



Les légumes de mer (algues) :

des atouts nutritionnels à exploiter

Sous l'appellation « légumes de la mer » sont regroupées les algues et en particulier les grandes algues (macroalgues) qui sont des végétaux comestibles, goûteux et bons pour la santé. Les algues vont nous fournir fibres, minéraux et de nombreux actifs ayant des effets bénéfiques sur notre corps. Historiquement réservée aux « initiés », cette nouvelle matière première intéresse des consommateurs de plus en plus nombreux. Elles surfent sur la vague d'un engouement pour la cuisine japonaise ainsi que pour des produits exotiques tels les supers fruits. Au-delà de l'effet de mode, l'intégration durable de ces légumes dans notre alimentation quotidienne passe par l'information sur ces nouveaux légumes tant sur la façon de les cuisiner que sur leurs qualités nutritionnelles.

Hélène MARFAING

CEVA
Centre d'Etude et
de Valorisation des Algues
Presqu'île de Pen Lan
BP 3
22610 Pleubian

Qu'est ce qu'une algue ?

Les algues sont présentes sur terre depuis les origines de la vie. L'algue accompagne l'homme depuis toujours en jouant un rôle fondamental puisqu'elle capte le gaz carbonique (CO₂) pour son métabolisme en ayant pour effet, par la photosynthèse, de produire de l'oxygène (O₂) durant le jour. Les algues représentent une biodiversité importante. Elles incluent à la fois les « macroalgues » benthiques, marines ou d'eau douce et un ensemble d'organismes microscopiques très divers, marins ou d'eau douce, planctoniques ou

Mots clés

- Algues
- Valeurs nutritionnelles

benthiques, qualifiés de « microalgues ». Au total, le nombre d'espèces est estimé à 30 000 ou 40 000, en comptant à part les diatomées dont le nombre d'espèces atteindrait les 100 000.

Le terme botanique « algue », du latin « alga », apparu en 1951 permet de désigner « un organisme photosynthétique, n'ayant pas de véritable tige, racine, feuille ou tissus conducteurs, dont les cellules reproductrices sont produites dans des « cystes » et qui ne produit pas de « fleur ». Les algues exploitées industriellement appartiennent à 4 groupes algaux majeurs : Chlorophycées (algues vertes), Phaeophycées (algues brunes), Rhodophycées (algues rouges) et Cyanobactéries ou Cyanophycées (algues bleu-vert).

Macro et microalgues : quelques données de production

Les premiers essais de culture ont vu le jour au Japon au 19^{ème} siècle et depuis l'algue est un végétal cultivé sur des concessions en mer, pour une production dédiée à 65% pour l'alimentation humaine (comme légume). La production mondiale augmente régulièrement et s'élève à 19 millions de tonnes d'algues fraîches pour l'algoculture et de 900 000 tonnes pour la collecte d'algues sauvages (FAO 2011). La culture d'algues se situe essentiellement en Asie avec la Chine comme premier pays producteur suivi de l'Indonésie, des Philippines, de la Corée et du Japon. L'Europe ne contribue qu'à 0.9% de la production mondiale.

Avec une production annuelle d'algues comprise entre 60 et 70 000 tonnes en moyenne, issues majoritairement d'algues sauvages, la Bretagne est une des premières régions européennes de production des algues marines. Les côtes bretonnes possèdent un des plus grands champs d'algues d'Europe, en raison de conditions favorables telles que l'exis-

tence d'un estran rocheux large lié à un marnage important, la transparence et la fertilité des eaux, leur renouvellement par les courants des marées et l'agitation du milieu.

