vinyl plus

Technologies de recyclage du PVC

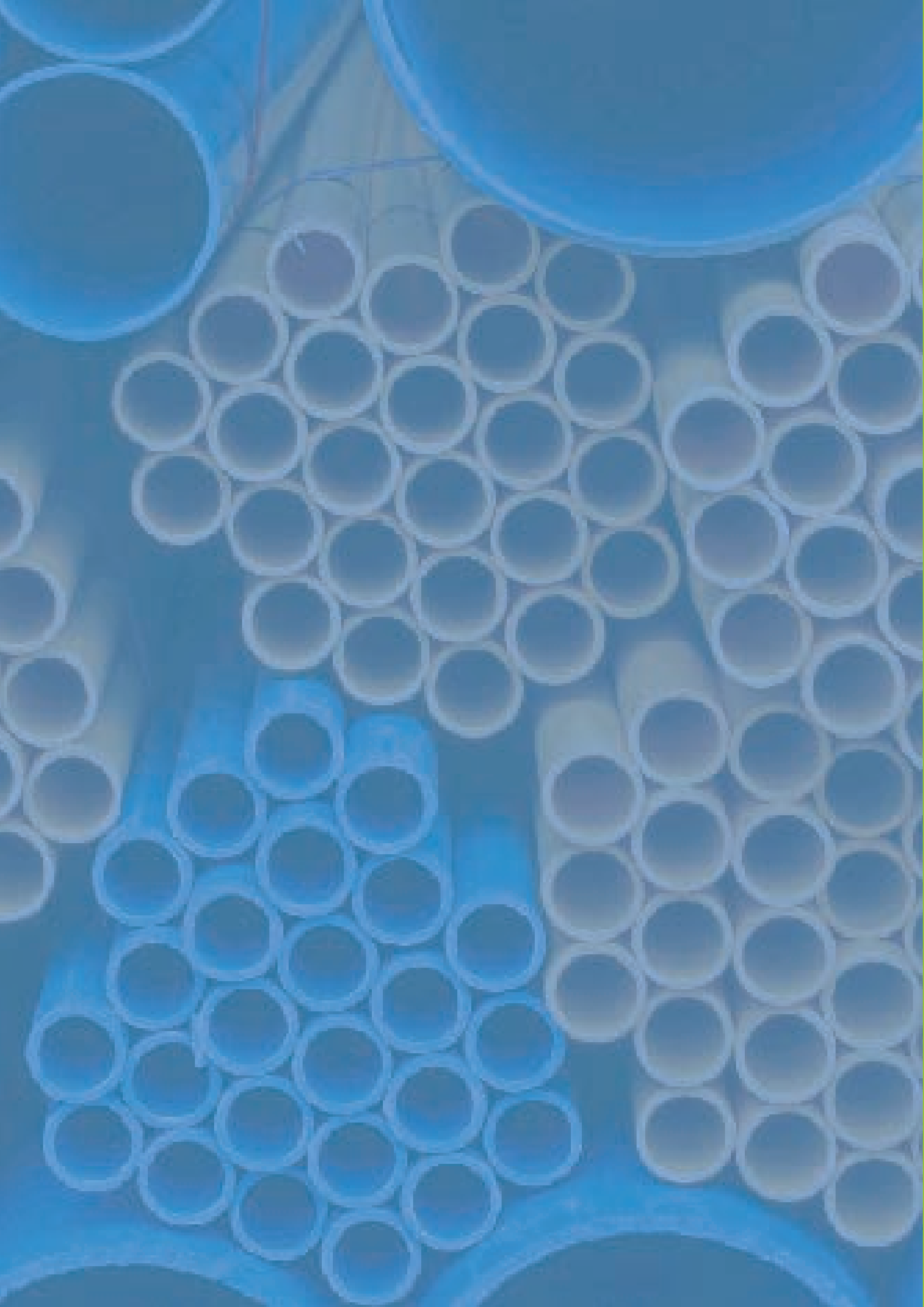


Table des matières

Introduction 4

PVC : populaire, soutenable, recyclable 6

Pourquoi recycler ? 10

Problèmes de réglementation 16

Recovinyl : collecte et certification 20

Méthodes de recyclage du PVC 22

Pour plus d'informations 44

Glossaire 45

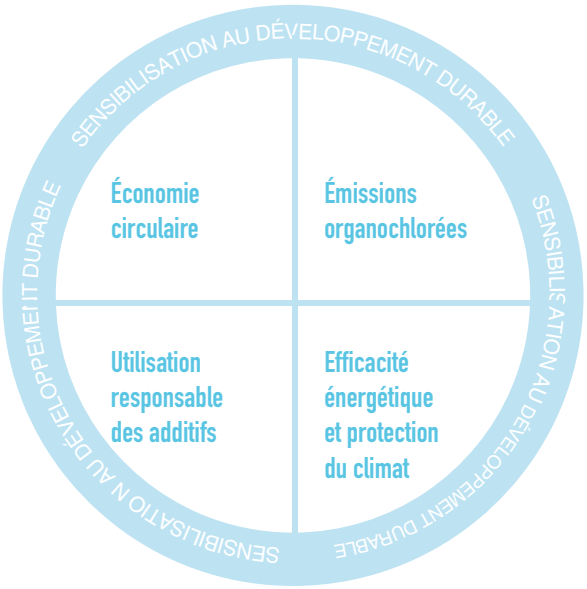
Tableau récapitulatif des technologies émergentes de recyclage 46

Introduction

VinylPlus est l'engagement volontaire décennal de l'industrie européenne du PVC pour un développement durable. L'un des cinq défis du développement durable au cœur de l'initiative VinylPlus est celui de l'économie circulaire : une gestion plus efficace et contrôlée du PVC tout au long de son cycle de vie.

Un élément essentiel de ce défi est le développement et la promotion d'un recyclage novateur pour étendre l'ampleur et l'efficacité du recyclage du PVC sur le marché européen.

En se fondant sur les acquis d'une expérience de 12 années dans le recyclage, qui englobe celle de son engagement volontaire Vinyl 2010 en faveur du développement durable, VinylPlus tire parti des leçons apprises et de l'acquisition de nouvelles connaissances pour intégrer le développement durable dans toute l'industrie européenne du PVC.



Cette brochure expose le contexte et les opportunités du recyclage en Europe, ainsi que certains des défis et solutions liés à l'extension du recyclage des déchets de PVC.
Elle met l'accent sur les technologies émergentes de recyclage du PVC capables de traiter les flux de déchets les plus difficiles à recycler.

VinylPlus s'est fixé le difficile objectif de recycler 800 000 tonnes de PVC par an d'ici 2020, parmi lesquelles 100 000 tonnes provenant des « déchets de PVC les plus difficiles à recycler ». Une ou plusieurs des technologies décrites ici jouent un rôle essentiel dans la réalisation de cet objectif ambitieux.

www.vinylplus.eu/publications/70/59/Progress-Report-2013

PVC : populaire, durable, recyclable

Le polychlorure de vinyle (PVC) est l'un des polymères les plus utilisés dans le monde.

Le polymère a été l'un des premiers matériaux plastiques modernes découverts. Synthétisé pour la première fois en laboratoire au XIXe siècle, il n'a été commercialement exploité qu'à partir du milieu des années 1920 pour avant de connaître un développement spectaculaire dans les années 1950.

Aujourd'hui, environ 37 millions de tonnes de PVC sont produites dans le monde, dont 5,5 millions en Europe – ce qui fait du PVC la troisième matière plastique la plus populaire en Europe.

L'industrie européenne du PVC, des fournisseurs de polymère aux fabricants de produits, emploie environ 500 000 personnes dans quelques 21 000 sociétés qui vont de la multinationale à la petite entreprise familiale.

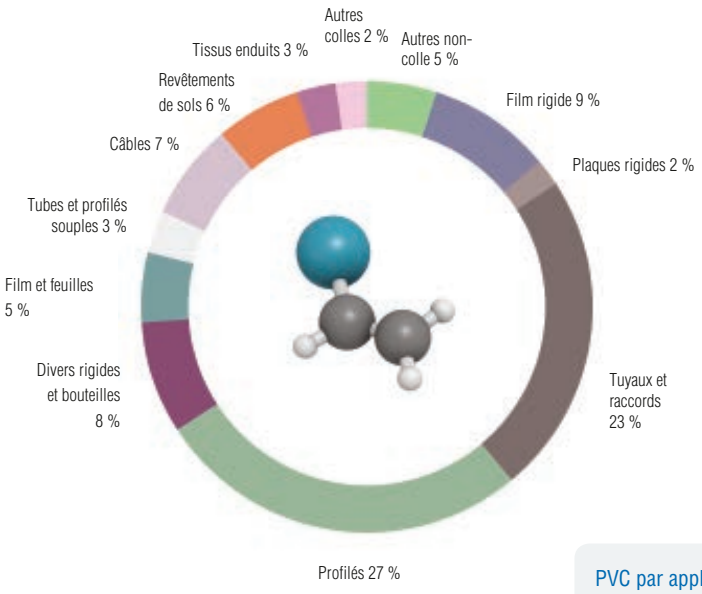
Des applications diverses

En raison de sa polyvalence, le PVC a trouvé ses applications dans une large gamme d'usages industriels, techniques et domestiques.

En Europe, les deux tiers environ du PVC produit sont utilisés dans la construction : cadres de fenêtres et autres profilés, tuyaux et raccords, revêtements de sols, câbles et gaines électriques, revêtements plastiques, membranes, applications d'étanchéité, tissus enduits, etc.

> Le chlorure de polyvinyle (PVC) est l'un des polymères les plus utilisés dans le monde

D'autres applications importantes incluent les plaquettes thermoformées, plateaux et films d'emballage, les garnitures intérieures et extérieures des véhicules dans le secteur automobile, une large gamme de meubles, produits de loisir et vêtements imperméables, ainsi que des dispositifs médicaux.



PVC par application

VinylPlus, 2011

Un polymère durable…

Les caractéristiques inhérentes du PVC en font un matériau écologiquement viable.
Fabriqué à partir de sel gemme courant (57 %) et d'hydrocarbures pétroliers (43 %), il nécessite considérablement moins de pétrole que les autres principaux thermoplastiques et son empreinte carbone est plus faible. Très économe en ressources, c'est également un matériau extrêmement durable et économe en énergie pour une vaste gamme d'applications.

> Les caractéristiques inhérentes du PVC en font un matériau écologiquement viable

Et le PVC est un matériau recyclable. L'industrie européenne a déployé des efforts considérables pour renforcer la collecte des déchets de PVC et pour optimiser les technologies de recyclage. L'objectif consiste à minimiser la production de déchets et la consommation d'énergie tout en développant le pourcentage de recyclats dans les produits neufs.

Une étude réalisée en 2011 pour le compte de la direction générale de l'Environnement de la Commission européenne estimait le montant des déchets de construction/démolition à environ 460 millions de tonnes en 2005. Parmi ces déchets, les déchets plastiques représentaient moins de 2 %.
Estimée à moins de 2,6 millions de tonnes en 2008, la quantité de déchets de PVC disponibles représentait moins de 0,4 % de la quantité totale des déchets de construction.

Parallèlement, une étude publiée en 2000 par Prognos estimait à moins de 1 % la quantité de PVC présente dans les ordures ménagères.

… à usages durables

Le PVC est extrêmement polyvalent. Par rapport à d'autres matériaux, il offre l'avantage de permettre une modification des paramètres de formulation pour améliorer la sécurité et l'éco-efficacité du produit final sans en compromettre les performances techniques.

Ses vastes possibilités de formulation permettent également sa réutilisation et son recyclage dans de nouveaux produits sans perte de performances. Cette réutilisation rend les produits en PVC encore plus favorables au développement durable : la production du PVC recyclé économise l'énergie et réduit les émissions de procédé.

Elle joue également un rôle prédominant lorsqu'il s'agit de fournir la qualité, le confort et la sécurité des styles de vie modernes. Les produits en PVC contribuent à améliorer la vie humaine et à conserver les ressources naturelles dans un monde où les besoins de sécurité d'une population en expansion concernent l'eau, la nourriture, le logement, l'assainissement, l'énergie, les soins de santé et la sécurité économique.

Le PVC est un matériau durable essentiel pour l'existence de ces services vitaux. De plus, sa charge environnementale est minime en termes d'émissions de CO_2 par rapport aux produits en métal ou en verre utilisés dans les mêmes applications.

> Les produits en PVC contribuent nettement au rendement énergétique grâce à leur faible conductivité thermique.

De même, les produits en PVC contribuent nettement au rendement énergétique grâce à leur faible conductivité thermique. Les profilés de fenêtres en PVC offrent une isolation thermique trois fois supérieure à ceux en aluminium, ce qui améliore le rendement énergétique de nos habitations et lieux de travail tout en protégeant notre confort.

L'industrie du PVC, qui connaît en profondeur les caractéristiques de durabilité de son produit, travaille avec constance pour que le polymère continue à jouer un rôle utile dans un futur plus durable pour l'humanité et à révéler clairement sa nature d'économie circulaire.

Pourquoi recycler ?

La chaîne de valeur européenne de production et de conversion du PVC accorde beaucoup d'importance à la responsabilité sociale de l'entreprise et déploie tous ses efforts depuis le milieu des années 1990 pour relever les défis du développement durable posés par ce matériau.

Le recyclage du PVC offre les avantages suivants :

- Le PVC est très adapté au recyclage : il a été le premier des plastiques à être recyclé ;
- Le PVC dispose de systèmes de recyclage mécaniques évolués ;
- De gros volumes de déchets recyclables de PVC sont disponibles ;
- L'utilisation de PVC recyclé aide à atteindre les objectifs d'utilisation rationnelle des ressources et permet de préserver les matières premières ;
- L'utilisation de PVC recyclé réduit les émissions de gaz à effet de serre et les besoins en décharges.

L'utilisation de 70 % de PVC recyclé dans la fabrication de profilés de fenêtres au lieu de PVC neuf économise jusqu'à 50 % d'énergie, et réduit de plus de 60 % tant la pollution de l'air que celle de l'eau.[1]

De plus, en raison de sa nature thermoplastique, le PVC peut être recyclé plusieurs fois sans perte significative de performances.

Déchets de profilés de fenêtres

Le succès du recyclage

Depuis dix ans ou plus, l'industrie européenne du PVC déploie tous ses efforts pour accroître le recyclage du PVC. Depuis l'initiative Vinyl 2010, et maintenant VinylPlus, dont elle était à l'origine, les taux de recyclage du PVC ont énormément augmenté.

L'objectif principal de recyclage de Vinyl 2010 consistait à augmenter le recyclage des déchets de consommation du PVC dans les applications non réglementées (c'est-à-dire hors emballages, déchets électriques et électroniques ou déchets du secteur automobile). Autrement dit, la plupart des déchets provenaient du secteur de la construction et de la démolition.

En dépassant considérablement son objectif annuel de 200 000 tonnes de PVC recyclées en 2010, l'initiative Vinyl 2010 a constitué une grande réussite.

