

## Notes techniques

# IDENTIFIER LES COMPOSÉS LIBÉRÉS LORS DE LA DÉGRADATION THERMIQUE DES PLASTIQUES

MARIANNE GUILLEMOT,  
BENOIT OURY,  
SANDRINE MELIN  
INRS,  
département  
Métrologie  
des polluants

COSMIN PATRASCU  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

Lorsqu'elles sont chauffées, les matières plastiques émettent des substances volatiles qui peuvent être toxiques pour ceux qui les manipulent. Afin d'aider à l'évaluation de l'exposition aux produits chimiques, l'INRS a mis au point et validé sur le terrain un protocole permettant de caractériser les produits de dégradation thermique des polymères les plus utilisés en France.

Les matières plastiques constituent les matériaux de base de nombreux produits et sont omniprésents dans des domaines aussi variés que l'automobile, le bâtiment, l'emballage, l'électricité, l'électronique, l'habillement, etc. (Cf. Encadré 1). Lorsqu'ils sont chauffés à des températures comprises entre 150 et 400 °C voire parfois au-delà, les polymères deviennent sources d'émission de produits volatils potentiellement toxiques pour les salariés [1]. Des produits de dégradation sont également libérés lors d'autres opérations, lorsque la

pièce en polymère est, par exemple, percée, abrassée, découpée ou soudée.

Les voies d'exposition à des composés chimiques dans les professions concernées sont principalement le contact cutané et les voies respiratoires par inhalation des poussières et surtout des composés volatils libérés par les différents polymères durant leur transformation.

La réglementation en matière de prévention des expositions oblige les entreprises à évaluer les agents chimiques dangereux et les agents CMR auxquels peuvent être exposés les salariés.

### RÉSUMÉ

L'INRS a mené une étude dans le but de développer un outil de diagnostic des expositions au risque chimique dans le domaine de la dégradation thermique des matières plastiques. Un protocole analytique a été développé en laboratoire. Plusieurs campagnes de prélèvements dans

les ateliers de plasturgie ont permis d'évaluer et de valider ce protocole par comparaison entre les produits prélevés à l'émission et ceux identifiés en laboratoire. Ainsi, les produits de dégradation thermique des 23 polymères thermoplastiques les plus utilisés

en France ont été déterminés selon ce protocole.

L'ensemble des connaissances issues de cette étude seront disponibles et diffusées par le biais d'une base de données, disponible sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).

### Identifying the compounds released during thermal degradation of plastics

INRS has conducted a study with the aim of developing a diagnostic tool for exposure to chemical risks in the field of thermal degradation of plastics materials. An analytical protocol has been developed in the laboratory. Various sampling campaigns in plastics

processing workshops have made it possible to assess and to validate this protocol by comparison between the products sampled in emissions in those workshops and the products identified in the laboratory. Thus, the thermal degradation products from the 23 thermoplastic

polymers that are in most widespread use in France were determined using that protocol. All of the knowledge from this study will be available and will be disseminated via a database consultable on [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

Or, dans ce type d'activités, en raison de la grande diversité des matières plastiques et leurs conditions de mises en œuvre, il est difficile d'évaluer les expositions. De plus, peu d'informations sont disponibles sur les polluants susceptibles d'être générés dans les ateliers de plasturgie [5], hormis sur le comportement de certains polymères à haute température qui a fait l'objet d'une revue bibliographique « Produits de dégradation thermique des matières plastiques » publiée en 1999 par l'INRS [6]. Compte tenu des connaissances limitées sur les niveaux d'exposition dans la plasturgie, de l'évolution des matériaux utilisés et des techniques d'analyse, l'INRS a conduit une étude afin de répondre à deux objectifs :

- définir une méthodologie applicable à l'ensemble des polymères, permettant de caractériser les produits de dégradation thermique et la tenue à la température d'un thermoplastique pour une température donnée;
- appliquer le protocole défini à l'ensemble des polymères ciblés et mettre à disposition les résul-

sous air ont été retenues pour leur capacité à reproduire les contraintes thermiques rencontrées dans de nombreuses situations professionnelles [7-9]: l'analyse thermogravimétrique (ATG) et la pyrolyse. L'influence de différents paramètres a été étudiée afin de définir le protocole de dégradation thermique des matières plastiques le plus adapté: la préparation de l'échantillon, la vitesse de chauffe et la technique utilisée.

