

PAR COURRIEL

Québec, le 24 février 2025

Objet : Demande d'accès n° 2025-02-031– Lettre de réponse

Madame,

La présente fait suite à votre demande d'accès, reçue le 7 février dernier, concernant le rapport pour le projet suivant :

- Mise au point d'une méthode représentative de caractérisation, d'identification et de quantification des microplastiques dans les eaux usées municipales par le Cteau (Rimeh Daghri Fatma Gassara, Isabelle Noel, Pierre-Alexandre Gallant) et le CÉPROCQ (Sanaz Safa et Mathieu Sarrazin).

Le document suivant est accessible. Il s'agit de :

- Rapport MP VF_91 pages.

Conformément à l'article 51 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (RLRQ, chapitre A-2.1), nous vous informons que vous pouvez demander la révision de cette décision auprès de la Commission d'accès à l'information. Vous trouverez, en pièce jointe, une note explicative concernant l'exercice de ce recours.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, vous pouvez communiquer avec M^{me} Yvonne Li, analyste responsable de votre dossier, à l'adresse courriel yvonne.li@environnement.gouv.qc.ca, en mentionnant le numéro de votre dossier en objet.

Veuillez agréer, Madame, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Pour le directeur.

ORIGINAL SIGNÉ PAR

Martin Dorion

p. j. (2)



CÉPRO CQ

Centre d'études des procédés
chimiques du Québec

 Collège de Maisonneuve

Dossier 21038 – Février 2023

Mise au point d'une méthode représentative d'identification et de quantification des microplastiques dans les eaux usées municipales

Préparé et rédigé par :

Chercheuses responsables : **Rimeh Dagher**, Ph.D., MBA, Chimiste, Cteau
Sanaz Safa, Ph.D., Céprocq
Fatma Gassara, Ph.D., Cteau

Chargé de projet : **Pierre Alexandre Gallant**, CPI, B.Sc.A., Cteau

Professionnels de recherche : **Dongocie Traore**, M. Sc., Cteau
Stevan Roué, B. Sc., Cteau

Révisé par :

Édith Laflamme, ing.
Directrice générale, Cteau

Rino Dubé, ing., M.Sc.
Coordinateur scientifique/chargé de projets, Cteau

Présenté à :

Steeve Roberge, M.Sc., chimiste
Chef de la division de la chimie inorganique du milieu
Direction de l'analyse chimique
Direction générale de la coordination scientifique et du CEAEQ
Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des parcs

1^{er} mars 2023

Partenaires financiers

Québec 

CÉGEP DE
Saint-Laurent

696, avenue Sainte-Croix, Montréal (QC) H4L 3Y2

Tél.: 514 747.2782 • Courriel: info@cteau.com • Site web: www.cteau.com

Table des matières

Listes de figures	iii
Listes des tableaux	v
Listes des abréviations	vii
1. Introduction	1
2. Objectif général du projet	2
3. Matériels et méthodes	4
3.1 Échantillonnages des Microplastiques	4
3.1.1 Station d'épuration 58t.....	6
3.1.2 Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion.....	7
3.1.3 Station d'épuration de Rivière-du-Loup	8
3.2 Fractionnement, digestion et extraction des microplastiques des eaux usées municipales.....	10
3.2.1 Préparation du matériel	10
3.2.2 Fractionnement des microplastiques	10
3.2.3 Digestion	13
3.2.4 Extraction à l'huile végétale de Canola.....	14
3.3 Coloration	16
3.4 Identification et Quantification des Microplastiques	17
4. Discussions	22
4.1 Identification des microplastiques par FT-IR.....	22
4.1.1 Identification des microplastiques dans les échantillons réels par FT-IR de type Nicolet iS50.....	22
4.1.2 Identification des microplastiques dans les échantillons réels par FT-IR de type Spotlight 200i.....	26
4.2 Quantification des microplastiques dans les eaux usées municipales	30
4.2.1 Station d'épuration 58t	30
4.2.2 Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion.....	34
4.2.3 Station d'épuration de Rivière-du-Loup	35
4.3 Étude comparative entre les trois stations d'épuration des eaux usées ..	37
5. Conclusion et recommandations	39
6. Références	40

7. Annexes	A
7.1 Annexe 1-(Analyses au FT-IR)	A



Listes de figures

Figure 1 : Résumé des actions menées pour l'identification et la quantification des microplastiques.	4
Figure 2 : Point d'échantillonnage dans la station d'épuration 58t	6
Figure 3 : Point d'échantillonnage à l'affluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion	7
Figure 4 : Point d'échantillonnage à l'effluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion	8
Figure 5 : Points d'échantillonnages dans la station de Rivière-du-Loup	8
Figure 6 : Filtration de l'eau usée sur les tamis superposés	11
Figure 7 : Équipement nécessaire au montage 1 (tamis > 53 µm).....	12
Figure 8 : Équipement nécessaire au montage 2 (tamis 25 µm).....	12
Figure 9 : Équipement nécessaire au montage 3 (membrane de verre avec 1.6 µm de porosité)	13
Figure 10 : Résidu du nettoyage des tamis avec le peroxyde d'hydrogène	13
Figure 11 : Évaporation du peroxyde d'hydrogène à l'étuve (60 °C)	14
Figure 12 : Séparation de la phase Eau-Huile à l'aide d'une ampoule à décanter.....	15
Figure 13 : Conservation de la phase huileuse dans les fioles de verre de 25 ml jusqu'à l'étape de coloration.....	15
Figure 14 : Échantillon coloré chauffé à 50°C	17
Figure 15 : Échantillon coloré refroidit prêt à être filtré	17
Figure 16 : Microscopie à fluorescence de type Zeiss Axiovert 200	20
Figure 17 : Échantillon standard de PS exposé à la lumière verte et fluorescent en rouge .	21
Figure 18 : Nombre d'image capturé à chaque filtre de fractionnement.....	21
Figure 19 : Résultats des analyses FT-IR de l'affluent et l'effluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion	23
Figure 20 : Comparaison de l'échantillon Affluent de la station d'épuration Vaudreuil-Dorion avec les standards (HDPE, LDPE, PS, TPE, PET et PP).....	25
Figure 21 : Système de microscopie FT-IR de type Spotlight 200i	27
Figure 22 : Vaudreuil-Dorion-aff : 1 mm (point : 1)	28
Figure 23 : Longueur d'onde pour chaque standard de microplastique	C

Figure 24 : Comparaison des spectres pour chaque type de microplastique avec les spectres des solutions A, B et C.....	F
Figure 25 : Comparaison de l'échantillon Effluent issu de la station d'épuration Vaudreuil-Dorion avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP).....	I
Figure 26 : Comparaison de l'échantillon Affluent issu de la station d'épuration de Rivière-du-Loup avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP).....	K
Figure 27 : Comparaison de l'échantillon Effluent issus de la station d'épuration du Rivière-du-Loup avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP).....	N
Figure 28 : Comparaison de l'échantillon inter-traitement issu de la station d'épuration Rivière-du-Loup avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP)	P
Figure 29 : Vaudreuil-Dorion-aff : 1 mm (point 1 à 5).....	S
Figure 30 : Vaudreuil-Dorion-aff : 25 µm (point 1 à 5)	X
Figure 31 : Vaudreuil-Dorion-aff : 1,6 µm (point 1 à 5)	Z
Figure 32 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 1000 µm (point 1 à 5)	CC
Figure 33 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 297 µm (point 1 à 5)	EE
Figure 34 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 53 µm (point 1 à 5)	HH
Figure 35 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 25 µm (point 1 à 5)	JJ
Figure 36 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 1,6 µm (point 1 à 5)	MM
Figure 37 : Blanc Atmosphérique 1 lors de l'extraction des échantillons	MM
Figure 38 : Blanc atmosphérique 2 complété lors de la filtration des échantillons	NN



Listes des tableaux

Tableau 1 : Échantillons d'eau usée prélevé lors de la campagne d'échantillonnage de l'année 2022.	5
Tableau 2 : Liste de matériaux et équipements pour l'échantillonnage.	9
Tableau 3 : Longueurs d'onde expérimentales pour chaque type microplastique	19
Tableau 4 : Validation des longueurs d'ondes pour chaque type de Microplastiques (Solution C)	19
Tableau 5 : Liste des échantillons analysés par FT-IR de type Nicolet iS50	22
Tableau 6 : Types de microplastiques identifiés par FT-IR dans les différents échantillons issus des trois stations d'épuration.	26
Tableau 7 : Type de microplastiques identifiés à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion pour les échantillons collectés le 02-11-22 par FT-IR de type Spotlight 200i.....	29
Tableau 8 : Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bouteilles en verre ...	31
Tableau 9 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bouteilles en verre	32
Tableau 10 : Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration de 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE.....	33
Tableau 11 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE.....	33
Tableau 12 : Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion pour des échantillons collectés le 02-11-22 dans des bouteilles en verre	34
Tableau 13 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion pour des échantillons collectés le 02-11-22 dans des bouteilles en verre	35
Tableau 14 : Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration de Rivière-du-Loup pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE	36
Tableau 15 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration de Rivière-du-Loup pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE..	36

Tableau 16 : Comparaison des taux d'enlèvement des microplastiques entre la station d'épuration 58t et la station d'épuration Rivière-du-Loup (échantillons récoltés dans des bidons de plastique en HDPE)..... 37



Listes des abréviations

CÉPROCQ : Centres d'études des procédés chimiques du Québec.

csPE : polyéthylène chlorosulfoné

Cteau : Centres des technologies de l'eau.

HDPE : polyéthylène à haute densité.

LDPE : polyéthylène à basse densité.

MPs : microplastiques.

PP : polypropylène

PS : polystyrène.

PTE /PET: polyéthylène téréphtalate

PTFE : polytétrafluoroéthylène

PVC : poly(chlorure de vinyle)

PVDF : polyfluorure de vinylidène

PVF : polyfluorure de vinyle

TPE : thermoplastique élastomère



1. Introduction

Les plastiques sont des matériaux extrêmement versatiles, qui ont transformé notre société en une myriade de façons. À ce jour, 8,3 milliards de tonnes métriques de plastiques vierges ont été produites à travers le monde dont 6,3 milliards de tonnes sont devenues des déchets (Geyer et *al.*, 2017). Jusqu'à 10% des fragments de plastiques produits se retrouvent principalement dans les lacs, les rivières, les cours d'eau et les océans (Barnes et Milner, 2005 et Cole et *al.*, 2011). Ces matières plastiques, non dégradables, sont dangereuses pour les espèces marines en raison des effets toxiques des microplastiques résultant de la dégradation des plastiques plus gros (Derraik, 2002). De plus, les microplastiques sont caractérisés comme ayant une taille < 5mm, et ces derniers continuent à se dégrader et à se fragmenter continuellement dans l'environnement jusqu'à devenir des nanoplastiques ayant une taille allant de 0.1 μm à 1000 nm (Imran et *al.*, 2021). Les microplastiques et les nanoplastiques présents dans le milieu aquatique s'accumulent dans les organismes aquatiques vivants. Cette accumulation a des effets néfastes sur le développement de ces organismes en inhibant leur croissance, affectant leur système neurologique et provoquant ainsi l'apparition des troubles métaboliques et une génotoxicité (Liyouan et *al.*, 2021). En outre, les microplastiques et les nanoplastiques ont la capacité d'absorber et de transporter des polluants toxiques tels que des polluants organiques persistants, des produits pharmaceutiques, des métaux lourds et des organismes pathogènes (Beiras et *al.*, 2019). Ceci contribue au phénomène de bioaccumulation des contaminants dans la chaîne trophique. Le rejet de microplastiques dans le milieu aquatique est reconnu comme un problème important qui affecte la qualité des ressources hydriques. Il a été estimé qu'environ 80 % des microplastiques présents dans les océans proviennent de sources terrestres, et 18 % supplémentaires proviennent des industries de l'aquaculture ou de la pêche. Les sources terrestres importantes de microplastiques sont :

- a. les effluents des stations d'épuration des eaux usées municipales;
- b. le débordement d'eaux usées des égouts lors d'événements pluvieux importants et;
- c. le ruissellement des boues municipales appliquées sur les terres agricoles (Anderson et *al.*, 2016 et Eriksen et *al.*, 2013).

Au Canada et au Québec, les stations d'épuration n'ont pas d'exigence de suivi ni d'élimination des microplastiques. Les stations d'épurations de type étangs aérés sont les plus

communes au Québec où elles représentent à elles seules 67% des systèmes de traitement des eaux usées utilisés (MAMOT, 2014). La ville de Rivière-du-Loup, qui a manifesté son intérêt au projet, est un exemple de municipalité au Québec qui utilise les étangs aérés pour le traitement des eaux usées municipales. La réduction des microplastiques et des nanoplastiques dans les rejets des stations d'épuration des eaux usées est un défi majeur puisque ces derniers ne sont pas conçues pour l'enlèvement des microplastiques. Bien que le traitement primaire des stations d'épurations actuelles élimine jusqu'à 78% à 90% des microplastiques présents dans les eaux usées, les quantités d'effluents traitées étant énormes, leurs rejets en microplastiques demeurent significatifs et problématiques pour le milieu récepteur (Crisaltdi et al., 2020). Selon certaines études, les procédés de traitement conventionnels mis en place dans les stations d'épuration fragmentent environ 80% des microplastiques en nanoplastiques, ce qui peut multiplier par 10 le nombre de particules de plastique par litre rejetées dans les effluents de traitement des eaux usées (Andrady, 2011 et Akarsu et al., 2020). Bien que certaines des méthodes d'échantillonnage et d'analyse soient présentées dans plusieurs études (Lee et Chae, 2021), aucun protocole standardisé n'a été établi concernant les étapes d'identification et de quantification des microplastiques.

2. Objectif général du projet

Ce projet de recherche impliquant la collaboration de chercheurs de deux centres collégiaux (Cteau et CÉPROCQ) et des partenaires municipaux, a pour objectif général d'étudier le potentiel d'élimination des microplastiques dans différentes stations de traitement des eaux usées municipales au Québec. Il permettra d'acquérir plus de connaissances sur les niveaux de contamination des eaux usées municipales par les microplastiques et de quantifier l'efficacité des stations d'épurations municipales à réduire ou non les concentrations de microplastiques dans leurs rejets afin de mesurer l'impact des activités humaines sur la qualité de l'eau et les milieux aquatiques. Plus particulièrement, ce projet vise 3 sous-objectifs (**Figure 1**) :

- a. Le premier objectif consistera à développer une méthode d'échantillonnage représentative des eaux usées municipales brutes et traitées contaminées par les microplastiques;



- b. Le deuxième objectif visera à identifier et quantifier les différents types de microplastiques détectés dans les eaux usées municipales;
- c. Le troisième objectif consistera à comparer la performance d'enlèvement des microplastiques dans les trois stations d'épuration partenaires (Vaudreuil-Dorion de type réacteur biologique et décantation lestée, 58t de type décanteur lamellaire et Rivière-du-Loup de type étangs aérés couplé à une décantation lestée).

Ce projet de recherche qui s'aligne avec les orientations de la stratégie Québécoise de l'eau (2018-2030), contribuera à :

- a. Prévenir et gérer des risques liés à l'eau,
- b. Renforcer la gestion intégrée des ressources en eau et;
- c. Acquérir et partager des meilleures connaissances sur la qualité des eaux avec les parties prenantes.



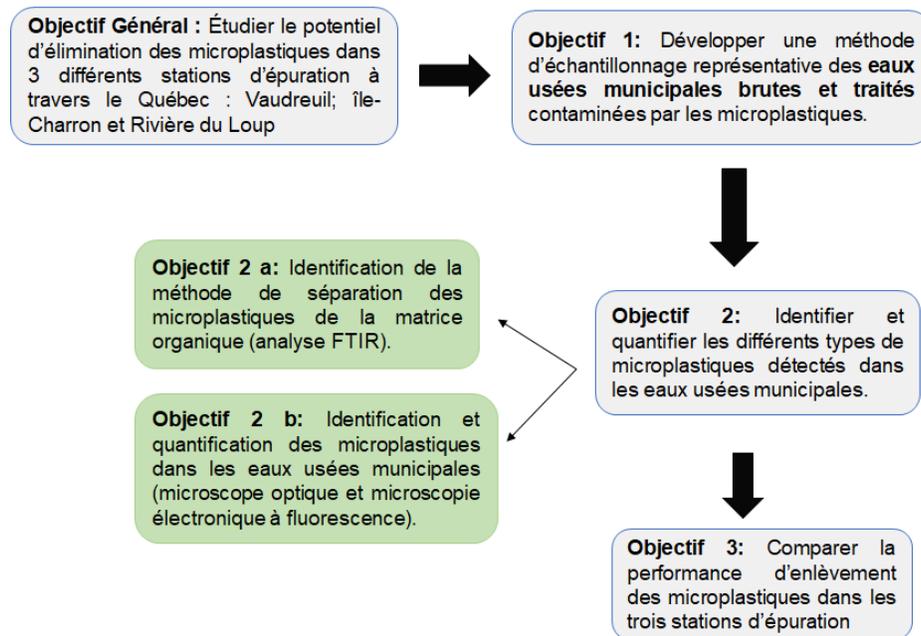


Figure 1: Résumé des actions menées pour l'identification et la quantification des microplastiques.

3. Matériels et méthodes

3.1 Échantillonnages des Microplastiques

En raison de leurs concentrations relativement faibles dans l'environnement, l'échantillonnage de particules microplastiques nécessite généralement de grands volumes d'échantillons. Malheureusement, aucune méthode standard d'échantillonnage et de traitement des microplastiques n'existe pour les échantillons riches en matière organique, tels que les eaux usées (Crawford et Quinn, 2017).

Parmi les techniques les plus courantes, le prélèvement d'un grand volume d'eau (>1 L) est généralement approprié (Covernton et al., 2019). Comme les microplastiques ont une tendance à se déplacer dans l'eau sous forme de nuage, et peuvent être difficiles à capter lors de petit volume d'échantillonnage, des volumes de 20 L ont été initialement préconisés. Cependant, cette approche a entraîné des contraintes significatives de colmatage des filtres lors de l'étape de fractionnement, il s'est avéré nécessaire de réduire le volume d'échantillonnage à 2 L avoir une meilleure représentation des microplastiques présents sur

les filtres. Il est recommandé de ne pas filtrer sur place et d'accomplir le processus de fractionnement dans un environnement contrôlé comme le laboratoire. Il est aussi recommandé de filtrer le même échantillon sur plusieurs tailles de tamis. On explique que le choix d'un tamis avec une porosité trop grande (par exemple 300-350 µm) peut mener à une sous-estimation du nombre de microplastiques total pouvant aller jusqu'à un ordre de 1 dans 4 (Covernton et *al.*, 2019). Ce dernier point sera tenu en considération lors de l'analyse et l'interprétation des résultats. Pour les activités d'échantillonnages des eaux usées municipales, trois stations d'épuration ont été sélectionnées : Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion, Station d'épuration 58t et la Station d'épuration de Rivière-du-Loup.

Le processus d'échantillonnage des eaux usées qui a été appliqué dans les trois stations d'épuration selon les règles d'échantillonnages instantanées du guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales (Gouvernement du Québec, 2008). Les échantillons de chacune des stations d'épuration ont été prélevés durant trois périodes de l'année 2022 (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Échantillons d'eau usée prélevé lors de la campagne d'échantillonnage de l'année 2022.

Site d'échantillonnage	Période d'échantillonnage
Station d'épuration 58t	Hiver : Échantillon du 18-02-22 Printemps : Échantillon du 11-05-22 Été : Échantillons du 05-07-22 et du 16-08-22
Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion	Hiver : Échantillon du 18-02-22 Printemps : Échantillon du 11-05-22 Automne : Échantillon du 02-11-22
Station d'épuration de Rivière-du-Loup	Hiver : Échantillon du 18-02-22 Été : Échantillon du 16-08-22

3.1.1 Station d'épuration 58t

La station d'épuration de 58t (de type physico-chimique par coagulation-floculation-décantation lamellaire) a déjà des échantillonneurs automatiques installés au point 1-4 de la **Figure 2**. Les points d'échantillonnages sélectionnés pour notre étude sont les points 1A, 1B, 2 et 4 de la **Figure 2**. Chaque point de collecte choisi comporte son propre équipement d'échantillonnage pour éviter la contamination d'un site à l'autre. Cette démarche suit la procédure d'échantillonnage de la station d'épuration 58t. Par la suite, 2 bouteilles de verre de 2 L sont insérées dans les échantillonneurs automatiques qui seront programmés pour collecter un volume total de 4 L d'eaux usées par point d'échantillonnage. Le programme d'échantillonnage à l'effluent (4) doit être décalé par le temps de résidence de l'eau dans le système de traitement. Une fois que l'échantillonneur est programmé, la collecte d'eau usée peut par la suite débiter. Lorsque les échantillonneurs s'arrêtent, il est temps de récupérer les échantillons. Il faut vérifier que tous les échantillons sont bien sellés et identifiés. Les échantillons d'eaux usées sont réfrigérés jusqu'à ce que l'équipe de laboratoire soit prêt à accomplir le processus de filtration et de digestion des échantillons.

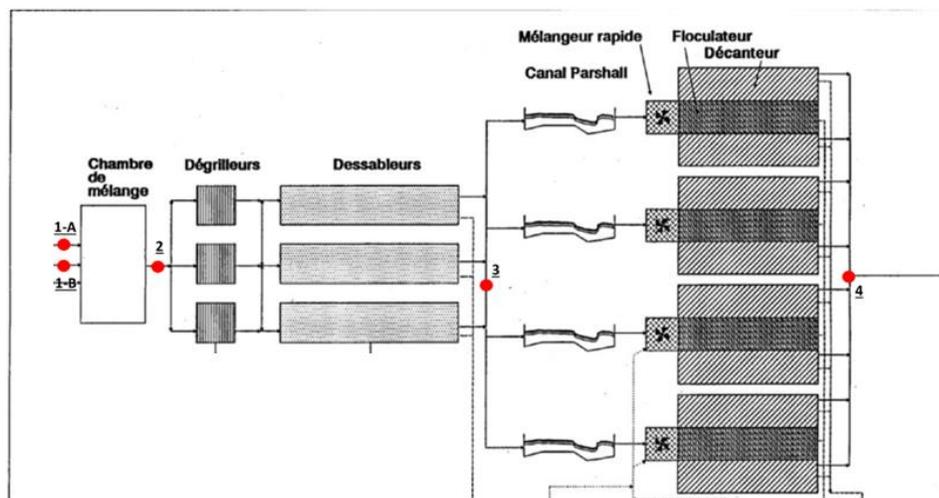


Figure 2 : Point d'échantillonnage dans la station d'épuration 58t

3.1.2 Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion

L'échantillonnage des eaux usées à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion (de type réacteurs biologiques couplé à une décantation lestée) a été réalisé au niveau du point « en rouge » indiqué dans la **Figure 3** pour l'affluent et au niveau du point « en rouge » dans la **Figure 4** pour l'effluent. Chaque point de collecte choisi comporte son propre échantillonneur automatique pour éviter la contamination d'un site à l'autre. Cette démarche suit la procédure d'échantillonnage de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion. Deux bouteilles de verre de 2 L sont par la suite insérées dans les échantillonneurs automatiques qui sont déjà installés sur site et qui seront programmés pour collecter 4 L d'eaux usées par point d'échantillonnage. Le programme d'échantillonnage à l'effluent doit être décalé par le temps de résidence de l'eau dans le système de traitement. Une fois que l'échantillonneur est programmé, la collecte d'eau usée peut par la suite débiter.

Lorsque les échantillonneurs s'arrêtent, il est temps de récupérer les échantillons d'eaux usées. Il faut vérifier que tous les échantillons sont bien sellés et identifiés. Les échantillons d'eaux usées sont réfrigérés jusqu'à ce que l'équipe de laboratoire soit prête à accomplir le processus de filtration et digestion des échantillons.

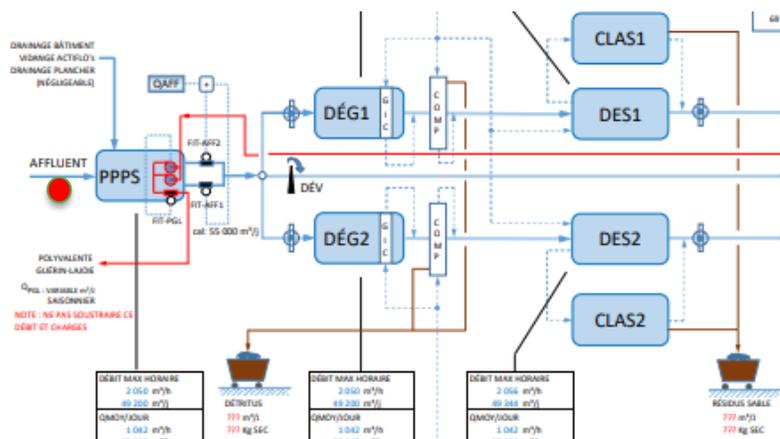


Figure 3 : Point d'échantillonnage à l'affluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion

Note : la **Figure 3** ne montre pas les réacteurs biologiques.

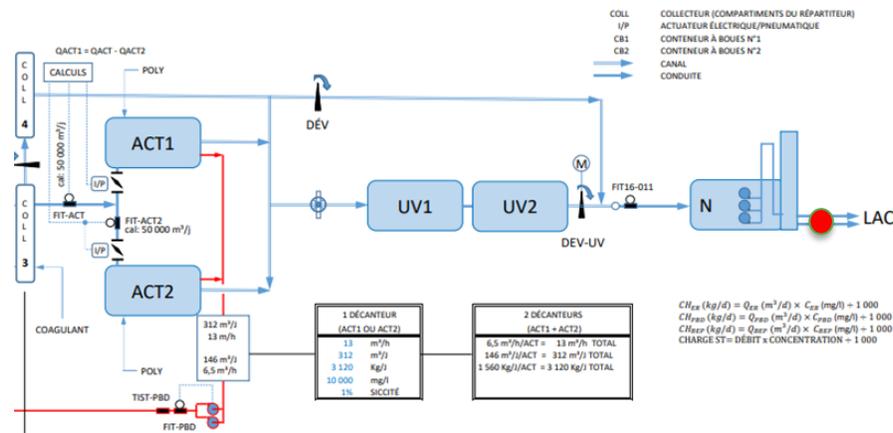


Figure 4 : Point d'échantillonnage à l'effluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion

Note : la **Figure 4** ne montre pas les réacteurs biologiques.

3.1.3 Station d'épuration de Rivière-du-Loup

L'échantillonnage à la station de Rivière-du-Loup (de type étangs aérés couplés à une décantation lestée) a été réalisé en suivant le même protocole que celui de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion à l'exception de l'utilisation de bidon de 20.0 L en plastique en HDPE pour le transport et la manutention. Un volume total de 20.0 L d'eau usée a été collecté par point d'échantillonnage à l'aide d'échantillonneurs automatiques. Les points d'échantillonnage des eaux usées affluent, intertraitement entre l'étang 1 et 2 et effluent (après décantation lestée) indiqués à la **Figure 5** ont été directement collectés par l'équipe d'opération de la station d'épuration de Rivière-du-Loup.

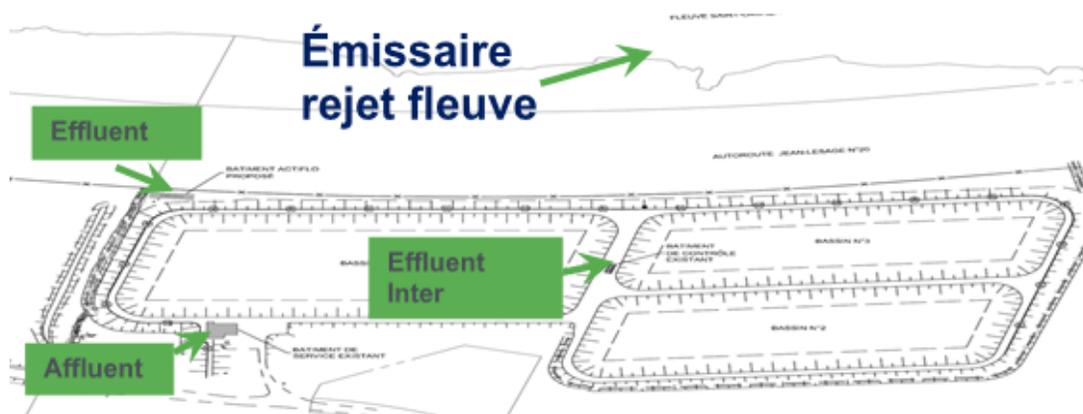


Figure 5 : Points d'échantillonnages dans la station de Rivière-du-Loup

Le **Tableau 1** indique le matériel nécessaire pour l'échantillonnage pour chacune des stations d'épurations relevées pour cette étude:

Tableau 2 : Liste de matériaux et équipements pour l'échantillonnage.

Site d'échantillonnage	Matériel	Quantité
58t	Bouteille de verre 2L	8
	Bidon de HDPE de 20.0 L	4
	Échantillonneur automatique portatif réfrigéré Avalanche	4
	20' de tube de vinyle de 0,75'' de diamètre	4
	Crépine d'acier inoxydable	4
Vaudreuil-Dorion	Bouteille de verre 2L	4
	Échantillonneur automatique portatif réfrigéré Avalanche	2
	20' de tube de vinyle de 0,75'' de diamètre	2
	Crépine d'acier inoxydable	2
Rivière-du-Loup	Bidon de HDPE de 20.0 L	3
	Échantillonneur automatique portatif réfrigéré Avalanche	3
	20' de tube de vinyle de 0,75'' de diamètre	3
	Crépine d'acier inoxydable	3

Il faut prendre note que deux types de contenants ont été utilisés pour l'échantillonnage. Des bouteilles de verre de 2 L et des bidons de 20 L en HDPE, ce choix a été fait pour comparer les effets du matériau du contenant d'échantillonnage sur les résultats.

3.2 Fractionnement, digestion et extraction des microplastiques des eaux usées municipales

Lors de cette étape, il est prévu de distinguer les microplastiques des autres produits interférents, tels que la matière organique, qui pourrait être facilement confondue avec les polluants cibles. En effet, la séparation des microplastiques des matières organiques minimise les erreurs d'identification ou la sous-estimation de la concentration en microplastiques. Ainsi, les échantillons de microplastiques prélevés nécessitent un nettoyage de la matière organique par digestion.

3.2.1 Préparation du matériel

Le matériel utilisé pour la réalisation de cet essai se doit d'être en verre ou en métal (bécher, erlenmeyer, Büchner, pince, tamis métallique en inox) et être rigoureusement nettoyé à l'aide d'un savon non moussant. Ce matériel est gardé à l'abri de la contamination aérienne dans des contenants hermétiques jusqu'à son utilisation. Filtrer sur un filtre de verre de $0,45 \mu\text{m}$ l'eau distillée, le peroxyde d'hydrogène 30%, la solution de savon non moussant 4%, l'éthanol et l'acétone (Masura & al., 2015 et Crichton & al., 2019.) La conservation de ses différentes solutions est effectuée dans des bouteilles en verre. Avant l'échantillonnage et les analyses, prendre en note la couleur et le type de vêtements portés par l'équipe de terrain et de laboratoire. Au laboratoire, laver soigneusement les surfaces de travail avant les analyses et placer un filtre dans l'aire de travail pour quantifier la contamination environnementale. La masse de ce filtre, qui sert comme référence, avant et après les manipulations devrait être prise pour chaque jour de manipulation.

