



Centre Technique Industriel
de la Plasturgie et des Composites

Faire aboutir ensemble
Vos projets d'innovation
Plastiques et Composites.

ECOLOGIC – Traitement ASL-PLA

Géraldine Cabrera
Cheffe de Projet

Date de rapport : 04/07/2024

Emetteur(s) : G. Cabrera

Indice du rapport : v2

ct-ipc.com

CONTEXTE

Dans le cadre de ses activités de recherche et développement et du déploiement des opérations de collecte et de traitement des déchets de cette filière, Ecologic souhaite identifier méthodiquement un assemblage technologique industriellement déployable à date afin de recycler au mieux le sous-flux ASL-PLA

L'objectif de l'étude est de concevoir et d'éprouver une ligne de traitement capable de démanteler le sous-flux ASL-PLA puis d'en séparer les fractions plastiques pour lesquelles des solutions industrielles de recyclage existent aujourd'hui en France (PE, PP,..)

L'étude prendra comme scénario le cas réel et actuel de composition du sous-flux ASL-PLA

IPC propose une approche technique en 2 phases :

- Phase 1 : Ebauche théorique de lignes de traitements
- Phase 2 : Essais en processus itératif

PHASE 1: Ebauche théorique de lignes de traitements

- Sur la base du flux reçu et des équipements d'IPC
 - => **Préconisation IPC des assemblages proposés avec justifications des choix**
- Livrables : 2 CR de réunion et un rapport de propositions des assemblages

PHASE 2: Essais en processus itératif

- Sur la base des travaux phases 1, deux assemblages de briques technologiques seront retenus pour la phase 2
- Hypothèse que 1 assemblage sur les 2 devra être adapté en cours d'essais
=> Donc 3 assemblages testés
- Tests réalisés sur batch de 200kg de matière entrante
- Moyens utilisés lors de cette phase :
 - Tous les équipements de la ligne IPC pertinents pour l'étude
 - IRTF de laboratoire pour détermination composition des gisements (nous anticipons 4 flux matière / assemblage) soit 12 gisements au total

PHASE 1: Ebauche théorique de lignes de traitements

À la suite d'une analyse exhaustive des 400 kg d'articles envoyés par Ecologic, et après discussion, nous avons décidé de nous orienter vers quatre flux de matières. Chaque flux avec une proposition des étapes de traitement

Flux

Souple

Rigide
(Monomatière)

Mixte
complex
rigide

Mousse

PHASE 2: Essais en processus itératif

4 Flux matières

Description équipements utilisés

BROYAGE



Déchiqueteur mono-arbre MR17-40 à IPC



Exemple broyage casques (Flux complex)

Déchiqueteur mono-arbre
ALTERVAL modèle MR17-40
composé d'un arbre de largeur 40
cm comportant de 12 outils
coupants, trois grilles calibrées de
10, 20 et 30 mm sont à disposition.
La grille de 30 mm a été utilisé
pour ce Projet

ECHANTILLONAGE STATISTIQUE

Les analyses par infrarouge sont réalisées sur soixante particules de déchets afin d'obtenir des résultats représentatifs, l'objectif final étant de caractériser les flux et d'en évaluer la pureté.

Au préalable, un échantillonnage aléatoire est réalisé sur chacun des échantillons de déchets. Le protocole est le suivant :

- Utilisation d'une grille de prélèvement, les cases sont de dimensions égales et numérotées de 1 à 204
- Les échantillons sont réparti uniformément sur l'ensemble de la grille de prélèvement par « saupoudrage ».
- Les échantillons sont ensuite prélevés grâce à la numérotation des cases un utilisant la fonction « Aléatoire » d'Excel entre deux bornes préfinies (1 et 204)
- A chaque calcul de la fonction, les particules correspondantes au numéro de la case sont prélevées. Le calcul est réitéré jusqu'à obtenir le nombre d'échantillons voulu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187
188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204

Grille de prélèvement

TRI OPTIQUE NIR-VIS



PELLENC ST Mistral+ Connect à IPC

La machine PELLENC ST Mistral + 1200 Connect a été sélectionnée pour être représentative des centres de tri modernes. Elle est équipée d'un spectromètre qui couvre les spectres du proche infrarouge et du visible.

La machine détecte et analyse les échantillons en fonction de la réflexion de la lumière dans certains spectres, réglant ses paramètres pour éjecter les matières détectées. Le tri est binaire, avec deux sorties : éjectée et non-éjectée. Plusieurs convoyeurs permettent un tri affiné en boucle. Des tests statiques déterminent si une structure est détectable, suivis de tests dynamiques pour évaluer la performance finale, seuls ou avec des déchets. La machine trie des échantillons souples ou rigides, avec une densité de surface jusqu'à 10 kg/m², et dispose d'un barreau d'éjection haute résolution pour trier des éléments aussi petits que 20 mm.

BAIN DE FLOTTAISON



Bain de flottaison à IPC

- IPC utilise un système de bain de flottaison composé de deux cuves en inox, permettant de séparer environ 100 kg de déchets par batch.
- Ce système de tri hydraulique fonctionne en exploitant les différences de mouvement des particules dans un liquide, basées sur la gravité et d'autres forces comme la résistance à la pénétration.
- La séparation se fait selon la masse volumique des objets et leur capacité à flotter ou couler dans le liquide. Pour ce Projet, l'eau pure a été utilisée. Après un mélange et une période de repos, les objets flottants sont récupérés en surface, et les objets coulants sont récupérés en soulevant la cuve intérieure.
- Une différence de densité d'au moins 0,2 est nécessaire pour un bon rendement.

ANALYSES IRTF AU LABORATOIRE

APPAREILLAGE

IRTF iS10 Thermo Nicolet

Accessoire SMART ITX ATR avec cristal en diamant.

CONDITIONS D'ANALYSES

- Traitement des échantillons : sans
- Acquisition du spectre : absorbance
- Nombre de balayages : 4
- Résolution : 4 cm^{-1}
- Nombres d'ondes : de 525 cm^{-1} à 4000 cm^{-1} .

Classement des morceaux par famille de matériaux en fonction des réponses obtenues.

8 familles de matériaux par échantillon.

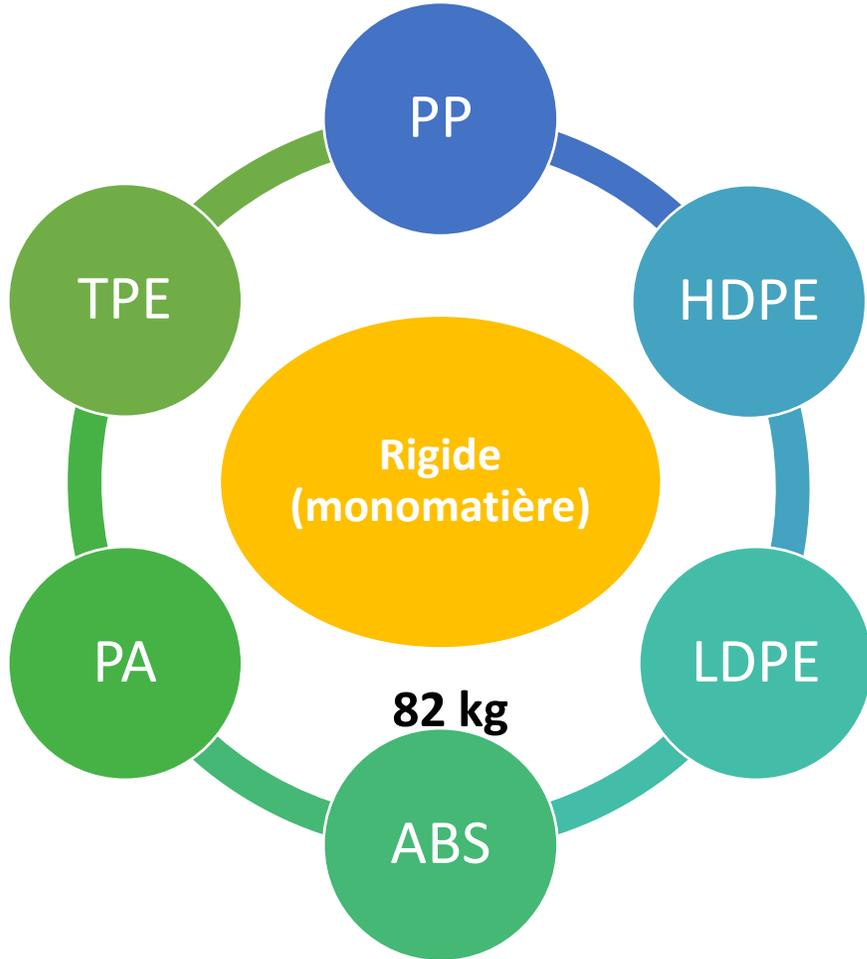
La masse de chaque famille de matériaux a été relevée.



RESULTATS

Flux Monomatière

Matières identifiées avec le Trinamix



Flux Rigide (Monomatière)

- ✓ Articles monomatières
- ✗ Pas de présence métallique
- ✓ Pas de démantèlement



Liste Articles

- Badminton filet
- Raquettes plage
- Luge
- Anneaux gym
- Siège enfant vélo
- Houla hoop piscine
- Support rigide
- Freesbe
- Balle pétanque plastique
- Petites palmes natation
- Palmes plongé
- Gardien foot
- Raquettes nage

Rigide
(Monomatière)

Proposition étapes de traitement

1

- Broyage $\Phi 30$ mm

2

- Tri optique (extraction PE+PP+reste)

3

- IRTF (Laboratoire) 3 flux

4

- Flottaison reste après tri

5

- IRTF(analyse deux flux)

1. Broyage

Rigide
(Monomatère)

Avant broyage



Après broyage



Particules <10 mm



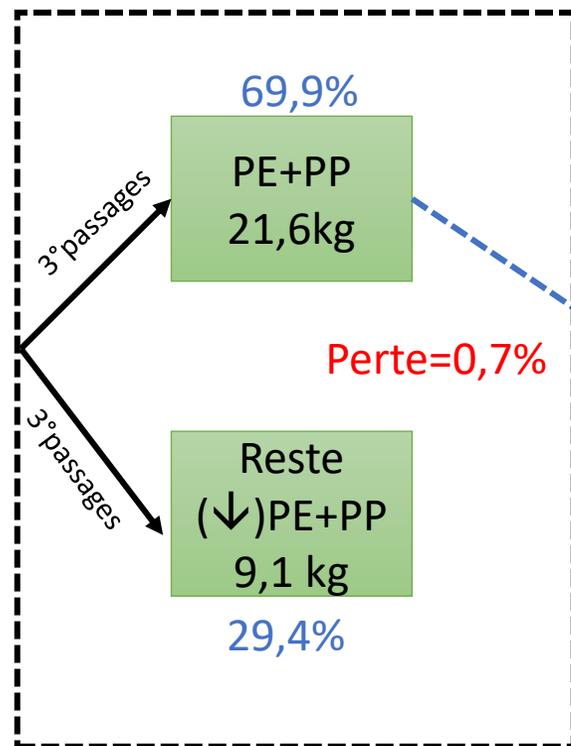
Masse Nette avant (kg)	Masse Nette après (kg)	Masse poussière (kg)	Perte (kg)	Débit théorique (kg/h)	Temps de traitement (h)
38,0	32,3	5,3	0,4	9,4	4

Commentaries: Broyage ok mais nous avons rencontrés davantage de difficultés avec les grandes pièces en raison de son volume et de la taille du broyeur. Un dépoussiérage est nécessaire pour éliminer toutes les particules de <10 mm.

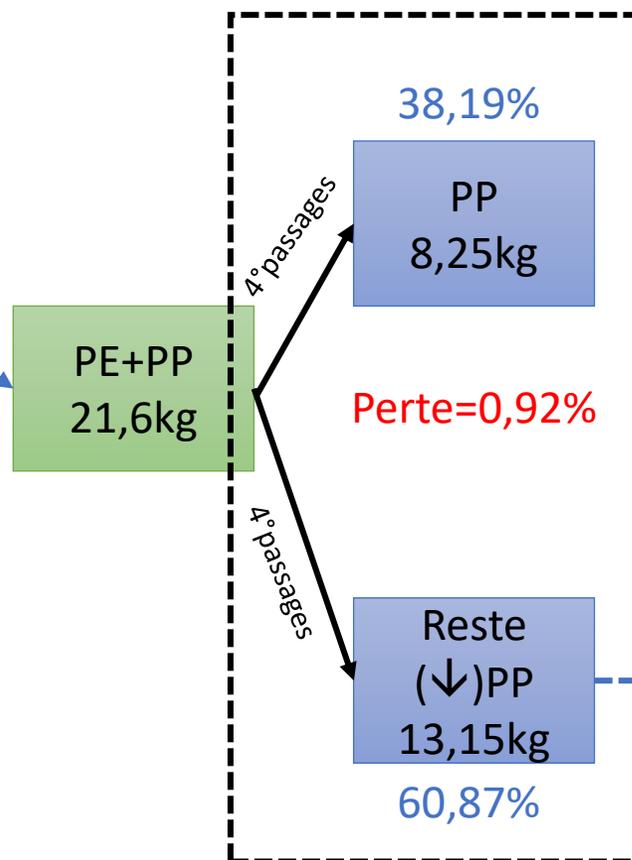
2. Tri optique

Rigide
(Monomatère)

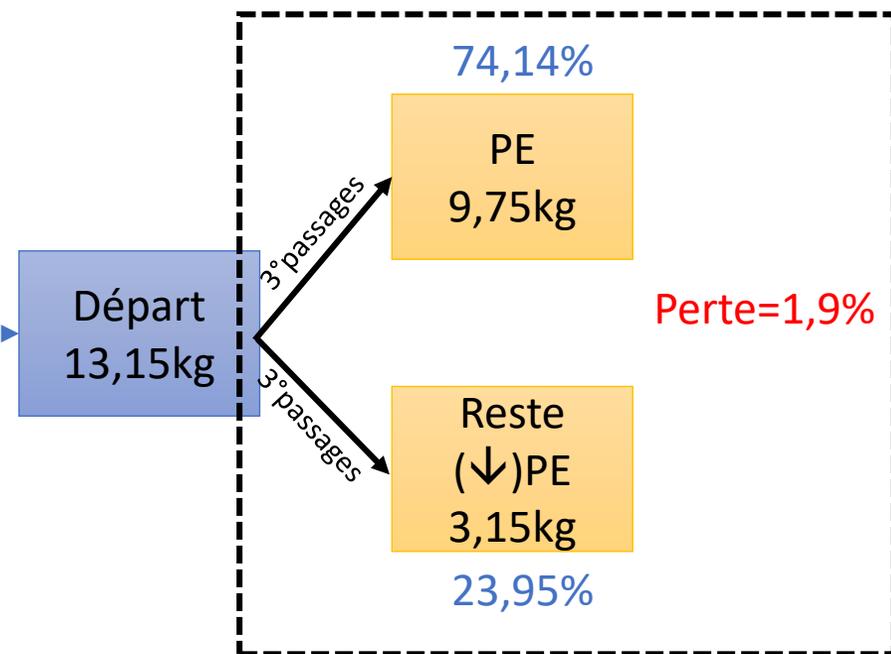
1°étape: Séparer PE/PP du reste



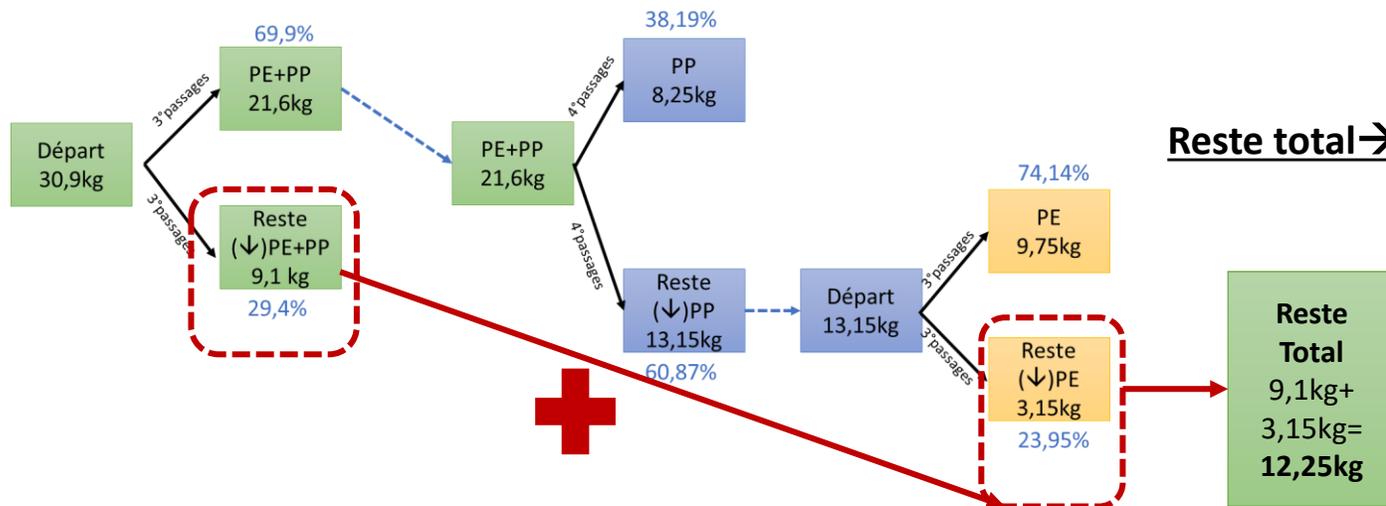
2°étape: Séparer PP du PE/PP



3°étape: Séparer PE du reste après 2°étape



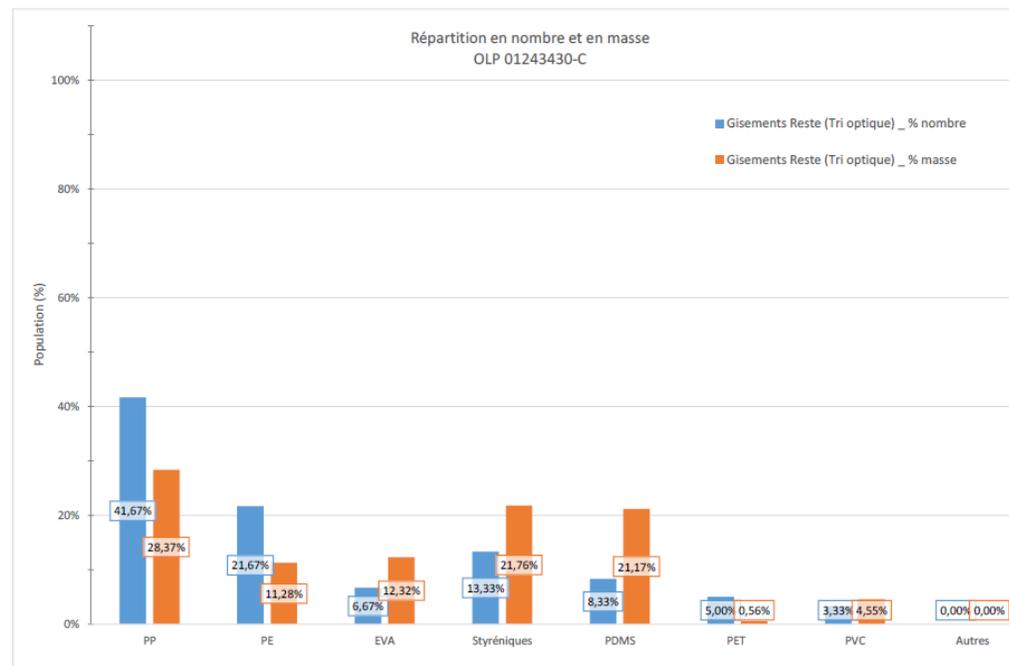
2+3. Tri optique(1° et 3°étape)+IRTF



Reste total → Lors de la 1° et la 3°étape de tri optique

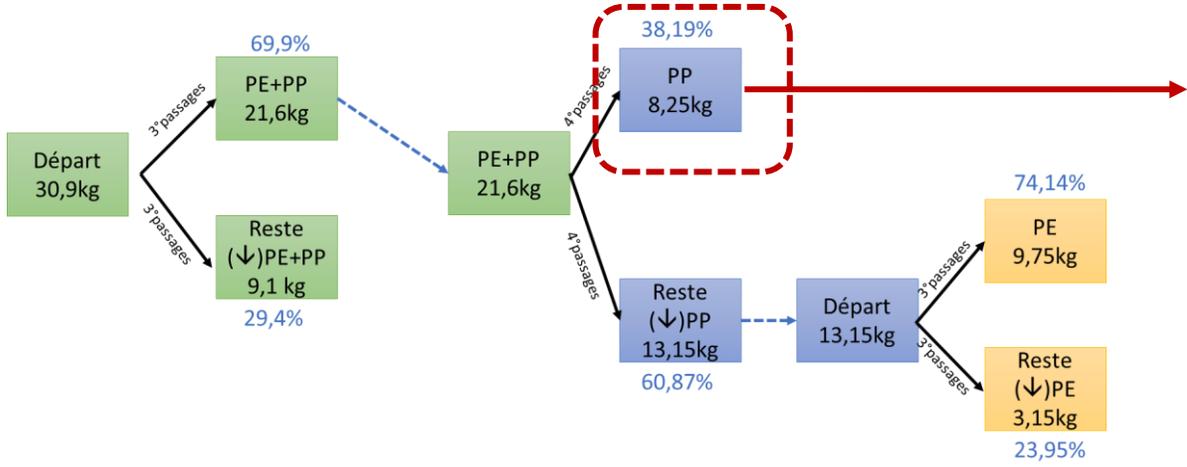
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du PP (environ 42% en nombre), et à d'autres mélanges de matières de compositions variées comme des composés styréniques, du PDMS et de l'EVA (pour environ 30% en nombre au global). Environ 22% en nombre des morceaux correspondent à du PE. Enfin, quelques morceaux de PVC et de textile PET ont pu également être identifiés.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	25	41,67	16,8054	28,37
PE	13	21,67	6,6809	11,28
EVA	4	6,67	7,2995	12,32
Styréniques	8	13,33	12,8910	21,76
PDMS	5	8,33	12,5396	21,17
PET	3	5,00	0,3325	0,56
PVC	2	3,33	2,6971	4,55
Autres	0	0,00	0,0000	0,00