> Possibilité de répétitions du recyclage

Le PVC peut être recyclé à plusieurs reprises (plus de huit fois dans des essais en laboratoire) selon les applications, parce que le processus ne réduit pas sensiblement la longueur des chaînes de ses molécules. Ces résultats ont été prouvés par des essais réalisés sur des tubes de PVC.

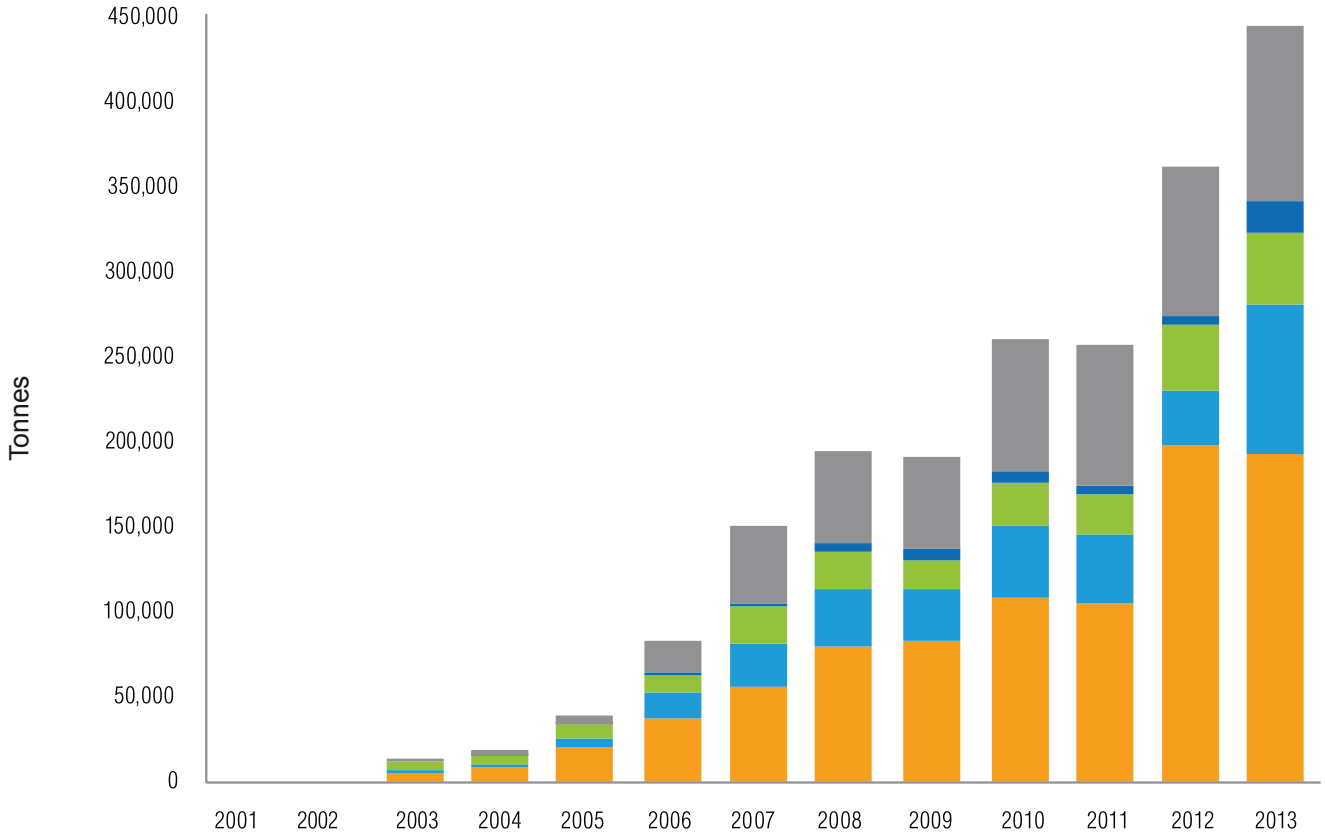
[1] www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf

D'où provient le PVC recyclé ?

Dans le cadre de VinylPlus, un nouvel objectif annuel de recyclage de 800 000 tonnes a été établi pour 2020. En 2013, selon une nouvelle définition consensuelle du PVC recyclé (voir graphique ci-dessous), 444 468 tonnes ont été recyclées en Europe.

Le graphique ci-dessous analyse les sources de recyclage du PVC. On y voit que la majorité du PVC recyclé provient des profilés de fenêtres et d'autres produits de construction associés.

PVC recyclé dans le cadre des initiatives Vinyl 2010 et VinylPlus



Câbles

Films en PVC rigide

Tubes et raccords

Applications de PVC souple (y compris membranes de couverture et d'étanchéité revêtements de sol et tissus revêtus)

Profilés de fenêtres et produits associés

Total en 2013
444 468
tonnes recyclées

D'autres sources importantes sont constituées des tubes et raccords, câbles et applications de PVC souple, y compris les matériaux de couverture et membranes d'étanchéité, les revêtements de sol et les tissus enduits.

Les films composites de PVC rigide provenant des déchets industriels ont également représenté une contribution de 5 620 tonnes en 2012.

Selon les estimations, les quantités de déchets de PVC disponibles en 2020 en Europe seront considérables. Les déchets disponibles sont estimés à quelques 2,9 millions de tonnes (voir page 15), dont plus de 1,1 million provenant des applications du bâtiment.

L'objectif de 800 000 tonnes recyclées en 2020 constitue réellement un défi. Et cet objectif comporte un sous-objectif consistant à développer et à exploiter des technologies novatrices pour recycler annuellement 100 000 tonnes de matériaux PVC dits « difficiles à recycler » tels que des matériaux composites et des matériaux provenant de flux de déchets mêlés.

> La quantité totale de déchets disponibles provenant de la construction dépasse 1,1 millions de tonnes

Il deviendra de plus en plus important de pouvoir accéder à des flux plus difficiles, alors que les schémas traditionnels de recyclage atteindront les limites des déchets facilement recyclables. La plus grande partie des déchets disponibles est constituée de flux plus complexes et nécessite des traitements plus évolués pour obtenir des produits réutilisables.

Déchets de tuyaux

> De plus en plus d'installations de recyclage

Il existe actuellement plus de 100 sites en Europe qui recyclent les tuyaux, profilés, revêtements de sols, tissus enduits et membranes en PVC. L'industrie européenne du PVC est déterminée à augmenter encore ce nombre.

Recyclats de PVC rigides mêlés

Options de fin de vie

Le traitement de fin de vie du PVC englobe actuellement trois options courantes :

- **Décharge** – Les produits en PVC mis en décharge ne posent pas de problèmes à long terme pour la santé humaine ni pour l'environnement. Ils représentent néanmoins une perte de ressource précieuse en matériau, ce qui est inacceptable dans une perspective de développement durable. De nombreux pays, dont l'Allemagne, ont déjà interdit la mise en décharge des déchets organiques non traités ou prévoient de le faire.
- **Incinération avec récupération d'énergie** – Le PVC est doté d'un pouvoir calorifique d'environ 19 mégajoules par kilogramme (MJ/kg), comparable à celui de la lignite et supérieur au pouvoir calorifique moyen des ordures ménagères (11 MJ/kg) utilisées pour générer de l'électricité.

  Pour cette raison, il peut contribuer utilement à la production d'électricité en tant que combustible par l'incinération des déchets.
- **Recyclage mécanique** – Cette option est utilisée dans la production et le traitement du PVC depuis de nombreuses décennies. La plus grande partie de déchets de PVC non mêlés revient directement dans la production et l'industrie du PVC a développé plusieurs initiatives de récupération des déchets ménagers éprouvées sur le marché.

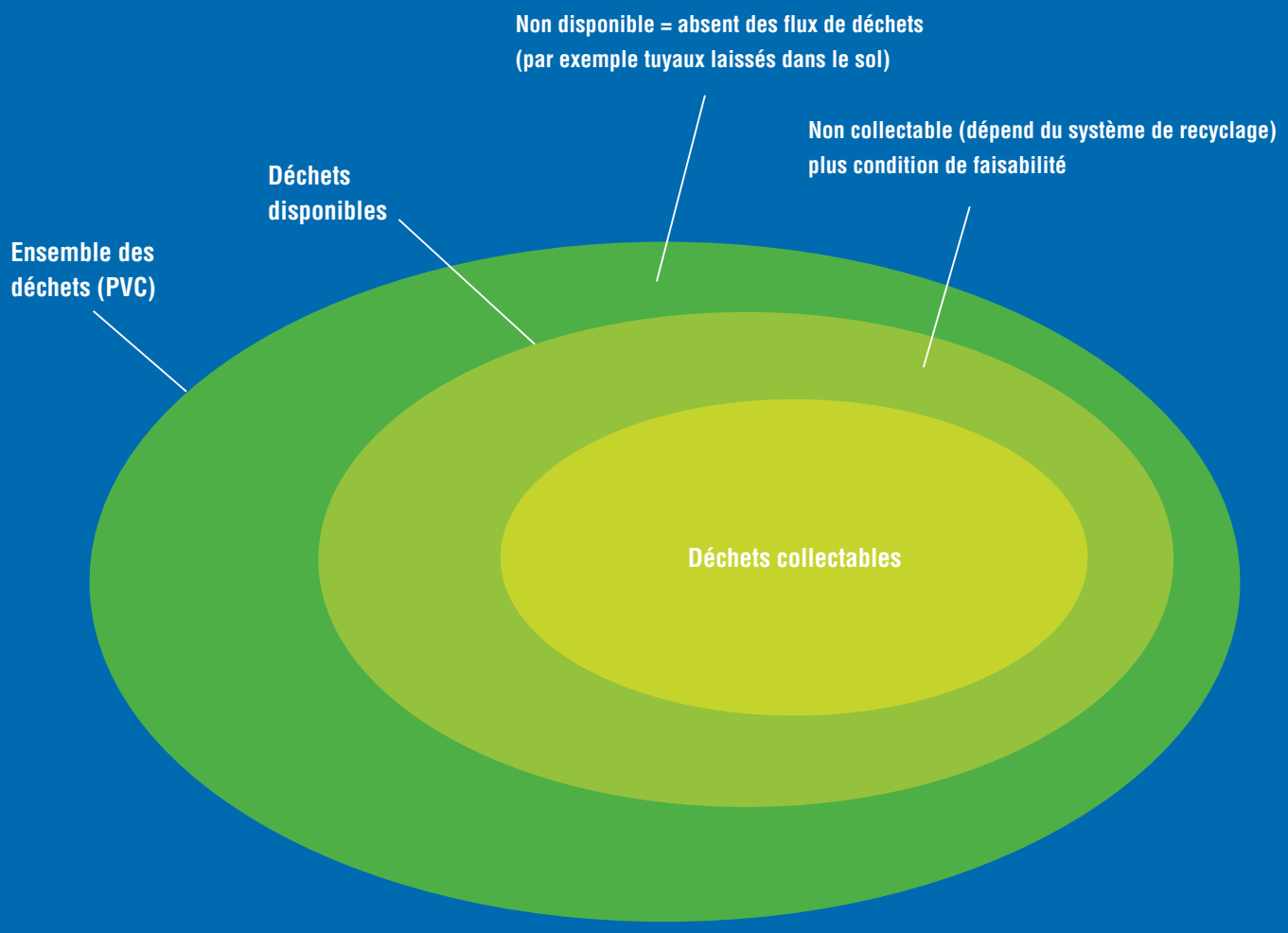
> Une définition du PVC recyclé

La notion de « PVC recyclé » a connu plusieurs définitions selon les secteurs d'industrie. VinylPlus a convenu d'une nouvelle définition :

« Le PVC recyclé est un produit fini ou semi-fini en PVC qui a été extrait du flux de déchets pour être utilisé dans un produit neuf. Les déchets de fabrication sont inclus dans cette définition, à la condition qu'ils ne puissent être réutilisés dans le procédé qui les a produits. »

> Quelques autres définitions

- **L'ensemble des déchets** correspond à la totalité des déchets de PVC produits par tous les secteurs en fin d'utilisation et englobe également les déchets post-industriels.
- **Les déchets disponibles** sont les déchets de PVC théoriquement disponibles pour les flux de déchets. Ils n'incluent pas les déchets « non disponibles » tels que les tuyaux abandonnés sur site.
- **Les déchets collectables** sont les déchets de PVC qui peuvent être récupérés, triés et transportés pour être recyclés. Ils n'incluent pas certains déchets disponibles dont la collecte ou le recyclage n'est pas économiquement ou techniquement possible. Cette catégorie représente une proportion variable qui dépend du système de recyclage utilisé.



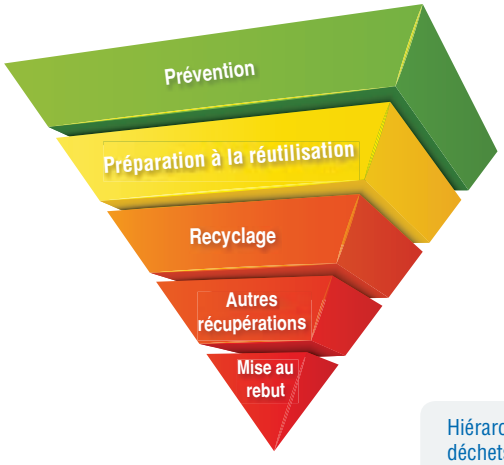
Problèmes de réglementation

En vue d'imposer des exigences légales pour protéger l'environnement, la Commission européenne a émis un Livre vert sur les déchets plastiques en vue de restreindre l'incinération et la mise en décharge des plastiques en Europe. Alors que le recyclage est l'option favorisée, des problèmes liés aux anciens additifs utilisés dans des applications de longue durée se posent encore.

Cadre réglementaire

D'un point de vue réglementaire, le principal moteur d'amélioration de la viabilité environnementale dans l'Union européenne a été la directive cadre relative aux déchets (directive européenne 2008/98/CE). D'autres directives européennes touchent des secteurs spécifiques, comme les directives européennes sur les véhicules en fin de vie, sur les emballages et sur les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), et concernent des déchets de matériaux recyclables « réglementés ».

De plus, de nombreux États-membres limitent la mise en décharge des plastiques par leur réglementation nationale.



Hiérarchie du traitement des déchets selon la directive cadre sur les déchets

Additifs hérités

Les additifs hérités sont des substances qui ne sont plus utilisées dans la fabrication des nouveaux produits en PVC. La plupart ont été ou sont remplacés par des alternatives de la propre initiative des fabricants, mais peuvent encore se trouver dans le PVC recyclé provenant de produits à longue durée de vie. Parmi ceux-ci figurent certains stabilisants et plastifiants soumis à des contraintes réglementaires.

Autrefois, les industriels transformateurs de PVC utilisaient de petites quantités d'additifs à base de métaux lourds (plomb et cadmium) : stabilisants pour protéger leurs produits de la dégradation thermique, mais également pigments. L'industrie du PVC a éliminé le cadmium de la production de PVC neuf et s'applique à retirer les stabilisants à base de plomb de tous les produits vierges en PVC d'ici la fin de 2015.
Cet objectif est en bonne voie de réalisation.

