

Résultats

Microplastiques (0.3 à 5 mm)

Répartition des microplastiques sur les plages du Léman

Sur la totalité des 217 échantillons analysés, les plages étudiées contiennent en moyenne 189 particules plastiques par 100 cm² avec un écart-type de 278. Parmi ces échantillons, une donnée sort du lot avec 3'143 particules comptabilisées à la plage de la Pichette. Ce n'est pas forcément pour autant une donnée aberrante. Elle signale la possibilité d'événements exceptionnels induits par la fréquentation du site ou par une accumulation par l'influence de facteurs environnementaux (vents, courants...).

L'élimination de cette donnée n'a que peu d'impact sur la médiane (passage de 126 à 125 pièces par échantillon). En revanche, la moyenne passe de 189 à 175 et l'écart type de 278 à 191 (Tableau 3). L'élimination de cette donnée permet donc une plus grande robustesse et stabilité des données. Cette donnée étant plus de deux fois supérieure à la deuxième donnée maximale, une contamination ponctuelle n'est pas exclue. Celle-ci ayant potentiellement pu avoir lieu avant le prélèvement.

Tableau 6 : Valeurs globales du nombre de pièces identifiées comme étant du plastique par échantillon (particules/100 cm²). La distinction est faite entre la prise en compte de l'ensemble des données (6.1a) et uniquement celles sous le 99.9 ème percentile (6.1b).

Tableau 6.1a

	Particules
Min	19
25%	72
50%	126
75%	207
Max	3'143
Moyenne	189
Écart-type	278

Tableau 6.1b

	Résultats
Min	19
25%	71
50%	125
75%	201
Max	1'492
Moyenne	175
Écart-type	191

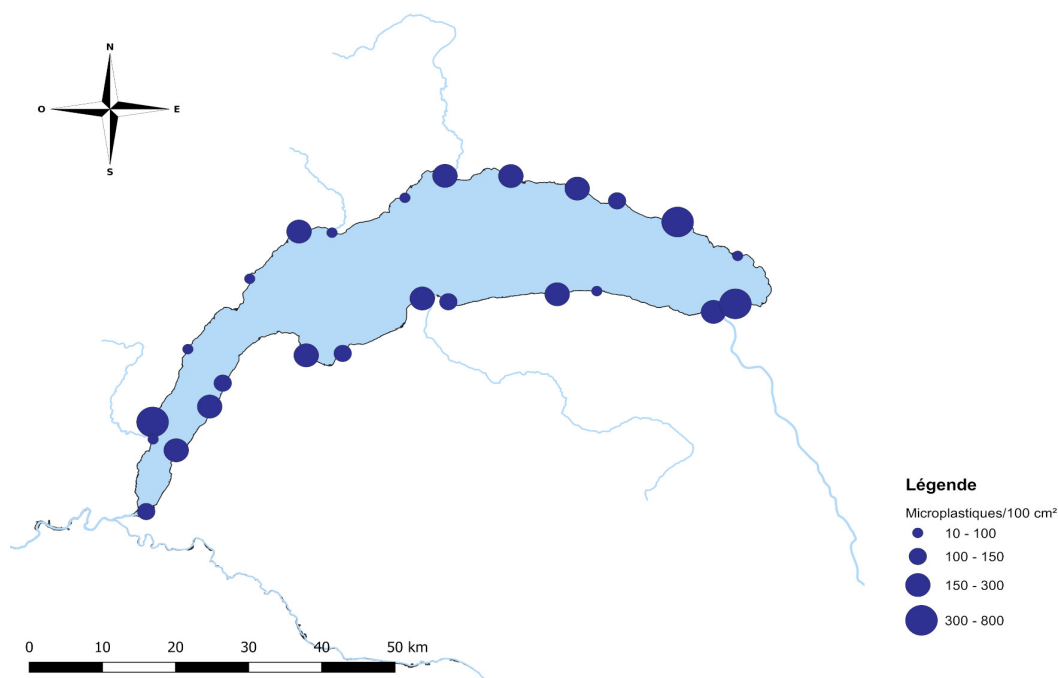


Figure 6.1 : Répartition des teneurs en microplastiques autour du Léman. Densité moyenne de microplastiques par 100 cm² et par site d'échantillonnage.

La Figure 6.1 permet de visualiser les plages où les microplastiques sont les plus abondants. Ce sont celles de la Pichette, sur la commune de Corseaux, de Port Choiseul (Versoix) et des Grangettes (Noville).

Différence entre la ligne d'eau et la plage sèche

Les médianes et moyennes sont nettement plus élevées sur la plage sèche que sur la ligne d'eau (Tableau 6.2, Figure 6.2). Cette différence peut s'expliquer par une accumulation possible sur la plage sèche, car elle est ponctuellement immergée lors de crues du lac, alors que la ligne d'eau est en permanence soumise aux vagues qui amènent et reprennent les éléments au fil du temps.

