage : apportent les données concernant le gisement de verre sur leurs chantiers ;
- VEOLIA Propreté : apporte les données concernant les moyens de collecte, de transport et son maillage régional des plates-formes de groupement ;
- AGC et ses partenaires verriers : apportent les données concernant le maillage national des recycleurs, des usines de recyclage et de fabrication de verre plat.

Avec l'expertise de l'Institut Supérieur d'Etude Logistique (ISEL) de l'université du Havre, l'ensemble de ces éléments va permettre de réaliser une première modélisation du flux de verre depuis les chantiers jusqu'à l'usine finale. Les objectifs de l'ISEL sont de :

- Construire une base de données via les apports de l'ensemble des partenaires ;
- Proposer un modèle logistique de la filière en intégrant les gisements de verre potentiels, les zones de massification, les recycleurs et les usines de fabrication du verre ;
- En déduire les points d'amélioration ;
- Fournir une grille tarifaire à présenter au chantier pour qu'il puisse savoir ce que va lui coûter le choix de cette filière ;
- Chiffrer le coût de la filière au niveau national avec un découpage par département.

## 4. Résultats

### 4.1. Optimisation des procédés de séparation des menuiseries

Après un benchmark de la filière automobile et la réalisation d'ateliers de séparation du verre, les procédés pouvant être mis en œuvre sur les chantiers, en fonction de la configuration et des menuiseries déposées, ont été déterminés.

Les temps unitaires mesurés dans l'atelier représentent la situation idéale (pas d'aléas, efficacité optimale), il n'est donc pas réaliste de dimensionner la filière globale de recyclage du verre sur ces données. C'est

pourquoi des expérimentations sur le terrain ont été faites et ont permis d'étudier la viabilité économique de chaque procédé.

La synthèse est présentée dans le tableau ci-dessous :

Process	Avantages	Inconvénients	Faisabilité sur chantier
Casse du verre	Rapide, peu d'investissement matériel, peu pénible	Verre cassé en sortie, possibles pollutions, restes de mastic, sécurité	Non
Coupe du verre (coupe verre)	Gros morceaux, propreté parfaite, peu d'investissement	Durée du tracé, châssis avec du verre sur tout le pourtour	Non
Coupe du verre (scie Makita)	Gros morceaux, propreté parfaite	Chronophage, coût de la scie élevé, production de liquide abrasif, nettoyage régulier, recharge en eau toutes les 10 min, impossible de couper les petites vitres	Non
Démastiquage	Gros morceaux, propreté parfaite	Chronophage, coût élevé de la machine oscillante Fein	Non
Coupe d'un coin	Très peu pénible	Double Vitrage (DV) entier nécessitant le passage par un recycleur, temps de coupe du coin élevé, coût élevé de la machine oscillante Fein	Non
Casse d'un coin	Pas d'investissement, très rapide	Très pénible, DV entier nécessitant le passage par un recycleur	Oui
Déparclosage	Peu d'investissement, assez rapide, peu pénible	DV entier nécessitant le passage par un recycleur	Oui
Déparclosage Fein	Très peu pénible	DV entier nécessitant le passage par un recycleur, chronophage, coût élevé de la machine oscillante Fein	Non

**Tableau 1 – Bilan des procédés de démantèlement sur chantier**

Les 2 techniques dont la faisabilité a été démontrée sur chantier est la casse d'un coin et le déparclosage :

- Casse d'un coin : cette technique consiste à soulever puis faire tomber au sol la menuiserie pour briser un des 4 coins. La séparation des montants se fait ensuite au sol. Pour des raisons de sécurité, cette technique n'est viable que pour le double vitrage.



- Le déparclosage consiste à démonter la menuiserie dans le sens inverse de sa construction. On ôte tout d'abord les parclozes retenant le verre, puis on retire le verre par pression. Là aussi pour

des raisons de sécurité, en particulier pour sortir le verre, ce n'est possible que pour le double vitrage.



