



Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Medegefinancierd door
de Europese Unie

France - Wallonie - Vlaanderen



CIRCOPLAST

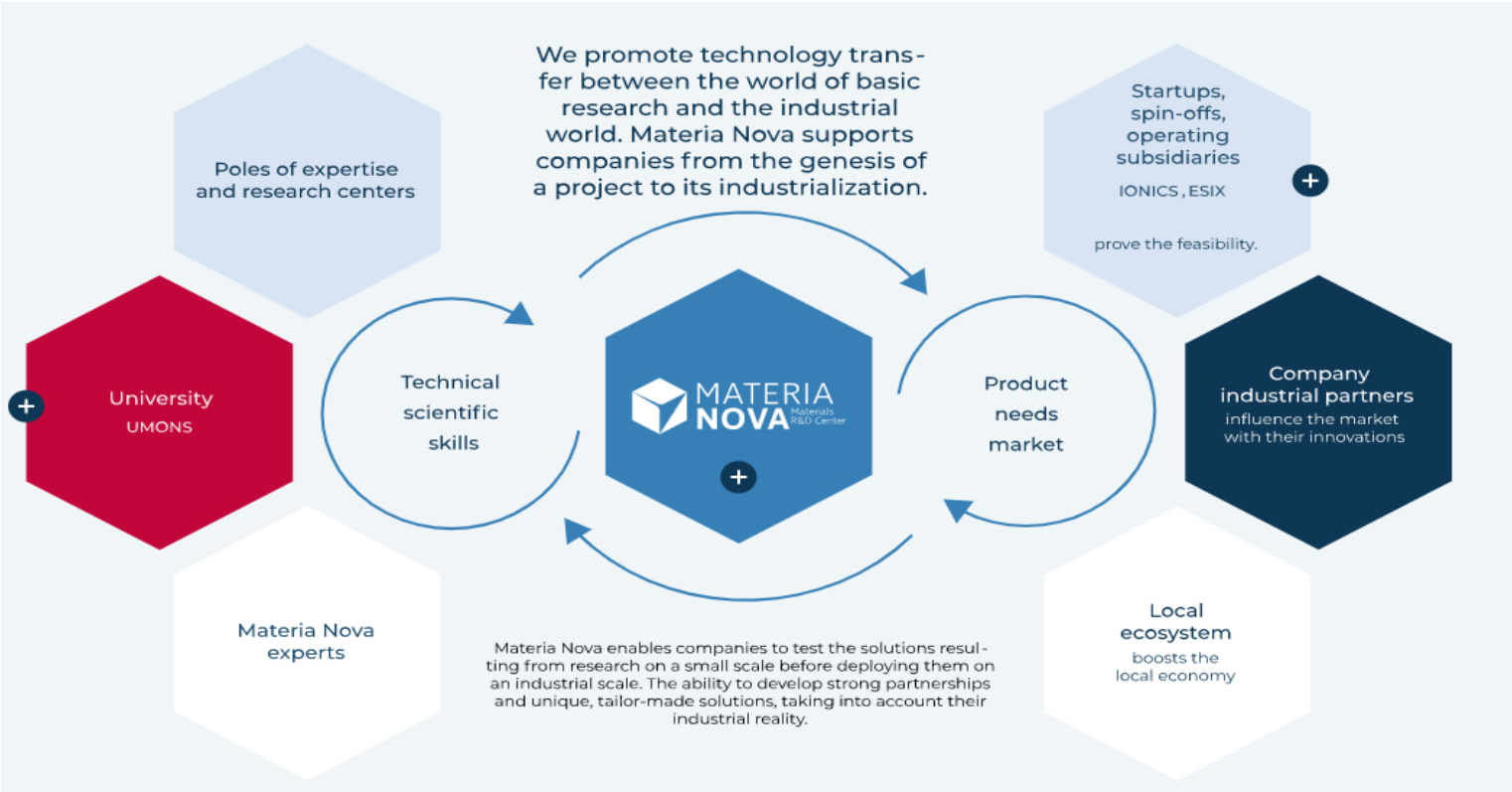
Approche écologique du recyclage des mousses à base de PU Milieuvriendelijke aanpak voor het recyclen van PU-schuimen

