

Position de l'ONAV relative à la couverture des besoins en vitamine B₁₂ chez les personnes ayant une alimentation flexitarienne, végétarienne et végane

Les alimentations flexitarienne, végétarienne et végane sont caractérisées par un recours restreint, voire nul, aux produits d'origine animale (POA), qui sont les contributeurs quasi-exclusifs de vitamine B₁₂ au sein d'un régime omnivore.

La position de l'ONAV est que, à moins d'être suffisamment enrichies, les sources alimentaires de vitamine B₁₂ d'origine non animale ne sont pas en mesure de se substituer de manière fiable aux POA.

Nous recommandons une complémentation systématique en vitamine B₁₂ aux personnes ayant une alimentation végane ou végétarienne, mais également à celles ayant une alimentation flexitarienne relativement pauvre en POA, surtout si ces derniers sont majoritairement ou exclusivement choisis parmi les plus mauvais pourvoyeurs de vitamine B₁₂ que sont les œufs, le lait de chèvre et les fromages de chèvre.

Organisation

L'Observatoire national de l'alimentation végétale (ONAV) met en œuvre une expertise scientifique et médicale transparente et indépendante. Les membres de son conseil scientifique ainsi que les collaborateur·trice·s occasionel·le·s apportent, dans leurs propres domaines de compétence, une contribution technique aux expertises.

L'ONAV a pour mission d'étudier les alimentations à dominante végétale (flexitarisme, végétarisme et véganisme), de diffuser les connaissances dans ce domaine auprès du grand public et des professionnel·le·s de santé et de protéger la santé des personnes ayant choisi ce type d'alimentation. Elle fournit ainsi des recommandations adaptées à ces dernières. Ses activités relèvent d'une mission d'intérêt général. Ses positions et revues sont disponibles sur son site internet www.onav.fr.

Contexte et objet

Malgré une popularité croissante, les alimentations à dominante végétale (flexitarienne, végétarienne et végane) demeurent souvent mal connues de la population générale et des professionnel·le·s de santé (Borel, 2018; Demange, 2017; Defer, 2017; Blanchet-Mazuel & Wissocq, 2018, Passelergue, 2018; Vincey & Charpiot, 2018). La découverte relativement récente de la vitamine B₁₂ (1948) (Rickes et al., 1948; Smith et al., 1948; Jones et al., 1948) a permis de réaffirmer l'importance nutritionnelle des produits d'origine animale (POA) dans la mesure où ces aliments constituent la source alimentaire quasi-exclusive de ce nutriment. De ce fait, en l'absence de source végétale fiable, la complémentation apparaît comme la seule solution en mesure de se substituer de manière fiable à la consommation de POA. Cependant, les informations circulant à ce sujet sont particulièrement disparates et l'idée que les alimentations flexitarienne ou végétarienne ne nécessitent pas de complémentation, voire que la seule consommation de produits végétaux ou fongiques soit suffisante pour couvrir les besoins de l'organisme (notamment si ces derniers sont ingérés crus) est encore assez répandue.

Cet article propose d'une part, d'explorer le seuil minimal de consommation de POA garantissant la couverture des besoins métaboliques et, d'autre part, de quantifier la contribution éventuelle en vitamine B₁₂ d'aliments d'origine non animale tels que la spiruline, la chlorelle ou les algues Nori.

Sommaire

Organisation	2
Contexte et objet	2
Sommaire	3
1. Analyse	4
1.1. Structure moléculaire de la vitamine B ₁₂ et de ses analogues	4
1.2. Estimation des besoins métaboliques	5
1.3. Occurrences alimentaires.....	7
2. Les produits d'origine animale : les meilleures sources alimentaires actuellement disponibles	7
3. Les champignons : des sources modestes et peu fiables	9
4. Les micro-algues : des sources sujettes à caution.....	9
5. Les macro-algues : des sources peu fiables	11
6. Les plantes à fleurs : des sources prometteuses qui nécessitent encore confirmation.	12
7. Les végétaux fermentés : des sources encore trop modestes	13
8. Conclusion et recommandations de l'ONAV	14
Références.....	19
Groupe de travail.....	24

1. Analyse

1.1. Structure moléculaire de la vitamine B₁₂ et de ses analogues

Il faut attendre 1948 pour que la vitamine B₁₂ soit pour la première fois isolée (Ricketts et al., 1948) et concentrée à partir de foies de bœuf (Smith et al., 1948), respectivement au sein des laboratoires Merck aux États-Unis et Glaxo en Angleterre. Dès sa découverte, cette vitamine est décrite comme une substance capable de soigner les cas d'anémie pernicieuse (Jones et al., 1948). Elle représente la plus complexe et la plus grosse des vitamines (masse moléculaire allant de 1 350 à 1 580 g/mol en fonction de la forme considérée) (Tsiami & Obersby, 2017). Elle est également appelée cobalamine (Cbl) en raison de sa structure chimique caractérisée par la présence d'un ion cobalt en son centre (Figures 1 et 2).

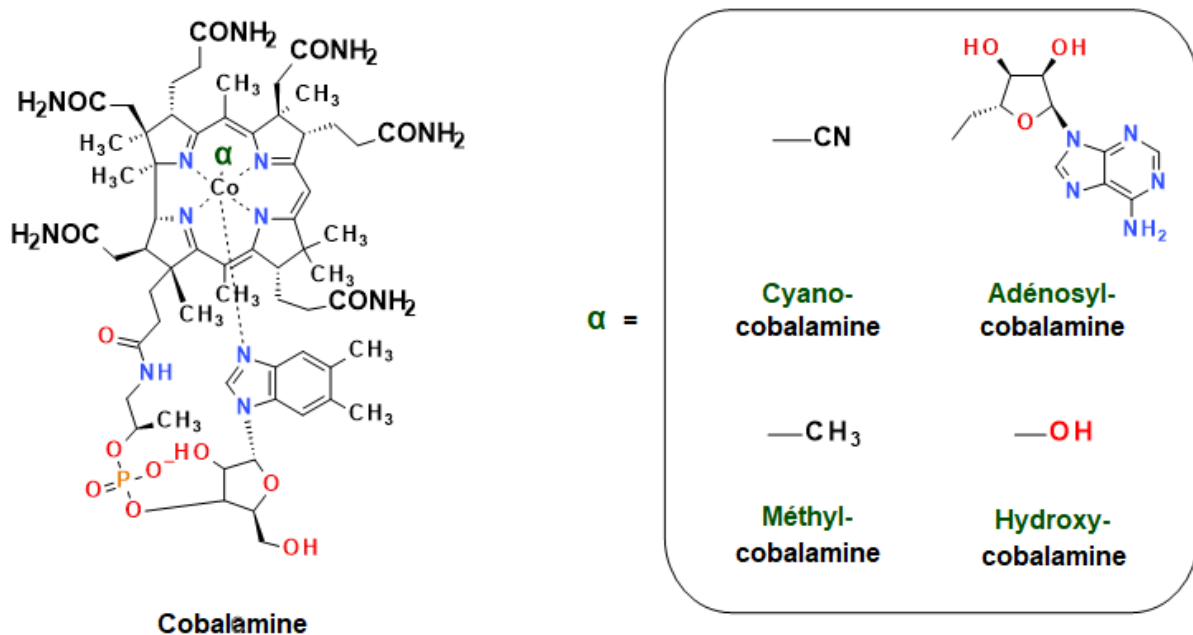


Figure 1 : Structures moléculaires des 4 formes biologiquement actives de vitamine B₁₂ (cobalamine). Elles diffèrent uniquement au niveau du radical α lié à l'ion cobalt (Co) (Smith, 2018; Tsiami & Obersby, 2017; EFSA 2008; Watanabe et al., 2014).

La complexité de cette vitamine rend sa production par voie chimique bien trop coûteuse pour être commercialement envisageable (Smith, 2018). C'est en fait la culture de souches bactériennes fortement productrices de vitamine B₁₂ qui permet d'obtenir cette vitamine en grande quantité et à un coût dérisoire : en 2020, la production mondiale annuelle est estimée à 80 tonnes pour un coût de production inférieur à 0,5 centime d'euros par milligramme de

vitamine B₁₂¹ (Hohmann et al., 2020) soit la quantité requise pour 10 jours d'une complémentation quotidienne que nous estimons à 100 µg/jour afin de garantir la couverture des besoins en vitamine B₁₂ du plus grand nombre (Position de l'ONAV relative à la complémentation en vitamine B₁₂ chez les flexitarien·ne·s, végétarien·ne·s et véganes, 2021).

