

Transformation des plastiques issus de déchets électroniques : Approches innovantes par irradiation

Transformatie van kunststoffen uit elektronisch afval:
innovatieve benaderingen met bestraling

**R.K. BENMAMMAR¹, Z. BOUBERKA², C. MALAS³, V.R. MUNDLAPATI⁴, A. BARRERA¹, J.-N. STAELENS¹,
Y. CARPENTIER⁴, M. ZISKIND⁴, C. FOCSA⁴, S. KHELIFI⁵, F. POUTCH⁵, F. LAOUTID⁶, P. SUPIOT¹,
C. FOISSAC¹, and Ulrich MASCHKE¹**

¹ Unité Matériaux et Transformations (**UMET**), UMR 8207, CNRS, INRAE, Université de Lille, France

² Laboratoire Physico-Chimique des Matériaux, Catalyse et Environnement (**LPMCE**), USTO-MB, Oran, Algeria

³ Institut Chevreul, CNRS, INRAE, Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, France

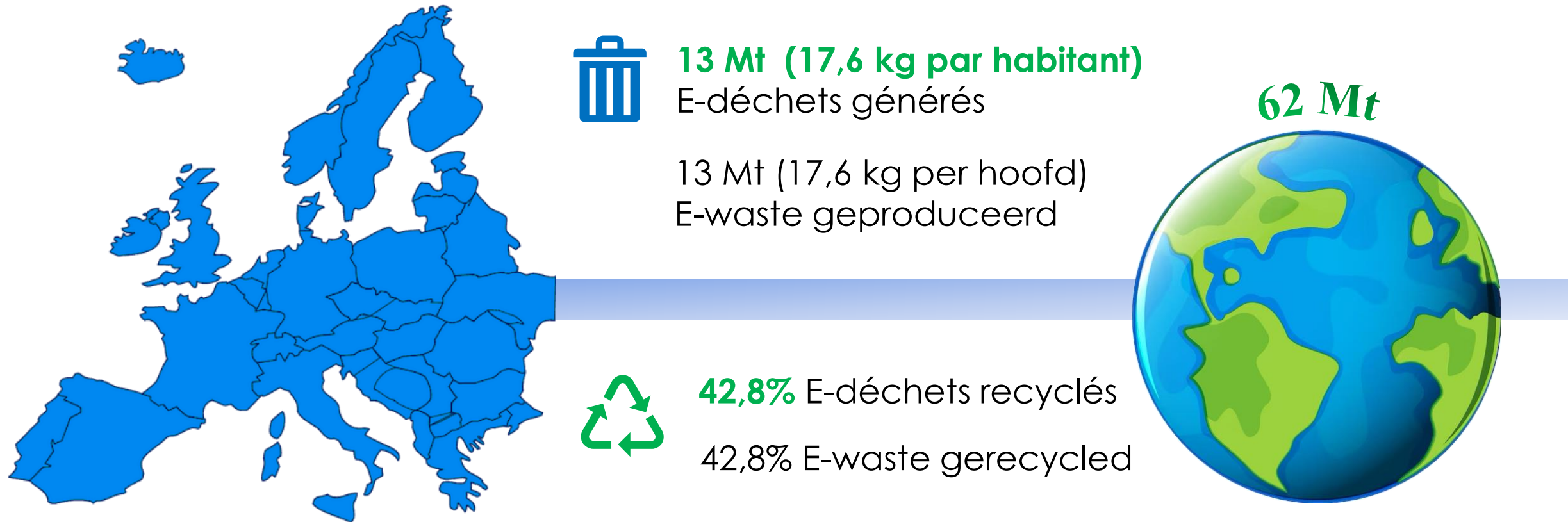
⁴ Physique des Lasers Atomes et Molécules (**PhLAM**), UMR 8523, CNRS, Université de Lille, France

⁵ **CREPIM**, Rue Christophe Colomb, Parc de la Porte Nord, 62700 Bruay-la-Buissière, France

⁶ **Materia Nova** Innovation Center, Avenue Copernic 3, 7000 Mons, Belgium

Les DEEE générés dans le continent européen en 2022

AEEA geproduceerd in continentaal Europa in 2022

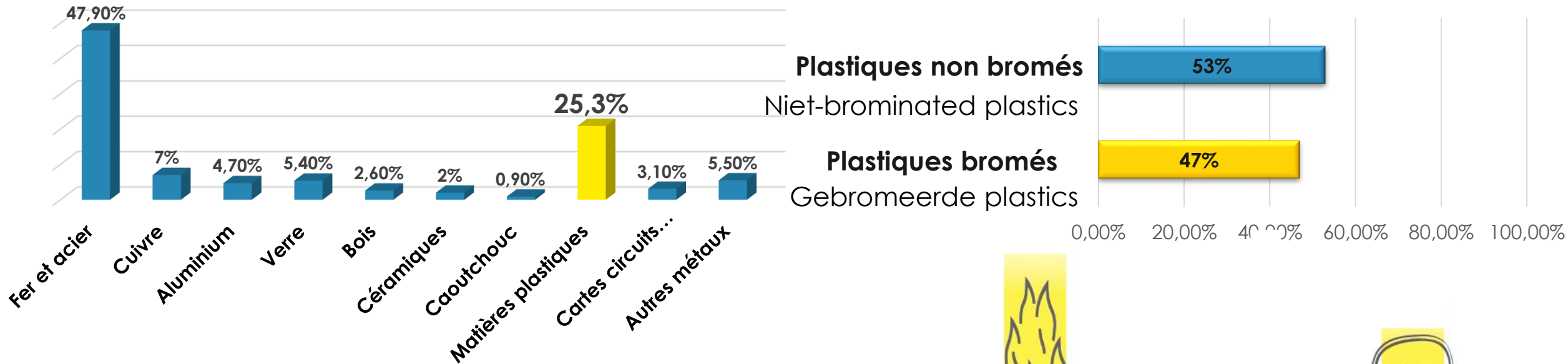


Composition des déchets électroniques mondiaux

Samenstelling van elektronisch afval wereldwijd

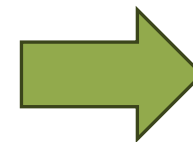
Composition moyenne des matériaux présents dans les DEEE à l'échelle européenne

