

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **Master II**

Département : Génie des procédés

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Alimentaire

THEME

*Caractérisation microscopique des microplastiques dans le
sel d'alimentation et Essais de traçage de leur origine.*

Présenté par :

M^{lle} ACHLAF Rania

M^{lle} SEKIMI Nour el houda

Jury :

Président : benakmoum A

Pr

UMBB

Examineur : Zidani S.

MCB

UMBB

Encadreur : Haderbache Latifa

MCB

UMBB

Promotion : 2020/2021

Remerciements

Nous tenons à remercier en tout premier lieu DIEU Tout Puissant de nous avoir donné la santé et la puissance pour élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice

Dr. HADERBACHE .L. Pour ses judicieux conseils et pour sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail et surtout pour avoir proposé ce sujet et de l'avoir pris en charge.

Nous remercions également Mr AKSAS, chef de Département de Génie des procédés et tous les enseignants de département pour tout le savoir qu'ils nous ont donné durant notre cursus universitaire.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de critiquer et d'améliorer ce travail.

Un grand merci à tous les laborantins des laboratoires de département de génie des procédés de la FT-UMBB

pour leurs Conseils, aide précieuse et leurs gentillesse

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

je dédie Ce modeste travail

Aux personnes les plus chers à mon cœur et qui ont

Attendu avec patience les

Fruits de leur bonne éducation, à mes chers parents

Abd EL HAFID, DALILA.

A mes sœurs MANAL et NADA et mon petit frère YACINE.

A ma chère binôme RANIA.

A tous ceux que j'aime et qui m'aime, ma famille, mes

Ami(e)s et à tous ceux qui ont l'amour d'apprendre.

Nour el houda.

Je dédie ce travail

À mes très chers parents,

Source de vie, d'amour et d'affection

qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de m'accompagner

Je ne vous remercierai jamais assez.

À mes très chers frères Brahim et Abderrahmane, et sœurs, Meriem, Amina et Farah.

À mes trois nièces Rahma, Hadjer, bouchra et les deux petites princesses que nous attendons avec joie.

À ma chère amie avant d'être mon binôme, Nour el houda .

À ma famille, mes proches et tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de Succès.

Rania.

RESUME

Notre étude s'intéresse à la détection et la typologie des microplastiques dans le sel afin de trouver ses origines. Ces particules ont été détectés par un examen microscopique dans 3 marques de sel produits en Algérie : Tornado, Chemsî et Rafie, traité au H₂O₂ et fractionné en dépôt et surnageant. Un essai d'identification avec la spectroscopie Raman (une technique complémentaire à la spectroscopie infrarouge) pour chaque échantillons et son emballage. La détection des microplastiques fait intervenir certaines difficultés : capturer les particules de plastiques, séparer les fragments des autres particules de l'échantillon et enfin, identifier le type de plastique.

La teneur en microplastiques, retenus par des filtres dont la taille des pores ne dépasse pas 5 µm, était de 1,9.10⁹ particule/kg dans sel Tornado, 2,36.10⁹ particules/kg dans Chemsî et 7,31.10⁹ particules/kg dans sel Rafie.

Mots clés : Microplastique ; sel alimentaire ; Raman ; échantillonnage de sel ; H₂O₂ ; microscopie.

ABSTRACT

Our study focuses on the detection and typology of microplastics in salt in order to find its origins. These particles were detected by microscopic examination in 3 salt brands produced in Algeria: Tornado, Chemsî and Rafie, treated with H₂O₂ and fractionated into deposit and supernatant. An identification test with Raman spectroscopy (a complementary technique to infrared spectroscopy) for each sample and its packaging.

The detection of microplastics involves some difficulties: capturing the plastic particles, separating the fragments from the other particles in the sample and finally identifying the type of plastic.

The microplastic content, retained by filters with a pore size not exceeding 5 µm, was 1,9.10⁹ particles in Tornado salt, 2,36.10⁹ particles/kg in Chemsî and 7,31.10⁹ particles/kg in Rafie salt.

Keywords: Microplastic; food salt; Raman; salt sampling; H₂O₂; microscopy.

SOMMAIRES

SOMMAIRES.....	I
LISTES DES TABLEAUX.....	III
LISTES DES FIGURES.....	IV
ABREVIATION.....	IV
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I. Les microplastiques.....	3
1) Définition.....	3
a) Les microplastiques primaires.....	3
b) Les microplastique secondaires.....	3
2) Origine des microplastiques.....	5
3) Danger des microplastique.....	6
a) Danger physique.....	6
b) Danger chimique.....	7
4) Incidence des microplastiques dans les aliments.....	7
5) Les microplastiques dans les aliments.....	8
6) Les microplastiques dans le sel.....	9
II. Les matériaux autorisés pour le contact avec les aliments.....	10
III. Méthode de caractérisation des plastiques.....	11
□ Différence entre les polymères et les plastique	13
IV. Le sel.....	14
1) Définition.....	14
2) Fabrication.....	14
3) Méthode de production de sel.....	15
4) Qualité des sels.....	17
5) Consommation de sel.....	19
V. Le sel en Algérie.....	20
□ Consommation de sel en algerie	21

CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	23
I. Echantillon de laboratoire.....	23
1) Préparation de sel.....	23
2) La masse volumique.....	23
3) L'humidité.....	23
II. Analyses microscopiques.....	24
1) Contrôle qualité des expériences.....	24
2) Traitement au peroxyde d'hydrogène.....	24
3) Flottation et filtration.....	25
4) Observation visuelle de microplastiques sous un microscope.....	25
5) Caractérisation des microplastiques avec la spectroscopie Raman.....	27
CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	28
I. Prospection des marques de sels présents sur le marché en Algérie.....	28
II. Résultats du contrôle physico-chimique des échantillons de sel.....	30
1) La masse volumique apparente.....	30
2) L'humidité.....	30
3) Vérification du poids.....	31
4) Taux d'impureté.....	32
III. Comptage des microplastiques et autres éléments dans les marques de sel de tables analysées.....	33
IV. Résultats de la spectrométrie Raman.....	36
CONCLUSION.....	40

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTES DES TABLEAUX

Tableau01 : Les principaux gisements de sel rocheux en Algérie.....	20
Tableau02 : Les principaux gisements connus.....	21
Tableau 03 : Les consommations annuelles de sel alimentaire pour quelque wilaya.....	22
Tableau 04 : Récapitulatif des mentions obligatoires portées sur l'étiquetage.....	29
Tableau 05 : récapitulatif des caractéristiques des échantillons.....	30
Tableau 06 : Résultats de la marque «Chemsi».....	33
Tableau 07 : Résultats de la marque « Tornado ».....	34
Tableau 08 : Résultats de la marque « Rafie ».....	35

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Microplastiques présents dans l'environnement.....	4
Figure 2 : Origine des microplastiques primaires retrouvés dans les océans du monde.....	5
Figure 3 : Sel de table avec sa lière.....	14
Figure 4 : Cristal de sel de gemme.....	14
Figure 5 : Etuvage des échantillons.....	24
Figure 6 : Rampe de filtration sous vide.....	25
Figure 7 : Echantillons filtrés en boîte.....	25
Figure 8 : Microscope optique.....	26
Figure 9 : Schéma d'une spectroscopie Raman.....	27
Figure 10 : Spectre Raman de l'emballage de la marque chemssi.....	37
Figure 11 : Spectre Raman référence du polypropylène.....	37
Figure 12 : Spectre Raman de l'emballage de la marque Rafie.....	38
Figure 13 : Spectre Raman de référence de la phthalocyanine.....	38

ABREVIATION

ATD : Analyse thermique différentielle

CE : Conseil européen

CPG : Chromatographie en phase gazeuse

CL : Chromatographie liquide

EREM : Entreprise Nationale de Recherche et d'Evaluation Minière

ENASEL: Entreprise Nationale des sels

FT-IR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

JORADP : Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire

MPs : Microplastiques

NA : Norme Algérienne

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONS : Office National des Statistiques

PVC : Polychlorure de vinyle

PP : Polypropylène

PET: Polyéthylène terephthalate

UV : Rayons ultra-violet

UICN : Primary Microplastics in the Oceans

NQA : Niveaux de Qualité Acceptables

INTRODUCTION :

Les microplastiques sont de plus en plus présents dans notre environnement, définis comme des plastiques ou fragments de moins de 5 mm, que l'on retrouve dans les milieux marins, les rivières, les lacs ou encore certains aliments. La pollution des microplastiques dans l'océan entraîne sans aucun doute la pollution des produits de la mer. Les microplastiques peuvent même être transférés des produits de la mer aux humains via la chaîne alimentaire, ce qui augmente les risques potentiels pour la santé humaine.

Les sels de table fournissent des éléments essentiels pour le consommateur. Les matières salines proviennent principalement de la mer, des lacs salés, des roches salines et des puits salés ; Par la suite, les sels de table peuvent être classés selon leurs sources.

Plusieurs études récentes ont montré que la côte de la Chine est un point chaud de pollution microplastique ; des chercheurs se sont demandé dans un premier temps à quel point les différents sels vendus dans le monde pouvaient contenir des microplastiques. Ils ont donc passé à la loupe 17 marques issues de différents pays tel que l'Australie, la France, l'Iran, le Japon, la Malaisie, La Nouvelle Zélande, le Portugal et l'Afrique du Sud, toutes achetées sur le marché malaisien. Parmi toutes les marques étudiées, seulement une marque française ne contenait pas de microplastiques et celle-ci est vendue dans un emballage en verre.

Yang et al. (2015), ont montré la présence de jusqu'à 681 MPs/kg dans des sels originaires de Chine. Cependant, la composition chimique des particules individuelles de MP n'a pas été déterminée, l'identification des MP étant basée sur le regroupement des particules en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et sur l'analyse d'échantillons représentatifs par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR).

En Algérie, l'unité de production de sel de la société nationale ENASEL a été modernisée pour améliorer la qualité de ses produits. La raffinerie d'El Outaya (Biskra) est unique en Algérie et en Afrique et utilise du sel Gemme pour produire du sel raffiné de haute qualité (99,85%).

Ainsi, nous émettons l'hypothèse que les sels Gemmes pourraient contenir des microplastiques. Pour tester cette hypothèse, nous avons collecté différentes marques de sels produits en Algérie à l'Outaya (Biskra) dans des supermarchés d'une façon aléatoire à des fins de comparaison. L'abondance, le type et la couleur des microplastiques ont été analysés ; et un essai d'identification de la source de ces particules élaboré.

Pour cela nous allons faire cette étude en adoptant le plan de travail suivant :

- Chapitre 1 : Consacré à une recherche bibliographique sur les microplastiques tels que leurs origines, incidence dans les aliments, leurs dangers, et les méthodes de caractérisation de ces particules. ainsi que des généralités sur le sel alimentaire.
- Chapitre 2 : Dans ce chapitre nous exposons la méthode de cette étude, nous avons étudié plus en détail la présence de microplastiques par microscopie en extrayant des particules de 3 marques différentes de sel par dosage des particules dans le sel alimentaire commercialisé en Algérie.
- Chapitre 3 : Est consacré à l'expression des résultats obtenue et discussion.

Ce manuscrit se termine par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les microplastiques

1) Définition

Les microplastiques sont de petites particules de plastique de diamètre inférieur à 5 mm. Ils sont soit d'origine primaire, c'est-à-dire produits intentionnellement à cette taille, soit d'origine secondaire, provenant de la dégradation des macroplastiques [1].

a) Les microplastiques primaires

Les microplastiques primaires d'un diamètre inférieur à 5 mm sont fabriqués intentionnellement par les industries de plastique. Cette petite taille permet entre autre de contrôler la viscosité, la stabilité et l'aspect physique du produit ou encore d'avoir un effet abrasif.

Les microplastiques primaires se retrouvent dans de nombreux produits cosmétiques, produits de nettoyage, dans le gazon artificiel, les filets de pêches, etc.

Il se peut que des microplastiques primaires se retrouvent dans des produits industriels mais de manière non-intentionnelle. Malgré cela, le résultat reste le même : les microplastiques se retrouvent dans l'environnement.

Les quatre sources principales de ces derniers sont par ordre décroissant : les pneus de voiture, les marquages à base de peinture, les résines de plastique et les vêtements synthétiques sous forme de fibres synthétiques [1].

b) Les microplastiques secondaires

Dans l'environnement, en particulier dans l'océan, le plastique est confronté à des forces mécaniques, physiques et biologiques. En effet, suite à l'oxydation par les rayons UV, les faibles températures ainsi que l'abrasion mécanique des vagues et du sable, le plastique se dégrade et est réduit à des débris. Les microplastiques secondaires sont ainsi issus de la fragmentation des macroplastiques.

En 2015, il a été estimé que plus de 150 millions de tonnes de plastique étaient accumulées dans les océans et que 12,7 millions de tonnes étaient ajoutées chaque année. Tous ces déchets constituent une source majeure pour la formation de microplastiques secondaires [1].