La production mondiale de microalgues reste faible en comparaison, cependant la courbe de croissance de celle-ci est exponentielle entre 1975 et 2000. En 2004, toutes espèces confondues, elle était estimée entre 7 000 et 10 000 tonnes de matière sèche, pour une valeur marchande globale de plus de 4,5 milliards de dollars US (Spolarore & al, 2006). 276 entreprises étaient référencées dans ce domaine à l'échelle mondiale, un tiers d'entre elles produisant essentiellement les espèces dominantes : Chlorelle, Spiruline et Dunaliella. Depuis quelques années, des entreprises s'intéressent à la culture des microalgues riches en lipides pour des applications en alimentation humaine (microalgues riches en omega 3) et des applications dans le domaine des biocarburants (biodiesel).

L'algue : un aliment passé, présent et futur

Des traces préhistoriques témoignent de la consommation d'algues marines entre autres au Japon, en Corée et en Chine. Ceci s'illustre par la présence de textes anciens japonais, datant de plus de 6000 ans, qui précisent leur utilisation comme remèdes. Il en est de même en Chine, où des textes datant du VI^{ème} siècle avant notre ère font état de variétés d'algues au goût assez fin pour figurer au menu des rois. Ainsi, en 600 ans avant JC, Sze Tseu écrit « certaines algues sont un délice qui s'accorde avec le plus honoré des invités, et pour le roi lui-même » (Teas & al, 2004).

Le Japon est un des pays grands consommateurs d'algues. Ce pays, comportant plus de 6852 îles, s'est tout naturellement tourné vers la mer pour y puiser sa nourriture. Toutefois, la quantité actuelle d'algues consommée est difficile à quan-

tifier car les algues sont à la fois utilisées pour aromatiser des nouilles, des soupes, des plats ou ajoutées comme part d'un mélange de légumes ainsi que comme aliment distinct sous forme de snacks, de salade et de condiments. Cependant la consommation moyenne d'algues au Japon par habitant est estimée à 1.1 kg d'algue sèche, ce qui équivaut à une consommation quotidienne de 3.6 g d'algue sèche (General Food Policy Bureau, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan). D'autres sources rapportent une consommation moyenne estimée à 13.5 g/jour (Ministry of Health, Labour and Welfare, 2008) et les algues contribuent à environ 80% de la prise alimentaire d'iode chez les Japonais.

Notons qu'en équivalent frais, les Japonais mangent de 7 à 9 kg d'algue fraîche an/habitant soit une quantité supérieure à notre consommation de salade estimée à 7.3 kg/an/personne en France.

La consommation d'algues diffère en fonction de l'âge des consommateurs au Japon. Ainsi l'attrait des jeunes pour une alimentation plus occidentale relègue le modèle traditionnel au rang de modèle obsolète. On note également un déclin dans la consommation de konbu tandis que la consommation de nori et wakame augmente. En détaillant les enregistrements alimentaires, on peut voir que les algues sont présentes dans 21% des plats japonais (Zava & Zava, 2011).

En Corée, la consommation d'algues est estimée à 6.6 g/jour en 1995 (Kim & al, 1998) et plus de 40 variétés d'algues sont communément utilisées comme aliment (Teas & al, 2004).

Parmi les produits les plus recherchés, citons l'algue rouge Nori. Celle-ci, une fois séchée, transformée en fines feuilles noires, enveloppe sushis, makis ou onigiris, mais se déguste également en feuilles assaisonnées (sésame, piment, sauce soja) à l'apéritif et sous forme de paillettes pour saupoudrer les plats de légumes et salades. Ses arômes marins



(proches de la peau de sardine grillée), mais également de thé fumé et de champignons séchés, se libèrent en bouche où sa texture craquante devient fondante. Le nori japonais est généralement préparé soit nature, soit avec de la sauce soja. Le nori coréen est préparé, lui, avec de l'huile, du sel, des graines de sésame ou du piment. Il est souvent plus ajouré, léger et croustillant.

La plupart des autres algues consommées le sont sous forme de soupes, de salades, de garnitures en mélange avec d'autres légumes ou sous forme de condiments vinaigrés.

