

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique  
Université Chadli Bendjedid  
El Tarf



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشاذلي بن جديد  
الطارف

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie

جامعة (شاذلي بن جديد)  
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم البيولوجيا

## Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master 2 Recherche  
« Toxicologie Fondamentale et Appliquée »



THÈME

**Etude de l'ingestion indirecte des microplastiques sur  
histopathologie hépatique et rénale chez le rat wistar**

Soutenu le : 26/06/2024

Présenté Par : Guerba Sandra

Devant le jury composé de :

Dr. Boukachabia	MCA	Présidente	UCBET
Dr. Toumi	MCA	Examineur	UCBET
Dr. Baba Ahmed Fédia	Prof	Promotrice	UCBET

Année universitaire 2023-2024

## **Remerciement**

*Après la prière et la reconnaissance à **Allah**, qui m'a guidé vers la lumière de la connaissance et du savoir, et de m'avoir permis d'accomplir ce travail, el hamdliAllah*

*Je tiens à remercier spécialement et chaleureusement mon enseignante et encadrante, **Madame Baba Ahmed Fédia**, d'avoir accepté d'encadrer mon travail et d'être disponible malgré ses responsabilités. Je la remercie pour ses orientations, ses contributions, sa compréhension pendant la réalisation de ce mémoire de fin d'études.*

*Je souhaite également remercier **Mr Ouali Kheiredine** professeur à l'université d'Annaba, pour vos soutiens indéfectibles tout au long de mon travail et qui m'a honoré par sa présence, et pour sa précieuse aide, ces encouragements, ces conseils. Qu'il trouve ici l'expression de ma considération distingué*

*Je suis profondément reconnaissant envers les membres honorables du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à tous les enseignants du département de biologie qui m'a inculqué la magnificence de cette spécialité et qui ont contribué à ma formation dans ce domaine tout au long de mon cycle d'études.*

*Je n'oublie pas tout le personnel de ce département pour leur aide et leur accueil durant ces 5 années.*

*Un grand merci aussi à toute l'équipe du laboratoire d'anapath et **Dr Amara** au niveau de Hôpital el Hadi Ben Jedid El Taref pour leur aide ainsi que leur bienveillance à mon égard.*

*Mes remerciements vont également à **Ma chère famille** elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui, et pour leur compréhension, leur soutien, leur encouragement et leur présence tout au long de ces années d'études.*

*Un grand merci pour tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail de fin d'étude.*

*Mercie à tous ...*

## Dédicace

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, mon aidée et soutenue et encourager, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*A l'amour de ma vie, à mon paradis, à la lune de mes yeux, à la source de ma joie et ma moitié.*

*La femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux, Ma chère Maman **Laadjal Yamina**.*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, à mon héros éternel à mon très cher papa « **Boudjema** » mille merci ne suffira jamais toutes les sacrifices que vous avez les sacrifiez pour que je reste toujours heureuse et brillante moi mes sœurs et ma maman, votre soutien, votre amour et votre confiance en moi resteront toujours ma force d'engagement et de combattre dans cette dure vie, que dieu vous protège et vous garde pour nous. .*  
*A mes sœurs « **Rahma, Mellissa, Loudjeine, Lia** » et a **Farah** Ma meilleure amie celle qui a était toujours là à mes côtés.*

*A toi Mon supporteur miracle ton soutien inconditionnel est une bénédiction dans ma vie, tu comptes énormément pour moi et je suis reconnaissante de t'avoir*

*A mon grand père et ma Grand-mère, les mots me manquent pour dire tous le bien que je connais de vous «, j'ai souhaité qu'ils soient là pour Assister à ce jour avec moi. Que dieu ait son âme et l'accueil en son vaste paradis », vous représentez la principale raison qui justifie mon combat pour la réussite.*

*À mon cher oncle **Hacen** Un lien de parenté qui transcende le sang, Une connexion forgée à travers des souvenirs et l'amour partagés, Vous, mon cher oncle, êtes un pilier de force, Un phare de guidance dans la longueur de ma vie.*

*Votre présence a été un flux constant, Une source de joie, une oreille attentive. Votre sagesse, M'a guidé à travers les épreuves de la vie. À chaque étape, à chaque phase, Votre amour a été une flamme radieuse.*

*Alors, avec un cœur rempli de gratitude, Je dédie ces mots, avec amour et grâce, À vous, ma famille ... ma force.*

*A mes amis sans aucune exception merci pour vous tous.*

*A toute la promotion de master 2024 Toxicologie Fondamentale et appliquée*

*A tous mes enseignants qui m'ont éclairé sur le chemin du savoir.  
Et en fin aux toutes personnes qui ont m'aidé de loin ou de près, directement ou indirectement, Merci d'être toujours là pour moi.*

## **SOMMAIRE**

**Remerciement**

**Dédicace**

**Résumé**

<b>Introduction</b> .....	<b>12</b>
<b>I- Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Généralité</b> .....	
<b>1-1 Propriétés et Composition des Plastiques</b> :.....	<b>4</b>
<b>1.2 Composition des Plastiques</b> :.....	<b>4</b>
<b>1.3 Catégories de Plastiques</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Les Microplastiques</b> .....	<b>6</b>
<b>2-1 Origine et Formation</b> :.....	<b>6</b>
<b>2-3 Types de Dégradation</b> :.....	<b>7</b>
<b>2-4 Classification des Microplastiques</b> .....	<b>7</b>
<b>Matériel et méthodes</b> .....	
<b>II – 1 Matériel biologique</b> :.....	<b>11</b>
<b>II –1-1 Animaux de l’expérimentation</b> :.....	<b>11</b>
<b>II –1-2 Choix du Modèle Animal</b> :.....	<b>11</b>
<b>II –1.3 Conditions d’élevage</b> :.....	<b>11</b>
<b>II –1.3.1 Age et poids des rats</b> :.....	<b>11</b>
<b>II –1.3.2 Logement des rats</b> :.....	<b>12</b>
<b>II –1.3.3 Environnement des cages</b> .....	<b>12</b>
<b>II –1.3.4 Alimentation et eau</b> :.....	<b>12</b>
<b>II –1.3.5. Identification des rats</b> :.....	<b>12</b>
<b>II – 2 Matériel de laboratoire</b> :.....	<b>13</b>
<b>II -2.1 Biberons pour la Préparation d'Eau Contaminée</b> :.....	<b>13</b>
<b>II -2.2 Caractéristiques des Biberons</b> :.....	<b>13</b>
<b>II -3 Protocole expérimentale</b> :.....	<b>14</b>
<b>II -3 .1 Répartition des lots</b> :.....	<b>14</b>
<b>II -3 .2 Préparation de l’eau contaminée</b> :.....	<b>15</b>
<b>II -3.2.1 Stérilisation des Biberons</b> :.....	<b>15</b>
<b>II -3.2.2 Traitement de rats</b> :.....	<b>16</b>
<b>II -3.2.3 Prélèvement des organes</b> :.....	<b>16</b>
<b>II -4 Méthodes d’analyse</b> :.....	<b>16</b>

<b>II -4.1 Analyse histopathologique :</b> .....	<b>16</b>
<b>II -4-1.1 La biopsie :</b> .....	<b>17</b>
<b>II -4-1.2 la déshydratation (Automate) :</b> .....	<b>18</b>
<b>II -4-1.3 Station d'enrobage :</b> .....	<b>19</b>
<b>II -4-1.4 Microtome :</b> .....	<b>21</b>
<b>II- 4-1.5 Préparation des lames :</b> .....	<b>22</b>
<b>II-4-1.6 L'étuve :</b> .....	<b>23</b>
<b>II-4-1.7 La coloration :</b> .....	<b>24</b>
<b>II-4-1.8 Le Montage :</b> .....	<b>25</b>
<b>II-4-1.9 L'étude microscopique :</b> .....	<b>26</b>
<b>Résultats</b> .....	
<b>III-Résultats</b> .....	<b>29</b>
<b>III -1 Étude pondérale</b> .....	<b>29</b>
<b>III 1-1 Evolution du poids corporel</b> .....	<b>29</b>
<b>III -1-2 Variation des poids des organes :</b> .....	<b>29</b>
<b>III-2 Analyses histopathologique :</b> .....	<b>31</b>
<b>III -2-1 Effets des microplastiques sur l'histopathologie hépatique :</b> .....	<b>31</b>
<b>Discussion</b> .....	
<b>Conclusion</b> .....	
<b>Références bibliographiques</b> .....	

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 01</b>	La pollution plastique en estuaire de Seine : imprégnation environnementale, dynamique et impact sur le vivant.	6
<b>Figure 02</b>	Rats Wistar	10
<b>Figure 03</b>	Conditions d'élevage des rats pendant l'expérimentation au niveau du laboratoire de bio-surveillance environnementale à l'UBMA	11
<b>Figure04</b>	Schema représentatif du protocole exprimentale	14
<b>Figure 05</b>	Les échantillons des organes des rats conservés dans un formol (foie, rein)	16
<b>Figure 06</b>	La macro des organes avant être traiter	16
<b>Figure 07</b>	Un automate de circulation	18
<b>Figure 08</b>	Station d'enrobage	19
<b>Figure 09</b>	Imprégnant des organes dans les moules	19
<b>Figure 10</b>	Refroidissement des blocs dans une plaque à refroidir	19
<b>Figure 11</b>	Un bloc	19
<b>Figure 12</b>	un microtome et l'étape de l'étalement	20
<b>Figure 13</b>	un bain marie (segments de ruban de paraffine)	21
<b>Figure 14</b>	déparaffinage des lames dans l'étuve	22
<b>Figure 15</b>	les étapes de coloration	24
<b>Figure 16</b>	Première etape de coloration	24
<b>Figure 17</b>	une lame histologique du rein	24
<b>Figure 18</b>	Le montage des lames avec ces nécessaires (eukit +portoir des lames sur xylène +lamelle)	24
<b>Figure 19</b>	microscope optique	25
<b>Figure 20</b>	Effet de l'administration de l'eau contaminé au MPsur l'évolution du poids corporel journalier des rats	27
<b>Figure 21</b>	Variation du poids absolu et relatif des organes des rats traités avec l'eau des biberons	28
<b>Figure 22</b>	Coupes hépatiques colorées à l'hématoxyline chez les rats Wistar	30
<b>Figure 23</b>	Photomicrographe de l'histopathologie du tissu rénal chez les rats	31

### Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 01</b>	Certaines applications des polymères	3
<b>Tableau 02</b>	Caractéristiques des Biberons	13
<b>Tableau 03</b>	Répartition des lots des rats pour le traitement	13
<b>Tableau 04</b>	Les étapes de coloration	23
<b>Tableau 05</b>	Variation du poids absolu et relatif des organes vitaux	28

## Résumé



La pollution par les microplastiques, fragments de plastique d'une taille inférieure à 5 mm, est une préoccupation croissante en raison de ses impacts potentiels sur la santé humaine et animale.

Les microplastiques peuvent pénétrer dans l'organisme par diverses voies, notamment l'ingestion, l'inhalation et le contact cutané. Une fois dans l'organisme, les microplastiques peuvent se transloquer vers divers organes et tissus, où ils peuvent induire une gamme d'effets nocifs.

Les microplastiques peuvent libérer des substances chimiques toxiques dans l'organisme, qui peuvent perturber les systèmes hormonaux, endommager l'ADN et induire un stress oxydatif. Et aussi déclencher une réponse inflammatoire chronique dans l'organisme, ce qui peut contribuer au développement de maladies chroniques telles que les maladies cardiaques, le cancer et les maladies auto-immunes. Ils peuvent s'accumuler dans les organes et causer des dommages physiques directs, tels que des lésions tissulaires et une dysfonction des organes, perturber le système reproducteur et le développement fœtal, ce qui peut entraîner des problèmes de fertilité, des malformations congénitales et des retards de développement.