Gemiddelde samenstelling van materialen in AEEA in Europa



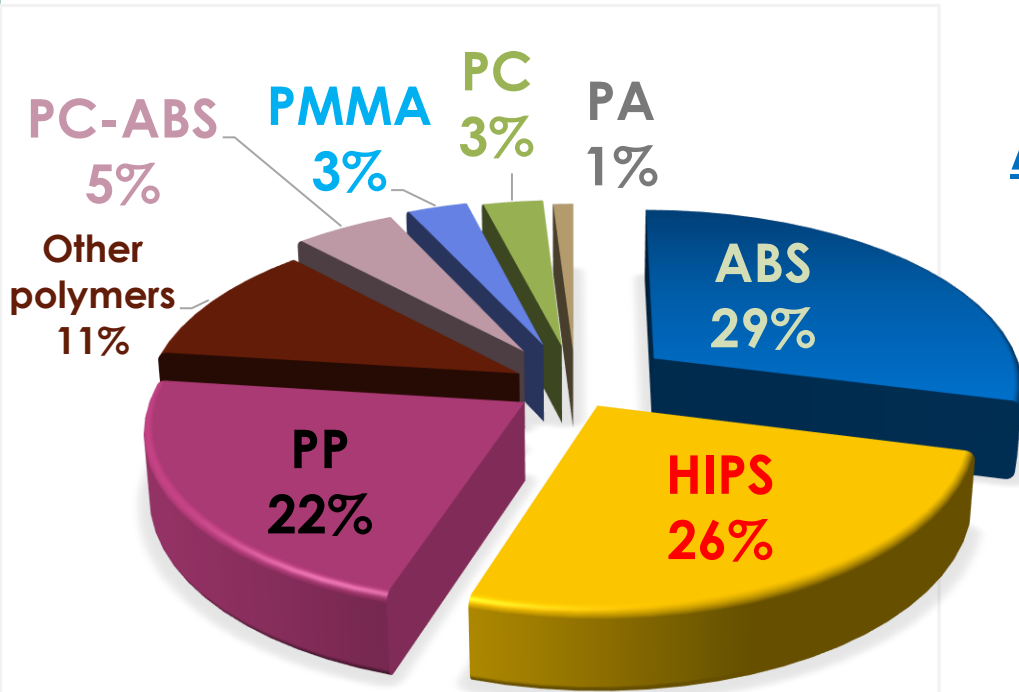
Le devenir des plastiques bromés

Het lot van gebromeerde plastics

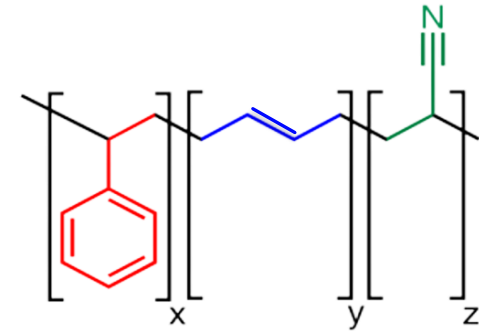
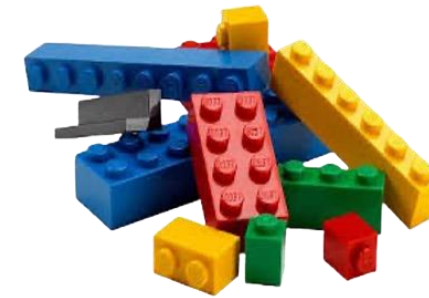


Classement des polymères contenus dans les DEEE

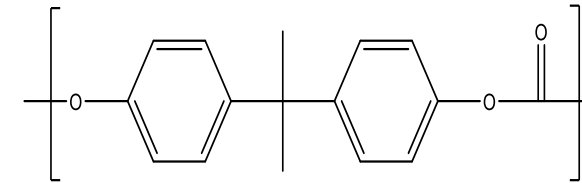
Classificatie van polymeren in AEEA



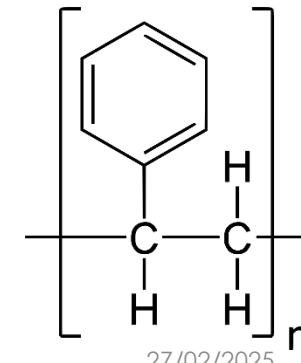
Acrylo-Butadiene-Styrene



Polycarbonate

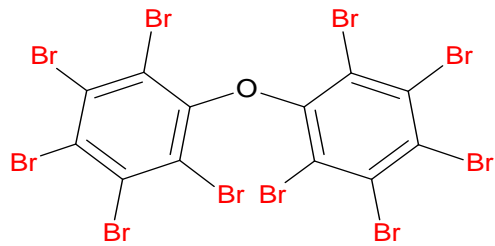


High Impact PolyStyrene

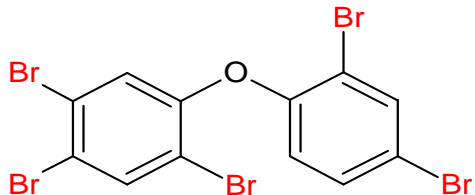


Retardateurs de Flamme Bromés utilisés comme Additifs dans les Polymères

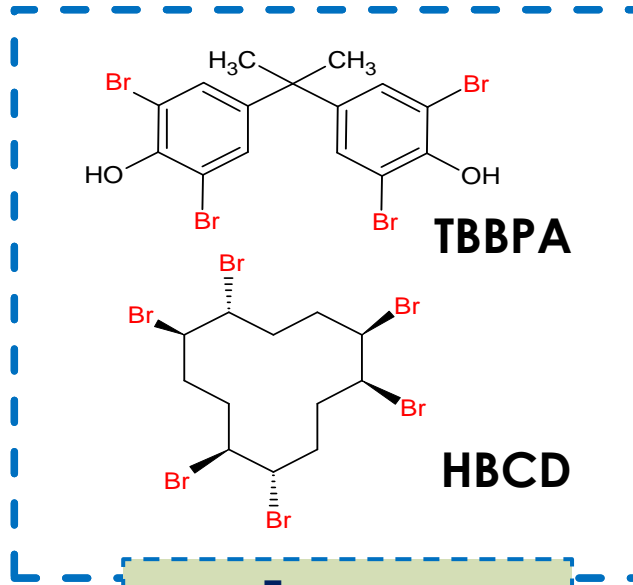
Gebromeerde vlamvertragers gebruikt als additieven in polymeren



DecaBDE



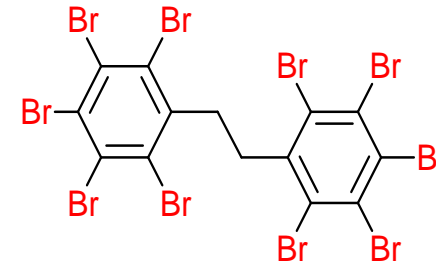
PentaBDE



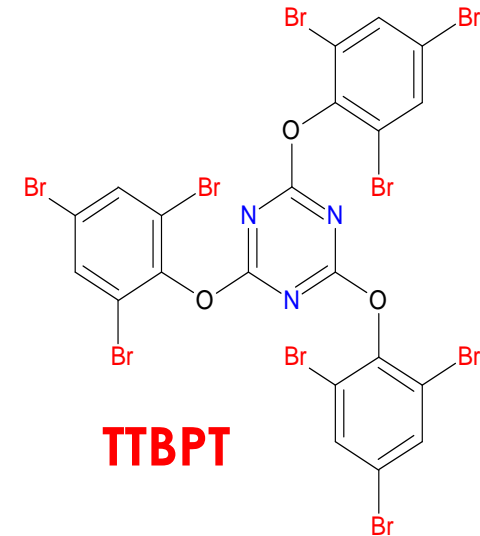
TBBPA

HBCD

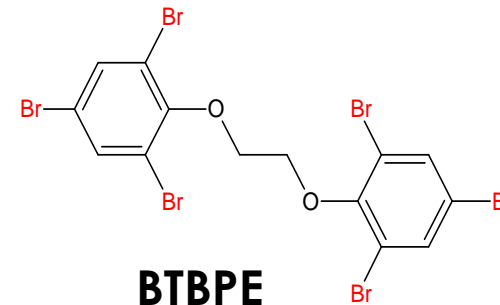
En cours d'enregistrement sous REACH



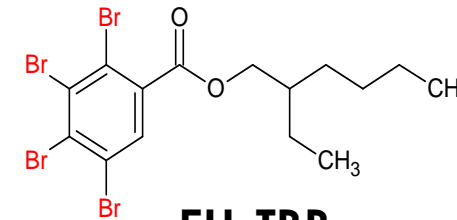
DBDPE



TTBPT



BTBPE



EH-TBB

Interdit par la Convention de Stockholm de 2004 et la Directive européenne 2012/19/UE