En effet, un plastique fragilisé par les temps d'exposition aux rayons UV entre dans un processus de dégradation dépendant de multiples paramètres (température ambiante, type de polymère, type d'additifs) [2].

Ces particules de plastiques inférieures à 5 millimètres contaminent désormais une bonne partie de nos aliments. Ce sont des petites pièces de plastiques issues de la dégradation des plastiques issus des bouteilles d'eau, des emballages, des produits cosmétiques, des objets en plastiques du quotidien (pneus, lentilles de contact, etc.) ou des vêtements synthétiques.

Sous forme de fibres et de fragments, ces particules de plastique se sont immiscées dans l'air, le sol et l'eau pour se retrouver automatiquement dans la chaîne alimentaire d'un bon nombre d'espèces vivantes, dont l'homme [3].

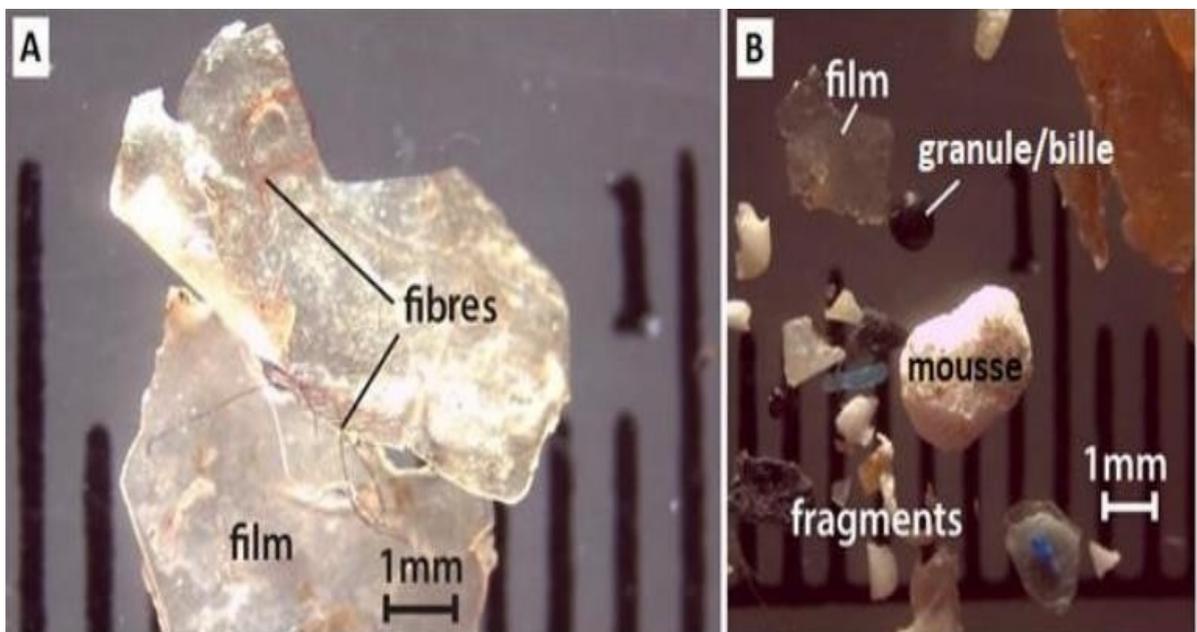


Figure 1 : Microplastiques présents dans l'environnement [4]

Description: cette figure représente des microplastiques trouvés dans l'environnement. L'image « A » représente un film et des fibres. L'image B illustre un film, des granules/billes, des fragments et de la mousse [4].

2) Origine des microplastiques

Les microplastiques ont été observés pour la première fois en 1970 en Amérique du Nord sous forme de sphérules dans des remorques de plancton le long de la côte de la Nouvelle-Angleterre. Aujourd'hui, ils sont présents dans tous les milieux aquatiques que ce soit dans les rivières, eaux souterraines et même dans les sédiments des grands fonds marins entre 1176 et 4843 m [2].

Les microplastiques se retrouvent dans les océans mais aussi dans les cours d'eau et les lacs. Les poissons de mer comme les poissons d'eau douce sont contaminés.

A l'échelle planétaire, les rejets de microplastiques sont principalement dus à une mauvaise gestion des déchets plastiques, aux décharges à ciel ouvert ou encore à la présence de microbilles dans les cosmétiques.

En 2014, plus de 5250 milliards de microfragments de plastique flottaient dans les océans. Une fois absorbés par les animaux marins, les microplastiques nuisent à leur reproduction et peuvent bloquer les systèmes digestifs et respiratoires de certains individus [5].

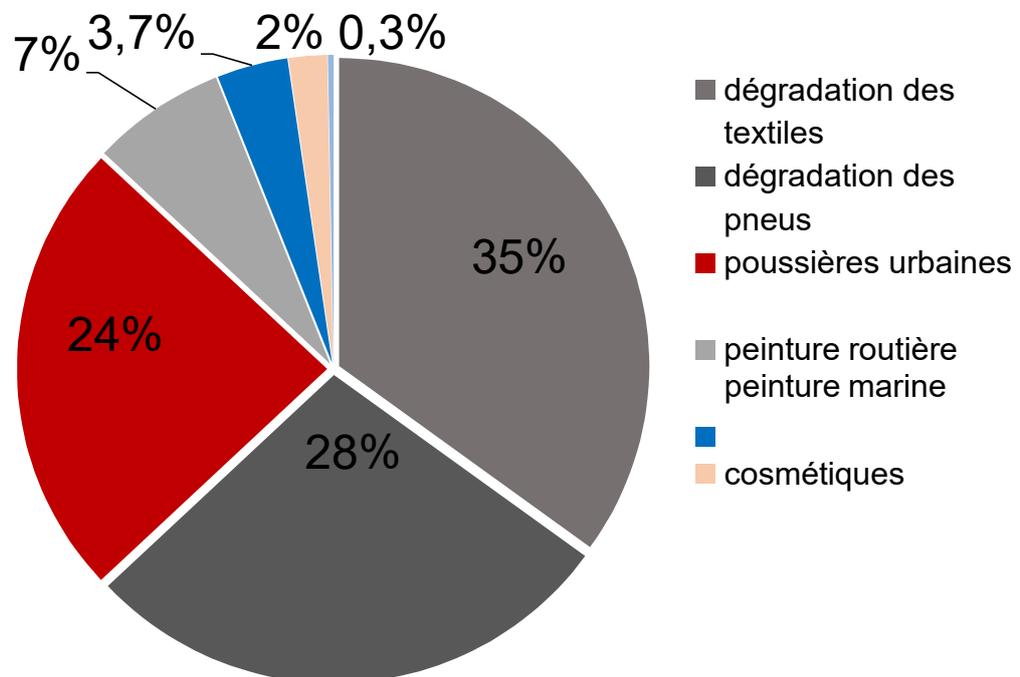


Figure 2 : Origine des microplastiques primaires retrouvés dans les océans du monde [6].

3) **Danger des microplastique**

Aujourd'hui, les études sont encore incomplètes pour évaluer dans quelles mesures l'ingestion de particules de plastiques est dangereuse pour l'organisme.

En 2017, une étude menée au King's College de Londres suggérait qu'avec le temps, les effets cumulés de l'ingestion de plastique pourraient se révéler toxiques. Cette toxicité dépendait de la qualité du plastique et des additifs chimiques entrant dans sa composition comme le chlore ou le plomb. Sans oublier que certains microplastiques sont des vecteurs de parasites et bactéries.

Une consommation de produits de la mer riche en microparticules de plastiques n'est pas sans danger et une étude a montré que ces déchets pouvaient fragiliser et endommager les systèmes immunitaires et digestifs. Ces particules déstabiliseraient notamment l'équilibre de la flore intestinale.

Pour les chercheurs, les études doivent se poursuivre pour évaluer la quantité éventuelle de microplastiques retrouvée dans le bœuf, la volaille, les produits laitiers et les céréales. A partir d'une évaluation fine de la quantité et de la qualité des microplastiques ingérés, il sera possible de mesurer plus précisément leur toxicité pour la santé humaine [3].

Le plastique dérivant en mer se charge de toxines diverses puis contamine les animaux marins qui les ingèrent. Selon cette même étude, le taux de toxines augmenterait et se concentrerait de plus en plus au fur et à mesure que l'on remonte la chaîne alimentaire, jusqu'à atteindre l'Homme.

Ces polluants posent de nombreux problèmes sanitaires et écologiques car ils ont la propriété d'être des perturbateurs des systèmes hormonaux des animaux y compris l'Homme, avec comme conséquence la baisse des capacités de reproduction et des facultés immunitaires.

De par ses composants, le plastique pollue l'environnement et est nocif pour l'Homme et la faune. Plus les particules plastiques sont petites, plus elles sont dangereuses [7].

a) **Danger physique**

De nombreuses études rapportent qu'une grande quantité d'animaux marins ingèrent des macroplastiques. Une étude récente révèle que 100 % des tortues marines présentent des déchets plastiques dans leur système digestif. Il en va de même pour 59 % des baleines, 36 % d'otaries et 40 % d'oiseaux. Cela peut causer un effet de satiété alors que l'apport nutritif n'est

pas suffisant. D'autre part, les morceaux de plastique peuvent obstruer le tractus intestinal. Tout cela peut mener à la mort de l'animal par malnutrition et chute de l'état de santé.

Les effets physiques causés par les microplastiques sont moins étudiés. Toutefois, il est prouvé que les particules de petite taille peuvent s'attacher à la surface interne ou externe d'organismes marins. Cela peut conduire à des lésions physiques engendrant du stress ou de l'inflammation ou même aller jusqu'à bloquer la surface d'absorption telle que la muqueuse intestinale. Par conséquent, ces organismes subissent une baisse d'apports énergétiques. Toutefois, aucune étude ne rapporte que ces informations peuvent être transposées chez l'homme [1].

b) Danger chimique

Contrairement aux macro- et mesoplastiques qui ont principalement des effets physiques sur la faune sauvage, les microplastiques auraient pour leur part potentiellement des effets chimiques. Ils seraient considérés comme vecteurs de dangers chimiques.

Les substances chimiques ajoutées lors de la fabrication du plastique, dénommées additifs, ou adsorbées par les plastiques dans l'eau peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé des animaux, Il en va de même pour les substances chimiques entrant dans la composition des plastiques [1].

4) Incidence des microplastiques dans les aliments

Depuis plus de 50 ans, la production de plastiques a explosé dans le monde avec une utilisation massive dans des produits jetables bon marché, des emballages alimentaires (PVC), les tissus et textiles (polyesters), les CD (polycarbonates). Or, s'il n'est pas correctement recyclé, le plastique constitue une menace majeure pour notre environnement et potentiellement un danger pour notre santé.

Les microplastiques peuvent rester dans l'environnement pendant des centaines d'années. Et cette pollution environnementale de l'eau (mers, océans, lacs, rivières), de l'air et des sols conduit à une contamination de certains aliments comme l'eau potable et en bouteille, les algues, le sel de mer, les poissons, crustacés, coquillages, voire d'autres animaux suite à l'ingestion d'insectes contaminés dans leur propre environnement direct [8].

Les effets à long terme sur la santé humaine faisant suite à l'ingestion de grandes quantités de plastique ne sont pas encore bien connus. Toutefois, des études ont montré que :

- l'inhalation de fibres plastiques semble provoquer une légère inflammation des voies respiratoires,
- chez les animaux marins, des concentrations élevées en microplastiques dans leur système digestif et respiratoire peuvent entraîner une mort précoce,
- une toxicité in vitro sur les cellules pulmonaires, le foie et les cellules du cerveau [9].

5) Les microplastiques dans les aliments

Si vous consommez du sel, des fruits de mer et/ou du poisson, vous êtes concerné par la contamination aux microplastiques. Selon une récente étude, un adulte consomme en moyenne environ 2 000 microparticules de plastique par an via le sel.

A cela s'ajoute les 71 % de mollusques et 66 % de crustacés contaminés par des microplastiques. Les moules et les huîtres sont les principaux fruits de mer concernés. Et pour cause : les moules filtrent entre 20 et 25 litres d'eau par jour et ingèrent donc des microplastiques, comme tous les autres organismes filtreurs. Les huîtres sont également très sensibles à l'impact de la pollution plastique, notamment au niveau de la reproduction.

Selon les dernières études, les consommateurs réguliers de fruits de mer pourraient avaler 780 000 fragments de plastique par an si la pollution au plastique continuait à s'intensifier. Mais inutile d'aller aussi loin dans le temps pour s'apercevoir que nous sommes déjà bien contaminés aux microplastiques.

Une étude présentée au congrès de gastroentérologie en Autriche a montré la présence généralisée de microplastiques dans les selles humaines. Les particules de polypropylène (PP) et de polyéthylène-terephthalate (PET) représentent plus de 95 % des particules détectées. C'est la première fois que des scientifiques trouvent des microplastiques dans des selles humaines. A l'heure actuelle, nous cernons encore mal les impacts que peuvent avoir ces microplastiques sur la santé [5].