Ainsi le wakame, algue brune, est vendu principalement séché, à réhydrater dans des salades ou soupes, comme la soupe Miso. Il est apparu récemment en Occident dans les bars à sushi sous la forme d'une salade de wakame assaisonnée au sésame. En Corée du Sud, lorsqu'une femme accouche, une soupe de wakame lui est proposée 2 à 3 fois par jour et ce pendant 3 semaines. Riche en iode, magnésium et autres minéraux, le wakame est idéal pour le bon rétablissement de la mère mais aussi de l'enfant qu'elle va allaiter. A chaque anniversaire de l'enfant, une soupe de wakame sera réalisée pour rappeler l'événement de la naissance (Moon & Kim, 1999).

Le kombu, algue brune laminaire, est l'ingrédient de base du dashi (bouillon de base japonais), mais s'utilise également en papillotes autour d'un poisson

Teneur 10 g algues déshydratées		Konbu	Konbu royal	Wakame	Haricot de mer	Laitue de mer	Nori	Dulse
		<i>Laminaria digitata</i>	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Himanthalia elongata</i>	<i>Ulva sp.</i>	<i>Porphyra sp.</i>	<i>Palmaria palmata</i>
Energie	kcal	20.7	21.7	18.7	23.9	19.8	24.5	22.1
Protéines (Nx 6.25)	g	0.9	1.2	1.5	1.0	1.6	2.8	1.7
Glucides (par différence)	g	2.4	2.6	0.7	2.9	1.2	1.3	2.1
Fibres	g	3.3	2.9	3.8	3.1	3.4	3.4	2.8
Lipides	g	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
Sodium	g	0.2	0.4	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2
Potassium	mg	460	618	431	587	192	138	687
Magnésium	mg	70	79	125	159	279	42.4	21.7
Calcium	mg	80	68	108	70	116	25.3	40.2
Iode	µg	43250	36580	1424	1464	945	558	2818

Teneur moyenne en quelques nutriments pour 10 g d'algues alimentaires déshydratées (synthèse CEVA)

ou vinaigré en condiment. C'est dans le bouillon de konbu qu'un Japonais, Ikunae Ikeda, a décrit la saveur « umami » signifiant en japonais « délicieux » ou « savoureux ». La molécule responsable de cette saveur est le glutamate de sodium, naturellement présent dans l'algue.

En Occident on consomme des extraits d'algues plusieurs fois par jour sous la forme d'alginate, de carraghénanes et d'agars qui sont utilisés comme agents texturants dans les aliments, les produits cosmétiques, les dentifrices et produits pharmaceutiques. Manger l'algue entière est moins courant et demande une connaissance des produits. Pendant certaines périodes de famines, les populations côtières se sont tournées vers ces légumes de la mer dont l'image est restée associée à une nourriture de disette.

Les algues : un super légume ?

Les grandes algues (macroalgues) sont très intéressantes du point de vue nutritionnel de par leurs compositions en nutriments. Elles s'expliquent par le milieu dans lequel elles poussent : milieu marin riche en éléments minéraux, conditions environnementales stressantes entre marée haute et marée basse qui induisent des productions de fibres aux structures originales et synthèse de composés de

protection des rayonnements UV comme les composés antioxydants.

Comme un légume terrestre, on retrouve principalement fibres, minéraux, vitamines et composés antioxydants dans les algues, avec des teneurs parfois exceptionnelles. Cependant contrairement à une idée reçue, les algues contiennent moins d'eau que les légumes terrestres.

Dans le contexte actuel où l'Organisation Mondiale de la Santé recommande la consommation de 400 g de fruits et légumes par jour, car ils sont importants pour une alimentation saine et équilibrée, les légumes de la mer ont une place à prendre. La recherche a montré que de grandes consommations de fruits et légumes sont associées à un risque plus faible de maladies chroniques, en particulier les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et certains cancers (comme ceux de la bouche, du larynx de l'estomac et des intestins).

