

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



**Université de Blida 1**  
**Faculté des Science de la Nature et de la Vie**  
**Département De Sciences Alimentaires**

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master en  
Spécialité : **Sécurité Alimentaire Et Assurance Qualité**  
Filière : **Sciences Alimentaires**  
Domaine : **Science de la Nature et de la Vie**

Thème :

**Analyse des sels de table commercialisés en Algérie**  
**(Wilaya : Blida, Tipaza et Alger)**

Présenté par :

**LAHLAH Lynda et TOUMI Fatma zohra**

**Devant le jury composé de :**

<b>Mme Ait chaouche F.S</b>	MCB	Présidente	Université de Blida 1
<b>Mme Aloui zeghen O.</b>	MAA	Examinatrice	Université de Blida 1
<b>Mme Ghaliaoui N.</b>	MRB	Promotrice	Centre de Recherche scientifique et technique en Analyse Physicochimique (CRAPC) Tipaza
<b>Mme Fernane S.</b>	MAA	Copromotrice	Université de Blida 1

**Année Universitaire : 2021 /2022**

# ***REMERCIEMENT***

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la capacité pouvoir pour suivre nos études et de choisir un métier aussi noble.

Nous tenons à remercier notre promotrice Docteur **GHALIAOUI N.** pour leurs disponibilités, l'aide et ses précieux conseils tout au long de la période de stage pratique et pour leurs orientations durant la rédaction du rapport, sans oublier notre copromotrice Docteur **FERNANE S.**

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **AIT CHAOUICHE F.S.** et **ALOUI ZEGHEN O.** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions aussi toutes les personnes qui nous 'ont, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, permis par leur collaboration, leur soutien et leur avis judicieux, de mener à bien ce travail.

Nous exprimons nos remerciements à l'ensemble des enseignants de département Science Alimentaire en particulier Monsieur **RAMDANE** pour leur orientation et l'aide tout au long de la période de mes études ainsi l'ensemble du corps enseignant du département de science alimentaire, pour avoir un vif intérêt à notre formation.

On tient à remercier l'ensemble de responsable hiérarchique du centre de recherche **CRAPC**, qui nous ont donné cette chance pour la réalisation de ce travail, sans oublier les collègues et amies, **Sara** responsable de l'équipement FRX, pour son intervention et son soutien moral durant toute la période de stage, **Amina Sanaa, Wafia, Assia** pour leur aide et pour leur motivation

Veillez accepter nos remerciements les plus sincères.

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, ma mère et mon père Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments que dieu vous préserve et que vous donne santé et longue vie, Pour leur amour, leur soutien et leur encouragement.

A tous ceux que j'aime

A tous ceux qui m'aiment.

*Linda*

# *Dédicace*

Avec amour et fierté

Aux être les plus chers à mon cœur

Tous les mots du monde ne pourront rendre le millième de ce qu'ils ont pu me  
donner,

Pour tous les sacrifices qu'ils ont pu faire pour ma réussite :

Mon père Allah yerhmou

A ma très chère mère pour sa tendresse,

Son amour et perpétuels encouragements.

A mes adorable sœurs et frères

Et à mon mari qui m'a encouragée et soutenue tout au long de mes études

A Lynda mon binôme

*Fatma Lohra*

## RÉSUMÉ

Notre étude vise à déterminer le taux de conformité des sels alimentaires mis en vente dans 03 Wilayas de la région du centre Algérien (Alger, Tipaza et Blida). Un nombre de 92 échantillons en vente dans les commerces (Différentes superettes de grandes surfaces : Alimentation générale) ont été pris au hasard sous différentes formes de conditionnements (Sachet, Boite, Papier et carton). Ces échantillons provenant de 32 marques du sel de table les plus commercialisés. Deux échantillons (en vrac) ont été pris dans deux boulangeries de la Wilaya de Tipaza. Les analyses ont portés sur le dosage de la teneur en iode par titrage iodométrique, le dosage de la teneur en chlorure de sodium (NaCl) par Méthode de Mohr, l'humidité, la détermination des impuretés et l'analyse des éléments chimiques par fluorescence x. Les résultats obtenus montrent que pour le NaCl et l'humidité toutes les marques sont conformes tandis que pour la teneur en iode ces marques sont non conformes. Le taux des impuretés dans 17 marques est non conforme à la législation algérienne. Du sable, des cailloux, verre, plastique, débris biologique, métal sont présents dans les sels analysés.

**Mots clés :** Qualité, Conformité, iodométrique, Législation Algérienne.

## **ABSTRACT**

Our study aims to determine the compliance rate of salts sold in 03 Wilayas of the Algerian center region (Algiers, Tipaza and Blida). A number of 92 samples (from different supermarket) were taken in different forms of packaging (Sachet, Box, Cardboard paper). These samples come from 32 brands of the most marketed table salt. Two samples (in bulk) were taken from two bakeries in the Wilaya of Tipaza. The analyzes concerned the determination of the iodine content by iodometric titration, the determination of the sodium chloride (NaCl) content by Mohr's method, the humidity, the determination of the impurities and the analysis of the chemical elements by fluorescence x. The results obtained show that for NaCl and humidity all the brands are compliant while for the iodine content these brands are non-compliant. The level of impurities in 17 brands does not comply with Algerian legislation. Sand, pebbles, glass, plastic, biological debris, metal are present in the analyzed salts.

**Key words:** Salt, Quality, Compliance, Algerian Legislation

## ملخص

تهدف دراستنا إلى تحديد مدى مطابقة الملح الغذائي المعروض للبيع في 03 ولايات من الوسط الجزائري (الجزائر ، تيبازة والبليلة). تم أخذ 92 عينة من المحلات التجارية (سوبرات ومحلات التغذية العامة) بشكل عشوائي في أشكال مختلفة من التعبئة والتغليف (أكياس بلاستيكية ، علب و كرتون )، تأتي هذه العينات من 32 علامة تجارية من ملح الطعام الأكثر تسويقاً. أخذت عينتان (معبأة في أكياس كبيرة) من محلين للخبازة بولاية تيبازة. اجرينا التحاليل التالية: محتوى اليود عن طريق المعايرة ، تحديد محتوى كلوريد الصوديوم بطريقة Mohr ، الرطوبة، تحديد المواد الغير قابلة للذوبان (الشوائب)، وتحليل العناصر الكيميائية عن طريق FRX . تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أنه بالنسبة لكلوريد الصوديوم والرطوبة فإن جميع العلامات مطابقة للمعايير الجزائرية، اما بالنسبة لمحتوى اليود فان هذه العلامات غير مطابقة. مستوى الشوائب في 17 علامة من عينات الملح لا توافق المعايير الجزائرية. بعد الفحص المجهرى تبين ان عينات الملح تحتوي على الرمال ،الحصى ،الزجاج ،البلاستيك ،بقايا نباتية او حيوانية والمعادن.

### الكلمات المفتاحية:

ملح الطعام ، كلوريد الصوديوم ، المطابقة ، المعايير الجزائرية

# Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....01

## Partie bibliographique

### Chapitre 01 : Généralité sur le sel

1- Historique du sel .....	..03
2- Définition du sel.....	03
3- Caractéristiques physico-chimiques des sels.....	03
3-1- Caractéristiques Physiques.....	04
3-2- Caractéristiques Chimiques.....	..04
4- Production du sel.....	..05
5- Les différents types de sel.....	06
5-1- Sel de mer.....	07
5-2- Sel de terre .....	08
5-3- Sel ignigéne.....	08
5-4- Le sel de table .....	09
5-5- Sel raffiné.....	09
5-6 Sel de cuisine.....	10
6- Catégories des sels alimentaires .....	10
7- Besoin journalier.....	12
8- Effet du sel sur la santé.....	13
8-1- Effet bénéfique.....	13
8-2- Effet néfaste.....	13



## **Chapitre 02 : Sel de qualité alimentaire**

1- Les signes de qualité du sel alimentaire.....	15
2- Assurance qualité et sécurité alimentaire du sel .....	15
3- Sel iodé .....	15
4- Normes et caractéristiques du sel iodé .....	16
4-1- Description.....	16
4-2- Humidité.....	16
4-3- Tailles des particules.....	16
4-4- Substances insolubles dans l'eau.....	16
4-5- Teneur en chlorure.....	17
4-6- Impuretés solubles.....	17
4-7- Teneur en iode.....	17
4-8- Conditionnement.....	17
5- Les recommandations de décret exécutif .....	17
6- Législation et réglementation implication pour la surveillance du sel .....	17

## **Partie expérimentale**

### **CHAPITRE 01 : Matériels et méthodes**

1- Echantillonnage.....	19
2- Appareillage et matériels utilisés.....	21
3- Méthodes d'analyse.....	22
3-1- Humidité.....	22
3-2- Dosage de NaCl (Méthode de Mohr).....	22
3-3- Dosage de la teneur en iode par titrage .....	24
3-4- Analyse des éléments chimiques par Fluorescence des rayons X (FRX).....	26
3-5- Détermination des matières insolubles (Les impuretés) .....	27
4- Analyse statistique .....	28

### **CHAPITRE 02 : Résultats et discussion**

1- Taux de l'humidité.....	29
2- Teneur en NaCl.....	30
3- Teneur en iode .....	31
4- Analyse FRX.....	32

5- Analyse des impuretés dans le sel .....	38
<b>Conclusion</b> .....	60
<b>Références bibliographiques</b> .....	61
<b>Annexes</b> .....	64

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Cristaux de sel.....	03
<b>Figure 02</b> : Structure d'un cristal de chlorure de sodium (NaCl).....	05
<b>Figure 03</b> : Les différents modes de production du sel.....	06
<b>Figure 04</b> : Marais salants.....	07
<b>Figure 05</b> : Cueillette de la fleur de sel (A) Tas de sel de mer (B).....	08
<b>Figure 06</b> : Sel de table.....	09
<b>Figure 07</b> : Sel raffiné.....	10
<b>Figure 08</b> : Gros sel.....	11
<b>Figure 09</b> : Fleur de sel.....	11
<b>Figure 10</b> : Sel rose de l'Himalaya.....	12
<b>Figure 11</b> : Photo de l'équipement de fluorescence des rayons X.....	26
<b>Figure 12</b> : Photo de microscope optique adapté au camera.....	28
<b>Figure 13</b> : Histogramme représente la qualité des marques de sel alimentaire analysées dans cette étude.....	58

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Principales caractéristiques du chlorure de sodium.....	04
<b>Tableau 02</b> : Sources alimentaire de sel les plus importantes.....	13
<b>Tableau 03</b> : Renseignements sur les marques récupérées pour cette étude.....	19
<b>Tableau 04</b> : Taux d'humidité (%) des marques du sel alimentaire étudiées.....	29
<b>Tableau 05</b> : Teneur en NaCl (%) des marques du sel alimentaire étudiées.....	30
<b>Tableau 06</b> : Teneur en iode [mg/kg sel] dans les marques du sel alimentaire étudiées....	31
<b>Tableau 07</b> : Principaux éléments chimiques présents dans les marques du sel alimentaire étudiées (Analyse FRX).....	33
<b>Tableau 08</b> : Eléments chimiques présents en trace dans les marques du sel alimentaire étudiées (Analyse FRX).....	36
<b>Tableau 09</b> : Impuretés dans les marques du sel alimentaire étudiées.....	38
<b>Tableau 10</b> : Les différents types des particules observés.....	46

## Liste des abréviations

**AgNO<sub>3</sub>** : Nitrate d'argent

**Al** : Aluminium

**Br** : Barium

**C** : Carbone

**°C** : Degré Celsius

**CaCl<sub>2</sub>** : Chlorure de calcium

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium

**CaSO<sub>4</sub>** : Sulfate de calcium

**CFC** : Cubique à Face Centrée

**Cl** : Chlorure

**Cr** : Chrome

**Cu** : Cuivre

**Fe** : Fer

**FRX** : Fluorescence des rayons x

**g** : Gramme

**HCL** : Acide chlorhydrique

**IFS** : International Food Standard

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation

**JORA** : Journal Officiel Algérien

**KCl** : Chlorure de potassium

**kg** : Kilogramme

**KI** : Iodure de potassium

**KIO<sub>3</sub>** : Iodate de potassium

**M** : Molarité

**MI** : Matière insoluble

**MgCl<sub>2</sub>** : Chlorure de magnésium

**MgSO<sub>4</sub>** : Sulfate de magnésium

**mL** : Millilitre

**N** : Normalité

**NA** : Norme Algérienne

**Na** : Sodium

**NaCl** : Chlorure de sodium

**Ni** : Nickel

**NI** : Norme Ivoirienne

**O** : Oxygène

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**P** : Phosphore

**PM** : Poids moléculaire

**S**: Soufre

**Si**: Silicium

**SO<sub>4</sub>**: Sulfate

**Sr**: Strontium

**TDCI** : Troubles Dus à la Carence en Iode

**UNICEF** : Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

**V1** : en vrac 1

**V2** : en vrac 2

**Zn** : Zinc

# Introduction générale

Le chlorure de sodium est un sel parmi d'autres mais il est tellement familier qu'on l'appelle généralement le sel (**Tilman et al, 2021**). C'est une ressource naturelle récupérée par ébullition ou évaporation ou extraite d'une mine (**Zahidi et al, 2002**). Aliment indispensable à la vie de l'Homme (notre sang en contient environ sept grammes par litre) (**Tilman et al, 2021**) son rôle important dans les régulations physiologiques et son incidence sur certaines maladies dont le sodium est essentiel au mouvement musculaire, y compris celui du cœur, au mouvement péristaltique des voies digestives, et à la transmission des messages par les cellules nerveuses. L'une des principales fonctions du sel est de réguler la pression osmotique et le mouvement des fluides à travers les membranes cellulaires (**Venkatesh Mannar et Dunn, 1995**)

Le sel est un condiment et agent de conservation pour la consommation humaine utilisé depuis longtemps pour ces propriétés et ses bienfaits pour la santé. Il représente une saveur salée, qui est très appréciée par le consommateur, il permet de conserver certains aliments, de donner une saveur particulière, de rehausser les couleurs ( **Colin et Teissier, 2004**).

L'Algérie possède selon le Ministère de l'Energie des potentialités importantes en sel, grâce notamment à la richesse de son sous-sol en sel rocheux et aux conditions climatologiques très favorables pour la production de sel solaire dans les chotts ou lacs intra montagneux du Nord, chotts ou lacs des hauts plateaux et des hautes plaines et les chotts ou vastes dépressions de la plateforme saharienne.

Lorsqu'on parle d'un sel alimentaire, on dit sel iodé. Cet iode est apporté sous forme d'iodate de potassium ( $KIO_3$ ) après raffinage et séchage et avant emballage. L'iodation du sel alimentaire est une stratégie universelle adoptée par l'OMS et l'UNICEF afin de lutter contre les troubles liés à la carence en iode. Cet élément étant nécessaire à la glande thyroïde pour la sécrétion des hormones thyroïdiennes et servant aussi au développement intellectuel. La vente du sel iodé est imposée par la réglementation dans plusieurs pays. La qualité globale d'un sel alimentaire dépend de multiples facteurs.

En Algérie le sel est la première source d'iode du côté de pouvoir d'achat des citoyens, il entre dans la composition des produits alimentaires préparé comme le pain, les charcuteries, les fromages et les plats culinaires.

Les apports hors normes entraînent des dysfonctionnements thyroïdiens chez les sujets sensibles. Il apparaît ainsi opportun de mener dans le cadre de la lutte contre les Troubles Dus à la Carence en Iode (TDCI) une étude visant à la détermination de la teneur en iode du sel alimentaire.

Plusieurs marques de sel alimentaire ont envahi le marché algérien, dont la majorité sont produites en Algérie. L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des sels commercialisé par rapport au recommandation nationales en termes d'humidité, de NaCl, d'iode ainsi que des impuretés.



# **Partie bibliographique**

**CHAPITRE 01 :**  
**Généralité sur le sel**

## 1- Historique

L'histoire du sel commence au moment où l'Homme tente de s'impliquer dans la production effective de son alimentation et sa conservation en toutes saisons. L'utilisation première du sel était comme denrée alimentaire essentielle. Le sel est également utilisé depuis les temps préhistoriques pour donner de la saveur aux aliments, les mariner, les préserver, la salaison des viandes et du poisson, et pour la tannerie. Ces caractéristiques ont fait du sel un élément important de la culture et de la civilisation humaines (Venkatesh et Dunn, 1995).

Le sel a également eu son importance au niveau du commerce et de la politique. Il est considéré comme un outil précieux et utilisable dans les transactions économiques. Il fut toujours considéré comme une denrée rare et chère, jusqu'au XIXe siècle, il fut même appelé or blanc.

## 2- Définition du sel

Le sel est un minéral, de qualité alimentaire ; c'est un sel que nous consommons, appelé « sel alimentaire » ou « sel de table » ou encore « sel de cuisine », est un produit cristallin se composant principalement de Chlorure de sodium (NaCl) (99,9%) (Figure 01). Il contient près de 40 % de sodium (Na) et un peu moins de 60 % de chlorure (Cl). Il est utilisé en cuisine et plus généralement dans l'alimentation (Fourcade, 2014) comme condiment ou comme agent de conservation ou de préparation dans l'industrie agroalimentaire (OMS, 2002).



Figure 01 : Cristaux de sel (Dupas-Langlet, 2013).

## 3- Caractéristiques physico-chimiques des sels

Au sens large du terme, le sel désigne toutes les substances qui résultent de la réaction d'un acide avec une base. Les caractéristiques des sels sont la liaison des ions, les températures de fusion élevées, leur qualité de conducteur d'électricité en fusion et en solution et la structure cristalline.

### 3-1- Caractéristique Physique

Les sels sont des composés ioniques ayant un point de fusion relativement élevé. Ils sont conducteurs d'électricité à l'état fondu ou en solution, et ont une structure cristalline à l'état solide. A des degrés divers, les sels habituellement commercialisés renferment principalement du chlorure de sodium NaCl (**Lozach, 2001**). Les principales caractéristiques du NaCl sont résumées dans le tableau 01.