Les stabilisants de substitution incluent notamment des formulations à base de calcium, et les composés de PVC contenant ces substances représentent actuellement largement plus de la moitié du marché européen.

Quant aux plastifiants, ils incluent des substances telles que les phtalates à faible poids moléculaire. VinylPlus collabore avec des secteurs plus larges de l'industrie ainsi qu'avec les autorités de réglementation pour résoudre ce problème.

L'industrie s'est adaptée pour remplacer les phtalates à faible poids moléculaire par des plastifiants qui ne posent pas de graves préoccupations dans le cadre de REACH et ne sont pas soumis à des restrictions par certaines réglementations européennes, notamment concernant les jouets et les biberons.

> Le PVC libère-t-il des additifs hérités ?

Des études indépendantes ont montré que les produits tels que les tubes et profilés dans lesquels les industriels ont introduits des recyclats dans leur effort en faveur du développement durable ne rejettent pas de substances actuellement interdites. Ces substances sont solidement incorporées à la matrice du polymère PVC.

Problèmes du recyclage

Les flux de déchets recyclés peuvent contenir du cadmium. La mise sur le marché de polymères contenant du cadmium est limitée par un amendement (règlement 494/2011 du 20 mai 2011) de l'annexe XVII au règlement REACH. Cet amendement autorise une teneur plus élevée en cadmium dans les produits de construction rigides si le cadmium provient du recyclage.

L'industrie collabore avec les organismes de régulation pour s'assurer que les activités de recyclage restent viables tout en se conformant au cadre réglementaire. Une base de données en ligne des polymères et applications a été développée pour aider les entreprises de recyclage du PVC à se conformer aux exigences du règlement européen REACH.
Cet outil leur permet d'accéder aux nécessaires « Fiches de données de sécurité pour les recycleurs » (www.sdsrtool.com) et documents d'orientation publiés.

> À quel point les recyclats de PVC sont-ils fiables ?

L'industrie s'assure que la qualité et la durabilité des produits contenant des recyclats sont les mêmes que celles des polymères constitués de PVC neuf. Les tuyaux et profilés contenant des recyclats peuvent être recyclés plus de huit fois, ce qui rend le PVC extrêmement durable, avec une durée de vie atteignant plusieurs siècles.

Recyclats provenant de membranes de piscines

Recovinyl : collecte et certification

Établie en 2003, Recovinyl est une initiative de la chaîne de valeur européenne du PVC destinée à faciliter la collecte des déchets de PVC et leur recyclage dans le cadre des engagements volontaires de Vinyl 2010 et, maintenant, de VinylPlus.

Cette organisation a réussi à atteindre tous ses objectifs, et particulièrement l'accroissement considérable du recyclage de PVC dans toute l'Europe au cours de ses dix ans d'existence. En 2011, l'industrie du PVC a redéfini le rôle de Recovinyl au sein du nouveau programme VinylPlus.

Aujourd'hui, l'organisation Recovinyl ne se contente pas d'assurer l'augmentation des volumes du PVC recyclé chaque année. Sa mission s'étend désormais à l'optimisation d'une utilisation rationnelle des ressources par l'industrie du PVC en mettant en contact entreprises de recyclage et de transformation pour établir entre elles une relation de confiance et un flux de matière fondé sur un système de certification des matériaux de PVC recyclés (recyclats).

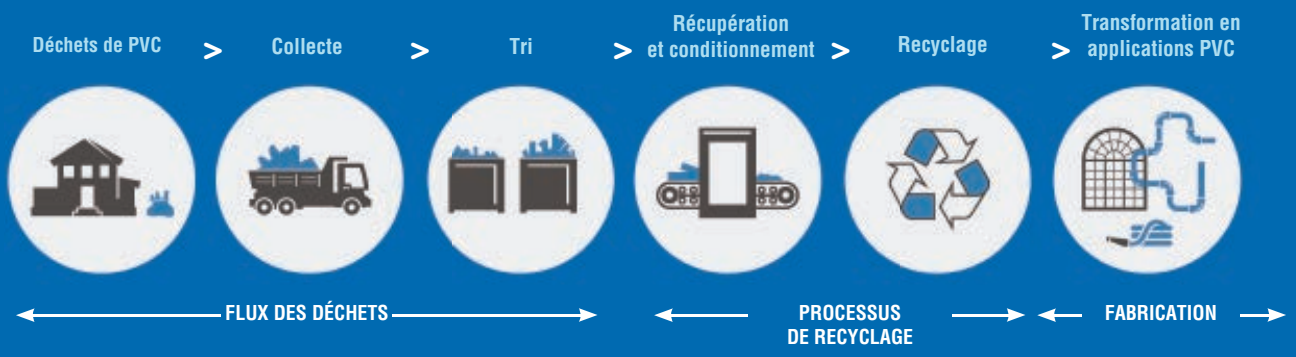
> La mission de Recovinyl s'étend actuellement à l'optimisation d'une utilisation rationnelle des ressources par l'industrie du PVC en tant qu'intermédiaire entre entreprises de recyclage et de transformation

Son but est d'encourager et de certifier l'utilisation de 700 000 tonnes de PVC recyclé en 2020 dans le cadre de l'un des défis établis par l'engagement volontaire VinylPlus.

Après avoir déjà obtenu d'importants volumes de recyclage du PVC, Recovinyl a adopté une nouvelle stratégie consistant à consolider et à accroître la fourniture stable de déchets ménagers et post-industriels de PVC recyclés en Europe en créant une demande de matériau PVC recyclé dans l'industrie de la transformation. Ce concept est connu sous le nom de « stratégie d'appel ».

Recovinyl travaille en partenariat avec les consommateurs, les commerces, les municipalités, les entreprises de traitement des déchets, les recycleurs et les transformateurs, ainsi qu'avec la Commission européenne et les gouvernements nationaux et locaux. L'objectif consiste à certifier les entreprises qui recyclent les déchets de PVC et les entreprises de transformation accréditées qui achètent des recyclats pour fabriquer de nouveaux produits et créer de nouvelles applications.

Sur les 362 076 tonnes de PVC recyclées en Europe en 2012, l'écrasante majorité (354 173 tonnes) a été enregistrée et certifiée par Recovinyl dans son nouveau système comptable.



Méthodes de recyclage du PVC

Résumé

Le recyclage mécanique et le recyclage matière sont les deux options existantes de recyclage des déchets plastiques. Alors que le premier procédé ne brise pas les molécules du polymère en composants plus petits et nécessite des méthodes de tri rigoureuses, le second met généralement en œuvre un traitement thermique du flux de déchets plastiques et convient mieux aux mélanges de plastiques et matériaux composites non triés.

Le recyclage mécanique est utilisé en Europe depuis des décennies. Il englobe deux types de procédés, généralement appelés respectivement technologies « conventionnelles » et « non conventionnelles ». Les technologies conventionnelles consistent à trier et à déchiqueter les flux de déchets en composants séparés, alors que les technologies non conventionnelles font précéder ces étapes d'un traitement ou d'un prétraitement chimique pour éliminer tous les déchets autres que le PVC de flux de déchets plus complexes ou contaminés. Dans les deux cas, les excellentes propriétés thermoplastiques du PVC lui permettent d'être recyclé de nombreuses fois avant de perdre ses performances techniques.

En revanche, le recyclage matière récupère le carbone contenu dans les déchets de PVC à partir de matériaux tels que les composites, trop complexes pour être recyclés mécaniquement. Ce carbone est alors utilisé comme matière première pour la production de produits chimiques. Ces processus produisent également de l'acide chlorhydrique, qui est parfois recyclé en tant que tel ou comme chlorure de calcium. Le recyclage matière englobe trois sortes de processus : la gazéification, la pyrolyse et la déshydrochloration.

En raison de la complexité croissante des flux de déchets, Ces deux méthodes nécessitent une innovation permanente pour soutenir le rythme du défi posé par le développement durable, tandis que les déchets dont le recyclage n'est pas rentable économiquement ni durable écologiquement peuvent être incinérés par des méthodes permettant une récupération d'énergie.

Diverses méthodes sont utilisées en Europe, et de nouvelles sont en cours de développement.

Technologies de recyclage mécanique

Le recyclage mécanique peut être amélioré de quatre manières différentes.

- **Une meilleure séparation des déchets**, voie explorée par NeidHardt Recycling (p. 28) (composites aluminium-PVC), R-Inversatech (p. 30) (technique de battage à haute vitesse), Jutta Hoser (p. 30) (production de tapis plastiques pour sols de serres à partir de films et tissus enduits), Caretta (p. 31) (déchiquetage et granulation) et Texyloop® (p. 31), qui nécessitent la dissolution du PVC pour le séparer des autres flux de déchets.

- **Un meilleur traitement des déchets de PVC mêlés** (recyclage mécanique conventionnel avec fonctions spéciales). Les solutions explorées incluent l'usine de recyclage par broyage cryogénique AgPR (p. 32) en Allemagne et la technologie de Rubber Research Elastomerics consistant à mélanger des déchets de PVC avec des résidus de pneus déchiquetés (p.32).

- La production de **recyclats composites** tels que le béton allégé (p. 33) et les composites bois-PVC (p. 33).

- Le **recyclage amélioré des flux de déchets complexes**, qui comprend le procédé VinyLoop de Solvay (p. 34) (dissolution, filtration et séparation des contaminants).

Technologies de recyclage matière

Les nouvelles technologies sont développées dans deux des trois procédés de recyclage matière.

- Sumitomo Metals (p. 36), Ecoloop (p. 37) et le procédé Ebara (p. 38) parient sur la **gazéification**, une réaction à haute température en présence d'une quantité limitée d'air, d'oxygène ou de vapeur qui transforme le PVC en gaz de synthèse et dioxyde de carbone. À cet effet, Sumitomo utilise des technologies de production du fer et de l'acier pour générer un flux de gaz de synthèse à haute énergie. En Allemagne, Ecoloop génère des gaz de synthèse pour la production de chaux et le procédé Ebara transforme des résidus solides en granulats d'un mâchefer stable qui peut être recyclé.
- **La déshydrochloration** peut être réalisée dans de l'eau ou dans des liquides ioniques. La première option est utilisée par le procédé Redop (p. 39), avant co-injection du produit ainsi obtenu avec du charbon dans un haut fourneau pour produire de la fonte grise, mais également par Alzchem (p. 40), qui cherche à éliminer un maximum de chlore des déchets plastiques par une extrudeuse en amont avant de les introduire dans le réacteur.
  Le procédé exploré par l'Université catholique de Louvain (p.40) en Belgique, lui, favorise la déshydrochloration dans un liquide ionique. Ce dernier procédé permet l'évacuation de l'acide chlorhydrique tout en évitant la formation de sel.

Incinération avec récupération d'énergie et recyclage des matériaux

La récupération de l'acide chlorhydrique et du sel dans les procédés d'incinération permet le recyclage d'une partie du flux de déchets. Dow/BSL (p. 41) utilise un four rotatif depuis 1999 pour récupérer l'acide chlorhydrique et l'énergie des déchets similaires au PVC, de l'huile contaminée, des boues biologiques et des solides dangereux contenant des substances chlorées.

En Allemagne, MVR (p. 42) a été conçu pour récupérer l'acide chlorhydrique à partir de 320 000 tonnes de déchets par an, sous la forme d'une solution aqueuse à 30 %, d'une pureté adaptée au secteur de la chimie.

HALOSEP® (p. 42) et SOLVAir® (p 42), en revanche, permettent la récupération du sel. Le premier procédé produit de la saumure de chlorure de calcium et réduit la quantité des déchets de neutralisation qui doivent être déposés en décharge, alors que le second permet le recyclage et la réutilisation du bicarbonate de sodium utilisé pour neutraliser les gaz provenant de l'incinérateur tout en réduisant les niveaux de résidus produits par le procédé.

Cette section décrit plus en détail chacune des technologies évoquées ci-dessus, avec leur fonctionnement, leurs forces et leurs éventuelles faiblesses.

Recyclage du PVC : quelles sont les options ?

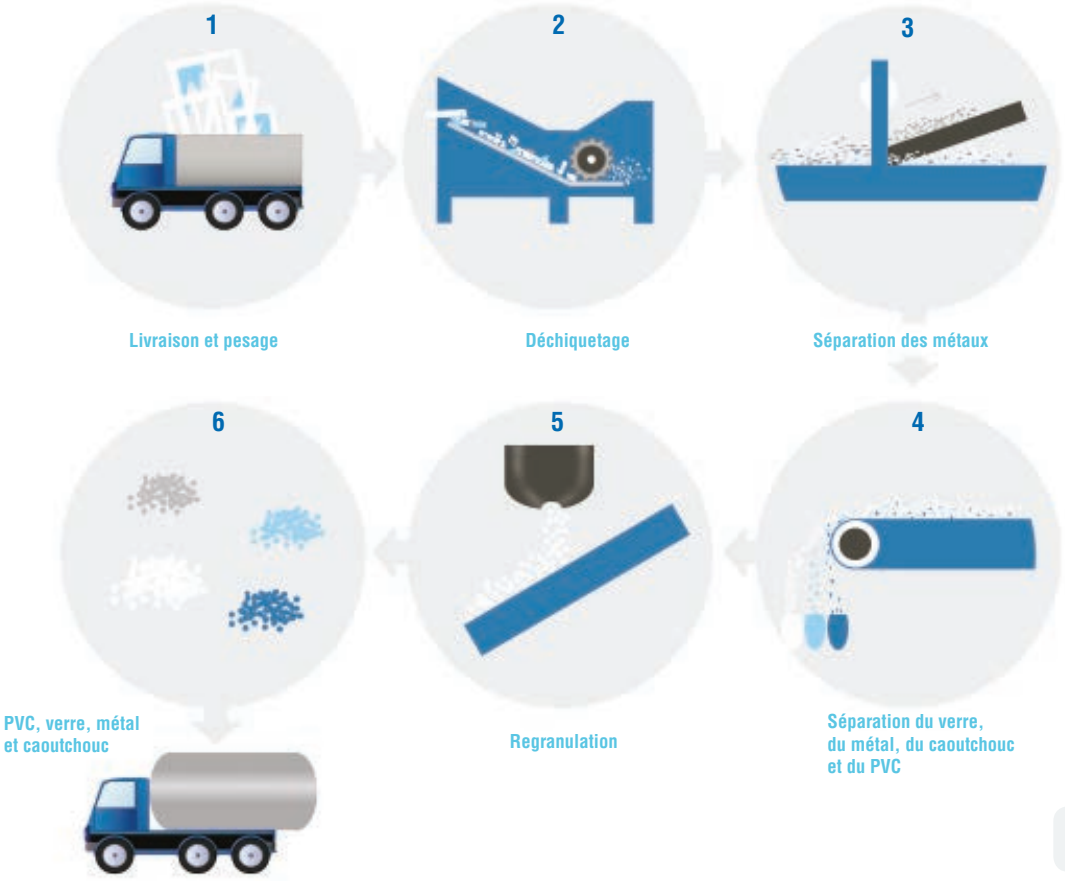
Sous une pression réglementaire de plus en plus forte pour réduire les mises en décharge des plastiques et mue par le désir évident de mettre en œuvre un développement durable, l'industrie ressent toute l'importance d'étendre le périmètre des technologies de recyclage du PVC. Deux options principales existent pour le recyclage des déchets de PVC : le recyclage mécanique et le recyclage matière.

