

Pollution plastique des rivières de Kinshasa: Mise en évidence de la contamination aux microplastiques de l'hydrosystème du Pool Malebo (fleuve Congo) à Kinshasa (RD Congo) et risque sur la santé des touristes

[Plastic pollution of Kinshasa rivers: Highlighting microplastic contamination of the Malebo Pool hydrosystem (Congo River) in Kinshasa (DR Congo) and risk to the health of tourists]

Masua Tchomba Basile¹⁻², Kaki Ngisila Blanchard³, Musibono Eyul'Anki Dieudonné⁴, Pwema Kiamfu Victor⁵, and Kayembe Sungula Jean⁶

¹Doctorant, Département de Sciences de l'environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo

²Expert en contrôle environnement, Office Congolais de Contrôle, RD Congo

³Doctorant en géographie-sciences de l'environnement, Département de Géographie-Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université Pédagogique Nationale (UPN), RD Congo

⁴Professeur ordinaire, Université de Kinshasa, RD Congo

⁵Professeur ordinaire, Université de Kinshasa, RD Congo

⁶Professeur ordinaire, Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Several factors threaten the integrity of aquatic ecosystem resources in the Democratic Republic of Congo. The banks of the Pool Malebo (Congo River) are also vulnerable to the presence of plastic pollution in its waters. This study aims to inventory the different types of microplastics in three compartments (water, sediment and fish) of the Congo River in the part of the Pool Malebo between the fishing stations of Maluku and Kinsuka in Kinshasa.

The search for microplastics was carried out by trapping with the Manta net. The identification and classification of plastic debris recorded in the three compartments of the Congo River were done on the basis of the density of microplastics. The results obtained showed that the physical and chemical parameters of the waters of the Congo River in the Pool Malebo generally contribute to the disintegration of macroplastics into microplastics. All the digestive tracts of the sampled fish have microplastics and the consequences on the food chain are obvious especially tourists and other populations consuming these fish. From the point of view of relative abundance of waste, PELD with 35 debris or 79.5% are the most numerous than PP with 9 debris or 20.4%. Given the danger that microplastics represent for aquatic animals and human health, further research based on the characterization of plastic waste by more advanced techniques will provide additional information on the composition of microplastics present in the Malebo Pool.

KEYWORDS: Plastic pollution, Tourism, Microplastics, Sediment, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, Malebo Pool, Kinshasa.

RESUME: Plusieurs facteurs menacent l'intégrité des ressources des écosystèmes aquatiques en République Démocratique du Congo. Les rives du Pool Malebo (fleuve Congo) sont aussi vulnérables à la présence de la pollution plastique dans ses eaux. Cette étude a pour objectif d'inventorier les différents types des microplastiques dans trois compartiments (eaux, sédiments et poissons) du fleuve Congo dans la partie du Pool Malebo entre les stations de pêche de Maluku et Kinsuka à Kinshasa. La recherche des microplastiques a été réalisée par piégeage avec le filet de Manta. L'identification et classification des débris plastiques recensés dans les trois compartiments du fleuve Congo ont été faites sur base de la densité des microplastiques. Les résultats obtenus ont montré que les paramètres physiques et chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo contribuent de manière générale à la désintégration des macroplastiques en micro plastiques. Tous les tubes digestifs des poissons échantillonnés ont des micro-plastiques et les conséquences sur la chaîne alimentaire est évidente surtout les touristiques et les autres populations consommatrices de ces poissons. Du point de vue abondance relative des déchets, les PELD avec 35 débris soit 79,5% sont les plus nombreux que les PP avec 9 débris soit 20,4%. Compte tenu du danger que représentent les microplastiques pour les animaux aquatiques et la santé humaine, des recherches ultérieures basées sur la caractérisation des déchets plastiques par des techniques plus avancées apporteront des informations supplémentaires sur la composition des microplastiques présents dans le Pool Malebo.

MOTS-CLEFS: Pollution plastique, Tourisme, Microplastiques, Sédiment, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, Pool Malebo, Kinshasa.

1 INTRODUCTION

Les plastiques ont changé le mode de vie des êtres humains. Inventés au XX^{ème} siècle, ils sont légers, durables et peu chers. Leurs nombreux avantages ont conduit à leur utilisation dans une myriade d'applications, allant de produits personnels et ménagers, aux produits d'emballage et les ont rendus irremplaçables et omniprésents dans la vie quotidienne (Roclin, 2015).

En conséquence, la production mondiale de plastiques a augmenté de façon exponentielle depuis 1950 (Andrady, 2011). Alors qu'une partie des déchets en plastique est correctement gérée (par combustion ou recyclage), il a été estimé que des millions de tonnes de déchets plastiques finissent dans l'environnement marin (268.940 tonnes en 2014; Eriksen *et al.*, 2014). Les plastiques représentent de 50 à 80% des déchets marins, ces derniers sont liés à la forte densité de population sur les côtes continentales (Barnes *et al.*, 2009). L'intense pression anthropique exercée sur les bassins versants des cours d'eaux, lacs et océans entraîne l'apparition de nouveaux contaminants dans le milieu marin tels que les plastiques (Frère, 2017).

L'apport des microplastiques dans le milieu aquatique se fait majoritairement par les cours d'eaux. Il existe aussi des phénomènes météorologiques tels que les inondations, les crues ou les ouragans, qui peuvent exacerber ce transfert de débris de la terre à la mer (Barnes *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2005). L'accumulation de débris de plastique dans la nature est l'un des changements récents le plus répandu et le plus durable à la surface de notre planète et une des grandes préoccupations environnementales de notre temps (Barnes *et al.*, 2009).

La pollution par les microplastiques devient une source de préoccupation croissante ces dernières décennies de par leur impact potentiel sur les écosystèmes, la pêche et la santé publique maritime et continentale (Froidevaux, 2018).

La quantité de déchets plastiques entrant dans les cours d'eaux, lacs et océans chaque année est estimée à plus de 6,5 millions de tonnes qui s'ajoutent à un stock difficile à évaluer (Bocquéné, 2013). Sous l'action combinée de la lumière, de l'oxydation et de l'érosion mécanique, une partie de ces plastiques se fractionne en microparticules granuleuses ou fibreuses de taille généralement inférieure à 5 mm, dont le comportement dans les différents écosystèmes aquatiques est proche de celui du plancton marin (Farrell et Nelson, 2013). Ces microplastiques, concentrés par le jeu des courants d'eau, peuvent intégrer les premiers maillons de la chaîne trophique aquatique. Or, ces particules ont la faculté d'adsorber, de concentrer et de transporter un grand nombre de contaminants chimiques (Lusher *et al.*, 2013).

Les microplastiques sont présents partout, ils ont été détectés dans la colonne d'eau, dans les sédiments, dans les plages du monde entier et dans le biote (les oiseaux marins, animaux marins, poissons notamment). L'agrégation des microplastiques avec la matière organique est considérée comme la principale voie de transport des microplastiques vers les sédiments d'eau profonde. Les sédiments constitueraient ainsi un réservoir majeur pour les microplastiques (Law *et al.*, 2010; Moret-Ferguson *et al.*, 2010).

La présence de microplastiques sur le réseau trophique commence à être étudiée. Concernant le biote (algues, invertébrés aquatiques, tortues marins, poissons, etc.), plus de 250 espèces d'animaux ont été identifiées comme ingérant des débris de

plastique (Laist, 1997). Les animaux marins qui ingèrent les microplastiques sont des organismes benthiques et pélagiques, possédant des stratégies d'alimentation variées et occupant des niveaux trophiques différents (Van Cauwenberghe *et al.*, 2015).

Le transfert trophique des microplastiques est possible, il a récemment été démontré de la moule au crabe (Farrell et Nelson, 2013) et, qu'ils peuvent donc atteindre des niveaux trophiques supérieurs. Les oiseaux de mer les ingèrent directement ou indirectement, par l'intermédiaire de poissons les ayant consommé (Ryan *et al.*, 2009; Tanaka *et al.*, 2013).

La plupart des études sur les plastiques (macroplastiques, microplastiques et nanoplastiques) ont été largement effectuées au niveau des eaux marines (océans et mers) des pays développés de l'Europe, d'Amérique et de l'Asie (Roclin, 2015). Par contre, peu d'informations sont disponibles sur la contamination des milieux continentaux d'eau douce par les microplastiques. Dans ce contexte, les premières études ont mis en évidence la présence de microplastiques dans les eaux de surface et dans les sédiments de certains écosystèmes lenticques, comme le lac de Garde en Italie, le lac de Genève en Suisse ou même le lac Hovsgol en Mongolie. De même, la contamination de sédiments a été observée dans des écosystèmes lotiques comme le fleuve Saint Laurent au Canada (INERIS, 2014).

Cependant, malgré que la pollution par les microplastiques devienne une source de préoccupation croissante à travers plusieurs pays du monde durant ces dernières décennies par leur impact potentiel sur les écosystèmes et la santé publique (Froidevaux, 2018), leurs effets sur les organismes des différents hydrosystèmes de la République Démocratique du Congo en général et ceux du Pool Malebo dans le fleuve Congo en particulier restent inconnus.

L'étude effectuée par Kaki (2024) montre que tous les sites touristiques de Kinshasa situés le long des rivières ou du fleuve Congo attirent d'abord les touristes pour le repas légendaire de « *Maboke* » papillote aux feuilles de poisson d'eau douce provenant généralement dans ces cours d'eau. En revanche, le tilapia et le poisson chat, appelé également silure qui du reste sont plus consommés par ce dernier au score de 85% selon ce chercheur.

2 GÉNÉRALITÉS SUR LE PLASTIQUE

2.1 PRODUCTION DES PLASTIQUES DANS LE MONDE

La production annuelle mondiale de plastique était de 350 millions de tonnes en 2017, 359 millions de tonnes en 2018, 368 millions en 2019 et 367 millions de tonnes en 2024. Le plastique est le troisième matériau artificiel le plus abondant, après l'acier et le béton (Plastics Europe, 2018). Depuis les années 1950, un taux de croissance annuel moyen de 4 % donne lieu à une production cumulative de 8.300 millions de tonnes, dont 4.900 millions de tonnes (60%) se retrouvent dans des décharges ou dans l'environnement, ce qui représente un coût économique, social et environnemental considérable (Geyer *et al.*, 2017).

En 2015, on estimait la quantité de déchets plastiques mal gérés dans le monde entre 60 et 99 millions de tonnes (Lebreton & Andrady, 2019). Selon des estimations de Boucher & Friot (2017), la quantité annuelle totale de microplastiques se formant ou s'infiltrant dans l'environnement pourrait être de l'ordre de 11 millions de tonnes.

Si autrefois la gestion des déchets dans les villes développées et en voie de développement se posait comme une activité de nature technique, organisationnelle et financière, on se rend actuellement compte qu'elle comporte une dimension essentiellement culturelle et elle constitue un défi de taille à relever, surtout pour les villes africaines et les pouvoirs publics. L'Afrique est le lieu où sont déversés des vieux ordinateurs, des téléviseurs, des véhicules qui ne sont plus utilisés, polluant les eaux, la terre et intoxiquant les enfants (Mondo *et al.*, 2024).

En R.D Congo, les questions touchant à l'environnement et à la gestion des déchets urbains en général et plastiques en particulier comptent parmi les plus complexes auxquelles doivent répondre aujourd'hui les gestionnaires de villes en raison de leurs effets sur la santé humaine et de l'esthétique urbanistique (Lelo, 2011; Kassay, 2015; Kanene, 2016; Mafelly, 2019; Munkuomo, 2022; Holenu *et al.* 2022; Matadi, 2022; Vumi *et al.*, 2023).

Si la quantité de déchets produits par personne est de 0,7 kg/personne/jour et que la population est de 12 millions d'habitants, la production de déchets par jour est de 8.400 tonnes dont 4.820 tonnes des déchets plastiques. Par contre, le taux de collecte organisée est estimé à 25% et le 75% des déchets sont mal gérés. Ces déchets sont générés dans les maisons, bureaux, hôpitaux, commerces, restaurants, navires, avions et les voies publiques (www.oanda.com; Kasuku *et al.*, 2021). Les bouteilles en plastique, les emballages alimentaires, les sacs plastiques, les couvercles, les flacons, les déchets médicaux (seringues, poche de sang, récipients plastiques ayant contenus les médicaments, etc.), les pailles en plastiques, etc. sont des produits couramment utilisés en R.D Congo (Bikay, 2017). Ces plastiques sont par la suite jetés dans les poubelles, les tranchées (caniveaux) et les cours d'eaux qui traversent la ville de Kinshasa entraînant ainsi des conséquences fâcheuses tant sur l'écologie que sur la santé humaine (Ntirumenyerwa, 2019).

2.2 CLASSIFICATION DES PLASTIQUES

Selon Frère (2017), les débris plastiques peuvent être classés selon leur taille et densité. Suivant la densité, on distingue les plastiques: Polyéthylène haute densité (HDPE); Polyéthylène basse densité (LDPE); Polypropylène (PP); Polytéréphtalate d'éthylène (PET); Polychlorure de vinyle (PVC); Polycarbonate (PC); Acétate de cellulose (CA); Acrylonitrile butadiène-styrène. En somme, il existe de nombreux types de plastiques utilisés dans l'emballage, chacun ayant des propriétés uniques qui les rendent adaptés à différentes applications. Les choix de plastiques pour les emballages dépendent souvent de facteurs tels que la durabilité, la résistance, la transparence, la flexibilité et la sécurité alimentaire. Suivant leur utilisation par l'homme:

- **Polyéthylène haute densité (PEHD):** Le PEHD est un plastique rigide et résistant, utilisé dans la fabrication de bouteilles, de contenants, de sacs et de films. Il est souvent utilisé pour les produits alimentaires et les produits chimiques;
- **Polyéthylène basse densité (PEBD):** Le PEBD est un plastique souple et léger, utilisé dans la fabrication de sacs, de films et de feuilles. Il est souvent utilisé pour les emballages de détail, tels que les sacs de supermarché;
- **Polystyrène (PS):** Le PS est un plastique rigide et transparent, utilisé dans la fabrication de bouteilles, de gobelets, de plateaux et de boîtes. Il est souvent utilisé pour les produits alimentaires et les boissons;
- **Polychlorure de vinyle (PVC):** Le PVC est un plastique souple et résistant, utilisé dans la fabrication de films, de tuyaux et de bouteilles. Il est souvent utilisé pour les produits alimentaires et les produits chimiques;
- **Polypropylène (PP):** Le PP est un plastique résistant à la chaleur et à la corrosion, utilisé dans la fabrication de bouteilles, de contenants et de films. Il est souvent utilisé pour les produits alimentaires et les produits chimiques.
- **Polycarbonate (PC):** Le PC est un plastique transparent et résistant aux chocs, utilisé dans la fabrication de bouteilles, de gobelets et de contenants pour les produits alimentaires et les boissons.

En considérant la taille, les plastiques sont catégorisés en:

- Megaplastiques: > 1m;
- Macroplastiques: 2,5 cm à 1m;
- Mésoplastiques: 5 mm à 2,5 cm;
- Microplastiques: 0,1 µm à 5 mm;
- Nanoplastiques: < 0,1 µm.

Dans le cadre de cette étude, ce sont les microplastiques qui constituent l'univers de la recherche.

2.3 DISTRIBUTION DES MICROPLASTIQUES

En effet, comme les microplastiques possèdent différentes densités, ils peuvent être présents partout dans les écosystèmes aquatiques. Les microplastiques peuvent être présents dans les sédiments, la colonne, à la surface de l'eau, dans les plages du monde entier et dans le biote (ingérés par les organismes aquatiques). Cela fait en sorte qu'une grande variété d'organismes peut être exposée aux microplastiques (Beauchemin, 2015).

Les microplastiques sont présents aujourd'hui tant dans les océans, fleuves, rivières, lacs que dans les zones polaires. Le temps de la dégradation étant long (plus de 100 ans) favorise son accumulation dans cinq zones dites gyres océaniques dont celle la plus connue est située dans l'océan Pacifique Nord communément appelé 7^{ème} continent. Les microplastiques à faible densité ont tendance à flotter à la surface de l'eau (figure 1). Les agrégats des microplastiques avec la matière organique est considérée comme la principale voie de transport des microplastiques vers les sédiments d'eau profonde. Ainsi, le sédiment deviendrait la matrice potentielle pour les microplastiques (Do Sul & Costa, 2014).