Verboden door het Verdrag van Stockholm van 2004 en Europese Richtlijn 2012/19/EU

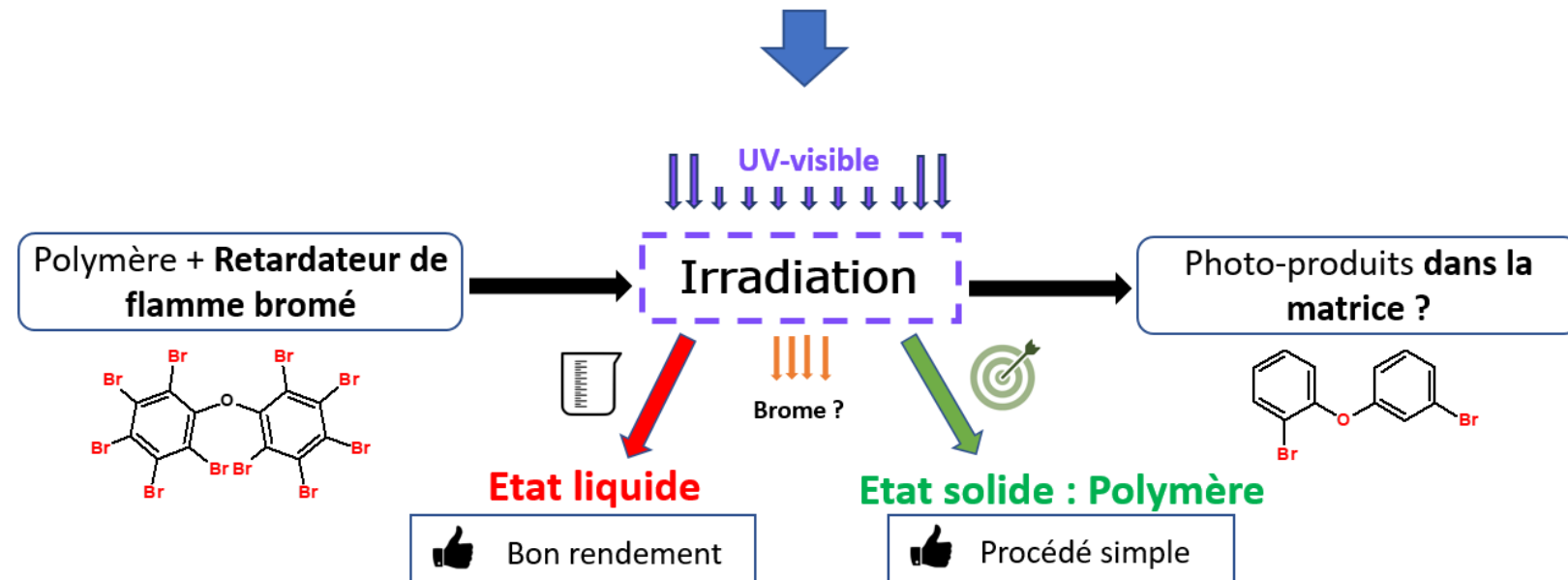
Effets toxiques inconnus jusqu'à présent !
Tot nu toe onbekende toxische effecten!



Développer des procédés semi-industriels permettant de dépolluer les déchets plastiques contenant les retardateurs de flamme bromés (RFB)



Ontwikkeling van semi-industriële processen voor het opruimen van plastic afval dat broomhoudende vlamvertragers (BFR's) bevat



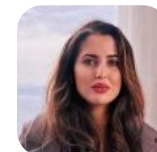
Thèses:
Thesis:



H. Aldoori
2022



H. Oumeddour
2024



R. Benmammam
En cours



W. Zoghliami
En cours

A. Nadim et al., **Encyclopedia of Analytical Chemistry** (2015)

H. Oumeddour et al., **Waste Management & Research** (2023)

R. Benmammam et al., **Molecules** 29, 5037 (2024)

H. Aldoori et al., **Molecules**, 28, 2491 (2022)

R. Benmammam et al., **Molecules** 28, 7753 (2023)

Développer des procédés semi-industriels permettant de dépolluer les déchets plastiques contenant les retardateurs de flamme bromés (RFB)

Ontwikkeling van semi-industriële processen voor het opruimen van plastic afval dat broomhoudende vlamvertragers (BFR's) bevat

UV Irradiation Visible

Monitoring RFB degradation

Properties of depolluted polymers

FTIR

Solubility: fraction of crosslinked polymer

Electron beam (EB) exposure

High Resolution Laser Mass Spectrometry HR-L2

Steric exclusion chromatography (SEC)

Gas chromatography coupled with MS (GC-MS)

