



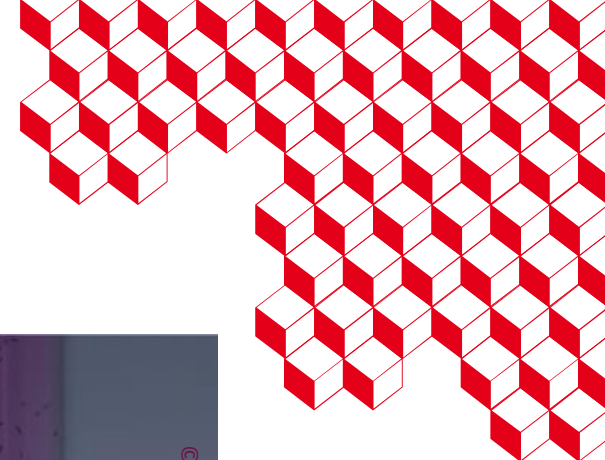
Découverte et rôle de l'iode stable chez l'Homme

Florence MENETRIER

CEA/DRF/IBFJ/Prositon

Florence.menetrier@cea.fr

SFRP – Journées iode – Paris – 26 & 27 mars 2024





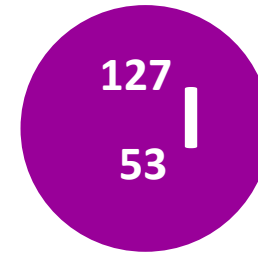
Sommaire

Rôle physiologique de l'iode stable

Conséquences d'un apport d'iode insuffisant

Découverte de l'iode

Besoins et sources alimentaires





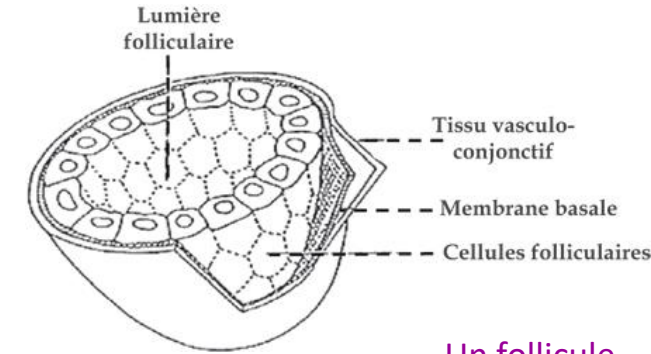
Rôle physiologique de l'iode stable

L'iode est indispensable à la synthèse des hormones thyroïdiennes. C'est pourquoi l'iode se **concentre** principalement dans la glande thyroïde après incorporation dans le corps humain.

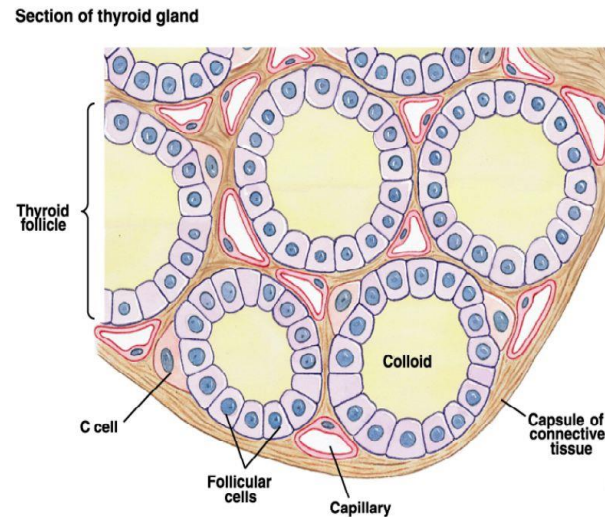
Structure et organisation de la thyroïde

- Siège de la fabrication des hormones thyroïdiennes (HT): triiodothyronine (T3) et la thyroxine ou tétraïodothyronine (T4)
- Glande endocrine: 2 lobes, forme de papillon, située à la base du cou, en avant de la trachée
- Poids moyen (adulte): **20-25 g** - 5 à 6 cm de haut - 2 cm de large-pour chaque lobe 1,5 à 2cm d'épaisseur
- L'unité morpho-fonctionnelle: **follicule** thyroïdien est constitué d'un épithélium composé de cellules folliculaires (thyrocytes), disposées autour d'un espace contenant la **colloïde**.