Le tableau ci-dessus présente quelques valeurs moyennes de nutriments pour 10 g d'algues déshydratées. Ce tableau permet de donner seulement des valeurs indicatives sachant que ces valeurs peuvent varier en fonction de la saison, de la localisation, de l'âge de la plante ainsi que des traitements post-récoltes liés à la transformation des algues.

Fibres

Les algues synthétisent une quantité importante de fibres (polysaccharides du point de vue chimique) leur permettant de garder l'eau à l'intérieur de leurs cellules et de rester intactes durant les phases de marée basse sans se dessécher. Ces polysaccharides avec des structures originales sont considérés comme des fibres alimentaires et participent, tout comme les fibres des légumes terrestres, à une alimentation saine (teneur de l'ordre de 20 à 40%/en sec, données CEVA).

Parmi les fibres insolubles, on retrouve une fraction cellulosique ainsi que d'autres fibres ayant des structures encore mal connues. Les fibres solubles sont majoritaires et constituées selon l'espèce d'agars, de carraghénanes, de xylanes, de porphyranes pour les algues rouges, d'alginate, de fucanes, de laminaranes pour les algues brunes ainsi que d'ulvanes pour les algues vertes (Lahaye, 1991).

Consommer 50 g d'haricot de mer ou de dulce contribue à apporter 2 à 3 g de fibres environ, majoritairement solubles.

Récemment des chercheurs de la Station Biologique de Roscoff ont découvert comment la microflore intestinale des Japonais s'était équipée pour digérer l'algue Nori. Le porphyrane, polysaccharide présent dans les parois de l'algue Nori, est dégradé spécifiquement par une enzyme appelée porphyranase. Cette nouvelle activité enzymatique a été identifiée chez les bactéries marines et, de manière surprenante au sein des bactéries peuplant les intestins des Japonais alors qu'elle semble absente de la flore intestinale des Nord-Américains. Les chercheurs de Roscoff expliquent que le contact étroit de cette population avec les bactéries marines, par l'intermédiaire de la nourriture a favorisé le transfert de la porphyranase d'un écosystème, l'océan, à un autre très différent, l'intestin humain (Hehemann & al, 2010). Elles permettent ainsi aux Japonais de métaboliser plus de composés présents dans le Nori et donc d'en tirer plus d'énergie métabolique.

L'alginate seul est une fibre qui peut être intéressante dans des développements de produits fonctionnels. Il avait déjà été montré que les alginates, très visqueux peuvent modifier l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulinaire chez le porc en retardant l'absorption du glucose (Vaugelade P. et al., 2000). Une étude d'intervention récente sur 12 semaines montre que l'addition d'alginate dans des boissons fonctionnelles peut ralentir le vidage gastrique et prolonger le sentiment de satiété (Jensen & al, 2012). Enfin, l'oligoalginate (alginate dépolymérisé) est un ingrédient labellisé FOSHU au Japon (Food of Specified Health Use) pour sa fonction de réduction du taux de cholestérol.

Minéraux

Les algues n'ont pas de racines, ce qui leur impose de puiser dans l'eau les nutriments dont elles ont besoin. Leur capacité à incorporer ces éléments reste inégalable par rapport aux végétaux terrestres. La fraction minérale peut être de 2 à 4 fois plus importante dans les légumes de la mer que dans les légumes terrestres. Cette fraction minérale offre une grande diversité de minéraux : sodium, potassium, calcium, magnésium, soufre, fer, iode, cuivre, zinc, sélénium. L'ensemble étant présent sous forme organique bien assimilable.