La validité du protocole développé a ensuite été évaluée lors de plusieurs campagnes de prélèvements en entreprises. Les composés identifiés dans les ateliers de plasturgie ont été comparés à ceux générés lors de la dégradation thermique du même polymère menée en laboratoire.

### Mise au point du protocole

L'analyse thermogravimétrique est réalisée grâce à une thermobalance (Cf. Figure 1). L'échantillon est placé sur une nacelle au sein d'un four permettant de chauffer la matière plastique sous un flux d'air. La rampe de température peut varier de 5 à

#### ENCADRÉ 1

### LA TRANSFORMATION DES MATIÈRES PLASTIQUES EN FRANCE

En France, près de 3 300 entreprises transforment des matières plastiques. Elles emploient plus de 132 000 personnes dont 59 000 sont directement affectées à la production dans les ateliers ou la maintenance des procédés industriels [2-4]. Les cinq secteurs recensés sont classés par ordre d'importance en termes d'emplois :

- la fabrication de pièces techniques;
- la fabrication d'emballages;
- la fabrication d'éléments pour la construction;
- la fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés;
- la fabrication de produits de consommation courante.

tats dans une base de données afin d'orienter les acteurs de la prévention dans leur démarche d'évaluation et de réduction des risques.

### La démarche

L'étude a porté sur les thermoplastiques les plus utilisés en France, soit 23 polymères classés en 11 familles: polyoléfines, polyvinyliques, polystyréniques, polyacryliques, polyacétals, polyamides, polycarbonates, polyesters linéaires, polyfluoroéthènes, cellulosiques, polyuréthanes thermoplastiques. Deux techniques de dégradation thermique



↑ FIGURE 1  
Thermobalance.

50°C/min. La masse de l'échantillon est mesurée au cours de la montée en température permettant ainsi de déterminer la température correspondant au début de la dégradation de l'échantillon et la perte en masse finale.

Lors de l'analyse thermogravimétrique, les effluents sont collectés à température ambiante en sortie du four de la thermobalance sur un support de prélèvement spécifique.

Les produits prélevés sont ensuite analysés de manière différée par désorption par solvant ou thermique selon la nature du support utilisé.



FAMILLE DE POLYMÈRES	NOM	SIGLE	POURCENTAGE DE LA CONSOMMATION	PROCÉDÉ	NOMBRE D'ENTREPRISES	
Polyoléfines	Polyéthylène Basse et Haute Densité	PEBD PEHD	29%	Extrusion	1	
				Inject- mouL.**	1	
				Soudure	2	
				Coupe fil chaud	2	
	Polypropylène	PP	19%	Extrusion	1	
				Inject- mouL.	6	
Soudure				1		
Polyvinyliques	Polychlorure de vinyle	PVC	11%	Extrusion	2	
				Inject- mouL.	1	
	Polychlorure de vinylidène	PVDC	1%	-	0	
Polystyréniques	Polystyrène		2%	Inject- mouL.	1	
	Copolymères	Poly(styrène/ acrylonitrile)		SAN	-	0
		Poly(styrène/éthylène/ butylène)		SEBS	Inject- mouL.	2
		Poly(acrylonitrile/ butadiène/ styrène)		ABS	Inject- mouL.	3
Polyuréthanes thermoplastiques		TPU	7%	R&D étuvage	1	
Polyesters linéaires	Polyéthylène téréphtalate	PET	7%	Inject- mouL.	1	
				Inject- mouL.	1	
				Extrusion	1	
	Coupe fil chaud	1				
Polybuthylène téréphtalate	PBT	Inject- mouL.	1			
Polytriméthylène téréphtalate	PTT	-	0			
Polyamides	Polyamides 6	PA 6	3%	Extrusion	1	
	Polyamides 12	PA 12		-	0	
	Polyamides 6.6	PA 6.6		Inject- mouL.	3	
				Extrusion	1	
Polycarbonates		PC	1,3%	Inject- mouL.	2	
Polyacryliques	Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	1%	Extrusion	1	
				Inject- mouL.	2	
	Polyacrylonitrile	PAN		Coupe laser	2	
				-	0	
Polyacétals	Polyoxyméthylène	POM	0,5%	Inject- mouL.	2	
Polyfluoréthènes	Polyfluorure de vinylidène Éthylène/tétrafluoroéthylène	PVDF ETFE	<0,5%	Extrusion	1	
Cellulosiques	Acétobutyrate de cellulose	CAB	<0,5%	-	0	

