

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biochimie-Microbiologie

Filière : Sciences Alimentaires

Option:

Biochimie de la Nutrition

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie de la Nutrition

Thème :

**Évaluation de la qualité de quelques sels
alimentaires commercialisés dans la région de Tizi-
Ouzou.**

Réalisé par:

Saad Amine

Talimat-Kadi Melissa

Soutenu le : 26/09/2022

Devant le jury :

Présidente	M ^{me} BEDOUHENE S.	MCA	UMMTO
Promotrice	M ^{me} SENANI N.	MCB	UMMTO
Examinatrice	M ^{me} SENOUSI C.	MAA	UMMTO

Année universitaire 2021 – 2022

Remerciements

Au terme de ce travail et après avoir rendu grâce à Dieu, Nous souhaitons remercier en premier lieu M^{me} SENANI N. Maître de conférence à l'Université Mouloud Mammeri qui nous a fait l'honneur d'encadrer cette étude. Nous tenons à lui exprimer notre gratitude et nos profonds respects.

Nous tenons aussi à remercier toute l'équipe pédagogique, et les ingénieurs du laboratoire pédagogiques de biochimie, département biochimie-microbiologie de l'Université Mouloud Mammeri pour avoir assuré le bon déroulement de la partie pratique.

Et enfin, nous tenons également à exprimer notre reconnaissance aux membres du jury :

M^{me} BEDOUHENE S. Maître de conférence à l'Université Mouloud Mammeri de nous avoir honoré et accepté de présider le jury ainsi que M^{me} SENOUSSI C. Maître assistante à l'Université Mouloud Mammeri d'avoir bien accepté d'examiner le contenu du présent travail.

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Abstract

	Pages
Introduction générale	01
<i>Partie I : Synthèse bibliographique</i>	
<i>Chapitre I : Le sel alimentaire</i>	
1.1. Généralités	02
1.1.1. Structure chimique du sel.....	02
1.2. Les différents types de sel.....	03
1.2.1. Selon raffinage.....	03
1.2.2. Selon l'utilisation en alimentation.....	03
1.2.3. Selon le mode de production.....	04
1.3. Le sel en Algérie.....	05
1.3.1. Le sel rocheux.....	05
1.3.2. Le sel solaire.....	06
1.4. La production de sel.....	06
1.4.1. Procédés de raffinage et d'iodation du sel.....	07
1.5. Le sel et la santé.....	08
1.5.1. Apport recommandé.....	08
1.5.2. Rôle physiologique.....	09
1.5.3. Impact pathologique.....	09
<i>Chapitre II : L'iode</i>	
2.1. Généralités sur l'iode	11
2.1.1. Propriétés chimiques.....	11
2.1.2. Propriétés physiques.....	12
2.2. Sources et réserves.....	13
2.2.1. Sources alimentaires.....	13
2.2.2. Réserves naturelles.....	14
2.3. Biodisponibilité et métabolisme thyroïdien.....	15

2.3.1. Biodisponibilité.....	15
2.3.2. Métabolisme thyroïdien.....	15
2.4. Iode et la santé.....	17
2.4.1. Détermination du bilan iodé et apports recommandés.....	18
2.4.2. Les troubles dûs à la carence en iode.....	20
2.4.2.1. Le goitre endémique.....	20
2.4.2.2. Autres troubles dûs à la carence iodée.....	20
2.4.3. Prévalence des troubles dûs à la carence iodée.....	20
2.4.4. Étiologie des troubles dûs à la carence iodée.....	21
2.4.5. Méthodes de prévention.....	23

Partie II : Partie expérimentale

1. Matériel et méthodes.....	25
1.1. Échantillonnage.....	25
1.2. Traitement des échantillons	26
1.2.1. Aspect visuel des échantillons.....	26
1.3. Objectif de l'étude.....	27
1.4. Méthode d'analyse iodométrique du sel alimentaire	27
1.4.1. Principe de la méthode.....	27
1.4.2. Réactifs utilisés.....	27
1.4.3. Appareillage.....	28
1.4.4. Mode opératoire.....	28
1.4.5. Expression des résultats.....	28
1.5. Analyse du taux d'humidité.....	29
2. Résultats et discussions.....	31
2.1. Analyse iodométrique des échantillons.....	31
2.2. Conformité des échantillons.....	34
2.2.1. Conformité des échantillons selon la norme Algérienne.....	34
2.2.2. Conformité des échantillons selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF.....	36
2.3. Conformité des taux d'humidité des échantillons analysés.....	40
2.4. Le prix est-il un gage de qualité ?.....	42
2.5. Relation entre la qualité du sel et l'ancienneté des échantillons.....	44
2.6. Relation entre la qualité du sel et le lieu de conditionnement.....	46
2.7. Participation approximative des échantillons analysés aux recommandations	

d'apport journalier d'iode fixé par l'OMS	47
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	53
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55
ANNEXES	

Résumé :

L'Algérie, tout comme d'autres pays, a rejoint le programme universel d'iodation du sel initié par l'OMS dans le but de faire face aux troubles dus à la carence en iode (TCI). La présente étude porte sur le contrôle de qualité en déterminant les teneurs en iodate de potassium par méthode iodométrique et l'analyse des taux en humidité de 17 échantillons de sels alimentaires commercialisés dans la commune de Tizi-Ouzou. Nous avons ainsi évalué les apports journaliers de ces sels en iode pour le consommateur. Les résultats indiquent que seulement 47,06 % des échantillons sont conformes à la norme algérienne, et aussi à la norme de l'OMS/ICCIDD/UNICEF qui est pourtant moins exigeante, ce qui tend à suggérer que l'objectif OMS d'atteindre 90 % de la population consommant un sel adéquatement iodé ne peut être atteint localement. La valeur maximale de la teneur en iodate de potassium est de $154,52 \pm 0,82$ ppm et la valeur minimale de 0 ppm, la moyenne générale est quant à elle de $56,57 \pm 26,29$ ppm, l'écart-type élevé témoigne de la variabilité et de la disparité des résultats. Les teneurs en humidité sont toutes conformes à la norme OMS soit moins de 4 % ce qui témoigne des conditions de stockage acceptables. L'évaluation des apports en iode pouvant être apportés par les sels analysés s'est conclue par un constat alarmant sur le risque d'hyperthyroïdie auquel sont exposés les foyers consommant certains sels par portion excédant la recommandation nutritionnelle en NaCl de l'OMS fixé à 5 g/j/individu.

Malgré la stratégie mise en place, les TCI sont un problème de santé publique d'actualité, le programme suivi par le gouvernement devrait être renforcé pour veiller au mieux à l'élimination des TCI en Algérie tout en surveillant la mise sur le marché de sels excessivement iodés pouvant occasionner des effets indésirables, voir même pathologiques à long terme sur le consommateur.

Mots clés : Iode, Iodate de potassium, TCI, Contrôle qualité, Iodométrie, Sel alimentaire.

Abstract :

Algeria, like other countries, has joined the universal salt iodization program initiated by the WHO in order to address iodine deficiency disorders (IDD). This study focuses on the analysis of potassium iodate content by iodometric method and the analysis of the moisture content of 17 samples of food salts collected in markets of in the commune of Tizi-Ouzou. We have thus evaluated the daily intake of these salts in iodine for the consumer. The synthesis of the results indicates that only 47,06 % of the samples are in conformity with the Algerian standard, and also with the WHO/ICCIDD/UNICEF standard which is however less demanding, which tends to suggest that the WHO objective of reaching 90 % of the population consuming an adequately iodized salt cannot be reached locally. The maximum value of potassium iodate content was $154,52 \pm 0,82$ ppm and the minimum value was 0 ppm, the overall mean was $56,57 \pm 26,29$ ppm, the high standard deviation shows the variability and disparity of the results, the moisture content was all within the WHO standard, i.e., less than 4 %, which indicates acceptable storage conditions. The evaluation of iodine intake from the salts analyzed concluded with an alarming finding on the risk of hyperthyroidism to which households consuming certain salts per portion exceeding the WHO nutritional recommendation of 5 g/d/individual are exposed.

In spite of the strategy put in place, the threat of IDD is a public health problem and the program followed by the government should be strengthened to ensure the best elimination of IDD in Algeria while monitoring the marketing of excessively iodized salts that can cause undesirable effects, even pathological in the long term on the consumer.

Keywords: Iodine, potassium iodate, IDD, Quality control, iodometry, food salt

Liste des abréviations

ANSES	Agence nationale de sécurité alimentaire française
AVC	Accident vasculaire cérébral
DIT	Di-iodotyrosine
DCP	Direction du commerce et des prix
DZD	Dinar Algérien
E	Échantillon
ENASEL	Entreprise national des sels
EREM	Entreprise national de recherche et d'évaluation minière
GFDx .	Échange mondial de données sur la fortification (Global fortification data exchange)
IOM	Institut de médecine (Institute of medicine)
ICCIDD .	Conseil international de lutte contre les troubles dus à la carence en iode (International council for control of iodine deficiency disorders)
MIT	Mono-iodotyrosine
OMS	Organisation mondiale de la santé
SCF	Société chimique de France
TCI	Troubles dus aux carences iodées
TSH	Thyroid stimulating hormone
T3r	3-3'-5'tri-iodothyronine
T3	Tri-iodothyronine
T4	Thyroxine
UNICEF .	Fonds des Nations Unies pour l'enfance (United Nations international children's emergency fund)
WHO	World health organization

Liste de figures

Figure 1 : Structure d'un cristal de sel.....	02
Figure 2 : Modes de production du sel.....	07
Figure 3 : Procédé d'iodation du sel par pulvérisation.....	08
Figure 4 : Diode (I^2) solide.....	13
Figure 5 : Statut iodé sur la base de la médiane d'iode urinaire chez des enfants d'âge scolaire études menés de 2005 à 2020.....	21
Figure 6 : Zone d'échantillonnage sur carte.....	25
Figure 7 : Aspect visuel des échantillons de sel.....	26
Figure 8 : Teneur d'iodate de potassium en ppm dans les échantillons analysés.....	32
Figure 9 : Teneur d'iode en ppm dans les échantillons analysés.....	33
Figure 10 : Pourcentages de conformité et non conformité selon la norme algérienne.....	35
Figure 11 : Pourcentages de conformité et non conformité selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF.....	37
Figure 12 : Représentation en colonne des taux d'humidité enregistrés pour les échantillons analysés.....	41
Figure 13 : Répartition des échantillons analysés selon les lieux de conditionnement.....	46
Figure 14 : Comparaison des teneurs approximatives d'iode apporté par les échantillons suivant la portion consommée après cuisson.....	52

Liste des tableaux

Tableau I : Les principaux gisements de sel rocheux en Algérie.....	05
Tableau II : Les principaux gisements de sel solaire Du Nord au Sud du pays.....	06
Tableau III : Aspects pathologiques probables liés à la surconsommation ou une carence en sel.....	10
Tableau IV : Principales propriétés physiques de l'iode.....	12
Tableau V : Teneur en iode de quelques aliments consommés par l'homme.....	14
Tableau VI : Critères épidémiologiques pour l'évaluation du bilan iodé sur la base de la concentration de l'iode urinaire en µg/L chez les enfants d'âge scolaire.....	19
Tableau VII : Critères épidémiologiques pour l'évaluation du bilan iodé sur la base de la concentration de l'iode urinaire en µg/L chez la femme enceinte.....	19
Tableau VIII : Apport journalier d'iode recommandé par l'OMS en µg selon l'âge.....	19
Tableau IX : Teneurs en iodate de potassium et en iode dans les échantillons analysés.....	31
Tableau X : Conformité des échantillons selon la norme algérienne répartie en plusieurs classes.....	35
Tableau XI : Conformité des échantillons selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF répartie en plusieurs classes.....	36
Tableau XII : Taux d'humidités et d'extraits secs dans les échantillons analysés.....	40
Tableau XIII : Coût des sels alimentaires analysés en DZD et leur conformité vis-à-vis de la norme algérienne.....	43
Tableau XIV : Âge des échantillons analysés et leur conformité vis-à-vis de la norme algérienne.....	45
Tableau XV : Moyenne des teneurs en iodate de potassium suivant le lieu de conditionnement.....	47
Tableau XVI : Taux d'apport en iode de 5 g des échantillons analysés selon les recommandations fixées par OMS.....	49
Tableau XVII : Taux d'apport en iode de 8,6 g des échantillons analysés selon les recommandations fixées par l'OMS.....	50

Introduction

L'iode est un oligo-élément essentiel pour la santé humaine utilisé par la glande thyroïdienne dans la production des hormones ; thyroxine (T4) et triiodothyronine (T3) qui régulent le métabolisme des processus physiologiques du corps humain (Andersson *et al.*, 2007). Cependant, des apports en iode excessifs ou insuffisants peuvent provoquer des désordres au niveau de cet organe (Otten *et al.*, 2006). Dans la plupart des pays européens, l'apport en iode est maintenu aux niveaux recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) par iodation du sel de table (Andersson *et al.*, 2007). La plupart des pays fixent les besoins en iode pour la population adulte généralement à 150 µg/jour, sur la base des recommandations de l'OMS et cette valeur peut atteindre 250 µg/jour pour les femmes enceintes (Leung, 2012 ; WHO, 2018).

L'Algérie, à l'instar des autres pays, a adhéré au programme universel d'iodation de sel initié par l'OMS dans le but d'éliminer les troubles dûs à la carence en iode (TCI). L'Algérie est une zone d'endémie goitreuse, dans certaines régions ce type de carence est plus important que d'autres. D'après les statistiques du ministère de la santé, les hauts plateaux de la Kabylie sont les régions les plus touchées par cette maladie. Le manque d'iode peut être expliqué par la nature des sols qui sont pauvres en iode, l'éloignement de la mer et la consommation d'aliments goitrigènes (Latham, 2001).

Dans ce présent travail nous avons consigné de brefs rappels bibliographiques concernant les sels alimentaires et l'élément « iode » ainsi que les troubles dus à la carence en iode, par la suite dans la partie expérimentale nous avons évalué la qualité des sels alimentaires de par leur teneur en iode, en iodate de potassium et en humidité ainsi que de par l'apport en iode que ces derniers peuvent apporter aux consommateurs. Cette évaluation a été effectuée dans le but de contrôler le respect des normes de teneurs en iode et en iodate de potassium en vigueur et de démontrer un possible lien entre la prévalence du goitre endémique dans la zone étudiée et un apport qui serait jugé insuffisant par rapport aux normes recommandées pour garantir le maintien optimale de la quantité d'iode dans l'organisme qui assurerait les fonctions qui lui sont assimilées.

Partie I :
Synthèse des données bibliographiques

1.1. Généralités

Le sel alimentaire est un produit cristallin, c'est une combinaison de chlorure et de sodium (NaCl) de masse molaire 58,44 g/mol. Il est utilisé comme condiment ou comme agent de conservation ou de préparation dans l'industrie agroalimentaire (OMS, 2002). C'est l'un des éléments les plus abondants de la planète (Jules, 2004). Il peut provenir de la mer, de gisements souterrains de sel gemme, ou encore de saumure naturelle (*Codex Alimentarius*, 1985). Parmi ses diverses propriétés, nous pouvons citer son hygroscopie (absorption de l'humidité de l'air) et sa solubilité (357 g/l à 0 °C et 391 g/l à 100 °C). Il est également un antimicrobien sélectif ou agent bactériostatique (Martin, 2013).

1.1.1. Structure chimique du sel

La structure chimique du sel (figure 1), est un assemblage d'ions Na^+ et Cl^- de maille cubique (Callister, 2002) avec un rapport de poids de l'ordre de 40 % de sodium et 60 % de chlorure (Drüeke et Moinier, 2016).

C'est un cristal, car ses atomes forment une structure périodique et symétrique. La structure du sel peut-être décrite par le contenu de sa maille, ainsi une maille de sel est un cube qui contient (Callister, 2002) :

- un atome de chlore aux sommets de la maille (8 sommets chacun partagé parmi 8 mailles voisines) ;
- trois atomes de chlore au centre des faces de la maille (6 faces chacune partagée entre 2 mailles voisines) ;
- un atome de sodium au centre de la maille ;
- trois atomes de sodium sur le milieu des arêtes de la maille (12 arêtes chacune partagée parmi 4 mailles voisines).

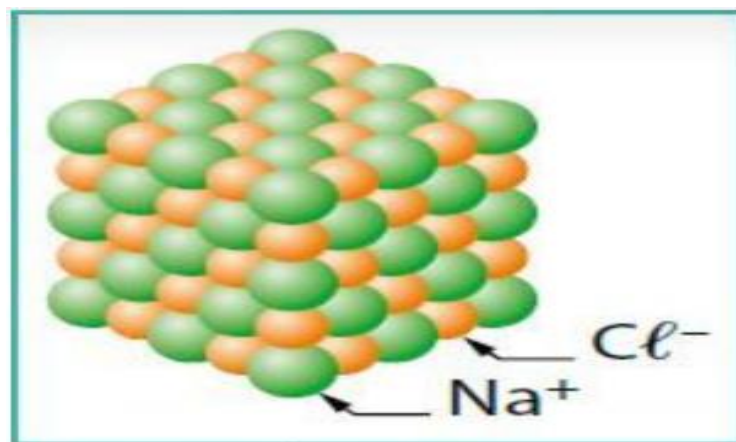


Figure 1 : Structure d'un cristal de sel (Wouters, 2015).

1.2. Les différents types de sel

Les différents types de sel sont classés selon leur raffinage, leur utilisation en alimentation et leur mode de production.

1.2.1. Selon le raffinage : Selon le raffinage on distingue deux types de sel :

- **Le sel naturel**

Le sel naturel n'est pas raffiné, il est récolté à la main dans les marais salants. À la différence des autres sels, il n'est pas enrichi en iode ce qui peut provoquer à terme des carences, cependant il garde les minéraux naturellement présents dans le sel autre que le sodium ce qui lui vaut d'être plus sain mais plus cher que le sel raffiné (Petit, 2021).

- **Le sel raffiné**

Le sel raffiné est un sel brut soumis à des opérations destinées à améliorer sa pureté (jusqu'à 99,95 %), l'aspect et la qualité. Le minerai est broyé pour donner au sel un grain uniforme et une blancheur suffisante puis lavé dans l'eau froide saturée préalablement de sel, l'action de cette dernière est purement mécanique, elle ne peut dissoudre le sel mais elle entraîne les substances terreuses qui le souillent et le colorent. Après cela le sel est égoutté et séché à l'étuve, généralement le raffinage est suivi d'une iodation et de l'ajout d'agents antiagglomérants (Lefebvre et Ligarán, 2015). Ce processus de raffinage entraîne la perte de minéraux naturellement présents dans le sel naturel qui sont bons pour la santé (Petit, 2021).

1.2.2. Selon l'utilisation en alimentation

En tant qu'ingrédient alimentaire utilisé dans l'alimentation, nous pouvons le classer en trois catégories :

- **Le sel de cuisine**

Le chlorure de sodium destiné à l'alimentation, et qui peut contenir des adjonctions d'iodures (pour la prophylaxie du goitre) et du fluorure (pour la prophylaxie de carie dentaire) (Anonyme, 2010).

- **Le sel de table**

Au sens étroit est un sel de cuisine finement cristallisé ou finement pulvérisé et séché (Anonyme, 2010).

- **Le sel nitrité**

Pour la saumure ou salaison, consiste en un mélange de sel de cuisine et de nitrite de sodium, la teneur en ce dernier composant ne devant pas dépasser 0,6 %. Ce mélange sert à la préparation et à la conservation des produits carnés (Anonyme, 2010).

1.2.3. Selon le mode de production

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 (Laszlo, 2012).

- **Le sel de mer**

Lorsque l'eau de mer s'évapore dans un salin, divers sels se déposent successivement en fonction de leurs degré de saturation, le sel proportionnellement majeur étant le chlorure de sodium, il se cristallise et est récolté mécaniquement ou manuellement, aussi l'expression sel solaire semble parfois plus exacte que sel de mer. Le sel peut être obtenu à partir d'autres sources que l'eau de mer, en effet il peut être en totalité ou partie alimenté en saumures continentales, des marais salants peuvent également être aménagés en bordure d'un chott qui est une étendue d'eau salée aux rivages changeants, située dans les régions semi arides d'Afrique du Nord (Drüeke et Moinier, 2016).