Découverte de l'anatomie générale de la thyroïde au XVIIIème siècle mais son rôle physiologique reste alors mystérieux



Un follicule



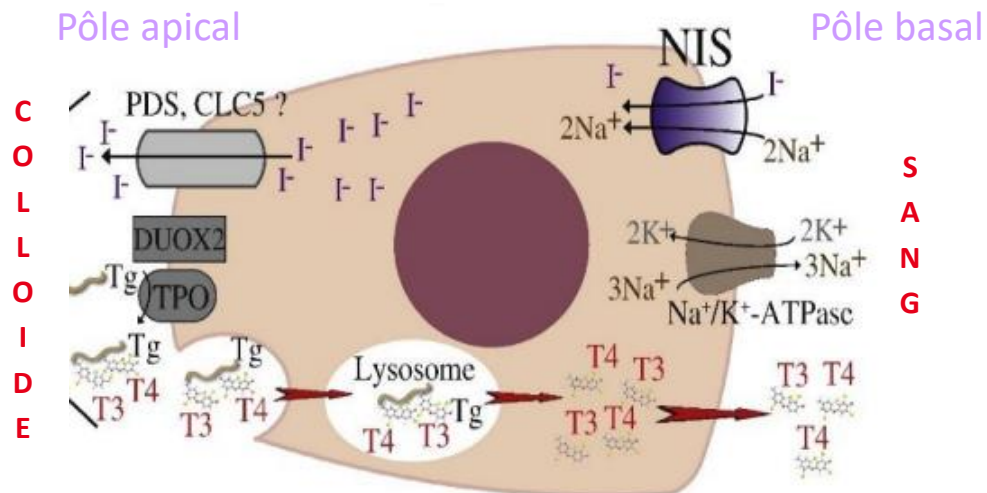
Coupe de glande thyroïde

Rôle physiologique de l'iode stable

En 1896 en Allemagne, mise en évidence de l'iode dans la thyroïde. L'hormone thyroïdienne thyroxine (T4) sera isolée quelques années avant la première guerre mondiale aux USA.

Captation d'iode et synthèse des hormones

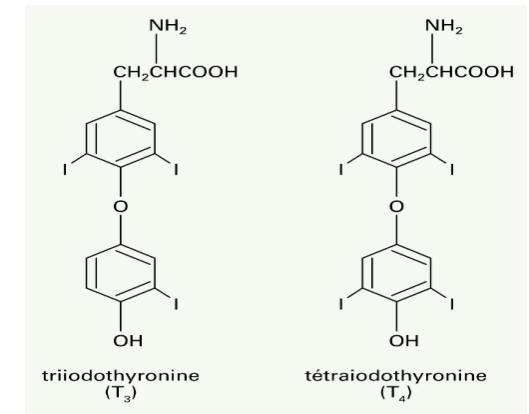
- L'iode absorbé, essentiellement capté dans la thyroïde, qui contient en moyenne 10 mg d'iode (environ 10 000 fois plus que dans le plasma).
 - Transport d'iode **depuis le pôle basal** dans le thyrocyte (grâce à un transporteur NIS)
 - Puis iode traverse **passivement** le thyrocyte, se retrouve dans la colloïde.
 - La **synthèse** des hormones thyroïdiennes s'effectue **dans la colloïde** à partir de la thyroglobuline (Tg) et de l'iode (I^-)
 - Puis traversée des HT à travers le thyrocyte puis libération dans la circulation sanguine vers leurs tissus cibles.
 - **3 et 4 atomes d'iode participent respectivement à la structure de la Triiodothyronine (T3) et de la Thyroxine (T4).**
- La T4 peut se modifier en T3 et devenir active, T4 est une hormone de réserve.