6) Les microplastiques dans le sel

Des scientifiques ont analysé différents sels marins destinés à la vente, en provenance d’Afrique du Sud, d’Australie, de France, d’Iran, du Japon, de Malaisie, de Nouvelle-Zélande et enfin, du Portugal. Les 41,6 % de plastique retrouvés dans ces sels sont des polymères, sous forme de petit débris, de film ou de filament [10].

Selon le biologiste et expert en pollution plastique Richard Ftompson, la quantité de microplastiques contenue dans le sel de table et les fruits de mer ne peut pas, à elle seule, avoir de réels effets sur la santé humaine. Toutefois, avec l’accroissement constant de la pollution plastique et les effets croisés des autres sources de microplastiques dans notre quotidien (contenants, films alimentaires, cosmétiques, eau en bouteille...), il y a de sérieuses raisons de s’inquiéter [11].

Selon une récente étude réalisée par Yang et 2015 [25] sur 16 marques de sels de table commercialisés en chine la teneur en particules de MP était de 550 à 681 éléments/kg dans le sel de mer, 43-364 éléments/kg dans le sel de lac et 204 éléments/kg dans le sel Gemme. Le plastique le plus commun est, le polyéthylène (22,9 %) et le polypropylène (19,2 %). Selon une autre étude les sels ne sont pas contaminés que par des sources aquatiques. De plus, il y a risque élevé de contamination du sel de table par les PM au cours du processus de fabrication. Au cours des processus généraux de production de sel de lac et de sel de mer, l’eau de dans les bassins d’évaporation où il est concentré par l’effet du soleil et du vent. Le sel puis se concentre et cristallise à la surface des cristalliseurs, dans lequel le sel est recueilli au moyen d’un processus de collecte fermé et contrôlé. Ensuite, le sel est soumis à différentes processus physiques avant d’être emballés dans des conteneurs différents pour des usages multiples et différentes applications. Les sels minéraux sont préparés après un processus de raffinage. Dans ce processus, les sels de diverses sources sont raffinés. Les deux processus sont ouverts et donc susceptibles d’être aéroportés et autre type de contamination [12].

Au vu de l’importance de la pollution, la présence de microplastiques dans le sel et les produits salés n’est pas surprenante. Cela prouve aussi que les microplastiques sont omniprésents, qu’ils soient dans la nature ou le corps humain [13].

II. Les matériaux autorisés pour le contact avec les aliments

La constitution des matériaux en contact avec les aliments doit suivre des règles spécifiques pour limiter l'échange de substances en provenance des matériaux vers les produits alimentaires afin d'éviter de les contaminer (principe d'inertie) sauf exception pour les matériaux actifs. Ces matériaux doivent également être fabriqués en respectant les bonnes pratiques de fabrication définies par la réglementation.

Les matériaux entrant en contact ne peuvent pas présenter un danger pour la santé humaine, modifier la composition des aliments ou entraîner une altération de leurs caractères organoleptiques, c'est-à-dire leurs propriétés en termes de goût, odeur, aspect, couleur, consistance.

Les matériaux entrant en contact sont également l'objet d'une obligation de traçabilité et d'étiquetage. Par contre, l'obligation d'une déclaration de conformité est limitée aux matériaux réglementés par des mesures spécifiques [14].

L'industrie alimentaire est la première consommatrice d'emballages et représente 66 % du chiffre d'affaire de ce secteur. Elle est également la plus confrontée aux exigences réglementaires et ce, à tous les stades de production. A côté de l'emballage, il existe une variété d'objets ou contenants susceptibles d'entrer en contact avec les denrées alimentaires. Le risque de transferts réciproques entre ces objets ou matériaux et les denrées alimentaires ne doit pas être négligé. L'aptitude au contact alimentaire d'un objet signifie que le matériau dont il est constitué répond aux exigences réglementaires garantissant qu'il n'y a pas de risques susceptibles de présenter un danger pour la santé humaine lors de la consommation d'aliments ou boissons au contact de cet objet. Cette aptitude est régie par le règlement CE 1935/2004 et concerne les matériaux et objets tels : les emballages et conditionnements, les récipients et ustensiles de cuisine, les machines et les matériaux utilisés dans la production, le stockage ou le transport de denrées alimentaires, les tétines et les sucettes. Le règlement vise les aliments et boissons qu'ils soient à l'état de produits finis ou de produits intermédiaires, destinés à l'alimentation humaine. A côté du règlement cadre, il existe divers règlements ou directives spécifiques décrivant les critères d'inertie pour certains matériaux (matières plastiques, céramiques, pellicule de cellulose régénérée) et les modalités de contrôle de la conformité. La réglementation spécifique définit les critères d'inertie en fonction de la nature des matériaux [15].

Le règlement général distingue 17 types de matériaux pouvant se trouver au contact avec les aliments : les matières plastiques (y compris les vernis et les revêtements), les celluloses régénérées, les élastomères et le caoutchouc, les papiers et cartons, les céramiques, le verre, les métaux et alliages, le bois, les produits textiles, les cires de paraffine et cires microcristallines, les matériaux et objets actifs, les colles, le liège, les résines échangeuses d'ions, les encres d'imprimerie, le silicone, les vernis et revêtements [16].

Tout matériau ou objet destiné à entrer en contact avec des denrées alimentaires doit assurer la sécurité du consommateur. Afin de garantir l'aptitude de leurs produits.

III. Méthode de caractérisation des plastiques

Les polymères sont de grosses molécules qui ont la même unité structurale qui se répète encore et encore. Les unités répétitives sont les monomères de ce polymère. Ces monomères se lient les uns aux autres par des liaisons covalentes pour former un polymère. Ils ont un poids moléculaire élevé et sont composés de plus de 10 000 atomes. De plus, dans le processus de synthèse (polymérisation), des chaînes polymères plus longues forment.

Il existe deux principaux types de polymères en fonction de leurs méthodes de synthèse. Si les monomères ont des doubles liaisons entre les atomes de carbone provenant de réactions d'addition, nous pouvons synthétiser des polymères. Nous les nommons comme polymères d'addition. Parfois, lorsque deux monomères se rejoignent, une petite molécule comme l'eau s'enlève. De tels polymères sont des polymères de condensation.

Les polymères ont des propriétés physiques et chimiques très différentes de celles de leurs monomères. De plus, selon le nombre d'unités répétées dans le polymère, les propriétés diffèrent. Un grand nombre de polymères sont présents dans l'environnement naturel et jouent un rôle très important. Les polymères synthétiques sont également largement utiles à différentes fins. Le polyéthylène, le polypropylène, le PVC, le nylon et la bakélite font partie des polymères synthétiques. En outre, lors de la production de polymères synthétiques, nous devons contrôler le processus correctement pour obtenir le produit souhaité. Les polymères sont utiles comme adhésifs, lubrifiants, peintures, films, fibres, produits en plastique, etc.

Le plastique est aussi un polymère qui a une grande masse moléculaire.

Les monomères de plastique peuvent être naturels ou synthétiques. Nous produisons du plastique à partir de produits pétrochimiques. Par conséquent, le plastique est un polymère synthétique.

CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Les thermoplastiques et les polymères thermodurcissables sont deux types de plastiques. Les thermoplastiques deviennent mous quand on les chauffe et si on les refroidit, se solidifie à nouveau. Par conséquent, avec un chauffage et un refroidissement continu, nous pouvons changer la forme sans problème (par exemple, polyéthylène, polypropylène, PVC, polystyrène).

Cependant, si nous chauffons et refroidissons des polymères thermodurcissables, ils durcissent de manière permanente. Lorsqu'il est chauffé, il peut être moulé, mais s'il est chauffé à nouveau, il se décompose (par exemple, la bakélite, que nous utilisons pour fabriquer des poignées de casseroles).

Les plastiques sont largement utilisés sous différentes formes, telles que bouteilles, sacs, boîtes, fibres, films, etc. Les plastiques peuvent être très résistants aux produits chimiques et sont des isolants thermiques et électriques. Différents plastiques ont des résistances différentes mais ont un poids léger. Nous pouvons produire ce matériau par des réactions de condensation et d'addition. En outre, la réticulation est possible entre les chaînes de polymères dans le processus de synthèse. Par exemple, nous pouvons produire du polyéthylène par une réaction d'addition du monomère éthylène. Son unité répétitive est -CH₂-.

Selon la manière dont il subit la polymérisation, les propriétés du polyéthylène synthétisé changent.

Le PVC ou le chlorure de polyvinyle est similaire au polyéthylène, avec un monomère de CH₂=CH₂Cl, mais la différence est que le PVC contient des atomes de chlore. Le PVC est rigide et utile dans la fabrication de tuyaux. Cependant, le plastique est devenu une question très controversée à l'heure actuelle en raison de son incapacité à se dégrader.

En outre, ce matériau constitue un pourcentage considérable de nos déchets ; par conséquent, il continue d'augmenter sur la surface de la terre. Ce problème a donc attiré l'attention des chercheurs, qui ont donc synthétisé des plastiques recyclables [17].

❖ **Différence entre les polymères et les plastique**

Les polymères sont des molécules géantes. Les plastiques sont un type de polymères. Cependant, il existe peu de différences entre les deux matériaux. La principale différence est que les polymères peuvent être naturels ou synthétiques, alors que le plastique est un polymère synthétique [17].

Les matières plastiques industrielles sont généralement des mélanges complexes de macromolécules, elles-mêmes hétérogènes sur le plan structural avec des adjuvants et éventuellement des charges.

Il est facile de prévoir que dans la pratique, les problèmes d'analyse courante vont se poser à des degrés de difficulté très différents allant de l'identification sommaire à l'étude d'un détail particulier de la microstructure du polymère au dosage d'une impureté à l'état de traces.

Les différentes méthodes physico-chimiques permettant l'analyse des polymères évoluent rapidement dans le sens d'une simplicité croissante. La rapidité avec laquelle on peut obtenir un grand nombre d'informations et de possibilités de leur utilisation empirique fait que l'ingénieur (utilisateur) ne peut plus ignorer un certain nombre de ces méthodes.

Cette analyse physico-chimique des polymères faits l'objet de plusieurs fascicules ou les principales méthodes sont :

- Spectroscopie infrarouge IR.
- Spectrométrie
- Electronique SM.
- Spectroscopie d'absorption UV-Visible.
- Chromatographie en phase gazeuse (CPG)
- Analyse thermique différentielle (ATD)
- Chromatographie liquide (CL) [18].

IV. Le sel

1) Définition

Le sel de table, sel alimentaire ou sel de cuisine, est composé essentiellement de chlorure de sodium. Il se présente sous différentes formes : gros sel (ou sel gros), sel fin, fleur de sel.



Figure 3 : Sel alimentaire blanc.



Figure 4 : Cristal de sel gemme (environ 15 cm).

Le sel de qualité alimentaire est un produit cristallin se composant principalement de chlorure de sodium, provenant de marais salants, de sel gemme ou de saumures provenant de la dissolution de sel gemme et répondant aux spécifications suivantes :

- chlorure de sodium : pas moins de 97 % de l'extrait sec, non compris les additifs.
- cuivre : pas plus de 2 mg/kg.
- plomb : pas plus de 2 mg/kg.
- arsenic : pas plus de 0,5 mg/kg.
- cadmium : pas plus de 0,5 mg/kg .
- mercure : pas plus de 0,1 mg/kg [19].

2) Fabrication

La fabrication et l'utilisation du sel sont l'une des industries chimiques les plus anciennes. Plusieurs sources de production sont possibles. Récolté dans les marais salants, extrait des mines de sel gemme, produit par dissolution, recristallisé dans des salines ignigènes, le sel connaît plus d'une méthode de production. Il n'a pourtant qu'une seule origine : la mer [19].

a) Sel Gemme

Le sel gemme est un dépôt de minerais contenant une grosse concentration de sel comestible. Ces gisements de sel ont été constitués par l'évaporation ancienne de lacs ou de mers intérieures. Ce type de dépôts est appelé évaporite. Chaque gisement a une composition particulière. On peut y trouver de la Halite presque pure (NaCl), mais également de la sylvite (KCl) ou du gypse (CaSO₄). Ces dépôts peuvent être extraits traditionnellement dans une mine ou par injection d'eau. L'eau injectée dissout le sel, et la solution de saumure peut être pompée à la surface où le sel est récolté.

b) Sel de mer

Du sel est également obtenu par évaporation de l'eau de mer, habituellement en bassins peu profonds chauffés par la lumière du soleil ; du sel ainsi obtenu s'est autrefois appelé le sel de compartiment, et s'appelle maintenant souvent sel de mer.