- **Le sel gemme**

Le sel gemme ou halite, se présente dans des gisements en couches de plusieurs mètres d'épaisseur ou en dômes (diapir) accessible à l'extraction minière, il a l'aspect de cristaux centimétriques enchevêtrés, quand il est pur il est blanc, parfois translucide, par ailleurs la présence d'argile et d'oxydes métalliques lui donne une couleur tirant sur le gris ou le rouge. La technique minière (mine sèche) fait appel à des méthodes d'exploitations acceptant un taux de récupération peu élevé, l'avantage est double avec une meilleur stabilité des travaux souterrains et réduction du coût de soutènement, le sel abattu est transporté par de puissants engins de reprise jusqu'à une station de concassage, broyage et de criblage à proximité du puits d'extraction. Ainsi rendu marchand le sel est remonté au jour (Drüeke et Moinier, 2016).

- **Le sel ignigène**

Ce sel est obtenu par évaporation de l'eau des saumures provenant des mines de sel gemme où de l'eau douce est injectée. Cette eau injectée dissout le sel, et la solution de saumure est pompée vers la surface où le sel est recristallisé. La saumure contient environ 300 g de chlorure de sodium par litre. L'évaporation de l'eau des saumures de sel peut être naturelle ou provoquée par l'homme qui chauffe l'eau salée. Ce sel est dit « sel ignigène », c'est-à-dire "né du feu". Ce sel est surtout utilisé comme matière première de l'industrie chimique pour la production de soude et de chlore notamment (Anonyme 1, 2022).

1.3. Le sel en Algérie

L'Algérie possède selon le ministère de l'énergie 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 dépression de la plateforme saharienne. Selon le ministère des mines Algérien (2021) 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.

1.3.1. 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'Évaluation Minière (EREM), durant la période 1984-1987, ont permis d'évaluer et de confirmer un potentiel de près d'un milliard de tonnes (Ministère des mines Algérien, 2021). Les gisements sont évalués dans le tableau I ci-dessous :

Tableau I : Les principaux gisements de sel rocheux en Algérie (Ministère des mines Algérien, 2021).

Lieu	Type de gisement	Réserves
Arbal (W. Aïn Témouchent)	Diapir souterrain	260 millions de tonnes
Guergour Lamri (W. Sétif)	Couches souterraines	263 millions de tonnes
Aïn Nouissi (W. Mostaganem)	Couches souterraines	400 millions de tonnes
Aïn Nouissi (W. Mostaganem)	Couches souterraines	400 millions de tonnes
Rocher de sel (W. Djelfa)	Diapir apparent	120 millions de tonnes
Rocher de sel (W. Djelfa)	Diapir apparent	120 millions de tonnes

W. : Wilaya.

1.3.2. 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 du nord au sud du pays. Les principaux gisements de sel solaire sont représentés dans le tableau II :

Tableau II : Les principaux gisements de sel solaire Du Nord au Sud du pays (Ministère des mines Algérien, 2021).

Lieu	Type de gisement	Réserves
Béthioua (W. Oran)	Lacs	7,2 millions de tonnes
Bouziane (W. Relizane)	Lacs	6,4 millions de tonnes
Ouled Zouai (W.O.E.B)	Lacs	Apport annuel non évalué
El Hodna (W. Constantine)	Chotts	Apport Annuel non évalué
Zahrez Gherbi (W. Djelfa)	Chotts	35 à 45 millions de tonnes
Mérouane (W. El Oued)	Chotts	0,8 million de tonnes
Melghir (W. El Oued)	Chotts	0,9 million de tonnes

W. : Wilaya ; **W.O.E.B** : Wilaya de Oum el Bouaghi.

1.4. La production de sel

La production du sel commun est une des industries les plus anciennes et les mieux réparties au monde (Mannar et Dunn, 1995).

L'extraction du sel revient le plus souvent à traiter un liquide en le soumettant à une évaporation par évaporation de l'eau de mer, des eaux lacustres, de l'eau des bassins désertiques et des eaux saumâtres de certaines nappes phréatiques d'une façon naturelle sous l'effet du soleil (sel solaire), ou artificielle sous l'effet d'ébullition et assèchement (sel

ignigène) jusqu'à cristallisation. On obtient alors du sel en grains. La diversité des méthodes de production de sel à travers le monde dépend de l'environnement, du type de sel exploité, de la qualité du produit recherché (type de sel, cendres salées, sel en grains, blocs de sel) et des particularités de la demande (Anonyme 2, 2022). Il existe 4 grands modes de production du sel qui aboutissent à la formation de sels variés. Le schéma suivant (figure 2) résume ces différents modes de production.

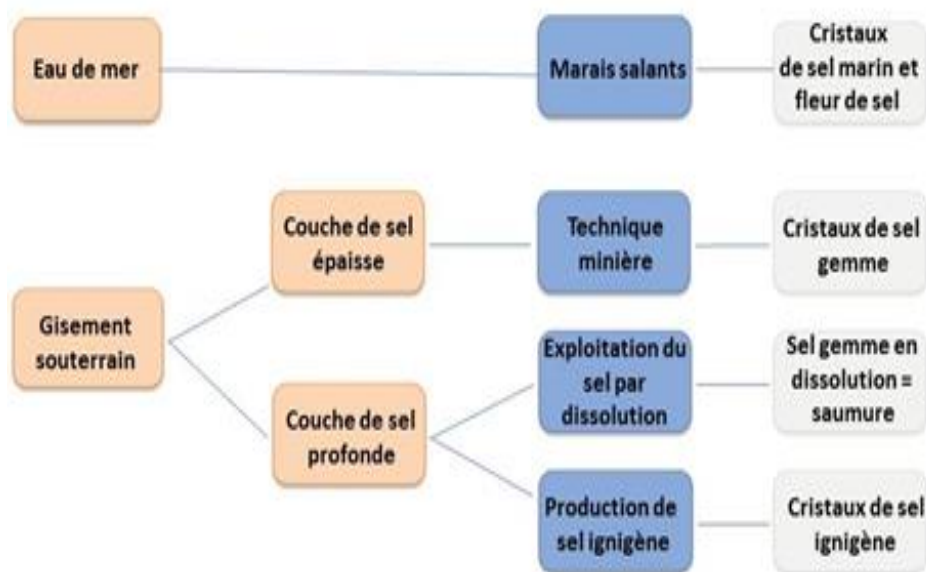


Figure 2 : Modes de production du sel (CSF, 2014).

1.4.1. Procédés de raffinage et iodation du sel

Le sel raffiné est très pur (NaCl 99,5 %) sec, blanc, et d'un grain uniforme (0,3 à 1,0 mm) selon l'usage, il est vendu avec ou sans additifs tels que (Mannar et Dunn, 1995) :

-des agents antiagglomérants : pour empêcher les grains adjacents de se cimenter et de former une masse solide et dure; agents communément utilisés: ferrocyanure de potassium ou de sodium, de l'ordre de 5 à 15 mg/kg ;

-des agents d'écoulement : dont l'action mécanique de lubrification des cristaux facilite leur écoulement fluide et sans entrave; absorbent toute vapeur résiduelle après la fermeture du sac; agents communément utilisés: carbonate de magnésium, silicate de calcium, silico-aluminate de sodium et phosphate tricalcique, de l'ordre de 1 à 2 % ;

-des agents iodant : pour lutter contre les troubles de la carence en iode, notamment l'iodure ou l'iodate de potassium, de l'ordre de 30 à 170 mg/kg.

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 (figure 3). 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 (Mannar et Dunn, 1995).

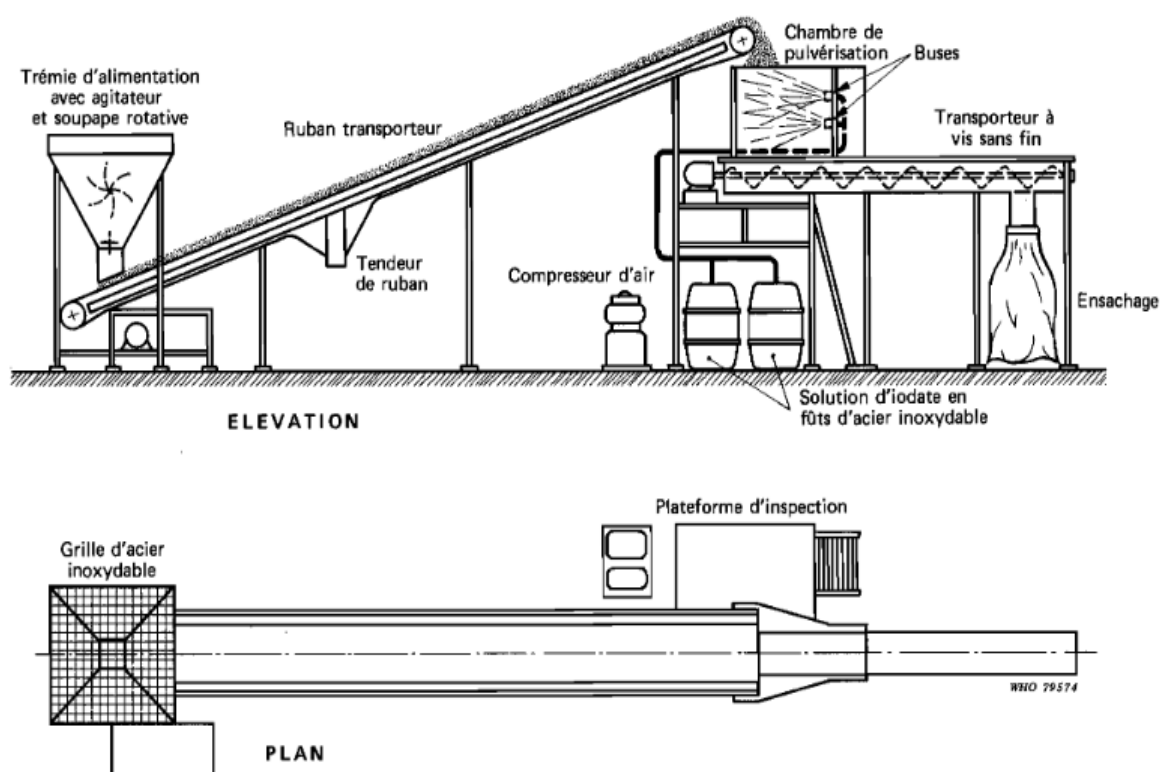


Figure 3 : Procédé d'iodation du sel par pulvérisation (DeMaeyer *et al.*, 1979).

1.5. Le sel et la santé

1.5.1. Apport recommandé

Les quantités de sel consommées varient d'un pays à un autre. Dans les pays industrialisés, la consommation quotidienne moyenne de sel pour une population adulte est d'environ 10 g/j/individu mais seulement une fraction évaluée à 1 à 2 g/j provient du sel ménager, cela implique que la majeure partie de l'apport quotidien en sel provient de la

production alimentaire c'est à dire des aliments transformés tels que le pain, les produits laitiers, la viande transformée et divers produits salés (Pastorelli *et al.*, 2015).

L'Organisation Mondiale de la Santé recommande quand à elle seulement 5 g par jour (OMS, 2002), vu la difficulté liée aux mesures précises des ingesta sodés et l'hétérogénéité des données de littérature ayant menées aux résultats de l'OMS, d'autres organismes tels que l'IOM (institut de médecine) américain ou l'ANSES (Agence nationale de sécurité alimentaire française) ont réévalués l'apport maximum à respectivement 7 et 8 g/j (Drüeke et Moinier, 2016).

1.5.2. Rôle physiologique

Dans le corps humain, le sodium est essentiel au mouvement musculaire, y compris celui du cœur, au mouvement péristaltique des voies digestives, et la transmission des messages par les cellules nerveuses. L'ion chlorure produit l'acide chlorhydrique nécessaire à la digestion et il est présent dans l'amylase salivaire. L'une des principales fonctions du sel est de réguler la pression osmotique et le mouvement des fluides à travers les membranes cellulaires (Mannar et Dunn, 1995). Pour une santé normale, la concentration du sel dans le corps ne peut varier que dans de très étroites limites. Le sel perdu doit être remplacé. Il est éliminé du corps essentiellement sous forme de sueur mais il est également éliminé par les urines dont le débit est soigneusement gouverné par les reins de façon à maintenir les fluides corporels aux niveaux appropriés. La majeure partie du sel qui se trouve dans les sucs gastriques et dans la nourriture digérée est réabsorbée dans les intestins, mais une motilité accrue des selles et la diarrhée peuvent entraîner une diminution du sel dans le corps (Mannar et Dunn, 1995).

1.5.3. Impact pathologique

Le cation sodium Na^+ et l'anion chlore Cl^- sont des éléments très importants du milieu intérieur de l'organisme. Ils sont présents à des concentrations relativement élevées dans l'eau qui entoure les cellules des différents tissus et organes, c'est-à-dire dans l'espace hydrique extracellulaire qui comprend aussi l'espace sanguin, de ce fait l'excès ou la carence d'apport en sel peut participer directement ou indirectement à l'apparition de diverses pathologies citées dans le tableau III représenté ci-dessous :

Tableau III : Aspects pathologiques probables liés à la surconsommation ou une carence en sel (Drüeke et Moinier, 2016).

Carence en sel	Excès en sel
Troubles de la thyroïde, hypotension, perturbations de fonctions cognitives, augmentations du cholestérol et des triglycérides sériques, altération de fonctions du système nerveux central, fatigue chronique et faiblesse musculaire, hypernatrémie, déshydratation, diminution de l'appétit.	Hypertension artérielle, AVC, infarctus du myocarde, insuffisance rénale, hyponatrémie, œdèmes, obésité, complications à l'accouchement.

2.1. Généralités sur l'iode

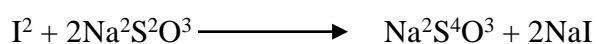
L'iode est un oligo-élément essentiel correspondant à environ 0,00002 % du poids corporel soit environ 14 mg pour un adulte de 70 kg (Vagenakis et Baverman, 1975). Il appartient à la 5ème période et au sous-groupe VIIA comme le fluor, le chrome ainsi que le brome (Plantin-Carrenard *et al.*, 2000), de symbole chimique I et de numéro atomique 53, sa masse atomique est de 126,9. Il appartient au groupe des halogènes (Lindien et Alais, 1997).

2.1.1. Propriétés chimiques

L'iode peut être trouvé sous trois formes ioniques différentes en raison de ses états d'oxydation. Le plus fréquent dans les eaux marines est l'iodure (I⁻) dont l'état d'oxydation est -1, généralement, on le trouve en formant des sels tels que l'iodure de potassium (KI) ou l'iodure de sodium (NaI). En outre, il peut être trouvé sous forme d'iodates (IO³⁻, IO⁴⁻), dont les états d'oxydation sont +5 et +7 (Paz *et al.*, 2018). L'iode est un élément halogène, c'est le seul halogène pouvant être oxydé directement à la valence 5 (formant de l'anhydride I₂O₅, un oxydant fort). C'est aussi le seul halogène à fournir des ions positifs. Sous les états 1, 3, 5, 7, il forme les anions oxygénés, respectivement appelés hypoiodites, iodites, iodates, periodates à structure contractée, à liaison covalente et qui peuvent devenir très stables (Duval, 1969).

L'iode forme des composés avec tous les éléments hormis les gaz rares, bien que moins électronégatif que les autres halogènes, il réagit violemment avec certains métaux, tels que l'aluminium, réaction spontanée, fortement exothermique de 314 kJ/Mole (Anonyme 3, 2022). Sa couleur change dans divers solvants (Jenza et Sadeghi, 2017).

Certaines de ses réactions sont précieuses en chimie analytique, par exemple la réaction de Gélis et Fordos sur le thiosulfate de sodium qui est amené à l'état de tétrathionate forme la base d'un ensemble de réactions titrimétriques constituant l'iodométrie.



À très haute température il subit une dissociation réversible (I₂ ⇌ 2I). Les activités de l'iode sont souvent renforcées quand il est dissous dans la solution d'un iodure ou de l'acide iodhydrique, par suite de la formation d'un periodure ou triiodure instable comme KI₃. L'iode joue le rôle de catalyseur dans un grand nombre de réactions, soit sous forme I, soit sous forme I₂, il peut aussi jouer le rôle de substance anti-oxygène ainsi sous 2000 atm, il absorbe l'oxygène (Duval, 1969).

2.1.2. Propriétés physiques

À l'état élémentaire, l'iode dont les principales propriétés physiques sont présentées dans le tableau IV forme un solide moléculaire dans le réseau duquel se trouvent des molécules diatomiques I_2 . Solide à température et pression ambiantes, il se cristallise (dans le système orthorhombique) en flocons d'aspect métallique et de couleur gris sombre-noir (figure 4), qui se sublime à l'air en une vapeur violette (Kaiho, 2015).

Peu soluble dans l'eau, dont il faut plusieurs litres d'eau pour en dissoudre un gramme, par contre il se dissout dans l'alcool (teinture d'iode) et dans les solvants organiques (chloroforme, tétrachlorure de carbone, éther, disulfure de carbone), ainsi que dans les solutions aqueuses d'iodure de sodium et de potassium. Les dissolutions dans les solutions aqueuses et dans l'éthanol sont de couleur brune. Celles qui sont effectuées dans le chloroforme, le tétrachlorure de carbone ou le disulfure de carbone sont violettes (Kaiho, 2015).

Tableau IV : Principales propriétés physiques de l'iode (Kaiho, 2015).

Numéro atomique	53
Rayon atomique	$1,32 \times 10^{-10}$ m
Configuration électronique	[Kr] $4d^{10} 5s^2 5p^5$
Energie d'ionisation	10,44 eV
Masse atomique	126,904
Isotopes naturels	I^{127} , I^{129} , I^{130}
Isotopes artificiels (tous radioactifs)	I^{108} , I^{126} , I^{128} , I^{131} , I^{144}
Isotopes radioactifs (période sup. à 12h)	I^{123} , I^{124} , I^{125} , I^{126} , I^{129} , I^{130} , I^{131} , I^{133}
Système cristallin	Orthorhombique
Température de fusion	113,7 °C (386,85 K)
Température de vaporisation	184,3 °C (457,4 K)
Energie de fusion	7,824 kJ.m ⁻¹
Energie de vaporisation	20,752 kJ.m ⁻¹
Point critique	819 K, 11,7 MPa
Masse volumique à 20 °C	4,933 kg.m ⁻³



Figure 4 : Diiode (I²) solide (Kaiho, 2015).

2.2. Sources et réserves

2.2.1. Sources alimentaires

Le principal réservoir naturel d'iode est constitué par les ions iodures présents en quantités considérables dans l'eau des océans. Ces iodures sont transformés en iode élémentaire par oxydation sous l'effet des rayonnements ultraviolets. En réagissant avec l'oxygène, l'iode est transformé en sa forme radicalaire IO, qui compose le pool atmosphère d'iode réactif (Carpenter, 2003), il précipite ensuite avec les pluies pour rejoindre la chaîne alimentaire de la terre ferme et est incorporé dans l'eau douce, le sol et les plantes terrestres (Whitehead, 1985).

La source unique en iode pour l'homme est l'alimentation, les aliments les plus naturellement riches en iode sont les poissons et crustacés d'origine marine, ainsi que certains aliments d'origine végétale, tandis que l'eau à boire ne contient que 1 à 2 µg/l d'iode et ne constitue qu'une très faible source d'apport (Lindien *et al.*, 2004).

Les algues brunes, spécialement les laminaires constituent l'organisme terrestre qui a la plus forte concentration d'iode pouvant atteindre 4,7 % de leur poids sec, mais elles ne représentent qu'un pourcentage négligeable de l'alimentation humaine (Gall *et al.*, 2004).