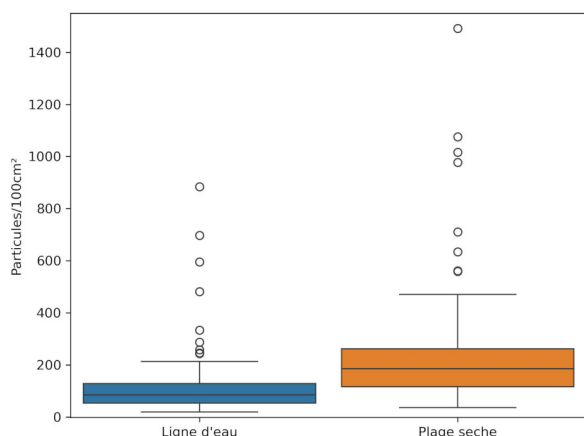


Figure 6.2 : Les abondances en nombre de particules par 100 cm² sont généralement plus faibles sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Plusieurs concentrations extrêmes ont été recensées lors de l'étude, aussi bien sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Les trois concentrations les plus élevées observées (99ème percentile) étaient sur la plage sèche.

Tableau 6.2 : Teneurs en particules de microplastiques de l'ensemble des échantillons prélevés sur la ligne d'eau et la plage sèche. Résultats exprimés en particules/100 cm².

	Résultats
Min	19
25%	71
50%	125
75%	201
Max	1'492
Moyenne	175
Écart-type	191

Sur la ligne d'eau, les concentrations moyennes fluctuent entre 19 (Crans) et 884 particules par échantillon (Préverenges). Sur le secteur "plage sèche", les échantillons contiennent entre 37 particules par 100 cm² à Clarens et 1'492 à Port Choiseul. Ce dernier secteur se démarque très nettement des autres avec une médiane supérieure à 1'000 particules par échantillon (Figure 6.3).

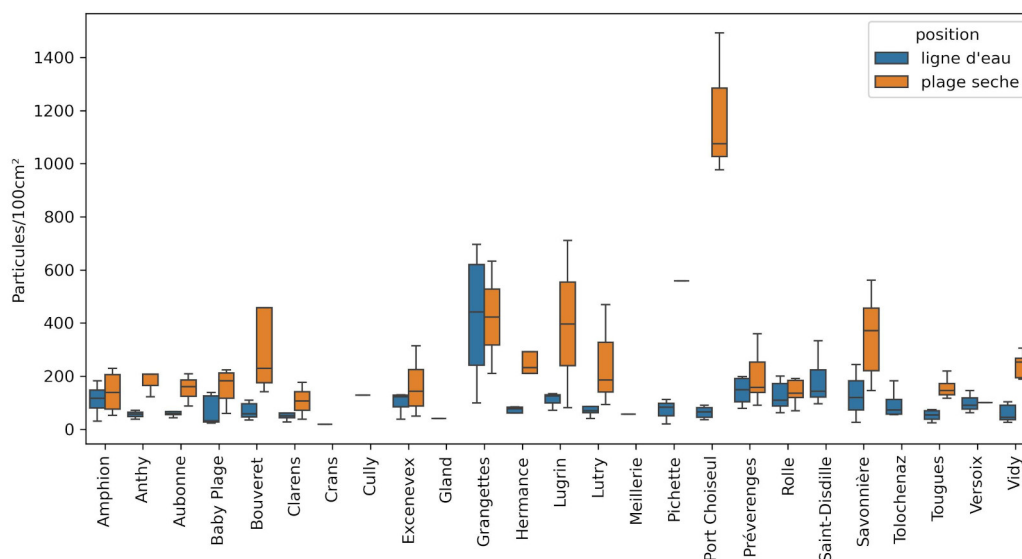


Figure 6.3 : Concentration en microplastiques sur les 25 plages étudiées et par position sur la plage (particules/100cm²). Une valeur extrême a été relevée avec 3'143 particules dans un échantillon à la plage de la Pichette.

Sur la ligne d'eau, les concentrations recensées sur la plage de l'Empereur aux Grangettes sortent du lot avec une médiane dépassant les 400 particules par 100 cm², contre 85 particules/100 cm² pour la totalité des sites. La plage des Grangettes est la seule où les particules recensées sont plus nombreuses sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Ceci pourrait s'expliquer par une forte exposition de la plage aux vents et courants. Le substrat de la plage de l'Empereur est également particulièrement fin sur la ligne d'eau, ce qui pourrait également expliquer une plus grande capacité de retenue des petites particules.

Identification des particules comptabilisées

Parmi les 39'000 particules comptabilisées, la majorité sont des fibres (75%). Ensuite viennent les fragments souples (10%) et durs (9%) (Figure 6.4). Les mousses représentent 4% des particules et les films 2%. Seules quelques microbilles de plastiques ont été recensées. La prédominance des fibres est significative d'une pollution massive via les textiles. Cette répartition reste globalement stable sur l'ensemble des plages étudiées. La plage des Grangettes fait exception avec une moyenne de 42% de fragments souples (film et mousse) pour 56% de fibres. La grande présence de déchets, notamment de sagex, dans les zones de roselière à proximité de la plage pourrait expliquer cette surabondance d'éléments fragmentés. La répartition globale est proche de celle relevée par Constant (Constant et al., 2019) sur la côte du Golfe du Lion en Méditerranée. A l'inverse, l'étude de Faure et al., (Faure et al., 2018), ne recensait que 10% de fibres pour 61% de fragments. Ceci peut s'expliquer en partie par la méthode d'identification : visuelle dans le cadre de Pla'stock et chimique dans le cadre de l'étude de (Faure et al., 2018).