Des changements climatiques peuvent affecter certains producteurs de sel de mer s'il y a augmentation de la nébulosité et de la pluviométrie dans certaines régions. À titre d'exemple d'influence de la météorologie, l'été 2007 ayant été très pluvieux, les salines de l'île de Ré n'ont pu récolter que 50 tonnes de sel, soit 2 % de la production moyenne. À l'inverse, l'année 2011 a vu la récolte du sel de Guérande démarrer avec un mois d'avance grâce à des conditions climatiques plus que favorables [19].

c) Sel des chotts

C'est un dépôt de minerais contenant une grosse concentration de sel comestible. Ces gisements de sel ont été constitués par l'évaporation des lacs de sel durant la préhistoire ces dépôts peuvent être extraits par injection d'eau. L'eau injectée dissout le sel qui est de plus en plus concentré. Lorsque saumure (l'eau salé) atteint le degré de saturation, cette dernière est transvasée vers les marais salants où le sel sédimente et peut être récolté par raclage [20].

3) Méthode de production de sel

Le procédé de fabrication de sel passe par 6 phases, de la phase pompage jusqu'à la phase finale « produit fini destiné à la consommation », sont reconnues comme suit :

- Pompage et extraction (la récolte).
- Lavage primaire (traitement primaire).
- Lavage secondaire (traitement secondaire).
- Séchage.

- Broyage et iodation.
- Conditionnement (mise en paquet).

a) **Le pompage**

Le pompage de la saumure s'effectue à partir d'un lac salé par des motos pompes, lorsque la densité de la saumure atteint une concentration de 22° Baumé. Cette opération se fait à partir d'une eau chargée de 26 % à 30 % du sel, à l'aide des moyens mécaniques. La saumure doit être acheminée vers les tables salantes ou cristalliseurs où elle subit une évaporation partielle de l'eau et la décantation du sel au fond des tables. Lorsque l'épaisseur du sel décanté atteint 15 à 20 cm, on déclenche l'opération de récolte après évacuation des eaux mères lorsque la saumure arrive à une densité de 29° Baumé.

b) **La cristallisation du sel**

La saumure pompée dans les tables de cristallisation subit une évaporation par l'effet du soleil et du vent pour obtenir du sel dans son état brut. Le service de contrôle de l'unité suit périodiquement l'évolution du taux de sel dans le lac et dans les cristallisations. A ce stade le contrôle permet d'assurer la pureté du sel.

c) **Extraction**

C'est-à-dire le ramassage du sel, le sel cristallisé dans les tables est extrait par des moyens mécaniques (récolteur) et transporté à la station de lavage. La récolte du sel est prononcée dès que la cristallisation du sel est terminée et la saumure est saturée de sels nuisibles.

d) **Lavage primaire et stockage du sel**

Le sel récolté subit un premier lavage dit « primaire » permettant de réduire les impuretés et d'obtenir un sel conforme aux spécifications techniques pré-établies. On procède à des contrôles physico-chimiques qui permettent de s'assurer du taux de NaCl (96 %) après lavage. Le sel lavé est stocké sous forme d'une camelle. A ce stade le contrôle se fait périodiquement (2 fois par mois) pour s'assurer de la stabilité du produit stocké. Les manières de stockage varient d'un pays d'un autre.

e) **Séchage**

Le sel passe à travers un tunnel d'air chaud où il subit une évaporation de l'eau résiduelle.

f) **Broyage**

Pour avoir un sel fin, le sel passe par le broyage.

g) Lavage secondaire

Avant le passage du sel à la forme finale « la mise en paquet », il est impératif de lui faire subir un second lavage et un essorage pour plus de propreté, ainsi l'enlèvement de toutes sortes de nuisance générée de l'opération de stockage à l'air libre, il est évidemment séché.

h) Iodation du sel

L'iode est ajouté au sel sous forme d'iodate de potassium après raffinage et séchage et avant emballage. Souvent, l'iodation peut être liée aux lignes de production et (ou) raffinage existantes. Il suffit d'ajouter une solution d'iodate de potassium au sel (méthode humide) ou de poudre sèche d'iodate de potassium (méthode à sec). Dans le premier cas, l'iodate est d'abord dissous dans de l'eau pour obtenir une solution concentrée. Cette solution est appliquée au sel à un rythme uniforme soit par égouttement, soit par aspersion. Dans la méthode à sec, l'iodate est d'abord mélangé avec une charge (carbonate de calcium et/ou sel sec) et la poudre est ensuite aspergée sur le sel sec. Dans les deux cas, il importe absolument de bien malaxer après adjonction de l'iodate pour s'assurer d'une répartition convenable. Si le malaxage est insuffisant, certains lots contiendront trop d'iode et d'autres pas assez.

L'iodation du sel se fait dans respect de la norme NA 6351 du 20/08/1990. Homologué par l'arrêté ministériel du 30/01/1990 rendant obligatoire la vente de sel iodé. La norme algérienne fixe la teneur du sel en Iode entre 30 et 50 ppm (correspondant à 50,55 mg/kg de sel à 84,25 mg/kg d'iodate de potassium).

i) Conditionnement

C'est la phase finale où converge le sel lavé, séché, broyé et iodé dans des sachets pour être destiné à la consommation [20].

4) Qualité des sels

Le métier du salinier consiste à recueillir dans la nature cette substance minérale qu'est le sel, à élaborer et à conditionner un produit conforme à la demande du consommateur ou des industriels de l'alimentaire. Le « produit » sel se différencie en termes de granularité (gros ou fin), de nature des emballages (salières, boîtes verseuses, sachets, étuis carton, sacs, big bags, vrac...) et, le cas échéant, de supplémentation en iode et/ou en fluor.

Naturellement blanc, le sel (NaCl) est commercialisé pour ses caractéristiques propres, en particulier sa saveur, mais aussi pour sa valeur technologique recherchée dans une grande variété d'applications alimentaires.

CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

En 1999, le Comité des Salines de France a élaboré une Charte de qualité du sel alimentaire qui engageait ses signataires à garantir aux consommateurs un sel de qualité irréprochable et une sécurité alimentaire parfaite.

Attentif aux préoccupations des clients de ses adhérents, le Comité des Salines de France fait évoluer sa Charte et s'engage dans une démarche de responsabilisation accrue de la profession en matière de sécurité alimentaire et d'information du consommateur, le cas aussi des entreprises nationales ENASEL de production de sel.

Cette nouvelle Charte s'articule autour de trois axes :

- Garantir la qualité du sel et maîtriser les risques pour la sécurité alimentaire.
- Participer à la politique de prévention des risques de déficit en iode et de la carie dentaire.
- Contribuer à l'information du consommateur et au bon usage du sel.

Les signes de qualité du sel alimentaire sont :

- Seul un sel dépassant une pureté de 97 % (minimum exigé sur extrait sec) est reconnu comme « alimentaire » par le *Codex Alimentarius* au niveau international. La réglementation française, dans un décret de 2007, précise également que le sel de qualité alimentaire ne doit pas contenir moins de 97 % de NaCl sur extrait sec. 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 sec peut être iodé et fluoré.
- 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.
 - Pour être de qualité alimentaire, le sel doit par ailleurs répondre aux exigences suivantes : provenir de marais salants, de gisements souterrains de sel Gemme ou de saumure obtenue par dissolution du sel gemme.
 - être contrôlé à tous les stades de production jusqu'à la mise en rayon, en assurant sa traçabilité.
 - être conditionné dans des emballages dont les matériaux répondent aux dispositions relatives aux denrées alimentaires et respectant l'environnement [21].

5) Consommation de sel

La forte consommation de sodium (> 2 g/jour, l'équivalent de 5 g de sel par jour) et l'absorption insuffisante de potassium (moins de 3,5 g par jour) contribuent à l'hypertension artérielle et à un risque accru de cardiopathie et d'accident vasculaire cérébral.

Le sel est la principale source de sodium dans notre alimentation, bien que le glutamate de sodium, condiment utilisé dans de nombreuses régions du monde, puisse aussi en apporter. La plupart des gens consomment trop de sel, de 9 à 12 g par jour en moyenne, soit deux fois l'apport maximum recommandé.

Une consommation de sel de moins de 5 g par jour chez l'adulte contribue à faire baisser la tension artérielle et le risque de maladie cardiovasculaire, d'accident vasculaire cérébral et d'infarctus du myocarde. Le principal avantage de diminuer l'apport en sel se traduit par une baisse correspondante de l'hypertension artérielle.

Les États Membres de l'OMS ont décidé de réduire de 30 % la consommation de sel de la population mondiale d'ici 2025. La baisse de l'apport en sel a été identifiée comme l'une des mesures ayant le meilleur rapport coût/efficacité que les pays peuvent prendre pour améliorer la situation sanitaire à l'échelle de leurs populations.

Les principales mesures produiront une année supplémentaire de vie en bonne santé pour un coût inférieur au revenu annuel moyen ou au produit intérieur brut par personne. On estime qu'on pourrait éviter chaque année 2,5 millions de décès si la consommation de sel au niveau mondial était ramenée au niveau recommandé [22].

V. Le sel en Algérie

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 (diapirs visibles ou cachés, couches souterraines) 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 dépression de la plateforme saharienne.

Le potentiel des réserves de sel en Algérie est considérable et se compose de :

- Sel Gemme avec des réserves évaluées à un Milliard de tonnes.
- Sel lagunaire avec des réserves évaluées à 1,5 Milliards de tonnes en apports annuels renouvelables dans les chotts du Sud-Est Algérien.

Ce potentiel peut être largement augmenté grâce à l'évaluation détaillée des gisements connus. On distingue deux catégories de gisements de sel : le sel rocheux et le sel lagunaire.

1) Le Sel Rocheux

Le sel Gemme sous forme de roche, est disponible au Nord du pays et il forme de nombreux gisements visibles ou cachés. Les résultats de la recherche minière menée par l'Entreprise Nationale de Recherche et d'Evaluation Minière (EREM), durant la période 1984-1987, ont permis d'évaluer et de confirmer un potentiel de près de un milliard de tonnes. Les principaux gisements évalués sont présentés ci-dessous Tableau 1 :

Tableau 01 : Les principaux gisements de sel rocheux en Algérie [23]

lieu	Type de gisement	Réserve (million de tonne)
Arbal (W.AinTimouchent)	Diapir souterrain	260
Guergour Lamri (W.sétif)	Couches souterraines	263
Ainnouissi (W.Mostaganem)	Couche souterraines	400
El outaya (W.Biskra)	Diapir apparent	150
Rocher de sel (W.Djelfa)	Diapir apparent	120
Karkada (W.El Bayadh)	Diapir apparent	45

2) Le Sel Solaire

Le sel solaire est produit dans des dépressions (chotts ou lacs), parfaitement isolées de la mer, au-dessous de son niveau et alimentées en sel par lessivage des terrains salifères antérieurs. La fabrication du sel dans ces dépressions est le résultat de phénomènes naturels qu'on peut résumer par des apports en eaux salées souterraines et superficielles qui font l'objet d'une évaporation naturelle (généralement d'avril à septembre) à l'aide des vents favorables.

Du Nord au Sud du pays, on distingue (Tableau 02) :

- Les lacs intra-montagneux : Béthioua, Sidi Bouziane et OuledZouai.
- Les chotts des Hauts Plateaux : El Hodna, Zahrez Chergui et ZahrezGherbi.
- Les chotts de la plateforme saharienne : Mérouane et Melghir

Tableau 02: Les principaux gisements connus [23]

Lieu	Type de gisement	Réserves (million de tonne)
Béthioua (W.Oran)	Lac	702
Sidi Bouziane (W.Rélisane)	Lac	6,4
Ouled Zouai (W.O.E.Bouaghi)	Lac	Apport annuel non évalué
El Hodna (W.Djelfa)	chotts	35 à 45
Mérouane (El Oued)	chott	0,8 /an
Melghir (W.El-Oued)	chott	0,9 /an

Parmi tous ces gisements de sel solaire, seuls les lacs salés de Béthioua, Sidi Bouziane, Ouled Zouai et le grand chott Mérouane, font l'objet actuellement d'exploitation. Unique en Algérie et en Afrique, la raffinerie d'El Outaya dans la région de Biskra (Sud-Ouest du pays), produit à partir de la roche de sel Gemme, un sel raffiné de haute qualité (99,85 %) très prisé par les consommateurs [23].

❖ Consommation de sel en algerie

Le marché du sel alimentaire en Algérie Selon une enquête nationale menée en 2003 par l'ONS pour le compte D'ENASEL montre que Le ménage algérien consomme en moyenne 22 Kg de sel alimentaire par an (**tableau 03**) [24].

Tableau 03 : Les consommations annuelles de sel alimentaire pour quelque wilaya [24]

La wilaya	Sel alimentaire en Kg/an	La wilaya	Sel alimentaire en Kg/ans
Annaba	21	Oum el bouaghi	37
Skikda	10	Tébessa	42
Geulma	18	Bouira, djelfa	05
El tarf	18	M'sila, BBA	44
Souk ahrass	44	Moyenne nationale	22

CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

I. Echantillon de laboratoire

Les échantillons de sel de table qu'on a choisie sont Chemsî, Tornado, Chams Rafie; ces trois marques sont fabriqués à EL OUTAYA wilaya de Biskra ; la collecte des échantillons s'est faite en mars 2021, ils ont été contrôlés visuellement afin de s'assurer de l'intégrité de l'emballage et qu'ils portent les différents renseignements (poids, date de fabrication, etc.). 09 paquets qui ont été acheté dans différentes supérettes (03 paquets de chaque marque) de différentes dates de fabrication.