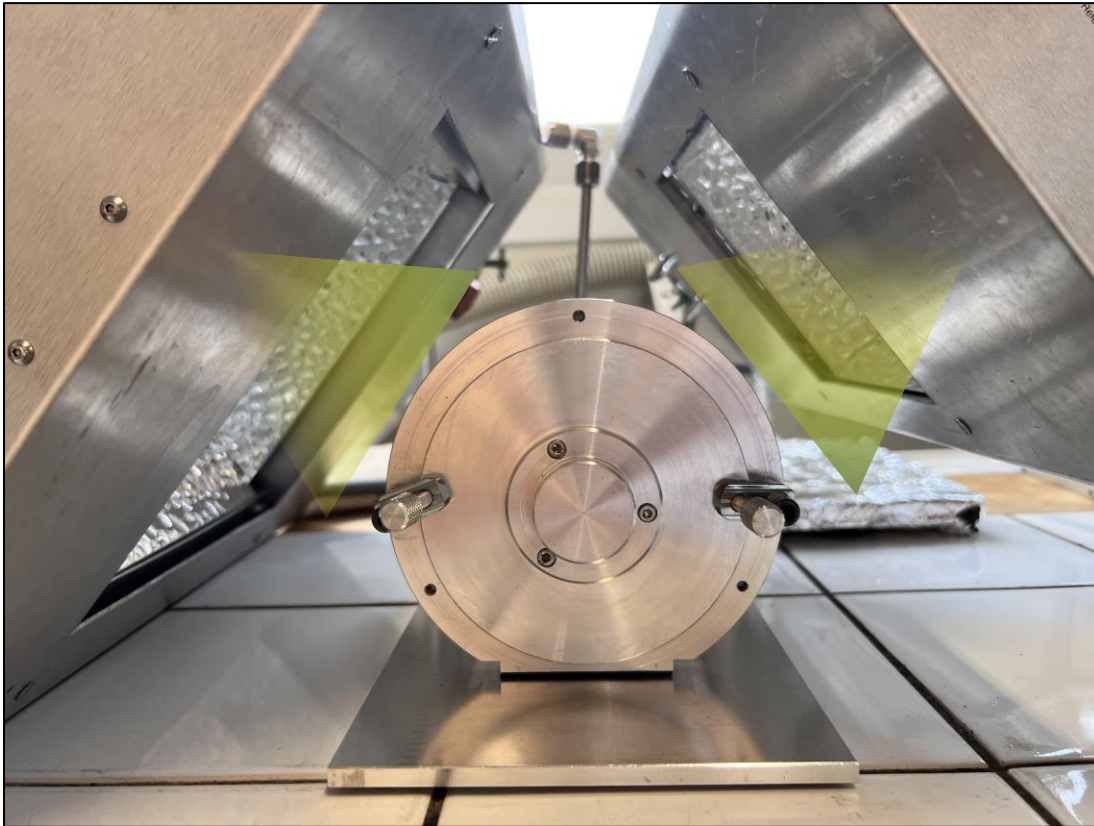
Thermogravimetric analysis (TGA)

Gas phase study by MS

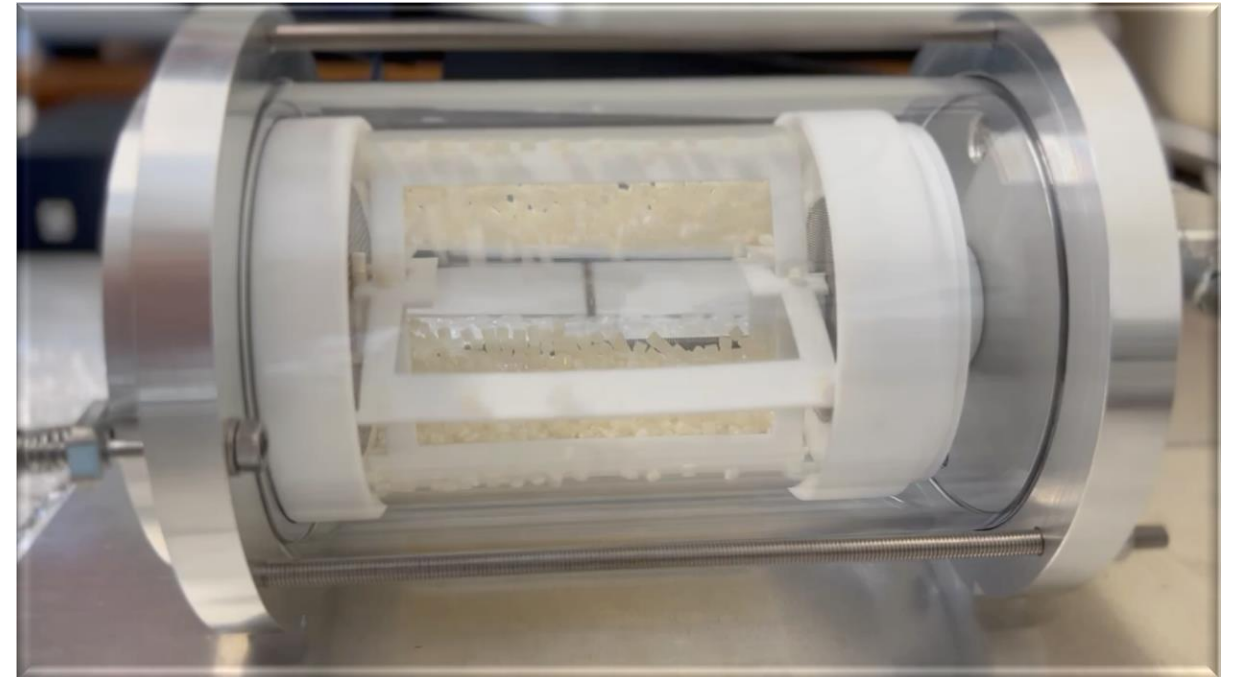
Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Recyclage des Polymères contenant des RFB à l'aide d'Irradiation UV Visible

Recycling van polymeren met BFR's met UV-visuele bestraling



Vue de face
Vooraanzicht



Vue de côté
Zijaanzicht 27/02/2025

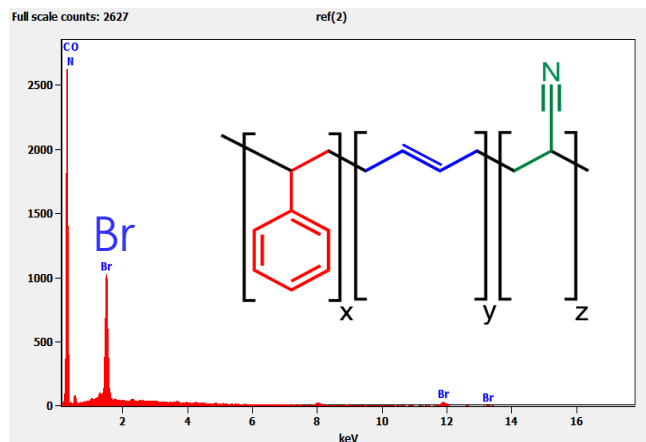
□ Dépollution (films, épaisseur inférieur à 100µm)

Depollutie (folies met een dikte van minder dan 100 µm)

