

## PLA'STOCK – ÉTUDE DU STOCK DE MICROPLASTIQUES SUR LES PLAGES DU LÉMAN

## PLA'STOCK - STUDY OF MICROPLASTIC STOCKS ON THE SHORES OF LAKE GENEVA

### CAMPAGNE 2023

PAR

Alexis POCHELON<sup>1</sup>, Raphaëlle JUGE<sup>1</sup>, Roger ERISMANN et Nicole GALLINA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ASSOCIATION POUR LA SAUVEGARDE DU LÉMAN (ASL) - RUE DES CORDIERS 2, CH-1207 GENÈVE

<sup>2</sup> SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN – CHANGINS, CASE POSTALE 1080, CH – 1260 NYON 1

### RÉSUMÉ

*Issue d'une collaboration entre la CIPEL, l'ASL et l'Université de Genève, l'étude de science participative « Pla'stock », a permis d'estimer les quantités de plastiques présentes sur les plages du Léman en 2021 et 2022. Répartis sur 25 plages, 217 échantillons de substrat ont été prélevés. Les microplastiques ont été extraits par flottaison dans une solution d'iodure de sodium et comptabilisés à l'aide d'une loupe binoculaires, permettant de déterminer une moyenne de  $17'500 \pm 19'100$  particules de microplastiques (0.3 mm à 5 mm) par m<sup>2</sup>, dont 75% de fibres textiles. Par ailleurs, plus de 100 bénévoles formés se sont mobilisés sur les 25 plages pour recenser les plastiques visibles à l'œil nu (ci-après macroplastique) selon un protocole strict lors de quatre sessions d'échantillonnage à intervalle de trois mois. La concentration moyenne en macroplastiques est de  $3.42 \pm 3.66$  élément plastique par mètre linéaire. La majorité des éléments récoltés étaient fortement fragmentés et de petite taille (<2.5 cm). Les emballages de nourriture, les mégots de cigarettes et les pellets (granulés plastiques industriels) sont les trois éléments les plus souvent identifiés. Une grande variabilité est observable entre les différentes plages. Deux plages se démarquent des autres par leur abondance en déchets plastiques, tant pour les macroplastiques que les microplastiques : les plages des Grangettes et du Bouveret (Figure 1). Leur proximité avec l'embouchure du Rhône pourrait en être la cause.*

### ABSTRACT

*The «Pla'stock» participatory science study, a collaboration in-between CIPEL, University of Geneva and ASL estimated the quantity of plastic on the beaches of Lake Geneva in 2021. 217 substrate samples from 25 beaches were analysed, giving an average of  $17\ 500 \pm 19\ 100$  microplastic particles (0.3 mm to 5 mm) per square meter. 75% of the microplastic particles were textile fibers. In addition, over one hundred trained volunteers counted the macroplastic debris (fragments visible to the naked eye) across the same 25 beaches. This study followed a strict protocol over four sampling sessions at three-month intervals. The concentration of macroplastics was  $3.42 \pm 3.66$  plastic elements per linear meter. The majority of the elements collected were small and highly fragmented – 0.5 to 2.5 cm. The three most common items were: food packaging, cigarette butts and pellets (granulated industrial plastic). There was a considerable difference between the different beaches. Two beaches with particularly high levels of both macroplastics and microplastics stood out from the rest - the beaches of Grangettes and Bouveret (Figure 1). Their proximity to the mouth of the Rhône could be the cause.*

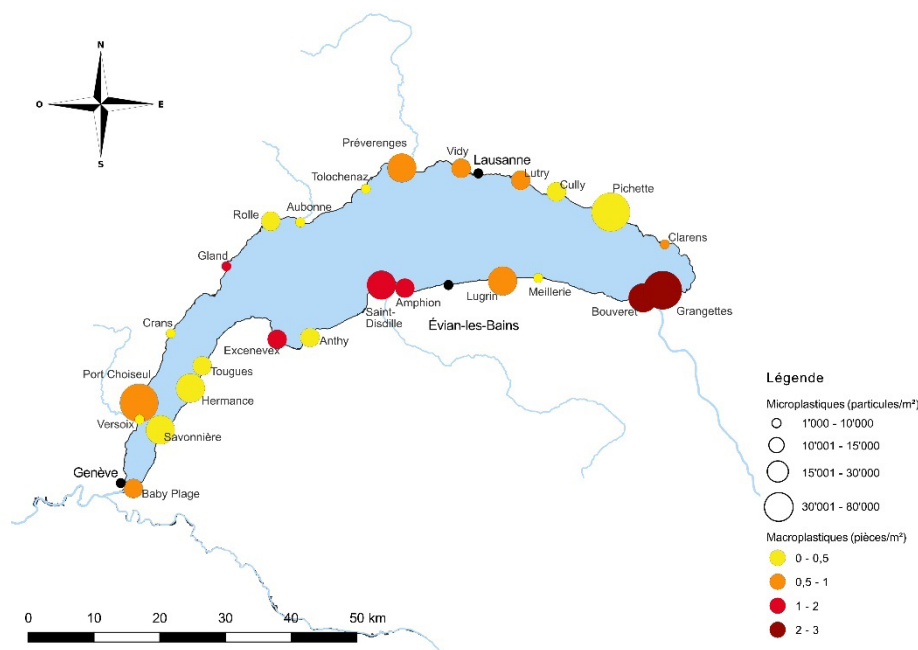


Figure 1. Synthèse des concentrations en plastiques sur les plages du Léman. Les plages du Bouveret et des Grangettes se démarquent fortement.

Figure 1. Summary of plastic concentrations on the shores of Lake Geneva. The beaches Le Bouveret and Les Grangettes stand out prominently.

## 1. INTRODUCTION

La problématique du plastique au niveau mondial représente un des enjeux environnementaux les plus importants du XXI<sup>ème</sup> siècle. En 2011, une première étude de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a prouvé la présence de microplastiques dans les eaux lémaniques (Faure et al., 2014). L'apparition de cette catégorie de polluants a fait l'objet de plusieurs études (Osman et al., 2023) qui ont démontré que les microplastiques sont présents dans tous les compartiments de l'environnement. Le Léman, plus grand lac d'Europe par son volume, n'est pas épargné. Selon une étude mandatée par l'Association pour la Sauvegarde du Léman (ASL) en 2018 (Boucher et al., 2018), environ 50 tonnes de plastiques aboutissent dans le Léman chaque année. La grande majorité de ces derniers (60%) sont des microplastiques issus de l'abrasion des pneus sur les routes (Boucher et al., 2018). Pour autant, les particules de pneus sont bien souvent émises à des tailles trop petites pour être détectées par la méthodologie appliquée dans cette étude. Les emballages et le *littering* constituent une autre source importante de déchets plastiques (pas loin de 20%). La Commission Internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL) a émis trois pistes de réflexion pour étudier la pollution du Léman par les microplastiques figurant dans son plan d'action 2021-2030 :

- Évaluer les apports de microplastiques au lac par les affluents et/ou via des déversements par temps de pluie.
- Surveiller les impacts sur l'écosystème lacustre (exposition de l'écosystème) au moyen d'analyses des tubes digestifs de poissons
- Évaluer le stock de plastiques sur les rives et les plages par une démarche participative.

Pour satisfaire à cette troisième orientation, la CIPEL a proposé à l'ASL de développer un projet d'étude pour quantifier les stocks de plastiques sur les plages du Léman.

L'étude proposée par l'ASL traite tant les micro- (<5 mm) que les macroplastiques. Dans le cadre de ce projet de recherche dit participatif, la société civile a été mise à contribution et s'est vu confier la partie de l'étude portant sur la récolte et la caractérisation des macroplastiques selon un protocole prédéterminé. Le but est de contribuer à la sensibilisation du grand public à la thématique de la pollution des eaux par les plastiques.

L'étude des microplastiques a, quant à elle, été menée conjointement par l'équipe scientifique de l'ASL et deux étudiantes réalisant leur travail de master à l'Université de Genève (UNIGE) au sein du groupe du Dr. Serge Stoll, spécialiste en physique et chimie de l'environnement (Département F.-A. Forel).

## 2. DEROULEMENT DU PROJET

L'exécution de l'étude des stocks de plastiques sur les plages lémaniques s'est déroulée en cinq phases présentées dans la Figure 2.

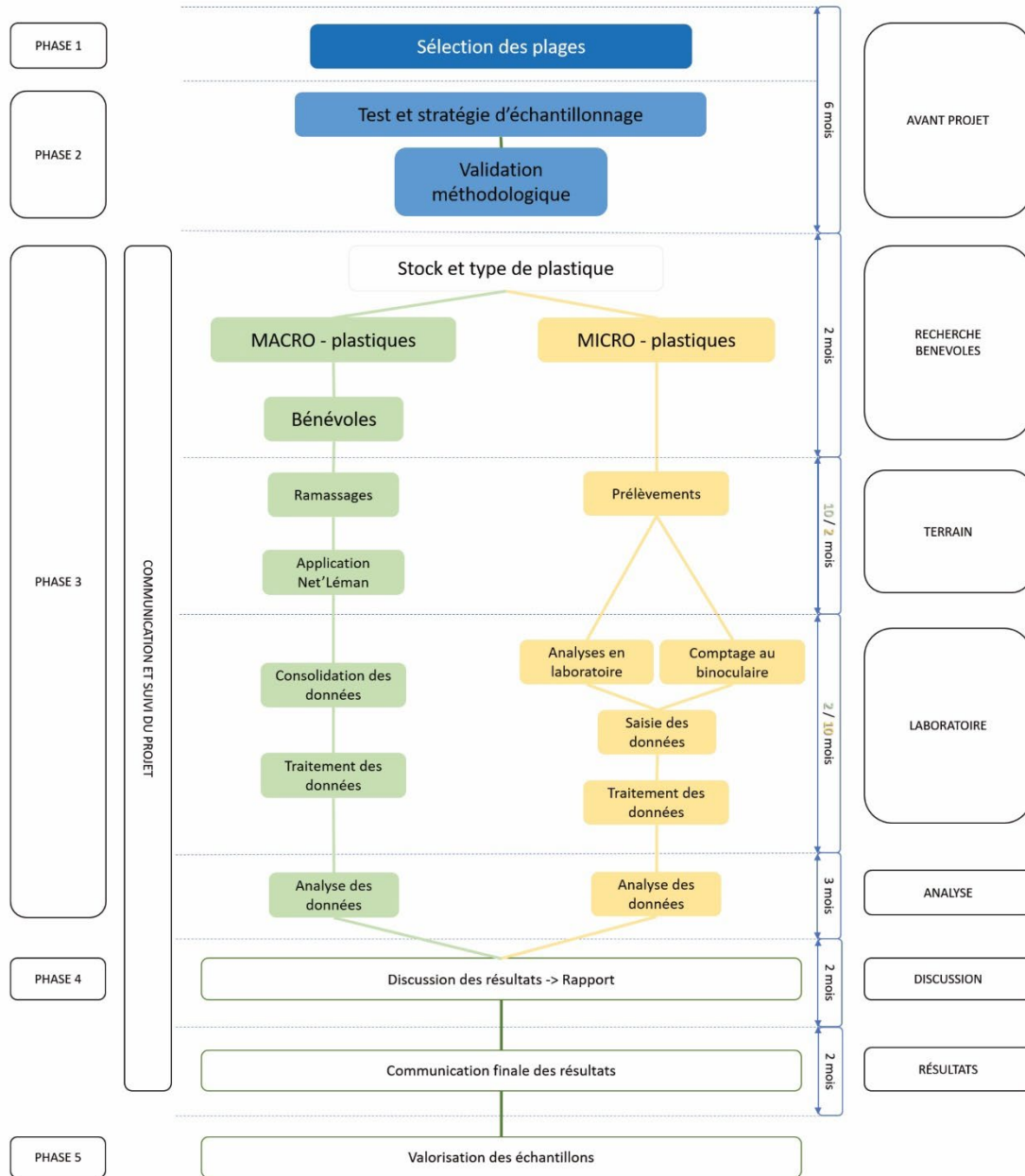


Figure 2. Organisation des différentes phases du projet Pla'stock. Les prélèvements des macroplastiques ont eu lieu entre février et novembre 2022. Les échantillons pour les microplastiques ont été prélevés en novembre 2021, puis traités à l'UNIGE entre février 2022 et juin 2023 pour être comptabilisés à l'ASL entre mars 2022 et août 2023.

Figure 2. Organization of the different phases of the Pla'stock project. Macroplastic samplings took place between February and November 2022. Samples for microplastics were collected in November 2021, then processed at UNIGE between February 2022 and June 2023 for quantification at ASL between March 2022 and August 2023.

### 3. QUESTIONS DE RECHERCHE

#### 3.1. MICROPLASTIQUES (300 µm À 5 mm)

L'élaboration du plan de recherche pour la caractérisation des stocks de plastique qui se sont déposés sur les plages du Léman est basée sur la formulation d'un certain nombre de questions et d'hypothèses.

##### 3.1.1. QUESTIONS DE RECHERCHE

La nature, la forme, l'origine, la taille et l'abondance des microplastiques qui se déversent sur les plages du Léman présentent-elles des différences significatives selon les plages considérées ? Si oui, quels facteurs sont-ils susceptibles d'expliquer ces différences ?

Parmi ceux qui semblent être les plus déterminants en ce qui concerne les sites sur lesquels les prélèvements sont effectués, citons :

- la localisation, à savoir le lieu géographique et son environnement immédiat le profil de la rive : linéaire, baie plus ou moins ouverte
- l'exposition au soleil, aux vents, aux vagues
- la fréquentation par le public
- le degré d'urbanisation alentours
- le substrat sur la ligne d'eau et sur la plage

Comment se situent les résultats de cette étude par rapport à ceux d'autres travaux réalisés autour du Léman ou ailleurs en Suisse, en Europe ou dans le monde ?

#### 3.2. MACROPLASTIQUES (> 2 mm)

##### 3.2.1. QUESTIONS DE RECHERCHE

La nature, la forme, l'origine, la taille et l'abondance des macroplastiques qui se déversent sur les plages du Léman présentent-elles des différences significatives selon les plages considérées ? Si oui, quels facteurs sont-ils susceptibles d'expliquer ces différences ?

Parmi ceux qui semblent être les plus déterminants en ce qui concerne le site sur lequel les prélèvements sont effectués, citons :

- la localisation, à savoir le lieu géographique et son environnement immédiat le profil de la rive : linéaire, baie plus ou moins ouverte
- l'exposition au soleil, aux vents, aux vagues
- la fréquentation par le public
- le degré d'urbanisation alentours
- le substrat sur la ligne d'eau et sur la plage

Comment se situent les résultats de cette étude par rapport à ceux d'autres travaux réalisés autour du Léman ou ailleurs en Suisse, en Europe ou dans le monde ?

Si les déchets ne sont pas trop fragmentés, il est possible d'en déterminer la source. Il sera intéressant de définir quels sont les objets les plus fréquemment trouvés sur les plages ?

## 4. METHODES

Que ce soit pour les macro- ou les microplastiques, les méthodes de prélèvements et d'analyses ont été développées puis testées et validées par l'ASL. Elles sont majoritairement compatibles avec les protocoles scientifiques utilisés par les différentes études ayant traité de la même thématique en Europe (Gerdt, 2019) et au niveau helvétique (OFEV, 2021). La méthodologie pour les macroplastiques se démarque des autres études par la prise en compte du mètre carré comme unité de référence par rapport à d'autres études qui se basent sur le mètre linéaire de ligne d'eau. Ce choix a été effectué afin de pouvoir comparer les abondances par mètre carré entre les microplastiques et les macroplastiques. La méthodologie de prélèvements et d'analyses pour les microplastiques a été testée et choisie pour être compatible avec les protocoles d'autres études européennes pour des besoins de comparaison (Faure et al., 2014, Frei et al. 2021). Les méthodes ont été validées par le groupe de travail « Pla'stock » de l'ASL et le Conseil Scientifique de la CIPEL.