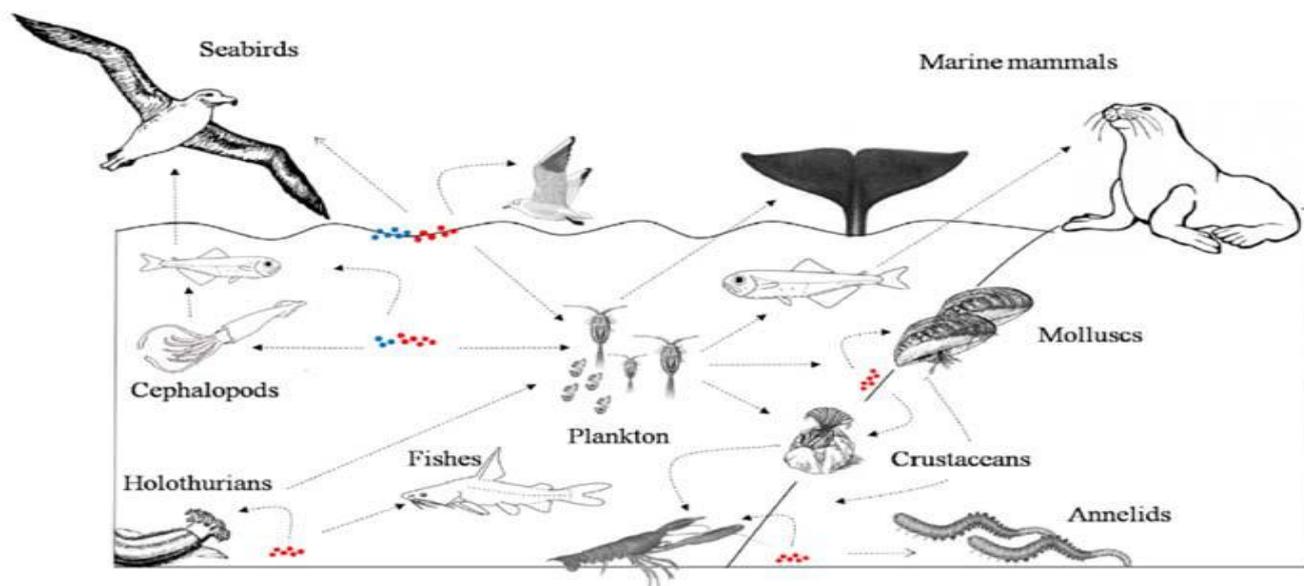


Fig. 1. Modèle conceptuel des parcours trophiques potentiels des microplastiques à travers les groupes d'invertébrés et de vertébrés marin (source: Beauchemin, 2015)

Légende: Points bleus = Polymères moins denses que l'eau de mer (PP, PE); Points rouges = Polymères plus denses (PVC)

Une étude a démontré la relation étroite entre la distribution des particules plastiques sur les plages et la distance de ces plages aux zones portuaires, dont le port où, les activités commerciales ont lieu (Janssen & Claessens, 2012). En effet, les ports contribuent en partie à la pollution des eaux côtières. Le port de Bejaia en Algérie a connu ces dernières années une expansion importante liée à ses activités commerciales. Le nombre de navires est ainsi passé de 286 durant le premier trimestre de 2011 à 338 navires pour la même période de 2012, soit une hausse de 18,1%. Toutefois, cette augmentation de l'activité portuaire se traduit également par une augmentation des nuisances environnementales. En effet, de nombreuses pertes sont ainsi observées lors de transport de marchandises et de la manutention des cargaisons sur les quais.

Les opérations de dégazage ou de déballastage contribuent pour beaucoup également à cette pollution. On remarque ainsi sans faute, les nappes de macro-déchets qui s'accumulent dans les bassins et faute de moyens de nettoyages ou même par indifférence, les déchets se retrouvent le plus souvent sur les plages voisines, transportés par les courants et les vents.

Les activités de pêche génèrent beaucoup de déchets. L'équipement qui ne sert plus aux pêcheurs se retrouve le plus souvent jeté dans l'écosystème aquatique (océan, mer, fleuve, lac et rivière). Les comportements des pêcheurs et leur ignorance sur les impacts que peuvent avoir leurs propres faits, se remarque sur les quais même de l'embarquement où on y trouve des bouteilles de plastique de tout genre et des filets.

2.4 IMPACT DES MICROPLASTIQUES SUR LES ÉCOSYSTEMES AQUATIQUES

Dans les écosystèmes aquatiques, trois caractéristiques des microplastiques sont à la base de plusieurs inquiétudes: leur taille, la présence d'additifs dans leur composition et leur capacité d'absorber des polluants (Ivar do Sul & Costa, 2014). En raison de leur petite taille, les microplastiques possèdent une surface spécifique relativement élevée. Cela les rend susceptibles d'être contaminés par plusieurs types de polluants, comme les biphényles polychlorés (BPC), le dichloro-diphényl-trichloroéthane (DDT) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Thompson *et al.*, 2012).

En effet, la surface hydrophobe du plastique attire les polluants qui n'ont pas d'affinité pour l'eau, tels que les polluants organiques persistants (POP) (Wagner et autres, 2014). Des recherches ont démontré que les microbilles de plastique, les granules de plastique et les fragments de plastique peuvent tous adsorber des polluants (Teuten *et al.*, 2009). Cette capacité d'adsorption favorise donc la concentration des polluants chimiques à la surface des microplastiques, qui agissent comme un réservoir pour les produits chimiques présents dans l'eau (Ivar do Sul & Costa, 2014). De plus, tel que vu précédemment, les microplastiques peuvent être composés de différents types de matière. Ceux-ci possèdent donc différentes densités, qui leur permettent de flotter ou de couler une fois dans l'eau. Or, les particules qui flottent peuvent se déplacer sur de longues

distances et contribuer à la dispersion des polluants (Engler, 2012). Les effets chimiques potentiels risquent d'augmenter à mesure que diminue la taille des particules de plastique. La présence de microplastiques soulève donc des questions quant à leur impact sur la qualité de l'eau (Goverse & Bech, 2011).

La présence et la persistance de microplastiques dans l'environnement vient encore aggraver le conflit de l'homme avec le mécanisme d'autorégulation selon l'expression de Kananitchev (1975). De même, des recherches effectuées dans plusieurs lacs ont montré que les HAP produits lors de la combustion des carburants fossiles étaient adsorbés sur les plastiques présents dans l'eau (The Helm, 2015). Un deuxième impact potentiel des microplastiques sur la qualité de l'eau est lié à la présence d'additifs dans les plastiques. Bien que les études existantes ne parviennent pas toutes aux mêmes conclusions, de nombreuses inquiétudes entourent les effets potentiellement nocifs que pourraient avoir ces produits chimiques (Andrady & Neal, 2009). Des substances comme le bisphénol A (BPA), le nonylphénol et les phtalates ont été détectées dans les microplastiques (Wagner *et al.*, 2014). Or, ces derniers sont soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens, c'est-à-dire des substances pouvant affecter l'équilibre hormonal des organismes (Wagner *et al.*, 2014). Ce risque est pris au sérieux par le gouvernement du Canada, qui étudie actuellement l'impact que ces produits chimiques pourraient avoir sur l'environnement et les humains (Industrie Canada, 2012).

○ **Ingestion des microplastiques par les espèces halieutiques**

Laist (1997) renseigne que plus de 250 espèces d'animaux ont été identifiés comme ingérant des débris de plastique. L'ingestion des débris plastique serait à l'origine du décès de nombreuses espèces marines. Au moins 44% des espèces d'oiseaux marin sont connues pour l'ingestion des débris plastiques (Rios *et al.*, 2007). Pour exemple, les albatros à pied noir qui alimentent leurs poussins avec les granulés de plastiques les confondant ainsi avec leur nourriture habituelle (Mallory, 2008). Une autre étude qui a été réalisée sur les fulmars en mer du Nord a démontré que 95% de ces oiseaux accumulaient en moyenne 35 pièces de plastiques dans leur estomac (Franecker, 2011).

Des microplastiques avaient été retrouvés dans le système gastro-intestinal de certains poissons ainsi que dans un cormoran à aigrettes, qui est un oiseau se nourrissant de poissons (Flesher, 2015). Plusieurs autres études, qui ne sont pas liées spécifiquement aux eaux douces, font également état de l'ingestion des microplastiques par les organismes vivants. Les résultats de plusieurs chercheurs démontrent que les microplastiques peuvent être ingérés tant par les consommateurs primaires, comme les zooplanctons, que par les consommateurs de plus haut niveau, comme les poissons, les mollusques etc. (Beauchemin, 2015). Van Cauwenbergh (2015) aborde dans le même sens en affirmant que les microplastiques sont retrouvés dans les tissus des organismes mais aussi dans les fèces, ils peuvent être stockés dans les tissus et excrétés par les organismes.

Selon la NOAA, l'ingestion des microplastiques peut avoir trois effets. Premièrement, cela peut causer un blocage physique et endommager le système digestif de l'organisme les ayant consommés (Arthur *et al.*, 2009). Cette situation pourrait altérer les habitudes alimentaires des animaux se nourrissant de ces particules (Engler, 2012). De plus, selon certains scientifiques, l'ingestion de microplastiques pourrait empêcher les organismes de produire autant d'énergie en leur donnant une fausse impression de satiété. Leur croissance et leur reproduction pourraient conséquemment être affectées (Plourde, 2014).

Les deux autres impacts pouvant être causés par les microplastiques sont le transfert et l'accumulation dans les organismes des produits chimiques adsorbés sur les microplastiques ainsi que des produits chimiques utilisés comme additifs dans le plastique (Arthur *et al.*, 2009). Des recherches ont en effet démontré que l'ingestion de microplastiques contaminés par des BPC peut mener à un transfert, par désorption, de ce polluant dans les tissus des poissons et des oiseaux qui les consomment (Engler, 2012). De même, les microplastiques contenant des produits chimiques, comme le BPA ou les phtalates, peuvent causer des problèmes de développement et de reproduction chez certains organismes lorsqu'ils sont ingérés (Sigler, 2014). Les microplastiques agiraient donc comme des vecteurs favorisant le transfert de contaminants dans l'eau vers les organismes (Wagner et autres, 2014). Il faut toutefois souligner qu'à ce stade de la recherche, il est encore difficile de déterminer le degré de biodisponibilité des produits chimiques qui sont adsorbés sur les microplastiques (Beauchemin, 2015).

○ **Enchevêtrement**

L'étranglement notamment par les cordes et fibres synthétiques, lignes et filets dérivants en mers, seraient à l'origine du décès de nombreuses espèces aquatiques (poissons, oiseaux, mammifères marin, tortues, etc.). On a recensé ainsi plus 267 espèces à travers le monde touchées par le phénomène des déchets plastiques, incluant 86% des espèces de tortues marines, 44% des espèces d'oiseaux et 43% des espèces de mammifères marins comme le souligne Derraik (2002).

○ **Nuisances vis-à-vis à la santé de l'homme et surtout des touristes**

Les déchets échoués sur le littoral constituent pour la majorité des communes littorales, une nuisance principalement esthétique portant préjudice à l'image du site et surtout aux consommateurs de Maboke dans les sites touristiques disséminés à travers le littoral du pool Malebo. Les usagers sont particulièrement sensibles à la qualité de leurs lieux de vacances ou de loisirs. De plus, certains déchets que l'on retrouve sur les plages peuvent être la cause de nombreuses blessures pour les touristes (André, 2000).

Les particules plastiques, peuvent également être dangereuses pour la santé de l'homme. En effet, les particules de plastiques ont une grande capacité d'absorption des produits chimiques hydrophobes notamment les DDT et PCB. Leur ingestion par les organismes marins augmente le risque d'entrer dans la chaîne alimentaire avec la perspective d'atteindre l'homme au sommet de la chaîne alimentaire; après amplification au fur et à mesure de la chaîne trophique (Adams *et al.*, 2007).

○ **Nuisances vis-à-vis des activités humaines**

L'un des principaux impacts s'observe sur les activités touristiques et de la pêche. La présence des déchets sur le littoral porte préjudice à l'image des sites (figure 2) et constitue ainsi une nuisance esthétique qui nuit à la fréquentation touristique (André, 2000). Les déchets flottants peuvent engendrer une gêne importante pour la pêche professionnelle et la navigation. L'afflux massif des déchets plastiques endommage les engins de pêche, dont les filets (Mutombo, 2024).



Fig. 2. Différents types de plastiques trouvés aux bords du fleuve Congo à Kinsuka dans le Pool Malebo (Photo Masua, 2024)

2.5 IMPACTS SOCIOÉCONOMIQUES

Les impacts environnementaux des microplastiques soulèvent également plusieurs questions quant aux problèmes qu'ils pourraient avoir sur la santé humaine. Certains acteurs s'interrogent par exemple sur les risques que la bioamplification des microplastiques dans la chaîne alimentaire pourrait avoir sur les humains consommant les organismes contaminés (Beaucheman, 2015). D'autres chercheurs pensent que les microplastiques pourraient être présents dans l'eau potable sortant de nos robinets (Flesher, 2015). Une étude a d'ailleurs découvert que 24 bières allemandes étaient contaminées par des microplastiques, ce qui laisse penser que les humains ingèrent déjà des microplastiques sans s'en apercevoir (Liebezeit et Liebezeit, 2014).

L'impact des microplastiques sur la qualité de l'eau pourrait aussi nuire à la santé humaine. Une étude effectuée en eau douce a démontré que des biofilms bactériens peuvent se développer sur les microplastiques. L'analyse des biofilms a permis de constater que les bactéries sur les microplastiques n'étaient pas les mêmes que celles se trouvant dans la colonne d'eau. D'après certaines sources, le fait que les usines de traitement des eaux usées soient une source de microplastiques pourrait favoriser leur colonisation par des bactéries pathogènes (McCormick *et al.*, 2014).

Les microplastiques pourraient donc servir de vecteur pour les maladies et avoir un impact sur la qualité et la sécurité de l'eau potable (Wagner *et al.*, 2014). Le nettoyage des plages, le traitement des déchets engendre des coûts importants pour les communes. Lorsque les littoraux sont encombrés de ces déchets, ils ne sont qu'un danger et une insalubrité à toute volonté de développement touristique, par conséquent les communes se retrouvent dans l'obligation de procéder au nettoyage (Poitou, 2003).

La pêche professionnelle souffre énormément des déchets plastiques en mer comme dans les océans et les fleuves. La production halieutique mondiale connaît une baisse fascinante. Un tiers des remontés de filets sont des débris marins en majorité des plastiques. Certains poissons connaissent des migrations suite à l'envahissement de leur habitat par des déchets plastiques. Par contre, la croissance de certaines espèces des plantes aquatiques est gênée par le dépôt massif des macroplastiques dans les bords (figure 3) comme dans les îlots de certains écosystèmes aquatiques.



Fig. 3. *Plastiques occupant les habitats de quelques espèces végétales aquatiques aux abords et milieu du fleuve Congo à Kinsuka (A) et Kingabwa (B) dans le Pool Malebo (Photo Masua, 2024)*

3 MILIEU ET METHODE

3.1 MILIEU D'ÉTUDE

Cette étude a été menée dans quatre sites de pêche du Pool Malebo dans le fleuve Congo. Il s'agit des sites de Maluku, Kinkole, Kingabwa (Port OCC et Baramoto) et Kinsuka (hôpital de la rive et le port Ledia) (figure 4).

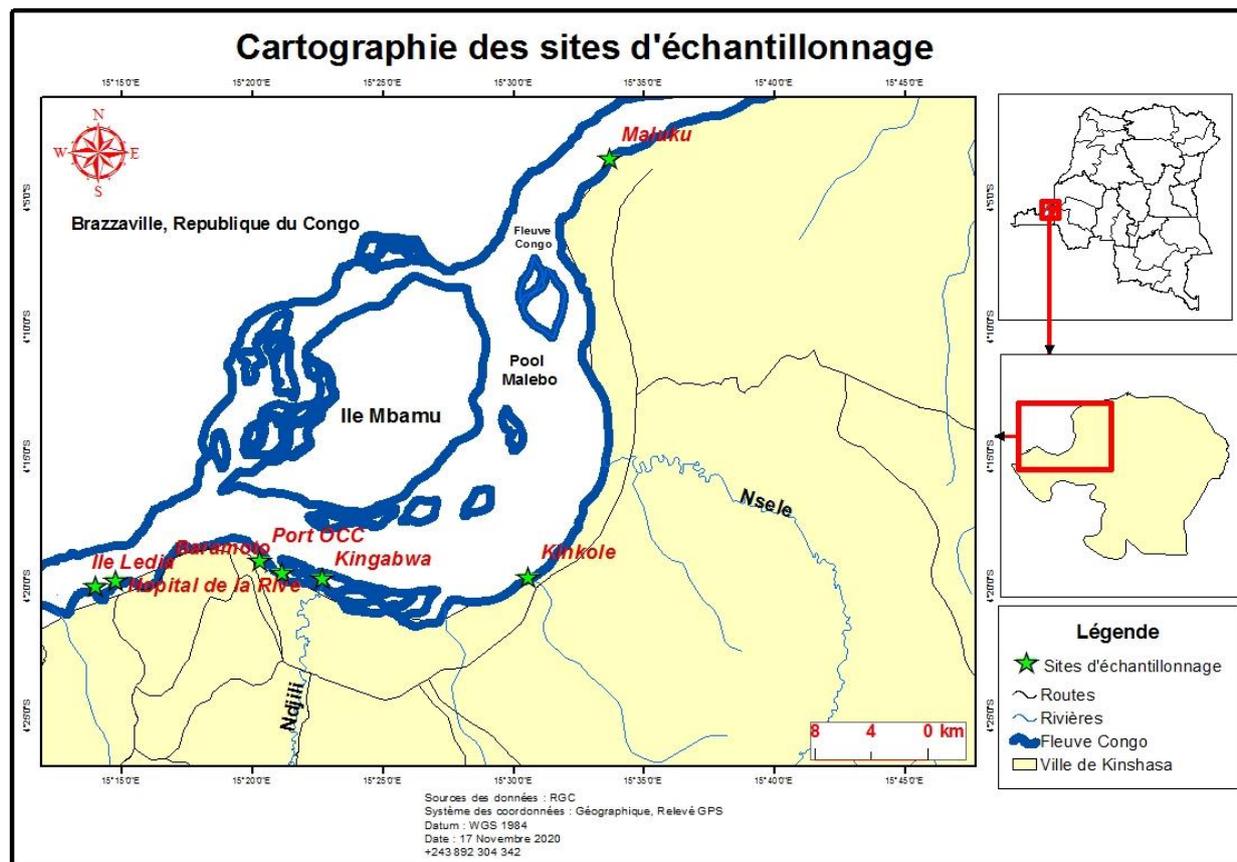


Fig. 4. Cartographie du Pool Malebo (fleuve Congo) reprenant les sites d'échantillonnage (source: Masua, 2024)

3.1.1 PRESENTATION ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DU POOL MALEBO

Le Pool Malebo est l'élargissement du fleuve Congo situé à la frontière entre la République Démocratique du Congo et la République du Congo, les deux capitales de deux pays Kinshasa et Brazzaville, sont situées de part et d'autre de l'issue en aval du Pool. Cette partie du fleuve comprise entre Maluku (en amont) et Kinsuka (en aval) est long d'environ 35 km sur 25 km de large. Sa profondeur moyenne est de 3 m avec un maximum de 20 m. Sa superficie est d'environ 500 km². Il est situé entre 4° 5' et 4° 20' Sud et de 15° 19' à 15° 30' Est et à une altitude de 275 m (Burgis et Symoens, 1987).