Cette étude s'est concentrée sur les effets de l'ingestion indirecte de microplastiques sur la fonction hépatique et rénale. Les rats ont été exposés à de l'eau contaminée par des microplastiques provenant de la dégradation thermique de biberons en plastique.

Les résultats de ces études soulignent l'importance de comprendre les impacts potentiels des microplastiques sur la santé, en particulier chez les jeunes enfants exposés à ces particules via des produits courants comme les biberons.

**Les mots clés :** micro-plastiques, fragments , biberons, polypropylène, nourrissons, fonction hépatique et rénale, dégradation thermique, **histopathologie**

## Abstract



The pollution by microplastics, plastic fragments smaller than 5 mm, is a growing concern due to its potential impacts on human and animal health. Microplastics can enter the body through various pathways, including ingestion, inhalation, and skin contact. Once inside the body, microplastics can translocate to various organs and tissues, where they may induce a range of harmful effects.

Microplastics can release toxic chemicals into the body, which can disrupt hormone systems, damage DNA, and induce oxidative stress. They can also trigger chronic inflammatory responses in the body, contributing to the development of chronic diseases such as heart disease, cancer, and autoimmune diseases. Additionally, microplastics can accumulate in organs and cause direct physical damage, such as tissue lesions and organ dysfunction, disrupting the reproductive system and fetal development, which can lead to fertility issues, congenital malformations, and developmental delays.

In this study, we investigated the effects of indirect ingestion of microplastics on renal and hepatic histopathology in Wistar rats over a period of 4 weeks. The rats were exposed to water contaminated with microplastics released from baby bottles due to thermal degradation.

Histological analyses of various organs (liver, kidney) suggested that exposure to microplastics did not trigger any tissue-level changes in the treated organs. Results related to measurements of body weight and absolute or relative organ weights showed no significant differences.

These study findings underscore the importance of understanding the potential impacts of microplastics on health, particularly in young children exposed to these particles through common products such as baby bottles.

**Keywords:** microplastics, baby bottles, polypropylene, infants, hepatic and renal function, thermal degradation

## ملخص



التلوث بالميكروبلستيك، أي شظايا البلاستيك التي يقل حجمها عن 5 ملم، يشكل مصدر قلق متزايد بسبب تأثيراته المحتملة على صحة الإنسان والحيوان. يمكن للميكروبلستيك أن يدخل الجسم عبر مسارات مختلفة، بما في ذلك الابتلاع والاستنشاق والاتصال بالجلد. بمجرد دخول الميكروبلستيك إلى الجسم، يمكن أن ينتقل إلى أعضاء وأنسجة مختلفة، حيث يمكن أن يسبب مجموعة من التأثيرات الضارة.

يمكن أن يطلق الميكروبلستيك مواد كيميائية سامة في الجسم، مما يمكن أن يعطل أنظمة الهرمونات، ويتلف الحمض النووي، ويسبب توتراً أكسدياً. كما يمكن أن يشغل استجابات التهابية مزمنة في الجسم، مما يسهم في تطور الأمراض المزمنة مثل أمراض القلب والسرطان والأمراض المناعية الذاتية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يتراكم الميكروبلستيك في الأعضاء ويسبب أضراراً مباشرة كالتآكل في الأنسجة واضطراب وظائف الأعضاء، مما يعطل الجهاز التناسلي وتطور الجنين، مما قد يؤدي إلى مشاكل الخصوبة وتشوهات خلقية وتأخيرات تطورية.

في هذه الدراسة، قمنا بدراسة تأثير الابتلاع غير المباشر للميكروبلستيك على النسيج الكلوي والكبد في فئران ويستار على مدى فترة تصل إلى 4 أسابيع. تعرضت الفئران لمياه ملوثة بالميكروبلستيك المفرج عنه من زجاجات الأطفال نتيجة لتحلل الحراري.

أظهرت التحاليل النسجية للأعضاء المختلفة (الكبد، الكلى) أن التعرض للميكروبلستيك لم يؤدي إلى أية تغييرات على مستوى الأنسجة في الأعضاء المعالجة. أظهرت النتائج المتعلقة بقياسات وزن الجسم وأوزان الأعضاء المطلقة أو النسبية عدم وجود فروقات معنوية.

تؤكد نتائج هذه الدراسة أهمية فهم التأثيرات المحتملة للميكروبلستيك على الصحة، خاصة بين الأطفال الصغار المعرضين لهذه الجسيمات من خلال منتجات شائعة مثل زجاجات الأطفال.

**الكلمات الرئيسية:** الميكروبلستيك، زجاجات الأطفال، بولي بروبيلين، الرضع، وظيفة الكبد والكلى، التحلل الحراري

## Liste des abréviations

**MP** : Microplastiques

**NM** : Nanomatériaux

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**ONU** : Organisation des Nations Unies

**PC** : Polycarbonate

**PE** : Polyéthylène

**PET** : Polytéréphtalates d'éthylène

**PP** : Polypropylène

**PS** : Polystyrène

**PVC** : Polychlorure de vinyle.

**PMMA** : Poly (méthacrylate de méthyle)

**PLA** : Polylactide (poly (acide lactique))

**PTFE** : Poly (tétrafluoroéthylène)

**PU** : Polyuréthane

**ROS** : Espèces Réactives de l'Oxygène

**SOD** : Superoxyde Dismutase

**UV** : Ultraviolet

**GPx** : (GSH-PX) : Glutathion peroxydase

**GSH** : Glutathion

**GST** : Glutathion S-Transférase

# **Introduction**

# Introduction

---

## I- Introduction

Les premiers matériaux plastiques ont vu le jour au début du XXe siècle. En 1907, Leo Baekeland a inventé la **BAKÉLITE**, le premier plastique entièrement synthétique. Ce matériau a marqué le début d'une nouvelle ère dans le domaine des matériaux, offrant des propriétés isolantes et résistantes essentielles pour l'industrie électrique naissante (**Baekeland, 1909**). Cette découverte a été une révolution, ouvrant la voie à l'essor de l'industrie des plastiques.

La révolution des matières plastiques a véritablement pris son essor à la fin du XXe siècle, s'étendant jusqu'en 1938, année où le commerce de ces matériaux a réellement débuté. Depuis lors, le plastique a pris une place centrale dans notre monde moderne (**CPIE du Périgord Limousin, 2020**). Les avantages uniques des plastiques, comme leur légèreté, leur durabilité et leur capacité à être moulés en diverses formes, ont conduit à leur adoption rapide dans de nombreux secteurs industriels.

La production mondiale de matières plastiques a connu une croissance exponentielle depuis 1950. En 1950, la production mondiale était de 1,7 million de tonnes par an. En 2020, ce chiffre avait explosé à plus de 360 millions de tonnes (**Mclachlan, 2019**). Cette tendance à la hausse ne montre aucun signe de ralentissement, car la demande pour les produits plastiques continue d'augmenter à un rythme soutenu. Les prévisions suggèrent même qu'elle pourrait atteindre 1 milliard de tonnes d'ici 2050 (**Hugo, 2019**). Cette croissance rapide est largement due aux propriétés exceptionnelles des plastiques, telles que leur rigidité, leur souplesse, leur élasticité et leur résistance mécanique et chimique (**Académie des sciences, 2021**).

L'Algérie, à l'instar de nombreuses autres régions, a également été témoin d'une croissance rapide de la consommation de plastique au cours de la dernière décennie. La consommation de plastique par habitant a augmenté de 9 % durant cette période. En 2007, environ 10 kg de plastique étaient utilisés par habitant, un chiffre qui est passé à 25,8 kg en 2020 (**Agence Nationale des Déchets (AND), 2019/2020**). La majeure partie de cette consommation (60 %) est destinée aux emballages, 20 % sont utilisés dans le secteur du bâtiment et de la construction, et le reste dans diverses autres industries.

Les propriétés uniques des plastiques, telles que leur rigidité, leur souplesse, leur élasticité et leur résistance mécanique et chimique, expliquent en grande partie cette croissance exponentielle (**Académie des sciences, 2021**). Ces matériaux sont devenus

## Introduction

---

Extrêmement polyvalents, permettant la fabrication d'une gamme diversifiée d'objets et d'emballages (Talle, 2019), les plastiques sont utilisés dans une multitude de secteurs, allant de l'emballage alimentaire et des produits de consommation courante, à l'industrie automobile, à la construction, et même dans les technologies médicales avancées. Cependant, les microplastiques, qui représentent une menace croissante pour l'environnement et la santé humaine, nécessitent des recherches continues et des efforts pour réduire leur présence et leurs impacts. Ils ont récemment été découverts dans des endroits vraisemblablement vierges, notamment la glace de mer de l'Arctique (Peeken et al., 2018), l'Antarctique (Waller et al., 2017), des chaînes de montagnes isolées (Allen et al., 2019) et des tranchées océaniques profondes. (Jamieson et coll., 2019).

L'étude des effets des microplastiques sur l'histopathologie rénale et hépatique est essentielle pour comprendre les risques potentiels associés à cette forme de pollution omniprésente. En approfondissant notre connaissance des mécanismes de toxicité et des conséquences histopathologiques, nous pourrions mieux évaluer l'impact des microplastiques sur la santé humaine et animale et développer des stratégies pour atténuer ces effets.

Comme c'est souvent le cas pour les problèmes environnementaux émergents, la plupart des premiers travaux se sont concentrés sur la description de l'étendue de la contamination par les microplastiques, même si les méthodes d'échantillonnage et d'analyse ne sont pas encore à la hauteur du défi.

La recherche s'étend désormais également aux processus de formation, de transport, de devenir, d'exposition des organismes et d'effets sur les écosystèmes des microplastiques.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la consommation d'eau contaminée par des microplastiques, libérés par des biberons sous l'effet de la chaleur (dégradation thermique), sur la fonction hépatique le foie, l'organe principale de détoxification et des particules du sang circulant, mais aussi un des organes les plus exposés à des substances toxiques, pouvant conduire à une accumulation élevée de MP ; Les reins, l'un des organes principaux dans détoxification, filtration et élimination des particules du sang circulant. chez les rats Wistar sur une période de 4 semaines.

Le but de ce protocole expérimentale est de mimer le comportement des parents lors de la stérilisation des biberons et de la préparation du lait de commerce pour les nourrissons et les jeunes enfants et d'essayer d'élucider d'une part ; le mécanisme de toxicité de ces particules sur la santé des jeunes enfants et d'autre part, l'effet d'évaluer le rôle de la qualité du biberon sur le degré de la dégradation des plastiques et la libération des microplastiques.

# **Généralité**

# Généralité

---

## 1-1 Propriétés et Composition des Plastiques :

Le plastique est un matériau indispensable dans la société moderne en raison de ses nombreuses applications et avantages.

Cependant, la gestion de ses impacts environnementaux demeure un défi crucial. Les efforts de recherche et d'innovation se concentrent de plus en plus sur le développement de plastiques plus durables et de méthodes de recyclage efficaces pour répondre à ces préoccupations.

Le plastique est un matériau polyvalent et omniprésent dans notre société moderne, offrant une gamme variée d'applications et de bénéfices, tout en posant également des défis en termes de gestion des déchets et de pollution environnementale.

Les plastiques se distinguent par leurs propriétés variées, qui sont largement déterminées par la nature des monomères et des additifs utilisés dans leur fabrication.

Les propriétés physiques, telles que la flexibilité, la résistance à la chaleur et la transparence, peuvent être ajustées selon les besoins spécifiques de l'application (Harper,2000).

## 1.2 Composition des Plastiques :

### ➤ Polymères de Base

**Polymères :** Les plastiques sont principalement constitués de polymères, qui sont de longues chaînes de molécules répétitives appelées monomères. Les polymères peuvent être d'origine naturelle (comme la cellulose) ou synthétique.