2+3. Tri optique(2^oétape)+IRTF

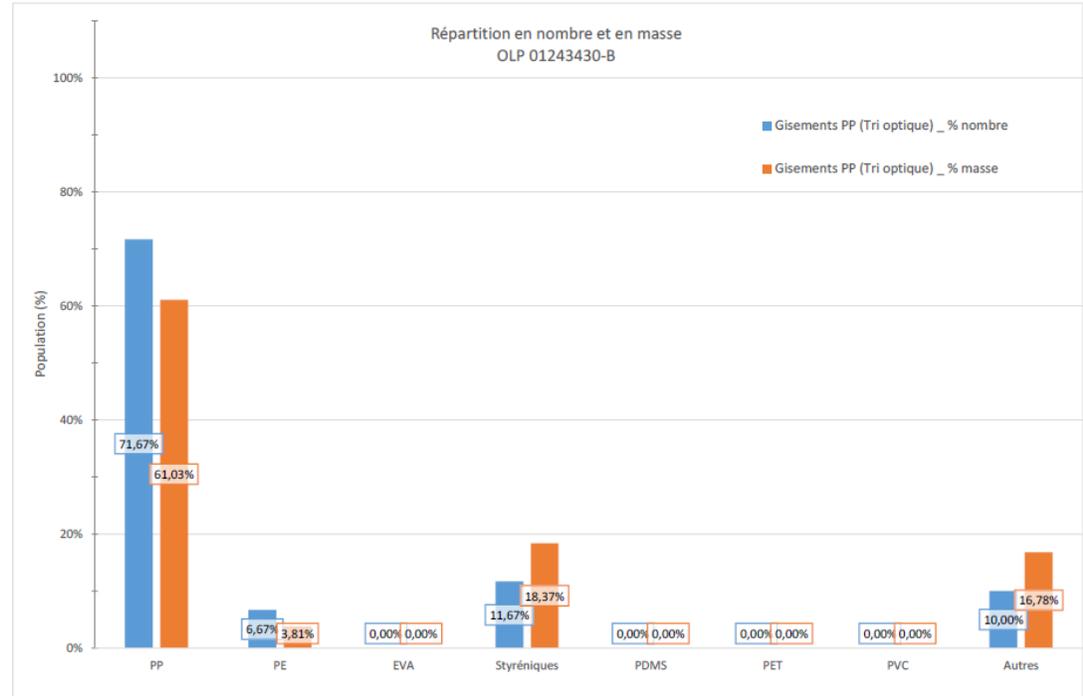
Rigide
(Monomatière)



Fraction PP séparée → Lors de la 2^oétape de tri optique

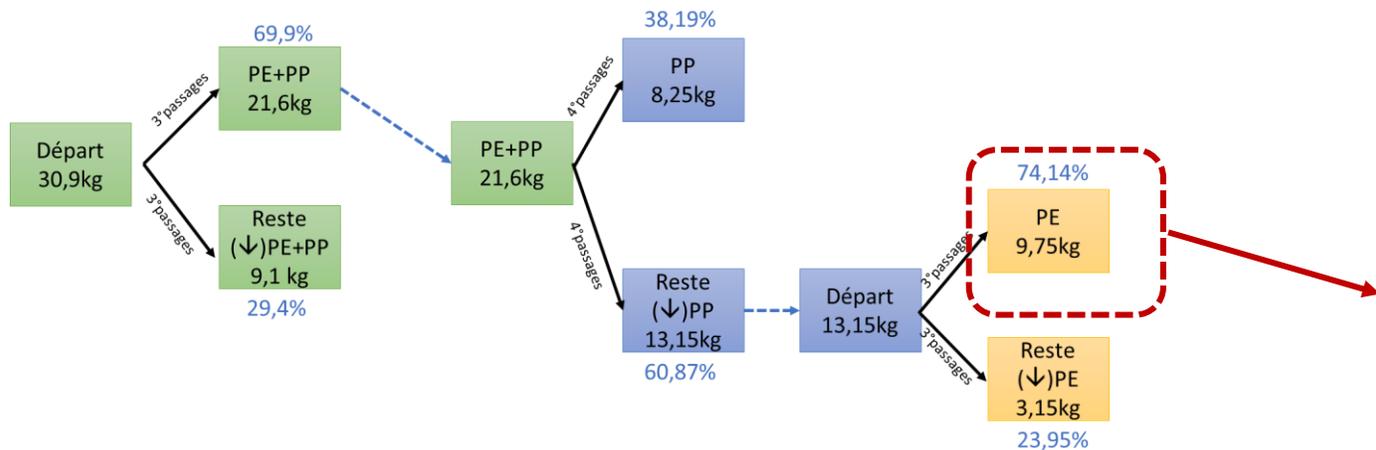
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du PP (environ 72% en nombre), puis des composés styréniques ont été caractérisés (environ 12% en nombre). Environ 7% en nombre des morceaux correspondent à du PE.
Les 10% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	43	71,67	29,1414	61,03
PE	4	6,67	1,8201	3,81
EVA	0	0,00	0,0000	0,00
Styréniques	7	11,67	8,7730	18,37
PDMS	0	0,00	0,00	0,00
PET	0	0,00	0,0000	0,00
PVC	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	6	10,00	8,0112	16,78



2+3. Tri optique(3^oétape)+IRTF

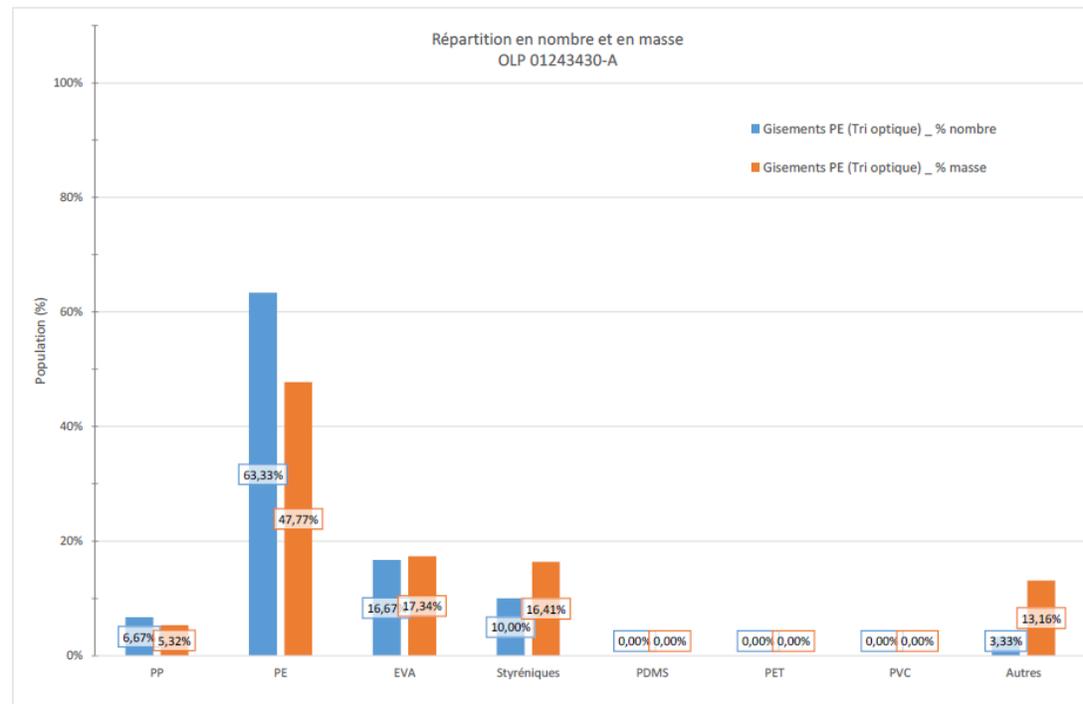
Rigide
(Monomatière)



Fraction PE séparée → Lors de la 3^oétape de tri optique

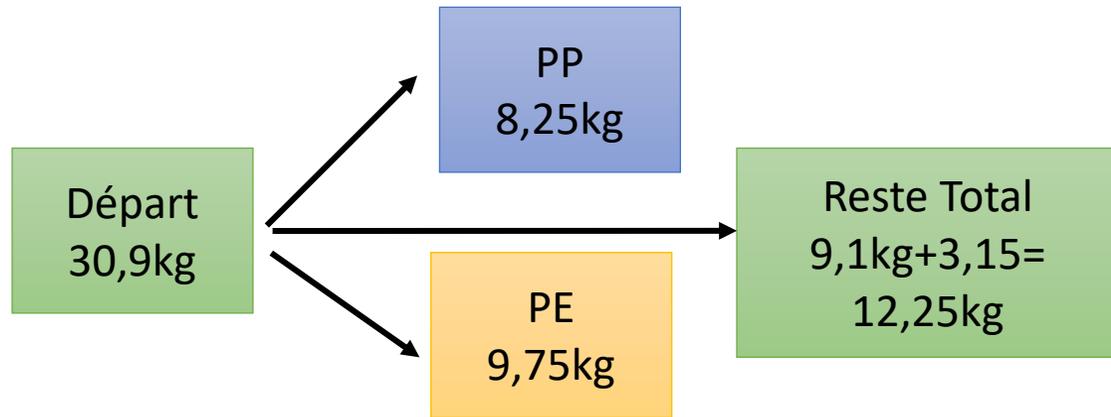
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du PE (environ 63% en nombre), puis d'autres matières de nature variées comme de l'EVA et des composés styréniques (environ 30% en nombre). Enfin, environ 7% en nombre des morceaux correspondent à du PE. Les 3% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	4	6,67	2,8805	5,32
PE	38	63,33	25,859	47,77
EVA	10	16,67	9,3873	17,34
Styréniques	6	10,00	8,8823	16,41
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
PET	0	0,00	0,0000	0,00
PVC	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	2	3,33	7,1234	13,16

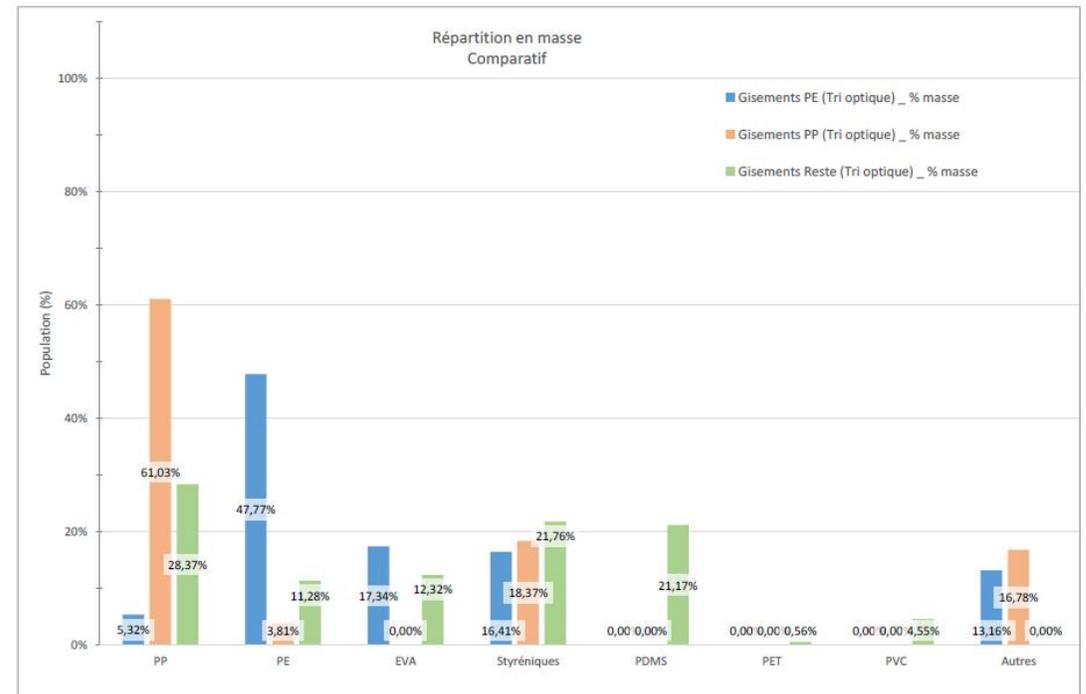
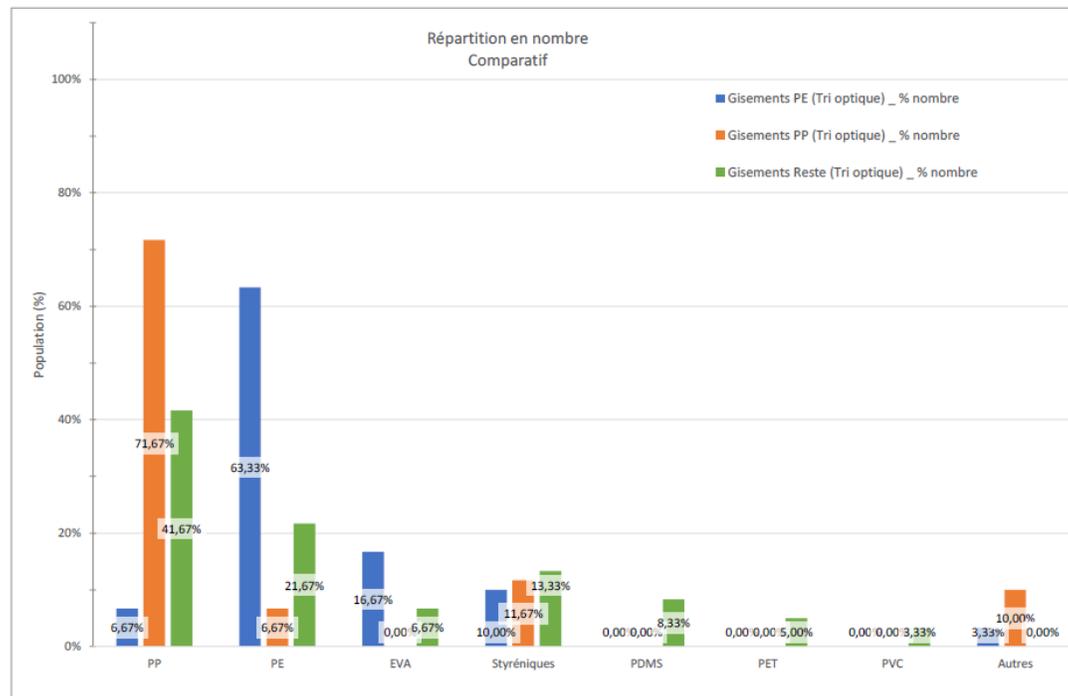


2+3. Tri optique(1°+2°+3°étape)+IRTF

Rigide
(Monomatère)

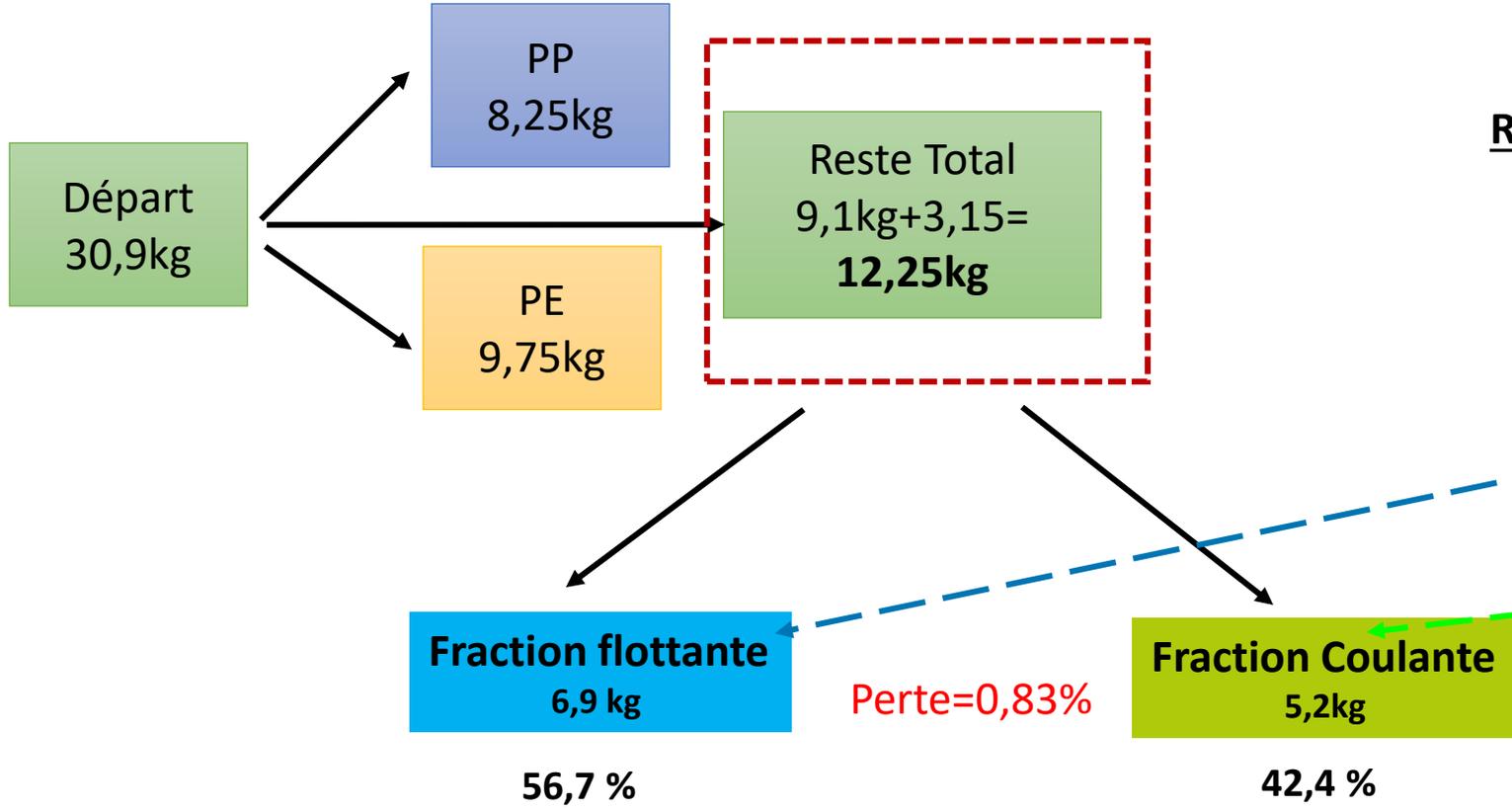


Comparatif en nombre et en masse

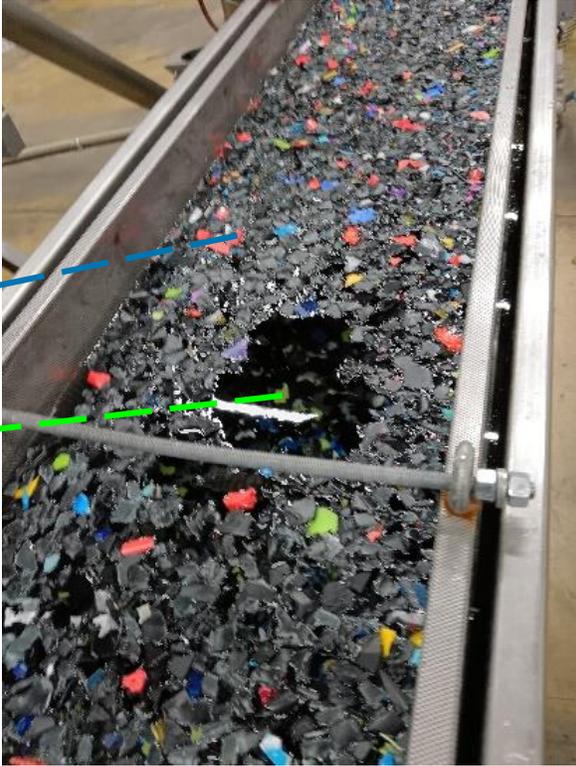


4. Tri par Flottaison

Rigide
(Monomatière)

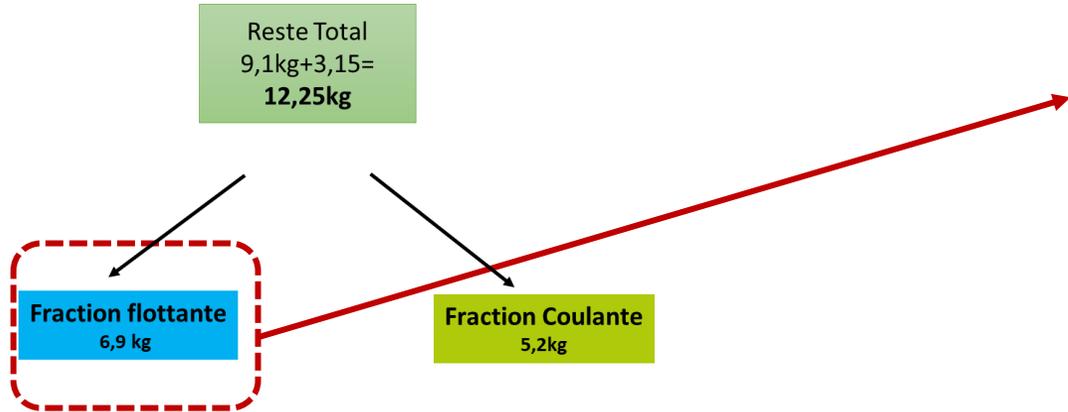


Reste Total → Tri par flottaison



4+5. Tri par Flottaison+IRTF

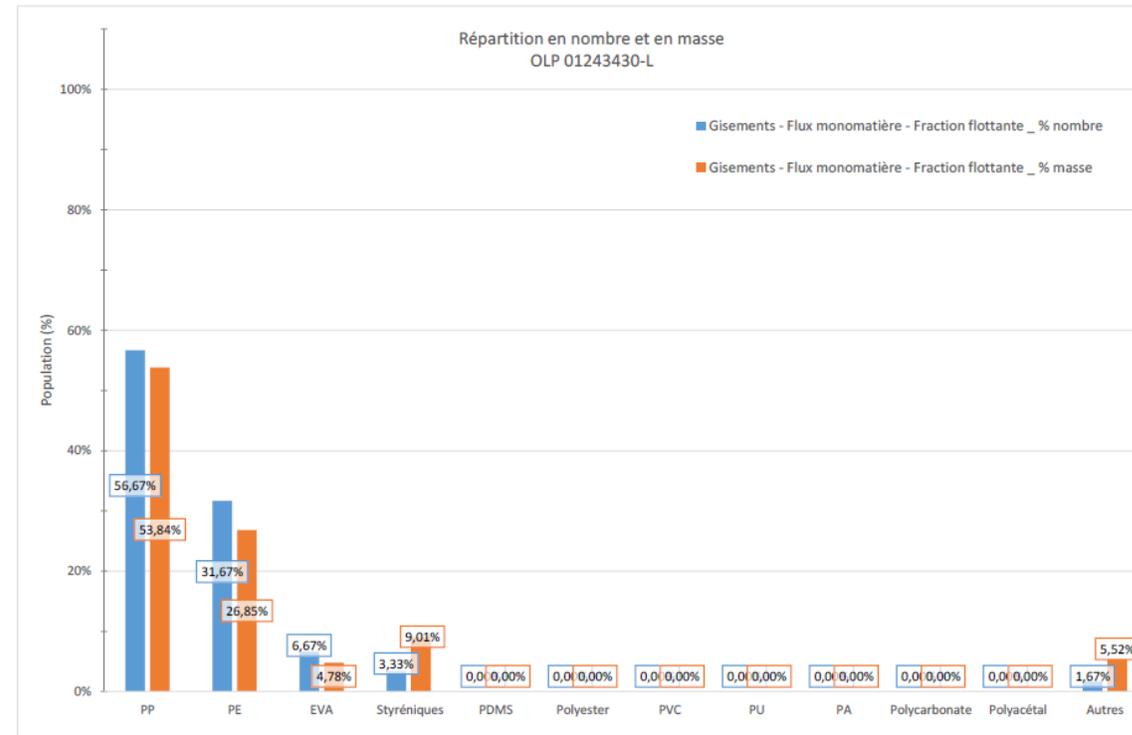
Rigide
(Monomatière)