En raison des caractéristiques de son cycle naturel, l'iode est apporté aux populations d'une manière très variable selon différents paramètres tels que le lieu et la saison de production des aliments. (Lindien *et al.*, 2004). Ci-dessous selon (Nys, 2020) quelques

aliments riches en iode (Tableau V), les valeurs sont données en microgrammes (μg) d'iode pour 100 g d'aliment :

Tableau V : Teneur en iode de quelques aliments consommés par l'homme (Nys, 2020).

Aliment	Teneur en iode ($\mu\text{g}/100\text{g}$)
Algues séchées (kombu, wakamé, nori etc.)	7000 – 75000
Sel iodé	1500 (30 μg pour une part de 2 g)
Haddock fumé	300
Ail	90
Crustacés marins	50 – 90
Poissons de mer	40 – 90
Coquillages	10 – 50
Ananas frais	30
Oignon	20
Œuf (1 pièce)	10
Fruits secs	8 – 10
Céréales	3 – 7
Viande	3 – 5

2.2.2. Réserves naturelles

L'iode est très disséminé dans la nature. La facilité avec laquelle on le dose explique les nombreuses données que l'on possède pour les trois règnes végétal, animal et minéral. C'est le 47^{ème} corps par ordre d'abondance dans la croûte terrestre avec $5,83 \times 10^{-8} \%$. Dans le sol on évalue sa présence de 760 à 5390 $\mu\text{g}/\text{kg}$, jusqu'à même 28000 $\mu\text{g}/\text{kg}$; cela dépend de l'éloignement de la mer et de la profondeur. Les roches éruptives accusent en moyenne 360 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et les roches sédimentaires 1180 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Dans les charbons on a dosé de 0,85 à 11,17 mg/kg . Citons encore les dolomies, les granites, les schistes argileux et bitumineux, le sel gemme, les minerais de zinc ...etc. L'iode est aussi aisément caractérisé dans la plupart des météorites. La teneur dans l'air exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est très variable suivant les régions et il s'agit souvent de poussières organiques iodées. Dans l'eau de pluie, on a dosé 0,43 à 50 $\mu\text{g}/\text{l}$.

L'iode manque dans l'eau de fusion des glaciers. La rosée renferme de 3,8 à 5,8 $\mu\text{g}/\text{l}$. Dans les eaux minérales, on trouve surtout en Autriche des eaux très riches ainsi à Hall on dose 610 mg/l mais en moyenne elles sont pauvres 0,04 à 9,5 mg/l . Dans les mers, on trouve

aussi des chiffres variables, non seulement suivant les régions, mais aussi en un même lieu, suivant la profondeur 11 à 66,3 mg/l. Ainsi de la mer à partir des algues, pour 5 tonnes de plantes fraîches, on obtient 1 tonne d'algues séchés au soleil d'où est extrait en moyenne 1,2 kg d'iode à sublimer et jusqu'à 4,9 kg pour l'espèce la plus riche *Laminaria digitata* (Duval, 1969).

2.3. Biodisponibilité et métabolisme thyroïdien

2.3.1. Biodisponibilité

L'absorption intestinale de l'iode issue de l'alimentation présent sous forme iodures I⁻, d'iode élémentaire I⁰ et d'iodures organiques liés aux protéines se produit au niveau de l'intestin grêle ; elle exige une étape de libération de l'iode organique et sa conversion en ions iodures. Après une absorption rapide par les cellules intestinales, les iodures entrent dans la circulation systémique et rejoignent le pool d'iodures plasmatiques ; le volume de distribution correspond à 30 – 40 % du poids corporel et la demi-vie plasmatique est de 8 heures. La sortie de l'iode du compartiment plasmatique s'effectue par deux mécanismes principaux distincts qui entrent en jeu de manière concurrentielle : la captation thyroïdienne (20 %) et l'élimination rénale (77 %) (Vagenakis et Baverman, 1975).

Dans diverses parties du corps humain, les chiffres suivants ont été relevés en milligramme par 100 g : 9,76 (thyroïde) ; 1,21 (foie) ; 1,05 (reins) ; 0,98 (estomac) ; 0,87 (peau) ; 0,84 (cheveux) ; 0,80 (ongles) ; 0,56 (rate) ; 0,43 (pancréas) ; 0,32 (poumon) ; 0,68 (prostate) ; 0,50 (testicule) ; 0,41 (utérus) ; par contre, on ne trouve pas d'iode dans le cerveau, la moelle, la graisse et les os. Le plasma sanguin humain accuse 4,8 à 8,6 µg dans 100 ml et l'iode qui est spécialement associé aux protéines oscille de 3,5 à 8,4 µg dans 100 ml (Duval, 1969).

2.3.2. Métabolisme thyroïdien

La thyroïde est une petite glande d'environ 5 cm de diamètre située sous la peau du cou et au-dessous de la pomme d'Adam, les deux lobes de la glande sont connectés par une partie centrale appelée isthme qui confère à la thyroïde la forme d'un papillon. Chez un individu en bonne santé, la thyroïde ne se voit pas et peut être à peine palpée (Hershman, 2020), son poids à l'état normal est de 25 à 30 g (Bounaud *et al.*, 1999), cette dernière sécrète les hormones thyroïdiennes T3 et T4 qui contrôlent la vitesse des fonctions chimiques de l'organisme (métabolisme de base) (Hershman, 2020).

La thyroïde a besoin de l'élément iode contenu dans l'eau et les aliments, qu'elle capte et intègre dans ses cellules pour la synthèse des hormones thyroïdiennes (Hershman, 2020).

La captation des iodures par la thyroïde nécessite un processus actif qui met en place un gradient de concentration entre le milieu extracellulaire et les cellules thyroïdiennes. Ce processus fait appel à un symporteur sodium/iodure (Na^+/I^-) qui maintient un flux iodé relativement constant en dépit des fluctuations de la concentration plasmatique d'iodures chez un sujet en bonne santé (Smanik *et al.*, 1997 ; Khurana, 2006).

Après leur incorporation dans le pool intracellulaire des cellules thyroïdiennes, les iodures sont oxydés en iode élémentaire sous l'effet d'une peroxydase et en présence de peroxyde d'hydrogène, puis organifiés sur les résidus tyrosyls de la thyroglobuline. Cette protéine constitue une matrice de synthèse et de stockage des iodotyrosines : mono-iodotyrosine (MIT) et di-iodotyrosine (DIT). Selon l'apport en iode, jusqu'à 25 % des résidus tyrosyls de cette protéine sont susceptibles d'être iodés, mais très peu sont réellement utilisés pour la synthèse des iodotyrosines. Le couplage de deux molécules d'iodotyrosine aboutit à la formation des hormones thyroïdiennes : thyroxine T4 et tri-iodothyronine T3 (Schlienger *et al.*, 1997).

L'iode joue un rôle dans la stéréospécificité des hormones thyroïdiennes, dans leur capacité de liaison aux protéines vectrices et donc dans leur efficacité biologique. Toutes ces étapes, depuis la captation des iodures jusqu'à la formation d'hormones thyroïdiennes, sont régulées par la TSH (hormone hypophysaire de stimulation de la glande thyroïde). La clairance thyroïdienne de l'iode reflète l'activité des pompes à iodures; spécifiquement, elle varie selon l'activité régulatrice de la TSH sur le symporteur Na^+/I^- , l'apport iodé et la quantité disponible intra-thyroïdienne, avec comme résultat le maintien d'une captation optimale des ions iodures. Cette régulation représente un mécanisme de prévention très fin face à une carence ou un excès d'iode (Plantin-Carrenard *et al.*, 2000).

Au niveau périphérique, les hormones thyroïdiennes sont modifiées par des désiodases spécifiques, notamment hépatiques et rénales (Croteau *et al.*, 1996), donnant ainsi la T3r qui est un iodoamino-acide principalement obtenu par désiodation périphérique d'environ 40 % de la T4 sous l'action des 5' désiodases de type 1 (foie, rein, cerveau, muscles) ou de type 3 (tous les tissus) (Biomnis, 2012).

Les iodures ainsi libres réintègrent le pool plasmatique des iodures. L'iode plasmatique peut être également intégré par d'autres organes tels que les glandes salivaires ou

mammaire ainsi que l'estomac, sans régulation par la TSH, le rôle physiologique de l'iode au niveau de ces derniers est à l'instant présent inconnu (Plantin-Carrenard *et al.*, 2000).

Les iodures sont totalement filtrés par le glomérule rénal puis réabsorbés au niveau des tubules. L'élimination des iodures étant presque exclusivement par voie urinaire, les pertes d'iodures sont égales à l'apport ingéré, cela justifie le dosage de l'iodurie comme examen biologique complémentaire au bilan thyroïdien pour l'évaluation des apports en iode. (Plantin-Carrenard *et al.*, 2000).

2.4. Iode et santé

L'iode est un oligo-élément minéral essentiel au fonctionnement du corps humain. Il s'agit en effet d'une composante structurelle et fonctionnelle obligatoire de l'hormone thyroïdienne (triiodothyronine ou T3). À travers cette hormone, l'iode joue un rôle important au niveau de la régulation de la température corporelle, du métabolisme énergétique et de l'expression de gènes influençant de nombreuses fonctions physiologiques, telles que l'embryogénèse, la croissance, le développement du système nerveux et des fonctions cognitives. La carence en iode constitue une problématique de santé publique majeure dans de nombreux pays. Un apport insuffisant en iode peut être responsable d'une production trop faible d'hormones thyroïdiennes (ou hypothyroïdie) pouvant entraîner différentes manifestations cliniques (TCI : troubles dûs aux carences iodées »). Ces troubles peuvent être observés aux différents stades du développement mais sont particulièrement problématiques chez la femme enceinte et les jeunes enfants car ils peuvent avoir un impact négatif sur le développement du cerveau. À l'inverse, un apport trop élevé en iode est également problématique : des études menées sur le long terme ont ainsi montré qu'un excès d'iode pouvait accélérer le développement de troubles thyroïdiens, augmenter l'incidence de maladies auto-immunes touchant la thyroïde et augmenter le risque de cancer de la thyroïde (Chung, 2014 ; Lebacqz et Teppens, 2016).

Si la thyroïde est rapidement affectée par la carence en iode, elle s'adapte beaucoup plus rapidement à l'excès. Il faut que celui-ci soit important et durable pour que la glande réagisse. Ces excès sont généralement dûs à des traitements médicamenteux à base d'iode, plus qu'à des excès alimentaires (Nys, 2020).

Au niveau mondial, alors que le nombre de pays présentant un déficit en iode a plutôt tendance à diminuer au cours de cette dernière décennie comme démontré par un rapport de l'ICCIDD (Conseil international de lutte contre les troubles dus à la carence en iode), ainsi

en 2003 il y avait 54 pays avec supplémentation insuffisante d'iode, ce chiffre baisse à 32 pays en 2011 (Kim *et al.*, 2014), les chiffres les plus récents indiquent que le nombre de pays touchés par une supplémentation insuffisante est passé à 21, le nombre de pays caractérisés par un apport excessif a quant à lui augmenté pour atteindre le nombre de 13 (Anonyme, 2021). Cette évolution montre la nécessité de suivre de manière régulière le statut en iode de la population et d'adapter de manière dynamique les actions entreprises pour optimiser le statut en iode. Le statut de la population en ce qui concerne l'iode dépend également de l'utilisation de sel alimentaire iodé (notamment dans les produits industriels) et du taux de fortification de celui-ci. Il faut néanmoins souligner ici qu'une consommation élevée de sel possède un effet négatif sur la santé en augmentant le risque d'hypertension artérielle, c'est pourquoi l'ajout de sel lors de la préparation des repas ou à table devrait être évité (Lebacqz et Teppens, 2016).

2.4.1. Détermination du bilan iodé et apports recommandés

La concentration de l'iode urinaire est un indicateur du bilan iodé qui est bien accepté, économique et facile à obtenir. Comme la plus grande partie de l'iode absorbé par l'organisme est excrétée dans l'urine, on estime que sa concentration urinaire est un marqueur sensible de l'apport actuel en iode et qu'elle peut révéler des modifications récentes du bilan iodé, la concentration d'iode dans l'urine peut varier quotidiennement, voire au cours d'une même journée chez un individu donné, mais ces variations tendent à s'aplanir au niveau des populations, ce qui permet de disposer d'une mesure intéressante du bilan iodé d'une population. La concentration urinaire de l'iode n'est donc guère utile pour le diagnostic et le traitement au niveau individuel. Dans le tableau (VI) ci-dessous sont présentés les critères épidémiologiques pour l'évaluation du bilan iodé sur la base de la concentration de l'iode urinaire chez les enfants d'âge scolaire et qui s'appliquent aussi aux adultes, ces valeurs ne concernent pas la femme enceinte pour qui la concentration médiane de l'iode urinaire sont représentés dans le tableau (VII), bien que la femme allaitante ait les mêmes besoins en iode qu'une femme enceinte son bilan iodé est plus bas car une partie est excrétée par le lait maternelle, les besoins journalier recommandés sont quant à eux représentés dans le tableau (VIII) (OMS, 2014).

Tableau VI : Critères épidémiologiques pour l'évaluation du bilan iodé sur la base de la concentration de l'iode urinaire en $\mu\text{g/L}$ chez les enfants d'âge scolaire (OMS, 2014).

Concentration médiane de l'iode urinaire ($\mu\text{g/L}$)	Apport d'iode	Bilan iodé
<20	Insuffisant	Carence grave
20-49	Insuffisant	Carence moyenne
50-99	Insuffisant	Carence légère
100-199	Suffisant	Bilan iodé satisfaisant
200-299	Supérieur aux besoins	Léger risque
≥ 300	Excessif	Risque d'effets indésirables

Tableau VII : Critères épidémiologiques pour l'évaluation du bilan iodé sur la base de la concentration de l'iode urinaire en $\mu\text{g/L}$ chez la femme enceinte (OMS, 2014).

Concentration médiane de l'iode urinaire ($\mu\text{g/L}$) chez la femme enceinte	Apport d'iode
<150	Insuffisant
150-249	Suffisant
250-499	Supérieur aux besoins
≥ 500	Excessif

Tableau VIII : Apport journalier d'iode recommandé par l'OMS en μg selon l'âge (OMS, 2014).

Âge	Apport journalier recommandé (μg)
Nourrissons et enfant de moins de 5 ans	90
5 à 12 ans	120
12 ans et plus	150
Femme enceinte	250

2.4.2. Les troubles dûs à la carence en iode

2.4.2.1. Le goitre endémique

Le goitre est une hypertrophie de la glande thyroïde. Il a des causes multiples liées d'une part à divers troubles endogènes de la fonction thyroïdienne tels qu'un déficit d'origine génétique de la synthèse hormonale, une maladie immunitaire ou un dérèglement du contrôle hypophysio-hypothalamique de la fonction thyroïdienne. La cause majeure des fréquences élevées de goitre dans les populations est cependant exogène. Il s'agit d'une carence iodée et de la présence d'autres facteurs nutritionnels goitrigènes. On parle alors de goitre endémique plutôt que sporadique et le problème se situe plutôt au niveau de la santé de la communauté qu'au niveau d'une affection individuelle (Thilly, 1992).

2.4.2.2. Autres troubles dûs à la carence iodée

Comme oligoélément, l'iode est essentiel pour la synthèse d'hormones thyroïdiennes, Les carences tout comme les excès en iode sont préjudiciables pour le maintien du fonctionnement normal des hormones thyroïdiennes et entraînent la survenue de maladies thyroïdiennes telles que les nodules thyroïdiens, le goitre, l'hypothyroïdisme (Yao *et al.*, 2022).

Les TCI peuvent occasionner de multiples effets indésirables sur la croissance et le développement humain (Zimmermann et Andersson, 2021), durant la grossesse soit en période fœtale ils sont associés au retard mental et à des dommages cérébraux irréversibles (Daei *et al.*, 2018) ainsi qu'au crétinisme, la surdimutité, le strabisme, les avortements, les mortinaissances, les anomalies congénitales et les mortalités périnatale et infantile (Zimmermann, 2012). Après naissance, l'iode est directement impliqué dans le fonctionnement cérébral et l'intelligence, bien que le développement cérébral s'effectue en majorité durant la période fœtale il persiste jusqu'à l'âge de 3 ans, la carence en iode ou en hormones thyroïdiennes durant cette période cruciale entraînerait un ralentissement de l'activité métabolique de toutes les cellules mais aussi l'altération du développement cérébral qui se traduit par un retard mental irréversible (Bourre, 2006).

2.4.3. Prévalence des troubles dûs à la carence iodée

Les troubles dûs à la carence iodée (TCI) demeurent un des problèmes majeurs de santé publique. C'est également un problème d'anthropologie générale du point de vue de leur

distribution naturelle (figure 5) (Kouame *et al.*, 1999). Globalement on estime que 1,9 milliards de personnes sont susceptibles d'être exposées aux troubles dûs aux carences iodées parmi eux 760 millions de personnes atteintes de goitre, 43 millions avec des dommages cérébrales et 11 millions de crétins, les apports en iode ont été mesurés par médiane urinaire, et 28,5 % présentaient une médiane inférieure à 100 µg/L. Sur le plan régional, la prévalence été de 44,2 % en Europe, 40 % en Afrique, 37,4 % à l'est de la méditerranée, 31,6 % dans le sud-est de l'Asie, 17,3 % dans le pacifique ouest et 13,7 % aux Amériques (Andersson *et al.*, 2012).

On estime aussi que globalement 25 % des enfants de tout âge pourraient être affectés par des TCI et sont sous risque de complications (Zimmermann, 2013). La plus grande proportion (approximativement 13 %) d'enfants âgés de 6 à 12 ans exposés à une carence sévère a été retrouvée en Afrique (Andersson *et al.*, 2012).

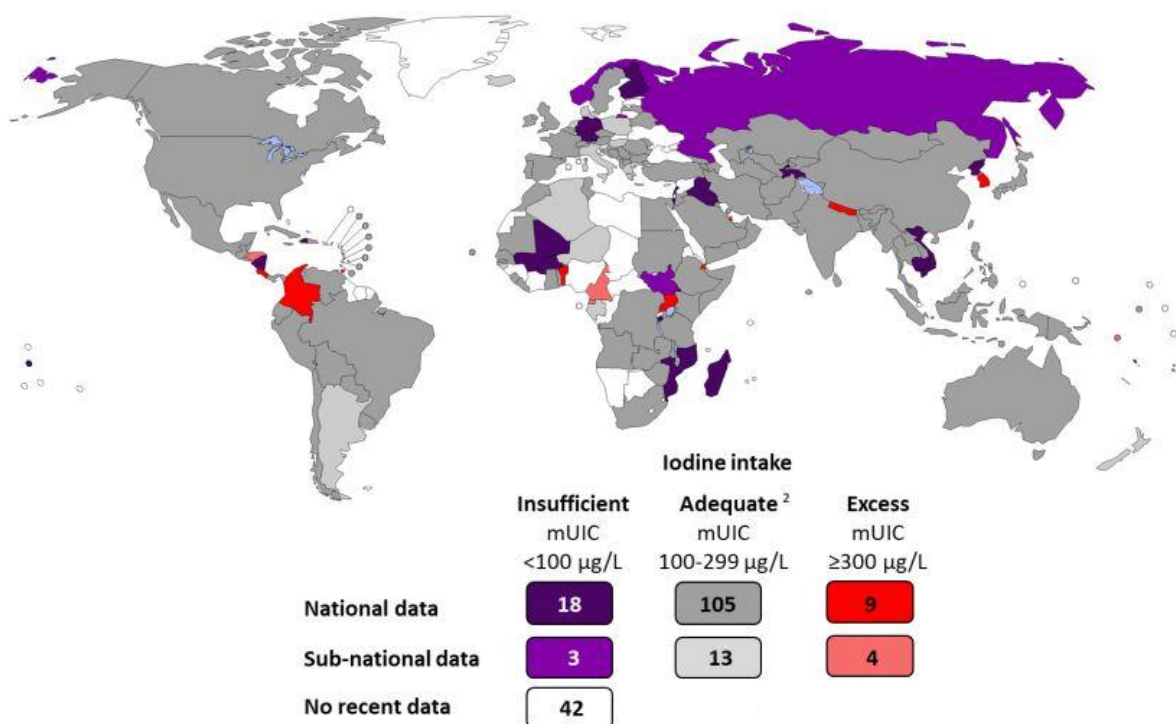


Figure 5 : Statut iodé sur la base de la médiane d'iode urinaire chez des enfants d'âge scolaire études menées de 2005 à 2020 (Anonyme, 2021).