**Monomères courants :** Éthylène, propylène, styrène, chlorure de vinyle, etc.

### ➤ Additifs

**Stabilisants :** Protègent les plastiques contre la dégradation due à la lumière UV, à la chaleur et à l'oxydation.

**Plastifiants :** Augmentent la flexibilité et la malléabilité des plastiques.

**Pigments et colorants :** Donnent des couleurs spécifiques aux plastiques.

**Agents de renforcement :** Comme les fibres de verre ou de carbone, pour augmenter la résistance et la rigidité.

## 1.3 Catégories de Plastiques

Les plastiques peuvent être classés en deux grandes catégories : les thermoplastiques et les thermodurcissables.

## Généralité

Chaque catégorie a des sous-types basés sur les propriétés chimiques et physiques des matériaux.

- ✓ **Thermoplastiques** : Représentant environ 80% des plastiques produits, ces matériaux peuvent être fondus et reformés plusieurs fois sans dégradation majeure de leurs propriétés.
- ✓ **Thermodurcissables** : Ces plastiques, une fois durcis, ne peuvent pas être reformés. Ils sont souvent utilisés dans des applications nécessitant une résistance à la chaleur et une durabilité élevées.
- ✓ **Élastomères**: Similaires au caoutchouc, ces matériaux offrent une grande élasticité. Les élastomères sont utilisés dans des produits nécessitant une flexibilité et une résistance à l'abrasion, comme les pneus et les joints (**Holden et al., 2004**).

**Tableau 01** : Certaines applications des polymères (**Agence Nationale des Déchets, 2019/2020**).

Acronyme	Nom	Principale application
PP	Polypropylène	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emballage rigide, semi-rigide et souple Automobile</li> <li>• Articles ménagers</li> <li>• Isolation électrique</li> <li>• Les conteneurs alimentaires,</li> <li>• les fibres textiles.</li> </ul>
PE	Polyéthylène haute densité (HDPE) basse densité (LDPE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emballage rigide, semi-rigide et souple Pellicule pour l'agriculture</li> <li>• Articles ménagers Isolation électrique Construction(conduites)</li> <li>• Produits personnels</li> </ul>
PS	Polystyrène	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emballage (contenants thermoformés)</li> <li>• Mousses</li> <li>• Les emballages alimentaires, les produits jetables comme les gobelets et les couverts en plastique</li> </ul>
PMMA	Poly (méthacrylate de méthyle)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications transparentes pour les industries de l'automobile et de la construction</li> <li>• Dispositifs médicaux</li> <li>• Électronique</li> </ul>
PC	Polycarbonate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications transparentes pour l'automobile et la construction Dispositifs médicaux</li> <li>• Électronique</li> </ul>

## Généralité

		<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisé dans les lunettes, les disques compacts, les vitrages de sécurité</li> </ul>
PLA	Poly lactide (poly (acide lactique))	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emballage rigide, semi-rigide et souple</li> </ul>
PET	Poly (téréphtalate d'éthylène)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emballage rigide, semi-rigide et souple</li> <li>Fibres textiles synthétiques</li> </ul>
PVC	Poly (chlorure de vinyle)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction (conduites, profilés, revêtements de sol)</li> <li>Feuilles et tissus enduits</li> <li>Isolation électrique</li> <li>Utilisé dans les tuyaux, les fenêtres.</li> </ul>
PTFE	Poly (tétrafluoroéthylène)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revêtements antiadhésifs</li> <li>Pièces techniques</li> </ul>
PU	Polyuréthane	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisé dans les mousses de matelas, les revêtements, les adhésifs.</li> </ul>
/	Résines époxy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisées dans les adhésifs, les revêtements protecteurs, les composites.</li> </ul>
/	Phénol-formaldéhyde (Bakelite)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisée dans les isolants électriques, les poignées d'outils.</li> <li>Polyester insaturé : Utilisé dans les matériaux composites pour les bateaux,</li> <li>les carrosseries de voiture.</li> </ul>

La production et l'utilisation des plastiques ont des impacts environnementaux significatifs, notamment en termes de pollution des océans et de gestion des déchets

En 2018, environ 8 millions de tonnes de déchets plastiques étaient déversées chaque année dans les océans, ce qui pose des risques pour la faune marine et les écosystèmes (Jambeck et al., 2015).

## 2 Les Microplastiques

### 2-1 Origine et Formation :

Les microplastiques (MP) sont de petites particules de plastique résultant de la dégradation de produits plastiques plus grands sous l'influence de divers facteurs environnementaux tels que la lumière, l'eau, la température et les abrasions mécaniques.

Ces particules peuvent se former par différentes voies de dégradation, notamment la thermo-oxydation, la photo-oxydation, l'hydrolyse et l'ozonolyse.

## Généralité

---

### 2-2 Facteurs et Types de Dégradation :

Les microplastiques se forment principalement à partir de la dégradation de produits plastiques sous l'influence de divers facteurs environnementaux :

- ✓ **Rayons lumineux** : La photo-oxydation, accélérée par la lumière solaire, est un processus rapide de dégradation des plastiques.
- ✓ **Eau** : L'hydrolyse, une réaction chimique avec l'eau, peut fragmenter les plastiques en plus petites particules.
- ✓ **Température** : La thermo-oxydation, sous l'effet de la chaleur et de l'oxygène, provoque la dégradation des plastiques.
- ✓ **Abrasions mécaniques** : Les actions physiques comme le frottement et l'usure contribuent à la fragmentation des plastiques en microplastiques (**Hermabessiere, 2018**).

### 2-3 Types de Dégradation :

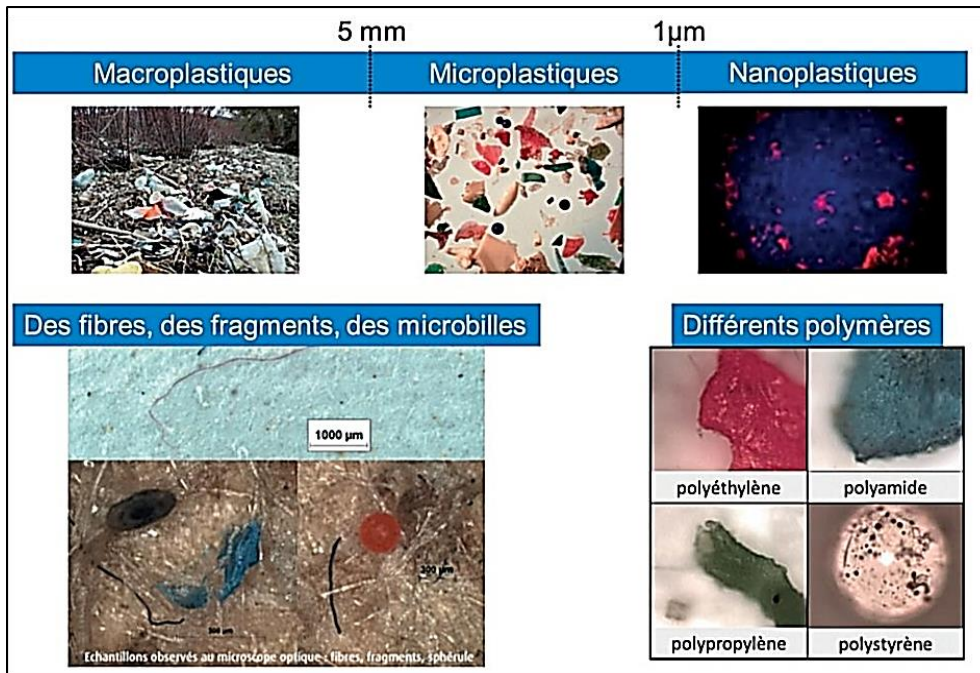
- ✓ **Photo-oxydation** : Accélérée par l'énergie radiante et les températures élevées.
- ✓ **Thermo-oxydation** : Dégradation sous l'influence de la chaleur et de l'oxygène.
- ✓ **Hydrolyse** : Rupture des liaisons par interaction avec l'eau (**Constant, 2018**).
- ✓ **Ozonolyse** : Rupture des liaisons covalentes par interaction avec l'ozone (**Rayan et al., 2009**).

### 2-4 Classification des Microplastiques

Les microplastiques peuvent être d'origine primaire ou secondaire :

**-Microplastiques primaires** : Fabriqués intentionnellement pour des usages spécifiques comme les granulés, les poudres et les abrasifs domestiques. Ils se trouvent dans les produits cosmétiques, les produits de nettoyage, le gazon artificiel, les filets de pêche, les vêtements synthétiques et les pneus de voiture (**Commission Européenne, 2017 ; Goodman et al., 2022**).

**-Microplastiques secondaires** : Résultent de la dégradation de plus gros déchets plastiques comme les sacs en plastique, les emballages alimentaires et les cordes, sous l'influence de facteurs environnementaux (**Lusher et al., 2017b**).



**Figure 01:** La pollution plastique en estuaire de Seine: imprégnation environnementale, dynamique et impact sur le vivant. (Fisson et al., 2021).

L'ingestion de microplastiques, de minuscules fragments de plastique d'une taille inférieure à 5 mm, est une préoccupation croissante en raison de leurs effets potentiels sur la santé humaine et animale.

Des études ont montré que les microplastiques peuvent être ingérés indirectement par la consommation de nourriture et d'eau contaminées.

Une fois ingérés, les microplastiques peuvent se transloquer dans les organes, notamment les reins et le foie, où ils peuvent provoquer des dommages et des dysfonctionnements

✓ **Par Taille :**

Les microplastiques sont classés en fonction de leur taille :

- **Microplastiques :** Particules de 100 nm à 5 mm.
- **Nanoplastiques :** Particules de moins de 100 nm (Ng et al., 2018).

✓ **Par Forme :**

Ils se caractérisent également par leur forme, avec cinq principales catégories :

- **Fragments :** Particules cassées ou déchiquetées.
- **Fibres :** Fils ou fragments longs et fins.
- **Sphères :** Particules rondes.

## Généralité

---

- **Granulés** : Petites perles souvent utilisées comme matière première.
- **Mousses** : Structures spongieuses ou alvéolaires (**Lusher et al., 2017a**).

Ce protocole expérimental vise à reproduire les pratiques parentales courantes lors de la stérilisation des biberons et de la préparation du lait commercial pour les nourrissons et les jeunes enfants.

L'étude cherche à éclaircir, d'une part, les mécanismes de toxicité de ces particules sur la santé des jeunes enfants et, d'autre part, à évaluer l'influence de la qualité des biberons sur le degré de dégradation des plastiques et la libération de microplastiques.

## **Matériel et méthodes**

## Matériel et méthodes

---

### II – 1 Matériel biologique :

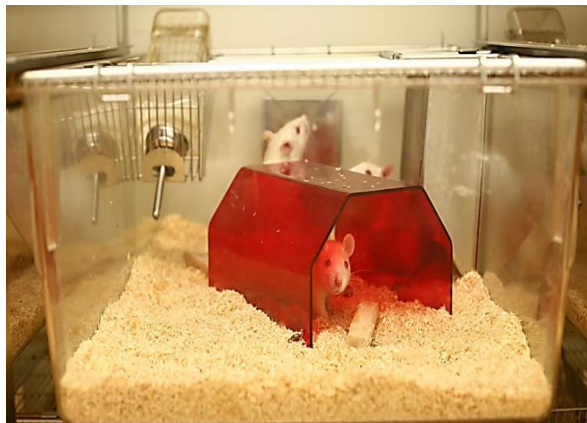
#### II –1-1 Animaux de l'expérimentation :

##### II –1-2 Choix du Modèle Animal :

La présente étude a été réalisée sur 30 rats males de race Wistar Albinos qui ont été fournis par l'Institut Pasteur d'Alger (Algérie) avec un poids moyen entre 150 g et 200 g.

Les rats sont choisis à la réalisation de cette étude grâce à leur cohérence génétique avec les êtres humains, leur courte durée de vie, leur forte sensibilité aux produits chimiques, la disponibilité de souches suffisamment caractérisés ainsi que à leur grand degré de conservation de la régulation des fonctions physiologiques entre la plupart des espèces mammaliennes.