Fraction Flottante → Tri par flottaison

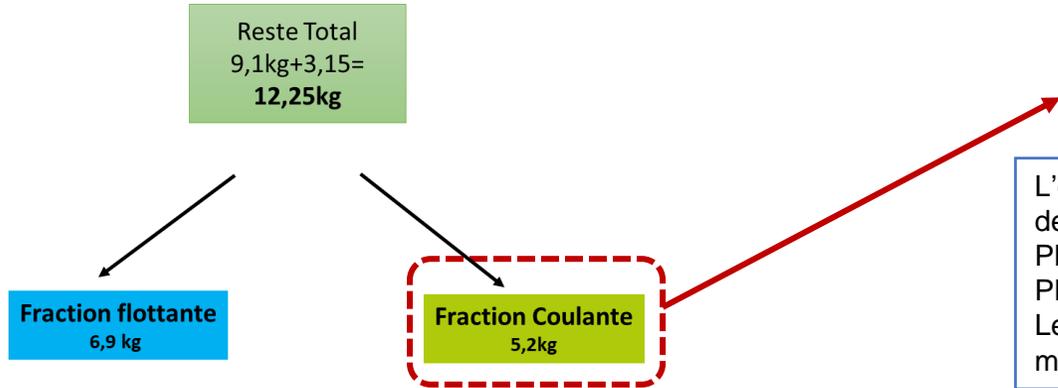
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon, correspond principalement à du PP (environ 57% en nombre), et du PE (environ 32% en nombre). Puis d'autres matières de nature variées comme des composés styréniques et de l'EVA ont également été identifiées (pour environ 10% en nombre global). Enfin, environ 2% en nombre des morceaux correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	34	56,67	24,1416	53,84
PE	19	31,67	12,0394	26,85
EVA	4	6,67	2,1426	4,78
Styréniques	2	3,33	4,0411	9,01
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyester	0	0,00	0,0000	0,00
PVC	0	0,00	0,0000	0,00
PU	0	0,00	0,0000	0,00
PA	0	0,00	0,0000	0,00
Polycarbonate	0	0,00	0,0000	0,00
Polyacétal	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	1	1,67	2,4733	5,52



4+5. Tri par Flottaison+IRTF

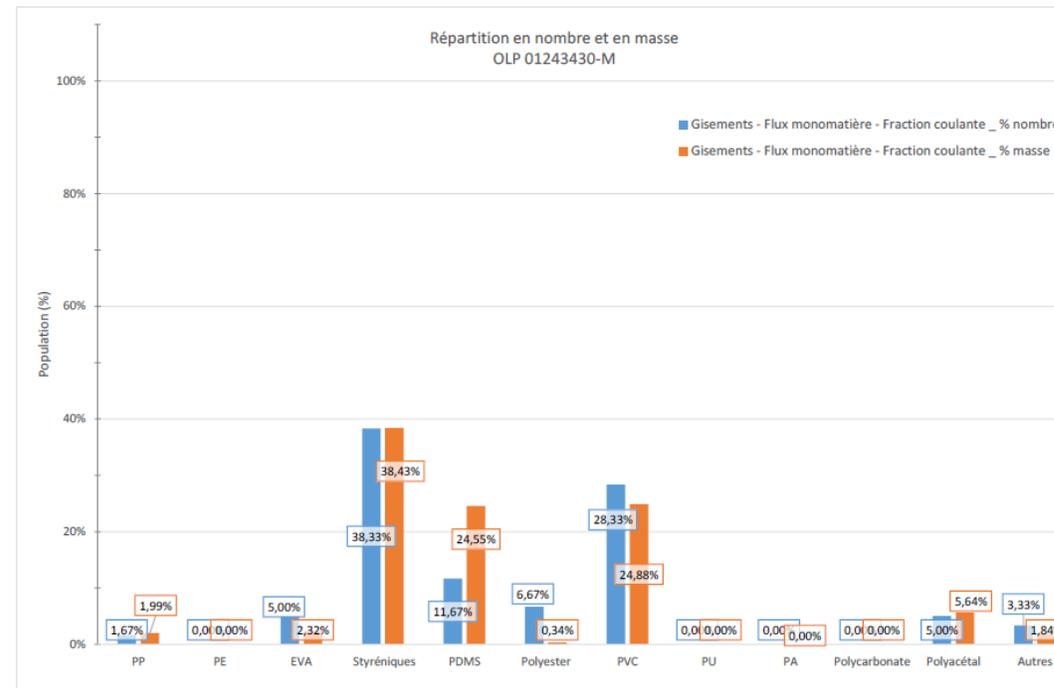
Rigide
(Monomatière)



Fraction Coulante → Tri par flottaison

L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon correspond principalement à des composés styréniques, (environ 38% en nombre), du PVC (environ 28% en nombre) et des PDMS (environ 12% en nombre). D'autres matières comme des polyesters, polyacétals, EVA et PP ont été caractérisées (pour environ 15% en nombre global). Les 3% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	1	1,67	1,3407	1,99
PE	0	0,00	0,0000	0,00
EVA	3	5,00	1,5614	2,32
Styréniques	23	38,33	25,9063	38,43
PDMS	7	11,67	16,5486	24,55
Polyester	4	6,67	0,2319	0,34
PVC	17	28,33	16,7749	24,88
PU	0	0,00	0,0000	0,00
PA	0	0,00	0,0000	0,00
Polycarbonate	0	0,00	0,0000	0,00
Polyacétal	3	5,00	3,8031	5,64
Autres	2	3,33	1,2434	1,84

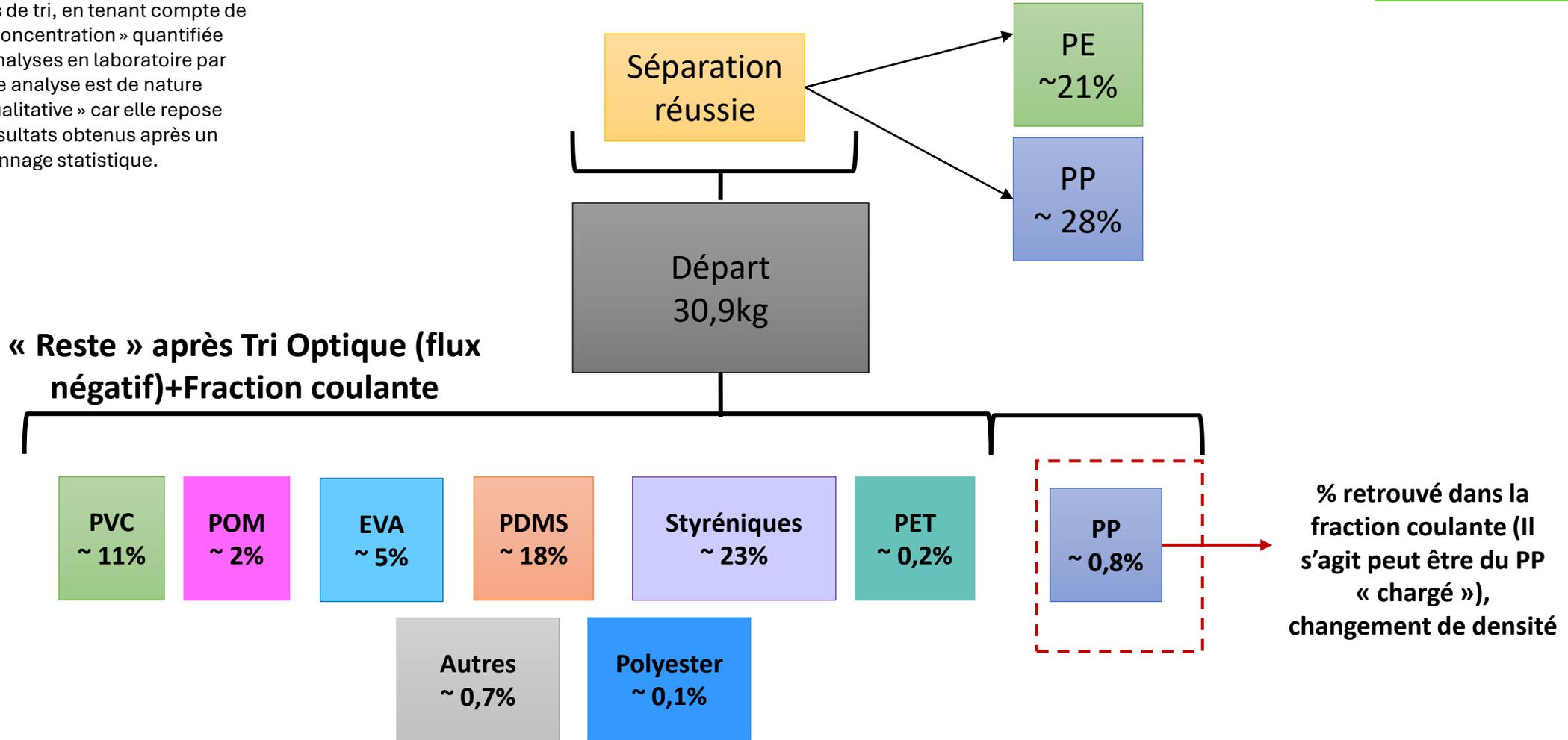


SOMMAIRE*

*Les calculs mentionnés sont basés sur le pourcentage massique « réel » des matériaux séparés après le processus de tri, en tenant compte de la « vraie concentration » quantifiée lors des analyses en laboratoire par IRTF. Cette analyse est de nature plutôt « qualitative » car elle repose sur des résultats obtenus après un échantillonnage statistique.

Rigide
(Monomatière)

Séparés après Tri Optique+Fraction flottante



Points à remarquer

- Le gisement est composé d'environ 21%wt du PE et 28,1%wt du PP.
- La séparation PP/PE reste limitée.
- On observe une présence de matériaux "styréniques" (environ 23 %wt). Nous pensons que ceux-ci, détectés avec les flux PE/PP (après tri optique) et après flottaison, sont des copolymères à base d'éthylène, butadiène, etc., utilisés pour améliorer l'adhésion et/ou leurs propriétés mécaniques au choc.
- Présence de PDMS (environ 18 %wt), probablement provenant des palmes et lunettes de natation.
- La présence d'EVA (environ 5%wt) a été identifiée dans le flux « PE » détecté après tri optique (séparation réussie)
- Enfin, du PVC (11%wt) et du POM (polyacétal) (environ 2%wt) ont été séparés et détectés après le procédé de flottaison.

Conclusions et perspectives

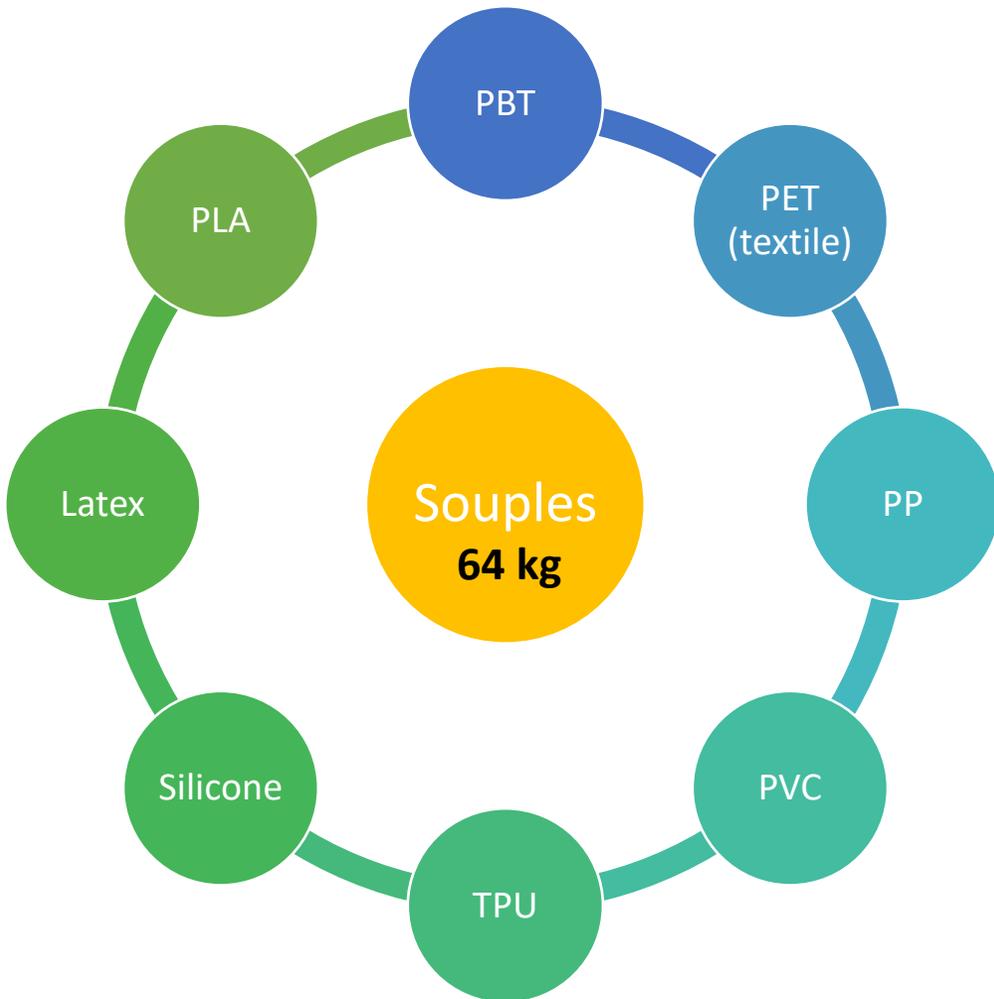
- Si le pré-tri avant la création de ce flux est correctement effectué, nous pourrions récupérer un maximum de matières pouvant être valorisées par la suite : PE, PP, PVC.
- Concernant les difficultés de tri de la matière une fois broyée, il y a deux alternatives :
 - ✓ Si nous souhaitons utiliser une machine de tri optique plus « classique » comme celles présentes en centre de tri, il est recommandé de broyer avec une taille de grille supérieure à 30 mm pour faciliter la détection.
 - ✓ Investir dans une machine de tri spécialisée capable de traiter des broyats, permettant de séparer plus finement des broyats de petites tailles. L'avantage de cette solution est qu'elle permettrait de broyer plus finement et de faciliter la détection des pièces multimatières que nous pouvons trouver dans ce flux **(voir slide 62)**

RESULTATS

Flux Souple

Flux Souples

Matières identifiées avec le Trinamix



Articles multimatériaux



Pas de présence métallique



Pas de démantèlement



Liste Articles

- Boué
- Ballon plage
- Cône souple
- Jeu gonflable
- Piscine
- Bateau gonflable
- Ballon musculation
- Gourde souple bâche
- Bonnet natation
- Punching ball
- Kayak
- Ballon yoga
- Ballon pilates petit
- Ballon foot
- Ballon basket
- Ballon rugby
- Ballon volleyball
- Maillot bain piscine
- Balle tennis

Souple

Proposition étapes de traitement

1

- Broyage $\Phi 30$ mm

2

- Tri optique (Extraction PVC)

3

- IRTF (Laboratoire) 3 flux

1. Broyage

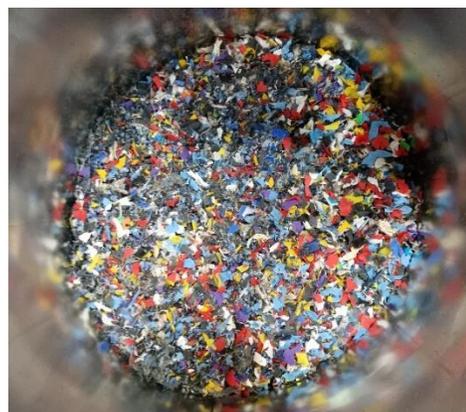
Avant broyage



Après broyage

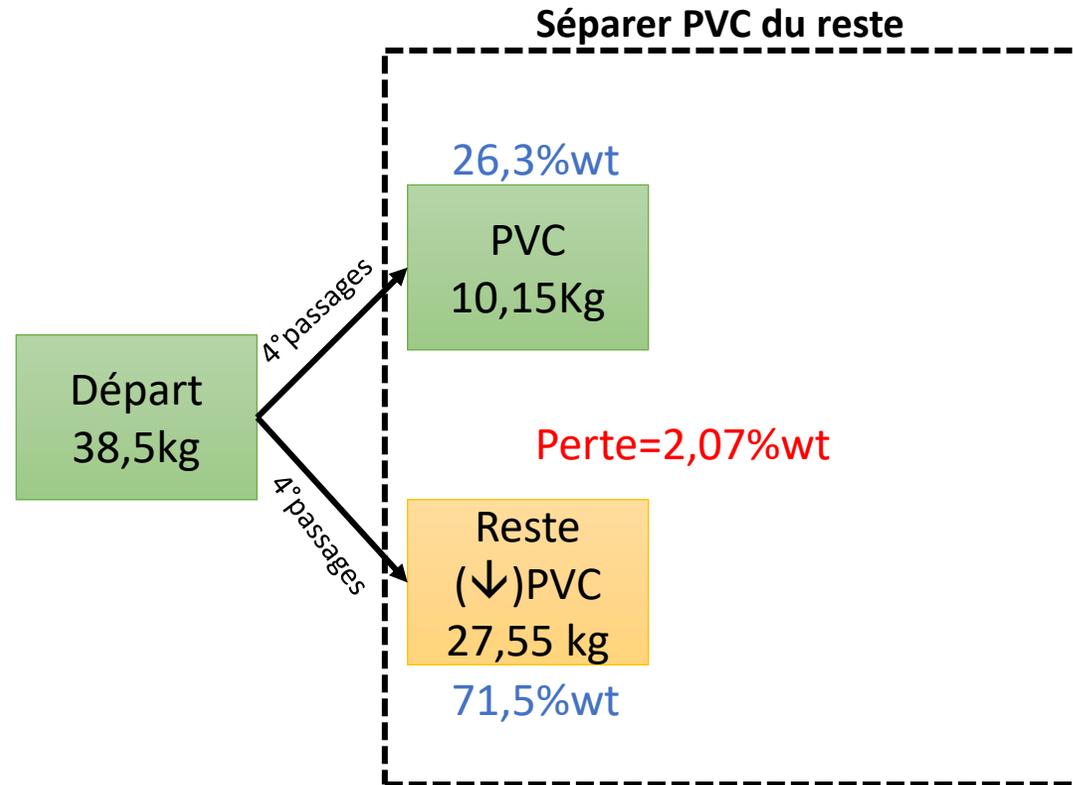


Particules <10 mm

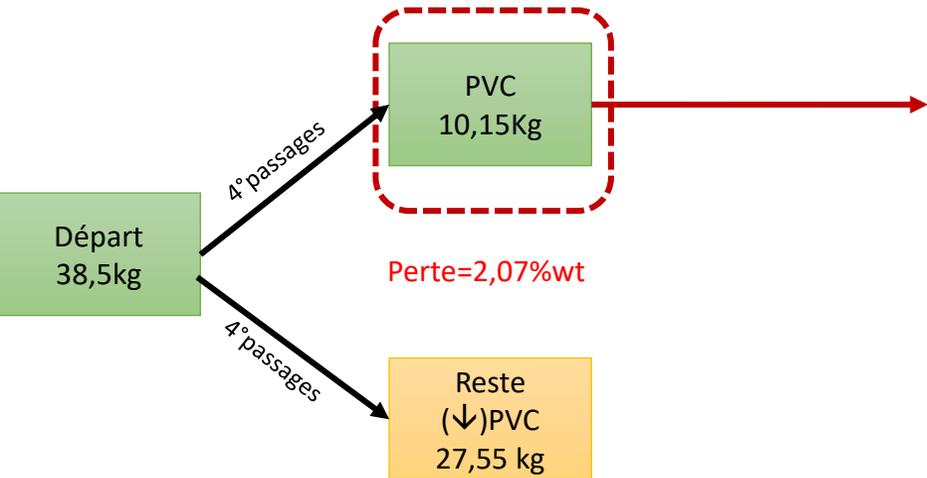


Masse Nette avant (kg)	Masse Nette après (kg)	Masse poussière (kg)	Perte (kg)	Débit théorique (kg/h)	Temps de traitement (h)
58,0	38,5	14,1	5,4	8,7	6

Commentaries: Broyage difficile. Découpage des articles volumineux à la cisaille, suivi d'un pré-broyage sans grille pour réduire la taille. Le démontage de certains articles (tente, kayak) est nécessaire pour retirer les attaches métalliques. Utilisation de la table vibrante pour éliminer les particules <10 mm.