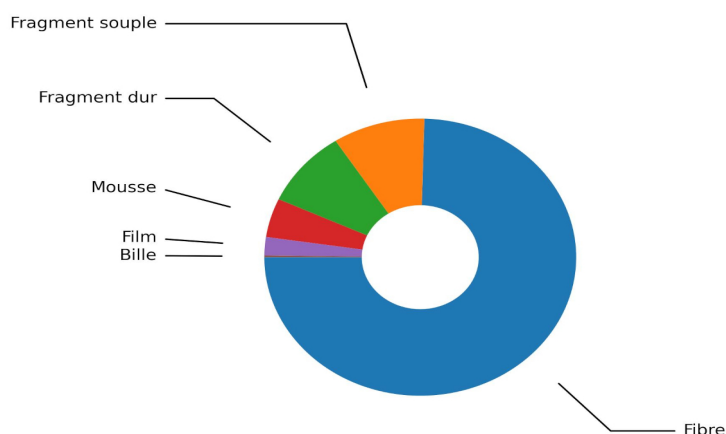


Fig 6.4 : Répartition quantitative des particules comptabilisées par forme. Les fibres dominent largement en terme d'abondance.

Analyse des différentes variables aléatoires

Les concentrations médianes de particules de microplastiques des échantillons prélevés sur les plages de sable fin et de sable grossier sont plus élevées que celles qui proviennent de substrats d'une granulométrie plus grossière (gravier et cailloux) (Tableau 6.3). Pour autant, au vu de la distribution des données, la différence n'est pas significative. Cette observation ne confirme donc que partiellement l'hypothèse que les substrats plus fins retiennent plus de particules que les substrats plus grossiers.

Tableau 6.3 : Teneurs en particules de microplastiques par échantillon en fonction du type de substrat

	Min	25.00%	Médiane	75.00%	Max	Moyenne/ 100 cm ²	Écart type
Sables fins	23	92,5	138	214,5	1'016	182,15	159,98
Sables grossiers	19	56,5	123	182,75	562	157,36	143,61
Graviers	20	68	90,5	247	3'143	353,36	654,36
Cailloux	26	61	92,5	159,5	711	127,83	112,64

La fréquentation, la distance à un parking ou encore la situation de la plage ne semblent pas avoir d'effet majeur sur les teneurs en microplastiques

Macroplastiques (> 2 mm)

Répartition des macroplastiques sur les plages du Léman

Au fil des quatre sessions d'échantillonnage sur les 25 plages sélectionnées, une moyenne de 0,77 pièce de plastique par m² a été retrouvée (Figure 6.5), la médiane est de 0,5 pièce/m². Une concentration maximale de 7.6 pièces par m² a été inventoriée sur la plage du Bouveret le 30 avril. Lors des 3 autres sessions sur la ligne d'eau, les concentrations étaient de 2,8, 4,5 et 0,03 pièces/m².