Recyclage mécanique

Le recyclage mécanique recouvre des procédés qui ne brisent pas les chaînes des polymères en petits composants. Il convient bien aux flux de déchets non mêlés et pré-triés. Le recyclage mécanique se divise en deux sous-catégories : les technologies conventionnelles et non conventionnelles.

Les technologies conventionnelles correspondent à des procédés éprouvés qui trient, broient et séparent généralement les composants du flux de déchets pour produire des granulats de PVC recyclé, qui peuvent être utilisés dans la fabrication de nouveaux produits.

Les technologies non conventionnelles correspondent à des procédés de substitution qui font souvent appel à des solvants ou à un prétraitement permettant d'obtenir du PVC à partir de flux de déchets plus difficiles ou complexes.
Le procédé VinyLoop® en est un exemple (voir une description plus détaillée pages 33-34).



Recyclage des cadres de fenêtres en PVC

> Avantages du recyclage mécanique

Dans le cas d'un flux de déchets contenant un seul type de déchet ou produit PVC, il s'agit de l'opération de recyclage la plus pratique et la plus simple. Elle permet le recyclage mécanique du PVC, qui comprend essentiellement le broyage mécanique du matériau pour produire un granulat qui peut être utilisé dans la production de nouveaux produits en PVC.

En raison des excellentes propriétés thermoplastiques du PVC, il peut être chauffé et moulé ou extrudé à de nombreuses reprises pour former de nouveaux produits sans perdre ses performances techniques.

Un degré de pré- ou post-traitement peut être nécessaire pour éliminer les contaminants selon la nature des matériaux des déchets initiaux.

> Des flux de déchets de plus en plus complexes

Avec l'accroissement des volumes de recyclage, les flux de déchets disponibles risquent de devenir plus complexes et de nécessiter de nouveaux procédés et technologies capables de les traiter avec succès.

VinylPlus explore plusieurs développements susceptibles d'améliorer le périmètre du recyclage mécanique conventionnel, notamment :

- Des systèmes originaux ou améliorés de séparation et de détection des déchets tels que
  - Techniques de séparation en milieu dense, utilisant la gravité, l'eau, la saumure ou d'autres milieux denses, appliqués comme support de séparation ;
  - Techniques de séparation faisant appel à l'utilisation de forces centrifuges, appliquées dans des séparateurs centrifuges ou hydrocyclones,
  - Flottation par mousse, c'est-à-dire collecte sélective de résines distinctes après ajout de collecteurs,
  - Séparation électrostatique, après charges corona et tribo-électrique,
  - Identification optique basée sur la spectroscopie moyen IR, proche infrarouge, infrarouge à transformée de Fourier ou ultraviolet et diverses techniques d'identification par laser et rayons X, suivie d'une séparation mécanique ou pneumatique ;
- Recyclage mécanique conventionnel avec fonctions spéciales ;
- Inclusion de déchets PVC dans d'autres matériaux.

Certaines technologies potentielles dans ces domaines sont brièvement décrites à partir de la page 28 de ce document.

Les profilés PVC des fenêtres sont entièrement recyclables

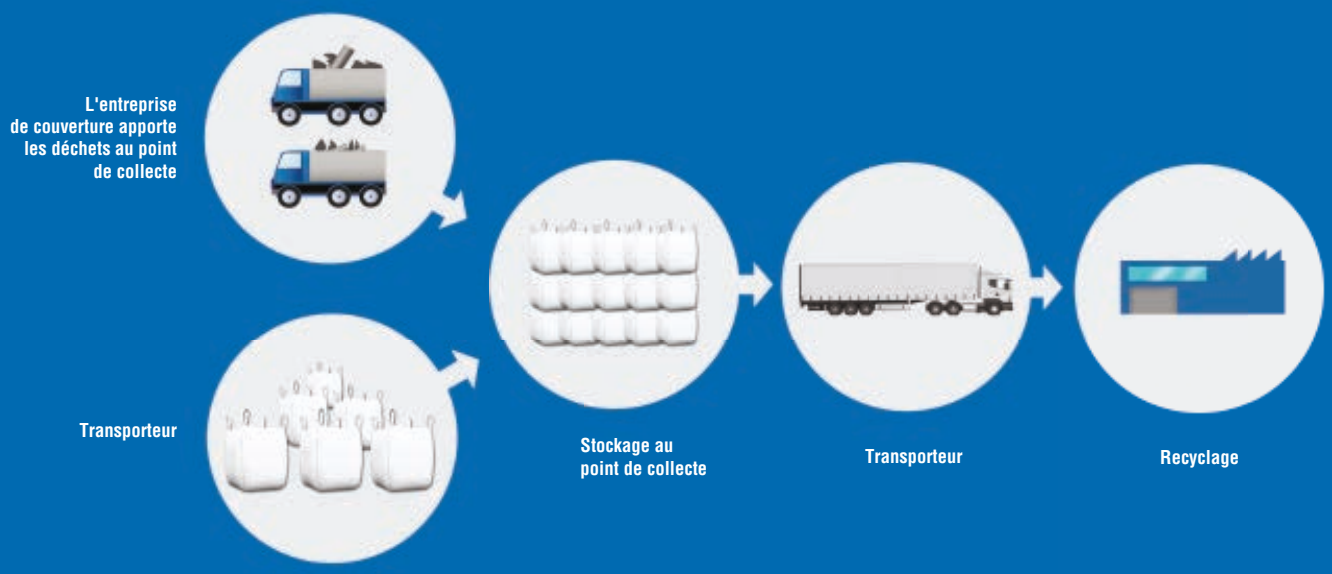
Le matériau recyclé peut être utilisé dans une boucle contrôlée

Recyclage matière

Ce recyclage convient mieux aux mélanges de plastiques non triés et aux flux de déchets contenant des matériaux composites.
Ces procédés incluent généralement un traitement thermique du flux de déchets de PVC avec une récupération du chlorure d'hydrogène qui peut alors être réintégré dans le processus de production du PVC ou utilisé dans d'autres processus.

La partie hydrocarbure du PVC peut être utilisée pour produire des gaz de synthèse (un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone utile pour l'industrie), qui peuvent servir de matière première dans la production de substances chimiques.

Recyclage des couvertures de toit en PVC



Méthodes et technologies de recyclage

Différentes techniques et technologies de recyclage du PVC sont actuellement disponibles ou en cours de développement. VinylPlus se penche sur ces méthodes en fonction du potentiel de viabilité économique de leur recyclage des déchets dits « mêlés et difficiles ».

Recyclage mécanique

Le premier but de VinylPlus consiste à encourager le recyclage mécanique, en prenant en compte la qualité des déchets collectés et les exigences des méthodes de traitement plus poussées et des produits finaux. Les méthodes existantes sont en cours d'amélioration et de nouvelles méthodes en cours de développement à travers toute l'Europe pour obtenir :

- Une meilleure séparation des déchets ;
- Un meilleur traitement des déchets plastiques mêlés ;
- La production de recyclats composites ;
- Un meilleur recyclage des flux de déchets complexes.

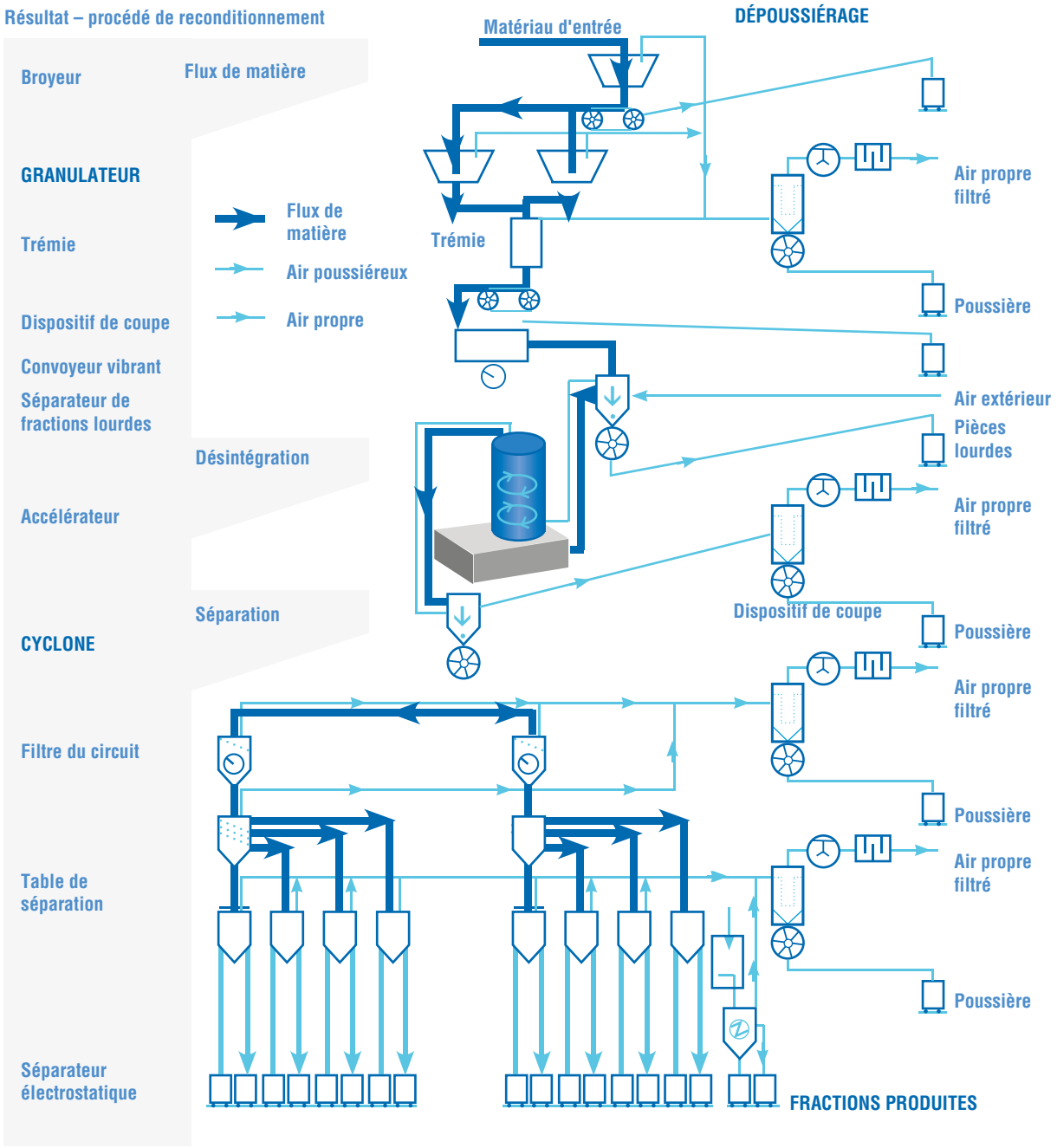
Techniques innovantes ou améliorées de séparation des déchets

Ces techniques pourraient séparer un flux de déchets mêlés ou difficiles dans des flux capables d'être traités par recyclage mécanique conventionnel.

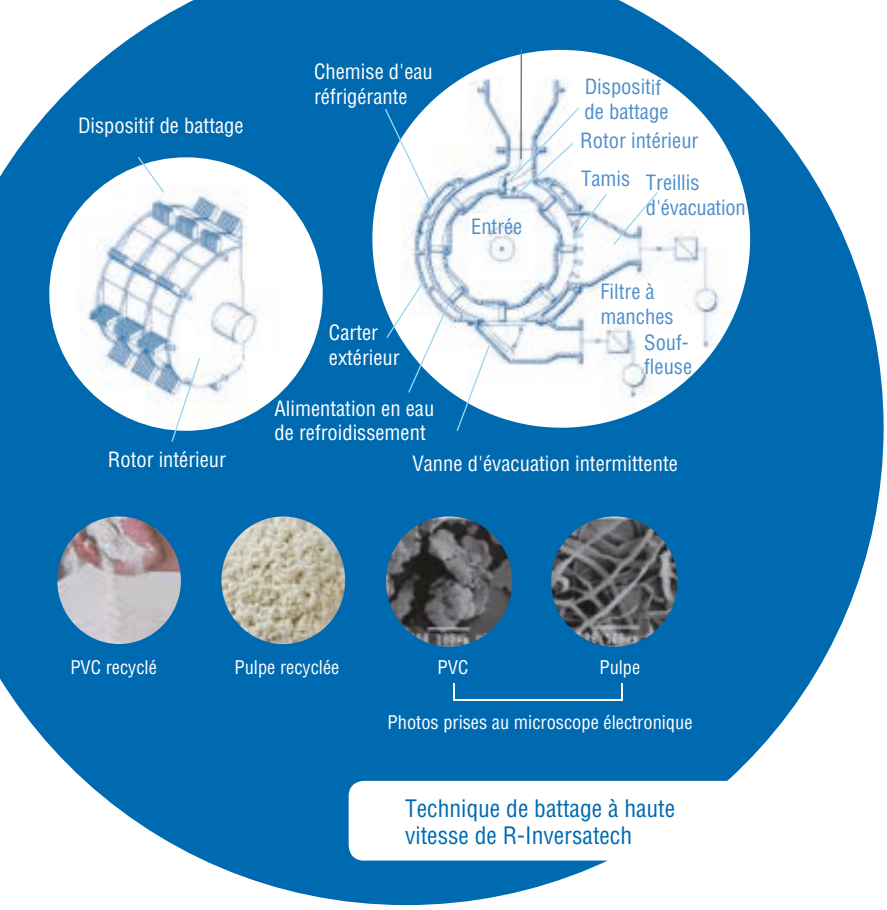
> Neidhardt Recycling GmbH

Le matériau d'entrée est un composite PVC-aluminium utilisé dans les emballages en plaquettes thermoformées. Le composite, fourni dans un flux propre, est déchiqueté en morceaux de 20 mm. Les déchets broyés sont transportés sur un tapis convoyeur vers le rotor d'accélération et finissent dans le courant d'air entre rotor et stator. L'aluminium et le PVC sont séparés (délaminage) par la vitesse de rotation élevée. Le procédé transforme les feuilles d'aluminium en billes alors que le PVC reste plat.

Le mélange délaminé est ensuite tamisé sur 4 tamis successifs pour fournir des fractions de granulométries bien définies respectivement <0,5 mm, comprises entre 0,5 et 0,7 mm et comprises entre 0,7 et 1,0 mm. L'aluminium et le PVC sont alors séparés par un dispositif électrostatique. La fraction de PVC est fournie aux transformateurs de PVC fabriquant des produits tels que tuyaux, séparateurs, etc. L'aluminium et également recyclé dans des fonderies ou pour des applications spéciales.