Avant irradiation / Vóór bestraling

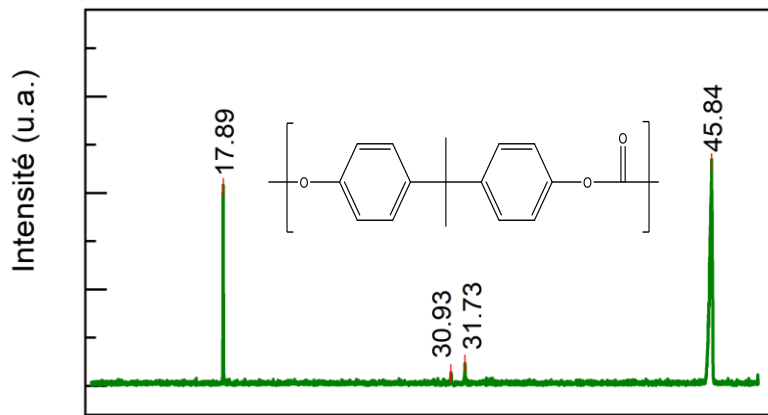
XRF/EDX

ABS-DBDE

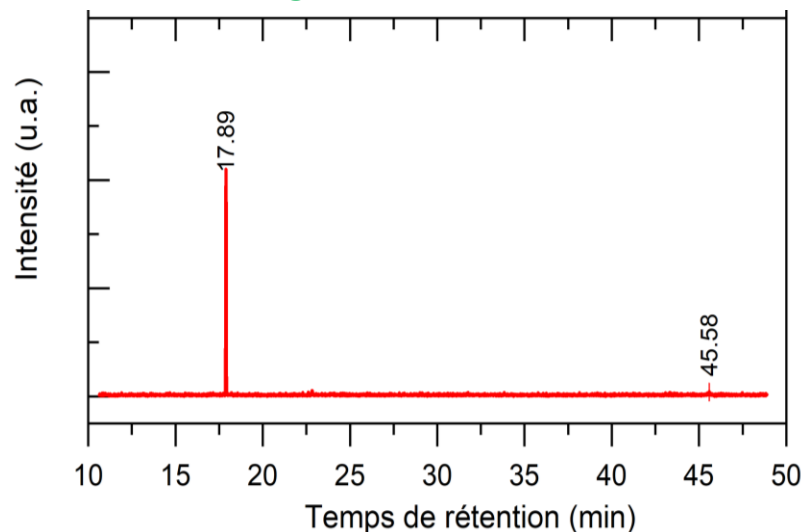
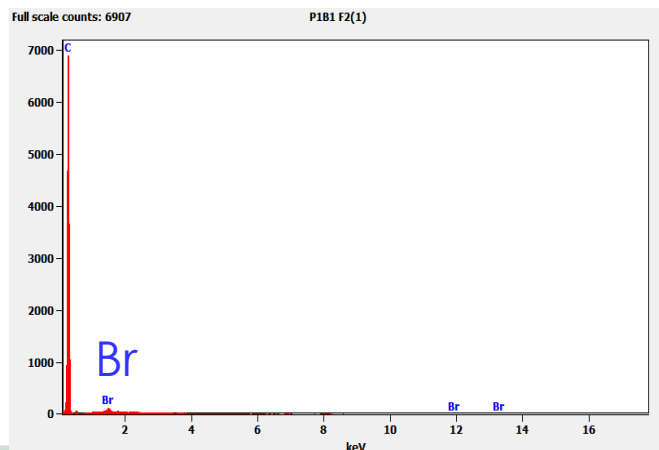


GC-MS

PC-DBDE



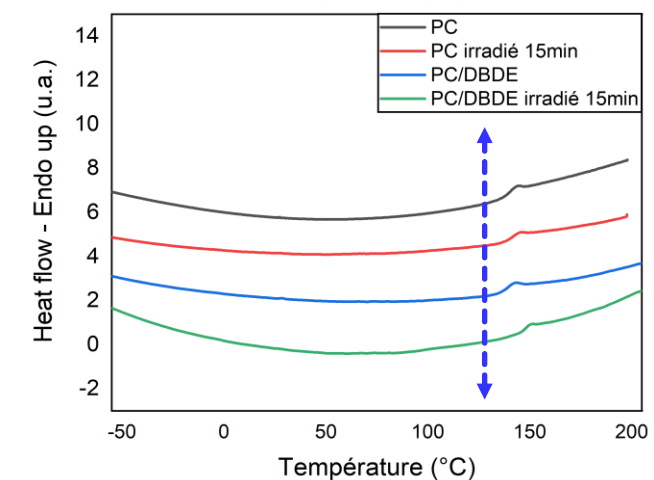
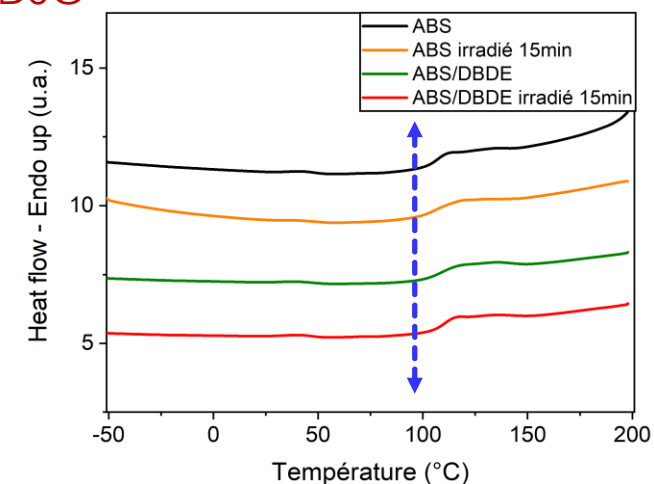
Après irradiation / Na bestraling