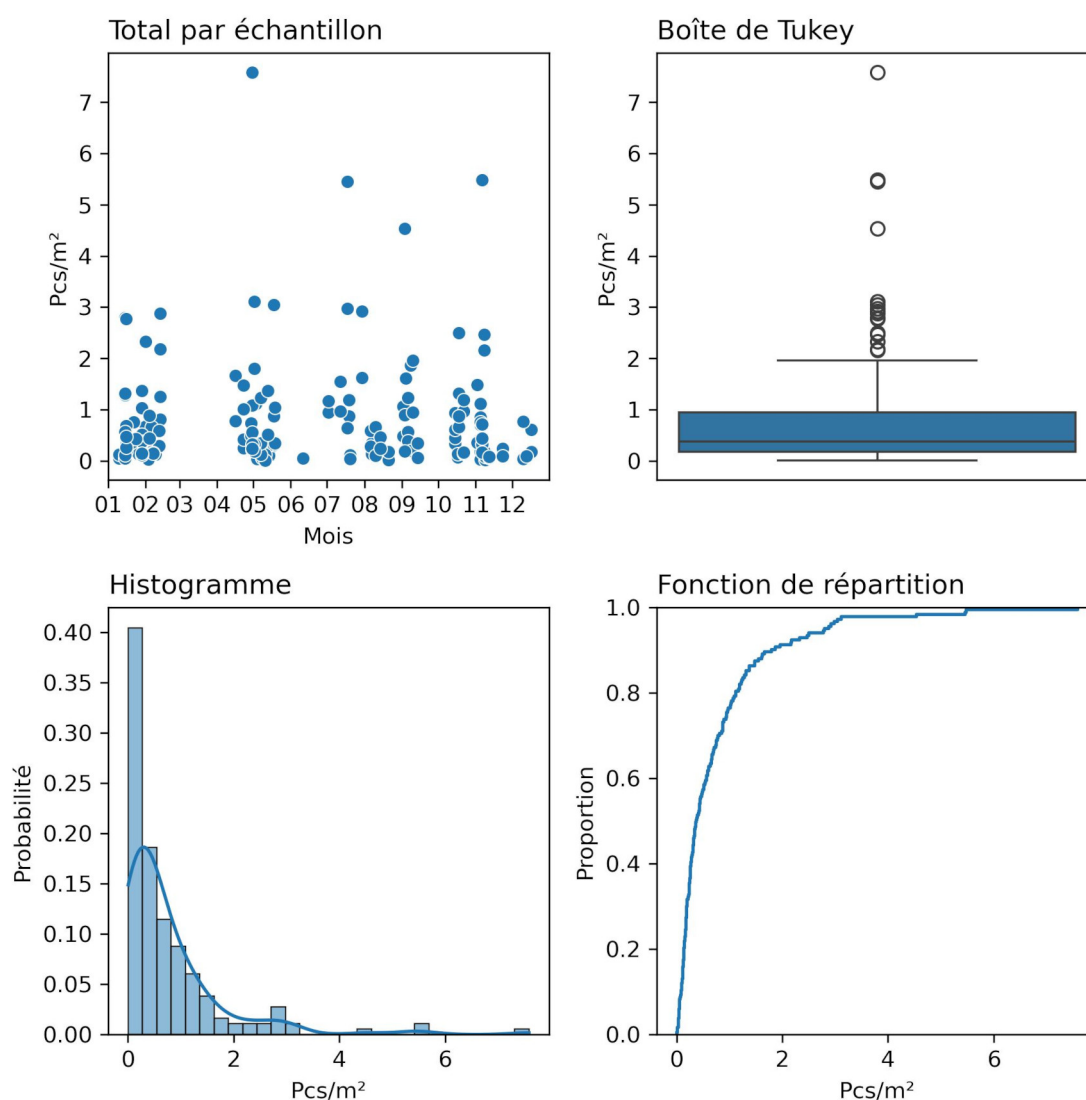


Figure 6.5 : Concentration en macroplastiques pour l'ensemble des recensements, des quatre sessions d'échantillonnage. A) Répartition des échantillons au fil des saisons. Les passages 3 et 4 ont été perturbés par les conditions météorologiques (pluie et vent) qui ont nécessité de décaler de quelques semaines certaines sessions afin de garantir la qualité des relevés. B) Boîte de Tukey : zone colorée = 25%-75% ; « moustache » = 1,5 x la distance interquartile. C) L'histogramme montre que les données ne sont pas réparties de manière normale. D) La fonction de répartition permet de déterminer la probabilité que la concentration recensée soit inférieure à une valeur donnée.

La boîte de Tukey (Figure 6.5) permet de constater la forte concentration des mesures entre 0.18 et 0.97 pièces par m² avec ponctuellement des échantillons présentant des concentrations nettement plus élevées pouvant atteindre 7.6 pièces/m² lors d'une session de ramassage au Bouveret. Lors des sessions d'hiver et d'été, respectivement 4,5 et 2,8 pièces/m² ont été recensées. En s'intéressant également aux résultats des Grangettes avec des concentrations entre 2.25 et 5,6 pièces/m² sur la ligne d'eau et entre 1,8 et 3 pièces/m² sur la plage sèche, il est à relever que la majorité des valeurs extrêmes visibles sur la figure 6.8 concernent les plages du Bouveret et des Grangettes.

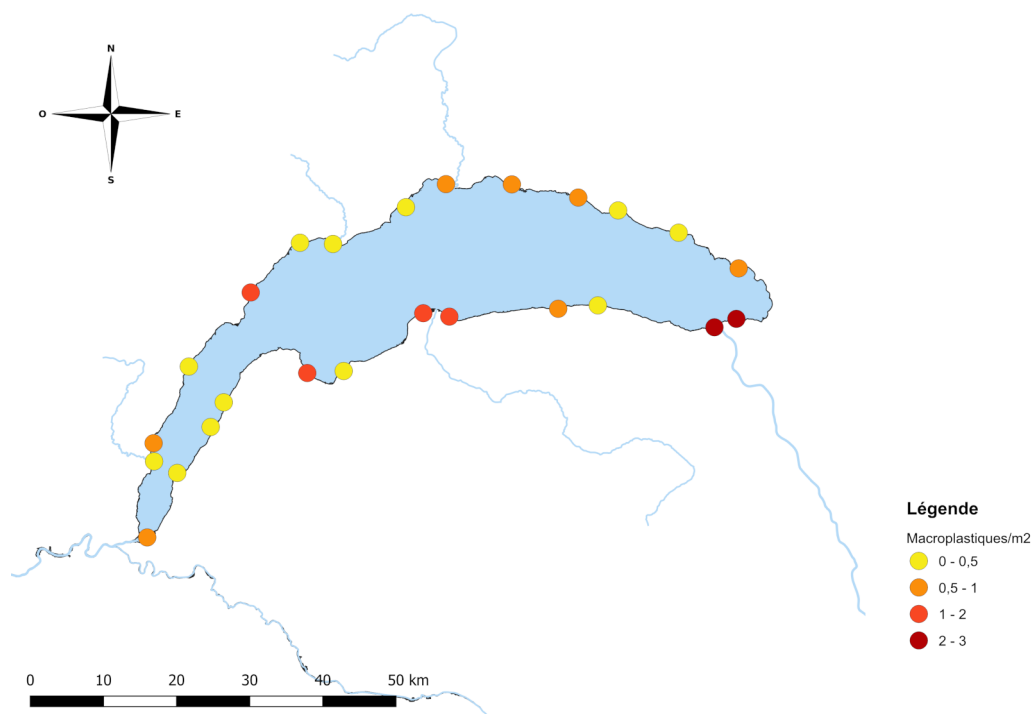


Figure 6.6 : Répartition des teneurs en macroplastiques autour du Léman. Concentration moyenne par m² et par site d'échantillonnage.