## 4.2. Expérimentation du tri et du recyclage des menuiseries

Différentes combinaisons de tri et de démantèlement des menuiseries ont été réalisées sur 8 chantiers, distinguant :

- Démantèlement sur chantier ou sur plate-forme de tri ;
- Sur chantier, déparclosage ou par casse d'un coin ;
- Pour la collecte, différents types de contenants (cf. §4.3).

Les conclusions de ces expérimentations sont les suivantes :

- Techniquement, il est possible de répondre aux exigences de qualité des verriers en réalisant le démantèlement des menuiseries sur le chantier (2 tests concluants sur 4) ;
- Les écarts entre les procédés de démantèlement manuel mis en œuvre dans l'atelier et ceux sur le terrain sont conséquents, aussi bien du point de vue de la productivité (temps de séparation doublé voire triplé sur le terrain), que du point de vue de la pollution du verre trié ;
- En cas de déparclosage sur chantier et de collecte sur palette, la qualité sera quasiment systématiquement compatible avec les critères AGC ;
- Par contre, la qualité du calcin est difficilement maîtrisable pour tous les autres moyens de collecte ;
- Le grappinage ne permet pas de séparer suffisamment l'encadrement PVC du vitrage, ce qui aura un impact direct sur le coût de la filière verre.

Il est donc primordial que chaque étape logistique respecte un protocole qualité strict afin d'éviter les nombreuses sources de pollutions rencontrées, listées ci-dessous, au risque de très rapidement déclasser le calcin :

- pollution par d'autres **déchets de chantier**,
- pollution par des **déchets du voisinage** (dépôts sauvages),
- pollution par une **benne livrée sale** sur chantier,
- pollution par les **alvéoles périphériques** sur les plateformes de massification,
- pollution par les **engins de chargement / déchargement** des déchets.

Ces retours d'expérience (techniques et financiers) ont été repris afin d'établir un modèle de filière du recyclage du verre en verre (cf. § 4.4).

### 4.3. Conception et dimensionnement de matériels de conditionnement et de transport du verre

Les différents contenants testés pour la collecte de fenêtres PVC dans le cadre du projet ont été les suivants :

- Benne classique à chaînes (photo A),
- Benne bi-flux (photo B),
- Benne mixte, dite également « benne organisée » (photo C),
- Chevalet et palette (photo D),



Suivant les besoins et les contraintes du chantier, un matériel peut être privilégié suivant les critères de place disponible sur chantier, de coût, etc.

Il convient toutefois de garder à l'esprit que ces matériels ne permettent pas d'obtenir les mêmes performances de recyclage (cf. § 4.2).

### 4.4. Modélisation de la chaîne logistique du recyclage du verre

Les expérimentations sur chantier durant l'année 2012 ont permis de démontrer faisabilité technique du recyclage de verre plat en verre plat. Pour stabiliser la filière, la réduction des coûts logistiques est indispensable et doit être réalisée en prenant en compte toute la filière (depuis le gisement, jusqu'au verrier).

La collecte de données des chantiers tests et le listing des « nœuds » de la filière (chantier, plate-forme de massification, recycleur, verrier) ont permis de chiffrer les transports et les coûts intermédiaires de la filière. Ainsi un modèle de base de la filière a été créé.

Son application a conduit à montrer la viabilité économique de la future filière verre en verre à l'échelle de la France.

Parmi l'ensemble des scénarios qui ont été testés, deux principaux leviers ont été retenus : le pourcentage de collecte et le tonnage moyen collecté au gisement par rotation. Concernant le pourcentage de collecte, son impact sur les coûts logistiques est moins important que le tonnage collecté par rotation. La diminution de pourcentage de collecte permet certes de réduire les coûts logistiques mais pas de manière aussi significative que le tonnage moyen collecté, autrement dit le type de vecteur de transport sélectionné et son taux de remplissage.