Résultat de la technique de séparation



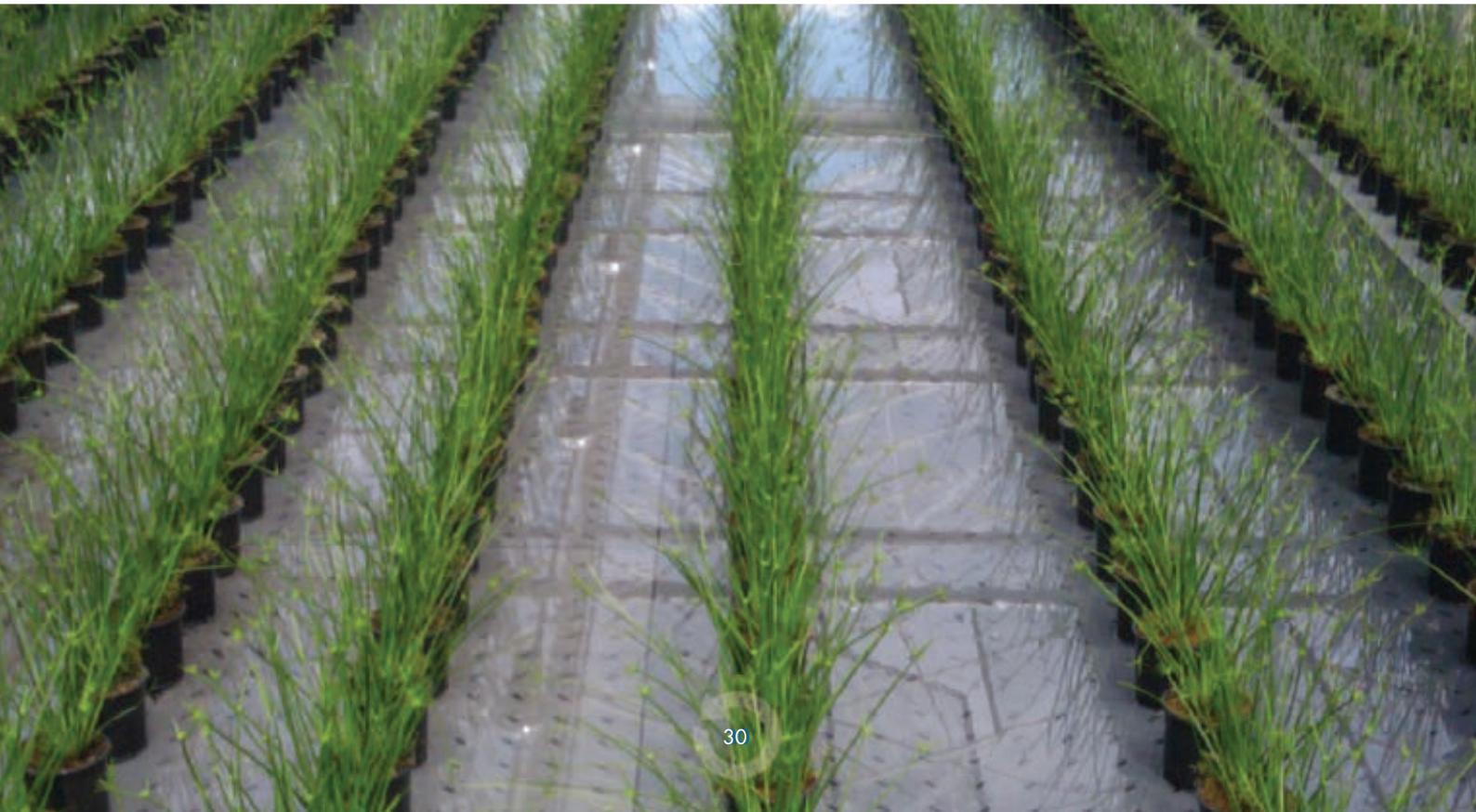
> R-Inversatech

Cette technologie japonaise sépare les fibres du PVC dans des déchets tels que les bâches, à l'aide d'une technique de battage à haute vitesse. Les fibres peuvent trouver une application potentielle dans l'isolation thermique et/ou acoustique. L'autre extrant est un recyclat PVC en granulé destiné à une gamme étendue d'applications de PVC souple.

> Jutta Hoser

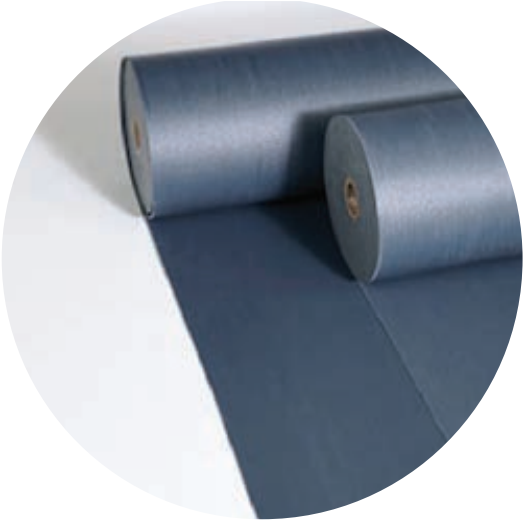
Jutta Hoser produit des tapis en plastique pour le revêtement de sol des serres avec du PVC recyclé à partir de films composites, films plastifiés et tissus enduits. Le tapis comporte des trous de drainage permettant aux plantes d'être irriguées par dessous. Lorsque le processus est achevé, l'eau est drainée de nouveau, laissant une surface de travail propre.

La capacité d'isolation thermique du tapis apporte un degré de protection contre le gel des plantes dans leurs conteneurs. Le revêtement de sol permet le passage de petits engins et il se nettoie facilement.



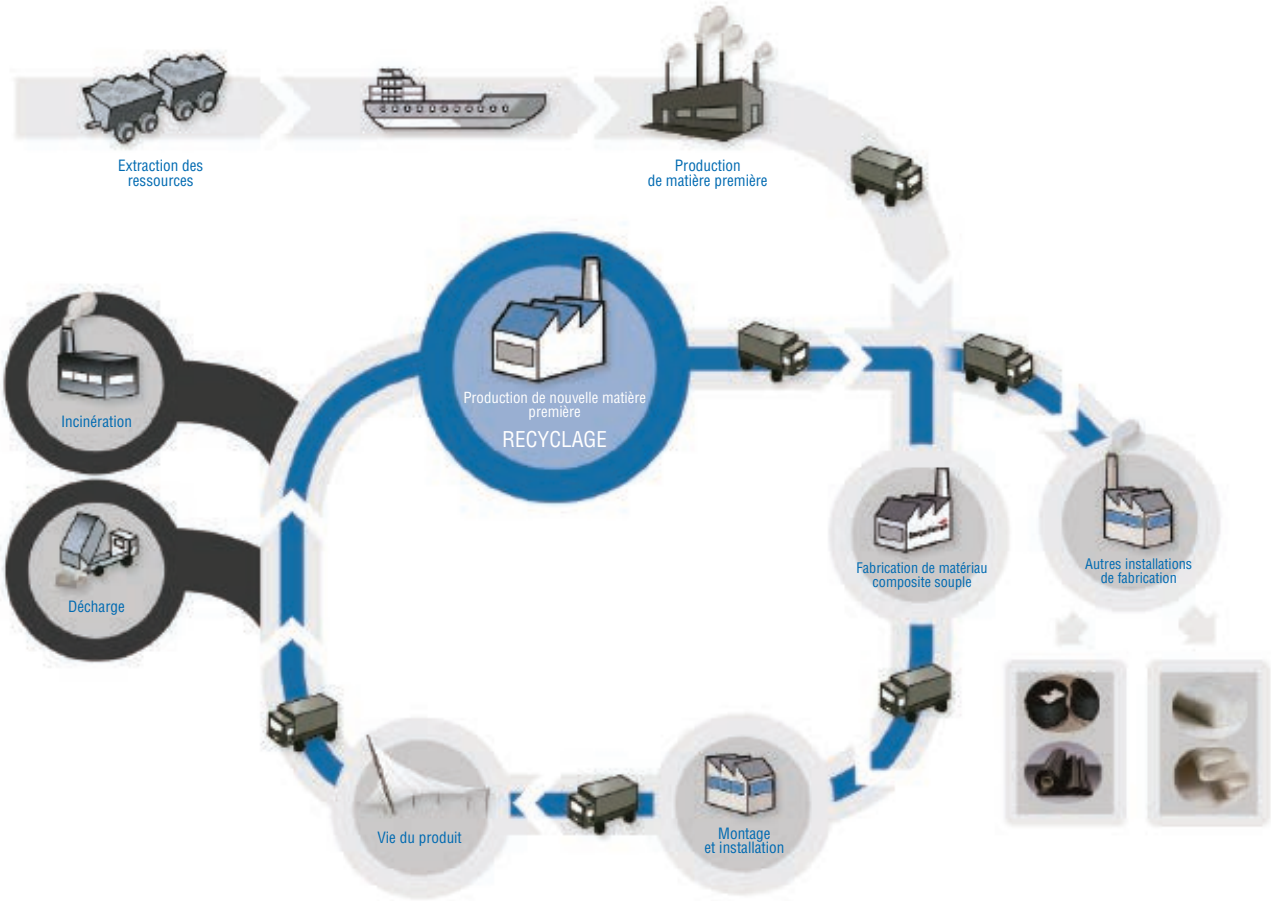
> Caretta

Hemawe/Caretta est une entreprise de recyclage qui a installé son propre équipement de recyclage dans une usine à proximité d'Erfurt en Allemagne. Elle a développé une technique séparant les étoffes et tissus, etc., des feuilles de PVC. Les matériaux recyclables revêtus de molleton, d'étoffe ou de textiles sont introduits dans un broyeur et découpées en morceaux d'environ 4 à 6 cm de long. Les pièces broyées sont alors réduites en granulés et tamisées pour séparer les fibres. Le PVC est utilisé pour fabriquer des barrières d'étanchéité, des feuilles d'isolant acoustique et des tapis insonorisants pour l'isolation des canalisations.



> Texyloop®

Ce module de traitement est une extension de l'installation VinyLoop (voir ci-dessous). Il traite les tissus enduits en vue du recyclage du PVC et des fibres de polyester. La partie VinyLoop dissout le PVC, permettant la séparation des fibres, qui sont récupérées par le module Texyloop. Le PVC poursuit son traitement dans l'usine VinyLoop. Un module d'une capacité annuelle de 2 000 tonnes est installé dans l'usine VinyLoop Ferrara en Italie.



Le processus Texyloop

Recyclage mécanique conventionnel avec fonctions spéciales

Il s'agit d'un exemple caractéristique des procédés de recyclage mécanique (dans lesquels les chaînes de PVC ne sont pas brisées) auxquels sont ajoutés certaines fonctions.

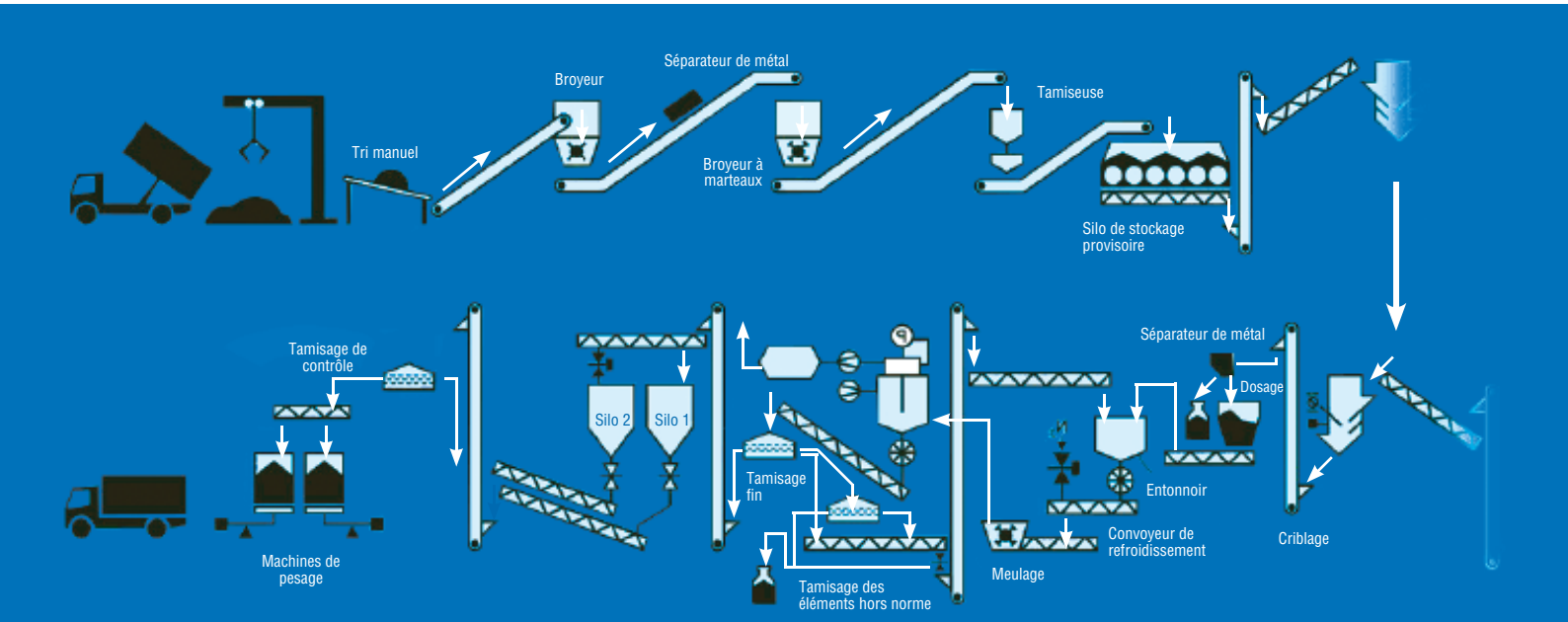
Production d'objets massifs à partir de déchets plastiques mêlés : les déchets plastiques mêlés sont traités par des techniques conventionnelles comme l'extrusion ou le moulage en objets à parois épaisses.

L'épaisseur est nécessaire parce que le mélange de plastiques variés réduit généralement les propriétés mécaniques de l'ensemble. Les produits typiques sont les semelles de chaussures et le mobilier urbain (bancs publics, par exemple), les aménagements de circulation et feux de signalisation, etc.

> Procédé AgPR de recyclage des revêtements de sol

L'usine de recyclage par broyage cryogénique d'AgPR à Troisdorf (Allemagne) a été construite en 1993 et mise en service en 1994.

Sa capacité théorique de production est d'environ 4000 tonnes/an.



Le procédé AgPR

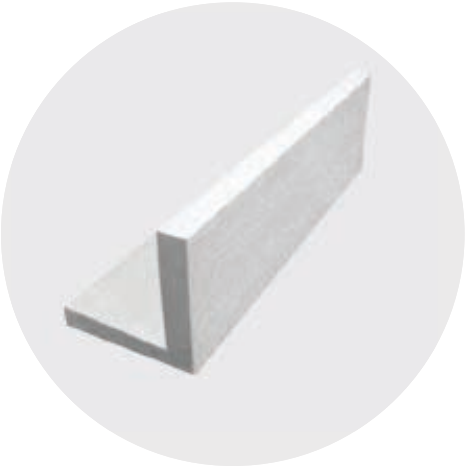
> Rubber Research Elastomerics

Aux États-Unis, cette société utilise une technologie brevetée pour mélanger les déchets de PVC (rebuts de bâches et de câbles) avec des résidus de pneus combinés à un caoutchouc compatibilisant. Les mélanges 50/50 génèrent des produits plus durs et pourraient peut-être remplacer le bois dans certaines applications de construction.