Globalement, on constate que 12 sites sur les 25 sélectionnés ne contiennent moins de 0,5 pièces/m², 7 en accumulent entre 0,5 et 1 pièces/m², 4 entre 1-2 pièces/m² et 2 entre 2-3 pièces/m². En résumé, la moitié des sites étudiés sont clairement impactés par des accumulations de macro-déchets plastique et 2 plages sont très fortement impactées (Bouveret et Grangettes).

Différence entre la ligne d'eau et la plage sèche

Les résultats de la récolte de déchets sur les plages du Léman en 4 sessions durant l'année 2022 sont exprimés en nombre de pièces par m² prospecté.

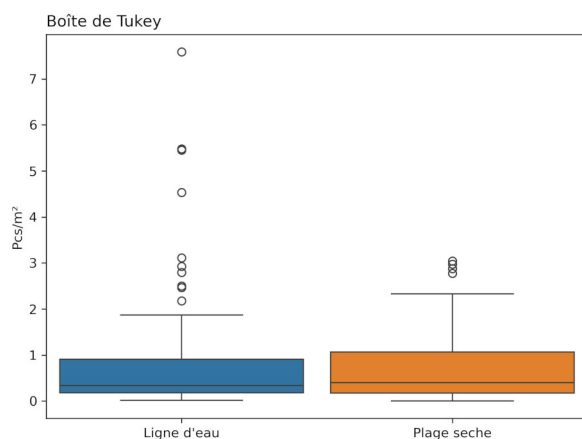


Figure 6.2 : Les abondances en nombre de particules par 100 cm² sont généralement plus faibles sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Plusieurs concentrations extrêmes ont été recensées lors de l'étude, aussi bien sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Les trois concentrations les plus élevées observées (99ème percentile) étaient sur la plage sèche.

Tableau 6.4 : Teneurs en déchets de macroplastiques de l'ensemble des échantillons prélevés sur la ligne d'eau et la plage sèche. Résultats exprimés en pièces/m²

	Ligne d'eau	Plage sèche
Moyenne	0,83	0,69
Écart type	1,26	0,73
Min	0,02	0,01
25%	0,18	0,17
50%	0,36	0,40
75%	0,91	1,07
Max	7,59	3,05

Les moyennes et médianes des relevés sur la plage sèche et sur la ligne d'eau sont comparables entre les secteurs (Figure 6.7). Pour autant, les moyennes sont près de deux fois plus élevées que les médianes ce qui montre la grande variabilité des échantillonnages avec la présence régulière d'abondance élevée de macrodéchets (Tableau 6.4). Il est toutefois intéressant de constater le nombre de valeurs extrêmes sur la ligne d'eau. La valeur maximale est d'ailleurs plus de deux fois plus élevée sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Ceci pourrait s'expliquer par une plus grande influence des facteurs environnementaux (vagues, courants, vents). De plus, ces résultats contrastent avec ceux trouvés pour les microparticules de plastiques, dont la concentration était plus élevée sur le sous-secteur plage sèche (Figure 6.7). Les rôles joués par les facteurs environnementaux n'ont pas pu être testés dans le cadre de cette étude. En effet, pour les exploiter correctement, il faudrait avoir les données de courantologie locale ainsi que de l'angle et de la hauteur des vagues sur la plage. L'acquisition de ces données pourrait faire l'objet d'une étude spécifique à l'échelle d'un nombre restreint de plages.

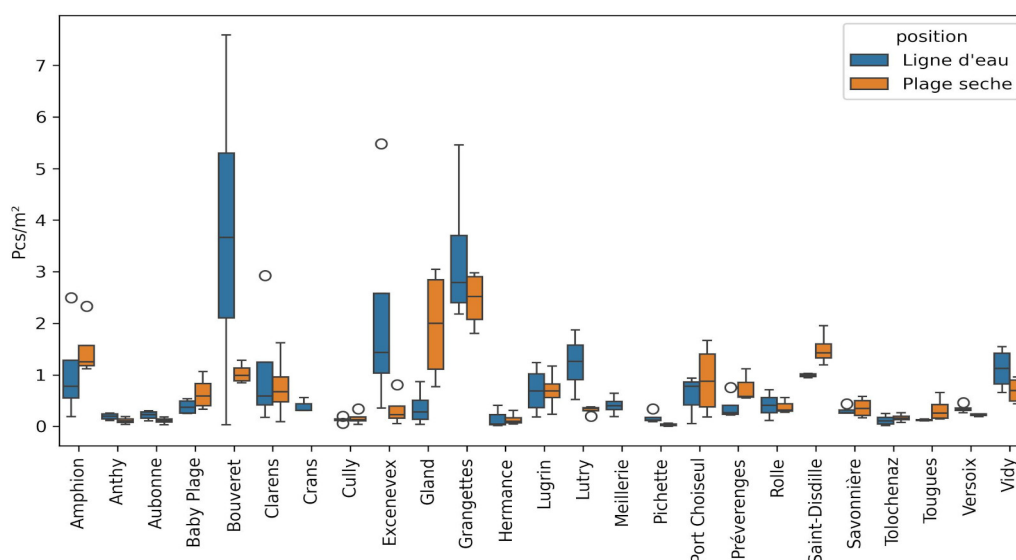


Figure 6.8 : Concentration moyenne des déchets récoltés sur chacune des 25 plages lémaniques étudiées en 2022.

