RECORD

ETUDE N° 23-0174/1A

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

REJETS DE MICRO-ET-NANOPLASTIQUES DANS LES MILIEUX LORS DES PROCESS INDUSTRIELS

ETAT DES CONNAISSANCES ET DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR L'EVALUATION QUALITATIVE DU RISQUE D'EMISSION DE NMPS

RELEASE OF MICRO-AND NANOPLASTICS INTO THE ENVIRONMENT DURING INDUSTRIAL PROCESSES

KNOWLEDGE AND DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH FOR QUALITATIVE ASSESSMENT OF EMISSION RISK

Juillet 2025

C. CHARBUILLET, G. BANVILLET – Arts et Métiers
S. OMONT – AMVALOR
D. GIRAUD, T. FALHER – IPC

Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.
Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.
Les membres de ce réseau (groupes industriels et institutionnels) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :
Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.
Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :

  RECORD, AMVALOR, IPC, Rejets de micro-et-nanoplastiques dans les milieux lors des process industriels – état des connaissances et développement d'une approche méthodologique pour l'évaluation qualitative du risque d'émission de NMPs, 2025, 142p, n° 23-0174/1A

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de la transition écologique)
www.ademe.fr

© RECORD, AMVALOR, IPC, 2025

RESUME
En Europe, les rejets non intentionnels de nano et microplastiques (NMPs) sont estimés entre 0,7 et 1,8 million de tonnes par an, provenant principalement de l'usure des peintures, des pneus, des granulés plastiques, des microfibres textiles, des géotextiles et des capsules de détergents. Bien que leur contribution exacte ne soit pas encore déterminée, les rejets issus des activités industrielles participent à ces émissions. L'état de l'art scientifique souligne un déficit d'informations concernant les mécanismes de formation de ces rejets, contrairement aux connaissances acquises sur la dégradation des matériaux plastiques en conditions environnementales. Dans ce contexte, les travaux menés visent à améliorer la compréhension des enjeux industriels associés aux rejets de NMPs d'un point de vue environnemental, sanitaire, réglementaire et métrologique. Une typologie des activités industrielles les plus à risque d'émettre des NMPs a été réalisée à partir (i) d'une analyse des données de la littérature scientifique et (ii) d'une identification des facteurs de risque de formation/ transfert/ rejet de NMPs industriels ainsi que des facteurs aggravant ce risque (caractéristiques physico-chimiques des polymères et tribologiques). Les principaux secteurs identifiés comme émetteurs de NMPs, sont le recyclage mécanique des plastiques et l'industrie textile, ainsi que : la pétrochimie, l'incinération de déchets contenant du plastique, le recyclage des déchets de verre issus de l'emballage et du bâtiment, le traitement de l'eau potable par ultrafiltration et la plasturgie. Peu d'études ont été menées sur la plasturgie. Pour affiner cette typologie, une collecte de données a été effectuée auprès d'un panel d'industriels de la plasturgie en analysant chacune des opérations unitaires constitutives de leur ligne de fabrication. En combinant les enseignements de la littérature et les retours d'expérience du terrain, une matrice multicritère a été développée pour évaluer le potentiel de formation, transfert et de rejet des NMPs pour les différentes activités industrielles étudiées. Cette matrice s'appuie sur des travaux antérieurs des auteurs, adaptés ici au contexte spécifique des rejets industriels de NMPs.

MOTS CLES
nano et microplastiques, formation, transfert, rejets industriels

---

SUMMARY
In Europe, the unintentional releases of nano and microplastics (NMPs) is estimated to be between 0.7 and 1.8 million tons per year This is mainly due to the wear of paint, tyres, plastic pellets, textile microfibres, geotextiles and detergent capsules. While their exact contribution has yet to be determined, emissions from industrial activities are also a source of these emissions. Current scientific research a lack of information on the formation mechanisms of these emissions, in contrast to the knowledge acquired on the degradation of plastic materials under environmental conditions. Against this backdrop, the present study aims to enhance our understanding of the industrial issues associated with NMPs emissions from an environmental, health, regulatory and metrological perspectives. A typology of industrial activities at greatest risk of emitting NMPs has been developed based on (i) an analysis of scientific literature and (ii) an identification of risk factors for the formation, transfer and release of industrial NMPs, as well as factors that aggravate this risk such as the physicochemical and tribological characteristics of polymers. The main sectors identified are the mechanical recycling of plastics, the textile industry, petrochemicals, the incineration of plastic-containing waste, the recycling of packaging and construction glass waste, the ultrafiltration of drinking water and plastics processing. Few studies have been conducted on plastics processing. To refine this typology, data was collected from a panel of plastics manufacturers by analyzing each unit operation in their production lines. By combining lessons learned from the literature with feedback from the field, a multi-criteria matrix was developed to assess the potential formation, transfer and release of NMPs for the various industrial activities studied. The proposed matrix is based on the autors previous work, adapted here for the specific context of industrial NMPs releases.