3.2.2 Fractionnement des microplastiques

Pour procéder au fractionnement, des tamis de différentes tailles sont utilisés (1.18 mm, 1.00mm, 297 μm , 53 μm , 25 μm) et également des membranes de verres qui ont pour porosité 1.6 μm (**Figure 6**). La sélection de la taille des tamis a été complétée dans l'objectif de répliquer le dispositif de filtration utilisé dans l'étude de Shima et al, 2017 en plus de pouvoir visualiser les différents types de microplastique comme les fibres ($>1000 \mu\text{m}$), les fragments

(500-1000 μm), les films (250-500 μm), les microbilles (100-250 μm), les mousses (15-100 μm) et autres (1-15 μm) selon leur taille les plus courantes (Imran et al.) Bien noter que le tamis 1.18 mm sert uniquement de support afin de limiter la détérioration de la toile du tamis de 25 μm et 53 μm qui est très fragile. On estime que fractionner deux litres d'échantillon par point d'échantillonnage est suffisant pour accomplir l'identification et la quantification des échantillons (soit 1 litre par type d'analyse). Selon les essais expérimentaux, une couche laminaire de microplastique présente sur le filtre de verre analysé est essentielle pour ne pas sous-estimer la quantité de microplastique et ne pas exclure des microplastiques lors de l'identification. Un filtre de verre surchargé laisse une marge d'erreur qui n'est pas facilement quantifiable. Le volume d'un litre peut alors changer selon la charge en microplastique des eaux à caractériser.

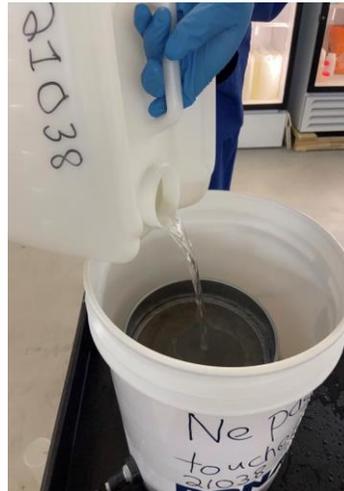


Figure 6 : Filtration de l'eau usée sur les tamis superposés



Chaque échantillon passe par les 5 étapes de filtration. Pour chaque échantillon, il y aura 5 échantillons filtrés. Il est primordial de bien agiter l'échantillon mère pour remettre en suspension les particules et briser toute forme d'attraction entre les microplastiques. La digestion des échantillons passe par les trois étapes décrites ci-dessous :

- Placer les tamis sur le support par ordre décroissant allant soit des tamis de 1.00mm, 297 μm et 53 μm . Les trois tamis sont ainsi placés sur le support de 1.18 mm qui servira de support pour empêcher l'endommagement de la toile du tamis de 53 μm . (**Figure 7**).

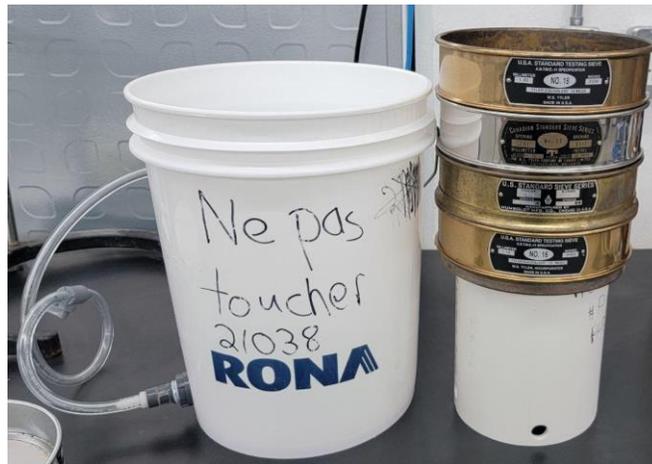


Figure 7 : Équipement nécessaire au montage 1 (tamis > 53 μm)

- Repasser le filtrat sur un tamis de 25 μm qui est également posé sur un support de 1.18mm (**Figure 8**).

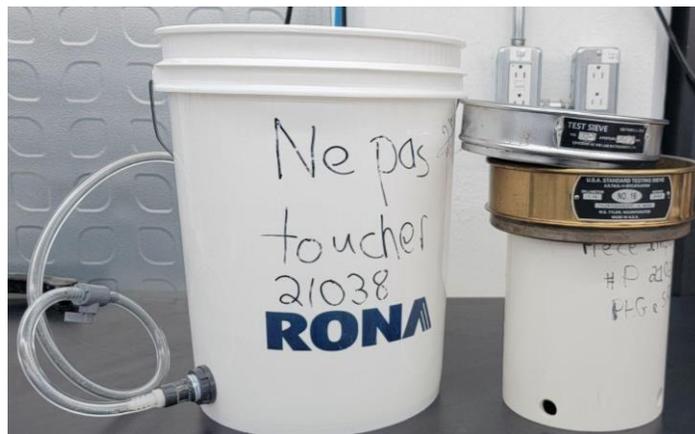


Figure 8 : Équipement nécessaire au montage 2 (tamis 25 μm)



- Filtrer l'eau récupérée sur une membrane de verre de porosité 1.6 μm , avec 125 mm comme diamètre (**Figure 9**).



Figure 9 : Équipement nécessaire au montage 3 (membrane de verre avec 1.6 μm de porosité)

3.2.3 Digestion

Le peroxyde hydrogène (à 30% et filtrée à 0.45 μm) qui est utilisé lors de l'étape de digestion servira à éliminer la matière organique présente dans les échantillons d'eaux usées. On identifie un bécher pour chaque taille de tamis. Chaque tamis doit être rincé rigoureusement avec le peroxyde d'hydrogène jusqu'à enlever la totalité des résidus présents sur les tamis (Shima et al., 2017). On utilise alors le bécher respectif à un tamis désigné pour récolter le peroxyde d'hydrogène du rinçage. On procède pareillement pour le filtre de membrane de verre 1.6 μm , puis on presse le filtre avec une pince et une spatule pour enlever le maximum de liquide.

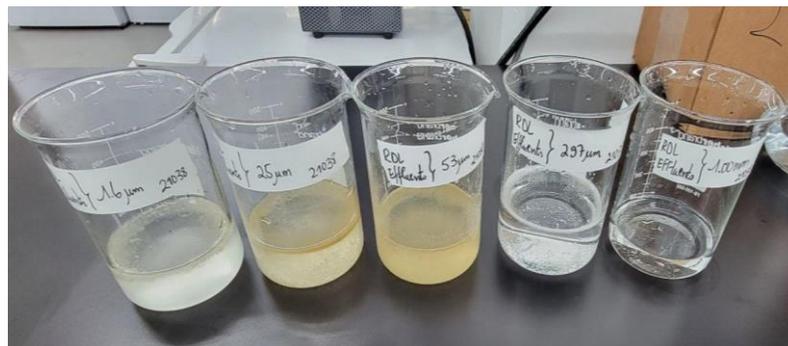


Figure 10 : Résidu du nettoyage des tamis avec le peroxyde d'hydrogène



Après avoir récupéré chaque bécher identifié, on procède à l'étape de digestion qui demande de placer les béchers dans une étuve à 60°C jusqu'à ce que l'ensemble du peroxyde d'hydrogène soit évaporé (**Figure 11**).



Figure 11 : Évaporation du peroxyde d'hydrogène à l'étuve (60 °C)

3.2.4 Extraction à l'huile végétale de Canola

Ce protocole est réalisé à partir des recherches de Ryan et *al.*, (2009), qui est basé sur l'extraction de microplastiques des sols. Il peut également être appliqué à d'autres matrices comme les eaux usées. Pour procéder à la digestion, les béchers sont ainsi placés dans une étuve à 60 °C; sortir les béchers secs contenant les différents échantillons selon les tailles de filtration. Ces derniers doivent être couverts individuellement avec un papier d'aluminium pour empêcher la contamination aérienne. Il faut ensuite traiter un bécher à la fois en ajoutant 100 ml d'eau désionisée filtrée à 0,45 µm. À l'aide d'une spatule, bien gratter les béchers jusqu'à l'enlèvement de tous les sédiments de la paroi. Ensuite, la solution est introduite dans une ampoule à décanter. Cette procédure sera répétée jusqu'à l'obtention d'un bécher propre. Pour favoriser une meilleure extraction, 5 ml d'huile végétale Canola pure à 100% filtrée à 0.45 µm sera ajoutée. Afin de permettre à tous les microplastiques d'être en contact avec l'huile, il faut agiter vigoureusement l'ampoule à décanter plusieurs fois (3 à 4 fois) et dégazer pour ne pas subir d'accumulation de pression dans l'ampoule. Laisser reposer jusqu'à ce que les deux phases distinctes se forment dans l'ampoule à décanter (~2 mins.). Une attention particulière doit être portée à la séparation des phases au cas où de fines particules comme du silt soient transférées dans l'ampoule ce qui pourrait contaminer l'échantillon. Si tel est le cas, laisser décanter pour une période additionnelle pour s'assurer de bien séparer l'eau et les

sédiments de la phase huileuse. On soutire et dispose de l'eau et des sédiments de l'ampoule à décanter. La phase huileuse est maintenue dans l'ampoule (**Figure 12**). La phase huileuse est versée dans une fiole de 25 ml, il faut rincer 2 fois l'ampoule avec une solution savonneuse (savon pour lave-vaisselle Fisherbrand, Sparkleen 2) de 4% non moussante déjà filtrée sur 0.45µm pour enlever les traces des huiles et des graisses résiduelles dans l'ampoule et verser le contenu de ces rinçages dans la même fiole. Cette fiole sera placée au réfrigérateur (4°C) jusqu'à l'étape de coloration (**Figure 13**). Recommencer ces étapes pour chacun des béciers à l'étuve.



Figure 12 : Séparation de la phase Eau-Huile à l'aide d'une ampoule à décanter



Figure 13 : Conservation de la phase huileuse dans les fioles de verre de 25 ml jusqu'à l'étape de coloration

Il faut noter que pour l'identification des microplastiques par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier : Nicolet iS50 FTIR et FT-IR de type Spotlight 200i l'étape de coloration est sautée. La solution huileuse est immédiatement filtrée sur le filtre de verre à 0,45 µm, la procédure de rinçage et de séchage est appliquée.



3.3 Coloration

Afin de pouvoir quantifier les microplastiques dans les échantillons des eaux usées, le rouge du Nil a été utilisé afin d'accentuer la fluorescence des microplastiques. (Jee et al., 2009). Cette coloration est très importante pour permettre de distinguer les microplastiques du sable, du verre et des métaux de basse densité qui sont parfois entraînés avec l'huile. Le rouge du Nil a été sélectionné comme colorant préférentiel pour l'étude du PVC, PS, HDPE, LDPE, PP, TPE et PTE à la suite d'essais préliminaires sur l'ensemble des standards utilisés. Une quantité de 0,0005 g du rouge du Nil en poudre a été pesée sur une balance analytique. Cette quantité a été introduite dans un volume d'éthanol de 50 ml afin d'atteindre une concentration de 10 µg/ml. (Shengdong Liu, 2022) Il faut s'assurer que la solution de rouge du Nil soit bien dissoute en agitant la solution à l'aide d'une tige de verre ou en fer. La solution de rouge du Nil est conservée dans un contenant en verre ambré et dans l'obscurité à une température de 4°C (Shengdong Liu, 2022). La bouteille contenant la solution de Rouge du Nil est enveloppée avec du papier d'aluminium afin de réduire la pénétration de la lumière pour maintenir son effet fluorescent. Une étude de dégradation des polymères étudiés dans le méthanol, l'acétone et l'éthanol a été complétée au Cteau. L'éthanol a été sélectionné comme solvant puisqu'aucune dégradation des microplastiques n'a été observée lors de cette expérience. Pour éliminer la présence de tout type de contamination, l'éthanol a été préfiltré sur une membrane de 0.45µm.

Pour colorer les microplastiques, on verse d'abord l'échantillon contenu de la fiole de 25 ml dans un erlenmeyer de 125 ml. Cette solution contenue dans l'erlenmeyer est ainsi préchauffée à l'étuve à 50°C pendant 15 minutes. Cette fiole de 25 ml est alors rincée avec 1 ml de solution de Rouge du Nil à 10 µg/ml. (Shengdong Liu, 2022). Le colorant est ensuite versé dans l'erlenmeyer contenant la solution huileuse. Cette dernière étape doit être accomplie 3 fois en maintenant l'agitation de la solution huileuse et ceci pour un total de 3 ml de colorant. L'objectif est de procéder à une coloration des microplastiques en rouge ou en violet tout en limitant la dilution du colorant. Ensuite, la solution est replacée à l'étuve (50°C) pendant 10 minutes et conservée au frigo à une température de 4°C (Lv et al., 2019 & Shengdong Liu, 2022).





Figure 14 : Échantillon coloré chauffé à 50°C



Figure 15 : Échantillon coloré refroidit prêt à être filtré

À la suite de l'étape de coloration, il faut procéder à la préparation de l'échantillon pour analyse au microscope à fluorescence. Pour ce faire, il faut noter la masse d'un pétrie de 47 mm et la masse d'un filtre de verre de 47 mm avec une porosité de 0,45 μm . Par la suite, on procède à l'étape de filtration sur le filtre de verre à 0,45 μm . Les microplastiques vont se déposer à la surface du filtre en ayant une coloration rose ou violette. Une étape de rinçage de l'erenmeyer est réalisée une première fois avec la solution de savon non-moussant à 4% filtré à 0,45 μm et une étape supplémentaire de rinçage avec 10 ml d'une solution avec un mélange acétone 30% et éthanol 70%. Une dernière étape de rinçage sera effectuée en utilisant 10 ml d'éthanol. Ce cycle de rinçage est une adaptation de la méthodologie établie par Crichton et al., 2019 pour l'extraction à l'huile des microplastiques. Une modification a dû y être apportée car les filtres contenaient des résidus d'huiles et une dégradation visible des microplastiques à leur surface lors des essais préliminaires au microscope à fluorescence. Les filtres sont ensuite placés dans une boîte de pétri et laissés ouverts au dessiccateur (désinfecté et réservé au préalable), pour une période de 48h. Après l'étape de séchage, noter la masse totale incluant la masse du pétri, la masse du filtre et la masse de l'échantillon. L'échantillon est ainsi prêt pour être analysé par microscopie à fluorescence.

3.4 Identification et Quantification des Microplastiques

L'étape d'identification des microplastiques a tout d'abord été réalisée sur une solution synthétique ayant une concentration (10-100 g/L) et une composition connue (solution synthétique contaminée par PS, HDPE, LDPE, PVC et PP). Cette solution synthétique a servi principalement pour la calibration et pour le contrôle qualité. L'identification des

microplastiques a été effectuée à l'aide de deux types de spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier : l'appareil Nicolet iS50 FTIR™ et le système de microscopie Spotlight 200i FT-IR. Les microplastiques ont été analysés dans la gamme 4000-550 nm. Le spectre résultant reflète les vibrations moléculaires que la molécule subit sous l'effet de la lumière en fonction de la longueur d'onde. Ce phénomène se traduit par l'apparition de pics liés aux fonctions que la molécule possède. En raison de la limite de détection par FT-IR, seulement les microplastiques ayant une taille entre 1000 µm et 1.6 µm ont été ciblés. Des microplastiques standards comme le **PS**, **PET**, **LDPE**, **HDPE**, **TPE**, **PP** et **PVC** ont été analysés pour comparer leurs spectres aux spectres des microplastiques dans les eaux usées. Il faut mentionner qu'avec l'appareil Spotlight 200i FT-IR, on est capable d'identifier d'autres types de microplastiques (voir section 4 Discussions). Dans un premier temps, les échantillons standards qui ont été préparés avec une quantité connue ont été analysés par FT-IR (Nicolet iS50) afin d'identifier les longueurs d'onde représentant chaque type de microplastique. L'ensemble des spectres des différents microplastiques analysés (HDPE, PP, PE, TPE, PS, PET) est présenté à l'**Annexe 1**. D'autres solutions synthétiques composées de plusieurs types de microplastiques ont été également analysées. La composition des solutions synthétiques est la suivante : **Solution A** (500 ppm) : TPE, PS, PE; **Solution B** (500 ppm) : PP, PET et **Solution C** (750ppm) : TPE, PS, PE, PET, PP.

Comme le montrent les figures présentées à l'**Annexe 1**, les spectres FT-IR obtenus ont été utilisés afin de déterminer les longueurs d'onde pour chaque type de microplastique et de différencier les microplastiques l'un de l'autre (analyse qualitative). Ensuite, les spectres obtenus pour chaque type de microplastique ont été comparés avec le spectre de la Solution C afin de valider la faisabilité d'analyse qualitative de chaque microplastique dans un mélange. Le **Tableau 3** présente les longueurs d'ondes expérimentales pour chaque type de microplastique et le **Tableau 4** présente les résultats de validation dans la Solution C. Avec la méthode FT-IR, il a été possible d'identifier les microplastiques dans un mélange de microplastiques.



Tableau 3 : Longueurs d'onde expérimentales pour chaque type microplastique

Type de MP	Longueur d'onde (cm ⁻¹) >2000	Longueur d'onde (cm ⁻¹) <2000
PE	2915; 2850	717
TPE	-	745; 760; 765
PS	3023; 3050; 3071	1572; 1599
PP	2837; 2866; 2916; 2949	1454; 1375; 1167
PET	-	1242; 1712

Tableau 4 : Validation des longueurs d'ondes pour chaque type de Microplastiques (Solution C)

Type de MP	Longueur d'onde (cm ⁻¹) >2000	Longueur d'onde (cm ⁻¹) <2000
PE	2915; 2845	-
TPE	-	693; 745
PS	3024; 3058; 3081	-
PP	-	1452
PET	-	Pics entre 870-1100

Par la suite, les échantillons d'eaux usées collectées et séparées ont pu être identifiés. En ce qui concerne la quantification par masse et la caractérisation des types de microplastiques par le microscope optique, ces deux méthodes ne sont pas qualifiées comme efficaces dans notre étude. Cela s'explique par la présence des autres substances (sables, silts etc.) qui ne permettraient pas de faire la distinction de la masse évaluée. De plus, il y a très peu de

caractéristiques visuelles qui permettent de distinguer ces autres substances des microplastiques au microscope optique. Voilà ce qui a mené au choix de la coloration des particules extraites pour permettre de différencier un microplastique d'un sédiment au microscope électronique à fluorescence. Les contaminants inorganiques présents après la digestion faussent donc la lecture des résultats pour la quantification par masse et la caractérisation des microplastiques.

La quantification des microplastiques détectés dans les eaux usées a été effectuée en utilisant principalement la microscopie électronique à fluorescence (Zeiss Axiovert 200 couplé à une caméra modèle QIMAGING Fast 1394 et le logiciel de comptage ImajeJ) (Shengdong Liu, 2022). La **Figure 16** présente la microscopie électronique à fluorescence qui a été utilisée dans le cadre de ce projet.



***Figure 16** : Microscopie à fluorescence de type Zeiss Axiovert 200*

Des essais d'excitation ont été complétés pour déterminer quelle longueur permet de visualiser l'ensemble des microplastiques qui peuvent être détectés et quantifiés lors de cette étude. (Shengdong Liu, 2022). Selon ces essais d'excitation, la lumière verte (500 nm- 550nm) excite l'ensemble des microplastiques standards testés qui produisent une fluorescence rouge, comme le montre la **Figure 17**. Cette fluorescence est uniquement dûe au colorant rouge du Nil. En effet, la méthode de coloration permet de pénétrer les polymères de microplastiques pour ensuite filtrer ces derniers sur un filtre de verre propre. Cette procédure permet d'avoir un arrière-plan dépourvu d'interférence. Le fait de ne pas avoir de colorant dans l'arrière-plan diminue le pourcentage d'erreur du logiciel de comptage, augmente la résolution et la précision. Chaque filtre, après la coloration, est visualisé sous la lumière verte (500 nm-

550nm) au microscope à fluorescence. Une photo de chaque quart du filtre est prise pour permettre une compilation représentative de l'ensemble du filtre (**Figure 18**) (Shengdong Liu, 2022). Cette étape est répliquée pour les tailles de fractionnement de 1 mm, 297 μm , 53 μm , 25 μm et 1,6 μm à chaque site d'échantillonnage. Les images prises au microscope électronique sont ensuite analysées. Lors du traitement des images prises par la microscopie à fluorescence, des paramètres tels que la densité de pixel prise par la caméra du Zeiss Axiovert (300 ppi ce qui correspond à 11,81 pixel par mm) et l'amplification du Zeiss Axiovert (amplification totale de 80x) sont considérés.

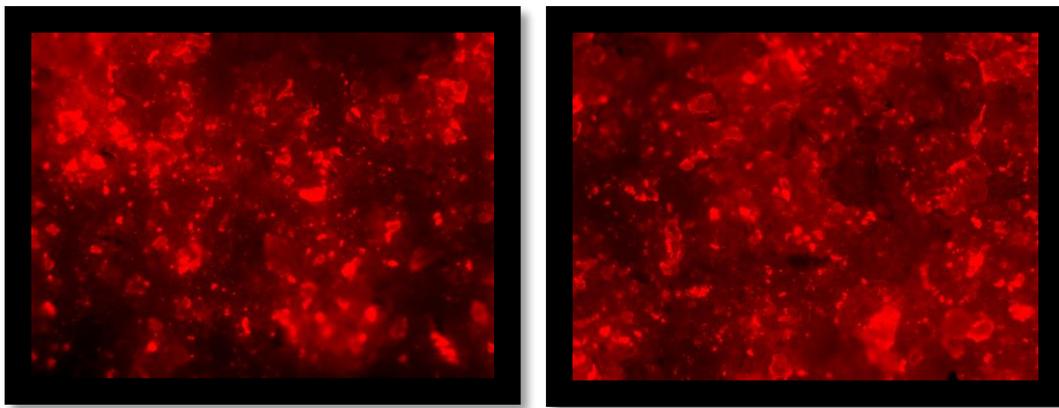


Figure 17 : Échantillon standard de PS exposé à la lumière verte et fluorescent en rouge

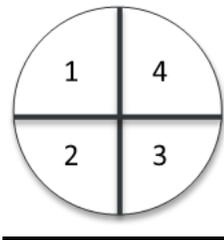


Figure 18 : Nombre d'image capturé à chaque filtre de fractionnement



4. Discussions

4.1 Identification des microplastiques par FT-IR

4.1.1 Identification des microplastiques dans les échantillons réels par FT-IR de type Nicolet iS50

En considérant les résultats de calibration des différents types de microplastiques, les échantillons issus de différentes stations d'épuration le 18-02-22 ont été analysés et leurs spectres ont été comparés avec les spectres des standards de microplastiques. Le **Tableau 4** résume l'ensemble des échantillons qui ont été analysés.

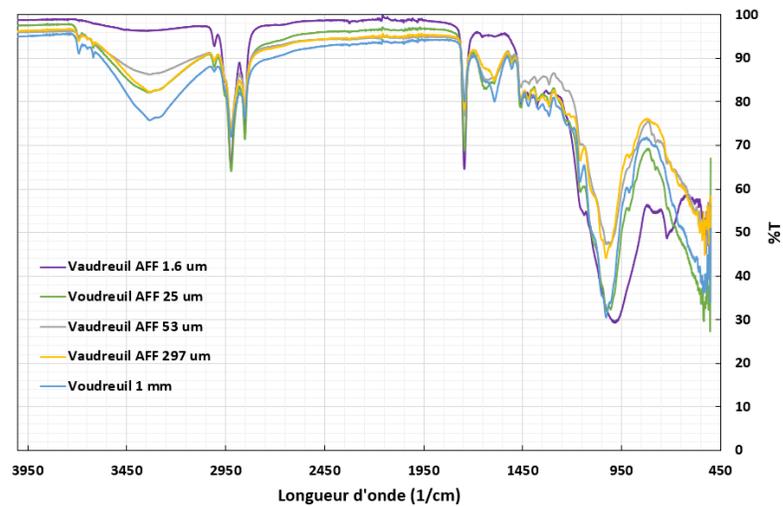
Tableau 5 : Liste des échantillons analysés par FT-IR de type Nicolet iS50

Identification	Signification
R-D-L, aff. 1000 µm ; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station de Rivière-du-Loup, affluent
R-D-L, inter. 1000 µm; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration de Rivière-du-Loup, inter-traitement
R-D-L eff. 1000 µm ; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration de Rivière-du-Loup, effluent
Vaudreuil-Dorion, aff. 1000 µm ; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion, affluent
Vaudreuil-Dorion, eff. 1000 µm ; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion, effluent
58t, 1A+1B 1000 µm ; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration 58t 1A+1B (affluent combiné)
58t, S2 1000 µm; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration 58t, affluent avec retour du filtrat de la filière des boues
58t, S4 (ou eff.) 1000 µm ; 297 µm; 50 µm; 25 µm; 1,6 µm	Station d'épuration 58t, effluent

La **Figure 19** présente les spectres FT-IR des échantillons issus de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion (affluent et effluent) et qui ont différentes tailles de filtration. Les résultats des autres échantillons issus de la station d'épuration 58t et Rivière-du-Loup sont présentés à l'**Annexe 1**.



Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, affluent



Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent

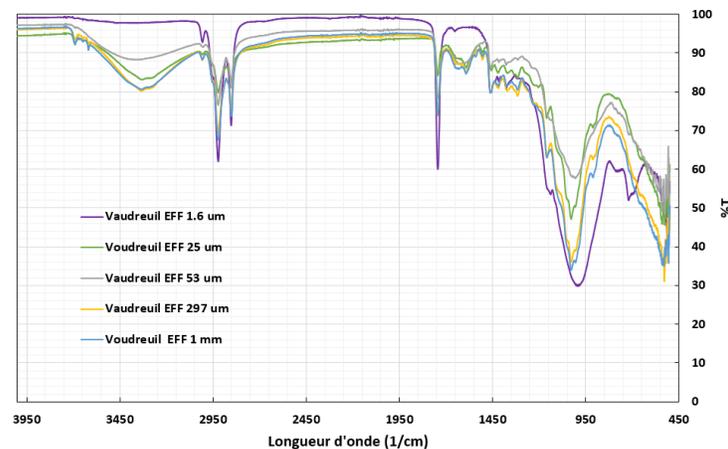
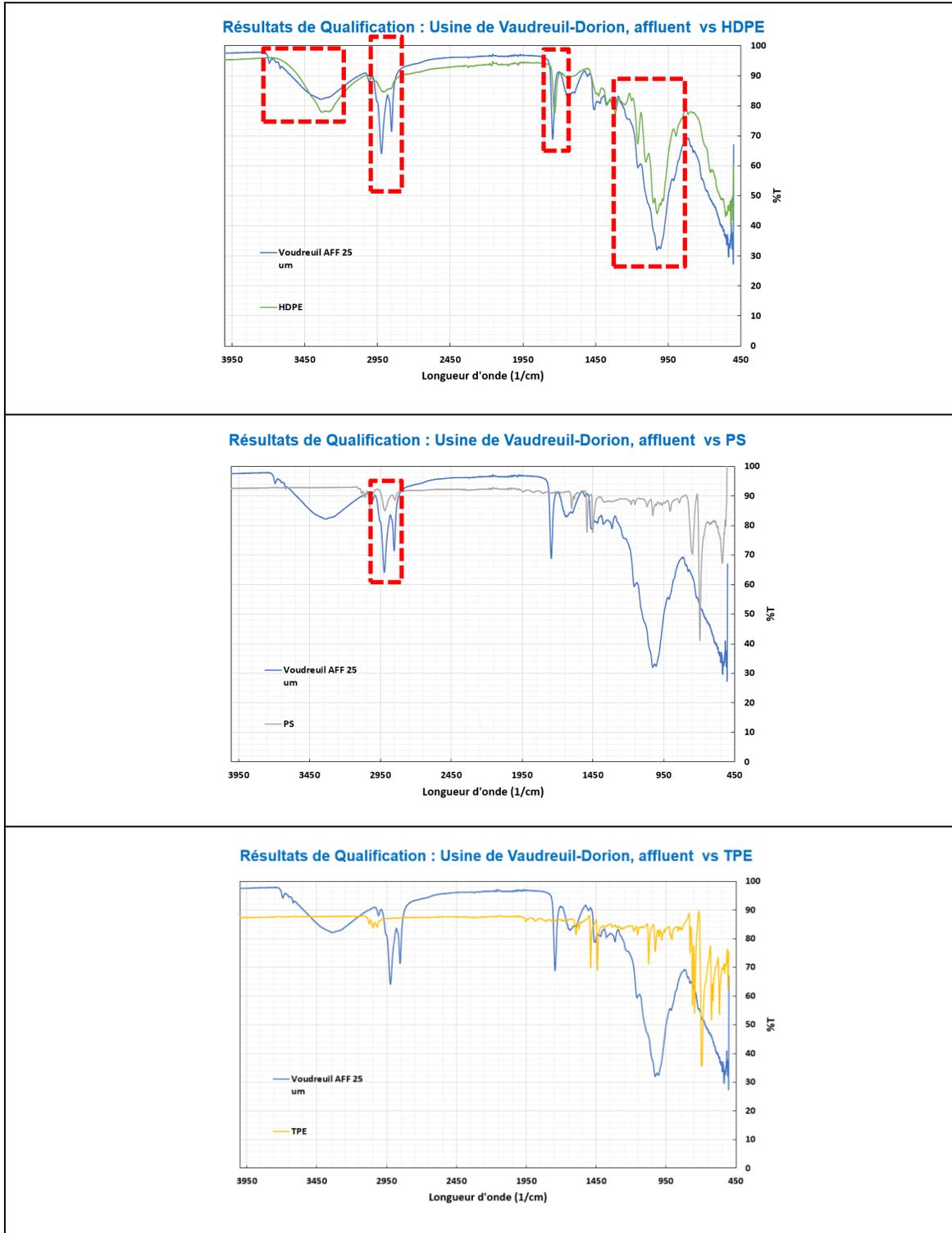


Figure 19 : Résultats des analyses FT-IR de l'affluent et l'effluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion

Afin d'identifier les types de microplastiques qui peuvent être détectés à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion, l'échantillon « Affluent » a été comparé avec les standards des microplastiques. Dans cet échantillon, les types de microplastiques qui ont été détectés sont principalement HDPE, LDPE et PS (**Figure 20**). Par comparaison, les types de microplastiques qui ont été détectés dans l'échantillon « Effluent » sont HDPE, LDPE, PET. Les comparaisons des autres échantillons sont présentées à l'**Annexe 1**.