Sur la ligne d'eau, la concentration moyenne varie de 0.12 pièce/m² à Tolochenaz à 3.74 pièces/m² au Bouveret et sur la plage sèche, de 0.12 pièces/m² à Anthy-sur-Léman et Aubonne à 2.52 pièces/m² aux Grangettes (Figure 6.8). Au Bouveret, à Excenevex et à Lutry, une nette différence est visible entre la

ligne d'eau et la plage sèche. Cette différence pourrait s'expliquer par des sessions de récoltes effectuées quelques jours après des vents du large ou après le passage des services de voirie.

A Excenevex, où la configuration du site (plage très plate) présente une ligne d'eau qui peut fortement varier au fil des conditions de vent, l'abondance des déchets est plus élevée que sur la plage sèche. Dans ce cas notamment, l'intensité de l'entretien par la commune de ce site très fréquenté peut influencer les quantités de plastiques retrouvées. Les résultats font état des plastiques réellement présents sur les plages et non de la totalité s'y déposant. En effet, les services communaux effectuent un ramassage régulier des grands macroplastiques, ce qui explique le très faible nombre de bouteilles en PET (4) retrouvées sur l'ensemble des quatre passages. Il est donc possible que l'étude sous-estime la quantité de déchets arrivant sur les rives depuis le Léman.

Types de macroplastiques sur les plages du Léman

Pour la suite des analyses, les résultats seront exprimés en nombre de pièces par mètre linéaire de plage afin d'avoir des points de comparaison avec d'autres études traitant des macroplastiques.

La valeur médiane du nombre de déchets par mètre (pcs/m) pour l'ensemble des 98 échantillons récoltés sur les 25 plages de l'étude à raison de 1 par saison est de 2 pièces/m. Cependant, les taux recensés peuvent varier en fonction de l'urbanisation du site et de son environnement proche, de sa fréquentation et du type de substrat.

Etude des principaux déchets récoltés

La nature des objets et des fragments de plastique les plus souvent recensés et en plus grand nombre a été déterminée et conduit à la sélection des 11 premières catégories de déchets les plus abondants. Celles-ci englobent 89% des macro-plastiques récoltés, à savoir 24'156 déchets sur les 27'493 recueillis. Plus précisément, les critères de cette sélection étaient le nombre d'objets énumérés de chaque catégorie et/ou une fréquence minimale de 50% de présence dans les échantillonnages. Le Tableau 6.5 présente les différentes catégories de macro-plastiques retenues dans l'ordre d'abondance avec mention de leur importance relative par rapport au nombre total de déchets (colonne 2) et de leur fréquence d'échantillonnage (colonne 4).

Tableau 6.5 : Quantité et fréquence de recensement des 11 principales catégories de déchets récoltés et valeur médiane de leur abondance autour du Léman. En partant du postulat de base qu'il ne devrait pas y avoir de plastiques sur les plages, le taux de d'échec correspond à la fréquence (pourcentage d'échantillons) à laquelle l'objet est retrouvé. Codes: G75 à G80: fragments de plastiques non-identifiés, par classe de tailles (ex : G78 = 2,5 à 50 cm); G81 à G83: morceaux de polystyrène par classe de taille; G21 à G24: bouchon de bouteilles en PET, couvercle de pot en plastique ([Annexe IX](inventory)).

	quantité	% du total	pcs/m	taux d'échec
Fragments de plastique > 5 mm	11'221	41%	0,72	0,97
Mégots et filtres à cigarettes	3'089	11%	0,15	0,79
Emballages de bonbons	2'080	8%	0,15	0,74
Fragments de plastique < 5mm	1'926	7%	0,00	0,41
Pellets industriels (gpi)	1'526	6%	0,00	0,36
Fragments de polystyrène	1'399	5%	0,07	0,72
Couvercles en plastique	1'070	4%	0,04	0,65
Coton-tige	1'040	4%	0,03	0,54
Mousse pour l'isolation	406	1%	0,00	0,38
Déchets de construction	380	1%	0,00	0,24
Bâtonnets de sucette	379	1%	0,02	0,54

Les fragments de plastiques de plus de 5 mm dont l'origine en tant qu'objet n'est pas identifiable constituent la large majorité des déchets récoltés (41%) et ils sont retrouvés dans 97% des échantillons. Viennent ensuite divers objets d'usage courant (i.e. mégots, emballages alimentaires, cotons-tiges) et des matériaux plus ou moins fragmentés utilisés dans la construction, l'isolation, la confection, etc.

Les fibres plastiques du béton projeté qui sont actuellement regroupées avec les déchets de construction (G89) pourraient à terme être recensées avec leur propre code. Elles représentent 125 des 380 éléments comptabilisés parmi les déchets de construction.