KEY WORDS
nano and microplastics, formation, transfer, industrial releases

Contexte

Les microplastiques (MPs), dont la présence a été détectée dans les différents compartiments environnementaux et dans la chaîne alimentaire, constituent une préoccupation croissante de santé publique. Bien que de nombreuses sources de contamination soient aujourd'hui identifiées et documentées, peu de données sont disponibles sur la contribution des rejets industriels à cette pollution, ni sur les pratiques à adopter par les industriels pour limiter et surveiller ces rejets.

Objectifs

Dans ce contexte, cette étude a pour objectifs :
- d'informer les industriels sur les principaux enjeux liés à ces rejets,
- d'aider les industriels à identifier : les procédés potentiellement émetteurs de nano et microplastiques (NMPs), les techniques de caractérisation adaptées à l'analyse de ces émissions et les leviers d'atténuation permettant de réduire ces rejets à la source.

Méthodologie

Les principaux enjeux industriels ont été étudiés selon quatre axes : environnemental, sanitaire, réglementaire et métrologique à partir d'une analyse bibliographique.
Une typologie des activités industrielles d'ores et déjà identifiées comme potentiellement émettrices de NMPs, a été établie à partir d'un état de l'art des connaissances actuelles sur les rejets industriels de NMPs, de l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et tribologiques des polymères impliquées dans la formation de NMPs lors des process industriels et des données issues d'une enquête de terrain menées auprès d'entreprises de la plasturgie.
Une matrice multicritère a été développée afin d'évaluer le risque d'émission de NMPs par les différentes opérations industrielles. Son élaboration repose sur l'analyse croisée des données bibliographiques et des retours terrain, en intégrant l'ensemble des étapes de la chaîne de génération des NMPs :
- Formation au niveau des procédés,
- Transfert vers les effluents industriels et/ou l'environnement de travail,
- Rejet des effluents contaminés dans le milieu naturel.

Principaux résultats

Les résultats présentés s'adressent aux industriels souhaitant évaluer le risque d'émission de NMPs, liés à leurs activités, dans le cadre d'une démarche d'évaluation et de maîtrise du risque :

Context

Microplastics (MPs), whose presence has been detected in various environmental compartments and in the food chain, represent a real public health concern. Although many sources of contamination have now been identified and documented, few data are available on the contribution of industrial discharges to this pollution, or on the practices to be adopted by manufacturers to limit and monitor these discharges.

Objectives

In this context, the aims of this study are:
- *to inform manufacturers about the main issues surrounding these emissions,*
- *to help manufacturers identify: the nature of processes potentially emitting nano and microplastics (NMPs), the characterization techniques for analyzing these emissions, and the means for mitigating them.*

Methodology

The main industrial issues were studied in four areas: environmental, health, regulatory and metrological. This was based on a literature review.
A typology of industrial activities that are already identified as potential NMP sources of NMPs was developed. This was based on a review of current knowledge regarding the release of NMP by industries, an analysis of the physical, chemical and tribological characteristics of the polymers involved in the formation of NMPs during industrial processes and data from a field survey conducted among plastics companies.
A multi-criteria matrix was developed to assess the risk of NMPs emissions from different industrial operations. This matrix was developed through a cross analysis of bibliographic data and field feedback and integrates all stages of the NMP generation chain:
- *Formation at the process level,*
- *Transfer to industrial effluents and/or working environment,*
- *Release of contaminated effluents into the natural environment.*

Main results

The results presented are intended for industrialists who wish to assess the risk of NMPs emissions associated with their activities as part of a risk assessment and control approach:

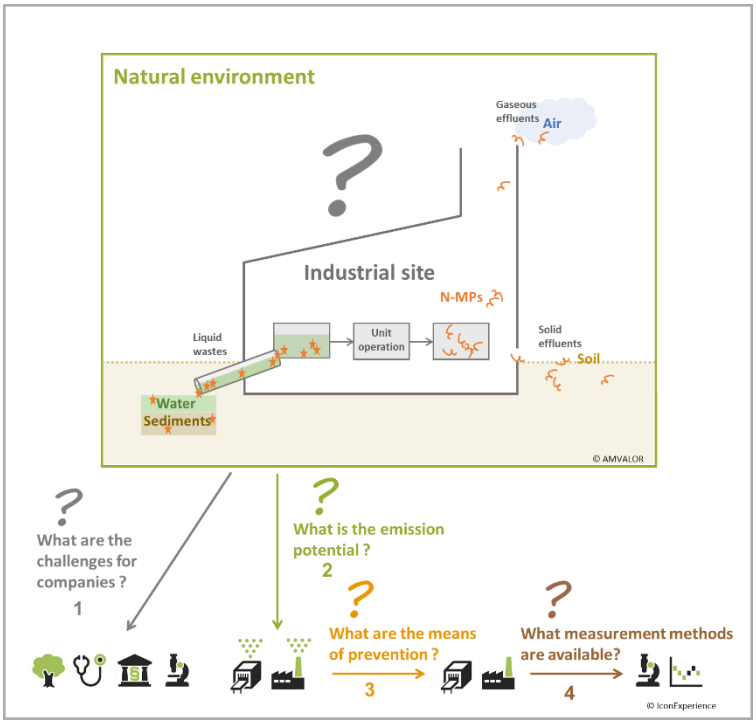

Figure 1 : Synthèse des apports de l'étude (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025)
Figure 1 : Summary of study findings (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025)

1 Summary of the issues
2 Typology of industrial activities
A Matrix for the qualitative assessment of the potential for NMPs emissions from industrial processes
3 List of means of preventing or mitigating such releases
4 Qualitative decision-aid table for identifying the analytical techniques best suited to the needs to companies needs when analysing their effluents

Synthèse des enjeux

Certaines activités industrielles sont aujourd'hui identifiées comme des sources ponctuelles d'émission de MPs, mais les connaissances sur ce type de rejets sont encore lacunaires. Le principal enjeu pour les industries réside dans une meilleure compréhension des chaînes de formation, de transfert et de rejet des NMPs au sein de leurs procédés, en vue d'identifier les leviers d'actions permettant de réduire ces émissions à la source.