↑ TABLEAU Polymères, part dans la production industrielle européenne et procédés concernés par les campagnes de prélèvements.

Cette technique permet, soit d'utiliser des supports permettant une analyse qualitative afin de caractériser les produits de dégradation thermique, soit d'utiliser des dispositifs de prélèvement en vue de la quantification de certains composés présentant une toxicité avérée. L'objectif de ces prélèvements quantitatifs est de déterminer la quantité de produits libérés ramenée à la quantité de polymère dégradé. Ainsi, les hydrocarbures aromatiques tels que le benzène, le toluène et le styrène, les

aldéhydes (acétaldéhyde et formaldéhyde) et les acrylates sont prélevés et quantifiés respectivement selon les méthodes MétroPol 012, 001 et 021 (consultables sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)).

Le prélèvement en vue d'une analyse qualitative, également appelée « screening », est réalisé sur un tube de désorption thermique à phases multiples de type Carbotrap 300. Ce type de support contient trois phases adsorbantes différentes afin de collecter la majorité des effluents organiques

(entre C<sub>3</sub> et C<sub>30</sub>). L'analyse du tube se fait ensuite par désorption thermique à 330°C pendant 20 minutes et injection dans l'analyseur.

Dans le cas de la pyrolyse sous air, l'échantillon est placé dans un tube en quartz au sein de la canne de pyrolyse. La gamme de rampe de température du pyrolyseur est très importante: de quelques degrés par minute à 1000°C par seconde.

Les produits issus de la dégradation thermique du polymère sont retenus sur le piège froid intégré au pyrolyseur et maintenu à -30°C. L'association du média adsorbant et de la basse température permet d'optimiser la capacité de rétention du dispositif. À la fin de la pyrolyse sous air, ce piège est ensuite chauffé rapidement à 280°C et les effluents piégés sont désorbés et injectés en ligne dans l'analyseur couplé au pyrolyseur. Si cette technique offre une grande sensibilité, elle ne permet pas de faire d'analyse quantitative.

L'analyse des produits de dégradation thermique a été réalisée en chromatographie phase gaz couplée à la spectrométrie de masse.

L'influence de différents paramètres a été étudiée afin d'optimiser les protocoles de dégradation thermique des matières plastiques:

- la technique de préparation de l'échantillon de matière plastique par découpe manuelle à température ambiante, broyage à température ambiante et broyage à froid (à la température de l'azote liquide);
- la vitesse de chauffe appliquée lors de la dégradation thermique de l'échantillon (5, 10, 20 ou 50°C/min);
- la technique utilisée, ATG ou pyrolyse sous air, tous les autres paramètres étant identiques par ailleurs.

Quelle que soit la technique de préparation de l'échantillon ou la technique de dégradation thermique utilisée, les principaux produits de dégradation obtenus sont identiques.

L'étude de l'influence de la vitesse de chauffe a montré qu'à 10, 20 ou 50°C/min, les produits libérés sont identiques. Les produits de dégradation obtenus avec une rampe de 5°C/min sont différents à la fois sur la nature et la quantité des composés identifiés.