Le mot Pool est un terme anglais qui signifie « piscine » ou « lac ». Ce terme est utilisé au Congo pour désigner la vaste étendue d'eau située entre Kinshasa et Brazzaville. Le terme Pool Malebo fait référence aux palmiers rôniers (*Borassus flabelifera*), localement appelés Malebo qui arboraient abondamment les rives et les îles du Pool Malebo ainsi que la plaine alluviale de Kinshasa (Mukendi *et al.*, 2021).

Il occupe le fond d'une cuvette qu'entoure des collines dépassant souvent 500 m. La partie centrale du Pool Malebo est occupé par l'île M'bamou en République du Congo et par plusieurs groupes de petites îles dont un archipel se trouve à l'embouchure de la rivière de N'djili (Burgis et Symoens, 1987).

3.2 METHODE

3.2.1 PROSPECTION DES SITES

Pour nous assurer de la viabilité des sites retenus pour cette étude, des visites sur le terrain ont été organisées. Lors de ces descentes, nous avons eu contact avec certains pêcheurs qui œuvrent dans les différents sites concernés afin d'avoir leur avis sur cette problématique des plastiques en rapport avec leur métier. Cette étape s'est déroulée entre le mois de février et avril 2024. Les coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude) (tableau 1) de chaque site ont été prélevées à l'aide d'un GPS de marque GARMIN EXTREX afin de localiser géographiquement notre zone d'étude.

Tableau 1. Coordonnées géographiques des sites d'échantillonnage

Sites d'échantillonnage	Coordonnées géographiques		
	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Maluku (Port Gafura)	04° 2' 63''	15° 33' 41,6''	253
Kinkole (Port Kinkole)	04° 13' 906''	15° 30' 37,5''	272
Kingabwa (rivière N'djili)	04° 19' 41''	15° 22'41''	277
Baramoto (rivière Kalamu)	04° 19' 264''	15° 20' 69,4''	267
Baramoto (port OCC)	04° 18' 58,296''	15° 20' 18,263''	262
Kinsuka (Hôpital de la rive)	04° 19' 44,9''	15° 14' 47,6''	225
Kinsuka (Ile Ledia)	04° 19' 58,4''	15° 13' 61,4''	244

3.2.2 EVALUATION DES PARAMÈTRES ABIOTIQUES

L'échantillonnage des données a été réalisé durant dix mois soit de la période allant des mois de mai 2024 au février 2021. Les évaluations des paramètres abiotiques: physico-chimiques, type de substrats de fond ainsi que les paramètres chimiques de l'eau ont eu lieu durant la même période.

3.2.2.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Quatre paramètres physiques de l'eau de surface du fleuve Congo ont été mesurés sur chaque site d'étude. Il s'agit de la température (°C), de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$), de la turbidité (NTU: Unité Néphélométrique de Turbidité) et du pH. La sonde multi paramètres Combo pH-mètre de marque HANNA pH/ORP/EC/DO N° HI 9828 a été utilisée lors du prélèvement de ces paramètres lors des différentes campagnes des pêches (Munganga *et al.*, 2024).

3.2.2.2 SUBSTRAT DE FOND DES SITES

Sur chaque site d'étude de microplastiques dans le Pool Malebo (fleuve Congo), les sédiments ont été récoltés à l'aide de deux échantillonneurs de sédiments (long d'un mètre et demi avec une poche à carotte de 20 cm) sous forme de carotte (figure 5). Pour classer les substrats de fond, les sédiments ont été placés dans un bassin puis séchés à l'air libre. Après séchage, les sédiments ont été tamisés à l'aide des tamis de mailles comprises entre 0,01 μm à 1 mm afin d'identifier la nature du substrat de fond.



Fig. 5. Echantillonneur de sédiments utilisé lors du prélèvement des sédiments dans le fleuve Congo (photo Masua, 2022)

3.2.2.3 PARAMÈTRES CHIMIQUES DES EAUX

Différents paramètres chimiques des eaux du fleuve Congo au niveau de tous les sites de pêche ont été mesurés. Il s'agit des phosphates (PO_4^{3-}) (mg/l), des nitrates (NO_3^-) (mg/l), des nitrites (NO_2^-) (mg/l), de la demande biologique en oxygène (DBO) et de la demande chimique en oxygène (DCO). Le dosage de ces paramètres a été effectué concomitamment au Laboratoire de Chimie de la Direction d'Assainissement de Kinshasa et du Laboratoire mobile Département Contrôle Environnement de l'Office Congolais de Contrôle par la méthode de spectrophotométrie.

L'eau ayant servis aux analyses chimiques au Laboratoire a été échantillonnée à l'aide d'un kit (échantillonneur d'eau) du Laboratoire mobile de l'Office Congolais de Contrôle. Ce dernier est constitué d'un bidon de 10 litres, d'une batterie de 12 volts qui alimente le générateur. Ce dispositif quant à lui, comporte des touches de démarrage, d'arrêt, d'accélération de vitesse de prélèvement et une autre touche qui sert à préciser la quantité (litres ou millilitres) de l'eau à prélever. Un tuyau de deux mètres possédant un dispositif avec un tamis de fines mailles est connecté au système. Ce dernier sert à puiser et à faire passer l'eau jusque dans le bidon du dispositif. Le tout est gardé dans une valisette en plastique portable (figure 6).



Fig. 6. Kit d'échantillonneur d'eau utilisé pour le prélèvement d'échantillons d'eaux du fleuve Congo (photo Masua, 2022)

Après prélèvement, les échantillons d'eau ont été gardés dans des galons d'un litre, étiquetés (le nom du site, la date et l'heure de la récolte ainsi que les analyses à effectuer étaient repris sur chaque échantillon) puis conservés au froid dans une glacière à moins de 10°C conformément à la norme AFNOR NF EN 25667 (ISO 5667) avant de subir les analyses appropriées (AFNOR, 2009). Cette méthode précise les précautions à prendre lors du prélèvement et transport des échantillons à l'aide des galons stériles et bouchés pour une protection contre toute contamination.

Les concentrations en nitrite et en nitrate ont été analysées par la méthode de photométrie grâce à un photomètre de marque *Lovibond MD 610*, celles de la demande chimique et biologique en oxygène ont été réalisées respectivement avec un thermo-réacteur de marque *Lovibond RD 125* (méthode au bichromate de potassium) et thermorégulateur de marque *Lovibond OXIDirect* (méthode manométrique).

3.2.3 ACTIVITÉS ANTHROPIQUES SUR LES SITES

Les activités anthropiques de chaque site d'étude ont été décrites grâce à des observations directes réalisées lors des descentes sur terrain.

3.2.4 ECHANTILLONNAGE DES MACROS ET MICROPLASTIQUES

Le matériel biologique de cette étude est constitué des échantillons de deux espèces de poissons dont *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 et *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 des différentes tailles et poids capturés dans les stations de pêche du Pool Malebo. Ces deux espèces de poissons ont été choisies car (i) elles font partie des ceux qui sont les plus consommés et vendus dans les marchés de Kinshasa et à travers le pays et plus consommés par les touristes (Lusasi *et al.*, 2019; Masua *et al.*, 2024; Kaki, 2024).



Fig. 7. *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 pêché dans le Pool Malebo (fleuve Congo) (photo Masua, 2024)



Fig. 8. *Oreochromis niloticus* Linné, 1758 pêché dans le Pool Malebo (fleuve Congo) (photo Masua, 2024)

Les méthodes d'identification et la quantification des microplastiques varient et peuvent concerner trois matrices: eau, sédiment (dont le sable ou la boue) et biote. Pour étudier une zone, certains auteurs analysent 1 g de microplastiques, d'autres auteurs analysent chaque fragment un à un (pour étudier la variabilité entre fragment sur un même lieu), mais le plus souvent les échantillons sont constitués d'un ou de plusieurs pools (Bocquene, 2013; Beauchemin, 2017).

Dans le cadre de cette étude, les microplastiques ont été récoltés dans l'eau, les sédiments et les poissons. Plusieurs procédés ont été utilisés lors de cette récolte. L'identification des macroplastiques a été réalisée sur les sites d'étude dans le but de faire un lien entre le visible (macroplastiques) et l'invisible (microplastiques).

3.2.4.1 PIÉGAGE DES MICROPLASTIQUES DANS L'EAU

Dans l'eau, les microplastiques ont été piégés à la surface sur une distance de 600 m de long et 50 m de large le long des berges. Des randonnées de plus de quatre heures pour chacune ont eu lieu sur chaque site d'étude lors de la récolte des microplastiques. Pour y arriver, trois personnes munies chacune d'un filet de *Manta* (figure 9) montaient à bord d'une pirogue pour piéger les débris des plastiques. L'ouverture du filet était posée au sens contraire du courant d'eau afin de recueillir les microplastiques nageant sur la surface d'eau (Bocquene, 2013).

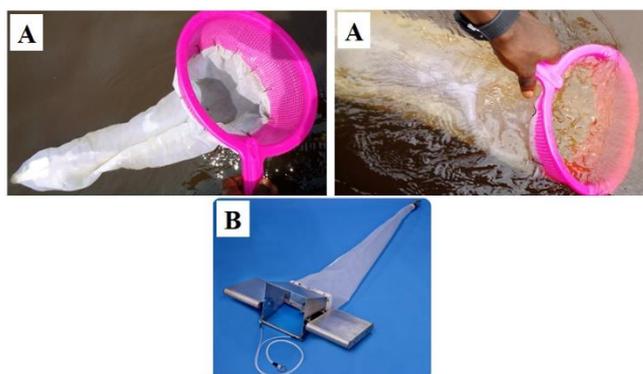


Fig. 9. *Filet de Manta aménagé (A) et inspiré (B) pour la récolte des microplastiques à la surface de l'eau (Source: Masua, 2024; <https://bionef.fr>)*

Le filet de *Manta* est composé d'une toile de 45 cm de long avec de très fines mailles d'environ 0,5 nm d'entre nœuds. Le cadre du filet est constitué d'un passoir en plastique de 12,5 cm de rayon avec une manche de 5 cm. Le filet de *Manta* est un dispositif qui permet de collecter les planctons ou les microplastiques. Il existe plusieurs formes de ce filet et, dans le cadre de cette étude, nous avons adapté ce filet en nous servant des matériels disponibles localement tout en respectant les normes du filet.

3.2.4.2 RÉCOLTE DES SÉDIMENTS

Les sédiments ont été récoltés aux bords des rives et dans le fleuve à deux mètres de large de la rive. Aux bords comme dans le fleuve, les sédiments ont été récoltés à une profondeur comprise entre 0 à 20 cm à l'aide d'un échantillonneur de sédiment (carotte) (voir figure). Le dispositif est muni d'une manche longue d'un mètre et demi et d'une poche de carotte de 20 cm. Pour recueillir les sédiments, il suffit d'enfoncer la carotte au fond en frappant avec un marteau approprié au dispositif pour atteindre le niveau souhaité. Après récolte, les sédiments ont été gardés dans des bocaux en plastiques puis étiquetés

(nom du site, date et l'heure de la récolte) avant les analyses appropriées. Ainsi, trois échantillons de sédiments ont été récoltés sur chaque site d'observation.

3.2.4.3 RECHERCHES DES PLASTIQUES SUR LES LIGNES MINEURE ET MAJEURE

Un transect de 100 m de long et de 20 m de large était tracé à l'aide du mètre ruban entre les lignes mineure et majeure du fleuve Congo au niveau de chaque site d'échantillonnage. Les lignes ont été parcourues afin d'y récolter les macros et microplastiques qui étaient visibles et facilement identifiables. Dans certains endroits, le tamisage du sable suivi du triage des débris plastiques a été effectué.

Après échantillonnage, les macroplastiques récoltés ont été gardés dans des sacs plastiques et les microplastiques dans des bocaux en plastiques pour leur identification ultérieure. Le nom du site, la date et l'heure de la récolte étaient repris sur chaque échantillon. La récolte des macroplastiques se justifie dans le sens où, l'abondance d'une catégorie donnée de ces derniers dans un site permettra de faire un lien entre les microplastiques qui sont retrouvés dans le même site, leurs possibilités de dégradation et leur intégration dans les écosystèmes aquatiques (Bocquene, 2013).

3.2.5 RÉCOLTE ET MANIPULATION DES POISSONS

Deux espèces de poissons sont retenues pour évaluer l'intégration et le transfert des microplastiques dans l'écosystème aquatique et la chaîne trophique. Les échantillons des poissons *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 (considéré comme un poisson qui vit dans le milieu benthique) et *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 (considéré comme un poisson pélagique) ont été obtenus lors des campagnes des pêches qui ont eu lieu dans les différents sites retenus dans le Pool Malebo (fleuve Congo). La collecte des spécimens de poisson a été effectuée mensuellement pendant huit mois durant la période allant des mois de février 2024 à novembre 2024.

Les poissons ont été récoltés au moyen des filets maillants dormant de 10, 15, 20, 25, 35, 40 et 50 mm d'entre nœud, de longueur comprise entre 30 et 100 m et 2,5 à 10 m de hauteur avec une ralingue supérieure et une ralingue inférieure composée successivement des flotteurs et des plombs. Le filet épervier a aussi été utilisé lors de la pêche active. D'autres poissons ont été obtenus par des achats auprès des pêcheurs artisanaux rencontrés dans le fleuve Congo.

Au laboratoire, les poissons capturés ont été identifiés à l'aide de clés d'identification systématique proposées par Lévêque & al., (1990 & 1992); Mbega & Teugels (2003); Stianssny et al., (2007). Sur chaque spécimen, la longueur totale (LT) exprimé en mm a été prélevée selon Lévêque & al., (1990); Kamdem & Teugels (1998) à l'aide d'un ichtyo mètre électronique disponible au Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture du Département de Biologie de l'Université de Kinshasa.

Pour la précision sur la taille des spécimens, les poissons ont été regroupés en classes de tailles suivant la règle de Sturge (Pwema, 2014) et calculé selon les formules suivantes: $NC = 1 + (3,3 \log N)$ $NC = 1 + 3,33 \cdot \log N$ et $IC = \frac{T_{max} - T_{min}}{NC}$ (Pwema et al., 2024) dont; NC exprime le nombre de classe; N est le nombre total d'individus pour l'échantillon considéré, Tmax et Tmin (mm) expriment respectivement les tailles maximale et minimale.

3.2.6 DÉTECTION DES MICROPLASTIQUES

Plusieurs méthodes sont utilisées pour identifier les microplastiques. Il s'agit notamment de: la méthode visuelle, la méthode par spectroscopie (*Infrarouge*, *Infrarouge à Transformé de Fourier*), la méthode analytique (Spectroscopie Raman, Microscopie Electronique, Colorimètre Différentiel à Balayage, Chromatographie Gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, etc.). De toutes ces méthodes, la méthode visuelle (observation à l'œil nu) est la plus couramment utilisée pour l'identification des microplastiques dans les différents niveaux des écosystèmes aquatiques (Roclin, 2015).

3.2.6.1 RECHERCHE DES MICROPLASTIQUES À LA SURFACE DE L'EAU

La détection des microplastiques dans l'eau a consisté au tri des différents débris recueillis lors du piégeage des polluants plastiques à la surface de l'eau avec le filet de *Manta*. Il a été question de faire un tri manuel des débris (de 1 à 5 mm) visibles à l'œil nu après plusieurs heures de fouille (Mclanchlan, 2019).

3.2.6.2 RECHERCHE DES MICROPLASTIQUES DANS LES SEDIMENTS

Dans les échantillons de sédiments, les particules plastiques visibles à l'œil nu (de 1 à 5 mm) ont été tout d'abord triées manuellement par taille puis, les sédiments ont été tamisés après séchage (Roclin, 2015; Mclanchlan, 2019) à l'aide des tamis des pores variant entre 0,5µm à 4.75 mm.

3.2.6.3 RECHERCHE DES MICROPLASTIQUES DANS LES POISSONS

La recherche des microplastiques dans le poisson s'est fait soit par dissection de son estomac ou intestin, soit par recherche dans les fèces, soit encore par broyage/coupe histologique des tissus (Thompson *et al.*, 2004; Cole *et al.*, 2011; Claessens *et al.*, 2013; Lusher *et al.*, 2013; Van Cauwenberghe *et al.*, 2015).