2.4.4. Étiologie des troubles dûs à la carence iodée

Le facteur principal responsable d'une carence en iode est un faible apport de ce nutriment qui doit être obligatoirement obtenu par l'alimentation (Jooste et Strydom, 2010), la plupart des aliments en ont une faible teneur et elle varie géographiquement ce qui fait que les régimes alimentaires dans certaines zones ne peuvent pas couvrir un apport adéquat en iode sans consommation de sel enrichi (Zimmermann et Andersson, 2021 ; Assey *et al.*, 2006). Contrairement à des nutriments comme le fer, le calcium ou les vitamines, l'iode n'est pas produit naturellement dans les aliments; il est plutôt présent dans le sol et est ingéré par l'être humain qui consomme ce qui y pousse (Kouame *et al.*, 1999).

La majorité de l'iode contenu dans les sols provient de l'atmosphère et se dépose sur le sol via des chutes de pluies et de neiges avant d'être absorbé par la végétation (Saunders et Saiz-Lopez, 2009), l'iode atmosphérique trouve son origine dans les océans qui contiennent la plus forte concentration d'iodures, par conséquent les sols des régions côtières sont susceptibles d'être plus riches en iode que les sols des régions intérieures (Fuge, 2007).

Dans les zones montagneuses, l'érosion et le lessivage dues aux fortes pluies peuvent appauvrir le sol et réduire sa teneur en iode (Ashworth *et al.*, 2012), une faible couverture végétale accélère d'autant plus le ruissellement ce qui laisse peu de temps pour le transfert de l'iode vers les végétaux et les fruits (Fuge, 2007), il en résulte que les cultures alimentaires ne peuvent pas fournir assez d'iode aux populations et au bétail qui y vivent (Kouame *et al.*, 1999).

Les poissons et autres produits de la mer sont supposés fournir un apport adéquat en iode mais leurs teneurs en iode n'est pas aussi élevée pour atteindre un bon apport sauf si ils sont consommés de manière quotidienne (Zimmermann et Andersson, 2021) autrement dit les populations vivant au bord des côtes peuvent aussi souffrir de carences en iode mais dans une moindre mesure que ceux n'ayant pas accès à cette ressource (Assey *et al.*, 2007).

Les régions en voie de développement étant les plus sévèrement touchées, leur distribution géographique est une image en miroir de celle du développement socio-économique (Kouame *et al.*, 1999). Les facteurs socio-économiques et le manque d'éducation sur l'importance de l'iode sont des facteurs importants influençant la survenue de carences en iode (Campos *et al.*, 2016). Selon Lixiang *et al.* (2021), la carence en iode est d'autant plus aggravée par la consommation de sel agricole très répandu en zone rurale précaire.

Une faible ou incomplète couverture en sel iodé pour des raisons d'instabilité politique, catastrophes naturelles ou de guerre peut perturber la mise en œuvre et le suivi de la production de sel iodé et de la chaîne de distribution, cela peut causer une carence au niveau des populations (Zimmermann et Andersson, 2021). Selon Carvalho *et al.* (2017) les populations ayant pas accès au sel iodé obligatoire et aux livraisons de nourritures notamment les régions isolées ayant des restrictions sur les échanges alimentaires ou l'accès aux soins sont plus exposé aux TCI que les régions ne souffrant pas de ces problèmes, le goitre endémique dépend aussi de la génétique et la consommation d'aliments goitrigènes, les origines ethniques peuvent être une indication de la variation de la susceptibilité génétique à la carence en iode ou de la dépendance à d'autres facteurs nutritionnels, dont certains peuvent être goitrigènes.

Ces derniers sont des substances qui contrarient le métabolisme de l'iode et augmentent les risques de carence. Ils sont présents dans les aliments comme les légumes de la famille des crucifères (choux divers, brocoli, radis ... etc.) et qui contiennent des thiocyanates, qui accélèrent l'excrétion de l'iode par la voie urinaire (Vanderpas, 2006).

2.4.5. Méthodes de prévention

La meilleure stratégie pour contrôler les TCI consiste à augmenter l'apport en iode par la supplémentation ou l'enrichissement des aliments. La supplémentation en iode peut être administrée à l'aide d'huile iodée par voie intramusculaire ou orale, qui est désormais recommandée dans les zones d'endémie sévère sans accès au sel iodé. Mais le sel iodé, comparé à l'huile iodée, est moins cher, a une couverture plus large et ne nécessite pas de contact direct avec chaque personne à traiter. Auparavant l'enrichissement des aliments a été fait de différentes manières notamment le pain, l'huile, le lait et l'eau ont été enrichis en iode pour augmenter l'apport en iode. Cependant, l'iodation universelle du sel s'est avérée être la meilleure stratégie pour atteindre les objectifs et cela pour diverses raisons, qui sont que le sel est consommé quotidiennement et par tous le monde, il peut être produit par un nombre limité de producteurs au sein d'un pays rendant ainsi plus facile son contrôle partant de la production jusqu'à la vente, l'iodation du sel est facile et pas chère à implémenter, et ne modifie pas les qualités organoleptiques du sel (WHO, 2004).

L'enrichissement du sel avec l'iode peut être fait avec de l'iodure de potassium (KI) ou l'iodate de potassium (KIO₃) avec une préférence pour ce dernier car il est plus stable et moins sujet à l'évaporation (WHO, 2007). L'OMS/ICCIDD/UNICEF se sont fixé le but

d'atteindre 90 % de ménages disposant d'un sel alimentaire correctement iodé contenant 25,3 à 67,5 ppm d'iodate de potassium l'équivalent en iode de 15 à 40 ppm (Diaby *et al.*, 2020). Mais il faut lutter pour cela contre 3 facteurs : la forte humidité, qui facilite l'oxydation de l'iodure et surtout permet la migration et le démixage de l'iode ; l'acidité, qui permet à l'iode de s'allier à l'hydrogène en formant le HI qui s'oxyde en 2 min et s'évapore ; la présence d'impuretés qui ont une action oxydante (Kouame *et al.*, 1999).

L'enrichissement du sel a été introduit dans de nombreux pays à travers le monde en tant que stratégie durable pour améliorer l'apport en iode au niveau de la population et prévenir les TCI. Entre 1942 et 2022, 126 pays ont introduit une législation pour l'iodation obligatoire du sel et au moins 21 pays ont une législation autorisant l'iodation volontaire du sel (GFDx, 2022).

Partie II :
Partie expérimentale

Les analyses physico-chimiques des différents échantillons de sel ont été réalisées au niveau du laboratoire de biochimie de la faculté des sciences biologiques et agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou et au niveau du laboratoire de microbiologie dans la même faculté, la durée du stage s'est étalée à une durée d'un mois allant du mois de Mai jusqu'au mois de Juin 2022.

1. Matériel et méthodes

1.1. Échantillonnage

Durant cette étude nous avons collecté un total de 17 échantillons commercialisés dans la commune de Tizi-Ouzou (population 135088), wilaya de Tizi-Ouzou dans la région de Kabylie en Algérie (figure 6), cette collecte s'est faite durant une période de 10 jours entre le 1 mai et 10 mai 2022 dans des commerces de proximité de type alimentation générale, 15 échantillons parmi les 17 ont été correctement étiquetés selon les lois en vigueur parues dans le journal officiel n° 83 du 25 décembre 2005, décret exécutif n° 05-484 relatif à l'étiquetage et la présentation de denrées alimentaires (Anonyme, 2005). Bien que les échantillons aient été contrôlés visuellement à l'achat, les conditions de stockage et d'entreposage ne sont pas connues pour garantir l'étanchéité de ces derniers, après ouverture des paquets les échantillons passent au dessiccateur infrarouge avant analyse, ce dernier en plus de préparer les échantillons à la mesure en ôtant l'humidité, il nous a permis d'évaluer le taux l'humidité et le taux de matière sèche de chaque échantillon. Tous les échantillons ont été analysés 3 fois pour garantir les résultats les plus optimaux possibles. Un code est attribué aux échantillons selon l'ordre d'achat pour garantir leur anonymat, seuls les échantillons de l'entreprise étatique ENASEL seront reconnaissables.



Figure 6 : Zone d'échantillonnage sur carte.

1.2. Traitement des échantillons

1.2.1. Aspect visuel des échantillons

Les 17 échantillons testés durant l'étude sont représentés ci-dessous de façon aléatoire dans la figure 7, un code $E_i (1 < i < 17)$ sera attribué à chacun d'entre eux au moment de traiter les données :



Figure 7 : Aspect visuel des échantillons de sel.

1.3. Objectif de l'étude

Le but de cette étude a été d'évaluer par rapport à l'imposition du décret exécutif n°90-40 du 30/01/1990 (Anonyme, 1990), la teneur en iode des sels alimentaires vendus et consommés par les ménages de la ville de Tizi-Ouzou. Le décret cité stipule que :

«Le sel iodé doit comporter nécessairement 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. Cet iode doit être apporté sous forme d'iodate de potassium».

1.4. Méthode d'analyse iodométrique du sel alimentaire

La méthode iodométrique décrite ci-dessous a été publiée dans le journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°7 du 30 janvier 2013 dans l'annexe de l'arrêté 1 page 31 sous le titre «Méthode de détermination de la teneur en iode dans le sel alimentaire» (voir annexe 1 de ce présent mémoire).

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.

1.4.1. Principe de la méthode

Par addition d'un acide et l'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.

1.4.2. Réactifs utilisés

- Eau distillé : laisser bouillir pendant 5 min, 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 ;
- Solution de dosage : 0,002 M ou 0,002 N.
 - Iodate de potassium (KIO_3 , PM = 214).
- Solution étalon à 0,050 g/l.
 - Iodure de potassium (KI) à 10 % (P/V).
 - Acide acétique glacial (CH_3COOH) ou Acide sulfurique (H_2SO_4) 2 N.

- Solution d'amidon à 0,25 % (P/V).

La préparation des réactifs et l'étalonnage de la solution de thiosulfate sont décrits respectivement dans les annexes 2 et 3.

1.4.3. Appareillage

- Matériel courant de laboratoire énoncé dans la méthode ci-dessous ;
- Un dessiccateur infrarouge de marque DENVER INSTRUMENT, model IR-35 ;
- Une balance analytique ;
- Une balance de précision.

1.4.4. Mode opératoire

- 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 M 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 (V_2) ;
- Doser chaque échantillon à deux reprises.

1.4.5. Expression des résultats

- Calcul de la teneur en iode

$$I \text{ (mg / kg de sel)} = (V_1 - V_2) \times 4,232$$

- Calcul de la teneur en iodate de potassium

$$\text{KIO}_3 \text{ (mg / kg de sel)} = (V_1 - V_2) \times 7,1387$$

V_1 = Volume de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ nécessaire au titrage de l'iode dans le sel.

V_2 = Volume de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ nécessaire pour le témoin.

$$\text{(Eq. mg) I} = 127 / 6 = 21,16$$

$$\text{(Eq. mg) KIO}_3 = 214 / 6 = 35,66$$

- Note : 4,232 et 7,1387 sont des coefficients calculés comme suit :

$$\text{Coefficient} = (\text{N} \times \text{Eq.mg} / 10) \times 1000$$

N = normalité du thiosulfate 0,002 N

Eq.mg = (Eq.mg) de I ou KIO_3

10 = poids en grammes de l'échantillon prélevé.

1.5. Analyse du taux d'humidité

L'analyseur d'humidité est destiné à déterminer de manière rapide et fiable le taux d'humidité de substances liquides, pâteuses et solides selon le principe de la thermogravimétrie. La teneur en eau d'un échantillon n'est pas la seule source d'humidité. L'humidité d'une matière provient en fait de toutes les substances volatiles qui se dégagent par réchauffement et provoquent une perte de poids de la matière.

- **Le principe du dessiccateur infrarouge :** Les rayons infrarouges pénètrent en grande partie à l'intérieur de la substance et la réchauffent directement. La part des rayons infrarouges qui ne contribue pas à réchauffer l'échantillon est réfléchi à la surface de l'échantillon ou le traverse librement. La couleur et la qualité de la surface de l'échantillon sont des facteurs déterminants pour l'efficacité du réchauffement. Des substances foncées absorbent par exemple mieux les rayons infrarouges que les substances claires. La profondeur de pénétration des rayons infrarouges dépend de la perméabilité de la substance. Si la perméabilité est faible, les rayons infrarouges pénètrent uniquement dans les couches supérieures. La conductivité thermique de l'échantillon joue un rôle décisif dans la suite du transport de la chaleur vers les couches plus profondes de la substance. Plus la conductivité thermique est importante, plus la substance se réchauffe rapidement et de façon homogène (Anonyme, 2017).

➤ **Etapas de l'analyse :** La durée de la dessiccation pour les échantillons de sels a été programmée à 160 °C pendant 15 min pour chaque essai et les différents sels ont été traités comme suit :

- Peser 5 g d'échantillon de sel sur une coupelle d'aluminium après avoir mis la balance à zéro ;
- Bien répartir l'échantillon de sel sur la coupelle (hauteur entre 2 à 5 mm) ;
- Fermer le capot du dessiccateur attendre le signal sonore indiquant la fin de l'analyse ;
- Lire les valeurs.

➤ **Norme du taux d'humidité dans le sel**

Le sel alimentaire ne doit pas contenir plus de 4 % d'humidité analysé par les méthodes de dessiccation recommandées par l'OMS (Sullivan *et al.*, 1995).

2. Résultats et discussion

2.1. Analyse iodométrique des échantillons

Le sel est un condiment essentiel des ménages Algériens, il est ajouté en début de cuisson ou à table, il est censé apporter un apport en iode à moindre coût sachant que les produits de la mer sont excessivement chers et pas à la portée de tous même dans les régions littorales comme Tizi-Ouzou. Ce qui fait du sel conditionné un vecteur de choix pour la prophylaxie en iode pouvant apporter une ration quotidienne et constante (Sullivan *et al.*, 1995).

Les résultats de l'analyse iodométrique des échantillons de sels pour les 17 références collectées sont représentés dans le tableau IX, tous les résultats de cette étude seront exprimés en ppm (mg/kg de sel) cette dernière vise en premier lieu le contrôle de la conformité et en second lieu l'estimation de la participation de ces sels alimentaires à l'apport journalier d'iode recommandé par l'OMS pour un sujet adulte.

Tableau IX : Teneurs en iodate de potassium et en iode dans les échantillons analysés.

ECHANTILLON	Iodate de potassium KIO_3 en ppm	iode I^2 en ppm
E01 ENASEL	70,49 ± 0,74	41,82 ± 0,44
E02 ENASEL	56,34 ± 1,28	33,43 ± 0,76
E03 ENASEL	72,62 ± 1,14	43,09 ± 0,68
E04	74,76 ± 1,45	44,36 ± 0,86
E05	96,39 ± 1,15	57,20 ± 0,68
E06	73,21 ± 0,41	43,44 ± 0,24
E07	56,34 ± 1,63	33,43 ± 0,97
E08 VRAC	27,65 ± 0,49	16,41 ± 0,29
E09 VRAC	0 ± 0	0 ± 0
E10	4,39 ± 0,55	2,60 ± 0,33
E11	38,74 ± 0,20	22,99 ± 0,12
E12	36,37 ± 0,71	21,58 ± 0,42
E13	154,52 ± 0,82	91,69 ± 0,48
E14	33,28 ± 0,21	19,74 ± 0,13
E15	57,65 ± 0,41	34,20 ± 0,25
E16	32,57 ± 0,54	19,32 ± 0,32
E17	76,43 ± 0,54	45,35 ± 0,32
Moyenne	56,57 ± 26,29	33,57 ± 15,60

Les résultats obtenus montrent que la teneur en iode varie d'un échantillon à l'autre et dépend de la marque mise en question, ceci est représenté dans les figures 8 et 9.

Ainsi, on avait enregistré une teneur moyenne en iodate de potassium d'une valeur de $56,57 \pm 26,29$ ppm, l'équivalent en iode de $33,57 \pm 15,60$ ppm, un seul échantillon de type vrac fut non iodé ce qui représente 5,88 % de la totalité des échantillons tandis que l'iodation des 16 autres varie d'une valeur minimale en iodate de potassium de $4,39 \pm 0,55$ ppm dont l'équivalent en iode est de $2,60 \pm 0,33$ ppm à une valeur maximale en iodate de potassium de $154,52 \pm 0,82$ ppm dont l'équivalent en iode est de $91,69 \pm 0,48$ ppm.

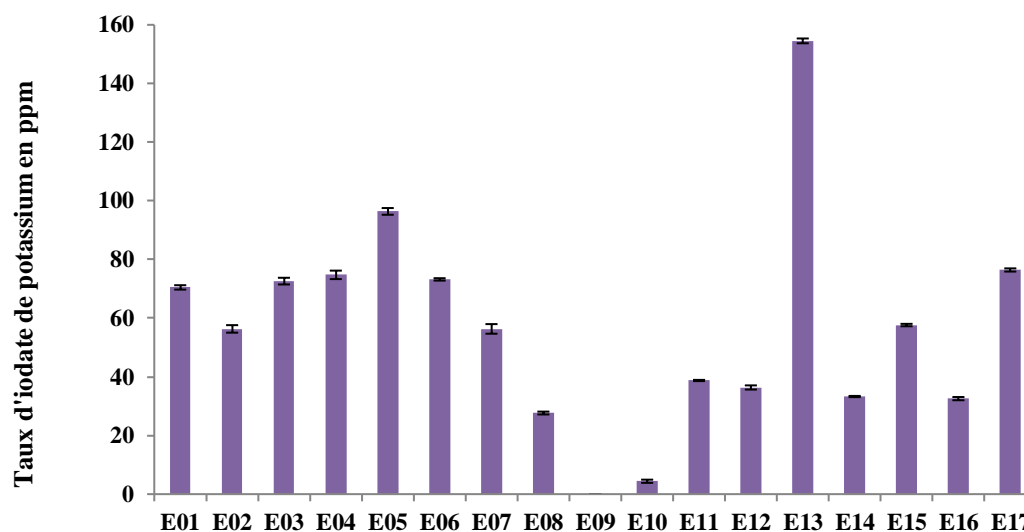


Figure 8 : Teneur d'iodate de potassium en ppm dans les échantillons analysés.

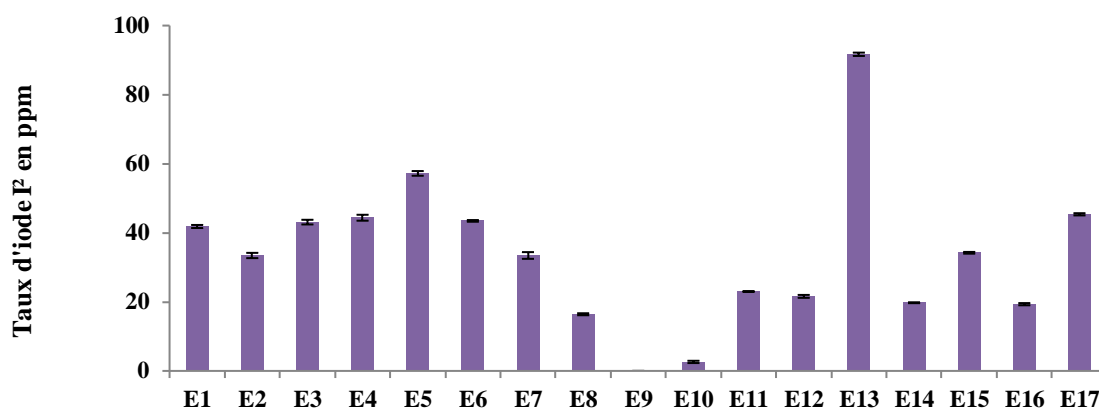


Figure 9 : Teneur d'iode en ppm dans les échantillons analysés.