Thyocytes:

Pôle basal: captation (I^-)

Pôle apical: synthèse de T3 et T4

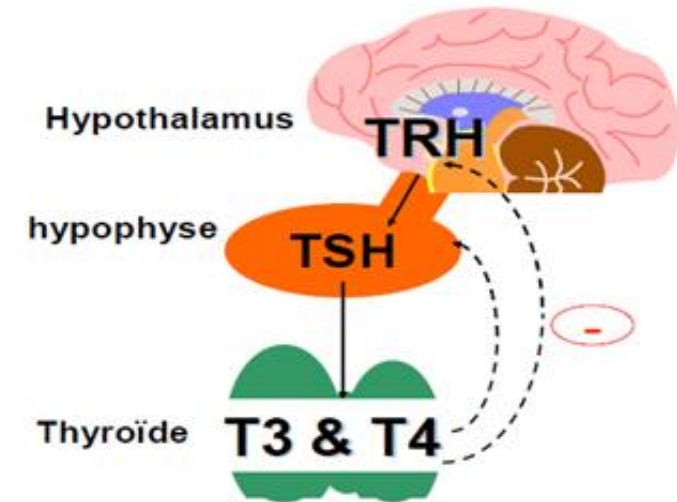


Rôle physiologique de l'iode stable

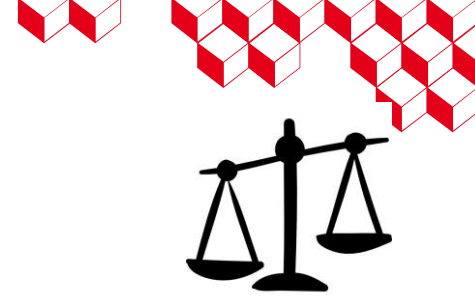


Régulation de la fonction thyroïdienne

- La quantité **d'iodure alimentaire exerce un rétrocontrôle négatif** sur la thyroïde.
 - Plus la concentration de iodure est faible, plus sa captation est importante.
 - En revanche une forte concentration en iodure plasmatique inhibe au contraire la thyroïde par effet Wolff-Chaikoff avec inhibition de la synthèse des hormones thyroïdiennes HT (transitoire)
 - *La sécrétion de T3 et T4 redevient normale, même si le taux d'iodure reste élevé (adaptation à l'effet Wolff-Chaikoff par inhibition du transport d'iodure). Cependant la surcharge iodée peut induire une thyroxicose.*
- La fabrication des HT est sous le **contrôle de l'hypophyse, via la production de TSH** (Thyroid Stimulating Hormon). La production de TSH est elle-même sous le contrôle de la TRH (Thyrotropin Releasing Hormon), produite dans l'hypothalamus
 - En cas de taux faible de T3 et T4 dans le sang, l'hypothalamus libère de la TRH qui va stimuler la sécrétion de TSH. Cette dernière stimule alors la glande thyroïde pour qu'elle augmente la sécrétion d'hormones thyroïdiennes afin de revenir à un taux normal dans le sang.
 - En revanche en cas d'augmentation de T3 et T4, une diminution du taux de TSH se met en place : on parle de **rétrocontrôle négatif**.



Rôle physiologique de l'iode stable



Effets des hormones thyroïdiennes

■ *Effets sur la croissance et le développement*

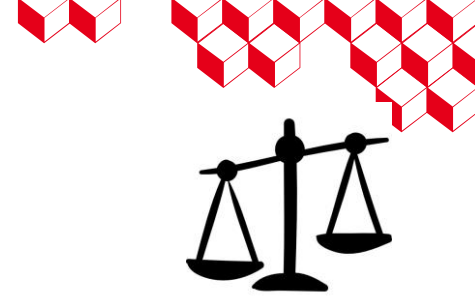
- Au cours du 1er trimestre de grossesse, hormones HT maternelles: essentielles à la croissance et maturation des tissus, notamment pour le cerveau du fœtus
- En fin de 3ème mois de grossesse, la thyroïde foetale autonome, produit de la T4, grâce à l'iode ingéré (traverse le placenta) par la future mère,
- Après la naissance, le développement staturo-pondéral (croissance du squelette...) et la maturation cérébrale dépendent des hormones thyroïdiennes.