### 4.1. ZONE D'ETUDE

Sur la base du périmètre des rives défini par la CIPEL, les 200 km de rives du Léman ont été découpés en 25 tronçons de longueur équivalente (Figure 3) et au moins une plage a été choisie dans chacun de ces secteurs selon ses caractéristiques (type de substrat, fréquentation, degré d'urbanisation des alentours) et la diversité des milieux qui la constituent dans le but d'obtenir un échantillonnage représentatif de la réalité. Une partie des plages correspond à celles inventoriées dans le cadre de l'étude IQAASL (OFEV, 2021).

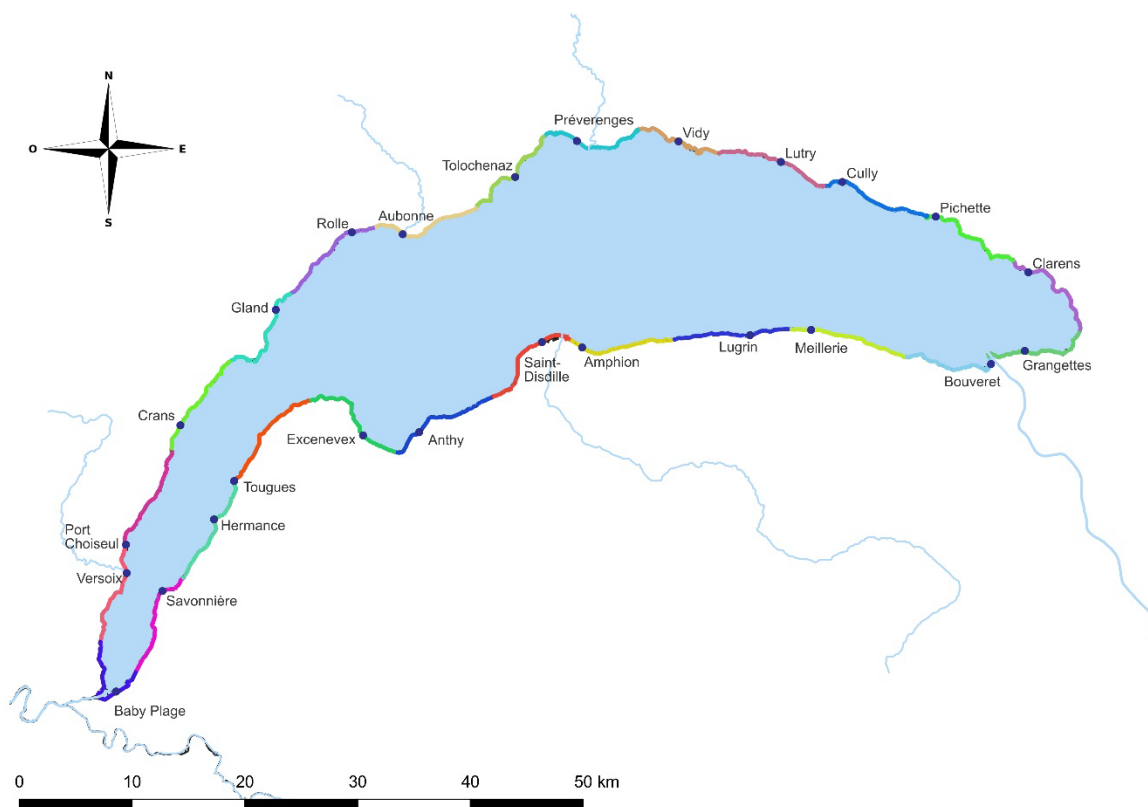


Figure 3. Séparation des 200 km de rives lémaniques en 25 secteurs pour le choix des 25 plages de l'étude.

Figure 3. Division of the 200 km of Lake Geneva shores into 25 sectors for the selection of the 25 study beaches.

Le choix s'est porté sur neuf grandes plages de plus de 80 m de long, neuf de 50 à 80 m et sept de 15 à 50 m. Les surfaces inventoriées varient entre 16 m<sup>2</sup> pour la plus petite et près de 2000 m<sup>2</sup> pour la plus grande. Au total, ce sont quatre plages de moins de 100 m<sup>2</sup>, 15 de 100 à 500 m<sup>2</sup>, cinq de 500 à 1100 m<sup>2</sup> et une de 1980 m<sup>2</sup> qui ont été investiguées. De plus, une attention particulière a été portée au substrat afin d'avoir une bonne répartition entre les plages de sable, de graviers et de galets. La séparation entre les différents substrats a été effectuée à l'œil en fonction de la granulométrie moyenne de la plage.

Chaque plage comprend deux sous-secteurs (Figure 4) :

1. la ligne d'eau (interface terre-eau + deux mètres de plage)
2. la plage sèche

A noter que la ligne d'eau se déplace au fil de l'année et des variations du niveau du lac.



Figure 4. Sous-secteurs des plages : 1) Ligne d'eau et 2) Plage sèche.

Figure 4. Sub-sectors of the beaches : 1) Waterline and 2) Dry beach.

## 4.2. RECOLTE, EXTRACTION ET IDENTIFICATION DES MICROPLASTIQUES

### 4.2.1. ECHANTILLONNAGE DES MICROPLASTIQUES

Les microplastiques, définis comme étant de taille inférieure à 5mm, ont été prélevés et analysés par les collaborateurs et collaboratrices de l'ASL ainsi que par les deux étudiantes de Master de l'Université de Genève. Un troisième travail de master en cours étudie les courants qui peuvent influencer le degré d'accumulation de microplastiques sur les plages.

La stratégie d'échantillonnage est inspirée de celle de Gerdts (2019). Sur chaque plage, une carotte de substrat est prélevée de manière aléatoire tous les 45 m<sup>2</sup> en moyenne à l'aide d'un profilé en métal de 10 cm de côté sur une profondeur de 5 cm (Figure 5). Cette profondeur correspond à celle utilisée dans le cadre d'études similaires (Faure et al., 2014 ; Imhof et al., 2018 ; Zbyszewski et al., 2014). Bien que concernant une unité de volume, il est usuel d'exprimer les résultats par surface. La méthode de prélèvement avec un profilé est adaptée de Bridson et al. (2020). La taille des carottes de 50 X 50 cm a été réduite à 10 X 10 cm afin de pouvoir augmenter le nombre d'échantillons analysés. La position géographique de chaque carotte est relevée au moyen d'un GPS. Les carottes sont transférées dans des boîtes de transport en verre et stockées à l'UNIGE en chambre froide à 4° C.

Les boîtes sont étiquetées de la manière suivante :

- Pays ;
- Région ;
- n° de station ;
- n° d'échantillon.

Les numéros d'échantillons sont définis de l'amont vers l'aval, à partir de la ligne d'eau Exemple : Baby Plage à Genève : CH GE 01.1 ; CH GE 01.2 ; CH GE 01.3 ; ...

Au total, 235 échantillons de 500 cm<sup>3</sup> ont ainsi été prélevés en novembre 2021. Dans le cadre de l'études, seuls 217 échantillons ont été traités et comptabilisés. 18 sont conservés à l'Université de Genève en vue de futures études.



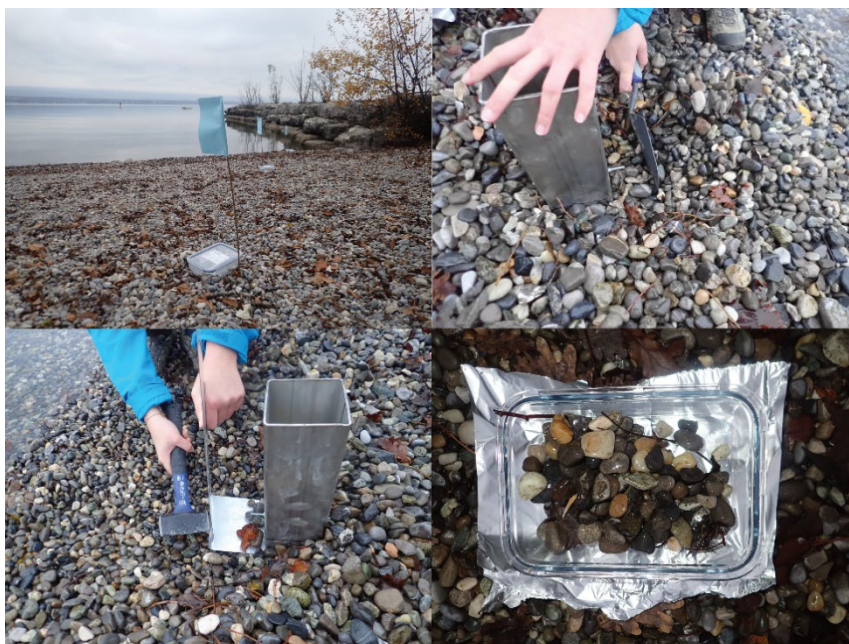


Figure 5. Prélèvement de 100 cm<sup>2</sup> de substrat (10 cm x 10 cm sur 5 cm de profondeur). Le profilé en métal est déposé en surface puis enfoncé à 5cm de profondeur. Le prélèvement est ensuite déposé dans une boîte de transport en verre et une feuille d'aluminium est placée entre l'échantillon et le couvercle pour éviter toutes contaminations.

Figure 5. Sampling of 100 cm<sup>2</sup> of substrate (10 cm x 10 cm by 5 cm deep). The metal corer is placed on the surface and pushed down to a depth of 5 cm. The sample is then placed in a glass transport box, and a sheet of aluminium is placed between the sample and the lid to prevent any contamination.

#### 4.2.2. EXTRACTION ET COMPTABILISATION DES MICROPLASTIQUES

La manipulation des échantillons est effectuée dans de la verrerie rincée à l'eau ultrapure afin d'éviter toute nouvelle contamination par des plastiques (Bouزيد et al). Dans un premier temps, les échantillons ont été séchés dans un four à 60 °C. Les plastiques ont ensuite été extraits par flottaisons dans une solution de Iodure de Sodium (NaI) à une densité de 1,7. Après 48 heures d'immersions, le surnageant est déposé sur des filtres en nitrate de cellulose avec une maille de 300 µm, puis placé dans une boîte en verre. Le matériel est constamment couvert de feuille d'aluminium pour éviter les contaminations. Les échantillons sont ensuite comptabilisés dans les locaux de l'ASL sous une cloche de Plexiglas®.

L'identification des microplastiques se fait à l'aide d'une loupe binoculaire au grossissement 40x en respectant les trois règles définies par Hidalgo-Ruz et al. (2013). A savoir :

- il ne doit pas y avoir de cellules ou de structures organiques visibles
- pour les fibres, l'épaisseur doit être constante sur toute la longueur (sous réserve de présence de matière organique)
- la coloration doit être homogène.

En suivant ces recommandations, les particules comptabilisées ont été réparties en trois grands groupes (Figure 6) :

- les fibres
- les particules souples (film, mousses)
- les particules dures (billes, fragments).

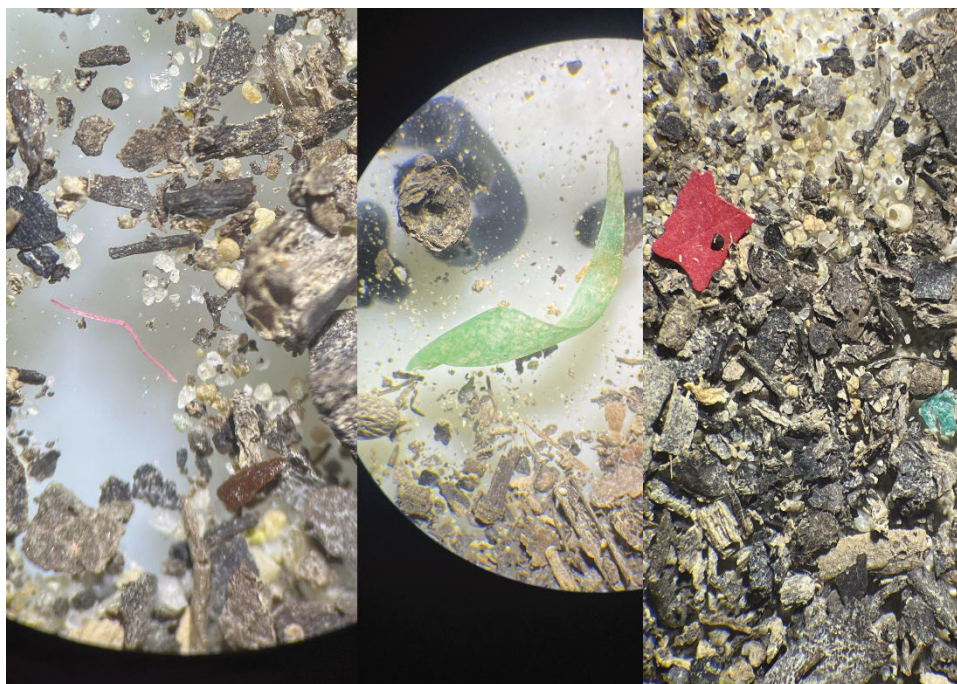


Figure 6. De gauche à droite : Fibre, particule souple et particule dure retrouvée lors de la comptabilisation.  
 Figure 6. From left to right : Fiber, soft particle, and hard particle found during the counting.

#### 4.2.3. LIMITE DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE

Lors du traitement des échantillons à l'Université de Genève, de leur transport et de la comptabilisation à l'ASL des contaminations (manipulations en laboratoire, aériennes, outillage, vêtements...) peuvent intervenir. Des blancs de laboratoires ont donc été effectués (Tableau 1) en reproduisant toutes les étapes allant du traitement de l'échantillon avec le NaI à la comptabilisation aux locaux de l'ASL.

Tableau 1. Blancs de laboratoire effectués à l'UNIGE avec comptabilisation à l'ASL

Table 1. Laboratory blanks conducted at UNIGE with counting at ASL

Blancs	Fibres transparentes	Fibres noires	Fibres bleues	Fibres rouges
Blanc 1	15	4	0	2
Blanc 2	39	7	4	0
Blanc 3	4	5	5	0

A noter que seules des fibres ont été retrouvées dans les blancs. Ces résultats ne sont pas surprenants au vu des risques de contamination aérienne. Avec une moyenne de 28 particules retrouvées, la contamination reste plutôt basse en comparaison avec la moyenne de 189 particules par échantillons comptabilisée. Ces blancs ne sont pas soustraits aux comptabilisations effectuées.

#### 4.3. RECOLTE, EXTRACTION ET IDENTIFICATION DES MACROPLASTIQUES

Un macroplastique est défini le plus souvent par la norme internationale comme étant un objet ou un fragment plastique plus grand que 5 mm. Pour autant, dans le cadre de cette étude, le terme macroplastique sera utilisé pour l'ensemble des plastiques visibles à l'œil nu. Il comprend donc les « grands » microplastiques entre 2 et 5 mm. La récolte et le recensement des macroplastiques ont été confiés à des personnes de la société civile, qui se sont spontanément inscrites pour se livrer à cette expérience de science participative. Une centaine de bénévoles très motivés ont ainsi appliqué un protocole scientifique précis sur les plages sélectionnées par l'ASL en respectant une surface et un temps de travail donné (30 secondes d'observation par m<sup>2</sup>) (Tableau 2). Cette précision est nécessaire pour limiter le biais induit par le grand nombre d'observateurs et d'observatrices.



Tableau 2. Nombre de bénévoles mobilisés par plage et temps d'échantillonnage par secteurs.

Table 2. Number of volunteers mobilized per beach and sampling time per sector.

Plage	Surface plage (m <sup>2</sup> )	Nombre de bénévoles	Temps total échantillonnage Ligne d'eau (min)	Temps total échantillonnage Plage sèche (min)
Amphion	436	4	49	169
Anthy-Séchex	245	2	28	95
Aubonne	375	4	40	148
Baby plage	513	5	58	199
Bouveret	538	5	50	219
Clarens	312	3	31	125
Crans	11	1	6	-
Cully	61	1	7	24
Embouchure Versoix	166	2	18	65
Excenevex	1977	17	87	901
Gland	31	1	8	8
Grangettes	321	3	37	123
Hermance	383	4	54	137
Lugrin	227	2	35	78
Lutry	325	3	40	122
Meillerie	14	1	7	-
Pichette	235	2	21	97
Port Choiseul	437	4	72	146
Préverenges	1123	10	76	486
Rolle	954	8	62	415
Saint-disdille	270	3	30	105
Savonnière	401	4	40	160
Tolochenaz	144	2	29	43
Tougues	536	5	46	222
Vidy	545	5	49	223

Le nombre d'intervenants, le secteur et le temps d'intervention doivent être rigoureusement respectés. En outre, la récolte des plus petits éléments (2 à 5 mm) demande une attention toute particulière.