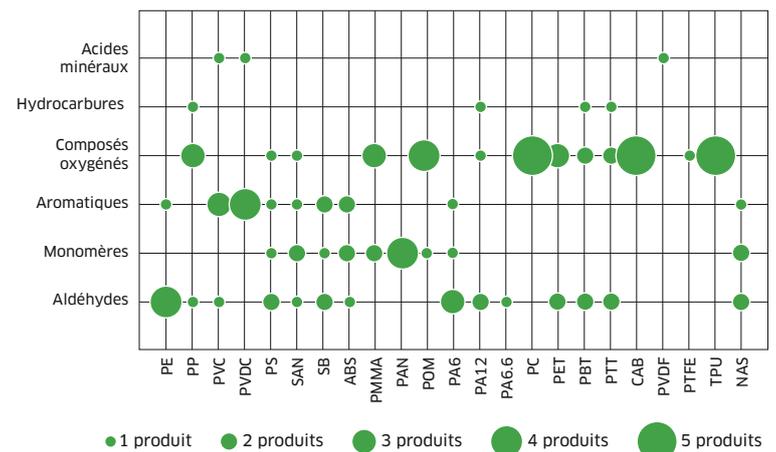
Les résultats ont permis d'optimiser les paramètres expérimentaux. En ce qui concerne la préparation de l'échantillon, le broyage a été retenu puisqu'il limite les risques de coupure pour l'opérateur. Le broyage à température ambiante n'étant pas possible pour toutes les références de plastiques, le broyage à froid a été choisi. La rampe de température retenue est 20°C/min car elle offre le meilleur compromis entre les caractéristiques techniques de la thermobalance, la qualité et la rapidité de l'analyse. Les caractéristiques techniques du pyrolyseur et de la thermobalance

n'étant pas semblables, les deux analyses sont effectuées afin de bénéficier des avantages de chacune:

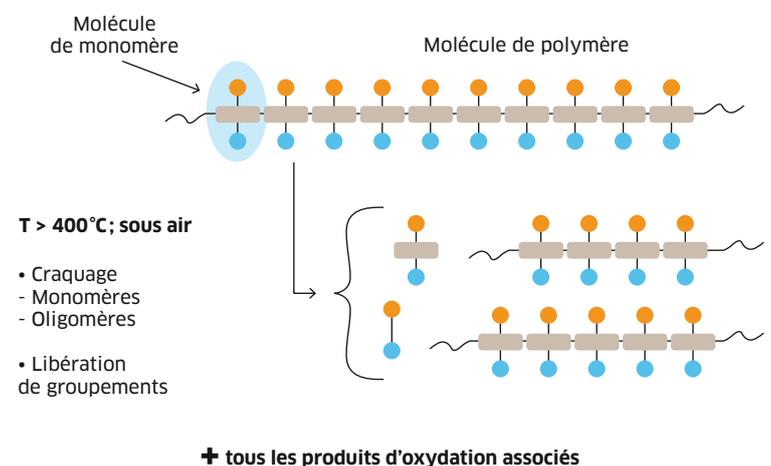
- broyage à froid, dégradation thermique en ATG à 20°C/min, 450°C, sous air: suivi de la perte en masse de l'échantillon et prélèvements en vue de l'analyse quantitative des aldéhydes, des aromatiques et des acrylates, sur le support adéquat;
- broyage à froid, dégradation thermique en pyrolyse à 20°C/min sous air: détermination des produits de dégradation thermique libérés à la température de transformation connue et à 450°C.

## Validation du protocole: campagne de prélèvements en entreprises

Les campagnes de mesures en entreprises ont été réalisées avec l'aide des services de prévention des Carsat et des services de santé au travail. En fonction du ou des polymères mis en œuvre, des procédés et des températures appliquées,



↑ FIGURE 2 Principaux produits de dégradation obtenus à 450°C par famille de composés libérés en fonction du type de thermoplastiques.



↑ FIGURE 3 Mécanisme général de la dégradation thermique.

13 entreprises ont été retenues pour participer à ces mesures et permettre de couvrir 15 des 23 polymères visés par l'étude (Cf. Tableau).

Chaque campagne de prélèvements en entreprise a été précédée d'une visite des installations permettant de rencontrer les personnes impliquées, de préciser les polymères, les procédés de transformation et les températures de mise en œuvre, d'étudier les postes de travail et de prendre connaissance des consignes de sécurité en vigueur dans l'entreprise. Les modalités de l'intervention ont été ensuite définies dans un protocole remis à l'entreprise. La campagne de prélèvements a été réalisée pendant une phase de production ou de maintenance clairement identifiée et mettant en œuvre une quantité suffisante de matière.