En s'intéressant de manière plus précise à la répartition des éléments identifiés sur la ligne d'eau et sur la plage sèche (Figure 6.9), il est intéressant de constater deux choses. Tout d'abord la forte présence des mégots sur la plage sèche et surtout la présence des cotons-tiges, déchets de construction et pellets parmi les déchets les plus retrouvés sur la plage sèche. Ceci montre qu'il y a un cheminement des déchets entre le lac et les rives. En effet, ces déchets arrivent dans le Léman par les eaux de ruissellement (déchets de constructions et pellets) et les eaux usées (cotons-tiges et pellets). Au fil de leur circulation dans le Léman, ils peuvent ensuite s'échouer sur les plages, sortir du Léman par le Rhône ou encore sédimenter. Les grands macroplastiques étant ramassés régulièrement sur les plages, seuls les plus petits déchets restent. La part d'éléments dont la source n'est pas identifiée s'élève à 52% sur la plage sèche et 55% sur la ligne d'eau. Ce pourcentage comprend l'ensemble des fragments plastiques (plastiques « durs » et polystyrène).

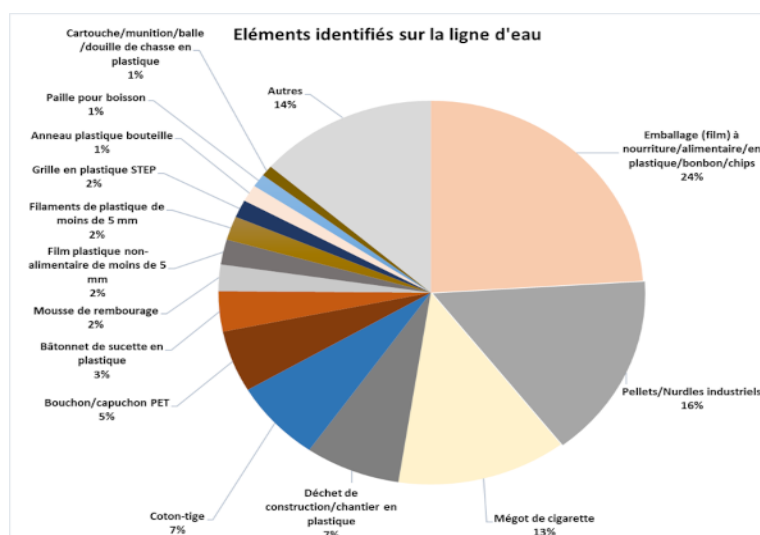
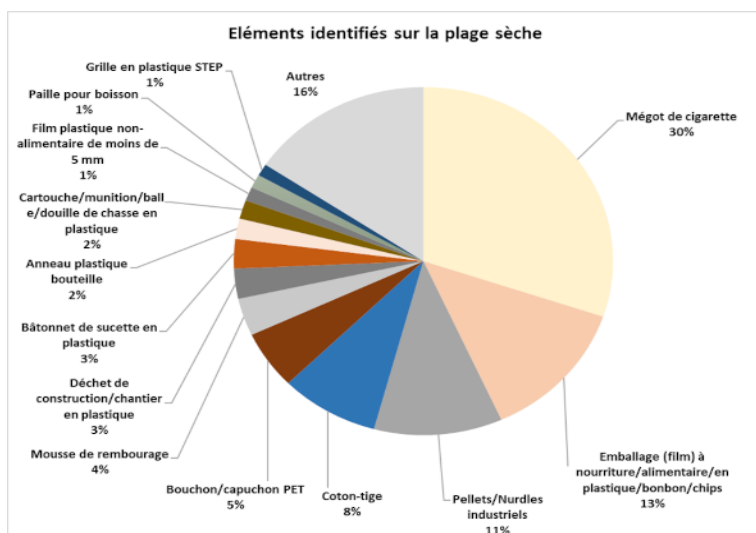


Figure 6.9 : Distinction entre les éléments identifiés sur la ligne d'eau (gauche) et sur la plage sèche (droite). Cette figure ne prend pas en compte les fragments plastiques non identifiés visibles à l'œil nu qui représentent 52% des éléments retrouvés sur la plage sèche et 55% sur la ligne d'eau.



De fortes fluctuations sont visibles entre les plages (Tableau 6.6 et Tableau 6.7). Valeurs médianes des concentrations recensées sur les plages du Léman en nombre de pièces par mètre linéaire. Cette figure permet de faire ressortir les cas particuliers tels que les pellets industriels à Préverenges ou les mégots à Vidy. Une médiane de 0). Sans surprise, les fragments de plastiques de plus de 5 mm sont dominants sur la quasi-totalité des plages (code Gfrag). Parmi les éléments identifiables, les emballages de nourriture et les mégots sont très souvent retrouvés. Il est également intéressant de se pencher sur certains déchets particuliers. Par exemple, les cotons-tiges sont présents en grande quantité à Amphion, Clarens, au Bouveret et aux Grangettes, donc plutôt sur le haut et le grand lac. La proximité avec une STEP ne semble toutefois pas être déterminante. En effet, la plage des Grangettes est éloignée d'une STEP (mais proche de l'embouchure du Rhône) et les cotons-tiges en plastique sont interdits en France, ce qui indiquerait que ceux retrouvés à Amphion proviennent de plus loin.

En prenant l'exemple des pellets industriels, il est intéressant de noter leur distribution particulière : on ne les retrouve que sur certaines plages. La plage de Préverenges, avec une médiane de 0,82 pellets par mètre de plage fait office d'exception autour du Léman. Les trois autres plages avec le plus de pellets sont le Bouveret (0,42 pièces/m), les Grangettes et Baby plage (chacune 0,27 pièces/m).