En ce qui nous concerne, nous avons procédé par l'analyse des contenus stomacaux des poissons. Chaque poisson a été disséqué ventralement (de la cavité buccale à l'anus). Le tube digestif a été retiré et disséquer. Ensuite, les microplastiques ont été séparés du reste des contenus stomacaux au moyen d'une solution sursaturée de chlorure de sodium (NaCl) grâce à leur densité. Les particules surnageant à la surface de la solution ont été recueillies puis analysés (INERIS, 2014).

3.2.7 ANALYSE ET IDENTIFICATION DES MICROPLASTIQUES

La caractérisation visuelle est la méthode la plus couramment utilisée pour l'identification des microplastiques. Elle consiste à identifier les microplastiques en s'appuyant sur les critères tels que: le type, la forme, le stade de dégradation et la couleur. Les caractéristiques chimiques et physiques (par exemple, la densité spécifique) peuvent également être utilisées pour différencier les microplastiques des autres éléments de l'échantillon (Roclin, 2015).

Pour la classification et l'analyse d'échantillons de microplastiques recueillis de l'eau, de sédiments et de poissons, nous avons fait recours à la nature du plastique qui compose l'emballage pour déterminer la composition chimique suivant la classification proposée par Frère (2017) pour détecter les différents types de polymères et des polyester (PP, PE, PET, PS, LDPE et PEHD) identifiables par cette technique (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012).

L'industrie du plastique a créé un système de sept codes, numérotés de un à sept qui correspondent à des plastiques aux caractéristiques et aux propriétés différentes. Il formalise sous forme de logo triangulaire avec trois flèches (cercle de Möbius) présent sur l'ensemble des emballage plastiques, ce symbole et son chiffre donnent des indications sur la nature du plastique qui compose l'emballage.

4 RESULTATS

4.1 VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

4.1.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

La variation des différents paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo aux Isites d'échantillonnage retenus dans le cadre de cette étude est consignée au tableau 3. Les données détaillées de ces mêmes paramètres sont reprises en annexe (annexe 5).

Tableau 2. Variation des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo

Sites	Paramètres physico-chimiques															
	Température (°C)				pH				Conductivité (µS/cm)				Turbidité (ppm)			
	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec
Maluku (Port Gafura)	28	30	28,5	0,65	6,1	6,9	6,62	0,26	20	30	22,5	3,75	10	14	11	1,5
Kinkole (Port Kinkole)	26	29	27,5	1	5,8	6,2	5,97	0,12	20	30	24,5	4,5	8	15	11,75	2,75
Kingabwa (rivière N'djili)	25	28	26,15	0,93	6,2	6,7	6,45	0,15	28	30	29,2	0,7	14	16	14,75	0,75
Baramoto (rivière Kalamu)	29	31	29,75	0,75	6,2	6,7	6,45	0,15	40	100	70	20	18	50	34,5	10,5
Baramoto (port OCC)	27	29	28	0,5	5,9	6,6	6,15	0,22	28	30	27	3,5	10	15	13,25	1,62
Kinsuka (Hôpital de la rive)	26	28	27,5	1	6,4	6,9	6,7	0,15	20	40	32,5	7,5	10	20	15,5	3,5
Kinsuka (Ile Ledia)	26	29	27,5	1	6,5	6,9	6,72	0,12	18	40	24,5	7,75	8	20	12	4
ANOVA 1	F = 4,10 ; p = 0,0071 ; LSD = 1,6738				F = 5,41 ; p = 0,0016 ; LSD = 0,3591				F = 8,29 ; p = 0,0001 ; LSD = 17,060				F = 7,44 ; p = 0,0002 ; LSD = 8,9174			

Légende: Mi = Minimum, Ma = Maximum, Mo = Moyenne et Ec = Ecart-type

Il se dégage des résultats repris au tableau ci-haut que les eaux du fleuve Congo sont chaudes. La température moyenne enregistrée au niveau de sept sites d'étude dans le Pool Malebo se situe entre $26,15 \pm 0,93^\circ\text{C}$ et $29,75 \pm 0,75^\circ\text{C}$. L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) appliquée aux données de la température montre une différence très hautement significative ($F = 4,10$; $p = 0,0071$). La valeur critique de LSD (1,6738) relève que les valeurs élevées de température ont été observées à Baramoto ($29,75 \pm 0,75^\circ\text{C}$) à l'affluent de la rivière Kalamu et Maluku ($28,5 \pm 0,65^\circ\text{C}$) et la plus faible est relevée à Kingabwa ($26,15 \pm 0,93^\circ\text{C}$) à l'affluent de la rivière N'djili. La variation du potentiel d'hydrogène montre que ces eaux sont légèrement acides. Une différence hautement significative ($F = 5,41$; $p = 0,0016$) a été observée entre les valeurs moyennes de potentiel d'hydrogène. Le LSD test (0,3591) montre que le pH le plus acide ($5,97 \pm 0,12$) est observé à Kinkole tandis que la valeur moyenne faible de l'acidité ($6,72 \pm 0,12$) est relevée au site de Kinsuka à l'île Ledia. D'une manière générale, la conductivité est restée faible; l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($F = 8,29$; $p = 0,0001$) entre les moyennes de conductivité. Avec une valeur critique de 17,060, le LSD test montre que la concentration moyenne la plus élevée en ions ($70 \pm 20 \mu\text{S/cm}$) est observée à l'affluent de la rivière Kalamu et la plus faible ($22,5 \pm 3,75 \mu\text{S/cm}$) est celle du site de Maluku. L'eau du fleuve Congo est légèrement trouble; l'analyse de variance appliquée aux valeurs moyenne de turbidité dégage une différence très hautement significative ($F = 7,44$; $p = 0,0002$) entre les moyennes des différents sites. La valeur critique de LSD test (8,9174) montre que la teneur moyenne la plus élevée ($34,5 \pm 10,5 \text{ ppm}$) en solides dissous est observée à l'affluent de la rivière Kalamu alors que la valeur moyenne la plus faible ($11 \pm 1,5 \text{ ppm}$) est observée à Maluku. Les données détaillées des analyses statistiques sont reprises en annexe 6.

4.1.2 REGROUPEMENT DES SITES EN FONCTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

En se basant sur les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux, deux groupes des sites très significativement différents ($r = 0,991$) sont mis en évidence par le dendrogramme résultant de la Classification Hiérarchique Ascendante des sites d'étude dans le Pool Malebo (fleuve Congo) (figure 10). Le premier groupe est formé par le site de Baramoto et le deuxième par les restes des sites qui, forment à leur tour deux autres sous-groupes. Le premier sous-groupe est distant du deuxième à 7 et, est formé par les sites Kingabwa, OCC et Kinsuka 1. Le deuxième sous-groupe est formé par les sites Kinkole, Kinsuka 2 et Maluku et se situe à une distance Euclidienne de 3 par rapport à l'origine.

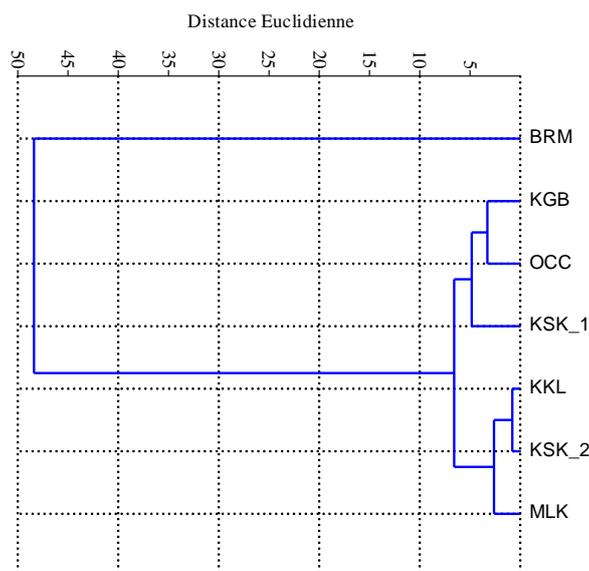


Fig. 10. Regroupement des sites d'étude dans le Pool Malebo (fleuve Congo) sur base des valeurs de paramètres physico-chimiques des eaux

Légende: BRM: Baramoto (affluent rivière Kalamu), KGB: Kingabwa, OCC: Port OCC, KSK1: Kinsuka 1, KSK2: Kinsuka 2 et MLK: Maluku

4.1.3 SUBSTRAT DE FOND DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

L'analyse granulométrique a permis de classer le substrat de fond des sites d'échantillonnage des microplastiques en six types (tableau 4).

Tableau 3. Pourcentage de recouvrement de chaque type de substrat de fond aux sites d'étude

Substrats	Sites d'étude						
	MLK	KKL	KGB	BRM	OCC	KSK1	KSK2
Sable (%)	25	20	5	6	0	70	30
Vase (%)	0	0	10	14	15	0	0
Sable vaseux (%)	65	75	45	25	10	25	0
Boue (%)	0	0	38	55	65	0	0
Pierres (%)	0	0	0	0	0	5	70
Débris végétaux (%)	10	5	2	0	5	0	0

Légende: MLK = Maluku; KKL = Kinkole; KGB = Kingabwa; BRM = Baramoto (affluent rivière Kalamu), OCC = port OCC; KSK1 = Kinsuka 1 et KSK2 = Kinsuka 2

Le pourcentage de recouvrement des différents types de substrat de fond aux sites d'étude varie d'un milieu à l'autre. Le fond des sites de Maluku et Kinkole est dominé par le sable vaseux (respectivement 65% et 75%), suivi du sable (25% et 20% respectivement). Le fond est dominé par le substrat de type sable vaseux (45%) et boue (38%) à l'affluent de la rivière N'djili à Kingabwa. Le pourcentage le plus élevé du substrat de fond à l'affluent de la rivière Kalamu et OCC est représenté par la boue (55% et 65% respectivement). Le substrat de fond des sites de l'hôpital de la Rive est dominé par le sable (70%) et sable vaseux (25%) tandis que celui de l'île Ledia est dominé par les pierres (70%) et le sable (30%).

4.1.4 PARAMÈTRES CHIMIQUES

La variation des différents paramètres chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo aux sites d'étude est reprise au tableau 5. L'annexe 7 reprend les données détaillées de ces mêmes paramètres.

Tableau 4. Valeurs des paramètres chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo

Sites	Paramètres chimiques																			
	Nitrite (mg/L)				Nitrate (mg/L)				Phosphate (mg/L)				DBO ₅ (O ₂ /L)				DCO (O ₂ /L)			
	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec	Mi	Ma	Mo	Ec
MLK	0,03	0,06	0,04	0,01	0,39	0,51	0,44	0,04	0,8	1,16	1,01	0,12	4,56	7,52	5,86	0,91	7,82	10,5	9,26	0,9
KKL	0,06	0,08	0,06	0	0,69	0,98	0,85	0,11	0,95	1,2	1,06	0,1	7,98	12,62	9,75	1,57	11,64	18,24	14,56	2,24
KGB	0,07	0,2	0,11	0,04	0,79	1,1	1	0,1	0,96	1,34	1,13	0,15	28,92	42,08	33,95	4,06	68,39	82,02	74,59	4,86
BRM	0,08	0,1	0,09	0	0,94	1,2	1,07	0,07	0,92	1,42	1,24	0,16	59	81,25	69,19	6,02	154,23	183,54	170,25	12,31
OCC	0,09	0,81	0,44	0,35	0,92	1,04	0,98	0,03	0,89	1,26	1,09	0,1	64,8	86,52	73,57	6,47	151,52	180,1	165,55	9,65
KSK1	0,07	0,62	0,21	0,2	0,54	0,94	0,81	0,13	0,86	1,31	0,98	0,16	26,78	31,06	29,13	1,43	39,91	56,28	47,68	4,55
KSK2	0,04	0,07	0,05	0,01	0,48	0,82	0,61	0,1	0,95	1,41	1,14	0,13	9,87	14,95	11,87	1,59	26,05	31,72	29,44	1,76
ANOVA A 1	F = 2,35 ; p = 0,0685 ; LSD = 0,2752				F = 12,6 ; p = 0,0000 ; LSD = 0,1885				F = 0,90 ; p = 0,5135 ; LSD = 0,2684				F = 101 ; p = 0,0000 ; LSD = 8,1849				F = 282 ; p = 0,0000 ; LSD = 11,966			

Légende: MLK = Maluku, KKL = Kinkole, KGB = Kingabwa, BRM = Baramoto, OCC = Baramoto port OCC, KKS1 = Kinsuka hôpital de la Rive, KSK2 = Kinsuka Ile Ledia, Mi = Minimum, Ma = Maximum, Mo = Moyenne et Ec: Ecart-type

Les résultats repris au tableau 5 ci-dessus montrent que la concentration moyenne des différents paramètres chimiques des eaux du fleuve Congo varie d'un site à l'autre. Les eaux présentent de faible teneur en nitrite avec une différence non significative ($F = 2,35$; $p = 0,0685$; $LSD = 0,2752$) entre les valeurs moyennes qui sont comprises entre $0,03 \pm 0,01$ mg/L (Maluku) et $0,2 \pm 0,04$ mg/L (Kingabwa). La teneur moyenne en nitrate la plus élevée ($F = 12,6$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,1885$) est observée à Baramoto ($1,2 \pm 0,07$ mg/L) et la faible concentration moyenne ($0,39 \pm 0,04$ mg/L) est obtenue à Maluku. Les teneurs moyennes en ions phosphate à travers les différents sites ne présentent pas une différence significative ($F = 0,90$; $p = 0,5135$; $LSD = 0,2684$); elles sont comprises entre $0,8 \pm 0,12$ mg/L (Maluku) et $1,42 \pm 0,16$ mg/L (Baramoto). L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) appliquée aux données de la demande biologique en oxygène révèle une différence très hautement significative ($F = 101$; $p = 0,0000$) entre les différentes moyennes. La valeur critique de comparaison ($8,1849$) de LSD test montre que la valeur moyenne la plus élevée est observée sur le site de Baramoto ($86,52 \pm 6,47$ O₂/L) et la faible valeur est relevée à Maluku ($4,56 \pm 0,91$ O₂/L). La concentration moyenne en demande chimique en oxygène présente une différence très hautement significative ($F = 282$; $p = 0,0000$) entre les sites. Le LSD test ($11,966$) montre que la faible concentration ($7,82 \pm 0,9$ O₂/L) est relevée dans le site de Maluku et la concentration la plus élevée ($183,54$ O₂/L) est observée à Baramoto. Les données détaillées des analyses statistiques des de ces paramètres sont reprises en annexe 8.

4.2 ACTIVITES ANTHROPIQUES OBSERVEES SUR LES SITES

Les activités anthropiques recensées sur les différents sites d'échantillonnage dans le Pool Malebo (fleuve Congo) sont consignées au tableau 6.

Tableau 5. Activités anthropiques menées le long du Pool Malebo (fleuve Congo)

Sites	Activités identifiées	Total
Maluku	Tourisme, Activités portuaires, pêche artisanale, commerce, lessive et baignade	6
Kinkole	Activités portuaires, pêche artisanale, commerce, lessive, baignade, tourisme, vente et scierie de bois (grume).	8
Kingabwa (rivière N'djili)	Dragage du sable, rejets des déchets industriels, pêche artisanale, riziculture et agriculture vivrière	5
Baramoto (rivière Kalamu)	Vente et scierie de bois, dragage du sable, rejets des déchets industriels, rejets de déchets domestiques, évacuation sauvages des fosses septiques et pêche artisanale	7
Baramoto (port OCC)	Commerce, activités portuaires, pêche artisanale, rejets des déchets industriels, ménagers et des hydrocarbures non utilisables, lessive, pour les baleinières et tourisme	8
Kinsuka (Hôpital de la rive)	Pêche artisanale, baignade, lessive, vaisselle, rejets des domestiques et hospitaliers	6
Kinsuka (Ile Ledia)	Extraction du sable, production caillasses et moellons, pêche artisanale et tourisme	4

Plusieurs activités anthropiques ont été recensées à travers les différents sites d'échantillonnages dans le Pool Malebo. Parmi ces activités, la pêche artisanale, la lessive, la baignade, le commerce au bord du fleuve, les rejets des déchets ménagers sont celles qui sont les plus observées. Les sites de Baramoto à l'entrée de la rivière Kalamu et au niveau du port de l'OCC sont ceux où un grand nombre des activités sont relevées (8 et 7 activités respectivement) et moins d'activités (4) sont recensées à Kinsuka sur l'île Ledia.

4.3 TYPES DES MACROPLASTIQUES IDENTIFIES SUR LES SITES

Les différents types des macroplastiques recensés à travers les sites d'échantillonnage à la surface du fleuve Congo et le long des berges sont consignés au tableau 7.