Une richesse exceptionnelle : l'iode

L'originalité forte de ces légumes de la mer est la teneur en iode qui est exceptionnelle. Les implications nutritionnelles sont immédiates : pour un adulte, l'apport conseillé (150 µg/jour) peut être couvert par des quantités très faibles, de l'ordre de quelques grammes secs. L'iode dans la plupart des algues est majoritairement soluble dans l'eau. Il est biodisponible (Aquaron & al, 2002). Les championnes toutes catégories sont les algues



brunes avec les laminaires et les fuciales qui peuvent accumuler de 1500 à 8000 mg/kg sur sec et de 500 à 1000 mg/kg sur sec respectivement. Sauf exception, les teneurs dans les algues rouges et vertes sont plus modestes (100 à 300 mg/kg sur sec) mais restent importantes face aux sources « classiques » (Marchal & al, 2000). La réglementation française recommande une teneur en iode, pour toutes les algues mises sur le marché, inférieure à 2000 mg/kg (saisine 2007-SA-0007).

Une étude a été effectuée sur des échantillons commerciaux d'algues dans différents pays (Teas, 2004). Douze espèces d'algues différentes ont été analysées et la teneur varie de 16 mg/kg dans le Nori jusqu'à plus de 8165 mg/kg pour des granules de *Laminaria digitata*. Les procédés de pré-traitement peuvent influencer la teneur en iode : les algues séchées au soleil ont la teneur en iode la plus faible (514 mg/kg) par rapport à des algues juvéniles fraîchement récoltées (6571 mg/kg). Les préparations des aliments et en particulier la cuisson vont affecter la teneur finale en iode car l'iode algal est facilement soluble dans l'eau. Ainsi en cuisant 15 min dans l'eau bouillante, 99% de l'iode se retrouve dans l'eau de cuisson (Teas & al, 2004). Une étude récente au CEVA (non publiée) montre qu'un blanchiment rapide de 60 sec à 90°C induit une perte en iode de 50 à 80 % dans des algues brunes (*Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*, *Himantalia elongata*).

L'iode est indispensable pour l'organisme qui le concentre dans la thyroïde. La glande thyroïde élabore des hormones iodées actives sur toutes les oxydations cellulaires et intervient sur la thermogénèse. Les conséquences sur la carence en iode sont les suivantes : goitre, arriération mentale dans la population infantile (influence sur le développement du fœtus), altérations de la reproduction.

Risque d'excès ?

L'excès d'iode est rarement d'origine alimentaire mais surtout d'ordre médicamenteux. La limite d'apport maximal tolérable a été fixée à 600 µg/jour (fixé par le comité scientifique européen sur l'alimentaire (SCF) le 26 septembre 2002).

Dans les pays grands consommateurs d'algues, il est difficile d'évaluer la prise alimentaire d'iode liée aux algues car elle varie selon les espèces d'algues consommées et le mode de préparation et de cuisson. En combinant les informations des enregistrements alimentaires, les sondages, les analyses d'iode urinaire et la teneur en iode des algues, des auteurs estiment la prise alimentaire d'iode par les Japonais, liée principalement à la consommation d'algues à 1000 à 3000 µg/jour (Zava & Zava, 2011). En Corée où la consommation traditionnelle d'aliments iodés (algues et poissons) est très importante, l'apport iodé alimentaire moyen d'un adulte coréen est estimé à 479 µg/jour (variant de 61 µg à 4086 µg) : 66% de l'iode est apporté par les algues, 11% par les produits laitiers et 9% par le poisson (Kim & al, 1998).

Un cas d'hyperthyroïdie a été rapporté aux Pays bas, chez une patiente de 50 ans ayant pris des compléments à base de laminaires, à raison de 6 comprimés/jour de 200 mg d'iode chacun, dans l'espoir de perdre du poids. Une hyperthyroïdie s'est développée chez cette patiente en l'espace de 2 mois et s'est résorbée spontanément après l'arrêt de la prise de comprimés. Des cas sont également rapportés en Asie. Ainsi cette étude où la consommation de plus de 28 mg d'iode/jour via le kombu par des Japonaises engendrait des cas d'hyperthyroïdisme induit par l'iode (Ishizuki & al, 1989).