Le protocole de collecte et de saisie a été établi d'après les référentiels du Guide sur la surveillance des déchets marins dans les mers européennes publié par la Commission européenne en 2013 (MSFD, 2013).

Son application permet de comparer les résultats obtenus sur les rives du Léman avec les autres études effectuées aux niveaux national et européen.

Le nombre de bénévoles envoyé sur chaque plage est proportionnel à sa taille. Des responsables ont été nommés pour chaque secteur sur la base du volontariat et se sont portés garants de la bonne application du protocole et donc de la robustesse des résultats. Au nombre de 33, ils ont été formés à l'encadrement du travail de terrain ainsi qu'à la méthode de tri et dénombrement des récoltes qu'ils ont effectués à leur domicile. Les plages sélectionnées dans le cadre de l'étude étant toutes des plages publiques, les grands macroplastiques (bouteilles, jouets de sables...) sont régulièrement ramassés par les services communaux.

#### 4.3.1. ECHANTILLONNAGE MACROPLASTIQUE (> 2 mm)

La personne responsable de secteur accueille les bénévoles et leur transmet les informations sur le secteur à inventorier. Les macroplastiques récoltés dans les sous-secteurs (ligne d'eau et plage sèche) sont triés et comptabilisés séparément.

La collecte des éléments de macroplastiques a lieu au moyen d'un seau par bénévole ou de deux boîtes en plastique par personne responsable sur la surface de plage prédéterminée (Figure 7). Plus précisément il s'agit de récolter les objets et fragments déposés sur le sol, sans creuser, sur chacun des deux sous-secteurs :

Ligne d'eau : à partir de la limite eau/sol, une largeur de plage adjacente de 2 m de part et d'autre

Plage sèche : le reste de la plage

La collecte est exécutée par chaque groupe de bénévoles à une vitesse de 30 sec/m<sup>2</sup> sur l'ensemble du secteur (rythme lent permettant la récolte de très petits éléments). Cela signifie, par exemple, qu'une plage de 240 m<sup>2</sup>, implique un travail de collecte de 2 heures, soit 30 minutes par personne pour un groupe de 4 bénévoles.

Chaque groupe de bénévoles se rend sur la plage qui lui est assignée une fois par saison durant une année. Les passages ont ainsi eu lieu en février-mars, avril-mai, juillet-août et octobre-novembre.



Figure 7. Récolte assidue des macroplastiques sur la plage de Préverenges. Photo ASL.

Figure 7. Diligent collection of macroplastics on Préverenges beach. Photo by ASL.

#### 4.3.2. TRI ET COMPTABILISATION DES MACROPLASTIQUES

Les plastiques récoltés sont réunis par sous-secteur et triés (Figure 8) selon la nomenclature reconnue au niveau européen (Hanke et al., 2013) présentée aux responsables lors des soirées de formation et comptabilisés. Les données sont saisies dans l'application Net'Léman (netleman.app) de l'ASL qui permet de centraliser les données aux fins d'analyse. Les données ont ensuite été vérifiées, puis analysées en vue de déterminer les proportions des différents types de plastique.



Figure 8. Tri des macroplastiques récoltés sur la plage de Vidy selon des catégories d'objets (Annexe 1). Photo Aleksandra Racz.  
Figure 8. Sorting of collected macroplastics on Vidy beach into object categories (Annex 1). Photo by Aleksandra Racz.

#### 4.3.3. LIMITE DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE

La récolte des macroplastiques et leur identification étant à la charge des bénévoles, un certain biais observateur peut interférer dans les mesures. La communication entre les bénévoles et les experts doit être très régulière.

## 5. RÉSULTATS

### 5.1. MICROPLASTIQUES (300 µM À 5 MM)

#### 5.1.1. REPARTITION DES MICROPLASTIQUES SUR LES PLAGES DU LÉMAN

En prenant la totalité des 217 échantillons analysés, les plages étudiées contiennent en moyenne 189 particules plastiques par 100 cm<sup>2</sup> 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 sur site ou par une accumulation par l'influence de facteurs environnementaux (vents, courants...).

Tableau 3. Valeurs globales du nombre de pièces identifiées comme étant du plastique par échantillon (particules/100 cm<sup>2</sup>) une fois la donnée de 3'143 particules recensées à la Pichette.

Table 3. Overall values of the number of pieces identified as plastic per sample (particles/100 cm<sup>2</sup>) once the data of 3 143 particles were recorded at La Pichette.

	Particules/ 100 cm <sup>2</sup>
Min	19
25%	71
Médiane	125
75%	201
Max	1'492
Moyenne	175
Écart-type	191

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.

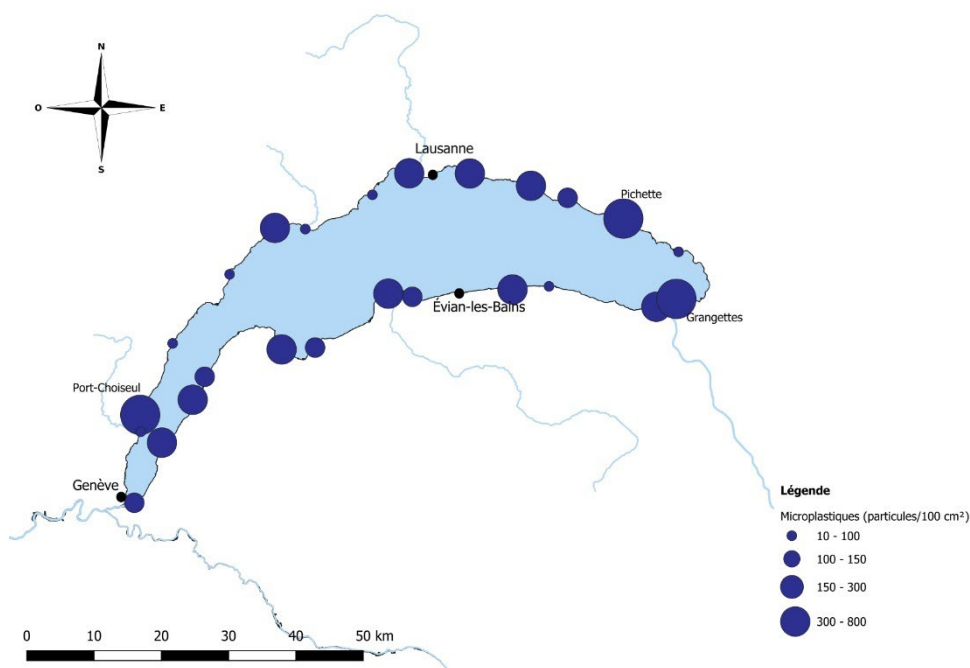


Figure 9. Carte des résultats de l'étude. Densité moyenne de microplastiques par 100 cm<sup>2</sup> et par site d'échantillonnage  
 Figure 9. Map of study results. Average density of microplastics per 100 cm<sup>2</sup> by sampling site

La Figure 9 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).



5.1.2. DIFFÉRENCE ENTRE LA LIGNE D'EAU ET LA PLAGESÈCHE

Les médianes et moyennes sont nettement plus élevées sur la plage sèche que sur la ligne d'eau (Tableau 4, Figure 10). 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.

Tableau 4. Récapitulatif des échantillons entre la ligne d'eau et la plage sèche. Résultats exprimés en particules/100 cm<sup>2</sup>.

Table 4. Summary of samples between the waterline and the dry beach. Results expressed in particles/100 cm<sup>2</sup>.

	Ligne d'eau	Plage sèche
Min	19	37
25%	53	116
Médiane	85	185
75%	129	262
Max	884	1'492
Moyenne	116	240
Écart type	125	227

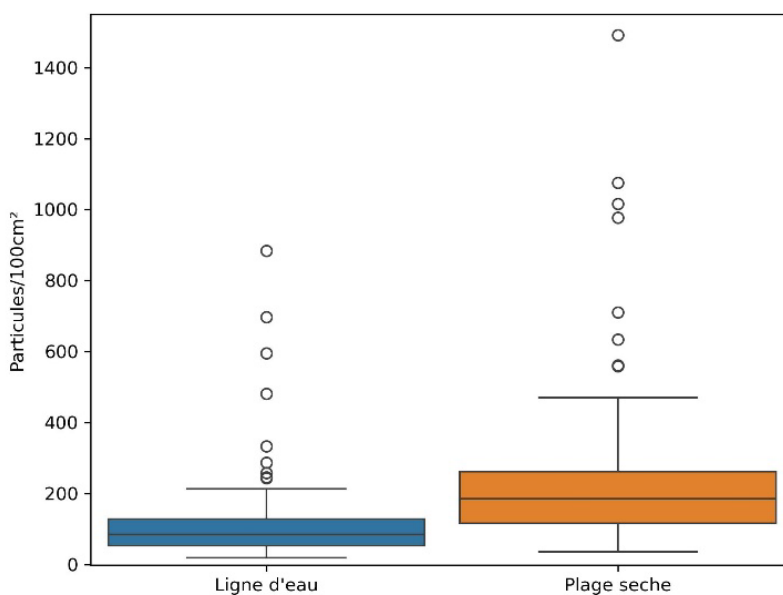


Figure 10. Les abondances en nombre de particules par 100 cm<sup>2</sup> sont généralement plus faibles sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Plusieurs concentrations extrêmes ont été recensées lors de l'étude, aussi bien sur la ligne d'eau que sur la plage sèche. Les trois concentrations les plus élevées observées (99ème percentile) étaient sur la plage sèche.

Figure 10. The abundances in number of particles per 100 cm<sup>2</sup> are generally lower at the waterline than on the dry beach. Several extreme concentrations were recorded during the study, both at the waterline and on the dry beach. The three highest observed concentrations (99th percentile) were on the dry beach.

Pour la ligne d'eau, les concentrations moyennes fluctuent entre 19 particules par échantillon de 100 cm<sup>2</sup> à Crans et 884 particules par échantillon à Préverenges. Sur le secteur "plage sèche", les échantillons contiennent entre 37 particules 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 11).

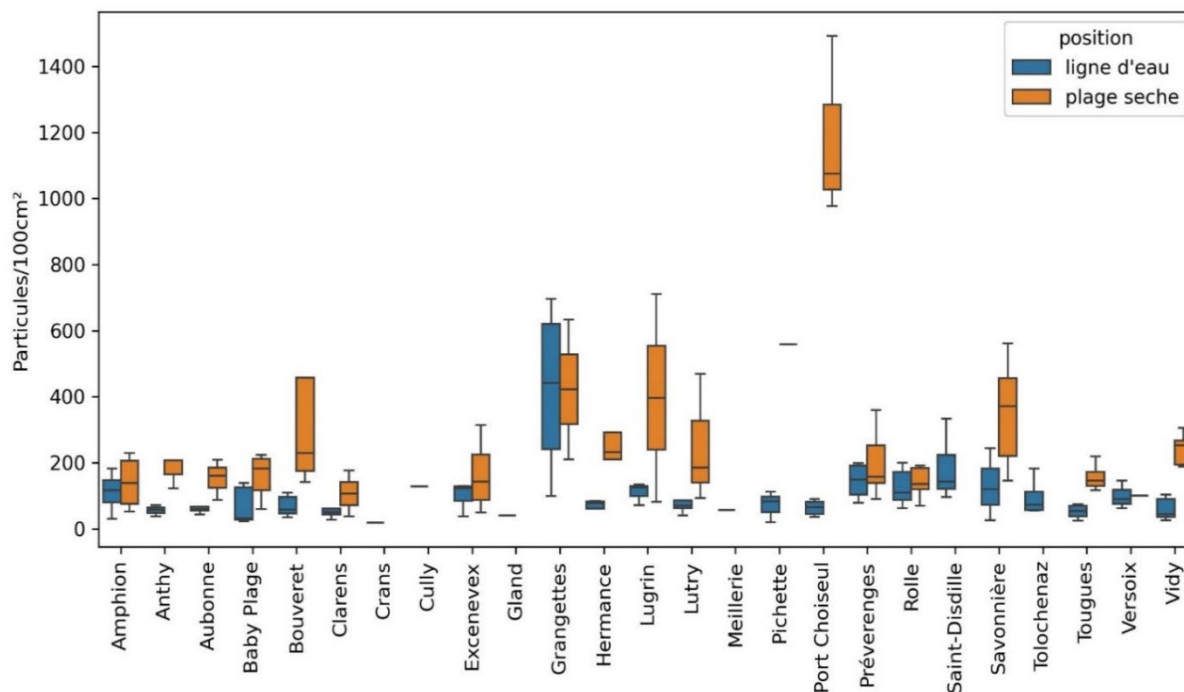


Figure 11. Concentration en microplastiques sur les 25 plages étudiées et par position sur la plage (particules/100cm<sup>2</sup>). Une valeur extrême a été relevée avec 3'143 particules dans un échantillon à la plage de la Pichette. Les détails des moyennes par plage sont présentés à l'annexe 4.

Figure 11. Concentration of microplastics on the 25 studied beaches and by position on the beach (particles/100cm<sup>2</sup>). An extreme value was recorded with 3 143 particles in a sample at Pichette Beach. Details of the averages per beach are presented in Annex 4.

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 cm<sup>2</sup>, contre 85 particules/100 cm<sup>2</sup> 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 observé à la plage de l'Empereur est également particulièrement fin sur la ligne d'eau, ceci pourrait également expliquer une plus grande capacité de retenue des petites particules.

### 5.1.3. IDENTIFICATION DES PARTICULES COMPTABILISEES

Parmi les 39'000 particules comptabilisées, la majorité sont des fibres (75%). Ensuite viennent les fragments souple (10%) et durs (9%) (Figure 12). 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 et al. (2019) sur la côte du Golfe du Lion en Méditerranée. A l'inverse, l'étude de Faure et al. (2014) 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. (2014).

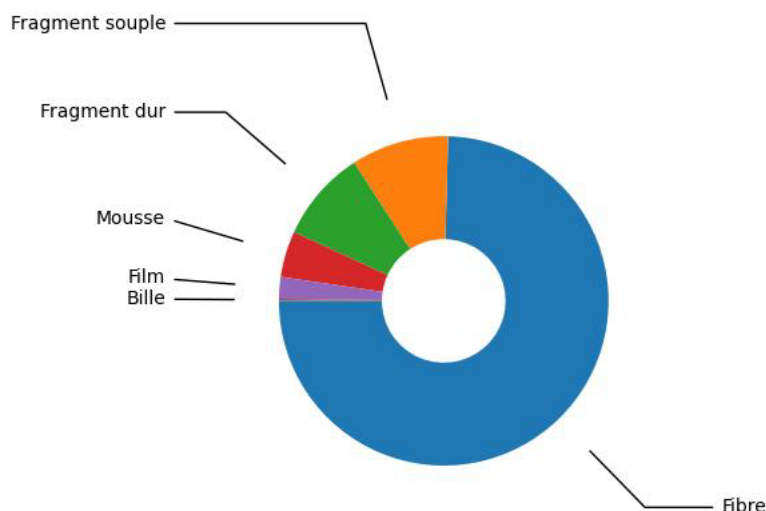


Figure 12. Répartition globale des particules comptabilisées par forme. Les fibres dominent largement en termes d'abondance.  
 Figure 12. Overall distribution of counted particles by shape. Fibers dominate significantly in terms of abundance.

#### 5.1.4. RESULTATS EN FONCTION DU SUBSTRAT DE LA PLAGES

Les médianes des plages de sable fin et de sable grossier sont plus élevées que celles avec une granulométrie plus grossière (gravier et cailloux) (Tableau 5). 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 5. Nombre de particules identifiées par type de substrat et par échantillons

Table 5. Number of particles identified per substrate type and per sample

Substrat	Min	25%	Médiane	75%	Max	Moyenne/ 100 cm <sup>2</sup>	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

## 5.2. MACROPLASTIQUES (> 2 MM)

### 5.2.1. 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 m<sup>2</sup> a été retrouvée (Figure 13), la médiane est de 0.5 pièce/m<sup>2</sup>. Une concentration maximale de 7.6 pièces par m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>.