Les rectangles rouges utilisés sur les spectres permettent de mettre en évidence les correspondances des microplastiques détectés avec ceux des standards.



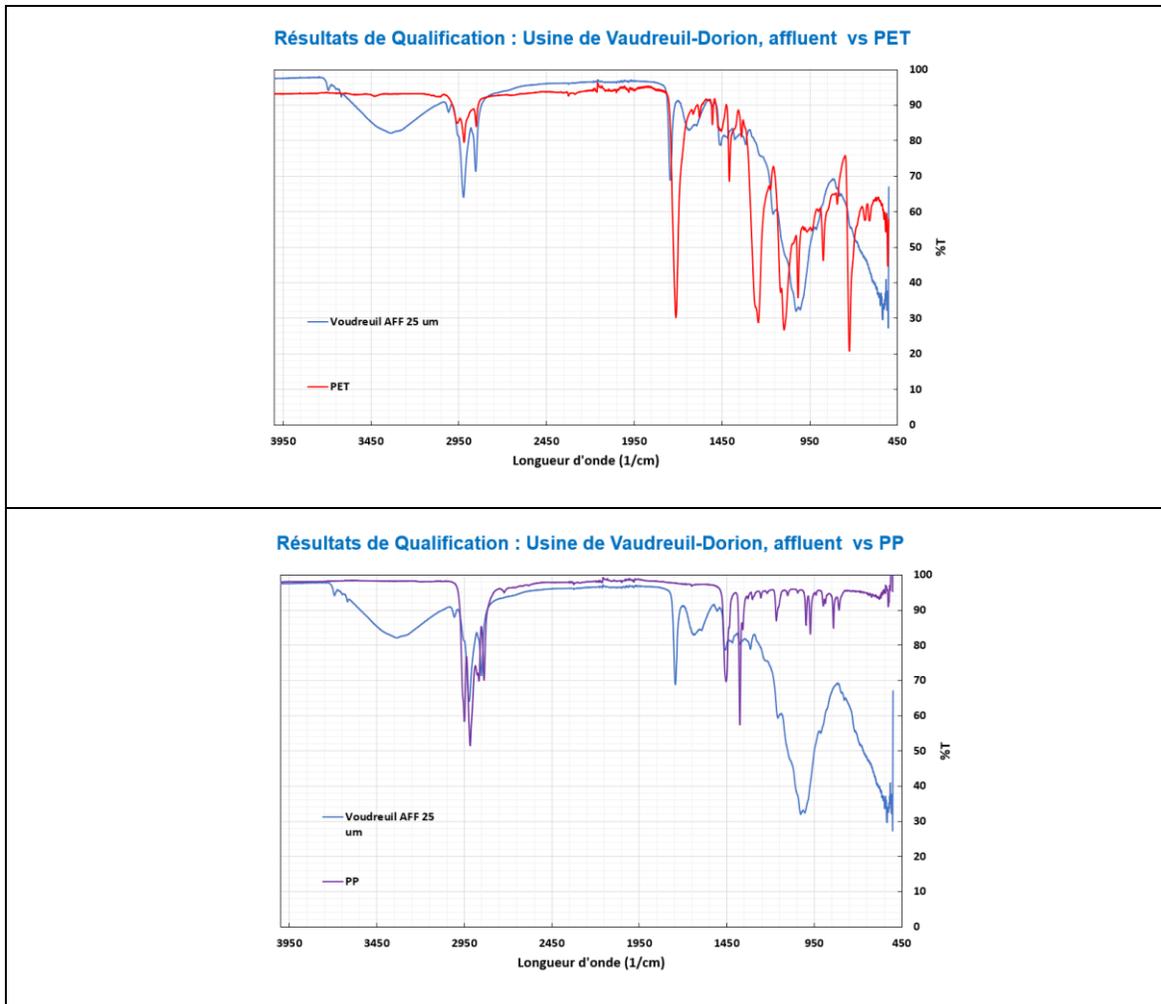


Figure 20 : Comparaison de l'échantillon Affluent de la station d'épuration Vaudreuil-Dorion avec les standards (HDPE, LDPE, PS, TPE, PET et PP)



Le **Tableau 6** résume les types de microplastiques qui ont été identifiés dans les différents échantillons issus des trois stations d'épuration pour les dates d'échantillonnages du 18-02-22.

Tableau 6 : *Types de microplastiques identifiés par FT-IR dans les différents échantillons issus des trois stations d'épuration.*

Nom d'échantillon	Type de MPs identifiés
Vaudreuil-Dorion, aff.	LDPE, HDPE, PS
Vaudreuil-Dorion, eff.	LDPE, HDPE, PET
R-D-L, aff.	LDPE, HDPE, TPE
R-D-L, eff.	LDPE, HDPE, PS, TPE, PET, PP
R-D-L, inter.	LDPE, HDPE, TPE, PET, PP
58t, S2	LDPE, HDPE, TPE
58t, S4 (ou eff.)	LDPE, HDPE, TPE, PET

4.1.2 Identification des microplastiques dans les échantillons réels par FT-IR de type Spotlight 200i

Des analyses complémentaires d'identification des microplastiques en utilisant un FT-IR de type Spotlight 200i (**Figure 21**) ont été également réalisées. Le FT-IR de type Spotlight 200i est équipé d'une base de données complète permettant d'identifier différents types de plastiques à part ceux sélectionnés comme standard à la section 4.1.1 Identification des microplastiques dans les échantillons réels par FT-IR de type Nicolet iS50 .





Figure 21 : *Système de microscopie FT-IR de type Spotlight 200i*

Avec l'utilisation du FT-IR de type Spotlight 200i, les échantillons qui ont été analysés sont principalement : Vaudreuil-Dorion eff (1000 μm , 297 μm , 53 μm , 25 μm , 1,6 μm); Vaudreuil-Dorion aff (1000 μm , 297 μm , 53 μm , 25 μm , 1,6 μm) et un échantillon blanc environnemental. Pour chaque échantillon 5 emplacements sur le filtre de verre (2 mm * 2 mm) ont été scannés et par la suite pour chaque emplacement, 6 points de focus microscopique ont été analysés. La **Figure 22** ci-après montre l'analyse qui a été réalisé sur l'échantillon Affluent (1000 μm) de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion, soit principalement le polyéthylène (PE). Les autres points analysés de cet échantillon et les résultats des autres échantillons sont présentés à l'Annexe 1. Le **Tableau 7** résume les différents types de microplastiques qui ont été détectés dans les échantillons issus de la station d'épuration Vaudreuil-Dorion. Principalement, des microplastiques de type PP, PE, PTFE, PVDF, PVF, Ruban de caoutchouc et PVC ont été détectés à l'Affluent et l'Effluent de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion. Il est possible de voir différents microplastiques détectés dans différentes fractions d'un même échantillon à l'aide du FT-IR de type Spotlight 200i.



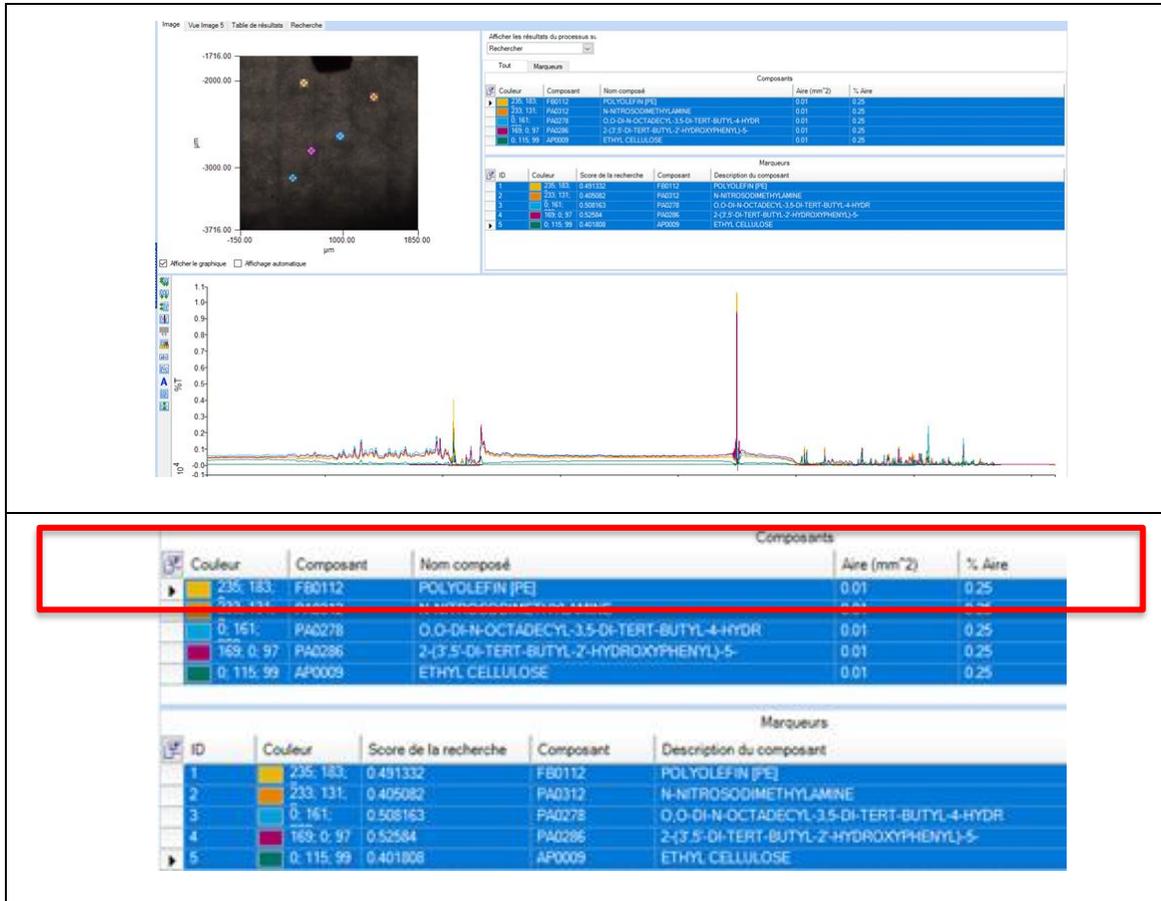


Figure 22 : Vaudreuil-Dorion-aff : 1 mm (point : 1)



Tableau 7 : Type de microplastiques identifiés à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion pour les échantillons collectés le 02-11-22 par FT-IR de type Spotlight 200i

Nom d'échantillon	Type de MPs identifiés
Vaudreuil-Dorion-aff (1 mm)	PE, PP, PVF, Ruban de caoutchouc, csPE
Vaudreuil-Dorion-aff (297 µm)	PTFE, PVDF, PVF, Ruban de caoutchouc
Vaudreuil-Dorion-aff (53 µm)	PVDF, PE, Ruban de caoutchouc
Vaudreuil-Dorion-aff (25 µm)	PP, PE, PVC, PVF, Ruban de caoutchouc
Vaudreuil-Dorion-aff (1,6 µm)	PP, PVDF
Vaudreuil-Dorion-eff (1 mm)	PE, PP, PVDF, Ruban de caoutchouc
Vaudreuil-Dorion-eff (297 µm)	PE, PVDF, Ruban de caoutchouc
Vaudreuil-Dorion-eff (53 µm)	PE, PP, PVDF, PVF
Vaudreuil-Dorion-eff (25 µm)	PE, PVF, Ruban de caoutchouc
Vaudreuil-Dorion-eff (1,6 µm)	PTFE, PVF, Ruban de caoutchouc



4.2 Quantification des microplastiques dans les eaux usées municipales

À la suite du traitement des images, les analyses de particules ont pu être compilées pour chaque station d'épuration et par point d'échantillonnage pour permettre de calculer les concentrations, l'aire de recouvrement et le pourcentage d'enlèvement positif ou négatif selon la taille des particules (*Tableau 8-Tableau 15*).

4.2.1 Station d'épuration 58t

Un échantillonnage à la station d'épuration 58t a été effectué à la même période dans deux contenants différents (bouteilles en verre de capacité de 2.0 L versus bidons de plastique en HDPE de capacité de 20.0 L) afin d'estimer le degré de contamination de l'utilisation de bidons de plastiques (HDPE) dédiés à l'échantillonnage. On observe que les concentrations de MPs affluent dans le *Tableau 8* et *Tableau 10* se ressemblent beaucoup alors que les concentrations de MPs à l'effluent sont significativement différentes. Ce résultat semble contre intuitif du fait qu'on s'attendrait de voir une plus forte concentration de MPs dans les échantillons de HDPE. Des essais additionnels seraient nécessaires pour confirmer toute différence entre les contenants de verre et de HDPE. Il faut aussi prendre en considération que l'ensemble des échantillons a été conservé en dehors des conditions de dégradation thermique et de photo-oxydation du HDPE (Chamas et al., 2020), le risque de contamination étant alors limité. De plus, ceci permet une comparaison plus appropriée avec la station de Rivière-du-Loup où le volume d'eau de 20.0 L dans un bidon en plastique en HDPE a été priorisé dans l'optique de limiter les efforts d'échantillonnages nécessaires pour ce site éloigné.

Les résultats de quantification sont présentés dans les tableaux (*Tableaux 8 à 11*). Pour l'affluent de la station, des différences significatives de concentrations en MPs peuvent être observées entre les différents réseaux d'égouts, possiblement en lien avec des activités urbaines spécifiques. Il appert que des études plus approfondies devraient être accomplies pour préciser cette observation.

Les résultats d'efficacité présentés dans le *Tableau 9* indiquent certains pourcentages d'enlèvement négatifs et une variation qui n'est pas proportionnelle sur la série de taille. Il faut remarquer que les aires de recouvrement sont très petites ce qui entraîne une marge d'erreur accrue lors du calcul du taux d'enlèvement. Une automatisation de la quantification pourrait

permettre d'acquérir plus, de données et d'améliorer la précision des lectures obtenues des filtres de verre. De plus, une analyse de l'intensité de la fluorescence pour mieux estimer la concentration et l'identification du microplastique serait à considérer (Liu et al., 2021). Ces pistes d'amélioration s'appliquent à l'ensemble des résultats de quantification.

Il est possible d'observer une concentration élevée de microplastique dans le bassin de mélange au site d'échantillonnage 2 affiché au **Tableau 10**. Le recyclage du filtrat du traitement des boues n'a pas été quantifié dans cette étude. Selon cette observation, il pourrait être pertinent de réaliser une étude complémentaire des MPs sur les filières de gestion des boues dans les stations.

Tableau 8 : *Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bouteilles en verre*

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs (mm²/L) Site 1A	Moyenne de l'aire des MPs (mm²/L) Site 1B	Moyenne proportionnelle au débit de l'aire des MPs (mm²/L) Site 1A + Site 1B	Moyenne de l'aire des MPs (mm²/L) Site 4
1 mm	0,009	0,080	0,020	0,114
297 µm	0,001	0,092	0,015	0,012
53 µm	0,045	0,013	0,040	0,042
25 µm	0,005	0,001	0,004	0,019
1,6 µm	0,004	0,008	0,005	0,003



Tableau 9 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bouteilles en verre

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 4	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume d'eau usée Site 1A + Site 1B vs Site 4 (%)
1 mm	0,114	-466,0
297 µm	0,012	24,3
53 µm	0,042	-6,2
25 µm	0,019	-336,1
1,6 µm	0,003	41,0

Les taux d'enlèvement négatifs présentés au **Tableau 9** sont attribués à une quantité de microplastiques finale plus importante que la quantité de microplastiques initiale. On suppose que cette augmentation soit dûe à la fragmentation des microplastiques de taille plus grossière lors du traitement.



Tableau 10 : Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration de 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 1A	Moyenne de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 1B	Moyenne proportionnelle au débit de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 1A + Site 1B	Moyenne de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 2	Moyenne de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 4
1 mm	0,010	0,261	0,050	4,103	0,005
297 µm	0,000	0,078	0,013	3,559	0,004
53 µm	0,014	0,417	0,079	0,066	0,005
25 µm	0,004	0,432	0,073	4,055	0,019
1,6 µm	0,020	0,003	0,017	0,424	0,010

Tableau 11 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration 58t pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs (mm ² /L) Site 4	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume d'eau usée Site 1A + Site 1B vs Site 4 (%)
1 mm	0,005	90,9
297 µm	0,004	68,0
53 µm	0,005	93,9
25 µm	0,019	73,4
1.6 µm	0,010	40,9

4.2.2 Station d'épuration de Vaudreuil-Dorion

Les échantillons d'eaux usées traitées versus non traitées issus de la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion ont été collectés dans des bouteilles de verre. Les résultats d'analyses enregistrés au **Tableau 12** montrent un enlèvement variant de 41 à 98 % des microplastiques sur la gamme complète des tailles de microplastiques détectés dans les eaux usées. L'utilisation d'un traitement secondaire biologique couplé à une décantation lestée serait une filière de traitement favorable pour l'enlèvement des microplastiques. Toutefois, des études plus approfondies seront nécessaires pour préciser cette observation.

Tableau 12 : *Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion pour des échantillons collectés le 02-11-22 dans des bouteilles en verre*

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs à l'affluent (mm ² /L)	Moyenne de l'aire des MPs à l'effluent (mm ² /L)
1 mm	0,296	0,175
297 µm	0,684	0,027
53 µm	0,450	0,007
25 µm	0,068	0,026
1,6 µm	0,067	0,031



Tableau 13 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion pour des échantillons collectés le 02-11-22 dans des bouteilles en verre

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs à l'effluent (mm ² /L)	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume eau usée affluent vs effluent (%)
1 mm	0,175	40,8
297 µm	0,027	96,1
53 µm	0,007	98,5
25 µm	0,026	62,6
1,6 µm	0,031	54,3

4.2.3 Station d'épuration de Rivière-du-Loup

En se basant sur les résultats de quantification des microplastiques détectés dans les eaux usées issues de la station d'épuration de Rivière-du-Loup, des taux d'enlèvement allant de 78% à 100% de microplastiques ont été enregistrés (*Tableau 15*). Ces bonnes performances enregistrées sur l'ensemble des tailles de microplastiques étudiées peuvent être attribuées au long temps de séjour d'un système de traitement biologique de type étang aéré et au couplage avec une décantation lestée en sortie, en particulier pour les plus fines particules. Des études plus approfondies seront nécessaires pour préciser cette observation.



Tableau 14 : Quantification des microplastiques par microscopie à fluorescence à la station d'épuration de Rivière-du-Loup pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs à l'affluent (mm ² /L)	Moyenne de l'aire des MPs à l'inter-traitement (mm ² /L)	Moyenne de l'aire des MPs à l'effluent (mm ² /L)
1 mm	0,0447	0,0125	0,0097
297 µm	0,0492	0,0240	0,0057
53 µm	0,0440	0,0003	0,0072
25 µm	0,0637	0,0015	0,0008
1,6 µm	0,2442	0,3650	0,0007

Tableau 15 : Taux d'enlèvement des microplastiques à la station d'épuration de Rivière-du-Loup pour des échantillons collectés le 16-08-22 dans des bidons de plastique en HDPE

Taille des MPs observés	Moyenne de l'aire des MPs à l'effluent (mm ² /L)	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume eau usée affluent vs effluent (%)
1 mm	0,0097	78,27
297 µm	0,0057	88,36
53 µm	0,0072	83,67
25 µm	0,0008	98,72
1.6 µm	0,0007	99,71



4.3 Étude comparative entre les trois stations d'épuration des eaux usées

Les tableaux ci-dessous présentent une comparaison entre les taux d'enlèvement enregistrés dans chacune des stations d'épuration étudiées. Une amplification des microplastiques de petites tailles est observée pour l'ensemble des stations d'épuration suivies. Cette amplification est associée à la dégradation des microplastiques de grandes tailles en microplastiques de petites tailles. Pour améliorer l'enlèvement des microplastiques, il semble être plus avantageux d'avoir une chaîne de traitement qui combine à la fois un traitement biologique et un traitement physico-chimique tel que dans les stations d'épuration de Vaudreuil-Dorion et de Rivière-du-Loup. Les longs temps de séjour dans les étangs aérés seraient également un facteur favorable à l'enlèvement des microplastiques. Ces observations mériteront d'être validées par d'autres études complémentaires.

Tableau 16 : Comparaison des taux d'enlèvement des microplastiques entre la station d'épuration 58t et la station d'épuration Rivière-du-Loup (échantillons récoltés dans des bidons de plastique en HDPE)

Station d'épuration	58t	Rivière-du-Loup
Taille des MPs observés	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume d'eau usée Site 1A + Site 1B vs Site 4 (%)	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume d'eau usée affluent vs effluent (%)
1 mm	90,9	78,27
297 µm	68,0	88,36
53 µm	93,9	83,67
25 µm	73,4	98,72
1.6 µm	40,9	99,71



Tableau 17 : Comparaison des taux d'enlèvement des microplastiques entre la station d'épuration 58t et la station d'épuration de Vaudreuil-Dorion (échantillons récoltés dans des bouteilles en verre)

Station d'épuration	58t	Vaudreuil-Dorion
Taille des MPs observés	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume d'eau usée Site 1A + Site 1B vs Site 4 (%)	Enlèvement des MPs selon l'aire par volume d'eau usée affluent vs effluent (%)
1 mm	-466,0	40,8
297 µm	24,3	96,1
53 µm	-6,2	98,5
25 µm	-336,1	62,6
1.6 µm	41,0	54,3



5. Conclusion et recommandations

Ce projet de recherche a permis de mettre au point une méthode d'échantillonnage, de digestion, d'extraction, de coloration, d'identification et de quantification des microplastiques détectés dans les eaux usées municipales. Également, une étude comparative à travers le suivi de trois stations d'épuration au Québec a permis d'estimer la capacité des procédés de traitement mis en place pour dégrader les microplastiques. En effet, une méthode d'identification utilisant un FT-IR a permis de détecter plusieurs types de microplastiques (PP, PS, PVC, HDPE, LDPE) dans chacune des stations d'épuration étudiées. De même, la microscopie à fluorescence utilisée dans le cadre de cette étude a permis de quantifier à l'entrée et à la sortie les microplastiques détectés. Le couplage d'un procédé physico-chimique combiné à un procédé de traitement biologique pourrait être une bonne solution pour améliorer l'enlèvement des microplastiques dans la chaîne de traitement des eaux usées municipales. Il est recommandé dans la poursuite des activités du projet de faire appel à d'autres techniques d'analyses d'identification et de quantification plus pointues tels que Pyrolyse--GC-Orbitrap MS. Il est important de faire un suivi intensif tout au long de l'année pour ce qui concerne la charge des microplastiques que les eaux usées contiennent. De même, une identification et une quantification des types de microplastiques détectés dans les biosolides générés de la station d'épuration sera un sujet d'étude pertinent considérant la gestion des filtrats dans les stations et qu'ils sont considérés comme une matière fertilisante sur les terres agricoles.



6. Références

- Akarsu, C., Halil, K., Kerem G,g., K1dey E,A., et Sanchez V,A, (2020) Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into mersin bay, north eastern mediterranean sea. *Marine pollution bulletin*, 150 :110-776.
 - Anderson, J., Park, B., et Palace, V., 2016. Microplastics in aquatic environments: implications for canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218 :269–280.
 - Andrady, A., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine pollution buletin*, 62(8): 1596–1605.
 - Austin Scircle, J. V. (2020). etecting and Quantifying Microplastics in Bottled Water using Fluorescence Microscopy: A New Experiment for Instrumental Analysis and Environmental Chemistry Courses. *Journal of Chemical Education*, 234-238.
 - Barnes., D et Milner., P, 2005. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the atlantic ocean.*Marine Biology*, 146(4) :815–825.
 - Beiras, R., Muniategui, S., Rodil, R., Tato, T., Montes, R., Ibáñez, L, S., Concha, G, E., Campoy, P,L., González, N., et Quintana, J, 2019. Polyethylene microplastics do notincrease bioaccumulation or toxicity of nonylphenol and 4-mbc to marine zooplank-ton.*Science of the Total Environment*, 692 :1–9.
 - C [14] Crisatldi, A., Fiore, M., Zuccarello, P., Oliveri Conti, G., Grasso, A., Nicolosi I., Copat, C., et Ferrante, M. 2020. Efficiency of Wastewater Treatment Plants (WWTPs) for Microplastic Removal: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 17(21), 8014.
 - Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Hee Jang, J., Abu-Omar, M., Scott, S.L., Suh, S. 2020. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 8, 9, 3494-3511 <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
 - Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., et Tamara S Galloway, 2011. Micro-plastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12) :2588–2597.
- 

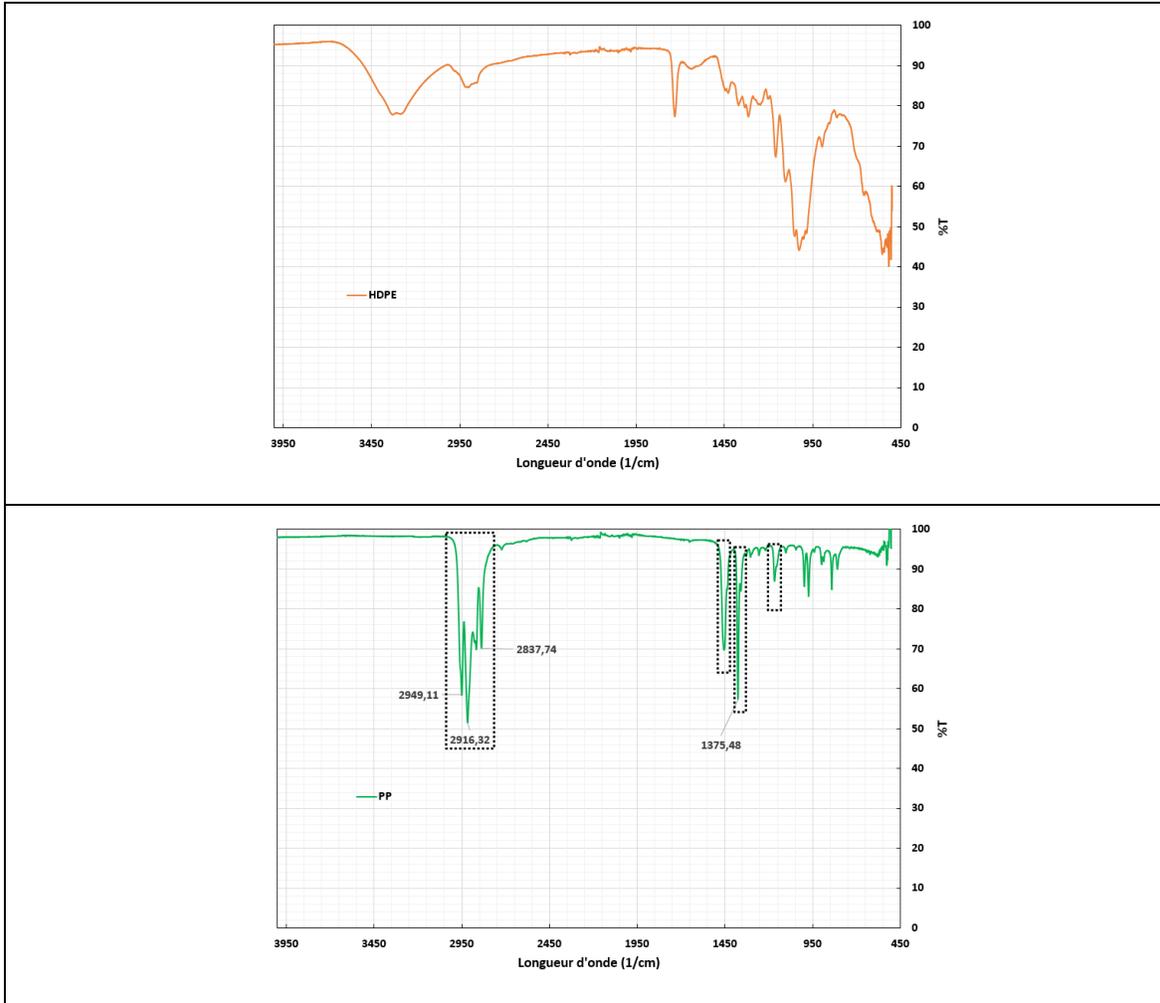
- Covernton, G.A., Pearce, C.M., Gurney-Smith, H.J., Chastain, S.G., Ross, P.S., Dower, J.F., and Dudas, S.E. 2019. Size and shape matter: A preliminary analysis of microplastic sampling technique in seawater studies with implications for ecological risk assessment. *Sci. Total Environ.* 667: 124–132. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.346.
 - Crawford, C.B., and Quinn, B. 2017a. Microplastic collection techniques. In *Microplastic Pollutants*. Edited by C.B. Crawford and B. Quinn. Elsevier Inc. pp. 179–202. doi:10.1016/b978-0-12-809406-8.00008-6.
 - Crichton, E.M., Noël, M., Gies, E.A., Ross, P.S., A novel, density-independent and FTIR-compatible approach for rapid extraction of microplastics from aquatic sediment, *Analytical Methods*, 2019, 9, 1419-1428
 - Derraik, J., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9) :842–852.
 - Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Carolyn, B., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., et Amato, S, 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine pollution bulletin*, 77(1-2) :177–182.
 - Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3 (7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
 - Gouvernement du Québec. 2008. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementales. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Lien Web : <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/index.asp>
 - Imran, A., Tengda, D., Changsheng, P., Iffat, N., Huibin, S., Li, J., et Liu, J., 2021. Micro and nanoplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, removal, fate, impacts and remediation technologies a critical review. *Chemical Engineering Journal*, page 130-205.
 - Ah-Young Jee, Soohyun Park, Haneul Kwon, Minyung Lee. 2009. Excited state dynamics of Nile Red in polymers. *Chemical Physics Letter*, 477, 112-115.
 - Lee, J., et Chae, K. J. 2021. A systematic protocol of microplastics analysis from their identification to quantification in water environment: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 124049.
- 

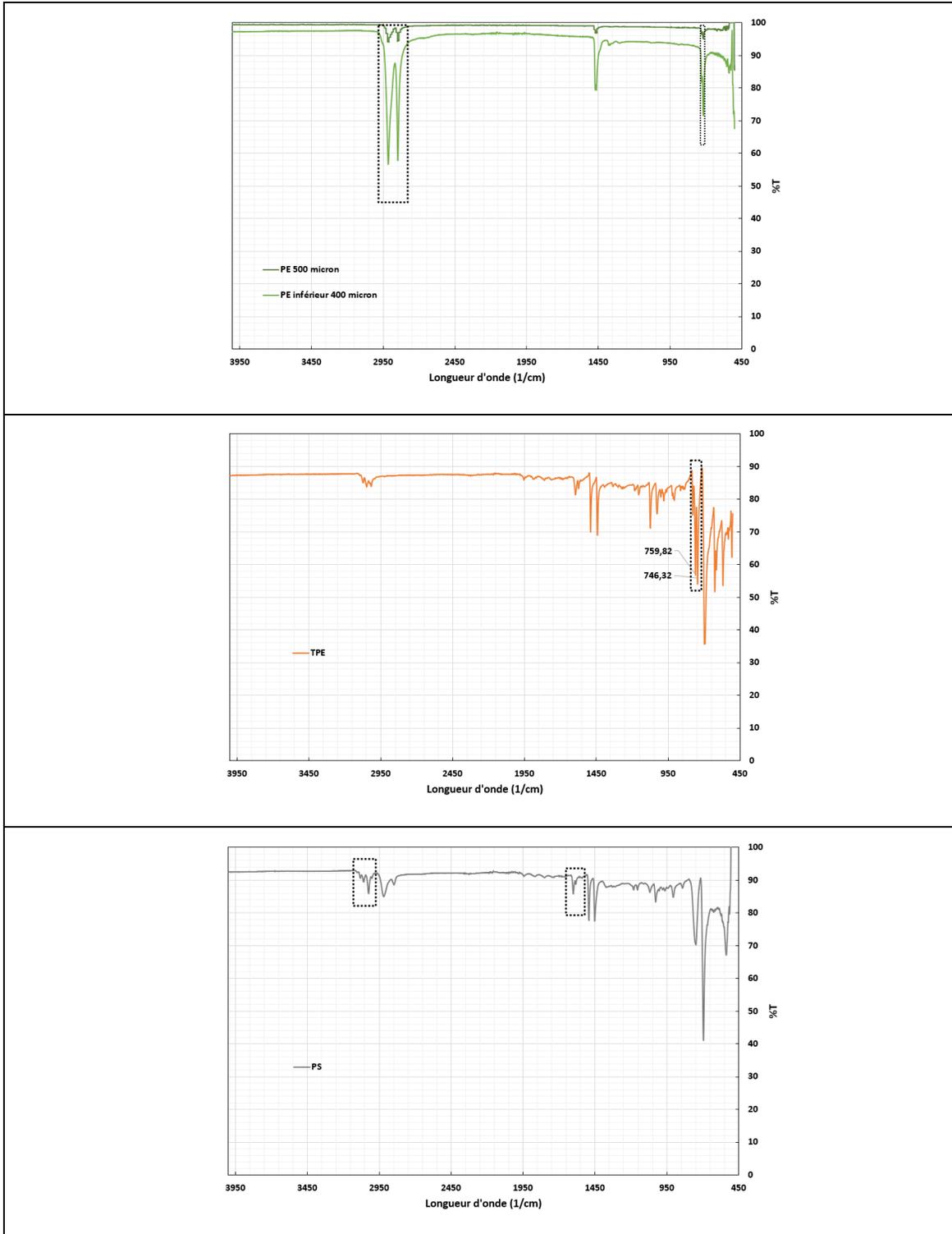
- Liyouan, H., Kumar, D., Yoo, C., Gitsov, I., et Majumder, E, 2021. Conversion and removal strategies for microplastics in wastewater treatment plants and landfills. *Chemical Engineering Journal*, 406 :126-715.
- Lv, L., Qu, J., Yu, Z., Chen, D., Zhou, C., Hong, P., ... & Li, C. (2019). A simple method for detecting and quantifying microplastics utilizing fluorescent dyes-Safranin T, fluorescein isophosphate, Nile red based on thermal expansion and contraction property. *Environmental Pollution*, 255, 113283.
- MAMOT. 2014. Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013. Récupéré depuis <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvragesmunicipaux/omaeu-mamot/2013.pdf>
- Masura, J., et al. 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48
- Ryan, P., and Moore, C., and Franeker, J., et Moloney, C., 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 :1999-2012.
- Shengdong Liu, E. S. (2022). What have we known so far for fluorescence staining and. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 8
- Shima Ziajahromi, Peta A. Neale, Llew Rintoul, Frederic D.L. Leusch, Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics, *Water Research*, Volume 112, 2017, Pages 93-99, ISSN 0043-1354, [En ligne] <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.042>.
- Teledyne Isco Revision Y. 2015. *Avalanche Installation and Operation Guide*. Avalanche. Lien Web: <https://www.teledyneisco.com/en-us/waterandwastewater/Pages/Avalanche.aspx>.