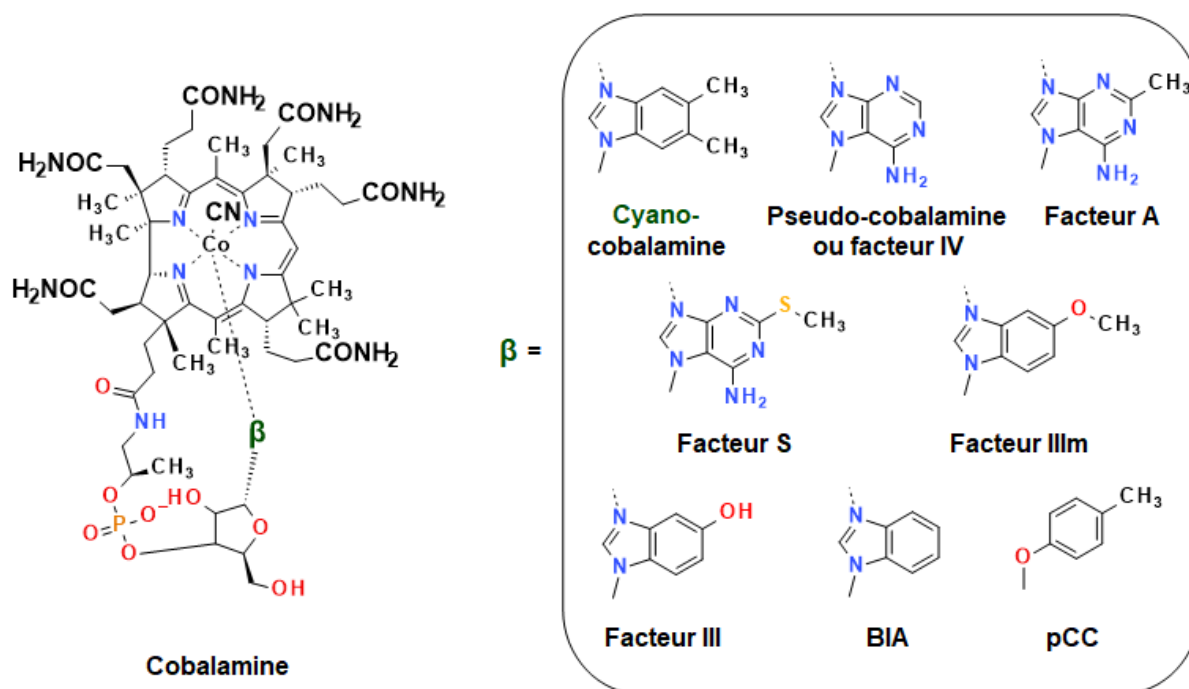


Figure 2 : Structure moléculaire de la cyanocobalamine et de sept analogues de la cobalamine. Les analogues diffèrent de la vitamine B₁₂ biologiquement active (figure 1) au niveau du radical β .

La pseudo-cobalamine est produite par des cyanobactéries alors que les 6 autres analogues (facteur A, facteur S, facteur III_m, facteur III, BIA et pCC) se retrouvent chez la chlorelle et plusieurs mollusques (ormeaux, buccins et certains mollusques bivalves de la famille des Arcidés et des Vénéridés; aucun analogue n'est identifié chez les huîtres ou les moules) (Watanabe et al., 2013; Teng et al., 2015a; Teng et al., 2015b).

1.2. Estimation des besoins métaboliques

Afin de déterminer les besoins métaboliques, une évaluation des pertes journalières semble l'approche la plus simple et directe. Les pertes en vitamine B₁₂ se font très

¹ En 2020, le prix proposé par les revendeurs est inférieur à 2 centimes d'euros par milligramme pour des quantités de 100 g.

majoritairement au niveau des fèces² (Hermann, 2017) mais l'analyse de ces données pose cependant certaines difficultés.

En effet, ces mesures fécales ne renseignent pas uniquement sur l'épuisement des réserves de l'organisme, mais intègrent également la part alimentaire non absorbée par l'organisme. De plus, la présence d'un microbiote colique brouille considérablement l'interprétation de ces mesures. En effet, le métabolisme de ces micro-organismes conduit à la fois à une production de vitamine B₁₂ et à sa consommation (Belzer et al., 2017). En outre, ce microbiote serait capable de convertir une partie de la vitamine B₁₂ en analogues, complexifiant encore plus la situation (Allen and Stabler, 2008). Ainsi, les données fécales, comprises entre 1,4 et 5,1 µg/jour (Allen and Stabler, 2008; Doets et al., 2013), ne peuvent pas être utilisées directement pour quantifier les besoins métaboliques en vitamine B₁₂. Par contre, ces derniers peuvent être estimés d'une part à partir de la teneur sérique en holotranscobalamine (vitamine B₁₂ spécifiquement liée à un transporteur sanguin appelé transcobalamine II), mais également en mesurant les niveaux d'homocystéine et d'acide méthylmalonique, deux marqueurs métaboliques dont les concentrations sont directement affectées par le statut en vitamine B₁₂ des cellules de l'organisme (Position de l'ONAV relative à la carence en vitamine B₁₂ : dépistage, symptômes et dangers, 2021). Selon cette approche, des apports journaliers compris entre 4³ et 7 µg permettraient d'atteindre, chez l'adulte en bonne santé, un optimum physiologique pour l'ensemble de ces trois marqueurs (Bor et al., 2006 et 2010; Tsiami & Obersby, 2017; Paul et al., 2017).

Cependant, il convient de rappeler que cette dernière estimation ne représente pas directement les besoins mais intègre également la notion de biodisponibilité qui est souvent évaluée à une moyenne de 40-50 % dans le cadre d'une alimentation omnivore standard (ANSES, 2016a et 2016b). En tenant compte de ce paramètre, cela conduit à estimer les besoins quotidiens dans une fourchette comprise entre 1,5 et 3,5 µg. Enfin, cette évaluation est congruente avec celles du comité d'expert de l'institut de médecine américain (Pitkin et al, 2000) qui considère que les pertes journalières moyennes s'élèvent à 0,1 % du stock corporel. Sachant que les réserves corporelles s'élèvent en moyenne à 2-3 mg, les pertes quotidiennes seraient ainsi comprises entre 2 et 3 µg. Un apport de 3 µg/jour apparaît donc suffisant pour maintenir ce stock de l'organisme. Comme certain·e·s auteur·e·s considèrent qu'un stock compris entre 1 et 2 mg est effectivement suffisant, des besoins plus modérés de l'ordre de 1,5 µg/jour peuvent également se justifier selon cette approche (Pitkin et al, 2000). Il nous paraît raisonnable de situer les besoins métaboliques en vitamine B₁₂ dans une fourchette comprise entre 1,5 et 3 µg/jour.

² Les reins, en tant qu'organe de stockage de la Cbl, peuvent en excréter dans l'urine primitive en cas d'apports insuffisants. La Cbl est ensuite réabsorbée au niveau des tubules proximaux via un récepteur spécifique appelé « mégaline » (Moestrup et al. 1996; Hermann & Obeid, 2012).

³ L'Anses a revu à la hausse sa recommandation pour la vitamine B₁₂ (apport satisfaisant) en s'alignant avec celle de l'EFSA pour cette vitamine (EFSA, 2015; ANSES, 2016a et 2016b). Ainsi, l'apport conseillé passe de 2,4 µg/jour à 4 µg/jour, correspondant à la limite inférieure que nous retenons ici (4-7 µg/jour).

1.3. Occurrences alimentaires

La vitamine B₁₂ est synthétisée uniquement par certaines bactéries et archées⁴ (*Propionibacterium freudenreichii*, *Lactobacillus lechmanii*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Frankia alni*, etc.) (Watanabe & Bito, 2018 et 2018b; Chamlagain et al., 2017, Nakos et al., 2017, Keuth et al., 1994).

Ni les animaux, les végétaux ou les champignons ne semblent posséder la machinerie enzymatique en mesure de réaliser cette opération (Watanabe & Bito, 2018; Anses, 2016b ; Herrmann et al., 2017). Pourtant, cette vitamine se retrouve au sein de ces êtres vivants, notamment en quantités importantes dans les chairs, viscères et productions animales (Tableau 1). Cet apparent paradoxe s'explique par l'existence d'interactions (symbiose et commensalisme) entre ces organismes et les bactéries synthétisant cette vitamine pour leur métabolisme propre (Smith, 2018). Les quantités de vitamine B₁₂ sont très variables en fonction de l'aliment considéré, et la biodisponibilité de cette vitamine n'est pas toujours bien établie.

2. Les produits d'origine animale : les meilleures sources alimentaires actuellement disponibles

Les plus grandes quantités de vitamine B₁₂ sont rencontrées dans les produits d'origine animale (POA). Cela s'explique différemment en fonction de l'espèce animale concernée.

Les ruminants (vaches, moutons, chèvres, chevreuils, etc.) sont capables de produire leur propre vitamine B₁₂ via les bactéries symbiotiques qu'ils hébergent au sein de leur système digestif comportant plusieurs chambres stomacales si leur apport alimentaire en cobalt est suffisant (Strangl et al., 2000; Watanabe et al., 2018b).

Les autres animaux terrestres, non ruminants (cochons, volailles, etc.), disposent d'un estomac simple réduit à une seule poche et sont donc qualifiés de monogastriques. C'est leur consommation de POA qui garantit normalement la couverture de leurs besoins en vitamine B₁₂, même si ces animaux sont très couramment complémentés en condition d'élevage (Keshavarz, 2003; Jackson et al., 1955).