**Tableau 01** : Principales caractéristiques du chlorure de sodium (Kaufmann, 1960).

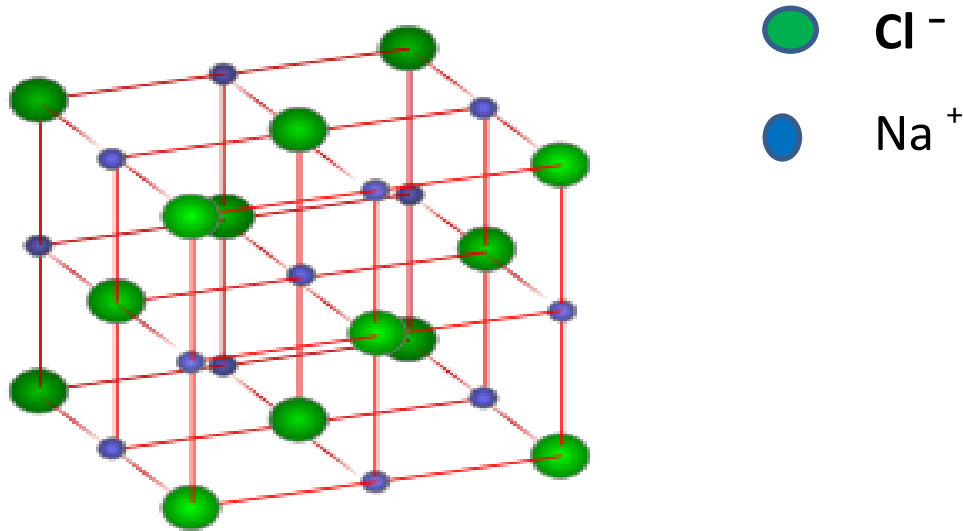
<b>Dénomination minéralogique</b>	Halite
<b>Cristallisation</b>	Cubique
<b>Formule chimique</b>	NaCl
<b>Masse moléculaire</b>	58,45 g.mol <sup>-1</sup>
<b>Densité du monocristal</b>	2,165
<b>Densité du NaCl en fusion (801 °C)</b>	1,549
<b>Dureté (Indice MOHS)</b>	2à2,5
<b>Solubilité (0 °C)</b>	357 g/L d'eau
<b>Température d'ébullition de la saumure saturée</b>	108,8 °C
<b>Température d'ébullition du sel fondu</b>	1,449 °C
<b>Température de fusion</b>	801 °C

### 3-2- Caractéristiques Chimiques

#### 3-2-1- Structure chimique

Le chlorure de sodium est un cristal ionique de formule chimique NaCl qui est constitué d'ions sodium : Na<sup>+</sup>, et d'ions chlorures : Cl<sup>-</sup> dans une structure cristallographique cubique à face centrée (CFC) (Figure 02). C'est un solide blanc, soluble dans l'eau à toute température, légèrement soluble dans l'alcool et insoluble dans l'acide chlorhydrique concentré (HCl) (**Lozach, 2001**).

En solution, Na Cl se dissout, suivant l'équation :  $\text{Na Cl(s)} \rightarrow \text{Na}^+ \text{(aq)} + \text{Cl}^- \text{(aq)}$  La solution est alors ionique, ce qui explique le passage aisé du courant électrique (**Claude Viel,1997**).



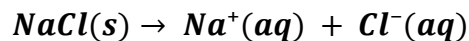
**Figure 02** : Structure d'un cristal de chlorure de sodium (NaCl) (Claude Viel,1997).

### 3-2-2- Solubilité :

Totalement insoluble dans l'acide chlorhydrique (HCl), le sel est faiblement soluble dans l'alcool, légèrement soluble dans l'ammoniac et soluble dans la glycérine (93 g de sel par kg). La solubilité dans l'eau est importante (environ 360 g de sel par kilogramme d'eau). Elle varie peu avec la température (**Lozach, 2001**).

### 3-2-3- Conductivité

Le sel est un électrolyte, en solution aqueuse, NaCl se dissout, suivant l'équation :



La solution est alors ionique et conductrice du courant électrique (**Lozach, 2001 ; Colin et Teissier, 2004**). Cette propriété importante est utilisée dans l'industrie productrice de chlore, de soude et de sodium. Les solutions salines favorisent les phénomènes de corrosion de certains métaux, en particulier le fer et l'acier.

## 4- Production du sel

On obtient du sel par évaporation solaire de l'eau de mer et de saumures lacustres ou phréatiques depuis des temps immémoriaux. Dans la plupart des pays en développement,

cette méthode prédomine toujours. L'extraction du sel de l'eau de mer consiste à graduellement faire évaporer la saumure dans de grands marais salants en exploitant le soleil et le vent. A mesure que s'évapore la saumure, sa concentration augmente, et les éléments salins se cristallisent dans un ordre déterminé. Durant ce processus, la fraction de chlorure de sodium est séparée de la saumure selon une série fixe d'étapes de concentration dans une suite des bassins rectangulaires ou il se dépose en croûte uniforme. Ce sel est ensuite récolté selon divers procédés qui vont de la simple main-d'œuvre manuelle jusqu'à l'utilisation d'équipements mécaniques pour gratter le sel et le convoier à travers une série de tapis roulants pour entreposage et drainage.

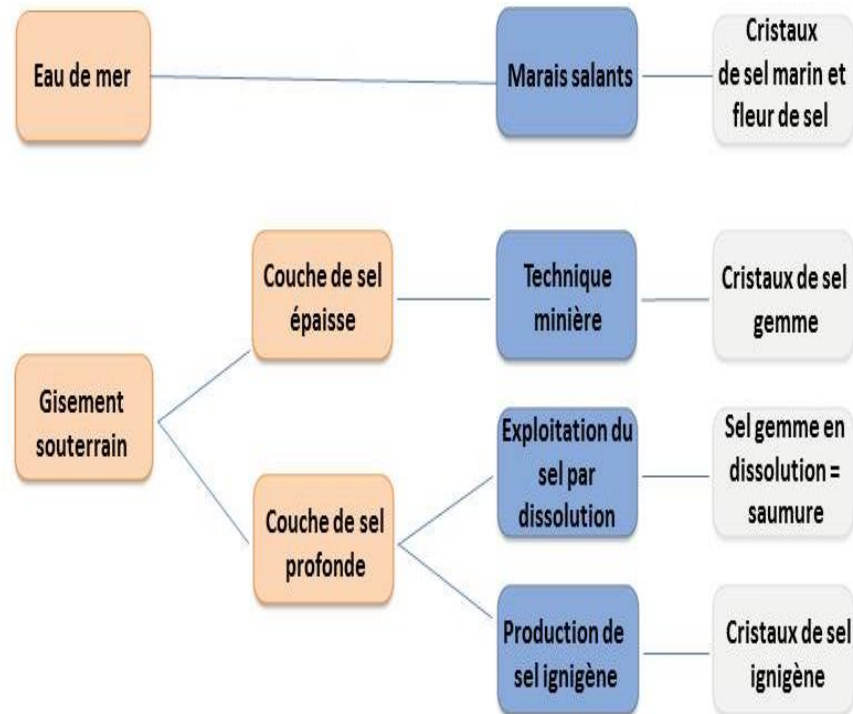


Figure 03 : Les différents modes de production du sel.

### 5- Les différents types de sel

Il existe plusieurs types de sel, selon :

- Son origine (sel de mer, sel gemme, provenant de gisements terrestres),
- Son degré de raffinement (raffiné ; non raffiné),
- La grosseur ou l'apparence de ses grains (gros ; en cristaux ; fins) (**Fofana, 2007**).

### 5-1 Sel de mer

Il provient toujours directement de l'eau de mer, par évaporation, soit de manière naturelle, sous l'effet du soleil, soit d'une façon industrielle par ébullition et assèchement (**Hoet-van Cauwenberghe et al, 2017**), dans les marais salants (Figure 04) qui se repose sur la cristallisation du sel contenu dans l'eau de mer, sous l'action conjuguée du soleil et du vent.



**Figure 04** : Marais salants

Le processus de production se fait comme suit : L'eau, qui est pompée de la mer, est dirigée dans des bassins peu profonds ou des plans d'eau artificiels. L'eau s'évapore petit à petit, augmentant la concentration en sel. Après retrait de l'eau résiduelle, Si les conditions météorologiques le permettent, une très fine pellicule de sel se formant à fleur d'eau peut être récoltée manuellement (Figure 05-A). Le sel est stocké en tas (Figure 05-B) ou sous hangar, pour le protéger des intempéries ensuite il est conditionné en fonction de son utilisation ultérieure (**Hanitriniaina, 2009**).



**Figure 05 :** Cueillette de la fleur de sel (A) Tas de sel de mer (B)

### 5-2 Sel de terre

Le sel extrait des mines appelé sel minier ou sel de terre dit aussi sel de gemme ou halite, c'est une roche évaporitique, déposée à la suite de l'évaporation d'eau de mer et souvent associée à d'autres évaporites, gypse ou anhydrite, ou des sels de potassium, sylvinite ou carnallite. L'extraction du sel gemme se fait soit par exploitation minière (tant que la profondeur ne dépasse pas quelques hectomètres de profondeur) soit par lessivage pour l'exploitation de gisement profonds. La profondeur des gisements de sel est très variable, puisqu'on en trouve affleurant à la surface, ou à plusieurs centaines deux à trois milliers de mètres de profondeur. La production du sel gemme nécessite la réalisation d'ouvrages souterrains et la présence d'argile et d'oxydes métalliques lui donne une couleur tirant sur le gris ou le rouge (Tilman et al, 2021 ; Camille et Mickaël, 2014). Ce sel est principalement utilisé par l'industrie chimique, la consommation humaine, le déneigement et le déverglage des routes, et l'agriculture.

### 5-3 Sel ignigène

On appelle ignigène le sel produit lors de la cristallisation du chlorure de sodium par évaporation de l'eau des saumures. Cette évaporation peut être naturelle ou provoquée par l'homme qui chauffe l'eau salée par la mise à cuire dans des récipients placés sur un foyer (Boie, feu). Cette technique possède un point faible notamment la grande consommation de combustible en l'occurrence du bois.



La production de ce type de sel nécessite la réalisation d'ouvrages souterrains, ce sel est surtout utilisé comme matière première de l'industrie chimique pour la production de soude et de chlore notamment.

#### 5-4 Le sel de table

Le sel de table ou le sel naturel n'est pas raffiné comme son nom l'indique c'est un sel dont la composition minéralogique est encore intacte, qui n'a pas encore subi des traitements de purification, il possède une richesse en minéral incomparable par rapport aux autres sels, il est plus riche en magnésium (sous forme de chlorure de magnésium), en oligo-éléments et en fer. Cependant, les sels naturels peuvent ne pas contenir suffisamment d'iode ils sont généralement destinés à l'alimentation grâce à la quantité importante en magnésium et oligo-éléments (**Dupas-Langlet, 2013**).



**Figure 06 : Sel de table**

#### 5-5 Le sel raffiné

C'est un sel de couleur très blanche jusqu'ici fréquemment préféré par le consommateur. Il est composé de NaCl pratiquement pur (99,9 %), ce type de sel reste le plus employé dans l'alimentation mais aussi utilisé dans différents domaines (additifs, papiers, textiles, production de savons et détergents). Aujourd'hui, la majeure partie du sel raffiné est préparée à partir du sel gemme extrait des mines de sel (**Rafanomezantsoa, 2014**).



**Figure 07 : Sel raffiné**

### **5-6 Le sel de cuisine**

C'est un sel raffiné contenant 95 % ou plus du chlorure de sodium presque pur, souvent iodé et fluoré. Il contient habituellement des substances qui empêchent le colmatage des cristaux (des agents antiagglomérants) comme le silico-aluminate de sodium et une quantité infime de sucre inverti pour empêcher le sel de tourner en une couleur jaune une fois exposé à la lumière du soleil, et pour empêcher une perte d'iode par vaporisation. Le sel de table est principalement utilisé en cuisine et à table comme condiment (CSF, 2011).

## **6- Catégories des sels alimentaires**

### **6-1- Gros sel**

Ce sel aux cristaux grossiers qui sont nés d'une évaporation d'eau très lente, a évidemment un énorme pouvoir salant, il n'est pas l'utiliser pour aromatiser une sauce il est parfait pour l'eau de cuisson des pâtes et on peut aussi l'ajouter en fin de cuisson pour ajouter du croquant à la préparation. Le gros sel est riche en magnésium et en oligo-éléments (Cole & Mason, 2019).



**Figure 08 :** Gros sel

### **6-2- Sel fin**

Il est extrait du gros sel au préalable séché et ensuite broyé finement. Il possède les mêmes richesses en magnésium et oligo-éléments que le gros sel. On l'utilise pour saler tous types de plats.

### **6-3- Fleur de sel**

La fleur de sel est le résultat d'une récolte minutieuse avec une écumoire à la surface des marais salins, elle est plus fine et parfumée elle est composée de petits cristaux d'un blanc très pur. Sa particularité est qu'elle conserve une certaine humidité. La fleur de sel ne se cuit pas, elle peut être ajoutée sur les préparations avant de déguster pour profiter de son croquant et de ses saveurs (Cole & Mason, 2019).



**Figure 09 :** Fleur de sel

#### **6-4- Sel rose de l'Himalaya**

Ce sel de terre est naturel, il est considéré comme le sel le plus pur au monde car il n'est ni iodé, ni raffiné. Il n'a subi aucune transformation et ne contient aucun additif. Sa couleur rosée est due à sa forte teneur en fer il permet une bonne régénération du sang et améliore la circulation ainsi à améliorer les fonctions respiratoires. Il s'utilise partout, comme un sel classique. Il est légèrement moins salé qu'une fleur de sel mais plus qu'un sel marin classique, sa faible teneur en sodium en fait l'allié parfait pour les personnes hypertendues (Cole & Mason, 2019).



**Figure 10** : Sel rose de l'Himalaya

#### **7- Besoin journalier**

Le sodium est un élément minéral très présent et nécessaire au bon fonctionnement dans l'organisme, il est apporté par l'alimentation sous forme de sel. Des apports trop importants sont un facteur de risque d'hypertension artérielle, ses apports nutritionnels recommandés, les risques de carences ou de surdosage. Pour cela, l'OMS recommande une consommation moyenne journalière de 10g alors qu'un apport de 2g semble suffisant donc le sel est nécessaire à notre bien-être, car à petites doses il a des effets bénéfiques et freine entre autres la déshydratation.

Quatre-vingts pourcent (80%) de notre consommation quotidienne de sel correspond en fait à des apports cachés contenus dans des produits alimentaires. Le pain, le fromage et les viandes travaillées seraient responsables de plus de 50% de notre consommation quotidienne en sel. Les 10 sources alimentaire de sel les plus importantes représenté dans le tableau suivant :

Tableau 02 : Sources alimentaires de sel les plus importantes

Aliments	Source quotidienne en %	Apport moyen (g / jour)
1. Pain	26	1.7
2. Charcuteries (salami, jambon)	15	1.1
3. Fromages	10	0.7
4. Sauces (mayonnaise...)	8	0.6
5. Soupes	6	0.5
6. Produits laitiers	5	0.3
7. Pâtisseries et viennoiseries	5	0.3
8. Viandes fraîches et volailles	4	0.2
9. Snacks	3	0.2
10. Chips, toasts...	3	0.2

## 8- Effet du sel sur la santé

### 8-1- Effet bénéfique

Le sel joue un rôle essentiel dans l'organisme humain en maintenant l'équilibre hydrominéral, il règle la répartition de l'eau corporelle, la combinaison de sodium et de chlore aide à l'équilibre des fluides dans le cerveau, il intervient dans la régulation de la pression et du volume sanguin, facilite la digestion en maintenant l'acidité de l'estomac et permet la transmission de l'influx nerveux. Donc le sel joue un rôle capital à la fois au niveau du cerveau et du cœur car il y a transmission des ordres et réception des informations au travers des neurones. Toute carence est nuisible à la santé. L'insuffisance de sel est en effet à l'origine de troubles allant du malaise léger à la prostration, qui peut être fatale à l'organisme si la déficience n'est pas corrigée dans un délai très bref (**Fourcade, 2014**).

### 8-2- Effet néfaste

Le sel constitue un élément essentiel de l'équilibre physiologique de l'organisme humain et peut avoir des effets négatifs sur la santé s'il n'est pas consommé avec modération. Un excès du sel est fortement suspecté dans l'apparition et l'aggravation de certaines maladies, il augmente l'élimination de calcium dans les urines et le risque d'ostéoporose. Une alimentation trop riche

en sel constitue un des facteurs de risque d'hypertension artérielle et des maladies cardiovasculaires et également entraîne des problèmes de rétention d'eau. Le sel peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine, il est donc important de réguler son apport dans l'alimentation (**Fourcade, 2014**).

## **CHAPITRE 02 :**

# **Sel de qualité alimentaire**

### 1- Les signes de qualité du sel alimentaire

Seul un sel dépassant une pureté de 97% (minimum exigé sur extrait sec) est reconnu comme « alimentaire » par le *Codex Alimentarius* (2006) au niveau international. La réglementation française, dans un décret de 2007 (**Décret n°588-2007**), précise également que le sel de qualité alimentaire ne doit pas contenir moins de 97% de NaCl sur extrait sec (**Le décret du 24 avril 2007**). L'utilisation dans les produits alimentaires d'un sel dont la pureté est inférieure à ce seuil n'est pas conforme à la réglementation et pourrait présenter un risque sanitaire. Seul un sel pur à 97% de NaCl sur extrait peut être iodé et fluoré (**Arrêté du 24 avril 2007**). Le sel prend la couleur des insolubles qu'il contient à l'état brut (argiles notamment, pour le sel de mer). Une fois que le sel est lavé, la blancheur du sel est un signe de qualité et de pureté (CSF, 2008).