7. Annexes

7.1 Annexe 1-(Analyses au FT-IR)





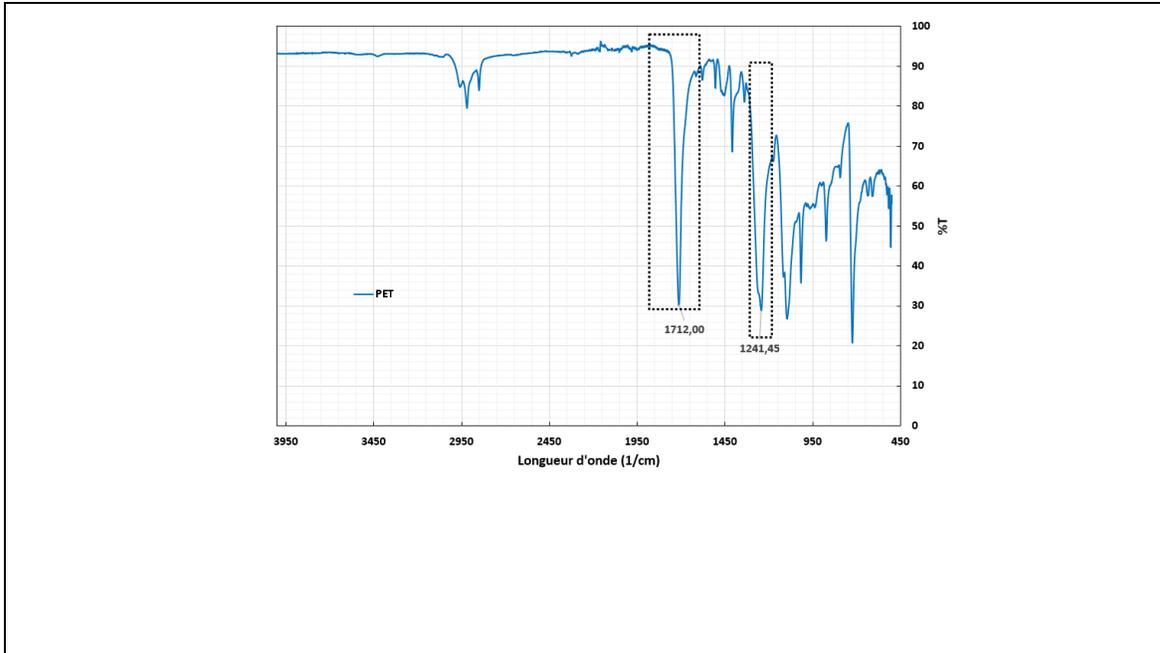
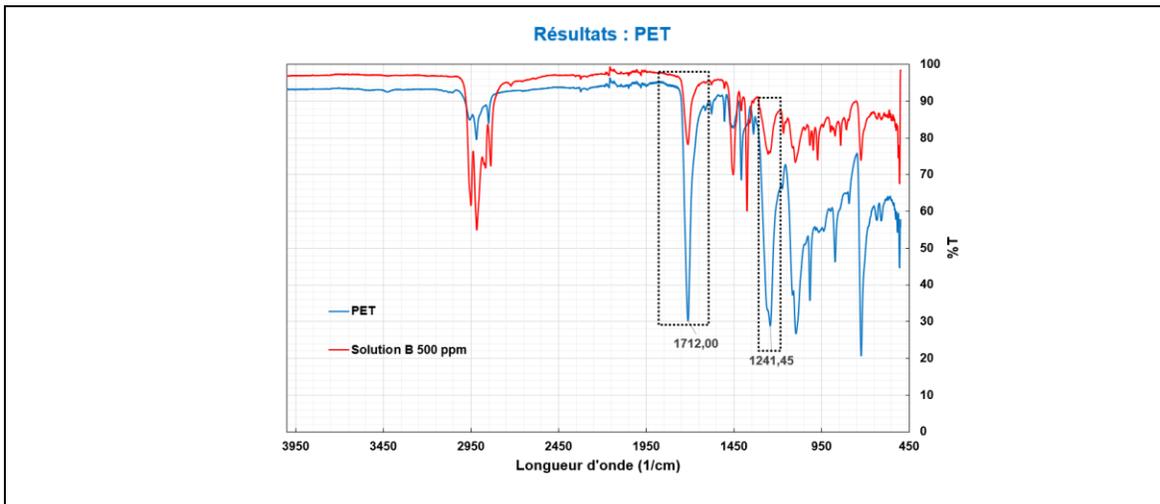
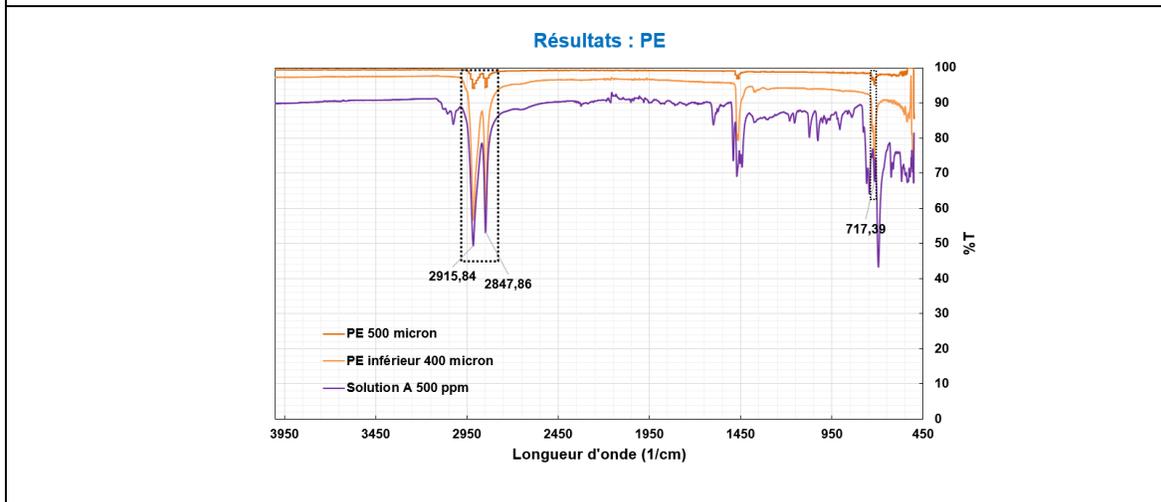
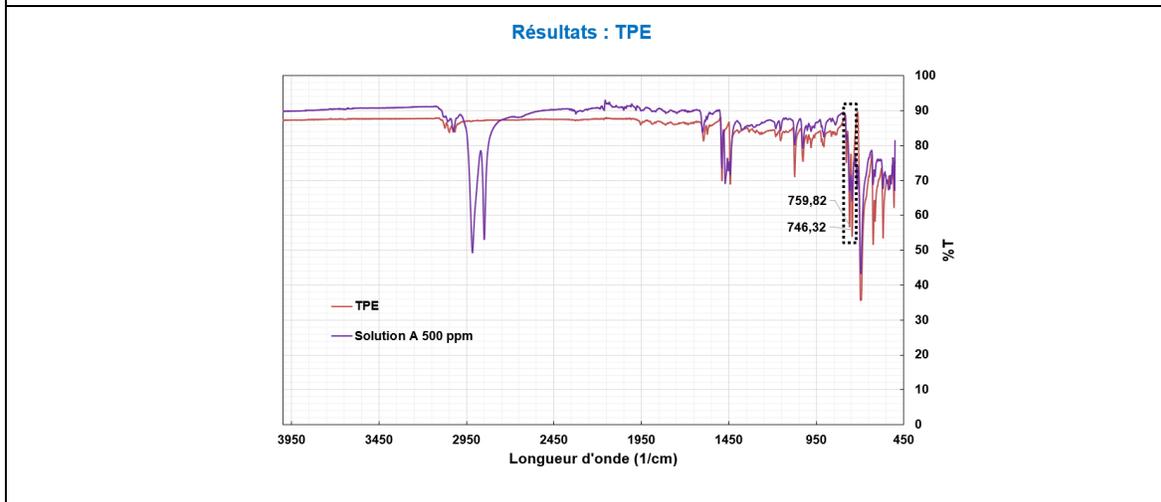
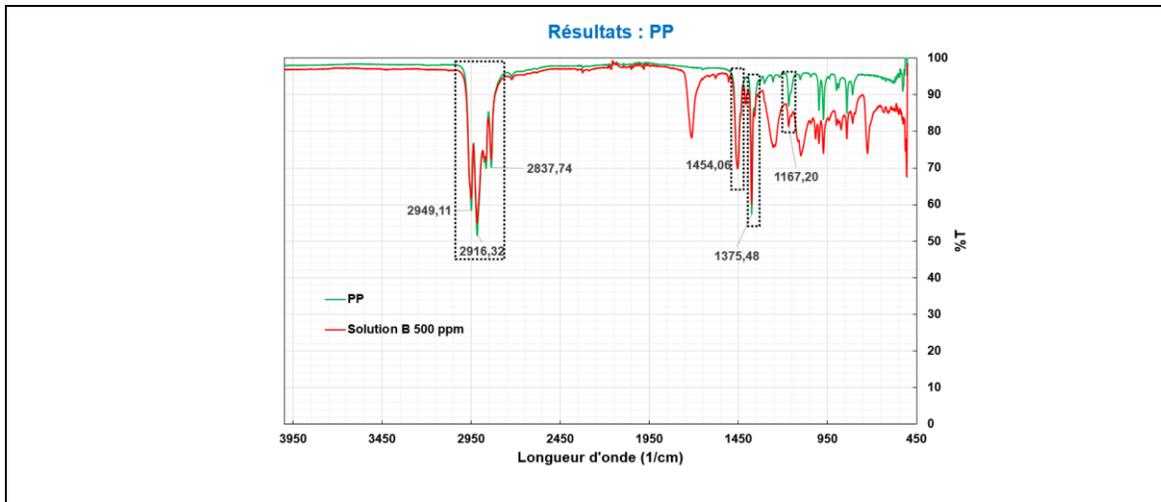
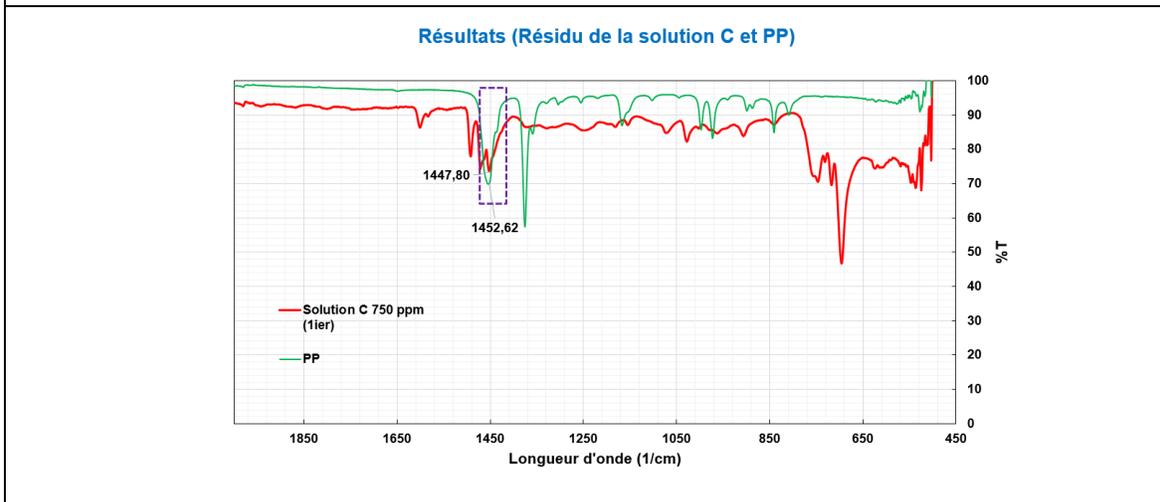
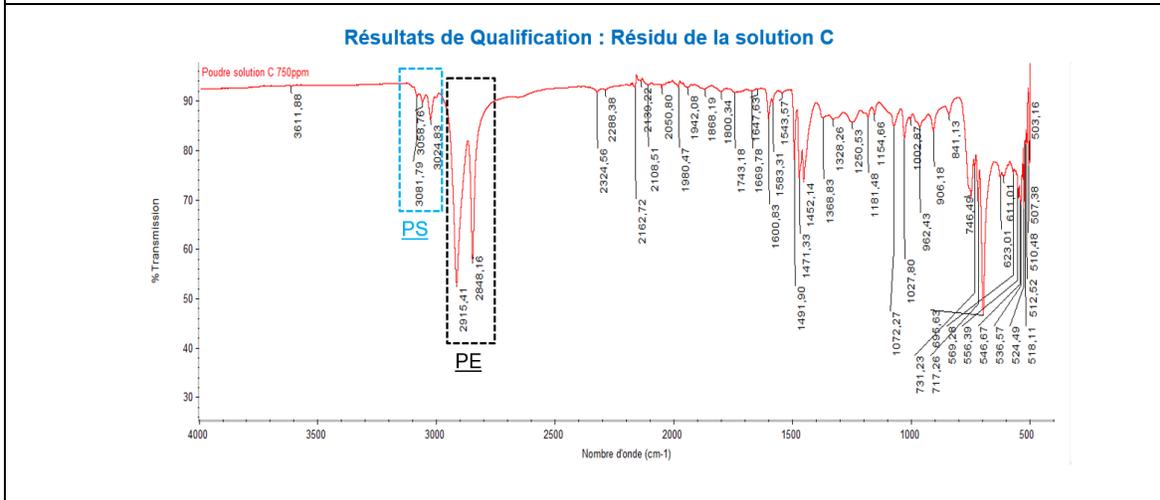
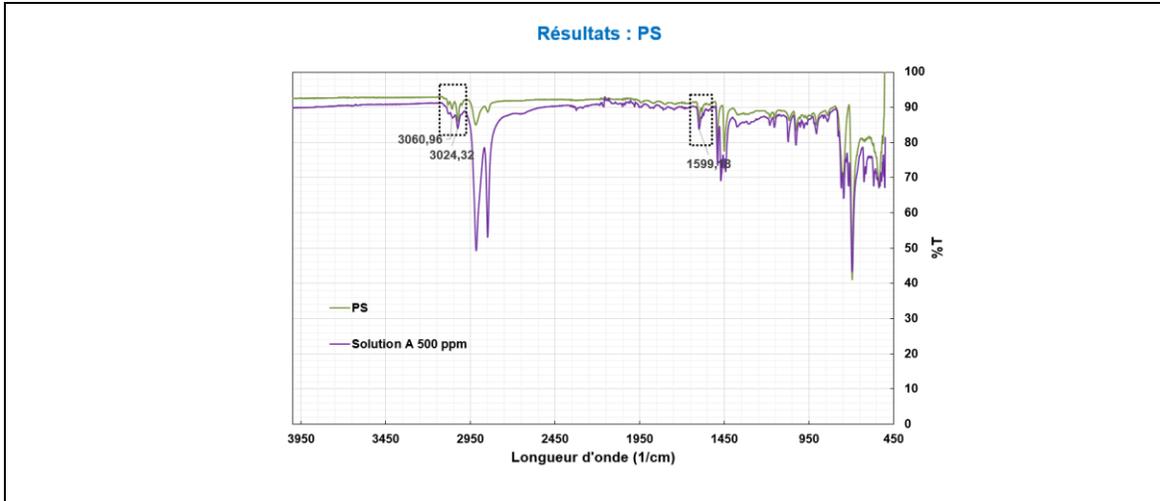


Figure 23 : Longueur d'onde pour chaque standard de microplastique







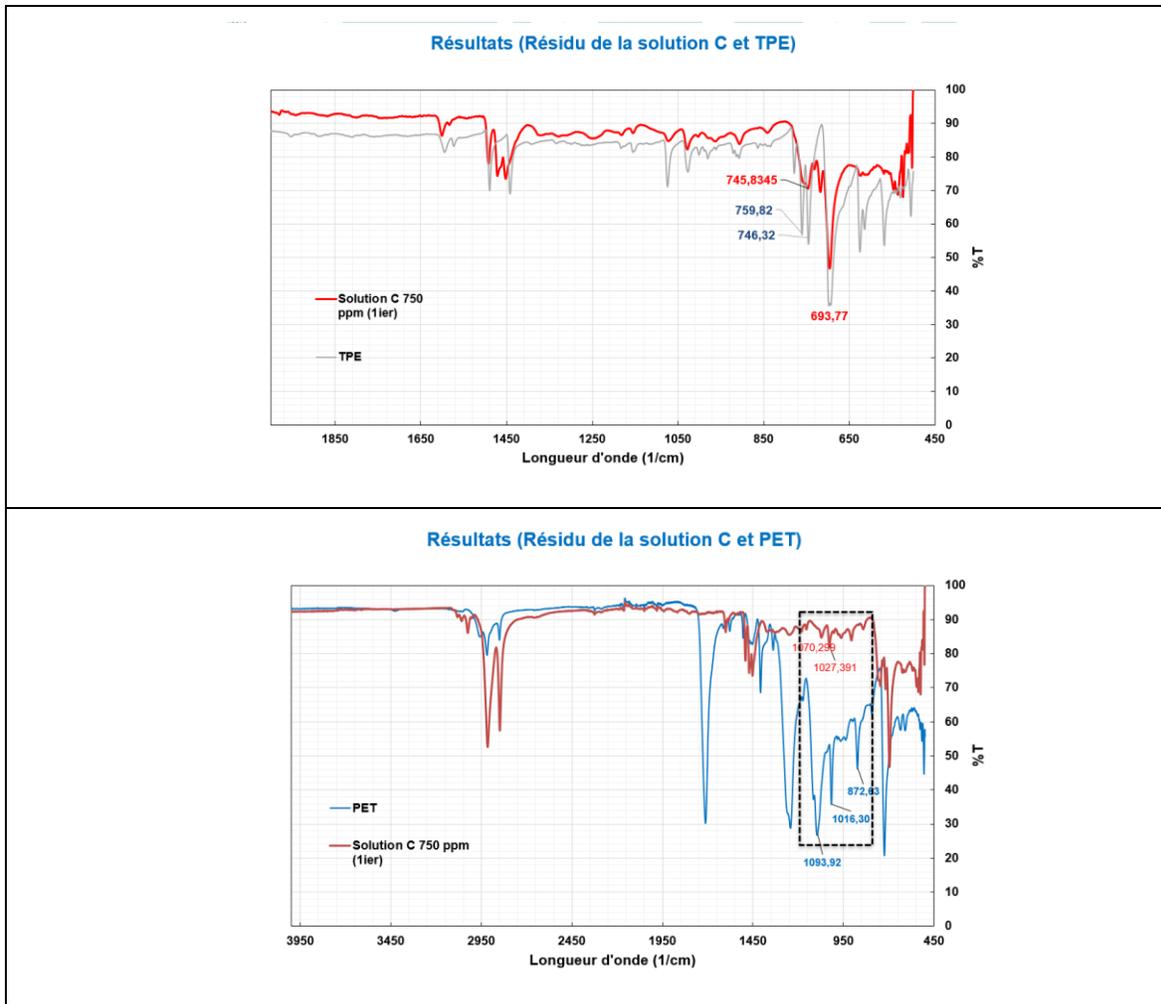
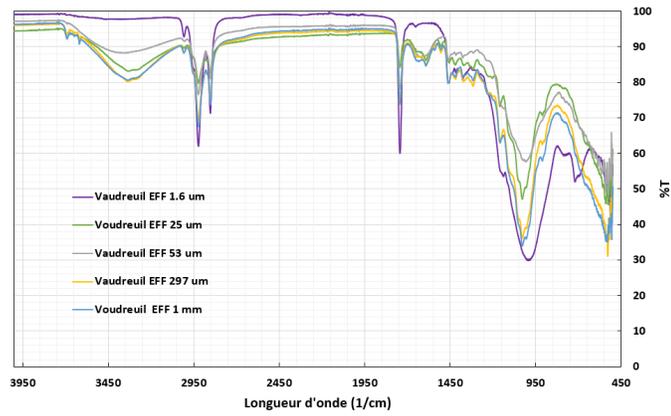


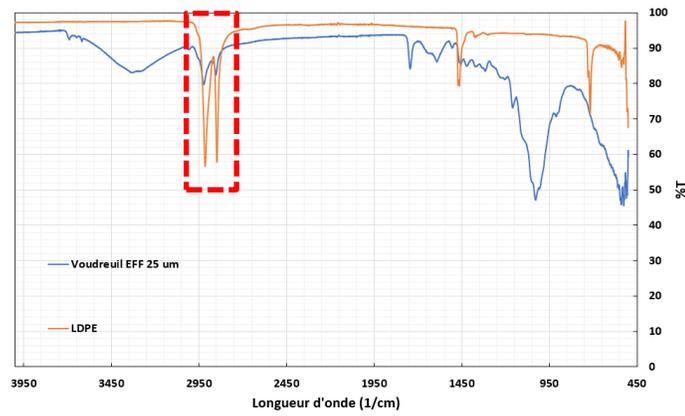
Figure 24 : Comparaison des spectres pour chaque type de microplastique avec les spectres des solutions A, B et C



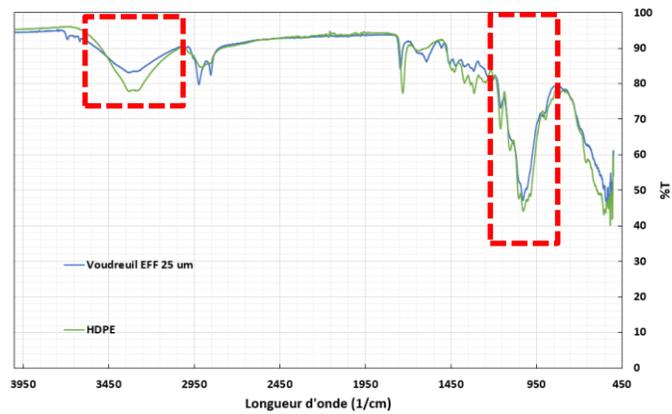
Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent



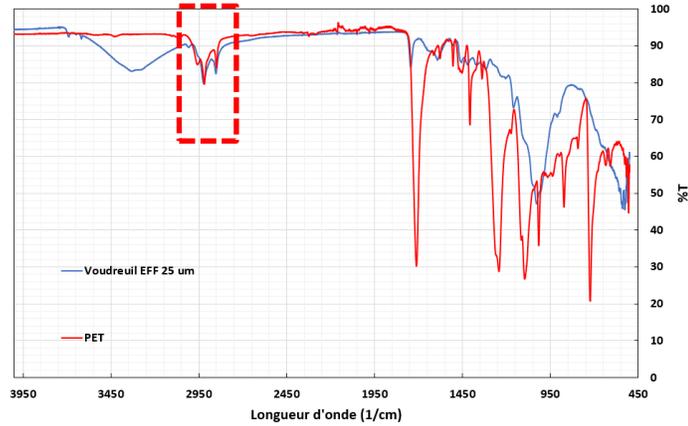
Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent vs LDPE



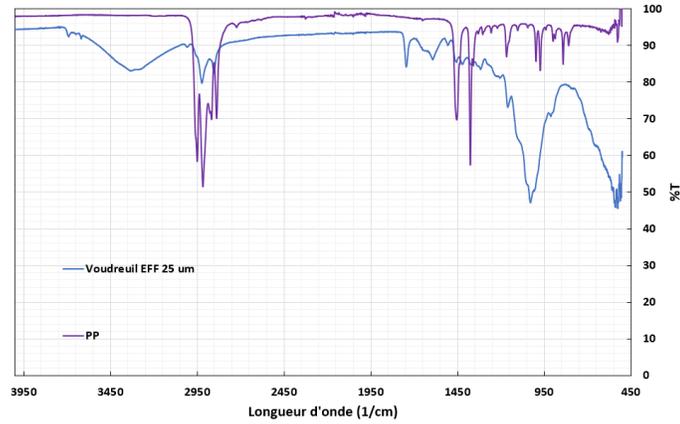
Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent vs HDPE



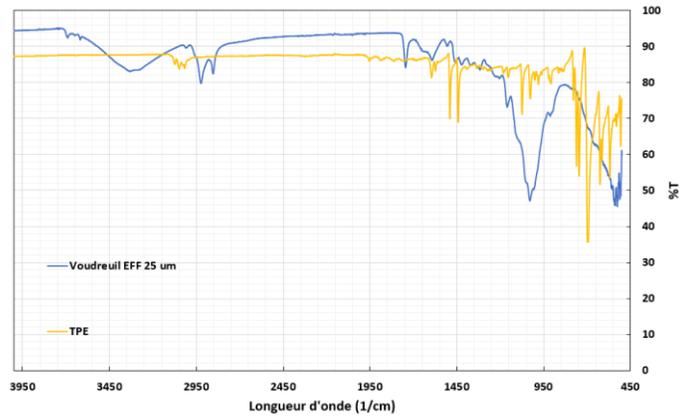
Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent vs PET



Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent vs PP



Résultats de Qualification : Usine de Vaudreuil-Dorion, effluent vs TPE



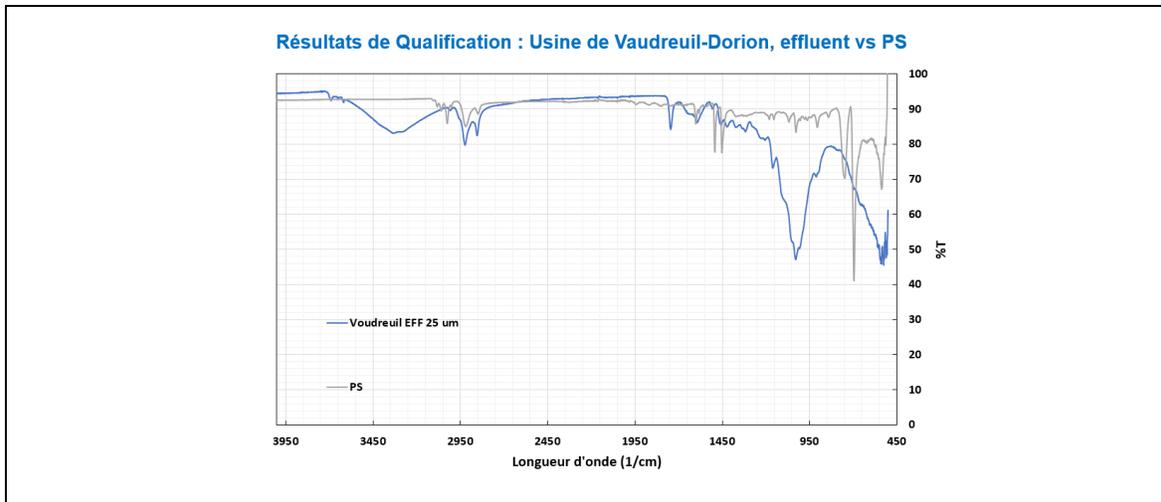
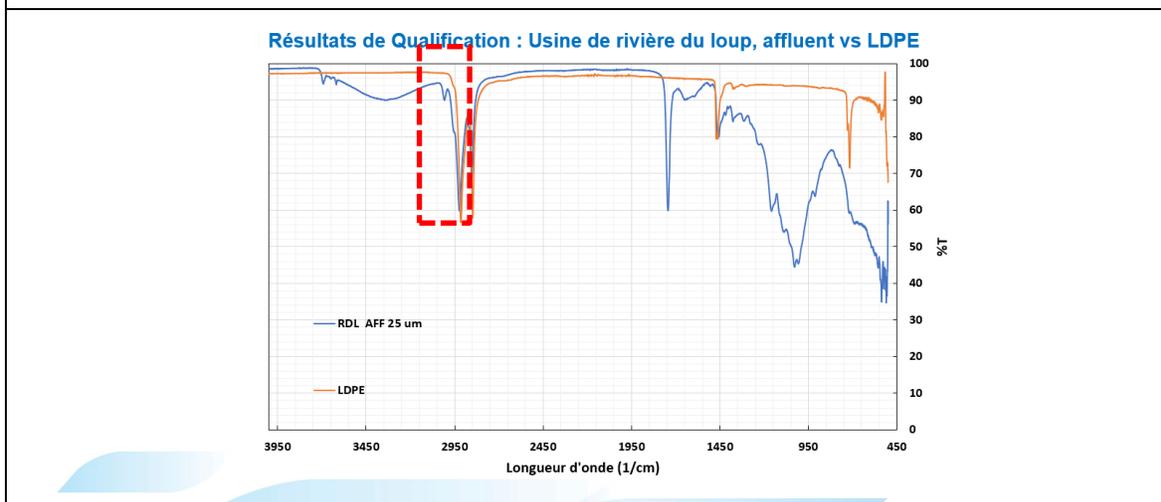
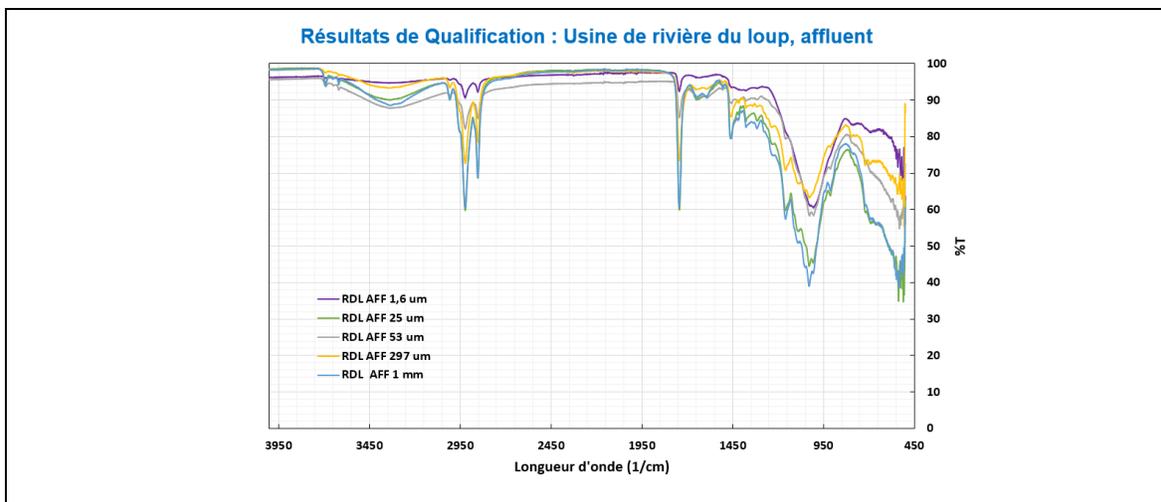
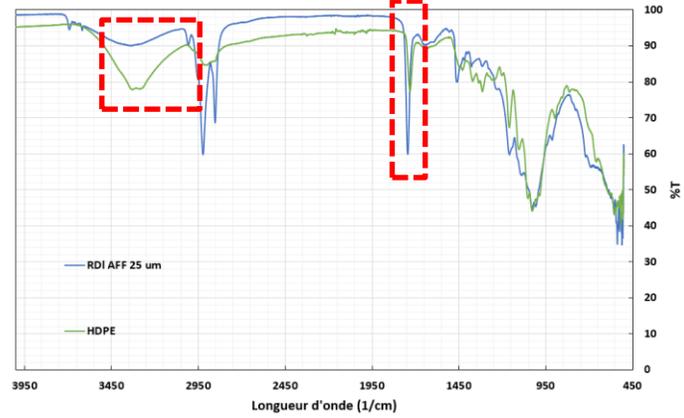


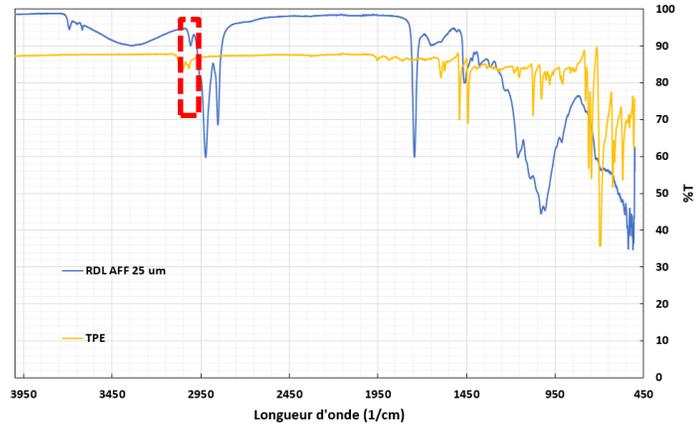
Figure 25 : Comparaison de l'échantillon Effluent issu de la station d'épuration Vaudreuil-Dorion avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP)



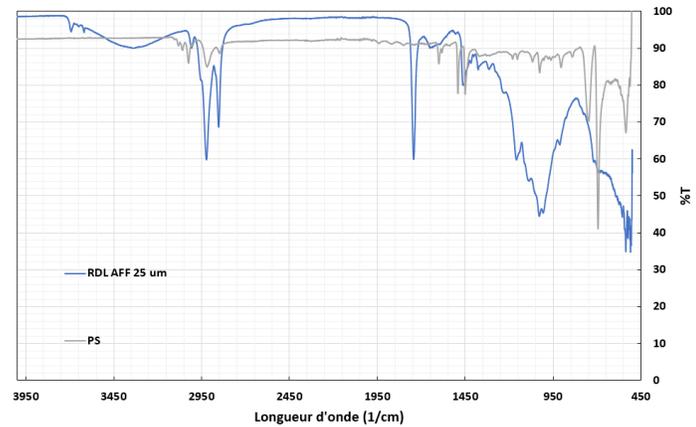
Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, affluent vs HDPE



Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, affluent vs TPE



Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, affluent vs PS



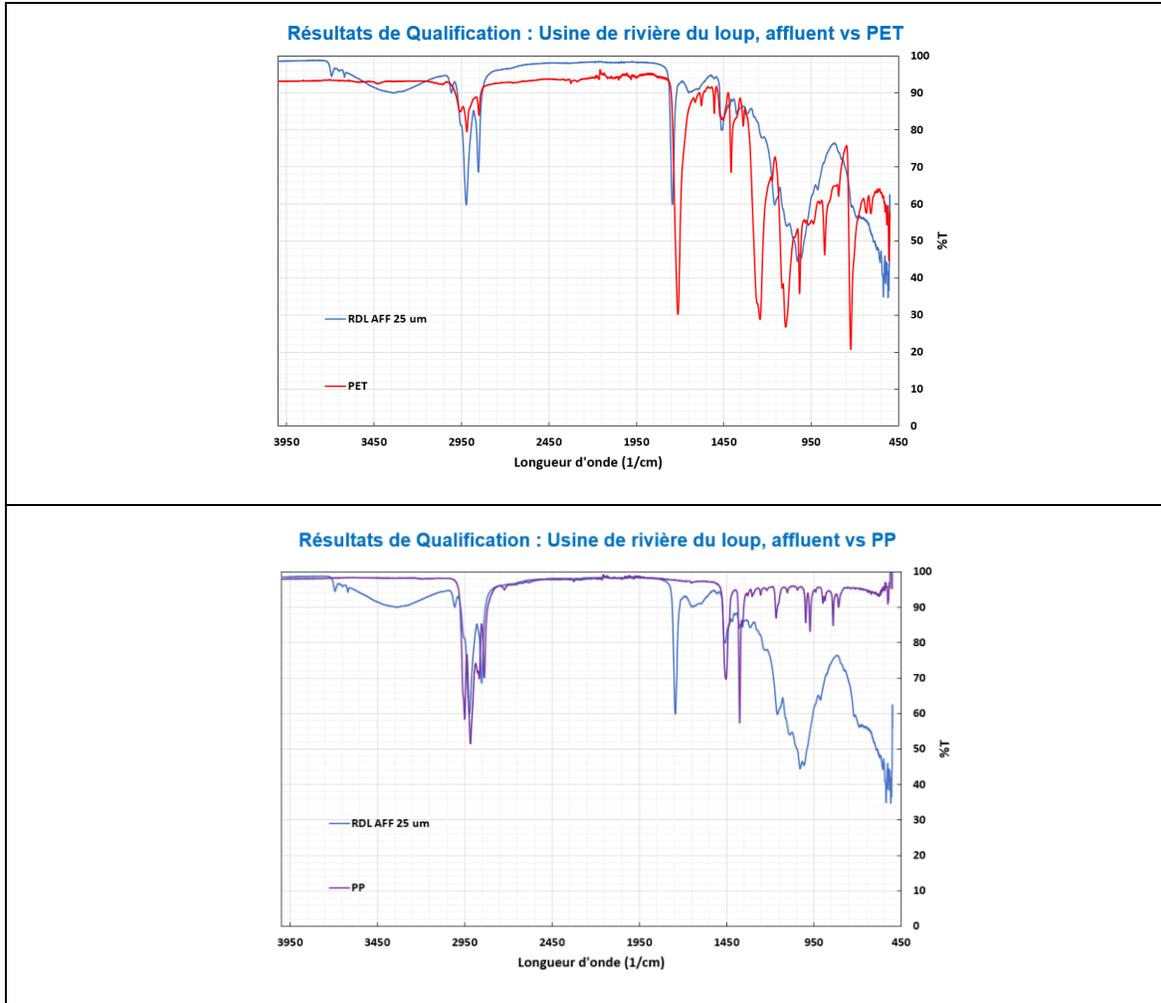
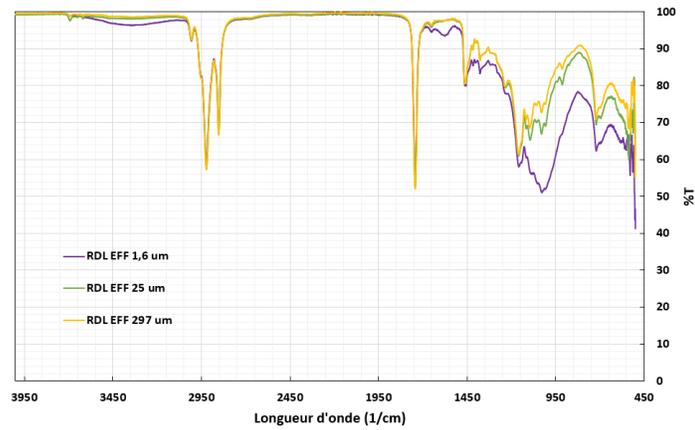


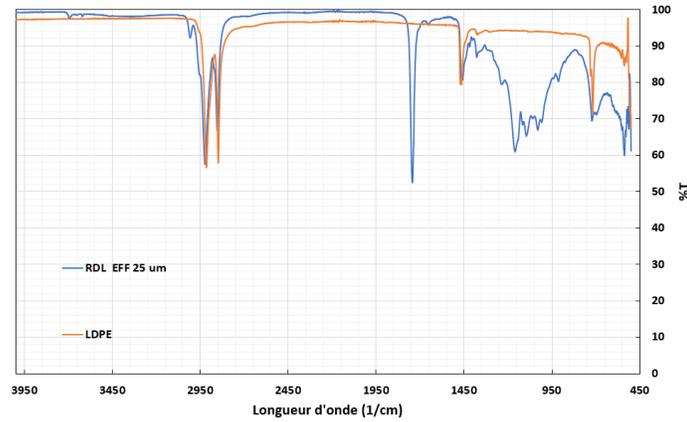
Figure 26 : Comparaison de l'échantillon Affluent issu de la station d'épuration de Rivière-du-Loup avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP)



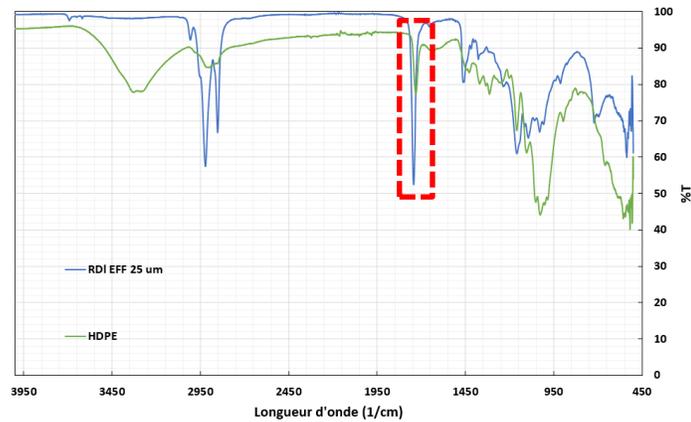
Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Effluent



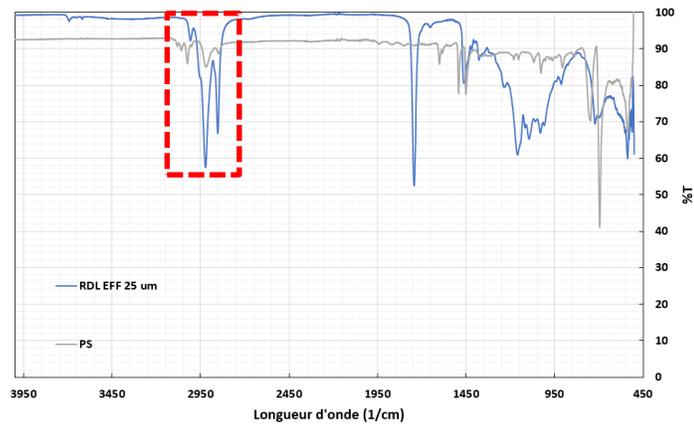
Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Effluent vs LDPE



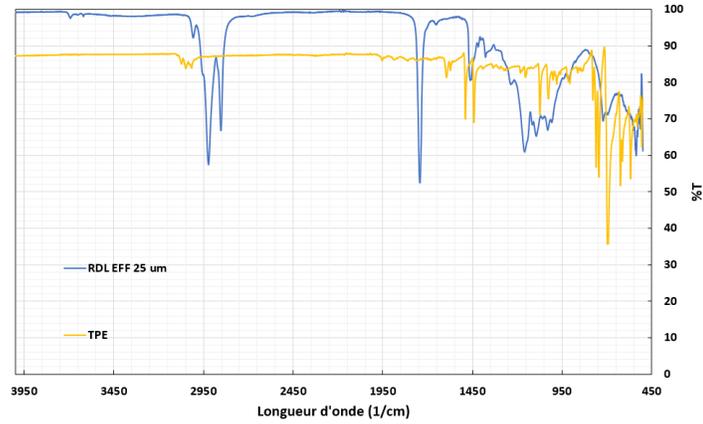
Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Effluent vs HDPE



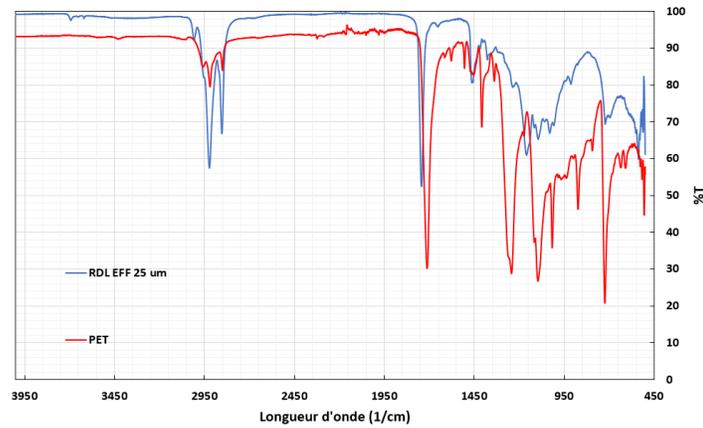
Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Effluent vs PS



Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Effluent vs TPE



Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Effluent vs PET



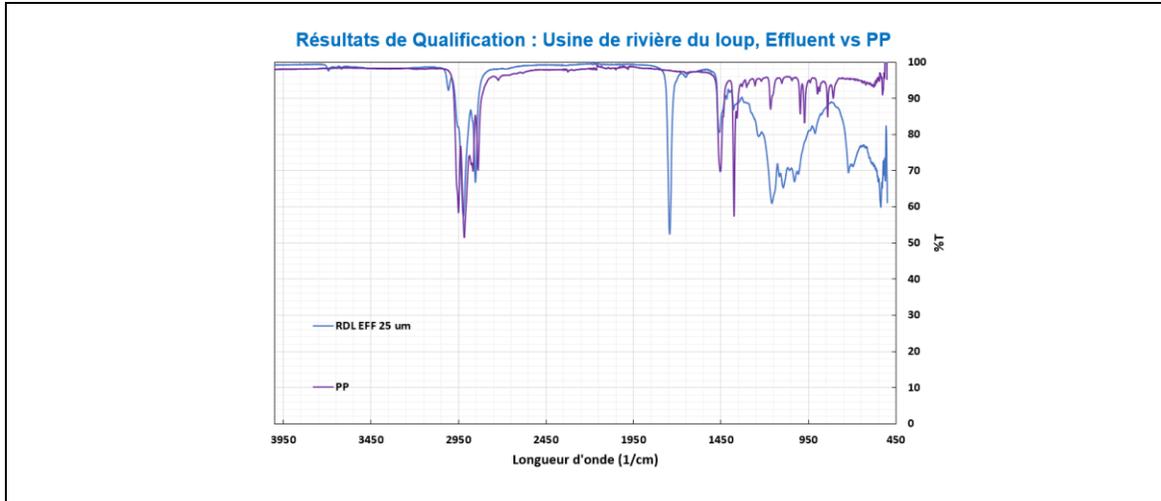
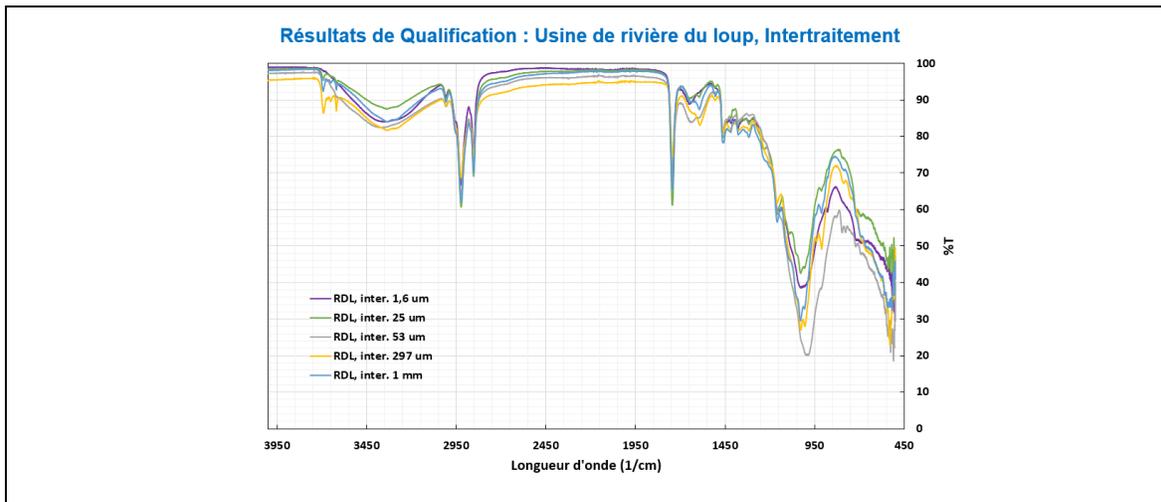
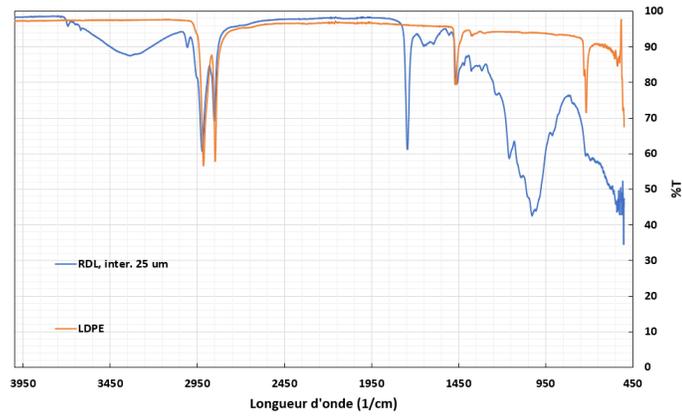


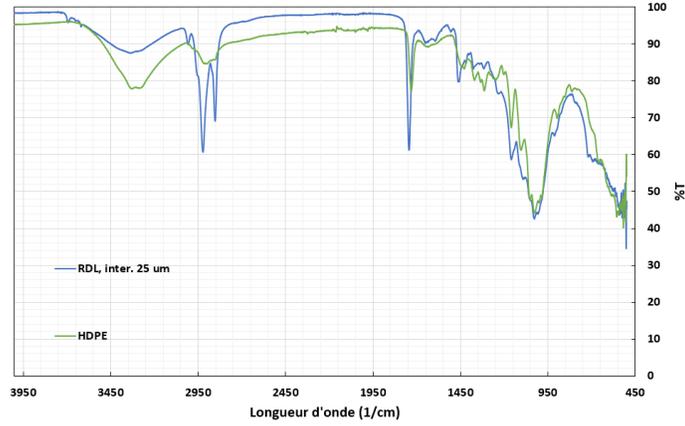
Figure 27 : Comparaison de l'échantillon Effluent issus de la station d'épuration du Rivière-du-Loup avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP)



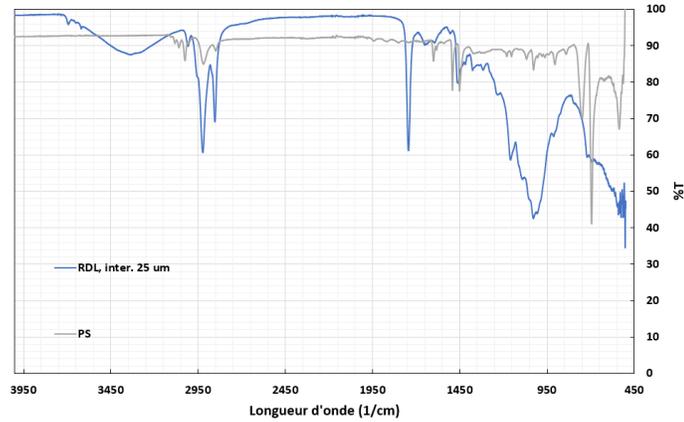
Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Intertraitement vs LDPE



Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Intertraitement vs HDPE



Résultats de Qualification : Usine de rivière du loup, Intertraitement vs PS



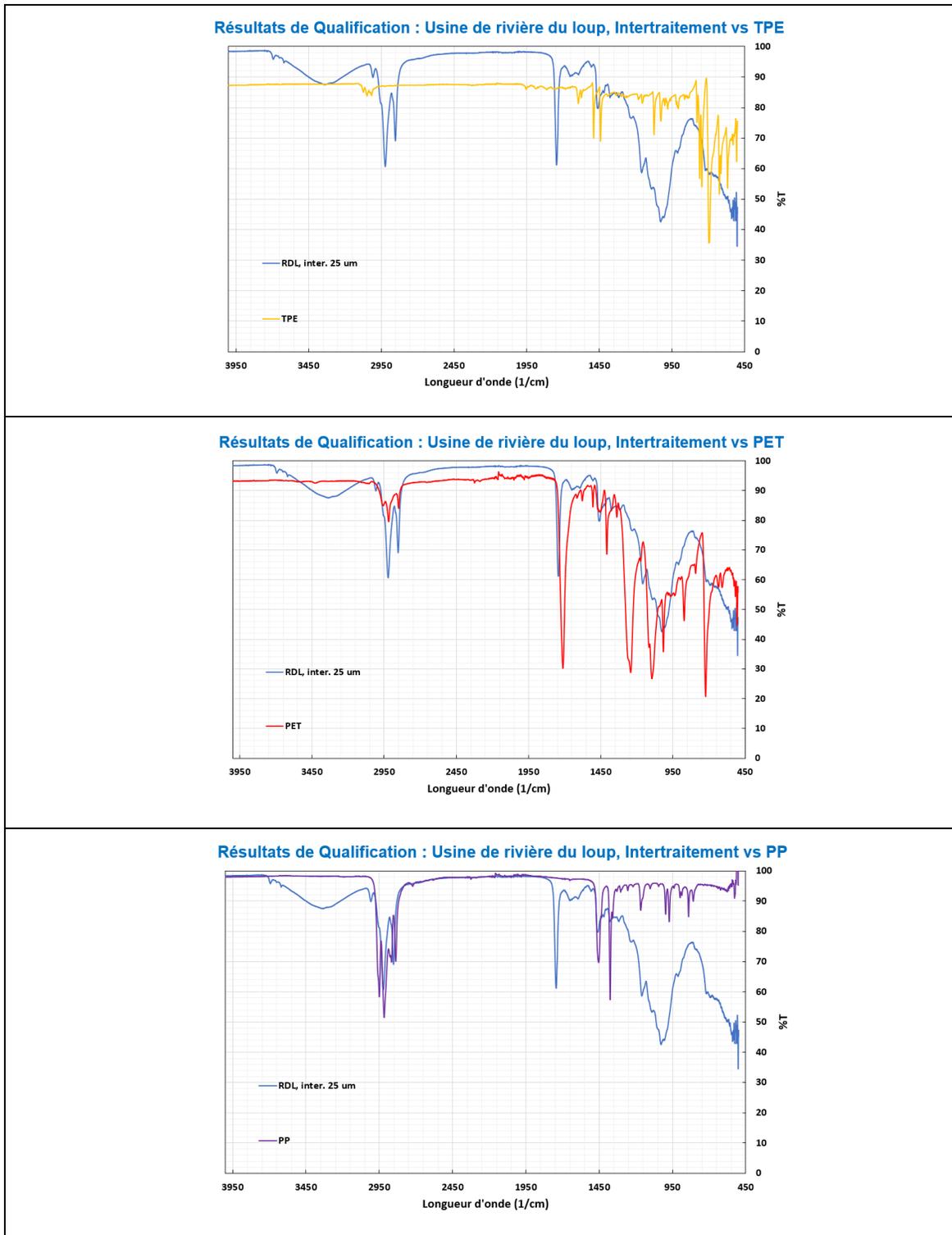
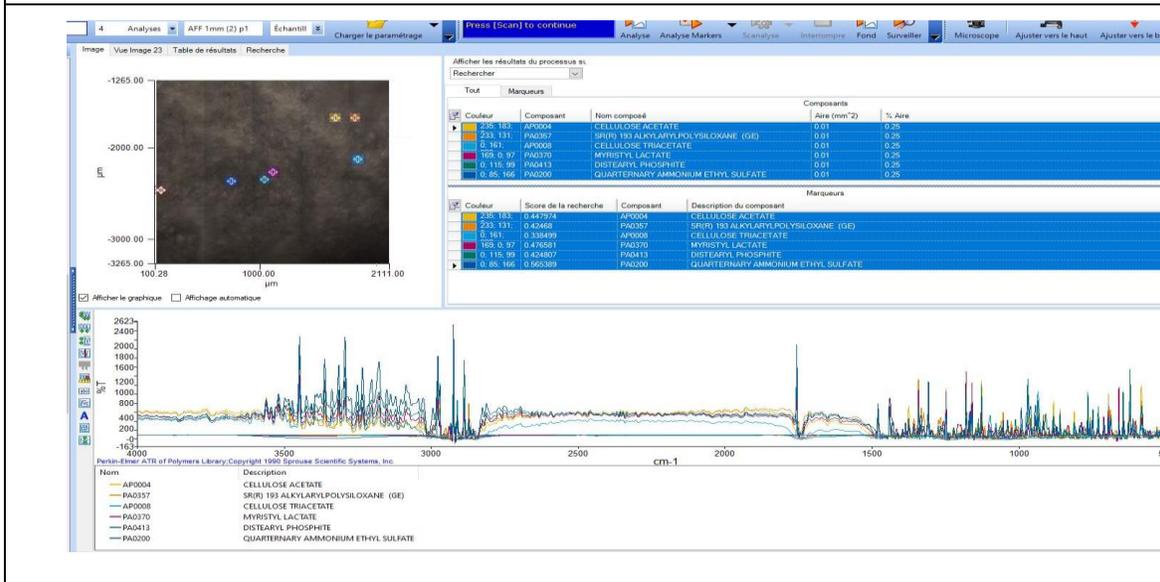
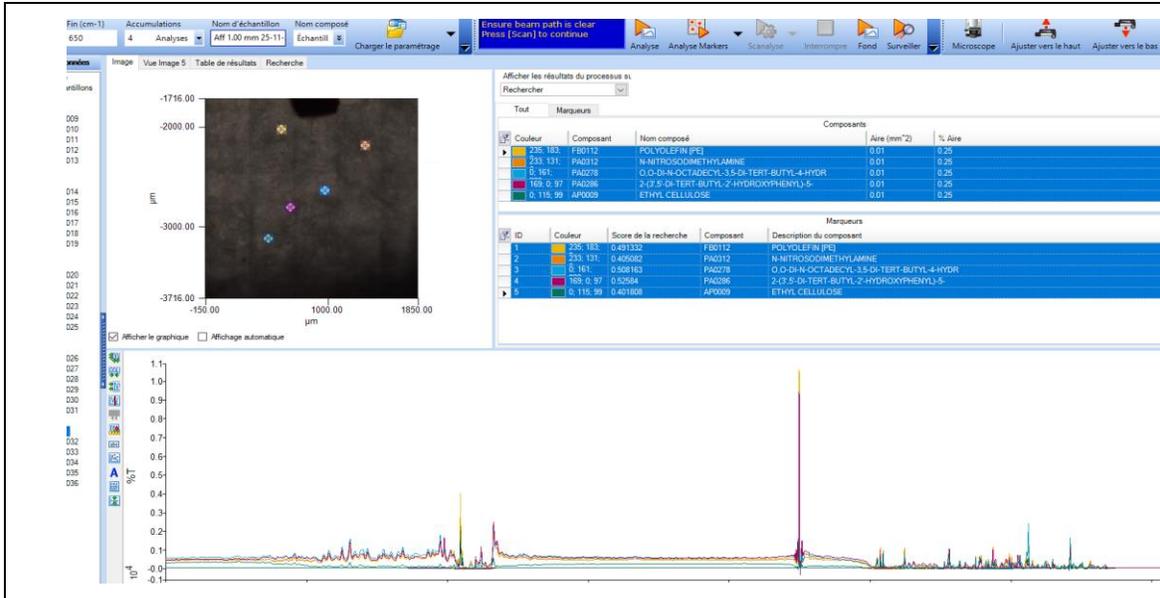
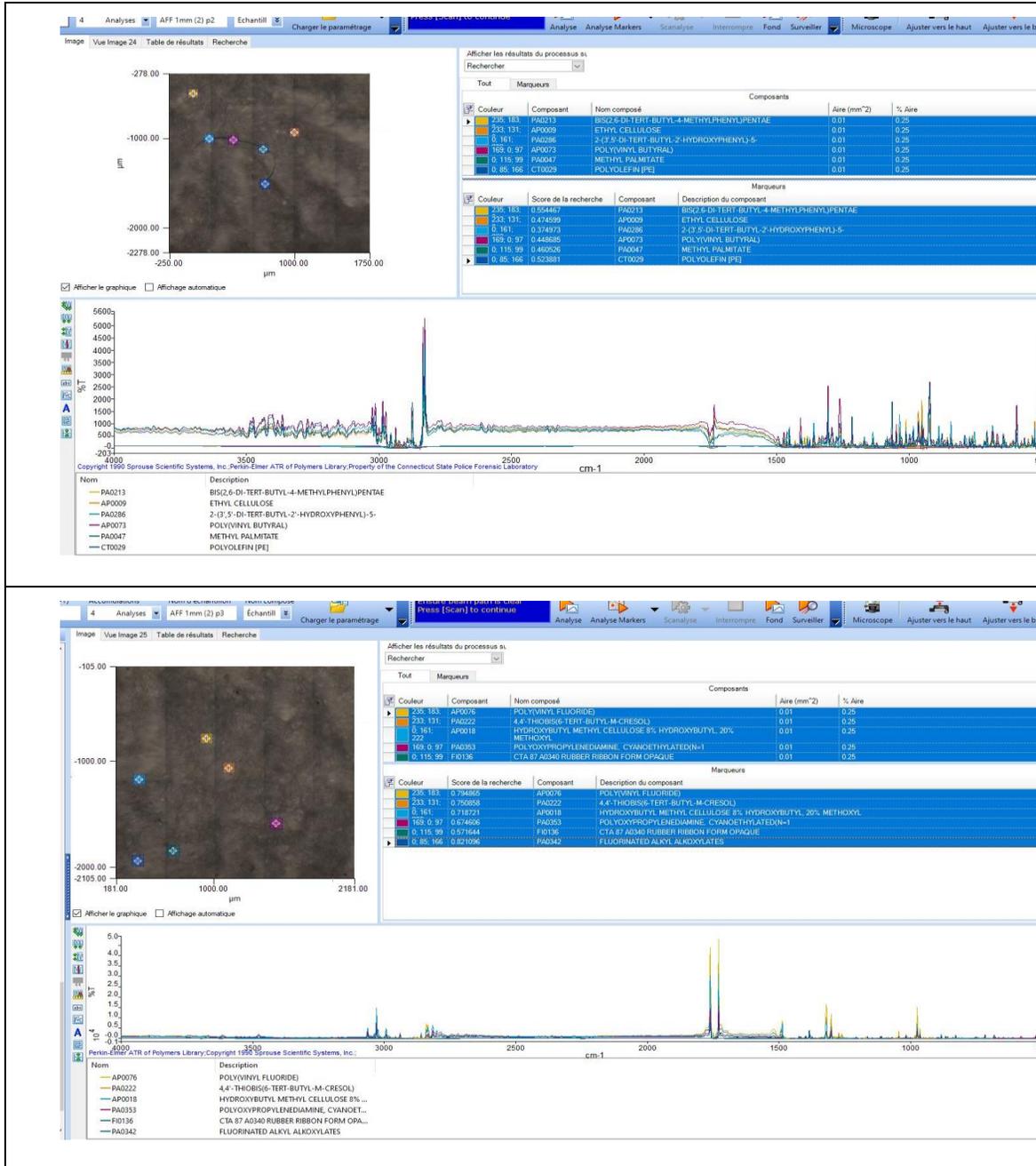