Sur le plan sanitaire, les NMPs sont considérés comme des contaminants émergents susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine. Toutefois, les connaissances actuelles sur les niveaux d'exposition, le devenir biologique et les effets toxicologiques des NMPs dans l'organisme sont encore insuffisantes pour en établir un danger avéré. Des maladies professionnelles potentiellement liées à une exposition élevée aux NMPs dans l'atmosphère de travail sont décrites, semblant indiquer que l'enjeu industriel prioritaire est celui de la maîtrise de l'exposition des salariés.

Dans un cadre réglementaire en évolution, l'Union européenne s'est fixé comme objectif de réduire de 30% les rejets de MPs dans l'environnement d'ici 2030. A ce titre, la réglementation européenne et française introduit progressivement des restrictions sur la vente de produits contenant des MPs intentionnellement ajoutés et renforce la surveillance environnementale des MPs. Dans ce contexte, la capacité des entreprises à caractériser les NMPs potentiellement présents dans leurs rejets pourrait devenir un enjeu majeur de conformité et d'anticipation réglementaire.

Summary of issues

Although certain industrial activities have been identified as point sources of PM emissions, knowledge about this type of release is still limited. The main challenge for industry is to improve understanding of the formation, transfer and release pathways of NMPs within their processes, with the aim of identifying ways to reduce these emissions at source.

In terms of health, NMPs are considered emerging contaminants that may pose a risk. However, current knowledge of exposure levels, the biological fate of NMPs in the body, and their toxicological effects is insufficient to prove a hazard. There have been descriptions of occupational diseases potentially linked to high exposure to NMPs in the workplace, suggesting that controlling employee exposure is the priority industrial issue.

In an evolving regulatory environment, the European Union has set a target to reduce MP releases into the environment by 30% by 2030. To this end, European and French regulations are gradually introducing restrictions on the sale of products containing intentionally added MPs, while also strengthening environmental monitoring of MPs. In this context, companies' ability to characterise NMPs potentially present in their emissions could become a major challenge in terms of compliance and regulatory anticipation.

In terms of metrology, various characterisation techniques are used in research to analyse NMPs. Manufacturers must identify the most relevant analytical techniques depending on their technical constraints, the nature of their matrices and their objectives (screening, monitoring, quantification, etc.).

Enfin, en matière de métrologie, différentes techniques de caractérisation sont utilisées dans le domaine de la recherche, pour l'analyse des NMPs. Le principal enjeu pour les industriels est d'identifier les techniques analytiques les plus pertinentes, en fonction de leurs contraintes techniques, de la nature de leurs matrices et des objectifs visés (dépistage, suivi, quantification…).