□ Stabilité Thermique

Thermale stabiliteit

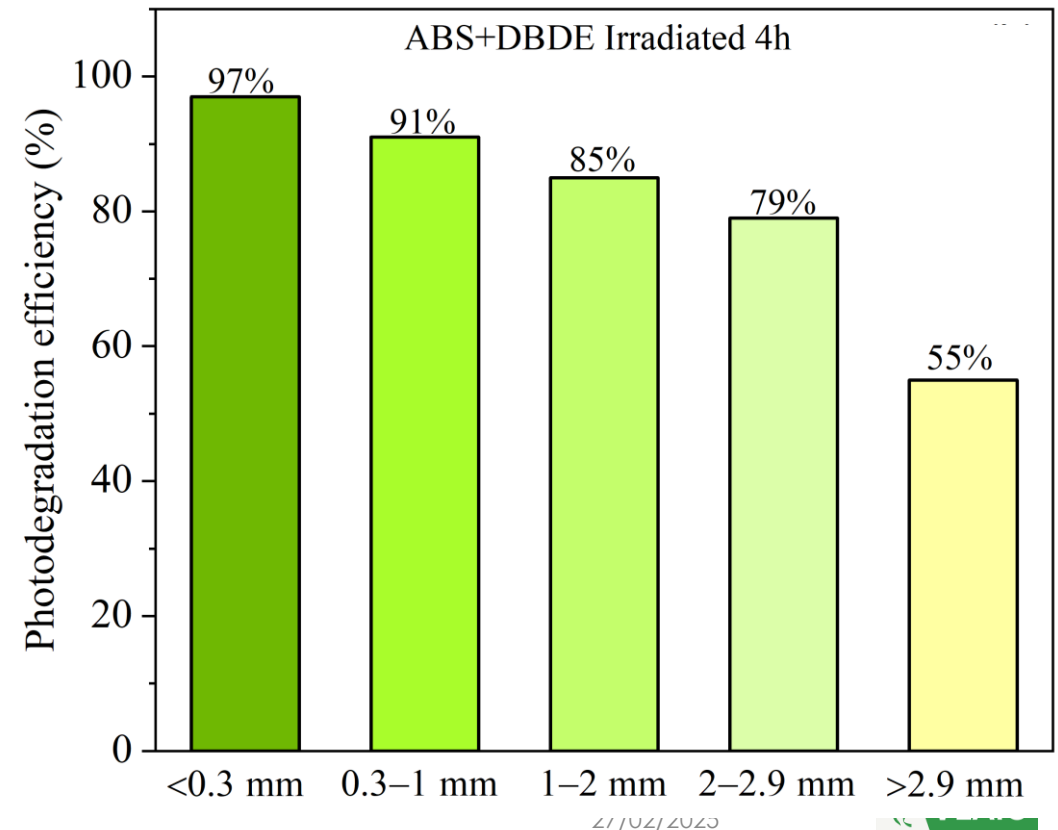
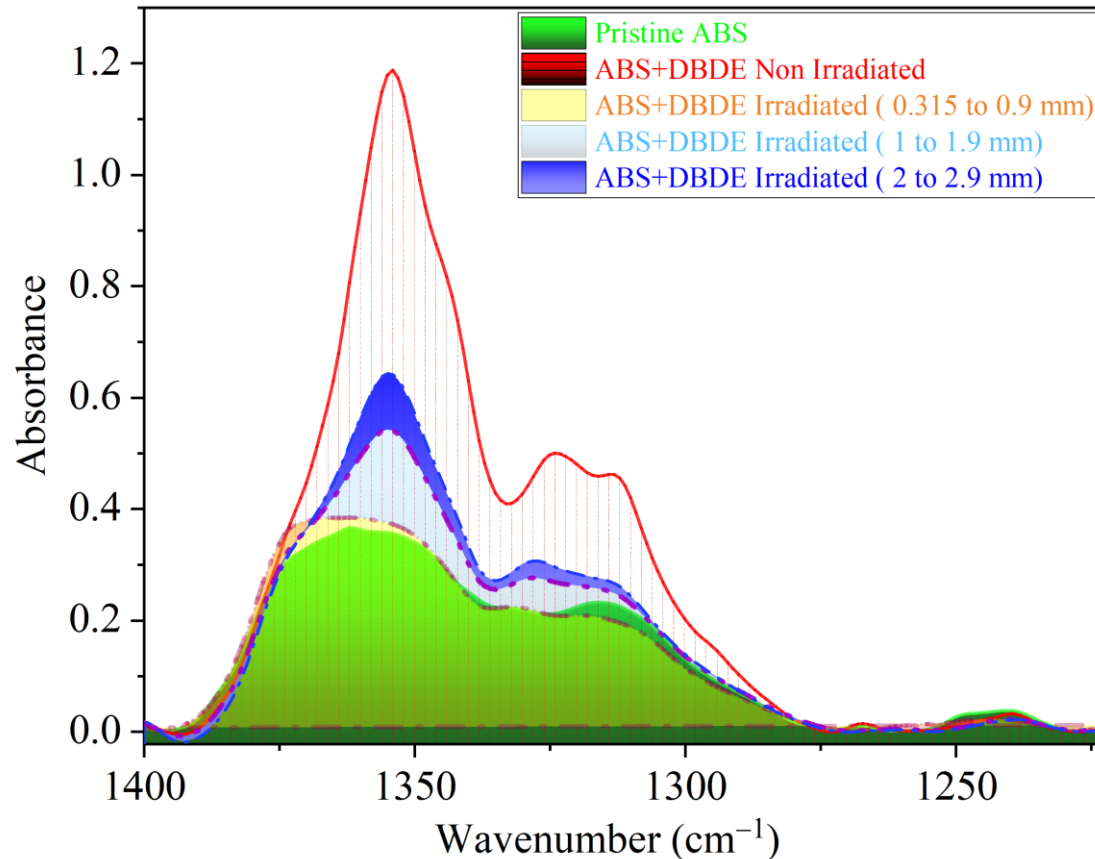
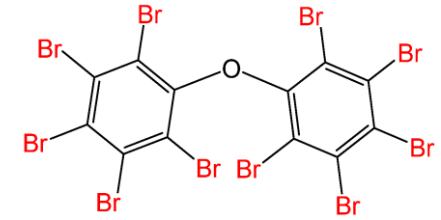
DSC



