

Recyclage du verre : exemples du verre plat et de l'isolation

François Guillemot est responsable de marché international offre durable pour le verre bâtiment Saint-Gobain Glass. Il est diplômé du Cambridge Institute for Sustainability Leadership et de Chimie Paris Tech et est engagé dans des solutions bas carbone¹ et circulaires dans le secteur du verre pour le bâtiment.

Introduction

Le groupe Saint-Gobain intervient dans plusieurs secteurs d'activité (**Figure 1**). Dans ce chapitre, nous nous

intéresserons plus particulièrement au verre plat² et à l'isolation.

Examinons d'abord quelques données clés concernant ce groupe international, présent sur de nombreux marchés. Dans le domaine de la construction, il emploie 160 000 collaborateurs,

1. Bas carbone : qui émet très peu de dioxyde de carbone (CO₂), le principal gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique.

2. Verre en grandes feuilles plates utilisé pour les fenêtres, façades de bâtiments ou pare-brise.



Figure 1

Présentation de Saint-Gobain en quelques chiffres.

selon les chiffres de 2024. L'ambition de Saint-Gobain est de s'imposer comme leader de la construction durable³, en se concentrant sur trois axes principaux (cadres bleus) : la construction neuve et légère, la rénovation énergétique, ainsi que son rôle central dans la décarbonation⁴ de la construction et de l'industrie.

La **figure 2** présente les atouts de la construction légère et durable :

- Il s'agit non seulement de diminuer les émissions de carbone, mais aussi de limiter la consommation

des ressources (sujet de ce chapitre), de simplifier la déconstruction et d'améliorer la santé et le confort des occupants des bâtiments.

- Un autre objectif est d'optimiser la performance, notamment en réduisant les délais de construction.

Les bâtiments jouent un rôle clé dans l'économie circulaire

Le secteur du bâtiment représente 40 % de la consommation mondiale de matières premières⁵ et environ 40 % des flux de déchets solides⁶ (**Figure 3**). On mesure ainsi

3. Construction durable : façon de construire des bâtiments qui respecte l'environnement (moins de CO₂, moins de ressources consommées) tout en étant confortable et économique sur le long terme.

4. Décarbonation : action de réduire fortement (jusqu'à zéro) les émissions de CO₂ dans un secteur.

5. Matières premières : ressources naturelles extraites de la Terre (sable, calcaire...) utilisées pour fabriquer des produits.

6. Flux de déchets solides : quantité de déchets non liquides ou gazeux produits par une activité.



Figure 2

Les avantages de la construction légère et durable.



Figure 3

Les défis de l'industrie du bâtiment liés à l'économie circulaire.

l'importance d'agir sur cette problématique aujourd'hui.

J'ai inclus deux graphiques relatifs à l'exploitation et à l'extraction des ressources⁷ (Figure 4) : l'axe horizontal

correspond au temps, tandis que l'axe vertical indique les quantités en millions de tonnes. On observe qu'à partir des années 1970, les volumes de matières extraites ont connu une forte augmentation. Le sable, représenté en bleu foncé, se distingue comme une ressource majeure. Si les pays

7. Extraction des ressources : action de prélever des matériaux dans la nature.

Une extraction croissante de matières

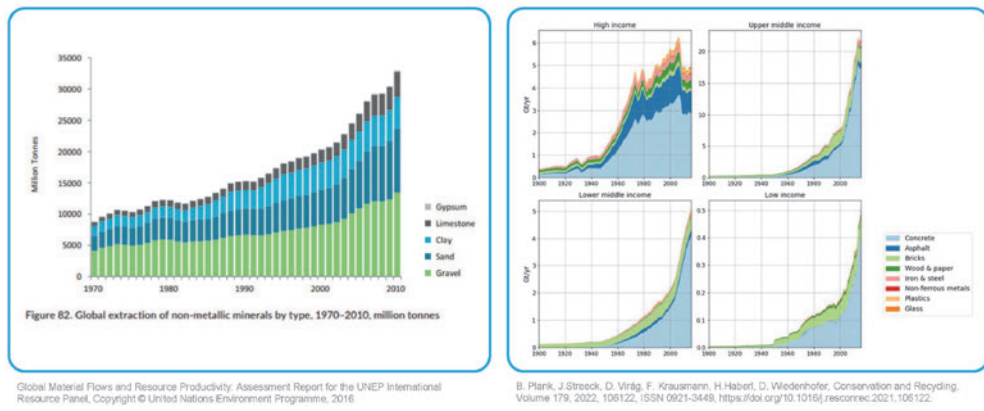


Figure 4

L'évolution de l'extraction des matières premières.

Sources : Global Material Flows and Resource Productivity: Assessment Report for the UNEP International Resource Panel, © United Nations Environment Programme, 2016. B. Plank et al., Resources, Conservation and Recycling 179, 106122 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106122> (CC BY license).