Pour les herbivores monogastriques (lapins, chevaux, etc.), c'est l'hypertrophie d'une partie de leur intestin - appelée cæcum - formant une poche en cul-de-sac de grande capacité, qui

⁴ Les Archées sont des organismes unicellulaires singuliers qui sont souvent rencontrés dans des environnements extrêmes, qu'ils soient aquatiques ou terrestres, en milieu hypersalé, à grande profondeur ou à haute température. Elles constituent un des trois grands clades au sein du vivant à côté des Bactéries et des Eucaryotes (groupe réunissant, entre autres, les animaux, les végétaux et les champignons).

peut expliquer leur adaptation à une alimentation dépourvue de vitamine B₁₂. En effet, les nombreuses bactéries contenues dans cet espace intestinal sont capables de synthétiser des quantités significatives de vitamine B₁₂. Pour certaines espèces, comme les chevaux, ce nutriment est absorbé directement au niveau du lieu de synthèse (le cæcum) ou en aval (le côlon) (Hillyer et al., 2017; Roberts, 1983), alors que pour d'autres, comme les lapins, cette opération ne semble pas possible. Dans ce dernier cas, l'activité du cæcum génère la production de cæcotrophes, distinctes des fèces ordinaires. Ces cæcotrophes sont régulièrement expulsés par l'anus avant d'être ingérés par le lapin qui récupère ainsi la vitamine B₁₂ synthétisée par son propre microbiote cæcal (Hirakawa, 2001; Meredith et al., 2017).

Concernant les poissons, la situation diffère d'une espèce à l'autre. Pour certaines, telles la carpe et le tilapia, la synthèse bactérienne intestinale apparaît suffisante pour couvrir leurs besoins en vitamine B₁₂ (Lovell et al., 1982; Sugita et al., 1991) alors que pour d'autres comme le poisson-chat ou l'anguille, un apport alimentaire semble nécessaire (Linsuwan et al., 1981; Sugita et al., 1991).

Ainsi, la consommation de POA permet généralement de couvrir les besoins en vitamine B₁₂, comme le montre la dernière enquête alimentaire française INCA3 (ANSES, 2017). En France, 96 % (5,2 µg) des apports en vitamine B₁₂ sont d'origine animale⁵ et les 4 % (0,2 µg) restants proviennent d'aliments supplémentés, notamment les céréales du petit déjeuner. Aucune autre source, qu'elle soit végétale, fongique ou bactérienne, n'est répertoriée dans ce rapport de l'Anses.

Il est cependant intéressant de noter que certains aliments d'origine animale constituent de moins bons pourvoyeurs en vitamine B₁₂ que ne le laisserait supposer leur teneur quelquefois très importante en ce nutriment. Ainsi, comme indiqué dans le [tableau 1](#), la vitamine B₁₂ des œufs de poules, du foie, des rognons et de la chair de certains poissons (hareng, anchois, maquereau, sardine) est moins bien absorbée que celle d'autres sources animales (Levine & Doscherholmen, 1983; Squires & Naber, 1992; Gille et al., 2015). Concernant les œufs, leur faible biodisponibilité s'expliquerait par la présence d'inhibiteurs de l'absorption à la fois dans le blanc et le jaune d'œufs (Levine & Doscherholmen, 1983; Doscherholmen et al., 1976). Quant aux foie, rognons et chair de certains poissons, c'est la quantité habituellement consommée au cours d'un repas qui peut ici être mise en cause. En effet, si une portion courante de foie, de rognons ou de poisson (100 g) contient des quantités élevées de vitamine B₁₂ (10-100 µg), seule une petite fraction de cet apport (1,5-3 µg) peut

⁵ Les apports en vitamine B₁₂ provenant des produits animaux se répartissent de la façon suivante: 16 % pour les produits laitiers, 16 % pour les viandes (hors volaille), 14 % pour les poissons, 8,5 % pour les crustacés et mollusques, 8 % pour les abats, 5,5 % pour les charcuteries, 4 % pour les plats préparés à base de viande ou de poisson, 3,5 % pour la viande de volaille, 2,5 % pour les œufs et plats à base d'œufs, les 18 % restants étant apportés par l'ensemble des autres plats préparés (sandwichs, tartes, pizzas, crèmes glacées, etc.), des bouillons/sauces et des pâtisseries.

effectivement être absorbée ([Revue de l'ONAV relative aux mécanismes d'absorption de la vitamine B₁₂ et à son métabolisme](#)) par l'organisme au cours d'une même prise alimentaire.

Examinons à présent la contribution éventuelle d'aliments ne provenant pas des animaux aux apports en vitamine B₁₂. Comme nous allons le voir, cette question est délicate à traiter et demeure sujette à caution, essentiellement faute d'études suffisantes.

3. Les champignons : des sources modestes et peu fiables

La présence de vitamine B₁₂ a été mesurée au sein de plusieurs champignons ([tableau 1](#)). Des études réalisées sur des champignons de culture, dont notamment les shitakés, ont montré l'existence d'une synthèse de vitamine B₁₂ au niveau de leur substrat de croissance ([Watanabe et al., 2018b](#)). Comme ces organismes eucaryotes se révèlent incapables de réaliser la synthèse de novo de vitamine B₁₂ ([Bito et al., 2014](#)), la présence de cette vitamine peut s'expliquer au moins de deux façons :

- Des bactéries productrices de vitamine B₁₂ provenant du milieu environnant colonisent la surface des champignons ;
- Certains champignons auraient la capacité d'absorber la vitamine B₁₂ synthétisée par les bactéries vivant dans le milieu de culture

Cependant, les quantités de vitamine B₁₂ présentes dans les champignons sont souvent trop faibles (levure de bière, shitaké, etc.) ou variables ([Watanabe et al., 2012](#); [Bito et al., 2014](#)). Par ailleurs, dans le cas particulier des truffes, le prix permettant d'atteindre une quantité suffisante de vitamine B₁₂ est bien trop élevé pour envisager une consommation régulière suffisante ([Teng et al., 2015c](#)). De plus, aucune donnée sur la biodisponibilité en vitamine B₁₂ n'a été publiée à ce jour pour ces organismes. Les champignons ne sont donc pas indiqués pour subvenir aux besoins en vitamine B₁₂ même s'ils peuvent y contribuer modestement.

4. Les micro-algues : des sources sujettes à caution

4.1 Spiruline

La spiruline est une algue bactérienne (cyanobactérie) connue pour sa richesse en vitamine B₁₂ mais contenant seulement une petite partie sous forme active (moins de 40 µg de vitamine B₁₂ active/100 g de masse sèche) et la grande majorité (≈80 %) sous forme de pseudo-cobalamine inactive biologiquement ([Watanabe et al., 2007 et 2013](#); [Kumudha et al.,](#)

2010; Herbert et Drivas, 1982). Cette distinction n'est pas toujours bien précisée par les producteurs de spiruline, pouvant tromper le consommateur sur la teneur réelle en vitamine B₁₂ active dans le produit⁶.

Certaines études chez l'humain·e tendent à montrer l'inefficacité d'une consommation de spiruline pour combler les effets d'une carence en vitamine B₁₂ (Dagnelie et al, 1991). D'autres études réalisées chez le rat suggèrent que la présence d'un analogue inactif ne perturbe pas la biodisponibilité de la fraction biologiquement active (Van den Berg et al., 1991; Watanabe et al., 1999a). En attendant que ce dernier point soit tranché chez l'humain·e et, compte tenu des faibles quantités de vitamine B₁₂ active potentiellement présentes dans la spiruline (< 1 µg dans la portion qu'il est généralement conseillé de consommer, soit environ 2-3 g), elle ne constitue pas une source intéressante de vitamine B₁₂. De la même manière, les autres algues appartenant au groupe des cyanobactéries contiennent également toutes de grandes proportions de pseudo-cobalamine et leur consommation est déconseillée pour couvrir ses besoins en vitamine B₁₂ (Watanabe et al., 2013).

4.2 Chlorelle

La chlorelle est une micro-algue végétale pouvant contenir de grandes quantités de vitamine B₁₂ active (Watanabe et al., 2002 et 2018b). Il semble que cette vitamine soit absorbée par l'algue depuis son milieu de culture où des bactéries responsables de la synthèse de vitamine B₁₂ peuvent se développer (Bito et al., 2016). Cependant, comme cette teneur est extrêmement variable en fonction de l'espèce et des conditions de culture, cela nécessite une quantification systématique précise de la concentration en vitamine B₁₂ de la part du fabricant. De plus, il conviendra de mesurer la présence de plusieurs analogues inactifs pouvant être également produits par les bactéries présentent dans le milieu (Bito et al., 2016). Le recours à une technique suffisamment fine permettant de discriminer la vitamine B₁₂ de ses analogues (LC/ESI-MS:MS) est requise mais une telle approche n'est encore que très rarement employée dans le cadre des analyses alimentaires (Watanabe et Bito, 2018). Compte tenu de la consommation généralement conseillée (environ 2-3 g/jour), seules les cultures les plus concentrées en vitamine B₁₂ apparaissent potentiellement capables d'apporter une quantité significative (15 µg/portion de 3 g soit environ 1,5 µg effectivement absorbés lorsque les 3 g sont consommés en une prise). En l'absence des garanties nécessaires attendues de la part du fabricant (quantité précise de vitamine B₁₂ active) et de données fiables portant sur la biodisponibilité chez l'humain·e, nous déconseillons de

⁶ Avant la mise en évidence de sa très faible affinité (500 fois plus faible en comparaison avec la forme active de la vitamine B₁₂) pour le facteur intrinsèque (Stupperich & Nexo, 1991) permettant de révéler sa nature d'analogue, la pseudo-cobalamine de la spiruline était conseillée sans réserve pour subvenir aux besoins des végétarien·ne·s (Dong & Scott, 1982).

s'appuyer sur la consommation de chlorelle pour subvenir aux besoins journaliers en vitamine B₁₂.