Analyse par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier

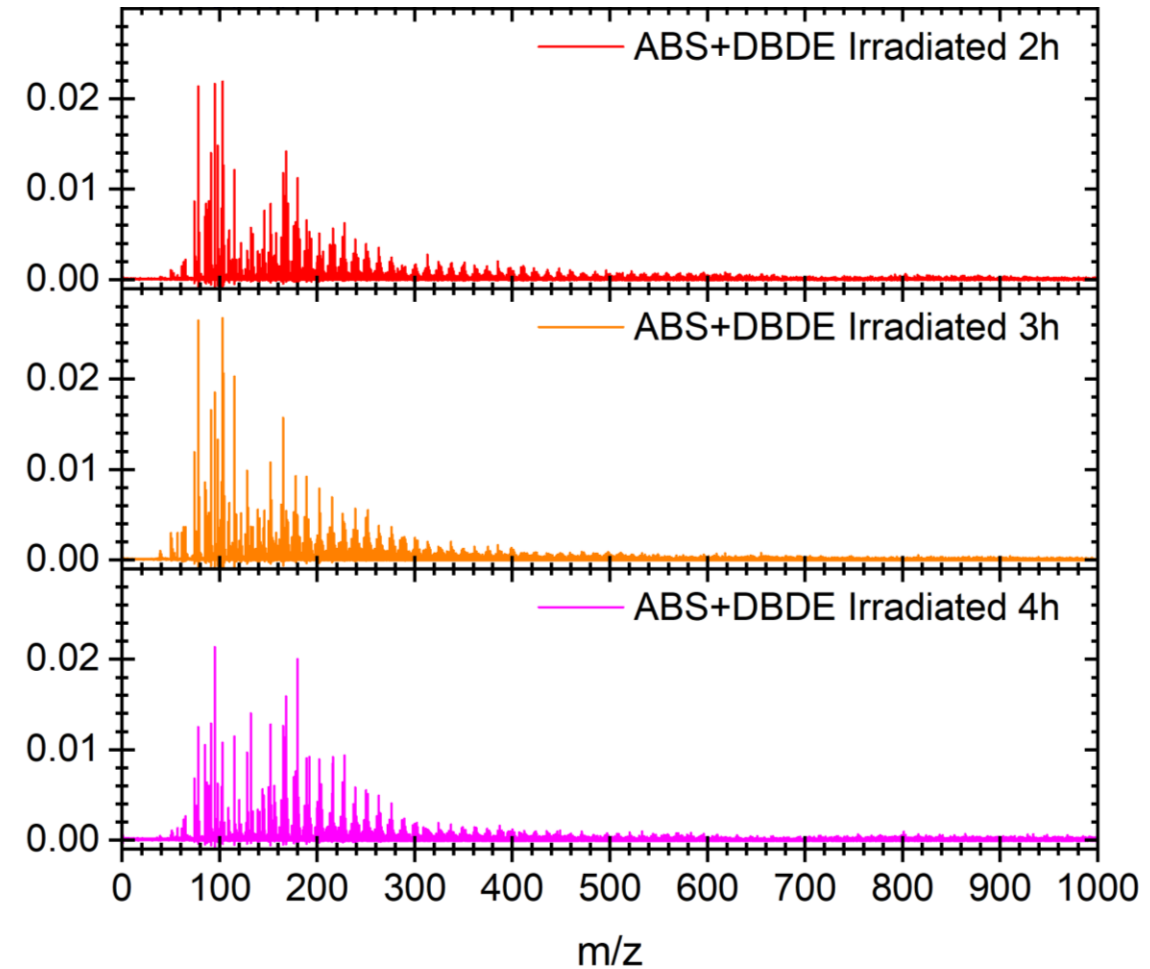
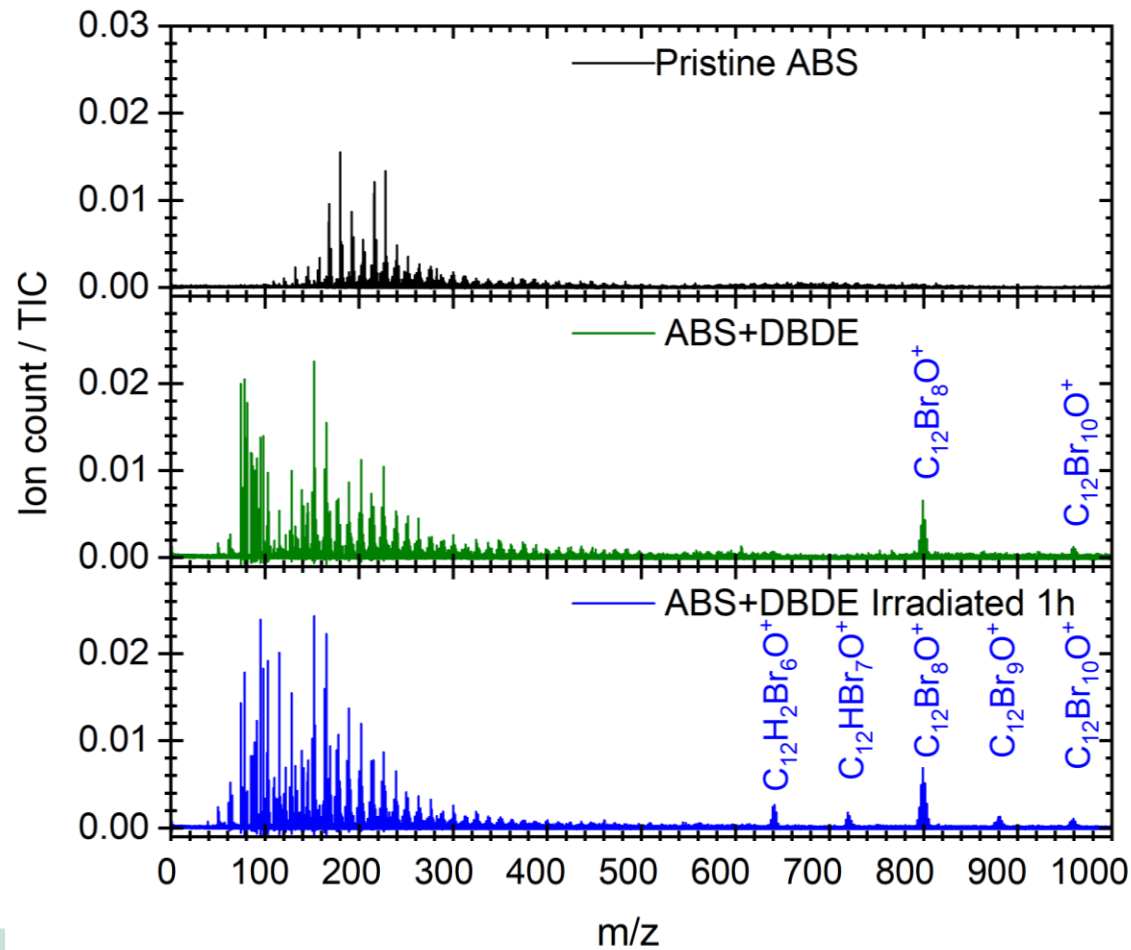
Analyse met Fourier Transform Infrared Spectroscopie

ABS contenant du DBDE / ABS met DBDE



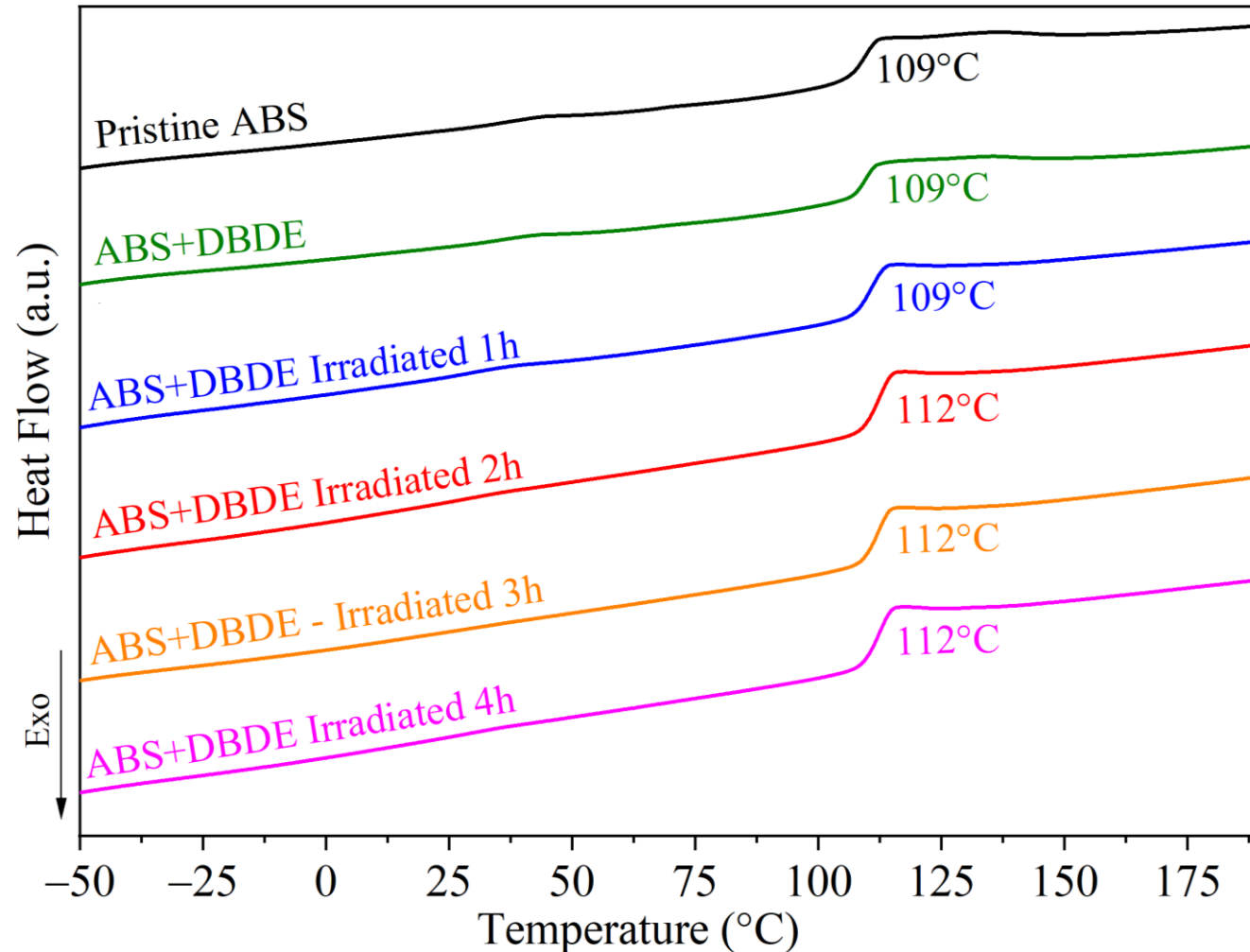
Spectrométrie de Masse à Haute Résolution