### 2- Assurance qualité et sécurité alimentaire du sel

Garantir une qualité de sel allant au-delà des normes internationales et de la réglementation nationale en vigueur, développer les meilleures pratiques pour répondre aux exigences en matière d'hygiène, de sécurité et de santé des personnes ; cela passe par un contrôle de toutes les étapes, de la production à la commercialisation du sel (CSF, 2008).

Tout au long de la filière, les signataires de la Charte mettent en place : des mesures préventives conformes aux méthodes de référence internationale (CSF, 2008) en matière d'assurance qualité (ISO, IFS-International Food Standard,) et de traçabilité ; des contrôles aux différents stades de la production, pour vérifier :

- La teneur en chlorure de sodium,
- Le degré d'humidité,
- La teneur en sels secondaires (magnésium, potassium, calcium et sulfate),
- La teneur en iode et en fluor,
- La granularité ;

Des contrôles relatifs aux rejets (effluents salés) ; des règles strictes de conditionnement, de stockage et de transport rigoureusement respectées pour que les propriétés du sel ne s'altèrent pas et que sa qualité reste alimentaire (Tilman et al, 2021)

### 3- Sel iodé

L'iode est un constituant essentiel des hormones thyroïdiennes et un régulateur des fonctions de la glande thyroïde. En 1990, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a recommandé



l'iodation universelle du sel alimentaire comme stratégie de prévention et de contrôle, des troubles dus à la carence iodée, l'Algérie est un des pays qui a adhéré à cette stratégie qui lutte contre les troubles dus à une carence en iode (**WHO, UNICEF, ICCIDD, 1993 ; RIH, 2020**).

Compte tenu de l'importance sanitaire de la supplémentation en iode, et des qualités reconnues du sel comme vecteur efficace pour les micronutriments dont l'ingestion est déficitaire comme l'iode et le fer d'où risque d'arriération mentale et anémie, les producteurs soutiennent l'iodation du sel, notamment auprès des populations et pays les moins favorisés.

Le sel est devenu le vecteur le plus communément accepté pour plusieurs raisons :

- Une denrée presque universellement consommée par toutes les couches de la population et cela à peu près au même rythme durant toute l'année.
- Le mélange d'un composé iodé avec du sel est une opération simple qui ne nécessite aucun équipement complexe.
- Une proportion majeure du sel produit est extraite de l'eau de mer. L'eau de mer contient de l'iode en plus du sel. Cependant lorsque l'eau de mer s'évapore, seule une petite portion de l'iode est retenue dans le sel. Par conséquent, l'iodation ne fait que restaurer un élément naturel du sel de mer.
- L'adjonction d'iode au sel (ordinairement sous forme d'iodure ou d'iodate) ne modifie en rien sa couleur, son goût ou son odeur. Il est quasiment impossible de distinguer morphologiquement le sel iodé du sel non iodé.

#### **4- Normes et caractéristiques du sel iodé**

##### **4-1 Description**

Le sel doit être fait de cristaux solides ou de poudre, de couleur blanche, sans résidus visible d'argile, de sable, de gravier ou d'autre corps étrangers. Une solution à 10% dans l'eau doit être claire, sans couleur, et sans réaction chimique évidente.

**4-2 Humidité :** Le sel ne doit pas contenir plus de 3 % d'humidité (poids) lorsque analysé par les méthodes de dessiccation recommandées par l'OMS.

**4-3 Tailles des particules :** Pour ce qui est du gros sel, un minimum de 95 % du gros sel doit passer à travers un tamis standard de 4 mm.

**4-4 Substances insolubles dans l'eau :** Les substances insolubles dans l'eau ne doivent pas dépasser 0.2 %(poids).

**4-5 Teneur en chlorure :** Au moins 97 % exprimée comme NaCl.

**4-6 Impuretés solubles :** Le magnésium, exprimé sous forme de chlorure de magnésium, ne doit pas dépasser 0.5 %.

**4-7 Teneur en iode :** Le composé utilisé devrait être de l'iodate de potassium ( $KIO_3$ ).

**4-8 Conditionnement :** Le conditionnement doit se faire dans des sacs de polypropylène tissé ou dans des sacs de jute propres jamais utilisés (**UNICEF,1994**).

### **5- Les recommandations de décret exécutif**

**Article 1<sup>er</sup> :** Dans le but de prévenir les troubles dus à une carence en iode et notamment le goitre endémique ; il ne peut être vendu, sur l'ensemble du territoire national, pour les usages alimentaires, que du sel iodé répondant aux caractéristiques techniques définies à l'article 2 ci-dessous.

**Article. 2 :** Le sel iodé doit comporter, au moins, 3 parties d'iode pour 100.000 parties du sel et au plus ,5 parties d'iode pour 100.000 parties du sel. Cet iode doit être apporté sous forme d'iodate de potassium.

Les quantités nécessaires de ce composé sont de 50.55 mg d'iodate par kilogramme de sel, pour le dosage minimum et de 84.25 mg d'iodate par kilogramme de sel, pour le dosage maximum.

**Article.3 :** Le sel iodé doit être conditionné et commercialisé à la sortie d'usine sous emballage consistant en des sachets, boîtes, flacons ou tout autre emballage conforme aux normes homologuées ou aux spécifications légales et réglementaires. L'emballage doit être scellé, imperméable et chimiquement stable et doit porter notamment l'indication du taux ou de la quantité totale du composé iodé contenu, ainsi que le nom de l'entreprise productrice, conformément aux dispositions réglementaires en matière d'emballage et d'étiquetage des produits à usage alimentaire (**Décret exécutif n° 90-40, 1990**).

### **6- Législation et réglementation implication pour la surveillance du sel**

A mesure que procède l'iodation du sel, la législation et la réglementation doivent venir à disposition que tout sel destiné à la consommation humaine doit être iodé, et des mécanismes exécutoires devront exister pour s'assurer que les normes gouvernementales sont respectées (**Nathan, 1994**). Il faut doter les organismes de réglementation de pouvoirs d'inspection et d'imposition de mesures correctives lorsqu'ils décèlent des situations insatisfaisantes.

Lorsque l'on formule une législation sur le sel, il est fréquent que l'on attribue à l'autorité nationale chargée du contrôle des aliments, ou à un éventuel organisme de vérification du respect des normes, la responsabilité juridique ainsi que les pouvoirs pour tester et inspecter le sel à différents points du réseau de distribution, y compris l'importation, la production, et la vente en gros. En outre, le ministère de la Santé, ou un organisme analogue, reçoit souvent pour mandat de contrôler l'approvisionnement des ménages en sel et sa teneur en iode, et parfois même d'inspecter chez les détaillants. Il existe plusieurs mécanismes exécutoires pour s'assurer que les producteurs, négociants et détaillants se plient à la législation sur le sel. Ces mécanismes varieront d'un pays à l'autre. Ils seront d'autant plus efficaces s'il existe des encouragements et des sanctions clairement énoncés et lorsque les organismes de réglementation disposent de l'autorité voulue, et surtout des capacités requises pour l'exercer (**Sullivan et al, 1995**).

Ordinairement, les producteurs de sel sont également tenus de vérifier régulièrement si la teneur en iode est adéquate dans chaque lot (contrôles internes) ; souvent au moyen d'une trousse d'analyse sommaire ou par des méthodes de titrage sur un certain nombre d'échantillons. Les producteurs sont également tenus de faciliter la tâche aux autorités compétentes qui vérifieront, à intervalles réguliers, les résultats de leurs propres vérifications internes (**Sullivan et al, 1995**).

# **Partie expérimentale**

# **CHAPITRE 01 :**

## **Matériels et méthodes**

### 1- Echantillonnage

La collecte des échantillons de sels de table s'est faite au niveau de 03 Wilayas du centre Algérien (Tipaza, Blida et Alger). Un nombre de 92 échantillons en vente dans les commerces (Différentes superettes de grandes surfaces et alimentation générale) ont été pris au hasard sous différentes formes de conditionnements (Sachet, boîte, papier et carton). Ces échantillons provenant de 30 marques de sels de table les plus commercialisés. Deux échantillons (en vrac) ont été pris dans deux boulangeries de la Wilaya de Tipaza. La majorité des paquets achetés ont été contrôlés visuellement afin de vérifier que le paquet de sel était intacte, fermé et qu'il porte les différentes renseignements concernant les entreprises productrices, la date de fabrication et de péremption, les compositions. Un numéro est attribué à chaque marque selon l'ordre de prélèvement, et V1, V2 pour les échantillons en vrac.

**Remarque :** Certains échantillons ont été fournis par l'association de protection du consommateur (Tipaza).

Tous les échantillons ont été transporter au Centre de Recherche et technique en Analyse PhysicoChimique (CRAPC, Bou Ismail) pour l'analyse.

**Tableau 03 :** Renseignements sur les marques récupérées pour cette étude

Marque	Nature de sel (Mer/nature)	Paye d'origine	Date de production	Emballage	Conditionnement	Etat
01	Chott	Algérie (El Oued)	Sept-20	Sachet	1 KG	Très fin
02	Chott	Algérie (El Oued)	Juil-20	Sachet	1 KG	Fin
03	Chott	Algérie (El Oued)	Mai-20	Sachet	1 KG	Fin
04	Chott	Algérie (Biskra)	Juin-20	Sachet	1 KG	Fin
05	Chott	Algérie (Sétif)	Déc-20	Sachet	1 KG	Fin
06	Chott	Algérie (El Oued)	Sept-20	Sachet	1 KG	Fin
07	Sel de mer	Italie	Mai-20	Boite	250g	Gros

<b>08</b>	Sel de mer	France	Oct-2020	Sachet	1 KG	Gros
<b>09</b>	Sel de mer	France	Janv-2021	Carton	1 KG	Fin
<b>10</b>	Sel de mer	France	Fevr-2020	Sachet	1 KG	Fin
<b>11</b>	/	Pakistan (Emballage Alger)	Janv-21	Sachet et carton	250g	Gros
<b>12</b>	/	Pakistan (emballage Alger)	Janv-21	Sachet et carton	250g	Fin
<b>13</b>	/	Algérie (Alger)	Mars-20	Boite	250g	Extra fin
<b>14</b>	/	Algérie (Alger)	À consommer avant 01/09/2023	Boite	230 g	Fin
<b>15</b>	/	Algérie (Alger)	Oct-20	Boite	200g	Fin
<b>16</b>	Sel de mer	Italie	Mars-2021	Boite	250g	Fin
<b>17</b>	Sel de mer	France	Janv-21	Boite	125g	Fin
<b>18</b>	/	Algérie (Alger)	À consommer avant 01/04/2022	Sachet et carton	1 KG	Fin
<b>19</b>	/	Algérie (El Oued)	Mars-21	Sachet	1 KG	Fin
<b>20</b>	/	Algérie (El Oued)	Nov-20	Sachet	1 KG	Fin
<b>21</b>	/	Algérie (Alger)	À consommer avant 01/04/2023	Boite	500g	Fin
<b>22</b>	/	Algérie (Bejaia)	Juil-19	Boite	200g	Fin
<b>23</b>	/	Algérie (Alger)	Oct-2022	Sachet	2 KG	Gros
<b>24</b>	Chott	Algérie (El Oued)	Août-20	Sachet	1 KG	Fin

25	Chott	Algérie (El Oued)	Janv-21	Sachet	1 KG	Fin
26	Sel de mer	France	Janv-21	Boite	600g	Gros
27	Sel de mer	France	Juillet-2020	Boite	600g	Fin
28	/	Algérie (Constantine)	Janv-21	Sachet	900g	Fin
29	Sel de la nature	Algérie (El Oued)	Mai-20	Sachet	1kg	Fin
30	Sel de la nature	Algérie	Aout-2021	Sachet	1kg	Fin
V1	/	Algérie (El Oued)	Nov-20	Sachet	1 KG	Gros et fin
V2	/	/	/	/	Vrac	Gros et fin

## 2- Appareillage et matériels utilisés

- Balance (KERN plus)
- Bécher de 100ml
- Fiole jaugée de 1L, 2L et 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Verre de montre
- Pissette d'eau
- Spatule
- Micro pipette
- Eprouvette graduée
- Burette graduée de 25 ml
- Poire
- Dessiccateur
- Etuve MEMMER+
- Hôte (Electrotech Système).
- Statif



- Plaque agitatrice
- Barreau magnétique
- Dispositif de filtration est composé de : entonnoir de Buchner, fiole à vide
- Pompe à vide (COMECTA IVYMEN)
- Pastilleuse (SPECAC)
- équipement de FRX « ZSX primusl de Rigaku ».

### 3- Méthodes d'analyse

#### 3-1- Humidité

##### a- Principe :

L'humidité est déterminée par dessiccation à l'étuve à la température de 110°C jusqu'à masse constante selon la norme algérienne (NA 7035 -1993).

##### b- Mode opératoire :

Dans un creuset préalablement séché à la température de 110°C, refroidi en dessiccateur et taré, peser environ 10g de l'échantillon.

Placer le creuset contenant la prise d'essai dans l'étuve à 110°C.

Après séchage, porter l'échantillon dans le dessiccateur. Après refroidissement, on procède à la pesée.

Répéter ces opérations jusqu'à masse constante, c'est-à-dire jusqu'à ce que deux pesées consécutives, effectuées à 1h d'intervalle environ, ne diffèrent pas plus de 0.2mg.

##### c- Expression des résultats

L'humidité en pourcentage est déterminée selon la formule suivante :

$$H(\%) = (m1 - m2) * 100/m1$$

D'où :

*m1* est la masse, en gramme, de la prise d'essai avant dessiccation;

*m2* est la masse en grammes, de la prise d'essai après dessiccation;

#### 3-2- Dosage de NaCl (Méthode de Mohr)

La méthode de Mohr est une méthode de titrage des chlorures. Elle consiste en un dosage argentimétrique des ions chlorures par le nitrate d'argent en présence de chromate de sodium. Ce dernier est l'indicateur coloré qui réagit en fin de dosage pour former le chromate d'argent,

apparaissant comme un précipité rouge brique. Cette méthode doit son nom au pharmacien allemand Karl Friedrich Moh (**Labidi, 2020**).

**a- Principe :**

Cette manipulation détermine la concentration des ions chlorures  $\text{Cl}^-$  contenus dans un échantillon moyennant un dosage argentimétrique (par une solution de nitrate d'argent  $\text{AgNO}_3$ ) en présence du chromate de potassium  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  comme indicateur coloré.

**b- Préparation des solutions :**

- **Préparation de la solution NaCl standard :**

- Dissoudre 0.584g de NaCl dans une fiole jaugée de 100ml d'eau distillée.

- **Préparation de nitrate d'argent :**

-Peser 1.669g de  $\text{AgNO}_3$ .

-Dissoudre dans 100ml d'eau distillée dans une fiole jaugée.

- **Préparation de chromate de potassium :**

-Peser 5g de chromate de potassium.

-Dissoudre dans 100ml d'eau distillée dans une fiole jaugée.

**c- Mode opératoire :**

**Dosage de l'étalon :**

On prélève 10 ml d'un étalon (NaCl) que l'on verse dans un Erlenmeyer auquel on ajoute 1ml de chromate de potassium.

On dose les ions chlorures et on note le volume.

**Dosage d'un échantillon :**

On prélève cette fois-ci 10 ml échantillon que l'on verse dans un Erlenmeyer auquel on ajoute 1ml de chromate de potassium.

On dose les ions chlorures et on note le volume.

La teneur en NaCl est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{NaCl (\%)} = \frac{V \times 0.0972 \times 0.00584}{m \times 0.1} \times 100$$

**V** : Virage de l'indicateur.

**0.0972** : Coefficient.

### 3-3- Dosage de la teneur en iode par titrage

L'iodation du sel alimentaire se fait par addition d'iodate de potassium  $KIO_3$ . La teneur en iode du sel iodé est déterminée par une méthode volumétrique : l'iodométrie. Cette méthode iodométrique décrite ci-dessous a été publiée dans l'arrêté ministériel du 25 Dhou El Hidja 1432 correspondant au 21 novembre 2011 rendant obligatoire la méthode de détermination de la teneur en iode dans le sel alimentaire (JORA, 2013).

#### a- Principe

Par addition d'un acide et d'iodure de potassium (KI), l'iodate de potassium ( $KIO_3$ ) contenu dans le sel est réduit en iode moléculaire ( $I_2$ ). Cette quantité d'iode  $I_2$  est équivalente à la quantité d'iodate dans le milieu (sel) ; l'iode libéré est titré par une solution de thiosulfate de sodium standard ( $Na_2S_2O_3$ ). L'amidon est utilisé comme indicateur de fin de titrage.

#### b- Préparation des solutions

- **Eau distillée** : laisser bouillir pendant 5 mn, la refroidir, la conserver dans des flacons bruns à l'abri de la lumière, de l'oxygène, de l'air et du froid.
- **Thiosulfate de sodium** ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ , PM = 248,2):

Solution mère : 0,1 M (ou 0,1 N ou M/10 = N/10) : dissoudre 24,82 g de  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  dans une fiole jaugée avec de l'eau distillée, compléter le volume à 1 litre.

Solution de dosage : (0,002 N ou N/500) : Pipeter 20 ml de la solution mère 0,1 N dans une fiole Jaugée de 1000 ml, compléter le volume à 1000 ml.

- **Iodate de potassium** ( $KIO_3$ , PM = 214) : solution étalon à 0,050 g/l :

Dissoudre 10 g de  $KIO_3$  dans 1 litre d'eau distillé (solution mère), introduire 5 ml de solution mère dans une fiole jaugée de 1000 ml, compléter le volume à 1000 ml.

- **Iodure de potassium** (KI) à 10% (P/V) :

Dissoudre 10 g de KI dans une fiole de 100 ml, compléter le volume à 100 ml.

Note : Cette solution doit être préparée au moment de l'emploi.