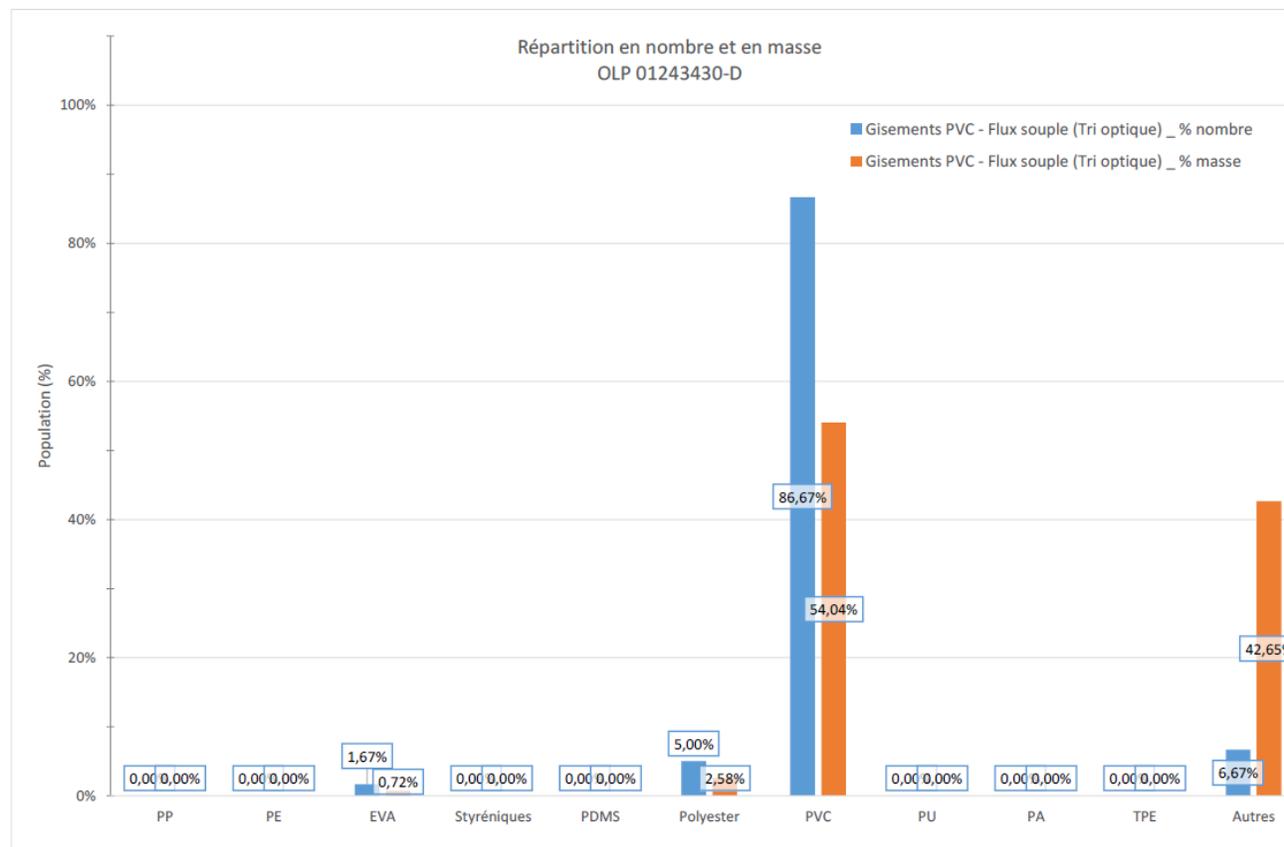
2+3. Tri optique-IRTF



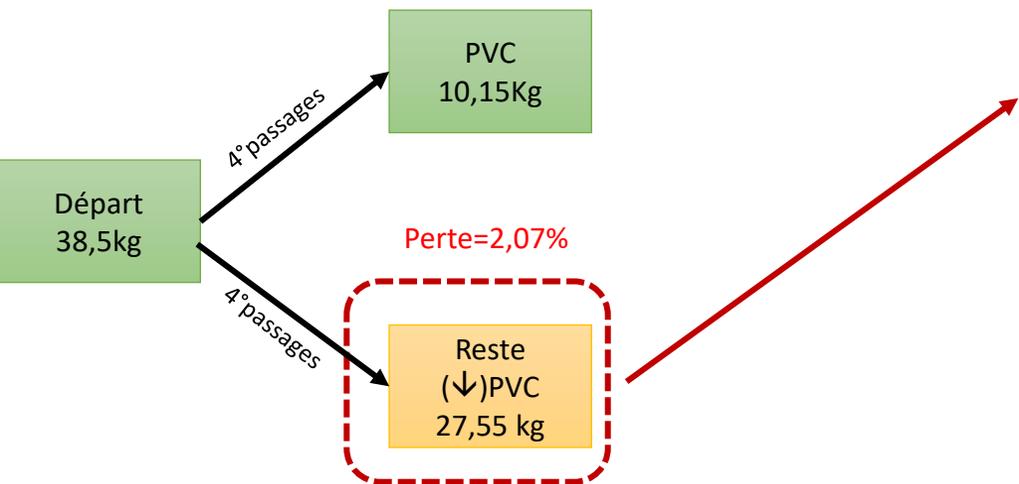
	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	0	0,00	0,0000	0,00
PE	0	0,00	0,0000	0,00
EVA	1	1,67	0,1530	0,72
Styréniques	0	0,00	0,0000	0,00
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	3	5,00	0,5493	2,58
PVC	52	86,67	11,4935	54,04
PU	0	0,00	0,0000	0,00
PA	0	0,00	0,0000	0,00
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	4	6,67	9,0712	42,65

Fraction PVC séparée → Lors du tri optique

L’empreinte spectrale des gisements contenus dans Flux souples après tri optique correspond principalement à du PVC (environ 87% en nombre), puis d’autres matières de nature variées comme des polyesters et EVA (pour environ 7% en nombre global). Environ 7% en nombre des morceaux correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières



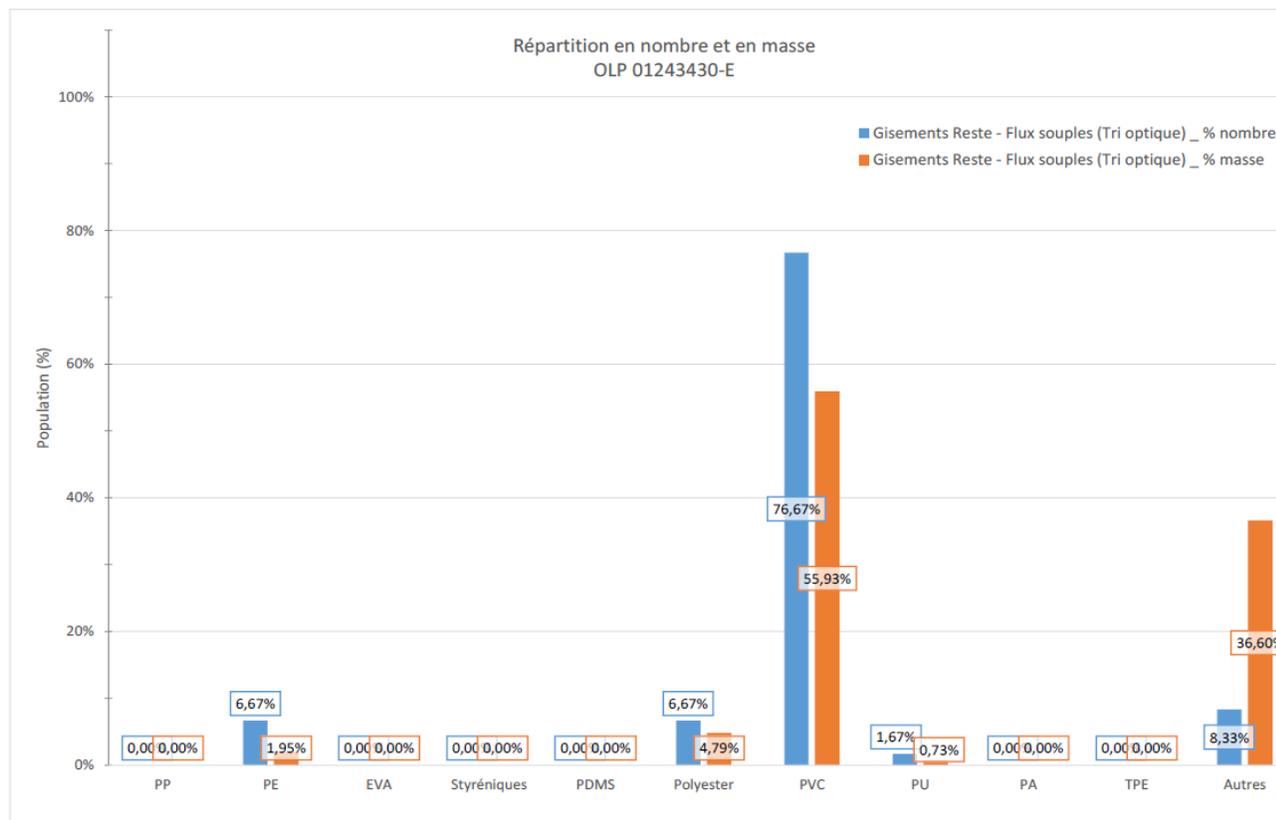
2+3. Tri optique-IRTF



	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	0	0,00	0,0000	0,00
PE	4	6,67	0,2318	1,95
EVA	0	0,00	0,0000	0,00
Styréniques	0	0,00	0,0000	0,00
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	4	6,67	0,5683	4,79
PVC	46	76,67	6,6405	55,93
PU	1	1,67	0,0867	0,73
PA	0	0,00	0,0000	0,00
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	5	8,33	4,3446	36,60

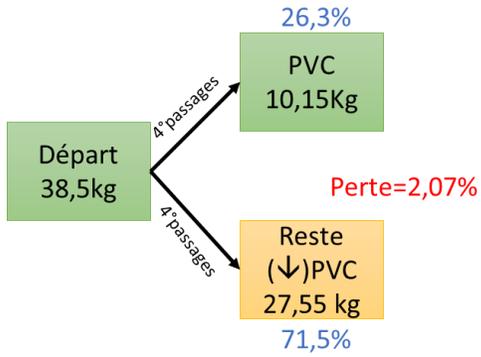
Reste → Lors du tri optique

L'emprunte spectrale des gisements après tri optique correspond principalement à du PVC (environ 77% en nombre), puis des morceaux de compositions différentes ont été caractérisés, environ 7% en nombre de polyéthylène et 7% en nombre de polyesters. Les 8% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières

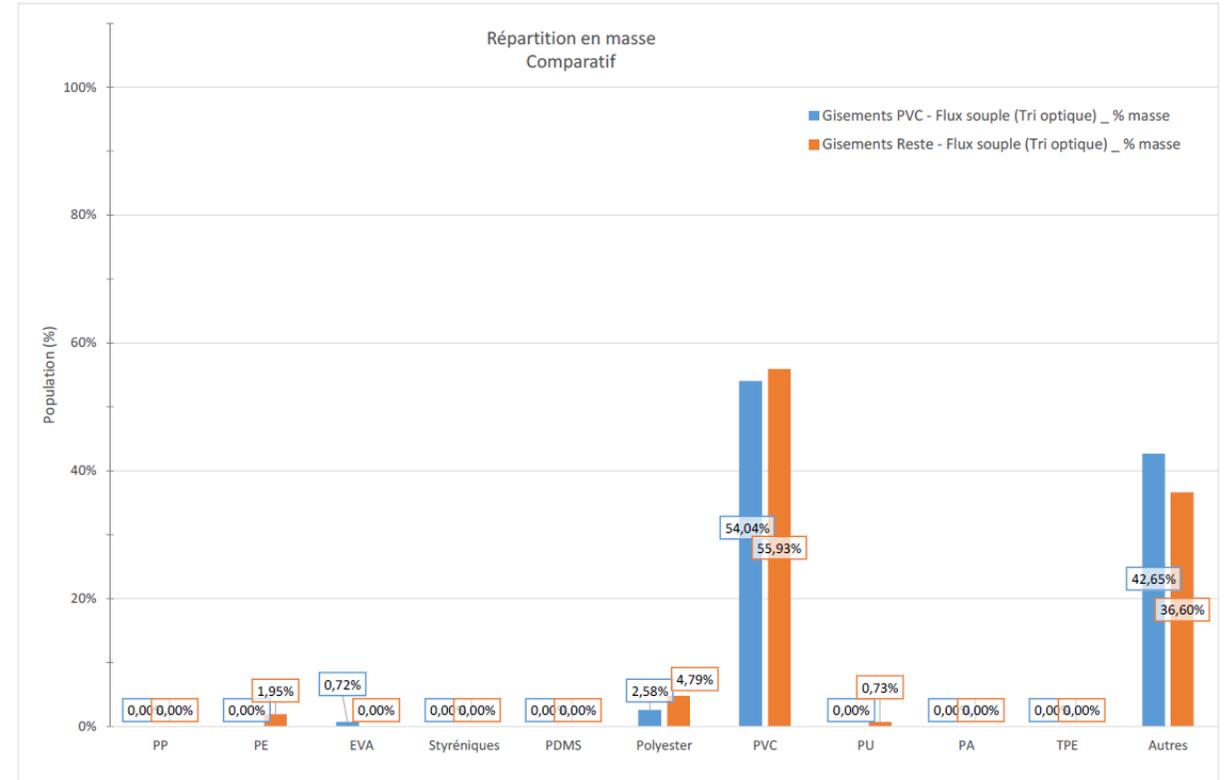
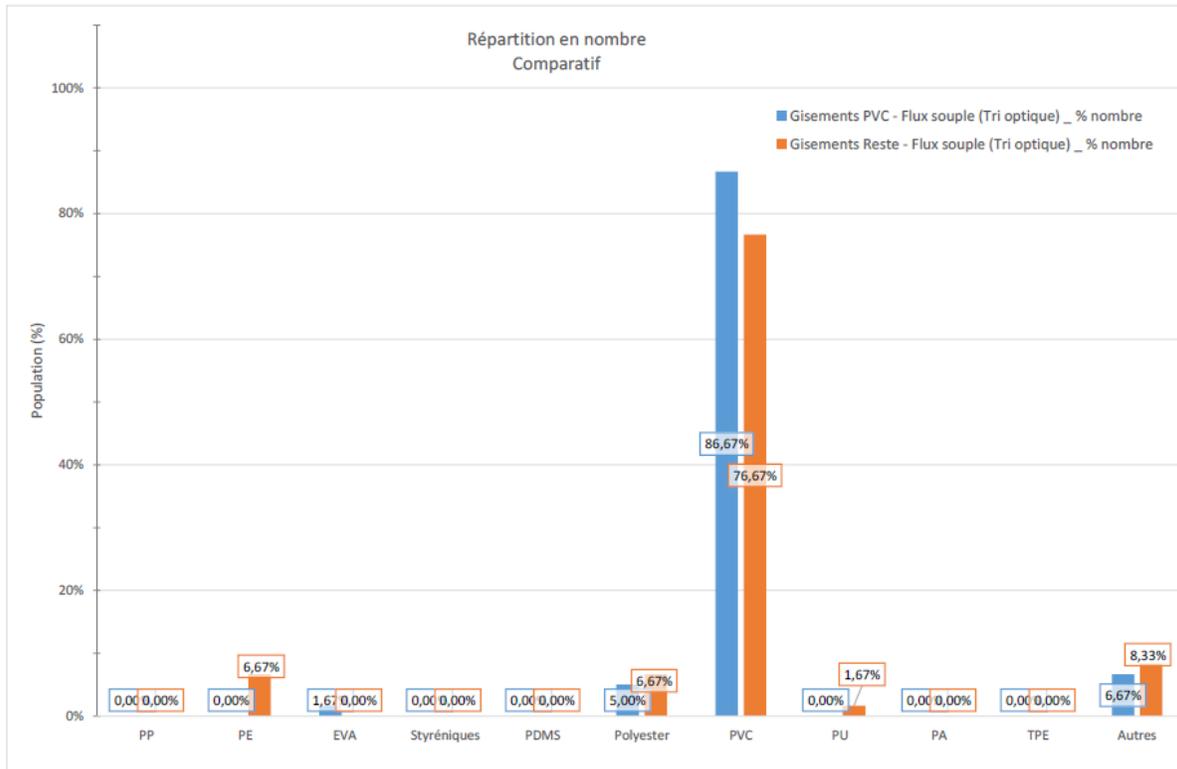


2+3. Tri optique-IRTF

Souple



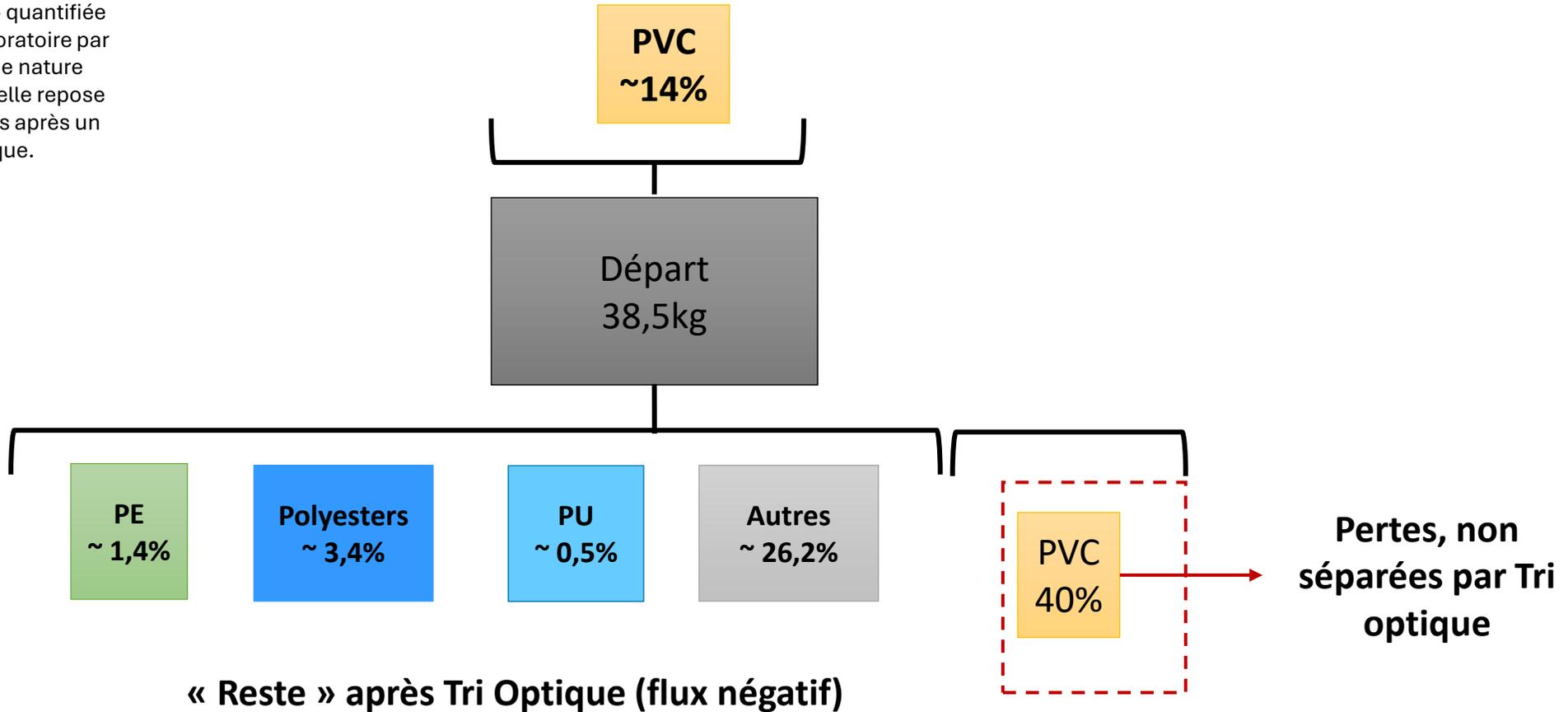
Comparatif en nombre et en masse



SOMMAIRE*

*Les calculs mentionnés sont basés sur le pourcentage massique « réel » des matériaux séparés après le processus de tri, en tenant compte de la « vraie concentration » quantifiée lors des analyses en laboratoire par IRTF. Cette analyse est de nature plutôt « qualitative » car elle repose sur des résultats obtenus après un échantillonnage statistique.