Dr. Antoniya Toncheva, Dr. Fouad Laoutid



27.02.2025
Tourcoing, France

Notre écosystème Ons ecosysteem



Secteurs d'activités

Sectoren van activiteit

	AGRICULTURE → EN SAVOIR PLUS		MÉCANIQUE ET MÉTALLURGIE → EN SAVOIR PLUS
	TRANSPORT → EN SAVOIR PLUS		ENVIRONNEMENT → EN SAVOIR PLUS
	ÉNERGIE → EN SAVOIR PLUS		CHIMIE DES POLYMÈRES → EN SAVOIR PLUS
	EQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES → EN SAVOIR PLUS		SANTÉ → EN SAVOIR PLUS
	EMBALLAGE → EN SAVOIR PLUS		

Development of (bio)polymers et (nano)(bio)composites

Ontwikkeling van (bio)polymeren en (nano)(bio)composieten

Competences

Synthesis

- ✓ Polyaddition
- ✓ Polycondensation
- ✓ Chemical modification
- ✓ Reactive extrusion

Formulation

- ✓ Melt
- ✓ Compound
- ✓ Additivation

Characterization

- ✓ Molecular
- ✓ Morphology
- ✓ Mechanical
- ✓ Thermal
- ✓ Biodegradable

Multidisciplinary research

- ✓ Biopolymers
- ✓ Bio(nano)composites
- ✓ Agromaterials
- ✓ Thermosets
- ✓ Coatings
- ✓ Adhesifs
- ✓ Additifs

- ✓ Polysaccharides
- ✓ Lignocellulosic fibres
- ✓ Proteines
- ✓ Polyphenols
- ✓ Vegetable oils

Niveau de préparation technologique

Technologisch gereedheidsniveau



Reactor batch (2 – 20 L)



Micro-compounding
(15 g)



Mini-compounding
(40g/h to 2kg/h)



Compounding
reactive extrusion (10 kg/h)

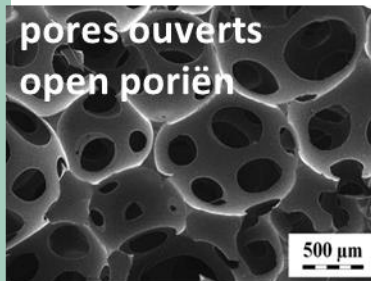


Compounding reactive
extrusion (30 kg/h)

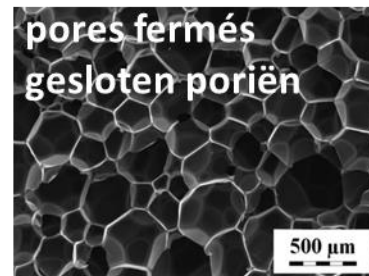
Mousses PU/PIR

PU/PIR-schuim

Mousse PU souple
(mémoire de forme)
Zacht PU-schuim
(traagschuim)



Mousse de polyisocyanurate (PIR)
ou mousse rigide
Polyisocyanuraatschuim (PIR)
of hardschuim



Construction sector \$200-300 million

50-60% of the total recycling market

Automotive sector \$70-100 million

15-20%

Industrial sector \$40-60 million.

10-15%

Other sectors \$20-40 million

aerospace, packaging, and consumer goods: 10-15%

Règlements Reglement

Sécurité environnementale et chimique (composition chimique, production, utilisation et élimination)

Milieu- en chemische veiligheid (chemische samenstelling, productie, gebruik en verwijdering)

- **Règlement REACH de l'UE (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques)**
- **EU REACH-verordening (Registratie, Evaluatie, Autorisatie en Beperking van Chemicaliën)**
 - protéger la santé humaine et l'environnement (**isocyanates**, polyols et **retardateurs de flamme**)
 - de menselijke gezondheid en het milieu beschermen (isocyanaten, polyolen en vlamvertragers)

• **Directive RoHS (Restriction of Hazardous Substances)**

• **RoHS-richtlijn (Beperking van gevaarlijke stoffen)**

- applications (électricité ou construction) - limitation des matières dangereuses (**retardateurs de flamme bromés**)
- toepassingen (elektrisch of bouw) - beperking van gevaarlijke materialen (broomhoudende vlamvertragers)

• **Directives sur la gestion des déchets (directive-cadre de l'UE sur les déchets)**