Figure 28 : Comparaison de l'échantillon inter-traitement issu de la station d'épuration Rivière-du-Loup avec les standards (LDPE, HDPE, PS, TPE, PET et PP)







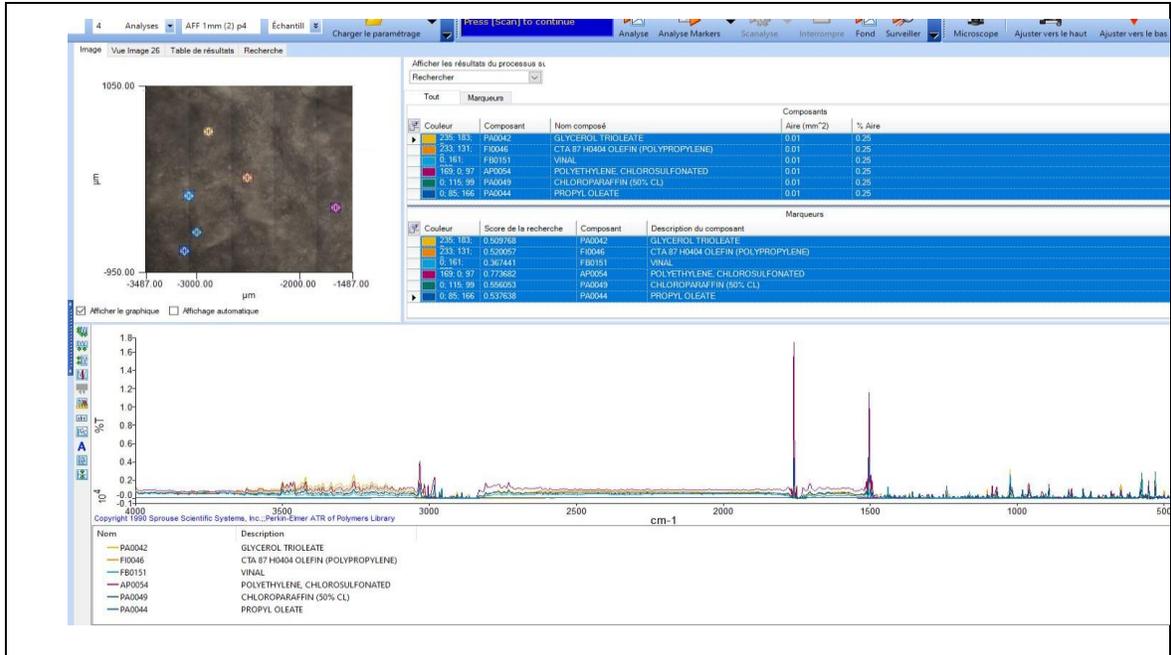
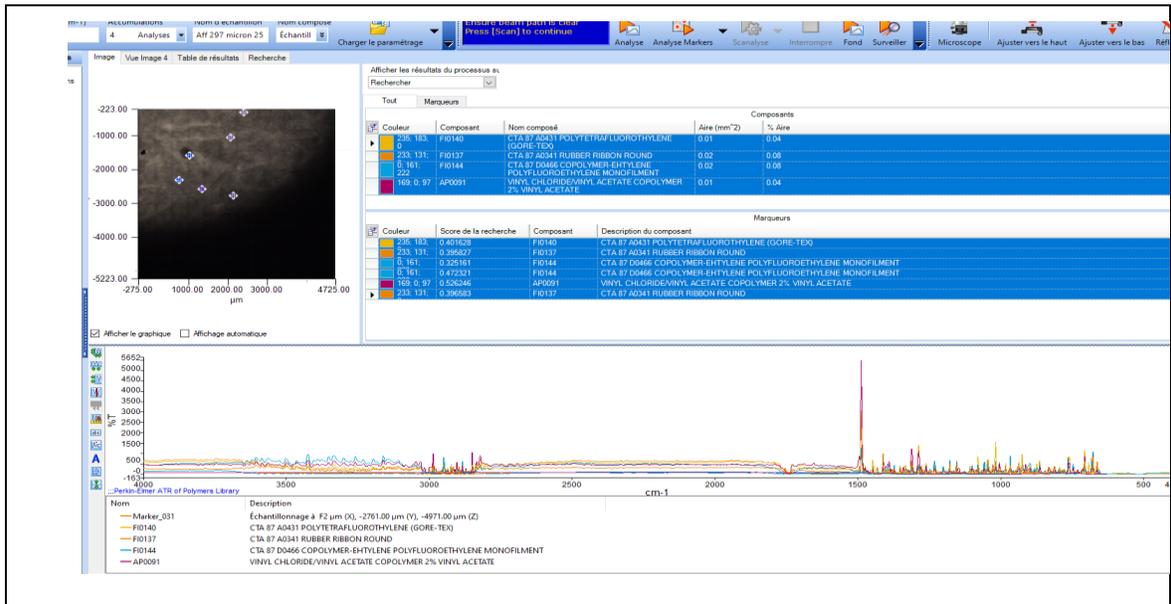
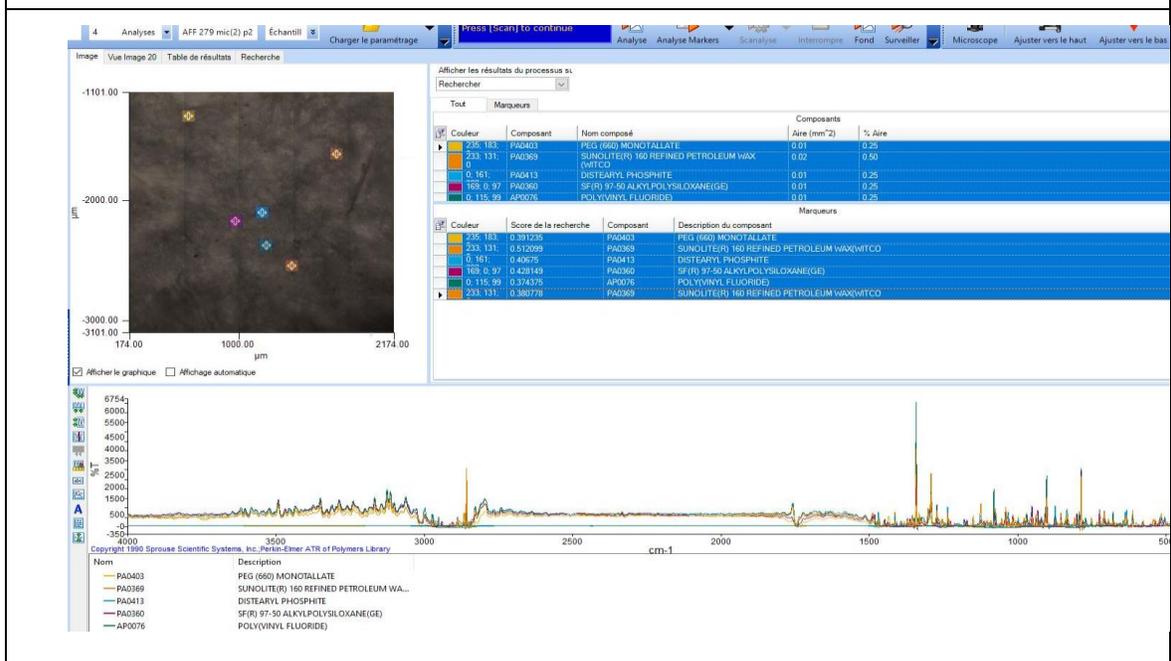
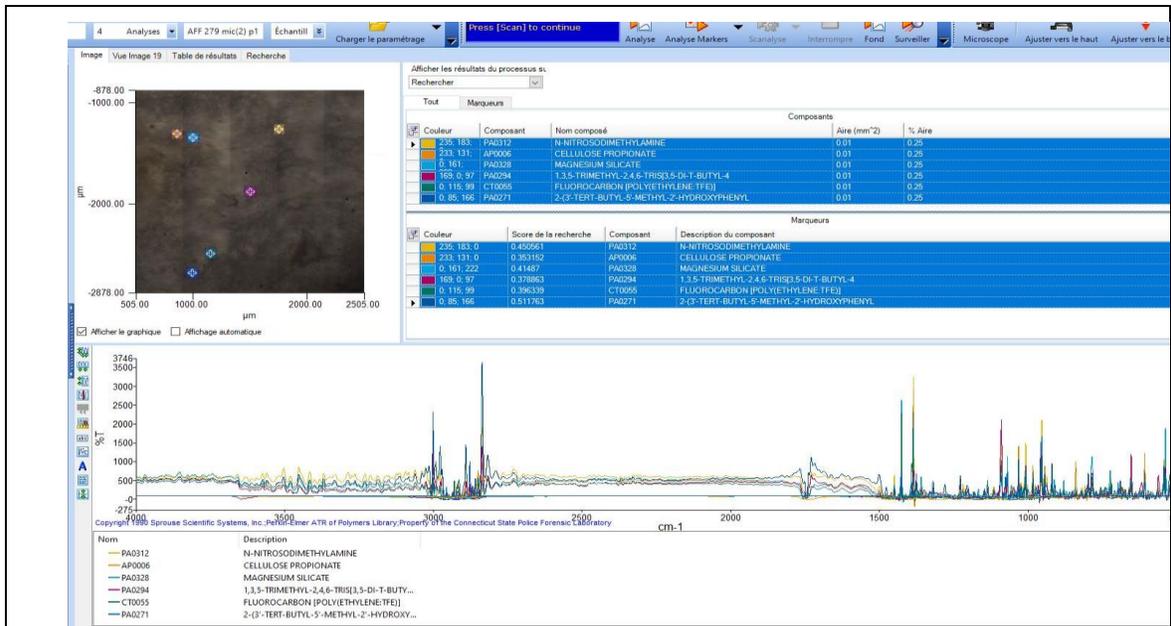
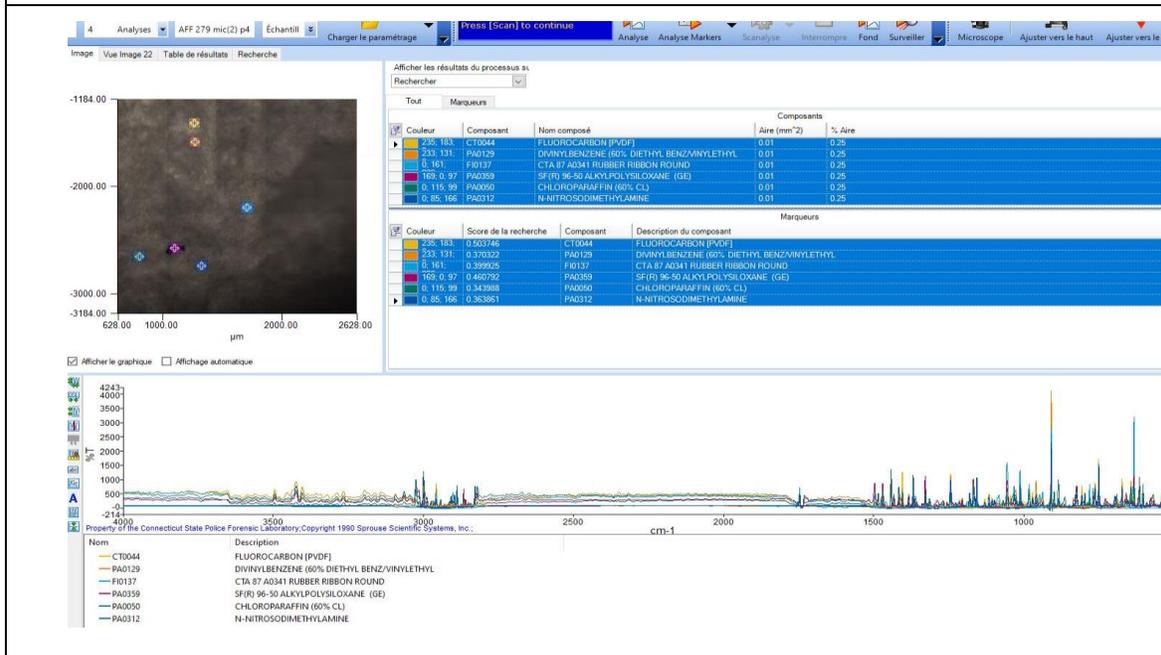
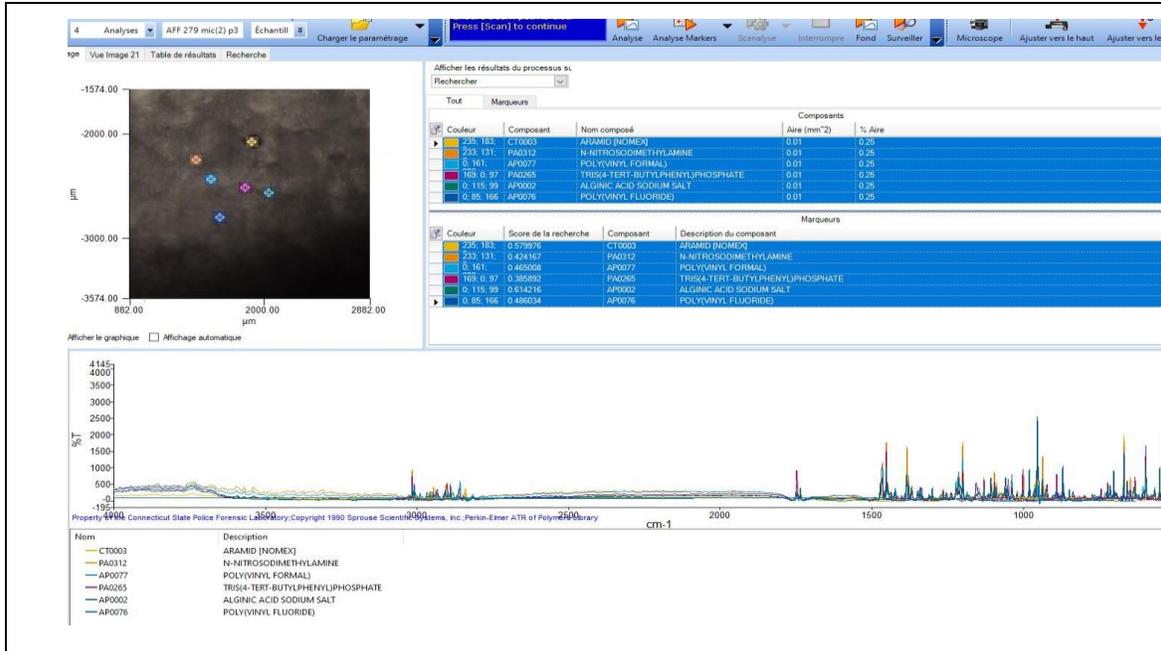
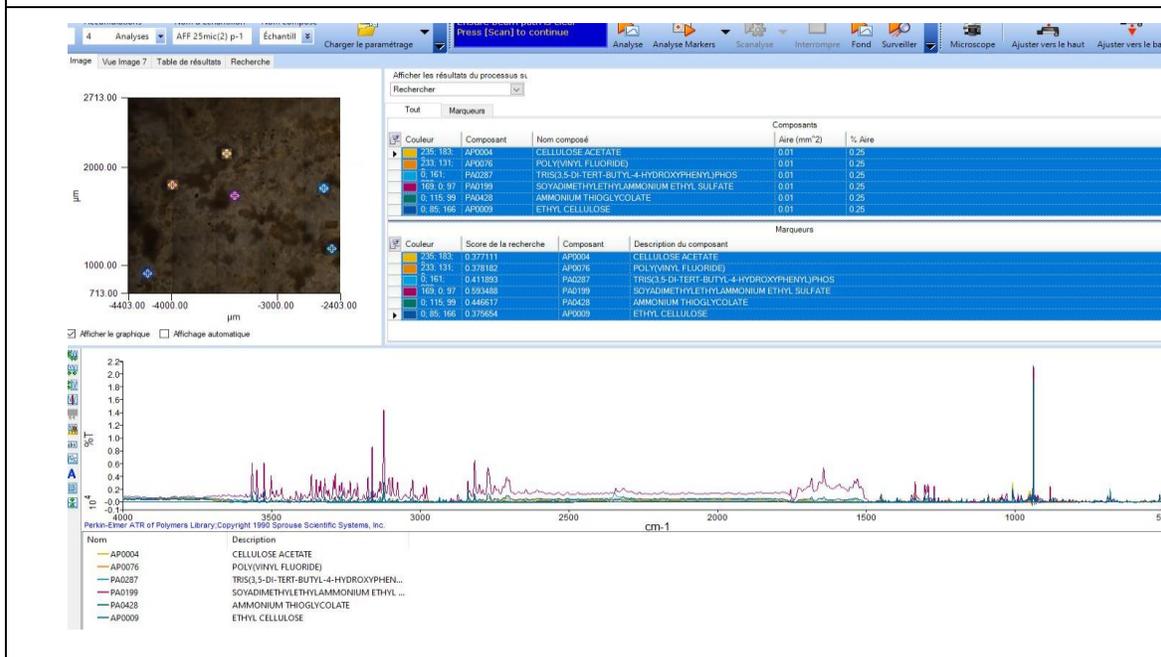
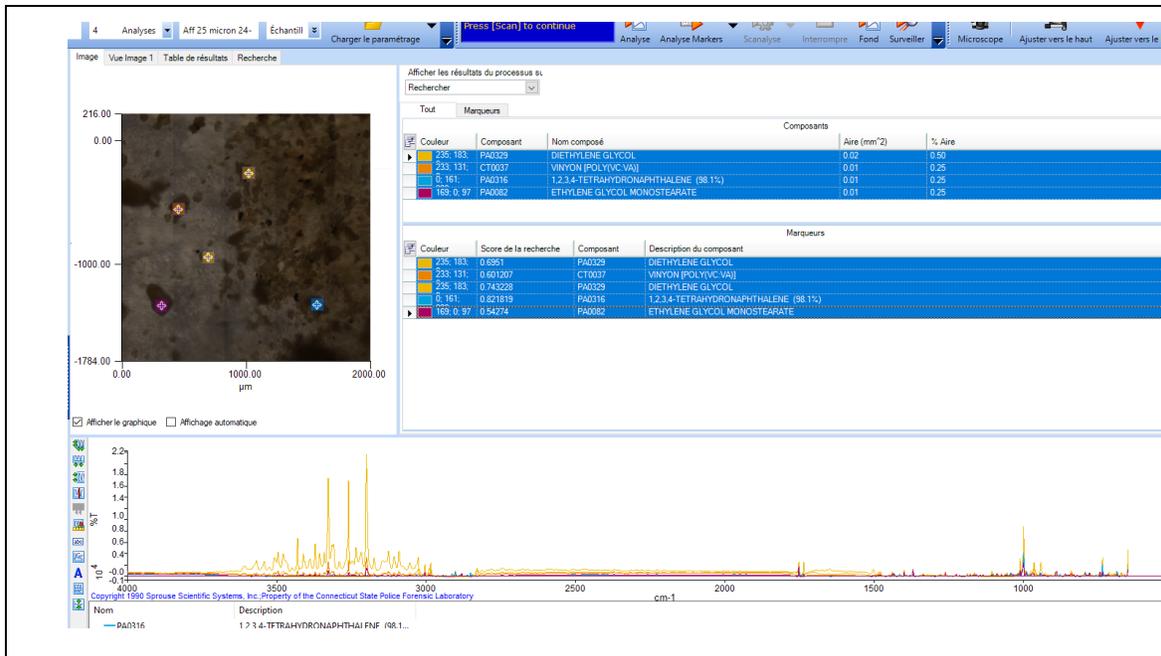


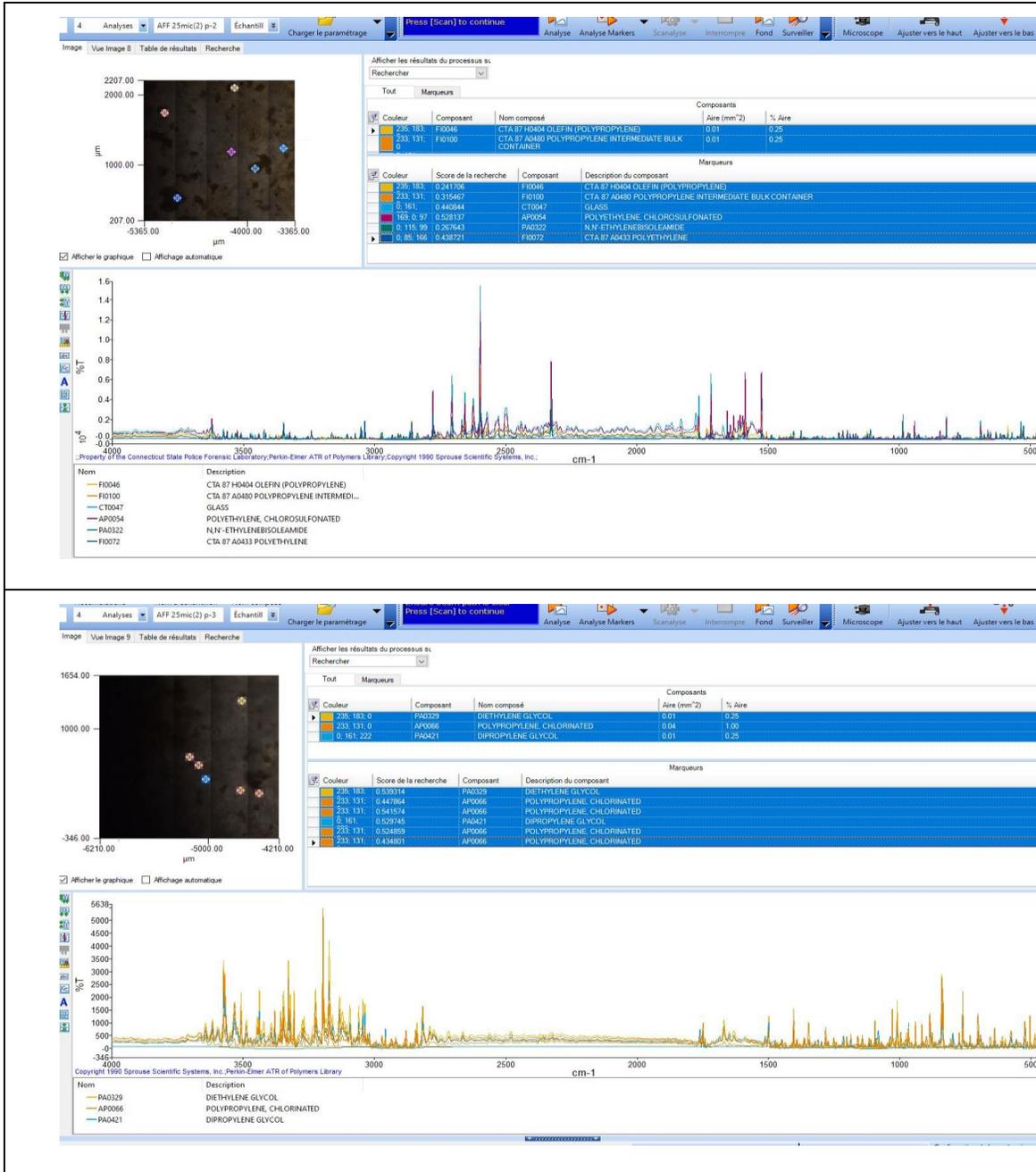
Figure 29 : Vaudreuil-Dorion-aff : 1 mm (point 1 à 5)