1) Préparation de sel

Après la vérification de poids par pesée ; on mélange 03 paquets de chaque marques dans un cristalliseur en porcelaine avec une cuillère métallique pendant 5 min afin d'obtenir un mélange bien homogénéisé.

2) La masse volumique

On prend un volume précis de 10 ml de sel qu'on pèse avec précisions, l'opération se faire dans une éprouvette graduée de 10 ml propre et séchée ; le remplissage se fait avec une spatule métallique, la masse volumique est exprimée en kg/m^3 comme suite :

$$\rho = m/v$$

Avec : m : est la masse de sel en g. V : est le volume en ml.

3) L'humidité

Le principe de la mesure est la dessiccation dans une étuve réglée à une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à l'élimination de toute l'eau libre, on l'exprime sur 5 g de sel dans des creusés en porcelaine et on fait 02 répétitions pour chaque marque. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$H\% = (M_2 - M_1) / p \cdot 100$$

Avec M_1 : est la masse de creusé et le sel avant étuvage.

M_2 : est la masse de l'ensemble après étuvage.

P : est la prise d'essai.

II. Analyses microscopiques

1) Contrôle qualité des expériences

Un ensemble de mesures ont été pris pour éviter la contamination par des microplastiques, tous les liquides ont été filtré à l'aide d'un papier filtre à pores de 5 μm avant utilisation (rompe de filtration). Tous les récipients et béchers ont été lavés avec le liquide vaisselle puis rincés avec de l'eau distillée filtrée. Les échantillons ont été immédiatement recouverts lorsqu'ils n'étaient pas utilisés, pour empêcher les polluants atmosphériques type particules minérale ou plastique.(inspiré de l'étude de yang et al.2015)

2) Traitement au peroxyde d'hydrogène

On prépare trois échantillons de chaque marque, 120 g de sels de table ont été directement placés dans une bouteille en verre de 500 ml à une hauteur de 15 cm.

Environ 50 ml de H_2O_2 à 30 % ont été ajoutés à la première et à la deuxième bouteille pour digérer la matière organique (la deuxième bouteille servira à séparer surnageant et dépôt). Un échantillon dans la troisième bouteille a été dissout quant à lui dans l'eau (solution saline).

Les flacons ont été recouverts et placés dans une étuve à 65°C avec agitation manuelle, à des fréquences régulières (30 min), pendant 24 h, puis à température ambiante pendant 48 h.

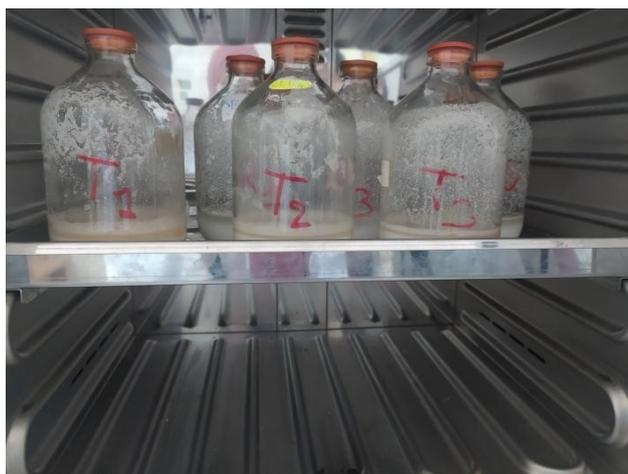


Figure 5 : Etuvage des échantillons

3) Flottation et filtration

Après les 72h, environ 400 ml d'eau filtrée ont été ajoutés à chaque bouteille. On agite manuellement jusqu'à dissolution totale du sel, puis on fait la filtration sur un filtre de 5 μ m d'ouverture de pores.

La solution saline (eau) et la première bouteille des trois marques ont été immédiatement filtrés à l'aide d'une rampe de filtration sous vide. Le papier filtre a ensuite été placé dans une boîte de Pétri propre avec un couvercle et a été séché à température ambiante pour observer le nombre total de particules par microscopie.

La deuxième bouteille de chaque marque a été recouverte d'un couvercle en verre et maintenue pendant une nuit sans agitation. Le surnageant a été filtré doucement à part et le dépôt au fond des flacons également filtré pour l'observation microscopique.



Figure 6: Rampe de filtration sous vide

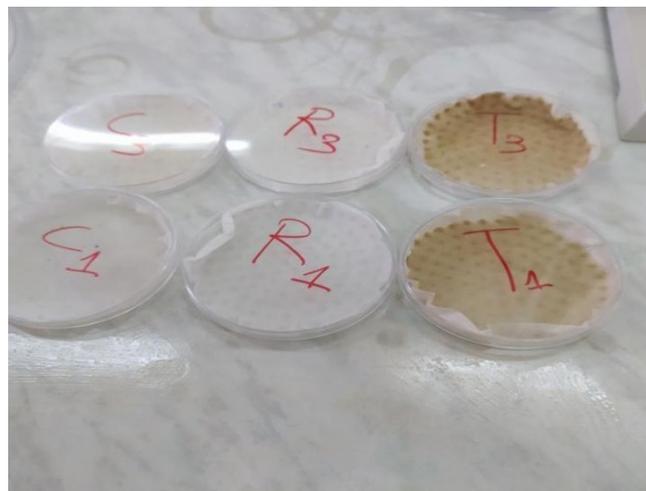


Figure 7 : Echantillons filtrés en boîte

4) Observation visuelle de microplastiques sous un microscope

Les filtres ont été coupés en quatre et l'observation est faite sur deux quarts opposés avec grossissement $\times 400$, pour observer les différentes particules (MP, amas organique, fibre, sable, etc.), observés sous un microscope optique représenté dans la **figure 08**.

Il est nécessaire de compter au moins 500 éléments dans au moins 100 champs microscopiques différents. Afin d'examiner uniformément l'ensemble de la lame, il est nécessaire aussi que les champs soit présents sur 5 lignes parallèles équidistantes d'un bord du filtre à l'autre.

Une évaluation visuelle a été réalisée pour identifier les types et les couleurs des microplastiques en fonction des caractéristiques physiques des particules. L'abondance des microplastiques a été calculée sur la base de l'observation microscopique et va être confirmée avec la spectroscopie Raman.



Figure 8 : microscope optique

❖ Calcul et expression des résultats microscopiques

Pour calculer le nombre total des Mp_s , il est nécessaire de calculer la surface de la partie du filtre contenant le sédiment en mm^2 (F). Le nombre total des Mp_s est calculés par la formule suivante [26].

$$N_{total} = \frac{F \times n}{f \times a} \times 2$$

N : Nombre total des microplastiques.

F : Surface totale de filtre.

a : nombre des champs observés.

n : nombre total des microplastiques observés.

5) Caractérisation des microplastiques avec la spectroscopie Raman

La spectroscopie Raman est réalisée sur les emballages de sel Rafie et Chemssi. Cette méthode n'est pas destructrice lorsqu'on veut connaître la structure externe d'une particule. La reconnaissance se fait à l'aide d'un faisceau lumineux monochromatique d'une longueur d'onde entre 500- 3000 nm qu'on envoie sur l'échantillon (figure 9).

A la suite d'une interaction lumière-matière, il résulte une différence de fréquence de la lumière qui est renvoyée au système d'analyse. Cette différence, appelée « effet Raman », distingue chaque molécule. Les polymères plastiques ont des spectres Raman spécifiques, l'identification se fera par conséquent, en comparant ces fréquences à des spectres de référence.

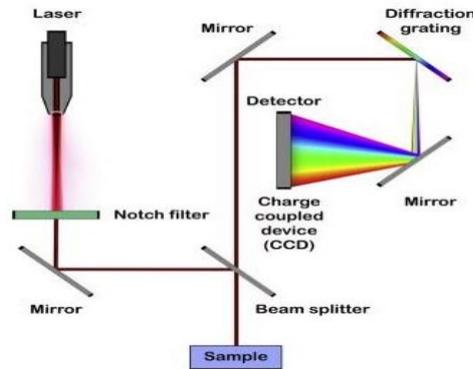


Figure 9 : Schéma d'une spectroscopie Raman[30]

Chapitre III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Prospection des marques de sels présents sur le marché en Algérie

La prospection des marque de sel vendus en Algérie est faite au niveau de deux wilaya Alger et Boumerdes précisément à Bordj el bahri, Ain taya, Bordj menaiel, Centre-ville de boumerdes; dans les supérettes et les alimentations générales. Le récapitulatifs des mentions obligatoires portées sur l'étiquetage est présenté dans le tableau 4.

Les sels sont présentés sous divers emballages (plastiques ou cartons) avec des contenances allant de 250 g à un 1 kg, dans la majeure partie des cas ils sont bien emballés dans des sacs plastiques.

Le prix ramené au kilogramme varie entre 20 et 320 DA (sels importés), le prix des sels issus de productions nationales varient de 20 à 80 DA ce qui reste un prix raisonnable, pour le produit importé le prix est de 320 DA au 600 g. Le tableau 4 donne un point de situation sur la conformité de l'étiquetage des marques de sels présents sur le marché de la wilaya.

Le tableau 4 donne un point de situation sur la conformité de l'étiquetage des marques de sels prospectés dans les localités choisies. La totalité des échantillons de sels sont conformes à la réglementation en vigueur relative à l'étiquetage des denrées alimentaires (dénomination du produit, de la date de production, du numéro de lot, du poids net), Arrêté interministériel du 28 Moharram 1440 correspondant au 8 octobre 2018 portant règlement technique relatif aux spécifications du sel de qualité alimentaire et arrêté sur l'étiquetage des denrées alimentaire.

La remarque que nous faisons ici c'est que certains échantillons ne mentionnent pas le type du plastique utilisé pour l'emballage, ce manque d'information ne permet pas une bonne traçabilité des microplastiques du produit ou peut créer une confusion dans l'esprit du consommateur qui veut vérifier si les emballages sont de qualité alimentaire ou pas.

Tableau 4: Récapitulatif des mentions obligatoires portées sur l'étiquetage.

Marque	Dénomination de vente	Nom et adresse du Producteur/conditionneur	Poids	Prix	Type d'emballage
Chatti	Sel de cuisine iodé	EURL SIRAJ SEL Jdida-guemar	01 kg	20 DA	Sachet En plastique
Chams rafie	Sel de cuisine iodé	ENASEL complexe El Outaya Biskra	01 kg	60 DA	Sachet en plastique
La baleine	Sel de table iodé	Importé par SARL foodich route ben chaawa RN N°1 Khraisiya Alger Fabriqué en France	600 g	320DA	Boite en plastique
Tornado	Sel de table iodé	EL Outaya Biskra	01 kg	80 DA	Boite en plastique
As Safina	Sel de table iodé	ENASEL Gué de constantine	250 g	30 DA	Bouteille en plastique
Chemsi	Sel de cuisine iodé	ENASEL Entreprise national des sels Complexe El Outaya Biskra	01 kg	25 DA	Sachet en plastique
Cristale	Sel de cuisine iodé	SARL Soprossel naturel	01 kg	20 DA	Sachet en plastique
Acel	Sel de table iodé	Conditionné à Hamray El Oued	01 kg		Sachet en plastique
Sosel	Sel de cuisine iodé	EURL SETTOU ouarda d'extraction et de préparation de sel RN N°48 Hamraya El Oued	01 kg	25 DA	Sachet en plastique
Thika	Sel de table extra fin	SARL EL-THIKA Zone d'activité ain smara N°41 Constantine.	01 kg	50 DA	Sachet en plastique
Nina	Sel de table iodé	Produit en Algérie Conditionné à guendouza,akbou, bejaia	01 Kg	30 DA	Sachet en plastique

II. Résultats du contrôle physico-chimique des échantillons de sel

Le tableau 5 représente les résultats de l'analyse physico-chimique des échantillons de sel de table pour les trois marques : Tornado, Chemsi et Rafie.