• **Richtlijnen voor afvalbeheer (EU-kaderrichtlijn afvalstoffen)**

- **Les mousses PIR sont classées comme déchets dangereux si elles sont incinérées de manière inappropriée (en raison des émissions toxiques)**
- PIR-schuim wordt geclassificeerd als gevaarlijk afval als het op onjuiste wijze wordt verbrand (vanwege de giftige uitstoot)

Règlements Reglement

Réglementation en matière de recyclage et de déchets

Regelgeving voor recycling en afval

• Directive-cadre européenne sur les déchets (2008/98/CE)

• Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG)

- lignes directrices sur la gestion, la récupération et le recyclage des déchets de mousse PIR - **encourager le recyclage des polyols et réduire la mise en décharge**
- richtsnoeren voor het beheer, de terugwinning en recycling van PIR-schuimafval - het recyclen van polyolen aanmoedigen en het storten van afval verminderen

• Programmes de responsabilité élargie des producteurs (REP)

• Programma's voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (EPR)

- pression croissante exercée sur les **fabricants pour qu'ils assument la responsabilité de l'élimination ou du recyclage des mousses PIR en fin de vie**
- toenemende druk op fabrikanten om verantwoordelijkheid te nemen voor de verwijdering of recycling van afgedankte PIR-schuimen

• Loi américaine sur la conservation et la récupération des ressources (RCRA)

• Amerikaanse Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)

- lignes directrices sur la manipulation et le recyclage des mousses PIR, qui peuvent **produire des substances chimiques dangereuses lors de l'incinération.**
- richtlijnen voor het verwerken en recyclen van PIR-schuim, dat bij verbranding gevaarlijke chemicaliën kan produceren

Recyclage de mousses PU/PIR

Recycling van PU/PIR-schuim

Recyclage mécanique

Déchetage et broyage Les mousses PIR sont mécaniquement réduites en particules plus petites qui peuvent être réutilisées comme charge dans les matériaux de construction

Avantages Simple et rentable

Limites Matériau recyclé - performances inférieures à celles des matériaux vierges

Mechanische recycling

Vermalen en vermalen PIR-schuim wordt mechanisch afgebroken tot kleinere deeltjes die opnieuw kunnen worden gebruikt als vulmiddel in bouwmaterialen

Voordelen Eenvoudig en kosteneffectief

Beperkingen Gerecycled materiaal - lagere prestaties in vergelijking met nieuwe materialen

Recyclage chimique

Processus Décomposition chimique en polyols

Avantages Produit des polyols recyclés de haute qualité qui peuvent être réutilisés dans la production de nouveaux matériaux

Limites Nécessite une technologie de pointe; les émissions et le traitement des déchets doivent être gérés avec soin

Chemische recycling

Proces Chemisch afgebroken tot polyolen

Voordelen Produceert gerecyclede polyolen van hoge kwaliteit die opnieuw kunnen worden gebruikt bij de productie van nieuwe materialen

Beperkingen Vereist geavanceerde technologie; emissies en afvalverwerking vereisen zorgvuldig beheer

Recyclage de mousses PU/PIR

Recycling van PU/PIR-schuim

Recyclage thermique (pyrolyse ou gazéification)

Processus Décomposition à haute température pour décomposer le polymère en gaz et en huiles (sources d'énergie).

Avantages Réduit considérablement le volume des déchets et peut générer de l'énergie

Limites Le procédé nécessite un équipement sophistiqué ; émissions nocives si elles ne sont pas correctement contrôlées.

Thermische recycling (pyrolyse of vergassing)

Proces Ontleding bij hoge temperaturen om het polymeer af te breken in gassen en oliën (energiebronnen)

Voordelen Vermindert afvalvolume aanzienlijk en kan energie opwekken

Beperkingen Het proces vereist geavanceerde apparatuur; schadelijke emissies indien niet goed gecontroleerd

Recyclage des matières premières

Processus Transformation chimique en éléments chimiques (monoxyde de carbone et hydrogène) utilisés comme matières premières dans les processus industriels.

Avantages Permet de récupérer des matières premières et de détourner la mousse des décharges.

Limites Demande énergétique élevée et viabilité économique potentiellement faible par rapport à d'autres méthodes.