La boîte de Tukey (Figure 13) permet de constater la forte concentration des mesures entre 0.18 et 0.97 pièces par m<sup>2</sup> avec ponctuellement des échantillons présentant des concentrations nettement plus élevées pouvant atteindre 7.6 pièces/m<sup>2</sup> lors d'une session de ramassage au Bouveret. Lors des sessions d'hiver et d'été, respectivement 4.5 et 2.8 pièces/m<sup>2</sup> ont été recensées. En s'intéressant également aux résultats des Grangettes avec des concentrations entre 2.25 et 5.6 pièces/m<sup>2</sup> sur la ligne d'eau et entre 1.8 et 3 pièces/m<sup>2</sup> 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.

Globalement, on constate que 12 sites sur les 25 sélectionnés contiennent moins de 0.5 pièces/m<sup>2</sup> (Figure 14), 7 en accumulent entre 0.5 et 1 pièces/m<sup>2</sup>, 4 entre 1-2 pièces/m<sup>2</sup> et 2 entre 2-3 pièces/m<sup>2</sup>. 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).

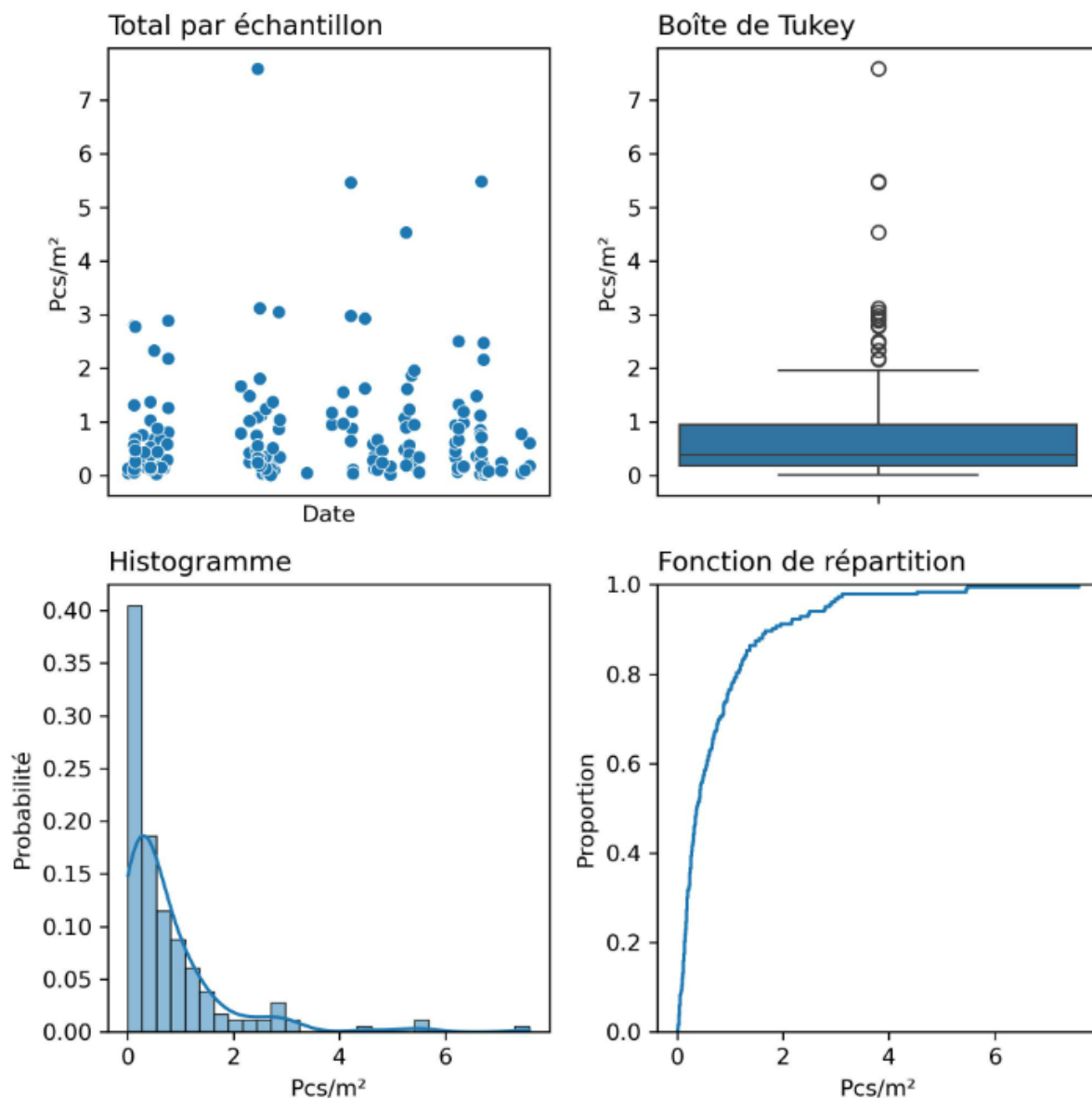


Figure 13. Récapitulatif des quatre sessions d'échantillonnage. Les quatre passages se sont répartis sur les quatre saisons. Les passages 3 et 4 ont été perturbés par les conditions météorologiques (pluie et vent) qui ont nécessité de décaler de quelques semaines certaines sessions afin de garantir la qualité des relevés. Boîte de Tukey : zone colorée = 25%-75% ; « moustache » = 1,5 x la distance interquartile.

Figure 13. Summary of the four sampling sessions. The four sampling sessions were spread over four seasons. Runs 3 and 4 were disrupted by weather conditions (rain and wind), which meant that some sessions had to be postponed by a few weeks in order to guarantee the quality of the surveys. Tukey box: colored area = 25%-75% ; "whisker" = 1.5 x interquartile range.



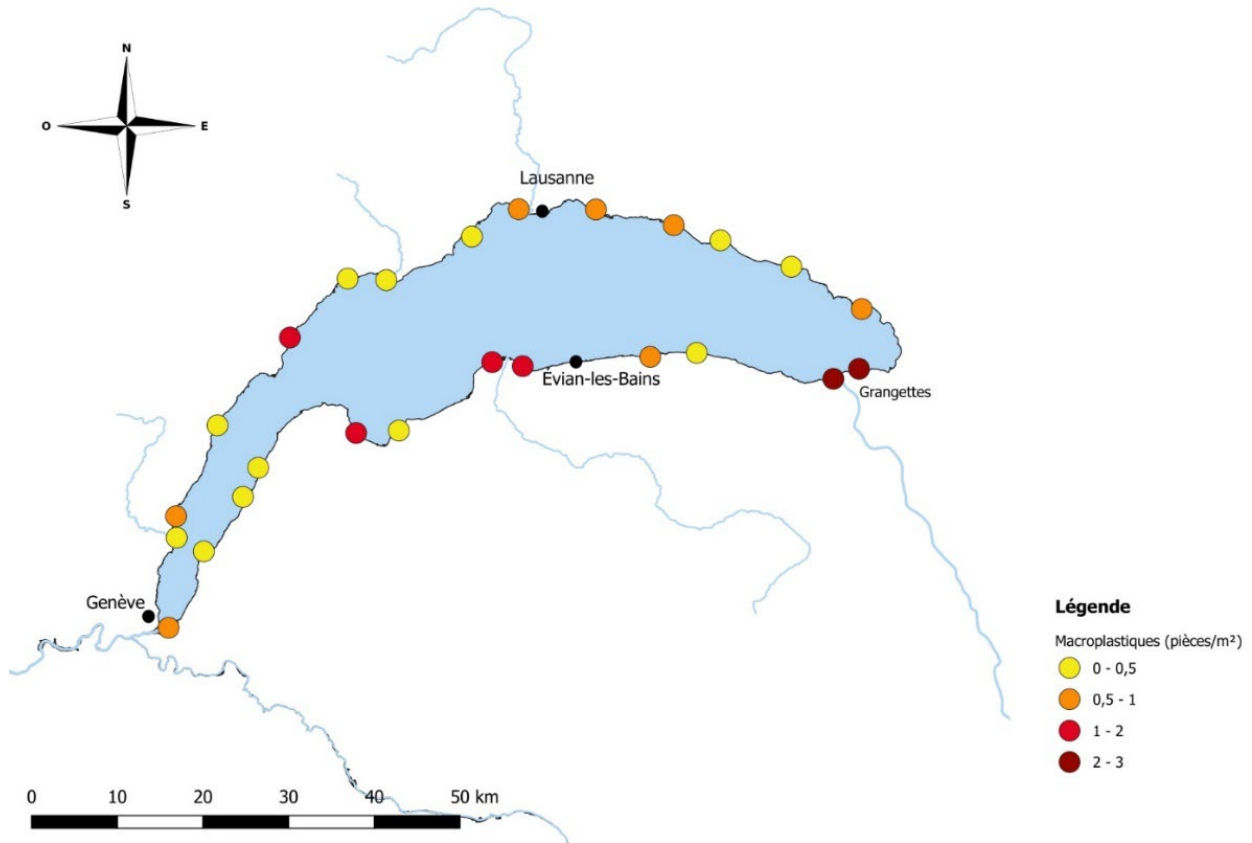


Figure 14. Carte des résultats de l'étude. Densité moyenne de macroplastiques par m<sup>2</sup> et par site d'échantillonnage.

Figure 14. Map of study results. Average density of macroplastics per m<sup>2</sup> per sampling site.

### 5.2.2. DIFFÉRENCE ENTRE LA LIGNE D'EAU ET LA PLAGESÈCHE

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 m<sup>2</sup> prospecté.

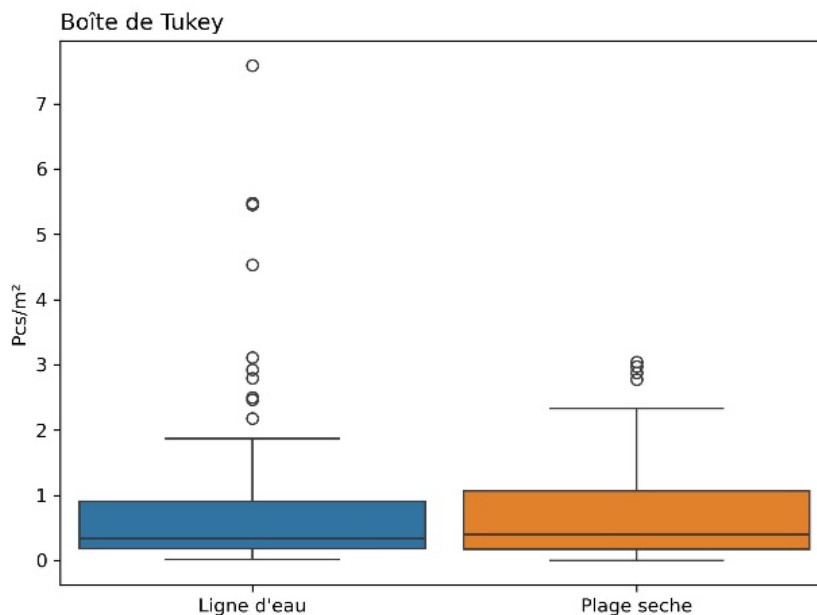


Figure 15. Les boîtes de Tukey des positions (ligne d'eau et plage sèche) sont comparables avec toutefois une fréquence beaucoup plus élevée de valeurs extrêmes sur la ligne d'eau. Ceci s'explique par une plus grande dépendance des facteurs externes

Figure 15. The Tukey boxes for the positions (water line and dry beach) are comparable, but with a much higher frequency of extreme values on the water line. This is explained by a greater dependence on external factors

Tableau 6. Récapitulatif des échantillons selon leur position sur la plage. Les médianes sont comparables alors que la valeur maximale sur la ligne d'eau est plus de deux fois supérieure à celle de la plage sèche. Résultats en nombre de pièces/m<sup>2</sup>

Table 6. Summary of samples by beach position. The medians are comparable, while the maximum value on the water line is more than twice that on the dry beach. Results in number of pieces/m<sup>2</sup>

	Ligne d'eau	Plage sèche
Min	0.02	0.01
25%	0.18	0.17
Médiane	0.36	0.4
75%	0.91	1.07
Max	7.59	3.05
Moyenne	0.83	0.69
Écart type	1.26	0.73

Les moyennes et médianes des relevés sur la plage sèche et sur la ligne d'eau sont comparables entre les secteurs (Figure 15). 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). Il est toutefois intéressant de constater le nombre de valeurs extrêmes sur la ligne d'eau. La valeur maximum 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, où leur concentration était plus importante sur le sous-secteur plage sèche (Figure 11). Ces 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 l'angle et la hauteur des vagues sur la plage. Ces données pourraient faire l'objet d'une étude spécifique à l'échelle d'un nombre restreint de plages.

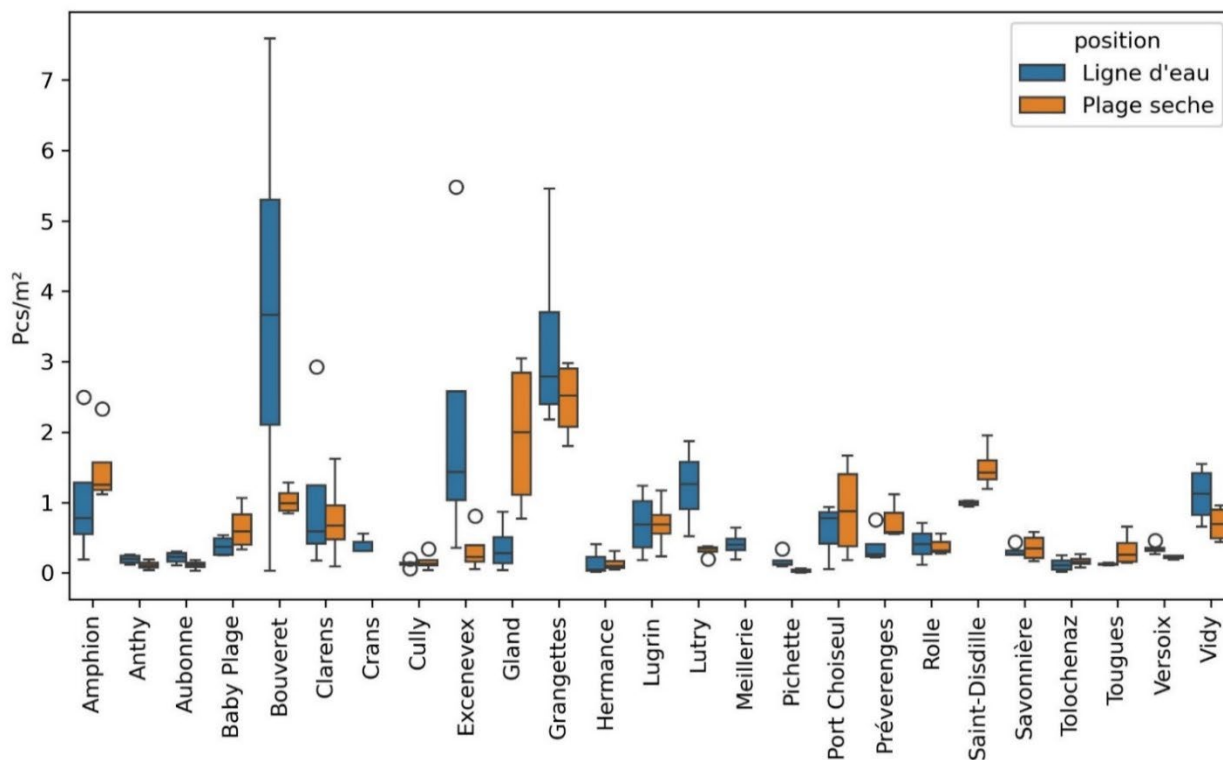


Figure 16. Concentration moyenne des déchets récoltés sur chacune des 25 plages lémaniques étudiées en 2022.

Figure 16. Average concentration of waste collected on each of the 25 Lake Geneva beaches studied in 2022.