■ *Effets métaboliques – équilibre physiologique*

- Les hormones thyroïdiennes (HT) régulation du métabolisme de base: consommation d'oxygène, thermorégulation, maintien taux de protéines-glucides-lipides dans le sang.
- HT assurent un fonctionnement musculaire normal et un rythme cardiaque normal
- Régulation au niveau de la motricité intestinale

Rôle physiologique de l'iode stable

Dérèglements de la fonction thyroïdienne et les conséquences sur la santé



Hyperthyroïdie

- Fatigue-faiblesse musculaire
- Perte de poids
- Transit intestinal accéléré –selles plus fréquentes
- Hyperthermie
- Tachycardie
- Tremblements
- Troubles de l'humeur, irritabilité
- Diminution de la densité osseuse

Hypothyroïdie

- Fatigue avec somnolence diurne
- Prise de poids
- Constipation
- Hypothermie
- Bradycardie
- Crampes musculaires
- Troubles de la mémoire - Difficultés à se concentrer
- Tendance à la dépression
- Augmentation du cholestérol dans le sang



Cependant ces troubles ne sont pas toujours tous présents, et en plus pas simultanément, dans chaque cas

Conséquences d'un apport d'iode insuffisant

Chez l'adulte

- Se manifeste par l'apparition d'un **goitre: augmentation de volume** de la glande thyroïde, d'abord homogène et diffuse. Au fil du temps, une **déformation** des structures folliculaires et apparition de **nodules parfois mal délimités**
- La thyroïde est avide d'iode, la vitesse du **cycle de l'iode** est augmentée. **Adaptation et maintien** T4 et T3 quasi normales (jusqu'à des apports de 50 microgrammes par jour). Augmentation de l'iode intra thyroïdien. La captation de l'iode provenant de la dégradation périphérique est accrue, la synthèse de T3 est augmentée.
- Jadis des cas de compression trachéale, vasculaire avec gêne au retour veineux cérébral et syncope.
- *Dès l'Antiquité, anomalies type excroissances dans le cou (goitre) décrites dans les peintures, observations données dans la littérature des grecs anciens et de la médecine chinoise (dès 2700 av JC), égyptienne et indienne.*
- *Dans les différentes civilisations, le goitre: un problème couramment rencontré mais manque de connaissances sur les causes de son apparition.*



Léonard de Vinci –
XVIème siècle –
Dessin de goitre –
Atlas anatomique

Conséquences d'un apport d'iode insuffisant

Chez la femme enceinte et l'enfant à venir

- En début de grossesse, **HT maternelles** traversent le placenta. Puis **production autonome par le fœtus. D'où un besoin en iode accru de la future mère.** Risque de **développement de goitre**, pendant la grossesse ou après la naissance.
- Les carences sévères peuvent entraîner une **diminution du poids de naissance** chez les nouveau-nés voire une augmentation de la mortalité périnatale. Une autre conséquence grave étant des anomalies de développement cérébral, d'autant plus graves que le déficit est sévère et précoce (développement cerveau chez Homme fœtus à 3 ans de l'enfant)
- Complications les plus graves avec crétinisme dans les zones d'**endémie goitreuse**:
- retard mental **irréversible**, surdité-mutité, strabisme, troubles de la posture et de la marche.
- Dans les cas les plus sévères: retard de la croissance, myxoedème, pouls lent, métabolisme de base ralenti.