En comparant ces résultats à ceux obtenus dans d'autres travaux, nous avons constaté qu'ils étaient inférieurs à ceux obtenus par Hazourli *et al.* (2021), pour l'est algérien dont la moyenne en iode fut de 46,4 ppm d'iode, le taux d'échantillons non iodés fut de 2,6 %, et la valeur minimale de 1 ppm et la valeur maximale de 93 ppm, tandis qu'ils étaient proches des résultats obtenus par Chibane et Zahaf. (2020) à Oum El-Bouaghi dont la moyenne en iode fut de $30,84 \pm 9,13$ ppm, le taux de valeurs nulles quant à lui fut de 0 %, et la valeur minimale de 12,88 ppm et maximale de 38,87 ppm, l'absence d'échantillons non iodés peut s'expliquer par le nombre très bas d'échantillons analysés par ces derniers,

Ainsi Zeghib et Benahmed. (2019) dans leur étude menée dans la même wilaya avaient enregistré 78 échantillons non iodés sur 216 analysés

Dans notre étude l'échantillon non iodé est un produit en vrac dont la provenance est anonyme, ce genre de produits issues de l'agriculture régionale sont directement mis en vente après séchage sans autre intervention technologique, ils sont plus susceptibles d'être frauduleux car souvent il est impossible de retracer leur provenance, leur mise en vente est plus marquée en milieu rurale.

La faible iodation de certains échantillons peut être expliquée par un acte de fraude délibéré de certains producteurs pour augmenter leur profit ou selon Djonga *et al.* (2012) à une perte de l'iode dû à la présence d'impuretés, d'humidité, une granulométrie élevée des cristaux de sel ou le mode et la durée de conservation.

L'exposition à de mauvaises conditions météorologiques et de mauvaises conditions de stockage peuvent aussi être à l'origine d'une perte d'iode (Banza *et al.*, 2016).

Mannar et Dunn. (1995) ont émis les hypothèses que la multiplicité des sites de production et diversité des types de sels sur le marché ; l'existence d'un marché noir de sel non iodé caractérisé par des emballages non conformes du point de vue de l'étiquetage ou les données relatives aux producteurs (adresses, nom de l'entreprise...etc.) restent délibérément floues d'où la difficulté de traçabilité du produit, ou aussi l'absence d'autocontrôle du produit lors de la production et avant la mise en vente peuvent justifier un déficit d'iode dans les sels iodés.

La sur-iodation de certains échantillons peut être expliquée par la non maîtrise des techniques de production notamment l'étape de malaxage censé répartir la teneur en iode sur la totalité de la production.

2.2. Conformité des échantillons

2.2.1. Conformité des échantillons selon la norme Algérienne

L'Algérie a mis en place un programme de lutte contre les carences parmi elles la carence en iode, dans le but de protéger la santé du consommateur le décret exécutif N° 90-40 publié le 30 janvier 1990 (Anonyme, 1990), stipule que : « un sel alimentaire correctement iodé doit contenir 50,55 à 84,25 ppm d'iodate de potassium, l'équivalent en iode de 30 à 50 ppm ».

On a constaté que 47,06 % des échantillons de sels alimentaires analysés durant notre étude étaient correctement iodés conformément à la norme algérienne (50,55 à 84,25 ppm d'iodate de potassium), 35,29 % des échantillons de sels avaient une teneur en iodate de potassium inférieure au seuil minimal recommandé (<50,55 ppm), et 11,77 % présentaient une teneur en iodate de potassium qui dépasse la limite supérieure recommandée (>84,25 ppm) et 5,88 % des échantillons n'étaient pas iodés (0 ppm), les résultats obtenus en prenant compte de cette norme étaient sujettes à plusieurs divisions (Tableau X).

La teneur moyenne générale enregistrée fut de $56,57 \pm 26,29$ ppm, la classe correctement iodée avait enregistré une moyenne de $67,23 \pm 7,84$ ppm tandis que celle faiblement iodée avait enregistré une moyenne de $28,83 \pm 8,54$ ppm et la classe excessivement iodée avait quant à elle enregistré une moyenne de $125,45 \pm 29,06$ ppm.

Tableau X : Conformité des échantillons selon la norme algérienne répartie en plusieurs classes.

	valeur nulle 0 ppm	< 50,55 ppm de kio3	50,55 - 84,25 ppm de kio3	> 84,25 ppm de kio3
Nombre d'échantillons	1	6	8	2
pourcentage %	5,88	35,29	47,06	11,77
Teneur moyenne	0	28,83 ± 8,54	67,23 ± 7,84	125,45 ± 29,06
teneur moyenne générale	56,57 ± 26,29			

De ce fait sur le plan quantitatif et selon la norme fixée par la législation Algérienne, on avait constaté que 9 échantillons soit 52,94 % étaient non conformes à la norme, alors que 8 échantillons soit 47,06 % étaient conformes, la distribution selon la conformité vis-à-vis de la norme algérienne est représentée par la figure 10.

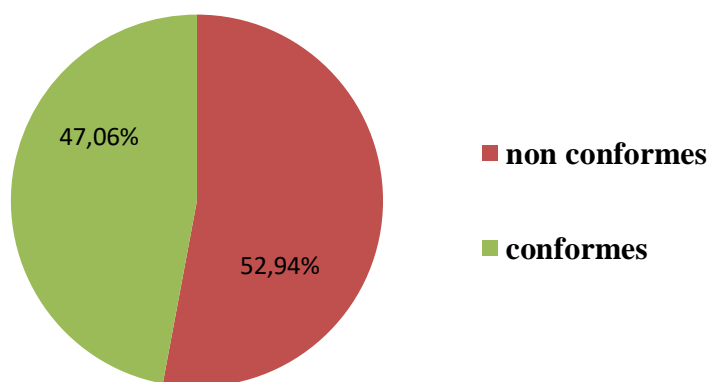


Figure 10 : Pourcentages de conformité et non conformité selon la norme algérienne.

2.2.2. Conformité des échantillons selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF

L'OMS/ICCIDD/UNICEF se sont fixé le but d'atteindre 90 % de ménages disposant d'un sel alimentaire correctement iodé contenant 25,3 à 67,5 ppm d'iodate de potassium l'équivalent en iode de 15 à 40 ppm (Diaby *et al.*, 2020).

Nous avons constaté que 47,06 % des échantillons de sels alimentaires analysés étaient correctement iodés conformément à la norme OMS/ICCIDD/UNICEF (25,3 à 67,5 ppm d'iodate de potassium), 5,88 % des échantillons de sels avaient une teneur en iodate de potassium inférieure au seuil minimal recommandé (< 25,3 ppm), 41,18 % présentèrent une teneur en iodate de potassium qui dépassaient la limite supérieure recommandée (67,5 ppm) et 5,88 % des échantillons de sels alimentaires n'étaient pas iodés (0 ppm), les résultats obtenus en prenant compte de cette norme étaient sujettes à plusieurs divisions (Tableau XI).

La teneur moyenne générale enregistrée était de $56,57 \pm 26,29$ ppm, la classe correctement iodée avait enregistré une moyenne de $42,37 \pm 10,80$ ppm tandis que celle faiblement iodée avait enregistré une moyenne de $4,39 \pm 0$ ppm, et la classe excessivement iodée avait quant à elle enregistré une moyenne de $88,35 \pm 21,20$ ppm.

Tableau XI : Conformité des échantillons selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF répartie en plusieurs classes.

	valeur nulle 0	< 25,3 ppm de kio3	25,3 - 67,5 ppm de kio3	> 67,5 ppm de kio3
Nombre d'échantillons	1	1	8	7
pourcentage %	5,88	5,88	47,06	41,18
Teneur moyenne en ppm de KIO3	0	4,39±0	42,37 ± 10,80	88,35 ± 21,20
teneur moyenne générale	$56,57 \pm 26,29$			

De ce fait sur le plan quantitatif et selon la norme recommandée par l'OMS/ICCIDD/UNICEF, on avait constaté que 9 échantillons soit 52,94 % étaient non conformes aux normes, alors que 8 échantillons soit 47,06 % étaient conformes, la distribution selon la conformité vis-à-vis de la norme OMS/ICCIDD/UNICEF est représentée par le diagramme (figure 11), on peut noter par ailleurs qu'elle reste au final inchangée par rapport à la distribution selon la norme algérienne.

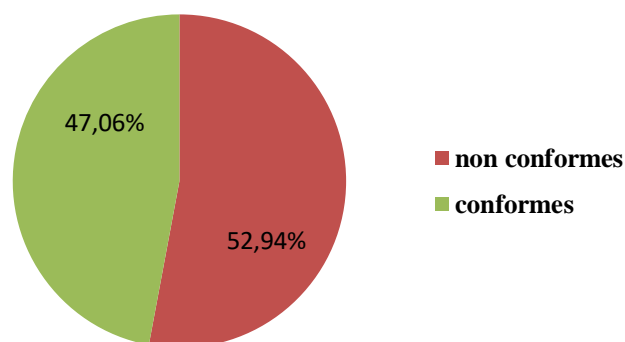


Figure 11 : Pourcentages de conformité et non conformité selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF.

Dans une étude menée par Guerras. (2019) sur 68 échantillons de sels alimentaires recueillis dans des commerces de plusieurs wilayas (Msila ; Bordj Bou Arreridj ; Alger ; Batna ; Biskra ; Sétif), 82,35 % des échantillons furent non conformes à la norme Algérienne, cette proportion augmente à 86,76 % selon la norme de l'OMS/ICCIDD/UNICEF, 17,65 % furent conformes selon la norme Algérienne, cette proportion baisse à 13,24 % selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF, ces chiffres sont loin de ceux obtenus par notre étude les sels commercialisés dans la commune de Tizi-Ouzou semblent plus conformes peut importe la norme prise en compte. Le taux d'échantillons nuls non iodés avait été de 11.76 % supérieur au taux enregistré par notre étude.

Toujours comparant à la même étude, conformément à la norme Algérienne les échantillons en règles avaient une moyenne en iodate de potassium qui s'élevait à $63,3 \pm 1,84$ ppm ce qui est inférieur à la moyenne enregistrée sur la même classe dans notre étude, et conformément à la norme OMS/ICCIDD/UNICEF, ils avaient une moyenne en iodate de potassium qui s'élevait à $36,65 \pm 1,16$ ppm soit toujours inférieure aux résultats obtenus par

notre étude. Les échantillons non conformes aux normes algériennes inférieure à la limite en règle furent de 58,83 % supérieur au résultat obtenu par notre étude, avec une moyenne en iodate de potassium de $17,5 \pm 0,84$ ppm, inférieur au résultat obtenu par notre étude, tandis qu'ils furent de 45,59 % avec une moyenne en iodate de potassium de $11,94 \pm 0,75$ ppm selon la norme de l'OMS/ICCIDD/UNICEF ce qui est largement supérieur à nos résultats. Les échantillons supérieurs aux normes algériennes en règles furent de 11,76 % soit identiques à nos résultats avec une moyenne d'iodate de potassium de $96,52 \pm 1,19$ ppm inférieur à la moyenne enregistrée durant notre étude et de 29,41 % selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF avec une moyenne d'iodate de potassium de $71,72 \pm 0,82$ ppm inférieure à celle enregistrée par notre étude.

Dans l'étude menée par Zeghib et Benahmed. (2019) sur 216 échantillons dans la wilaya d'Oum El-Bouaghi, ils ont enregistré un taux de conformité vis-à-vis des normes algériennes de 32,87 % et de 42,6 % vis-à-vis des normes OMS/ICCIDD/UNICEF, 36,11 % des échantillons n'étaient pas iodés.

Dans l'étude menée par Rih. (2019) sur 738 échantillons recueillis dans des ménages de la région de Sidi Bel Abbés, un taux de conformité de 53,12 % vis-à-vis de la norme algérienne fut enregistré et 0,95 % des échantillons n'étaient carrément pas iodés, mais aucune données pour comparer avec la norme OMS n'as été établies, ces chiffres sont ceux qui se rapprochent le plus de ceux enregistrés durant notre étude bien que les conditions de travail ne soient pas identiques, car nos échantillons furent collectés dans des commerces avant conservation dans ménages.

Selon les résultats de notre étude on peut affirmer que l'objectif fixé par l'OMS/ICCIDD/UNICEF d'atteindre 90 % de ménages consommant un sel adéquatement iodé à hauteur de 15 ppm d'iode minimum ne peut être atteint dans la commune de Tizi-Ouzou, bien que notre étude ne porte pas sur une large quantité d'échantillons recueillis dans les ménages, l'aperçu de la qualité des sels mis en vente ne présage pas l'atteinte de cet objectif.

L'existence de normes réglementaires a pour but de protéger la santé du consommateur algérien en lui offrant un sel adéquatement iodé pouvant couvrir ses besoins nutritionnels, bien que l'instauration de ces dernières est censée amener le gouvernement et l'industrie à s'impliquer plus étroitement dans la politique d'iodation, sur le terrain la réalité est tout autre, on remarque une négligence de la DCP (direction du commerce et des prix) sur

les contrôles malgré le danger qui pèse sur le consommateur. Ainsi, les résultats obtenus par notre étude et d'autres études menées à l'échelle nationale sont censées alerter les autorités compétentes à veiller à un contrôle plus rigoureux du sel iodé partant des sites de production et cela jusqu'au détaillant.

Tran *et al.* (2016) ont recommandé pour le maintien de l'efficacité du programme d'iodation des efforts renouvelés de la part des gouvernements ainsi que des agences bilatérales et multilatérales et de la société civile. Par conséquent, plusieurs études devraient être entreprises pour renforcer les contrôles de conformité des produits ainsi que renforcer les campagnes de mobilisation et de communication stratégiques.

Selon Mannar et Dunn. (1995) des contrôles doivent être périodiques et échelonnés dans le temps et l'espace. Les résultats obtenus seront ensuite opposés à la réglementation pour juger de leur conformité. Cependant, cette notion de conformité est à rattacher au pays concerné; le niveau d'iodation conforme du sel varie d'un pays à l'autre. Ainsi, la notion de conformité est spécifique à chaque pays. Cela veut donc dire qu'un produit conforme dans un pays, ne l'est pas forcément dans un autre et vice-versa.

On a noté que la totalité des sels alimentaires de l'entreprise publique ENASEL sont conformes à la norme algérienne en termes de teneur en iodate de potassium et de teneur en humidité, parmi les 14 échantillons provenant d'entreprises privées seul 35,71 % sont conformes et 64,29 % non conformes en termes de teneur en iodate de potassium, cependant la totalité ont un taux d'humidité conforme.

Le même constat de conformité des échantillons ENASEL a été noté dans l'étude menée par Guerras, (2019) à Msila où le taux de conformité des échantillons ENASEL fut de 100 % ou dans l'étude de Rih. (2019) dans la région de Sidi bel Abbes, sur un total de 738 échantillons récoltés dans les ménages 358 furent produits par l'ENASEL et la totalité étaient conformes aux normes algériennes tandis que sur 380 échantillons des producteurs privés seuls 34 furent conformes.

Bien que l'état algérien donne l'exemple en termes de respect des normes en vigueur à travers l'entreprise publique ENASEL, les contrôles envers les producteurs privés doivent être renforcés pour garantir le respect total du programme entrepris par les pouvoirs publics et cela ne peut être atteint sans volonté politique claire.

2.3. Conformité des taux d'humidité des échantillons analysés

La teneur minimale en matière sèche qu'on est recueillie est de $99,43 \pm 0,04$ % et la teneur maximale est de $99,98 \pm 0$ %, ce qui semble conforme à la description d'un sel alimentaire en Algérie et cela pour la totalité des échantillons analysés ou la teneur en NaCl ne doit pas être inférieure à 98 % de l'extrait sec, ce qui laisse suggérer que nos échantillons sont d'une pureté considérable toutefois cela n'en conclue pas qu'ils le sont vraiment car notre étude ne traite pas d'autres variable que l'humidité pouvant influencer sur les taux de matière sèche tel que les micro-plastiques, les matières insolubles (annexe 4) ou organiques et les minéraux indésirables.

Les valeurs des taux d'humidité et d'extraits sec sont représentées ci-dessous dans le Tableau XII, l'échantillon E08 n'a pas pu être analysé car la quantité disponible était inférieure à celle requise par l'analyse.

Tableau XII : Taux d'humidités et d'extraits secs dans les échantillons analysés.

Echantillon	Taux d'humidité (%)	Taux extrait sec (%)
E01 ENASEL	$0,18 \pm 0,02$	$99,83 \pm 0,02$
E02 ENASEL	$0,02 \pm 0$	$99,98 \pm 0$
E03 ENASEL	$0,07 \pm 0,01$	$99,93 \pm 0,01$
E04	$0,57 \pm 0,04$	$99,43 \pm 0,04$
E05	$0,3 \pm 0,14$	$99,7 \pm 0,014$
E06	$0,32 \pm 0,25$	$99,68 \pm 0,25$
E07	$0,29 \pm 0,16$	$99,71 \pm 0,16$
E08 VRAC	NC	NC
E09 VRAC	$0,54 \pm 0$	$99,46 \pm 0$
E10	$0,21 \pm 0,01$	$99,79 \pm 0,01$
E11	$0,26 \pm 0,06$	$99,74 \pm 0,06$
E12	$0,19 \pm 0,01$	$99,81 \pm 0,01$
E13	$0,05 \pm 0,01$	$99,96 \pm 0,01$
E14	$0,22 \pm 0$	$99,78 \pm 0$
E15	$0,2 \pm 0,03$	$99,8 \pm 0,03$
E16	$0,22 \pm 0$	$99,78 \pm 0$
E17	$0,38 \pm 0$	$99,62 \pm 0$

NC : Non Connu

Ainsi, pour ce qui est de l'humidité, conformément à la norme OMS (Sullivan *et al.*, 1995), la totalité des échantillons analysés sont jugés conformes. Les teneurs obtenues pour la totalité des échantillons sont représentées dans la figure 12. La valeur maximale de la teneur en humidité a été évaluée à $0,57 \pm 0,4$ % et la valeur minimale à $0,02 \pm 0$ % ce qui est loin du seuil maximum d'acceptation en matière d'humidité fixé à 4 % par l'OMS, ces résultats suggèrent des conditions de stockage acceptables pour nos échantillons.

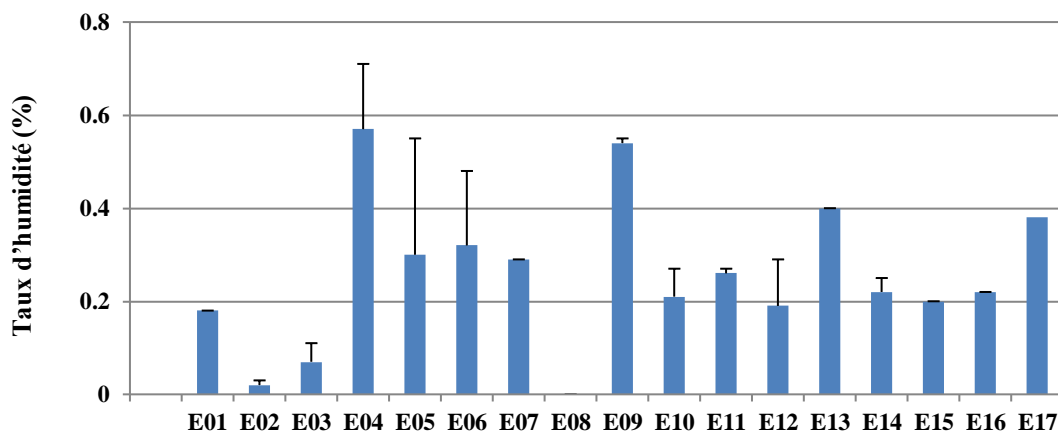


Figure 12 : Représentation en colonne des taux d'humidité enregistrés pour les échantillons analysés.