De plus, l'impact de la localisation potentielle de recycleurs en France a aussi étudié. Ce levier permet de réduire les coûts de transport. Il permet en effet d'identifier des zones stratégiques pour l'implantation de nouveaux recycleurs et également de mieux répartir les flux de matière en entrée de ces derniers : 7 villes stratégiques ont été identifiées.

Le rendement de recyclage est un des éléments les plus importants de la filière puisqu'il a un impact sur tous les coûts de la filière. Il a été démontré que le fait de perdre de la matière a des répercussions sur tous les nœuds du réseau. Par exemple, pour une tonne de verre recyclé chez le verrier, il faudra plus d'une tonne de verre dès la collecte sur chantier (taux de perte de 15%).

## **5. Bilan : vers la mise en place d'une filière de recyclage en boucle fermée du verre et du PVC des menuiseries**

Le projet a mis en évidence la faisabilité technique, économique et environnementale d'une filière de recyclage en boucle fermée des fenêtres PVC. Ses principales caractéristiques et modalités de fonctionnement sont présentées ci-dessous.

### **5.1. Tri / démantèlement : sur chantier ou sur plate-forme ?**

La séparation sur chantier est l'idéal pour la garantir rentabilité de la filière. Les 2 procédés de démantèlement applicables sur chantier sont les suivants :

- la casse d'un coin,
- le déparclosage manuel.

Au niveau sécurité, aucun accident n'a été recensé depuis le déploiement de la filière.

Cette étape de tri, inhabituelle sur chantier, nécessite une réelle mobilisation de l'encadrement du chantier, ainsi qu'une sensibilisation des équipes, la meilleure solution restant d'organiser des 1/4h de sensibilisation au tri notamment des fenêtres.

La séparation des fenêtres sur centre de tri a également été réalisée par grappinage sur plate-forme de tri, avec une pelle à grappin ouvert ou fermé. Malgré sa productivité 20 fois supérieure au démontage manuel, la qualité de verre obtenue ne respecte pas le cahier des charges du verre plat à l'heure actuelle.

### **5.2. Les moyens de collecte**

Pour les chantiers ayant suffisamment de place pour 2 bennes, l'utilisation de 2 bennes ampliroll (20m<sup>3</sup> ou 30m<sup>3</sup>) est la plus adaptée : cela demande moins d'organisation que la benne organisée et pas de coût de location supplémentaire par rapport à la benne bi-flux (PVC / verre). Ces 2 dernières restent à privilégier sur les chantiers ayant une place limitée pour le tri des menuiseries.

Dans tous les cas, le nettoyage préalable de la benne reste indispensable. De même que d'importantes précautions pour éviter la pollution de la benne par d'autres déchets (cf. § 4.2).

Compte-tenu de la forte densité du verre et de l'espace restreint sur les chantiers, la benne de 8m<sup>3</sup> aurait pu apparaître comme la plus adaptée. Toutefois, son usage étant très répandu pour le transport des déchets inertes, principal facteur de non qualité du recyclage en boucle fermée, le recours à cette benne est déconseillé.

Le conditionnement sur palette et chevalet peut être utilisé pour les chantiers avec un plus faible débit. Toutefois, ces contenants sont vite remplis, et nécessitent un équipement spécifique pour le transport (camion plateau) et le conditionnement (cerclage dont les performances de maintien restent limitées à un faible nombre de menuiseries, avec un risque d'accident élevé).

### **5.3. Massification - Périmètre d'opérationnalité de cette filière**

Quelques soient les moyens de démantèlements et de collecte, une massification du gisement devra être opérée afin de constituer un stock suffisant à envoyer à un fabricant de calcin (recycleur).

De même que sur chantier, une formation du personnel est indispensable pour pallier à cette difficulté majeure qu'est l'absence de contamination du stock de verre. Des précautions de base ont été proposées :

- Alvéole non voisine avec celle des déchets inertes,
- Installation de rail ou caillebotis au sol pour éviter que la dalle béton ne soit raclée lors du déstockage par la chargeuse pour envoi chez un recycleur.

