BioMonitoring Humain-Wallon – BMH-Wal

Iode et Sodium dans les urines

Phase 4 : 6-12 ans

UCLouvain

Mars 2026
Prof. Laure Elens
Prof. Vincent Haufroid

ISSeP
Institut scientifique de service public

Au cours des dernières décennies, le nombre de pays présentant une déficience en iode a fortement diminué[1], et la Belgique suit cette tendance. Le Conseil supérieur de la Santé a d'ailleurs observé une amélioration notable du statut iodé de la population belge, en particulier chez les enfants. En Europe, la déficience iodée demeure généralement modérée.

Chez l'adulte, un déficit en iode se manifeste principalement par l'apparition de nodules thyroïdiens. En revanche, chez l'enfant, les conséquences peuvent être plus graves et compromettre le développement optimal des capacités intellectuelles[2]. L'iodation universelle du sel de cuisine est reconnue comme la stratégie la plus efficace et la plus rentable pour prévenir les troubles liés à une carence iodée. À ce jour, 29 des 53 États membres européens ont rendu l'utilisation de sel iodé obligatoire[3] ; ce n'est pas le cas en Belgique, où son emploi reste fortement encouragé mais non imposé. Parallèlement à l'apport véhiculé par le sel iodé, le lait de vache et les produits laitiers (yaourts, fromages) sont des sources majeures d'iode dans l'alimentation, surtout chez les enfants, couvrant souvent plus de 50 % des apports journaliers recommandés.

À la fin des années 1980 et au début des années 1990, plusieurs études menées chez des enfants belges en âge scolaire ont mis en évidence que les déficiences iodées légères constituaient un réel problème de santé publique[4]. En réponse, diverses mesures ont été instaurées dès 2009, notamment l'introduction de sel iodé dans le secteur de la boulangerie (10–15 ppm). Cependant, aucune donnée récente n'est disponible quant au degré d'utilisation de sel iodé dans ce secteur, et les consommateurs belges restent libres d'opter pour un sel avec ou sans iode.

Une étude menée en 2010–2011 auprès d'un échantillon représentatif d'enfants scolarisés a montré une amélioration nette du statut iodé, avec une concentration urinaire médiane passant de 80 µg/L dix ans auparavant à 113,1 µg/L[5].

Parallèlement aux efforts d'iodation, la problématique d'une surconsommation de sel demeure importante. Un apport excessif en sel est associé à de multiples risques pour la santé, notamment l'hypertension artérielle et, par conséquent, une augmentation du risque de maladies cardiovasculaires. À l'échelle mondiale, la consommation excessive de sel figure parmi les trois principaux déterminants alimentaires de mortalité et d'années de vie perdues ajustées sur l'incapacité (DALYs)[6]. L'OMS recommande de limiter l'apport quotidien en sodium à 2 g (soit 5 g de sel par jour) pour les adultes, une recommandation suivie également par le Conseil supérieur de la Santé en Belgique[7]. Ces recommandations sont adaptées en fonction de l'âge : elles sont inférieures à 1,75 g/jour chez les enfants âgés de 4 à 6 ans et inférieures à 3-3,5g/jour chez ceux âgés de 7 à 14 ans[7].

En Belgique, des études menées chez l'adulte indiquent une consommation moyenne élevée, estimée à 10,5 g de sel par jour sur la base d'analyses urinaires sur 24 heures[8], et à 5,9 g/jour selon une enquête nationale de consommation alimentaire[9] ; cette dernière n'incluant toutefois pas le sel ajouté pendant la cuisson ou à table. Pour répondre à ce problème, le ministère belge de la Santé a fixé en 2012 un objectif de réduction de 30 % de la consommation de sel d'ici 2025, en collaboration avec plusieurs industries agroalimentaires, afin de diminuer la teneur en sel de différentes catégories d'aliments. Plus récemment, des estimations réalisées chez l'adulte belge à partir d'échantillons urinaires ponctuels suggèrent une légère diminution de la consommation moyenne de

sel, avec des valeurs moyennes comprises entre 8,3 et 9,4 g/jour selon la méthode d'estimation utilisée[10].

L'objectif principal de cette étude BMH-WAL4 est d'évaluer rétrospectivement les concentrations urinaires d'iode et de sodium mesurées dans des échantillons d'urine ponctuels (spot urine samples) d'enfants âgés de 6 à 12 ans ayant participé à l'étude BMH-WAL-2 en 2020-2021. Les valeurs de concentration urinaires isolées obtenues dans notre étude ont ensuite été comparées aux seuils de classification établis par l'OMS :

Seuil	Interprétation
<20µg/L	Carence sévère (apport insuffisant)
20-49µg/L	Carence modérée (apport insuffisant)
50-99µg/L	Carence légère (apport insuffisant)
100-199µg/L	Statut normal (apport adéquat)
200-299µg/L	Légère surcharge possible mais risque faible (apport supérieur aux besoins)
≥ 300µg/L	Risque d'hyperthyroïdie induite par l'iode ou thyroïdite auto-immune (apport excessif)

Un objectif secondaire consistait à examiner la relation entre la consommation de sel et les concentrations urinaires d'iode dans cette population pédiatrique. À cette fin, l'analyse s'est déroulée en deux étapes. Premièrement, une corrélation simple entre les concentrations urinaires d'iode et de sodium a été réalisée. Deuxièmement, la consommation quotidienne de sel a été estimée à l'aide de différentes équations publiées, reposant sur les concentrations urinaires de créatinine et de sodium issues de ces échantillons.

Il convient néanmoins de rappeler que l'iodurie a été mesurée sur un seul échantillon urinaire ponctuel. Si la médiane de l'iodurie constitue un indicateur reconnu du statut iodé au niveau populationnel, conformément aux recommandations de l'OMS, l'importante variabilité intra-individuelle des concentrations urinaires d'iode ne permet pas d'estimer de manière fiable le statut iodé habituel d'un individu à partir d'un seul prélèvement. Dès lors, les proportions d'enfants présentant une iodurie inférieure aux seuils définis par l'OMS doivent être interprétées comme la proportion d'enfants ayant une valeur d'iodurie inférieure à ces seuils au moment du prélèvement, plutôt que comme une estimation directe de la prévalence réelle de la carence iodée individuelle.

Methodologie statistique :

Les analyses statistiques ont été réalisées sous JMP (version 18). Les variables quantitatives sont décrites par la moyenne géométrique (MG), son intervalle de confiance à 95 %, ainsi que par les percentiles P5, P25, P50, P75 et P95. Les comparaisons entre groupes indépendants ont été réalisées à l'aide du test non paramétrique de Mann-Whitney. Les associations entre variables quantitatives ont été évaluées par régression linéaire simple et exprimées par le coefficient de corrélation de Pearson (r). Les déterminants indépendants de l'iodurie ont été identifiés au moyen d'un modèle de régression linéaire multiple avec sélection pas à pas (stepwise selection). Les critères d'entrée et de maintien dans le modèle étaient respectivement fixés à $p < 0,05$ et $p < 0,10$. Les hypothèses du modèle ont été vérifiées par l'examen de la distribution des résidus, de l'homoscédasticité et de la colinéarité entre covariables (VIF).