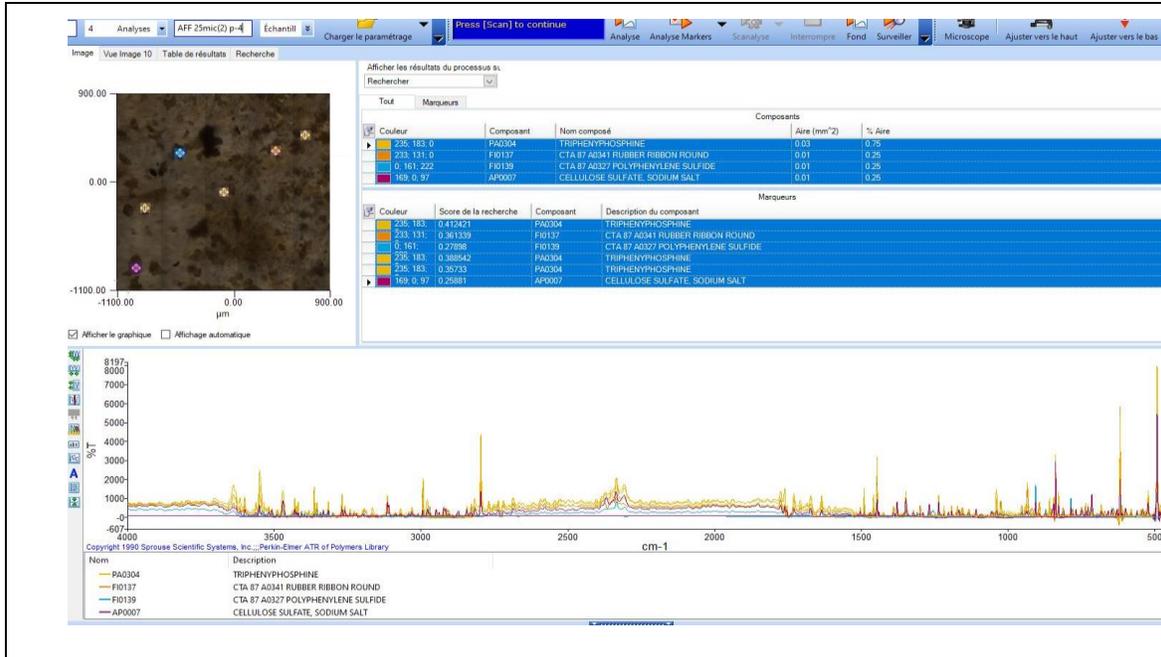
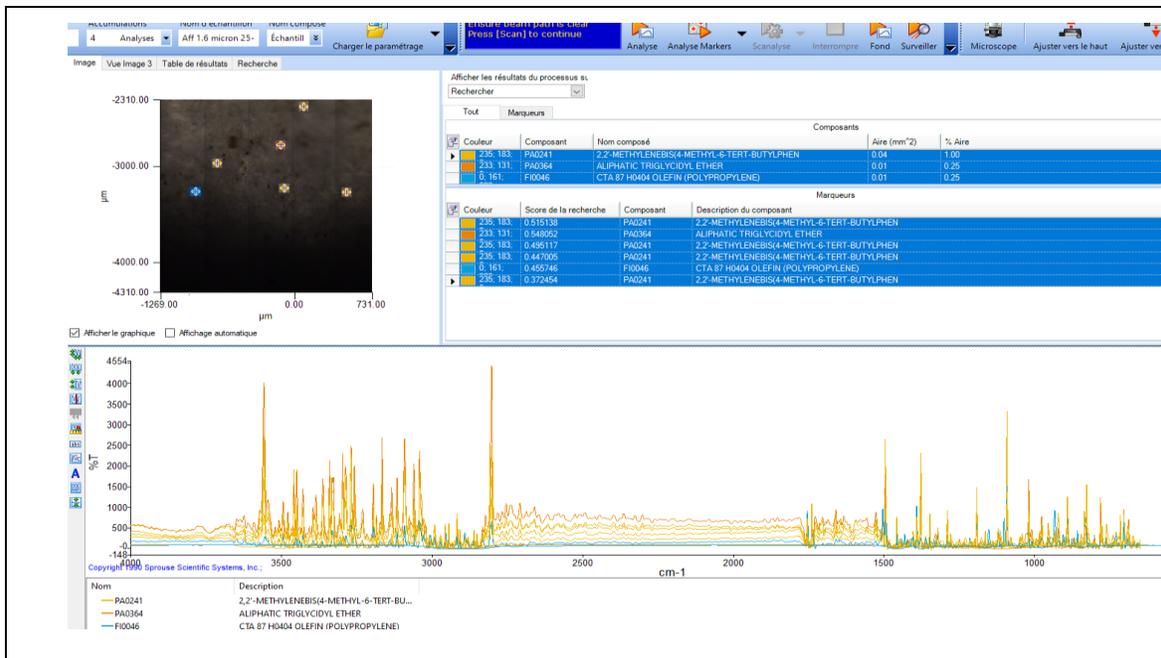
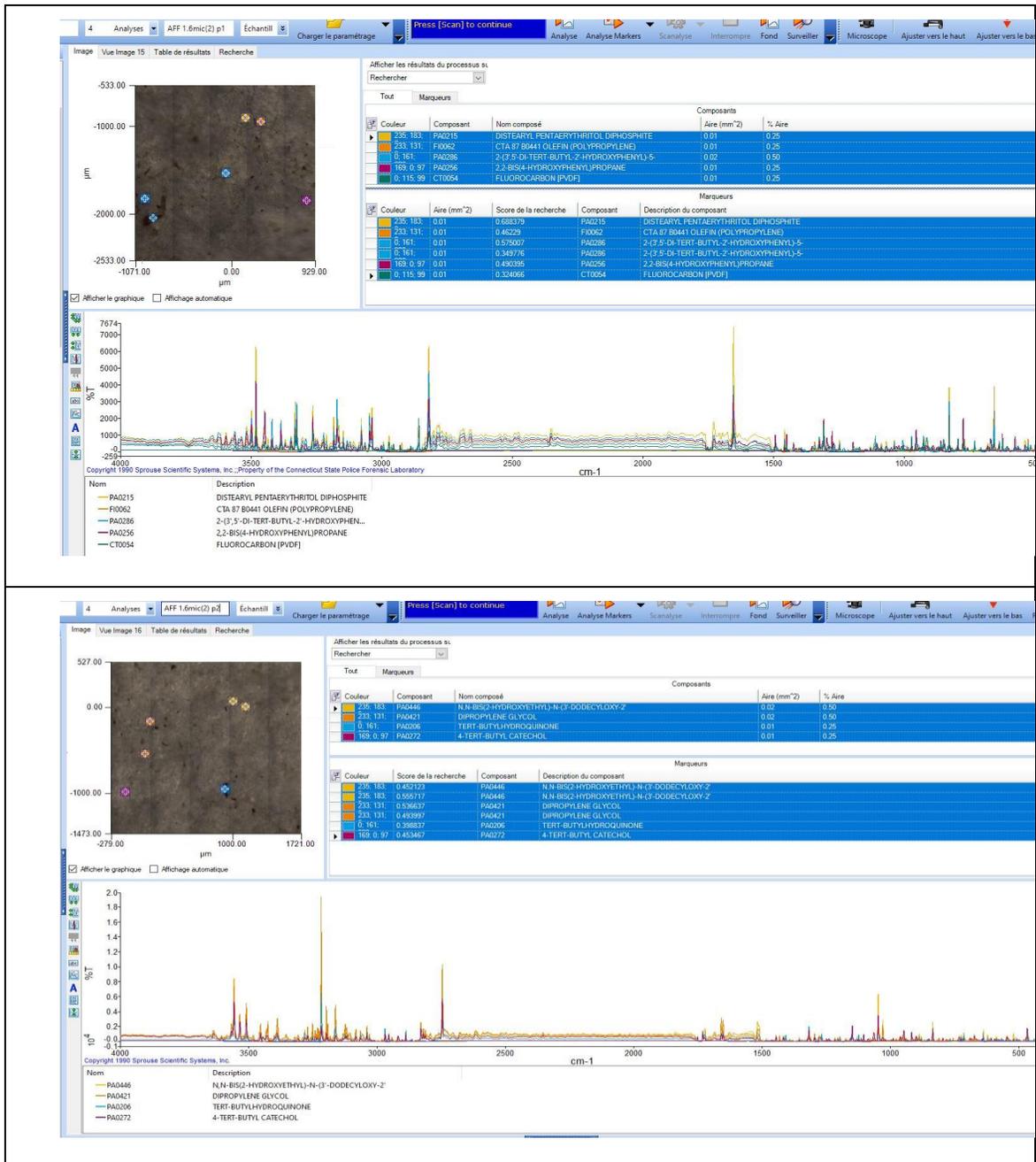


Figure 30 : Vaudreuil-Dorion-aff : 25 µm (point 1 à 5)





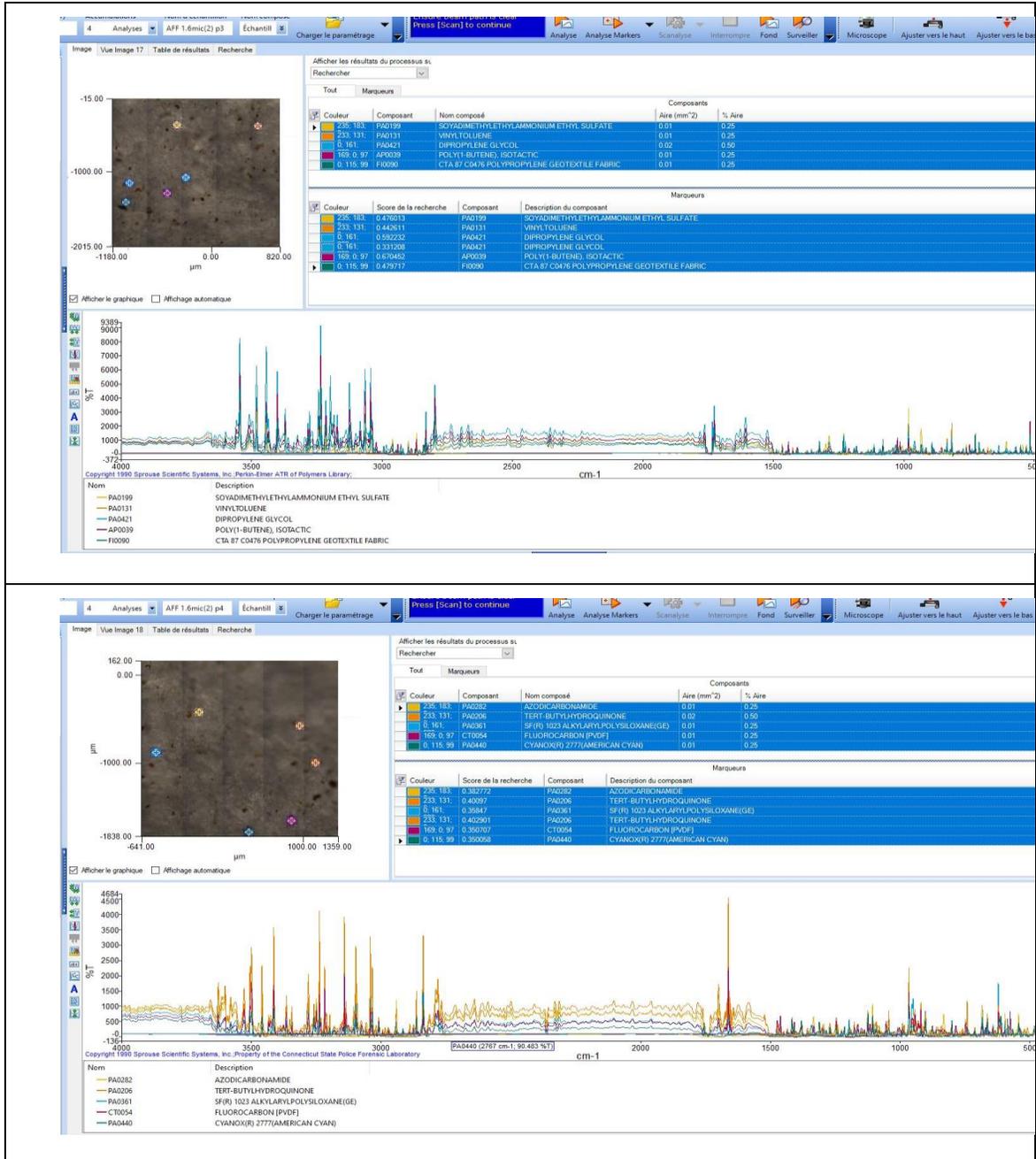
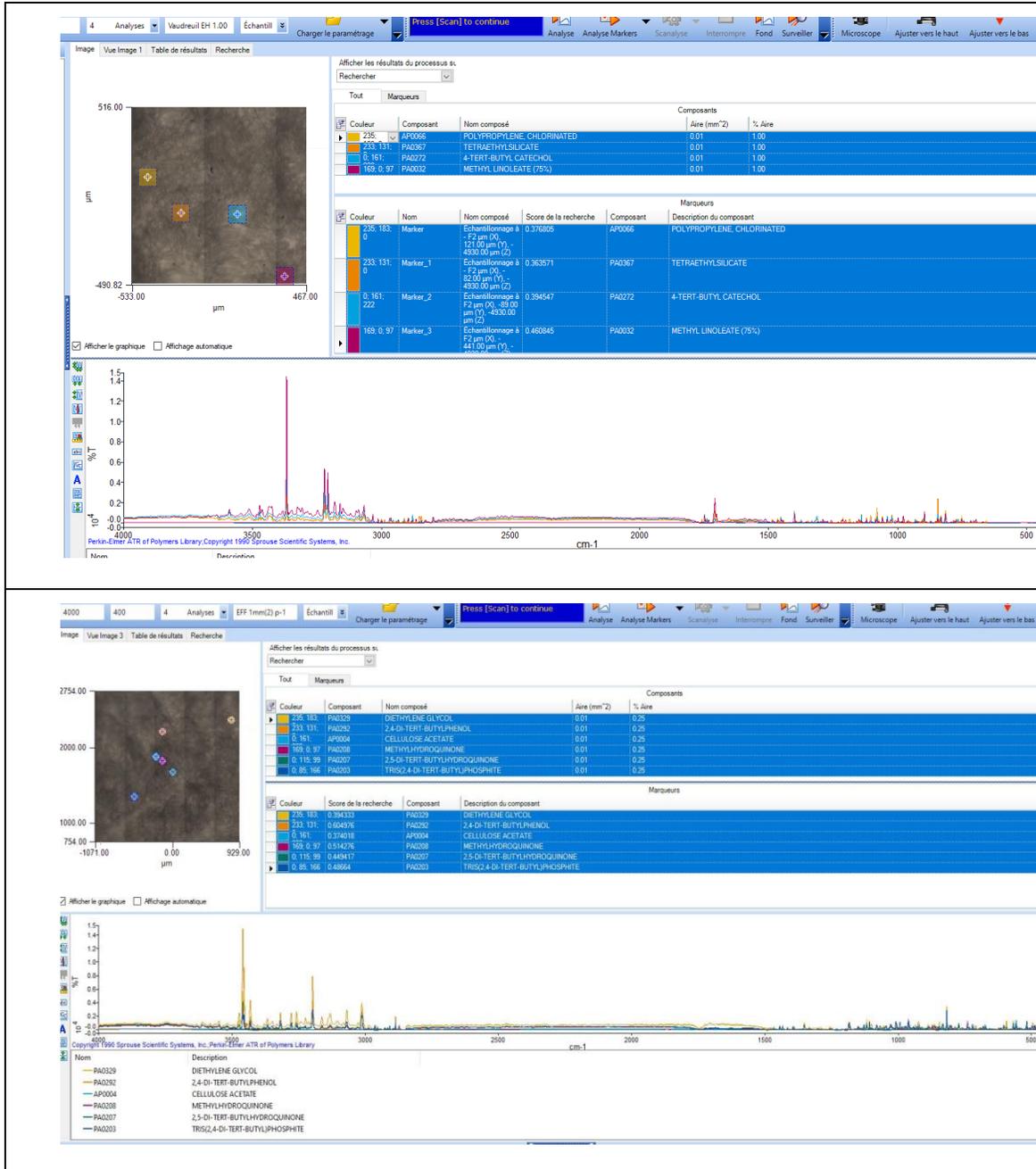
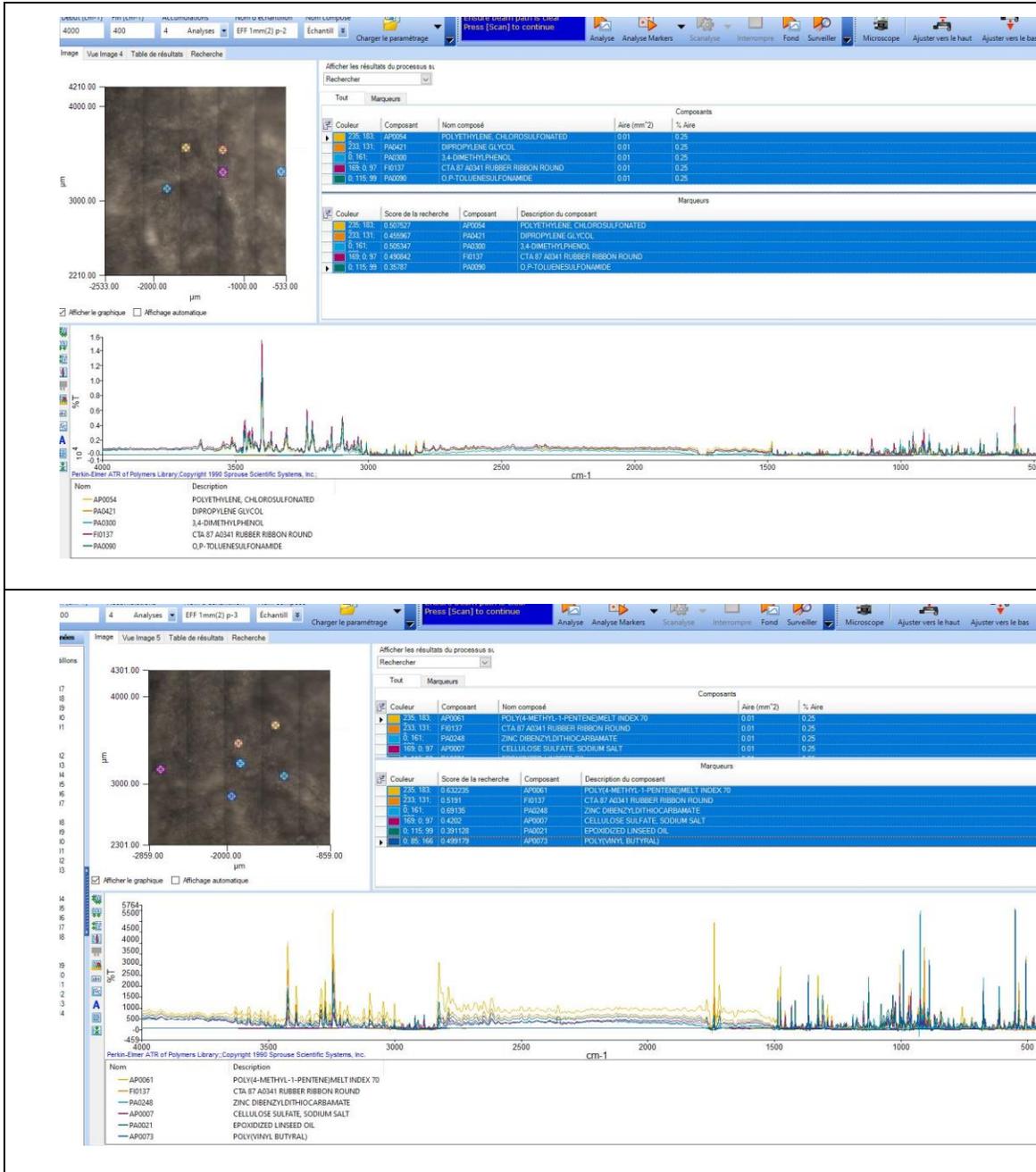


Figure 31 : Vaudreuil-Dorion-aff : 1,6 µm (point 1 à 5)





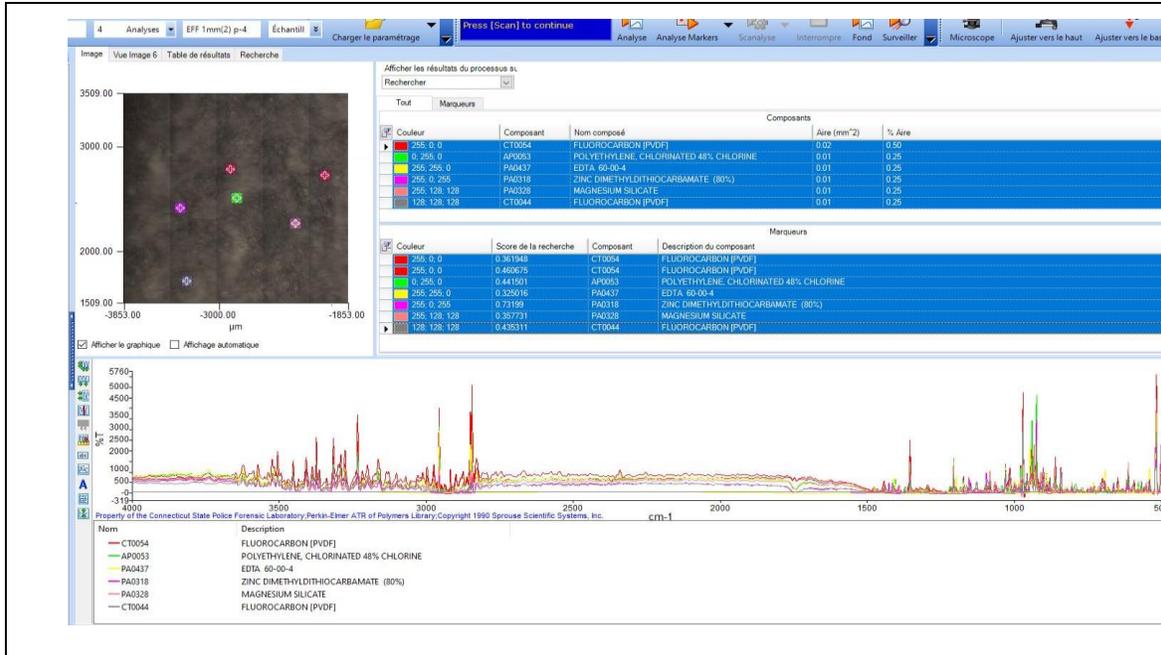
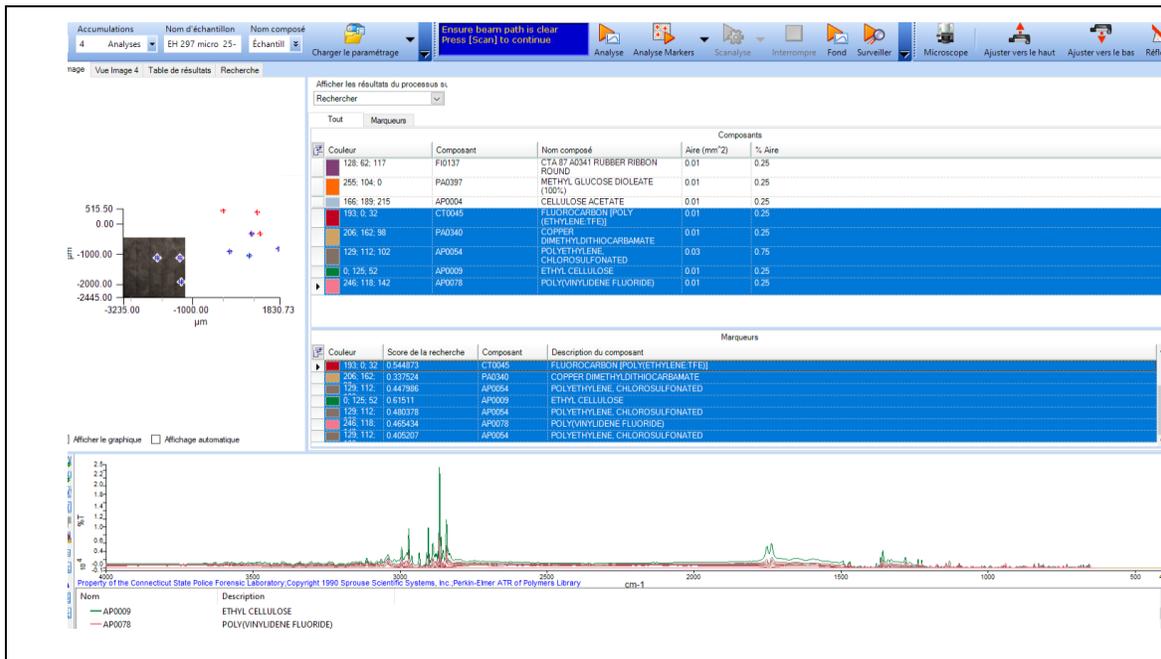
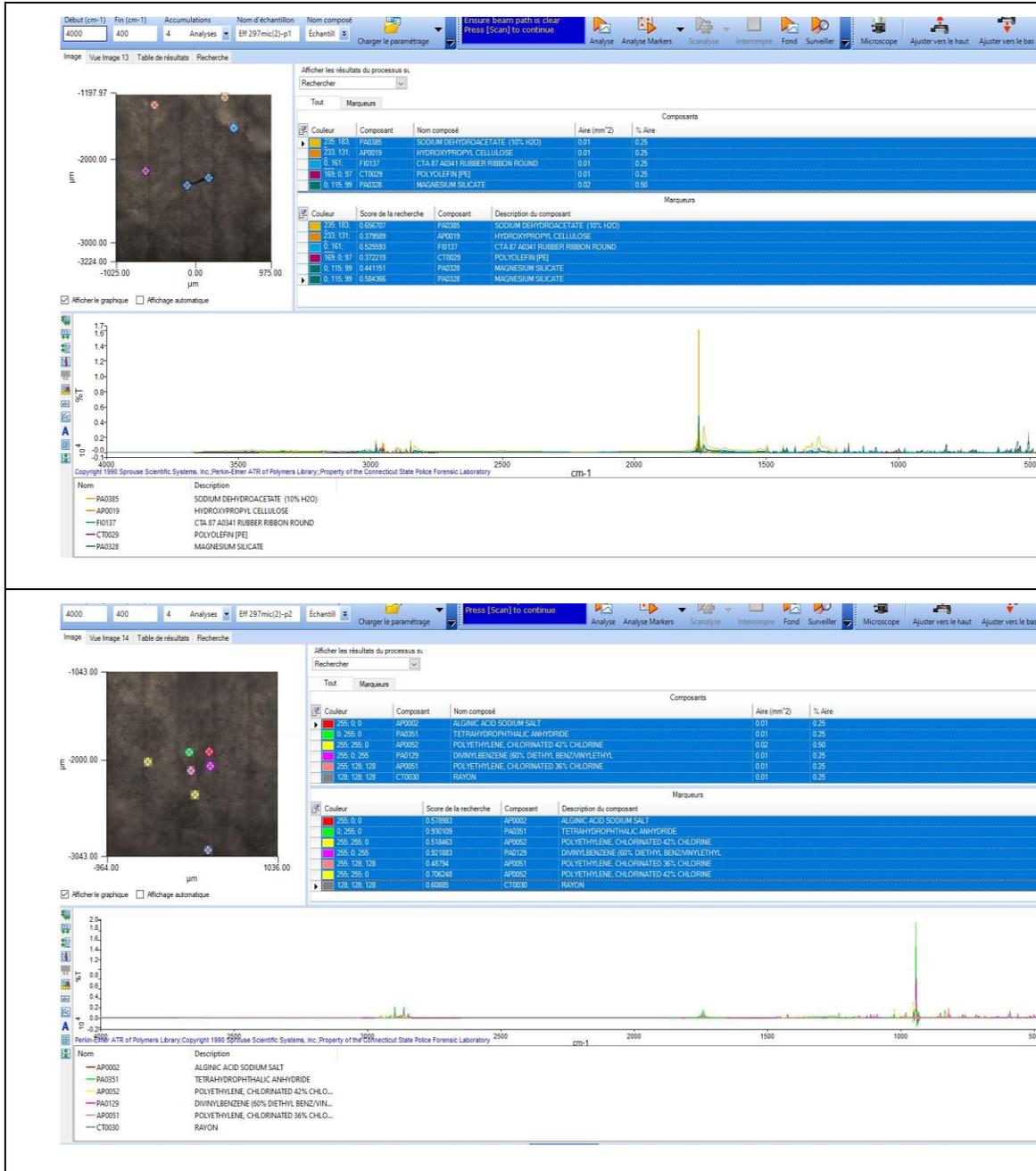


Figure 32 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 1000 μm (point 1 à 5)