5. Les macro-algues : des sources peu fiables

La présence de vitamine B₁₂ a été recherchée sur un nombre important de macro-algues comestibles comme le wakamé, la laitue de mer et différentes espèces de laminaires (kombu, etc.) (Watanabe et al, 2002, 2007, 2014 et 2018b). Des quantités significatives ont été détectées uniquement chez les algues connues sous le terme générique de « Nori », regroupant les espèces des genres *Enteromorpha* et *Porphyra* (tableau 1.). La vitamine B₁₂ quantifiée est en très grande majorité, voire en totalité, composée de formes actives et n'est donc pas faussée par la présence d'analogues inactifs (Miyamoto et al., 2009). Cette vitamine B₁₂ active n'est pas synthétisée par ces algues mais provient exclusivement des bactéries vivant à leurs surfaces dans une relation certainement symbiotique (Croft et al., 2005). Une publication récente portant sur les algues du genre *Porphyra* permet d'expliquer en quoi la forte concentration de cette vitamine en leur sein ne serait pas juste attribuable à une contamination fortuite non reproductible mais traduirait l'existence d'une relation stable et durable établie entre les deux organismes (Brawley et al. 2017). L'identification d'enzymes activées par cette vitamine chez les espèces du genre *Porphyra* montre que le métabolisme de ces algues tire avantage de la présence de vitamine et pourrait même en dépendre, d'où l'intérêt d'un stockage important au sein même des tissus de ces algues (Croft et al., 2005 et 2006; Smith et al, 2007). La découverte, chez ces macro-algues, d'une dépendance métabolique à la vitamine B₁₂ et de son stockage subséquent n'est pas sans rappeler ce que nous observons au sein des organismes animaux stockant cette vitamine dans leurs tissus. Ainsi, la démarche consistant à se fournir en vitamine B₁₂ (d'origine bactérienne) par l'intermédiaire de la consommation d'animaux apparaît théoriquement substituable par la consommation de macro-algues de type Nori. Cependant, les mesures de biodisponibilités ne permettent pas de conseiller la consommation de ces macro-algues pour subvenir de manière fiable aux besoins en vitamine B₁₂. En effet, les données à ce sujet sont contradictoires et trop peu nombreuses. Si certaines études pointent le procédé de séchage à l'air libre car il serait responsable de la transformation de la vitamine B₁₂ en analogues inactifs susceptibles de perturber l'action de la vitamine B₁₂ active et donc préjudiciable pour la santé humaine⁷

⁷ L'hypothèse voulant que les analogues puissent inhiber l'activité de la vitamine B₁₂ active repose notamment sur les résultats d'une étude qui montre un lien entre une forte teneur corporelle en analogues et la survenue de troubles neurologiques imputables à un déficit en vitamine B₁₂ (Carmel et al., 1988). Cependant, cette interprétation mérite encore confirmation. À l'opposé, des travaux portant sur la spiruline suggèrent que l'analogue retrouvé chez cette cyanobactérie (la pseudo-cobalamine) ne bloque pas l'activité de la vitamine B₁₂ (Watanabe et al., 1999a).

(Yamada et al., 1999), d'autres proposent de contourner ce problème en changeant le procédé de séchage, par exemple en lyophilisant les algues (Takenaka et al., 2001)⁸.

De plus, il convient ici de rappeler qu'une forte consommation d'algues expose à un risque d'excès d'apport en iode. De ce fait, nous recommandons de réduire la consommation d'algues Nori à deux voire une seule portion par jour (soit 12 et 6 g d'algue sèche, respectivement ; en fonction de l'espèce de Nori concernée, la quantité d'iode est de 300 à 600 µg/6 g d'après le Ciqual de l'Anses ; [site consulté en septembre 2020](#)). De plus, cette quantité devra être largement revue à la baisse dans le cas où les algues présentent une concentration en iode plus élevée que celle retenue par l'Anses. En effet, la teneur en iode est très fluctuante au sein des algues marines et peut potentiellement être très élevée, ce qui a conduit d'ailleurs les autorités sanitaires françaises à fixer une concentration maximale en iode pour la commercialisation des algues alimentaires de type Nori (< 2 mg/g d'algue sèche) (AFSSA, 2002). Dans ce cas limite potentiel, une portion (6 g) apporte alors jusqu'à 12 mg d'iode soit la quantité maximale recommandée sur une période de 20 jours (sachant que la limite de sécurité de consommation de l'iode est fixée à 600 µg/jour par l'Anses). La consommation d'algue Nori devra alors se limiter à une seule portion (6 g) toutes les 3 semaines.

6. Les plantes à fleurs : des sources prometteuses qui nécessitent encore confirmation

Au sein des plantes à fleur, ce n'est que très récemment qu'une étude identifie pour la première fois la présence de quantités significatives de vitamine B₁₂ au sein de ce groupe végétal. Il s'agit de l'argousier, du chiendent et de l'aunée officinale (Nakos et al., 2017). Comme le précisent les auteur·e·s de ce travail, cela ouvre des perspectives nouvelles

⁸ Dans ce cas, les auteur·e·s mesurent que la consommation d'algues Nori est capable de restaurer le niveau physiologique de certains marqueurs d'une carence en vitamine B₁₂, validant l'utilisation de ces algues comme une source efficace de vitamine B₁₂ active. La principale limite de ce travail réside dans l'utilisation de rats - plutôt que d'humain·e·s -, car rien ne permet d'extrapoler que le métabolisme de la vitamine B₁₂ soit identique pour ces deux espèces de mammifères. À notre connaissance, l'unique publication suggérant que les algues Nori suffiraient - à elles seules - aux apports en vitamine B₁₂ chez l'humain·e, est celui rédigé par Suzuki H. & Col. en 1995. Dans cette étude, un groupe contrôle constitué de 4 enfants adoptant une alimentation omnivore est comparé au groupe testé constitué de 6 enfants (7 à 14 ans) suivant une alimentation végétane contenant 2 à 4 g d'algue Nori sèche par jour (Suzuki et al., 1995). Après 7 à 10 ans de ce régime, les auteur·e·s n'ont constaté, entre les deux groupes, aucune différence significative concernant la teneur sérique en vitamine B₁₂ et divers autres paramètres sanguins tels que le comptage des globules rouges et la teneur en hémoglobine. Cependant, ce travail ne permet pas de conclure en raison de ses grandes faiblesses méthodologiques. En effet, les effectifs de ces deux groupes apparaissent beaucoup trop faibles et les paramètres mesurés ne permettent pas d'écarter la possibilité d'une déficience en vitamine B₁₂ ; carence restant d'ailleurs difficile à diagnostiquer ([Position de l'ONAV relative à la carence en vitamine B₁₂ : dépistage, symptômes et dangers, 2021](#)). Davantage de travaux portant sur l'effet du séchage (à l'air ou lyophilisation) et sur la biodisponibilité chez l'humain·e sont encore nécessaires avant de pouvoir considérer les algues Nori comme une source fiable de vitamine B₁₂.

permettant d'envisager la consommation de certaines plantes pour leur apport en vitamine B₁₂. À l'instar des algues, cette vitamine proviendrait de bactéries symbiotiques puis s'accumulerait dans les tissus du végétal. En attendant une confirmation de ces mesures et que des données sur la biodisponibilité soient recueillies, il apparaît prématuré de proposer que la seule consommation de ces plantes puisse être en mesure de couvrir les besoins en vitamine B₁₂.