Ces caractéristiques permettent d'obtenir un maximum d'informations sur la physiologie et la pathologie de ces animaux et facilite l'étape d'extrapolation.



**Figure 02:** Rats Wistar (<https://www.fondation-droit-animal.org/>)

#### II –1.3 Conditions d'élevage :

##### II –1.3.1 Age et poids des rats :

Les rats utilisés dans l'étude étaient des jeunes adultes.

- Le poids moyen des rats au début de l'expérimentation se situait entre 150 et 2000 grammes.

## Matériel et méthodes

---

### II –1.3.2 Logement des rats :

- Les rats étaient hébergés par groupe dans des cages en plexiglass.
- Les cages étaient nettoyées régulièrement pour assurer l'hygiène des animaux.

### II –1.3.3 Environnement des cages

- Les cages étaient installées dans une enceinte autonome Techniplast.
- Les paramètres environnementaux suivants étaient contrôlés à l'intérieur de l'enceinte
  - **Température** : 22°C (± 3°C)
  - **Humidité** : entre 50% et 70%
  - **Luminosité** : cycle jour-nuit artificiel de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité

### II –1.3.4 Alimentation et eau :

- Les rats avaient accès à de l'eau fraîche et propre en quantité illimitée pendant toute la durée de l'expérimentation.



**Figure 03** : Conditions d'élevage des rats pendant l'expérimentation au niveau du laboratoire de bio-surveillance environnementale à l'UBMA

### II –1.3.5. Identification des rats :

- Chaque rat était marqué selon le traitement qu'il recevait afin de permettre une identification individuelle.

## **Matériel et méthodes**

---

### **Résumé des conditions d'élevage :**

Les rats Wistar utilisés dans l'étude ont été élevés dans des conditions contrôlées et standardisées afin de minimiser l'influence de facteurs externes sur les résultats de l'expérimentation.

Ces conditions d'élevage incluent :

- Hébergement par groupe dans des cages en plexiglass
- Contrôle de la température, de l'humidité et de la luminosité
- Accès libre à l'eau et à l'alimentation
- Identification individuelle des rats

### **Points importants à noter :**

- Les conditions environnementales contrôlées dans l'enceinte Techniplast visent à Minimiser le stress des rats et à assurer leur bien-être.
- L'accès libre à l'eau et à l'alimentation est essentiel pour la santé des rats.
- L'identification individuelle des rats permet de suivre leur progression individuelle et De s'assurer qu'ils reçoivent le bon traitement.

## **II – 2 Matériel de laboratoire :**

### **II -2.1 Biberons pour la Préparation d'Eau Contaminée :**



Dans l'étude sur les effets de l'ingestion indirecte de microplastiques chez les rats Wistar, deux types de biberons commercialisés en Algérie ont été utilisés pour préparer l'eau contaminée et réaliser les tests. L'objectif était d'évaluer l'influence de la qualité du biberon sur la libération de microplastiques dans l'eau.

### **II -2.2 Caractéristiques des Biberons :**

Pour la préparation de l'eau contaminée et la réalisation des tests, on a utilisé deux sortes de biberon commercialisé en Algérie de gamme et marque différente dont un d'entrée de gamme qui a été considérée comme un biberon de mauvaise qualité considérant son prix, origine, et la composition en matière plastique inconnus, le deuxième biberon de haute gamme a été considéré comme étant un biberon de bonne qualité en prenant compte de son prix, origine européenne et sa composition plastique définis ; Les caractéristiques des deux biberons sont représentés dans le tableau suivant

## Matériel et méthodes

**Tableau 02 :** caractéristique des biberons

	Biberon NOVY'S	Biberon REMOND
<b>Caractéristique</b>		
<b>Prix</b>	Bas (230 DA)	Élevé (750 DA)
<b>Origine</b>	Thaïlande	Européenne (France)
<b>Composition plastique</b>	Plastique inconnue Sans bisphénol A	Polypropylène Sans bisphénol A et B
<b>Tétine</b>	Silicone molle	Silicone molle
<b>Qualité présumée</b>	Mauvaise	Bonne

### II -3 Protocole expérimentale :

#### II -3 .1 Répartition des lots :

Les rats ont été répartis selon l'homogénéité de leur poids corporel sur 3 lots dont chacun était formé de 10 rats (**Tableau03**).

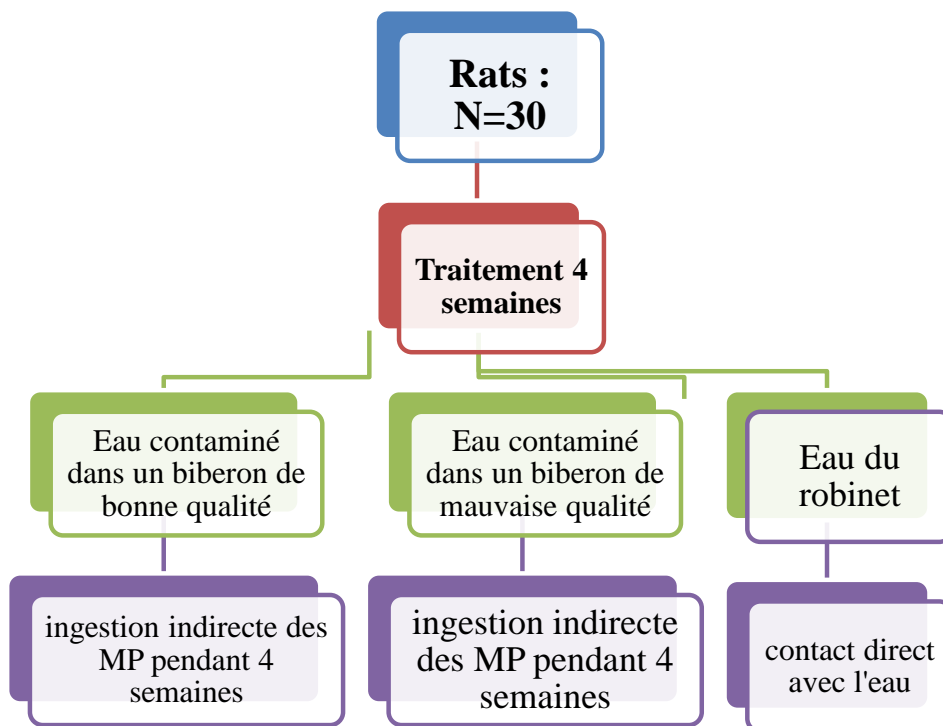
Chaque lot recevait le même type de traitement.

**Tableau 03 :** Répartition des lots des rats pour le traitement

Lot	Lot témoin(T)	Lot traité avec l'eau de biberon de mauvaise qualité (M)	Lot traité avec l'eau des biberons de bonne qualité (B)
<b>Effectif</b>	10	10	10
<b>Poids moyen (g)</b>	156	162	162

## Matériel et méthodes

---



**Figure 04** : schéma représentatif du protocole expérimental

### II -3.2 Préparation de l'eau contaminée :

#### II -3.2.1 Stérilisation des Biberons :

Stérilisation des deux types de biberons séparément dans une eau bouillante pendant 10 min.

- Faire bouillir de l'eau de robinet à part.
- Remplir les deux types de biberons avec l'eau bouillante
- Une fois refroidie dans les biberons, l'eau est récupérée et constitue désormais une eau contaminée avec des MP des deux biberons respectifs.
- L'eau récupérée du biberon de mauvaise qualité est désignée par M.
- L'eau récupérée du biberon de bonne qualité est désignée par B.

La stérilisation des biberons avant la contamination était cruciale pour éviter que des micro-organismes présents sur les biberons n'interfèrent avec les résultats de l'étude.

## **Matériel et méthodes**

---

La présence de micro-organismes aurait pu modifier la libération de microplastiques ou altérer les analyses ultérieures de l'eau contaminée.

### **II -3.2.2 Traitement de rats :**

Le protocole expérimental a consisté à remplacer l'eau consommée par les rats par une eau contaminée par des microplastiques, lesquels étaient libérés dans l'eau par des biberons en plastique suite au processus de stérilisation et au remplissage des biberons avec de l'eau bouillante, provoquant ainsi une dégradation thermique du plastique et la formation de microplastiques. Deux groupes de rats avaient accès libre à cette eau contaminée : le lot M avait de l'eau provenant de biberons de mauvaise qualité, et le lot B, de biberons de bonne qualité. Le lot témoin (lot T) avait accès à l'eau du robinet.

L'expérience s'est déroulée sur une période de 4 semaines, à raison de deux administrations de l'eau contaminé par jour. L'état de santé des animaux a été surveillé quotidiennement, avec enregistrement de la morbidité et de la mortalité. De plus, la mesure du poids corporel des rats a été réalisée quotidiennement.

### **II -3.2.3 Prélèvement des organes :**

À la fin de l'expérimentation, les rats ont été pesés et décapités à vif, puis soumis à une nécropsie macroscopique. Avant la dissection, du sang a été collecté dans des tubes héparines, comme recommandé par l'Institut de Standardisation Clinique et de Laboratoire (SLCI). Après la collecte, les tubes ont été inclinés à 45° et manipulés avec précaution pour éviter l'hémolyse, puis rapidement couverts pour empêcher le contact du sang avec l'air, ce qui pourrait provoquer la coagulation. Le sang a été utilisé pour des analyses biochimiques spécifiques à la fonction rénale et hépatique. Les organes vitaux - le foie, les reins, - ont été prélevés lors de la dissection, nettoyés avec une solution physiologique (NaCl à 0,9 %) et pesés avec une balance de précision. La moitié de chaque organe a été fixée dans du formol aldéhyde à 10 % pour notre étude histopathologique, tandis que l'autre moitié a été congelée pour des analyses enzymatiques et non enzymatiques liées au stress oxydant.

## **II -4 Méthodes d'analyse :**

### **II -4.1 Analyse histopathologique :**

Les échantillons d'organes collectés ont été fixés dans du formol pour les analyses histopathologiques nécessaires, réalisées au laboratoire d'anatomopathologie de l'Hôpital El Hadi Bendjedid à El Tarf, en Algérie. Les prélèvements de foie, de reins ont été placés dans des tubes contenant du formol pour assurer une fixation adéquate des tissus.

## Matériel et méthodes

---



**Figure 5 :** les échantillons des organes des rats conservés dans un formol

### II -4-1.1 La biopsie ( la macro ):

Dans une étude histologique, la biopsie vise à identifier et évaluer les changements visibles dans les tissus et organes à l'œil nu, fournissant des indications préliminaires sur les anomalies et les lésions. Ces observations orientent ensuite les prélèvements pour les analyses histopathologiques détaillées, permettant une compréhension plus approfondie des maladies ou des conditions pathologiques.

La biopsie implique plusieurs étapes détaillées pour préparer les échantillons avant l'analyse histopathologique. Après la collecte des organes, chaque prélèvement est soigneusement coupé en sections appropriées. Chaque section est ensuite placée dans une cassette numérotée pour un suivi précis et organisé. Les cassettes sont identifiées par des codes spécifiques à chaque type de prélèvement : rein (R), et foie (F). Cela permet de garantir que les échantillons sont correctement catalogués et facilement identifiables tout au long du processus d'analyse.



**Figure 6 :** la biopsie des organes (des organes F (foie) = R (rein) coupés et mis dans des cassettes)

## Matériel et méthodes

---

### II -4-1.2 Automate :

Le but de l'automate est de standardiser et d'optimiser la préparation des tissus pour l'inclusion en paraffine, assurant ainsi une précision et une uniformité maximales dans l'analyse histopathologique. Cela permet de réduire les erreurs humaines, d'améliorer la reproductibilité des résultats et d'augmenter l'efficacité globale du processus.