Séparés après Tri Optique



Points à remarquer

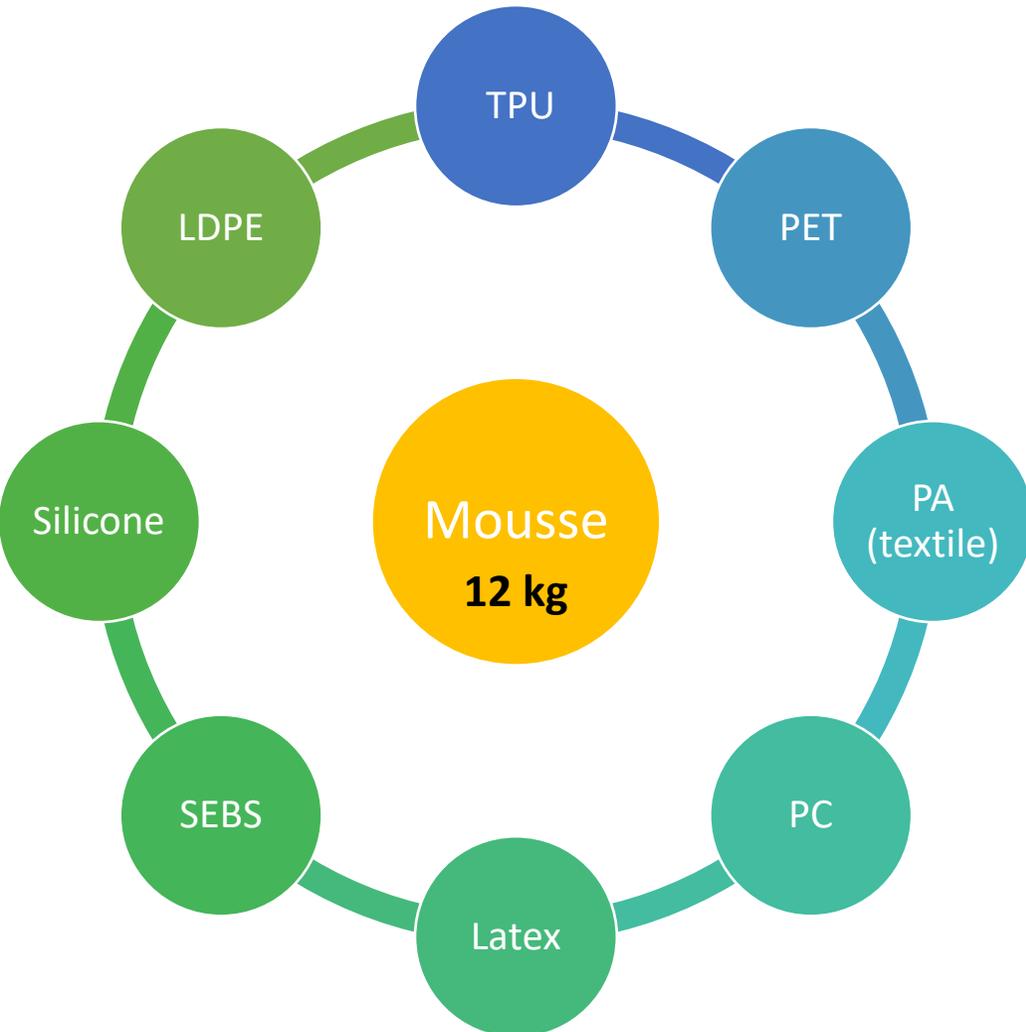
- Le broyage est difficile. Les articles volumineux sont découpés à la cisaille, puis subissent un pré-broyage sans grille. Certains articles (tentes, kayaks) nécessitent un démontage pour retirer les attaches métalliques.
- Les résultats du tri optique sont médiocres, avec une présence significative de PVC (environ 40 % en masse) dans le flux négatif (résidu après la séparation du PVC), ce qui est considéré comme une « erreur » de tri.
- Environ 26 % (en masse) des matières sont classées comme "non identifiées" car elles consistent en des pièces multimatières, comme les ballons tissés ou les balles de tennis, où l'on trouve du PVC tissé avec des élastomères et/ou des textiles (fibres)

Conclusions et perspectives

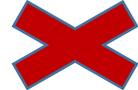
- Le flux est difficile à gérer en raison de la grande hétérogénéité des articles présents dans ce gisement, tant au niveau de la composition des matériaux (multimatières, combinaisons tissus/revêtements PVC, etc.) que de la taille des objets (kayaks, tentes, ballons, etc.).
- Les solutions de tri existantes pour ce type d'articles sont limitées. Mélanger des articles tels que les kayaks, tentes, et bouées, qui sont presque entièrement en PVC, avec des articles multimatières comme les ballons tissés, et les balles de tennis, est inefficace.
- Concernant les difficultés de tri de la matière une fois broyée, il y a deux alternatives
 - ✓ Si nous souhaitons utiliser une machine de tri optique plus « classique » comme celles présentes en centre de tri, il est recommandé de broyer avec une taille de grille supérieure à 30 mm pour faciliter la détection.
 - ✓ Investir dans une machine de tri spécialisée capable de traiter des broyats, permettant de séparer plus finement des broyats de petites tailles. L'avantage de cette solution est qu'elle permettrait de broyer plus finement et de faciliter la détection des pièces multimatières que nous pouvons trouver dans ce flux. (**voir slide 62**)
- Il est recommandé de procéder à un pré-tri des objets par catégorie (type, application, taille, sport?) et par matière. Le mélange d'articles trop différents est contre-productif et réduit le volume de PVC pouvant être valorisé.

Flux Mousse

Matières identifiées avec le Trinamix



Articles multimatières



Pas de présence métallique



Pas de démantèlement

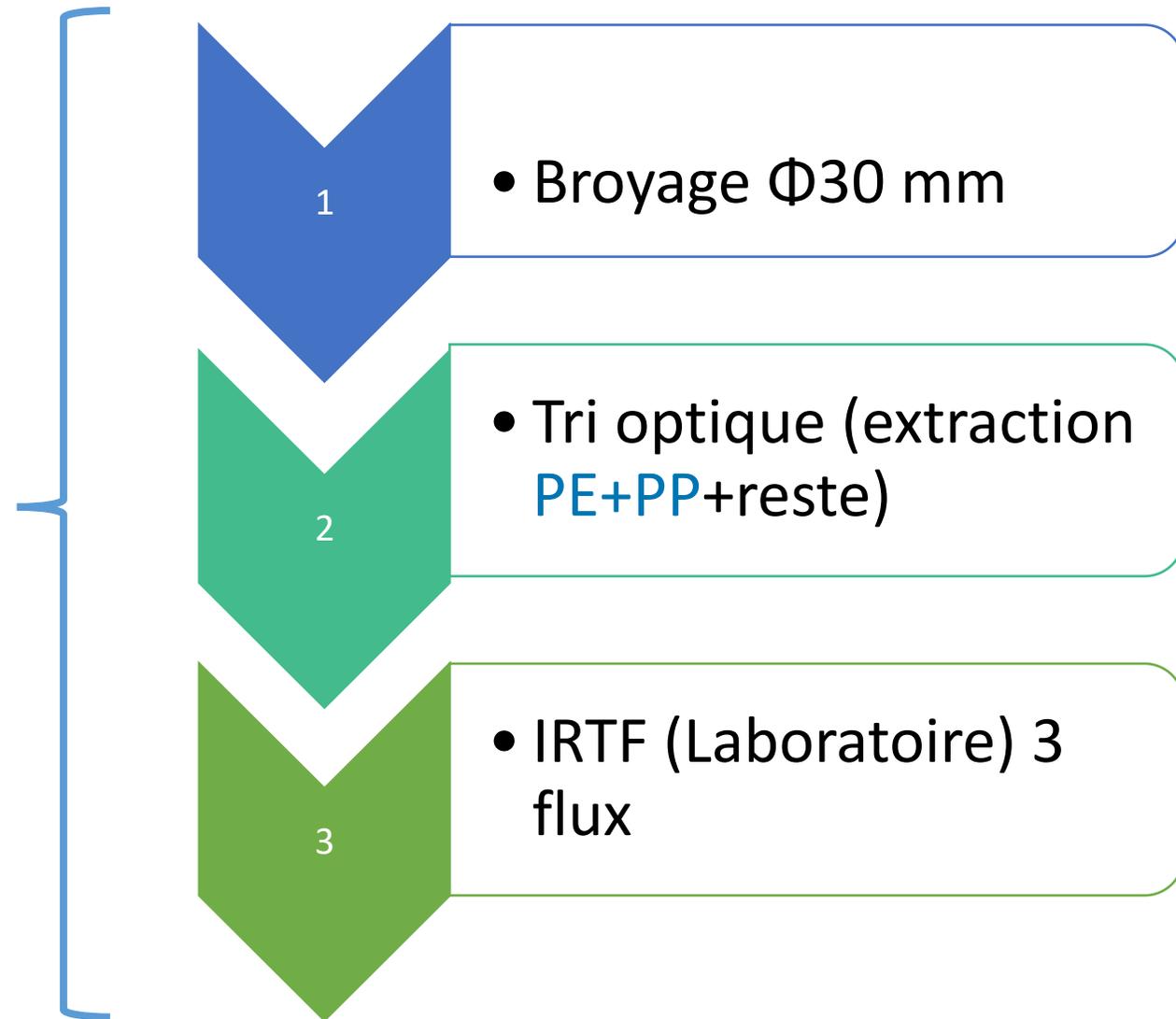


Liste Articles

- Planche natation
- Planche bodyboard
- Tapis yoga épais
- Boué expansé
- Tapis gym
- Gilet sauvetage
- Gants boxe

Flux
Mousse

Proposition étapes de traitement

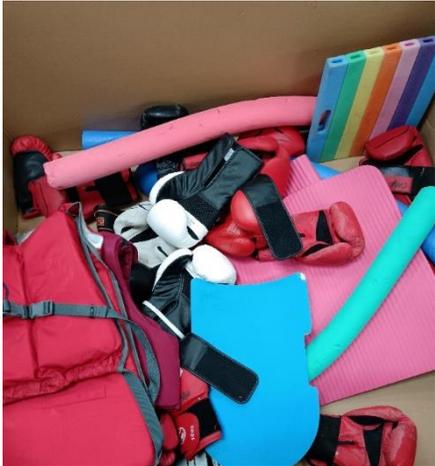


RESULTATS

Flux Mousse

1. Broyage

Avant broyage



Après broyage



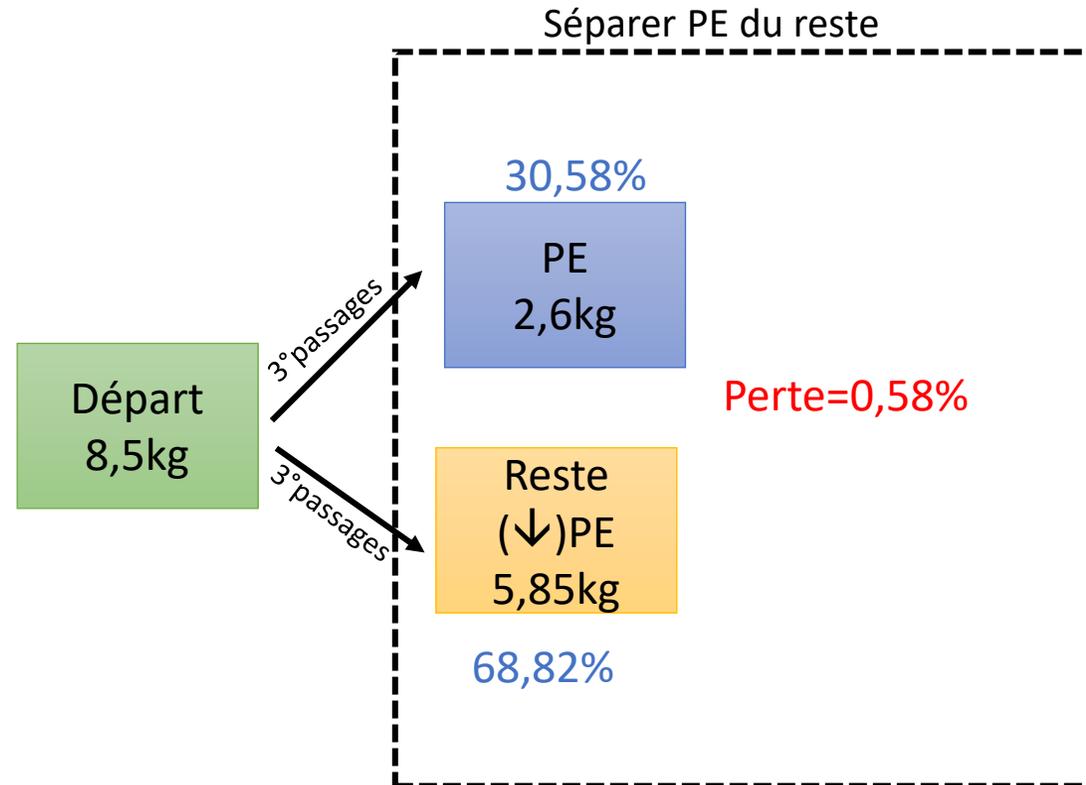
Particules <10 mm



Masse Nette avant (kg)	Masse Nette après (kg)	Masse poussière (kg)	Perte (kg)	Débit théorique (kg/h)	Temps de traitement (h)
10,5	8,5	1,5	0,5	2,5	4
Commentaries: RAS					

2. Tri optique

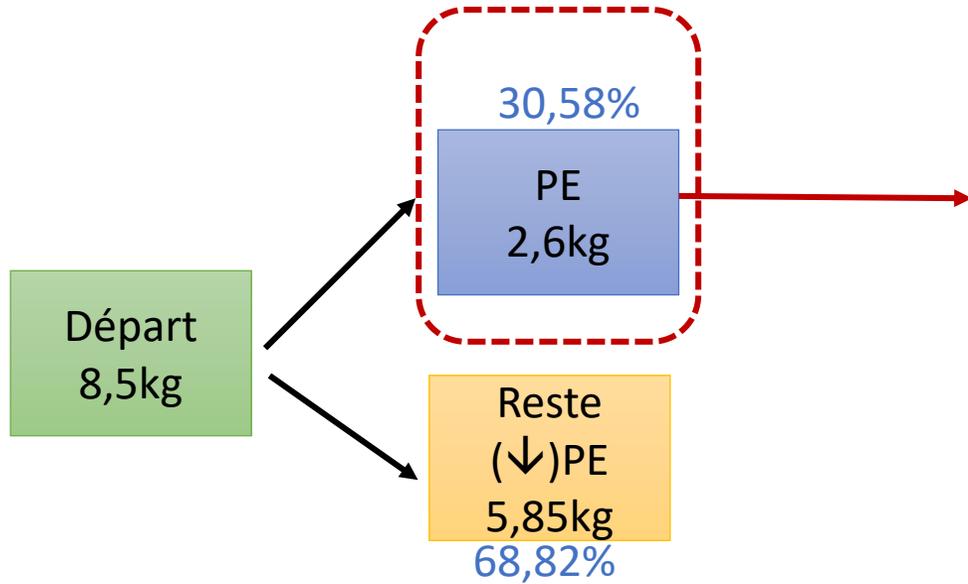
Mousse



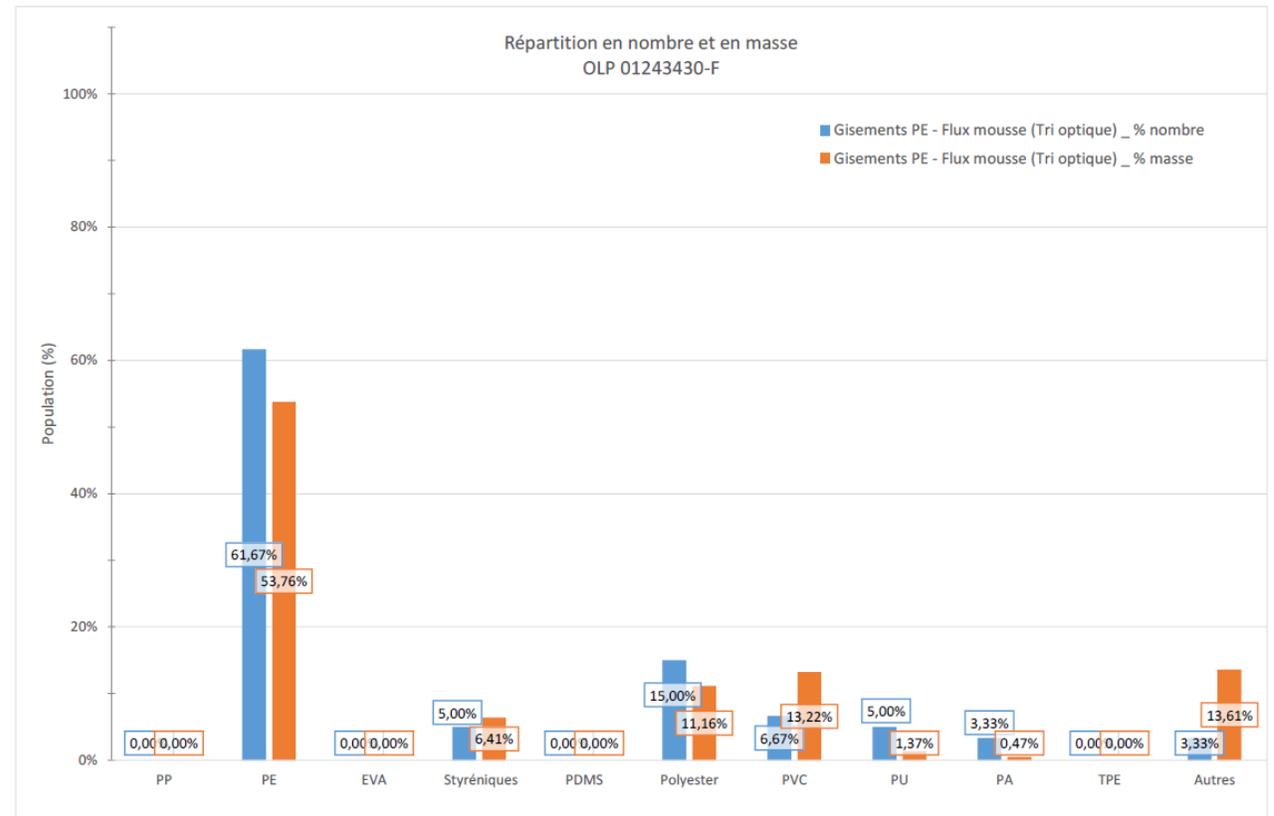
2+3. Tri optique-IRTF

Fraction PE séparée → Lors du tri optique

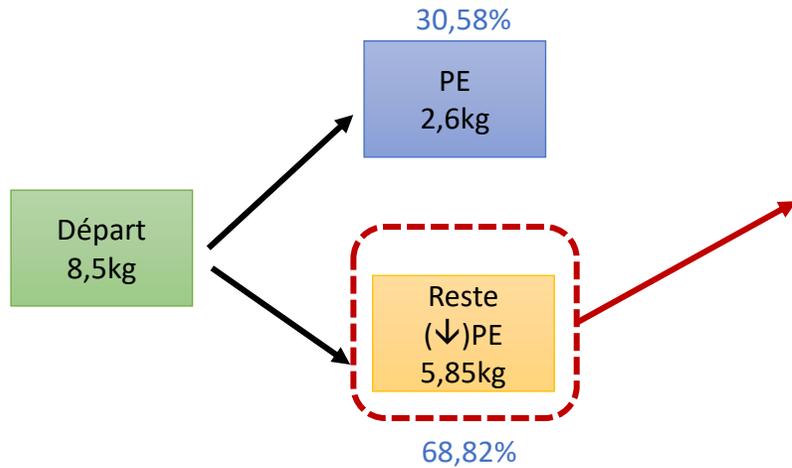
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du polyéthylène (environ 62% en nombre), et à d'autres mélanges de matières de compositions variées comme des polyesters, des PVC, composés styréniques, des composés base PU et des polyamides. Les 3% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières



	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	0	0,00	0,0000	0,00
PE	37	61,67	3,9155	53,76
EVA	0	0,00	0,0000	0,00
Styréniques	3	5,00	0,4667	6,41
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	9	15,00	0,8129	11,16
PVC	4	6,67	0,9626	13,22
PU	3	5,00	0,1001	1,37
PA	2	3,33	0,034	0,47
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	2	3,33	0,9915	13,61



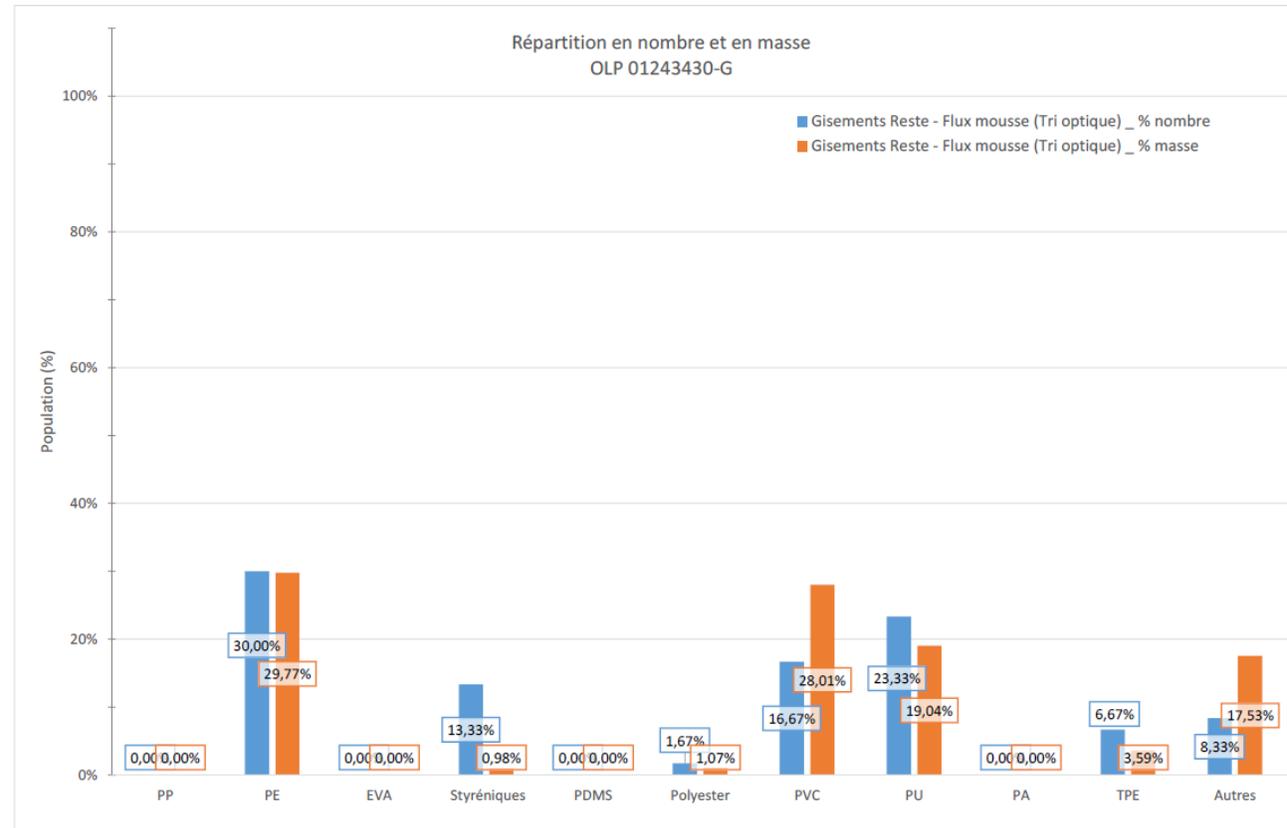
2+3. Tri optique-IRTF



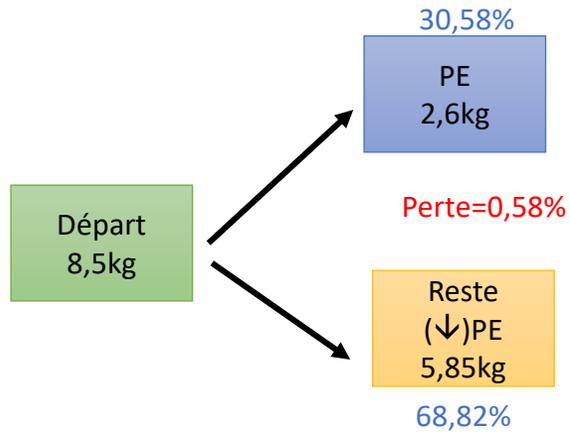
Reste → Lors de l'étape de tri optique

L'emprunte spectrale des gisements contenus dans après tri optique correspond principalement à du polyéthylène (environ 30% en nombre), et à d'autres mélanges de matières de compositions variées comme des polyurethanes, des PVC, composés styréniques, des TPE (pour environ 62 % en nombre global). Les 8% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