Tableau 6. Types des macroplastiques

Sites	Type des microplastiques				
	PET	PP	PS	PEHD	PELD
Maluku	+	+	-	+	+++
Kinkole	+	+	+	+++	+++
Kingabwa (rivière N'djili)	+	+	+	+++	++
Baramoto (rivière Kalamu)	+++	+	+	+++	++
Baramoto (port OCC)	+++	+	+	+	+
Kinsuka (Hôpital de la Rive)	+++	+	+	+	+
Kinsuka (Ile Ledia)	+++	+	+	++	+

Légende: + = présence

Suivant leur composition chimique, six groupes des macroplastiques sont identifiés au Pool Malebo sur du fleuve Congo et, tous les groupes sont présents à travers tous les sites d'échantillonnage. Du point de vue abondance numérique, le PET sont visibles dans tous les sites mais plus abondants à Kinsuka (Ile Ledia: 50% et Hôpital de la Rive: 40%), Kingabwa (à l'affluent de la rivière N'djili: 45%), Baramoto (à l'affluent de la rivière Kalamu: 30%) et Baramoto (au port de l'OCC: 30%). Les PELD sont plus abondants à Maluku (60%) et Kinkole (50%) et moins abondants à Baramoto (à l'affluent de la rivière Kalamu: 30%). Les PEHD sont plus abondants à Baramoto (à l'affluent de la rivière Kalamu: 40%), abondants à Kingabwa (à l'affluent de la rivière: 25%) et Kinsuka (Hôpital de la Rive: 25%). Par contre, les PS sont absents à Maluku et moins abondants sur les autres sites (figure 11).

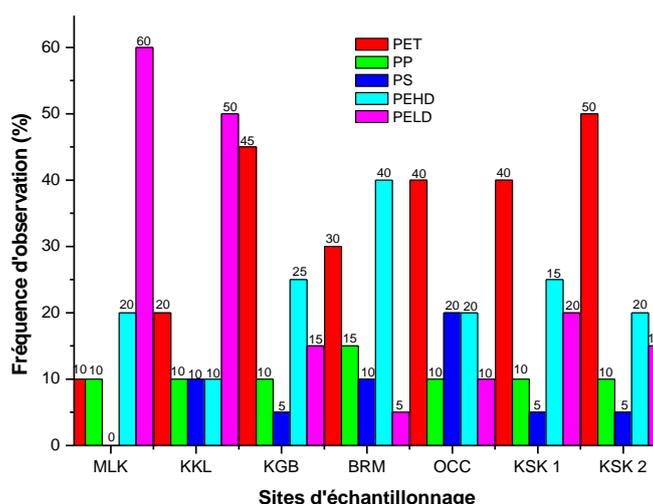


Fig. 11. Fréquence d'observation des types de macroplastiques dans le Pool Malebo

Légende: MLK = Maluku, KKL = Kinkole, KGB = Kingabwa (rivière N'djili), BRM = Baramoto (rivière Kalamu), OCC = Baramoto (port OCC), KSK 1 = Kinsuka (Hôpital de la Rive) et KSK 2 = Kinsuka (Ile Ledia)

4.4 TYPES DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIÉS

Les microplastiques sont mis en évidence dans trois compartiments du fleuve Congo dans sa partie Pool Malebo: la surface de l'eau, le sédiment ainsi que les poissons *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 et *Oreochromis niloticus* Linné, 1758.

4.4.1 SUR LA SURFACE D'EAU

Les différents types des microplastiques récoltés puis identifiés sur la surface du fleuve Congo dans le Pool Malebo sont repris au tableau 8.

Tableau 7. Types des microplastiques présents sur la surface des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo

Sites	Type des microplastiques					Total
	PET	PP	PS	PEHD	PELD	
Maluku	0	0	0	0	3	3
Kinkole	3	1	2	0	14	20
Kingabwa (rivière N'djili)	8	4	9	3	7	31
Baramoto (rivière Kalamu)	5	0	7	6	6	24
Baramoto (port OCC)	2	5	8	3	11	29
Kinsuka (Hôpital de la Rive)	0	0	1	0	5	6
Kinsuka (Ile Ledia)	0	0	2	0	3	5
Total	18	10	29	12	49	118

Il ressort des résultats repris au tableau ci-dessus qu'au total, 118 échantillons de microplastiques sont récoltés et identifiés sur la surface des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo. Les sites de Kingabwa (31 microplastiques), port OCC (29 microplastiques), Baramoto (24 microplastiques) et Kinkole (20 microplastiques) présentent des grandes quantités des microplastiques recueillis que les sites de l'hôpital de la Rive (6 microplastiques), Ile Ledia (5 microplastiques) et Maluku (3 microplastiques). Du point de vue abondance, les microplastiques de type PELD sont majoritaires (49 microplastiques soit 41,5%) suivis des PS (29 microplastiques soit 24,6%), PET (18 microplastiques soit 15,3%), PEHD (12 microplastiques soit 10,2%) et les PP (10 microplastiques soit 8,47%) sont les moins représentés (figure 12).

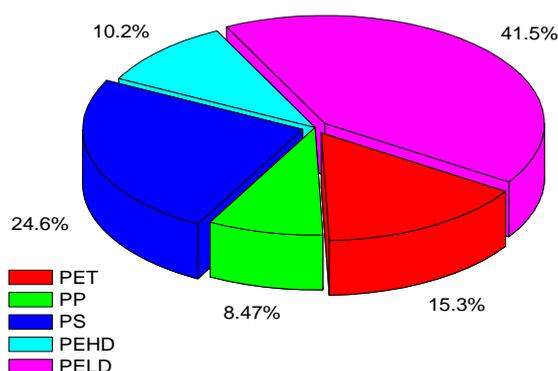


Fig. 12. Abondance relative de différents types de microplastiques identifiés sur la surface des eaux du fleuve Congo (Pool Malebo)

4.4.2 TYPES DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIÉS DANS LES SÉDIMENTS

Le nombre et les différents types des microplastiques identifiés dans les sédiments récoltés à travers les sites d'étude retenus dans le Pool Malebo (fleuve Congo) sont consignés au tableau 9.

Tableau 8. Types des microplastiques en nombre recensés dans les sédiments du fleuve Congo dans le Pool Malebo

Sites	Type des microplastiques					Total
	PET	PP	PS	PEHD	PELD	
Maluku	0	0	2	0	6	8
Kinkole	1	0	3	2	8	14
Kingabwa (rivière N'djili)	3	2	5	3	11	24
Baramoto (rivière Kalamu)	2	1	3	2	10	18
Baramoto (port OCC)	4	3	1	4	9	21
Kinsuka (Hôpital de la Rive)	1	0	4	1	7	13
Kinsuka (Ile Ledia)	0	0	1	0	2	3
Total	11	6	19	12	53	101

Il se dégage des résultats repris au tableau 9 ci-dessous que cent et un (101) microplastiques ont été identifiés dans les sédiments des sites d'étude retenus dans le Pool Malebo. Les microplastiques du type PELD sont les plus nombreux avec 53 débris soit 52,5% à travers les sédiments de tous les sites suivis de PS (19 microplastiques soit 18,8%), PEHD (12 microplastiques soit 11,9%), PET (11 microplastiques soit 10,9%) et PP (6 microplastiques soit 5,94%) (figure 13). Les sédiments du site de Kingabwa présentent le nombre élevé des microplastiques tandis que les sédiments du site de Kinsuka ont présentés un nombre faible des microplastiques.

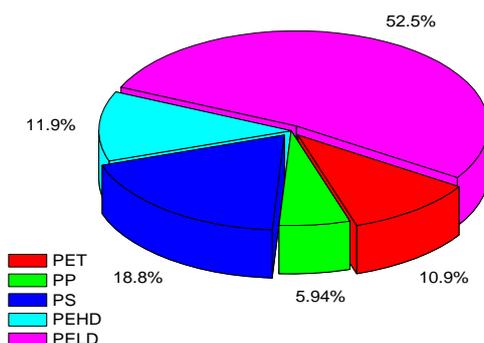


Fig. 13. Abondance relative de différents types de microplastiques identifiés dans les sédiments des sites d'étude dans le fleuve Congo (Pool Malebo)

4.4.3 TYPES DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIES DANS LES TUBES DIGESTIFS DES POISSONS

Etant donné que les microplastiques ont été recherchés dans les tubes digestifs de deux espèces de poissons différentes (*Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus*), les échantillons de ces espèces récoltés dans le cadre de cette étude ont été manipulés de manière séparée. L'annexe 9 reprend certaines photos des débris des microplastiques mises en évidence dans les tubes digestifs de poissons *C. gariepinus* et *O. niloticus*.

4.4.3.1 CLARIAS GARIEPINUS

Le tableau 10 reprend les types des microplastiques recensés dans les tubes digestifs des poissons *Clarias gariepinus* échantillonnés dans les stations de pêche du Pool Malebo (fleuve Congo). Les photos de quelques fragments des plastiques mis en évidence lors des observations au laboratoire sont reprises sur la figure 14.

Tableau 9. Différents microplastiques identifiés dans les tubes digestifs des poissons *Clarias gariepinus* du fleuve Congo dans le Pool Malebo (fleuve Congo)

Sites	Type des microplastiques					Total	%
	PET	PP	PS	PEHD	PELD		
Maluku	0	0	0	0	5	5	12,1
Kinkole	0	2	0	0	8	10	24,3
Kingabwa	0	5	0	0	17	22	53,6
Kinsuka	0	0	0	0	4	4	9,7
Total	0	7	0	0	34	41	99,9
%	0	17	0	0	82,9		99,9

Sur un total de 41 débris de microplastiques identifiés dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus* à travers toutes les stations de pêche du Pool Malebo dans le fleuve Congo, seuls deux catégories de plastiques intègrent les tubes digestifs des poissons. Les polyéthylènes à basse densité (PELD) avec 34 débris soit 82,9% sont les plus représentatifs que les polypropylènes (PP) avec 7 débris soit 17%. Les poissons capturés au niveau de la station de Kingabwa présentent une proportion élevée de contamination (53,6%) par les débris suivie de ceux récoltés à Kinkole (24,3%), Maluku (12,1%) et Kinsuka (9,7%).

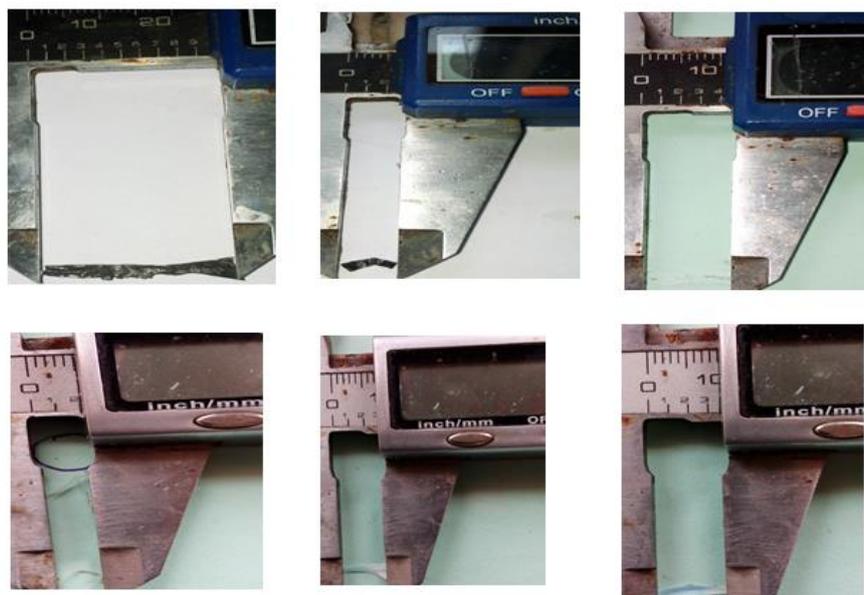


Fig. 14. Photos de quelques fragments plastiques mis en évidence dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus* lors des observations au laboratoire (Photos Masua, 2021)

4.4.3.2 OREOCHROMIS NILOTICUS

Le tableau 11 reprend les différents types des microplastiques identifiés dans les tubes digestifs des poissons *Oreochromis niloticus* échantillonnés à travers les stations de pêche du Pool Malebo dans le fleuve Congo. Les photos de quelques fragments plastiques mis en évidence lors des observations au laboratoire sont reprises sur la figure 15.

Tableau 10. Différents types de microplastiques identifiés dans les tubes digestifs des poissons *Oreochromis niloticus* du fleuve Congo dans le Pool Malebo

Sites	Type des microplastiques					Total	%
	PET	PP	PS	PEHD	PELD		
Maluku	0	0	0	0	2	2	4,5
Kinkole	0	2	0	0	16	18	40,9
Kingabwa	0	4	0	0	7	11	25
Kinsuka	0	3	0	0	10	13	29,5
Total	0	9	0	0	35	44	99,9
%	0	20,4	0	0	79,5		99,9

Deux types de microplastiques (PELD: polyéthylène basse densité et PP: polypropylène) intègrent les tubes digestifs des poissons *Oreochromis niloticus* dans le Pool Malebo (fleuve Congo). Du point de vue abondance relative, les PELD avec 35 débris soit 79,5% sont les plus nombreux que les PP avec 9 débris soit 20,4%. Au niveau de station de pêche, les poissons récoltés au site de Kinkole sont les plus contaminés avec 18 débris soit 40,9% suivie de Kinsuka avec 13 débris soit 29,5%, Kingabwa avec 11 débris soit 25% et Maluku avec 2 débris soit 4,5%.

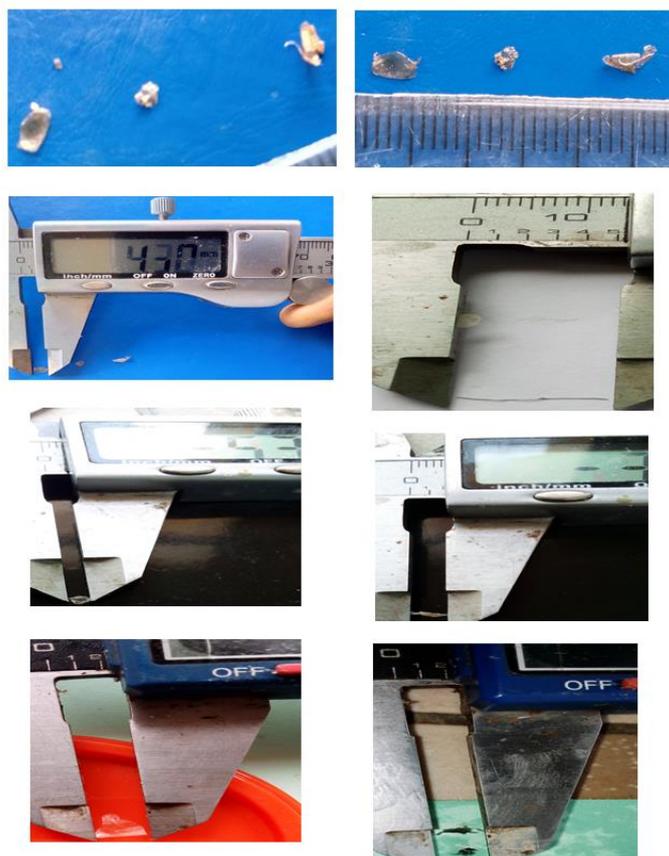


Fig. 15. Photos de quelques fragments plastiques mis en évidence dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus* lors des observations au laboratoire (Photos Masua, 2021)

4.4.4 PREVALENCE DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIES DANS LES TUBES DIGESTIFS EN RAPPORT AVEC LES CLASSES DE TAILLES DE POISSONS

La prévalence des différents types de microplastiques identifiés dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* est consignée dans le tableau 12. Les données de classes de tailles de poissons sont reprises en annexe (annexe 10).

Tableau 11. Prévalence des microplastiques dans les contenus digestifs des poissons en fonction des classes de tailles

Classes de tailles	Intervalle des classes (mm)		Nombre des spécimens		Ni.CMp	
	<i>C. gariepinus</i>	<i>O. niloticus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>O. niloticus</i>	<i>C. gariepinus</i>	<i>O. niloticus</i>
I	[43,4 ; 106,7[	[47,7 ; 81,8[	18	4	11	1
II	[108 ; 171,3[	[83 ; 117,1[	33	27	19	18
III	[173 ; 236,3[	[118 ; 152,1[	21	19	9	10
IV	[238 ; 301,3[	[153 ; 187,1[	3	12	1	7
V	[303 ; 366,3[	[188 ; 222,1[	1	7	0	2
VI	[368 ; 431,3[	[223 ; 257,1[	0	3	0	1
VII	[433 ; 496,3[	[258 ; 292,1[	1	4	0	2
VIII	[498 ; 561,3[	[293 ; 327,1[	3	4	1	3
Total			80	80	41	44

Légende: Ni.CMp = Nombre d'individus Contaminés par les Microplastiques

Il ressort des données reprises au tableau 12 ci-dessus que les spécimens des poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* sont regroupés en huit classes de tailles. En termes du nombre de spécimens par classe de tailles, la deuxième classe avec 33 spécimens, troisième classe avec 21 spécimens et première avec 18 individus présentent un nombre élevé des individus chez *C. gariepinus*. Chez *O. niloticus*, la deuxième avec 27 individus, troisième avec 19 individus et la quatrième classe de tailles avec 12 individus regroupent un plus grand nombre de spécimens que les autres. En termes de la prévalence de contamination des individus par les microplastiques en fonction de classe de tailles, les poissons *Clarias gariepinus* regroupés dans la deuxième avec 19 individus contaminés soit 46%, la première avec 11 individus contaminés soit 27% et la troisième classe avec 9 individus soit 22% présentent des proportions élevées de contamination. Chez *O. niloticus* ce sont les spécimens des classe II avec 18 spécimens soit 41%, classe III avec 10 spécimens soit 23% et classe IV avec 7 individus soit 16% sont les plus contaminés (figure 16).