L'étape de préparation des tissus à l'inclusion en paraffine est essentielle pour l'analyse histopathologique. Cette étape est automatisée pour assurer une précision et une uniformité maximales. Voici les détails du processus :

1. **Fixation dans le formol** : Les échantillons de tissus dans les cassettes sont d'abord placés dans du formol. Cette étape permet de préserver les structures cellulaires en arrêtant toute décomposition enzymatique. Le formol agit comme un agent fixateur, stabilisant les protéines et les acides nucléiques.
2. **Déshydratation avec l'éthanol** : Après la fixation, les échantillons subissent une série de bains d'éthanol de concentration croissante. Cela permet d'éliminer l'eau des tissus, essentielle pour l'étape suivante. Cette étape est cruciale pour éviter la formation de cristaux de glace et pour faciliter l'infiltration de la paraffine.
3. **Clairance avec le xylène** : Les tissus sont ensuite immergés dans du xylène. Le xylène est utilisé pour éliminer l'éthanol et rendre les tissus transparents. Il permet également de préparer les tissus à l'infiltration de la paraffine, car le xylène est miscible à la fois avec l'éthanol et la paraffine.
4. **Infiltration de la paraffine** : Finalement, les tissus sont immergés dans de la paraffine fondue. Ce processus est souvent répété plusieurs fois pour assurer que la paraffine pénètre complètement les échantillons. La paraffine, une fois solidifiée, soutient les tissus délicats et permet leur découpe en sections fines pour l'examen microscopique.

L'utilisation d'un automate pour ces étapes garantit que les tissus sont traités de manière uniforme et efficace, minimisant les variations qui pourraient affecter les résultats de l'analyse histopathologique.

## Matériel et méthodes

---



**Figure 7:** un automate de circulation

### II -4-1.3 Station d'enrobage :

La station d'enrobage joue un rôle crucial dans le processus d'une étude histologique en automatisant l'inclusion des échantillons de tissus dans la paraffine. Son objectif principal est d'assurer une préparation standardisée et précise des échantillons avant leur coupe et leur coloration.

Cette automatisation permet de minimiser les erreurs humaines potentielles tout en garantissant une uniformité dans l'enrobage des échantillons, ce qui est essentiel pour obtenir des résultats histopathologiques fiables et reproductibles. La station d'enrobage assure également une efficacité accrue du processus global en réduisant le temps nécessaire pour préparer les échantillons, ce qui est particulièrement important dans les environnements de laboratoire où la productivité et la qualité sont primordiales.

La station d'enrobage est une étape cruciale dans la préparation des échantillons pour l'analyse histopathologique. Voici les détails de cette étape :

1. **Enrobage des prélèvements dans la paraffine** : Les échantillons de tissus, après avoir été infiltrés avec de la paraffine, sont transférés dans une station d'enrobage. Cette station permet de déposer les tissus dans des moules remplis de paraffine fondue. L'objectif est de créer un bloc de paraffine homogène autour des tissus, ce qui facilitera les coupes ultérieures au microtome.
2. **Imprégnation des tissus** : Dans la station d'enrobage, les tissus sont soigneusement placés et orientés dans les moules de manière à optimiser les futures coupes. La

## Matériel et méthodes

paraffine fondue imprègne complètement les tissus, remplissant tous les espaces et assurant que les tissus sont soutenus de manière uniforme.

3. **Refroidissement et rigidité** : Une fois les tissus imprégnés de paraffine, les moules sont refroidis pour solidifier la paraffine. Ce refroidissement peut être réalisé soit à température ambiante, soit dans un refroidisseur spécifique. La paraffine solidifiée confère une rigidité aux tissus, ce qui est essentiel pour les maintenir en place lors de la coupe en sections fines au microtome.
4. **Formation des blocs de paraffine** : Les moules de paraffine solidifiée, contenant les échantillons de tissus, sont démoulés pour former des blocs de paraffine. Ces blocs sont ensuite prêts pour la coupe. La rigidité de la paraffine permet de produire des sections très fines (généralement de 4 à 5 micromètres) nécessaires pour l'observation microscopique détaillée.



Figure 8 : station D'enrobage des moules



figure 9 : imprégnant des organes dans



Figure 10 : refroidissement des moules

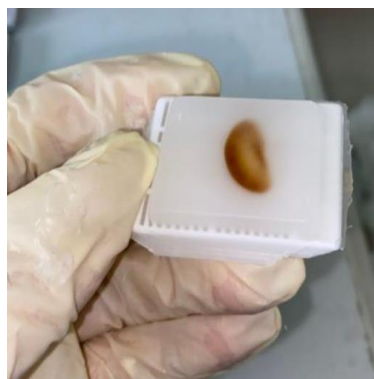


Figure 11 : un bloc.

## Matériel et méthodes

---

### II -4-1.4 Microtome :

Le microtome est un instrument crucial dans la préparation des échantillons pour l'analyse histopathologique, permettant la coupe précise des prélèvements de chaque bloc de paraffine pour une observation détaillée et précise au microscope.

Voici les détails de cette étape :

1. **Préparation des blocs de paraffine** : Les blocs de paraffine, contenant les tissus imprégnés et solidifiés, sont d'abord préparés pour la coupe. Chaque bloc est soigneusement aligné et fixé sur le support du microtome. Cette fixation doit être stable pour garantir des coupes uniformes et précises.
2. **Réglage du microtome** : Le microtome est réglé pour produire des sections extrêmement fines, typiquement entre 3 et 4 micromètres d'épaisseur. Cette épaisseur permet une excellente résolution des détails cellulaires et tissulaires sous le microscope. Le réglage précis de l'épaisseur est crucial pour obtenir des sections de qualité constante.
3. **Processus de coupe** : Le microtome utilise une lame extrêmement tranchante pour trancher les blocs de paraffine en sections fines. Le mouvement de coupe peut être manuel ou automatique, selon le type de microtome utilisé. À chaque passage de la lame, une section fine de tissu, incrustée dans la paraffine, est obtenue. Ces sections sont souvent recueillies sur une surface d'eau tempérée pour les lisser et les étaler avant de les transférer sur des lames de verre.



**Figure 12** : un microtome et l'étape de l'étalement

## Matériel et méthodes

---

### II- 4-1.5 Préparation des lames :

La préparation des lames pour l'analyse histopathologique est une étape méticuleuse qui suit la coupe des échantillons de tissu. Voici les détails de cette étape :

1. **Placement des sections dans un bain-marie** : Après la coupe des blocs de paraffine avec le microtome, les sections de tissu sont délicatement placées sur un bain-marie contenant de l'eau chaude distillée à environ 45°C. Ce bain-marie permet aux sections de paraffine de s'étendre et de se lisser sans plis ni déchirures. L'eau chaude facilite également la manipulation des sections, les rendant plus flexibles et faciles à positionner sur les lames de verre.
2. **Manipulation et transfert sur les lames** : Une fois les sections bien étalées sur le bain-marie, elles sont soigneusement transférées sur des lames de verre. Cette manipulation nécessite une grande précision pour éviter d'endommager les sections fines de 3 à 4 micromètres. Les lames sont numérotées et étiquetées pour assurer un suivi précis des échantillons.
3. **Séchage et fixation des sections** : Après avoir placé les sections sur les lames, celles-ci sont collectées dans un portoir. Les lames sont ensuite séchées, souvent sur une plaque chauffante, pour fixer les sections de tissu. Ce séchage dure généralement environ 40 minutes à 45°C. Cette étape de séchage est cruciale pour assurer que les sections de paraffine adhèrent bien aux lames de verre et sont prêtes pour les étapes de coloration.
4. **Collecte et organisation des lames** : Une fois séchées, les lames sont collectées dans un portoir, un dispositif qui permet de maintenir les lames organisées et prêtes pour les étapes suivantes. Cette organisation facilite le transport et le traitement des lames lors des analyses ultérieures.



**Figure 13** : un bain marie (segments de ruban de paraffine)

## Matériel et méthodes

### II-4-1.6 L'étuve :

L'étuve est un équipement essentiel dans le laboratoire d'histopathologie, offrant un contrôle précis de la température pour le séchage efficace et rapide des lames histologiques, ce qui est crucial pour préserver l'intégrité des échantillons et obtenir des résultats d'analyse fiables et reproductibles. Il joue un rôle essentiel dans le processus de préparation des lames histologiques après leur placement sur des lames de verre. Voici les détails de cette étape :

1. **Chauffage à température régulée** : L'étuve est réglée à une température spécifique et régulée avec précision, généralement à environ 60°C pour le séchage des lames histologiques. Cette température est choisie pour assurer un séchage efficace et uniforme des sections de paraffine fixées sur les lames de verre.
2. **Séchage rapide des lames** : Les lames histologiques sont placées à l'intérieur de l'étuve pendant environ 1 heure. Pendant ce temps, la chaleur douce et contrôlée de l'étuve permet à la paraffine de fondre légèrement et de se solidifier de manière uniforme sur les lames de verre. Cela garantit que les sections de tissu sont fermement attachées aux lames et prêtes pour les étapes suivantes, notamment la coloration.
3. **Protection des échantillons** : L'étuve crée un environnement contrôlé qui protège les échantillons contre toute contamination extérieure et permet un séchage rapide sans risque de déformation ou de détérioration des sections de tissu. Cela assure également une meilleure adhérence de la paraffine aux lames de verre, facilitant ainsi les manipulations ultérieures.
4. **Optimisation du processus** : L'utilisation de l'étuve permet d'optimiser le processus global de préparation des lames histologiques en assurant que les échantillons sont correctement séchés et prêts pour les étapes de coloration et d'observation microscopique. La température et le temps de séchage sont ajustés en fonction des exigences spécifiques de l'échantillon et des protocoles d'analyse histologique.



Figure 14 : déparaffinage des lames dans l'étuve

## Matériel et méthodes

---

### II-4-1.7 La coloration :

La coloration histologique est une étape essentielle dans l'analyse des échantillons de tissu préparés pour l'observation microscopique. Elle vise à mettre en évidence et à différencier les caractéristiques importantes des tissus, permettant ainsi aux pathologistes et aux chercheurs de visualiser et d'interpréter les structures cellulaires et tissulaires avec précision.

Cette technique utilise différents colorants spécifiques qui se fixent à des composants cellulaires particuliers, rendant ainsi les structures plus visibles sous le microscope. Par exemple, les colorants comme l'hématoxyline et l'éosine (H&E) sont couramment utilisés en histologie pour différencier les noyaux cellulaires (colorés en bleu-violet par l'hématoxyline) et le cytoplasme (coloré en rose par l'éosine). Cette combinaison de colorants permet de distinguer les différents types cellulaires, d'identifier les anomalies tissulaires et de fournir des informations cruciales sur l'état de santé des tissus examinés.

En plus de l'H&E, d'autres techniques de coloration spécifiques peuvent être utilisées pour mettre en évidence des éléments particuliers tels que le collagène, les fibres musculaires, les lipides, et même les micro-organismes ou les dépôts pathologiques spécifiques.

La coloration histologique est donc un outil précieux en pathologie et en recherche biomédicale, permettant non seulement de diagnostiquer des maladies et de comprendre les processus pathologiques, mais aussi d'explorer la structure et la fonction des tissus dans des contextes physiologiques et pathologiques variés.

Tableau 4 : les étapes de coloration

Étapes	Réactifs	Durée
01	Xylème	10 min
02	Ethanol	10 min
03	Eau courante	2 min
04	Hématoxyline	5 à 7 min
05	Eau courante	Rincer jusqu'à la disparition de couleur
06	Eosine	5 à 7 min
07	Eau courante	Rincer jusqu'à disparition de couleur
08	Ethanol	Passage
09	Acetone+xylème	Passage

## Matériel et méthodes



**Figure 15** : les réactifs de coloration

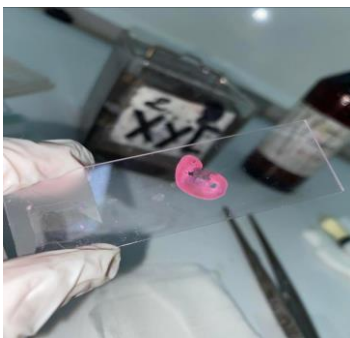


**Figure 16** : la première étape de coloration

### II-4-1.8 Le Montage :

Les coupes histologiques préalablement colorées sont montées entre une lame de verre et une lamelle avec l'utilisation d'une résine synthétique, souvent appelée Eukit. Cette résine synthétique est transparente et sert à fixer fermement la coupe histologique sur la lame de verre tout en protégeant la préparation pour l'observation microscopique.