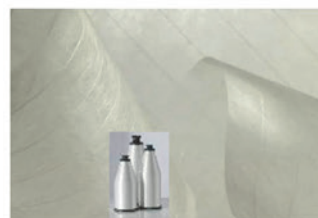
Le verre chez Saint-Gobain



Verre plat
pour la construction et
la mobilité



Laine de verre
pour la construction et
l'isolation technique



**Voiles de verre et
textiles techniques**
pour la construction et les
marchés industriels

Figure 5

Les différents produits de chez Saint-Gobain.

les plus développés ont commencé à extraire plus tôt, cette tendance s'est généralisée à l'échelle mondiale.

Quant aux domaines d'application, la construction n'est

pas toujours la plus visible, mais une grande partie de cette extraction est bel et bien destinée aux matériaux, et en particulier à la production de béton.

1 Les activités de Saint-Gobain dans le verre et l'isolation

Chez Saint-Gobain, le verre se décline principalement sous forme de verre plat, utilisé pour les fenêtres des constructions résidentielles, les façades vitrées, ainsi que pour les vitrages destinés à la mobilité, qu'il s'agisse de transports collectifs ou individuels.

On retrouve également la laine de verre, un isolant largement présent dans les murs et les cloisons intérieures des habitations. Il s'agit de fibres de verre entrelacées, formant une sorte de matelas généralement recouvert d'un parement en papier pour en faciliter la pose. Enfin, l'offre inclut des voiles de verre⁸ et des textiles

8. Voiles de verre : tissus ou renforts en fibres de verre utilisés pour renforcer des matériaux.

techniques, utilisés dans une multitude d'applications industrielles (*Figure 5*).

1.1. Procédés de fabrication

Les usines de Saint-Gobain Glass en France, situées dans le nord, au sud de Lyon et près de Compiègne, accueillent le public pour des visites. Ces sites valent vraiment le détour et laissent une forte impression. Une usine de verre plat (*Figure 6*) s'étend sur plusieurs centaines de mètres et abrite un élément central : le four verrier⁹. Imaginez une piscine olympique contenant 2 000 tonnes de verre en fusion – un spectacle impressionnant. Ce four, cœur du processus

9. Four verrier : four industriel très chaud (environ 1 500 °C) où l'on fait fondre les matières premières pour obtenir du verre liquide.

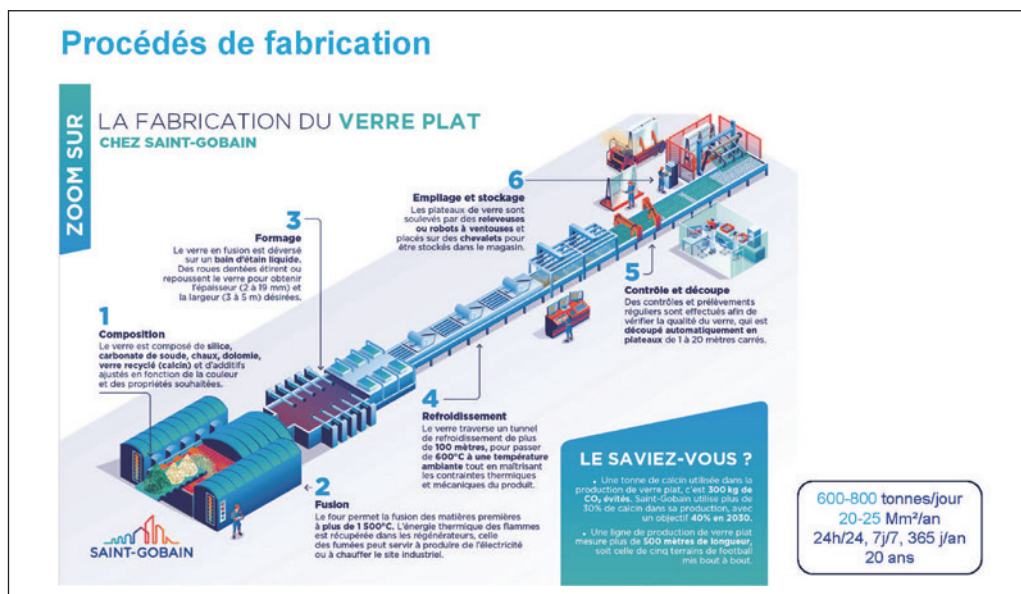


Figure 6

Usine de fabrication de verre plat.

de fusion, est suivi d'un bain d'étain liquide d'une centaine de mètres de long, la méthode la plus efficace pour obtenir du verre parfaitement plat. Le verre entre à 1200 °C et ressort à environ 600 °C. À cette température, il devient possible de le manipuler : il est alors acheminé sur des rouleaux, refroidi progressivement (et recuit¹⁰ pour éliminer les contraintes¹¹ internes), puis découpé en plaques d'environ 20 mètres carrés, prêtes à être utilisées dans l'industrie.

10. Recuire : refroidissement lent et contrôlé du verre pour éliminer les tensions internes et éviter qu'il casse facilement.