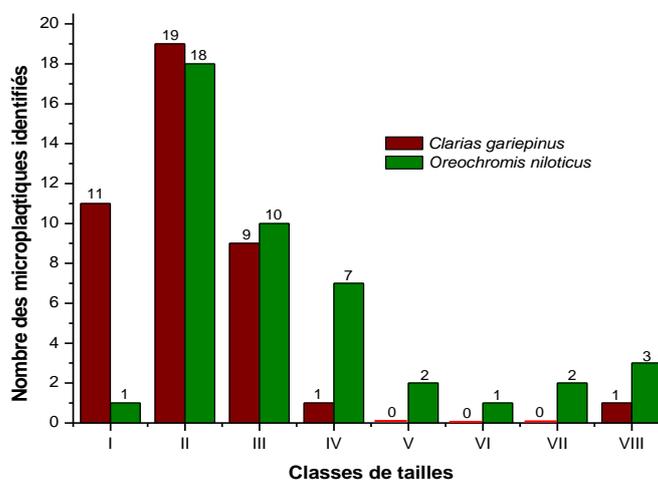


Fig. 16. Prévalence des microplastiques dans les contenus digestifs des poissons en fonction des classes de tailles

4.4.5 COULEUR ET TAILLE DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIÉS SUR LA SURFACE D’EAU ET DANS LES SEDIMENTS

La couleur et la taille des différents microplastiques identifiés dans l’eau et les sédiments du Pool Malebo dans le fleuve Congo sont reprises au tableau 13.

Tableau 12. Couleur et taille des microplastiques identifiés dans l'eau et le sédiment

Eaux		Fra	%	Sédiments		Fra	%
Couleur	Taille (mm)			Couleur	Taille (mm)		
Blanche	0,14 – 23,4	10	8,47	Blanche	0,34 – 46,27	11	10,89
Blanche pâle	0,18 – 41,6	29	24,57	Blanche pâle	0,6 – 23,4	33	32,67
Brune	0,2 – 1,4	23	19,49	-	-	-	-
Noire	0,9 – 37,14	31	26,27	Noire	0,85 – 54,8	44	43,56
Bleu foncé	0,3 – 2,57	16	13,55	Bleu pâle		8	7,92
Noire-tacheté	1,54 – 43,72	9	7,62	Jaune pâle	0,18 – 42,7	5	4,95
Total		118	99,97	Total		101	99,99

Légende: Fra = Fréquence absolue, % = pourcentage et - = néant

Il ressort des résultats repris au tableau 13 ci-dessus que, les microplastiques identifiés à la surface des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo présentent six couleurs (blanche, blanche pâle, brune, noire, bleu foncé et noire-tacheté) et des tailles comprises entre 0,14 mm et 43,72 mm. En termes d'abondance, les microplastiques de couleur noire (26,27%), blanche pâle (24,57%), brune (19,49%) et bleu foncé (13,55%) sont les plus nombreux. Dans les sédiments, les microplastiques présentent cinq types de couleurs (blanche, blanche pâle, noire, bleu pâle et jaune pâle) avec des tailles comprises entre 0,18 mm et 54,8 mm. Les microplastiques de couleur noire sont plus abondants (43,56%) suivis de ceux de la couleur blanche pâle (32,67%) et blanche (10,89%).

4.4.6 COULEUR ET TAILLE DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIÉS DANS LES TUBES DIGESTIFS DE POISSONS

Les différentes couleurs et tailles des microplastiques relevées dans les contenus stomacaux des poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés dans le Pool Malebo dans le fleuve Congo sont reprises en fonction des sites d'étude.

4.4.6.1 SITE DE MALUKU

Les couleurs et tailles des microplastiques identifiés dans les tubes digestifs de poissons récoltés à Maluku sont consignées dans le tableau 14.

Tableau 13. Couleurs et tailles des microplastiques identifiés dans les poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés à Maluku

Espèces de poissons							
<i>Clarias gariepinus</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
Couleur	Taille (mm)	Fra	%	Couleur	Taille (mm)	Fra	%
Blanche pâle	1 -2,3	2	40	Blanche	1,4	2	100
Noire	1,2 – 2,4	3	60	-	-	-	-
Total		5	100	Total		2	100

Légende: Fra = Fréquence absolue, % = pourcentage et - = néant

Les débris identifiés dans les tubes digestifs de poissons capturés à Maluku présentent une perte de coloration. Trois couleurs des microplastiques (blanche pâle, blanche et noire) sont identifiées dans les tubes digestifs des poissons dont le plus grand nombre des débris (deux) chez *Clarias gariepinus* et une seule couleur chez *Oreochromis niloticus* de taille variante entre 1 et 2,4 mm. En termes de proportion d'observation des débris identifiés, les plastiques de couleur noire sont les plus abondants (60%) que ceux de la couleur blanche pâle (40%). Par contre chez *Oreochromis niloticus* tous les débris identifiés sont de couleur blanche.

4.4.6.2 SITE DE KINKOLE

Le tableau 15 reprend les différentes couleurs et tailles des microplastiques identifiés dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* récoltés à Kinkole.

Tableau 14. Couleurs et tailles des microplastiques identifiés dans les poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés à Kinkole

Espèces de poissons							
<i>Clarias gariepinus</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
Couleur	Taille (mm)	Fra	%	Couleur	Taille (mm)	Fra	%
Blanchâtre	1,2 – 2,1	7	70	Blanche	1,6 - 4	10	55,5
Noirâtre	2,0 – 3,2	2	20	Brune	1,6	1	5,5
Blanche	1,3	1	10	Noire	1,3 – 2,4	2	11,1
-	-	-	-	Blanchâtre	3,1 - 4	2	11,1
-	-	-	-	Noirâtre	2,4 – 3,1	2	11,1
-	-	-	-	Noire tacheté	4,2	1	5,5
Total		10	100	Total		18	99,8

Légende: Fra = Fréquence absolue, % = pourcentage et - = néant

Les tubes digestifs de spécimens de poissons *Oreochromis niloticus* pêchés à Kinkole présentent un nombre élevé des débris plastiques que ceux de poissons *Clarias gariepinus*. Au total, six couleurs (noirâtre, blanche, brune, noire, blanchâtre et noire tacheté) de microplastiques sont mises en évidence. La taille des débris varie entre 1,2 et 4,2 mm avec un nombre élevé (18) observé des microplastiques chez *Oreochromis niloticus*. Chez *C. gariepinus*, les débris de taille comprise entre 1,2 et 2,1 mm avec 70% sont les plus abondants tandis que chez *O. niloticus*, les déchets de taille comprise entre 1,6 et 4 mm avec 55,5% sont les plus représentatifs.

4.4.6.3 SITE DE KINGABWA

Les informations relatives à la couleur et à la taille des microplastiques identifiés dans les tubes digestifs de poissons récoltés à la station de Kingabwa dans le Pool Malebo (fleuve Congo) sont reprises au tableau 16.

Tableau 15. Couleurs et tailles des microplastiques identifiés dans les poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés à Kingabwa

Espèces de poissons							
<i>Clarias gariepinus</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
Couleur	Taille (mm)	Fra	%	Couleur	Taille (mm)	Fra	%
Blanchâtre	1,3 – 12,2	8	36,3	Blanchâtre	0,8 - 4	3	27,2
Noire	0,9 – 4,8	6	27,2	Blanche pâle	2 – 3,1	5	45,4
Jaune pâle	0,7	1	4,5	Noire	0,4 - 7	2	18,1
Brune	2,4 - 4	3	13,6	Incolore	1,6	1	9
Blanche pâle	1,6 – 5,2	4	18,1	-	-	-	-
Total		22	99,7	Total		11	99,7

Légende: Fra = Fréquence absolue, % = pourcentage et - = néant

A Kingabwa, le nombre le plus élevé (22 débris) de microplastiques sont observés dans les tubes digestifs des poissons *Clarias gariepinus* que chez les poissons *Oreochromis niloticus* (11 débris). Les couleurs des débris varient de blanchâtre, noire, jaune pâle, brune, blanche pâle et incolore de taille comprise entre 0,4 et 2,4 mm. Les débris de taille comprise entre 1,3 et 12,2 mm avec 36,3% sont les plus nombreux chez *C. gariepinus* suivis de ceux de taille allant de 0,9 à 4,8 mm (soit 27,2%). Chez *O. niloticus*, les débris de taille allant de 2 à 3,1 mm avec 45,4% sont les plus nombreux suivis de ceux de taille comprise entre 0,8 et 4 mm.

4.4.6.4 SITE DE KINSUKA

Les résultats obtenus sur la couleur et la taille des microplastiques identifiés dans les tubes digestifs des poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés à la station de Kinsuka sont repris au tableau 17.

Tableau 16. Couleurs et tailles des microplastiques identifiés dans les poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés à Kinsuka

Espèces de poissons							
<i>Clarias gariepinus</i>				<i>Oreochromis niloticus</i>			
Couleur	Taille (mm)	Fra	%	Couleur	Taille (mm)	Fra	%
Blanche	5,1	1	25	Blanchâtre	1 - 4,1	2	15,3
Blanchâtre	4,8	1	25	Noire	1,2	1	7,6
Brune	1,3 – 3,2	2	50	Noirâtre	4,9	1	7,6
-	-	-	-	Blanche	0,4 – 5,2	8	61,5
-	-	-	-	Rouge bordeaux	1,4	1	7,6
Total		4	100	Total		13	99,6

Légende: Fra = Fréquence absolue, % = pourcentage et - = néant

Le plus grand nombre (13 débris) des microplastiques est relevé dans les tubes digestifs de poissons *Oreochromis niloticus* que dans les spécimens de *Clarias gariepinus* (4 débris). Sur les six couleurs (blanche, blanchâtre, brune, noire, noirâtre et rouge bordeaux) des débris mis en évidence, la majorité des couleurs sont observées dans les débris identifiés dans les poissons *O. niloticus*. En termes de tailles, les microplastiques identifiés à Kinsuka présentent de tailles comprises entre 0,4 et 5,1 mm avec une prédominance (soit 50%) des débris de taille comprise entre 1,3 et 3,2 mm chez *C. gariepinus*. Chez *O. niloticus*, les déchets de taille allant de 0,4 et 5,2 mm avec 61,5% sont les plus abondants.

4.4.7 ABONDANCE RELATIVE DES FORMES DES MICROPLASTIQUES IDENTIFIES

4.4.7.1 SUR LA SURFACE D'EAU

Trois formes des microplastiques recensés sur la surface des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo sont mises en évidence. La forme filamenteuse est la plus représentée (68,6%) suivie des formes irrégulière (22%) et sphérique (9,32%) (figure 17). Dans la catégorie des filaments il y a les fibres synthétiques dont les mèches et les filets en nylon ainsi que les sacs en polyéthylène en cours de décomposition.

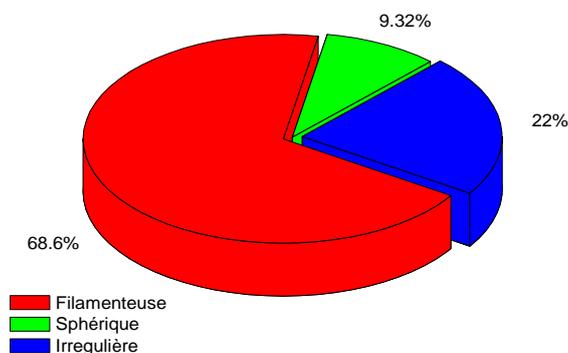


Fig. 17. Différentes formes des microplastiques identifiées sur la surface du fleuve Congo (Pool Malebo)

4.4.7.2 DANS LES SÉDIMENTS

Les microplastiques identifiés dans les sédiments du Pool Malebo (fleuve Congo) présentent quatre formes différentes. La majorité des microplastiques sont de forme filamenteuse (41,6%), irrégulière (33,7%), sphérique (15,8%) et elliptique (8,91%) (figure 18).

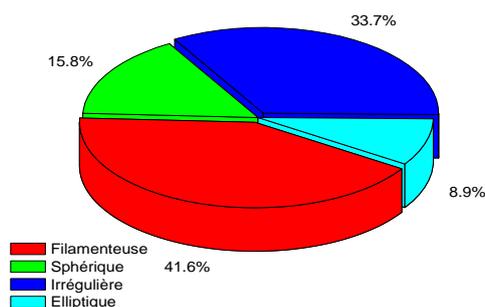


Fig. 18. Différentes formes des microplastiques identifiées dans les sédiments du fleuve Congo (Pool Malebo)

4.4.7.3 DANS LES TUBES DIGESTIFS DES POISSONS

Sept formes des microplastiques identifiées dans les tubes digestifs des poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés dans les différentes stations du Pool Malebo dans le fleuve Congo sont mises en évidence. Les particules de forme filamenteuse avec 39 débris soit 45,9% sont dominantes suivies de celles qui ont la forme irrégulière avec 18,8% soit 16 débris, bâtonnet avec 15,3% soit 13 débris et sphérique avec 12,9% soit 11 débris (figure 19). Les microplastiques des autres formes sont moins représentatifs.

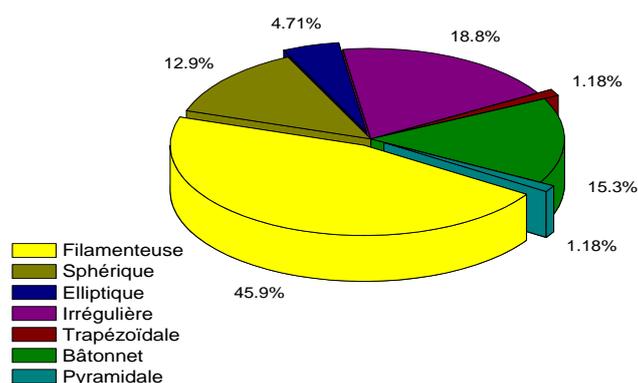


Fig. 19. Différentes formes des microplastiques identifiées dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus* et *Oreochromis niloticus* pêchés dans le fleuve Congo (Pool Malebo)

5 DISCUSSION

La préservation des réserves mondiales d'eau douce ainsi que la qualité de l'eau potable sont des enjeux planétaires majeurs. Plusieurs facteurs menacent l'intégrité de cette ressource (Beauchemin, 2015). La République Démocratique du Congo ne fait pas exception à la règle. Les rives du Pool Malebo sont aussi vulnérables à la présence de la pollution plastique dans ses eaux. Dans le milieu naturel, les macros et les microplastiques sont dégradés en particules plus petites par le jeu de facteurs biotiques et abiotiques (Schäfer, 2015). La dégradation totale est cependant extrêmement longue, de sorte que la plupart des plastiques sont considérés comme persistants (Faure & De Alencastro, 2014; Schäfer, 2015). L'action des agents abiotiques est la première étape de ce processus. Elle est très importante puisqu'elle entraîne la perte des propriétés mécaniques des matériaux et une modification profonde de la structure moléculaire (Ryan *et al.*, 2009). La matrice polymère se disloque, libérant des fragments de différentes tailles et toutes sortes d'additifs. En conditions naturelles, la photolyse est l'une des principales causes de dégradation (Schäfer, 2015). Par la rupture des chaînes polymériques et diverses réactions chimiques, les matériaux deviennent poreux et instables. La photodégradabilité du plastique dépend alors de sa composition (Beauchemin, 2015). La structure des polymères peut être détruite par thermolyse, oxydation, hydrolyse ou par l'action mécanique des forces de cisaillement. La vitesse et le degré de dégradation dépendent fortement des propriétés des polymères: ceux qui comportent des liaisons ester (comme le polyuréthane) peuvent être attaqués par des estérases (Lambert *et al.*, 2014). En conférant au matériau un caractère plus ou moins hydrophobe, la composition du polymère influe également sur la capacité des microorganismes à se fixer à sa surface et donc à participer à la dégradation. La composition et la complexité

de la structure polymérique déterminent donc la biodégradabilité des plastiques (Goverse et Bech, 2011). Ceux qui sont composés d'unités courtes et répétitives, qui présentent une grande symétrie et de fortes liaisons hydrogène (le PE, le PP et le PET par ex.) sont moins accessibles aux enzymes et donc plus stables (Browne *et al.*, 2013). La minéralisation par les microorganismes ne peut commencer qu'une fois les molécules sont suffisamment petites, c'est-à-dire lorsque les monomères et oligomères solubles dans l'eau peuvent être libérés (Faure & De Alencastro, 2014).