1- IODE

La distribution des valeurs de concentrations urinaires en iode (µg/L) chez les enfants belges wallons âgés de 5 à 12 ans (échantillons collectés entre 2020 et 2021) est reprise à la figure 1.



Figure 1 : Distribution de fréquence des concentrations urinaires en iode au sein d'une population d'enfants Wallons (5-12 ans (n=288) – Biomonitoring humain (BMH) wallon 2.

Tableau 1: Distribution des concentrations urinaires en iode non ajustées (µg/L) et normalisées sur la créatinurie (µg/g créatinine urinaire) au sein d'une population d'enfants Wallons (5-12 ans (n=288) – Biomonitoring humain (BMH) wallon 2.

Population	N	MG	IC95% MG	P5	P25	P50	P75	P95	IC95% P95	P M-W
Tous										
µg/L	288	133,52	[125,77-141,75]	58,05	95,75	132,15	189,23	318,2	[269,90-433,30]	-
µg/g créat-U	288	105,15	[99,08-111,58]	46,50	71,10	106,17	156,38	246,80	[220,67-313,89]	-
Sexe										
µg/L										
Garçons	151	143,91	[132,59-156,19]	60,40	102,2	146,4	208,3	318,2	[274,8-449,5]	0,0058
Filles	137	122,94	[112,75-134,05]	50,84	89,35	117,1	162,7	271,5	[245,7-436,3]	
µg/g créat-U										
Garçons	151	114,51	[105,32-124,51]	53,58	74,00	118,36	170,16	263,66	[226,62-353,39]	0,0029
Filles	137	95,71	[88,13-103,94]	44,57	67,14	98,65	126,54	214,79	[193,93-331,04]	
Âge										
µg/L										
6-9 ans	144	141,61	[130,58-153,58]	61,95	104,78	138,00	194,40	322,05	[264,50-475,90]	0,06
9-12 ans	144	125,84	[115,30-137,45]	46,00	89,25	124,90	180,30	328,48	[258,80-436,30]	
µg/g créat-U										
6-9 ans	144	120,15	[110,61-130,52]	49,37	83,03	122,01	173,97	267,34	[233,75-353,39]	<0,0001
9-12 ans	144	91,99	[84,90-99,73]	44,35	64,99	87,16	124,94	206,08	[186,19-371,38]	

De manière globale, les concentrations urinaires que nous observons semblent indiquer que l'iodation de la population pédiatrique en Belgique wallonne semble s'améliorer comparée à la dernière étude réalisée avec une médiane en teneur en iode significativement augmentée ici par rapport à celle recensée en 2010-2011 (132,15 vs 113,10 µg/L, Test de Wilcoxon p<0,0001, Tableau 1).

Comparée aux autres pays européens, la médiane d'iodurie observée chez les enfants wallons (132 µg/L) se situe dans la zone de suffisance définie par l'OMS et reflète un statut iodé globalement adéquat. En Irlande, une enquête nationale réalisée entre 2017 et 2020 rapporte une médiane de 87,8 µg/L chez les jeunes filles, indiquant une insuffisance légère[11]. En Suisse, la dernière étude nationale (2020-2022) montre une médiane de 127 µg/L chez les enfants âgés de 6 à 12 ans[12], très proche des niveaux belges. Il est à noter que la Suisse fait partie des pays pionniers ayant encourager fortement l'iodation du sel de table il y a déjà 100 ans. En Grèce, les données issues de la cohorte Rhea (Crète, enfants de 4 ans), publiées en 2024, révèlent une médiane beaucoup plus élevée à 249 µg/L, témoignant d'un apport largement supérieur aux besoins[13]. Ces résultats sont par ailleurs appuyés par d'autres études menées dans d'autres régions du pays[14,15] avec toutefois une iodation plus marquée dans les zones côtières comparées aux régions péninsulaires[16]. En Croatie (2014-2019), l'iodurie médiane atteint 250,7 µg/L chez des enfants d'âge scolaire (6-12 ans), avec d'importantes variations régionales et une proportion élevée d'enfants dépassant 300 µg/L, suggérant des apports excessifs[17]. En Croatie, l'utilisation du sel iodé est obligatoire et rigoureusement réglementée par la loi depuis plusieurs décennies avec une loi imposant un taux de 25 mg d'iodure de potassium par kilogramme de sel[18]. En République tchèque, les données disponibles indiquent une médiane d'environ 204 µg/L[19], correspondant à un statut adéquat mais plus élevé que celui mesuré en Wallonie. En république Tchèque, l'iodation du sel n'est pas obligatoire mais la loi impose que le sel iodé soit systématiquement disponible sur le marché[20]. Au Portugal, selon une enquête menée aux Açores en 2022, la médiane est de 106,7 µg/L[21], tandis qu'une autre étude nationale menée chez des enfants en âge scolaire en 2012 rapportait une médiane relativement proche de 105,5 µg/L[22], avec près de la moitié des enfants en dessous de 100 µg/L. Dans la cohorte allemande DONALD (1985-2018), bien que les méthodes diffèrent (collecte d'urine sur 24h), une tendance récente à la détérioration du statut iodé est mise en évidence avec une médiane chutant à 58,9 µg/j en 2018[23], ce qui constitue un contraste notable avec les niveaux belges. En France, aucune donnée récente chez les enfants n'a été retrouvée dans la littérature récente ; les dernières estimations européennes disponibles (enquête ThyroMobil, années 1990) indiquaient toutefois un statut redevenu normal à l'époque[24]. En Espagne, une étude menée à Madrid (2019) auprès d'enfants âgés de 3 à 14 ans rapporte une médiane de 120 µg/L, traduisant un statut adéquat malgré un recours limité au sel iodé, largement compensé par la consommation de lait[25]. Dans les pays scandinaves, la situation apparaît contrastée. En Norvège (Ungkost3, 2015-2016), 3 à 36 % des enfants présentent un apport jugé suboptimal, avec un risque accru chez les adolescentes et les enfants plus âgés[26]. Chez les nourrissons norvégiens (2021), en revanche, la médiane de 146 µg/L est adéquate selon les critères OMS[27]. Enfin, en Italie, les données récentes issues d'une enquête nationale menée entre 2015 et 2019 indiquent chez des écoliers âgés de 11 à 13 ans une médiane d'iodurie de 124 µg/L, située dans la zone de suffisance

OMS et très comparable aux niveaux belges[28]. Cette étude montre également un taux d'utilisation du sel iodé de 78 % dans les cantines scolaires et de 71,5 % dans la population adulte, confirmant l'efficacité du programme national d'iodation volontaire mis en place depuis 2005.