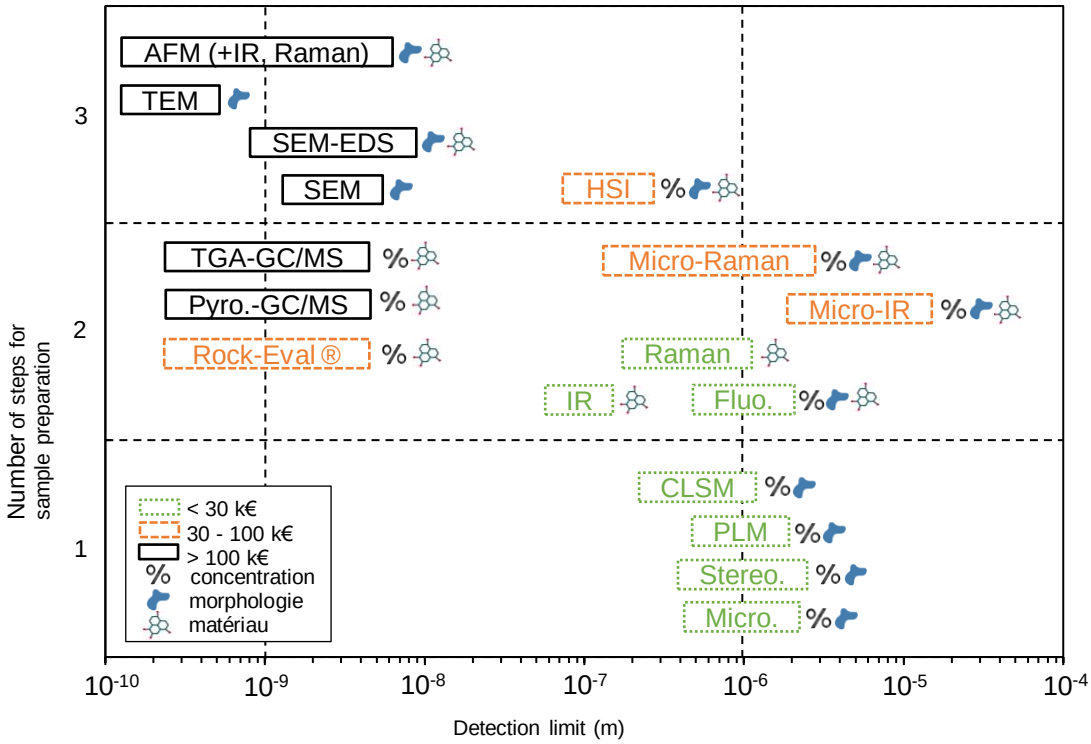

Figure 2 : Techniques d'analyses des NMPs réparties en fonction du nombre d'étapes nécessaires à la préparation des échantillons et de leur limite de détection. La nature des données en sortie est précisée par les symboles représentant respectivement la concentration en NMPs, la morphologie des particules, et leur(s) matériau(x) constitutif(s). Un ordre de grandeur du prix des équipements est donné par le code couleur/pointillé. Les abréviations correspondent à celles détaillées dans le Tableau 1 (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025).

Figure 2 : *NMP analysis techniques divided according to the number of steps required for sample preparation and their detection limits. The nature of the output data is indicated by symbols representing NMP concentration, particle morphology and particle material(s), respectively. An order of magnitude of equipment cost is given by the color/dotted code. Abbreviations correspond to those detailed in Table 1 (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025).*

Tableau 1 : Récapitulatif des noms, données en sortie (concentration, morphologie et matériau), limites de détection, ordre de grandeur du prix et étapes de préparation des différentes techniques d'analyses étudiées (séparation, purification, étape supplémentaire) (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025).

Table 1: *Summary of names, output data (concentration, morphology and material), detection limits, order of magnitude of price and preparation steps for the various analytical techniques studied (separation, purification, additional step) (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025).*

	Analysis technique	Abrev.	Output data			Detection limit (m)	Approx. price (k€)	Sample preparation			Références
			Conc.	Morph.	Mat.			Sep.	Pur.	supp. step	
Microscopy	Optical microscopy	Micro.	+	+	-	1.10^{-6}	1-20	+	-	-	(Delgado-Gallardo et al. 2021; Chen et al. 2020)
	Stereomicroscopy	Stereo.	+	+	-	1.10^{-6}	1-20	+	-	-	
	Polarized optical microscopy	PLM	+	+	-	1.10^{-6}	1-20	+	-	-	
	Fluorescence microscopy	Fluo.	+	+	+	1.10^{-6}	10-30	+	-	fluo.marker	
	Confocal laser scanning microscopy	CLSM	+	+ (3D)	-	1.10^{-6}	10-30	+	-	-	
	Hyperspectral imaging	HSI	+	+	+	$0,3.10^{-6}$	50-150	+	+	Data treatment	(Briottet 2018)
	Atomic force microscopy	AFM	-	+	-	1.10^{-10}	100-200	+	+	Sample prep.	(Rivoal et Frétigny 2005)
	Scanning electron microscopy	SEM	-	+	-	1.10^{-9}	100-200	+	+	Sample prep.	(Brisset et Ruste 2024)
	Transmission electron microscopy	TEM	-	+	-	1.10^{-10}	500 - 1000	+	+	decantation	(Karlik et Jouffrey 2008)
	Optical microscopy - IR	Micro-IR	+	+	+	10.10^{-6}	30-50	+	+	-	(Schymanski et al. 2021)
	Optical microscopy - Raman	Micro-Raman	+	+	+	$0,3.10^{-6}$	30-50	+	+	-	(Schymanski et al. 2018)
	Atomic force microscopy - Infrared spectroscopy	AFM-IR	-	+	+	1.10^{-10}	120-200	+	+	Sample prep.	(Dazzi et Deniset-Besseau 2019; Nowak et al. 2016)
	Atomic force microscopy - Raman spectroscopy	AFM-Raman	-	+	+	1.10^{-10}	120-200	+	+	Sample prep.	(D. Fontana et al. 2017; Sonntag et al. 2014)
	Scanning electron microscopy - Energy dispersive X-ray spectroscopy	SEM-EDS	-	+	éléments	1.10^{-9}	100-200	+	+	Sample prep.	(Despujols 2000)
Spectroscopy / Spectrometry	Infrared spectroscopy	IR	-	-	+	1.10^{-7}	10-30	+	+	-	(Humbert et al. 2012)
	Raman spectroscopy	Raman	-	-	+	1.10^{-7}	10-30	+	+	-	(Barbillat et al. 1999)
Thermal treatment	Thermograv. analysis - Gas chromatography / Mass spectrometry	TGA-GC/MS	+	-	+	1.10^{-9}	50-150	+	-	Thermal treatment	(Ivleva 2021)
	Pyrolysis - Gas chromatography / Mass spectrometry	Pyro.-GC/MS	+	-	+	1.10^{-9}	50-150	+	-	Thermal treatment	(Ivleva 2021)
	Pyrolysis + Combustion - IR + FI (Rock-Eval ®)	Rock-Eval ®	+	-	+	1.10^{-9}	ND	+	-	Thermal treatment	