Massaspectrometrie met hoge resolutie



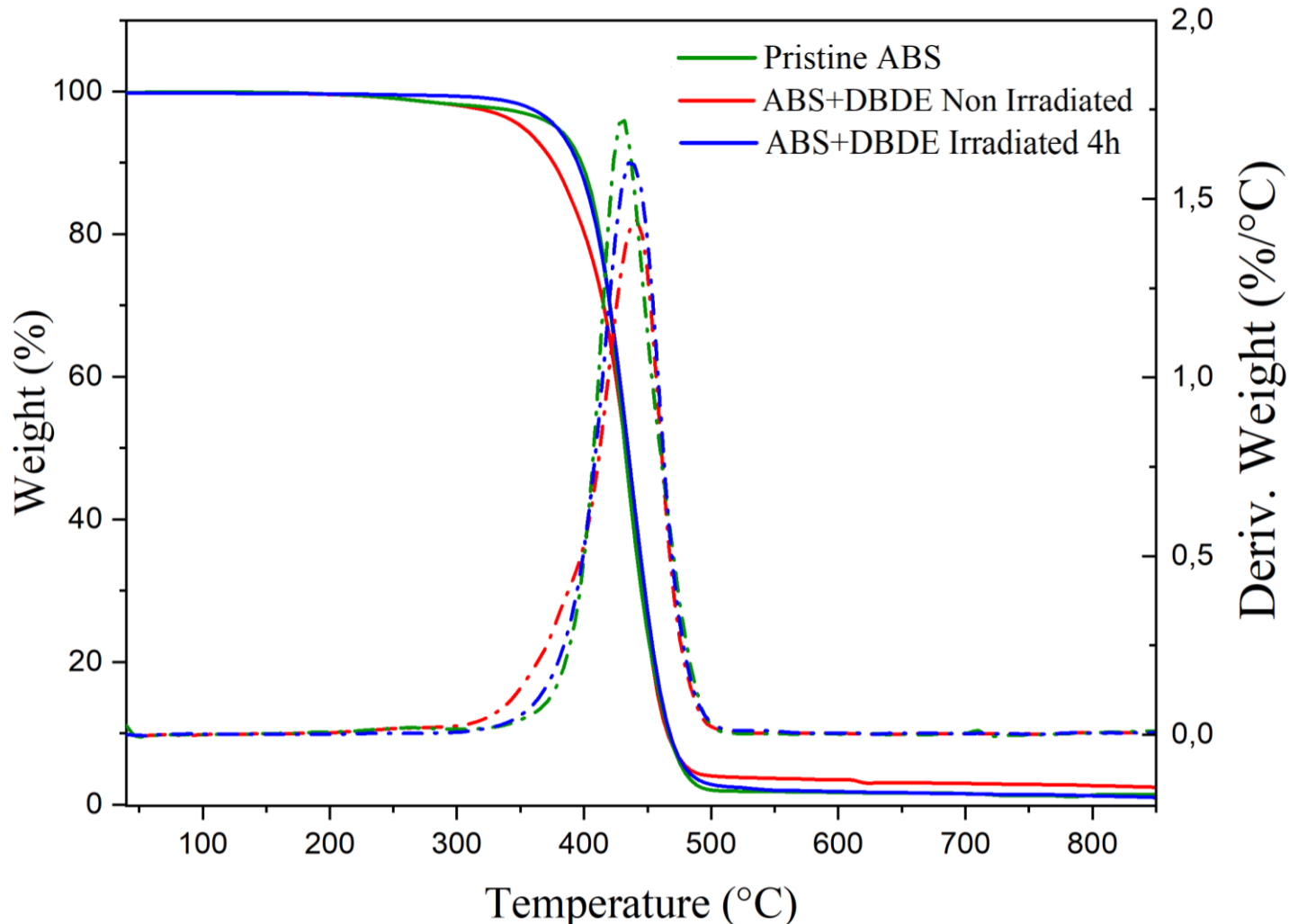
Calorimétrie Différentielle à Balayage

Differentiële scanning calorimetrie



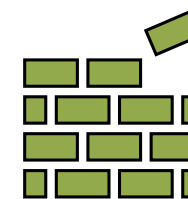
Analyse Thermogravimétrique

Thermogravimetrische analyse



Stabilité thermique maintenue après irradiation

Thermische stabiliteit behouden na bestraling



Bon indicateur de la décontamination des polymères

Goede indicator van polymeerontsmetting

Conclusions et perspectives

Conclusies en vooruitzichten

- 1 Les résultats du **traitement par irradiation** indiquent que les **molécules bromées** sont **efficacement dégradées**.

De resultaten van de bestralingsbehandeling geven aan dat de gebromeerde moleculen effectief worden afgebroken.
- 2 Les **propriétés thermiques** globales du **PC** et de l'**ABS** ont été largement conservées, ce qui peut permettre leur **recyclabilité**.

De algemene thermische eigenschappen van PC en ABS zijn grotendeels behouden gebleven, wat betekent dat ze kunnen worden gerecycled.
- 3 Les expériences réalisées avec le **pilote semi-industriel** utilisant l'irradiation UV-Visible sous vide sont prometteuses en vue d'une **application industrielle potentielle**.

De experimenten die zijn uitgevoerd met de semi-industriële pilot met UV-Visible bestraling in vacuüm zijn veelbelovend voor een potentiële industriële toepassing.
- 4 Les expériences menées avec la **machine EB** de type laboratoire ont permis d'explorer une **nouvelle technique** prometteuse pour le traitement des polymères bromés.

Experimenten uitgevoerd met de EB-machine van het laboratoriumtype hebben ons in staat gesteld een veelbelovende nieuwe techniek te onderzoeken voor de behandeling van broomhoudende polymeren.



Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Medegefinancierd door
de Europese Unie

France - Wallonie - Vlaanderen



CIRCOPLAST

Merci pour votre attention!

Bedankt voor uw aandacht!

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Medegefinancierd door
de Europese Unie

France - Wallonie - Vlaanderen



CIRCOPLAST



MATERIA
NOVA
Materials
R&D Center