Yabrir *et al.* (2018) dans leur étude concernant la teneur en iode et qualité des sels alimentaires commercialisés dans la région de Djelfa avaient obtenu des résultats similaires en termes de teneur en humidité, ainsi sur 45 échantillons de 9 marques différentes à raison de 5 échantillons par marque il en ressort deux groupe l'un avec une moyenne des teneurs en humidité faible constitué de 30 échantillons ou la teneur moyenne minimale été de 0,27 % , et la teneur moyenne maximale de 0,58 %, nos résultats s'alignent parfaitement à ce groupe là, et un autre groupe constitué de 15 échantillons avec une moyenne des teneurs en humidité sensiblement plus élevé mais ne dépassant toutefois pas les normes avec une teneur moyenne minimale à 1,65 % et une teneur moyenne maximale à 2,41 %.

Le *Codex Alimentarius* (1985). Exige que le sel iodé ne soit pas exposé à la pluie, à une humidité excessive ou à la lumière du soleil direct, à tous les stades de son entreposage, de son transport ou de sa vente.

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 (Allen *et al.*, 2011). Selon Anteneh *et al.* (2017), si le sel est stocké dans des zones humides pour une longue durée, cela attire l'humidité qui mouille le sel, cette humidité entraîne l'iode vers la partie inférieure du contenant empêchant ainsi l'homogénéité de l'iode dans le sel. Et dans des conditions impliquant de hautes températures le sel peut libérer une humidité de surface et ceci peut conduire à une perte d'iode par sublimation dans le cas où le contenant n'est pas hermétiquement clos.

Diosady *et al.* (1997) ont observé une déperdition d'iode sous l'effet de l'humidité relative du milieu, plus l'humidité est considérable, plus la perte en iode est importante. Ces auteurs imputent la perte d'iode, non seulement à l'humidité relative, mais aussi au matériau d'emballage et à l'origine du sel, quant à Seid ali *et al.* (2015) ils suggèrent un impacte non considérable de l'emballage sur la perte d'iode, ce dernier influe différemment selon le lieu de stockage ce qui laisse entendre que c'est plutôt les facteurs humidité et température qui font varier le taux de perte d'un type d'emballage à un autre. Sachant qu'il a été constaté que la lumière n'a pas d'effet sur l'iodate de potassium KIO_3 . Djonga *et al.* (2012) ont affirmé que le meilleur récipient est celui fait en verre avec couvercle adapté, bien qu'il peut constituer un coût supplémentaire il s'avère être le matériau idéal pour une meilleure conservation durant le stockage limitant ainsi les pertes en iode.

Taga *et al.* (2004) ont déterminé la teneur en eau des sels, après 9 mois de stockage à la température ambiante : ils remarquèrent que la perte en eau était en fonction de la granulométrie des grains de sel. Celle-ci diminuait du sel à gros grains au sel à grains fins. Cette variation de l'humidité influait sur la teneur en iode, dans le sens où le pourcentage de perte en iode augmentait à la fois avec la teneur en eau et la taille des cristaux de sel.

2.4. Le prix est-il un gage de qualité ?

La fourchette de prix de la totalité des sels collectés dans les commerces se situe entre 20 et 239 DZD pour un kilogramme de sel, la fourchette de ceux produits par l'ENASEL entre 30 et 75 DZD ces derniers sont tous conformes, on constate que bon nombre d'échantillons ont un prix de 30 DZD, il s'agit là certainement d'un prix convenu entre les acteurs privés du marché pour s'aligner au prix de la référence la moins cher produite par

l'ENASEL qui couvre selon Rih. (2019) plus de la moitié des besoins de la population étudiée dans son étude.

L'échantillon le moins chère en vrac (anonyme) a une absence totale d'iodate de potassium, tandis que le plus chère au kilogramme a une teneur en iodate de potassium faible et jugé non conforme, le prix de ce dernier qui est sans nul doute excessif pour la majorité des ménages revient a priori à l'emballage en plastique dur dont les cout de fabrication serait plus élevé mais cela ne justifie quand même pas ce prix la.

Dans l'ensemble et comme démontré par le tableau XIII, on constate aucun lien réel entre le prix et la qualité des sels alimentaires vendus dans les commerces de la commune de Tizi-Ouzou bien qu'un prix plus élevé est censé garantir l'utilisation de procédés de production plus coûteux et plus efficaces, une partie des producteurs privé ne respectent pas leur engagement de qualité envers les consommateurs et cela même si le prix est élevé, le contraire semble aussi être juste, l'ENASEL et quelques producteurs privé garantissent une qualité optimale de leur produit et cela même si le prix est bas.

Tableau XIII : Coût des sels alimentaires analysés en DZD et leur conformité vis-à-vis de la norme algérienne.

Echantillon	prix (DZD)/kg	Conformité
E01 ENASEL	30	conforme
E02 ENASEL	65	conforme
E03 ENASEL	75	conforme
E04	65	conforme
E05	65	non-conforme
E06	174	conforme
E07	25	conforme
E08 VRAC	25	non-conforme
E09 VRAC	20	non-conforme
E10	30	non-conforme
E11	239	non-conforme
E12	30	non-conforme
E13	35	non-conforme
E14	30	non-conforme
E15	30	conforme
E16	30	non-conforme
E17	30	conforme

Le prix est un facteur clé influençant le choix du consommateur, les entreprises font donc de leur mieux pour diminuer leur coûts de production permettant de proposer le produit le moins cher possible augmentant au passage leurs profits sans tenir compte des normes de qualité et du danger que cela puisse représenter pour la santé du consommateur.

Selon Jooste *et al.* (2001) au terme d'une étude menée en Afrique du sud, les ménages compris dans des catégories socio-économiques défavorisées comprenaient un sous ensemble vulnérable de la population à risque d'être exposé à du sel sous iodé. Une explication partielle quant à la faible teneur en iode du sel utilisé par les ménages des catégories socio-économiques défavorisées réside dans les proportions des différents types de sel utilisés. Le sel agricole ou gros sel, souvent inadapté, moyennement iodé ou pas iodé du tout, était utilisé par plus de ménages dans les catégories socio-économiques défavorisées que par ceux des catégories socio-économiques supérieures. De plus, la proportion de ménages utilisant le sel fin, avec sa concentration moyenne en iode plus élevée, était plus élevée chez les catégories socio-économiques supérieures, que chez les catégories socio-économiques défavorisées.

Bien que dans notre étude il n'ait été fait aucun constat avéré d'une qualité inférieure des sels de cuisine et de table fin dont le prix était peu élevé, néanmoins il semble que les résultats concernant les sels en vrac concorde avec l'étude menée par Jooste *et al.* (2001), et les populations les plus vulnérables utilisent ces types de sels sont celles des catégories socio économiques défavorisés

2.5. Relation entre la qualité du sel et l'ancienneté des échantillons

La durée de stockage moyenne des échantillons analysés fut de 5,93 mois, comme démontré par le tableau XIV, le plus vieux échantillon avait été produit depuis 12 mois et les trois échantillons les plus jeunes furent produits 2 mois avant analyse. Avec nos résultats obtenus on note aucun lien claire entre l'âge de nos échantillons et leur conformité, en raison des contraintes de temps chaque marque a été représenté par un seul échantillon produit à une date distincte (annexe 5) , et analysé 3 fois durant le même jour, il n'y a pas eu donc de différence de lots ou d'analyse suffisamment espacé dans le temps, pouvant démontrer clairement une déperdition d'iode dû au temps de conservation.

Tableau XIV : Durée de stockage des échantillons analysés et leur conformité vis-à-vis de la norme algérienne.

ECHANTILLON	Durée de stockage au moment de l'analyse	Conformité selon la norme algérienne
E1 ENASEL	6 mois	conforme
E2 ENASEL	5 mois	conforme
E3 ENASEL	10 mois	conforme
E4	2 mois	conforme
E5	3 mois	non-conforme
E6	8 mois	conforme
E7	9 mois	conforme
E8 VRAC	Inconnue	non-conforme
E9 VRAC	Inconnue	non-conforme
E10	8 mois	non-conforme
E11	11 mois	non-conforme
E12	6 mois	non-conforme
E13	2 mois	non-conforme
E14	12 mois	non-conforme
E15	2 mois	conforme
E16	1 mois	non-conforme
E17	4 mois	conforme

Une étude menée par Diaby *et al.* (2020) a démontré une perte d'iode dans des sels de table durant leur conservation, la perte fut de 12,67 ppm ce qui représente 21,71 % de l'iode contenu initialement en seulement 5 semaines, l'étude en question suggère que comme tout les autres produits enrichis en iode, le sel devrait être consommé durant un laps de temps court partant de la date de production pour éviter les pertes de l'iode, les industriels devraient donc respecter la politique d'iodation et mettre en place une durée de conservation efficace au sel iodé.

Dans une autre étude menée par Seid ali *et al.* (2015) a été remarqué une déperdition d'iode allant de 4,73 % à 9,60 % en 3 mois suivant la nature du sel, cette dernière fut corrélée par l'étude de Taga *et al.* (2005) qui ont démontré des pourcentages de perte en iode allant de 9,98 % pour les sels à grains fins à 42,86 % pour les sels à gros grains.

Il semblerait donc que la durée de conservation ait un impacte sur la qualité des sels mis en vente sur le marché mais cela reste un facteur indissociable des conditions dans lesquelles ces derniers sont conservés, à noter les conditions climatiques, humidité, emballage, origine et type du sel et techniques de production.

2.6. Relation entre la qualité des sels et lieu de conditionnement

Les échantillons recueillis ont été conditionnés dans différentes usines du nord et de l'est du pays (annexe 5), la répartition des échantillons selon les lieux de provenance est représentée par le diagramme ci-dessous (figure 13) :

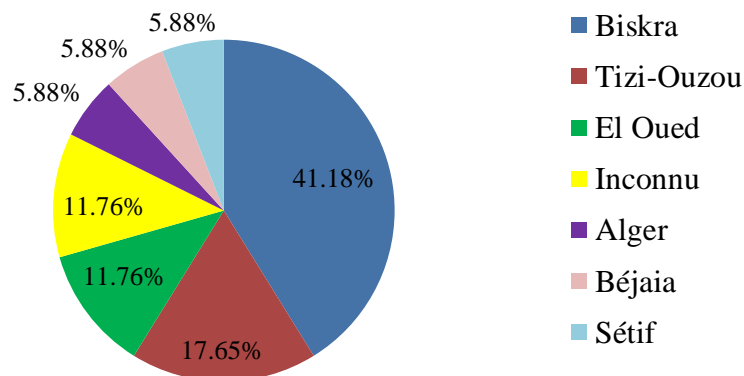


Figure 13 : Répartition des échantillons analysés selon les lieux de conditionnement.

Les moyennes des teneurs en iodate de potassium suivant le lieu de conditionnement sont représentées dans le Tableau XV. Pour les wilayas d'Alger, Béjaia et Sétif un seul échantillon fut analysé et ils furent tous conformes, une grande partie des échantillons proviennent de Biskra ces derniers accusent une moyenne des teneurs en iodate de potassium de $70,23 \pm 33,54$ ppm, l'écart moyen élevé témoigne de la disparité des résultats, pour ce qui est des trois échantillons conditionnés dans la wilaya de Tizi-Ouzou tous ne sont pas conformes aux normes algériennes, l'écart moyen faible suggère que le fournisseur des trois conditionneurs de la région soit le même, les sels en vrac dont les origines sont inconnues accusent sans surprise une moyenne des teneurs en iodate de potassium la plus faible et qui est de $13,82 \pm 13,82$ ppm, et enfin la moyenne des teneurs en iodate de potassium des deux échantillons conformes conditionnés à El Oued fut de $66,38 \pm 10,4$ ppm.

Tableau XV : Moyenne des teneurs en iodate de potassium suivant le lieu de conditionnement.

Lieu de conditionnement	Nombre d'échantillons	Moyenne des teneurs en iodate de potassium
Biskra	7	70,23 ± 33,54
Tizi-Ouzou	3	36,13 ± 1,90
El Oued	2	66,38 ± 10,4
inconnu	2	13,82 ± 13,82
Alger	1	73,21
Bejaïa	1	57,65
Sétif	1	70,49

2.7. Participation approximative des échantillons analysés aux recommandations d'apport journalier d'iode fixé par l'OMS

Selon Zou *et al.* (2015), il y a une relation entre la quantité d'iode dans le sel et la concentration d'iode ingérée. Donc toute iodation insuffisante du sel pourrait représenter un risque pour les populations vulnérables de développer des TCI.

Cependant l'excès d'iode dû à une mauvaise surveillance de l'iodation peut être un facteur important dans l'apparition de maladies graves comme hyperthyroïdie ou la maladie Hashimoto notamment chez les personnes les plus vulnérables (Bürgi *et al.*, 2001).

On a donc voulu comparer l'apport approximatif que pouvaient offrir les sels mis en vente dans les commerces de la commune de Tizi-Ouzou aux recommandations nutritionnelles de l'OMS.

Les écarts types seront omis durant cette partie du travail qui est purement approximative, pour les raisons évidentes qui sont que :

- Il est impossible de déterminer avec exactitude le taux de perte en iode des aliments et du sel iodé après cuisson, la valeur change d'un aliment à un autre après salage et aussi selon le mode de cuisson, selon Shawel *et al.* (2010) et Chavasit *et al.* (2002) ainsi que WHO. (1996), cette perte en iode serait dans les alentours de 20 %, c'est donc cette estimation qu'on prendra en considération.

- Il est impossible d'estimer l'apport moyen en sel de la population concerné sans sondage préalable (c'est-à-dire les habitants de la commune de Tizi-Ouzou), la quantité de sel consommée en Algérie par individu et par jour a été estimée par Haderbache. (2019) en se basant sur une population globale et des données recueillies sur leur consommation mensuelle de sel à 8,6 g, c'est donc cette valeur qu'on prendra en considération. Les teneurs approximatives en iode et les taux de participation à l'apport recommandé pour un bilan iodé suffisant sont calculées en utilisant les équations suivantes :

- Teneur approximative en iode d'une portion de 5g de sel échantillonné :

$$x (\mu\text{g}) = \frac{5 \text{ g}}{1000\text{g}} \times \text{teneur en ppm de l'échantillon} \times 1000$$

- Puis on déduit 20 % de pertes supposées après cuisson.

- Teneur approximative en iode d'une portion de 8,6g de sel échantillonné :

$$x (\mu\text{g}) = \frac{8,6 \text{ g}}{1000\text{g}} \times \text{teneur en ppm de l'échantillon} \times 1000$$

- Puis on déduit 20 % de pertes supposées après cuisson.

- Taux de participation à l'apport recommandé pour un bilan iodé suffisant :

$$x(\%) = 100 \times \frac{\text{teneur approximative en iode suivant la portion consommée}(\mu\text{g})}{150 \mu\text{g}}$$

- Taux de participation comparé à la limite supérieur aux besoins :

$$x(\%) = 100 \times \frac{\text{teneur approximative en iode suivant la portion consommée}(\mu\text{g})}{300 \mu\text{g}}$$

Les résultats obtenus sont détaillés dans les Tableaux XVI et XVII, Ci-dessous :

Tableau XVI : Taux d'apport en iode de 5g des échantillons analysés selon les recommandations fixées par l'OMS.

ECHANTILLON	Teneur en iode I² (ppm)	Teneur approximative en iode d'une portion de 5g de sel après cuisson (µg)	Taux de participation à l'apport recommandé pour un bilan iodé suffisant (%)	Taux de participation comparé à la limite supérieure aux besoins (%)
E1	41,82	165,88	110,59	55,29
E2	33,43	132,88	88,59	44,29
E3	43,09	174,32	116,21	58,10
E4	44,36	176,88	117,92	58,96
E5	57,20	227,68	151,79	75,89
E6	43,44	174,32	116,21	58,10
E7	33,43	130,32	86,88	43,44
E8	16,41	64,32	42,88	21,44
E9	0	0	0,00	0
E10	2,60	11,84	7,89	3,94
E11	22,99	92,24	61,49	30,74
E12	21,58	84,64	56,43	28,21
E13	91,69	365,64	243,76	121,88
E14	19,74	78,68	52,45	26,22
E15	34,20	136,24	90,83	45,41
E16	19,32	77	51,33	25,66
E17	45,35	182,8	121,87	60,93

Sans prendre en compte l'apport en iode provenant de l'alimentation autre que le sel alimentaire, pour 5 grammes de sel nos échantillons couvrent un taux variant de 0 % à 243,76 % de l'apport nutritionnel recommandé pour un adulte en bonne santé qui est de 150 µg d'iode par individu et par jour (WHO, 2014), un échantillon dépassait la limitation supérieure recommandée fixée à 300 µg d'iode et 7 échantillons n'atteignait pas la limite inférieure d'un bilan iodé suffisant fixée à 100 µg d'iode. 9 échantillons étaient dans le seuil optimal de 100 µg à 150 µg d'iode.

La source principale en iode varie largement d'un pays à un autre selon les habitudes alimentaires, et des stratégies pour faire face aux TCI sont adoptées au niveau national.

Selon Pastorelli *et al.* (2015) en Italie 57 % de l'apport recommandé pour un adulte serait consommé par le biais de l'alimentation hors sel iodé et ce chiffre grimpe à 79 % chez les enfants, toujours selon les mêmes auteurs dans ces cas là, 5 g de sel iodé à 30 ppm couplé à l'apport hors sel iodé permettrait à toutes les catégories d'âges d'être dans le seuil optimale de consommation d'iode (150 à 299 µg).

Tableau XVII : Taux d'apport en iode de 8,6 g des échantillons analysés selon les recommandations fixées par l'OMS.

ECHANTILLON	teneur en iode I² (ppm)	teneur approximative en iode d'une portion de 8,6g de sel après cuisson	taux de participation à l'apport recommandé pour un bilan iodé suffisant(%)	taux de participation comparé à la limite supérieur aux besoins(%)
E1	41,82	285	190,21	95,10
E2	33,43	228,55	152,37	76,18
E3	43,09	299,83	199,89	99,94
E4	44,36	304,23	202,82	101,41
E5	57,20	391,60	261,07	130,53
E6	43,44	299,83	199,89	99,94
E7	33,43	224,15	149,43	74,72
E8	16,41	110,63	73,75	36,88
E9	0	0	0,00	0
E10	2,60	20,36	13,57	6,79
E11	22,99	158,65	105,77	52,88
E12	21,58	145,58	97,05	48,53
E13	91,69	628,90	419,27	209,63
E14	19,74	135,32	90,21	45,11
E15	34,20	234,33	156,22	78,11
E16	19,32	132,44	88,29	44,15
E17	45,35	314,41	209,61	104,80

Sans prendre en compte l'apport en iode provenant de l'alimentation autre que le sel alimentaire, pour 8,6 grammes de sel nos échantillons couvrent un taux variant de 0 % à 419,27 % de l'apport nutritionnel recommandé pour un adulte en bonne santé, 4 échantillons dépassaient la limite supérieure recommandée et plusieurs autres s'en approches...

2 échantillons n'atteignent pas la limite inférieure d'un bilan iodé suffisant, 4 échantillons sont dans le seuil optimal de 100 µg à 150 µg d'iode.

On constate que les quantités d'iode dérivées du sel ne semblent pas toujours sûres et adéquates pour la prévention et le contrôle de la carence en iode, la consommation de 8,6 grammes de certains de nos échantillons pourrait exposer le consommateur à de possibles effets indésirables dus à une surconsommation d'iode, la consommation d'une portion de 5 grammes de sel par individu et par jour semble parfaitement sûre pour tous les échantillons hormis un seul, sans pour autant être adéquate dans certain cas (figure 14), la population doit être éduquée sur les risques des carences iodées sans écarter les risques de la surconsommation du sel iodé, tant sur le plan cardiovasculaire ou sur le plan de la toxicologie de l'iode.

Un programme visant à baisser la quantité de sel alimentaire consommé par jour et par habitant serait aussi à envisager. Selon WHO, (2014) un tel programme peut être compatible avec le programme d'iodation de sel universelle à condition que les deux soient parfaitement alignés.