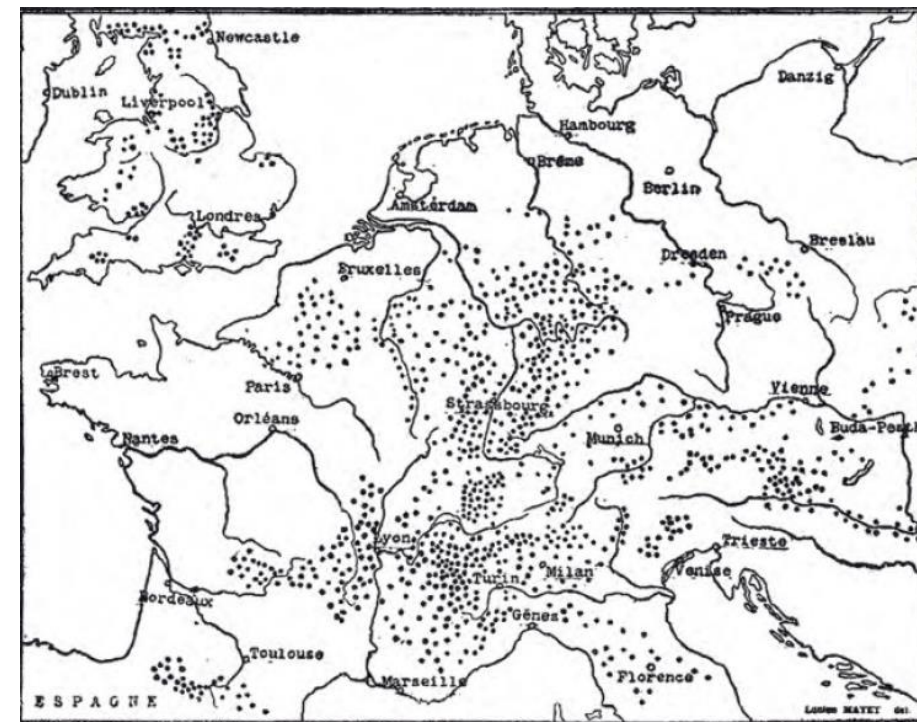
<http://123savoir.com/cretins-de-savoie/>

Conséquences d'un apport d'iode insuffisant

Chez la femme enceinte et l'enfant à venir

- Paracelse, médecin philosophe suisse (1493-1541) lorsqu'il travaillait dans les Alpes, établit une première **relation** entre le goitre endémique et les « crétins » qu'il observe sans utiliser le mot [crétinisme par hypothyroïdie congénitale]
- Dr François-Emmanuel Fodéré, savoyard: 1ère enquête épidémiologique sur la prévalence du goitre et définition des caractéristiques cliniques. Emploie le terme « crétin », dérivé du mot chrétien, pour nommer ces bienheureux inoffensifs et dépourvus d'intellect (Traité du goitre et du crétinisme de 1799),
- Causes du goitre: Paracelse: manque de minéraux dans eau de source ?
- Boussingault, chimiste français: causes du goitre, alors endémique dans la cordillère des Andes, en Bolivie ?

Hypothèse sur la qualité de l'eau, faible teneur iode en montagne/régions côtières (vers 1830): il prône l'utilisation de sel contenant de l'iode pour faire disparaître le goitre endémique !



Répartition du goitre endémique en Europe selon Bircher en 1883. D'après Mayet, 1901, chaque point représente un foyer de goitre endémique

Découverte de l'iode

- Iode: découvert par **Bernard Courtois en 1811**
- né à Dijon en 1777, fils d'un entrepreneur de la nitrière (ou salpêtrière) St médard
- Sa jeunesse, on parle de **chimie** encore et toujours...
- Son père, dont la situation est alors prospère, a décelé les dispositions de son fils pour les études de chimie, il le confie au pharmacien d'Auxerre: monsieur Frémy
- Après 3 ans dans cette pharmacie, il entre dans le laboratoire de Fourcroy à l'Ecole Polytechnique
- Un temps **pharmacien** militaire (1799), il est démobilisé et retourne à l'Ecole Polytechnique (laboratoire de Thénard puis de Seguin).
- B. Courtois a toutefois d'autres soucis. Pour faire face aux difficultés familiales (son père ruiné -faillite vers 1805), Bernard Courtois quitte l'Ecole Polytechnique et reprend une entreprise de fabrication de salpêtre à Paris.
- A l'époque des guerres napoléoniennes, jusque vers 1815, la France a des besoins importants en **salpêtre** (nitrate de potassium), qui entre dans la fabrication de la **poudre à canon**.