Les paramètres physiques et chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo mesurés dans le cadre de cette étude contribuent de manière générale à la désintégration des déchets plastiques (macroplastiques) en microplastiques. Les résultats obtenus sur les paramètres physiques ont montré que les eaux du fleuve Congo sont chaudes à travers les sept sites d'étude retenus dans le Pool Malebo. La température moyenne en surface se situe entre $26,15 \pm 0,93^\circ\text{C}$ et $29,75 \pm 0,75^\circ\text{C}$. Les valeurs les plus élevées de température ont été enregistrées aux sites de Baramoto ($29,75 \pm 0,75^\circ\text{C}$) et de Maluku ($28,5 \pm 0,65^\circ\text{C}$) et la plus faible valeur de température a été relevée à Kingabwa ($26,15 \pm 0,93^\circ\text{C}$) à l'affluent de la rivière N'djili. Les résultats de la présente à ce paramètre sont proches de ceux relevés par Pwema (2014); Tembeni (2017); Pwema *et al.*, (2024) (température moyenne de l'eau de surface qui était de $28,9 \pm 0,18$ et $29,3 \pm 0,13^\circ\text{C}$). Tembeni (2017) fait savoir que les moyennes annuelles de la température de l'eau mesurées pendant une période de cinq ans (2009-2013) oscille autour de $26,4 \pm 1,39^\circ\text{C}$ en surface et de $26 \pm 1,46^\circ\text{C}$ en profondeur, avec des minima et maxima thermiques respectifs de 23°C et de $27,5^\circ\text{C}$ en surface comme en profondeur. La variation du potentiel d'hydrogène a montré que ces eaux sont légèrement acides (pH compris entre $5,97 \pm 0,12$ à Kinkole et $6,72 \pm 0,12$ à Kinsuka à l'île Ledia). Ces observations sont proches de celles faites par Pwema (2014); Pwema *et al.*, (2024). D'après ces derniers, les eaux du fleuve Congo à la station de Kinkole sont légèrement acides (pH compris entre $6,27 \pm 0,11$ et $6,62 \pm 0,28$). Pwema (2014) a relevé des valeurs moyennes de potentiel d'hydrogène comprises entre $6,1 \pm 0,2$ (Kinkole) et $6,3 \pm 0,4$ (Kinsuka). La conductivité électrique est restée faible de manière générale; elle a oscillé entre $22,5 \pm 3,75 \mu\text{S/cm}$ (Maluku) et $70 \pm 20 \mu\text{S/cm}$ (Baramoto). Les moyennes de la conductivité relevées dans cette étude sont proches de celles obtenues par Tembeni (2017). Ce dernier a dans son étude obtenu une conductivité annuelle de $39,9 \pm 5,4 \mu\text{S/cm}$ variant entre un minimum de $37,4 \mu\text{S/cm}$ à la station de Kinkole et un maximum de $43,48 \mu\text{S/cm}$ à la station de Kinsuka. Pwema (2014) de son côté fait remarquer que d'une manière générale, les valeurs de la conductivité de l'eau du fleuve Congo au Pool Malebo sont faibles et oscillent entre $28,9$ et $35,8 \mu\text{S/cm}$. Ceci est due au fait que les eaux courantes du fleuve Congo charrient les matières organiques et inorganiques dissoutes dans l'eau (Pwema, 2014). Les solides totaux dissous ont été en faible concentration dans l'eau du fleuve Congo. Les valeurs moyennes de la turbidité se sont situées entre $11 \pm 1,5$ ppm (Maluku) et $34,5 \pm 10,5$ ppm (Baramoto) et sont proches de celles obtenues par Pwema *et al.*, (2024). Ces derniers ont relevé des valeurs moyennes de turbidité comprises entre $13,73 \pm 0,1$ ppm et $14,21 \pm 0,38$ ppm. La mise en suspension des particules organiques et minérales allochtones est liée à l'afflux des masses d'eaux des affluents du fleuve Congo dans le Pool Malebo et à celui des plaines inondables dans le cours principal par le courant d'eau suivant les observations faites par Lambert *et al.*, (2016).

En ce qui concerne les paramètres chimiques des eaux du fleuve Congo, les analyses des échantillons ont montré que la concentration moyenne en nitrite a varié entre $0,03 \pm 0,01$ mg/L à Maluku et $0,2 \pm 0,04$ mg/L à Kingabwa. La teneur moyenne en nitrate varie entre $0,39 \pm 0,04$ mg/L (Maluku) et $1,2 \pm 0,07$ mg/L (Baramoto). Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Tembeni (2017). Dans son étude, ce dernier fait savoir que les concentrations en nitrates ont été relativement stables entre 2009 et 2013, avec un minimum de $0,08$ mg/L et un maximum de $0,1$ mg/L. La concentration moyenne en ions phosphate s'est située entre $0,8 \pm 0,12$ mg/L (Maluku) et $1,42 \pm 0,16$ mg/L (Baramoto). D'après les observations faites par Pwema (2014), les valeurs des ions majeurs (Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4^- , PO_4^- etc.) varient très peu d'un site à un autre. La minéralisation évolue dans le même sens que la conductivité. Tembeni (2014) a obtenu une concentration minimale des ions phosphates de $1,20$ mg/L avec une maximale de $1,31$ mg/L.

En ce qui concerne les types de macroplastiques observés sur les sites d'étude (sur la surface de l'eau comme le long des berges) suivant leur composition chimique, six groupes des déchets plastiques ont été identifiés le long du Pool Malebo dans le fleuve Congo et, tous les groupes ont été présents à travers tous les sites d'échantillonnage. Du point de vue abondance numérique, les déchets ont été observés à des fréquences variables d'un site à l'autre. Le PET a été recensé dans tous les sites mais il est plus abondant à Kinsuka (Île Ledia: 50% et à l'hôpital de la Rive: 40%), Kingabwa (à l'affluent de la rivière N'djili: 45%), Baramoto (à l'affluent de la rivière Kalamu: 30%) et Baramoto (au port de l'OCC: 30%).

Les PELD ont été plus abondants à Maluku (60%) et Kinkole (50%) et moins abondants à Baramoto (à l'affluent de la rivière Kalamu: 30%). Les PEHD ont été plus abondants à Baramoto (à l'affluent de la rivière Kalamu: 40%), à Kingabwa (à l'affluent de la rivière: 25%) et Kinsuka (Hôpital de la Rive: 25%). Par contre, les PS sont absents à Maluku et moins abondants sur les autres sites. La prédominance de ces différents types de déchets dans les sites prospectés est étroitement liée aux activités anthropiques qui, sont responsables des rejets de ces résines plastiques. Le niveau de vie social des populations riveraines du Pool Malebo est l'un des facteurs clés qui contribue à l'abondance des déchets notamment les bouteilles en plastique (jus et eau de boisson) qui sont identifiés en masse dans les sites compris entre Kingabwa et Kinsuka. Ces résultats sont très proches

de ceux obtenus par Massain et Jeanniot (2011); Masua *et al.* (2023). Ces derniers ont relevé la présence de sept (7) types des macroplastiques dont le Polyéthylène haute densité (PEHD), Polyéthylène basse densité (PELD), Polyéthylène téréphtalate (PET), Polypropylène (PP), Polystyrène (PS), Polychlorure de vinyle (PVC) et Acétate de cellulose (CA). En outre, ces auteurs ont relevé la présence de toutes les catégories des déchets plastiques à travers trois sites d'étude retenus le long de la rivière N'djili à Kinshasa. Masua *et al.* (2023) font aussi savoir que les déchets plastiques de type PET (27,23%), PELD (26,79%), PEHD (18,88%) et PP (13,32%) sont les plus nombreux sur les sites d'échantillonnage.

Ces observations ont aussi été faites par PUK (2008); Kassay (2015); ONU-Environnement (2018). Massain et Jeanniot (2011) signalent la présence massive de polyéthylène basse densité, polyéthylène téréphtalate, polypropylène et polystyrène dans les rues, caniveaux et cours d'eaux de Kinshasa. Kassay (2015) relève qu'une simple observation dans les quartiers de Kinshasa permet de constater que les espaces publics ne présentent pas un visage de fête. La présence de différents déchets plastiques dans le fleuve Congo serait due aux activités anthropiques (le commerce au bord du fleuve, les rejets des déchets ménagers et autres) qui ont été observés le long du Pool Malebo. Le tronçon du Pool Malebo compris entre le site de Kinkole jusqu'au site de Kinsuka est localisé dans une zone à forte concentration humaine, longé par des habitations et industries à proximité des berges du fleuve. Cette proximité et occupation par les kinois seraient à la base de la plus forte prolifération des déchets plastiques dans cette partie du fleuve Congo par rapport au site de Maluku. Ntirumenyerwa (2019) dans son étude sur les défis des récentes réglementations en la matière sur la pollution plastique en République Démocratique du Congo fait savoir que les rivières traversant la ville de Kinshasa est submergée par des déchets plastiques divers et, les eaux ruissellent difficilement dans certaines rivières. A Kinshasa, les immondices (déchets ménagers et autres) sont jetés dans les rues, poubelles, les caniveaux et surtout dans les cours d'eaux qui traversent la ville. Lors des prospections sur terrain dans le cadre de cette étude, les déchets plastiques ont été observés soit dans les abords ou directement dans le fleuve Congo. Les rivières dans leur ensemble sont des vecteurs importants des déchets plastiques vers le fleuve Congo et, contribuent ainsi à la contamination de différents compartiments du fleuve. Schäfer (2015) affirme que les fleuves sont des vecteurs importants de microplastiques et contribuent ainsi à la pollution des mers. Le constat fait dans cette étude est que les rivières N'djili, Kalamu, Gombe et autres petits cours d'eaux qui traversent la ville de Kinshasa pour se jeter dans le fleuve Congo sont les grands transporteurs des déchets plastiques dans le Pool Malebo.

Les microplastiques ont été mis en évidence dans trois compartiments du fleuve Congo: la surface de l'eau, le sédiment et les poissons *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 et *Oreochromis niloticus* Linné, 1758. A la surface de l'eau, 118 échantillons de microplastiques ont été récoltés et identifiés. La majorité des débris ont été recensés aux sites de Kingabwa soit 31 microplastiques, port OCC soit 29 microplastiques, Baramoto soit 24 microplastiques et Kinkole soit 20 microplastiques. Du point de vue abondance, les microplastiques de type PELD ont été plus abondants avec 49 microplastiques soit 41,5% suivis des PS avec 29 microplastiques soit 24,6%, PET avec 18 microplastiques soit 15,3%, PEHD avec 12 microplastiques soit 10,2% et les PP avec 10 microplastiques soit 8,47%. Ces observations rencontrent celles faites par Mutombo (2024). Ce dernier a pu identifier des débris divers des macros et microplastiques à la surface de la rivière N'djili à Kinshasa. Selon Beauchemin (2015), les types de plastique composant les microplastiques possèdent différentes densités et peuvent donc se retrouver partout dans la colonne d'eau ainsi que dans les sédiments et sur les rives (Engler, 2012). Dans les sédiments, les microplastiques du type PELD avec 53 microplastiques soit 52,5% ont été les plus recensés de tous les sédiments de tous les sites suivis de PS avec 19 microplastiques soit 18,8%, PEHD avec 12 microplastiques soit 11,9%, PET avec 11 microplastiques soit 10,9% et PP avec 6 microplastiques soit 5,94%. Les sédiments du site de Kingabwa ont présenté un nombre élevé des microplastiques tandis que les sédiments du site de Kinsuka ont présenté un nombre faible des microplastiques. La faible proportion des débris plastiques inventoriés à Kinsuka serait liée au type de sédiment de ce site, constitué à 90% d'un fond rocheux. Ce type de substrat contribue à ce que les débris plastiques soient entraînés avec le courant d'eau sans pour autant se déposer au fond. Ces résultats s'accordent avec les observations faites par plusieurs chercheurs dont Beauchemin (2015); Leclercq (2015); Roclin (2015) et tant d'autres qui, signalent la présence des débris plastiques dans l'eau, le sédiment et la chaîne alimentaire dans sa globalité.

Au lac Léman en Suisse, des chercheurs ont également démontré la présence de microplastiques dans l'eau et sur les plages (Faure *et al.*, 2012). Dans un premier état des lieux des eaux suisses mené sur mandat de l'Office Fédéral de l'Environnement dans le Léman, les lacs de Constance, de Neuchâtel, de Brienz et de Zurich, le lac Majeur et le Rhône, ils ont observé des microparticules dans la plupart des échantillons et en ont recensé en moyenne 91.000/km² de superficie lacustre et 1.300/m² de plage (Faure & De Alencastro, 2014). Le matériau le plus fréquent était le polyéthylène suivi par le polypropylène et le polystyrène (Schäfer, 2015). Une étude menée à Tamise en grande Bretagne, signale des microplastiques observés dans les sédiments à des concentrations atteignant 800 particules par litre d'eau sur la totalité des 10 sites concernés par une étude (Horton *et al.*, 2015). En Belgique, près de 400 microparticules par kilo ont été trouvées dans les sédiments portuaires (Claessens *et al.*, 2011) tandis que les Hollandais en découvraient près de 3.300 par kilo dans les sédiments de l'embouchure

du Rhin (Leslie *et al.*, 2013). A défaut de déterminer la concentration des particules plastiques, toutes ces observations réconfortent le constat fait dans la présente étude sur la présence des microplastiques dans l'eau et le sédiment du Pool Malebo.

Dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus*, 41 débris de microplastiques ont été identifiés pour tous les spécimens de poissons. Deux catégories de microplastiques ont intégré les tubes digestifs des poissons dont: les polyéthylènes à basse densité (PELD) avec 34 débris soit 82,9% et les polypropylènes (PP) avec 7 débris soit 17%. Au niveau de site de récolte, les poissons les plus contaminés par les débris plastiques sont ceux qui ont été échantillonnés à Kingabwa avec 53,6% et Kinkole avec 24,3%. Les tubes digestifs des poissons *Oreochromis niloticus* récoltés dans les mêmes sites ont été aussi contaminés par deux types de microplastiques: PELD et PP. Du point de vue abondance relative des déchets, les PELD avec 35 débris soit 79,5% ont été les plus nombreux que les PP avec 9 débris soit 20,4%. Au niveau des sites de pêche, les poissons échantillonnés au site de Kinkole avec 18 débris identifiés soit 40,9% ont ingéré en abondance les microplastiques que les poissons récoltés à Kinsuka avec 13 débris soit 29,5%, Kingabwa avec 11 débris soit 25% et Maluku avec 2 débris soit 4,5%. Nos résultats confirment les observations soulevées par Bocquené (2013); Farrell & Nelson (2013); Lusher (2013); Gassel *et al.*, (2013) et tant d'autres. En termes de nombre des débris identifiés dans les tubes digestifs de deux espèces de poissons sous étude, les tubes digestifs de poissons *O. niloticus* ont présentés plus des débris des microplastiques (44 au total) que les poissons *C. gariepinus* (41 au total). Cette différence serait liée à l'habitat occupé par les poissons et à la densité des microplastiques après fragmentation. Le poisson *O. niloticus* étant un poisson pélagique a la facilité d'attraper facilement en grand nombre les débris plastiques à faibles densités tandis que le poisson *C. gariepinus*, un poisson benthique, a plus de chance d'ingéré que les débris plastiques qui précipitent vers le fond du fleuve Congo. Des chercheurs ont recensé davantage de particules de moins de 5 cm que de larves de poisson en moyenne sur deux ans (Schäfer, 2015). La dimension des microplastiques est proche de celle de nombreuses espèces de plancton et les scientifiques partent de l'hypothèse que les organismes planctonivores, filtreurs et suspensives ingèrent passivement des microplastiques lorsqu'ils s'alimentent (Wright *et al.*, 2013). De plus, une fois qu'ils se sont déposés dans les sédiments, les microplastiques peuvent également être ingérés accidentellement par des organismes détritivores (Murray & Cole *et al.*, 2011; Thompson *et al.*, 2004), dont les holothuries (Graham & Thompson, 2009). On peut supposer que l'ingestion de microplastiques a les mêmes conséquences sur ces organismes que celles qu'on observe sur les vertébrés ayant absorbé des débris de plastique de plus grande dimension: abrasions et ulcères internes ou externes, obstruction du tube digestif, qui compromettent la capacité des animaux à se reproduire et entraînent une augmentation des taux de mortalité naturelle (Graham & Thompson, 2009). Les animaux deviennent plus susceptibles de se noyer, vulnérables face à leurs prédateurs et présentent des difficultés pour s'alimenter normalement (Wright *et al.*, 2013). Les sources potentielles des microplastiques, principalement secondaires, sont les déchets qui sont jetés dans la nature, perdus accidentellement ou entraînés par le vent ainsi que les décharges d'ordures et certaines activités industrielles (Markic & Nicol, 2014). Comme dans les Grands lacs, il s'agit en majorité de polystyrène, de polyéthylène et de polypropylène et en moindre mesure de polyamide et de polychlorure de vinyle (Schäfer, 2015).

La question du transfert trophique et de la contamination potentielle des produits de la mer par ces particules synthétiques est tout à fait récente. Bocquené (2013) a successivement étudié le transfert trophique des microplastiques de la moule au crabe, puis la présence de ces microparticules dans le tractus digestif de poissons destinés à l'alimentation humaine capturés en Mer et enfin la présence de contaminants chimiques dans la chair de poisson, liée à l'ingestion de débris plastiques (Bocquené, 2013). Il a été démontré dans cette étude que les microplastiques contaminent les poissons de toutes les classes de taille. Chez les poissons *Clarias gariepinus*, les individus regroupés dans la deuxième classe de taille (avec 19 individus contaminés soit 46%), ceux de la première classe (avec 11 individus contaminés soit 27%) et la troisième classe (avec 9 individus contaminés soit 22%) ont présenté des proportions élevées de contamination. Chez *Oreochromis niloticus*, ce sont les spécimens de classe II (avec 18 spécimens contaminés soit 41%), classe III (avec 10 spécimens contaminés soit 23%) et classe IV (avec 7 individus contaminés soit 16%) qui ont présenté de cas élevé de contamination par les débris plastiques. Farel *et al.*, (2013) révèlent que chez les organismes filtreurs tels que la moule bleue (*Mytilus edulis*), certaines microparticules de plastique d'une taille de l'ordre de 10 µm ont la faculté de pénétrer le système circulatoire à partir de l'intestin. Plusieurs auteurs dont Bocquené (2013); Lusher *et al.*, (2013); Gassel *et al.*, (2013) font savoir que les micro déchets plastiques ont la capacité d'être transférés, lors de l'absorption d'espèces contaminées, vers des niveaux trophiques supérieurs. Cette contamination ne concerne pas seulement le système digestif mais aussi d'autres organes ou fluides biologiques vitaux (Bocquené, 2013).