11. Contraintes : tensions dans le verre dues au refroidissement rapide ; si on ne les libère pas par recuit, le verre peut casser tout seul.

Dans l'usine, un ruban de verre de plus de 3 mètres de large circule sur 200 mètres de long. Une seule usine produit entre 600 et 800 tonnes de verre par jour, soit environ 25 millions de mètres carrés par an. Une fois en marche, une usine fonctionne sans interruption pendant 20 ans, car il est impossible d'éteindre et de rallumer facilement un four contenant 2 000 tonnes de verre en fusion.

Pour la laine de verre, on retrouve également un four de fusion, de taille plus modeste, mais la partie la plus fascinante à observer dans une usine de laine de verre reste l'étape de fibrage¹² (Figure 7).

12. Fibrage : procédé pour transformer le verre fondu en fines fibres (comme la « barbe à papa ») pour fabriquer la laine de verre.

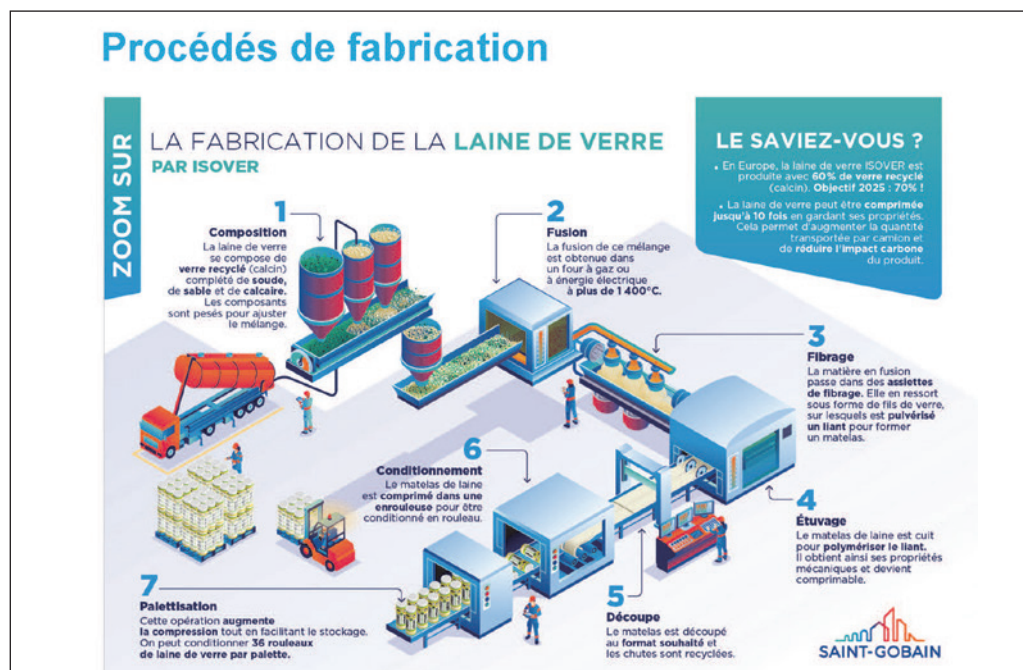


Figure 7.

Usine de fabrication de laine de verre.

Imaginez des machines similaires à celles qui produisent de la barbe à papa, mais au lieu de sucre, c'est du verre porté à plus de 1 000 °C qui en sort pour former ces fibres. Celles-ci tombent ensuite sur un tapis de convoyage, où elles sont légèrement enrobées de matériaux polymères. Ces polymères permettent d'agglomérer les fibres entre elles et de conférer leurs propriétés aux matelas de fibres. Le matelas est finalement découpé pour obtenir les rouleaux de laine de verre que vous connaissez.

Ces deux procédés, qu'il s'agisse du verre plat ou de la laine de verre, partent de matières premières dont la transformation s'accompagne d'émissions de CO₂.

1.2. Composition des matières premières et chimie du verre

Les matières premières utilisées pour fabriquer le verre (**Figure 8**) sont principalement composées de sable, donc de silice¹³, ainsi que d'éléments permettant d'abaisser son

13. Silice : composé principal du verre (SiO₂) issu du sable.

point de fusion et de stabiliser sa composition chimique une fois solidifié. Il s'agit surtout de carbonates de sodium, de calcium et de magnésium¹⁴. Bien sûr, d'autres composants mineurs peuvent être ajoutés selon les besoins, mais la production de verre repose avant tout sur ces matières de base. Les fours, qui doivent atteindre des températures très élevées, fonctionnent actuellement majoritairement au gaz naturel, même si l'électricité prend une part croissante dans leur alimentation.

D'où viennent les émissions de CO₂ quand on fait du verre ?

Les émissions proviennent de deux sources principales :

- L'énergie utilisée : la production repose encore largement sur la combustion de gaz, ou sur de l'électricité qui n'est pas toujours décarbonée.
- Les matières premières : les carbonates utilisés dans la fabrication libèrent du CO₂.