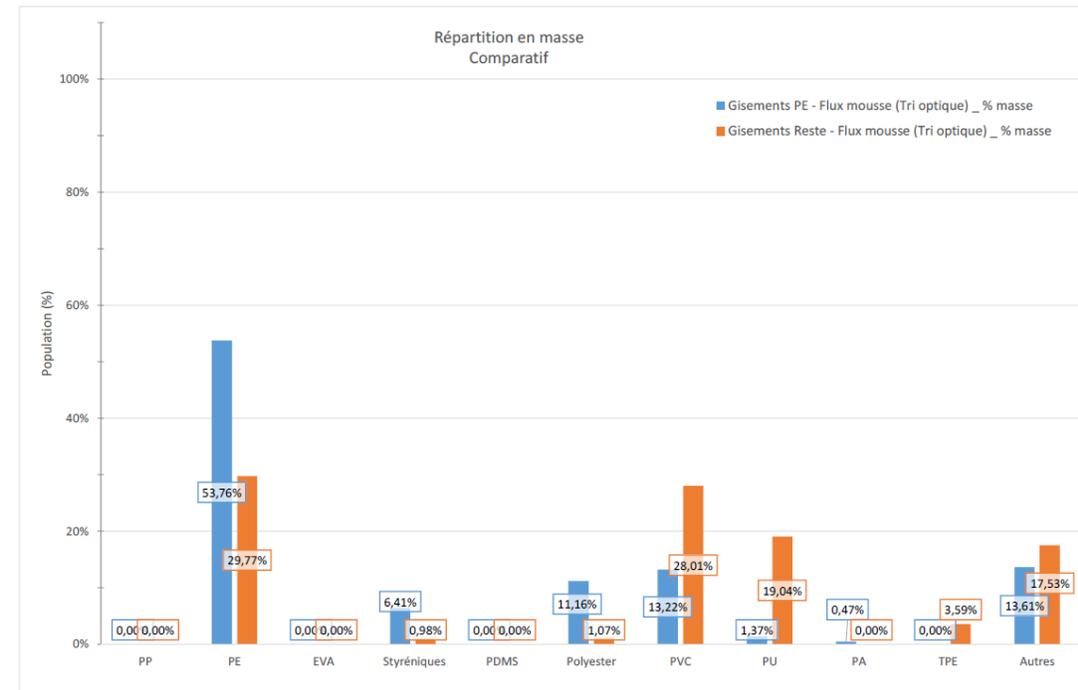
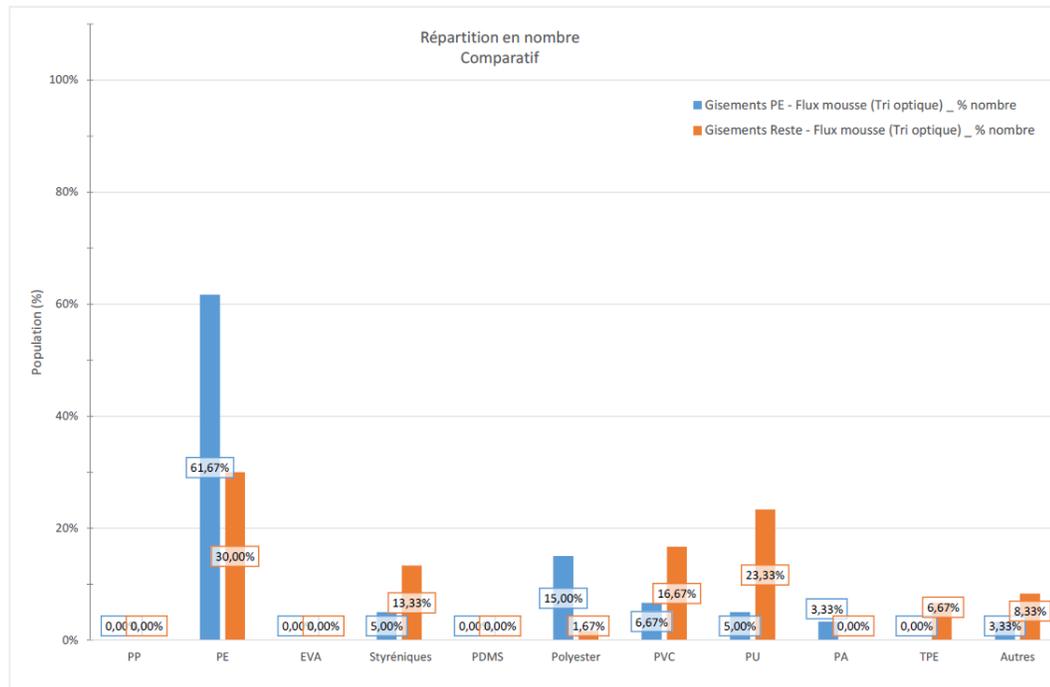
	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	0	0,00	0,0000	0,00
PE	18	30,00	4,5188	29,77
EVA	0	0,00	0,0000	0,00
Styréniques	8	13,33	0,1485	0,98
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	1	1,67	0,1630	1,07
PVC	10	16,67	4,2519	28,01
PU	14	23,33	2,8904	19,04
PA	0	0,00	0,0000	0,00
TPE	4	6,67	0,5443	3,59
Autres	5	8,33	2,6607	17,53



2+3. Tri optique-IRTF



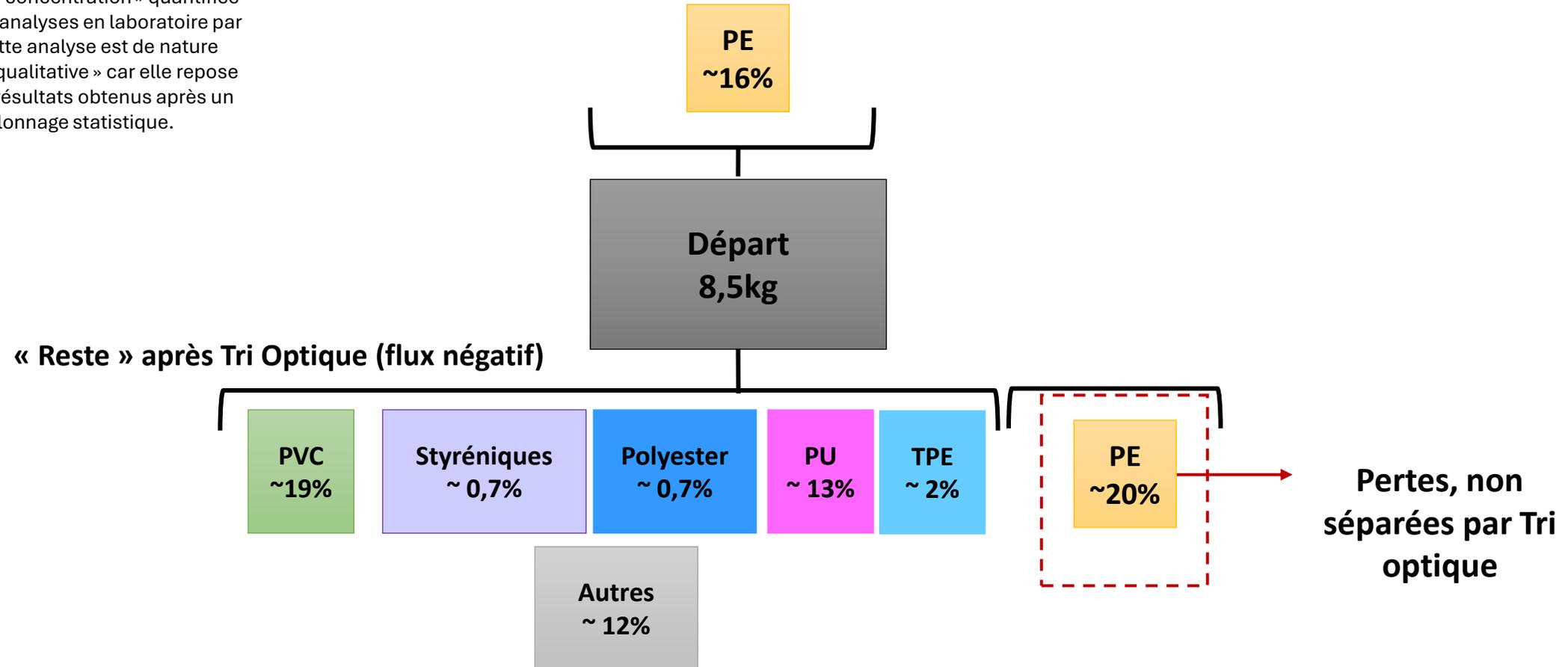
Comparatif en nombre et en masse



SOMMAIRE *

*Les calculs mentionnés sont basés sur le pourcentage massique « réel » des matériaux séparés après le processus de tri, en tenant compte de la « vraie concentration » quantifiée lors des analyses en laboratoire par IRTF. Cette analyse est de nature plutôt « qualitative » car elle repose sur des résultats obtenus après un échantillonnage statistique.

Séparés après Tri Optique



Points à remarquer

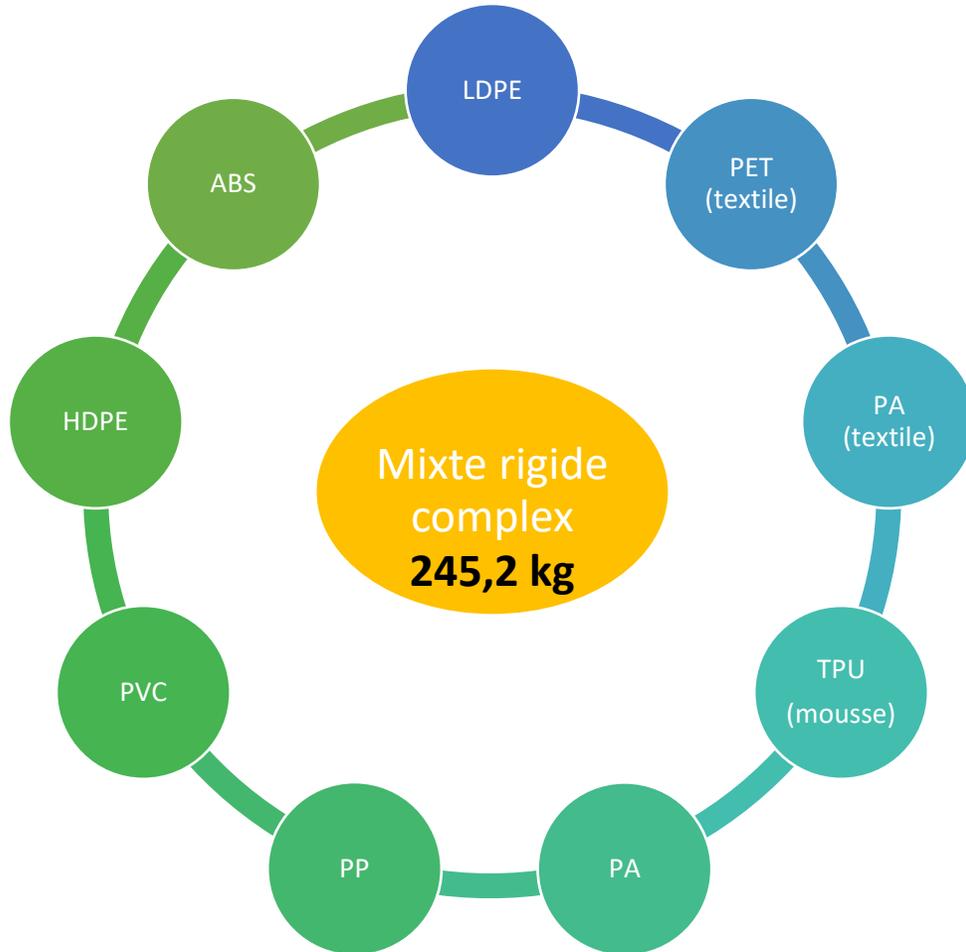
- Les résultats du tri optique sont médiocres, car un pourcentage massique significative de PE (~20%) n'a pas été correctement séparée et classée dans le flux prévu pour le PE.
- La taille du broyat a joué un rôle important dans ces résultats, car la nature mousseuse du matériau rend les broyats très légers et volatils. Par conséquent, la machine a eu des difficultés à bien détecter et trier les échantillons.
- Un pourcentage massique important de polyesters (~3%), de Styréniques (~2%) et de PVC (~4%) a été identifié dans le « flux PE » (prévu pour séparer uniquement le PE). Ces pourcentages de Styréniques, Polyesters, et PVC ont été détecté et éjecté par la machine de tri optique comme étant du PE. Cela signifie que l'erreur de tri est significative.

Conclusions et perspectives

- Le flux est difficile à gérer en raison de la grande hétérogénéité des articles présents dans ce gisement, au niveau de la composition des matériaux (multimatières, combinaisons mousses/revêtements PVC et ou autres, etc.)
- Il est recommandé de procéder à un pré-tri des objets par catégorie (type, application, taille, sport?) et par matière. Le mélange d'articles trop différents est contre-productif et réduit le volume du PE pouvant être valorisé.
- La technique de tri optique permet de détecter et de séparer les matériaux en fonction des recettes, cependant, certaines consignes doivent être respectées. Il faut prendre en compte la taille et les dimensions des objets, ainsi que la nature de l'objet lui-même (s'il s'agit d'un objet multicouche ou multi matière), car la machine ne pourra pas détecter tous les composants.
- Il est important de noter qu'actuellement, nous ne connaissons pas les effets des agents moussants chimiques sur la qualité du PE après recyclage.

Flux Mixte complexe rigide

Matières identifiées avec le Trinamix



Articles multimatières



Présence métallique



Besoin démantèlement

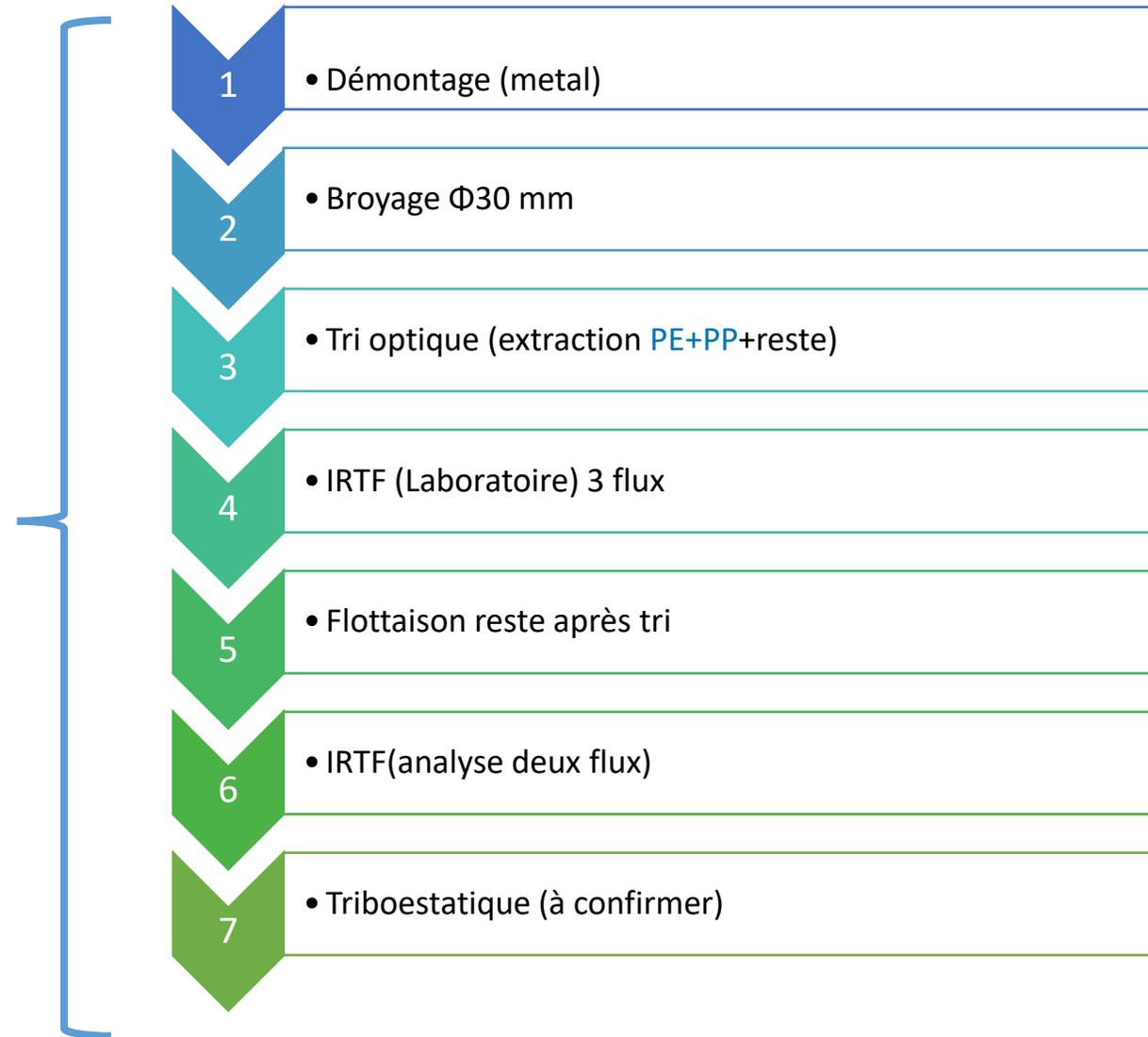


Liste Articles

- Pince nez
- Chaussure de ski
- Trotinette
- Roller enfant
- Casque
équitation/ski/skate/vélo
- Raquette neige
- Fixation snowboarding
- Garde debut
- Kit panier basket
- Roue fitness
- Planche skateborad
- Planche skate deux roues
- Genouillere skating
- Masque plongé
- Lunettes piscine
- Masque ski
- Fleur abdo

Mixte
complex
rigide

Proposition étapes de traitement



RESULTATS

Flux Mixte Complexe rigide

1. Démontage

Mixte complex
rigide

Chaussures de ski

15 min /article



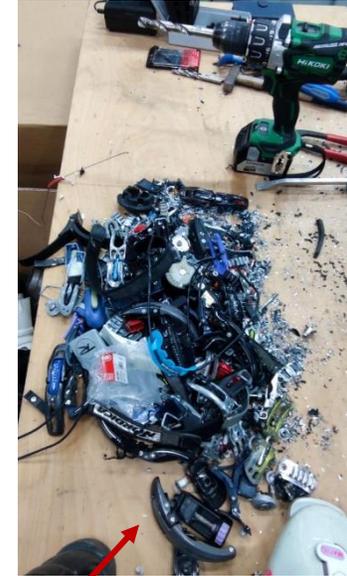
10min /article



Rollers



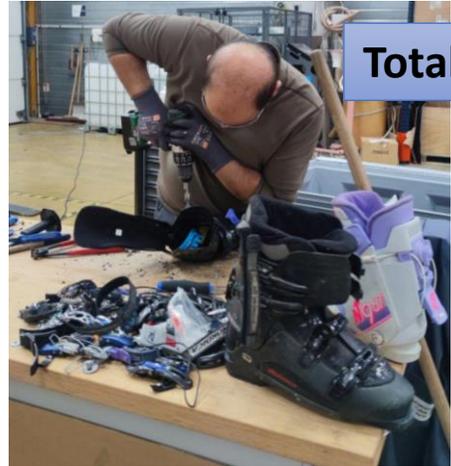
Reste ferrailles



Après démontage



Total d'heures passés: 30h



Total démonté: ~50kg



Total démonté: ~20kg



Reste
55 kg

Reste ferrailles



2. Broyage

Mixte complexe
rigide

Avant broyage



Après broyage

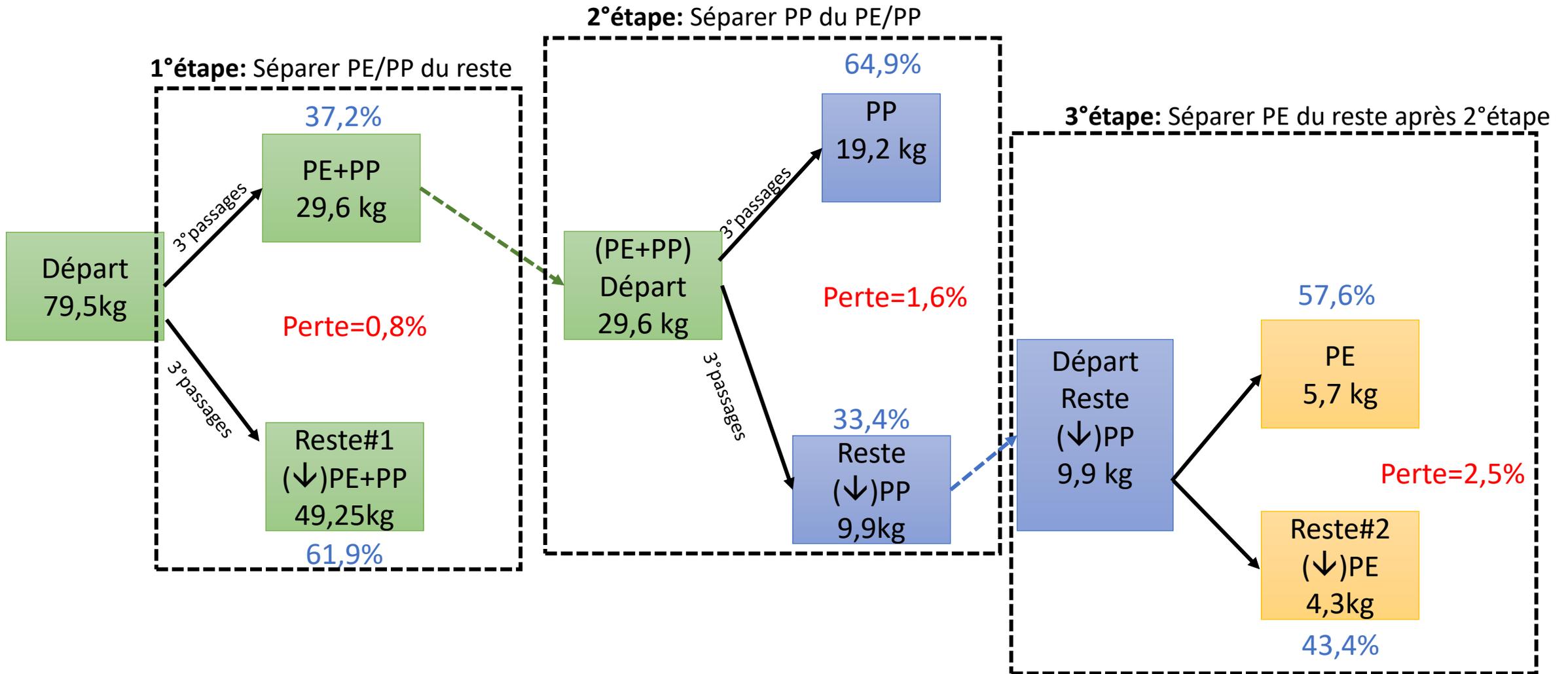


Particules <10 mm

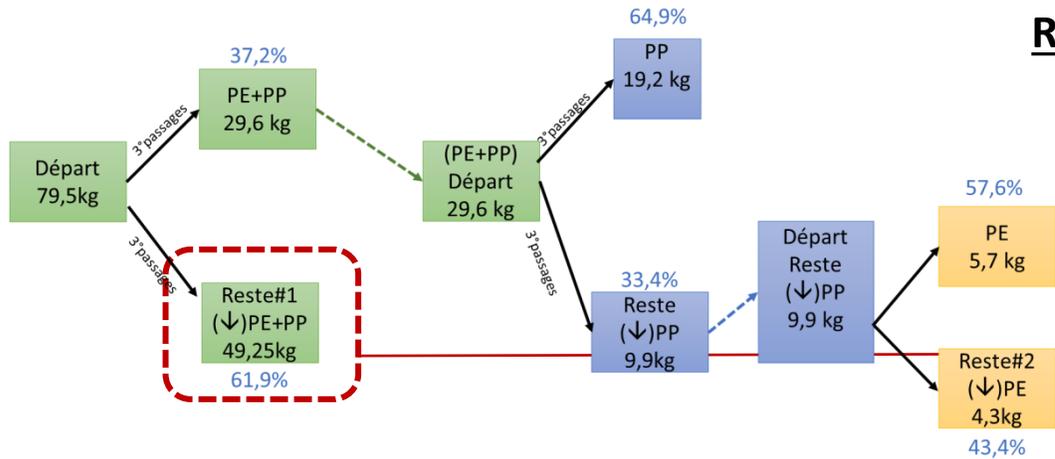


Masse Nette avant (kg)	Masse Nette après (kg)	Masse poussière (kg)	Perte (kg)	Débit théorique (kg/h)	Temps de traitement (h)
95,0	79,5	13,8	1,7	8,4	11
Commentaries: RAS. Dépoussiérage pour enlever les particules de <10 mm					