- **Solution d'amidon** à 0,25% (P/V) :

Dissoudre 2,5 g d'amidon soluble dans 100 ml d'eau distillée, ajouter 900 ml d'eau distillée chaude, et 5 mg de  $HgI_2$  ou de KCN.

- Faire bouillir pendant 5 minutes ;
- Ajouter 1 g d'acide salicylique ;
- Refroidir et boucher.

- **Acide acétique glacial** ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ou acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2N :

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 80 ml d'eau distillée, y ajouter avec précaution 5,56 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $d = 1,83$  à  $96,3\%$ ), compléter le volume avec de l'eau distillée à 100 ml.

### **c- Mode opératoire**

#### **Etalonnage de la solution de thiosulfate (0,002 M ou N/500) :**

Dans un erlenmeyer contenant environ 800 ml d'eau distillé :

- Introduire 5 ml de la solution étalon de  $\text{KIO}_3$  (à 0,05 g/l) ;
- Ajouter 5 ml de solution de KI à 10 % et 5 ml d'acide acétique pur ;
- Boucher et laisser reposer 5 minutes à l'obscurité ;
- Titrer par la solution de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (0,002N) jusqu'à obtention d'une couleur jaune pâle ;
- Ajouter 5 ml de la solution d'amidon, on obtient une coloration bleue ;
- Continuer titrer par le thiosulfate jusqu'à la disparition de la couleur bleue, soit  $V =$  volume de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  utilisé et  $N =$  Normalité de la solution de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Calcul :  $N = 0,007/V$ .

#### **Analyse de l'échantillon :**

- Peser  $10 \pm 0,01$  g de sel à tester, préalablement desséché au dessiccateur ;
- Introduire le sel dans un erlenmeyer de 250 ml ;
- Le dissoudre dans 100 ml d'eau distillée, bouillie et refroidie ;
- Ajouter 1 ml d'acide acétique glacial ;
- Ajouter 1 ml de KI à 10 %, on obtient une coloration jaune, boucher et laisser reposer pendant 5 minutes à l'obscurité ;
- Titrer avec la solution de thiosulfate 0,002 N jusqu'à obtention d'une coloration jaune pâle ;
- Ajouter alors 5 ml de solution d'amidon, on obtient une coloration bleue ;
- Continuer à titrer avec la solution de thiosulfate jusqu'à la disparition de cette coloration bleue ;
- Noter le volume de solution de thiosulfate nécessaire au dosage : ( $V_1$ ) ;
- Parallèlement faire un témoin dans les mêmes conditions, sur 100 ml d'eau distillée,

bouillie et refroidie.

- Noter le volume (V2) ;
- Doser chaque échantillon à deux reprises.

### **3-4- Analyse des éléments chimiques par Fluorescence des rayons X (FRX)**

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre à fluorescence des rayons X « ZSX PRIMUS de RIGAKU ».

#### **a- Principe**

Un électron des couches internes est excité par un photon de la région des rayons X. Pendant le processus de désexcitation, un électron saute d'un niveau d'énergie supérieur pour remplir la lacune ainsi formée. La différence d'énergie entre les deux couches apparaisse comme un rayon X secondaires ou fluorescents émis par l'atome (**Riguaud, 2006**).

#### **b- Mode opératoire**

Peser 8g de l'échantillon de sel préalablement broyée en poudre fine.

Verser la prise d'essai dans un moule à pastilleuse pour former une pastille.

Mettre la pastille dans le porte échantillon adéquat, après passer à l'analyse par l'équipement de fluorescence des rayons X.



**Figure 11** : Photo de l'équipement de fluorescence des rayons X.

**3-5- Détermination des matières insolubles (Les impuretés)****a- Mode opératoire :**

Un échantillon de 100 g de sel (issu du mélange de 3 paquets de la même marque) est mélangé avec 1 litre d'eau distillée, puis filtré sous vide à travers un papier filtre pour recueillir les matières insolubles (**Karami, 2017**). Le filtre est rincé par de l'eau distillée, placé dans une boîte de pétri et mis ensuite au séchage (40°C).

Le pourcentage des matières insoluble dans le sel est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Matières insolubles (\%)} = (m1 - m0)$$

Où :

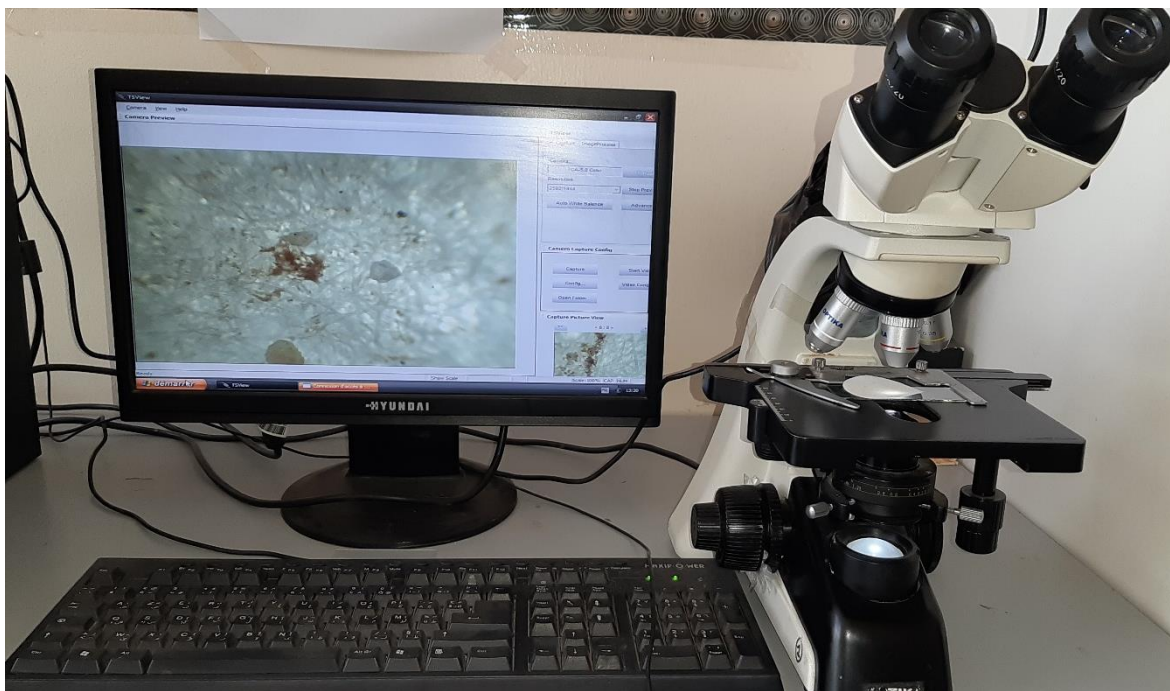
*m0* c'est la masse de filtre avant.

*m1* c'est la masse de filtre après.

Pour éviter la contamination par des impuretés extra-échantillons, un ensemble de mesures ont été prises :

- Blouse en coton et des gants en nitrile sont portés pendant les manipulations.
- l'eau distillée utilisée a été filtré.
- Matériel en verre lavés (liquide vaisselle, eau distillée) et la surface de travail soigneusement nettoyée.
- Extraction réalisée sous hotte pour éviter la contamination par l'air.

Afin d'observer les différents types de particules insolubles pouvant exister dans le sel les filtres chargés des impuretés sont placés sous microscope optique adapté au caméra (avec un grossissement×40).



**Figure 12** : Photo de microscope optique équipé au camera

#### 4- Analyse statistique

Toutes les analyses ont été réalisées en triple. Les données sont présentées sous forme de moyenne  $\pm$  erreur standard. *Statistical Package for Social Science* (version SPSS : 20) a été utilisé pour l'analyse. Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été effectuée.

## **CHAPITRE 02 :**

# **Résultats et discussion**



### 1- Taux de l'humidité

L'humidité est déterminée par dessiccation à l'étuve (110°C). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 04** : Taux d'humidité (%) des marques du sel alimentaire étudiées

Marque	Humidité (%)	Critère de conformité [3%]
01	0,09± 0,01	Conforme
02	0,35 ±0,07	Conforme
03	0,60 ±0,07	Conforme
04	0,04 ±0,03	Conforme
05	0,14± 0,04	Conforme
06	2,91± 0,18	Conforme
07	0,06± 0,02	Conforme
08	0,20 ±0,06	Conforme
09	0,11 ±0,10	Conforme
10	0,12±0,13	Conforme
11	0,13± 0,01	Conforme
12	0,13 ±0,01	Conforme
13	0,53 ±0,39	Conforme
14	0,58± 0,07	Conforme
15	0,14± 0,03	Conforme
16	0,16 ±0,02	Conforme
17	0,22 ±0,29	Conforme
18	0,73± 0,12	Conforme
19	0,13 ±0,09	Conforme
20	0,21 ±0,04	Conforme
21	0,78 ±0,03	Conforme
22	0,50± 0,03	Conforme
23	0,14 ±0,08	Conforme
24	0,43 ±0,03	Conforme
25	0,14 ±0,01	Conforme
26	0,03± 0,03	Conforme
27	0,04 ±0,03	Conforme
28	0,16±0,05	Conforme
29	0,53 ±0,02	Conforme
30	0,05± 0,04	Conforme
V1	0,37 ±0,03	Conforme
V2	0,22± 0,19	Conforme

Les résultats montrent que tous les échantillons présentent une humidité inférieure à la limite de la norme du *Codex Alimentarius* qui est de 3%. Un faible taux d'humidité (entre 0,3 et 0,6) est observé dans les marques 04, 07, 26, 27 et 30 alors que la marque 06 présente le taux le plus élevé qui est de 2,91%, avec une variation non significative ( $p > 0.05$ ). Plusieurs facteurs influencent sur l'humidité de sel on peut citer : la nature de sel, l'état ou aspect de sel et le type d'emballage.

## 2- Teneur en NaCl

La teneur en NaCl est déterminée selon la méthode de Mohr. La méthode de Mohr est une méthode de titrage des chlorures. Elle consiste en un dosage argentimétrique des ions chlorures par le nitrate d'argent en présence de chromate de sodium. Ce dernier est l'indicateur coloré qui réagit en fin de dosage pour former le chromate d'argent, apparaissant comme un précipité rouge brique. Les résultats de ce paramètre sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 05** : Teneur en NaCl (%) des marques du sel alimentaire étudiées

Marque	NaCl (%)	Critère de conformité [Norme Algérienne 98%, Codex Alimentarius 97%]
01	98,8±1,03	Conforme
02	98,6±0,57	Conforme
03	97,6±0,7	Conforme
04	99,7±0,67	Conforme
05	97±1,7	Conforme
06	96,5±0,91	Conforme
07	99,61±0,62	Conforme
08	99,82±0,21	Conforme
09	99,71±1,07	Conforme
10	99,94±0,75	Conforme
11	98,23±1,19	Conforme
12	97,28±1,01	Conforme
13	98,18±1,83	Conforme
14	99,67±0,52	Conforme
15	99,77±0,46	Conforme
16	99,85±0,67	Conforme
17	99,92±0,54	Conforme
18	97,35±0,73	Conforme
19	97,45±1,09	Conforme
20	97,65±0,21	Conforme
21	98,55±0,44	Conforme
22	98,57±0,51	Conforme
23	98,98±1,09	Conforme
24	98,96±0,99	Conforme
25	97,92±0,22	Conforme
26	98,81±0,15	Conforme
27	98,75±0,96	Conforme
28	97,11±0,73	Conforme
29	97,84±0,62	Conforme
30	98,72±0,44	Conforme
V1	98,98±0,59	Conforme
V2	98,96±0,46	Conforme

Le dosage de NaCl montre que tous les marques ont une pureté de chlorure de sodium très élevée qui est à l'alentour de la norme algérienne (98%) et du *Codex Alimentarius* (97%).

La marque 06 présente un pourcentage de 96,5% cela est justifié par la teneur en humidité dans cet échantillon qui est élevée. La variation est non significative ( $p > 0.05$ ) entre les marques pour la teneur en NaCl.

### 3- Teneur en iode

Les résultats présentés dans le tableau 06 montrent que la teneur en iode varie d'un échantillon à l'autre et cette variance est significative ( $p < 0.05$ ).

**Tableau 06** : Teneur en iode [mg/kg sel] dans les marques du sel alimentaire étudiées

Marque	Iode [mg/kg sel]	Critère de conformité [50,55 et 84,25mg/kg]
01	9,8±1,35	Non conforme
02	27,22±5,7	Non conforme
03	6,7±0,8	Non conforme
04	11,00±3,49	Non conforme
05	10,15±0,73	Non conforme
06	12,06±2,44	Non conforme
07	16,99±0,85	Non conforme
08	11,79±1,6	Non conforme
09	11,92±0,44	Non conforme
10	11,42±1,11	Non conforme
11	15,44±1,48	Non conforme
12	14,17±1,77	Non conforme
13	12,55±0,8	Non conforme
14	11,35±1,79	Non conforme
15	13,04±4,12	Non conforme
16	9,8±3,71	Non conforme
17	12,34±2,22	Non conforme
18	18,33±5,74	Non conforme
19	20,8±2,26	Non conforme
20	15,87±4,79	Non conforme
21	9,16±0,95	Non conforme
22	13,04±0,88	Non conforme
23	19,04±0,36	Non conforme
24	12,41±0,88	Non conforme
25	12,2±1,2	Non conforme
26	15,44±1,8	Non conforme
27	0±0	Non conforme
28	14,74±1,71	Non conforme
29	11,77±2,17	Non conforme
30	17,35±2,57	Non conforme
V1	0±0	Non conforme
V2	0±0	Non conforme

La teneur en iode des sels de cuisine vendus et consommés par les ménages doit être comprise entre 50,55 et 84,25 mg par kilogramme de sel pour les marques produites en Algérie et entre 30 et 50 mg par kilogramme pour les marques d'importation. Tous les échantillons sont considérés comme non conformes à la législation algérienne en vigueur ou internationale.

Sur tous les échantillons pris, la notion sel iodé est bien mentionné sur l'emballage voir dans certains la teneur avec une la limite maximale et minimale (la Norme), après analyse des faibles teneurs en iode ont été déterminées dont trois marques présentent 0 mg iode/kg de sel l'étiquetage est frauduleux. Le Décret exécutif n°90-40 du 30 janvier 1990 rendant obligatoire la vente du sel iodé pour la prévention de la carence en iode.

**Yabrir et al., (2018)** ont étudié la teneur en iode et qualité des sels alimentaires commercialisés dans la région de Djelfa, ils ont montré que 77,78% des échantillons analysés de sel sont considérés comme non conformes à la législation algérienne en vigueur. Donc, il est important de signaler ce problème de la non-conformité au autorités responsables.

La stabilité de l'iode dans le sel dépend de :

- La teneur en eau,
- L'acidité
- La pureté du sel auquel l'iode est ajoutée.

Pour réduire les pertes d'iode pendant le stockage, le sel iodé doit être aussi pur et sec que possible et doit être correctement emballé.

Pour la première caractérisation de sel commercialisé en Algérie plusieurs hypothèses peuvent être émises dont principalement l'absence de contrôle de la teneur de l'iode de produit lors de la production et ou la mauvaise maîtrise des techniques d'iodation.

#### **4- Analyse FRX**

L'analyse des échantillons des sels par fluorescence des rayons x donne les résultats du tableau 07. Cette analyse nous montre la présence de plusieurs élément chimiques, qui existe naturellement dans le sel ou occasionnellement présent au cours de la chaine de production.