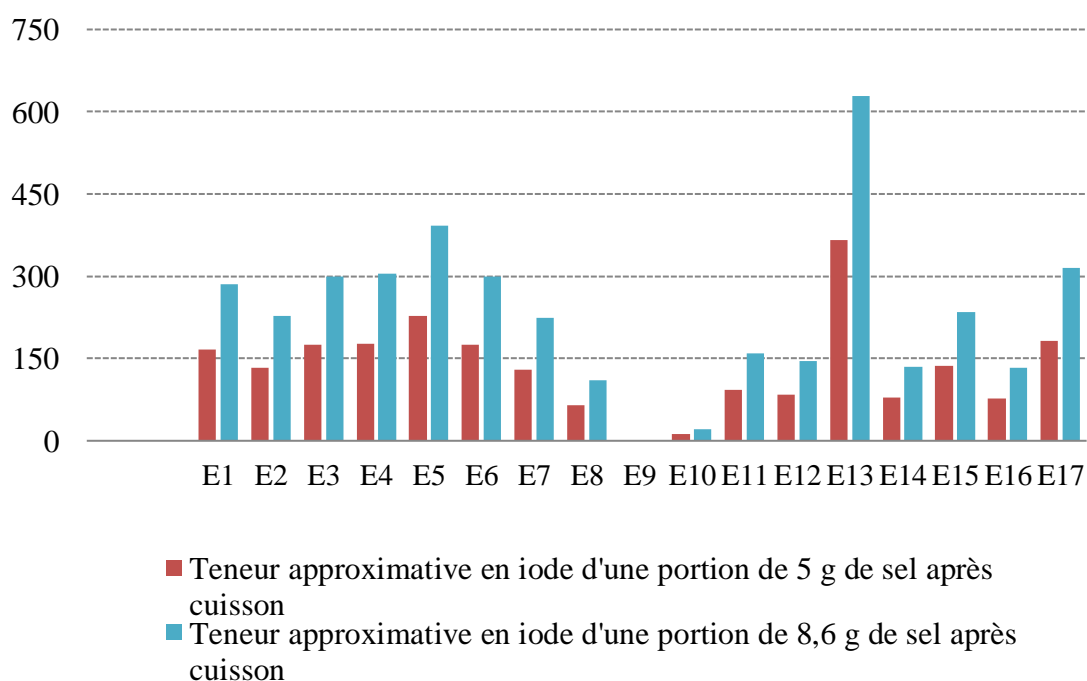


Figure 14 : Comparaison des teneurs approximatives d'iode apporté par les échantillons suivant la portion consommée après cuisson.

Une des leçons tirées des pays qui ont réussi à éliminer ou à réduire de façon substantielle les TCI réside dans la prise de conscience du rôle déterminant d'associer le contrôle continu de la qualité du sel et le suivi du statut iodé de la population dans l'efficacité des programmes. Ils permettent d'ajuster l'intervention et d'en évaluer l'impact. Cependant, rares sont les pays dont le système de surveillance est fiable (Benoist et Delange, 2002).

En plus du suivi du statut iodé de la population, des données sur la teneur en iode des aliments après cuisson couplées avec des données sur la consommation peuvent servir à estimer les apports consommés par différents groupes de la population, des données fiables et précises sont cruciales si l'on veut faire des progrès dans la surveillance des risques et bénéfices de la consommation des produits iodés (WHO, 2018).

Conclusion et perspectives

Cette présente étude est réalisée dans l'objectif de contrôler la qualité de quelques marques de sels commercialisés à Tizi-Ouzou, premièrement du point de vue de la teneur en iode et en humidité et en second lieu d'estimer approximativement l'apport nutritionnel en iode pouvant être apporté par chaque échantillon de sel analysé.

La teneur en iodate de potassium a été déterminée par méthode iodométrique référencée et le taux d'humidité avec un dessiccateur infrarouge, le nombre d'échantillons de sels alimentaires analysés était de 17 provenant tous des commerces de la commune de Tizi-Ouzou et sont produits par le secteur privé ou par l'entreprise nationale des sels.

D'après nos résultats, seulement 47,06 % des échantillons sont conformes à la norme algérienne et à la norme OMS/ICCIDD/UNICEF. Selon la norme algérienne 41,17 % des échantillons sont sous-iodés et 11,77 % sur-iodés, selon la norme OMS/ICCIDD/UNICEF 11,76 % sont sous-iodés et 41,18 % sur-iodés. Dans l'ensemble les résultats obtenus reflètent le non-respect de l'iodation notamment par les producteurs privés qui enregistrent un taux de non-conformité de 64,29 %, tandis que les échantillons de l'entreprise nationale des sels sont tous parfaitement conformes à la norme algérienne.

Pour les taux d'humidité la totalité des échantillons ont une teneur en dessous du seuil maximum autorisé fixé à 4 % par l'OMS ce qui suggère des conditions de stockage acceptables.

L'estimation des apports approximatifs en iode qui peuvent être apportés par les échantillons analysés aux consommateurs s'est soldée par un constat alarmant quant au danger d'hyperthyroïdie dûe à une surconsommation de sel iodé que peuvent représenter certains échantillons. Sachant que la portion recommandée par l'OMS est fixée à 5 g/j/individu, la consommation de certains échantillons en une portion possiblement sous estimée de 8,6 g/j/individu s'avère représenter un risque de surconsommation d'iode qui dépasse l'apport maximum pouvant causer des effets indésirables selon l'OMS et cela sans tenir compte des apports provenant d'autres aliments qui seraient naturellement iodés.

Pour des raisons techniques et de temps ce travail présente plusieurs limitations qui pourraient être améliorées par d'autres études en perspective à savoir :

- Le nombre d'échantillons est faible ;
- Il aurait été préférable d'ajouter une enquête fiable sur les habitudes de consommation de sel afin d'enrichir davantage notre étude.

Pour conclure nous suggérons plusieurs recommandations pour la poursuite et le renforcement des activités de lutte contre les TCI dont :

- Le contrôle de la qualité du sel alimentaire avant distribution et consommation notamment par des rapports d'analyses physico-chimique certifiés par des laboratoires agréés (annexe 6) ;
- Le suivie de près des unités de fabrication du sel alimentaire ;
- La formation des petites entreprises productrices de sel alimentaire aux bonnes techniques d'iodation ;
- Sensibiliser les commerçants sur l'importance du programme universel d'iodation du sel alimentaire et normaliser l'exigence d'un certificat de conformité par ces derniers ;
- La mise en place d'un programme pour baisser la consommation de sel qui fonctionnerait en parallèle avec le programme d'iodation des sels ;
- Favoriser le conditionnement dans des pots en verre contenant 250 g de produit.

Références bibliographiques

A

- Allen L., de Benoist B., Dary O. et Hurrell R. (2011).** Directives sur l'enrichissement des aliments en micronutriments. *Edition. Lindsay Allen* : London. p134.
- Andersson M., De Benoist B., Darnton-Hill I. et Delange F. (2007).** Iodine Deficiency in Europe: A continuing public health problem. *World Health Organization*, Geneva. p86.
- Andersson M., Karumbunathan V. et Zimmermann M.B. (2012).** Global iodine status in 2011 and trends over the past decade. *J Nutr*, 142(4), 744-50.
- Anonyme 1. (2022).** Les différents types de sel. *Leeds salt trading*. (Consulté le 18/07/2022). Lien : <http://handelmedsalt.com/Apropos.html>
- Anonyme 2. (2022).** Archéologie du sel. Dossier multimédias Inrap (Consulté le 25/05/2022). Lien : <https://www.inrap.fr/dossiers/Archeologie-du-Sel/Quest-ce-que-le-sel-/D-ou-vient-le-sel>
- Anonyme 3. (2022).** Société Chimique de France. (Consulté le 29/05/2022). Lien : <https://new.societechimiquedefrance.fr/produits /iode/>
- Anonyme. (2021).** IGN global score card of iodine nutrition in 2021. (Consulté le 21/07/2022). Lien : https://www.ign.org/cm_data/IGN_Global_Scorecard_MAP_2021_SAC_-_7_May_2021.pdf
- Anonyme. (2017).** Analyseur d'humidité Sartorius manuel d'utilisation. Göttingen Sartorius Lab instruments GmbH & Co. KG. p71.
- Anonyme. (2013).** Arrêté du 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 du 30 janvier 2013. 18 Rabie El Aouel 1434 ; p31.
- Anonyme. (2010).** Le sel. ConsoGlobe : l'encyclopédie du développement durable (Consulté le 12/04/2022) Lien : www.encyclo-ecolo.com/Sel
- Anonyme. (2005).** Décret exécutif N° 05-484 du 22 décembre 2005. Journal officiel de la république Algérienne N° 83 du 25 décembre 2005 ; Dimanche 23 Dhou El Kaada 1426. relatif à l'étiquetage et à la présentation des denrées alimentaires. pp27.
- Anonyme. (2000).** Plans et procédures d'échantillonnage pour acceptation pour le contrôle de matériaux en vrac ISO 10725:2000 (fr). pp76. Plateforme de consultation en ligne (OBP). Lien : <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:10725:ed-1:v1:fr:sec:C>

Anonyme. (1990). Décret exécutif n° 90-40 du 30 janvier 1990 rendant obligatoire la vente du sel iodé pour la prévention de la carence en iode. Journal officiel de la république algérienne. 31 Janvier 1990.

Anteneh Z.A., Engidayehu M. et Abeje G. (2017). Iodine content of dietary salt at household level and associated factors using Iodometric titration methods in Dera District, Northwest Ethiopia, *BMC Nutr*, 3:83, Ethiopia, pp7.

Ashworth D.J., Yates S.R., Luo L. et Xuan R. (2012). Phase partitioning, retention kinetics, and leaching of fumigant methyl iodide in agricultural soils. *Sci Total Environ*, 432, 122-7.

Assey V.D., Greiner T., Mzee R.K., Abuu H., Mgoba C., Kimboka S. et Peterson S. (2006). Iodine deficiency persists in the Zanzibar Islands of Tanzania. *Food Nutr Bull*, 27, 292-9.

Assey V.D., Mgoba C., Mlingi N., Sanga A., Ndossi G.D., Greiner T. et Peterson S. (2007). Remaining challenges in Tanzania's efforts to eliminate iodine deficiency. *Public Health Nutr*, 10, 1032-8.

B

Banza B.I., Lumbu J.B.S., Donnen P., Twite E.K., Kwete D.M., Kazadi C.M., Ozaza J.O., Habimana L., Kalenga P.M.K. et Robert A. (2016). La teneur en iode du sel de cuisine consommé à Lubumbashi et le statut iode des personnes vulnérables: cas de femmes enceintes de milieux défavorisés. *Pan Afr. Med. J*, pp23.

Benoist B.D et Delange F. (2002). La carence iodée : bilan et perspectives pour le futur. *Cah Etu Rech Fran/San*, (12) numéro 1: 9-17.

Biomnis. (2012). Iode. Précis de bio-pathologie analyses médicales spécialisées. Lien : <http://www.eurofins-biomnis.com>

Bounaud M.P., Duron F., Ingrand J., Izembart M., Piketty M.L et Talbot J.N. (1999). L'exploration de la thyroïde, *Bioforma Cah. Form. Bio. Med*, n°14, paris : pp156.

Bourre J.M. (2006). Effects of nutrients (in food) on the structure and function of the nervous system: update on dietary requirements for brain. Part 1: micronutrients. *J Nutr Health Aging*, 10(5), 377-385.

Bürgi H., Schaffner T.H et Seiler J.P. (2001). The Toxicology of Iodate: A Review of the Literature. *Thyroid*, 11(5): 449-56.

C

Callister W.D. (2002). Science et génie des matériaux, Aide mémoire. *Modulo* 4ème édition. 782 pages.

Campos R.O., Reboucas S.C., Beck R., Jesus L.R., Barreto I.D., Ramos Y.R., Santos W.A., Cerqueira T.L., Marques T.X., Souza V.C., Junior F.B., Oliveira C.A., Teixeira L.S. et Ramos H.E. (2016). Iodine nutritional status in schoolchildren from public schools in Brazil: A cross-sectional study exposes association with socioeconomic factors and food insecurity. *Thyroid*, 26(7) : pp8.

Carpenter L.J. (2003). Iodine in the marine boundary layer. *Chem Rev*, 103, 4953-4962.

Carvalho A.C., Machado A., Embalo A.R. et Bordalo A.A. (2017). Endemic goiter and iodine deficiency status among Guinea-Bissau school-age children. *Eur J Clin Nutr*, pp 7.

Chavasit V., Malaivongse P. et Judprasong K. (2002). Study on stability of iodine in iodated salt by use of different cooking model conditions. *J Food Comp Anal*, 15: 265–276.

Chibane A.S. et Zahaf D. (2020). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un master option chimie des matériaux, sous le titre : évaluation de la teneur en iode des sels alimentaires emballés par différentes méthodes analytiques. Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi.

Chung H.R. (2014). Iodine and thyroid function. *Ann Pediatr Endocrinol Metab*, 19 (1), 8-12. doi: 10.6065/apem.2014.19.1.8.

Codex Alimentarius (1985). CODEX STAN 150-1985, "Norme codex pour le sel de qualité alimentaire".

Croteau W., Davey J.C., Galton V.A. et Germain D.L. (1996). Cloning of the mammalian type II iodothyronine deiodinase. A selenoprotein differentially expressed and regulated in human and rat brain and other tissues. *J Clin Invest*, 98(2), 405-17.

CSF. (2014). Sels de France, Modes de production de sels (Consulté le 17/07/2022) Lien : <https://www.selsdefrance.org/un-sel-des-sels/sel-differents-modes-de-production/panorama-des-modes-de-production/>

D

Daei S., Nourooz-Zadeh S., Javandoust Gharehbagh F., Soltani F. et Nourooz-Zadeh J. (2018). Assessing the impact of oral iodine supplementation on whole body iodine store, thyroid autoimmunity and serum biochemistry profile in women of childbearing age. *J. Nutr. Intermed. Metab*, 14, 8-14.

DeMaeyer E.M., Lowenstein F.W., Thilly C.W et World Health Organization. (1979). La lutte contre le goitre endémique, 82 pages. Lien : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/40111>

Diaby V., Gnonsoro U.P., Ake A.Y., Koffi K.M., Sanogo I., Yapou A.F. et Ardjouma D. (2020). Study of the iodine content in table salt of kitchen during the period of conservation, *EAS J Biotechnol Genet*, 2 (6), 104-107.

Diosady L.L., Alberti J.O., Venkatesh Mannar M.G. et Stone T. (1997). Stability of Iodine in Iodized Salt Used for Correction of Iodine Deficiency Disorders. *Food Nutr Bull*, 18 : 388-96.

Djonga O., Mahamat M.A., Bessane C., Danama K.A. et Boy O.B. (2012). Comportements alimentaires et carence en iode. *Mali Méd*, 27(4), 1.

Drüeke T.B. et Moinier B. (2016). Le sel dans tous ses états : Vrai/faux sur un aliment trop critiqué. Collection Alimentation et Santé. *EDP Sciences*. p214.

Duval C. (1969). *L'iode*, Que sais-je ? le point des connaissances actuelles, Vendôme (France), 1ère édition (Vol. 1370). *Presses universitaires de France*. p127.

F

Fuge R. (2007). Iodine deficiency: An ancient problem in a modern word. *AMBIO* : 36(1), 70-72.

G

Gall E., Kupper F. et Kloareg B. (2004). A survey of iodine content in *Laminaria digitata*. *Bot. Mar*, 47(1), 30-37.

GFD_x. (2022). Global fortification data exchange. Consulté le : 06/09/2022. Lien : <http://www.fortificationdata.org>

Guerras I. (2019). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un master option nutrition et sciences des aliments, sous le titre : contrôle de la teneur en iode du sel alimentaire commercialisé sur le marché algérien. Université Mohamed Boudiaf, Msila.

H

Haderbache M. (2019). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un master option nutrition et science des aliments, sous le titre : qualité des sels de table mis sur le marché algérien et incidence sur la santé : cas de l'iodation et des microplastiques. Université Mohamed Boudiaf, M'sila.

Hazourli A., Gherraf N., Tahri A. et Rouabah W. (2021). Evaluation de la teneur en iode des marques de sel alimentaire commercialisées dans des communes de l'est Algérien, Société algérienne de nutrition, *Nutr. Santé*, 10, (2), 72-80.

Hershman J.M. (2020). Le manuel MSD pour le grand public, master of surgery, David Geffen School of Medicine at UCLA. Consulté le 03/06/2022. Lien : <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/troubles-de-la-thyro%C3%AFde/>

J

Jenza H. et sadeghi L. (2017). Iodine: Biochemistry, Deficiency and Application in clinical Nutrition, *Can. J. Clin. Nutr*, 5(1), 1-9.

Jooste P.L. et Strydom E. (2010). Methods for determination of iodine in urine and salt. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab*, 24, 77-88.

Jooste P.L., Weight M.J. et Lombard C.J. (2001). Iodine concentration in household salt in South Africa, *Bull. World Health Organ*, 79 (6), 534–540.

Jules H. (2004). Livre blanc du Chlore. *BelgoChlor c/o Fedichen*. Bruxelles. 249 pages.

K

Kaiho T. (2015). Characteristics, Elemental of Iodine, Iodine Chemistry and Applications, *JWS. Inc*, 7-14.

Khurana I. (2006). Text book of Medical Physiology ; *Reed Elsevier*. India. pp710–715.

Kim B.K., Jeong J.Y., Seok K.H., Lee A.S., Oak C.H., Kim G.C., Jeong C.K., Choi S.I., Afidchao P.M. et Choi Y.S. (2014). Current Iodine Nutrition Status and Awareness of Iodine Deficiency in Tuguegarao. *Int. J. Endocrinol*, pp7.

Kouame P., Bellis G., Roux F., Delafosse J.R. et Chaventre A., (1999). Choix des indicateurs et de la prophylaxie selon la gravité des troubles dus à la carence iodée (TDCI) : état de la question. *Med. Afr Noire*, 46 (1).

L

Laszlo P. (2012). Le sel pousse-il au soleil ? 120 clés pour comprendre le sel. 1ère édition *éditions Quae*. France. 128 pages.

Latham M.C. (2001). Nutrition dans les pays en développement, *Archives des documents de la FAO*, section alimentation et nutrition n°29, pp516.

Lebacq T. et Teppers E. (2016). Iode in: Bel S. et Tafforeau J. (ed.), Bruxelles, enquête de consommation alimentaire 2014-2015, Rapport 4. WIV-ISP.

Lefebvre E. et Ligarán. (2015). Le Sel : Essai Sur la Chimie. Ligarán Éditions, Cork. 316 pages, Available from: ProQuest Ebook Central. [8 September 2022].

Leung A.M. (2012). Thyroid function in pregnancy. *J Trace Elements Med Biol*, 26(0), 137–40.

Lindien G., Alais C. et Miclo L. (2004). Biochimie alimentaire. 5^{ème} édition *Dunod*. Paris. p 250.

Lindien G. et Alais C. (1997). Abrégé de biochimie alimentaire. 4ème édition. *Dunod*. France. 248 p.

Lixiang L., Peng L., Qin L., Xiaohui S., Jia H., Fangang M., Lijun F., Siyuan W., Jiwei L., Wanting C., Ling Z. et Hongmei S. (2021). Iodine nutrition status of women after 10 years of lipiodol supplementation: a cross-sectional study in Xinjiang, China. *Br. J. Nutr*, 126, 9-21.

M

Mannar M.V. et Dunn J.T. (1995). International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders & UNICEF. Iodation du sel pour l'élimination de la carence en iode, Archive n°113717, Pays-Bas, pp144.

Martin C. (2013). Obtenir du sel par la méthode ignigène : Approche expérimentale. In Olmer F., Roure R.(éd.), *Les Gaulois au fil de l'eau*. Actes du 37ème colloque international de l'AFEAF, Montpellier. France.