Le retour d'expérience en Ile-de-France, déterminé dans le cadre du projet, a montré la rentabilité de la filière. La modélisation de cette filière sur 39 autres départements a également conclu à la compétitivité de la filière par rapport au tarif « déchets en mélange » (ou « DIB ») facturé par les gestionnaires de déchets. L'extension du nombre de sites de massification au-delà du seul centre de tri VEOLIA de Villeneuve-le-Roi reste donc à entreprendre.

L'implantation de nouveaux recycleurs dans certaines villes stratégiques permettrait d'optimiser le transport du verre et surtout rendre la filière accessible à davantage de gisements, donc d'optimiser la rentabilité de la filière, en plus de réduire l'empreinte carbone liée au transport (7 nouvelles plates-formes de recyclage du verre pourraient être créées).

### **5.4. Cahier des charges du calcin pour fabrication de verre plat**

Le cahier des charges « calcin pour verre plat » est très strict (NB ; confidentiel dans le cadre du projet). Le facteur discriminant est le taux de KSP (Céramique, Pierre, Porcelaine) qui doit être inférieur à 5 grammes par tonne de calcin. Au-dessus de cette valeur les taux de rebut de production sont ingérables par l'exploitant.

Le respect de ce taux par un recycleur (entreprise de production de calcin à partir de déchets de verre) dépendra :

- Du mode de démantèlement,
- Du mode de collecte des vitrages (donc de la propreté des bennes le cas échéant),
- De la propreté de l'espace de stockage des vitrages démontés sur le site de massification.

Pour mieux maîtriser cette qualité, AGC a lancé un projet de R&D « Flat to Flat », financé par le programme LIFE+ de la Commission Européenne (LIFE12 ENV/BE/000214), en partenariat avec le recycleur Maltha et l'organisme de collecte VRN, un process de broyage plus fin qui devrait réduire, voire supprimer, les risques de qualité lié aux infusibles. Cette solution permettra d'augmenter le taux de valorisation matière du verre plat en verre plat et surtout le tonnage du verre recyclé en boucle fermée, mais cela impliquera des coûts additionnels.

Le cahier des charges pour la reprise du PVC est donné en annexe 1.

### **5.5. Bilan économique et environnemental de la filière**

Les chiffrages de l'ISEL de la filière en Ile-de-France et dans les 39 autres départements où les gisements de verre sont les plus importants ont montré que recycler le verre plat en boucle fermée est au pire

équivalent en coût de gestion comme « DIB » voire plus intéressant économiquement. A titre d'exemple, en Ile-de-France, le tri du verre plat permettrait un gain de 25% à 50% par rapport au coût de gestion « DIB ».

Du point de vue environnemental, le taux de valorisation matière potentiel du verre est de 80% dont 55% en « upcycling » (verre plat en verre plat) et 90% pour le PVC. En considérant que la moyenne des fenêtres est composée de 55% de verre et 45% de PVC en poids, on trouve un taux de valorisation matière potentiel de 85% pour les fenêtres PVC. La chaîne logistique globale (transport) est caractérisée par une valeur de l'ordre de 20 kg<sub>eqCO2</sub> / tonne collectée.

L'implantation de nouveaux recycleurs à des emplacements stratégiques permettrait de diminuer d'environ 25% ces émissions de CO<sub>2</sub>.

## 6. Conclusions et perspectives

Cette note synthétise les travaux menés entre avril 2012 et décembre 2014 dans le cadre du projet REVALO – Fenêtre en fenêtre qui a eu pour objectif de mettre en place une filière de recyclage en boucle fermée des menuiseries issues des chantiers de rénovation thermique et de réhabilitation lourde.