Typologie des activités industrielles potentiellement émettrices de NMPs

La typologie des procédés industriels identifiés comme potentiellement émetteurs de NMPs repose à la fois sur une revue de la littérature scientifique et sur une enquête de terrain. Les secteurs concernés incluent notamment : le recyclage mécanique des plastiques, l'industrie textile, la plasturgie, les procédés de fabrication additive et extractive, la pétrochimie, l'incinération de déchets contenant du plastique, le traitement de l'eau potable par ultrafiltration et le recyclage du verre d'emballage et du bâtiment. Les résultats détaillés de l'analyse bibliographique et de l'enquête menée auprès d'entreprises de la plasturgie, illustrant cette typologie, sont présentés ci-après :

Typology of industrial activities potentially emitting NMPs

This typology includes processes from the following sectors: mechanical plastics recycling, textile industry, plastics processing, additive and extractive manufacturing, petrochemicals, waste incineration, ultrafiltration water treatment and glass recycling. The results of the survey carried out among companies in the plastics industry are shown below.

Tableau 2 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur du recyclage plastique, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Brown et al. 2023), (Zhan et al. 2022)]
Table 2: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the plastic recycling sector [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Brown et al. 2023), (Zhan et al. 2022)]*

Mechanical recycling of plastic waste									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Unit process	Input material	Water	Air	Unit process	Input material
Rotating drum classification process	Plastic wastes	Wastewater				Fragment	< 10 µm		(Brown et al. 2023)
Disassembly including unscrewing	Waste of electrical and electronic equipment		Workshop atmosphere		±100 types	Fibre	< 100 µm	Toxic additives Heavy metals	(Zhan et al. 2022)
				Dusts		Fragment	< 500µm		(Zhan et al. 2022)
Knife mill process	Plastic wastes	Wastewater				Fragment	< 10 µm		(Brown et al. 2023)
			Workshop atmosphere				<10µm		(Brown et al. 2023)
Rotary cutting blade crushing process	Waste of packaging products	Wastewater				Fragment	< 1mm		(Suzuki et al. 2024)
Separation process using density	Plastic wastes	Wastewater				Fragment	< 50 µm		(Brown et al. 2023)
Extrusion and granulation process	Plastic wastes	Wastewater				Fragment	< 50 µm		(Brown et al. 2023)

Tableau 3 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur du textile, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022), (Cai et al. 2020)], (Dreillard et al. 2022), (Grillo et al. 2023), (Choi et al. 2021)]
Table 3: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the textile sector, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022), (Cai et al. 2020)], (Dreillard et al. 2022), (Grillo et al. 2023), (Choi et al. 2021)]*

Textile industry									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Bale storage	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	±140 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Carding	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	< 350 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Draw	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	< 350 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Ring spinning	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	< 600 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Compact spinning	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	< 600 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)

Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Rotor spinning	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	< 200 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Air jet spinning	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	< 350 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Spinning	Synthetic fibers PET	(1)	(2)		PET	Fibers	200-700 µm		(Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)
Scissor-cutting	Synthetic textiles Polyester	Wastewater			Polyester	Fibers	100-1000 µm		(Cai et al. 2020)
Surface processing : cutting by metallic brush	Synthetic textiles Polyester	Wastewater			Polyester	Fibers	100-1000 µm		(Cai et al. 2020)
Surface processing : cutting by blade	Synthetic textiles Polyester	Wastewater			Polyester	Fibers	100-1000 µm		(Cai et al. 2020)
Textile washing	Synthetic textiles	Wastewater				Fibers	50-200 µm	Diamètre : 8 à 17 µm selon le type de textile	(Dreillard et al. 2022)
Industrial washing	Denim textile	Wastewater				Fibers			(Grillo et al. 2023)
Textile drying	Textiles		Air atelier			Fibers	100 µm		(Choi et al. 2021)

(1) : Hypothèse : Transfert vers les eaux usées lors du lavage du textile
(2) : Hypothèse : Risque de transfert des MPFs les plus courtes dans les systèmes de dépoussiérage des machines de cadrage et d'étirage (Pinlova, Hufenus, et Nowack 2022)

Tableau 4 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur du recyclage du verre provenant de déchets d'emballage et du bâtiment, [[Compilation, RECORD, 2025], (Zhang et al. 2022)]
Table 4: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the glass recycling sector from packaging and construction waste [[Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025], (Zhang et al. 2022)*

Glass recycling									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
All the processes of a waste glass recycling site	Glass from packaging and architectural wastes			Dusts inside the factory	33 polymers				(Zhang et al. 2022)

Tableau 5 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur des fabrications additive et extractive, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Murashov et al. 2021)]
Table 5: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the additive and extractive manufacturing sectors, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Murashov et al. 2021)]*