En dehors de l'Europe, les données canadiennes récentes (Canadian Health Measures Survey 2016-2017) montrent que les enfants de 6 à 19 ans présentent une médiane d'iodurie ≥100 µg/L, traduisant un apport adéquat au niveau national[29]. Aux États-Unis, les recherches disponibles ne fournissent pas de valeurs actuelles spécifiques aux enfants ; les seuils utilisés restent alignés sur les recommandations OMS, mais aucune médiane récente par tranche d'âge n'a pu être identifiée dans les sources examinées.

Lorsque les concentrations urinaires d'iode sont catégorisées selon les recommandations de l'OMS, la majorité des enfants présentent un statut iodé adéquat (Tableau 2). Plus précisément, 50 % d'entre eux se situent dans l'intervalle considéré comme optimal (100–199,9 µg/L). En revanche, 25 % montrent une déficience légère (50–99,9 µg/L) et 8 enfants (≈3 %) présentent une déficience modérée (<50 µg/L).

Tableau 2 : distribution de fréquence de l'iodurie en fonction des seuils recommandés par l'OMS.

Niveau	Dénombrement	Fréquence relative
<50 µg/L	8	0,028
50-99.9 µg/L	71	0,25
100-199.9 µg/L	143	0,50
200-299.9 µg/L	48	0,17
>300µg/L	18	0,06
Total	288	1

Ces résultats indiquent que, bien que la majorité des enfants aient un apport iodé jugé adéquat selon les critères OMS, près d'un tiers (≈28 %) présentent un statut insuffisant.

1.1 Influence du sexe sur l'iodurie :

L'analyse des distributions en fonction du sexe du participant montre que les niveaux urinaires d'iodes sont significativement plus élevés chez les enfants de sexe masculin comparés aux enfants de sexe féminin (Figure 2, p=0,0058).

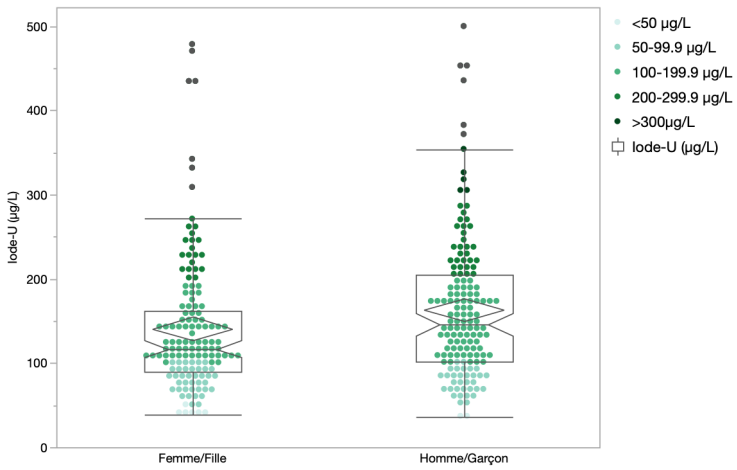


Figure 2 : Concentrations urinaires en iode (Iode-U) selon le sexe du/de la participant.e

De la même manière, la proportion d'enfants ayant une déficience iodée (<100 µg/L) est significativement plus élevée chez les filles (45/137) que chez les garçons (34/151) (p=0,0496, Figure 3a).

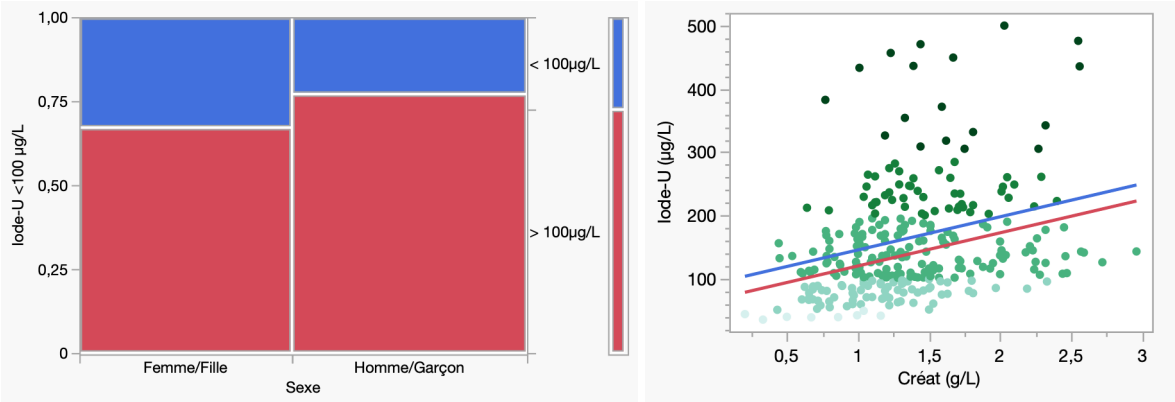


Figure 3 : (a) Distribution des proportions de participant.e.s présentant un déficit iodé (Iode-U <100µg/L) en fonction du sexe (bleu = <100µg/L, rouge = >100µg/L) **(b)** relation entre la créatinurie (g/L) et l'iodurie (µg/L) en fonction du sexe (bleu = masculin, rouge= féminin).

La concentration urinaire en iode est fortement associée à la créatinurie, ce qui confirme que la dilution urinaire constitue un déterminant majeur dans l'interprétation des biomarqueurs urinaires. Toutefois, l'analyse montre que l'effet du sexe sur les concentrations d'iode urinaire persiste indépendamment de la créatinine : à niveau de créatinurie équivalent, les garçons présentent systématiquement des concentrations d'iode plus élevées que les filles (Figure 3b). Ceci indique que la différence entre sexes ne peut être attribuée uniquement à la dilution urinaire, mais probablement à des facteurs comportementaux ou physiologiques propres à chaque groupe.

1.2 Influence de l'âge sur l'iodurie

Nos analyses montrent également des concentrations urinaires en iode légèrement plus élevées chez les enfants de moins de 9 ans comparés aux enfants plus jeunes (p=0,06, Figure 4a).