Recycling van grondstoffen

Proces Chemisch omgezet in chemische bouwstenen (koolmonoxide en waterstof) die worden gebruikt als grondstoffen in industriële processen

Voordelen Kan grondstoffen terugwinnen en schuim weghalen van stortplaatsen

Beperkingen Hoge energiebehoefte en potentieel lage economische levensvatbaarheid in vergelijking met andere methoden

Recyclage de mousses PU/PIR

Recycling van PU/PIR-schuim

Enjeux

Complexité de la structure matrice polymère réticulée chimiquement stable (thermodurcissable)

Additifs et retardateurs de flamme produits chimiques affectant la qualité des produits recyclés et suscitant des préoccupations environnementales

Viabilité économique le coût de la collecte, du tri et du traitement de la mousse PIR peut être élevé et, parfois, la valeur du matériau recyclé ne justifie pas les dépenses

Uitdagingen

Complexiteit van de structuur vernette polymeermatrix die chemisch stabiel is (thermoharder)

Additieven en vlamvertragers chemische stoffen die de kwaliteit van de gerecyclede producten aantasten en zorgen voor milieuproblemen

Economische haalbaarheid de kosten voor het inzamelen, sorteren en verwerken van PIR-schuim kunnen hoog zijn en soms rechtvaardigt de waarde van het gerecyclede materiaal de kosten niet

Recyclage chimique de mousses PU/PIR Chemische recycling van PU/PIR-schuim

Réacteurs industriels (principalement des mousses souples)
Industriële reactoren (meestal flexibele schuimen)

Grande installation, plusieurs heures, utilisation de solvants,...
Grote installatie, meerdere uren, gebruik van oplosmiddelen,...



Recyclage chimique de mousses PU/PIR

Chemische recycling van PU/PIR-schuim

Glycolyse Les mousses sont décomposées chimiquement avec des glycols pour récupérer les polyols. largement utilisée pour convertir les mousses PIR et PU en polyols recyclés qui peuvent réutilisés dans la production de nouvelles mousses.

Pyrolyse Chauffer la mousse PIR en l'absence d'oxygène pour la décomposer en produits chimiques de base (par exemple, les polyols), qui peuvent être récupérés et réutilisés.

Hydrolyse Le PIR est décomposé à l'aide d'eau (sous haute température et pression) pour récupérer les composants utiles (par exemple, les polyols).

Solvolyse Semblable à la glycolyse, la solvolyse décompose les mousses thermodures à l'aide de solvants pour récupérer les matières premières telles que les polyols en vue de leur réutilisation.

Glycolyse Het schuim wordt chemisch ontleed met glycolen om de polyolen terug te winnen. Op grote schaal gebruikt om PIR- en PU-schuim om te zetten in gerecyclede polyolen die opnieuw kunnen worden gebruikt bij de productie van nieuw schuim

Pyrolyse Verhit het PIR-schuim in afwezigheid van zuurstof om het af te breken in basischemicaliën (bijv. polyolen), die kunnen worden teruggewonnen en hergebruikt

Hydrolyse PIR wordt ontleed met behulp van water (onder hoge temperatuur en druk) om bruikbare bestanddelen terug te winnen (bijv. polyolen)

Solvolyse Vergelijkbaar met glycolyse, breekt solvolyse thermohardende schuimen af met behulp van oplosmiddelen om grondstoffen zoals polyolen terug te winnen voor hergebruik.



Chantiers de construction

Bouwplaatsen



Mousses rigides de polyisocyanurate (PIR)
Harde polyisocyanuraatschuimen (PIR)



Recyclage chimique de mousses PU/PIR Chemische recycling van PU/PIR-schuim



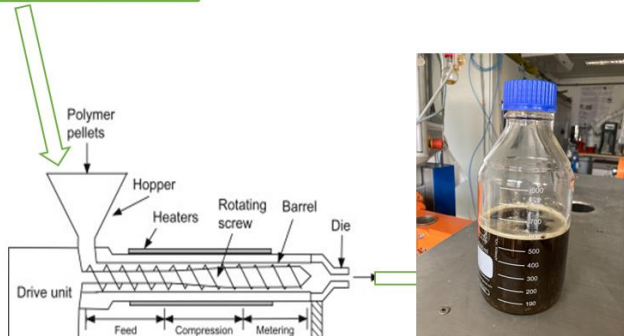
Initial PIR foam



grounded PIR foam at Materia Nova



Processus de recyclage continu
Continu recyclingproces

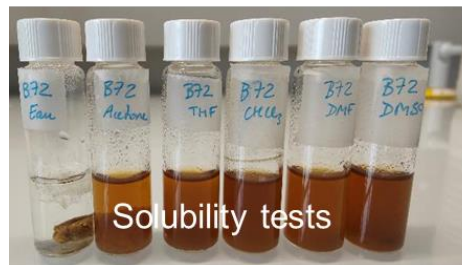


Recycled polyols

Process	Time (min)	Physical state of the obtained products
Glass reactor	> 180	pasty-like
Reactive extrusion	< 2	viscous liquid

 Recycling thermosets by extrusion !