Additive and extractive manufacturing									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Extrusion 3D printing	ABS filaments		Air in the workplace				nano	Condensation aerosol	(Murashov et al. 2021)
Powder-bed and multi-jet fusion 3D printing	Polymer powders		Air in the workplace				nano		(Murashov et al. 2021)
Injection molding	Molten pellets		Air in the workplace				nano	Condensation aerosol	(Murashov et al. 2021)
Flocking	Polymer fibers		Air in the workplace				nano		(Murashov et al. 2021)

Tableau 6 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur de l'incinération des déchets municipaux solides, [[Compilation, RECORD, 2025], (Shen et al. 2021)]
Table 6: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the municipal solid waste incineration sector, [[Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025], (Shen et al. 2021)]*

Municipal solide waste incineration									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Incineration process	Municipal solid wastes		Fly ash		PE, PVC, PS, PET, PP et PA	Fibers	< 0,5mm	Heavy metals contamination Pb, Cr	(Shen et al. 2021)
Incineration process	Municipal solid wastes			Surrounding area	PE, PVC, PS, PET, PP et PA	Various	< 0,5mm	Heavy metals contamination Pb, Cr	(Shen et al. 2021)

Tableau 7 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur de la pétrochimie, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Deng et al. 2023)]
Table 7: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the petrochemical sector, [(Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025), (Deng et al. 2023)]*
(1) WWTP : Wastewater treatement plant

Petrochemical industry									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Unspecified	Unspecified	Wastewater trated by a WWTP (1)			25 polymer types	Fragment	< 350 µm mostly < 100 µm		(Deng et al. 2023)

Tableau 8 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur du traitement de l'eau potable par ultrafiltration, [[Compilation, RECORD, 2025], (Maliwan et Hu 2025)]
Table 8: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the ultrafiltration drinking water treatment sector, [[Compilation, RECORD, AMVALOR, IPC, 2025], (Maliwan et Hu 2025)]*

Ultrafiltration drinking water treatment									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Ultrafiltration process by a polyether sulfone membrane	Drinking water	Permeate				Fragment	10-20µm		(Maliwan et Hu 2025)

Tableau 9 : Typologie des activités industrielles qui rejettent potentiellement des NMPs dans le secteur du traitement de la plasturgie , (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025)
Table 9: *Typology of industrial activities potentially releasing NMPs in the plastics processing sector, (RECORD, AMVALOR, IPC, 2025)*

Procédés de la plasturgie									
Unit opération		**Effluent**			**NMPs**				**Source**
Unit process	Input material	Water	Air	Soil	Polymer	Shape	Size	Other criteria	Reference
Regranulation of production scraps	Thermoplastic (TP)		Air	Soil	TP	Dusts			Aggregated and anonymized data from the on-site survey
				Soil	TP	MPs			
Trimming	TP		Air	Soil	TP	Dusts			
				Soil	TP	MPs			
Grinding	TP		Air	Soil	TP	Dusts			
				Soil	TP	MPs			
Pellet conveying	TP		Air		TP	Angel wire			
			Air		TP	Dusts			
				Soil	TP	MPs			
Deburring	TP		Air	Soil	TP	Dusts			
				Soil	TP	MPs			
Shredding	TP				TP				
Degating	TP		Air		TP	Dusts			
				Siol	TP	MPs			
Extrusion	TP	Water		Soil	TP	Angel wire			
						MPs			
Pulling	TP		Air	Soil	TP	MPs			
Sorting	TP	Water			TP				
Injection	TP		Air	Soil	TP	Dusts			
				Soil	TP	MPs			
Pellet storage	TP			Soil	TP	Pellets			

Matrice d'évaluation multicritère du potentiel d'émission de NMPs

La première partie de la matrice s'applique au niveau de chaque opération unitaire d'un process industriel : chaque réponse positive à l'une des questions, indique la présence d'une situation de risque de formation de NMPs, puis, le cas échéant, d'aggravation de ce risque. Ce premier niveau d'évaluation propose donc aux industriels d'identifier leurs sources potentielles d'émission de NMPs, et la nature des causes sur lesquelles agir en vue de les prévenir.

La seconde partie de la matrice vise à évaluer le risque de transfert de NMPs dans les fluides et/ou l'air ambiant au contact Elle permet d'identifier les effluents et environnements de travail potentiellement contaminés et par conséquent d'orienter les actions de surveillance ou de maîtrise.

Les résultats sont exprimés sous la forme de bandes de risque facilitant la visualisation du profil d'émission global du procédé analysé.

Analyse et commentaire de ces résultats
Les résultats issus de cette étude visent à être utilisés par les entreprises souhaitant comprendre les principaux enjeux liés aux rejets industriels de NMPs, et à évaluer si leurs process génèrent potentiellement ce type de pollution. Des limites à ces résultats, peuvent cependant être soulignées :

- **Evaluation qualitative**
Notons la difficulté à nuancer le niveau de risque associé aux différents indicateurs de la matrice d'évaluation multicritère, tous illustrés par une même couleur (orange). Ceci est lié au manque de données disponibles dans la littérature scientifique, qui permettraient de quantifier et de comparer les niveaux de NMPs formés, transférés et rejetés, par les différents process industriels.