Sur la ligne d'eau, la concentration moyenne varie de 0.12 pièce/m<sup>2</sup> à Tolochenaz à 3.74 pièces/m<sup>2</sup> au Bouveret et sur la plage sèche, de 0.12 pièces/m<sup>2</sup> à Anthy-sur-Léman et Aubonne à 2.52 pièces/m<sup>2</sup> aux Grangettes (Figure 16). 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 y est plus élevée que sur la plage. 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 montrent bien les plastiques réellement présents sur les plages et non la totalité s'y déposant. En effet, les services communaux font un grand travail de ramassage des grands macroplastiques, ce qui indique le très faible nombre de bouteilles en PET retrouvées sur l'ensemble des passages (4). Il est de fait possible que l'étude sous-estime la quantité de plastique arrivant sur les rives depuis le Léman.

### 5.2.3. TYPES DE MACROPLASTIQUES SUR LES PLAGES DU LEMAN

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.

### 5.2.4. ÉTUDE DES PRINCIPAUX DECHETS 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 7 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 7. Taux d'échec des 11 principales catégories 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 d'échec correspond au pourcentage d'échantillons dans lequel l'objet a été 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 plastiques.

Table 7. Failure rate for the 11 main categories of waste collected and median value of their abundance around Lake Geneva. Based on the assumption that there should be no plastics on beaches, the failure rate corresponds to the percentage of samples in which the object was found. Codes: G75 to G80: unidentified plastic fragments, by size class (e.g. G78 = 2.5 to 50 cm) ; G81 to G83: polystyrene pieces by size class ; G21 to G24: PET bottle caps, plastic jar lids.

Objet	Quantité	% du total	pcs/m	Taux d'échec
Fragments de plastique >5 mm	11'221	0.41	0.72	0.97
Mégots et filtres à cigarettes	3'089	0.11	0.15	0.79
Emballages de bonbons, de snacks	2'080	0.08	0.15	0.74
Fragments de plastique angulaires <5mm	1'926	0.07	0	0.41
Pellets industriels (gpi)	1'526	0.06	0	0.36
Fragments de polystyrène expansé >5 mm	1'399	0.05	0.07	0.72
Couvercles en plastique bouteille	1'070	0.04	0.04	0.65
Coton-tige	1'040	0.04	0.03	0.54
Mousse de plastique pour l'isolation thermique	406	0.01	0	0.38
Déchets de construction en plastique	380	0.01	0	0.24
Bâtonnets de sucette	379	0.01	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 17), 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).



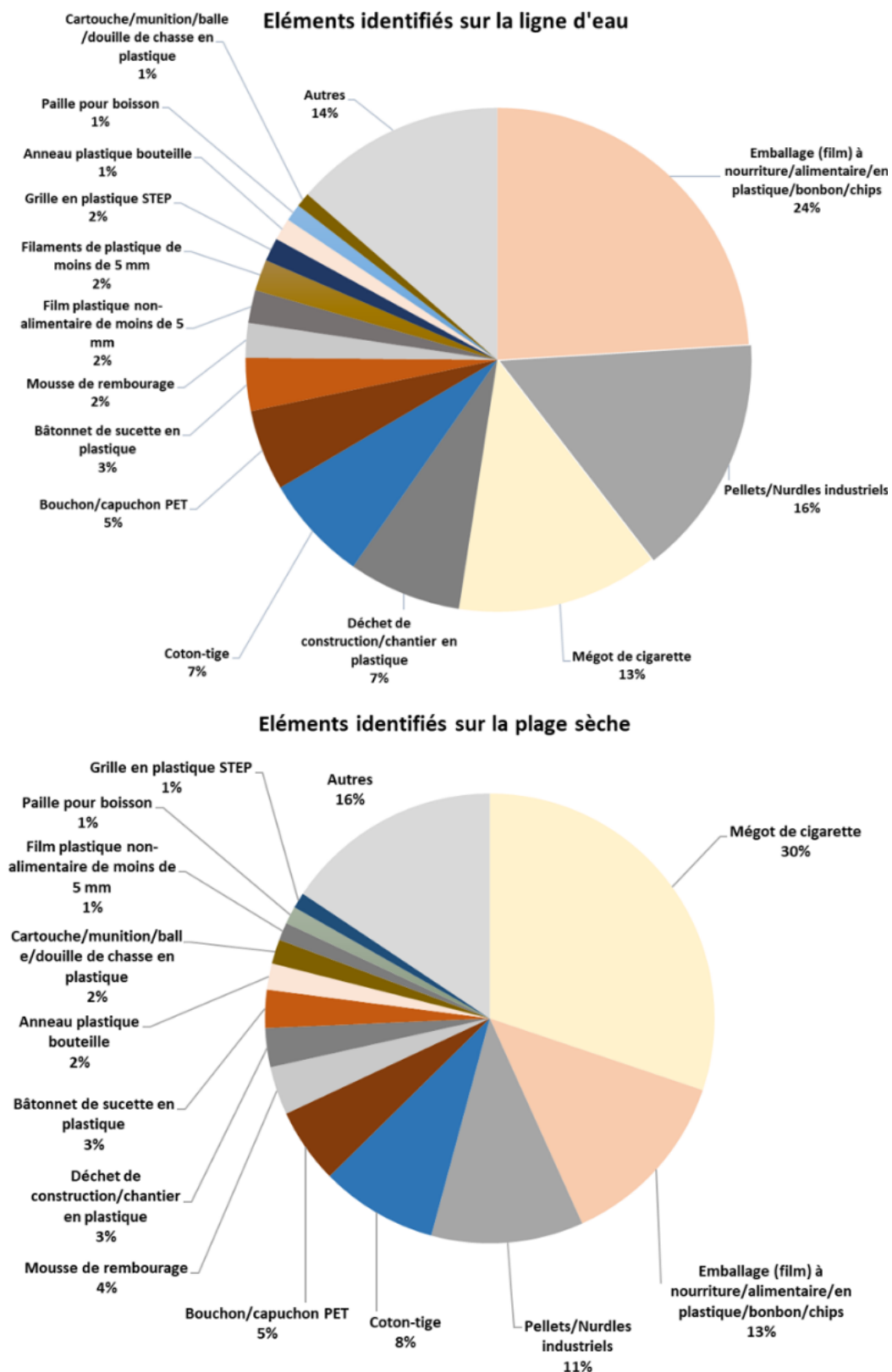


Figure 17. Distinction entre les éléments identifiés sur la ligne d'eau (gauche) et sur la plage sèche (droite). Cette figure ne prend pas en compte les fragments plastiques non identifiés visibles à l'œil nu qui représentent 52% des éléments retrouvés sur la plage sèche et 55% sur la ligne d'eau.

Figure 17. Distinction between elements identified on the water line (left) and on the dry beach (right). This figure does not take into account the unidentified plastic fragments visible to the naked eye, which represent 52% of the elements found on the dry beach and 55% on the water line.

De fortes fluctuations sont visibles entre les plages (Tableau 8 et Tableau 9). 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 Prêverenges, 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 8. 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 cotons-tiges aux Grangettes ou les déchets de construction au Bouveret. Une médiane de 0 ne signifie pas que l'élément n'a jamais été retrouvé sur la plage.*

*Table 8. Median values for concentrations found on Lake Geneva beaches in number of pieces per linear meter. This figure highlights special cases such as cotton buds at Les Grangettes or construction waste at Le Bouveret. A median of 0 does not mean that the element has never been found on the beach.*

Objet	Amphion	Anthy	Aubonne	Bouveret	Clarens	Crans	Cully	Excenevex	Genève	Gland	Grangettes	Hermance	Léman
Fragments plastique < 5mm (Gfrag)	0	0	0.03	0.68	0	0	0	0.89	0.46	0	0.31	0	0
Pellets industriels (gpi)	0	0.01	0	0.42	0.02	0	0	0.05	0.27	0.09	0.27	0	0
Mégots et filtres à cigarettes	0.13	0.06	0.19	0.43	1.19	0	0.06	0.36	0.36	0.11	0.34	0.12	0.15
Emballages de bonbons	0.43	0	0.08	0.43	0.24	0.05	0	0.13	0.16	0	1.67	0.02	0.15
Bâtonnets de sucette	0.12	0.01	0.01	0.15	0.05	0	0	0.06	0	0	0	0	0.02
Mousse pour l'isolation	0.02	0	0	0.02	0.31	0	0	0	0.01	0	0.68	0	0
Déchets de construction	0	0	0	0.49	0.02	0	0	0	0.01	0	0.24	0	0
Coton-tige	0.7	0.02	0	0.19	0.27	0	0	0	0.01	0.02	0.55	0	0.03
Couvercles en plastique	0.65	0	0.07	0.41	0.05	0	0.06	0.06	0.06	0	0.33	0	0.04
Fragments de polystyrène	0.45	0.01	0.03	0.3	0.21	0	0	0.09	0.04	0.48	1.31	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 9. 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 ne signifie pas que l'élément n'a jamais été retrouvé sur la plage.

Table 9. Median values for concentrations on Lake Geneva beaches, in number of pieces per linear meter. This figure highlights special cases such as industrial pellets at Préverenges and cigarette butts at Vidy. A median of 0 does not mean that the element has never been found on the beach.

Objet	Lugrin	Lutry	Meillerie	Préverenges	Rolle	Saint-Disdille	Savonnière	Tolochenaz	Tougues	Versoix	Vevey	Vidy	Léman
Fragments plastique < 5 mm (Gfrag)	0	0	0.04	0	0.61	0.02	0	0	0.02	0	0	0.18	0
Pellets industriels (gpi)	0	0	0	0.82	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0
Mégots et filtres à cigarettes	0.09	0	0.08	0.42	0.66	0.34	0.19	0	0.54	0	0.04	1.58	0.15
Emballages de bonbons	0.31	0.05	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	0.01	0.01	0.08	0.07	0.01	0.02	0	0	0.06	0.02
Mousse pour l'isolation	0	0	0.02	0	0	0.07	0	0	0	0.08	0	0.06	0
Déchets de construction	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
Coton-tige	0.14	0	0.02	0.06	0	0.23	0.15	0	0	0.15	0	0.3	0.03
Couvercles en plastique	0.07	0.04	0	0.03	0.01	0.31	0.14	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	0.01	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

## 6. DISCUSSIONS

### 6.1. MICROPLASTIQUES

Sur l'ensemble des 25 plages étudiées, les résultats obtenus montrent une concentration moyenne en microplastiques de  $17'500 \pm 19'100$  par  $m^2$ . Ce chiffre, issu des comptabilisations effectuées à la loupe binoculaire, peut être pondéré en se basant sur une étude réalisée en Méditerranée. En effet, Constant et al (2019) ont déterminé des pourcentages d'identification des différentes particules. Les fibres y sont identifiées comme étant bien du plastique dans 37% des cas, les fragments 50%, les mousses 81% et les films 67%. En appliquant cette pondération aux données du projet Pla'stock, la contamination estimée en plastique serait de  $7'600 \pm 8'300$  particules par  $m^2$ .

Le Tableau 10 ci-dessous, montre que les concentrations pondérées dans le cadre de l'étude Pla'stock ( $7'600 \pm 8'300$  particules/ $m^2$ ) sont plus de trois fois supérieures à la moyenne mesurée en 2014 sur le Léman et les autres lacs suisses. Ceci confirme les observations faites par Frei et al. (2021) sur le lac de Lugano. Il aurait été intéressant d'avoir un état des lieux en 2014 de la pollution plastique sur les plages du lac de Lugano afin de comparer l'évolution entre les deux lacs.

La comparaison avec une étude réalisée en 2019 en Méditerranée, sur quatre plages du Golfe du Lion, est encore plus flagrante (Constant et al., 2019). Contrairement aux autres résultats des autres études (Frei et al., 2021, Faure et al. 2014, Constant et al., 2019) les particules comptabilisées dans le cadre de la présente étude n'ont pas été caractérisées mais la valeur pondérée permet d'obtenir une concentration probable de particules de plastique et une meilleure comparaison avec d'autres études. La valeur non pondérée constitue la valeur maximale de particules de plastique dans les échantillons.

Les méthodes de prélèvements sont similaires dans les différentes études. En revanche la taille des échantillons varie. Constant et al. (2019) et Faure et al. (2014) ont effectué des carottages de  $0.5 \times 0.5$  m contre  $0.1 \times 0.1$  m pour l'étude de Frei et al. (2021) et l'étude Pla'stock. Cette nouvelle taille semble devenir la norme pour les échantillonnages de microplastiques sur les plages.

Tableau 10. Comparaison avec d'autres études ayant comptabilisé des microplastiques sur les plages (particules/m<sup>2</sup>)

Table 10. Comparison with other studies that have counted microplastics on beaches (particles/m<sup>2</sup>)

Auteurs	Lieu	Taille échantillonnée (mm)	Moyenne Particules/m <sup>2</sup>	Ecart type
Faure et al. 2014	Léman	0.3-5	2 100	2 000
	Lacs suisses	0.3-5	1 300	2 000
	Constance	0.3-5	320	220
	Neuchâtel	0.3-5	700	1 100
	Majeur	0.3-5	1 100	2 300
	Zurich	0.3-5	460	350
	Brienz	0.3-5	2 500	3 000
Frei et al. 2021	Lugano	0.3-5	9 044	14 494
Constant et al. 2019	Golfe du Lion 1	0.063-5	1 100	1 629
	Golfe du Lion 2	0.063-5	731	528
	Golfe du Lion 3	0.063-5	254	141
	Golfe du Lion 4	0.063-5	290	292
<b>Pla'stock</b>	<b>Léman</b>	<b>0.3-5</b>	<b>17 500</b>	<b>19 100</b>
<b>Pla'stock avec pondération</b>	<b>Léman</b>	<b>0.3-5</b>	<b>7 622</b>	<b>8 318</b>

Ce n'est pas une surprise de constater une augmentation des concentrations en microplastiques depuis 2014. Cette évolution peut s'expliquer par l'augmentation de la production mondiale de plastique, la fragmentation des déchets déjà présents dans le Léman ou encore par la consommation textile.

## 6.2. MACROPLASTIQUES

Sur les 25 plages étudiées par l'étude Pla'stock, la moyenne est de  $3.42 \pm 3.66$  pièces par mètre linéaire. Ce résultat suggère que les quantités de certains déchets sauvages sont en baisse par rapport aux sessions d'échantillonnage précédentes sur les plages du Léman (Tableau 11). Le projet IQAASL est le plus similaire à l'étude Pla'stock. Les différences sont la supervision des bénévoles, le nombre de passages et le nombre de plages suivies. Dans le cadre de l'étude Pla'stock, les responsables de secteur ont reçu une formation théorique pour réaliser les inventaires alors que dans celui d'IQAASL, les bénévoles étaient accompagnés sur les plages. Les autres projets mentionnés ne sont pas des études à large échelle. Il s'agit plutôt de collectes spontanées par des groupes sur un nombre restreint de secteur. Pla'stock est la première étude à avoir analysé tant des plages suisses que françaises.

Dans l'ensemble, cette étude fait état d'une valeur médiane de 2 pièces/mètre linéaire contre 3.7 à 4.4 dans le passé. Cette réduction est conforme aux conclusions de 2020 – 2021 combinant les résultats du suivi par SLR et de l'étude IQAASL (SLR-IQAASL).

Les déchets dont la concentration sur les plages a le plus fortement diminué sont ceux liés à la consommation personnelle (mégots de cigarettes, emballages de snacks et bouchons de bouteilles en plastique). La diminution marquée de la densité des cotons-tiges en plastique (0.03 pièce/mètre dans le cadre de l'étude Pla'stock contre 0.13 pièce/mètre lors de l'étude IQAASL (OFEV, 2021)) pourrait être attribuée à l'interdiction de la vente de ces articles en France.



Tableau 11. Comparaison des résultats des campagnes de collecte de déchets sauvages au bord du Léman entre 2016 et 2022 (nombre de déchets par mètre de rivage, nombre d'échantillons et nombre total de déchets récoltés). La récolte de 2021 correspond à l'étude IQAASL (OFEV, 2021). Les deux autres campagnes, MCPB de 2016 et SLR de 2018, n'ont pas fait l'objet de publications spécifiques.

Table 11. Comparison of the results of litter collection campaigns on the shores of Lake Geneva between 2016 and 2022 (number of litter items per metre of shoreline, number of samples and total number of litter items collected). The 2021 collection corresponds to the IQAASL study (OFEV, 2021). The other two campaigns, MCPB in 2016 and SLR in 2018, have not been the subject of specific publications.