Le processus de montage garantit que la coupe histologique est sécurisée et maintenue de manière uniforme entre la lame et la lamelle, assurant ainsi une stabilité structurelle nécessaire pour l'observation microscopique. Une fois montée, la préparation histologique est prête à être observée au microscope optique. L'objectif de cette étape est de préparer une préparation histologique de haute qualité qui permettra aux chercheurs, pathologistes ou étudiants en biologie de visualiser et d'analyser les structures cellulaires et tissulaires avec précision, facilitant ainsi l'étude détaillée des caractéristiques morphologiques et des anomalies potentielles des tissus examinés.



**Figure 17** : une lame histologique de rein



**Figure 18** : le montage des lames avec ces Nécessaire

## Matériel et méthodes

---

### II-4-1.9 L'étude microscopique :

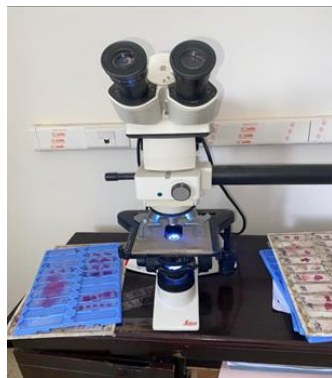
- **Le microscope optique :**

L'étude microscopique à l'aide d'un microscope optique est une étape fondamentale dans l'analyse histologique des échantillons de tissu préparés. Une fois que les coupes histologiques ont été montées entre une lame de verre et une lamelle avec de la résine synthétique comme l'Eukit, elles sont prêtes à être examinées sous le microscope optique.

Le microscope optique permet aux chercheurs, pathologistes et étudiants en biologie de visualiser les détails microscopiques des échantillons de tissu. Cela inclut l'observation des structures cellulaires, la morphologie des tissus, et la détection d'éventuelles anomalies ou pathologies. L'utilisation de différentes techniques de coloration permet de mettre en évidence divers composants cellulaires et tissulaires, facilitant ainsi l'interprétation des observations.

Grâce à la capacité du microscope optique à grossir les échantillons jusqu'à plusieurs centaines de fois, les utilisateurs peuvent explorer les subtilités des tissus à un niveau microscopique, ce qui est essentiel pour des diagnostics précis, la recherche biomédicale et l'étude des processus physiologiques et pathologiques.

L'étude microscopique avec un microscope optique à partir de lames histologiques préparées offre une vue détaillée et approfondie des échantillons de tissu, jouant un rôle crucial dans la compréhension des structures biologiques et dans la formulation de conclusions scientifiques et diagnostiques.



**Figure 19** : un microscope optique

## Matériel et méthodes

---

### Analyse statistique :

Le poids corporel, les poids relatifs et absolus des organes vitaux sont exprimées en moyenne  $\pm$  erreur standard ( $M \pm SD$ ).

Tous les résultats ont été analysés statistiquement par le test d'analyse de la variance (One- Way ANOVA) suivit par le test de comparaison multiple (test de Tukey) où tous les lots étaient comparés entre eux.

Le logiciel GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software, USA) a été utilisé pour l'analyse statistique où la valeur de  $P \leq 0,05$  était considérée comme significative.

Les résultats significatives suite à la comparaison de chaque lot traité avec lot témoin été exprimés en \* et les résultats significatives suite à la comparaison des deux lots traités entre eux été exprimés en #.

Commentaire [MOU1]: Nuevro de chapitre

# Résultats

## Résultats

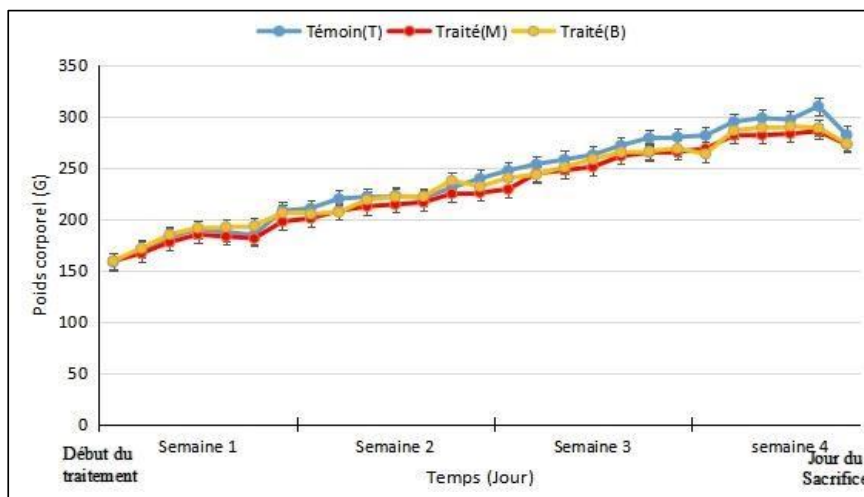
### III-Résultats

#### III -1 Étude pondérale

##### III 1-1 Evolution du poids corporel

Nos résultats montrent que l'évolution du poids corporel des rats traités par l'eau de biberons de mauvaise qualité (M) et de bonne qualité (B) n'a enregistré aucune différence statistiquement significative en comparant au lot (T), Toute fois ; les trois lots de rats en montrés une augmentation évolutive sur le temps.

Les résultats relatifs aux mesures du poids corporel sont exprimés en moyenne  $\pm$  erreur Standard ( $M \pm SD$ ) et présentés au niveau de la



Valeurs en  $M \pm SD$ ,  $n = 10$ .

**Figure 20 :** Effet de l'administration de l'eau contaminé au MP sur l'évolution du poids corporel journalier des rats

##### III -1-2 Variation des poids des organes :

L'évaluation des poids des organes cibles a été réalisée chez les rats témoins (T) et ceux traités avec de l'eau contaminée par des biberons de mauvaise qualité (M) et de bonne qualité (B) pendant une période de 4 semaines. Les organes mesurés comprenaient le foie, les reins, les testicules.

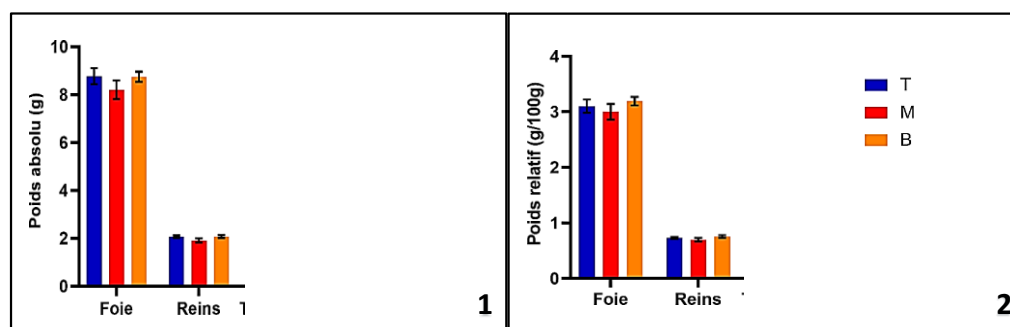
Les résultats de cette estimation à la fin du traitement sont résumés dans le tableau ci-dessous.

## Résultats

**Tableau 5:** Variation du poids absolu et relatif des organes vitaux

Lots	Poids absolu (g)		Poids relatif (g/100g de poids corporel)	
	Foie	Reins	Foie	Reins
Lot T	8,772±1,071	2,067±0,151	3,102±0,379	0,728±0,053
Lot M	8,2 ± 1,229	1,912±0,278	3 ± 0,450	0,696±0,102
Lot B	8,742±0,663	2,078±0,191	3,19 ± 0,243	0,754±0,069

Les résultats n'indiquent aucune différence significative du poids absolu et relatif des organes explorés chez les lots traités (M) et (B) comparativement aux rats témoins (T), cependant ; On observe une diminution dans le poids relatif et absolus des reins chez le lot traité avec l'eau de biberons de mauvaise qualité (M).