7. Les végétaux fermentés : des sources encore trop modestes

Plusieurs aliments végétaux fermentés peuvent être cités comme sources de vitamine B₁₂ (Watanabe et al., 2013). Dans ce cas, ce nutriment serait produit par certaines des bactéries responsables du processus de fermentation utilisé pour réaliser ce type d'aliments. Parmi les produits couramment commercialisés en occident, nous pouvons citer les feuilles de thé noir (Watanabe et al., 2007), le tempeh (soja fermenté) et certains légumes fermentés (choucroute, etc.). Dans le cas du thé noir, 1-2 L de cette boisson n'apporte pas plus de 0,02-0,04 µg de vitamine B₁₂ (Watanabe et al., 2007). Concernant le tempeh et les légumes fermentés, les quantités de vitamine B₁₂ semblent fortement varier en fonction du procédé de fabrication : les banques de données françaises (Ciquel de l'Anses) et américaine (USDA) répertorient des teneurs très modestes comprises entre 0,02 et 0,08 µg/100 g alors que certain-e-s auteur-e-s trouvent des concentrations jusqu'à 100 fois plus importantes (7-8 µg/100 g) (Watanabe et al., 2013). En fait, des concentrations aussi élevées ne sont actuellement obtenues qu'au stade expérimental. Dans ce contexte, une ou plusieurs souches bactériennes ayant une forte capacité de synthèse en vitamine B₁₂ sont choisies et utilisées pour participer au processus de fermentation. Plusieurs matrices végétales sont testées. Il peut s'agir aussi bien de céréales, de légumes ou de soja. Ces produits fermentés se retrouvent ainsi avec des concentrations en vitamine B₁₂ sensiblement plus élevées si on les compare à leur équivalents standards (n'utilisant pas à dessein une souche bactérienne fortement productrice de vitamine B₁₂) : jusqu'à 8 µg/100 g pour le tempeh, 180 µg/100 g pour le yaourt de soja ou de 8 à 148 µg/100 g dans le cas de différentes matrices céréalières fermentées avec la bactérie *Propionibacterium freudenreichii* (Chamlagain et al., 2017). Pour ces diverses productions expérimentales, il convient de noter d'une part qu'elles peuvent également contenir des analogues inactifs et d'autre part que les paramètres de production de vitamine B₁₂ (type de matrice, conditions de fermentation, etc.) ne sont pas encore assez maîtrisés pour envisager dès à présent leur commercialisation.

En tout état de cause, nous considérons que les produits fermentés végétaux, étant donné leurs teneurs en vitamine B₁₂ souvent trop faibles et extrêmement variables, ne représentent pas, à ce jour, des aliments fiables sur lesquels s'appuyer pour garantir des apports suffisants en ce nutriment.

8. Conclusion et recommandations de l'ONAV

Alors que seules certaines bactéries et archées possèdent la machinerie enzymatique rendant possible la synthèse de la vitamine B₁₂, cette dernière se retrouve en quantité généralement importante dans les différents produits d'origine animale (POA). Parallèlement, quelques rares végétaux, champignons et algues bactériennes peuvent effectivement contenir de la vitamine B₁₂ mais, à moins d'être suffisamment enrichis, les teneurs présentes sont trop faibles et/ou variables pour couvrir les besoins. De ce fait, les autres aliments potentiellement pourvoyeurs de vitamines B₁₂ comme la spiruline, la chlorelle ou les algues Nori ne sont pas en mesure de se substituer de manière fiable aux POA. Ainsi, le risque de carence en vitamine B₁₂ est proportionnel au degré et à la durée d'éviction des POA.

En considérant des besoins en vitamine B₁₂ compris entre 1,5 µg et 3 µg/jour, soit 10,5 et 21 µg/semaine, nous estimons que la quantité minimale de POA permettant de couvrir les besoins en vitamine B₁₂ se situe entre 9-10 et 18-20 portions par semaine respectivement ; ces chiffres excluant les aliments particulièrement pauvres en ce nutriment que sont les œufs, le lait de chèvre et les fromages de chèvre. De plus, ces seuils minimaux devront être relevés si les meilleures sources alimentaires que sont le foie, les rognons ou certains poissons comme le hareng, l'anchois, le maquereau et la sardine ne sont pas régulièrement consommés. Au-delà de ces considérations générales, des recommandations spécifiques peuvent être établies pour les personnes ayant une alimentation flexitarienne, végétarienne ou végane :

- Pour les personnes ayant une alimentation flexitarienne⁹, le recours aux POA est modéré par définition. De ce fait, nous conseillons une complémentation¹⁰ en vitamine B₁₂ si leur consommation de POA est inférieure à 9-10 ou 18-20 portions par semaine en fonction des besoins individuels ([tableau 2](#)). Les 2 produits laitiers quotidiens recommandés dans le cadre du dernier PNNS apportant en moyenne 1 µg/jour de vitamine B₁₂, soit en moyenne 7 µg par semaine, la consommation de viande, foie, rognons et poisson devra être en mesure de combler un déficit que nous estimons entre 3,5 et 14 µg/semaine. À titre indicatif, ces quantités hebdomadaires minimales représentent 2 à 7 portions de foie, 3 à 12 portions de poisson, ou bien encore 5 à 17 portions de viande, soit des quantités relativement élevées pour une alimentation basée sur une consommation modérée de POA. Plus concrètement, en considérant un besoin métabolique (besoin net) moyen de 1,8 µg/j ([Position de l'ONAV relative à la complémentation en vitamine B₁₂ chez les flexitarien·ne·s](#),

⁹ Une alimentation flexitarienne est majoritairement végétarienne mais n'exclut pas une consommation occasionnelle (non définie précisément) de viande et de poisson.

¹⁰ Le terme « complémentation » englobe ici à la fois la prise d'un complément alimentaire (pilule, gélule, etc.) ou la consommation d'aliments enrichis. Étant donné que l'offre actuelle française en produits enrichis en vitamine B₁₂ est très faible, cette option n'apparaît pas opérationnelle au moment où nous rédigeons cet article.

végétarien·ne·s et véganes, 2021) et une consommation quotidienne de 2 produits laitiers (soit un apport moyen de 1 µg/j), le déficit moyen d'apport en vitamine B12 (5,6 µg/semaine) sera comblé par une consommation hebdomadaire de 5 portions de poisson ou de 3 portions de foie ou de 7 portions de viande, soit une moyenne de 5 portions/semaine (de foie, viande, poisson) ou de 6 portions/semaine (si le foie n'est pas consommé).

- Pour les personnes ayant une alimentation végétarienne, l'absence de consommation de chairs et viscères animales exclut les meilleures sources alimentaires de vitamine B₁₂, faisant reposer l'essentiel de leurs apports sur le lait de vache et les fromages de vache et de brebis. Les œufs, le lait de chèvre et les fromages de chèvre ne constituent pas des sources significatives de vitamine B₁₂. Ainsi, lait et fromages de vache et de brebis devront être consommés en quantité importante et régulière ; un minimum de 3 à 6 portions, idéalement réparties en plusieurs prises distinctes au cours de la journée, étant alors requis. De tels niveaux de consommation de produits laitiers n'étant pas recommandés¹¹, nous conseillons une complémentation systématique en vitamine B₁₂ pour les personnes ayant une alimentation végétarienne.
- Pour les personnes ayant une alimentation végétane, l'absence de consommation de POA nous conduit à recommander une complémentation systématique en vitamine B₁₂.

¹¹ La consommation de produits laitiers est limitée à deux par jour dans les recommandations du dernier PNNS (Santé Publique France, Programme National Nutrition Santé 2019-2023). Par ailleurs, certains médecins remettent en question le bien fondé des recommandations alimentaires, encourageant à une forte consommation de produits laitiers (3 et davantage). Ces auteur·e·s préconisent une consommation comprise entre 0 et 2 portions par jour chez l'adulte (Willet et al., 2020).

Tableau 1 : quantité et biodisponibilité de la vitamine B₁₂ dans plusieurs aliments

(Watanabe et al., 1999a, 1999b, 2002, 2007, 2012, 2013, 2014, 2018b; Gille et al., 2015; Nakos et al., 2017; Teng F et al., 2015a, 2015b, 2015c; Bito et al., 2014, 2020; Doscherholmen et al., 1981). De façon générale, il convient de rester particulièrement prudent-e quant aux quantités de vitamine B₁₂ annoncées par les producteurs d'aliments car, en fonction de la méthode de dosage utilisée, les analogues inactifs peuvent également être quantifiés. En effet, la sensibilité des tests employés ne permet pas toujours de discriminer les analogues de la véritable vitamine B₁₂ active biologiquement (Watanabe et Bito, 2018). De plus, les teneurs réelles au moment de la consommation seront, dans de nombreux cas, plus faibles que celles figurant dans ce tableau, car la vitamine B₁₂ est sensible à la chaleur de la cuisson. Ainsi, le fait de griller, bouillir, frire, ou bien encore de cuire à la vapeur ou au micro-ondes, peut conduire à une dégradation importante de la vitamine B₁₂ ; cette perte pouvant représenter jusqu'à 60 % de la quantité initialement présente dans l'aliment (Watanabe et al., 2013).

Légende

Quand aucune donnée spécifique sur la biodisponibilité d'un aliment (ou d'un groupe d'aliment) n'est disponible, la valeur appliquée est celle tenant compte uniquement de la quantité apportée par prise. La présence éventuelle d'inhibiteurs de l'absorption (comme cela a été montré dans le cas des œufs) est donc susceptible de minorer la biodisponibilité réelle de l'aliment en question. Cette donnée est ensuite utilisée pour calculer la quantité maximale susceptible d'être absorbée par portion. Cette estimation est notée en *italique et entre parenthèses*.