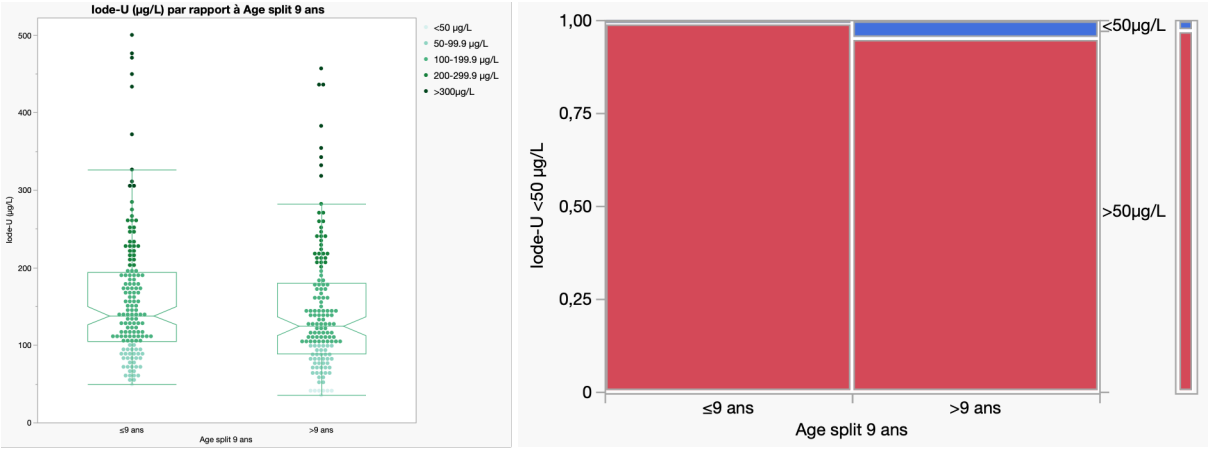


Figure 4 : (a) Concentrations urinaires en iode (Iode-U) selon la catégorie d'âge du/de la participant.e, **(b)** Distribution des proportions de participant.e.s présentant un déficit iodé (Iode-U <50µg/L) en fonction de la catégorie d'âge (bleu = <50µg/L, rouge = >50µg/L)

Lorsqu'on analyse plus spécifiquement la proportion des enfants en déficit iodé et l'âge des participants, on observe que 7 des 8 participants présentant une UIC < 50µg/L appartiennent à la catégorie d'âge > 9 ans (p=0,0227, Figure 4b).

Lorsque les données relatives à l'âge du participant sont analysées en donnée de type continu, une tendance de relation linéaire négative entre les concentrations urinaires en iode et l'âge du participant (en années) est observée. Au plus le participant est âgé, au moins l'iodurie est élevée. Cependant cette relation n'est pas statistiquement significative au seuil α=0,05 (p=0,075, r=-0,11). Cette relation linéaire apparait significative lorsque les données d'iodurie sont normalisées sur la créatinurie (r=-0,28, p<0,0001), suggérant que cet effet est indépendant de la dilution des urines.

1.3 Modèle multivarié

Lorsque nous prenons en compte dans un modèle de régression linéaire multiple, l'influence du sexe, de la créatinurie et de l'âge sur l'iodurie, il apparait que ces 3 facteurs sont indépendamment corrélés à l'iodurie et ensemble, ils expliquent approximativement 14% de la variabilité totale dans les valeurs en iode urinaire (r^2=0,14, p<0,0001, Tableau 3). La créatinurie reste le facteur le plus prédictif avec un r^2 partiel de 8,99%, suivi de l'âge (années) avec un r^2 partiel de 3,32% et enfin le sexe contribuant au reste de la variabilité expliquée par le modèle, i.e. r^2 partiel = 1,61. Les résultats de ce modèle sont repris dans le Tableau 3.

Tableau 3 : régression linéaire multiple des concentrations en iodes urinaires en fonction de l'âge (années) et du sexe du/de la participant.e et de la créatinurie (g/L)

Terme	b	SD (b)	t	Prob. > |t|	ß-type
Constante	151,745	27,40	5,54	<,0001*	0
Age (années)	-8,88	2,97	-2,99	0,0030*	-0,17
Sexe[Fille]	-10,89	4,71	-2,31	0,022*	-0,13
Créat (g/L)	59,15	9,65	6,13	<0,0001*	0,35

Il est à noter que ces analyses visent à explorer les facteurs associés aux concentrations urinaires d'iode mesurées dans les échantillons collectés et non à identifier les déterminants du statut iodé habituel individuel. En effet, en raison de l'importante variabilité intra-individuelle de l'iodurie, une mesure réalisée sur un unique échantillon urinaire ponctuel ne permet pas d'estimer de manière fiable le statut iodé d'un individu. Une telle évaluation nécessiterait la réalisation de mesures répétées chez chaque participant.

2- SODIUM

La distribution des valeurs de concentrations urinaires en Sodium (mmol/L) chez les enfants belges wallons âgés de 5 à 12 ans (échantillons collectés entre 2020 et 2021) est reprise à la Figure 5.

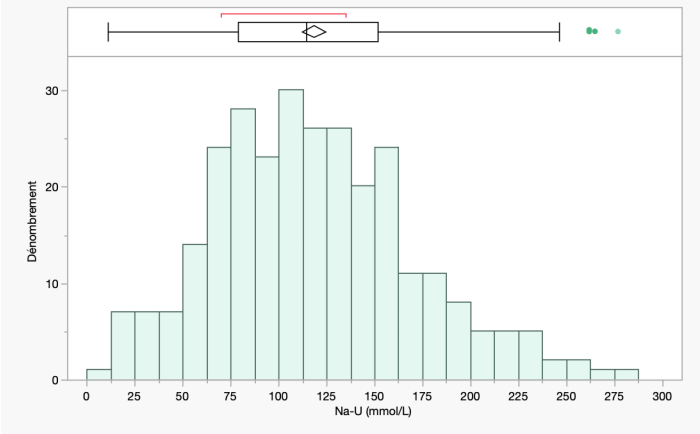


Figure 5 : Distribution de fréquence des concentrations urinaires en Sodium (Na-U [mmol/L]) au sein d'une population d'enfants Wallons (5-12 ans (n=288) – Biomonitoring humain (BMH) wallon 2.

Tableau 4: Distribution des concentrations urinaires en sodium (mmol/L) et consommation quotidienne en sel (g/jour) à l'aide d'équations de référence au sein d'une population d'enfants Wallons (5-12 ans (n=288) – Biomonitoring humain (BMH) wallon 2.