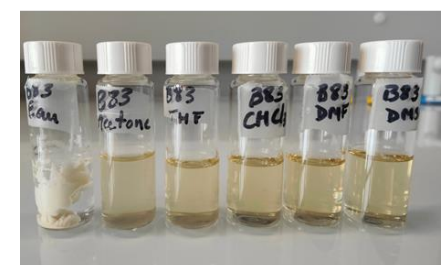
Glass reactor



Solubility tests



Reactive extrusion



Recyclage chimique de mousses PU/PIR et nouveaux matériaux de mousse

Chemische recyclage van PU/PIR schuimen en nieuwe schuimmaterialen



Recycled polyols



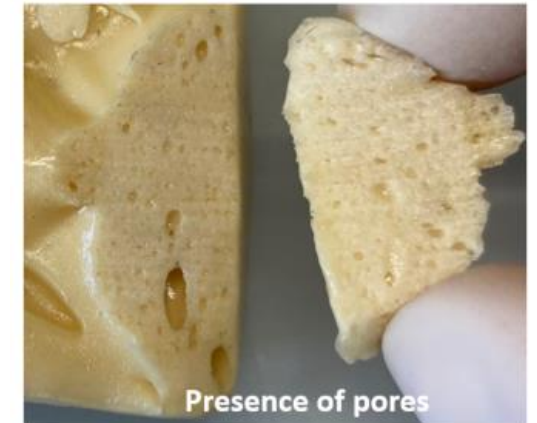
Extrusion
<2 min



Commercial foam



100% recycled foam



Presence of pores

Recyclage chimique de mousses PU/PIR

Chemische recycling van PU/PIR-schuim

Demande de brevet

Octrooiaanvraag



Procédé continu de préparation de polyols recyclés à partir de mousses de polyuréthane

Continu proces voor de bereiding van gerecyclede polyolen uit polyurethaanschuimen

Domaine de l'invention

La présente invention concerne un procédé continu de préparation de polyols recyclés à partir de mousse de polyuréthane et/ou de déchets de mousse de polyuréthane à l'aide d'une extrudeuse. Dans un deuxième aspect, la présente invention concerne également une utilisation pour la production de polyuréthane ou de polyisocyanurate recyclé.

Uitvinding

De uitvinding heeft betrekking op een continu proces voor de bereiding van gerecyclede polyolen uit polyurethaanschuim en/of polyurethaanschuimafval met behulp van een extruder. In een tweede aspect heeft de uitvinding ook betrekking op een toepassing voor de productie van gerecycled polyurethaan of polyisocyanuraat.

Recyclage chimique de mousses PU/PIR

Chemische recycling van PU/PIR-schuim

Une approche en une seule étape

- Production continue de polyols
- Temps de réaction : quelques minutes
- Masse moléculaire du polyol plus homogène
- Bonne solubilité dans plusieurs solvants
- Utilisation directe des polyols pour la production de mousses 100% recyclées par ajout d'isocyanates
- Aspect physique du polyol : liquide visqueux

Eén stap benadering

- Continue polyolproductie
- Reactietijd: enkele minute
- Meer homogene polyol moleculaire massa
- Goede oplosbaarheid in verschillende oplosmiddelen
- Direct gebruik van de polyolen voor de productie van 100% gerecycled schuim door toevoeging van isocyanaten
- Polyol fysisch aspect: viskeuze vloeistof