14. Carbonates de sodium, calcium, magnésium : sels (comme le carbonate de calcium = calcaire) ajoutés au sable pour abaisser la température de fusion et stabiliser le verre.

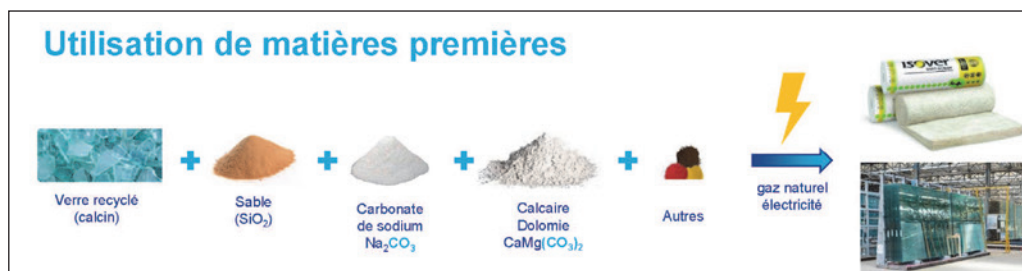


Figure 8

Composés de fabrication du verre.

Par exemple, une plaque de verre standard d'1 m² et de 4 mm d'épaisseur pèse environ 10 kg, et sa production émet à peu près 10 kg de CO₂. Ce chiffre est indicatif et appelé à diminuer grâce aux efforts déployés pour réduire les émissions, mais il donne un bon ordre de grandeur. À retenir : environ la moitié des émissions de CO₂ proviennent de l'énergie utilisée, et l'autre moitié des matières premières.

Comment réduire les émissions liées au procédé de fabrication

Nous développons des procédés de fusion alternatifs utilisant de l'électricité décarbonée. Par exemple, un projet mené en République tchèque, en collaboration avec un concurrent, teste un four fonctionnant à 50 % à l'électricité pour produire du verre destiné au bâtiment. Pour la laine de verre, nous avons également des initiatives avec des fours entièrement électrifiés. Ces programmes, en cours de déploiement, dépendent fortement du contexte énergétique

local et de la disponibilité des sources d'énergie décarbonée.

Pour réduire les émissions liées aux carbonates, la solution la plus rapide et efficace reste le recyclage : réutiliser du verre déjà formé, dont le CO₂ a été émis il y a 20 ou 30 ans lors de son installation dans un bâtiment. C'est pour nous le meilleur levier pour diminuer nos émissions de CO₂ et préserver les ressources naturelles (**Figure 9**).

2 Le recyclage du verre

Le recyclage du verre (**Figure 10**) présente un intérêt majeur, car le verre est 100 % recyclable, sans perte de matière, tout en conservant ses propriétés optiques, ses performances, sa résistance mécanique et sa durabilité.

Recycler signifie donc :

- moins de matières premières carbonées à extraire et à transformer,
- moins d'émissions de CO₂ liées au traitement de ces matières premières,

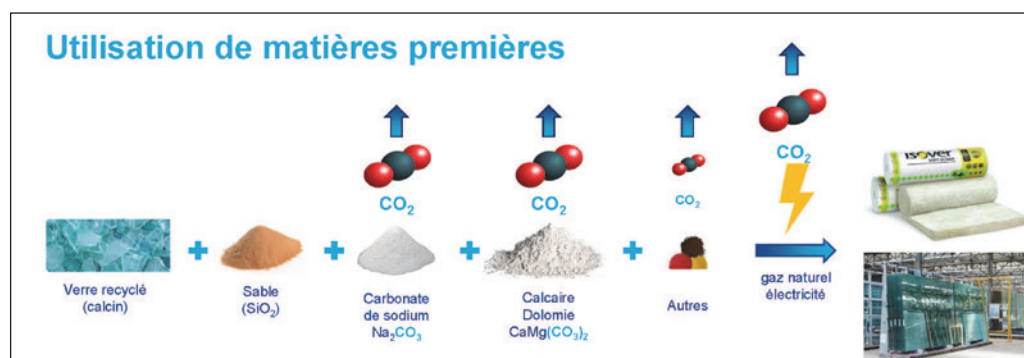


Figure 9

Émissions de CO₂ dû à la production.