	N	MG	IC95% MG	P5	P25	P50	P75	P95	IC95% P95	P M-W
Sodium (mmol/L)										
Tous										
Mmol/L	288	105,26	[99,01-111,91]	37,00	79,00	114,50	151,75	217,00	[197,00-236,00]	-
Mmol/g créat-U	288	82,89	[77,65-88349]	28,46	59,81	83,75	120,07	207,14	[189,06-231,93]	-
Sexe										
Mmol/L										
Garçons	151	108,94	[100,14-118,51]	39,00	77,00	113,00	159,00	224,8	[203,00-262,00]	0,30
Filles	137	101,35	[92,65-110,88]	36,50	81,50	116,00	145,50	203,30	[183,00-232,00]	
Mmol/g créat-U										
Garçons	151	86,69	[79,26-94,81]	30,57	62,69	88,43	130,83	207,69	[185,25-252,93]	0,093
Filles	137	78,90	[71,69-86,84]	27,05	59,18	79,69	115,28	208,11	[180,16-261,84]	
Âge										
Mmol/L										
5-8 ans	144	110,11	[101,79-119,12]	40,5	84,75	119,00	152,75	222,25	[195,00-246,00]	0,24
9-12 ans	144	100,62	[91,58-110,57]	28,25	76,25	108,00	148,50	214,75	[188,00-262,00]	
Mmol/g créat-U										
5-8 ans	144	93,43	[85,50-102,08]	32,28	65,14	99,71	132,94	217,24	[195,91-257,28]	<0,0001
9-12 ans	144	73,55	[67,03-80,71]	28,91	56,49	73,05	103,92	185,40	[162,98-266,35]	
Consommation journalière en sel estimée (g/jour)										
Tanaka	256	4,53	[4,32-4,75]	2,06	3,66	4,84	5,95	7,74	[7,09-8,72]	-
INTERSALT	283	6,17	[5,99-6,35]	3,97	5,34	6,21	7,31	9,08	[7,18-9,76]	-

Dans notre population, on observe une natrurie médiane de 114,5mM avec un intervalle interquartile compris entre 79,0 et 151,8mM et indépendante du sexe et de l'âge du/de la participant.e (Tableau 4).

Les concentrations urinaires de sodium constituent un biomarqueur de la consommation alimentaire de sel. Toutefois, l'interprétation de la natrurie mesurée sur un échantillon urinaire ponctuel présente plusieurs limites, en particulier en raison de l'influence du volume de la diurèse. Cette dépendance est illustrée dans notre étude par la corrélation significative observée entre la natrurie et la créatinurie ($r = 0,23$; $p < 0,0001$, Figure 6), suggérant que les variations de concentration sont en partie liées à la dilution urinaire.

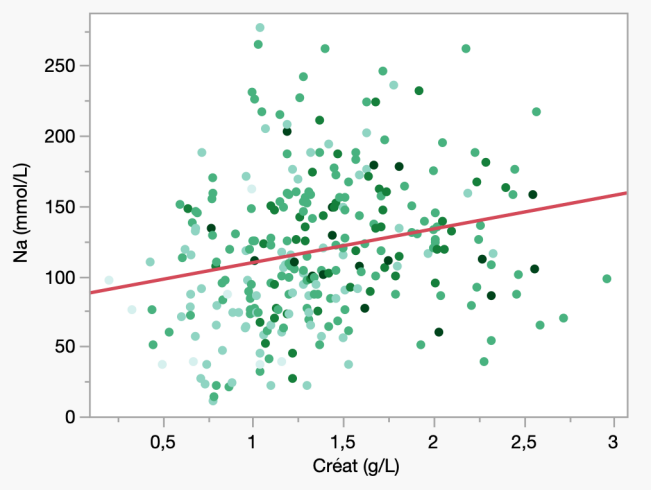


Figure 6 : relation entre la créatinurie (g/L) et la natrurie (µg/L).

Plusieurs approches ont été développées pour estimer la consommation de sel journalière au niveau populationnel. La collecte des urines de 24 heures est reconnue comme la méthode de référence pour évaluer l'apport sodé alimentaire, car elle permet de s'affranchir des variations intra journalières. Néanmoins, dans le cadre d'études de grande envergure, cette méthode est souvent difficile à mettre en œuvre en raison des contraintes logistiques et du risque de collecte incomplète. Au cours des dernières décennies, diverses équations d'estimation basées sur des échantillons urinaires ponctuels, combinés à des variables démographiques telles que l'âge, le sexe ou le poids, ont ainsi été proposées pour estimer l'excrétion sodée sur 24 heures, ce qui permet en principe d'obtenir une estimation plus fiable de l'excrétion sodée qu'une approche basée uniquement sur la normalisation des concentrations urinaires ponctuelles de sodium normalisées sur la créatinurie. Toutefois, la validité et la précision de ces méthodes restent discutées, tant chez l'adulte que chez l'enfant, ce qui impose une interprétation prudente des résultats obtenus à partir de mesures ponctuelles.

Par souci de comparabilité avec les travaux antérieurs et au regard des performances rapportées dans la littérature, nous avons choisi d'utiliser les équations de Tanaka et d'INTERSALT pour estimer l'excrétion sodée sur 24 heures à partir d'échantillons urinaires ponctuels (Tableau 5). Ce choix repose sur deux arguments principaux. Premièrement, ces équations ont été utilisées dans l'étude de Vandevijvere et al.[10] menée dans la population adulte belge, ce qui permet une comparaison directe de nos résultats avec des données nationales existantes. Deuxièmement, parmi les différentes équations développées pour estimer la natrurie de 24 heures à partir d'un spot urinaire, l'équation de Tanaka figure parmi celles ayant montré les performances les plus robustes chez les

enfants et les adolescents[30]. Une étude récente évaluant la validité de huit équations d'estimation chez des adolescents a en effet montré que l'équation de Tanaka présentait la meilleure adéquation au niveau populationnel, bien que sa précision demeure insuffisante pour une application à l'échelle individuelle[30].

Tableau 5 : Équations utilisées pour estimer l'excrétion journalière de sodium (mmol/jour) à partir d'un échantillon urinaire isolé telle que reprise dans [10]

Tanaka, 2002	
$21{,}98 \times \left\{\left[\frac{SNa}{SCr \times 10}\right] \times [(-2{,}04 \times âge) + (14{,}89 \times poids) + (16{,}14 \times taille) - 2244{,}45]\right\}^{0{,}392}$	
INTERSALT sans valeur de potassium	
Hommes/Garçons	$\{23{,}51 + [0{,}45 \times SNa] - [3{,}09 \times SCr] + [4{,}16 \times IMC] + [0{,}22 \times âge]\}$
Femmes/Filles	$\{3{,}74 + [0{,}33 \times SNa] - [2{,}44 \times SCr] + [2{,}42 \times IMC] + [2{,}34 \times âge] - [0{,}03 \times âge^2]\}$

SNa en mmol/L; SCr en mmol/L pour l'équation INTERSALT et en mg/dl pour l'équation de Tanaka ; âge en années, poids en kilogrammes, taille en centimètres et IMC en kg/m^2

SNa= Spot sodium, SCr= spot créatinine, IMC= indice de masse corporel.