Tableau 05 : récapitulatif des caractéristiques des échantillons

Marque	Masse volumique (kg/m ³)	Humidité (%) (n=3)	Poids unitaire (kg)	Poids vérifié (g) (n=3)	Coefficient d'homogénéité (%) du poids	Type d'emballage	Taux d'impuretés (%) (n=3)
Tornado	1,09.10 ³	0,54 ± 0,01	1	994,1 ± 5,3	± 0,53	Primaire: cellophane Secondaire: boîte en carton	0,41 ± 0,13.10 ⁻²
Chemssi	1,29.10 ³	0,34 ± 0,01.10 ⁻²	1	1028,6 ±41,3	± 4,02	PET	0,78 ±0,03
Rafie	1,35.10 ³	0,22 ± 0,05.10 ⁻²	1	1006,5 ±26,0	± 2,58	PET	0,36 ±0,14.10 ⁻³
Sel pur NaCl	2,16 10 ³						
Fiche technique**	1,1-1,3.10 ³	Spécifique <0,1 Typique =0,02		± 2,5%			< 0,3

**Fiche technique CEREBOS^R Sel fin alimentaire: norme *Codex Alimentarius* méthode EN (1236).

1) La masse volumique apparente

La masse volumique des échantillons est dans l'intervalle stipulé par le *Codex* alimentaire concernant les sels de table alimentaires et qui oscille entre 1100 et 1300 kg/m³. Mais elle reste une densité apparente qui prend en charge l'air dans les interstices des cristaux, le taux d'humidité et les impuretés comparée à la densité du sel pur et qui est de 2160 kg/m³.

2) L'humidité

Les taux d'humidité des sels analysés sont trop élevés par rapport aux limites fixés par le *Codex*. L'échantillon le plus humide étant le sel Tornado, suivi de Chemsi puis de Rafie.

On sait déjà que le sel est hygroscopique par nature, ainsi les taux d'humidité peuvent provenir soit d'un défaut de séchage chez le producteur, ou d'un défaut d'étanchéité des emballages choisis.

Pour le sel Tornado qui a deux emballages, il existe une forte probabilité que c'est à cause de sa granulométrie fine qu'il a été mal séché.

On sait que la nature hygroscopique du sel alimentaire se trouvant sous forme de particules de chlorure de sodium tend à provoquer sa prise en masse pendant sa manutention ou son stockage [27]. Toutes autres conditions étant égales, cette tendance est d'autant plus marquée que la granulométrie des particules est fine et elle est particulièrement rapide dans le cas de particules dont le diamètre est inférieur à 100 μm .

Pour lutter contre la prise en masse des particules de sel de qualité alimentaire, il est de pratique courante de mettre en œuvre une substance anti-agglutinante, telle que, par exemple, du carbonate de calcium ou de magnésium, du silicate de calcium ou, plus généralement, du ferrocyanure de potassium.

Toutefois, les exigences liées à la nécessité de disposer de sel raffiné de grande pureté dans l'industrie alimentaire imposent en général une limite maximum très faible à la quantité de substance anti-agglutinante qui lui est ajoutée, celle-ci étant d'habitude d'à peine quelques parties par million dans le cas du ferrocyanure de potassium.

Dans le cas de particules de grande finesse, par exemple des particules de moins de 100 μm , la teneur tolérée en substance anti-agglutinante s'avère généralement insuffisante pour garantir une conservation prolongée sans prise en masse [28].

3) Vérification du poids

Le contrôle des contenants échantillonnés au hasard montre que seul le sel Tornado est conforme au contrôle du poids avec une fluctuation entre 989 g et 1001 g, les intervalles des sels Rafie et Chemsî sont beaucoup plus larges ; Rafie présente une fluctuation entre 987,2 g et 1069,9 g ; et Chemsî entre 980,5 g et 1032,5 g.

Sachant que les principes à respecter concernant les exigences d'exactitude sont [29] trois principes à respecter pour la conformité aux exigences d'exactitude de la *Loi et du Règlement sur l'emballage et l'étiquetage des produits de consommation* :

- **La quantité déclarée sur un emballage devrait refléter exactement la quantité fournie, donc le contenu net moyen des emballages d'un lot ne peut être inférieur à la quantité déclarée.**

Sachant que les techniques de production ne sont ni parfaites ni idéales, il suffit de garantir que les emballages contiennent en moyenne la quantité déclarée. Les exigences moyennes permettent de protéger le consommateur qui achète plus d'un emballage d'un produit spécifique. Généralement, un emballage insuffisant sera compensé par un emballage surchargé.

- **Le contrôle de la production devrait permettre aux emballages isolés de s'inscrire dans les tolérances permises. Pas plus de 2,5% du lot ne peut avoir une erreur en moins supérieure à la tolérance.**

Un lot ne sera pas conforme aux exigences de la *Loi et du Règlement sur l'emballage et l'étiquetage des produits de consommation* si, dans un échantillon, le nombre d'unités contenant moins de la quantité nette déclarée dépasse la valeur permise par le Règlement, au-delà de la tolérance prescrite.

- **Le nombre d'emballages pouvant avoir des erreurs en moins excessives est limité. Pas plus d'un emballage ne peut contenir moins de deux fois la tolérance permise.**

Si l'on constate un problème occasionnel dans le processus d'emballage, la présence d'un seul emballage significativement insuffisant dans l'échantillon ne compromettra pas les résultats de l'inspection. Les critères d'acceptation/refus sont liés aux niveaux de qualité acceptables (NQA) plutôt qu'à la performance des emballages pris isolément.

4) Taux d'impureté

Le taux d'impureté des échantillons analysés est supérieur à 0,3%, ce taux est comparable pour Tornado et Rafie et il s'approche de 0,4%, mais il est doublé pour chemsi. Ces taux d'impureté conditionnent la qualité marchande du sel.

III. Comptage des microplastiques et autres éléments dans les marques de sel de tables analysées

Les résultats de l'observation microscopique des particules microplastiques et d'autres éléments (grains de terre, sable, matières organiques...) sont exprimées en pourcentage dans les tableaux suivants :

Tableau 06 : Résultats de la marque «Chemsi»

	Particules observées	H₂O	H₂O₂	H₂O₂ Dépôt	H₂O₂ surnageant
Minérales (%)	Graines de terre	10,79	9,56	8,1	17,60
	Sable	21,73	18,94	24,77	10,79
Matières organiques (%)	Microplastiques	46,12	62,18	60,24	47,94
	Matières organiques	21,04	8,86	6,6	13,75
	Fibres	0,23	0,05	0,09	1,41
	Nombre totale observé	2927	9952	7571	778
	MP/100g	257.414.568	236.363.777	134.689.934	711.222.691

Résultats de l'observation de l'échantillon traité au H₂O « Chemsi »

Le constat est que le sel Chemsi est trop chargé en impuretés et qui sont répartis comme suit :

- **Résidus non organiques (minéral)** : ils représentent près de 30 % des impuretés du sel avec prédominance de sable ; ils proviennent essentiellement des sites d'exploitation du sel (tables salantes).
- **Résidus organiques** : On distingue 3 classes les fibres (forme allongée-filamenteuse), les matières organiques et les microplastiques (couleur ; formes géométriques et taille). Les couleurs rencontrées sont le noir, le rouge, le vert et le bleu avec dominance du noir, ils représentent dans l'apparence près de 47 % du total des résidus.

Le traitement au H₂O₂ a engendré ce qui suit :

- Taux de matière minérale inchangé
- Augmentation légère des matières organiques,
- Disparition des fibres prouvant que c'est de la matière organique,

- Augmentation du taux de microplastiques,

Ceci prouve que le traitement au H₂O₂ est une opération intéressante pour mettre en vue les microplastiques qui étaient indifférenciées des matières organiques dans le traitement au H₂O.

Résultats de l'observation de l'échantillon traité au H₂O₂, surnageant et dépôt

La séparation des deux phases surnageant et dépôt montre que les matières inorganiques et organiques se répartissent de la même façon dans les deux phases.

Nombre totale/100 g :

Yang et al. [25], se sont intéressés surtout à des tailles de microplastiques supérieurs à 100 µm, Alors que nos observations portent sur des particules ≥ 5 µm, Ils comptent de 34 à 364 MP/Kg pour les sels de lac ; or que nous dénombrons près de 23,6*10⁸ MP/kg pour le sel étudié.

Tableau 07 : Résultats de la marque « Tornado »

	Particules observées	H₂O	H₂O₂	H₂O₂ Dépôt	H₂O₂ surnageant
Minérales (%)	Graines de terre	31,10	37,83	17,68	12,89
	Sable	15,46	19,87	29,87	8,76
Matières organiques (%)	Microplastiques	12,83	37,54	38,46	64,30
	Matières organiques	10,45	4,281	13,92	13,15
	Fibres	0,14	0,004	0	0,51
	Nombre totale observé	16390	13531	9726	16390
	MP/100g	1.338.746.433	193.346.942	822.188.608	615.316.156

Résultats de l'observation de l'échantillon traité au H₂O « Tornado »

Ce résidu est représenté par :

- **Résidus non organiques (sable/terre) :** il représente près de 50 % des impuretés du sel avec prédominance de la terre ; ils proviennent des sites d'exploitation du sel (tables salantes).

- **Résidus organiques** : On distingue 3 classes les fibres (forme allangée-filamenteuse), les amas noirs (matières organique) ; et les microplastiques (couleur; forme géométriques et taille). Les couleurs trouvées sont le noir, le rouge et le bleu avec dominance du noir, ils représentent dans l'apparence près de 13 %,

Le sel «Tornado» est trop chargé aux particules d'impuretés inorganiques,

Le traitement au H₂O₂ a endengré ce qui suit :

- Taux de matière inorganique inchangé
- Diminution de moitié des matières organiques,
- Disparition des fibres prouvant que c'est de la matière organique aussi,
- Augmentation du taux de microplastiques,

Résultats de l'observation de l'échantillon traité au H₂O₂, surnageant et dépôt

La séparation des deux phases surnageant et dépôt montre que les matières inorganiques restent plutôt dans le dépôt, Alors que les matières organiques se répartissent de la même façon dans les deux phases.

Les microplastiques dans cet échantillon sont plutôt de basse densité et partent avec le surnageant. Nous dénombrons près de $19,8 \times 10^8$ MP/kg pour le sel étudié.

Tableau 08 : Résultats de la marque « **Rafie** »

	Déchets	H ₂ O	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ Dépôt	H ₂ O ₂ surnageant
Minérales (%)	Graines de terre	57,97	6,03	10,48	27,02
	Sable	10,46	2,83	8,007	11,17
Matières organiques (%)	Microplastiques	27,96	87,61	66,82	57,31
	Matières organiques	3,62	3,35	13,06	3,8
	Fibres	0,22	0,15	1,62	0,04
	Nombre totale Observé	5235	4377	1049	2050
	MP/100g	55.296.462	731.242.805	133.664.897	45.304.964

Résultats de l'observation de l'échantillon traité au H₂O « Rafie »

Les observations des lames montrent ce qui suit :

- **Résidus non organiques (sable, grain de terre)** : Ils se représentent près de 68 % des impuretés du sel avec prédominance de terre, ils proviennent des sites d'exploitation du sel (tables salantes).
- **Résidus organiques** : On distingue 3 classes les fibres (formes allongée-filamenteuse), les amas noirs difforme (matières organiques) et les microplastiques (couleur, forme géométriques et taille). Les couleurs trouvées sont le bleu, noire, rouge, avec dominance du bleu, ils représentent dans l'apparence près de 32 % des résidus totaux.

Le Traitement au H₂O₂ montre :

- Forte Diminution des matières minérales.
- Augmentation légère des matières organiques.
- Disparition des fibres prouvant que c'est de la matière organique.
- Augmentation du taux de microplastiques.

Résultats de l'observation de l'échantillon traité au H₂O₂, surnageant et dépôt

La séparation des deux phases surnageant et dépôt montre que les matières inorganiques restent plutôt dans le surnageant prouvant qu'elles sont de très petite taille. Alors que les matières organiques partent avec le dépôt signifiant qu'elles sont de grandes dimensions.

Nous dénombrant dans cet échantillon 73,1.10⁸MP/Kg.