Multi-criteria evaluation matrix of NMPs emission potential

The first part of the matrix applies to each unit operation of an industrial process. Each positive response to one of the questions indicates the presence of a risk of NMPs formation, and where applicable, an increased risk. This first level of assessment thus enables manufacturers to identify their potential sources of NMPs emissions and the causes that can be addressed to prevent them.

The second part of the matrix aims to assess the risk of NMPs being transferred to fluids and/or ambient air in contact with them. This allows the identification of potentially contaminated industrial effluents and working environments.

The results are expressed in the form of risk bands.

Analysis and comments on these results
The results of this study are intended for companies that wish to understand the main issues associated with industrial NMP discharges and assess whether their processes generate this type of pollution., However, there are a number of limitations to these results:

- ***Qualitative assessment***
Note the difficulty in qualifying the level of risk associated with the various indicators in the multi-criteria assessment matrix, which are all illustrated by the same color (orange). This is due to the lack of data available in the scientific literature with which to quantify and compare the levels of NMPs formed, transferred and released by different industrial processes.

- ***Assessment of raw risk***
The indicators in the multicriteria matrix enable a raw risk to be assessed based solely on the intrinsic properties of

- **Evaluation d'un risque brut**

Les indicateurs de la matrice multicritère permettent d'évaluer un risque brut, uniquement basé sur les propriétés intrinsèques des procédés et des matériaux plastiques, sans prise en compte des différents moyens de prévention ou de réduction pouvant être mis en œuvre par les entreprises. Une liste de leviers d'atténuation identifiés dans la littérature est néanmoins proposée à titre de complément, pour permettre une seconde lecture tenant compte des moyens correctifs existants.

Conclusion

Cette étude propose aux industriels une grille de lecture des enjeux liés aux rejets industriels de NMPs ainsi qu'un outil pour l'évaluation qualitative du risque d'émission associé à leurs procédés. Basés sur l'état actuel des connaissances scientifiques et techniques, ces résultats ont vocation à évoluer à mesure que de nouvelles données, notamment quantitatives, viendront enrichir la compréhension des phénomènes en jeu.

plastic processes and materials. This does not take into account the various means that companies can implement to prevent or mitigate the effect. Prevention and mitigation measures identified in the scientific literature are then proposed.

Conclusion

This study sheds light on industrial NMP emissions and the associated issues, providing a matrix for the qualitative assessment of NMP emission risk from industrial processes. Based on the current state of scientific and technical knowledge, these results will evolve in line with advances in knowledge on the subject.

Reference

Barbillat, Jacques, Daniel Bougeard, Guy Buntinx, Michel Delhaye, Paul Dhamelincourt, et François Fillaux. 1999. « Spectrométrie Raman ». *Techniques de l'Ingénieur* P2865 v2.

Briottet, Xavier. 2018. « Imagerie hyperspectrale visible et infrarouge thermique ». *Techniques de l'Ingénieur* P960 v1.

Brisset, François, et Jacky Ruste. 2024. « Microscopie électronique à balayage ». *Techniques de l'Ingénieur* P865 v4.

Brown, Erina, Anna MacDonald, Steve Allen, et Deonie Allen. 2023. « The Potential for a Plastic Recycling Facility to Release Microplastic Pollution and Possible Filtration Remediation Effectiveness ». *Journal of Hazardous Materials Advances* 10 (mai):100309. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100309.

Cai, Yaping, Tong Yang, Denise M. Mitrano, Manfred Heuberger, Rudolf Hufenus, et Bernd Nowack. 2020. « Systematic Study of Microplastic Fiber Release from 12 Different Polyester Textiles during Washing ». *Environmental Science & Technology* 54 (8): 4847-55. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07395.

Chen, Guanglong, Zhilu Fu, Huirong Yang, et Jun Wang. 2020. « An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere ». *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 130 (septembre):115981. https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115981.

Choi, Sola, Miyeon Kwon, Myung-Ja Park, et Juhea Kim. 2021. « Characterization of Microplastics Released Based on Polyester Fabric Construction during Washing and Drying ». *Polymers* 13 (24): 4277. https://doi.org/10.3390/polym13244277.

D. Fontana, Marc, David Chapron, Thomas H. Kauffmann, et Patrice Bourson. 2017. « Spectroscopie Raman des défauts dans les matériaux ». *Techniques de l'Ingénieur* E6322 v1.

Dazzi, Alexandre, et Ariane Deniset-Besseau. 2019. « AFM-IR : caractérisation chimique à l'échelle nanométrique ». *Techniques de l'Ingénieur* IN224 v1.

Delgado-Gallardo, Javier, Geraint L. Sullivan, Peter Esteban, Ziyan Wang, Ozgur Arar, Zhenyu Li, Trystan M. Watson, et Sarper Sarp. 2021. « From Sampling to Analysis: A Critical Review of Techniques Used in the Detection of Micro- and Nanoplastics in Aquatic Environments ». *ACS ES&T Water* 1 (4): 748-64. https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00228.

Deng, Liyan, Hongbo Xi, Chunli Wan, Liya Fu, Yue Wang, et Changyong Wu. 2023. « Is the Petrochemical Industry an Overlooked Critical Source of Environmental Microplastics? » *Journal of Hazardous Materials* 451 (juin):131199. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131199.