Les prélèvements d'atmosphère ont été réalisés au plus près possible de la partie chaude du procédé de transformation thermique du polymère. Les effluents gazeux générés ont alors été collectés sur des dispositifs de prélèvement au travers desquels est pompé un volume d'air.

Deux approches complémentaires ont été menées. La première, qualitative et exploratoire, visait à identifier le maximum de produits. Elle repose sur la technique de « *screening* » et l'utilisation d'un tube de désorption thermique contenant dif-

férentes phases d'adsorbants [10]. Très sensible, cette technique permet de piéger et d'identifier un large spectre de molécules.

La seconde visait à quantifier certains produits dont la toxicité est reconnue et l'émission déjà observée lors des dégradations thermiques réalisées au laboratoire tels que les aldéhydes, les hydrocarbures aromatiques ou certains acides minéraux. La concentration du polluant considéré a alors été mesurée avec la technique conforme aux recommandations des méthodes de référence validées pour l'évaluation des expositions professionnelles (méthodes MétroPol n°001, 009, 012, 020, 021, 029, 037, 055, 076, 077, 107 et méthode NIOSH 1604).

Les différents procédés étudiés dans les entreprises visitées peuvent être regroupés dans les catégories suivantes :

- l'extrusion pour la fabrication en continu de tuyaux, gaines, câbles, films, filaments pour granulation: 16 lignes ont fait l'objet de mesures dans 4 entreprises;
- l'injection-moulage sur différents types de presses: simple injection, double injection, surmoulage, etc.: 50 presses ont fait l'objet de mesures dans 8 entreprises;
- la découpe au fil chaud de films à la production

## ENCADRÉ 2 QUELQUES MESURES DE PRÉVENTION

L'évaluation précise de l'exposition lors de la fabrication et de la transformation des matières plastiques est difficile en raison de la grande diversité et du grand nombre de polluants émis dans ce type d'activités. Si l'exposition à un agent chimique considéré isolément peut être faible, il faut tenir compte des co-expositions, la situation rencontrée dans ce secteur correspond le plus souvent à celle d'une multiexposition à de nombreux agents chimiques dangereux émis en différentes quantités. Quoi qu'il en soit, les règles générales de prévention du risque chimique sont applicables pour ce secteur: suppression ou substitution, diminution des quantités des produits dangereux, captage à la source des polluants...

La substitution est difficile, notamment dans le cas où certaines propriétés des matériaux finis sont recherchées. Elle est cependant applicable, notamment dans le cas des phtalates ou des pigments car des plastifiants et des pigments moins dangereux sont disponibles. Dans le domaine de la protection collective, le captage des émanations et des fumées à la source reste la solution la plus efficace et la plus répandue. L'essentiel est d'enclotter et de capter les zones les plus émissives, par exemple les têtes d'injection ou d'extrusion, les zones d'ouverture des moules ou les presses de thermoformage, les gaines d'extrusion-soufflage... L'INRS a récemment publié un guide pratique de ventilation spécifique auquel il est possible de se référer.

Des mesures organisationnelles doivent bien entendu être associées aux mesures techniques. Le nettoyage des moules doit se faire à froid pour limiter l'évaporation des solvants. La maîtrise des procédés, notamment celle des températures limite les émissions. La mise en place de mesures de prévention en cas de surchauffes ou l'augmentation de l'aspiration lors des purges évitent la dissémination des produits de dégradation dans l'atelier. La ventilation des lieux de stockage des pièces fraîchement fabriquées dilue et évacue les polluants résiduels émis. Pour en savoir plus, consultez le guide de ventilation *Atelier de plasturgie*, INRS, ED6146, 2013.

ou de pièces en contrôle qualité: 3 découpes automatisées ainsi qu'un poste de découpe en contrôle suivis dans 2 entreprises;

- la découpe et l'abrasion par un faisceau laser: 2 postes étudiés dans 2 entreprises;
- la soudure à lames chaudes: 3 postes étudiés dans 2 entreprises;
- la soudure manuelle: 2 opérations différentes suivies dans la même entreprise;
- le soufflage de préformes dans une entreprise;
- l'étuvage-réticulation au laboratoire de recherche et développement d'une entreprise.