L'action des agents abiotiques est la première étape dans le processus de dégradation des plastiques. Elle est très importante puisqu'elle entraîne la perte des propriétés mécaniques des matériaux et une modification profonde de la structure (taille) y compris la couleur (Schäfer, 2015). Les microplastiques identifiés à la surface des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo ont présenté six couleurs (blanche, blanche pâle, brune, noire, bleu foncé et noire-tacheté) et des tailles comprises entre 0,14 mm et 43,72 mm. En termes d'abondance, les microplastiques de couleur noire (26,27%), blanche pâle (24,57%),

brune (19,49%) et bleu foncé (13,55%) sont les plus nombreux. Dans les sédiments, les microplastiques ont présenté cinq types de couleurs (blanche, blanche pâle, noire, bleu pâle et jaune pâle) avec des tailles comprises entre 0,18 mm et 54,8 mm. Les microplastiques de couleur noire ont été plus abondants (43,56%) suivis de ceux de la couleur blanche pâle (32,67%) et blanche (10,89%). Diverses couleurs (noirâtre, blanche, brune, noire, blanchâtre et noire tacheté), tailles et formes de microplastiques ont été mises en évidence dans les tubes digestifs de poissons récoltés à travers les sites de récolte. Ces observations sur les différentes tailles et couleurs des débris observés montrent à suffisance que les déchets plastiques subissent un processus de dégradation dans le fleuve Congo et sont susceptibles de se fragmenter en microplastiques.

Donc, le repas touristique des Maboke préparé souvent avec les poissons d'eau douce étudiés dans cette étude implique d'autres réflexions pour ne pas décourager les touristes et réduire le flux touristique au sein des sites touristiques récréatifs situés le long du pool Malebo à Kinshasa.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude avait pour objectif d'inventorier les différents types des microplastiques dans les trois compartiments (eaux, sédiments et poissons) du fleuve Congo dans la partie du Pool Malebo entre les stations de pêche de Maluku et Kinsuka à Kinshasa. La recherche des microplastiques a été faite dans l'eau (piégeage avec le filet de Manta), le sédiment et les tubes digestifs de deux espèces de poissons (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822 et *Oreochromis niloticus* Linné, 1758). L'identification et la classification des débris plastiques recensés dans les trois compartiments du fleuve Congo ont été faites sur base de la densité des microplastiques.

Les résultats obtenus ont montré que:

- Les paramètres physiques et chimiques des eaux du fleuve Congo dans le Pool Malebo relevés dans le cadre de cette étude contribuent de manière générale à la désintégration des déchets plastiques (macroplastiques) en microplastiques;
- Six (6) types de macroplastiques ont été observés et identifiés à la surface de l'eau comme le long des berges et, tous ceux-ci ont été présents à travers tous les sites d'échantillonnage. Du point de vue abondance numérique, les déchets ont été observés à des fréquences variables d'un site à l'autre avec une prédominance de PET, PELD et PEHD;
- Les rivières N'djili, Kalamu, Gombe, Makelele et autres cours d'eaux qui traversent la ville de Kinshasa pour se jeter dans le fleuve Congo sont les grands transporteurs des déchets plastiques dans le Pool Malebo;
- A la surface de l'eau, 118 débris de microplastiques ont été récoltés et identifiés. La majorité des débris ont été recensés aux sites de Kingabwa, port OCC, Baramoto et Kinkole. Les microplastiques du type PELD ont été les plus recensés dans les sédiments de tous les sites suivis de PS, PEHD, PET et PP. Les sédiments du site de Kingabwa ont présenté un nombre élevé des microplastiques tandis que les sédiments du site de Kinsuka ont présenté un nombre faible des microplastiques;
- Dans les tubes digestifs de poissons *Clarias gariepinus*, 41 débris de microplastiques regroupés en deux catégories (polyéthylènes à basse densité et les polypropylènes) ont été identifiés pour tous les spécimens de poissons. Les PELD avec 34 débris soit 82,9% ont été plus observés que les PP avec 7 débris soit 17%. Au niveau des sites de récolte, les poissons les plus contaminés par les débris plastiques sont ceux qui ont été échantillonnés à Kingabwa avec 53,6% et Kinkole avec 24,3%;
- Les tubes digestifs des poissons *Oreochromis niloticus* récoltés dans les mêmes sites ont été aussi contaminés par deux types de microplastiques (PELD et PP). Du point de vue abondance relative des déchets, les PELD avec 35 débris soit 79,5% ont été les plus nombreux que les PP avec 9 débris soit 20,4%. Au niveau de site de pêche, les poissons échantillonnés au site de Kinkole avec 18 débris identifiés soit 40,9% ont ingéré en abondance les microplastiques que les poissons récoltés à Kinsuka, Kingabwa et autres sites;
- Les microplastiques contaminent les poissons de toutes les classes de taille.

Cette étude suggère ce qui suit:

- Mettre en place un système efficace de gestion écologique des déchets;
- Ecologiser les Kinosis et les industriels par des sensibilisations hors et publiés médias;
- Financer les projets de gestion des déchets à travers la ville;
- Appliquer les lois sur la gestion de l'environnement, la gestion des déchets et l'assainissement en général.

REFERENCES

- [1] Andrady A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1596-1605.
- [2] Andrady A.L., 2017. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 122 (1-2): 9-22.
- [3] Barhalengehwa B., Akonkwa B., Lina A., Lushombo M. et Mulongaibalu M., 2019. Régime alimentaire des *Clarias gariepinus* (Burchell, 1882) (Clariidae; Teleostei) dans le réservoir de Nyangara, bassin du lac Tanganyika à Uvira (Sud-Kivu). *Anale des sciences et des sciences appliquées*, 4 (4): 237-255.
- [4] Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C. and Barlaz M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*. 364: 1985-1998.
- [5] Barrows A.P.W., Cathey S.E., Petersen C.E. & Petersen J.K., 2018. Microplastics in marine organisms: environmental and biotoxic effects. *Microplastic Contamination in Aquatic Environments*, Elsevier., 123-145.
- [6] Bertolini G., 1996, Recherche sur les déchets en économie et en sociologie: un état de l'art, in Déchet-Sciences et Technique, n°s 2 et 3.
- [7] Bocquéné G., 2013. Intégration des micro-déchets plastiques dans la chaîne trophique marine et dans les produits de la mer: une voie d'exposition du consommateur aux polluants chimiques. *Anses, Bulletin d'éveille scientifique*, N° 22, Santé/Environnement/Travail, Ifremer – RBE/BE/ARC – Nantes – France, 5 p.
- [8] Boote W. & Pretting G., 2010. Plastic Planet: La face cachée des matières synthétiques. Fribourg: Acte Sud, 249 p.
- [9] Browne M.A., Dissanayake A., Galloway T.S. & Lowe D.M., 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*, 42 (13), 5026-5031.
- [10] Browne M.A., Niven S.J. & Galloway T.S., 2013. Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. *Current Biology*. 23: 2388-2392.
- [11] Claessens M., De Meetsers S., Van Landuyt L., Thopson R.C. & Thiel M., 2011. Occurrence and distribution of micro-plastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bull*, 62: 2199-2204.
- [12] Claessens M., Van Cauwenberghes L., Vandegheuchte M.B. and Janssen C.R., 2013. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin*. 70, 227-233.
- [13] Cole M., Lindeque P., Halsband C. & Galloway T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
- [14] Cole M., Lindeque P., Halsband C. and Galloway T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 62, 2588-2597.
- [15] Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borroro J.C., Galgani F., Ryan P.G., Reisser J., 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *Plos One*. 9, 15.
- [16] Farrell P. & Nelson K., 2013. Trophic level transfert of microplastic: *Mytilus edulis* to *Carcinus maenas*. *Environ Pollut*, 177: 1-3.
- [17] Farrell P. et Nelson K., 2013. Transfert trophique des microplastiques de la moule (*Mytilus edulis* (L.)) au crabe (*Carcinus maenas* (L.)). *Environ Pollut*, 177: 1-3.
- [18] Faure F. & De Alencastro F., 2014. Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. *Rapport mandaté par l'Office fédéral de l'environnement*.
- [19] Faure F., Corbaz M., Baecher H. & De Alencastro L.F., 2012. Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Archives des Science* 65, 157-16.
- [20] Froidevaux S., 2018. Microplastiques dans les poissons du Léman. 10 p.
- [21] Gassel M., Harwani S., Park J.S. & Jahn A., 2013. Detection of nonylphenol and persistent organic pollutants in fish from the North Pacific Central Gyre. *Mar Poll Bull*, 73: 231-42.
- [22] GESAMP (Groupe d'experts des Nations Unies sur les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin), 2016. Microplastics in the oceans. First assessment report. FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Récupéré de <http://www.gesamp.org/site/assets/files/1720/rs61e.pdf>.
- [23] GESAMP (Groupe d'experts des Nations Unies sur les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin), 2015, Microplastics in the marine environment. Conséquences and solutions, 96 p.
- [24] Graham E.R. & Thompson J.T., 2009. Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 368: 22-29.
- [25] Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C. & Thiel M., 2012. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*. 46, 3060-3075.
- [26] Horton A.A., Lahive E., Svendsen C., Williams R.J., Read D.S. & Spurgeon D.J., 2015. Presence and abundance of micropalstics in the Thames River Basin UK. *Poster presented at SETAC Europe 2015 in Barcelona*.

- [27] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2014. Surveillance environnementale: La contamination des poissons d'eau douce aux microplastiques. *Rapport scientifique 2013-2014 de l'INERIS, France*, 11 p.
- [28] Kassay N.I.J., 2015. La gestion des déchets plastiques à Kinshasa: un autre défi environnemental à relever dans la conception des villes durables. *Environnement, changement climatique et sécurité alimentaire*, 5: 131-154.
- [29] Laist D.W., 1997. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion record. *Marine Debris. Springer*, 99-139.
- [30] Lambert S., Sinclair C. & Boxall A., 2014. Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment. *Rev Environ Contam Toxicol*. 227: 1-53.
- [31] Lambert T., Bouillon S., Darchambeau F., Massicotte P. & Borges A.V., 2016. Shift in the chemical composition of dissolved organic matter in the Congo River network. *Biogeosciences*, 13, 5405-5420.
- [32] Law K.L., Moret-Ferguson S., Maximenko N.A., Proskurowski G., Peacock E.E., Hafner J. and Reddy C.M., 2010. Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science*. 329, 1185-1188.
- [33] Lazard J., 2009. La pisciculture des tilapias. *Cahiers Agricultures*, 18 (2-3): 393-401.
- [34] Leslie H.A., Van Velzen M.J.M. & Vethaak A.D., 2013. Microplastic survey of the Dutch environment. *Novel data set of microplastics in North Sea sediments*.
- [35] Lusasi S.W., Makiese M.P., Kunonga N.L., Munganga K.C., Kavumbu M.S. et Pwema K.V., 2019. Proportion de vente des poissons frais locaux et importés dans les marchés de Kinshasa en République Démocratique du Congo (cas des marchés de la Liberté de Masina et Central de Kinshasa). *Journal of Applied Biosciences* 141: 14353 – 14363.
- [36] Lusher A.L., McHugh M. & Thompson R.C., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar Poll Bull*, 67: 94-9.
- [37] Lusher A.L., McHugh M. et Thompson R.C., 2013. Présence de microplastiques dans le tractus gastro-intestinal de poissons pélagiques et demersaux capturés en Manche. *Mar Poll Bull*, 67: 94-9.
- [38] Markic A. & Nicol S., 2014. En bref: Microplastiques et pêche. *Lettre d'information sur les pêches de la CPS n° 144*, 29 p.
- [39] Massain J.C. & Jeannot D., 2011. Recyclage des sachets plastiques à Kinshasa: Un projet d'ingénieurs sans frontières (ISF) Belgique. Coopérant ISF, Kinshasa, R.D. Congo et ISF, Bruxelles, Belgique, 5 p.
- [40] Masua T.B., Lusasi S.W., Munganga K.C., Wumba M.P., Kavumbu M., Pwema K.V., 2020. Inventory of fresh fish marketed in the markets of Kinshasa in the Democratic Republic of Congo (case of the Gambela and Matete markets). *International Journal of Applied Research*. Sous press.
- [41] Moret-Ferguson S., Law K.L., Proskurowski G., Murphy E.K., Peacock E.E. and Reddy C.M., 2010. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*. 60, 1873-1878.
- [42] Munganga K.C, Kavumbu M.S., Bipendu M.N, Kunonga N.L., Lusasi S.W. et Pwema K.V., 2020. Evaluation de la Qualité Écologique de la Rivière Musolo à Kinkole Basée sur les Macroinvertébrés Benthiques (Kinshasa, R.D Congo). *European Journal of Scientific Research*. Vol. 155, N° 2, 162 -176.
- [43] Musibono D.E., 2019. Gouvernance de l'environnement mondial: Politiques toxiques et pollution généralisées. Edition Universitaires Européennes, Düsseldorf, 222 9.
- [44] Mutombo T.J., 2020. Inventaire et analyse des impacts négatifs des macroplastiques sur la faune ichtyologique et les activités de pêche dans les cours d'eaux de Kinshasa, R.D Congo: cas de la rivière N'djili. Mémoire de Licence en Sciences de l'Environnement, Université de Kinshasa, R.D Congo, inédit, 62 p.
- [45] Ntirumenyerwa B.P.M., 2019. Combattre la pollution plastique en République Démocratique du Congo: les défis des récentes réglementations en la matière. IUCN WCEL International, Regional and National Reports, 11 p.
- [46] ONU Environnement., 2018. Notre Planète est étouffée par la pollution plastique. Disponible sur <https://www.unenvironment.org/interactive/beat-plastic-pollution/fr/>, consulté le 17 Août 2021.
- [47] Ouattara N.I., Iftime A. et Mester L.E., 2009. Age et croissance de deux espèces de Cichlidae (Pisces): *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 du lac de barrage d'Ayamé (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). *Travaux du muséum national d'histoire naturelle « Grigore Antipa »*, LII: 313-324.
- [48] PUK (Programme d'Assainissement de Kinshasa), 2008. Salubrité publique en RD Congo: la note stratégique sur le recyclage des déchets plastiques à Kinshasa. Disponible sur <http://www.digitalcongo.net/article/54039>.
- [49] Pwema K.V., 2014. Ecologie alimentaire, reproduction et mode d'adaptation de cinq espèces de *Labeo* Cuvier, 1817 dans les milieux lentique et des rapides au Pool Malebo dans le fleuve. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Université de Kinshasa, R.D Congo, 163 p.
- [50] Pwema K.V., Nakweti K.J., Lusasi S.W., Kavumbu M.S., Munganga K.C., Mondo M.T., Tembeni M.J. & Mbomba B.N., 2020. Human endoparasites present in the digestive tracts of two Species of *Cichlidae* Fish: *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and *Tilapia tholloni* (Sauvage, 1884) caught in the Malebo Pool (Congo River), D.R. Congo. *Agricultural Science*, 2 (2): 129-140. <https://doi.org/10.30560/as.v2n2p129>.

- [51] Rochman C.M., Browne M.A., Halpern B.S., Hentschel B.T., Hoh E., Karapanagioti H.K. & Thompson R.C., 2016. The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. *Ecology*, 97 (2), 302-312.
- [52] Rochman C.M., 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5: 14340.
- [53] Roclin L., 2015. Les microplastiques en milieu marin: supports de contaminants chimiques, Étude bibliographique. Mémoire de Master en Ecologie-Environnement Spécialité Toxicologie de l'environnement, Université du Maine – Le Mans, IFREMER, France, 62 p.
- [54] Ryan P.G., Moore C.J., Van Franeker J.A. et Moloney C.L., 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*. 364, 1999-2012.
- [55] Saville D.J., 1990. Multiple comparison procedures: the practical solution. *American Statistician*, 44 (2): 174-180.
- [56] Schäfer A., 2015. Les microplastiques dans l'environnement. Fiche d'information, Centre Ecotox, EPFL-ENAC-IIE-GE, Station 2, CH-1015, Lausanne, 5 p. Disponible sur www.centreecotox.ch.
- [57] Scherrer B. 1984. Biostatistique. *Gaëtan Morin: Québec*, 850.
- [58] Tanaka K., Takada H., Yamashita R., Mizukawa K., Fukuwaka M., Watanuki Y., 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine Pollution Bulletin*. 69, 219-222.
- [59] Tembeni M.T.J., 2017. Structure des communautés des poissons *Mochokidae (Ostariophysi, Siluriformes)* dans le Pool Malebo (Fleuve Congo/R.D. Congo) en relation avec la distribution spatio-temporelle, la niche trophique et la stratégie démographiques. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Université de Kinshasa, R.D. Congo, 303 p.
- [60] Thompson R.C., Moore C., Andrady A., Gregory M., Takada H., Weisberg S., 2005. New directions in plastic debris. *Science*. 310, 1117-1117.
- [61] Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J. and John A.W.G., McGonigle D., Russell A.E., 2004. Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*. 304, 838-838.