Despujols, Jacques. 2000. « Spectrométrie d'émission des rayons X. Fluorescence X ». *Techniques de l'Ingénieur* P2695 v4.

Dreillard, Matthieu, Caroline De Faria Barros, Virgile Rouchon, Coralie Emonnot, Véronique Lefebvre, Maxime Moreaud, Denis Guillaume, Fabrice Rimbault, et Frédéric Pagerey. 2022. « Quantification and Morphological Characterization of Microfibers Emitted from Textile Washing ». *Science of The Total Environment* 832 (août):154973. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154973.

Grillo, Jose F., Adriana López-Ordaz, Andrés J. Hernández, Edgar Catarí, Marcos A. Sabino, et Ruth Ramos. 2023. « Synthetic Microfiber Emissions from Denim Industrial Washing Processes: An Overlooked Microplastic Source within the Manufacturing Process of Blue Jeans ». *Science of The Total Environment* 884 (août):163815. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163815.

Humbert, Bernard, Jean-Yves Mevellec, Jérôme Grausem, et Manuel Dossot. 2012. « Spectrométrie d'absorption dans l'infrarouge ». *Techniques de l'Ingénieur* P2850 v1.

Ivleva, Natalia P. 2021. « Chemical Analysis of Microplastics and Nanoplastics: Challenges, Advanced Methods, and Perspectives ». *Chemical Reviews* 121 (19): 11886-936. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00178.

Karlik, Miroslav, et Bernard Jouffrey. 2008. « Étude des métaux par microscopie électronique en transmission (MET) ». *Techniques de l'Ingénieur* M4136 v1.

Maliwan, Thitiwut, et Jiangyong Hu. 2025. « Release of Microplastics from Polymeric Ultrafiltration Membrane System for Drinking Water Treatment under Different Operating Conditions ». *Water Research* 274 (avril):123047. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.123047.

Murashov, Vladimir, Charles L. Geraci, Paul A. Schulte, et John Howard. 2021. « Nano- and microplastics in the workplace ». *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 18 (10-11): 489-94. https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1976413.

Nowak, Derek, William Morrison, H. Kumar Wickramasinghe, Junghoon Jahng, Eric Potma, Lei Wan, Ricardo Ruiz, et al. 2016. « Nanoscale chemical imaging by photoinduced force microscopy ». *Science Advances* 2 (3): e1501571. https://doi.org/10.1126/sciadv.1501571.

Pinlova, Barbora, Rudolf Hufenus, et Bernd Nowack. 2022. « Systematic Study of the Presence of Microplastic Fibers during Polyester Yarn Production ». *Journal of Cleaner Production* 363 (août):132247. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132247.

Rivoal, Jean-Claude, et Christian Frétigny. 2005. « Microscopie à force atomique (AFM) ». *Techniques de l'Ingénieur* R1394 v1.

Schymanski, Darena, Christophe Goldbeck, Hans-Ulrich Humpf, et Peter Fürst. 2018. « Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water ». *Water Research* 129 (février):154-62. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011.

Schymanski, Darena, Barbara E. Oßmann, Nizar Benismail, Kada Boukerma, Gerald Dallmann, Elisabeth von der Esch, Dieter Fischer, et al. 2021. « Analysis of Microplastics in Drinking Water and Other Clean Water Samples with Micro-Raman and Micro-Infrared Spectroscopy: Minimum Requirements and Best Practice Guidelines ». *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 413 (24): 5969-94. https://doi.org/10.1007/s00216-021-03498-y.

Shen, Maocai, Tong Hu, Wei Huang, Biao Song, Meng Qin, Huan Yi, Guangming Zeng, et Yaxin Zhang. 2021. « Can Incineration Completely Eliminate Plastic Wastes? An Investigation of Microplastics and Heavy Metals in the Bottom Ash and Fly Ash from an Incineration Plant ». *Science of The Total Environment* 779 (juillet):146528. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146528.

Sonntag, Matthew D., Eric A. Pozzi, Nan Jiang, Mark C. Hersam, et Richard P. Van Duyne. 2014. « Recent Advances in Tip-Enhanced Raman Spectroscopy ». *The Journal of Physical Chemistry Letters* 5 (18): 3125-30. https://doi.org/10.1021/jz5015746.

Suzuki, Go, Natsuyo Uchida, Kosuke Tanaka, Osamu Higashi, Yusuke Takahashi, Hidetoshi Kuramochi, Naohisa Yamaguchi, et Masahiro Osako. 2024. « Global Discharge of Microplastics from Mechanical Recycling of Plastic Waste ». *Environmental Pollution* 348 (mai):123855. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123855.

Zhan, Lu, Qi Zhang, Akemareli Bulati, Rui Wang, et Zhenming Xu. 2022. « Characteristics of Microplastics and the Role for Complex Pollution in E-Waste Recycling Base of Shanghai, China ». *Environment International* 169 (novembre):107515. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107515.

Zhang, Qi, Rui Wang, Yaqi Shen, Lu Zhan, et Zhenming Xu. 2022. « An Ignored Potential Microplastic Contamination of a Typical Waste Glass Recycling Base ». *Journal of Hazardous Materials* 422 (janvier):126854. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126854.