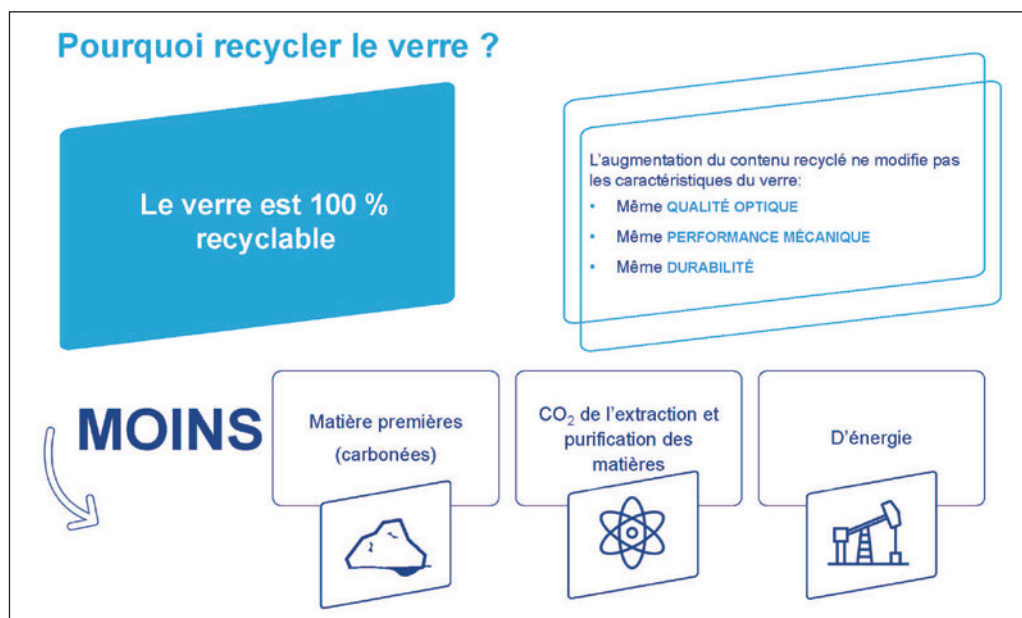


Figure 10

Les raisons du recyclage du verre.

— une économie d'énergie, correspondant à la réduction des émissions évitées grâce à cette boucle de recyclage.

2.1. Les contraintes du recyclage

Cependant, le recyclage dans les fours présente certaines contraintes.

Les filières de recyclage du verre domestique sont assez tolérantes vis-à-vis des impuretés et peuvent accepter diverses sources de verre. Pour l'isolation, en théorie, presque tous les types de verre pourraient être réutilisés, même si la manipulation des grands matelas de laine de verre¹⁵ issus de la déconstruction reste complexe.

En revanche, le recyclage du verre plat provenant des bâtiments est plus délicat : recycler du verre pour produire des panneaux de 18 m² sans défaut, compte tenu de la longueur du processus, n'est pas simple. De plus, il existe des limites concernant les gisements¹⁶ de verre disponibles et exploitables (**Figure 11**).

Le cycle de recyclage

La **figure 12** illustre le cycle de vie du verre, depuis sa production jusqu'à sa déconstruction et son recyclage, en mettant en évidence les flux de retour du verre.

Plusieurs sources de retour existent déjà :

15. Laine de verre : matériau isolant fait de fibres de verre entrelacées, souvent en rouleaux ou panneaux, utilisé dans les murs et toits.

16. Gisement : réserve ou source disponible de matériaux à recycler.



Figure 11

Matrice de recyclage.

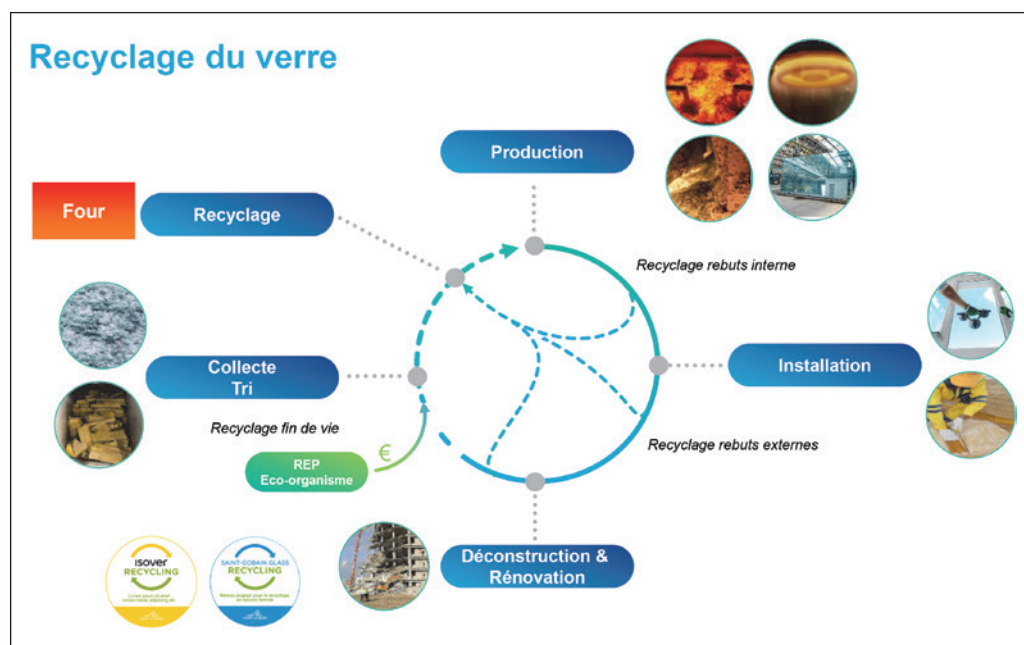


Figure 12

Le cycle du recyclage du verre.