De manière plus générale, les revues méthodologiques soulignent que, tant chez l'adulte que chez le jeune, les équations basées sur des urines ponctuelles peuvent fournir des estimations utiles de la consommation sodée moyenne dans une population, mais au prix d'erreurs individuelles importantes et d'une variabilité largement influencée par la diurèse et l'excrétion de créatinine. Ces éléments renforcent la nécessité d'interpréter les estimations obtenues à partir des équations de Tanaka et d'INTERSALT comme des indicateurs globaux de consommation de sel, et non comme des mesures précises de l'apport individuel.

Comme indiqué précédemment, l'OMS recommande un apport quotidien en sel ne dépassant pas 5 g/jour chez l'adulte. Ces recommandations sont adaptées en fonction de l'âge par le conseil supérieur de la santé en Belgique : elles sont inférieures à 1,75 g/jour chez les enfants âgés de 4 à 6 ans et inférieures à 3-3,5g/jour chez ceux âgés de 7 à 14 ans (Tableau 6)[7].

Tableau 5 : Apport maximaux journaliers en sodium et en sel recommandés par l'OMS en fonction de l'âge

Âge	**Seuil max Na (mg/jour)**	**Seuil max sel (NaCl) (mg/jour)**
0-12 mois (par kg)	46	115
1-3 ans	500	1250
4-6 ans	700	1750
7-10 ans	1200	3000
11-14 ans	1400	3500
15-18 ans	1600	4000
Adulte	2000	5000

Dans notre étude, l'estimation de la consommation journalière de sel à l'aide des équations de Tanaka et d'INTERSALT met en évidence une proportion importante d'apports dépassant ces seuils recommandés. Les consommations médianes estimées s'élèvent respectivement à 4,84 g/jour et 6,21 g/jour avec les équations de Tanaka et d'INTERSALT (Tableau 4), toutes deux supérieures aux valeurs recommandées pour les enfants âgés de 6 à 12 ans. En conséquence, nous observons des proportions élevées de

dépassement des seuils spécifiques à l'âge (Tableau 6 et Figure 7), atteignant 89.9% avec l'équation de Tanaka et 98.9% avec l'équation d'INTERSALT.

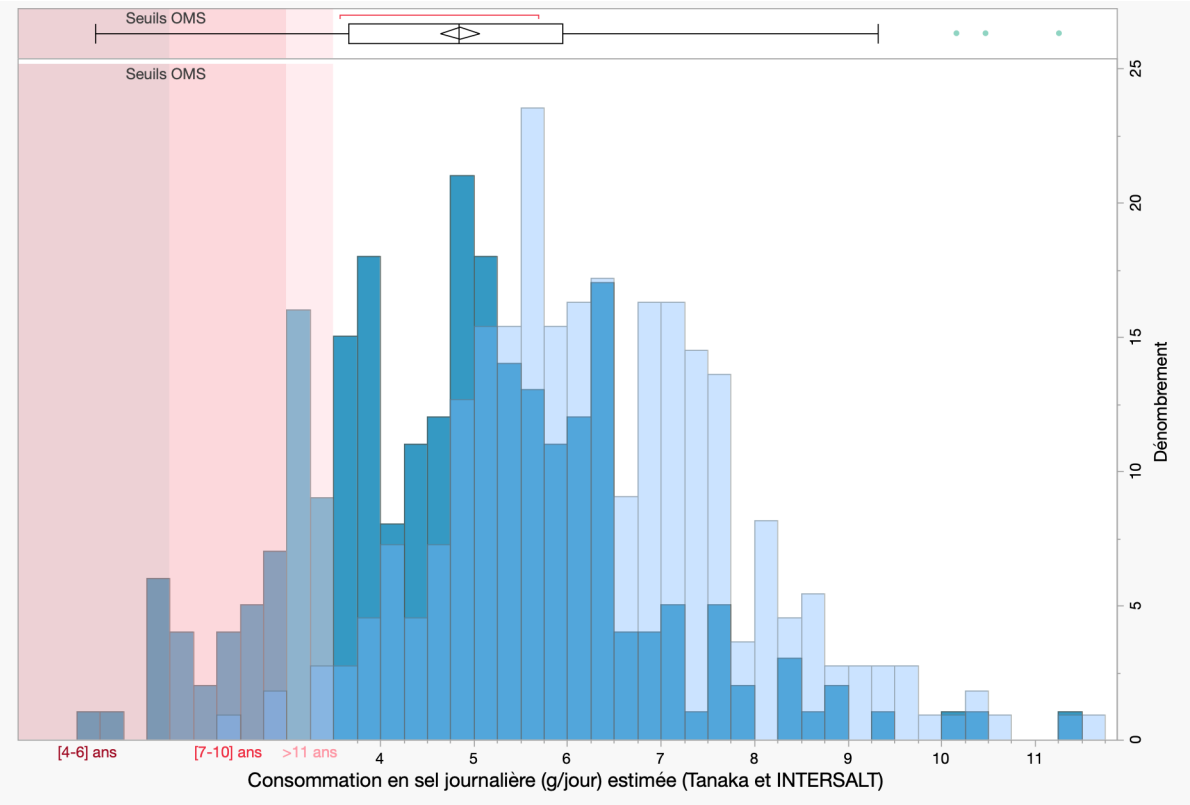


Figure 7 : Distribution de fréquence de la consommation journalière en sel (g/jour) estimée à l'aide des équation de Tanaka et INTERSALT au sein d'une population d'enfants Wallons (5-12 ans (n=288) – Biomonitoring humain (BMH) wallon 2.

De manière intéressante, l'utilisation de l'équation de Tanaka révèle une consommation journalière estimée de sel significativement plus élevée chez les enfants âgés de 9 ans et plus par rapport aux participants plus jeunes (test de Mann-Whitney, $p < 0,0001$, Figure 8). Ce résultat contraste avec ceux obtenus pour l'iodurie, pour laquelle une corrélation inverse entre l'âge et les concentrations urinaires d'iode avait été observée.

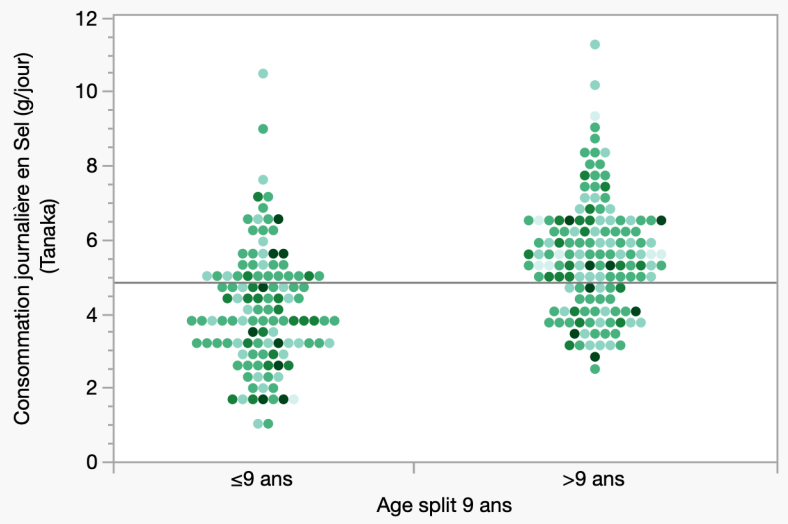


Figure 8 : consommation journalière en sel (g/jour) estimée à l'aide des équation de Tanaka selon la catégorie d'âge du/de la participant.e.