Découverte de l'iode... par hasard

- A la place des cendres de bois, devenues difficiles à obtenir, dans le procédé utilisé pour préparer le salpêtre, B. Courtois a l'idée d'utiliser des cendres de varech.
- En 1811, ' *En lessivant des cendres de varech, Bernard Courtois, l'habile salpêtrier, observe la fermentation dans les eaux-mères, au contact de l'acide sulfurique, d'un résidu cristallisé irrégulièrement* '. C'était l'iode (LG Toraude).
- Il découvre ainsi, fortuitement, l'iode et sa corrosivité en décapant des récipients avec de l'acide sulfurique à chaud: une vapeur violette se dégage puis cristallise en lamelles noires brillantes.
- Il comprend qu'il a découvert une nouvelle substance, il a même commencé à explorer les applications de l'iode pour la photographie. Mais il ne dépose pas de brevet trop occupé par son entreprise de salpêtre...
- Ne pouvant poursuivre ses recherches sur ce nouvel élément, transmet des échantillons à plusieurs confrères.
- Nicolas Clément présentera la découverte à l'Académie des Sciences que début décembre 1813 au nom de B. Courtois
- Cependant Humphrey Davy ayant obtenu des lamelles de cette nouvelle substance, se met à les étudier et publie largement ses résultats après lecture à l'Académie des Sciences.



Toraude LG – Bernard Courtois et la découverte de l'iode - Paris, Vigot-1921

Découverte de l'iode

- Indigné par l'empressement de H. Davy, Louis-Joseph Gay-Lussac rétablit les faits et établit la primauté de la découverte de Bernard Courtois.
- L'iode doit son nom à L.J. Gay-Lussac ayant observé la couleur violette de sa vapeur lui donne le nom grec de ἰοειδής, *iôèïdes* (reflets violets).
- Mais après la défaite de Napoléon, le salpêtre indien, accessible à un prix bas, inonde le marché français.
- La salpêtrière de Bernard Courtois finira par faire faillite.
- B. Courtois tente de produire de l'iode mais le marché n'est pas encore porteur.
- *Cependant vers 1828, un élève de N. Clément se lance dans la recherche d'un procédé de production industrielle de l'iode, il y fera fortune...*
- B. Courtois recevra le prix de l'Académie des sciences en 1831 pour sa découverte de l'iode accompagné de 6 000 francs.
- Cependant sa situation financière est désastreuse, Bernard Courtois, malade, meurt ruiné à Paris le 27 septembre 1838.

NÉCROLOGIE.

COURTOIS.

Bernard Courtois, auteur de la découverte de l'iode, est mort à Paris le 27 septembre 1838, laissant sa veuve sans fortune. Si, lors de sa découverte, Courtois eût pris un brevet d'invention, il en eût été tout autrement.

Journal de chimie médicale, de pharmacie et de toxicologie - Par les membres de la société de chimie médicale, Tome IVe, 11e série - Édition Béchet Jeune, 1838 - p. 596.

Besoins et sources alimentaires

- *Dès l'Antiquité, anomalies type excroissances dans le cou (goitre) décrites dans les peintures, observations données dans la littérature des grecs anciens et de la médecine chinoise (dès 2700 av JC), égyptienne et indienne.*
- *Dans les différentes civilisations, le goitre: un problème couramment rencontré mais manque de connaissances sur son apparition, entrave sa guérison.*
- *Cependant les cliniciens ne cessent de chercher des solutions thérapeutiques pour traiter le goitre.*
- *Bien avant que l'iode soit découvert, certains goitres soignés grâce à des algues ou des éponges marines calcifiées (médecine chinoise vers 1600 av JC) !*
- *C'est en 1819 qu'un médecin suisse Dr **Coindet** cherche à identifier le principe actif des éponges marines. Leur analyse met en évidence la présence d'iode. Après avoir administré de l'iode à plus de cent personnes porteurs de goitres, il décrit son remède dans un Mémoire (1820), en précisant les précautions d'usage.*