Récemment une étude (Michikawa & al, 2012) montre que les Japonaises post-ménopausées consommant quotidiennement des algues ont un risque augmenté de cancer de la thyroïde du fait de la prise alimentaire d'iode importante (la prise d'iode moyenne ingérée est de 1.5 mg/

jour). Ceci semble énorme par rapport à l'AJR de 150 µg et loin de la consommation des algues en France, estimée à 0.1 g/jour.

Raisonnement, l'iode est un atout nutritionnel dans les algues, très important dans le monde en regard des risques liés à une déficience en iode. Dans un pays comme la France où le pourcentage de sujets à risque de déficience en iode est important (jusqu'à 30% des femmes et 22% des hommes en région Auvergne-Limousin) selon les résultats de l'étude Su-Vi max (Valeix & al, 1999), les algues peuvent contribuer à couvrir les apports nutritionnels conseillés.

Source de magnésium

Il est intéressant de noter que les macroalgues peuvent apporter du magnésium en quantité notable, en particulier les algues vertes et brunes. Ainsi 10 g de laitue de mer déshydratée contribuent à 74% des AJR en magnésium (Mg).

L'absorption du magnésium diffère selon les algues. Les algues, du fait de leur richesse en fibres peuvent lier les minéraux et la capacité d'échange des fibres a été rapportée pour impacter l'absorption minérale. Des études ont montré des faibles absorptions du Mg chez des rats pour le Nori (*Porphyra tenera*), le wakame et l'Hijiki. Cependant le magnésium absorbable est élevé pour l'algue verte *Ulva* et le Konbu (*Laminaria japonica*) (Nakamura & al, 2012).

Enfin d'autres minéraux peuvent contribuer aux apports journaliers recommandés en petite quantité : chlorures, potassium, manganèse, fer, chrome et molybdène. A noter également que l'algue calcaire *Lithothamnium calcareum* (mäerl) est une source très importante de calcium et de magnésium; on l'utilise principalement sous forme de complément alimentaire ou en tant qu'ingrédient fonctionnel.



Himanthalia elongata

Protéines

La teneur en protéines des algues marines est variable. Globalement ce sont les algues rouges qui sont les plus intéressantes pour leurs fractions protéiques.

En moyenne, elles contiennent entre 17 et 28% de la matière sèche (MS) en protéines (données CEVA). Dans le Nori, l'algue la plus prisée au Japon, il a été analysé des teneurs en protéines jusqu'à 47%/MS, comparables à celles des légumineuses ! Des pré-traitements enzymatiques seraient parfois nécessaires pour améliorer la digestibilité de ces protéines et contribuer à leur utilisation optimale par l'organisme humain.

La Spiruline, microalgue d'eau douce, est bien connue pour ses teneurs très élevées en protéines digestibles (50 à 70% de la matière sèche).

Métabolites secondaires

Les algues produisent une grande variété de métabolites secondaires caractérisés par un large spectre d'activités biologiques : phlorotannins (polyphénols), caroténoïdes, vitamines.

Les phlorotannins sont les composés phénoliques majoritaires présents dans les algues. Du point de vue chimique et structural, les phlorotannins sont des polymères et des oligomères du phloroglucinol. Les algues alimentaires les plus riches en phlorotannins (de l'ordre de

6% de matière sèche) sont *Ascophyllum nodosum* et *Fucus vesiculosus*, connues pour se développer dans la zone intertidale. Des produits extraits à partir de ces algues sont d'ailleurs commercialisés en alimentaire : InSea2, d'Algues et Mer, extrait de *Ascophyllum nodosum* ; et HealSea, de Diana Naturals, extrait de *Fucus vesiculosus*.

Plusieurs activités biologiques sont rapportées pour les polyphénols : antioxydant, protection vis-à-vis des radiations, activités antiprolifératives, antibiotiques, régulation de la glycémie, inhibition des enzymes digestives (Holdt and Kraan, 2011). Par exemple les polyphénols d'*Himanthalia elongata* ont montré d'excellentes propriétés antimicrobiennes et antioxydantes ce qui peut être une opportunité pour l'application des extraits d'algues comme conservateur naturel des aliments ou comme aliment fonctionnel (Rajauria & al, 2012).