Inclusion dans d'autres matériaux (non plastiques)

> Béton allégé

Les déchets de PVC sont mélangés à du béton pour en réduire la densité. Ce « béton allégé » est actuellement fabriqué avec du polystyrène. Les applications incluent des éléments non structurels tels que des toits, des murs d'isolation et des dalles recouvrant des caniveaux.
Les essais réalisés avec des déchets de PVC ont été prometteurs, bien que les déchets souples n'aient pas réussi à satisfaire aux rigoureux essais de migration. Cette option offre néanmoins l'avantage de pouvoir être appliquée dans plusieurs petites usines.



> Composites bois-PVC

Les bois composites sont en train de trouver leur place sur le marché du bois de terrasse. Des sociétés américaines explorent d'autres applications, comme le bois d'œuvre structurel et de bardage, et on affirme même que certains éléments de construction contiendraient 95 % de contenu recyclé, y compris du bois recyclé, de la sciure et des plastiques. Jusqu'à présent, les principaux plastiques recyclés dans cette application sont le PE et le PP, bien que des essais aient également eu lieu avec du PVC.

Recyclage mécanique non conventionnel

Comparées au recyclage mécanique conventionnel, les méthodes non conventionnelles sont souvent plus complexes et ont été développées pour faire face à des produits de PVC plus difficiles à recycler en fin de vie. Il s'agit souvent de matériaux composites ou trop contaminés pour convenir au recyclage conventionnel.

Parmi ces flux de déchets figurent par exemple les câbles de PVC dans lesquels le PVC pourrait être contaminé par du cuivre, ou des bâches dans lesquelles le PVC est combiné à de la fibre de polyester.

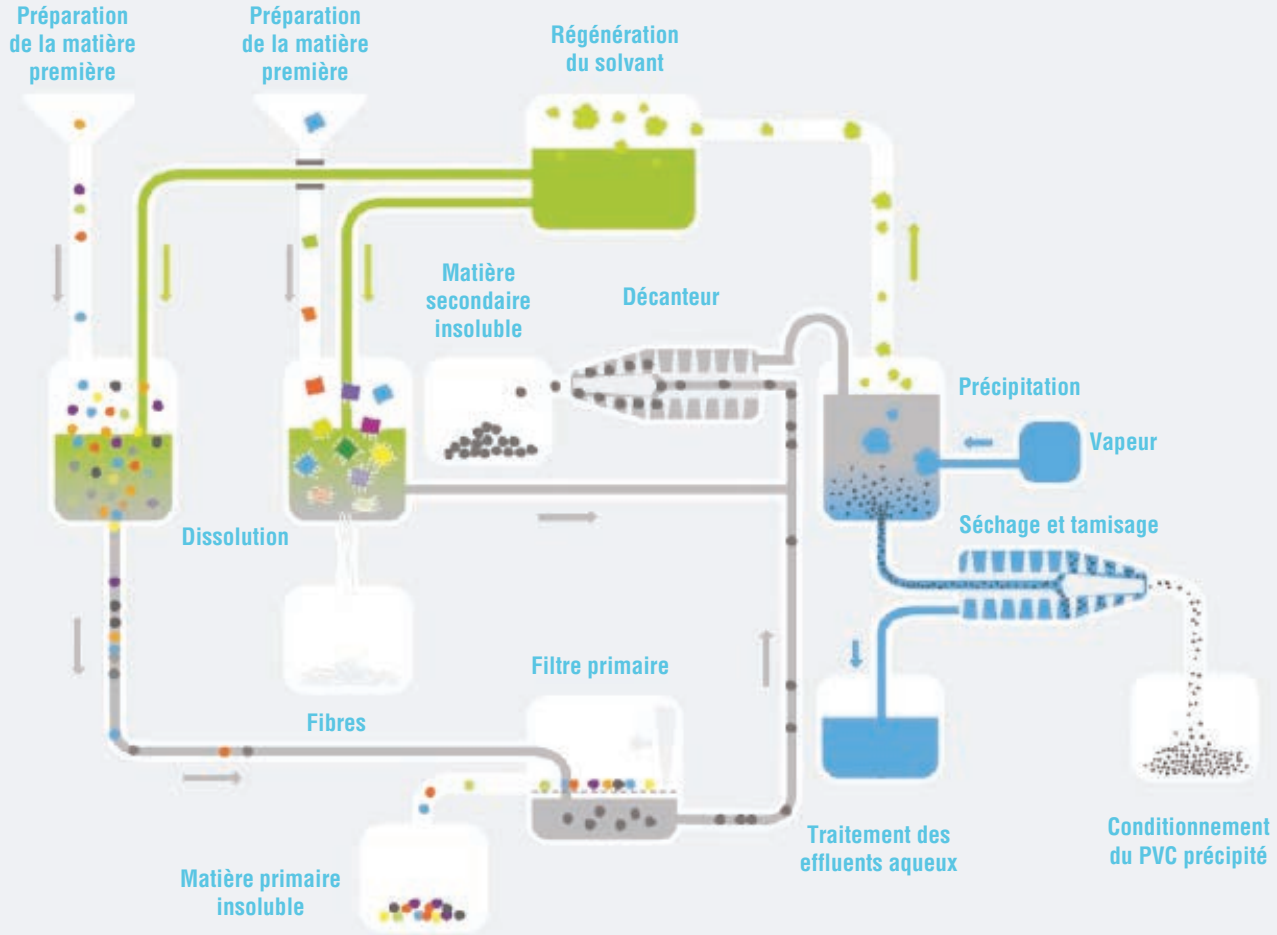
Pour VinylPlus, la recherche dans ce domaine revêt une grande importance pour trouver des solutions durables concernant l'éco-efficacité de ces déchets composites de PVC. Cet élément est capital pour atteindre en 2020 l'objectif de recyclage annuel de 100 000 tonnes de produits PVC.

La technologie la plus prometteuse dans ce domaine est sans aucun doute VinyLoop®, un procédé développé à l'échelle industrielle (voir ci-dessous). D'autres technologies qui, comme Poly-Tec, consistent à ramollir le PVC avant de le séparer, n'en sont encore qu'à un stade précoce de développement.

En fait, ces procédés entrent encore dans la catégorie du recyclage mécanique, parce que les molécules de PVC ne sont pas brisées, mais le PVC est séparé par des moyens similaires à ceux utilisés dans l'industrie chimique.

> VinyLoop®

Ce procédé breveté est développé par le groupe Solvay. Il sépare le PVC des autres matériaux par un processus de dissolution, filtration et séparation des contaminants. Un solvant est utilisé en boucle fermée pour dissoudre le PVC dans les déchets. Il est ainsi possible de recycler les déchets de PVC à partir de matériaux composites et de récupérer le solvant, comme indiqué ci-dessous :



Le procédé Vinyloop

Le procédé comprend cinq étapes de principe :

1. Prétraitement

Les déchets plastiques sont nettoyés, broyés et mélangés.

2. Dissolution

Un solvant spécifique est utilisé pour dissoudre de façon sélective le composé de PVC dans une boucle fermée – le solvant est régénéré en permanence.

3. Filtration et décantation

Les impuretés ne sont pas dissoutes. Elles sont séparées par une filtration primaire, suivie d'une décantation centrifuge. Après la séparation, les matériaux secondaires sont lavés avec du solvant pur pour dissoudre tous les composés de PVC restants.

4. Précipitation du PVC régénéré

Le PVC en solution est récupéré dans un bassin de précipitation, dans lequel de la vapeur est injectée pour faire évaporer le solvant et précipiter le PVC.

5. Séchage

Après récupération de l'excès d'eau des effluents, le PVC humide est introduit dans une sécheuse.

Le composé de PVC précipite sous forme de microgranulés. Les applications possibles de ce PVC recyclé incluent les revêtements des membranes d'étanchéité, les bâches de bassin, les semelles de chaussures, les tuyaux flexibles, les tunnels à parois moulées, les tissus enduits et les feuilles de PVC. Fonctionnant à une échelle pleinement industrielle, l'usine commerciale de Ferrara en Italie peut traiter 10 000 tonnes de rebuts de PVC par an.

Recyclage matière

Les procédés de recyclage matière récupèrent le carbone du PVC sous la forme d'éléments à faible poids moléculaire (ou de molécules organiques à faible poids moléculaire) qui peuvent être utilisés comme matière première dans les processus chimiques. Certaines procédures permettent également de récupérer le chlorure d'hydrogène (HCl) ou un sel neutralisé.

Trois classes de procédés sont à considérer, malgré un certain chevauchement entre ces catégories :

- La gazéification
- La pyrolyse
- La déshydrochloration

1. La gazéification

La gazéification est une réaction à haute température en présence de quantités limitées d'air, d'oxygène ou de vapeur. Une partie des déchets de PVC est convertie en dioxyde de carbone et le reste en gaz de synthèse, utilisé pour produire des substances chimiques comme le méthanol, l'ammoniac et les oxo-aldéhydes ou des carburants.

Ce procédé a pour avantage de libérer presque entièrement le chlore sous forme d'HCl soluble dans l'eau, facile à retirer et à récupérer.

La gazéification a été appliquée commercialement avec succès dans de grandes usines de traitement du charbon (Sasol en Afrique du Sud) ou de déchets plastiques mêlés, comme Ebara Ube Industries Processes (EUP) au Japon.

Le procédé nécessite de hautes pressions et de hautes températures, et donc des investissements importants et une rentabilité d'exploitation à grande échelle.

> Sumitomo Metals, Japon

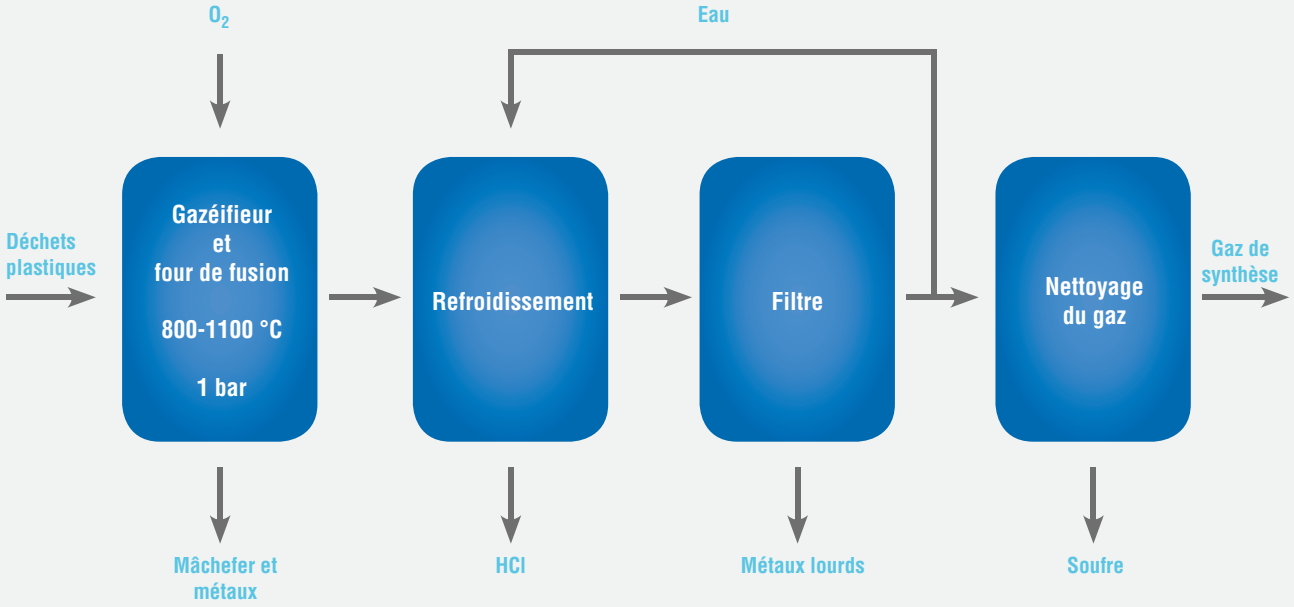
Le procédé Sumitomo est un système de gazéification des déchets et de fusion des cendres secondaires destiné aux déchets plastiques et faisant appel à des technologies de production du fer et de l'acier. Il est capable de traiter à la fois les déchets plastiques mêlés et les déchets de PVC pur.

Le gazéifieur consiste en un lit à garnissage (« lit fixe ») à 2000 °C et d'un lit fluidisé en haut du réacteur à une température comprise entre 800 et 1100 °C. Le réacteur fonctionne à une pression proche de la pression atmosphérique sous atmosphère réductrice pour éviter la formation de dioxines ou de furanes. Le résidu cendreux présent dans le gazéifieur est fondu dans le four de fusion et retiré en bas du gazéifieur. Le four est équipé de lances de soufflage à oxygène en haut et sur les côtés pour assurer une température locale supérieure à 2000 °C.

Pour la stabilité de l'opération, les déchets plastiques à faible pouvoir calorifique nécessitent l'ajout de coke ou de bois comme source de carbone. Or les déchets de PVC ont un faible pouvoir calorifique et nécessitent donc davantage de coke que les autres déchets plastiques (7 à 10 % pour le PVC).

Un flux de gaz de synthèse est généré pour être utilisé dans des processus chimiques. Le mâchefer formé dans le réacteur peut être utilisé dans la construction des routes et le chlore est récupéré sous forme d'HCl ou de $CaCl_2$. Le taux de récupération d'énergie est > 70 %.