	2016	2018	2021	Pla'stock
Min	0.38	0.05	0.16	0.10
25%	2.51	1.62	1.87	0.78
Médiane	4.39	4.63	4.04	2.00
75%	10.27	7.80	8.07	4.57
Max	47.37	37.59	59.99	18.26
Moyenne	7.82	6.48	7.69	3.42
Écart-type	9.04	7.60	10.99	3.66
Nombre d'échantillons	85	46	98	98
Total	29'055	9'460	24'028	27'493

### 6.3. STOCK DE PLASTIQUES SUR LES PLAGES DU LÉMAN

En vue de l'extrapolation des résultats de notre étude à l'ensemble des plages du Léman, la superficie des plages publiques a été estimée sur la base d'orthophotos et en se référant à la liste des plages de la CIPEL. Cette liste a été adaptée, certaines plages ayant été éliminées car elles sont uniquement des espaces de baignade dépourvus de grèves "naturelles" (enrochements, dalles en pierres ou en béton, etc.). Trois autres plages ont en revanche été incluses dans l'étude. Il s'agit d'une plage semi-privée à Crans (VD), de la plage de la Pichette sur la commune de Corseaux et de la plage de l'Empereur à Noville (Grangettes). Au total, la superficie des 90 plages retenues correspond à 68'400 m<sup>2</sup> pour un linéaire de 12'700 m. Selon cette estimation, la contamination plastique s'élève à 519'840'000 ± 567'720'000 particules sur les plages du Léman, basée sur la moyenne pondérée et 1'197'000'000 ± 1'306'400'000 sans pondération.

Pour les macroplastiques, sur les 12'700 m de plages publiques, en transposant la moyenne de 3.42 ± 3.66 pièces par mètre recensées dans le cadre du projet Pla'stock, il y aurait 43'400 ± 46'500 morceaux de plastiques sur les plages publiques du Léman.

### 6.4. PRÉDICTION DES ABONDANCES

#### 6.4.1. Prédiction avec modèle de la grille bayésienne

La méthode de la grille Bayésienne estime les paramètres en divisant l'espace des paramètres en points, calculant les chances de chaque point sur une grille, et les combinant avec des estimations antérieures pour obtenir des estimations finales. Elle aide à estimer les paramètres et leur incertitude, mais peut être complexe à calculer.

#### 6.4.2. Microplastiques

Les prédictions des abondances de microplastiques sur les plages du Léman permettent de visualiser ce qui est censé être réellement présent sur les plages en fonction des échantillonnages réalisés en 2021 dans le cadre de cette étude. Dans un premier temps, la prédiction d'abondance a été effectuée pour l'ensemble des plages, toutes conditions confondues (Figure 18).

Tableau 12. Prédiction d'abondance par approximation Bayésienne.

Table 12. Abundance prediction using Bayesian approximation.

	Concentration observée/100 cm <sup>2</sup>	Prédiction abondance/100 cm <sup>2</sup>
1%	23.22	3
25%	71.75	38.75
Médiane	125.5	113.5
75%	201.75	259.75
99%	1011.71	1031.66
Moyenne	175.74	200.57

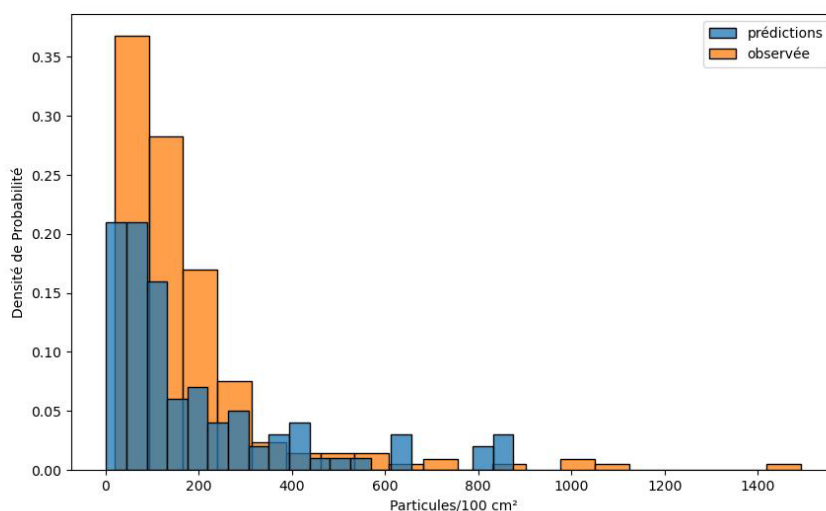


Figure 18. Prédiction d'abondance par approximation Bayésienne.

Figure 18. Abundance prediction using Bayesian approximation.

Les substrats ont été regroupés en deux catégories. Les sables comprennent les sables fins et grossiers. Les graviers comprennent les graviers et les cailloux. Les futurs relevés permettront d'alimenter le modèle de prédiction et d'en augmenter la robustesse. A ce stade, la prédiction indique qu'en allant se promener sur une plage de sable, nous trouverons en moyenne 200 particules de plastiques (valeur non pondérée), avec 99% des échantillons contenant moins de 1031 particules par échantillons de 100 cm<sup>2</sup>. En s'intéressant à la distinction entre les types de substrats, il est prévisible de trouver en moyenne plus de particules sur les plages dont le substrat est grossier (graviers et cailloux) que sur celles qui sont de sable. La dispersion des mesures est très grande sur les plages de graviers/galets avec des abondances pouvant varier de 1 à 1446 particules/100 cm<sup>2</sup> dans 99% des cas. A noter que les prédictions prévoient une différence entre les substrats sableux et les substrats grossiers moindre que celle mesurée in situ (Tableau 13).

Tableau 13. Prédiction d'abondance en nombre de particules/100 cm<sup>2</sup> sur les substrats sableux (à gauche) et ceux plus grossiers (graviers et cailloux) (à droite)

Table 13. Predicted abundance in number of particles/100 cm<sup>2</sup> on sandy substrates (left) and coarser substrates (gravel and pebbles) (right)

Substrats sableux	Concentration observée/ 100 cm <sup>2</sup>	Prédiction abondance/ 100 cm <sup>2</sup>
1%	23.76	8.92
25%	84.5	81.5
Médiane	136	147.5
75%	212	308.5
99%	812.94	1294.92
Moyenne	177.16	269.94

Substrats grossiers	Concentration observée/ 100 cm <sup>2</sup>	Prédiction abondance/ 100 cm <sup>2</sup>
1%	24.32	1
25%	62	41.75
Médiane	90	131
75%	182	438
99%	1192.48	1446.44
Moyenne	173.03	331.42

#### 6.4.3. Macroplastiques

Sur la base des différentes sessions d'échantillonnage de ces dernières années, il est possible de prédire les abondances de macroplastiques qui seront retrouvées sur les plages du Léman en 2024. Le but est de pouvoir combiner, au sein de ce modèle, les données récoltées dans le cadre de Pla'stock et celles issues d'études plus anciennes. De cette manière, il sera possible de connaître la quantité et le type de plastiques qui seront trouvés en allant se promener sur une plage donnée. La prédiction se base uniquement sur les collectes effectuées et ne prend pas en compte les ramassages effectués par les voiries.

Tableau 14. Prédiction d'abondance en nombre de pièces de macroplastiques par mètre linéaire.

Table 14. Prediction of abundance in number of pieces of macroplastic per linear meter.

	Concentration observée/ mètre linéaire	Prédiction abondance/ mètre linéaire
Min	0.1	0
25%	0.78	0.6
Médiane	2	1.4
75%	4.57	3.2
Max	18.2	18.2
Moyenne	3.42	2.26
Ecart-type	3.66	2.43

## 7. CONCLUSION

En conclusion de cette étude, on observe une grande disparité de concentration entre les différentes plages, tant pour les micros que pour les macroplastiques. Une étude similaire à l'échelle de chaque plage révélerait probablement la même hétérogénéité, compte tenu des zones d'accumulation observées sur différentes plages. Parmi les variables relevées (fréquentation, substrat, situation et distance à un parking), aucune ne se démarque comme étant déterminante pour expliquer la pollution plastique des plages du Léman et ce, bien que des variations aient été constatées. Cependant, une plage de sable, à proximité d'un parking et très fréquentée, risque d'être plus fortement impactée qu'une plage isolée avec galets. Entre la ligne d'eau et la plage sèche, il semblerait que l'accumulation de plastique ait plutôt lieu sur la plage sèche. Ceci pourrait s'expliquer par un dépôt des plastiques lors de forts vents du large qui sont ensuite stockés dans le substrat. A l'inverse, la ligne d'eau est continuellement exposée à la dynamique lacustre et l'importance de ces dépôts peut fortement varier en fonction des vents récents. Ces éléments devront être testés lors de futures études afin de pouvoir retracer au mieux le cheminement des plastiques dans le Léman et ainsi, dans la mesure du possible, en retracer la source. Le fait que, pour les macroplastiques, il n'y ait pas de variations visibles entre la ligne d'eau et la plage sèche peut s'expliquer par la fréquence des nettoyages effectués de manière très variable par les services communaux. Le transfert de déchets entre le lac et les rives est tout de même rendu visible par les types de déchets retrouvés sur la plage sèche (cotons-tiges, pellets, déchets de construction).

Les comparaisons avec des études antérieures montrent une nette augmentation des concentrations en microplastiques depuis l'étude de Faure et al. (2014), avec une prédominance des fibres. En revanche, les concentrations en macroplastiques tendent à diminuer légèrement. Ces évolutions seront intéressantes à suivre lors de futures études. Concernant les microplastiques identifiés, les fibres anthropiques sont largement dominantes, ce qui démontre le rôle important de l'abrasion des textiles dans l'introduction de microplastiques dans l'environnement.

En ce qui concerne les macroplastiques, il convient de noter l'importance de la fragmentation observée sur les déchets récupérés. En effet, plus de la moitié des objets triés n'étaient plus identifiables, preuve que les macroplastiques constituent la source de microplastiques secondaires. Parmi les éléments identifiables les plus fréquemment rencontrés, on retrouve les mégots, les emballages alimentaires et les pellets industriels.

Des tests sur les apports des principaux cours d'eau sont en cours de réalisation dans le cadre d'un travail de master avec l'UNIGE. Il serait également intéressant de pouvoir étudier l'influence des vents et des courants sur la distribution des plastiques autour du lac. L'exemple des Grangettes et du Bouveret qui subit l'effet combiné de la proximité du Rhône et des contre-courants ramenant les déchets vers les rives, illustre bien l'influence que peuvent avoir ces variables. Il serait également important de pouvoir identifier les différents vecteurs et sources de pollution pour les réduire au maximum.

Par ailleurs, grâce à l'identification des différents déchets recensés sur les plages du Léman, des mesures politiques pourraient être prises pour réduire, voire supprimer, le rejet de certains d'entre eux dont le cheminement dans l'environnement est connu.

## BIBLIOGRAPHIE

- Boucher, J., Faure, F., Pompini, O., Plummer, Z., Wieser, O., & de Alencastro, L. F. (2019). (Micro) plastic fluxes and stocks in Lake Geneva basin. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 112, 66-74.
- Bouزيد, N., Anquetil, C., Dris, R., Gasperi, J., Tassin, B., & Derenne, S. (2022). Quantification of microplastics by pyrolysis coupled with gas chromatography and mass spectrometry in sediments: Challenges and implications. *Microplastics*, 1(2), 229-239.
- Bridson, J. H., Patel, M., Lewis, A., Gaw, S., & Parker, K. (2020). Microplastic contamination in Auckland (New Zealand) beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110867.
- Constant, M., Kerhervé, P., Mino-Vercellio-Verollet, M., Dumontier, M., Vidal, A. S., Canals, M., & Heussner, S. (2019). Beached microplastics in the northwestern Mediterranean Sea. *Marine pollution bulletin*, 142, 263-273.
- Davidson-Pilon, C. (2015). *Bayesian methods for hackers: probabilistic programming and Bayesian inference*. Addison-Wesley Professional.
- Downey A. (2021). *Think Bayes 2ed*, Green Tea Press, 2021, <http://allendowney.github.io/ThinkBayes2/>
- Faure, F., & De Alencastro, L. F. (2016). Microplastiques: situation dans les eaux de surface en Suisse. *Aqua & Gas*, (4), 72-77.
- Faure, F., de Alencastro, F., Scharer, M., & Kunz, M. (2014). Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Laboratoire central environnemental GR-CEL, Lausanne.
- Frei, G., Peduzzi, S., Stoll, S., & Bruder, A. (2022). Assessment of microplastic contamination on lakeshores of Lake Lugano. *Bollettino della Societ ticinese di Scienze naturali*, 110, 71-81.
- Galgani, F., Ruiz-Oregon, L. F., Ronchi, F., Tallec, K., Fischer, E. K., Anastasopoulou, A., ... & Hanke, G. (2023). Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas-An update to improve the harmonised monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive.
- Gelman, A., Carlin J., Stern H., Dunson D., Vehtari A., Rubin D. (2021) *Bayesian Data Analysis - Third edition*, doi: 10.1201/b16018.
- Gerdt, G. (2019). Defining the BASElines and standards for Microplastics ANalyses in European waters: Final report Project BASEMAN.
- Hanke, G., Galgani, F., Werner, S., Oosterbaan, L., Nilsson, P., Fleet, D., ... & Liebezeit, G. (2013). Guidance on monitoring of marine litter in European seas. Centro Oceanográfico de Vigo.
- Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): a study supported by a citizen science project. *Marine environmental research*, 87, 12-18.
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in science & engineering*, 9(03), 90-95.
- Imhof, H. K., Wiesheu, A. C., Anger, P. M., Niessner, R., Ivleva, N. P., & Laforsch, C. (2018). Variation in plastic abundance at different lake beach zones-A case study. *Science of the Total Environment*, 613, 530-537.
- Jaynes, E. T. (2003). *Probability theory: The logic of science*. Cambridge university press.
- Johnson, A. A., Ott, M. Q., & Dogucu, M. (2022). *Bayes rules!: An introduction to applied Bayesian modeling*. Chapman and Hall/CRC.
- Jupyter Book (2021). Jupyter Book, <https://zenodo.org/record/4539666>.
- Lots, F. A., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A., & Bosker, T. (2017). A large-scale investigation of microplastic contamination: abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine pollution bulletin*, 123(1-2), 219-226.
- Martin, O. (2018). *Bayesian Analysis with Python: Introduction to statistical modeling and probabilistic programming using PyMC3 and ArviZ*. Packt Publishing Ltd.
- OFEV (2021). Identification, quantification and analysis of observable anthropogenic litter along Swiss lake systems. <https://www.plagespropres.ch/titlepage.html>
- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., ... & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2129-2169.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, 2825-2830.
- Cameron A. and Pravin Trivedi (1999) *Regression analysis of count data*. 2nd ed, Technometrics, doi: 10.1017/CBO9780511814365.
- Rossum, G. (1995). *Python reference manual*.
- Team, T. P. D. (2020). *Pandas development Pandas-dev/pandas: Pandas*. Zenodo, 21, 1-9.
- Van Loon, W., Hanke, G., Fleet, D., Werner, S., Barry, J., Strand, J., ... & Walvoort, D. (2020). A European Threshold Value and Assessment Method for Macro Litter on Coastlines.

- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., ... & Van Mulbregt, P. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature methods*, 17(3), 261-272.
- Vlachogianni, T. (2019). Assessing marine litter on Mediterranean beaches. Filling in the knowledge gaps via a participatory-science initiative. MIO-ECSDE. TABLE OF CONTENTS, 1, 3.
- Vlachogianni, T., Anastasopoulou, A., Fortibuoni, T., Ronchi, F., & Zeri, C. (2017). Marine litter assessment in the Adriatic and Ionian Seas. IPA-Adriatic DeFishGear Project, MIO-ECSDE, HCMR and ISPRA, 168.
- Wilson KA, Auerbach NA, Sam K, Magini AG, Moss ASL, Langhans SD, et al. (2016) Conservation Research Is Not Happening Where It Is Most Needed. *PLoS Biol* 14(3): e1002413. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002413>
- Zbyszewski, M., Corcoran, P. L., & Hockin, A. (2014). Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *Journal of Great Lakes Research*, 40(2), 288-299.