3. Tri optique



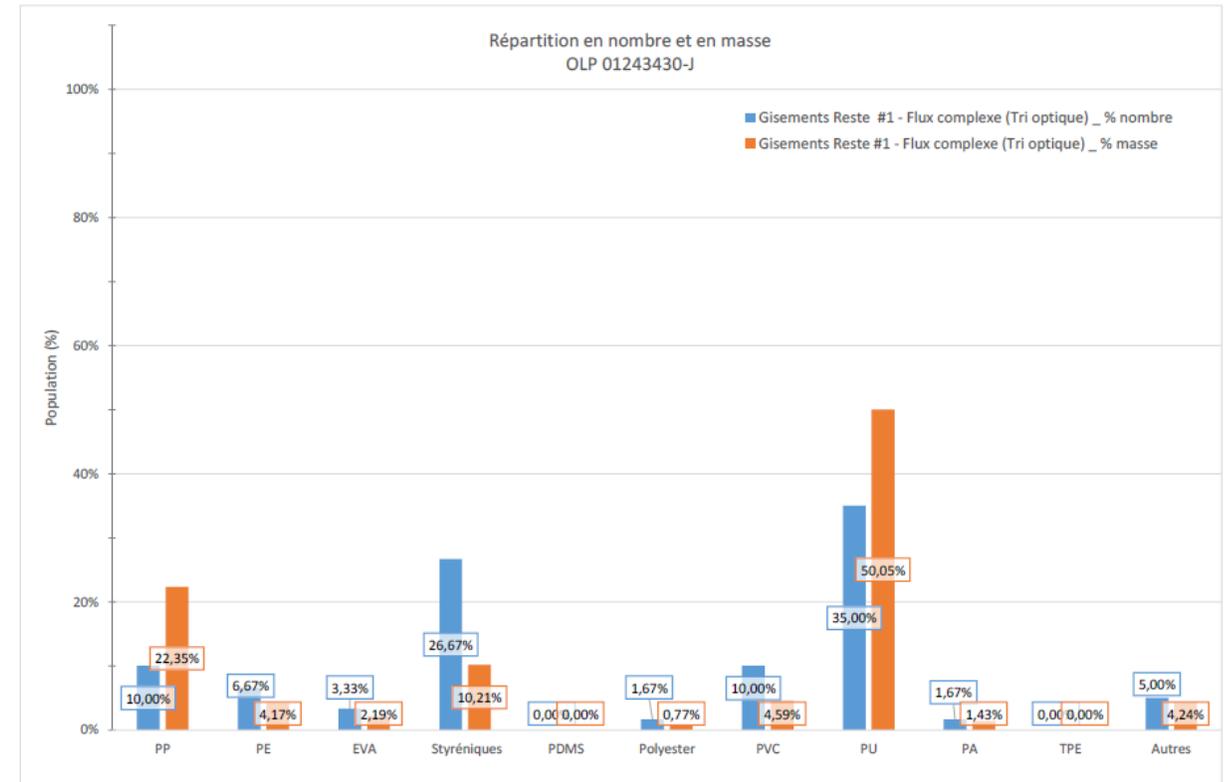
3+4. Tri optique(1^oétape)+IRTF



Reste # 1 → Lors de la 1^oétape de tri optique

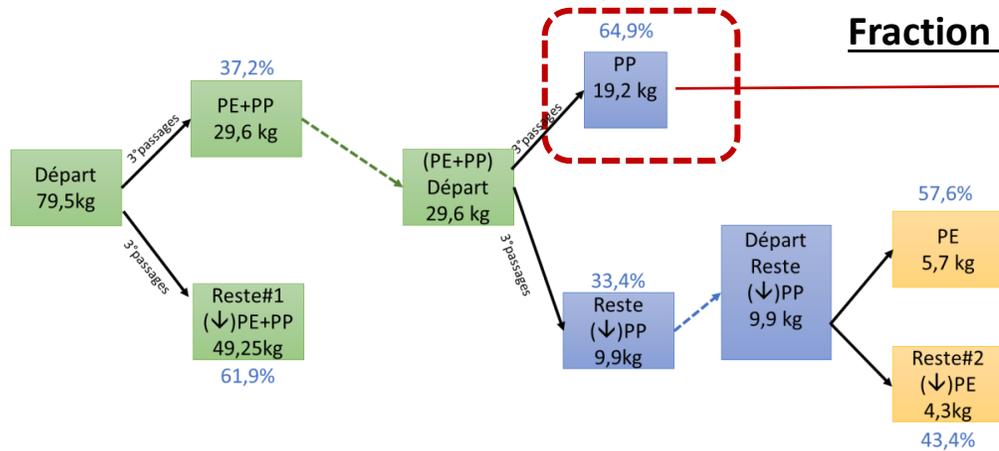
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du PU (35% en nombre), et à d'autres mélanges de matières de compositions variées comme des composés styréniques, du PVC, du PP, du PE, de l'EVA, du PA et polyester (pour environ 60 % en nombre global). Les 5% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	6	10,00	10,3416	22,35
PE	4	6,67	1,9305	4,17
EVA	2	3,33	1,0134	2,19
Styréniques	16	26,67	4,7250	10,21
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	1	1,67	0,3549	0,77
PVC	6	10,00	2,1257	4,59
PU	21	35,00	23,1648	50,05
PA	1	1,67	0,6639	1,43
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	3	5,00	1,9607	4,24



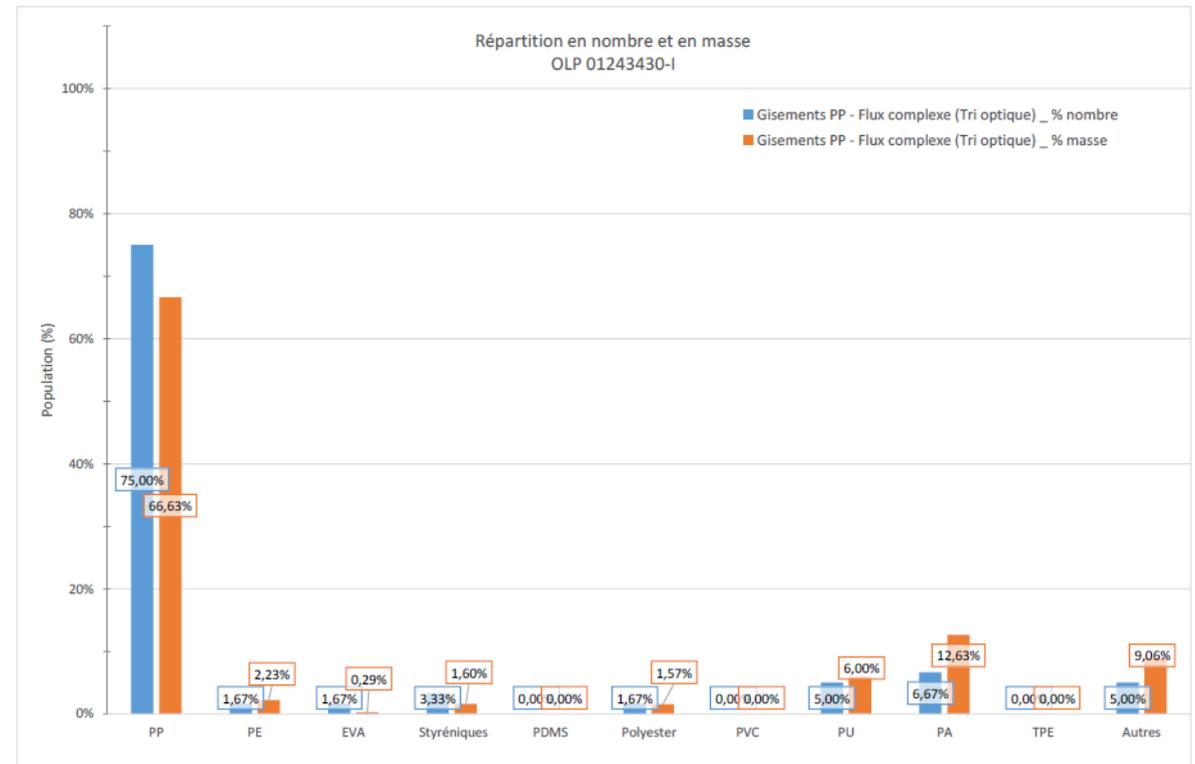
3+4. Tri optique(2^eétape) +IRTF

Fraction PP séparée → Lors de la 2^eétape de tri optique



L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du polypropylène (75% en nombre), et à d'autres mélanges de matières de compositions variées comme des polyamides, des PU, composés styréniques, (pour environ 15 % en nombre global). Quelques morceaux correspondant à de l'EVA, du PE et du polyester (pour environ 5 % en nombre global). Les 5% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

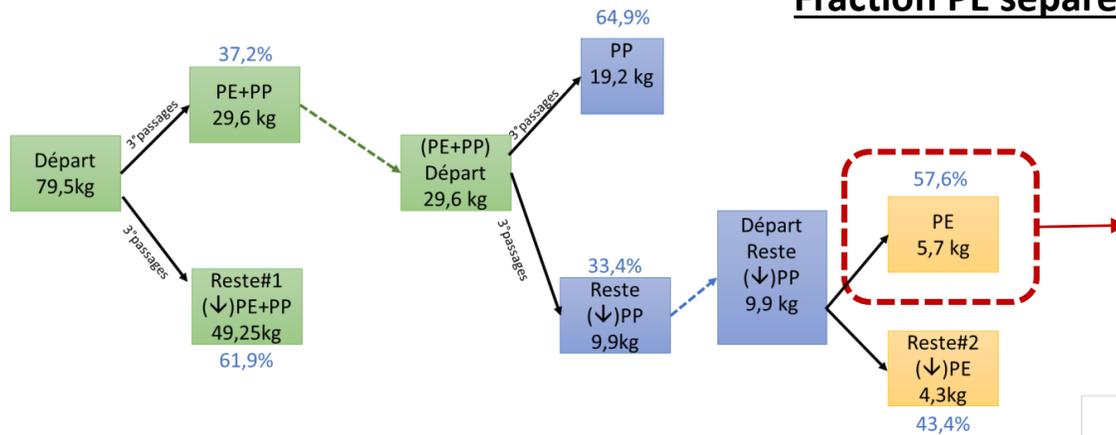
	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	45	75,00	29,3770	66,63
PE	1	1,67	0,9828	2,23
EVA	1	1,67	0,1260	0,29
Styréniques	2	3,33	0,7042	1,60
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	1	1,67	0,6909	1,57
PVC	0	0,00	0,0000	0,00
PU	3	5,00	2,6440	6,00
PA	4	6,67	5,5705	12,63
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	3	5,00	3,9933	9,06



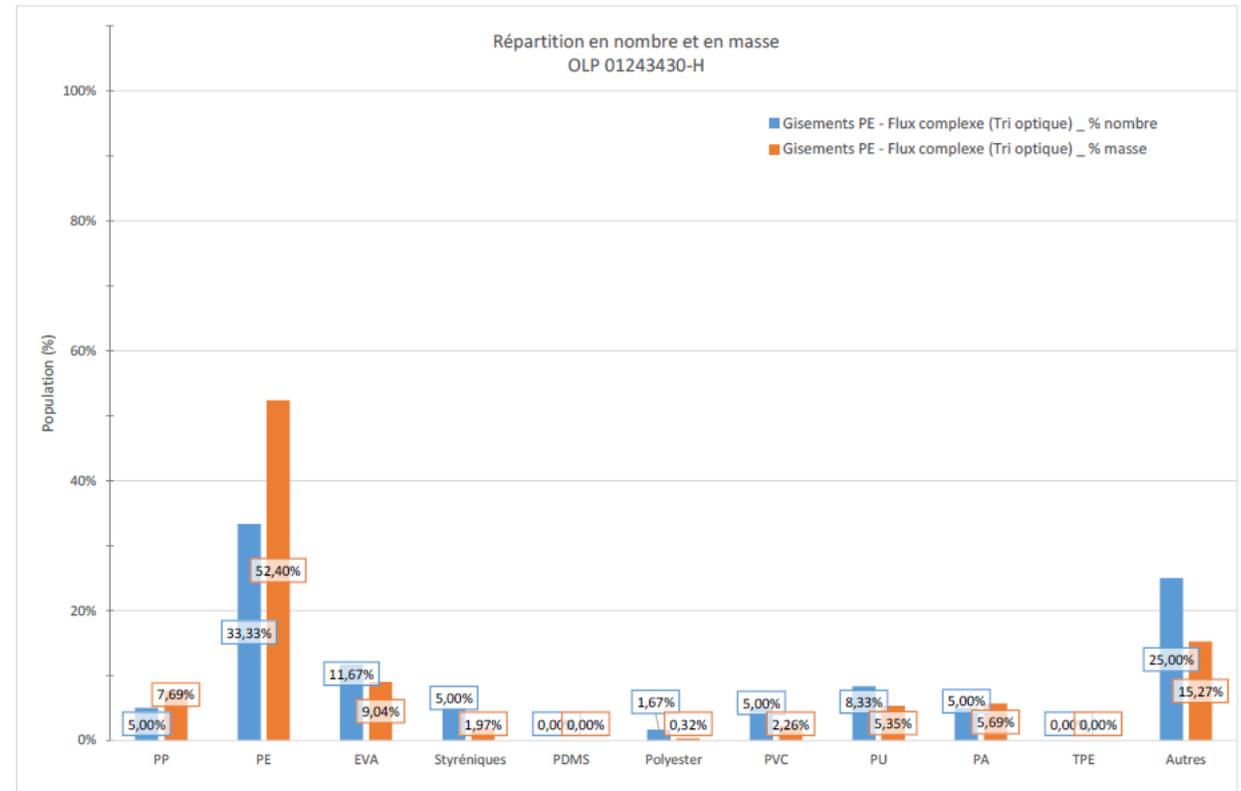
3+4. Tri optique(3^eétape)+IRTF

Fraction PE séparée → Lors de la 3^eétape de tri optique

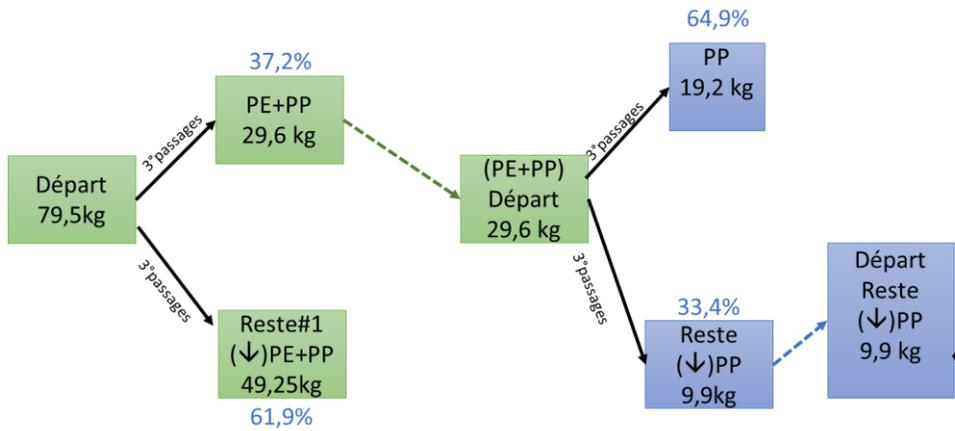
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à du PE (environ 33% en nombre), et à d'autres mélanges de matières de compositions variées comme l'EVA, le PU, le PP, le PA, le PVC, des polyesters et des composés styréniques (pour environ 42 % en nombre global). Les 25% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.



	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	3	5,00	2,8304	7,69
PE	20	33,33	19,2774	52,40
EVA	7	11,67	3,3243	9,04
Styréniques	3	5,00	0,7262	1,97
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	1	1,67	0,1171	0,32
PVC	3	5,00	0,8313	2,26
PU	5	8,33	1,9694	5,35
PA	3	5,00	2,0942	5,69
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	15	25,00	5,6166	15,27



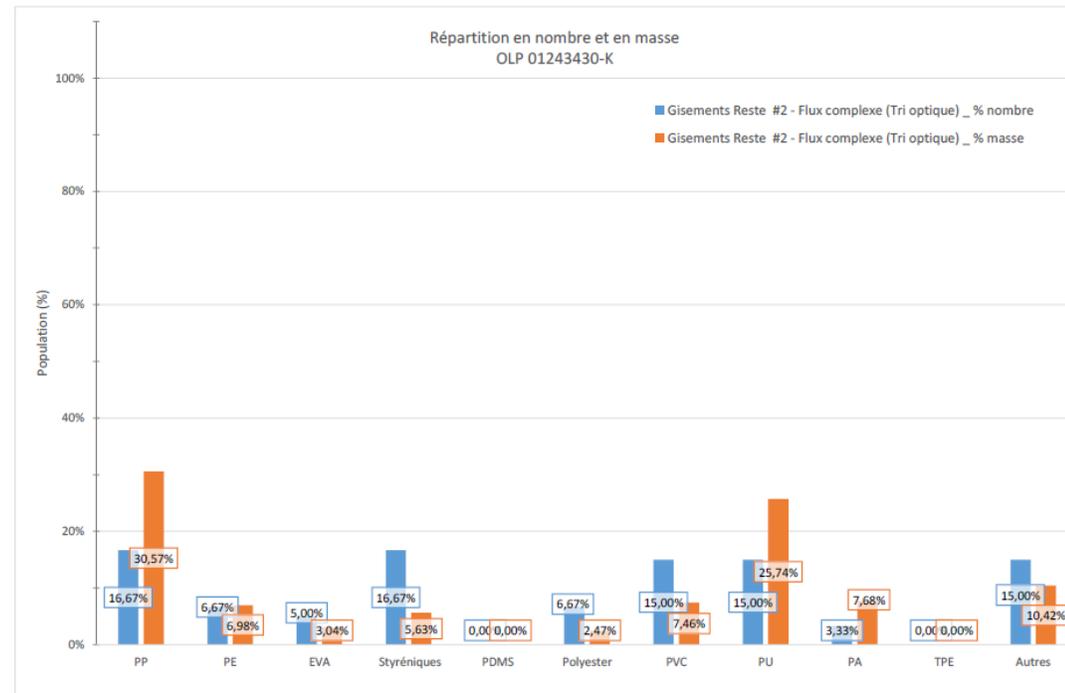
3+4. Tri optique (3^e étape)+IRTF



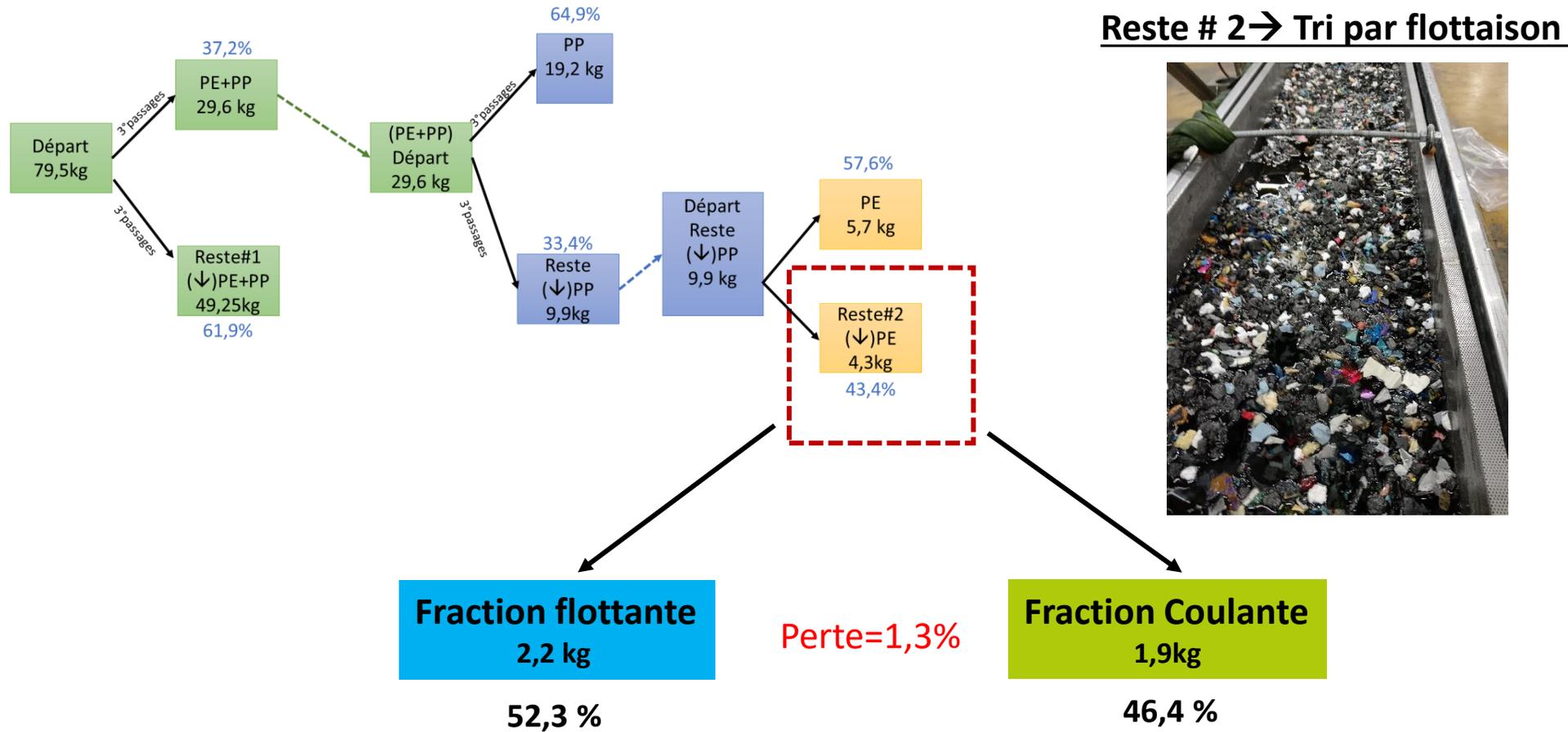
Reste # 2 → Lors de la 3^e étape de tri optique