Après 2 ans d'expérience chantier, le constat est que les chantiers ont compris l'intérêt économique de séparer le PVC et le verre de fenêtre sur leur chantier puisque la majorité des chantiers qui trient leurs fenêtres pratique le déparclosage manuel. Cependant, il reste des chantiers qui évacuent leurs fenêtres entières pour des raisons de place ou de sécurité.

Pour ces chantiers-là, les solutions « benne bi-flux » et « benne mixte » pourront les inciter à démanteler les fenêtres. Quant aux chantiers les plus réticents, le grappinage sur plate-forme de tri à l'aide d'un grappin fermé couplé au broyeur fin d'AGC et de Maltha pourrait à terme être une solution afin de tout de même recycler le verre plat en boucle fermée. L'inconvénient de cette alternative est qu'elle ne crée pas d'emploi contrairement au démantèlement sur chantier, et n'incite pas les chantiers à s'impliquer dans le geste de tri. De plus, il est probable que cette solution génère un surcoût du fait du broyage plus fin et de la disponibilité du procédé (1 seul site).

Sur les prochaines opérations, l'accent sera mis sur le rôle du poseur des menuiseries. L'objectif est de l'impliquer dans la filière en lui proposant de réaliser le démantèlement dans le flux quotidien de menuiseries déposées. L'inconvénient est que les devis des menuisiers sont actuellement surestimés par rapport au chiffreage issu des retours d'expérience « REVALO ».

D'autre part, concernant le volet économique, les chiffreages de l'ISEL de la filière en Ile-de-France et dans les 39 autres départements où les gisements de verre sont les plus importants ont montré que recycler le verre plat en boucle fermée est au pire équivalent en coût de gestion comme « DIB » voire plus intéressant économiquement. A titre d'exemple, en Ile-de-France, le tri du verre plat permettrait un gain de 25% à 50% par rapport au coût de gestion « DIB ».

Ces chiffreages sont néanmoins théoriques et ne tiennent pas compte de l'évolution aléatoire de la qualité du verre plat d'un chantier à l'autre donc il est difficile de garantir que le coût de revient de la filière est toujours inférieur ou égal à la mise en décharge.

Grâce aux retours d'expérience de GTM Bâtiment, VEOLIA Propreté, VEKA Recyclage et AGC, l'ISEL a réalisé des simulations logistiques visant à optimiser la filière. Il en est ressorti que le meilleur levier pour réduire le coût de la filière est d'améliorer le taux de remplissage des contenants. Le second levier serait d'implanter de nouveaux recycleurs à des emplacements stratégiques afin de réduire les coûts de transport.

Depuis le lancement de la filière, 40 000 fenêtres ont été recyclées en verre plat ou en verre bouteille par défaut (chiffres fin 2014). La volonté du consortium est à présent d'étendre la filière au niveau national, c'est pourquoi GTM Bâtiment a demandé à l'ISEL de réaliser une cartographie de la filière avec tous les nœuds de la chaîne de valeur. GTM Bâtiment espère que VEOLIA, VEKA et AGC poursuivront leur partenariat au-delà de la fin de la convention ADEME et déploieront la filière au niveau national pour rendre le recyclage des fenêtres en boucle fermée accessible aux chantiers non franciliens. En particulier le sud de la France, qui représente un marché très prometteur.

Le contexte a changé depuis le lancement du projet en 2012 et va continuer à changer en faveur du développement de la filière du fait :

- du suivi des réglementations et des certifications environnementales (HQE, BREEAM, LEED) qui seront amenées à devenir plus restrictives ;
- de la proposition de LTECV reprenant l'obligation communautaire d'atteindre 70% de valorisation matière des déchets non dangereux du BTP d'ici 2020 et instaurant une réduction de 30% des déchets admis en ISDND en 2020 par rapport à 2010 et de 50% en 2025 ;
- d'ici 5 ans, la majorité des fenêtres déposées seront en cadre PVC.