Des prélèvements individuels ont également été réalisés sur les opérateurs réalisant les purges des presses à injection/moulage ou des extrudeuses.

Parallèlement aux mesures, un échantillon de la matière plastique, sous la forme de granulés, est prélevé à l'alimentation du procédé. Après analyse des prélèvements atmosphériques, les différents polluants identifiés peuvent ainsi être comparés à ceux obtenus au laboratoire avec le protocole de dégradation thermique appliqué au polymère correspondant.

Au total 527 prélèvements ont été réalisés dans les 13 entreprises et parallèlement 71 échantillons de granulés des divers plastiques transformés ont été prélevés puis dégradés dans les laboratoires de l'INRS.

Les résultats montrent une bonne concordance entre les produits identifiés dans les émissions prélevées en entreprises et ceux générés avec le protocole analytique du laboratoire.

En plus de l'objectif initial, portant sur la caractérisation des produits de dégradation, plusieurs situations d'exposition des salariés aux composés détectés sur le procédé de transformation ont été relevées durant les campagnes de prélèvements. Elles concernent principalement deux polymères: le polyoxyméthylène (POM) et le polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Dans les ateliers transformant le POM, l'émission de formaldéhyde peut être importante lors de l'étape de purge des presses d'injection-moulage. Pendant cette opération de quelques minutes, la concentration à l'émission peut atteindre plusieurs milligrammes par mètre cube, voire dépasser les 10 mg/m<sup>3</sup>. Un prélèvement individuel a permis d'évaluer l'exposition d'un salarié réalisant cette opération pendant 12 minutes. La concentration en formaldéhyde mesurée correspond à 90% de la valeur limite court-terme (VLCT 15 min) de 1,25 mg/m<sup>3</sup>. De fortes émissions ont également été constatées lors de la découpe laser de plaques de PMMA. Des concentrations comprises entre 200 et 300 mg/m<sup>3</sup> de méthacrylate de méthyle et de 0,5 mg/m<sup>3</sup> de formaldéhyde ont été mesurées à 30 centimètres du point d'impact du faisceau laser. En dehors de ces situations, les concentrations

mesurées à l'émission dans les ateliers sont faibles, comparées à la valeur limite d'exposition professionnelle des produits identifiés, lorsqu'ils en possèdent.

### Application du protocole: principaux résultats

Les produits de dégradation ont été déterminés pour les 23 polymères étudiés selon le protocole défini (pyrolyse sous air, 20°C/min, 450°C). L'ensemble des résultats est reporté par type de thermoplastique dans la figure 2. Ce graphique présente les principaux produits de dégradation, classés selon leur famille chimique. La taille de la bulle est fonction du nombre de composés libérés issus d'une même famille.



Les résultats corroborent le mécanisme général de dégradation thermique, présenté dans la figure 3, avec le dégagement d'une grande variété de produits de dégradation thermique, tels que les monomères, libres ou issus de la dépolymérisation du polymère, les oligomères, les dérivés oxygénés de certains groupements du polymère ainsi que tous les produits d'oxydation associés [11,12]. Les produits de dégradation observés peuvent également différer d'une référence à une autre pour une même famille de thermoplastique en

Prélèvements à la sortie d'une buse d'extrusion-soufflage pour la fabrication de sacs et de films.





Opérateur réalisant une soudure manuelle de matières plastiques.

fonction du type et du taux d'additifs qu'elle contient, ignifugeant, plastifiant, charges diverses.

### Bases de données

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude alimenteront une base de données sur les produits de dégradation thermique des thermoplastiques. Les informations seront classées par famille de polymères et porteront sur les données physico-chimiques, le comportement des polymères à la température, les principaux produits libérés aux températures de mises en œuvre observées en entreprises et ceux libérés à 450°C. Le but de

cette base est de renseigner le préventeur sur les principaux composés susceptibles d'être émis lors de la transformation ou la dégradation totale (surchauffe d'une machine, procédés à fort apport calorifique) du thermoplastique. Une information complémentaire sera apportée sur les agents chimiques toxiques libérés avec les pourcentages massiques de benzène, toluène, styrène, formaldéhyde, acétaldéhyde et acrylates, le cas échéant, déterminés à 450°C.