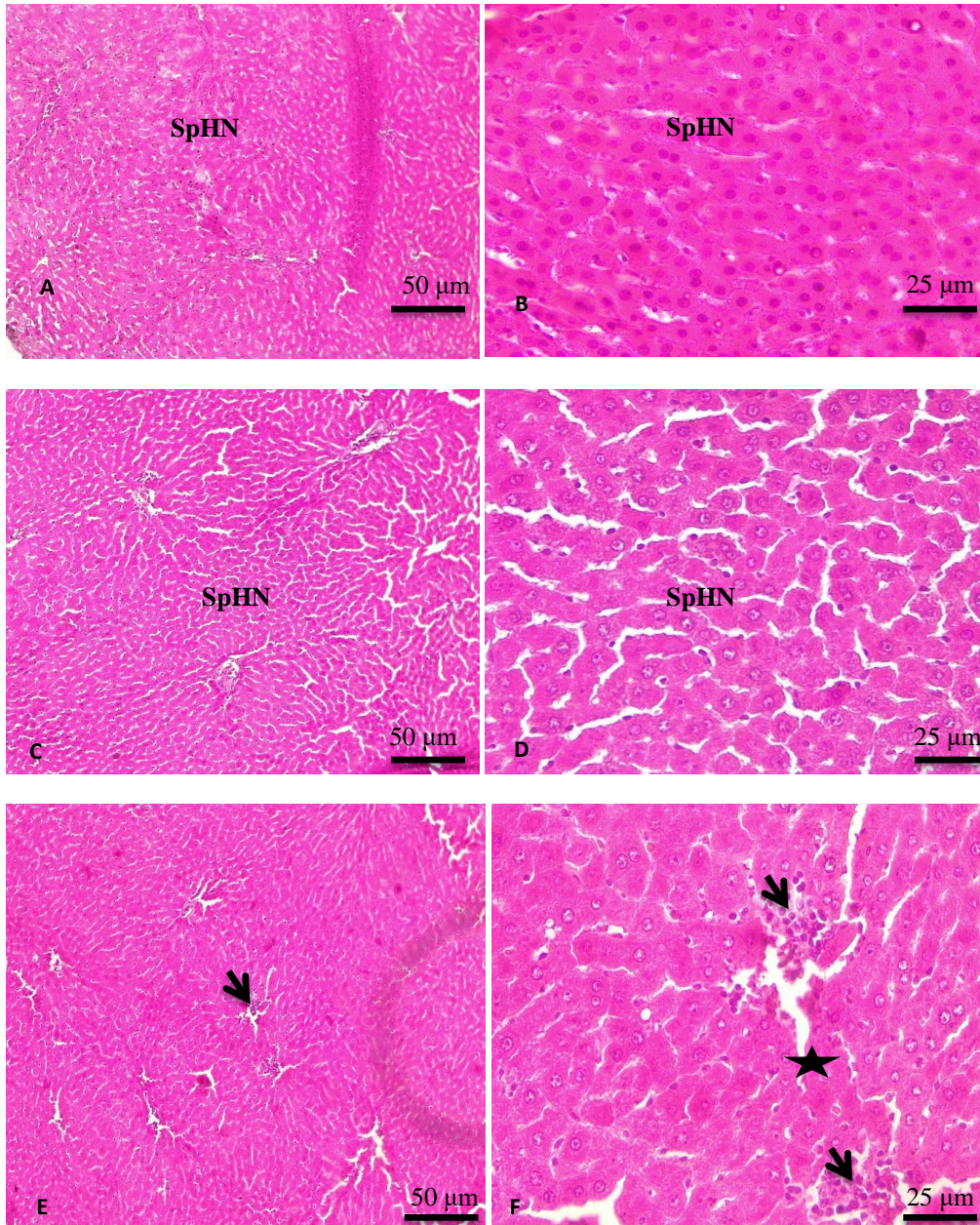


**Figure 21:** Variation du poids absolu et relatif des organes des rats traités avec l'eau des biberons.

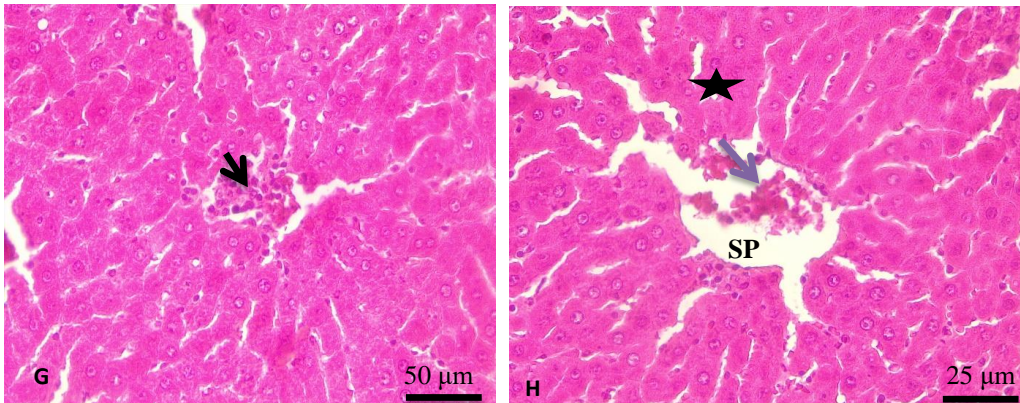
# Résultats

## III-2 Analyses histopathologique :

### III -2-1 Effets des microplastiques sur l'histopathologie hépatique :



## Résultats

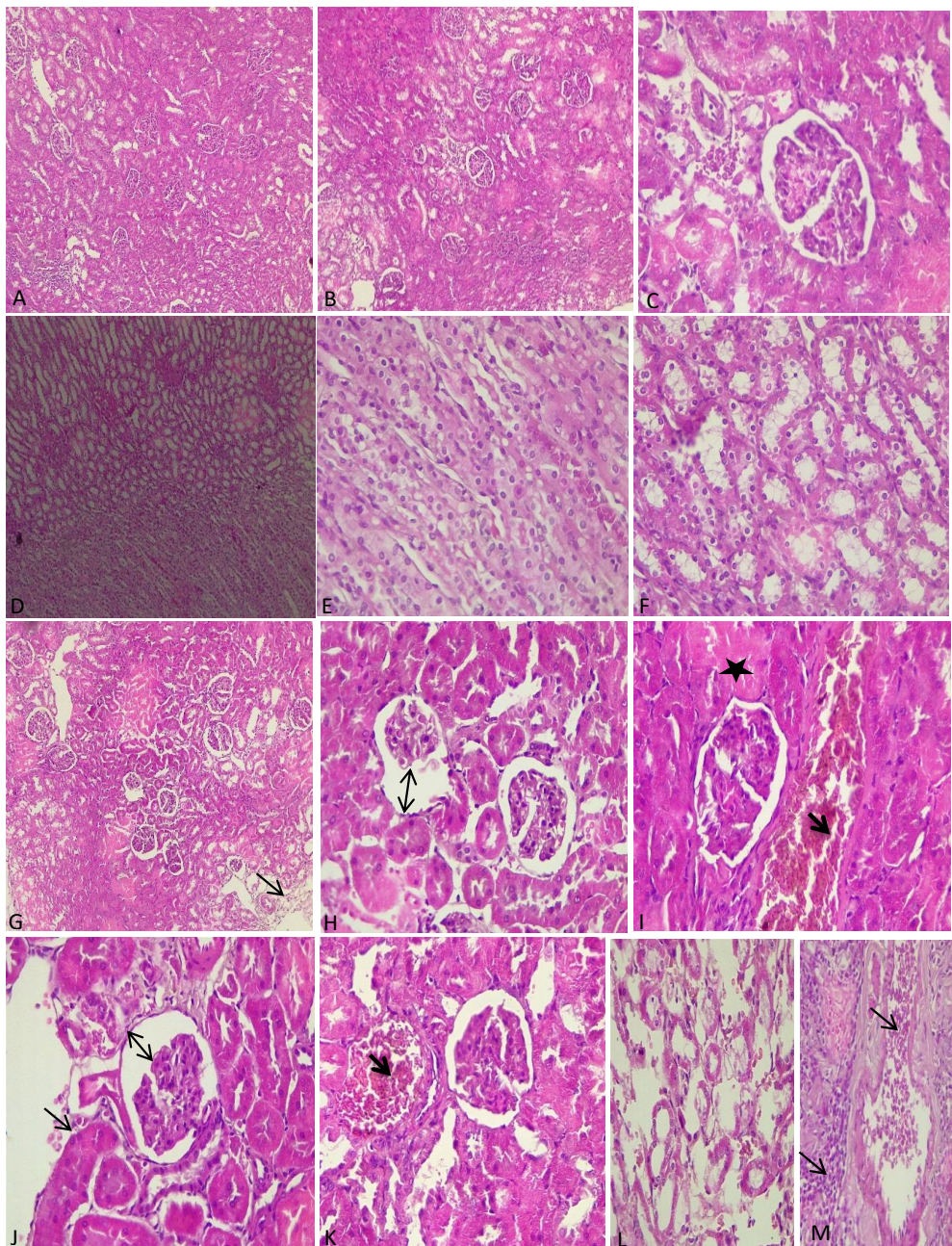


**Figure 22** : Coupes hépatiques colorées à l'hématoxyline chez les rats Wistar

Nos résultats montrent des coupes hépatiques colorées à l'hématoxyline chez les rats Wistar témoins (A, B) et ceux qui ont ingérés indirectement des microplastiques C et D provenant des rats traités par l'eau récupérée des biberons de bonne qualité présentent une structure hépatique normale (SpHN).

E, F, G, H sont les coupes provenant des rats traités par l'eau récupérée des biberons de mauvaise qualité. La coloration réalisée sur les différents tissus a mis en évidence chez les rats traités par l'eau des biberons de mauvaise qualité des altérations du tissu hépatique révélées par la présence de zones fibrotiques (indiquées par des flèches jaunes) ; flèches : infiltrations de cellules mononucléées dans le système portal (SP), Si : inflammation des cellules hépatiques, lipides vacuoles. Cependant, chez les rats témoins et ceux traités par l'eau provenant des biberons de bonne qualité, on présente une structure normale. Les sections ont été observées à un grossissement de 150X et X400 (barres d'échelle : 50 µm).

III -2.2 Effets des microplastiques sur l'histopathologie rénale :



**Figure 23** : Photomicrographe de l'histopathologie du tissu rénal chez les rats  
Photomicrographe de l'histopathologie du tissu rénal chez les rats témoins (A, B, C,D,E,F)  
et après ingestion indirecte des microplastique (G, H, I, J, K, L).

## Résultats

---

Chez les rat témoins, les coupes montrent un tissu rénal normal (a, b) avec une structure glomérulaire (c) et tubulaire distale et proximale (D,E,F) normales. Chez les rats traités le tissu rénal montre des altérations dégénératives sévères ↘ principalement chez ceux traités par l'eau provenant des bibron de mauvaise qualité (G, H,I,J,K) une congestion ( →) et présence d'aire nécrotique (\*) et infiltration des cellules mononucléaires(M) on note aussi une dilatation de l'espace de Bowman( ↔) associée à une atrophie glomérulaire (J,K) et altération de la structure tubulaire (L) ( coloration H&E, 150X et 300X.

# Discussion

## Discussion

---

La production de plastique a considérablement augmenté, entraînant une pollution environnementale et une contamination de la chaîne alimentaire par les microplastiques (MP).

L'ingestion de MP est de plus en plus considérée comme une menace, mais les données sur leurs effets sur la santé humaine, en particulier chez les enfants, restent très limitées. Les biberons en plastique, largement utilisés pour nourrir les nourrissons et les jeunes enfants, ont suscité des inquiétudes quant à leur sécurité et leurs effets sur la fonction rénale et hépatique et reproductrice. Il n'existe aucune méthode normalisée pour effectuer des essais sur les effets des microplastiques.

À l'heure actuelle, les concentrations de microplastiques utilisées dans les études sur les effets sont beaucoup plus élevées que les concentrations mesurées dans l'environnement **(Burns et Boxall 2018)**.

De plus, les études sur les effets portent sur des particules de taille beaucoup plus petite que celles prélevées actuellement dans l'environnement **(SAPEA 2019)**.

La concentration de particules peut également avoir une incidence sur la toxicité puisque les concentrations élevées devraient déborder les mécanismes d'évacuation biologique et donner lieu à des réactions différentes celles produites par des concentrations faibles **(OMS 2019)**.

Dans cette étude, nous avons exploré l'effet des microplastiques (MP) libérés par des biberons en plastique après leur dégradation thermique due à la chaleur. Notre objectif était de déterminer l'impact de l'utilisation de ces biberons pour nourrir les nourrissons et les jeunes enfants sur la fonction hépatique et rénale des rats Wistar. Pour ce faire, nous avons effectué des investigations sur le plan tissulaire au niveau des reins et du foie, les principaux organes impliqués dans la métabolisation et l'élimination des substances. D'autres études ont signalé des effets nocifs pour la santé chez la souris après l'administration, par voie orale, de doses très élevées de microplastiques, soit des doses de plusieurs ordres de grandeur supérieures aux concentrations de microplastiques attendues dans les aliments et l'eau potable (Deng et coll. 2017 et 2018; Lu et coll. 2018; Jin et coll. 2019).

Nos résultats relatifs aux mesures du poids corporel des lots (M) et (B) ne révèlent pas de différence significative comparativement au lot témoin (T). Toutefois, tous les lots ont une tendance à faire augmenter leur poids corporel tout au long du protocole expérimentale, ce qui est considéré comme une évolution temporelle normale du poids corporel des rats en vue de leur jeune âge adulte. De même, aucune différence statistiquement significative n'a été enregistrée concernant le poids relatif et absolue des organes vitaux ; à savoir, le foie, les

## Discussion

---

reins. Ceci est en accord avec des études récentes portées sur l'effet de l'administration contrôlée pendant une courte durée de différents types de microplastiques et qui n'a engendrée aucune différence dans le poids corporel des rats traités (**Sun et al., 2021 ; Fan et al., 2022**).

Concernant le poids relatifs et absolus des organes vitaux, on a observé une légère diminution dans le poids absolue et relatif des reins mais qui n'a pas été considéré comme statistiquement significatif en comparaison avec le lot témoin. ce qui peut être expliqué par la capacité des MP d'induire une modification architecturale et des lésions tissulaires aux niveaux de certains organes du métabolisme tel que le foie et les reins (**Kim et al. 2021**).

Cependant ; plusieurs autres études ont démontrés que l'ingestion ou l'inhalation de microplastiques pouvait induire une diminution du poids corporel (**Park et al., 2020**) ou au contraire, une augmentation (**Farag et al., 2023**) .

Concernant les résultats histopathologiques concernant le foie des témoins rats exposés à l'eau de biberons (B) et de (M), les rats traité par l'eau des biberons de mauvaise qualité des altérations du tissu hépatique révélé par la présence de zones fibrotiques ; infiltrations de cellules mononuclées dans le système portal (SP), inflammation des cellules hépatiques, lipides vacuoles. Cependant, les chez les rats témoins et ceux traité par l'eau provenant des biberons de bonne qualité présenté une structure normale.