D'autre part, la filière *REVALO – Fenêtre en fenêtre* présente de nombreux atouts par rapport aux filières concurrentes :

- elle donne le choix aux chantiers de décider de la gestion de ses fenêtres en fin de vie ;
- elle est financièrement viable ;
- elle peut créer des emplois notamment en insertion ;
- elle est reproductible partout en France ;
- elle propose une solution durable et un recyclage en boucle fermée sans investissements industriels importants au niveau des recycleurs et des verriers.

Les actions de communication contribuent fortement à la prise de conscience que le recyclage des fenêtres en fin de vie est nécessaire et au regain d'intérêts pour le projet. Pour preuve, le projet a reçu le Prix Entreprise & Environnement dans la catégorie « Economie Circulaire » de l'ADEME et du Ministère du développement durable. En 2012 et 2013, seuls des chantiers de GTM Bâtiment sollicitaient la filière alors qu'en 2014, d'autres filiales du groupe VINCI Construction France mais aussi Brézillon (groupe Bouygues Construction) ont recyclé leurs menuiseries. VEKA Recyclage est d'ailleurs en cours de discussion avec Brézillon et VINCI Construction France pour la signature d'un contrat cadre.

En conclusion de ce projet, les partenaires peuvent affirmer que l'objectif de départ a été atteint à l'issue de 2 ans et demi de travaux de recherches et d'expériences, à savoir : développer une filière « upcycling » économiquement, socialement mais surtout environnementalement attractive (taux de valorisation matière de 85% par fenêtre PVC).

# Annexe 1. Cahier des charges de VEKA Recyclage pour la reprise du PVC

**Sont acceptés**  
Menuiseries, lambris, brisages (sans isolant), joints, vitres, parties...

**Ne sont pas acceptés**  
Outils, matériels, gants, déchets, matériaux légers, autres...

**La Solution**  
pour le recyclage de vos menuiseries PVC en fin de vie.

**JETER EST À LA PORTÉE DE TOUT LE MONDE**  
CHANGEMENT DE RÉFÉRENCE  
03 25 43 83 06

**RECYCLAGE**  
VEKA



**RECYCLAGE**

## **VEKA RECYCLAGE CAHIER DES CHARGES EN LISTE DE PRODUITS**

### **PRODUITS ACCEPTÉS**

Dans cette liste, nous pouvons traiter les produits avec les renforts métalliques, la quincaillerie et autres visseries. Les menuiseries PVC en couleur ne posent pas de problème. Par contre nous demandons d'enlever la plus grosse partie du vitrage dans le cas d'une ouverture. Notez qu'une fois le verre cassé (au grappin par exemple), il peut rester sur le châssis de la menuiserie le joint butyle et de petites dents de verre.

- Les fenêtres (le verre doit être cassé ou déposé: il peut rester les joints et de petites dents de verre tout au tour du cadran.)
- Les portes fenêtres
- Les volets roulants
- Les volets battants
- Les persiennes
- Les jalousies
- Les clôtures de jardin

Note : Nous vous remercions de vous en tenir à cette liste. Pour toute question sur d'autres produits ne figurant pas sur cette page, nous vous invitons à nous contacter.

### **PRODUITS REFUSÉS**

Nous ne pouvons pas traiter tous les plastiques souples et les PVC qui ne sont pas de la menuiserie

- Les dormants de menuiseries PVC vissés sur des cadres en bois
- Les tuyaux d'écoulement (quelque soit la couleur)
- Les gaines PE
- Les bouteilles plastiques
- Les housses
- Le mobilier de jardin
- Les bidons,
- Ect...

---

ZI de Bellevue – 10140 VENDEUVRE SUR BARSE – Tél. 03 25 43 83 06 – Fax 03 25 43 93 35  
SAS au capital de 500 000 € - TVA intra communautaire FR 26 477 586 424 – Siret : 477 586 424 00038 APE 3832Z

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)