En s'intéressant aux différents sites, il est visible que les Grangettes et le Bouveret sont les sites où les déchets sont les plus abondants, et ce pour la plupart des objets. A l'inverse, la plage d'Excenevex, qui fait également partie des plages avec les plus grandes concentrations de plastiques, est principalement dominante au niveau des fragments de plastiques, dont l'origine n'est pas identifiable. Cette observation pourrait s'expliquer par la situation géographique d'Excenevex. La plage, située en fond de baie, fait certainement office de « cul de sac » pour les déchets. L'assiduité des services de voirie peut également être une piste. Il est possible que la plupart des déchets plus grands, et donc identifiables, aient été récoltés par la voirie.

Tableau 6.5 : Quantité et fréquence de recensement des 11 principales catégories de déchets récoltés et valeur médiane de leur abondance autour du Léman. En partant du postulat de base qu'il ne devrait pas y avoir de plastiques sur les plages, le taux de déchet correspond à la fréquence (pourcentage d'échantillons) à laquelle l'objet est retrouvé. Codes: G75 à G80: fragments de plastiques non-identifiés, par classe de tailles (ex : G78 = 2,5 à 50 cm); G81 à G83: morceaux de polystyrène par classe de taille; G21 à G24: bouchon de bouteilles en PET, couvercle de pot en plastique (Annexe IX(inventory)).

	Amphion	Anthy	Aubonne	Bouveret	Clarens	Crans	Cully	Excenevex	Genève	Gland	Grandgettes	Hermance	Léman
Fragments plastique < 5mm	0.0	0.0	0.03	0.68	0.0	0.0	0.0	0.89	0.46	0.0	0.31	0.0	0.0
Pellets industriels (gpi)	0.0	0.01	0.0	0.42	0.02	0.0	0.0	0.05	0.27	0.09	0.27	0.0	0.0
Mégots et filtres à cigarettes	0.13	0.06	0.19	0.43	1.19	0.0	0.06	0.36	0.36	0.11	0.34	0.12	0.15
Emballages de bonbons	0.43	0.0	0.08	0.43	0.24	0.05	0.0	0.13	0.16	0.0	1.67	0.02	0.15
Bâtonnets de sucette	0.12	0.01	0.01	0.15	0.05	0.0	0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02
Mousse pour l'isolation	0.02	0.0	0.0	0.02	0.31	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.68	0.0	0.0
Déchets de construction	0.0	0.0	0.0	0.49	0.02	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.24	0.0	0.0
Coton-tige	0.7	0.02	0.0	0.19	0.27	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02	0.55	0.0	0.03
Couvercles en plastique	0.65	0.0	0.07	0.41	0.05	0.0	0.06	0.06	0.06	0.0	0.33	0.0	0.04
Fragments de polystyrène	0.45	0.01	0.03	0.3	0.21	0.0	0.0	0.09	0.04	0.48	1.31	0.0	0.07
Fragments de plastique > 5 mm	2.82	0.3	0.24	2.18	1.34	0.14	0.14	5.17	0.84	0.63	5.79	0.25	0.72

Tableau 6.5 : Quantité et fréquence de recensement des 11 principales catégories de déchets récoltés et valeur médiane de leur abondance autour du Léman. En partant du postulat de base qu'il ne devrait pas y avoir de plastiques sur les plages, le taux de déchet correspond à la fréquence (pourcentage d'échantillons) à laquelle l'objet est retrouvé. Codes: G75 à G80: fragments de plastiques non-identifiés, par classe de tailles (ex : G78 = 2,5 à 50 cm); G81 à G83: morceaux de polystyrène par classe de taille; G21 à G24: bouchon de bouteilles en PET, couvercle de pot en plastique (Annexe IX(inventory)).

	Lugin	Lutry	Meillerie	Préverenges	Rolle	Saint-Disdille	Savonnière	Tolochenaz	Tougues	Versoix	Vevey	Vidy	Léman
Fragments plastique < 5 mm	0.0	0.0	0.04	0.0	0.61	0.02	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	0.18	0.0
Pellets industriels (gpi)	0.0	0.0	0.0	0.82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.0
Mégois et filtres à cigarettes	0.09	0.0	0.08	0.42	0.66	0.34	0.19	0.0	0.54	0.0	0.04	1.58	0.15
Emballages de bonbons	0.31	0.05	0.0	0.26	0.21	0.62	0.29	0.1	0.1	0.2	0.05	0.65	0.15
Bâtonnets de sucette	0.02	0.25	0.0	0.01	0.01	0.08	0.07	0.01	0.02	0.0	0.0	0.06	0.02
Mousse pour l'isolation	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	0.07	0.0	0.0	0.0	0.08	0.0	0.06	0.0
Déchets de construction	0.01	0.0	0.0	0.01	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coton-tige	0.14	0.0	0.02	0.06	0.0	0.23	0.15	0.0	0.0	0.15	0.0	0.3	0.03
Couvercles en plastique	0.07	0.04	0.0	0.03	0.01	0.31	0.14	0.0	0.0	0.07	0.01	0.16	0.04
Fragments de polystyrène	0.46	0.09	0.2	0.18	0.16	0.15	0.02	0.01	0.05	0.01	0.0	0.01	0.07
Fragments de plastique > 5 mm	0.49	1.72	0.18	2.4	1.15	1.95	0.78	0.21	0.31	1.05	0.05	1.63	0.72