- lors de la production, où des rebuts¹⁷ sont générés en continu. Une partie de ces chutes peut être directement réintroduite dans le four ;
- lors de l'installation ou de la transformation : pour la laine de verre, car le produit est presque finalisé, et pour les produits verriers, car les grands plateaux subissent des manipulations avant de devenir, par exemple, des vitrages isolants pour fenêtres. Ces étapes entraînent des pertes et créent des gisements récupérables.

En prenant en compte l'ensemble du verre fondu (notamment pour le verre destiné au bâtiment), on estime que 10 à 20 % de la quantité produite revient sous forme de rebuts. Cela s'explique aussi par des

pertes géométriques : découper des rectangles ou des carrés dans de grands plateaux génère inévitablement des chutes.

Étapes post-collecte

Pour augmenter les volumes de verre récupérable, le groupe Saint-Gobain déploie des actions et des réseaux de recyclage dédiés à la déconstruction et à la rénovation. Ces initiatives, comme les programmes *Isover Recycling* et *Saint-Gobain Glass Recycling*, sont mises en place partout où cela est possible.

2.2. Enjeux et obstacles au développement du recyclage

Facteurs économiques et logistiques

Les défis du recyclage du verre sont synthétisés dans la **figure 13**. En effet, cette filière n'est pas uniformément développée à travers le monde.

17. Rebuts : déchets ou chutes produits pendant la fabrication ou la transformation.



Figure 13

Les enjeux du recyclage.

Un facteur clé de son développement réside dans les coûts : la valeur du calcin reste modeste (surtout en l'absence d'un marché structuré pour le recyclage), et la balance entre les coûts de transport et ceux de l'enfouissement joue un rôle déterminant.

Présent dans 80 pays, le groupe fait face à des réalités contrastées : pour un propriétaire ou un professionnel de la rénovation, opter entre le recyclage et une démolition rapide – souvent moins onéreuse qu'un démontage soigné – dépend largement du contexte économique local. Il est donc essentiel d'identifier les zones où les initiatives sont les plus pertinentes et efficaces. Par ailleurs, le manque d'infrastructures pour la collecte et le traitement limite encore les possibilités. C'est pourquoi nous développons nos propres réseaux, en partenariat avec des acteurs de

l'économie locale (en France, par exemple), afin de récupérer davantage de vitrages et de laine de verre.

Problème majeur de la contamination

Deux problèmes majeurs se posent :

— d'abord, celui de la contamination : le calcin, en particulier le verre cassé provenant d'un chantier de déconstruction ou d'une benne à ordures, peut contenir toutes sortes de polluants (**Figure 14**). Par exemple, si des restes de canettes en aluminium (comme une canette de soda) se retrouvent dans le verre, l'aluminium, en fondant à haute température réduit la silice pour former de petites billes de Silicium dans le verre. Cela entraîne des casses lors du refroidissement après

Contaminants critiques : origines et conséquences

TYPE DE POLLUTION	ORIGINE TYPIQUE	IMPACT POUR L'INDUSTRIE
Vitrocéramique	Plaque de cuisson, portes de four, inserts de cheminée...	Inclusions dans le verre pouvant entraîner des casses  Infusibles : bouchent les assiettes de fibrage et stoppent la production
Aluminium	Espaceurs de vitrages isolants, canettes, emballages...	Réduction de la silice, billes de silicium dans le verre, bulles $4 Al + 3 SiO_2 \rightarrow 2 Al_2O_3 + 3 Si$ $4 Al + 6 OH^- \rightarrow 2 Al_2O_3 + 3 H_2$  
Porcelaine, céramiques	Vaisselle, pots de fleurs	Inclusions solides dans le verre 
Organiques	Papier, huile, plastiques	Perturbent les réactions de fusion Surconsommations d'énergie Limitation de la production

Figure 14

Les différents risques de contamination du verre.

le procédé float¹⁸, ce qui réduit fortement le rendement. Le souci, c'est qu'une seule canette dans un four contenant 2000 tonnes de verre en fusion peut causer des dégâts pendant un certain temps, alors que la retrouver dans un tas de verre pilé relève presque de l'impossible ;

- ensuite, il y a le comportement des consommateurs : est-ce que ces derniers – qu'il s'agisse de particuliers comme vous et moi ou d'investisseurs dans la construction – trouvent un intérêt à acheter un produit plus bas carbone ?

La vitrocéramique¹⁹, utilisée dans les plaques de cuisson, les portes de four, les inserts de cheminées ou encore les portes anti-feu, n'est pas non plus facile à trier parmi les déchets. De plus, ses composants ne fondent pas correctement et peuvent provoquer des casses dans le processus de fabrication.