**Tableau 07** : Principaux éléments chimiques présents dans les marques du sel alimentaire étudiées (Analyse FRX)

Marque	Cl	Na	O	C	S	Mg	Ca	K	Al	Si
1	48,60±0,30	33,85±0,15	13,42±0,24	2,98±0,04	0,31±0,01	0,23±0,00	0,38±0,02	0,06±0,00	0,04±0,00	0,08±0,00
2	48,40±0,19	33,72±0,15	13,32±0,22	3,20±0,05	0,34±0,05	0,51±0,05	0,21±0,02	0,19±0,30	0,01±0,00	0,03±0,00
3	44,21±0,15	31,61±0,01	17,85±0,22	3,88±0,29	0,56±0,00	1,27±0,04	0,19±0,00	0,13±0,01	0,01±0,00	0,04±0,00
4	47,37±0,05	34,90±0,29	13,88±0,62	3,33±0,72	0,18±0,01	0,09±0,03	0,17±0,01	0,01±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
5	45,46±2,60	33,36±2,41	16,41±2,66	2,91±0,52	0,57±0,52	0,48±0,48	0,68±0,76	0,02±0,00	0,01±0,01	0,03±0,04
6	41,98±0,22	30,40±0,20	20,28±0,33	3,72±0,13	0,86±0,02	1,56±0,10	0,63±0,02	0,37±0,01	0,04±0,00	0,10±0,00
7	50,11±0,00	34,66±0,01	11,66±0,03	3,17±0,28	0,09±0,77	0,05±0,01	0,10±0,00	0,02±0,01	0,01±0,00	0,02±0,01
8	49,42±1,06	34,94±0,61	11,84±0,93	3,48±1,92	0,07±0,00	0,03±0,00	0,08±0,00	0,02±0,00	0,01±0,00	0,03±0,02
9	48,60±0,14	35,32±0,09	13,49±0,03	2,39±0,18	0,05±0,00	0,02±0,00	0,05±0,00	0,01±0,00	0,008±0,00	0,01±0,00
10	48,67±0,06	35,54±0,04	13,34±0,07	2,25±0,08	0,05±0,00	0,02±0,00	0,05±0,00	0,01±0,00	0,008±0,00	0,01±0,00
11	45,44±0,70	33,81±0,15	15,70±0,70	2,84±0,03	0,63±0,05	0,53±0,02	0,31±0,02	0,47±0,04	0,07±0,00	0,12±0,01
12	44,66±0,08	33,54±0,12	16,55±0,01	2,59±0,08	0,71±0,01	0,77±0,03	0,26±0,01	0,61±0,00	0,07±0,00	0,14±0,00
13	45,46±0,93	32,83±1,39	16,80±1,58	2,99±0,04	0,47±0,15	0,83±0,55	0,24±0,13	0,25±0,21	0,03±0,01	0,05±0,03
14	44,36±0,24	31,74±0,11	18,44±0,24	3,19±0,13	0,58±0,01	1,01±0,06	0,25±0,04	0,31±0,02	0,02±0,00	0,04±0,00
15	46,50±0,11	34,44±0,16	15,21±0,04	2,66±0,09	0,33±0,01	0,20±0,01	0,38±0,03	0,05±0,00	0,05±0,00	0,11±0,01

<b>16</b>	48,51±0,79	34,88±0,44	13,85±0,37	2,15±1,31	0,17±0,02	0,16±0,06	0,15±0,00	0,04±0,01	0,01±0,00	0,00±0,00
<b>17</b>	45,42±2,86	34,24±0,29	15,73±2,45	4,06±1,09	0,06±0,01	0,29±0,16	0,05±0,01	0,02±0,00	0,02±0,00	0,04±0,05
<b>18</b>	45,34±0,31	32,20±0,59	17,67±0,42	2,64±0,26	0,48±0,04	1,06±0,13	0,20±0,01	0,31±0,01	0,01±0,00	0,03±0,00
<b>19</b>	48,14±0,90	34,84±0,27	13,46±0,95	2,70±0,52	0,25±0,00	0,11±0,00	0,34±0,01	0,04±0,00	0,02±0,00	0,04±0,00
<b>20</b>	48,79±0,13	34,78±0,16	13,01±0,24	2,57±0,49	0,25±0,00	0,11±0,00	0,31±0,00	0,05±0,01	0,02±0,01	0,04±0,00
<b>21</b>	45,43±0,43	32,69±0,07	19,01±0,27	0,90±0,11	0,48±0,01	0,93±0,07	0,21±0,00	0,26±0,01	0,02±0,00	0,03±0,00
<b>22</b>	45,95±0,32	33,68±0,32	16,47±0,41	2,62±0,36	0,31±0,03	0,54±0,09	0,15±0,00	0,18±0,03	0,03±0,02	0,02±0,00
<b>23</b>	46,95±0,17	35,03±0,07	15,23±0,05	2,10±0,13	0,19±0,00	0,13±0,01	0,18±0,00	0,05±0,00	0,04±0,00	0,03±0,00
<b>24</b>	46,09±0,51	33,88±0,38	15,99±0,45	2,73±0,27	0,33±0,03	0,42±0,07	0,33±0,04	0,13±0,01	0,02±0,00	0,05±0,00
<b>25</b>	46,98±0,75	34,50±0,07	14,93±0,39	2,66±0,25	0,25±0,00	0,20±0,01	0,31±0,01	0,05±0,00	0,03±0,01	0,05±0,00
<b>26</b>	47,78±0,57	35,42±0,09	14,26±0,55	2,23±0,32	0,06±0,00	0,09±0,04	0,07±0,00	0,02±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00
<b>27</b>	44,86±0,90	34,05±0,65	15,84±0,16	4,47±1,46	0,10±0,00	0,45±0,00	0,11±0,05	0,04±0,00	0,008±0,00	0,02±0,01
<b>28</b>	46,57±0,28	34,79±0,10	15,40±0,35	2,11±0,07	0,34±0,04	0,14±0,00	0,48±0,09	0,04±0,00	0,01±0,00	0,05±0,00
<b>29</b>	45,37±0,67	32,74±0,20	17,41±0,64	2,79±0,07	0,39±0,03	0,84±0,07	0,20±0,01	0,17±0,00	0,01±0,00	0,03±0,00
<b>30</b>	47,41±0,74	34,89±0,02	14,60±0,55	2,36±0,21	0,18±0,00	0,18±0,02	0,22±0,00	0,05±0,00	0,02±0,00	0,04±0,00
<b>V1</b>	45,22±0,71	33,29±0,04	17,18±0,84	2,52±0,05	0,41±0,05	0,76±0,18	0,26±0,01	0,23±0,09	0,02±0,00	0,05±0,00
<b>V2</b>	44,4±0,11	33,90±0,27	17,8±0,13	2,23±0,04	0,58±0,08	0,57±0,04	0,18±0,03	0,11±0,01	0,01±0,00	0,04±0,00

Le chlore et le sodium présentent comme éléments majeurs car le sel est composé de 98% NaCl. Le reste est composé de produits secondaires naturels, présents en quantités variables selon les l'origine et la méthode de production du sel, d'après l'analyse on observe principalement les éléments suivants : calcium, potassium, sulfates, magnésium et de carbonates, ce qu'il indique la présence de chlorures de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ), de potassium (KCl), de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ) ainsi que de sulfates de magnésium ( $\text{MgSO}_4$ ),  $\text{SO}_4$  et  $\text{CaSO}_4$ .

Les composés suivant  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{SO}_4$  et  $\text{CaSO}_4$  sont des sels associés où dans le sel sont classé comme des impuretés qui présentent un risque pour le consommateur.

L'obtention des pourcentages de carbone (C) et de l'oxygène (O) plus ou moins élevé indique premièrement la présence de  $\text{CaCO}_3$  et aussi la présence des impureté organique (bois, débris végétaux, plastique ...).

On observe aussi du Al et Si.

#### - **Autres éléments chimiques analysés par FRX**

Des contaminants naturels peuvent également être présents en quantités variant selon l'origine et la méthode de production du sel (Tableau 08).

Les marques de sels analysés contiennent quelques éléments chimiques toxiques mais en trace comme Cu, Br, Sr, Ni et Cr.

Elles contiennent de Fe comme résultats de contamination pendant la chaîne de fabrication.

**Tableau 08** : Eléments chimiques présents en trace dans les marques du sel alimentaire étudiées (Analyse FRX).

Marque	Fe	Cu	Br	Sr	Ni	Zn	P	Cr
<b>1</b>	0,0088±0,0009	/	0,0013±0,0006	0,0011±0,0002	0,0015±0,0013	/	/	/
<b>2</b>	0,0049±0,0012	/	0,0015±0,0001	0,0011±0,0004	/	/	/	/
<b>3</b>	0,0042±0,0013	0,0048±0,0006	0,0018±0,0004	0,0011±0,0003	0,0009±0,0011	/	0,0006±0,0010	/
<b>4</b>	0,0089±0,0091	0,0055±0,0016	/	0,0015±0,0001	/	/	/	0,0032±0,0055
<b>5</b>	0,0045±0,0027	0,0048±0,0008	0,0064±0,0058	0,0022±0,0013	/	/	/	/
<b>6</b>	0,0063±0,0002	0,0041±0,0003	0,0019±0,0005	0,0028±0,0002	/	/	/	/
<b>7</b>	0,0039±0,0011	0,0054±0,0162	0,0145±0,0001	0,0019±0	0,0006±0,0008	0,0155±0,0009	/	/
<b>8</b>	0,0042±0,0019	0,0053±0,0006	0,0105±0,0002	0,0018±0,0004	/	0,0123±0,0145	/	/
<b>9</b>	/	0,0046±0,0003	0,0097±0,0005	0,0017±0,0003	/	0,0019±0,0021	/	/
<b>10</b>	0,0027±0,0023	0,0040±0,0002	0,0078±0,0004	0,0018±0,0003	/	/	/	/
<b>11</b>	0,0146±0,0019	0,0061±0,0009	0,0045±0,0006	0,0026±0,0005	/	0,0005±0,0009	0,0013±0,0004	/
<b>12</b>	0,0177±0,0012	0,0039±0,0011	0,0049±0,0004	0,0020±0,0003	/	/	/	/
<b>13</b>	0,0050±0,0022	0,0050±0,0013	0,0015±0,0005	0,0007±0,0006	0,0009±0,0008	/	/	/
<b>14</b>	0,0054±0,0012	0,0052±0,0009	0,0017±0,0002	0,0012±0,0002	/	/	/	/
<b>15</b>	0,0087±0,0006	0,0045±0,0004	0,0008±0,0008	0,0011±0,0003	0,0010±0,0009	/	/	/
<b>16</b>	0,0120±0,0170	0,0005±0,0009	0,0106±0,0001	0,0023±0,004	/	0,0007±0,0013	/	0,0061±0,0106
<b>17</b>	0,0113±0,0170	/	0,0095±0,0009	0,0020±0,0003	/	/	/	0,0041±0,0072
<b>18</b>	0,0036±0,0033	/	0,0023±0,0002	0,0015±0,0001	/	/	/	/









<b>19</b>	0,0178±0,0104	/	/	0,0015±0,0005	/	/	/	/
<b>20</b>	0,0181±0,0226	/	0,0011±0,0009	0,0018±0,0004	0,0012±0,0021	/	/	0,0043±0,0074
<b>21</b>	0,0041±0,0007	/	0,0018±0,0003	0,0011±0,0002	/	/	/	/
<b>22</b>	0,0047±0,0046	/	0,0016±0,0004	0,0012±0,0001	/	/	/	/
<b>23</b>	0,0068±0,0004	/	0,0023±0,0002	0,0007±0,0006	/	/	/	/
<b>24</b>	0,0055±0,0009	/	0,0012±0,0002	0,0008±0,0001	/	/	/	/
<b>25</b>	0,0062±0,0015	/	0,0016±0,0002	0,0011±0,0001	/	/	/	/
<b>26</b>	0,0042±0,0004	/	0,0104±0,0003	0,0019±0,0008	/	/	/	/
<b>27</b>	0,0033±0,0030	/	0,0076±0,0004	0,0020±0,0002	/	/	/	/
<b>28</b>	0,0061±0,0010	/		0,0019±0,0006	/	/	/	/
<b>29</b>	0,0053±0,0008	/	0,0036±0,0004	0,0013±0,0004	/	/	/	/
<b>30</b>	0,0074±0,0004	/	/	/	/	/	/	/
<b>V1</b>	0,0109±0,0007	/	0,0014±0,0002	0,0010±0,0001	/	0,0009±0,0015	/	/
<b>V2</b>	0,0081±0,0005	/	0,0024±0,0004	0,0027±0,0001	/	0,0008±0,0014	/	/











## 5- Analyse des impuretés dans le sel




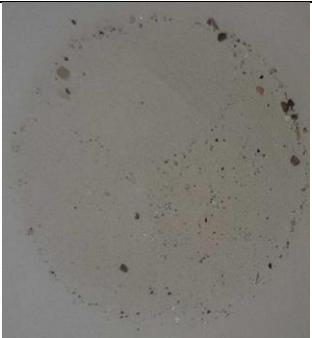






## - Taux des impuretés (Matières insolubles) :











Le taux des impuretés, la photo de filtre avant et après filtration prises par appareil téléphonique pour chaque marque sont représentés dans le tableau suivant :











Tableau 09 : Impuretés dans les marques du sel alimentaire étudiées










Marque	Filtre avant filtration	Filtre après filtration	Impureté (%)	Conformité
1			0,095	Conforme
2			0,061	Conforme
3			0,112	Conforme






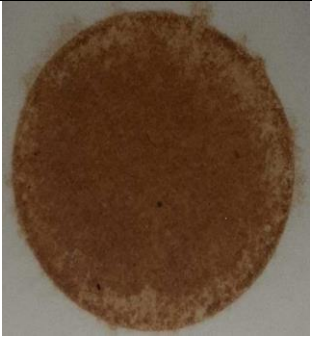


4			0,036	Conforme
5			0,105	Conforme
6			0,149	Conforme
7			0,02	Conforme
8			0,026	Conforme

9			0,037	Conforme
10			0,026	Conforme
11			0,626	Non conforme
12			0,614	Non conforme
13			0,084	Conforme

14			0,077	Conforme
15			0,135	Conforme
16			0,274	Conforme
17			0,306	Conforme
18			2,273	Non conforme

19			1,455	Non conforme
20			1,914	Non conforme
21			1,317	Non conforme
22			1,409	Non conforme
23			1,198	Non conforme

24			1,332	Non conforme
25			2,631	Non conforme
26			1,285	Non conforme
27			1,123	Non conforme
28			1,328	Non conforme

29			1,427	Non conforme
30			1,191	Non conforme
V1			1,253	Non conforme
V2			1,514	Non conforme

Le taux des impuretés (MI) varie d'un échantillon à un autre est cela dépend essentiellement des techniques de lavage et de raffinage du sel. L'analyse statistique montre une variance significative ( $p < 0.05$ ) entre ces marques de sel.

Ce taux est fixé dans la norme algérienne à la valeur maximale de 0,5%. D'après les résultats 17 marques sont non conformes dont le taux a atteint 2,6% (marque 25).



Par observation directe sur la matière insoluble récupérée sur le papier filtre on constate la présence des particules de sable dans toutes les marques surtout dans les marques de sel d'origine mer (marques : 07,08,09,10,16,17, 26 et27), la présence des argiles et des cailloux surtout dans les marques de sel de Chott, des débris végétaux, de plastiques du coton, ....

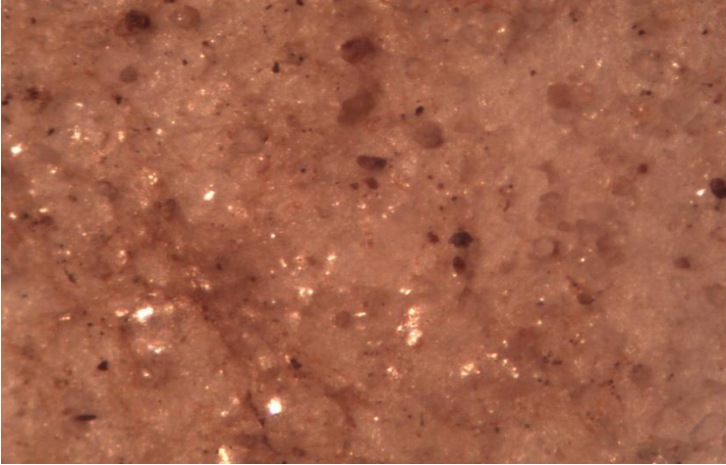
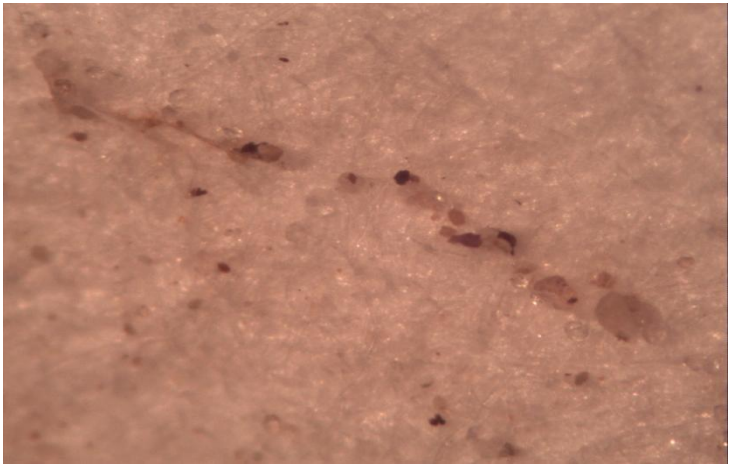
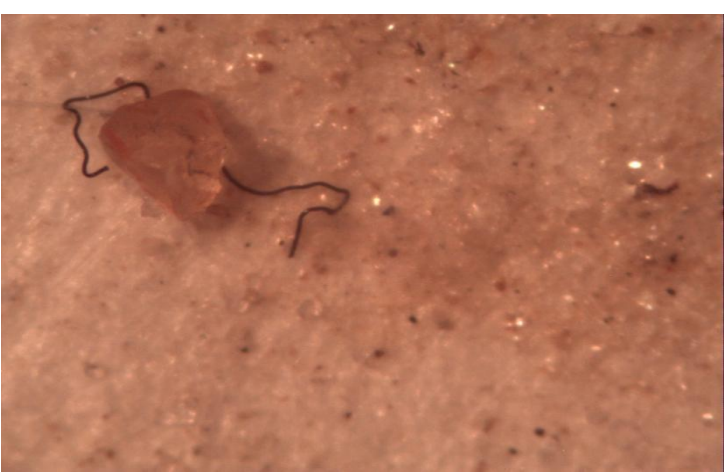
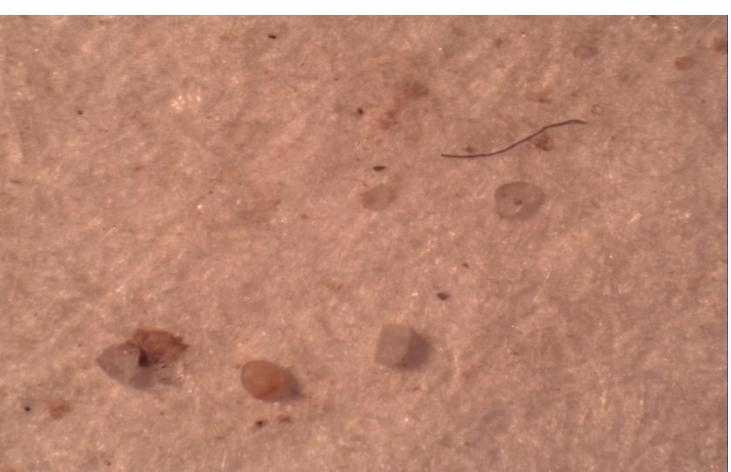
Mais nous avons utilisé un microscope optique adapté au camera pour voir clairement ce qu'il existe dedans.