Ministère des mines Algérien. (2021). Les potentialités minières en Algérie. Les minéraux industriels. Dernière modification. Le 10 janvier 2021. Consulté le 16/08/2022. Lien : <https://mm.edihosts.com/87-Minraux-industriels>

N

Nys P. (2020). Je protège ma thyroïde. *Edition Leduc*. Paris. p189.

O

OMS. (2014). Détermination du bilan iodé des populations par la concentration d'iode urinaire, VMNIS, Genève : pp5.

OMS. (2002). Rapport sur la santé dans le monde : réduire les risques et promouvoir une vie saine. Organisation mondiale de la Santé. 262 pages. Lien : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42522>

Otten J.J., Hellwig J.P. et Meyers L.D. (2006). Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. Washington DC: *The National Academies Press*, p1344.

P

Pastorelli A.A., Stacchini P. et Olivieri A. (2015). Daily iodine intake and the impact of salt reduction on iodine prophylaxis in the italian population, *Eur. J. Clin. Nutr*, 69, 211-215.

Paz S., Rubio C., Gutiérrez A. et Hardisson A. (2018). Iodine : An Essential Trace Element. *Med J. Clin. Case. Stud*, 2(8), 4.

Petit P. (2021). Comment bien choisir son sel ? Consoglobe. Consulté le : 09/07/2022. Lien : <https://www.consoglobe.com/bien-choisir-sel-cg>

Plantin-Carrenard E., Beaudoux J. et Foglietti M. (2000). Physiopathology of iodine: current interest of its measurement in biological fluids. *Ann Biol Clin*, 58(4), 395-403.

R

Rih A. (2019). Thèse de doctorat option bio-toxicologie, sous le titre : contrôle de l'iodation du sel alimentaire et évaluation de l'apport iodé chez les enfants scolarisés (5-12 ans) dans la région de Sidi Bel Abbes (Ouest Algérien). Université Djilali Liabes, Sidi Bel Abbes.

S

Saunders R.W. et Saiz-Lopez A. (2009). Iodine in the Air: Origin, Transformation, and Exchange to Mammals, in *Comprehensive Handbook of Iodine: Nutritional, Biochemical, Pathological and 103 Therapeutic Aspects*, Preedy V.R., Burrow G.N., and Watson R. Editors, *Academic Press*: London. p 75-82.

Schlienger J.L., Goichot B. et Grunenberger F. (1997). Iodine and thyroid function. *Rev Médecine Interne*. 18 (9), 709-16.

Seid Ali M., Tidjani A. et Ayessou N.C. (2015). Etude de la stabilité de l'iode dans le sel iodé. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(5): 2719-2734.

Shawel D., Hagos S., Lachat C.K., Kimanya M.E. et Kolsteren P. (2010). Post-production losses in iodine concentration of salt hamper the control of iodine deficiency disorders: a case study in northern Ethiopia. *J Health Popul Nutr*, 28, 238.

Smanik P.A., Ryu K.Y., Theil K.S., Mazzaferri E.L. et Jhiang S.M. (1997). Expression, exon-intron organization, and chromosome mapping of the human sodium iodide symporter. *Endocrinol.* 138 (8), 3555-8.

Sullivan K.M., Houston R., Gorstein J. et Cervinkas J. (1995). Contrôles des programmes universels d'iodation de sel Archive .Unicef, ICCIDD, OMS, PAMM, TMI. *Archiv Cervin* n°115669 ; pp102.

T

Taga I. (2005). Troubles dus à la carence en iode au Cameroun : Etats des lieux et approches de solution : Aspects cliniques, biologiques et thérapeutiques. Thèse de Doctorat (PhD) Université de Yaoundé I, Cameroun, pp116.

Taga I., Massouke DD., Ndomou M. et Ngogang Yonkeu J. (2004). Problématique du sel iodé consommé au Cameroun. *Cah. Etu. Rech. Fran/San*; 14(3): 161-5.

Thilly C. (1992). Le goitre, Médecine et hygiène en Afrique centrale de 1885 à nos jours. Vol 2, *Fondation Roi Baudouin*, Bruxelles. p663-674.

Tran T.D., Hetzel B. et Fisher J. (2016). Access to iodized salt in low and lower-middle income countries: 2000 and 2010. *Bull. World Health Organ*, 94(2): 122-9.

V

Vagenakis A.G et Braverman L.E. (1975). Adverse effects of iodides on thyroid function. *Med Clin North Am*, 59(5), 1075-88.

Vanderpas J. (2006). Nutritional epidemiology and thyroid hormone metabolism. *Annu. Rev Nutr.* 26: 293-322.

W

Whitehead D.C. (1985). The distribution and transformations of iodine in the environment, *Environ Int*, 10, 321-339.

WHO. (2018). Iodine supplementation in pregnant and lactating women. World Health Organization. Lien : http://www.who.int/elena/titles/iodine_pregnancy/en

WHO. (2018). Scientific update on the iodine content of Portuguese foods, Regional office for Europe, Copenhagen.

WHO. (2014). Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health: Report of a Joint Technical Meeting. World Health Organization, Geneva.

WHO. (2007). Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. A guide for program managers, WHO/UNICEF/ICCIDD: Geneva. p108.

WHO. (2004). Iodine status worldwide. WHO. Global Database on Iodine Deficiency. 1-58 Geneva. Lien : <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43010/9241592001.pdf;jsessionid=61308333611C71FD7537B1C91827367E?sequence=1>

WHO. (1996). Recommended iodine levels in salt and guidelines for monitoring their adequacy and effectiveness. World Health Organization. Nutrition Unit. Lien : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63322>

Wouters J. (2015). Concentré de chimie. 2^{ème} édition. *Presses universitaires de Namur*. Belgique, pp398.

Y

Yabrir B., Saila A., Mekenez N., Hachi M., Hamidi M. et Azouzi B. (2018). Teneur en iode et qualité des sels alimentaires commercialisés dans la région de Djelfa, Société algérienne de nutrition, *Nutr. Santé*, 7(2), 54-62.

Yao J., Zhang W., Wang J., Wang K., Lv C., Zhang Z., Chen X., Chen Y., Jiang W., Niu J., Song F., Liu P. et Sun D. (2022). The Status of Iodine Nutrition after Removing Iodized Salt in High Water Iodine Regions: a Cross-sectional Study in China, *Biol. Trace Elem. Res.*, 200, 1020-1031.

Z

Zeghib N. et Benahmed Z. (2019). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un master option chimie analytique, sous le titre : évaluation de la teneur en iode des sels alimentaires dans les communes de la wilaya d'Oum El-Bouaghi. Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi.

Zimmermann M.B. et Andersson M. (2021). Global perspectives in endocrinology: coverage of iodized salt programs and iodine status in 2020, *Eur. J. Endocrinol.*, 185 (1), R13–R21.

Zimmermann M.B. (2013). Iodine deficiency and excess in children: worldwide status in 2013. *Endocr Pract.*, 19, 839-846.

Zimmermann M.B. (2012). The effects of iodine deficiency in pregnancy and infancy. *Paediatr. Perinat. Epidemiol.*, 26, 108-117.

Zou Y., Ding G., Lou X., Mo Z., Zhu W., Mao G. et al. (2015). A study on the influencing factors of urinary iodine concentration and the relationship between iodised salt concentration and urinary iodine concentration. *Br j Nutr.*, 113: 142–6.

Annexes

Annexe 1 : Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°7 du 30 janvier 2013.

18 Rabie El Aouel 1434 30 janvier 2013	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 07	31
<p>Arrête :</p> <p>Article 1er. — En application des dispositions de l'article 26 du décret exécutif n° 05-303 du 15 Rajab 1426 correspondant au 20 août 2005, susvisé, un concours national est ouvert, au niveau de l'école supérieure de la magistrature, pour le recrutement de quatre cent soixante-dix (470) élèves magistrats, au titre de l'année 2013.</p> <p>Art. 2. — La période des inscriptions au concours est fixée du 3 au 21 février 2013.</p> <p>Les épreuves d'admissibilité débiteront le 26 mars 2013.</p> <p>Art. 3. — Le présent arrêté sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire.</p> <p>Fait à Alger, le 2 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 14 janvier 2013.</p> <p style="text-align: right;">Mohammed CHARFI.</p>	<p>Cette méthode doit être également utilisée par le laboratoire lorsqu'une expertise est ordonnée.</p> <p>Art. 3. — Le présent arrêté sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire.</p> <p>Fait à Alger, le 25 Dhou El Hidja 1432 correspondant au 21 novembre 2011.</p> <p style="text-align: right;">Mustapha BENDADA.</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> MINISTERE DU COMMERCE </div>	<p>ANNEXE</p> <p>METHODE DE DETERMINATION DE LA TENEUR EN IODE DANS LE SEL ALIMENTAIRE</p>	
<p>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.</p> <p>Le ministre du commerce,</p> <p>Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;</p> <p>Vu le décret exécutif n° 90-39 du 30 janvier 1990, modifié et complété, relatif au contrôle de la qualité et à la répression des fraudes ;</p> <p>Vu 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 ;</p> <p>Vu le décret exécutif n° 02-453 du 17 Chaoual 1423 correspondant au 21 décembre 2002 fixant les attributions du ministre du commerce ;</p> <p>Vu le décret exécutif n° 05-465 du 4 Dhou EL Kaada 1426 correspondant au 6 décembre 2005 relatif à l'évaluation de la conformité ;</p>	<p>1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION</p> <p>La présente méthode détermine le dosage de la teneur en iode dans le sel alimentaire.</p>	
<p>Arrête :</p> <p>Article 1er. — En application des dispositions de l'article 19 du décret exécutif n° 90-39 du 30 janvier 1990, modifié et complété, susvisé, le présent arrêté a pour objet de rendre obligatoire la méthode de détermination de la teneur en iode dans le sel alimentaire.</p> <p>Art. 2. — Pour la détermination de la teneur en iode dans le sel alimentaire, les laboratoires du contrôle de la qualité et de la répression des fraudes et les laboratoires agréés à cet effet doivent employer la méthode décrite en annexe.</p>	<p>2. DEFINITION</p> <p>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.</p> <p>3. PRINCIPE</p> <p>a) 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) ;</p> <p>b) L'iode libéré est titré par une solution de thiosulfate de sodium standard ($Na_2S_2O_3$).</p> <p>L'amidon est utilisé comme indicateur de fin de titrage.</p> <p>4. REACTIFS</p> <p>— Réactifs purs pour analyser ;</p> <p>— 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.</p> <p>Thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, PM = 248,2)</p> <p>— solution mère : 0,1 M ou 0,1 N ;</p> <p>— solution de dosage: 0,002 M ou 0,002 N.</p> <p>Iodate de potassium (KIO_3, PM = 214)</p> <p>— solution étalon à 0,050 g/l.</p> <p>Iodure de potassium (KI) à 10% (P/V)</p> <p>Acide acétique glacial (CH_3COOH) ou acide sulfurique (H_2SO_4) 2N</p> <p>Solution d'amidon à 0,25% (P/V).</p> <p>4.1 Préparation des réactifs</p> <p>Thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$)</p>	

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.

Solution étalon de KI03 à 0,05 g/l

Solution mère de KI03 à 10 g/l : dissoudre 10 g de KI03 dans 1 litre d'eau distillée.

Solution de dosage : introduire 5 ml de solution mère dans une fiole jaugée de 1000 ml, compléter le volume à 1000 ml.

Solution de KI à 10 % : 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, boucher.

Acide acétique glacial ou bien acide sulfurique 2 N.

Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 80 ml d'eau distillée, y ajouter avec précaution 5,56 ml de H_2SO_4 ($d = 1,83$ à 96,3 %), compléter le volume avec de l'eau distillée à 100 ml.

4.2. Etalonnage de la solution de thiosulfate (0,002 M ou N/500)

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

- introduire 5 ml de la solution étalon de KI03 (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 $Na_2S_2O_3$ (0,002N) jusqu'à obtention d'une couleur jaune pâle ;
- ajouter 5 ml de la solution d'amidon, on obtient une coloration bleue ;
- continuer à titrer par le thiosulfate jusqu'à la disparition de la couleur bleue, soit $V =$ volume de $Na_2S_2O_3$ utilisé et $N =$ Normalité de la solution de $Na_2S_2O_3$.

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

5. APPAREILLAGE

Matériel courant de laboratoire.

6. ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage se fait selon les normes en vigueur.

7. MODE OPERATOIRE

- 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 m 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 (V_2) ;
- doser chaque échantillon à deux reprises.

8. EXPRESSION DES RESULTATS

Calcul de la teneur en iode

Formule générale :

$$\text{Iode (mg / kg sel)} = (V_1 - V_2) \times 4,232.$$

$$\text{Iodate de potassium en (mg/kg sel)} = (V_1 - V_2) \times 7,1387$$

$V_1 =$ Volume de $Na_2S_2O_3$ nécessaire au titrage de l'iode dans le sel.

$V_2 =$ Volume de $Na_2S_2O_3$ nécessaire pour le témoin.

$$(\text{Eq. mg}) I = 127/6 = 21,16$$

$$(\text{Eq. mg}) (KI_03) = 214/6 = 35,66.$$

Annexe 2 : Préparation des réactifs.

- **Thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)**

- **Solution mère : 0,1 M (ou 0,1 N ou M/10 = N/10).**

Dissoudre 24,82 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 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.
- **Solution mère de KIO_3 à 10 g/l :** Dissoudre 10 g de KIO_3 dans 1 litre d'eau distillée.
- **Solution de dosage (Solution étalon) de KIO_3 à 0,05 g/l :** Introduire 5 ml de solution mère dans une fiole jaugée de 1000 ml, compléter le volume à 1000 ml.
- **Solution de KI à 10 %**

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 ; boucher.

- **Acide acétique glacial ou bien acide sulfurique 2 N.**

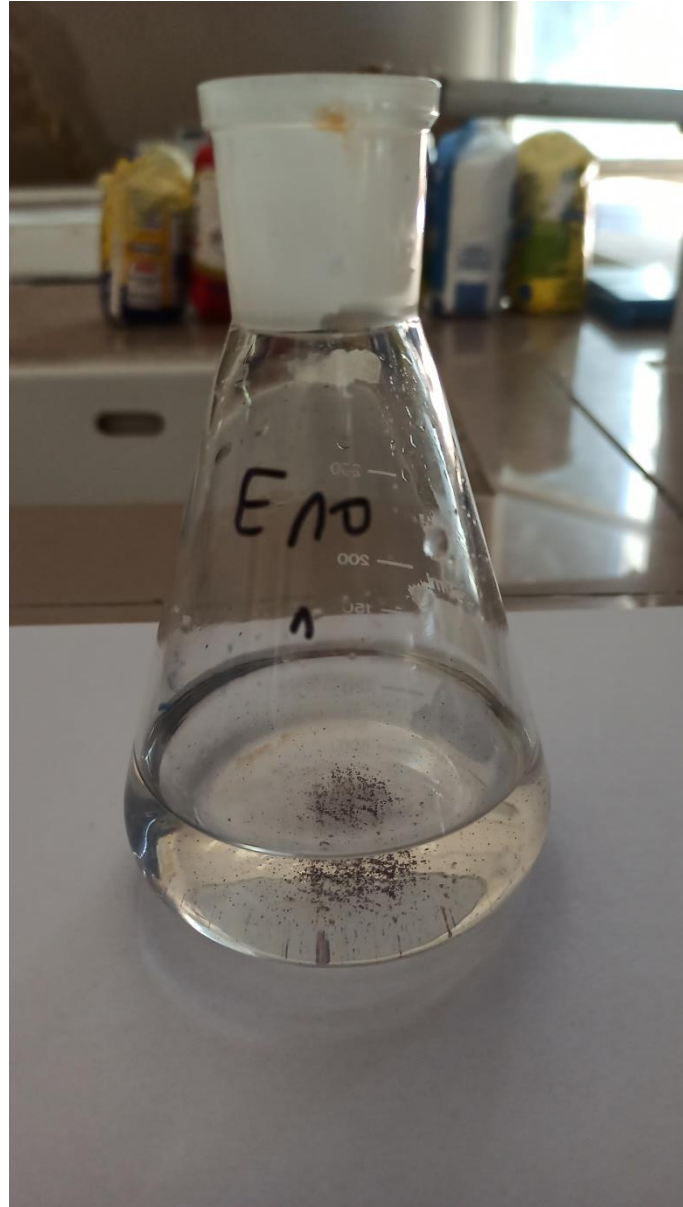
Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 80 ml d'eau distillée, y ajouter avec précaution 5,56 ml de H_2SO_4 ($d=1,83$ à 96,3 %), compléter le volume avec de l'eau distillée à 100 ml.

Annexe 3 : Étalonnage de la solution de thiosulfate (0,002 M ou N/500).

- Dans un erlenmeyer contenant environ 800 ml d'eau distillée :
 - Introduire 5 ml de la solution étalon de KIO_3 (à 0,05 g/l) ;
 - Ajouter 5 ml de la 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 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0,002 N) jusqu'à obtention d'une coloration jaune pâle ;
 - Ajouter 5 ml de solution d'amidon, on obtient une coloration bleue ;
 - Continuer à titrer par la 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 : $N = 0,007/V$.

Annexe 4 : Photo originale de matières insolubles contenues dans un échantillon de sel.



Annexe 5 : Quelques informations décrites sur l'emballage des échantillons analysés.

ECHANTILLON	Dénomination commerciale	Adresse	Date de production	Poids en (g)
E1	sel de cuisine iodé Chams chemsi	Ain Ouelman, Sétif	nov-21	1000
E2	sel alimentaire raffiné iodé Chams Rafi'e	El Outaya, Biskra	déc-21	1000
E3	sel alimentaire raffiné iodé Rafi'e plus	El Outaya, Biskra	juil-21	1000
E4	sel de cuisine iodé fin	El Outaya, Biskra	mars-22	1000
E5	sel de iodé extra fin	El Outaya, Biskra	févr-22	1000
E6	sel de table fin iodé	Douera, Alger	sept-21	230
E7	sel de cuisine iodé séché	Hamraia, El Oued	août-21	1000
E8	sel de table fin avec antiagglomérant	Inconnue	inconnue	30
E9	gros sel de table vrac	Inconnue	inconnue	100
E10	sel de table iodé - sel	El Hajeb, Biskra	sept-21	1000
E11	sel de table fin	Tizi N'tedlest, Tizi-Ouzou	juin-21	230
E12	sel de cuisine iodé	Azazga, Tizi-Ouzou	nov-21	1000
E13	sel de cuisine iodé	Oumache, Biskra	mars-22	1000
E14	sel de cuisine traité à l'iode	Ouaguenoun, Tizi-Ouzou	mai-21	1000
E15	sel de cuisine iodé	Akbou, Bejaia	mars-22	1000
E16	sel de cuisine iodé fin	Chatma, Biskra	avr-22	1000
E17	sel de cuisine iodé	El Chatt, El Oued	janv-22	1000

Annexe 6 : Rapport d'analyse physico-chimique d'un échantillon de sel alimentaire.

LABORATOIRE DE CONTROLE DE QUALITE " CAL "

Autorisé par Décision du Ministre du commerce N°252/2001 du 24/06/2001.

Ain-Naadja ALGER.

Tél : (0771) 50.60.89.

RAPPORT D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE.

N°d'inscription au laboratoire : xxxxxx

Nom du client : xxxxxx
 Adresse : xxxxxx
 Nature de l'échantillon : sel de table iodé
 Dénomination du produit : xxxxxx
 Prélevé le : 17/01/22

Date de péremption : xxxxxx

Détermination	RESULTATS	NORME	METHODES
Taux en Iode mg/kg	50,78	/	Titrimétrique
Taux en Iodate de potassium (KIO ₃) mg/kg	85,66	50,55 - 84,25	Titrimétrique
% Humidité	00,80	/	Etuvage
% matière sèche	99,20	/	Etuvage

CONCLUSION : pour les paramètres recherchés le produit est conforme.

Ain-Naadja le : 20/01/22

DIRECTRICE

S. KRAZEV
 ING. EN GENIE - BIOLOGIQUE
 Laboratoire de Contrôle de la Qualité