Le protocole de dégradation thermique retenu est un outil de diagnostic pour la détermination des composés organiques volatils susceptibles d'être présents dans un atelier de plasturgie - en fonction du type de matières plastiques et de la température du procédé de transformation - afin d'évaluer et de prévenir l'exposition des salariés à ces composés potentiellement toxiques.

L'ensemble de ces informations améliore la connaissance des expositions au risque chimique dans ce secteur et sera utile à la prévention (Cf. Encadré 2) sur deux aspects: limiter les émissions des plastiques grâce à la connaissance de la température de début de dégradation et connaître la nature des principaux composés susceptibles d'être libérés en cas de dégradation thermique ainsi que leur quantité s'il s'agit de composés toxiques. ●

1. Guide pratique de ventilation n° 21 - Atelier de plasturgie, INRS, ED 6146

## BIBLIOGRAPHIE

[1] LAFON D., GARNIER R. - Toxicité des produits de dégradation thermique des matières plastiques. Toxicologie - Pathologie professionnelle. Elsevier Masson Consulte, 2008, 16-541-C-10, 12 p.

[2] Plastiques 2012 - Faits et chiffres, Analyse de la production et de la demande en plastiques & de la gestion des déchets en Europe en 2011 - PlasticEurope, (consulté le 21/11/2013). Disponible en ligne: <http://www.plasticseurope.fr/>

[3] *Integrated Pollution Prevention and Control, reference document on best available techniques in the production of polymers - European Commission Directorate - General - JRC - Joint Research Centre - Institute for Prospective Technological Studies, October 2006* (consulté le 21/11/2013). Disponible en ligne, version française: [http://www.ineris.fr/ipcc/sites/default/files/files/pol\\_bref\\_1006.pdf/](http://www.ineris.fr/ipcc/sites/default/files/files/pol_bref_1006.pdf/).

[4] Effectifs salariés de la plasturgie: Données sociales Année 2013.

L'observatoire de la plasturgie - PlasticEurope, juillet 2013 (consulté le 07/11/2013). Disponible en ligne: <http://www.plasticseurope.fr/>

[5] FORREST M. J., JOLLYA M., ET AL. - Emissions from processing thermoplastics. *Annals of Occupational Hygiene*, 1995, 39(1) pp. 35-53.

[6] MAIRESSE M., PETIT J.M., CHÉRON J., FALCY M. - Produits de dégradation thermique des matières plastiques. Cahier de notes documentaires - *Hygiène et sécurité au travail*, 1999, 174, 47-57.

[7] PRATI S., SMITH S., ET AL. - Characterisation of siccative oils, resins and pigments in art works by thermochemolysis coupled to thermal desorption and pyrolysis GC and GC-MS. *Chromatographia*, Vol. 59(3/4), 2004, pp. 227-231.

[8] BOWER N.W., BLANCHET C.J.K. - Analytical pyrolysis - *Chromatography: something old, something new*, *Journal of Chemical Education*, Vol. 87(5), 2010, pp. 467-469.

[9] BHASKAR T., KANEKO J., ET AL. - Pyrolysis studies of PP/PE/PS/PVC/HIPS-Br plastics mixed with PET and dehalogenation (Br, Cl) of the liquid products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004, Vol. 72(1), pp. 27-33.

[10] OURY B. - Le screening, un outil pour l'identification des composés organiques volatils dans une atmosphère de travail. *Hygiène et sécurité au travail*, ND 2346, 3<sup>e</sup> trimestre 2011, 224, pp. 19-27.

[11] WAMPLER T P. - *Applied pyrolysis handbook. 2<sup>nd</sup> edition*. CRC Press, Taylor & Francis group, Décembre 2006, 289 p.

[12] CERVANTES-UC J. M., CAUICH-RODRÍGUEZ J. V., ET AL. - TGA/FTIR study on thermal degradation of polymethacrylates containing carboxylic groups. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, Vol. 91(12), pp. 3312-3321.