**- Observation microscopique des Filtres chargés des impuretés récupérés de sel**

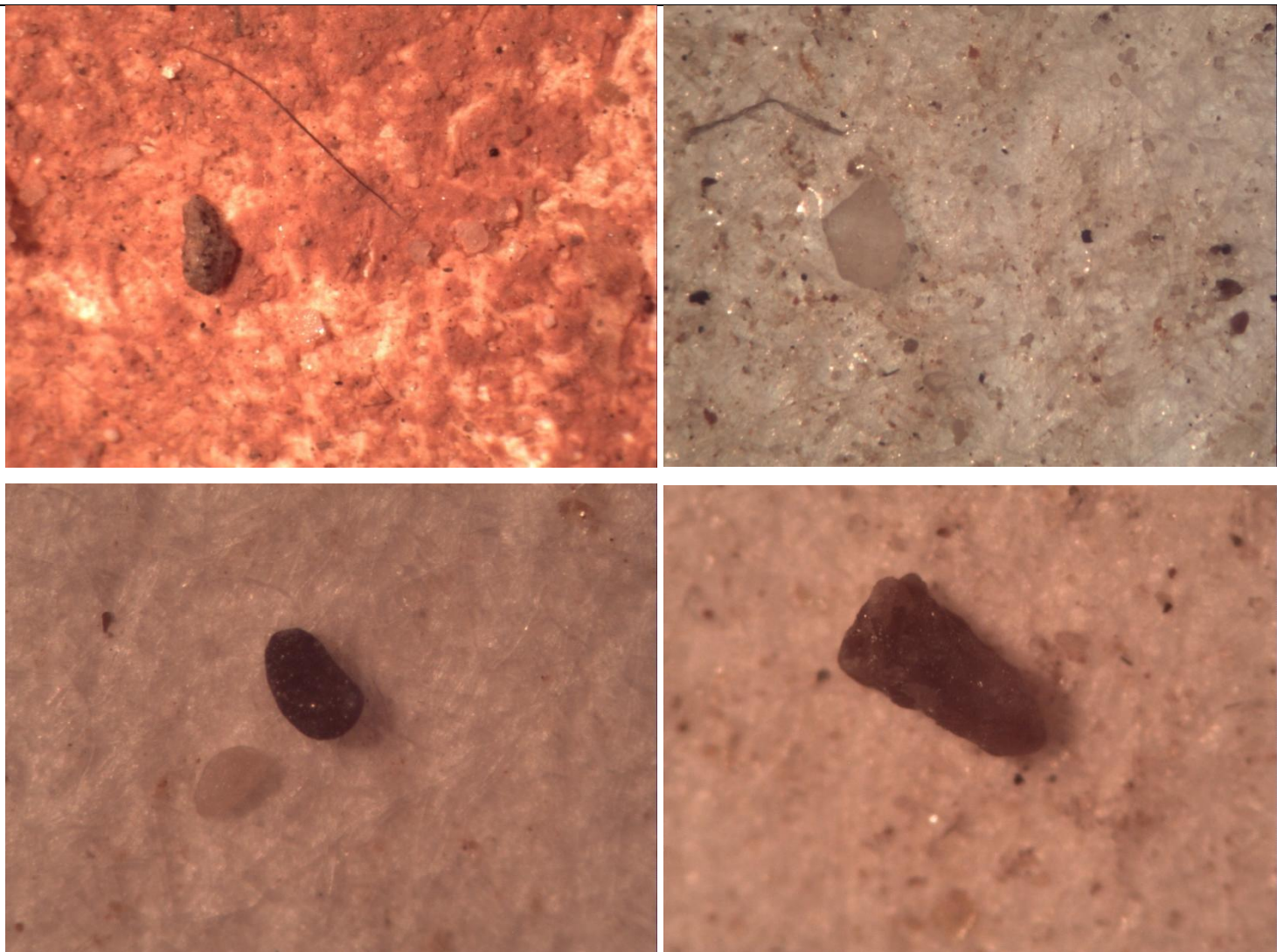
Les résultats de l'observation microscopique des filtres après filtration sont représentés dans le tableau 10. Les photos prises par caméra montrent la présence de différents types de matière dans pratiquement toutes les marques des sels alimentaires étudiées, nous avons trouvées :

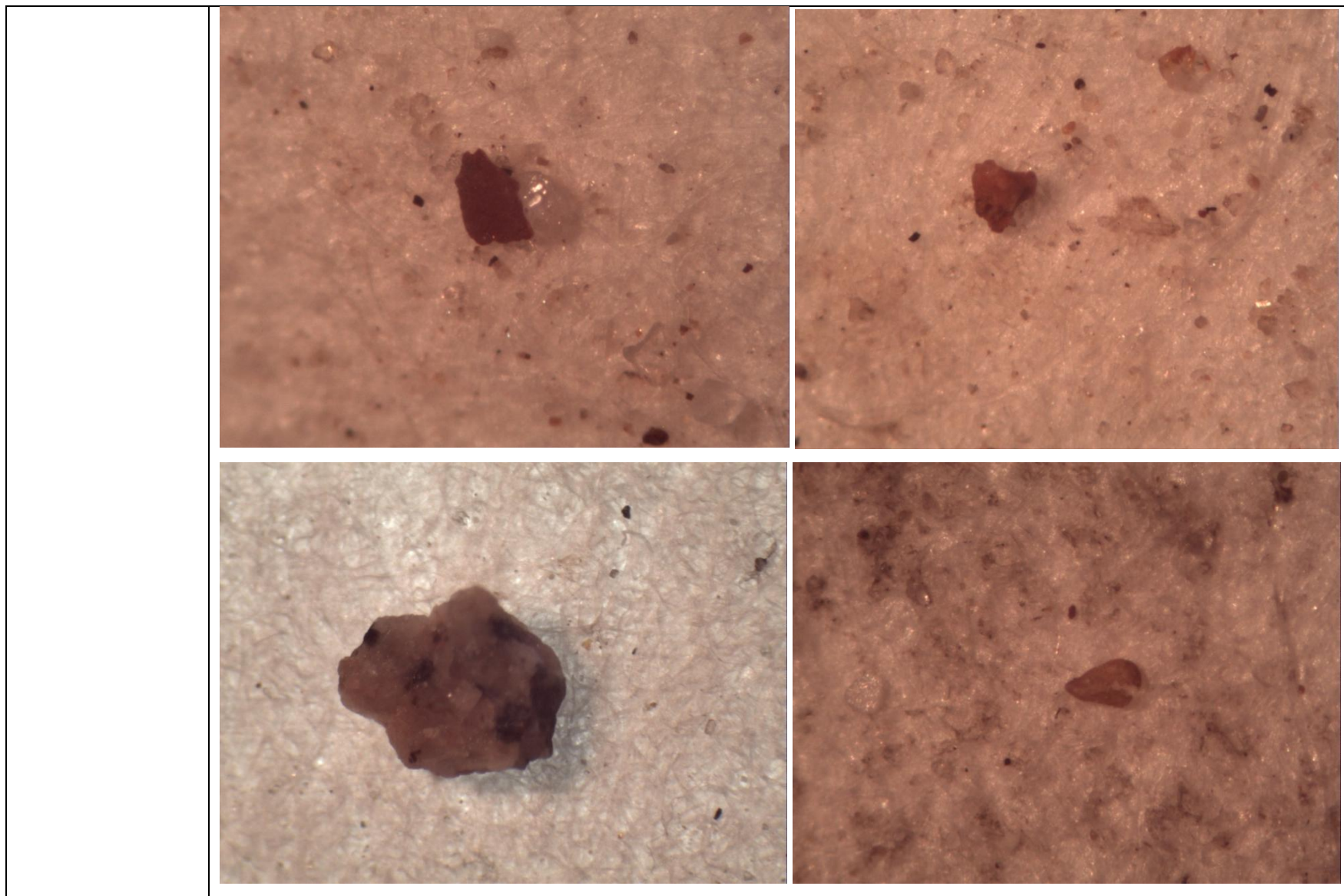
du sable, des cailloux, verre, plastique, débris biologique, métal et autres qui sont indéterminés.

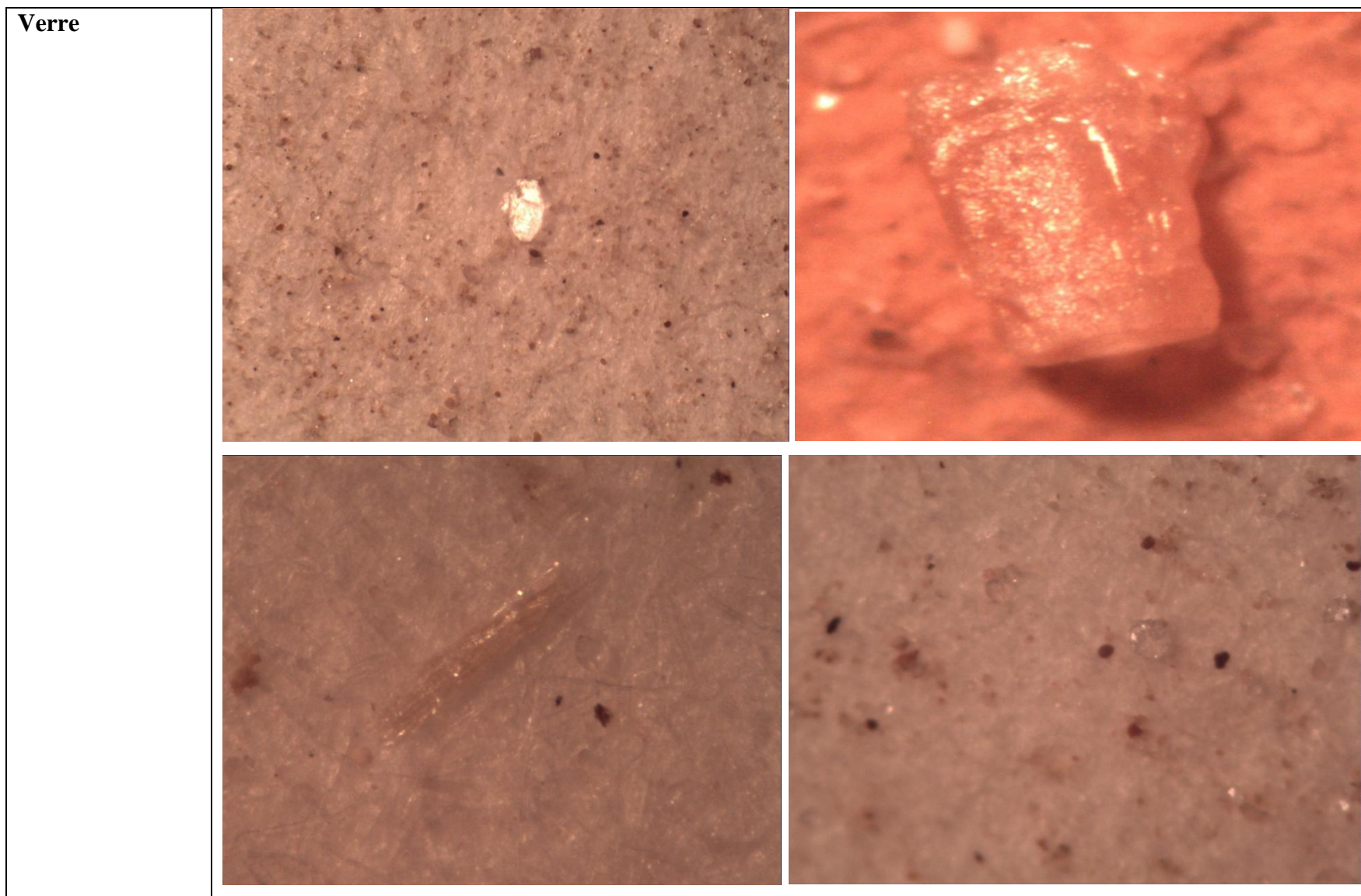
Tableau 10 : Les différents types des particules observés

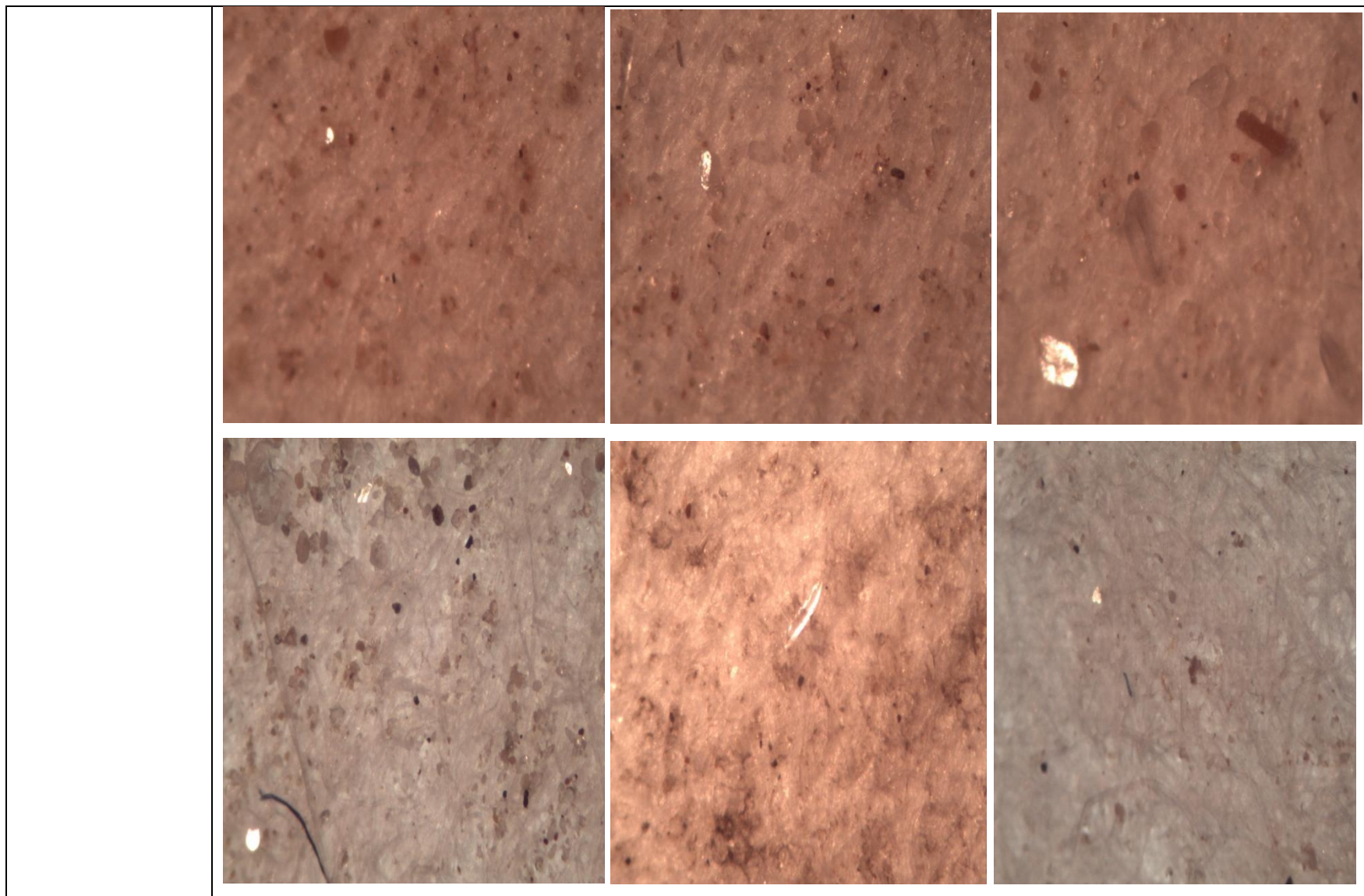
Matière	Photos prises avec microscope optique G×40	
Sable		
		