Recyclage du polyisocyanurate (PIR)
par extrusion ou par réacteur

Recycling van polyisocyanuraat (PIR)
door extrusie vs. reactor



Recyclage chimique de mousses PU/PIR

Chemische recycling van PU/PIR-schuim

New polyisocyanurate (PIR) and polyurethane (PU) foams

- **Rigid PIR and PU foams:** insulation in construction:
 - **roof, wall, floor, ceiling, cavity wall insulation**
 - **refrigeration and cold storage:** refrigerated units, cold storage facilities, and refrigerated trucks
- **Flexible polyurethane foams:**
 - **furniture upholstery:** cushions, mattresses, and seating materials
 - **automotive seating:** car seats, armrests, and interior components
 - **packaging:** flexible foams for protective packaging of delicate products

Spray polyurethane foam insulation

- **Closed-cell spray foam:** insulating and sealing buildings; excellent thermal insulation, moisture resistance, and air sealing properties
- **Open-cell spray foam:** less dense, for insulation and soundproofing purposes; sustainability

Adhesives and sealants

- **Polyurethane adhesives:** highly durable and offer strong bonding capabilities
 - **construction:** bonding insulation materials, panels, and flooring systems
 - **automotive:** gluing interior components and providing structural bonding
 - **furniture:** assembly of foam products, wood, and composite materials
- **Sealants:** flexibility, durability, and weather resistance (sealing gaps, joints, seams)

Coatings

- **Polyurethane coatings:** protective and decorative finishes for surfaces
 - **construction:** protective coatings - floors, walls, and metal
 - **automotive:** protective and aesthetic coatings for vehicles
 - **industrial equipment:** coatings - resistance to chemicals, abrasion, corrosion.

Elastomers

- **Thermoplastic polyurethane elastomers:**
 - **footwear:** shoe soles and midsoles (flexibility and durability)
 - **automotive parts:** seals, gaskets, and flexible parts in vehicles
 - **sports equipment:** Flexibility and toughness
- **Polyurethane elastomers:** castable polyurethane
 - **rollers and wheels:** wheels and rollers (abrasion resistance)
 - **belts and gaskets:** flexible yet durable parts in machinery and equipment

Binders for composite materials

- **Wood-based composites:** particleboard, fiberboard, and oriented strand board use in construction, furniture, and packaging
- **Rubber and foam recycling:** rubber flooring, playground mats, and shock-absorbing pads

Automotive and aerospace components

- **Lightweight parts:** reduce the overall weight of vehicles and aircraft for fuel efficiency and performance
- **Thermal and acoustic insulation:** thermal and acoustic insulation in the interior of vehicles and aircraft

Footwear and apparel

- **Shoe soles and insoles:** comfortable and durable

Recycled content in sustainable products

- **Green building materials:** recycled content, aligning with sustainability standards
- **Eco-friendly insulation:** eco-friendly options for construction, supporting sustainability initiatives and reducing carbon footprints

Recyclage chimique de mousses PU/PIR

Chemische recycling van PU/PIR-schuim

Processus de recyclage

Collecte et tri de la mousse PIR usagée pour la préparer au recyclage.

Recyclage chimique décomposition de la mousse PIR en ses éléments chimiques constitutifs, y compris les polyols

Extraction et raffinage des polyols recyclés et leur utilisation dans de nouveaux produits.

Recyclingproces

Verzamelen en sorteren gebruikt PIR-schuim klaarmaken voor recycling

Chemische recycling ontleding van PIR-schuim in de samenstellende chemische elementen, waaronder polyolen

Extractie en raffinage van gerecyclede polyolen en hun gebruik in nieuwe producten

Avantages de l'utilisation de polyols recyclés

Durabilité Réduction des besoins en matières premières vierges et de l'impact sur l'environnement

Rentabilité Peut être moins coûteux que l'utilisation de polyols vierges, en fonction du processus de recyclage et des conditions du marché.

Conformité Aide les entreprises à atteindre leurs objectifs en matière de réglementation et de développement durable

Voordelen van het gebruik van gerecyclede polyolen

Duurzaamheid Vermindert de behoefte aan nieuwe grondstoffen en verlaagt de impact op het milieu

Kostenefficiëntie Kan minder duur zijn dan het gebruik van nieuwe polyolen, afhankelijk van het recyclingproces en de marktomstandigheden

Naleving Helpt bedrijven te voldoen aan regelgevings- en duurzaamheidsdoelen

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Medegefinancierd door
de Europese Unie

France - Wallonie - Vlaanderen



CIRCOPLAST



vito



**MATERIA
NOVA** Materials
R&D Center



Merci pour votre attention!
Bedankt voor uw aandacht!