C'est encore plus problématique pour la laine de verre issue de l'isolation. Comme nous l'avons vu précédemment, sa fabrication ressemble à celle d'une barbe à papa de verre : une sorte d'assiette percée de petits trous à travers lesquels on extrude le verre liquide. Les déchets, en endommageant ces assiettes de fibrage (coûteuses), obligent

à interrompre la production pour les remplacer. Sans compter les polluants organiques, qui peuvent perturber les réactions de fusion et générer des problèmes d'odeurs.

Stratégies pour gérer les risques

Notre stratégie pour limiter les risques consiste à nous impliquer activement dans la récupération des matériaux sur les chantiers. Nous aidons à séparer les différents matériaux et à les conserver dans des conditions optimales pour éviter toute contamination, afin de privilégier un recyclage en boucle fermée²⁰ (*Figure 15*) : le verre plat est recyclé en verre plat, et l'isolation en isolation. L'objectif ? Permettre à tous les acteurs de décarboner leur activité.

Il est aussi essentiel d'investir dans des outils de tri plus performants. Par exemple, dans notre usine de verre plat à Emerchicourt, dans le nord de la France, nous avons installé une ligne de tri du calcin. Concrètement, il s'agit de tapis roulants, de détecteurs, d'aimants et de courants de Foucault²¹ pour éliminer un maximum d'impuretés (*Figure 16*). Ces équipements représentent un coût, tant à l'investissement qu'en exploitation, car le traitement de grandes quantités de verre

18. Procédé *float* (flotter) : technique où le verre fondu est versé sur un bain d'étain liquide pour obtenir une surface parfaitement plate et lisse.

19. Vitrocéramique : matériau proche du verre mais cristallisé, très résistant à la chaleur.

20. Boucle fermée : recyclage où le matériau recyclé (ex. verre plat) est réutilisé pour fabriquer le même type de produit.

21. Courants de Foucault : technique utilisant des champs magnétiques pour séparer les métaux non ferreux (comme l'aluminium) lors du tri.

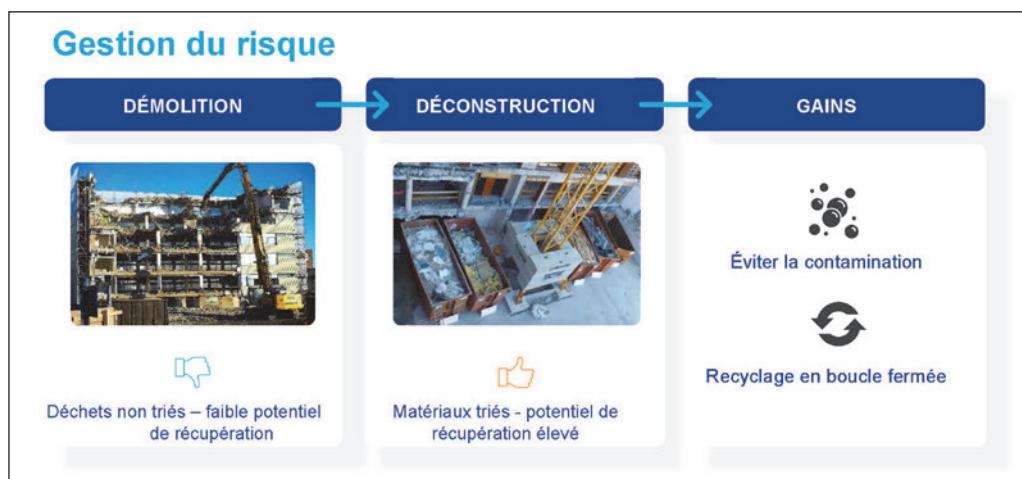


Figure 15

Le processus de gestion du risque.



Figure 16

Projet de tri de Saint-Gobain.

entraîne inévitablement des pertes pour garantir la qualité. En France, le secteur des matériaux de construction bénéficie désormais d'un système de responsabilité élargie du producteur (**Figure 17**), qui inclut les consommateurs via

une éco-contribution. Celle-ci finance la déconstruction et la gestion des déchets. C'est un levier puissant pour avancer, et l'Europe encourage tous les États membres à adopter ce type de dispositif – ce qui peut prendre un certain temps.