L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon après tri optique correspond principalement à mélange en quantité équivalente de PP, de composés styréniques, de PU et de PVC (pour environ 63% en nombre), et à d'autres matières en plus faible quantité telles que polyesters, EVA, PE et PA (pour environ 22 % en nombre global). Les 15% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	10	16,67	14,0353	30,57
PE	4	6,67	3,2020	6,98
EVA	3	5,00	1.3976	3,04
Styréniques	10	16,67	2,5865	5,63
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyesters	4	6,67	1,1335	2,47
PVC	9	15,00	3,4233	7,46
PU	9	15,00	11,8160	25,74
PA	2	3,33	3,5273	7,68
TPE	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	9	15,00	4,7851	10,42



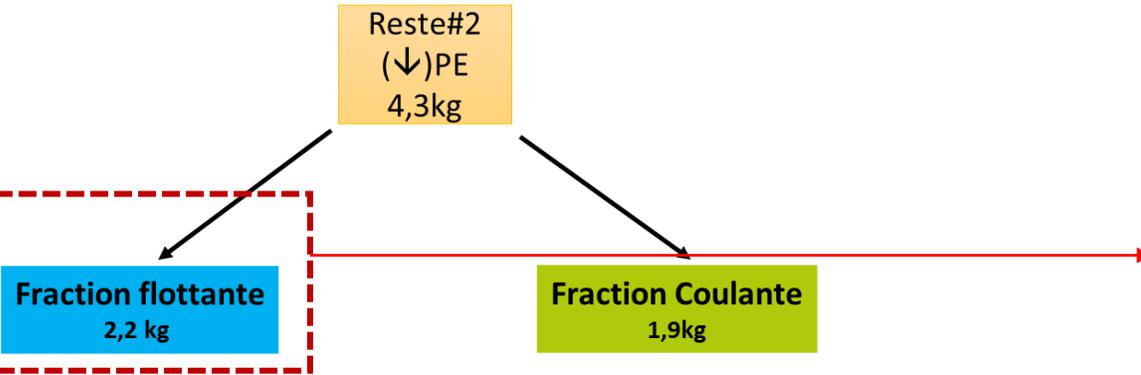
5. Tri par Flottaison



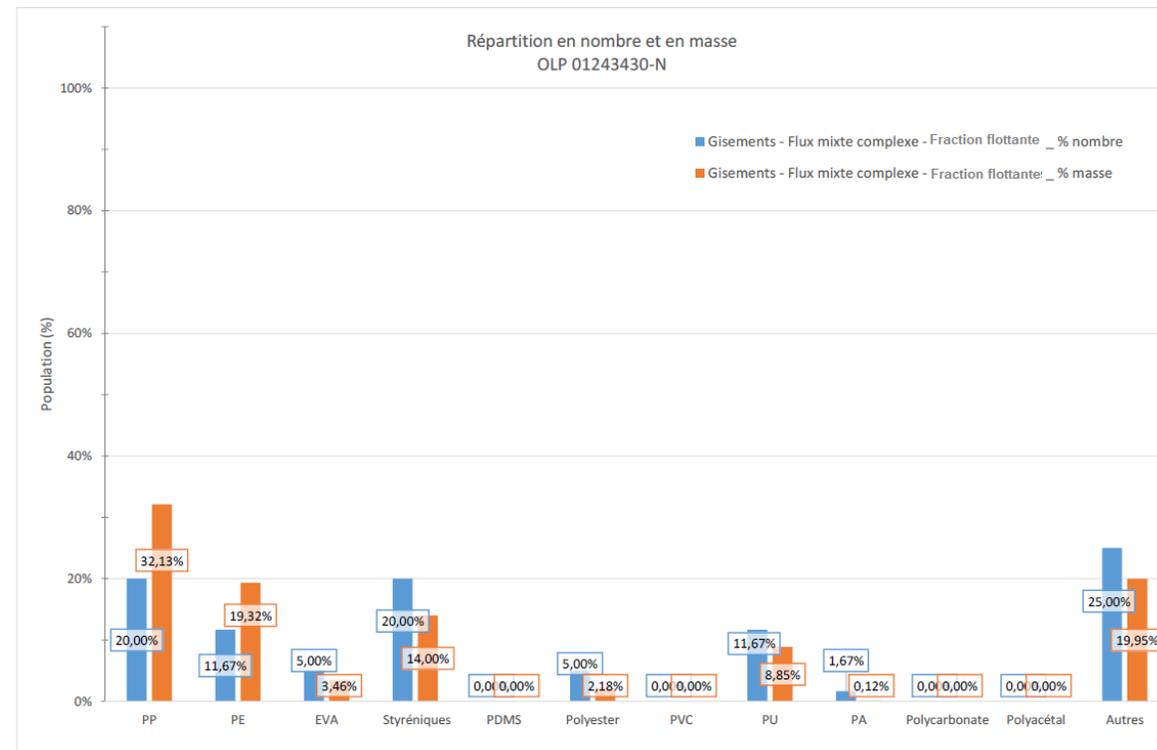
5+6. Tri par Flottaison+IRTF

Fraction Flottante → Tri par flottaison

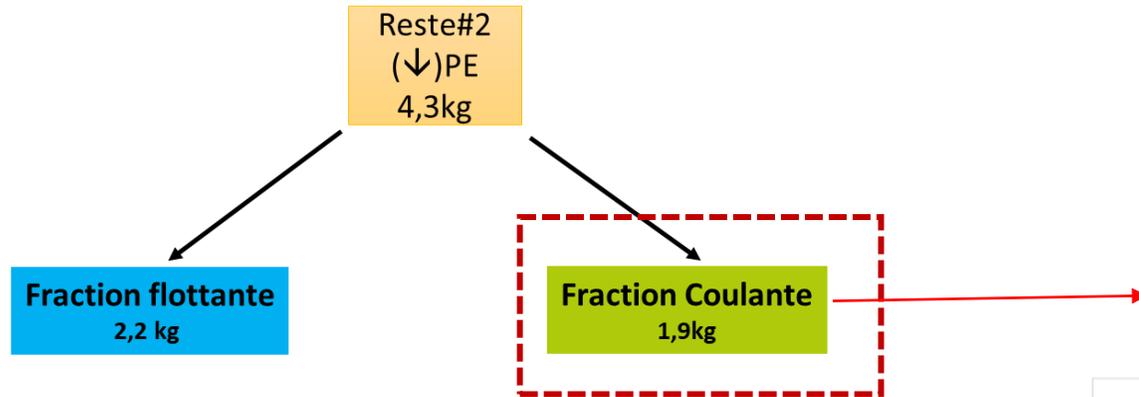
L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon, correspond principalement à du PP (environ 20% en nombre), des composés styréniques (environ 20% en nombre), du PE (environ 12% en nombre), et du PU (environ 12% en nombre). D'autres matières de compositions variées comme l'EVA, des polyesters, du polyamide ont également pu être identifiées (avec environ 12% en nombre global). Les 25% en nombre restant correspondent à des composés multi-matières.



	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	12	20,00	9,7783	32,13
PE	7	11,67	5,8804	19,32
EVA	3	5,00	1,0514	3,46
Styréniques	12	20,00	4,2594	14,00
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyester	3	5,00	0,6626	2,18
PVC	0	0,00	0,0000	0,00
PU	7	11,67	2,6917	8,85
PA	1	1,67	0,0362	0,12
Polycarbonate	0	0,00	0,0000	0,00
Polyacétal	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	15	25,00	6,0699	19,95



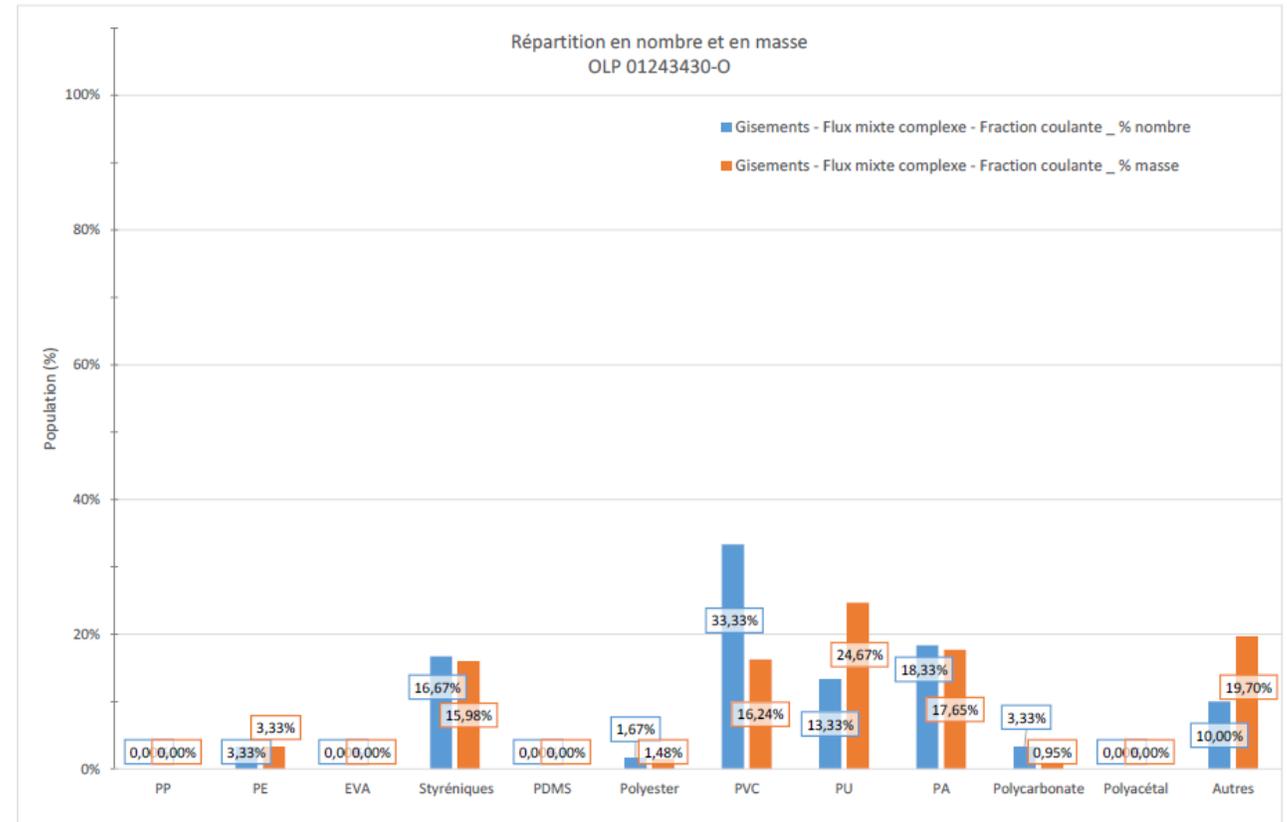
5+6. Tri par Flottaison+IRTF



Fraction Flottante → Tri par flottaison

L'emprunte spectrale des gisements contenus dans l'échantillon correspond principalement à du PVC (environ 33% en nombre), à du PA (environ 18% en nombre) et à des composés styréniques (environ 17% en nombre). D'autres mélanges de matières de compositions variées comme des polyuréthanes, des polycarbonates, des polyéthylènes et des polyesters ont pu être caractérisés (pour environ 22 % en nombre global). Les 10% en nombre restant correspondent à des matériaux non identifiés et/ou à des composés multi-matières.

	Nombre	% en nombre	Masse (g)	% en masse
PP	0	0,00	0,0000	0,00
PE	2	3,33	1,4751	3,33
EVA	0	0,00	0,0000	0,00
Styréniques	10	16,67	7,0692	15,98
PDMS	0	0,00	0,0000	0,00
Polyester	1	1,67	0,6557	1,48
PVC	20	33,33	7,1835	16,24
PU	8	13,33	10,9170	24,67
PA	11	18,33	7,8116	17,65
Polycarbonate	2	3,33	0,4200	0,95
Polyacétal	0	0,00	0,0000	0,00
Autres	6	10,00	8,7147	19,70

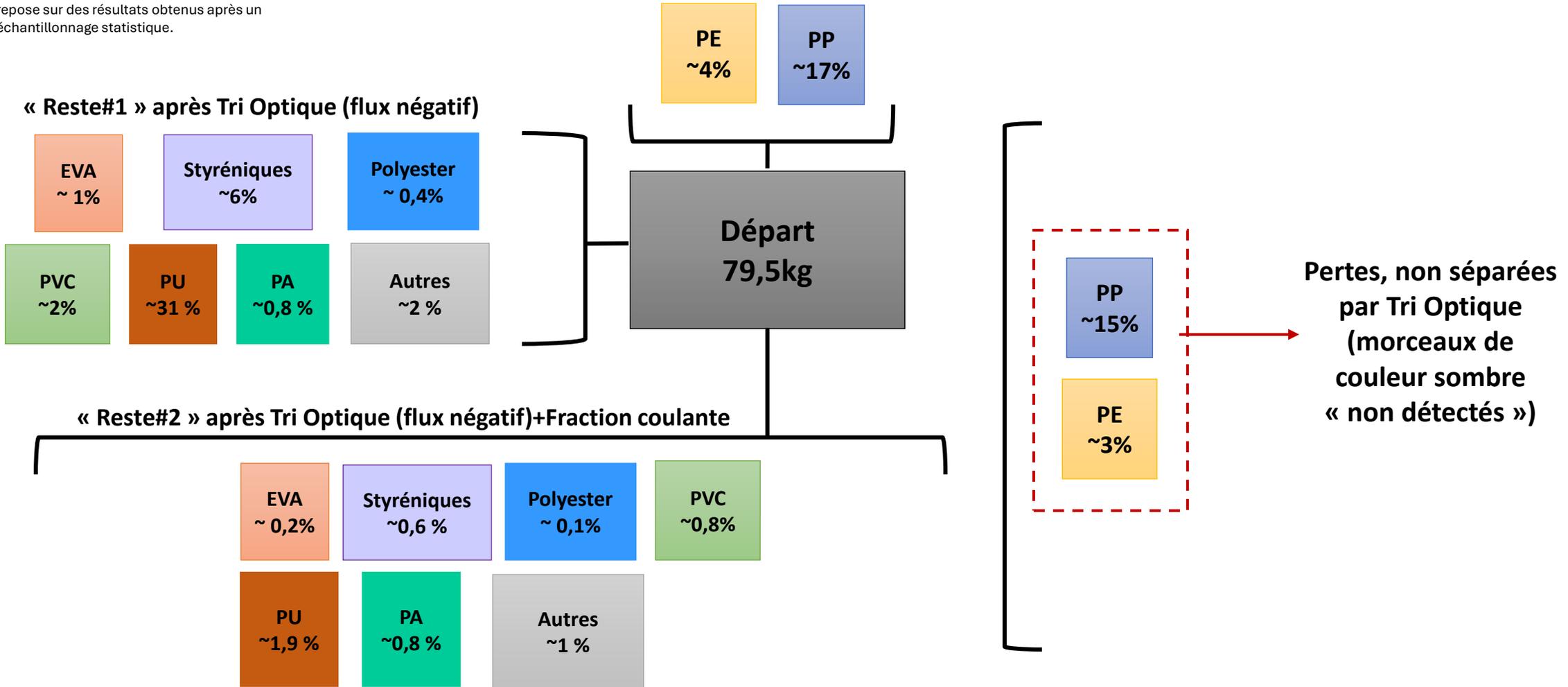


SOMMAIRE*

Mixte complex
rigide

*Les calculs mentionnés sont basés sur le pourcentage massique « réel » des matériaux séparés après le processus de tri, en tenant compte de la « vraie concentration » quantifiée lors des analyses en laboratoire par IRTF. Cette analyse est de nature plutôt « qualitative » car elle repose sur des résultats obtenus après un échantillonnage statistique.

Séparés après Tri Optique+Fraction flottante



Sommaire- Traitement Flux Mixte Complexe Rigide

Points à remarquer

- Une étape de démantèlement manuel est nécessaire en raison de la présence de pièces métalliques. Le temps de démontage par pièce variait entre 10 et 15 minutes, ce qui est très long et difficilement reproductible à l'échelle industrielle.
- Malgré les nombreuses étapes de tri, incluant le tri optique et la flottaison, nous n'avons récupéré que 4%wt de PE et 17%wt de PP. 15%wt du PP n'a pas été détecté par le tri optique et a donc été écarté après l'étape 1 y étape 3. Il s'agit probablement des pièces sombres contenant du noir de carbone.
- La présence d'environ 32% de PU a été détectée dans les flux « négatifs » après le tri optique et dans la fraction coulante après l'étape de flottaison. Cela indique que pour ce type de flux, contenant des articles comme les chaussures de ski, la valorisation du polyuréthane peut être intéressante.
- Pour ce flux, la présence de pièces sombres est importante, rendant le tri optique limité.

Conclusions et perspectives

- Le flux est difficile à gérer en raison de la grande hétérogénéité des articles présents dans ce gisement, notamment en ce qui concerne la composition des matériaux. De plus, la présence de pièces métalliques nécessite une étape supplémentaire de démantèlement manuel, ce qui peut être coûteux en temps et en main-d'œuvre. Cependant, une solution alternative serait :
 - ✓ L'utilisation des technologies émergentes pour le pré-tri, permettant une séparation par type d'articles, nature des matériaux, application, etc.
 - ✓ Investir dans l'automatisation du procédé de démantèlement ou dans des broyeurs capables de traiter tout type de pièces. Le tri des pièces métalliques pourra ensuite être réalisé sous forme de broyat.
- Concernant les difficultés de tri de la matière une fois broyée, il y a deux alternatives :
 - ✓ Si nous souhaitons utiliser une machine de tri optique plus « classique » comme celles présentes en centre de tri, il est recommandé de broyer avec une taille de grille supérieure à 30 mm pour faciliter la détection.
 - ✓ Investir dans une machine de tri spécialisée capable de traiter des broyats, permettant de séparer plus finement des broyats de petites tailles. L'avantage de cette solution est qu'elle permettrait de broyer plus finement et de faciliter la détection des pièces multimatières que nous pouvons trouver dans ce flux (**voir slide 62**).
- Pour la détection de pièces sombres non détectées par tri optique (proche infrarouge), d'autres alternatives sont possibles, telles que le tri par rayons X, Raman, laser, etc (**voir slide 63**).

RECOMMANDATIONS ET LIENS D'INTÉRÊT

- **Si on part sur un broyage plus fin → Un équipement de tri optique sur paille est plus adapté**

Dans le cas où c'est pas possible de travailler avec des tailles de broyats plus grandes (>30 mm), il existe des solutions alternatives. Nous pouvons utiliser des machines de tri optique spécialement adaptées pour détecter et séparer des paillettes. Je ne connais pas les dimensions maximales et minimales exactes, car chaque fournisseur a ses propres spécifications. Il faudra contacter les fournisseurs pour obtenir plus de détails. Ci-dessous quelques solutions existantes sur le marché:

<https://www.tomra.com/fr-fr/waste-metal-recycling/products/machines/innosort-flake>

<https://www.sesotec.com/emea/fr/produits/syst%C3%A8mes-de-tri>

https://www.buhlergroup.com/global/fr/products/optical_sorter_sortexh.html

<https://www.unisensor.de/en/products/product-details/recycling-industry-1/powersort-200-1.html>

- **Solution Pre-tri**

Une solution innovante comme l'imagerie hyperspectrale constitue un outil prometteur pour la gestion future des déchets. Elle permet le pré-tri des objets par catégorie (type, application, taille, etc.) et par matière, en s'appuyant sur une base de données qui sera enrichie progressivement.

Liens d'intérêt concernant cette technologie:

<https://www.specim.com/waste-robotics-case-study-hyperspectral-imaging-a-tool-for-future-waste-management/>

<https://recycleye.com/computer-vision-evolved-role-waste-sorting/>

<https://preciousplastic.fr/academy/research/robotics/>

<https://www.tomra.com/fr-fr/waste-metal-recycling/products/machines/gainnext>

RECOMMANDATIONS ET LIENS D'INTÉRÊT

- **Recyclage et valorisation de PU**

Solutions existent sur le marché :

<https://www.sidas.com/fr/73-injectes>

<https://blog.synthesia.com/fr/utilisations-du-polyurethane-recycle>

<https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/6501-recypol-developpement-d-un-procede-de-recyclage-des-dechets-de-mousse-polyurethane.html>

<https://cordis.europa.eu/article/id/444145-recycling-breakthroughs-promise-sustainable-future-for-foams/fr>

- **Tri plastiques sombre**

<https://www.tomra.com/fr-fr/waste-metal-recycling/products/technologies>