Néanmoins, ces estimations apparaissent cohérentes lorsqu'elles sont mises en perspective avec les données rapportées dans la population adulte belge. En effet, chez les adultes belges, la consommation moyenne de sel a été estimée à 8,3 ± 0,1 g/jour à l'aide de l'équation de Tanaka et à 9,4 ± 0,1 g/jour avec l'équation d'INTERSALT, tandis que moins de 5 % de la population respectait la limite maximale de 5 g/jour recommandée par l'OMS[10]. Ces observations soutiennent non seulement l'hypothèse d'une consommation excessive de sel en Belgique, mais également celle d'une augmentation progressive de l'apport sodé avec l'âge, les dépassements des recommandations étant particulièrement marqués à l'âge adulte.

3- Relation entre du Natrurie, consommation journalière estimée en sel et iodurie

Comme mentionné précédemment, au-delà des produits laitiers, le sel de cuisine iodé constitue l'une des principales sources d'iode dans l'alimentation. Il est donc plausible que la consommation de sel – et par extension la natrurie – soit liée aux concentrations urinaires d'iode.

En cohérence avec cette hypothèse, les concentrations urinaires brutes de sodium et d'iode présentent effectivement une relation linéaire significative ($r=0,15$, $p = 0,012$). Cependant, cette association disparaît dès que les concentrations sont ajustées pour la créatinine urinaire.

Ce résultat suggère que la corrélation initialement observée entre Na-U et I-U est largement déterminée par la dilution urinaire :

- lorsque l'enfant est bien hydraté, le volume urinaire augmente et les concentrations de sodium et d'iode diminuent simultanément ;
- à l'inverse, lorsque l'urine est concentrée, les deux analytes augmentent conjointement.

Ainsi, la corrélation brute entre iodurie et natrurie reflète avant tout un effet de dilution partagé, plutôt qu'un lien nutritionnel ou métabolique direct.

Une explication complémentaire réside dans le fait que la créatinurie dépend fortement de facteurs tels que l'âge, le sexe et la masse musculaire. Normaliser deux analytes par une variable aussi influencée par des caractéristiques individuelles peut introduire un biais structurel : la créatinine ne reflète pas uniquement la concentration des urines, mais aussi la morphologie du participant. Elle peut donc atténuer ou masquer artificiellement une corrélation réelle entre Na-U et I-U.

Pour dépasser les limites de la simple normalisation par la créatinine, une alternative est d'utiliser la consommation estimée en sel grâce aux équations susmentionnées qui prennent en compte ces caractéristiques. Lorsque nous comparons les apports en sel estimés par chacune des deux équations aux concentrations urinaires d'iode, seule la consommation journalière en sel estimée à l'aide de l'équation de Tanaka met en évidence une association statistiquement significative, et cette association va à l'encontre de ce qui serait attendu : une consommation de sel plus élevée s'accompagne d'une diminution de l'iodurie.

Ce résultat paradoxal suggère deux interprétations possibles :

- Les équations d'estimation de l'excrétion sodée pourraient ne pas être adaptées à une population pédiatrique.

Cette interprétation est phase avec les études ayant essayé de valider ces équations dans la population pédiatrique car même si l'équation de Tanaka offre une alternative plausible à une collecte de 24h d'urine pour estimer la consommation de sel chez les jeunes adolescents, les résultats ne supportent pas son utilisation à l'échelle individuelle. La quasi-totalité des équations décrites dans la littérature a été développée et validée chez l'adulte, où les relations entre sodium, créatinine, masse musculaire et excrétion urinaire diffèrent considérablement de celles observées chez l'enfant. Leur utilisation chez les 5–12 ans pourrait donc introduire un biais systématique conduisant à des estimations peu fiables.

La deuxième interprétation possible :

- Il pourrait effectivement n'exister aucune relation entre la consommation de sel et l'iodurie dans cette population.

Cette absence de corrélation serait cohérente avec l'idée que, chez l'enfant, la principale source d'iode reste les produits laitiers, tandis que le sel consommé n'est pas nécessairement iodé. Ainsi, une augmentation de l'apport sodé ne se traduirait pas par une augmentation parallèle de l'iodurie.

4- Conclusions

Les résultats de la phase 4 du programme de Biomonitoring Humain wallon montrent qu'entre 2020 et 2021, les enfants âgés de 6 à 12 ans présentent globalement un statut iodé jugé adéquat selon les critères de l'OMS, avec une concentration urinaire médiane située dans la zone de suffisance. Cette observation suggère une amélioration continue du statut iodé par rapport aux données belges antérieures, rejoignant les tendances observées dans plusieurs pays européens. Toutefois, une proportion non négligeable d'enfants, en particulier chez les filles et les plus âgés, présente encore des concentrations urinaires inférieures aux valeurs recommandées, indiquant la persistance de situations de carence légère au sein de certains sous-groupes. Parallèlement, l'analyse des concentrations urinaires de sodium et des estimations de consommation de sel suggère des apports sodés largement supérieurs aux recommandations nutritionnelles adaptées à l'âge, confirmant l'enjeu de santé publique que constitue la surconsommation de sel dès l'enfance. Les estimations basées sur des échantillons urinaires ponctuels doivent néanmoins être interprétées avec prudence, compte tenu des limites méthodologiques propres à ce type de mesure, en particulier en population pédiatrique. Dans leur ensemble, ces résultats soulignent l'importance de maintenir un équilibre entre les politiques de prévention des carences iodées et les stratégies de réduction des apports en sel, ainsi que la nécessité de poursuivre la surveillance régulière des apports en iode et en sodium chez l'enfant.