IV. Résultats de la spectrométrie Raman

Il est défini que les polymères plastiques ont des spectres Raman spécifiques, l'identification se fera par conséquent, en comparant ces fréquences à des spectres de référence. Les résultats de l'analyse spectroscopique avec la spectrométrie Raman sur les plastiques de sel sont présentés dans les figures suivantes :

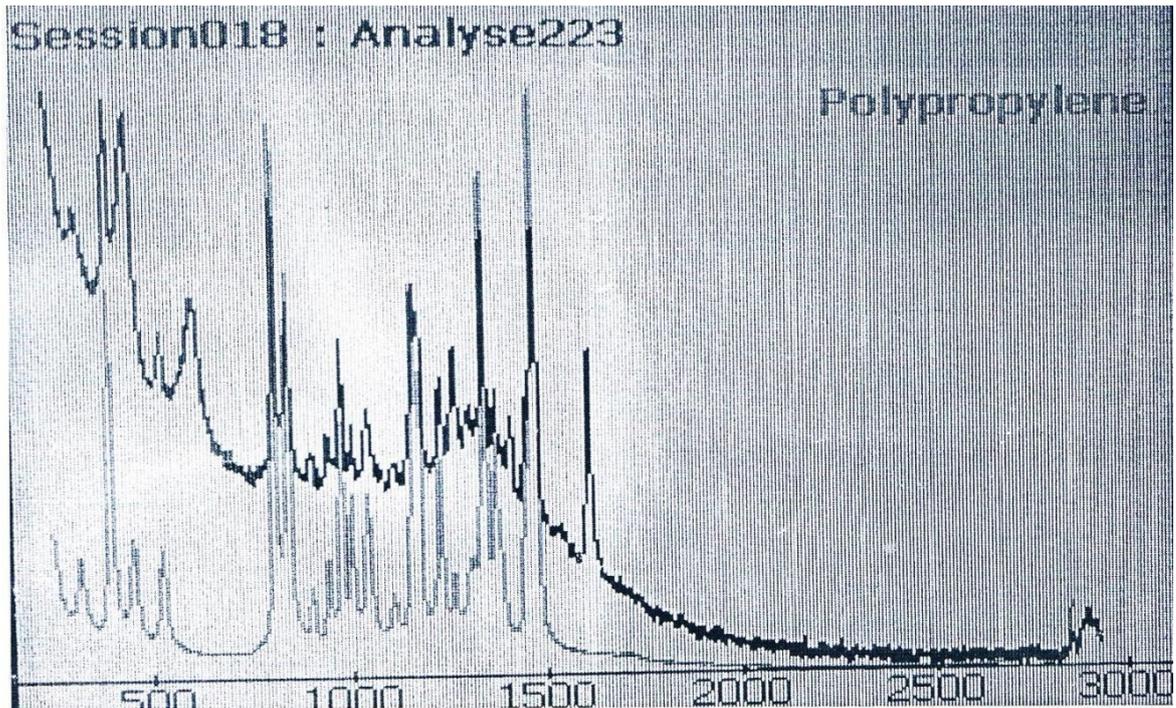


Figure 10: Spectre Raman de l’emballage de la marque « Chemi »

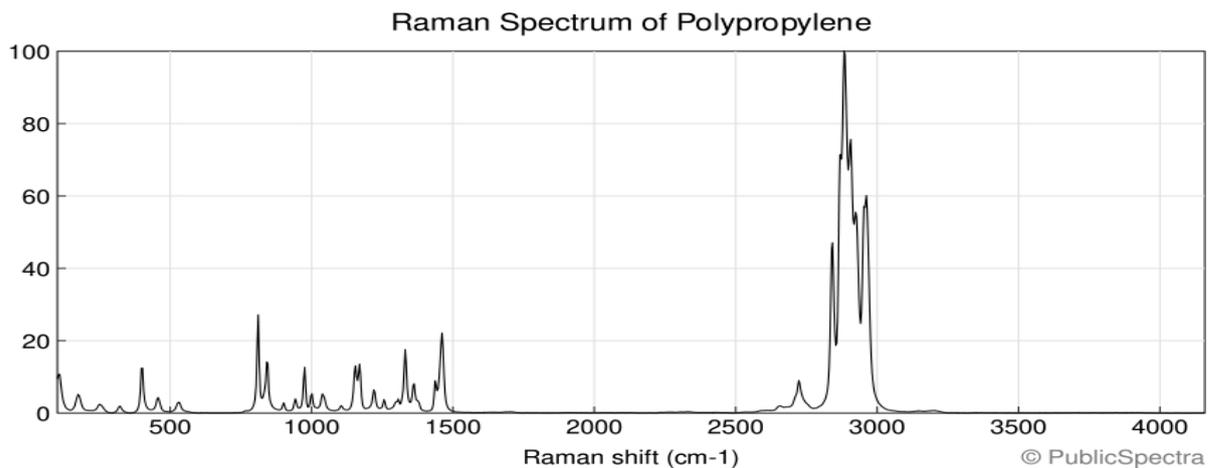


Figure 11: Spectre Raman référence du polypropylène

Le **polypropylène** de sigle PP (ou PPI) et de formule chimique $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$, est un polymère thermoplastique semi-cristallin de grande consommation (bouteille, mobilier, etc.). Sa résistance exceptionnelle à la fatigue en fait un matériau de choix pour les pièces qui doivent être déformées (articulation entre un couvercle et une boîte par exemple). Pour augmenter ses propriétés mécaniques, il est courant qu'il soit chargé en fibre de verre, à hauteur de 10 à 30 % en général. Il est de qualité alimentaire et présente de bonnes propriétés de résistance et de plasticité.

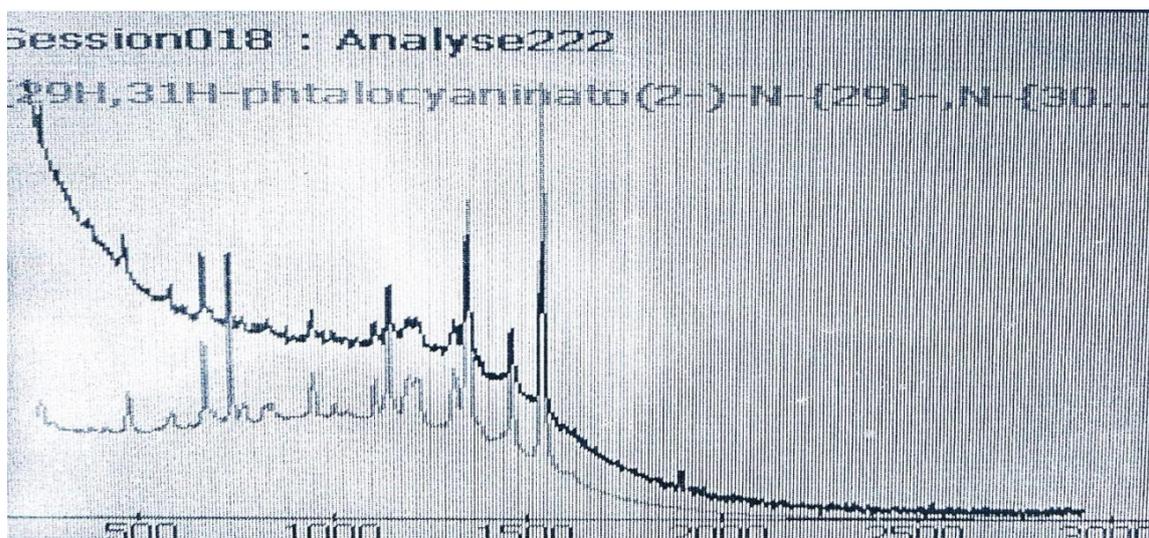


Figure 12: Spectre Raman de l'emballage de la marque « Rafie ».

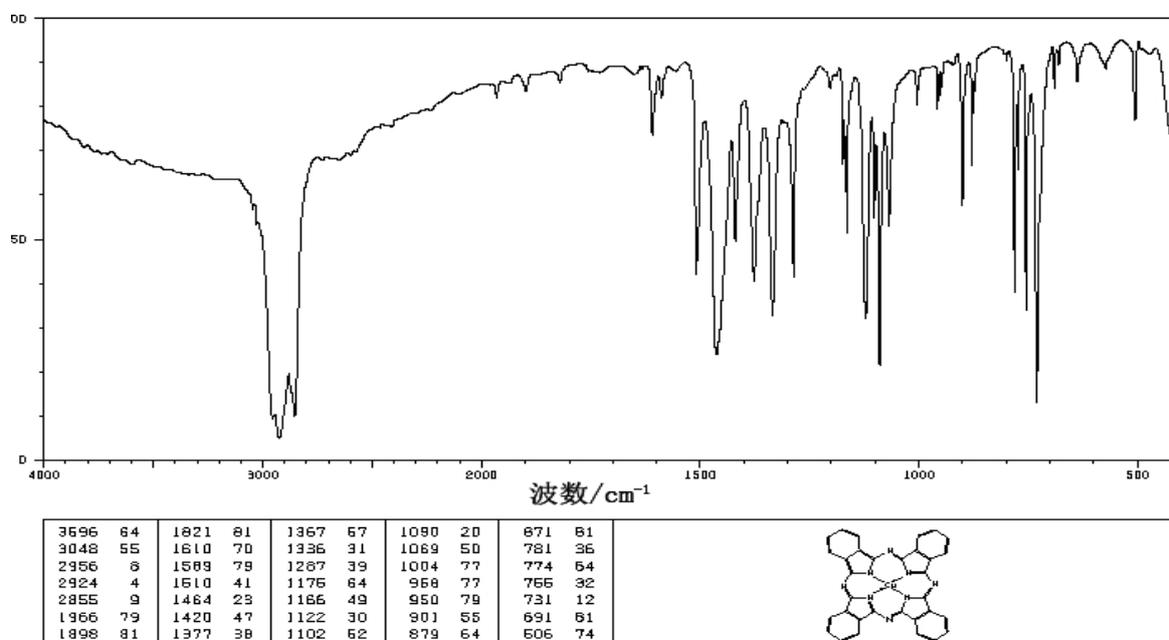


Figure13 : Spectre Raman de référence de la phthalocyanine

La formule ci-dessus dénommée phthalocyanine bleue est un pigment bleu synthétique cristallin brillant du groupe des colorants à base de phthalocyanine. Son bleu brillant est fréquemment utilisé dans les peintures et les colorants. Ce colorant a l'aspect d'une poudre bleue, insoluble dans la plupart des solvants dont l'eau.

❖ **Interprétation des résultats**

Les deux types de composés ont été identifiés avec certitude sur les emballages des marques de sel étudiés, la phtalocyanine étant bleue et insoluble, pourrait expliquer la présence de fragments bleus dans les observations microscopiques. Pour le PP, bien qu'il soit de qualité alimentaire pour le contact, ça ne veut pas dire que nous pouvons l'ingérer sans conséquence, car dans ce cas il représente un danger physique et non pas chimique.

❖ **Comparaison avec l'étude de yang et al. (2015)**

Yang et al. Dans leur étude ont mesuré la pollution microplastique dans 15 marques de trois types de sels de table (sel marin, sel de lac, sels de puits), l'identification des MPs était basée sur une méthode microscopique et a été partiellement confirmée avec l'analyse infrarouge. Les auteurs ont trouvé que les teneurs en microplastiques sont beaucoup plus élevées dans les sels marins ; les sels de lac et les sels miniers/puits étaient moins contaminés par les microplastiques, prouvant que les sels marins ont été contaminés par des microplastiques, qui proviennent principalement des colonnes d'eau de mer ; et les sels de puits suggèrent que les MPs pourraient être introduits dans les sels de table pendant les étapes de production de collecte.

Alors que notre étude a été réalisée sur 3 marques de sels de table d'un seul type (sel Gemme), nous avons trouvé des teneurs en MPs beaucoup plus élevées et des impuretés minérales en très grand nombre.

Dans l'étude de Yang le plastique identifié était le polyéthylène PET, suivie du polyéthylène PE et de la cellophane, la cellophane était le microplastique le plus courant et les emballages en plastique pour tous les sels ont été déterminés comme PE. Dans la présente étude le plastique des emballages été le polypropylène (PP) et un pigment bleu la phtalocyanine a été détecté.

Pour cela on peut déduire que les sels sont contaminés par les microplastiques qui peuvent venir de la pollution atmosphérique, ou pendant les étapes de production de la collecte et de l'emballage.

CONCLUSION

L'augmentation exponentielle des quantités des déchets solides produites par l'Homme et la lenteur de leur dégradation ainsi que leur mauvaise gestion, sont les causes de cette catastrophe écologique. Les déchets et les plastiques sont désormais omniprésents, que ce soit dans la colonne d'eau, les fonds marins, et aussi dans les aliments.

Les microplastiques ne sont pas de simple impuretés ; et aucune norme spécifique n'existe encore pour limiter les résidus de plastique dans les aliments, donc la meilleure chose à faire est de réduire la consommation de plastique tout en faisant particulièrement attention à ne pas jeter n'importe où les plastiques que l'on utilise. Et selon les nouvelles directives émises par l'organisation mondiale de la santé (OMS) les adultes devraient consommer moins de 5 g de sels par jour.

Notre étude ayant pour objectif la quantification et l'identification des microplastiques dans le sel de table en circulation dans certaines localités de la wilaya de boumerdes. Elle a porté sur 3 marques de sels Gemme dans lesquels sont effectivement présents plusieurs types d'impureté dont des particules microplastiques, le nombre des microplastiques était de 7.10^9 MP/Kg dans le sel Rafie, 2.10^9 MP/kg dans le sel Tornado, 2.10^9 MP/kg Dans le sel Chemsî et ceci pour une taille supérieure à $5\mu\text{m}$. Ces nombres sont beaucoup plus importants que les particules plastiques supérieures à $100\mu\text{m}$ détectés dans la littérature scientifique.

Les observations microscopiques montrent que les débris les plus présents sont les débris minéraux (terre, sables) qui viennent du process de fabrication mais l'existence des microplastiques de différentes couleurs prouve qu'il y a une contamination de source inconnue, et qui pourrait venir des emballages eux même.