* : teneur pour 100 g de masse sèche. Le Ciqual de l'Anses et l'USDA états-unien indiquent que la spiruline et les feuilles de thé sont totalement dépourvues de vitamine B₁₂. Le Ciqual ne répertorie pas la présence de vitamine B₁₂ au sein des chanterelles.

/ : aliment contenant une quantité de vitamine B₁₂ trop faible pour que leur contribution aux apports puisse être estimée

Les aliments sur fond **vert** sont de bons pourvoyeurs en vitamine B₁₂, leur contribution est quantitativement significative et fiable.

Les aliments sur fond **rouge** ne sont pas de bons pourvoyeurs en vitamine B₁₂, leur contribution est quantitativement négligeable.

Les aliments sur fond **jaune** sont des pourvoyeurs potentiels en vitamine B₁₂. Cependant, leur contribution n'est pas fiable et/ou est insuffisamment documentée.

Origine				Quantité (µg/100 g)	Absorption par portion ¹²		Quantités d'aliments nécessaires par jour ¹⁶				
					%	µg	Pour un besoin de 1,5 µg/j		Pour un besoin de 3 µg/j		
						g	Portions	g	Portions		
ANIMAUX	Chairs et viscères	Vaches, moutons, porcs	Foie et rognons	20-100	3-9	1,8-3	50-80	0,5-0,8	100-160	1-1,6	
			Muscle	0,6-4	30-70	0,4-1,2	120-400	1,2-4	240-800	2,4-8	
		Volailles	Foie	15-50	4-10	1,5-2	80-100	0,8-1	125-170	1,6-2	
			Muscle	0,4-2	50-70	0,3-1,0	150-500	1,5-5	300-1000	3-10	
		Majorité des poissons			2-4	30-50	1,0-1,2	125-150	1,3-1,5	250-300	1,6-3
		Hareng, anchois, maquereau, sardine			10-20	7,5-15	1,5	100	1	200	2
		Huîtres, moules			10-50	Aucune donnée	(1,5-2,0)	(80-100)	(0,8-1)	(160-200)	(1,6-2)
		Escargots			0,8-5,5 ¹³		(0,4-1,5)	(100-400)	(1-4)	(200-800)	(2-8)
	Lait de vache ou de brebis			0,2-0,7	50-75	0,3-0,9	425-1250	1,7-5	850-2500	3,4-10	
	Fromage au lait de vache ou de brebis			0,7-2		0,2-0,8	70-300	1,9-8	140-600	3,8-16	
	Lait de chèvre			0,05-0,07		0,1-0,15	2500-3750	10-15	5000-7500	20-30	
	Fromage au lait de chèvre			0,1-0,2		0,03-0,06	950-1900	25-50	1900-3800	50-100	
Œuf de poule			0,9-1,5	4-9	0,02-0,07	1050-3750	21-75	2100-7500	42-150		
CYANOBACTÉRIES		Micro-algue	Spiruline		Aucune donnée	(0-0,6)	(>7,5)	(>2,5)	(>15)	(>5)	
			Chlorelle			0-500* ^{13, 14}	(0-1,5)	(>3)	(>1)	(>6)	(>2)
		Macro-algue	Nori	Verte : <i>Enteromorpha</i> sp.		30-70*	(1-2)	(4,8-9)	(0,8-1,5)	(9,6-18)	(1,6-3)
						Rouge : <i>Porphyra</i> sp.	2,8-134* ¹⁵	(0,1-4)	(2,4-90)	(0,4-15)	(4,8-180)
		Plantes à fleurs	Baies d'argousier			0-37*	(0-1)	(>9)	(>1,5)	(>18)	(>3)
			Chiendent			23-26*	(0,5-0,75)	(12-18)	(2-3)	(24-36)	(4-6)
			Aunée officinale			11*	(0,3)	-30	-5	-60	-10
		Plantes à fleurs fermentées	Feuilles de thé noir			0,3-1,2* ¹⁷	0	/	/	/	/
			Tempeh (soja)			0,02-8	(0,02-1,5)	(>100)	(>1)	(>200)	(>2)
			Choucroute			0,03-7	(0,03-1,5)	(>100)	(>1)	(>200)	(>2)
		CHAMPIGNONS	Paillettes déshydratées			0,07-0,34*	0	/	/	/	/
			Levure de bière	Extraits concentrés ¹⁸ (marque Marmite)		24-25	(0,9)	(13,5)	(1,7)	(27)	(3,4)
				Truffe <i>Tuber</i> sp.		6-19*	(0,25-0,6)	(15-36)	(2,5-6)	(30-72)	(5-12)
			Shitake <i>Lentinula edodes</i>		0-13*	(0-0,5)	(>18)	(>3)	(>36)	(>6)	
			Chanterelle <i>Cantharellus cibarius</i>		0-1,8*	(0-0,05)	(>180)	(>30)	(>380)	(>60)	
			Trompette noire <i>Craterellus cornucopioides</i>		1,8-2,6*	(0,05-0,1)	(90-180)	(15-30)	(180-360)	(30-60)	

Tableau 2 : recommandations relatives aux alimentations flexitarienne, végétarienne et végane

Alimentation	Flexitarienne	Végétarienne	Végane
Complémentation en vitamine B ₁₂	Conseillée Si la consommation de POA est inférieure à 9-10 ou 18-20 portions* par semaine	Systématique	

* Le choix du seuil de consommation de POA (9-10 portions ou 18-20 portions par semaine) dépend du besoin métabolique en vitamine B₁₂ qui est retenu, soit 1,5 ou 3µg/jour (cf. [B. Estimation des besoins métaboliques](#)). À noter que le niveau de ces seuils est obtenu en postulant qu'une grande variété de POA est consommée. Si les POA sont majoritairement (ou exclusivement) choisis parmi les plus mauvais pourvoyeurs de vitamine B₁₂ (les œufs, le lait de chèvre et les fromages de chèvre), le nombre minimal de portions sera plus élevé, voire ne pourra être atteint.

¹² Les portions alimentaires utilisées sont les suivantes : lait : 250 mL, fromage : 35-40 g, œuf : 50 g, levure alimentaire : 5 g, spiruline sèche : 3 g, chlorelle sèche : 3 g, macro-algues sèches, feuilles, racines ou fruits secs ou champignons secs : 6 g. Pour les autres aliments, une portion représente 100 g d'aliment.

¹³ En plus de la vitamine B₁₂ active, ces aliments contiennent également un ou plusieurs analogue(s) inactif(s). Dans le cas de la spiruline, l'unique analogue est appelé pseudo-cobalamine ou facteur IV. La teneur totale de l'ensemble « vitamine B₁₂ + pseudo-cobalamine » s'échelonne entre 127 et 244 µg/100 g ([Watanabe et al., 2013](#)). Dans le cas de l'escargot et de la chlorelle, plusieurs analogues inactifs distincts de celui rencontré dans la spiruline sont identifiés : il s'agit notamment des facteurs S et III_m ([Teng et al., 2015b](#); [Bito et al., 2016](#)).

¹⁴ Grande variabilité en fonction de l'espèce de chlorelle considérée et surtout du degré d'asepsie des cultures ; la vitamine B₁₂ étant issue de bactéries se développant en compagnie des algues.

¹⁵ Grande variabilité au sein du genre *Porphyra* en fonction de l'espèce considérée.

¹⁶ Dans le cas où la consommation nécessaire pour atteindre les besoins de l'organisme en vitamine B₁₂ (1,5 ou 3 µg/jour) dépasse une portion par jour, le nombre de portions est calculé en supposant que la consommation d'une portion est séparée de la précédente ou de la suivante d'un intervalle d'au moins 4 heures.

¹⁷ Dans le cas du thé noir, 1-2 L de cette boisson n'apporte pas plus de 0,02-0,04 µg de vitamine B₁₂ ([Watanabe et al., 2007](#))

¹⁸ Marmite est une marque anglaise vendant des concentrés d'extrait de levure se présentant sous la forme d'une pâte épaisse. Cette dernière peut être consommée directement sur du pain ou dans le cadre de recettes culinaires plus élaborées. La teneur en vitamine B₁₂ est celle communiquée par la marque.