REFERENCES

1 Zimmermann, M. B. & Andersson, M. Update on iodine status worldwide. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* **19**, 382-387 (2012). https://doi.org:10.1097/MED.0b013e328357271a

2 Trumpff, C. *et al*. Mild iodine deficiency in pregnancy in Europe and its consequences for cognitive and psychomotor development of children: a review. *J Trace Elem Med Biol* **27**, 174-183 (2013). https://doi.org:10.1016/j.jtemb.2013.01.002

3 Lazarus, J. H. Iodine status in europe in 2014. *Eur Thyroid J* **3**, 3-6 (2014). https://doi.org:10.1159/000358873

4 Delange, F. *et al*. Silent iodine prophylaxis in Western Europe only partly corrects iodine deficiency; the case of Belgium. *Eur J Endocrinol* **143**, 189-196 (2000). https://doi.org:10.1530/eje.0.1430189

5 Vandevijvere, S. *et al*. Fortification of bread with iodized salt corrected iodine deficiency in school-aged children, but not in their mothers: a national cross-sectional survey in Belgium. *Thyroid* **22**, 1046-1053 (2012). https://doi.org:10.1089/thy.2012.0016

6 Collaborators, G. B. D. D. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet* **393**, 1958-1972 (2019). https://doi.org:10.1016/S0140-6736(19)30041-8

7 santé, C. s. d. l. Recommandations nutritionnelles pour la Belgique. (Conseil supérieur de la santé, Bruxelles: Css, 2016).

8 Vandevijvere, S. *et al*. Estimate of total salt intake in two regions of Belgium through analysis of sodium in 24-h urine samples. *Eur J Clin Nutr* **64**, 1260-1265 (2010). https://doi.org:10.1038/ejcn.2010.148

9 K, D. R. *et al*. Enquête de Consommation Alimentaire 2014-2015. Rapport 4. *La consommation alimentaire*. (2016).

10 Vandevijvere, S. *et al*. Urinary sodium and iodine concentrations among Belgian adults: results from the first national Health Examination Survey. *Eur J Clin Nutr* **75**, 689-696 (2021). https://doi.org:10.1038/s41430-020-00766-5

11 Kane, E. *et al*. Iodine intake and status of school-age girls in Ireland. *Eur J Nutr* **64**, 214 (2025). https://doi.org:10.1007/s00394-025-03731-9

12 Fischer, L., Andersson, M., Braegger, C., Herter-Aeberli, I. & Swiss Iodine Study, C. Iodine intake in the Swiss population 100 years after the introduction of iodised salt: a cross-sectional national study in children and pregnant women. *Eur J Nutr* **63**, 573-587 (2024). https://doi.org:10.1007/s00394-023-03287-6

13 Kampouri, M. *et al*. Urinary iodine concentrations in preschoolers and cognitive development at 4 and 6 years of age, the Rhea mother-child cohort on Crete, Greece. *J Trace Elem Med Biol* **85**, 127486 (2024). https://doi.org:10.1016/j.jtemb.2024.127486

14 Markou, K. B. & Koukkou, E. G. The Greek population is iodine sufficient and not at risk of iodine-induced hyperthyroidism. *J Nutr* **142**, 1611; author reply 1612 (2012). https://doi.org:10.3945/jn.112.163980

15 Zois, C. *et al*. High prevalence of autoimmune thyroiditis in schoolchildren after elimination of iodine deficiency in northwestern Greece. *Thyroid* **13**, 485-489 (2003). https://doi.org:10.1089/105072503322021151

16 Giassa, T. *et al.* Iodine intake and chronic autoimmune thyroiditis: a comparative study between coastal and mainland regions in Greece. *Hormones (Athens)* **17**, 565-571 (2018). https://doi.org:10.1007/s42000-018-0057-x

17 Filipan, D. *et al.* Recent data on iodine intake in Croatian schoolchildren: results of 2014-2019 survey. *Eur J Clin Nutr* **77**, 959-965 (2023). https://doi.org:10.1038/s41430-023-01301-y

18 Kusic, Z., Lechpammer, S., Lukinac, L., Petrovic, I. & Nothig-Hus, D. First beneficial results of the implementation of Croatian new law on salt iodination. *J Endocrinol Invest* **22**, 747-751 (1999). https://doi.org:10.1007/BF03343639

19 Nejedla, M. Iodine and health in the Czech Republic. *Cas Lek Cesk* **160**, 215-219 (2021).

20 Bilek, R. Iodine Intake and Iodine Status in the Czech Republic - Past, Present, Future. *Physiol Res* **74**, 189-209 (2025). https://doi.org:10.33549/physiolres.935493

21 Carvalho, R., Moniz, C. S., Mendes, I., Mendes, A. & Sousa, I. Iodine status, dietary iodine intake and iodized salt in school-aged children in Sao Miguel Island, Azores, Portugal. *Nutrition* **99-100**, 111681 (2022). https://doi.org:10.1016/j.nut.2022.111681

22 Limbert, E. *et al.* [Iodine intake in Portuguese school children]. *Acta Med Port* **25**, 29-36 (2012).

23 Remer, T., Hua, Y., Esche, J. & Thamm, M. The DONALD study as a longitudinal sensor of nutritional developments: iodine and salt intake over more than 30 years in German children. *Eur J Nutr* **61**, 2143-2151 (2022). https://doi.org:10.1007/s00394-022-02801-6

24 Delange, F. *et al.* Thyroid volume and urinary iodine in European schoolchildren: standardization of values for assessment of iodine deficiency. *Eur J Endocrinol* **136**, 180-187 (1997). https://doi.org:10.1530/eje.0.1360180

25 Garcia Ascaso, M. T. *et al.* Nutritional status of iodine in children: When appropriateness relies on milk consumption and not adequate coverage of iodized salt in households. *Clin Nutr ESPEN* **30**, 52-58 (2019). https://doi.org:10.1016/j.clnesp.2019.02.007

26 Medin, A. C., Carlsen, M. H. & Andersen, L. F. Iodine intake among children and adolescents in Norway: Estimates from the national dietary survey Ungkost 3 (2015-2016). *J Trace Elem Med Biol* **58**, 126427 (2020). https://doi.org:10.1016/j.jtemb.2019.126427

27 Aarsland, T. E. *et al.* Iodine Nutrition in Children </=2 years of Age in Norway. *J Nutr* **153**, 3237-3246 (2023). https://doi.org:10.1016/j.tjnut.2023.09.013

28 De Angelis, S. *et al.* Fifteen Years of Iodine Prophylaxis in Italy: Results of a Nationwide Surveillance (Period 2015-2019). *J Clin Endocrinol Metab* **109**, e495-e507 (2024). https://doi.org:10.1210/clinem/dgad593

29 canada, s. <https://www.statcan.gc.ca/en/about/pia/chmsc5> (

30 Dong, J., Yan, Y., Fan, H., Zhao, X. & Mi, J. Accuracy Validation of 8 Equations to Estimate 24-Hour Sodium by Spot Urine in Young Adolescents. *Am J Hypertens* **32**, 257-264 (2019). https://doi.org:10.1093/ajh/hpy178