Caillou

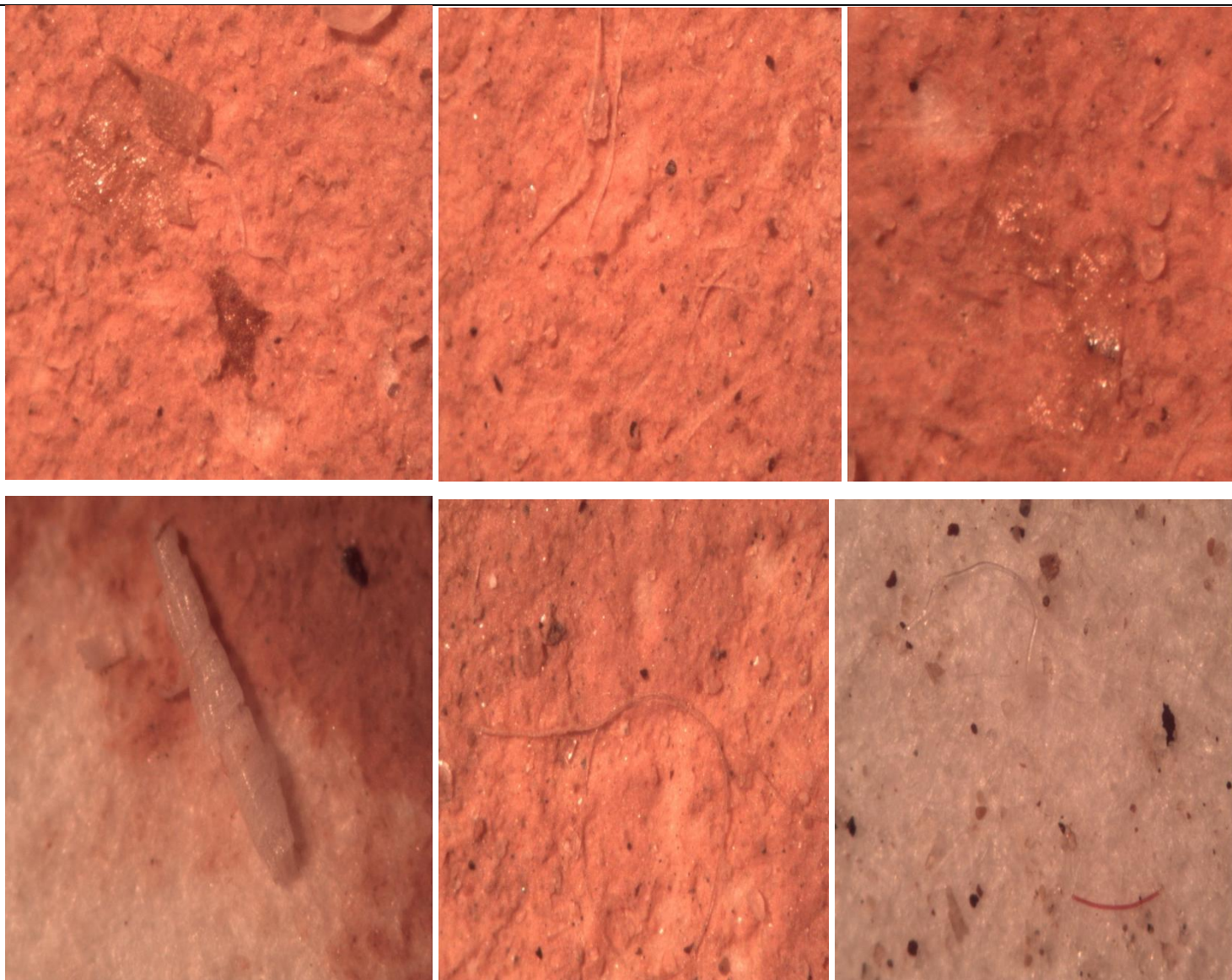


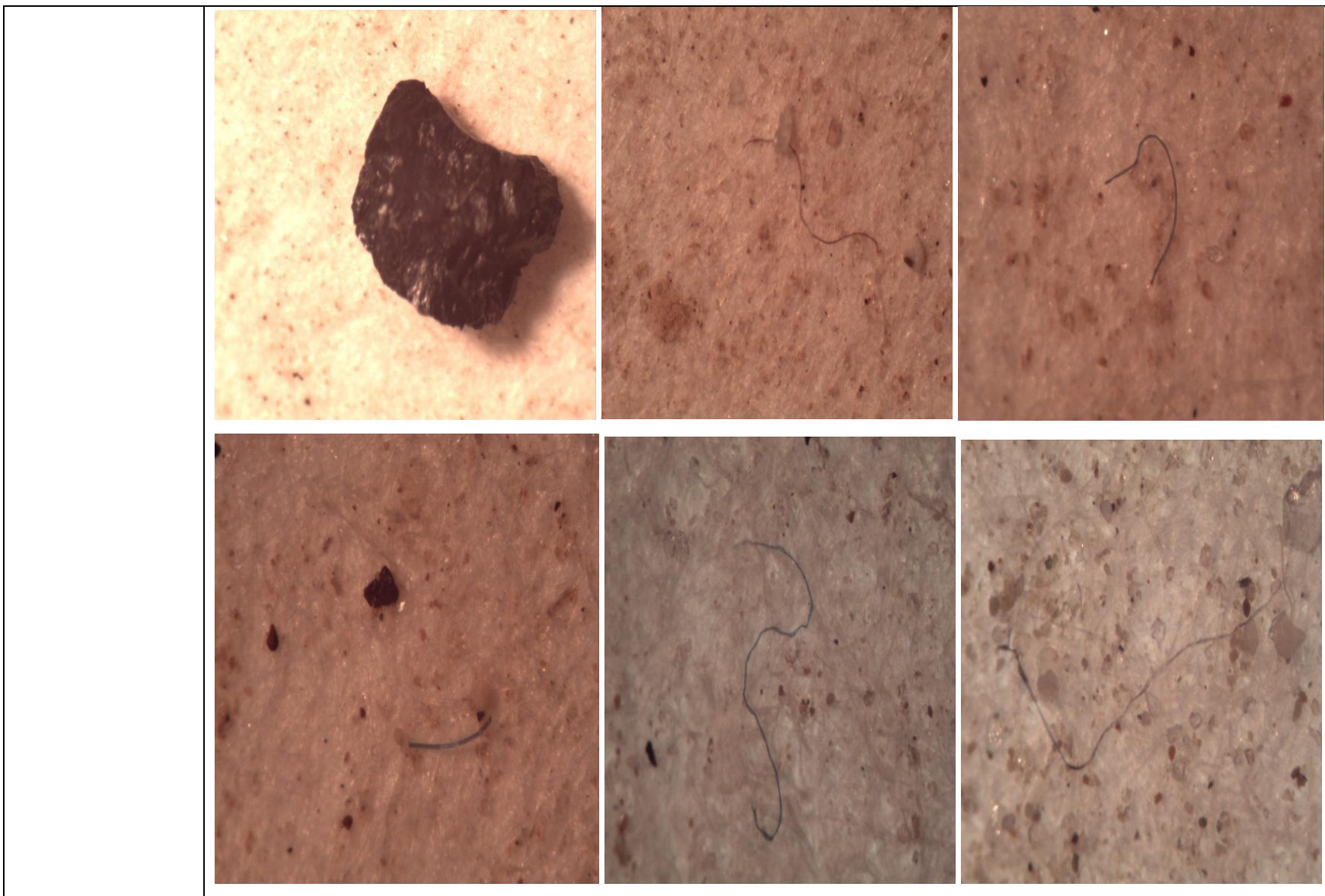






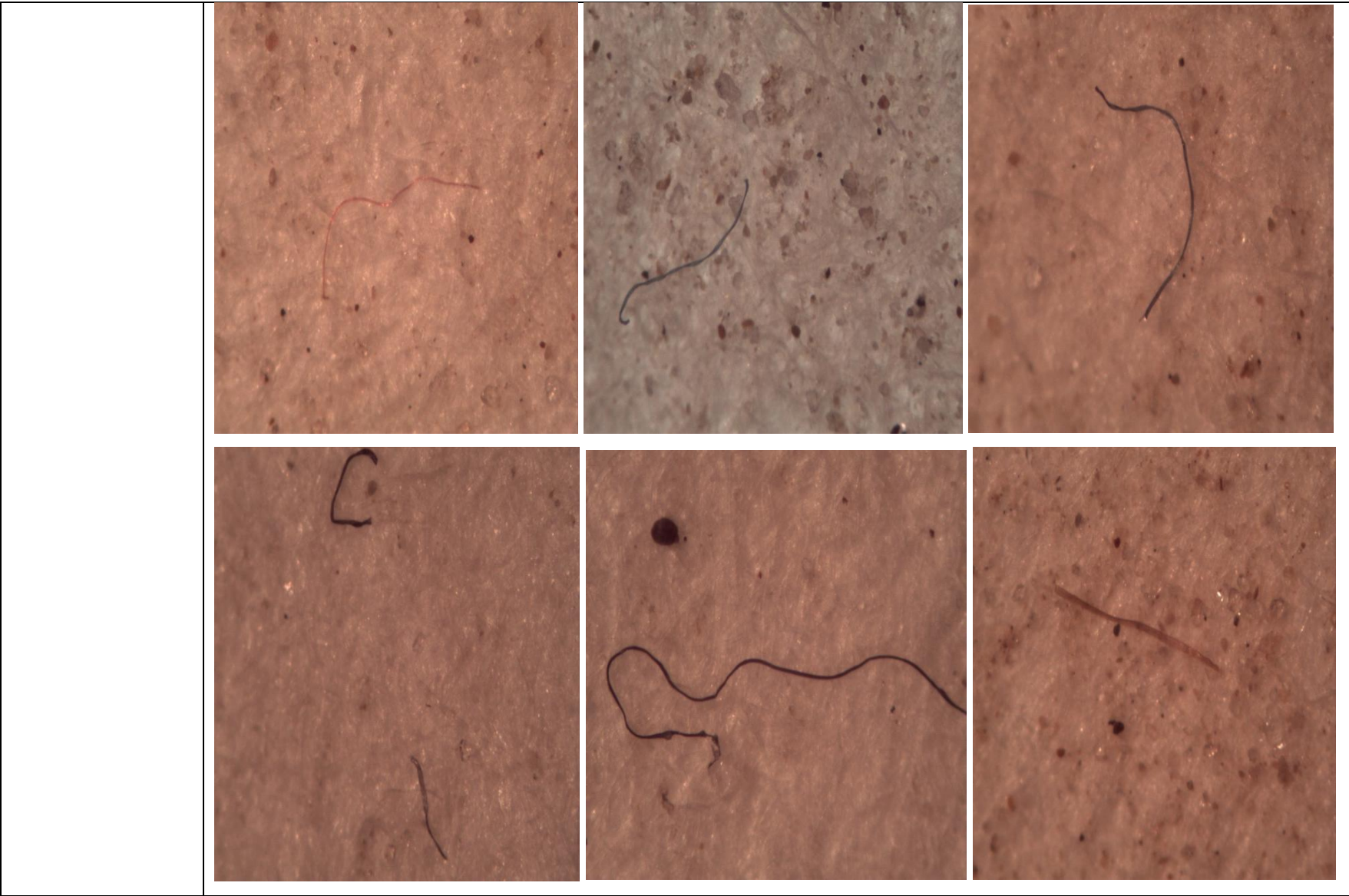
Plastique



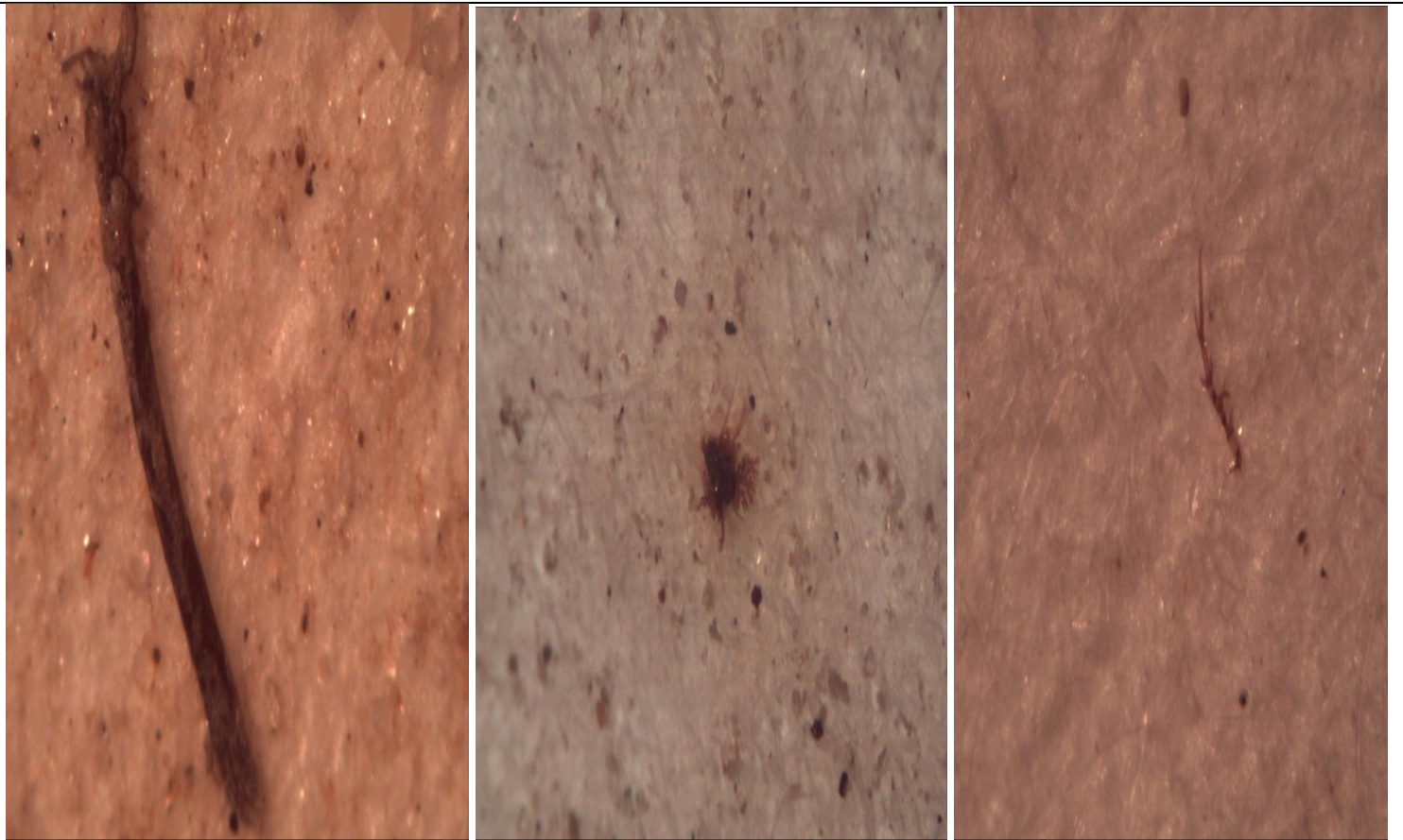




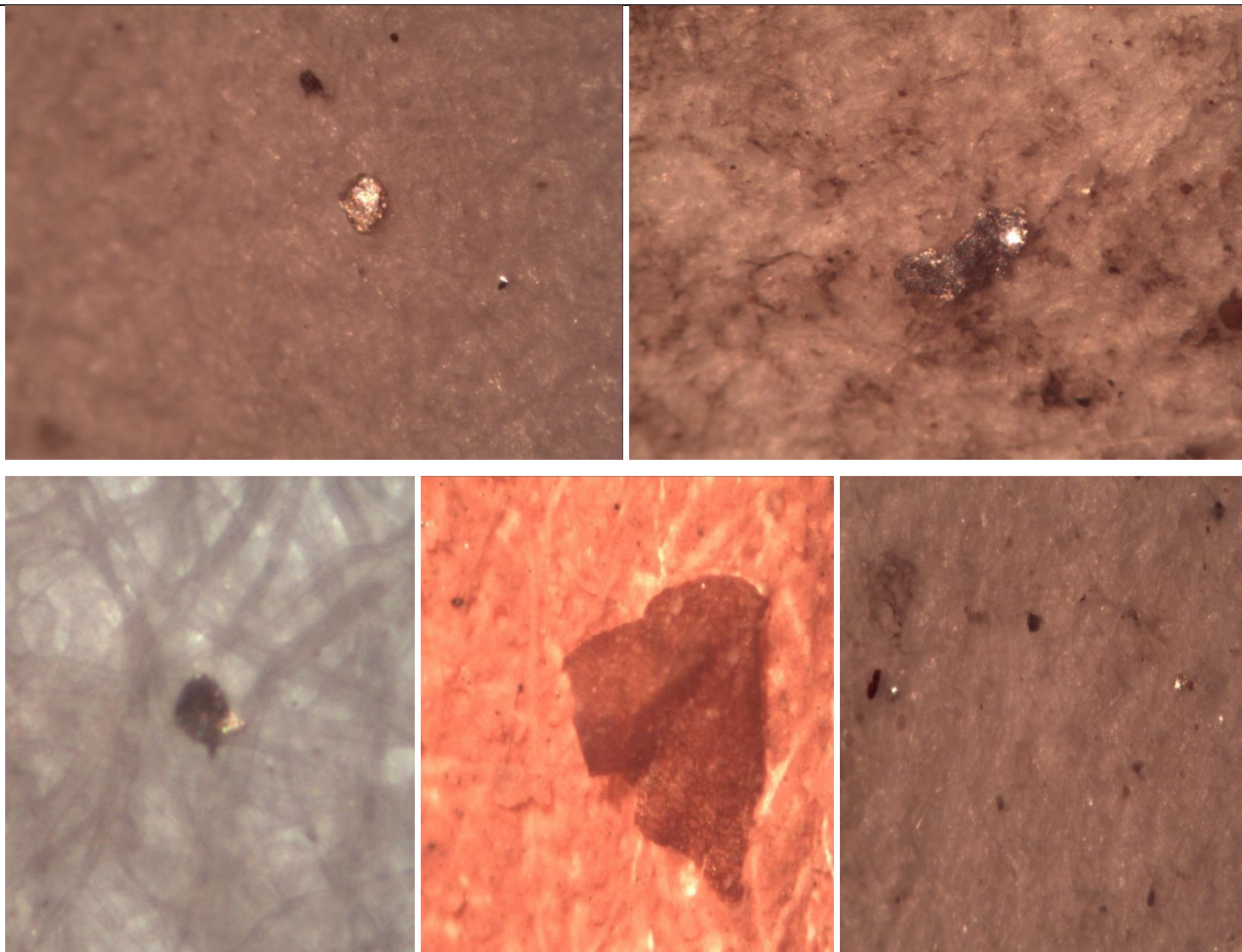




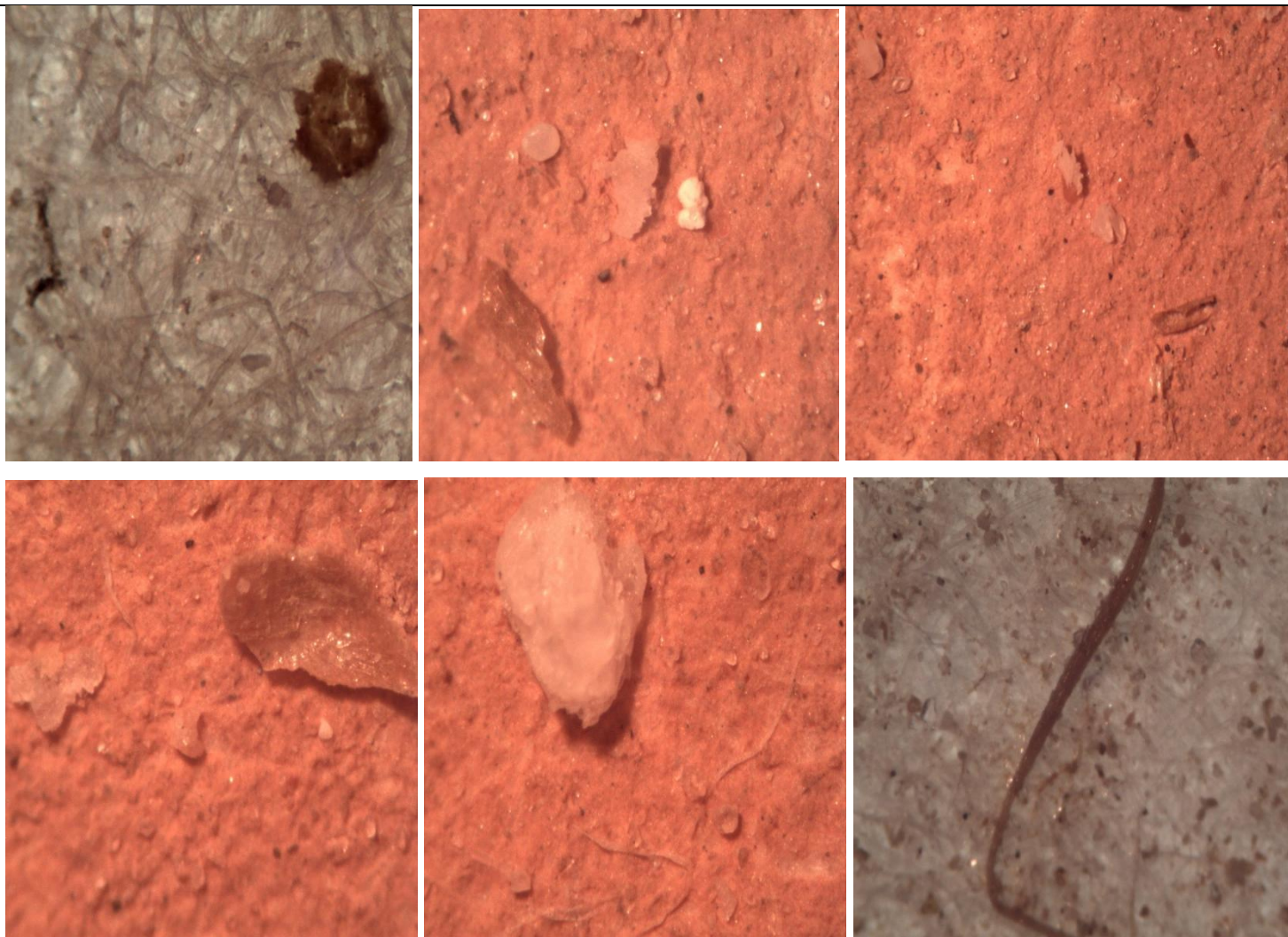
Débris  
biologique



Métal

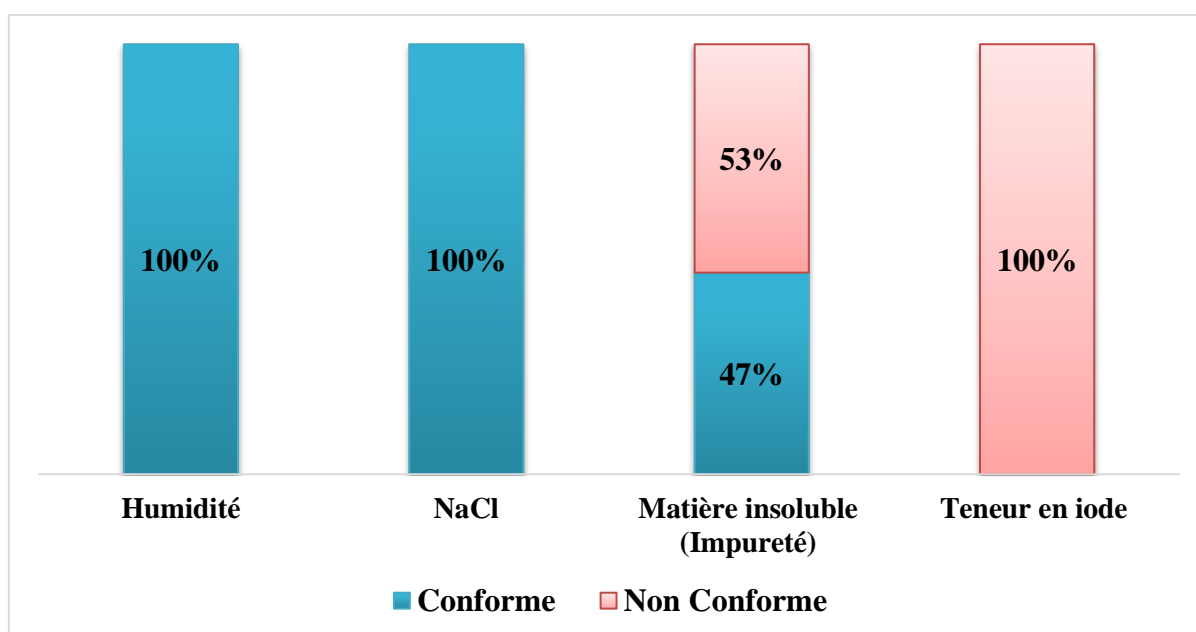


Autres



Plusieurs études sur les sels alimentaires ont confirmé la présence des particules fines de plastique appelant micro plastiques (Yang et al. 2015 ; Gundogdu, 2018). Selon Karami et al., (2018), les principaux polymères de plastique pouvant exister dans le sel alimentaire sont polypropylène et polyéthylène. La présence de ces microparticules dans le sel de mer est, probablement, due à une contamination au niveau de cristallisation, ce qui suscite des inquiétudes (Yang et al. 2015).

Les micro plastiques peuvent avoir un effet sur la tolérance et la réponse immunitaire de l'intestin en se bioaccumulant ou en facilitant la transmission de produits chimiques toxiques et d'agents pathogènes (Liebmann, 2018).



**Figure 13 :** Histogramme représente la qualité des marques de sel alimentaire analysées dans cette étude

100% des marques étudiées sont conformes à la norme en termes d'humidité et de NaCl alors que les sont non conforme en termes de la teneur en iode, cette fraction renferme deux groupes, un exempt d'iode et du moins à très faible concentration. Pour le taux de la matière insoluble 53% des marques sont non conforme.

Il ressort des travaux faits par plusieurs auteurs dans plusieurs pays que très peu de sel alimentaire commercialisé et consommé est adéquatement iodé.

**Yabrir et al., (2018)** dans son étude sur quarante-cinq échantillons de sel alimentaires commercialisés dans la localité de Djelfa provenant de neuf marques différentes a montré que

pour la teneur en iode 77,78% des échantillons sont considérés comme non conformes à la législation algérienne en vigueur, fixée entre 50,55 et 84,25 mg/kg de sel, et que tous les échantillons sont conformes au regard des autres paramètres, excepté pour le NaCl où seulement 44,44% des échantillons sont déclarés conformes.

Selon **Diaby et al., (2019)**, au Côte d'Ivoire l'analyse de 50 échantillons de sel alimentaire a montré un taux de non-conformité de 82 % et un taux de conformité de 18% selon la norme ivoirienne NI : 03 09 003 [30 - 50] ppm.

Les résultats de l'étude de **Adjangba et al., (2018)** révèlent que 7,98% des sels sont dépourvues d'iode, et que 54,46% ont une teneur en iode inférieure à la réglementation togolaise (<15 ppm) alors que 37,79% une teneur en iode conforme.

## CONCLUSION

La santé de nos populations est menacée par plusieurs facteurs parmi eux le comportement alimentaire. Etant donné que les humains consomment universellement du sel en petites rations quotidiennes assez constantes, celui-ci constitue un véhicule idéal pour délivrer des quantités de micronutriments comme l'iode à l'ensemble de la population pour éviter le problème de la carence en iode. En outre ce sel peut représenter un danger pour le consommateur si sa qualité n'est pas conforme aux normes en vigueur.

L'étude réalisée dans ce mémoire s'est concentrée sur l'évaluation de la qualité et la conformité de 32 marques des sels alimentaires commercialisés en Algérie. L'analyse de ces sels a révélé que 100% des marques étudiées sont conformes à la norme en termes d'humidité et de NaCl où tous les échantillons présentent une humidité inférieure à la limite de la norme du *Codex Alimentarius* qui est de 3% et ils ont une pureté de chlorure de sodium très élevée conforme à la norme algérienne (98%) et du *Codex Alimentarius* (97%).

Les résultats montrent une non-conformité dans la teneur en iode qui doit être comprise entre 50,55 et 84,25 mg par kilogramme; des teneurs de moins à très faible voire absence totale de l'iode pour certaines marques (0mg/kg) ont été enregistrés.

Pour le taux de la matière insoluble 53% des marques sont non conformes. Différents types de particules insolubles présentent dans les sels analysés, nous avons observées: du sable, des cailloux, verre, plastique, débris biologique, métal et autres qui sont indéterminés. Ces particules peuvent présenter un risque sur la santé de consommateur. Des analyses plus poussées notamment sur la nature de ces éléments seraient nécessaires pour approfondir ce travail.

À l'ombre de ces résultats il est plus que nécessaire d'entreprendre des actions et imposer un contrôle sévère et strict des sels alimentaires afin de parer aux dangers qu'ils peuvent apporter via leur consommation.



## **Références bibliographiques**

- **Arrêté du 25 Dhou El Hidja 1432** correspondant au 21 novembre 2011 rendant obligatoire la méthode de détermination de la teneur en iode dans le sel alimentaire. Journal Officiel de la République Algérienne N° 07. 18 Rabie El Aouel 1434, 30 janvier 2013.
- **Arrêté du 24 avril 2007**. relatif aux substances d'apport nutritionnel pouvant être utilisées pour la supplémentation des sels destinés à l'alimentation humaine JORF, 25 avril 2007.
- **Camille et Mickaël (2014)**., [https://echel.pagesperso-orange.fr/essai\\_presentation/type\\_sel.html](https://echel.pagesperso-orange.fr/essai_presentation/type_sel.html)
- **Codex Alimentarius, (2006)**. Norme Codex pour le sel de qualité alimentaire. CODEX STAN 150-1985 Rev.1-1997 ; Amendé 1-1999, Amendé 2-2001, Amendé 3-2006.
- **Colin C, Teissier T, (2004)**. Le sel dans les industries alimentaires. Université Paris XII Val de Marne ; 26p.
- **Cole & Mason, (2019)**. Les différents types de sel [cité le 17/05/2019]