Besoins et sources alimentaires

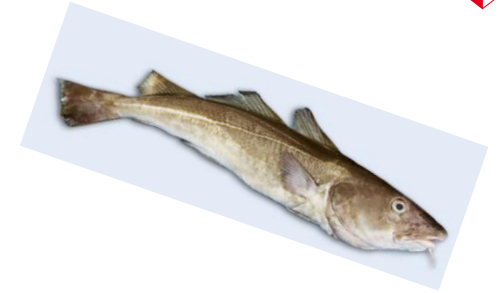
La compréhension du rôle de l'iode dans la physiologie de la thyroïde a permis de comprendre l'importance d'un apport alimentaire suffisant en iode stable.

- Iode est un élément trace **essentiel**: sa carence entraîne des troubles sur la santé et son apport physiologique prévient ou guérit ces troubles.
- Malgré l'initiative suisse du Dr Coindet et les recommandations de M. Boussingault, première campagne de prophylaxie lancée par l'OMS en 1960 pour le recours au sel iodé!
- Apports recommandés en iode stable par l'OMS variables en fonction de l'âge, grossesse, allaitement

âge/statut physiologique	apport quotidien (µg / jour)
0 à 12 mois	50
1 à 6 ans	90
7 à 12 ans	120
à partir de 12 ans	150
Grossesse	200
Allaitement	200

Besoins et sources alimentaires

- Aliments riches en iode: algues, jaune œuf, **poissons et crustacés marins, consommés crus ou grillés**. De plus le mode de cuisson et de conservation peut réduire la concentration en iode du produit consommé
- Dans les pays industrialisés, source est le **lait (et produits laitiers)** selon l'enrichissement des fourrages en iode, utilisation de produits iodés antiseptiques, emploi de médicaments vétérinaires contenant de l'iode.
- **'Iodation' du sel de table:** En 1952, dans le but de prévenir la déficience en iode, les pouvoirs publics français responsables de la santé ont opté pour l'utilisation de sel enrichi en iode.
 - Le taux d'enrichissement est réglementé à 15-20 milligrammes (mg) d'iodure de sodium par kilo de sel.
 - il concerne exclusivement le sel à usage domestique. Aucun apport d'iode n'est effectué au sel destiné aux collectivités ou à l'industrie agro-alimentaire.
 - De plus le sel iodé ne représente que la moitié du sel domestique utilisé.
- Régimes alimentaires pauvres en iode: ceux où il n'y a ni œufs, ni produits de la mer, ni lait



(Ménétrier, questions de santé, l'iode et la thyroïde, Web CEA, 2012)

Liste des aliments en fonction de la teneur en iode

aliment	Microg iode /100g aliment
Kombu breton (<i>Laminaria digitata</i>), séchée ou déshydratée	486000
Kombu ou kombu japonais (<i>Laminaria japonica</i>), séchée ou déshydratée	23600
Bigorneau, cuit	570
Langoustine, bouillie/cuite à l'eau	394
Haddock (fumé) ou églefin fumé	255
Morue, salée, sèche	230
Oeuf, jaune (jaune d'oeuf), cuit	192
Fromage de brebis des Pyrénées	124
Brie, gorgonzola	50-70
Fromage blanc	56
Chocolat noir	50
Pomme – raisin – banane – potiron – pomme de terre	< 20
lait demi-écrémé	17,9

Table de composition nutritionnelle des aliments du CIQUAL (centre Information sur la Qualité des Aliments)

[https://ciqual.anses.fr/#/constituants/10530/iodo-\(%C2%B5g-100-g\)](https://ciqual.anses.fr/#/constituants/10530/iodo-(%C2%B5g-100-g))

cea



Merci de votre attention