Nous avons aussi pu identifier avec la spectrométrie Raman et qui s'apparente à la spectroscopie Infra rouge, le type d'emballage et les pigments présents sur ceux-ci. Des informations très utiles pour faire la traçabilité des microplastiques dans le sel.

Comme perspective à ce travail :

- Continuer l'identification des microplastiques sur les filtres par imagerie Raman.
- Répertoire leur nature chimique
- Trouver les sources possibles de ces derniers.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: McLachlan, L.(2019). Les microplastiques dans les denrées alimentaires et l'environnement (mémoire de master).ULiège Library université, belgique.30p
- [2]: Panno et al. 2019. microplastique. <http://lapagaiesauvage.org/les-microplastiques/>.vu le 9/02/2021.
- [3]: Julie, P. Journaliste scientifique. Toujours plus de microplastiques dans notre assiette.<https://www.sante-sur-le-net.com/microplastiques-assiette>.vu le 9/02/2021.
- [4]: Ebauche d'évaluation scientifique de la pollution plastique.(janvier 2020).<https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/pded/plastic-pollution/Evaluation%20Scientifique%20Pollution%20Plastique.pdf>. vu le 10/02/2021.
- [5]: Julia.P. le blog de l'ompe (octobre 2020).Organisation Mondiale pour la Protectiondel'Environnement.<https://www.ompe.org/des-microplastiques-dans-notre-alimentation/>.vu le 9/02/2021.
- [6]: Origine des microplastiques primaires retrouvés dans les océans du monde.(septembre 2017).<https://ree.developpement-durable.gouv.fr/donnees-et-ressources/ressources/graphiques/article/origine-des-microplastiques-primaires-retrouves-dans-les-océans-du-monde>
- [7]: Picard.T, Rossignol.J, Dhers.H.(décembre 2017). Les microplastiques plus qu'un constat, un danger pour tous. <http://lapagaiesauvage.org/2017/12/01/les-micro-plastiques-plus- quun- constat-un-danger-pour-tous/>. vu le 09/02/2021.
- [8]: Contamination des aliments par les microplastiques : Eurofins vous propose des solutions innovantes (janvier 2020). <https://www.eurofins.fr/agroalimentaire/actualit%C3%A9s/newsletter-agroalimentaire-france/focus-agroalimentaire-62-janvier-2020/microplastiques/>
- [9]: djessym (2019). Nouvelle Etude Sur Les Microplastiques. <https://foodrisk.eu/nouvelle-etude-sur-les-microplastiques/> ,vu le 12/02/2021.
- [10] : https://tn.boell.org/sites/default/files/uploads/2018/06/web_ocean_atlas.pdf.
- [11] : Savoca MS, Tyson CW, McGill M, Slager CJ. (2017) Odours from marine plastic debris induce food search behaviours in a forage fish.
- [12] : Haderbache M (2019).Qualité des sels de table mis sur le marché algérien et incidence sur la santé : cas de l'iodation et des microplastiques. Mémoire de Master Académique.Option : Nutrition Et Science Des Aliments.65p
- [13] :.Röllli L. (2017) Du Plastique Dans Le Sel Marin. <http://envertetcontretout.ch/2018/04/21/plastique-sel-marin/>.
- [14]: Matériaux entrant en contact avec les aliments. <https://logistics.public.lu/fr/formalities-procedures/type-goods/food-feed/food-contact-material.html> vu le 10/02/2021.
- [15]: Fabian, Etienne-Thewissen (LFSAL, Liège) Matériaux au contact des denrées alimentaires.http://www.afsca.be/laboratoires/labinfo/_documents/2010-06_labinfo-04-p10_fr.pdf consulté le 10/02/2021.

- [16] : Matériaux au contact des aliments, définition et encadrement. Anses (décembre 2016) <https://www.anses.fr/fr/content/mat%C3%A9riaux-au-contact-des-aliments-d%C3%A9finition-et-encadrement#>
- [17] : Différence entre le polymère et le plastique (2018). <https://fr.sawakinome.com/articles/polymer-chemistry/difference-between-polymer-and-plastic.html>. consulté le 15/02/2021.
- [18] : Méthodes de caractérisation des polymères et vieillissement. <http://thesis.univ-biskra.dz/896/5/Chap%203.pdf>.18p.consulté le 15/02/2021.
- [19] : Sel alimentaire. disponible sur: https://fr.wikipedia.org/wiki/Sel_alimentaire.Consulté le 14/02/2021.
- [20] : Berrabah, K. (2017).Suivie du processus de fabrication du sel dans l'entreprise ENASEL Oued-Eldjema Relizane. mémoire Master. Option : Analyses Spectrales en Chimie.63p
- [21] : Comité des salines de France. Charte de qualité du sel alimentaire. (novembre 2008). <https://www.labaleine.fr/sites/default/files/2017-10/Charte-de-qualite-du-sel-alimentaire.pdf>. consulté le 13/02/2021
- [22] : Organisation mondiale de la santé(OMS). Réduire la consommation de sel. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction>.consulté le 15/02/2021.
- [23] : Rouabah, W. ; Tahri, A., ; Hazourli A. (2018). Analyse de la teneur en iode dans le sel de table consommé dans quelques villes de l'Est Algérien, mémoire Master en chimie Option : Chimie des matériaux.76 p.
- [24] : Guerras I. (2019).Contrôle de la teneur en iode du sel alimentaire commercialisé sur le marché algérien. mémoire Master en science alimentaire.27p.
- [25] : Yang et al. (2015) chine (sel de mer) environnement Environ Sci Technol, 49(22): 13622-13627.
- [26] : Ricciardelli d'albore G. (1997) Book of mellissopalynologie. méthode de Louveaux appliquée aux grains de pollen: analyse quantitative. 300p.
- [27] Kaufmann Dale W. «Sodium Chloride», (1960), Reinhold Publishing Corp., New York, pages 528 et 529).
- [28] Brevet EP0083125B1, European Patent, brevet d'invention, Conditionnement de sel alimentaire. url : <https://patents.google.com/patent/EP0083125B1/fr>
- [29] Normes d'exactitude pour les quantités nettes déclarées- **Lignes directrices**-Octobre 1999- Version PDF : La Loi et du Règlement sur l'emballage et l'étiquetage des produits de consommation. url : <https://www.bureaudelaconcurrence.gc.ca/eic/site/cb-bc.nsf/fra/01232.html>.
- [30] Achouri, Sobhi (2019).les microplastiques dans les rivières de surface.

Url : <http://hdl.handle.net/2268.2/10115>

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableaux représentant le comptage des microplastiques et autres éléments observés dans les marques de sel de tables analysées.

Déchets	Sel Tornado				Sel Chemssi				Sel Rafie			
	H ₂ O	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ Surnageant	H ₂ O ₂ dépot	H ₂ O	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ Surnageant	H ₂ O ₂ dépot	H ₂ O	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ Surnageant	H ₂ O ₂ dépot
Graine de terre	5098	5120	647	1720	316	982	137	618	3035	264	554	110
Sable	2535	2689	440	2906	638	1885	84	1876	548	124	229	84
MPs	7021	5070	3227	3746	1350	6198	373	4562	1450	3835	1188	701
Matière organique	1713	580	678	1354	616	882	107	500	190	147	78	137
Fibres	23	6	26	0	7	5	11	7	12	1	1	17

ANNEXE 2

Appareillage et matériel :

- Balance de précision
- Pissette d'eau
- Creusé en porcelaine
- Cristalliseur en porcelaine
- Cuillère métallique
- Spatule métallique
- Boite de pétri
- Dessiccateur
- Pipette jaugée 10ml
- Pipette jaugée 5ml
- Erlenmeyer de 50ml
- Bouteille en verre de 500ml
- Bécher de 100 ml

Les marques et les pays des produits chimiques et le matériel :

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène

Balance analytique : SARTORIUS

Balance de précision : KERN (max 2100g, d=0.01g)

Etuve : MEMMERT modell 100 - 800

Microscope optique: MICROSCOPE BINOCULAIRE MOTIC 1820 LED CORDLES

Pompe à vide : KNF N838.1.2kn.18 « Made in Germany »

Spectrométrie Raman : AHURA Scientific First Defender.

ANNEXE 3

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 01

Arrêté interministériel du 28 Moharram 1440 correspondant au 8 octobre 2018 portant règlement technique relatif aux spécifications du sel de qualité alimentaire.

Article 1. En application des dispositions de l'article 28 du décret exécutif n° 05-464 du 4 Dhou El Kaâda 1426 correspondant au 6 décembre 2005, modifié et complété, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les spécifications techniques du sel de qualité alimentaire.

Article 2. Les dispositions du présent arrêté s'appliquent au sel de qualité destiné à la consommation humaine aussi bien à la vente directe au consommateur qu'à l'industrie alimentaire. Elles s'appliquent également au sel utilisé comme support d'additifs alimentaires et/ou d'éléments nutritifs.

Article 3. Au sens du présent arrêté on entend par « sel de qualité alimentaire », le produit cristallin se composant principalement de chlorure de sodium (NaCl), provenant de marais salants, de sel gemme ou de saumures provenant de la dissolution de sel gemme.

Article 4. Le sel de qualité alimentaire tel que défini à l'article 3 ci-dessus, doit contenir du chlorure de sodium (NaCl) à un taux supérieur ou égal à 97% de l'extrait sec, non compris les additifs.

Article 5. Le sel de qualité alimentaire doit être fortifié par l'iode selon les prescriptions édictées par la réglementation en vigueur.

Article 6. Le sel de qualité alimentaire objet du présent arrêté, ne doit présenter aucun risque pour la santé du consommateur et doit répondre aux exigences réglementaires en vigueur, notamment celles relatives aux additifs alimentaires, aux contaminants, aux objets et aux matériaux destinés à être mis en contact avec les denrées alimentaires, l'hygiène et la salubrité lors du processus de mise à la consommation humaine des denrées alimentaires.

Article 7. Outre les mentions obligatoires prévues par la réglementation en vigueur relative à l'information du consommateur, l'étiquetage du sel de qualité alimentaire doit comporter :

- la dénomination de vente : « Sel de qualité alimentaire iodé » ou « Sel de table iodé » ou « Sel de cuisine iodé » ou « Sel de cuisson iodé » ;
- la dénomination de vente « Sel dendritique » est réservée seulement au sel contenant un ou plusieurs sels de ferrocyanure, ajouté à la saumure pendant le processus de cristallisation ;
- la mention « Tenir à l'abri de l'humidité, de la chaleur et de la lumière ».

Article 8. Le sel de qualité alimentaire peut être utilisé comme support d'un ou de plusieurs éléments nutritifs et vendu comme tel pour des raisons de santé publique.

Les modalités d'application de cet article sont précisées, le cas échéant, par arrêté du ministre chargé de la santé.

Article 9. Le sel de qualité alimentaire iodé ne doit pas être exposé à la pluie, à l'humidité excessive ou à la lumière du soleil directe, à tous les stades de son entreposage, de son transport ou de sa vente.

Le sel de qualité alimentaire iodé emballé doit être entreposé dans des entrepôts suffisamment aérés et ventilés.

DENREES ALIMENTAIRES

Section 2

Montions obligatoires d'étiquetage

Article12. Les informations sur les denrées alimentaires, prévues à l'article 9 ci-dessus, comportent sous réserve des exceptions énumérées dans le présent chapitre, les mentions obligatoires d'étiquetage suivantes :

1. la dénomination de vente de la denrée alimentaire.
2. la liste des ingrédients.
3. la quantité nette exprimée selon le système métrique international.
4. la date de durabilité minimale ou la date limite de consommation.
5. les conditions particulières de conservation et/ ou d'utilisation.
6. le nom ou la raison sociale, la marque déposée et l'adresse du fabricant, du conditionneur ou du distributeur ou de l'importateur lorsque la denrée est importée.

Section 4

Quantité nette

Article20. L'indication de la quantité nette des denrées alimentaires est exprimée selon le système métrique international en :

1. mesures de volume pour les denrées alimentaires liquides.
2. Mesures de poids pour les denrées alimentaires solides.
3. Poids ou en volume pour les denrées pâteuses ou visqueuses.
4. Nombres d'unités pour les denrées alimentaires vendues à la pièce.

Art22. Lorsqu'un préemballage est constitué de deux ou de plusieurs emballages individuels contenant la même denrée alimentaire ; l'indication de la quantité nette est donnée en mentionnant la quantité nette contenue dans chaque emballage individuel et leur nombre totale.

Ces montions ne sont toutefois pas obligatoires lorsque le nombre total des emballages individuels peut être clairement vu et facilement compté de l'extérieur et lorsqu'au moins une indication de la quantité nette, contenue dans chaque emballage individuel, peut être clairement vue de l'extérieur.

Lorsqu'un préemballage est constitué de deux ou de plusieurs emballages individuels contenant la même denrée alimentaire et qui ne sont pas considérés comme unités de vente, l'indication de la quantité nette est donnée en mentionnant la quantité nette totale et le nombre total des emballages individuels.