- **Comité des Salines de France CSF, (2008)**. Charte de qualité du sel alimentaire (Edition)
- **Comité des salines de France (CSF), (2011)**. Charte de qualité du sel alimentaire (Edition)
- **Décret n°2007-588 du 24 avril 2007**. relatif aux sels destinés à l'alimentation humaine. JORF, 25 avril 2007.
- **Décret du 24 avril 2007**. Distingue par ailleurs le sel marin gris de qualité alimentaire, qui ne doit pas contenir moins de 94% de NaCl sur extrait sec (le sel marin gris doit provenir exclusivement de marais salants).
- **Décret exécutif 90/40** du 30 janvier 1990 rendant obligatoire la vente du sel iodé pour la prévention de la carence en iode. In : Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire 1990 ; n°5: 180-81.
- **Diaby V., Ake Assi Y., N'Guettia K., Koffi K.M., Sanogo I., Camara R., Kouakou K.M., Yapo A.F., Djama A.J., Dembele A., (2019)**. Évaluation De La Teneur En Iode De Quelques Échantillons De Sel Prélevés En Vrac En Côte D'ivoire MINISCULES.

- EAS Journal of Nutrition and Food Sciences. DOI: 10.36349/EASJNFS.2019.v01i05.003.
- **Dupas-Langlet M., (2013).** De la déliquescence au montage des poudres cristallines : cas du chlorure de sodium. Thèse de Docteur de l'UTC. Université de technologie Compiègne; 251p.
  - **Fourcade L, (2014).** Facilitez-vous LA vie, le sel. Editions Artémis, N°d'éditeur: 8160. Suivi éditorial: Laurence Dechel ; 161p.
  - **Fofana F, (2007).** Contrôle de qualité du sel iode consomme au mali. Thèse Docteur en pharmacie, Université de Bamako ; 114p.
  - **Gundogdu S. (2018).** Contamination of table salts from Turkey with microplastics. Food Additives & Contaminants, 35(5): 1006-1014.
  - **Hoet-van Cauwenberghe C., Masse A., Prilaux G, (2017).**Sel et société. Editeur: presses universitaires du Sptentrion ,Vileneuve d'Ascq ; 276p
  - **Hery Hanitriniaina R.,( 2009 – 2014) .** Valorisation rationnelle de la qualité du siratany dans la région de Bezà Mahafaly pour promouvoir son marché. Mémoire du Diplôme d'Ingénieur. Université D'Antananarivo; 111p.
  - **Kaufmann D.S., (1960).** Sodium Chloride. ACS Monograph 145, Reinhold Publishing Corp, New York. (Edition )
  - **Karami A.G., Keong Choo A., Larat C., Galloway V., Salamatinia B. (2017).** The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Sci Rep*, 7: 46173.
  - **Labidi A., (2020).** Dosage des Chlorures (Méthode de Mohr). Technical Report. DOI : 10.13140/RG.2.2.23896.93448.
  - **Liebmann B.K.S., Königshofer P., Bucsics T., Reiberger T., Schwabl P. (2018).** Assessment of microplastic concentrations in human stool final results of a prospective study. In M. U. O. Vienna (Ed.), Conference on Nano and microplastics in technical and freshwater systems. Monte Verità, Ascona, Switzerland: Environnement Agency Austria
  - **Lozach E, (2001).** Le sel et les microorganismes. Thèse de Doctorat Vétérinaire. Faculté de médecine de Créteil ; 146p.
  - **Nathan R., (1994).** Food Fortification: Legislation and Regulations — A Manual. Program Against Micronutrient Malnutrition (PAMM), Atlanta,
  - **Norme Algérienne , NA 7035 -1993.** Chlorure de sodium à usage industriel y compris les industries -Détermination de la perte de masse à 110°C.

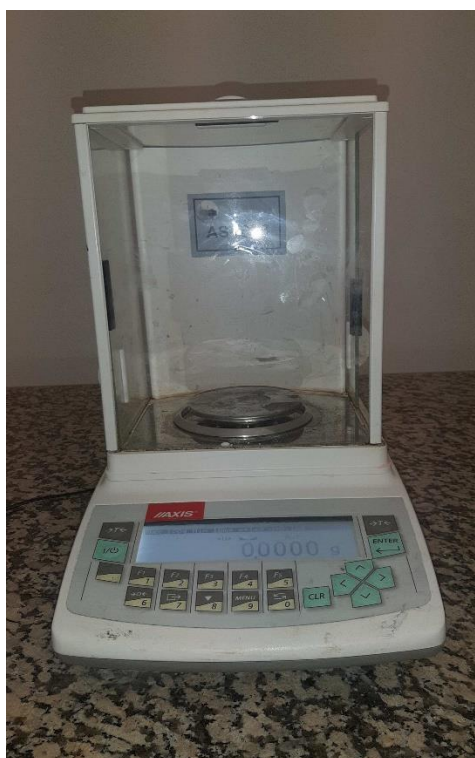
- **Organisation mondial de la santé, 2002.**
- **Rafanomezantsoa H.H., (2014).** Valorisation rationnelle de la qualité du siratany dans la région de Bezà Mahafaly pour promouvoir son marché. Mémoire d'Ingénieur agronome. Université D'Antananarivo, 111p
- **Règlement ministériel du 15 avril 1977** relatif aux méthodes d'analyses de référence en matière de sel destiné à la consommation humaine. In : Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg, A – N°30.
- **Riguaud S., (2006).** Analyse par fluorescence x des éléments traces métalliques dans un sol cultivé. Rapport de stage université de Provence.
- 
- **Rih A., (2020).** Contrôle de l'iodation du sel alimentaire et évaluation de l'apport iodé chez des enfants scolarisés (5-12ans) dans la région de Sidi Bel Abbes (Ouest Algérien). Thèse Doctorat en sciences
- **Sullivan K.M., Houston R., Gorstein J., Cervinskis J., (1995).** Contrôle des programmes universels d'iodation du sel (Edition)
- **Tilman B. D., and Bernard M., (2021)** Le Sel Dans Tous Ses états : VRAI/FAUX Sur un Aliment Trop Critiqué, EDP Sciences (Edition)
- **Unité de surveillance et d'évaluation de l'UNICEF, (1994).** Fonds des Nations Unies pour l'enfance .Rapport du Conseil d'administration sur ses première, deuxième et troisième sessions ordinaires et sur sa session annuelle de 1994 Conseil économique et social
- **Venkatesh M.M. G. et Dunn J.T., (1995)** Iodation du sel pour l'élimination de la carence en iode (Edition)
- **Viel C., ( 1997).** Histoire chimique du sel et des sels in revue science tribune, article en ligne).
- **WHO, UNICEF, ICCIDD, ( 1993)** . Global prevalence of iodine deficiency disorders. Geneva, World Health Organization.
- **Yabrir B., Saila A., Mekenez N., Hachi M., Hamidi M., Blel Azouzi B., (2018).** Teneur en iode et qualité des sels alimentaires commercialisés dans la région de Djelfa. Nutr. Santé, 2018, Vol. 07, N°02:54-62. DOI:10.30952/ns.7.2.2.
- **Yang, D. S., H.Li, L.Li, J.Jabeen, K.Kolandhasamy, P. (2015).** Microplastic Pollution in Table Salts from China. Environ Sci Technol, 49(22): 13622-13627.

- **Zahidi A, Idrissi M.O.M., Ansar M., Hababa L., Taoufik J. , (2002).** Evaluation de la prophylaxie par le sel iode des populations de la région de Rabat-Kenitra en1998.Maroc Médical, tome 24 n°3.

## ANNEXES



**Annexe 01 : Etuve de séchage**



**Annexe 02 : Balance de précision**



**Annexe 03 : Dessiccateur**



**Annexe 04 : Dispositif de filtration**



**Annexe 05 : Pastilleuse**