**ANNEXE 1. MASTERLIST DES DECHETS**

Masterlist des déchets élaborés par Hanke et al. (2013)

Master list of categories of litter items (Hanke et al. (2013)

Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas

2013

MSFD Technical Subgroup on Marine Litter

Master List of Categories of Litter Items										
TSG_ML General- Code	OSPAR- Code	UNEP- Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Scaffloor	Floating	Biota	Micro
G31	19		Lolly sticks	Artificial polymer materials		x				
G32	20	PL08	Toys and party poppers	Artificial polymer materials	x	x				
G33	21	PL06	Cups and cup lids	Artificial polymer materials	x	x				
G34	22	PL04	Cutlery and trays	Artificial polymer materials		x				
G35	22	PL04	Straws and stirrers	Artificial polymer materials		x				
G36	23		Fertiliser/animal feed bags	Artificial polymer materials		x				
G37	24	PL15	Mesh vegetable bags	Artificial polymer materials		x				
G38			Cover / packaging	Artificial polymer materials				x		
G39		PL09	Gloves	Artificial polymer materials			x	x		
G40	25	PL09	Gloves (washing up)	Artificial polymer materials	x	x				
G41	113	RB03	Gloves (industrial/professional rubber gloves)	Artificial polymer materials	x	x				
G42	26	PL17	Crab/lobster pots and tops	Artificial polymer materials		x				
G43	114		Tags (fishing and industry)	Artificial polymer materials		x				
G44	27	PL17	Octopus pots	Artificial polymer materials		x				
G45	28	PL15	Mussels nets, Oyster nets	Artificial polymer materials		x				
G46	29		Oyster trays (round from oyster cultures)	Artificial polymer materials		x				
G47	30		Plastic sheeting from mussel culture (Tahitians)	Artificial polymer materials		x				
G48			Synthetic rope	Artificial polymer materials			x	x		
G49	31	PL19	Rope (diameter more than 1cm)	Artificial polymer materials	x	x				
G50	32	PL19	String and cord (diameter less than 1cm)	Artificial polymer materials	x	x				
G51		PL20	Fishing net	Artificial polymer materials			x	x		
G52		PL20	Nets and pieces of net	Artificial polymer materials	x	x				
G53	115	PL20	Nets and pieces of net < 50 cm	Artificial polymer materials		x				
G54	116	PL20	Nets and pieces of net > 50 cm	Artificial polymer materials		x				
G55		PL18	Fishing line (entangled)	Artificial polymer materials			x			
G56	33	PL20	Tangled nets/cord	Artificial polymer materials		x				
G57	34	PL17	Fish boxes - plastic	Artificial polymer materials		x		x		
G58	34	PL17	Fish boxes - expanded polystyrene	Artificial polymer materials		x		x		
G59	35	PL18	Fishing line/monofilament (angling)	Artificial polymer materials	x	x	x			
G60	36	PL17	Light sticks (tubes with fluid) incl. packaging	Artificial polymer materials		x				
G61			Other fishing related	Artificial polymer materials			x			
G62	37	PL14	Floats for fishing nets	Artificial polymer materials	x	x				
G63	37	PL14	Buoys	Artificial polymer materials		x		x		



<b>Master List of Categories of Litter Items</b>										
TSG_ML General- Code	OSPAR- Code	UNEP- Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Scaffloor	Floating	Biota	Micro
G64			Fenders	Artificial polymer materials		x				
G65	38	PL03	Buckets	Artificial polymer materials		x				
G66	39	PL21	Strapping bands	Artificial polymer materials	x	x	x			
G67	40	PL16	Sheets, industrial packaging, plastic sheeting	Artificial polymer materials		x	x	x		
G68	41	PL22	Fibre glass/fragments	Artificial polymer materials		x				
G69	42		Hard hats/Helmets	Artificial polymer materials		x				
G70	43		Shotgun cartridges	Artificial polymer materials		x				
G71	44	CL01	Shoes/sandals	Artificial polymer materials		x				
G72			Traffic cones	Artificial polymer materials		x				
G73	45	FP01	Foam sponge	Artificial polymer materials		x				
G74			Foam packaging/insulation/polyurethane	Artificial polymer materials				x		
G75	117		Plastic/polystyrene pieces 0 - 2.5 cm	Artificial polymer materials		x				
G76	46		Plastic/polystyrene pieces 2.5 cm > < 50cm	Artificial polymer materials		x				
G77	47		Plastic/polystyrene pieces > 50 cm	Artificial polymer materials		x				
G78			Plastic pieces 0 - 2.5 cm	Artificial polymer materials		x				
G79			Plastic pieces 2.5 cm > < 50cm	Artificial polymer materials		x		x		
G80			Plastic pieces > 50 cm	Artificial polymer materials		x		x		
G81			Polystyrene pieces 0 - 2.5 cm	Artificial polymer materials		x				
G82			Polystyrene pieces 2.5 cm > < 50cm	Artificial polymer materials		x		x		
G83			Polystyrene pieces > 50 cm	Artificial polymer materials		x		x		
G84			CD, CD-box	Artificial polymer materials		x				
G85			Salt packaging	Artificial polymer materials		x				
G86			Fin trees (from fins for scuba diving)	Artificial polymer materials		x				
G87			Masking tape	Artificial polymer materials		x				
G88			Telephone (incl. parts)	Artificial polymer materials		x				
G89			Plastic construction waste	Artificial polymer materials		x				
G90			Plastic flower pots	Artificial polymer materials		x				
G91			Biomass holder from sewage treatment plants	Artificial polymer materials		x				
G92			Bait containers/packaging	Artificial polymer materials		x				
G93			Cable ties	Artificial polymer materials		x	x			
G94			Table cloth	Artificial polymer materials				x		
G95	98	OT02	Cotton bud sticks	Artificial polymer materials	x	x	x			
G96	99	OT02	Sanitary towels/panty liners/backing strips	Artificial polymer materials		x	x			

<b>Master List of Categories of Litter Items</b>										
TSG_ML General- Code	OSPAR- Code	UNEP- Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Scaffloor	Floating	Biota	Micro
G97	101	OT02	Toilet fresheners	Artificial polymer materials		x				
G98		OT02	Diapers/nappies	Artificial polymer materials		x	x			
G99	104	PL12	Syringes/needles	Artificial polymer materials		x	x			
G100	103		Medical/Pharmaceuticals containers/tubes	Artificial polymer materials		x				
G101	121		Dog faeces bag	Artificial polymer materials	x	x				
G102		RB02	Flip-flops	Artificial polymer materials		x				
G103			Plastic fragments rounded <5mm	Artificial polymer materials						x
G104			Plastic fragments subrounded <5mm	Artificial polymer materials						x
G105			Plastic fragments subangular <5mm	Artificial polymer materials						x
G106			Plastic fragments angular <5mm	Artificial polymer materials						x
G107			cylindrical pellets <5mm	Artificial polymer materials						x
G108			disks pellets <5mm	Artificial polymer materials						x
G109			flat pellets <5mm	Artificial polymer materials						x
G110			ovoid pellets <5mm	Artificial polymer materials						x
G111			spheruloids pellets <5mm	Artificial polymer materials						x
G112		PL23	Industrial pellets	Artificial polymer materials	x				x	
G113			Filament <5mm	Artificial polymer materials						x
G114			Films <5mm	Artificial polymer materials						x
G115			Foamed plastic <5mm	Artificial polymer materials						x
G116			Granules <5mm	Artificial polymer materials						x
G117			Styrofoam <5mm	Artificial polymer materials						x
G118			Small industrial spheres (<5mm)	Artificial polymer materials					x	
G119			Sheet like user plastic (>1mm)	Artificial polymer materials					x	
G120			Threadlike user plastic (>1mm)	Artificial polymer materials					x	
G121			Foamed user plastic (>1mm)	Artificial polymer materials					x	
G122			Plastic fragments (>1mm)	Artificial polymer materials					x	
G123			Polyurethane granules <5mm	Artificial polymer materials				x		
G124	48	PL24	Other plastic/polystyrene items (identifiable)	Artificial polymer materials		x	x	x		
G125	49	RB01	Balloons and balloon sticks	Rubber	x	x	x	x		
G126		RB01	Balls	Rubber		x		x		
G127	50		Rubber boots	Rubber		x	x	x		
G128	52	RB04	Tyres and belts	Rubber	x	x	x	x		
G129		RB05	Inner-tubes and rubber sheet	Rubber		x				
G130			Wheels	Rubber	x	x				
G131		RB06	Rubber bands (small, for	Rubber		x				

<b>Master List of Categories of Litter Items</b>										
TSG_ML General- Code	OSPAR- Code	UNEP- Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Scaffloor	Floating	Biota	Micro
			kitchen/household/post use)							
G132			Bobbins (fishing)	Rubber		x	x			
G133	97	RB07	Condoms (incl. packaging)	Rubber		x	x			
G134	53	RB08	Other rubber pieces	Rubber		x	x	x		
G135		CL01	Clothing (clothes, shoes)	Cloth/textile				x		
G136		CL01	Shoes	Cloth/textile			x			
G137	54	CL01	Clothing / rags (clothing, hats, towels)	Cloth/textile	x	x	x			
G138	57	CL01	Shoes and sandals (e.g. Leather, cloth)	Cloth/textile		x				
G139		CL02	Backpacks & bags	Cloth/textile		x				
G140	56	CL03	Sacking (hessian)	Cloth/textile		x				
G141	55	CL05	Carpet & Furnishing	Cloth/textile		x	x	x		
G142		CL04	Rope, string and nets	Cloth/textile		x	x	x		
G143		CL03	Sails, canvas	Cloth/textile		x		x		
G144	100	OT02	Tampons and tampon applicators	Cloth/textile	x	x				
G145	59	CL06	Other textiles (incl. rags)	Cloth/textile		x	x	x		
G146			Paper/Cardboard	Paper/Cardboard			x			
G147	60		Paper bags	Paper/Cardboard		x				
G148	61	PC02	Cardboard (boxes & fragments)	Paper/Cardboard	x	x	x	x		
G149		PC03	Paper packaging	Paper/Cardboard				x		
G150	118	PC03	Cartons/Tetrapack Milk	Paper/Cardboard	x	x				
G151	62	PC03	Cartons/Tetrapack (others)	Paper/Cardboard	x	x				
G152	63	PC03	Cigarette packets	Paper/Cardboard		x				
G153	65	PC03	Cups, food trays, food wrappers, drink containers	Paper/Cardboard	x	x				
G154	66	PC01	Newspapers & magazines	Paper/Cardboard		x		x		
G155		PC04	Tubes for fireworks	Paper/Cardboard		x				
G156			Paper fragments	Paper/Cardboard		x				
G157			Paper	Paper/Cardboard					x	
G158	67	PC05	Other paper items	Paper/Cardboard		x	x	x		
G159	68	WD01	Corks	Processed/worked wood		x				
G160	69	WD04	Pallets	Processed/worked wood	x	x	x	x		
G161	69	WD04	Processed timber	Processed/worked wood		x				
G162	70	WD04	Crates	Processed/worked wood	x	x		x		
G163	71	WD02	Crab/lobster pots	Processed/worked wood		x				
G164	119		Fish boxes	Processed/worked wood	x	x				
G165	72	WD03	Ice-cream sticks, chip forks, chopsticks, toothpicks	Processed/worked wood	x	x				

<b>Master List of Categories of Litter Items</b>										
TSG_ML General-Code	OSPAR-Code	UNEP-Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Scaffloor	Floating	Biota	Micro
G166	73		Paint brushes	Processed/worked wood		x				
G167		WD05	Matches & fireworks	Processed/worked wood		x				
G168			Wood boards	Processed/worked wood				x		
G169			Beams / Dunnage	Processed/worked wood				x		
G170			Wood (processed)	Processed/worked wood			x			
G171	74	WD06	Other wood < 50 cm	Processed/worked wood		x				
G172	75	WD06	Other wood > 50 cm	Processed/worked wood		x				
G173		WD06	Other (specify)	Processed/worked wood	x		x	x		
G174	76		Aerosol/Spray cans industry	Metal	x	x				
G175	78	ME03	Cans (beverage)	Metal	x	x	x	x		
G176	82	ME04	Cans (food)	Metal	x	x	x			
G177	81	ME06	Foil wrappers, aluminium foil	Metal		x				
G178	77	ME02	Bottle caps, lids & pull tabs	Metal	x	x				
G179	120		Disposable BBQ's	Metal		x				
G180	79	ME10	Appliances (refrigerators, washers, etc.)	Metal		x	x			
G181		ME01	Tableware (plates, cups & cutlery)	Metal		x				
G182	80	ME07	Fishing related (weights, sinkers, lures, hooks)	Metal		x	x	x		
G183		ME07	Fish hook remains	Metal					x	
G184	87	ME07	Lobster/crab pots	Metal	x	x				
G185			Middle size containers	Metal			x			
G186	83	ME10	Industrial scrap	Metal		x				
G187	84	ME05	Drums, e.g. oil	Metal		x	x			
G188		ME04	Other cans (< 4 L)	Metal		x				
G189		ME05	Gas bottles, drums & buckets (> 4 L)	Metal		x				
G190	86	ME05	Paint tins	Metal		x				
G191	88	ME09	Wire, wire mesh, barbed wire	Metal		x		x		
G192		ME05	Barrels	Metal				x		
G193			Car parts / batteries	Metal		x	x			
G194			Cables	Metal		x	x			
G195		OT04	Household Batteries	Metal		x				
G196			Large metallic objects	Metal			x			
G197			Other (metal)	Metal			x	x		
G198	89	ME10	Other metal pieces < 50 cm	Metal		x				
G199	90	ME10	Other metal pieces > 50 cm	Metal		x				
G200	91	GC02	Bottles incl. pieces	Glass/ceramics	x	x	x			
G201		GC02	Jars incl. pieces	Glass/ceramics		x	x			

<b>Master List of Categories of Litter Items</b>										
TSG_ML General- Code	OSPAR- Code	UNEP- Code	General Name	Level 1 - Materials	Core	Beach	Scaffloor	Floating	Biota	Micro
G202	92	GC04	Light bulbs	Glass/ceramics	x	x				
G203		GC03	Tableware (plates & cups)	Glass/ceramics		x				
G204	94	GC01	Construction material (brick, cement, pipes)	Glass/ceramics		x				
G205	92	GC05	Fluorescent light tubes	Glass/ceramics	x	x				
G206		GC06	Glass buoys	Glass/ceramics		x				
G207	95		Octopus pots	Glass/ceramics		x				
G208		GC07	Glass or ceramic fragments >2.5cm	Glass/ceramics		x	x			
G209			Large glass objects (specify)	Glass/ceramics			x			
G210	96	GC08	Other glass items	Glass/ceramics	x	x	x			
G211	105	OT05	Other medical items (swabs, bandaging, adhesive plaster etc.)	unidentified		x				
G212			Slack / Coal						x	
G213	181, 109, 110	OT01	Paraffin/Wax	Chemicals		x			x	
G214			Oil/Tar	Chemicals					x	
G215			Food waste (galley waste)	Food waste					x	
G216			various rubbish (worked wood, metal parts)	undefined					x	
G217			Other (glass, metal, tar) <5mm	unidentified						x