Références

- AFSSA (2002) Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la teneur maximale en arsenic inorganique recommandée pour les algues laminaires et aux modalités de consommation de ces algues compte tenu de leur teneur élevée en iode. *Saisine n° 2007-SA-0007*.
- ANSES. (2016a) Actualisation des repères du PNNS: révision des repères de consommations alimentaires.
- ANSES. (2016b) Actualisation des repères du PNNS: élaboration des références nutritionnelles.
- ANSES. (2017) Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3): avis de l'Anses: rapport d'expertise collective: Anses.
- Allen, R. H. & Stabler, S. P. (2008) Identification and quantitation of cobalamin and cobalamin analogues in human feces. *Am J Clin Nutr*, 87(5), 1324-35.
- Belzer, C., Chia, L. W., Aalvink, S., Chamlagain, B., Piironen, V., Knol, J. & de Vos, W. M. (2017) Microbial Metabolic Networks at the Mucus Layer Lead to Diet-Independent Butyrate and Vitamin B12 Production by Intestinal Symbionts. *mBio*, 8(5), e00770-17.
- Blanchet-Mazuel, L. & Wissocq, C. (2018) *Création d'un support d'information sur l'alimentation végétarienne pour les médecins généralistes en France*. Grenoble, France : Université Grenoble-Alpes.
- Bito, T., Bito, M., Asai, Y., Takenaka, S., Yabuta, Y., Tago, K., Ohnishi, M., Mizoguchi, T. & Watanabe, F. (2016) Characterization and Quantitation of Vitamin B12 Compounds in Various Chlorella Supplements. *J Agric Food Chem*, 64(45), 8516-8524.
- Bito, T., Okumura, E., Fujishima, M. & Watanabe, F. (2020) Potential of Chlorella as a Dietary Supplement to Promote Human Health. *Nutrients*, 12(9).
- Bito, T., Teng, F., Ohishi, N., Takenaka, S., Miyamoto, E., Sakuno, E., Terashima, K., Yabuta, Y. & Watanabe, F. (2014) Characterization of vitamin B12 compounds in the fruiting bodies of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) and bed logs after fruiting of the mushroom. *Mycoscience*, 55(6), 462-468.
- Bor, M. V., Lydeking-Olsen, E., Moller, J. & Nexø, E. (2006) A daily intake of approximately 6 microg vitamin B-12 appears to saturate all the vitamin B-12-related variables in Danish postmenopausal women. *Am J Clin Nutr*, 83(1), 52-8.
- Bor, M. V., von Castel-Roberts, K. M., Kauwell, G. P., Stabler, S. P., Allen, R. H., Maneval, D. R., Bailey, L. B. & Nexø, E. (2010) Daily intake of 4 to 7 microg dietary vitamin B-12 is associated with steady concentrations of vitamin B-12-related biomarkers in a healthy young population. *Am J Clin Nutr*, 91(3), 571-7.

- Borel, R. & Biot-Laporte, S. (2017) *Le médecin généraliste face au patient végétarien : étude qualitative des représentations des médecins généralistes sur les régimes végétariens*. Lyon, France: Université Claude Bernard Lyon 1.
- Brawley, S. H., Blouin, N. A., Ficko-Blean, E., Wheeler, G. L., Lohr, M., Goodson, H. V., Jenkins, J. W., Blaby-Haas, C. E., Helliwell, K. E., Chan, C. X., Marriage, T. N., Bhattacharya, D., Klein, A. S., Badis, Y., Brodie, J., Cao, Y., Collen, J., Dittami, S. M., Gachon, C. M. M., Green, B. R., Karpowicz, S. J., Kim, J. W., Kudahl, U. J., Lin, S., Michel, G., Mittag, M., Olson, B., Pangilinan, J. L., Peng, Y., Qiu, H., Shu, S., Singer, J. T., Smith, A. G., Sprecher, B. N., Wagner, V., Wang, W., Wang, Z. Y., Yan, J., Yarish, C., Zauner-Riek, S., Zhuang, Y., Zou, Y., Lindquist, E. A., Grimwood, J., Barry, K. W., Rokhsar, D. S., Schmutz, J., Stiller, J. W., Grossman, A. R. & Prochnik, S. E. (2017) Insights into the red algae and eukaryotic evolution from the genome of *Porphyra umbilicalis* (Bangiophyceae, Rhodophyta). *Proc Natl Acad Sci U S A*, 114(31), E6361-E6370.
- Carmel R, Karnaze DS, Weiner JM. (1988) Neurologic abnormalities in cobalamin deficiency are associated with higher cobalamin "analogue" values than are hematologic abnormalities. *J Lab Clin Med. Jan;111(1):57-62*.
- Chamlagain, B., Sugito, T. A., Deptula, P., Edelmann, M., Kariluoto, S., Varmanen, P. & Piironen, V. (2018) In situ production of active vitamin B12 in cereal matrices using *Propionibacterium freudenreichii*. *Food Sci Nutr*, 6(1), 67-76.
- Croft, M. T., Lawrence, A. D., Raux-Deery, E., Warren, M. J. & Smith, A. G. (2005) Algae acquire vitamin B12 through a symbiotic relationship with bacteria. *Nature*, 438(7064), 90-3.
- Croft, M. T., Warren, M. J. & Smith, A. G. (2006) Algae need their vitamins. *Eukaryot Cell*, 5(8), 1175-83.
- Dagnelie, P. C., van Staveren, W. A. & van den Berg, H. (1991) Vitamin B-12 from algae appears not to be bioavailable. *Am J Clin Nutr*, 53(3), 695-7.
- Defer, N. & Bayen, S. (2017) *État des connaissances des médecins généralistes de France métropolitaine concernant les patients suivant un régime d'exclusion en soins primaires*. Lille, France : Université de Lille 2.
- Demange, S. & Frappé, P. (2017) *La relation médecin-patient au regard du végétarisme : enquête nationale*. Saint-Étienne, France : Université Jean Monnet
- Doets, E. L., In 't Veld, P. H., Szczecinska, A., Dhonukshe-Rutten, R. A., Cavelaars, A. E., van 't Veer, P., Brzozowska, A. & de Groot, L. C. (2013) Systematic review on daily vitamin B12 losses and bioavailability for deriving recommendations on vitamin B12 intake with the factorial approach. *Ann Nutr Metab*, 62(4), 311-22.
- Dong, A. & Scott, S. C. (1982) Serum vitamin B12 and blood cell values in vegetarians. *Ann Nutr Metab*, 26(4), 209-16.
- Doscherholmen, A., McMahon, J. & Economon, P. (1981) Vitamin B12 absorption from fish. *Proc Soc Exp Biol Med*, 167(4), 480-4.

- Doscherholmen, A., McMahon, J. & Ripley, D. (1976) Inhibitory effect of eggs on vitamin B12 absorption: description of a simple ovalbumin ⁵⁷Co-vitamin B12 absorption test. *Br J Haematol*, 33(2), 261-72.
- EFSA (2008) 5'-deoxyadenosylcobalamin and methylcobalamin as sources for Vitamin B12 added as a nutritional substance in food supplements - Scientific opinion of the Scientific Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to food. *EFSA Journal*, 6(10), 815.
- EFSA Panel on Dietetic Products, N. & Allergies. (2015) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for cobalamin (vitamin B12). *EFSA Journal*, 13(7), 4150.
- Gille, D. & Schmid, A. (2015) Vitamin B12 in meat and dairy products. *Nutr Rev*, 73(2), 106-15.
- Herbert, V. & Drivas, G. (1982) Spirulina and Vitamin B12. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 248(23), 3096-3097.
- Herrmann, W. (2017) Vitamin B 12 Deficiency in Vegetarians. In: Mariotti, F. (ed.) *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*. Academic Press.
- Herrmann, W. & Obeid, R. (2012) Cobalamin Deficiency. In: Stanger, O. (ed.) *Water Soluble Vitamins: Clinical Research and Future Application*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Hillyer, L. L., Ridd, Z., Fenwick, S., Hincks, P. & Paine, S. W. (2018) Pharmacokinetics of inorganic cobalt and a vitamin B12 supplement in the Thoroughbred horse: Differentiating cobalt abuse from supplementation. *Equine Vet J*, 50(3), 343-349.
- Hirakawa, H. (2001) Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores. *Mammal Review*, 31(1), 61-80.
- Jackson, J. T., Mangan, G. F., Machlin, L. J. & Denton, C. A. (1955) Absorption of vitamin B12 from the cecum of the hen. *Proc Soc Exp Biol Med*, 89(2), 225-7.
- Jones, E., Darby, W. J. & Totter, J. R. (1949) Pernicious anemia and related anemias treated with vitamin B12. *Blood*, 4(7), 827-44.
- Keshavarz, K. (2003) Effects of reducing dietary protein, methionine, choline, folic acid, and vitamin B12 during the late stages of the egg production cycle on performance and eggshell quality. *Poult Sci*, 82(9), 1407-14.
- Keuth, S. & Bisping, B. (1994) Vitamin B12 production by *Citrobacter freundii* or *Klebsiella pneumoniae* during tempeh fermentation and proof of enterotoxin absence by PCR. *Appl Environ Microbiol*, 60(5), 1495-9.
- Kumudha, A., Kumar, S. S., Thakur, M. S., Ravishankar, G. A. & Sarada, R. (2010) Purification, identification, and characterization of methylcobalamin from *Spirulina platensis*. *J Agric Food Chem*, 58(18), 9925-30.
- Levine, A. S. & Doscherholmen, A. (1983) Vitamin B12 bioavailability from egg yolk and egg white: relationship to binding proteins. *Am J Clin Nutr*, 38(3), 436-9.
- Limswan, T. & Lovell, R. T. (1981) Intestinal synthesis and absorption of vitamin B-12 in channel catfish. *J Nutr*, 111(12), 2125-32.