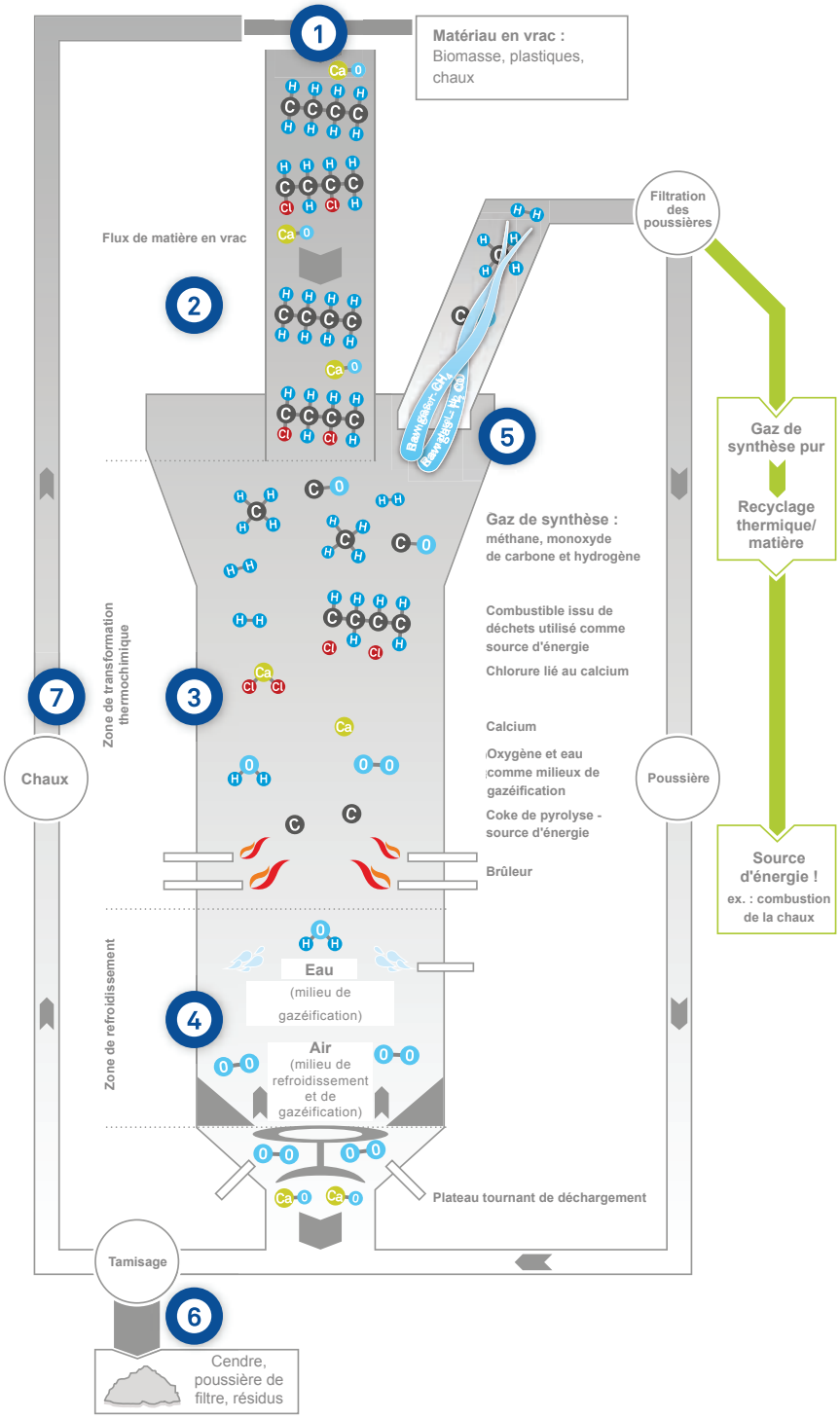
Usine Sumitomo Metals au Japon



Le procédé Sumitomo Metals

> Ecoloop, Allemagne

Cette usine située à Goslar en Allemagne produit du gaz de synthèse à partir de déchets, elle peut traiter 40 000 tonnes de déchets entrants (plastiques et biomasse), et accepte également les déchets chlorés. Elle produit du gaz de synthèse, actuellement utilisé pour générer de l'énergie dans la production de chaux, ainsi que du chlorure de calcium, mais elle pourrait également être utilisée pour produire des substances chimiques. L'usine est entrée en production en 2012.



Le procédé Ecoloop

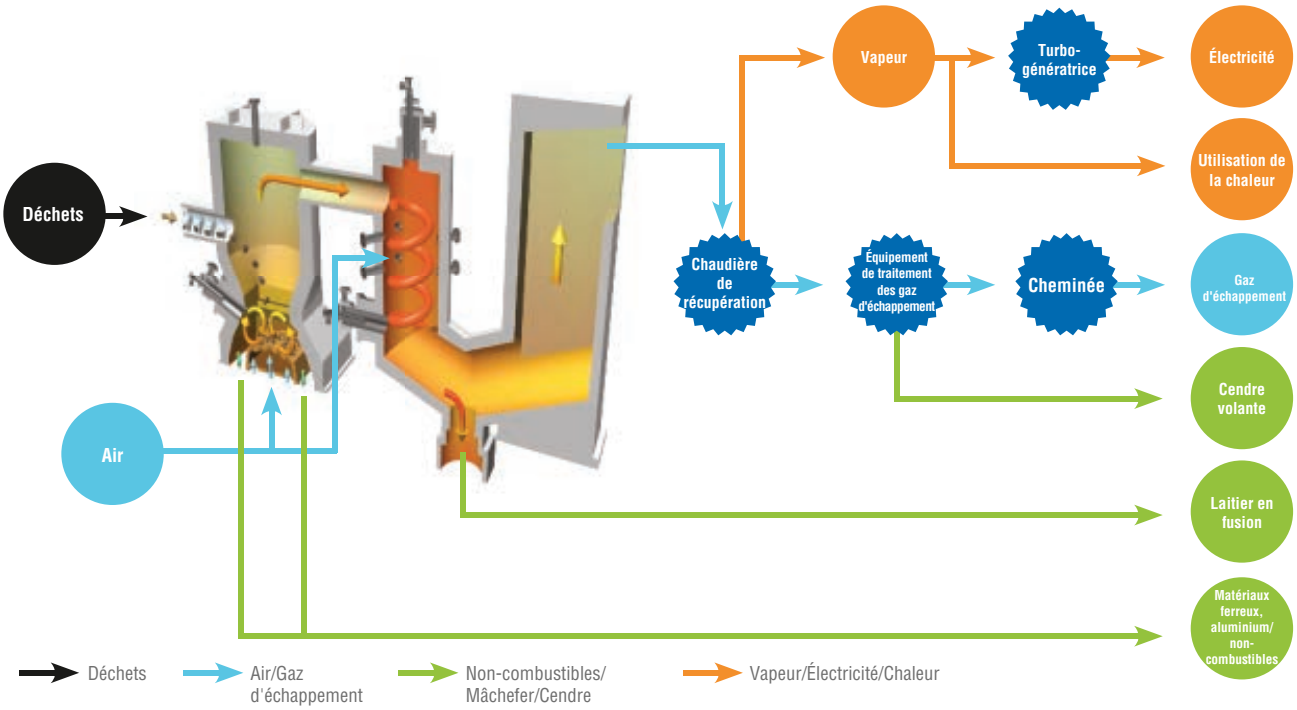
> Procédé Ebara, Japon

Le procédé de gazéification d'Ebara, connu sous le nom de « Gazéifieur à double lit fluidisé à rotation interne », est combiné avec sa technologie éprouvée de fusion des cendres, le procédé « Meltox ». Ce procédé, connu sous le sigle EUP (Ebara-Ube Process), fait appel à une chambre de combustion cyclonique qui transforme les résidus solides en un granulat de mâchefer stable qui peut être recyclé.

La gazéification à basse température a lieu entre 600 et 800 °C et une gazéification secondaire à haute température est effectuée à 1350 °C. Les deux réacteurs fonctionnent à environ 10 bars. Le procédé est développé pour traiter les déchets plastiques mêlés, avec une limite de chlore de 5 %, bien qu'il puisse probablement accepter des teneurs supérieures avec certaines adaptations de sa conception. Pour l'instant, ce procédé ne peut traiter le PVC pur.

Deux installations industrielles fonctionnent actuellement au Japon. Les gaz de synthèse produits peuvent également être utilisés dans d'autres applications, y compris le méthanol, l'H_2, les piles à combustible, mais également pour la production d'énergie. Le chlore est récupéré sous forme de $NH_4Cl(s)$, utilisé comme engrais.

Système TIGF de gazéification sur lit fluidisé et de fusion des cendres



Le procédé Ebara

2. La pyrolyse

La pyrolyse est une décomposition à haute température, normalement en l'absence d'air ou d'oxygène, produisant un résidu de carbone ou d'hydrocarbures lourds. Ce procédé sert à transformer des plastiques non halogénés, mais la présence de chlore pose des problèmes spécifiques.
Il n'existe actuellement pas d'exemples de ces procédés en Europe.

3. La déshydrochloration

Cette méthode recouvre des procédés de dégradation ménagée éliminant le chlore dans une première étape, qui peut être suivie d'une gazéification ou d'une pyrolyse.

La déshydrochloration peut avoir lieu sous pression dans l'eau, dans des liquides ioniques à point d'ébullition élevé ou dans des procédés secs tels que la fusion, ou par hydrogénation.

3.1 Déshydrochloration dans l'eau

> Procédé REDOP

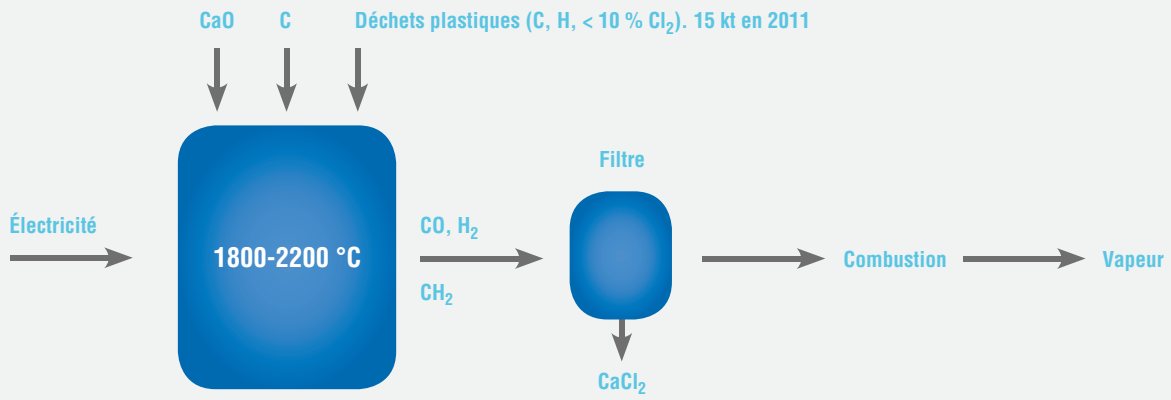
Le procédé REDOP s'adresse à la fraction plastiques mêlés des déchets ménagers, qui contient généralement environ 1 % de chlore, dans une plage comprise entre 0,5 et 5,0 %m.
Il comprend les étapes suivantes :

- Post-séparation du plastique et du papier dans les déchets ménagers solides ;
- Séparation de la fraction plastiques mêlés de la fraction papier ;
- Déchloration de la fraction plastiques mêlés ;
- Co-injection (avec du charbon) dans un haut fourneau pour produire de la fonte grise.

L'étape de déchloration présente un intérêt particulier, avec un procédé original breveté par l'entreprise chimique DSM. Les déchets plastiques mêlés sont chauffés en discontinu dans un réacteur à agitation. Les produits de dégradation de la cellulose encore présents jouent un rôle d'émulsifiant qui contribue à stabiliser la boue. L'HCl libéré est neutralisé par l'ajout d'une base soluble en solution aqueuse. Les plastiques autres que le PVC sont fondus en gouttelettes. Lorsque le réacteur est refroidi, les gouttelettes de plastique se solidifient et produisent des granulés qu'il suffit de filtrer, de laver et de sécher.

> Alzchem, Allemagne

Avec une capacité de production de 150 000 tonnes de carbure de calcium par an, l'usine s'efforce d'utiliser le plus possible de déchets plastiques. Un projet pilote est en cours pour éliminer le maximum de chlore avant introduction dans le réacteur, à l'aide d'une extrudeuse fonctionnant à des températures capables de dégrader le PVC. Le chlorure d'hydrogène ainsi produit peut être vendu en solution aqueuse.



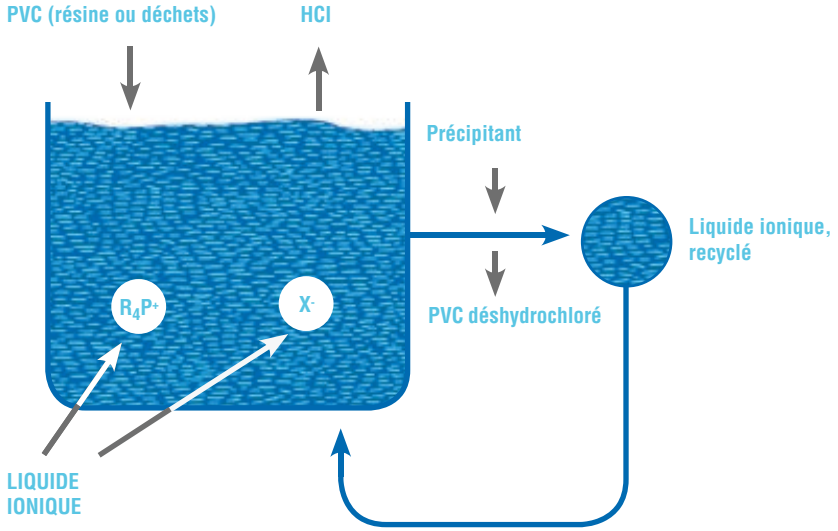
Le procédé Alzchem

3.1 Déshydrochloration dans des liquides ioniques

> Université catholique de Louvain, Belgique

Une équipe de l'Université catholique de Louvain en Belgique étudie actuellement la déshydrochloration du PVC dans des milieux liquides ioniques. Ces liquides sont essentiellement non volatiles même à des températures élevées (250 °C et plus).

L'HCl peut ainsi être évacué par vide ou par un flux de gaz, ce qui évite la formation de sel par réaction de l'HCl avec la soude caustique. Le PVC déshydrochloré devrait précipiter.



Le procédé de l'Université catholique de Louvain

Incinération avec récupération d'énergie et recyclage des matériaux

Les incinérateurs de déchets solides normaux à récupération d'énergie peuvent tolérer jusqu'à 1 % de chlore. Mais ces procédés ne sont pas acceptés en recyclage par la réglementation sur les déchets. Si l'HCl et/ou ses sels neutralisés sont récupérés et utilisés, on peut parler de recyclage partiel.

Trois procédés sont mis en valeur ici :

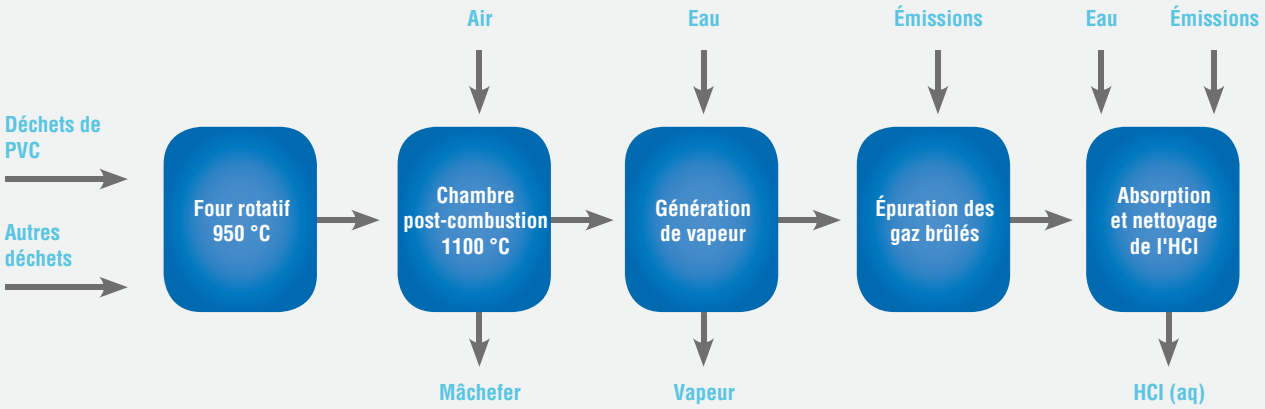
1. Récupération de l'HCl

> Dow/BSL, Allemagne

En production depuis 1999, cette usine de Schkopau (Allemagne) qui fonctionne à échelle pleinement industrielle utilise des déchets mêlés. Des essais avec des déchets de PVC ont été conduits avec succès entre janvier et mars 2000, puis entre juillet 2002 et avril 2003. Le procédé peut traiter des déchets de PVC mêlés, de l'huile contaminée, des boues biologiques et des solides dangereux contenant des substances chlorées. Il récupère de l'HCl et de l'énergie. L'usine peut traiter 45 000 tonnes de déchets par an. Le procédé est illustré ci-dessous.