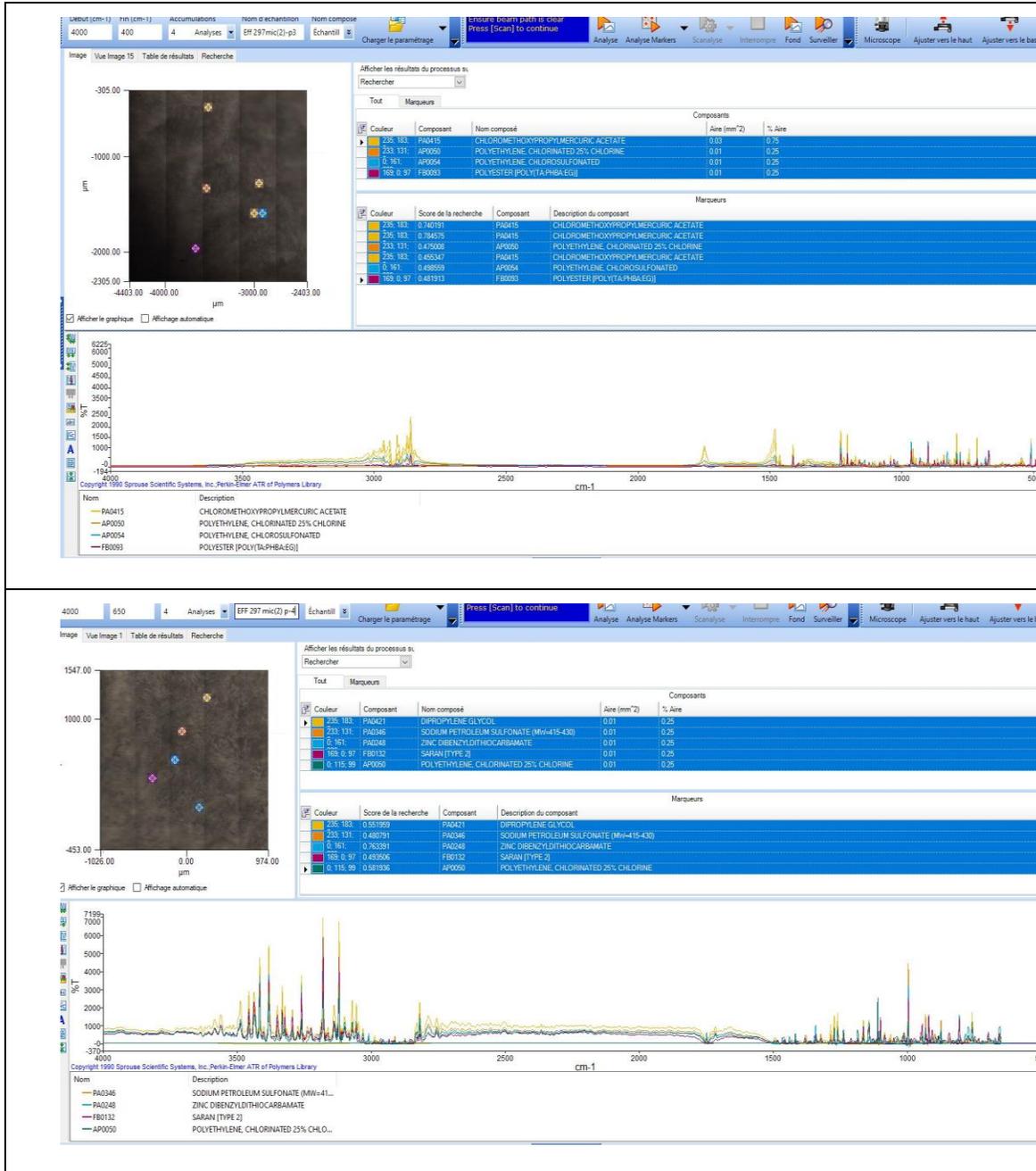
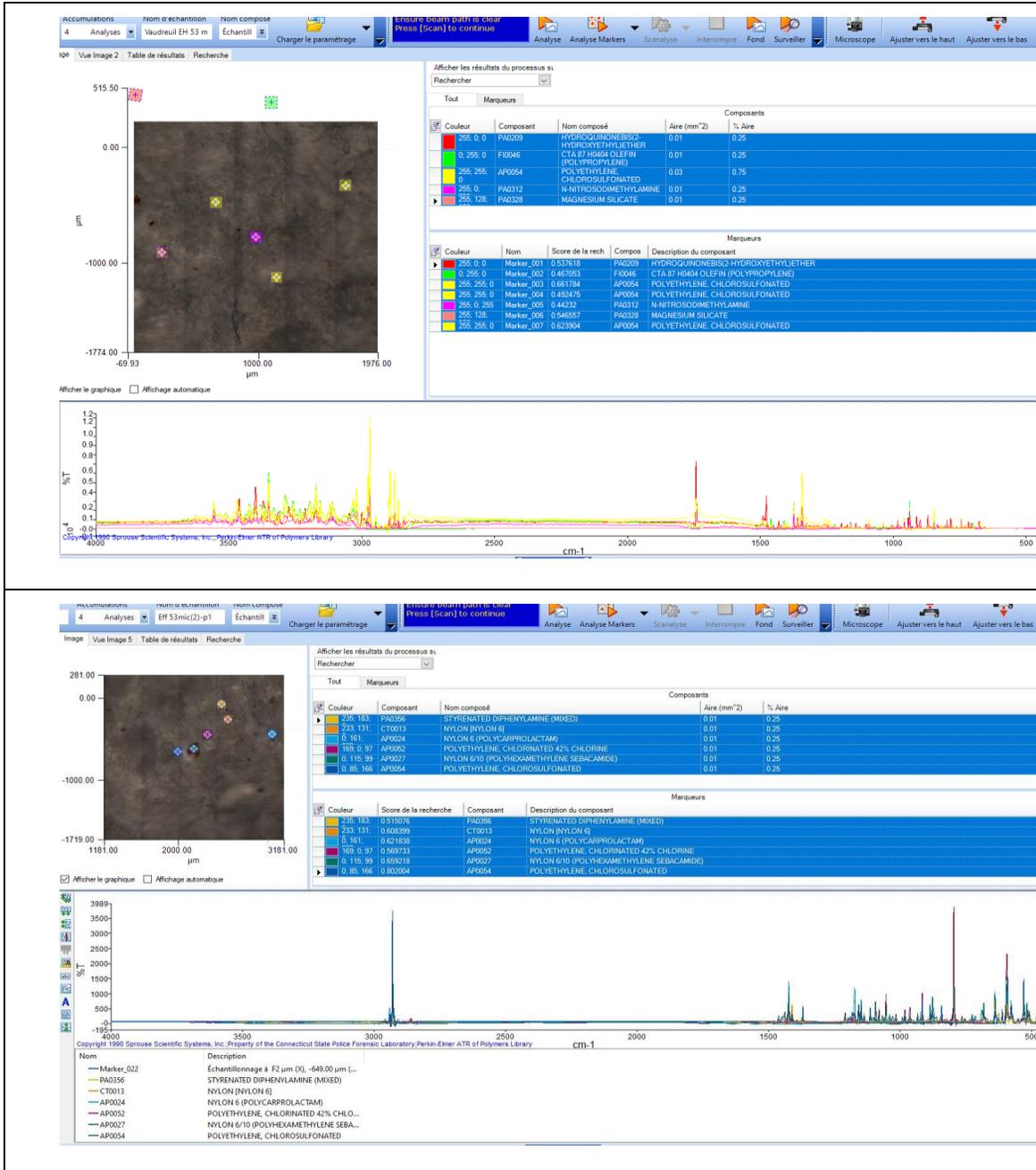
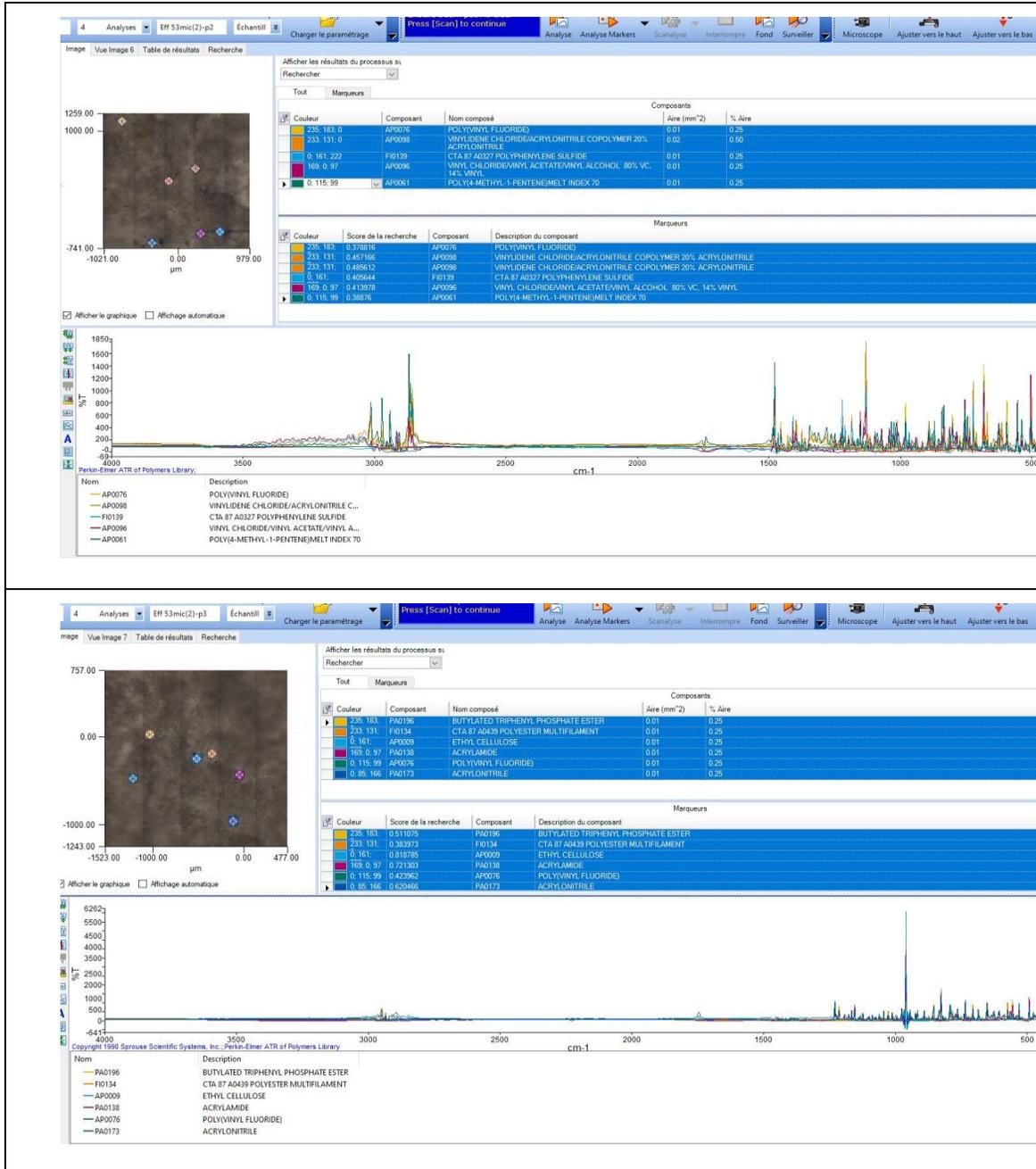


Figure 33 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 297 μm (point 1 à 5)





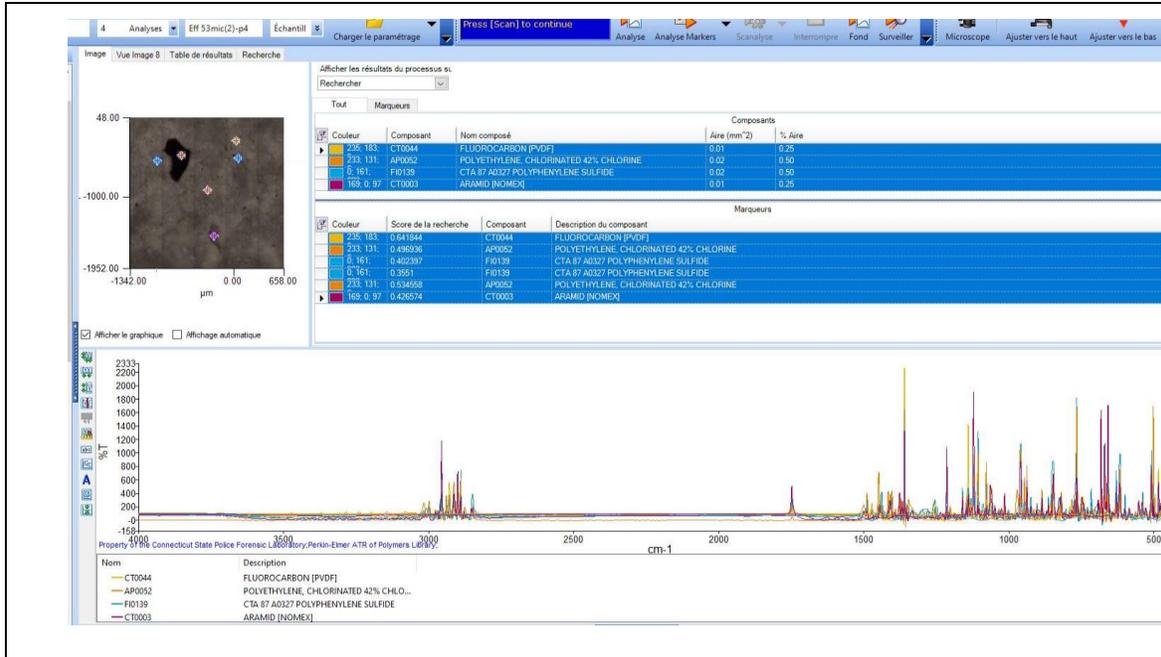
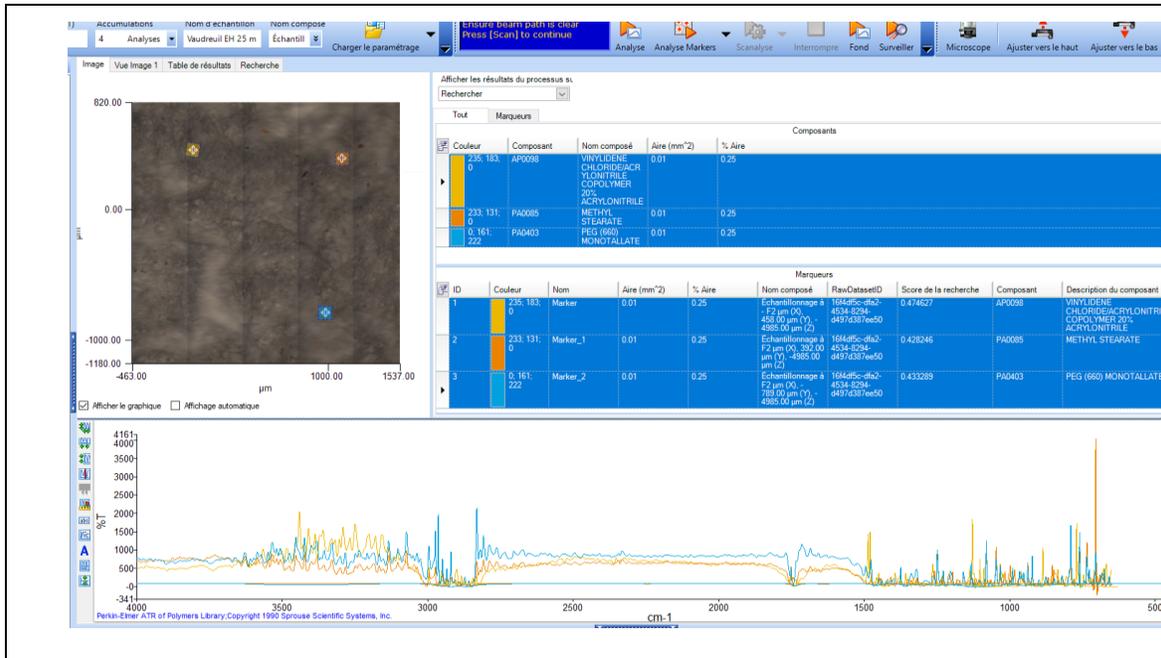
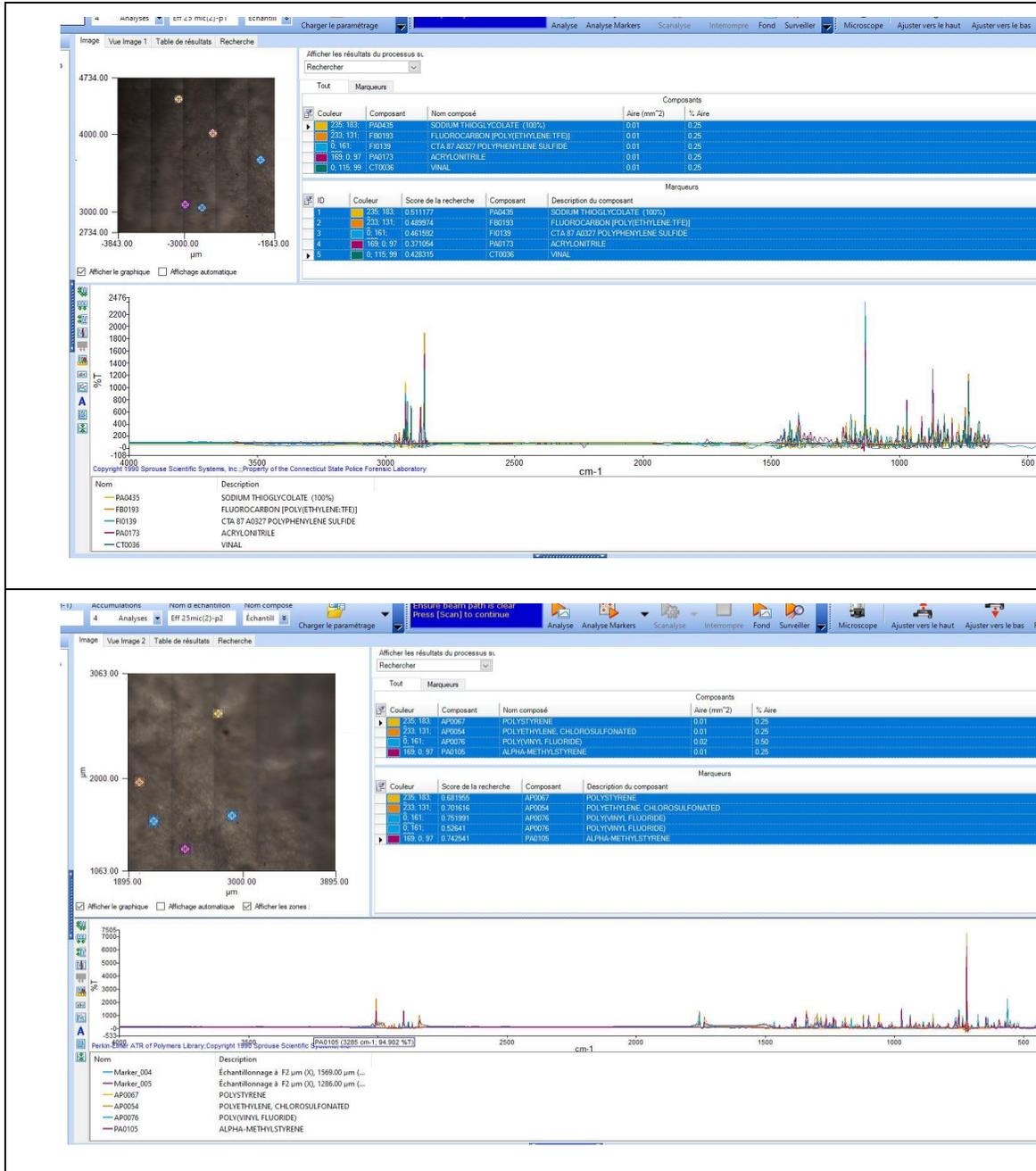
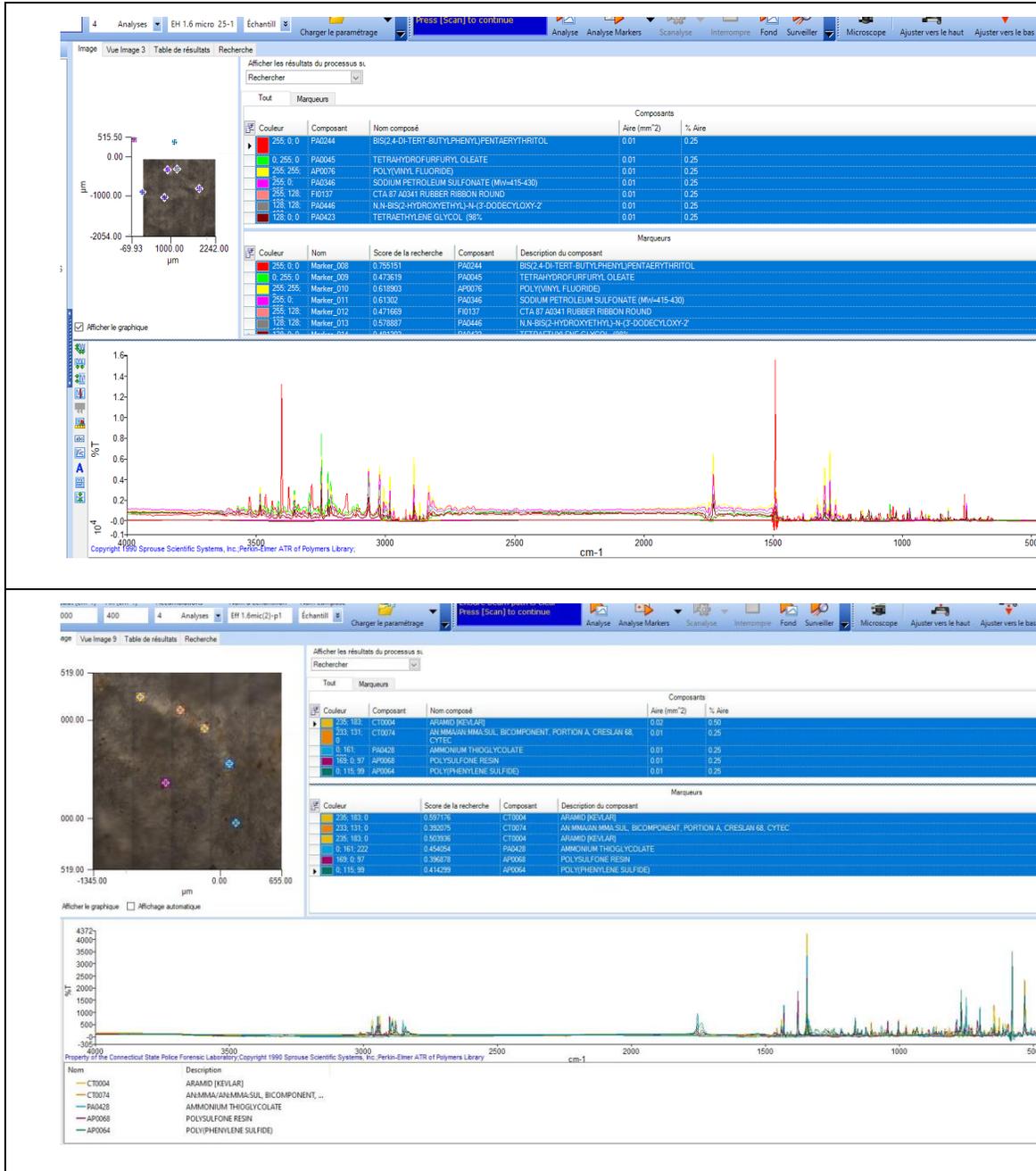
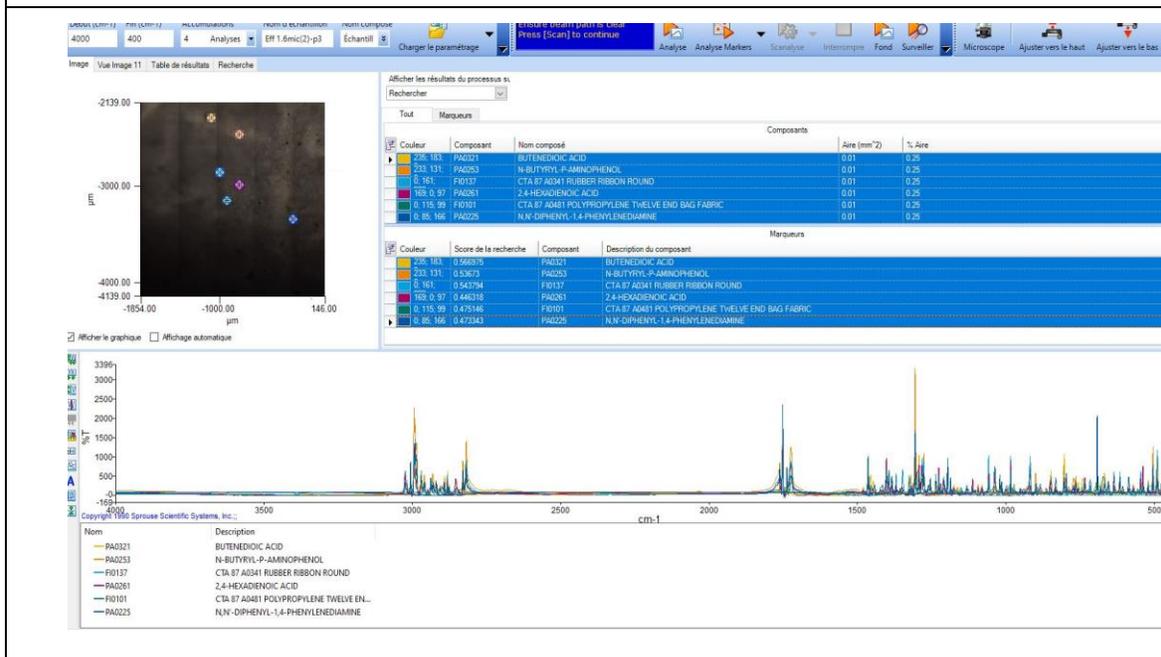
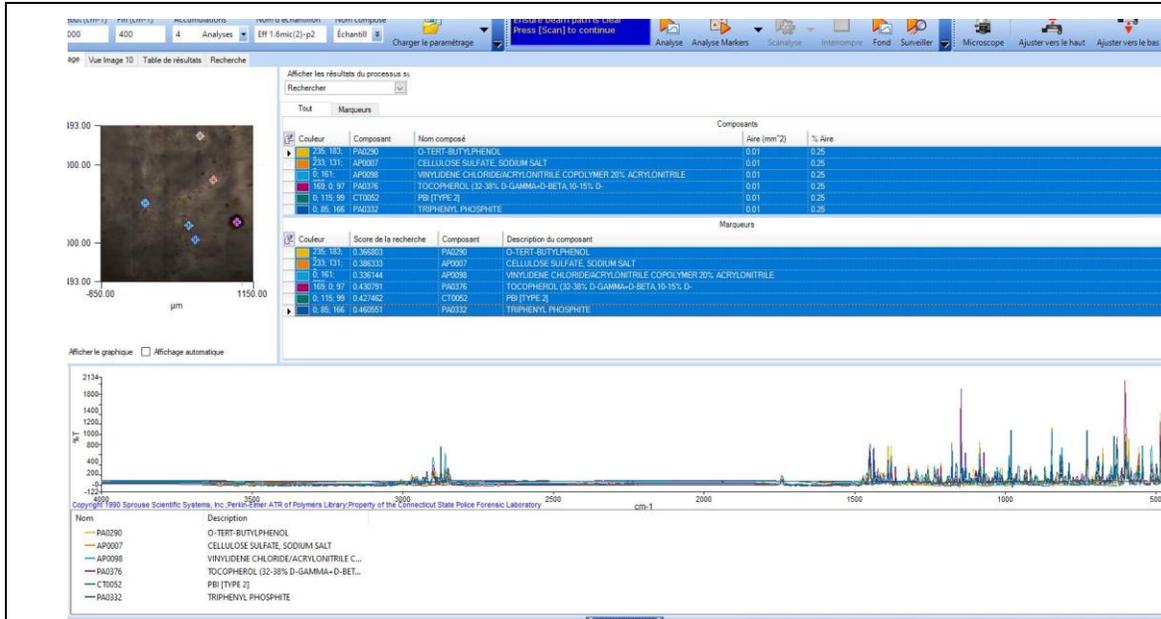


Figure 34 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 53 µm (point 1 à 5)









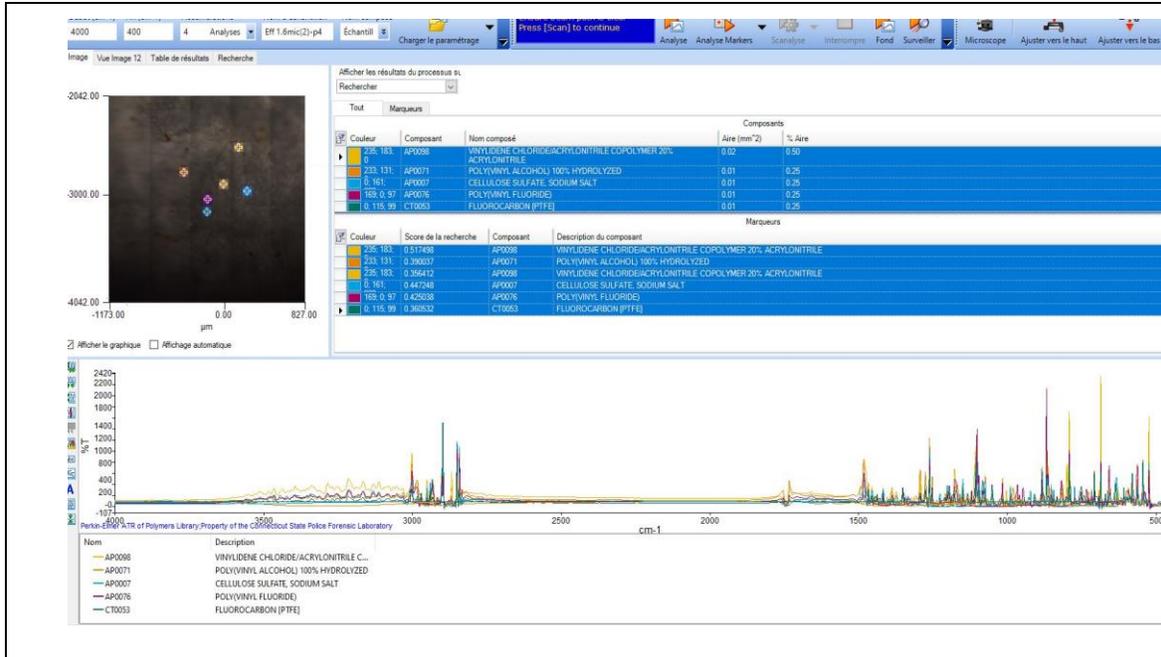


Figure 36 : Vaudreuil-Dorion-EFF : 1,6 µm (point 1 à 5)

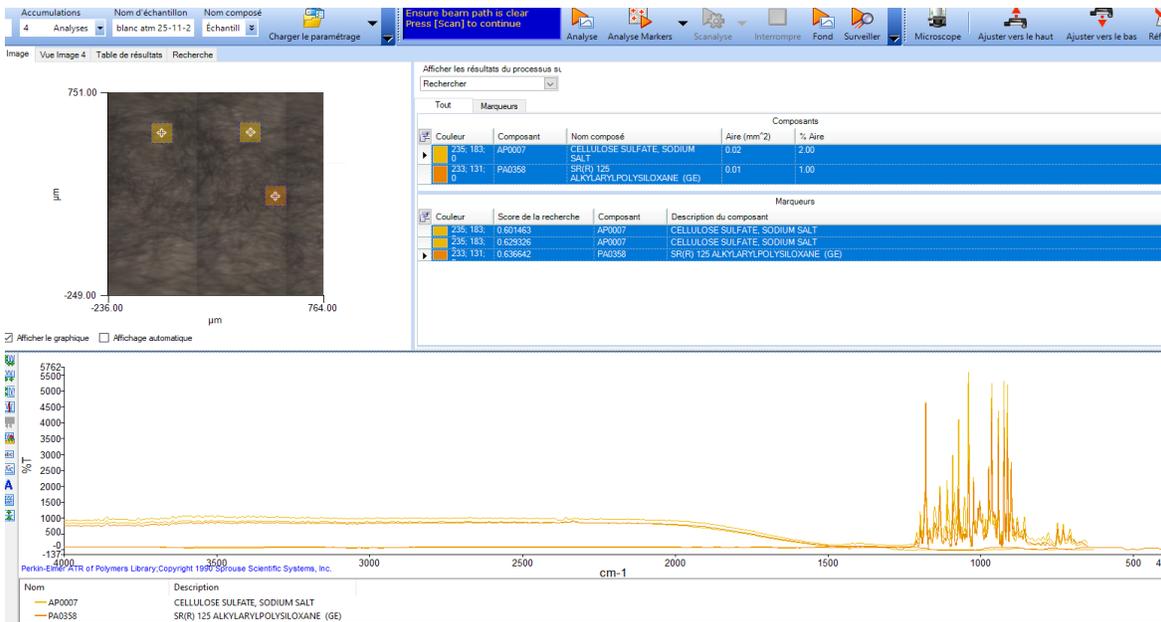


Figure 37 : Blanc Atmosphérique 1 lors de l'extraction des échantillons



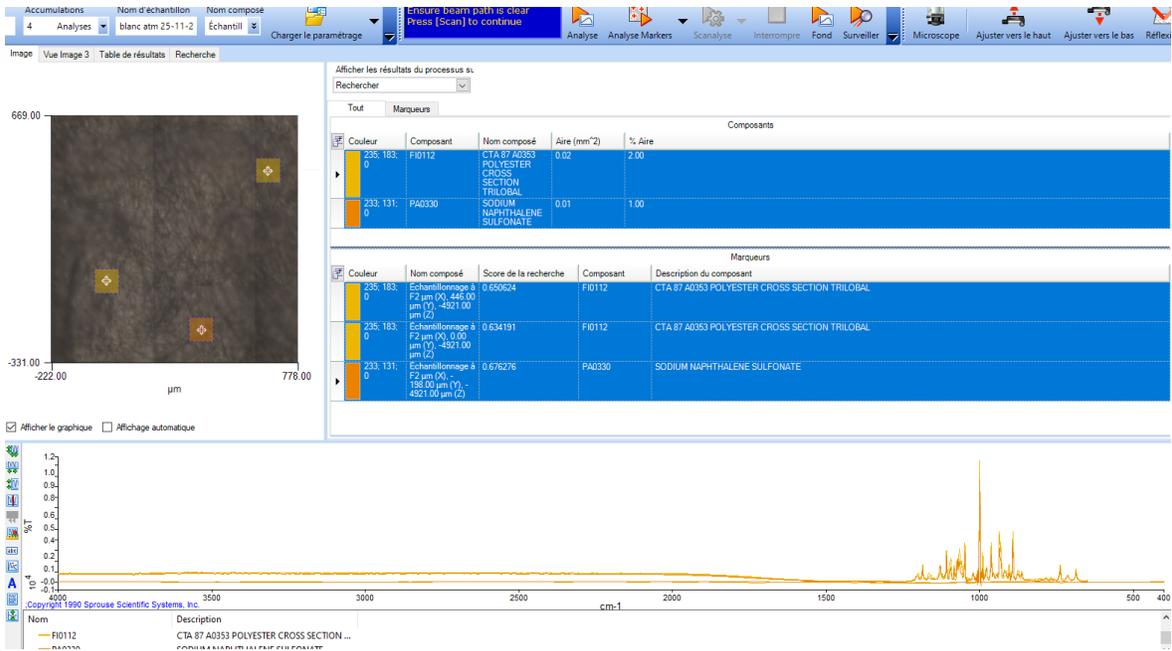


Figure 38 : Blanc atmosphérique 2 complété lors de la filtration des échantillons