## ANNEXE 2. DONNEES DES PLAGES ECHANTILLONNEES

Données des plages échantillonnées

Data from sampled beaches

Plage	Echantillons prélevés	Coordonnée X	Coordonnée y	Secteur	Substrat	Surface (m <sup>2</sup> )	Temps / passage (min)	Longueur plage (m)
Amphion	4	46.398	6.534	1	4	98	50	91
Amphion	6	46.398	6.534	2	4	342	170	91
Anthy	3	46.352	6.404	1	4	62	30	85
Anthy	3	46.352	6.404	2	4	211	95	85
Aubonne	5	46.460	6.391	1	4	72	40	50
Aubonne	4	46.460	6.391	2	4	268	150	50
Baby Plage	5	46.209	6.163	1	1	112	60	81
Baby Plage	7	46.209	6.163	2	1	384	200	81
Bouveret	7	46.389	6.860	1	1	99	50	116
Bouveret	5	46.389	6.860	2	1	438	220	116
Clarens	4	46.439	6.890	1	4	67	30	52
Clarens	3	46.439	6.890	2	2	273	125	52
Crans	1	46.355	6.214	1	2	16	6	21
Cully	1	46.489	6.741	1	3	15	7	18
Cully	1	46.489	6.741	2	3	52	25	18
Excenevex	8	46.350	6.360	1	1	175	90	120
Excenevex	26	46.349	6.360	2	1	1803	900	120
Gland	1	46.419	6.290	1	2	23	8	23
Grangettes	4	46.396	6.887	1	1	79	40	66
Grangettes	3	46.396	6.887	2	1	260	130	66
Hermance	4	46.304	6.241	1	3	105	50	64
Hermance	5	46.304	6.241	2	3	265	130	64
Lugrin	3	46.405	6.668	1	4	72	35	70
Lugrin	2	46.405	6.668	2	4	159	80	70
Lutry	4	46.500	6.692	1	4	77	40	66
Lutry	4	46.500	6.692	2	2	234	120	66
Meillerie	1	46.408	6.717	1	2	53	7	25
Pichette	3	46.470	6.816	1	3	41	20	40
Pichette	3	46.470	6.816	2	3	190	100	40
Port Choiseul	6	46.290	6.171	1	3	147	70	78
Port Choiseul	4	46.289	6.171	2	3	297	150	78
Préverenges	10	46.511	6.530	1	1	150	80	125
Préverenges	13	46.511	6.530	2	1	961	490	125
Rolle	10	46.461	6.351	1	1	122	60	98
Rolle	11	46.461	6.351	2	1	937	475	98
Saint-Disdille	6	46.401	6.502	1	4	75	30	100
Savonnière	3	46.264	6.200	1	4	82	40	55
Savonnière	6	46.264	6.200	2	2	325	160	55
Tolochenaz	4	46.492	6.481	1	2	52	25	36
Tougues	6	46.325	6.257	1	2	94	45	114
Tougues	6	46.325	6.257	2	2	450	220	114
Versoix	3	46.274	6.171	1	3	37	20	30
Versoix	1	46.274	6.171	2	3	169	85	30
Vidy	6	46.511	6.611	1	1	91	45	71
Vidy	7	46.511	6.610	2	1	413	210	71

Secteur : 1= Ligne d'eau, 2= Plage sèche ; Substrat : 1= sable fin, 2= sable grossier, 3= gravier, 4= caillou



### **ANNEXE 3. PROTOCOLE POUR LA RECOLTE ET TRI DES MICROPLASTIQUES**

*Protocole pour la récolte et tri des macroplastiques*

*Protocol for collecting and sorting macroplastics*

Ce document a été transmis aux bénévoles en vue de l'échantillonnage des déchets

#### **Définition**

Le terme « macroplastique » regroupe l'ensemble des éléments de plus de 5 mm. En dessous, les particules sont appelées microplastiques. Cependant, pour la partie « macroplastiques » de cette étude, l'ensemble des plastiques visibles à l'œil nu seront pris en compte. Les particules recherchées sur les plages peuvent ainsi mesurer seulement quelques millimètres à plusieurs centimètres. Les petits éléments demandent une attention très élevée, d'où le protocole strict présenté ci-après.

#### **Objectif**

Le but de l'étude est d'établir la densité et le type des plastiques retrouvés sur les plages du Léman. Pour ce faire, des recensements sont menés conjointement sur 25 plages tout autour du lac. Afin d'obtenir des données comparables entre elles, les récoltes doivent être faites selon un protocole strict en respectant une surface et un temps de travail donnés. Le nombre d'intervenants, le secteur et le temps d'intervention doivent donc être rigoureusement respectés.

#### **Matériel**

1 seau par personne

2 boîtes en plastiques (pour la responsable)

#### **Secteur**

Selon les informations reçues dans la fiche secteur :

- Ligne d'eau et les deux premiers mètres de la plage
- Reste de la plage

#### **Récolte**

Le responsable de secteur accueille les bénévoles et leur transmet les informations sur le secteur à inventorier. Certains bénévoles seront dédiés à la récolte sur la partie 1 et les autres sur la 2. Cette répartition se fera au prorata de la taille de la ligne d'eau par rapport au reste de la plage. La répartition des bénévoles sera préalablement transmise aux responsables de secteurs par l'ASL. Les récoltes des deux parties seront triées et comptabilisées de manière distincte. La récolte se fait en parcourant le secteur prédéfini à un rythme de 30 secondes /m<sup>2</sup>. Cette vitesse est très lente et permet une attention élevée aux petits éléments. Chaque bénévole, équipé de son seau, parcourt la plage. Il ne faut pas creuser pour rechercher les plastiques. Seuls ceux se trouvant à la surface de la plage sont récoltés. Le responsable est également gardien du temps. Lorsque le temps à disposition est écoulé, les bénévoles rassemblent les déchets récoltés sur la bâche tout en s'assurant de bien garder la séparation entre les éléments de la partie 1 et ceux de la partie 2. Le tri se fait selon la nomenclature reconnue au niveau européen et qui a été présentée aux responsables lors des soirées de formation. Il est important d'être très rigoureux dans le tri afin de ne pas biaiser les statistiques. Une fois la comptabilisation des éléments effectuée, les données sont saisies dans l'app Net'Léman par le responsable de secteur.

#### **Récapitulatif**

Délimitation du site en 2 parties : a. Partie 1 : ligne d'eau et les deux premiers mètres de plage b. Partie 2 : reste de la plage

Répartition des bénévoles sur les deux parties selon instructions reçues par l'ASL dans les documents de terrain (cartes, liste des bénévoles)

Récolte pendant le temps donné à une vitesse d'environ 2 m<sup>2</sup>/min. Les éléments récoltés sont stockés dans un seau a. Particules ciblées : toutes celles visibles à l'œil nu. ATTENTION : les plus petites peuvent faire quelques millimètres seulement. b. Le substrat (sable, graviers, galets, coquillages, plantes aquatiques...) ne doit pas être retourné. Seules les particules visibles à la surface de la plage sont collectées.

Tri et comptabilisation a. Tri à domicile par le responsable selon la nomenclature fournie lors de la soirée de formation.

ATTENTION à bien séparer les éléments récoltés sur la partie 1 de ceux de la partie 2. Les éléments sont stockés dans les boîtes en plastique. Pour éviter la surcharge, les gros éléments (bouteilles en PET ou verre, cannette en aluminium, ...) sont directement comptabilisés sur site et évacués dans les poubelles de tris les plus proches. A choix, les mégots peuvent également être comptabilisés directement sur site. b. Comptabilisation de l'ensemble des éléments et saisie des données par le responsable dans l'App Net'Léman. Dans les données du nettoyage, la récolte sera identifiée de la manière suivante : Pla'stock – Nom de la plage – Partie (1 ou 2) – Saison.

Envoi des échantillons a. Les deux boîtes (partie 1 et partie 2) sont ensuite renvoyées à l'ASL avec à l'intérieur uniquement les éléments en plastique, à l'exception des mégots et des grands déchets (ex : bouteilles en PET). Vous pouvez conserver le carton reçu avec les boîtes et y coller l'étiquette préaffranchie.

### Météo

L'action est maintenue par tous les temps, dans la limite du raisonnable. Le seul facteur réellement limitant est le vent. En cas de vague trop importante, la ligne d'eau n'est pas accessible il n'est donc pas possible de garantir la justesse du protocole.

## ANNEXE 4. CONCENTRATION MOYENNE DE MICROPLASTIQUES

*Concentration moyenne de microplastiques par secteur et par plage*

*Average concentration of microplastics by sector and beach*

	Moyenne/100 cm <sup>2</sup> Ligne d'eau	Moyenne/100 cm <sup>2</sup> Plage sèche
Amphion	111.5	140.16
Anthy	55.33	178.67
Aubonne	62.8	152.33
Baby plage	69	160.5
Bouveret	90.86	404
Clarens	54.25	107
Crans	19	-
Cully	128	-
Excenevex	102.29	171.58
Gland	40	-
Grangettes	419.75	422.5
Hermance	66.5	250.8
Lugrin	111	396.5
Lutry	77	249.67
Meillerie	57	-
Pichette	72	-
Port choiseul	63.99	1181.67
Préverenges	242.3	191.31
Rolle	125.1	179.81
Saint-disdille	179.83	-
Savonnière	130	351
Tolochenaz	95.75	-
Tougues	67.67	156.6
Versoix	99.34	101
Vidy	78.16	241.6

## ANNEXE 5. TRAVAUX DE MASTER

*Travaux de master en lien avec le projet Pla'Stock*

*Master's work related to the Pla'Stock project*

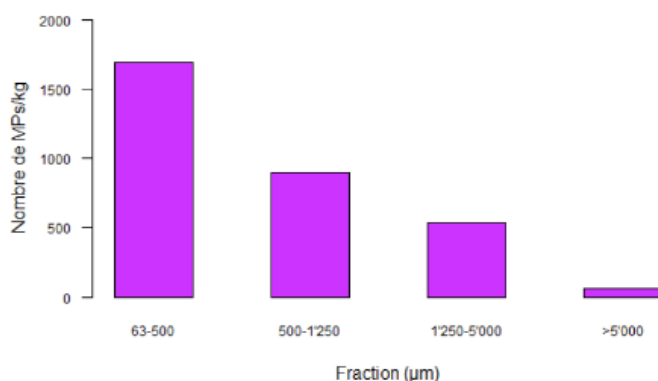
*Synthèses des études réalisées par Coline Guignier et Louise Uhlmann dans le cadre de leurs travaux de Master au sein du Département F.-A. Forel de l'Université de Genève.*

La manipulation des échantillons est effectuée dans de la verrerie rincée à l'eau ultrapure afin d'éviter toute nouvelle contamination par des plastiques (Bouزيد et al). Dans un premier temps, les échantillons ont été séchés dans un four à 60 °C. Une fois sec, le traitement des échantillons dédiés à la comptabilisation et ceux pour la caractérisation a été différent avec l'ajout d'une étape de digestion. Cette étape, particulièrement chronophage, n'a pas été retenue pour la comptabilisation afin de permettre l'analyse des 217 échantillons.

Pour les 15 échantillons dédiés à la caractérisation, 50 grammes sont prélevés avant d'être tamisés en trois fractions en fonction de leur taille : 500 µm-1'250 µm, 1'250 µm-5'000 µm et >5'000 µm. Pour 5 échantillons, un 4ème tamisage a été effectué pour extraire les particules entre 63 µm et 500 µm.

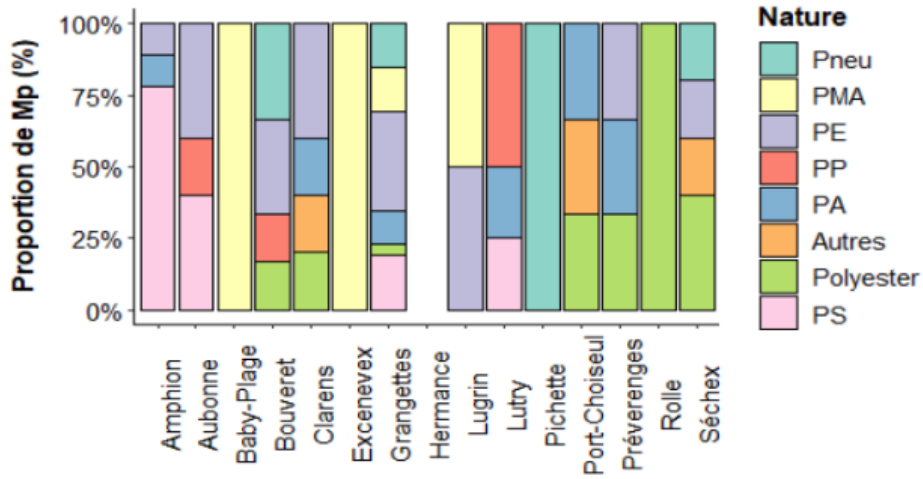
Pour les plus petites fractions, la matière organique présente est digérée à l'aide d'un mélange composé à 50% d'eau ultrapure filtrée et de peroxyde d'oxygène. Les particules plastiques sont ensuite extraites par flottaison dans une solution de NaI à densité 1,7. La caractérisation des échantillons a été effectuée dans les laboratoires de l'UNIGE par microspectroscopie FTIR-ATR (Perkin-Elmer) selon la méthodologie décrite par Frei, (Frei et al). Cette méthodologie permet de distinguer les différents polymères qui composent les microplastiques.

En parallèle à la comptabilisation, des caractérisations chimiques ont été effectuées. Ces dernières ont déjà été publiées. Une première étude (Uhlmann, 2023) s'est concentrée sur 15 échantillons pour comptabiliser et caractériser les particules plastiques entre 500 µm et 5 mm et une autre (Guignier, 2023) a ciblé 5 échantillons pour y détecter les particules entre 63 µm et 500 µm. L'évolution des abondances de microplastiques par kg de substrat analysé en fonction de la taille est flagrante (Figure 6.5). En effet, plus la taille recherchée est petite, plus le nombre de particules de microplastiques est élevé. Les classes de taille inventoriées dans le cadre de ce projet n'étant pas homogènes, l'évolution de l'abondance en particules/kg est en réalité encore plus marquée que ce qui est visible ici.

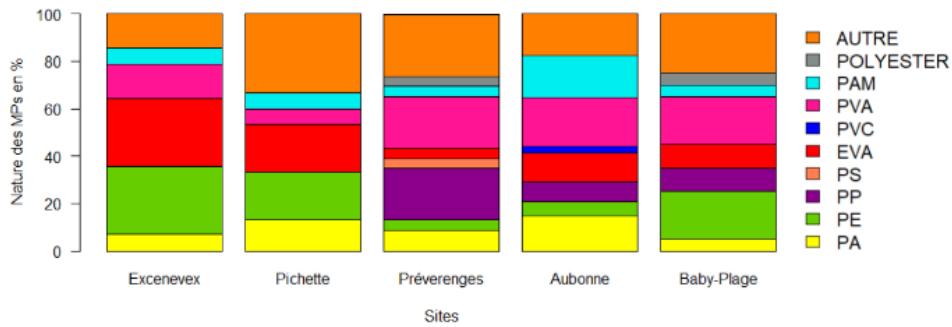


**Figure 6.5 :** Evolution des abondances moyennes de plastiques par kg de substrat analysé (Uhlmann, 2023) et (Guignier, 2023).

Au niveau de la caractérisation chimique, effectuée par FTIR-ATR, une grande variété de types de plastiques est observable entre les plages. Dans plusieurs échantillons, des particules de pneus ont été retrouvées (Figure 6.6). Comme lors de l'étude de Faure et al. (2014), le polyéthylène est le type plastique qui se retrouve dans le plus grand nombre d'échantillons. Le polyester et le polystyrène sont également présents dans un grand nombre de prélèvements. Parmi les plus petites fractions, il est intéressant de constater la présence d'éthylène-acétate de vinyle (EVA) et d'alcool polyvinylique (PVA), deux types de plastiques décrits comme très solubles et largement utilisés dans les colles (Figure 5.7). La solubilité de ces éléments peut expliquer le fait qu'ils n'aient pas été retrouvés dans les grandes fractions (Figure 6.6). A relever également le cas particulier de la plage de la Pichette où 100% des particules retrouvées correspondent à un mélange de plastiques utilisé dans la construction des pneus. Cette plage se situe directement en contrebas de la route Suisse et de l'autoroute. Les plages où la totalité des particules comptabilisées correspond à un seul type de plastique sont généralement celles avec une faible concentration en particules.



**Figure 6.6 :** Proportion des natures de MPs par plage échantillonnées (Uhlmann, 2023).  
 PMA=Polyméthacrylate ; PE=Polyéthylène; PP=Polypropylène; PA=Polyamide; PS=Polystyrène



**Figure 5.7 :** Proportion des natures de MPs (en %) de la fraction 63-500 um pour les cinq site d'étude dont le score de recherche est supérieur à 0.7: polyamide et nylon (PA), polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polystyrène (PS), éthylène-acétate de vinyle (EVA), polychlorure de vinyle (PVC), alcool polyvinylique (PVA), polyacrylamide (PAM), polyester, autre. (Guignier, 2023)