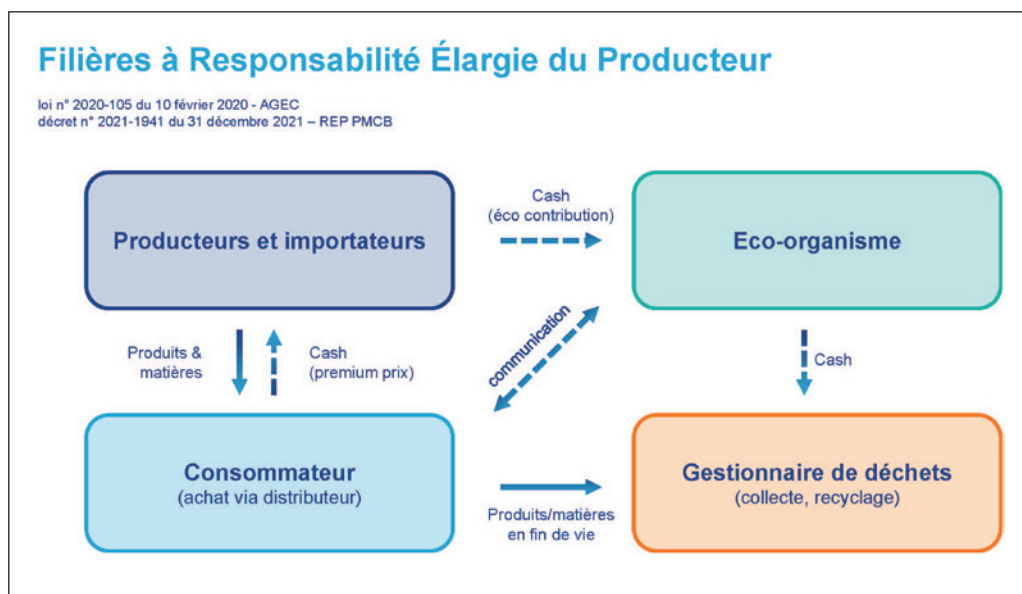


Figure 17

La filière de responsabilité élargie du producteur [loi n° 2020-105 du 10 février 2020 – AGEC, décret n° 2021-1941 du 31 décembre 2021 – REP PMCB].

Conclusion

Saint-Gobain a été le premier à commercialiser un verre bas carbone à haute teneur en recyclé : notre verre ORAÉ. Grâce à lui, nous avons réduit de 42 % l'empreinte carbone par rapport à notre verre clair standard, en intégrant 64 % de contenu recyclé dans sa composition.

Ce verre est produit principalement en Europe, mais aussi en Inde et au Brésil. Dès l'année de son lancement, nous avons démontré qu'il était possible de fabriquer du verre avec 100 % de calcin issu du recyclage à l'entrée du four, et ce pendant 4 jours et demi dans notre usine du nord de la France. L'objectif était de prouver la faisabilité technique, même si cette performance n'est pas réalisable en continu, faute de stocks suffisants de verre à recycler (**Figures 18 et 19**).

Dans le secteur du verre bâtiment, en 2024, nous avons pu recycler 30 000 tonnes de verre en fin de vie, issues de la déconstruction en Europe. Ces volumes proviennent principalement de la France, du Royaume-Uni, ainsi que,



Figure 18

Futurs projets de Saint-Gobain : le verre ORAÉ.

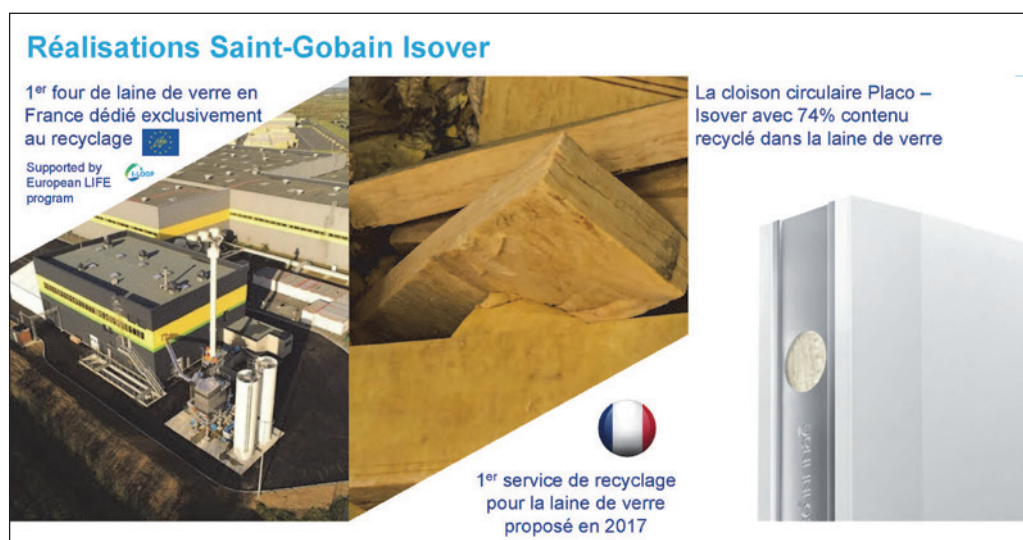


Figure 19

Futurs projets de Saint-Gobain : la laine Isover.

dans une moindre mesure, de l'Allemagne et de l'Espagne. Notre ambition est de renforcer notre engagement dans ce type d'initiatives pour intégrer toujours plus de verre recyclé dans nos productions, tout en acquérant de l'expérience sur le tri, la collecte et l'utilisation de ce verre recyclé.

Côté isolation, à Chemillé-en-Anjou, Saint-Gobain a inauguré son premier four dédié exclusivement au recyclage de panneaux de laine de verre, associé en France à un service de recyclage. Aujourd'hui, nous commercialisons des plaques contenant 74 % de laine de verre recyclé.