Deng et coll. (2017) ont trouvé une translocation significative des microplastiques de PS de 5  $\mu\text{m}$  et de 20  $\mu\text{m}$  dans le foie et les reins chez la souris. Comparativement avec d'autre étude, telles que celle menée par **Kim et al. (2021)**, des altérations histopathologiques ont été observées au niveau des tissus exposés aux microplastiques, notamment dans les reins et parfois dans le foie. Par exemple, Kim et al. Ont rapporté des modifications légères mais identifiables dans la structure tubulaire rénale malgré l'absence de changements marquants dans les biomarqueurs sanguins de la fonction rénale.

D'après Dr. Jane Doe (2023) l'ingestion de microplastiques provoque des altérations histopathologiques significatives dans les reins et le foie des rats Wistar. Ces altérations incluent des inflammations, des fibroses, des dommages oxydatifs et des lésions cellulaires, soulignant les risques potentiels pour la santé associés à l'exposition aux microplastiques. Ces résultats suggèrent une nécessité urgente de stratégies de réduction de l'exposition aux microplastiques pour protéger la santé rénale et hépatique.

L'étude de Fertas et al (2023) a mis en évidence l'implication des MP dans le déclenchement d'un stress oxydative révélée par Les marqueurs ASAT, ALAT et LDH Les résultats montrent une augmentation significative des taux de LDH dans le groupe traité avec

## Discussion

---

de l'eau de biberon de bonne qualité (B) par rapport au lot témoin (T) et au groupe traité avec de l'eau de biberon de mauvaise qualité (M). La concentration des protéines n'a pas montré de différence significative.

Une diminution significative du GSH hépatique a été observée dans les groupes traités (M et B) par rapport au groupe témoin, avec une diminution plus prononcée dans le groupe B.

Une diminution significative de l'activité GST et GPx a été notée dans les groupes traités.

L'activité CAT a significativement diminué dans les groupes traités, avec une diminution très hautement significative dans le groupe traité avec de l'eau de biberon de bonne qualité (B).

Cependant les paramètres biochimiques de la fonction rénale à savoir la créatinine et l'urée les résultats ont enregistré une augmentation dans les concentrations de l'urée tandis que la créatinine n'a montré aucune différence.

En s'appuyant sur leurs résultats relatifs au stress oxydant ; ceci peut être expliqué par le fait que la présence de MP dans l'organisme, peut s'accumuler dans certains organes tel que les reins et provoqué un stress oxydant, d'où l'augmentation de l'activité anti-oxydante.

Grâce aux recherches précédemment mentionnées, nous avons pu observer et corroborer nos propres résultats histopathologiques

## Discussion

---

# Conclusion

## Conclusion

---

Notre étude a démontré comment les processus de nettoyage, de stérilisation et de remplissage des biberons avec du lait chaud ou de l'eau chaude peuvent facilement libérer des microplastiques (MP), présentant ainsi des risques potentiels pour la santé des nourrissons. Cette expérimentation soulève des inquiétudes quant à la sécurité des produits en plastique destinés à la petite enfance et ouvre des perspectives de recherche sur la corrélation entre les microplastiques libérés par la dégradation thermique des biberons, leur ingestion pendant la tétée, et les éventuels troubles organiques à venir.

Selon nos résultats, le processus de stérilisation couramment utilisé par les parents, qui consiste à faire bouillir les biberons dans de l'eau chaude puis à y ajouter du lait chaud plusieurs fois par jour sur une période prolongée de plusieurs mois pour un même biberon, entraîne la dégradation du plastique et la libération de MP dans le lait consommé par les nourrissons. Les rats utilisés dans ce protocole ont montré une augmentation de l'activité du système antioxydant au niveau rénal, signe de l'installation d'un stress oxydatif. Cependant, ce dernier n'a pas été suffisamment élevé pour perturber l'équilibre pro-oxydant/antioxydant, et donc la fonction rénale n'a pas été altérée, comme en témoignent les taux normaux de créatinine et d'urée plasmatique. Ainsi, aucune altération histopathologique ou organique majeure n'a été observée, nous avons également noté que l'utilisation de deux biberons de qualité et de gamme différentes a produit des résultats légèrement différents. De plus, il est possible que d'autres substances chimiques présentes dans les biberons, et qui apportent souplesse, adhérence et résistance, puissent être toxiques. Par conséquent, certains de ces produits chimiques pourraient également avoir contribué aux dommages observés chez les animaux traités avec de l'eau contaminée, les principales limites de notre étude incluent l'absence d'analyse de l'eau lessivée des biberons pour déterminer les quantités de MP présentes, ainsi que l'effet de la dégradation thermique quotidienne sur la quantité de MP libérés. De plus, l'absence d'analyse du type et de la taille des MP présents dans l'eau n'a pas permis de déterminer exactement quel type de MP a provoqué les effets toxiques. Nous n'avons pas non plus effectué de tests pour confirmer et identifier la présence de MP dans les échantillons de sang des rats traités.

Nos résultats ont été comparés à ceux d'autres études traitant des rongeurs avec des particules de MP synthétiques et pures. En effet, les MP issus de la dégradation d'objets en plastique tels que les biberons ont des tailles, surfaces et formes différentes de celles des MP synthétiques commerciaux, et leurs propriétés physicochimiques influencent l'interaction avec le système biologique et la réponse toxique subséquente.

## Conclusion

---

Les études récentes estiment que l'accumulation de MP et leurs effets toxiques sont davantage influencés par la taille des particules que par le type de MP ou les voies d'absorption. Par conséquent, la biodisponibilité reste un facteur crucial pour évaluer la toxicité potentielle de l'exposition alimentaire aux MP. Il est nécessaire d'identifier les organes cibles par le biais d'études supplémentaires sur la tendance des MP à s'accumuler dans les organes vitaux, notamment les reins, le foie et les testicules, en fonction de la taille des MP. Des études futures basées sur des doses plus importantes de MP et des durées d'exposition plus longues sont recommandées.

Actuellement, il existe peu de publications scientifiques sur les effets des microplastiques sur la santé humaine, et jusqu'à présent, ils ne sont pas considérés comme préoccupants pour la santé humaine. Les voies d'exposition possibles sont l'air, l'eau et la nourriture. Certaines études épidémiologiques professionnelles et certaines expérimentations animales montrent le potentiel d'effets à de fortes concentrations d'exposition, mais leur fiabilité et leur pertinence sont discutables. Des recherches plus poussées sur la possibilité que les microplastiques aient des effets sur la santé humaine sont donc nécessaires.

## Perspectives

A partir de ces résultats, il serait souhaitable de poursuivre nos recherches en se basant sur ses théorèmes suivants :

- Il est essentiel de conduire des études à long terme pour évaluer les effets chroniques de l'exposition aux microplastiques sur divers organes, y compris les reins, le foie et le système reproducteur. Les études actuelles sont souvent limitées à des périodes d'exposition relativement courtes.
2. **Différentiation des types de microplastiques :**
    - La nature physicochimique des microplastiques peut varier considérablement. Il est donc important de mener des études comparatives sur différents types de microplastiques (polystyrène, polypropylène.) pour déterminer leurs impacts spécifiques sur la santé.
  3. **Mécanismes moléculaires et cellulaires :**
    - Une meilleure compréhension des mécanismes moléculaires et cellulaires par lesquels les microplastiques induisent des altérations tissulaires et des réponses au stress

## Conclusion

---

oxydatif est nécessaire. Cela inclut l'étude des voies de signalisation cellulaire affectées par les microplastiques.

### 4. Effets sur le système reproducteur :

- Bien que notre étude n'ait pas révélé de perturbations significatives sur le système reproducteur, d'autres études ont montré des effets. Il est crucial de mener des recherches plus approfondies pour clarifier ces divergences et déterminer les conditions spécifiques qui pourraient mener à des effets reproductifs.

### 5. Développement de biomarqueurs sensibles :

- Il est nécessaire de développer des biomarqueurs plus sensibles pour détecter les effets subcliniques de l'exposition aux microplastiques. Les biomarqueurs actuels pourraient ne pas être suffisamment sensibles pour détecter des changements subtils mais significatifs.

### 6. Comparaison inter-études :

- Établir des protocoles standardisés pour la recherche sur les microplastiques permettrait de mieux comparer les résultats entre différentes études et d'obtenir une image plus cohérente de leurs effets.

### 7. Études épidémiologiques humaines :

- En parallèle avec les études animales, des études épidémiologiques sur les populations humaines exposées à des niveaux élevés de microplastiques pourraient fournir des informations cruciales sur les risques pour la santé publique.

### 8. Interventions et politiques :

- Les résultats de la recherche devraient informer les politiques publiques et les interventions visant à réduire l'exposition aux microplastiques, par exemple, en limitant leur utilisation dans les produits de consommation et en améliorant les technologies de traitement des déchets.

En conclusion, bien que notre étude n'ait pas trouvé de résultats significatifs dans certaines analyses tissulaires, les effets potentiels des microplastiques sur la santé restent un domaine de préoccupation majeur. Des recherches continues et approfondies sont nécessaires pour élucider pleinement les impacts de ces contaminants omniprésents et pour développer des stratégies efficaces de mitigation.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

1. Baekeland, L. H. (1909). The synthesis, constitution, and uses of bakelite. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1(3), 149-161.
2. Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M., et al. (Eds.). (2015). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open. Cham Heidelberg New York Dordrecht London: Springer.
3. . CPIE du Périgord limousin (2020). Histoire du plastique [PDF]. Disponible sur : <https://www.cpie-perigordlimousin.org/wp-content/uploads/2020/11/histoire-du-plastique.pdf>
4. Deng, Y., Yan, Z., Shen, R., Huang, Y., Ren, H., & Zhang, Y. (2021). Toxicité accrue pour la reproduction induite par les microplastiques contaminés par les phtalates chez les souris mâles (*Mus musculus*). *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124644.
5. Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific reports*, 7(1), 46687.
6. Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017b). L'accumulation tissulaire de microplastiques chez la souris et les réponses des biomarqueurs suggèrent des risques généralisés d'exposition pour la santé. *Scientific reports*, 7(1), 46687.
7. Du, J., Xu, S., Zhou, Q., Li, H., Fu, L., Tang, J., ... & Du, X. (2020). Un
8. examen des microplastiques dans l'environnement aquatique: distribution, transport, écotoxicologie et mécanismes toxicologiques. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 11494-11505.
9. Commission Européenne. (2017). Plastic waste: Ecological and human health impacts.
10. Kim, J., Maruthupandy, M., An, K. S., Lee, K. H., Jeon, S., Kim, J. S., & Cho, W. S. (2021). Acute and subacute repeated oral toxicity study of fragmented microplastics in Sprague-Dawley rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 228, 112964
11. Environmental Safety, 228, 112964
12. Ghosh, P. (1990). *Polymer Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites*. Tata McGraw-Hill Education.
13. Goodman, A., et al. (2022). Sources and pathways of microplastics in the environment.
14. Harper, C. A. (2000). *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*. McGraw-Hill.
15. Mu, Y., Sun, J., Li, Z., Zhang, W., Liu, Z., Li, C., ... & Du, Z.
16. (2022). Activation of pyroptosis and ferroptosis is involved in the hepatotoxicity induced by polystyrene microplastics in mice. *Chemosphere*, 291, 132944
17. Lahive, E., Walton, A., Horton, A. A., Spurgeon, D. J., & Svendsen, C. (2019). Microplastic particles reduce reproduction in the terrestrial worm *Enchytraeus crypticus* in a soil exposure. *Environmental Pollution*, 255(Pt 2), 113174.
18. Rayan, D., et al. (2009). Environmental degradation of plastics.
19. Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153-2166.
20. Waldron, S., & Phoenix, V., et al. (2017). Micro- and nanoplastic pollution of freshwater and wastewater treatment systems. *Springer Science Reviews*, 5(1-2), 19-30.

## Références bibliographiques

---

### Site internet:

39. <https://www.nationalgeographic.com/premium/article/microplastics-plaque-heart-disease>
40. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240054608>
41. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/microplastics>