- Lovell, R. T. & Limsuwan, T. (1982) Intestinal Synthesis and Dietary Nonessentiality of Vitamin B12 for *Tilapia nilotica*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 111(4), 485-490.
- Meredith, A. L. & Prebble, J. L. (2017) Impact of diet on faecal output and caecotroph consumption in rabbits. *J Small Anim Pract*, 58(3), 139-145.
- Miyamoto, E., Yabuta, Y., Kwak, C. S., Enomoto, T. & Watanabe, F. (2009) Characterization of vitamin B12 compounds from Korean purple laver (*Porphyra* sp.) products. *J Agric Food Chem*, 57(7), 2793-6.
- Moestrup, S. K., Birn, H., Fischer, P. B., Petersen, C. M., Verroust, P. J., Sim, R. B., Christensen, E. I. & Nexø, E. (1996) Megalin-mediated endocytosis of transcobalamin-vitamin-B12 complexes suggests a role of the receptor in vitamin-B12 homeostasis. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93(16), 8612-7.
- Nakos, M., Pepelanova, I., Beutel, S., Krings, U., Berger, R. G. & Scheper, T. (2017) Isolation and analysis of vitamin B12 from plant samples. *Food Chem*, 216, 301-8.
- Passelergue, L. & Soulié, B. (2018) *Caractéristiques des connaissances sur l'équilibre nutritionnel des personnes végétariennes ou végétaliennes chez les médecins généralistes normands*. Caen, France : Université de Caen-Normandie
- Paul, C. & Brady, D. M. (2017) Comparative Bioavailability and Utilization of Particular Forms of B12 Supplements With Potential to Mitigate B12-related Genetic Polymorphisms. *Integr Med (Encinitas)*, 16(1), 42-49.
- Pitkin, R. M., Allen, L., Bailey, L. & Bernfield, M. (2000) Dietary Reference Intakes for Thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin B12, Pantothenic acid, biotin and choline. *Washington, DC*.
- Rickes, E. L., Brink, N. G., Koniuszy, F. R., Wood, T. R. & Folkers, K. (1948) Crystalline Vitamin B12. *Science*, 107(2781), 396-7.
- Roberts, M. C. (1983) Serum and red cell folate and serum vitamin B12 levels in horses. *Aust Vet J*, 60(4), 106-11.
- Santé publique France. (2019) Programme National Nutrition Santé 2019-2023
- Smith, A. D., Warren, M. J. & Refsum, H. (2018) Chapter Six - Vitamin B12. In: Eskin, N. A. M. (ed.) *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press.
- Smith, A. G., Croft, M. T., Moulin, M. & Webb, M. E. (2007) Plants need their vitamins too. *Curr Opin Plant Biol*, 10(3), 266-75.
- Smith, E. L. (1948) Purification of anti-pernicious anaemia factors from liver. *Nature*, 161(4095), 638.
- Squires, M. W. & Naber, E. C. (1992) Vitamin profiles of eggs as indicators of nutritional status in the laying hen: vitamin B12 study. *Poult Sci*, 71(12), 2075-82.
- Stangl, G. I., Schwarz, F. J., Muller, H. & Kirchgessner, M. (2000) Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B12, folate, homocysteine and methylmalonic acid. *Br J Nutr*, 84(5), 645-53.

- Stupperich, E. & Nexo, E. (1991) Effect of the cobalt-N coordination on the cobamide recognition by the human vitamin B12 binding proteins intrinsic factor, transcobalamin and haptocorrin. *Eur J Biochem*, 199(2), 299-303.
- Sugita, H., Miyajima, C. and Deguchi, Y., (1991). The vitamin B12-producing ability of the intestinal microflora of freshwater fish. *Aquaculture*, 92: 261-216.
- Suzuki, H. (1995) Serum vitamin B12 levels in young vegans who eat brown rice. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 41(6), 587-94.
- Takenaka, S., Sugiyama, S., Ebara, S., Miyamoto, E., Abe, K., Tamura, Y., Watanabe, F., Tsuyama, S. & Nakano, Y. (2001) Feeding dried purple laver (nori) to vitamin B12-deficient rats significantly improves vitamin B12 status. *Br J Nutr*, 85(6), 699-703.
- Teng, F., Tanioka, Y., Hamaguchi, N., Bito, T., Takenaka, S., Yabuta, Y. & Watanabe, F. (2015a) Determination and characterization of vitamin B12 compounds in edible sea snails, ivory shell *Babylonia japonica* and turban shell *Turbo cornutus*. *Fisheries Science*, 81(6), 1105-1111.
- Teng, F., Tanioka, Y., Bito, T., Takenaka, S., Yabuta, Y. & Watanabe, F. (2015b) Occurrence of biologically inactive corrinoid compounds in canned edible apple snails (escargots). *Food and Nutrition Sciences*, 6(12), 1071.
- Teng, F., Bito T., Takenaka, S., Yabuta, Y., Shimomura, N. & Watanabe, F. (2015c) Determination and characterization of corrinoid compounds in truffle (*Tuber* spp.) and shoro (*Rhizopogon rubescens*) fruiting bodies. *Mushroom Science and Biotechnology*, 22(4), 159-164.
- Tsiami, A. & Obersby, D. (2017) B Vitamins Intake and Plasma Homocysteine in Vegetarians. In: Mariotti, F. (ed.) *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*. Academic Press.
- Van den Berg, H., Brandsen, L. & Sinkeldam, B. J. (1991) Vitamin B-12 content and bioavailability of spirulina and nori in rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2(6), 314-318.
- Vincey, M. & Charpiot, P. (2018) *L'avenir alimentaire est-il végétal ?*. Marseille, France : Université Aix-Marseille.
- Watanabe, F., Katsura, H., Takenaka, S., Fujita, T., Abe, K., Tamura, Y., Nakatsuka, T. & Nakano, Y. (1999a) Pseudovitamin B(12) is the predominant cobamide of an algal health food, spirulina tablets. *J Agric Food Chem*, 47(11), 4736-41.
- Watanabe, F., Takenaka, S., Katsura, H., Masumder, S. A., Abe, K., Tamura, Y. & Nakano, Y. (1999b) Dried green and purple lavers (Nori) contain substantial amounts of biologically active vitamin B(12) but less of dietary iodine relative to other edible seaweeds. *J Agric Food Chem*, 47(6), 2341-3.
- Watanabe, F., Takenaka, S., Kittaka-Katsura, H., Ebara, S. & Miyamoto, E. (2002) Characterization and bioavailability of vitamin B12-compounds from edible algae. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 48(5), 325-31.
- Watanabe, F. (2007) Vitamin B12 sources and bioavailability. *Exp Biol Med (Maywood)*, 232(10), 1266-74.

- Watanabe, F., Schwarz, J., Takenaka, S., Miyamoto, E., Ohishi, N., Nelle, E., Hochstrasser, R. & Yabuta, Y. (2012) Characterization of vitamin B(1)(2)compounds in the wild edible mushrooms black trumpet (*Craterellus cornucopioides*) and golden chanterelle (*Cantharellus cibarius*). *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 58(6), 438-41.
- Watanabe, F., Yabuta, Y., Tanioka, Y. & Bito, T. (2013) Biologically active vitamin B12 compounds in foods for preventing deficiency among vegetarians and elderly subjects. *J Agric Food Chem*, 61(28), 6769-75.
- Watanabe, F., Yabuta, Y., Bito, T. & Teng, F. (2014) Vitamin B12-containing plant food sources for vegetarians. *Nutrients*, 6(5), 1861-1873.
- Watanabe, F. & Bito, T. (2018) Determination of Cobalamin and Related Compounds in Foods. *J AOAC Int*, 101(5), 1308-1313.
- Watanabe, F. & Bito, T. (2018b) Vitamin B12 sources and microbial interaction. *Exp Biol Med (Maywood)*, 243(2), 148-158.
- Willett WC, Ludwig DS. (2020) Milk and Health. *N Engl J Med.*, 382(7), 644-654.
- Yamada, K., Yamada, Y., Fukuda, M. & Yamada, S. (1999) Bioavailability of dried asakusanori (*Porphyra tenera*) as a source of Cobalamin (Vitamin B12). *Int J Vitam Nutr Res*, 69(6), 412-8.

Groupe de travail

Les membres du groupe de travail sur ce document sont nommés à titre personnel et ne représentent pas leur organisme d'appartenance. Ils sont membres du conseil scientifique de l'Observatoire national de l'alimentation végétale (ONAV) et ne déclarent aucun lien d'intérêt financier avec l'industrie pharmaceutique ou agroalimentaire.

Responsable

Fabien Badariotti, *docteur en biochimie et biologie cellulaire*

Membres

Virginie Bach, *diététicienne nutritionniste*

Perrine Bellanger, *diététicienne nutritionniste*

Loïc Blanchet-Mazuel, *médecin spécialiste en médecine générale*

Sébastien Demange, *médecin spécialiste en médecine générale*

Paco Maginot, *médecin spécialiste en médecine générale*

Marie Vincey, *pharmacienne, diplômée en toxicologie*