En moyenne, 90 % du chlore contenu dans le PVC est récupéré sous forme de 20 % d'HCl (aqueux). La qualité de l'HCl entre dans les spécifications d'utilisation de l'usine installée sur le site pour exploiter le procédé chlore-alcali d'électrolyse à membrane. Le pouvoir calorifique des déchets de PVC est inférieur à celui des autres plastiques en raison de la teneur élevée en chlore.

Pour traiter les déchets de PVC dans le four rotatif, d'autres déchets à valeur calorifique élevée sont ajoutés pour favoriser la combustion. Une récupération d'énergie totale de 50 % est obtenue pour le PVC.



Le procédé Dow/BSL

> MVR, Allemagne

MVR (Müllverwertungsanlage Rugenberger Damm) est une usine de récupération d'énergie de pointe qui traite 320 000 tonnes/an et appartient à la ville de Hambourg. Elle est conçue pour traiter des niveaux d'acide chlorhydrique contenu dans le gaz naturel beaucoup plus élevés que dans la plupart des usines conventionnelles, ce qui offre une plus grande flexibilité dans le traitement des déchets. L'acide chlorhydrique est récupéré sous forme de solution aqueuse à 30%, à un niveau de pureté adapté au secteur de la chimie.

Les essais réalisés en ajoutant des déchets de PVC (500 tonnes en cinq semaines) se sont avérés extrêmement positifs. Aucune modification n'a été observée dans la composition des scories ou des cendres volantes, et la génération des vapeurs n'a pas été affectée. La production d'acide chlorhydrique a augmenté en proportion des déchets de PVC ajoutés et le niveau de dioxines présentes dans les effluents gazeux est resté extrêmement bas, bien inférieure aux limites réglementaires.

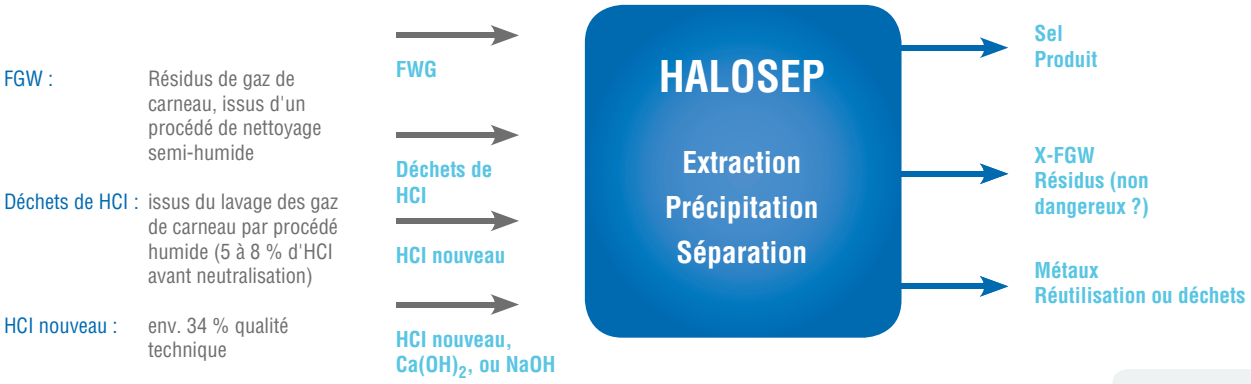
2. Récupération de sel

> HALOSEP®

Le procédé HALOSEP® récupère le chlore sous forme de sels provenant des résidus d'incinération, tels que ceux obtenus par traitement des résidus de gaz de carneau (FG et des liquides de lavage d'HCl (HCSL). Outre la récupération du chlore, le principal avantage de ce procédé est la réduction du montant de résidus de gaz de carneau qui doivent être mis en décharge. Le produit principal obtenu est une saumure de chlorure de calcium.

Des essais pilotes ont été réalisés avec succès et le procédé poursuivra son développement en vue d'une cession sous licence de la technologie ou de la construction d'usines de récupération.

Le procédé est représenté par le schéma ci-dessous :



Le procédé HALOSEP

> La solution SOLVAir®

Dans les usines de valorisation énergétique des déchets, les incinérateurs de déchets ménagers et médicaux, les fours à ciment, les usines d'argile à brique et de poterie de bâtiment, le chlore présent dans la source de combustible est converti en HCl pendant la combustion. Les gaz acides peuvent être neutralisés par du bicarbonate de sodium.

Le chlorure de sodium ainsi obtenu est récupéré par filtration, dissous dans l'eau, purifié et recyclé en carbonate de sodium. Le procédé s'effectuant entièrement à sec, il ne génère aucun effluent aqueux à traiter. La quantité de résidus de neutralisation en est ainsi sensiblement réduite.

Pour plus d'informations

Organisations

VinylPlus
Avenue E. Van Nieuwenhuyse 4/3
1160 Bruxelles
Belgique
Tél. : +32 2 676 7446
E-mail : info@vinylplus.eu
www.vinylplus.eu

Recovinyl
Avenue de Cortenbergh 71
1000 Bruxelles
Belgique
Tél. : +32 2 742 9682
E-mail : info@recovinyl.com
www.recovinyl.com

Certification EuCertPlast
www.eucertplast.eu

Publications

Rapport d'avancement VinylPlus 2013
http://www.vinylplus.eu/publications/70/59/Progress-Report-2013

Technologies sélectionnées

Vinyloop
www.vinyloop.com

Ecoloop
www.ecoloop.eu

AlzChem
www.alzchem.com

Caretta GmbH
www.caretta-folie.de

Glossaire

$CaCl_2$	Chlorure de calcium
ECVM	Conseil européen des producteurs de vinyle
UE	Union européenne
HCl	Chlorure d'hydrogène
kT	kilotonne
ACV	Analyse du cycle de vie
NH4Cl	Chlorure d'ammonium
PE	Polyéthylène
PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de vinyle
REACH	Règlement de l'Union européenne sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques
R-PVC	PVC recyclé
FDS(-R)	Fiche de données de sécurité (pour les recyclats)
PME	Petites et moyennes entreprises
SHVC	Substances extrêmement préoccupantes (Substances of Very High Concern)
Gaz de synthèse	Mélange d'hydrogène, de monoxyde et dioxyde de carbone comportant également du méthane et de l'azote)

TECHNOLOGIES ÉMERGENTES DE RECY

Innovation ou amélioration dans la séparation des déchets

TEXYLOOP

- **DESCRIPTION**: Séparation du PVC des tissus enduits par dissolution sélective (Vinyloop)
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage
- **POTENTIEL (KT/AN)**: 2 kt/an
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Technologie existante
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Élevé
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Élevée

R INVERSATECH

- **DESCRIPTION**: Séparation du PVC de papiers peints et de bâches par battage à haute vitesse
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage
- **POTENTIEL (KT/AN)**
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Exploitée industriellement
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Inconnu
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**

CARETTA GMBH

- **DESCRIPTION**: Séparation du PVC de stratifiés ou de tissus enduits
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage
- **POTENTIEL (KT/AN)**
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Exploitée industriellement
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**

Inclusion dans d'autres matériaux

BÉTON ALLÉGÉ

- **DESCRIPTION**: Mélange de déchets de PVC à du béton pour en réduire la densité dans les applications non structurelles : toitures légères, isolation acoustique, etc.
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (en principe)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: ?important ?
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Éprouvé à l'échelle de l'installation pilote
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Env. 65 /t pour le prétraitement du PVC. Coûts de production faibles.
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible

COMPOSITES BOIS-PVC POUR TERRASSES ET CLÔTURES

- **DESCRIPTION**: Mélange de fibres de bois avec du plastique
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**
- **POTENTIEL (KT/AN)**: 50
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Réalisée en projet pilote avec le PVC
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Non disponible
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Moyenne

Recyclage mécanique non conventionnel

POLY-TEC

DESCRIPTION
Le PVC est ramolli avant séparation

ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS
Recyclage

POTENTIEL (KT/AN)

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE
Usine pilote

COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)

VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT

VINYLOOP

DESCRIPTION
Dissolution sélective du PVC, suivie d'une précipitation

ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS
Recyclage

POTENTIEL (KT/AN)
>100 kt/an

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE
Exploitée industriellement

COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)
Relativement élevé, mais compensé par la forte valeur du matériau produit

VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT
Élevée

Recyclage mécanique conventionnel avec fonctions spéciales

AGPR

DESCRIPTION
Broyage cryogénique et recyclage des revêtements de sol en PVC

ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS
Recyclage

POTENTIEL (KT/AN)

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE
Technologie existante

COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)
Moyen

VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT

ENVIROGEN

DESCRIPTION
Recyclage par mélange de caoutchouc et de déchets de PVC par « repolymérisation de surface »

ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS
Recyclage

POTENTIEL (KT/AN)

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE
Usine pilote

COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)
Inconnu

VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT
Inconnue

PRODUCTION D'OBJETS MASSIFS

ÉTAT DE LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS
Production utilisant des plastiques mêlés pour les bancs publics, les bords de trottoir

POTENTIEL (KT/AN)

ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE

COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)

VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT
Très faible

Recyclage matière

PYROLYSE

PYROLYSE EN GÉNÉRAL

- **DESCRIPTION**: Chauffage des déchets en l'absence d'oxygène
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (dépend de l'utilisation des produits)
- **POTENTIEL (KT/AN)**:
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: à l'échelle du laboratoire ou du projet pilote
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**:
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible

Pyrolyse

- **DESCRIPTION**: Pyrolyse
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible (HCl)
- **COÛT D'EXPLOITAT ESTIMÉ PAR TONN RECYCLÉE (€)**: Moyen

GAZÉIFICATION

GAZÉIFICATION À USAGE CHIMIQUE EN GÉNÉRAL

- **DESCRIPTION**: Production de gaz de synthèse et/ou d'HCl
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Important
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**:
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Moyen
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible

ECOLOOP

- **DESCRIPTION**: Gazéification pour la calcination de la chaux. Le chlore est transformé en chlorure de calcium
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Récupération (si les gaz de synthèse sont utilisés pour produire de l'énergie)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Une grande usine pilote allemande peut utiliser 40 kt/an de combustible issu de déchets
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Usine existante
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**:
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible

SUMITOMO METALS

- **DESCRIPTION**: Gazéification à haute température en présence d'oxygène
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (si les gaz de synthèse sont utilisés en chimie)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Important
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Démo à échelle industrielle
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Moyen
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible

EBARA

- **DESCRIPTION**: Gazéification en deux étapes avec augmentation de température
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (si les gaz de synthèse sont utilisés en chimie)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Usine de 64 kt/an
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Usine existante
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**:
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible

LIQUIDES IONIQUES

- **DESCRIPTION**: Équipe de l'Université catholique de Louvain utilisant des liquides ioniques
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (en principe)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Inconnu
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Échelle du laboratoire
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**:
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**:

DÉSHYDROCHLORATION

ALZCH

- **DESCRIPTION**: Production de carbure de calcium à partir de déchets plastiques
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**:
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**:

Incinération

DOW/BSL

- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (accepté en Allemagne)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Capacité de 45 kt/an de déchets
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Usine existante

REDOP

- **DESCRIPTION**: Hydrolyse
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**
- **POTENTIEL (KT/AN)**
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Problèmes techniques dans l'usine de démonstration – fermeture forcée

EM

- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (en principe)
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Capacité de 18 kt/an de déchets
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Usine de taille industrielle

INCINÉRATION EN GÉNÉRAL

- **DESCRIPTION**: Incinération de déchets ménagers avec récupération d'énergie
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Récupération (Crédits de recyclage potentiels pour l'HCl ou les sels)
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Très faible
- **POTENTIEL (KT/AN)**: >100 kt/an
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Moyen – varie selon la région et la situation économique
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Technologie existante

RÉCUPÉRATION DE L'HCl

- **DESCRIPTION**: Incinération conventionnelle de déchets ménagers avec module de récupération d'HCl
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (fraction chlore du PVC uniquement)
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Très faible
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Important
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Rentable

HALOSEP

- **DESCRIPTION**: Récupération du carbure de calcium et de certains métaux à partir des résidus d'incinération
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (sels uniquement)
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible à moyenne
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Essais pilotes
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**: Moyen
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Usine pilote

SOLUTION SOLVAIR®

- **DESCRIPTION**: Récupération des résidus de neutralisation (technologie Solvay)
- **ÉTAT PAR RAPPORT À LA LÉGISLATION SUR LES DÉCHETS**: Recyclage (sels uniquement)
- **VALEUR DU MATÉRIAU PRODUIT**: Faible
- **POTENTIEL (KT/AN)**: Important
- **COÛT D'EXPLOITATION ESTIMÉ PAR TONNE RECYCLÉE (€)**
- **ÉTAT DE LA TECHNOLOGIE**: Exploitée industriel-lement

VinylPlus : engagement, coopération, efficacité

En se fondant sur l'expérience de l'engagement volontaire Vinyl 2010 en faveur du développement durable, VinylPlus tire parti des leçons apprises et de l'acquisition de nouvelles connaissances pour intégrer le développement durable dans toute l'industrie européenne du PVC.

Un élément essentiel de cette initiative consiste à maximiser le recyclage sûr et durable du PVC à partir d'une gamme étendue de flux de déchets pour apporter des avantages environnementaux, économiques et sociaux à nos citoyens, à nos clients, à notre industrie et à la planète.

Cette brochure met en lumière certain défis posés par l'extension du recyclage des déchets de PVC, ainsi que certaines solutions, en mettant l'accent sur les technologies émergentes qui permettent d'accéder aux flux de déchets « les plus difficiles à recycler ».

VinylPlus
Avenue E. van Nieuwenhuyse 4/4
B-1160 Bruxelles, Belgique
Tél. +32 (0)2 676 74 41
Fax +32 (0)2 676 74 47

Siège social :
Avenue de Cortenbergh 71
B-1000 Bruxelles, Belgique

www.vinylplus.eu