Différents caroténoïdes comme l'alpha et le beta-carotène, la lutéine, la zeaxanthine et la fucoxanthine ont été identifiés dans les algues. La fucoxanthine est le principal caroténoïde présent dans les algues brunes : c'est un pigment appartenant au groupe des xanthophylles qui a présenté de puissantes activités antioxydantes (Kumar & al, 2008). Il existe également des études de plus en plus nombreuses sur ses propriétés minceur : inhibition de l'activité de la lipase dans la lumière gastro-intestinale et suppression de l'absorption des triglycérides (Matsumoto & al, 2010), réduction de la masse grasse abdominale,

inhibition de la différenciation des adipocytes (Maeda & al, 2008).

Les algues contiennent une proportion non négligeable de vitamine A, de vitamine C et de vitamine B12, ce qui est une originalité par rapport aux plantes terrestres qui en sont totalement dépourvues.

Plusieurs études ont montré que la plupart des types de B12 présentes dans les algues sont des analogues de la vitamine B12 et de ce fait ne seraient pas biodisponibles pour les humains (Dagnelie & al, 1991).

Cependant, les études des algues Nori et Spiruline semblent indiquer que la vitamine B12 de ces algues est bien assimilée chez le rat (Van den Berg, 1991; Watanabe & al, 2002) et serait donc une source biodisponible de vitamine 12 pour les végétariens stricts. Il est à l'heure actuelle difficile de statuer sur l'efficacité sur le sujet et seule une étude clinique d'envergure chez l'homme permettrait de statuer sur l'efficacité de cette vitamine dans l'organisme.

Effets bénéfiques pour la santé ?

L'utilisation traditionnelle (voire ancestrale, traces préhistoriques ...) des algues dans l'alimentation est bien répertoriée pour le Japon, espèce par espèce (Arasaki & Arasaki, 1985). En revanche nous disposons de très peu de publications (études épidémiologiques ou cliniques) permettant d'établir une corrélation directe entre la consommation d'algues et les bienfaits



sur la santé, excepté pour les apports en iode.

Il existe un nombre très important d'activités biologiques démontrées *in vitro* sur les algues ou à partir d'extraits d'algues et les activités biologiques principales revendiquées sont les suivantes : (Fitton, 2005, Holdt and Kraan, 2011) :

- Activités antivirales et antibactériennes
- Activités antitumorales et modulation de l'immunité
- Modulation de l'inflammation
- Activité antioxydantes et inhibition d'enzymes
- Diminution des lipides et de l'hypertension
- Anticoagulant et activation du système du complément
- Détoxification
- Régulation de la glycémie

Les études *in vivo* chez l'homme sont plus rares. Cependant en Asie, des études épidémiologiques tendent à montrer que la consommation régulière d'algues pourrait être reliée à une meilleure santé (Teas, 1981, Higashi al. 1999, Funahashi et al. 2001, Teas, 2006) :

- plus faible incidence des cancers du sein, du colon et de la prostate
- effets bénéfiques de la consommation d'algues sur la pression artérielle.

Le nombre de cancers du sein est typiquement 10 fois moins important que dans les pays occidentaux chez les femmes japonaises post-ménopausées et les algues ont été impliquées comme un agent potentiel protecteur (Teas, 1981). Par ailleurs Teas et al ont récemment évoqué que la consommation d'algue était une caractéristique commune aux pays qui avait un taux anormalement bas de virus HIV (Teas, 2005).

Par ailleurs, une étude (Sho, 2001) consacrée à l'historique des habitudes alimentaires des populations d'Okinawa dans les îles Ryukyu au Japon montre que ces populations ont la particularité d'avoir

une espérance de vie exceptionnelle. L'auteur résume les principes culturels de cette population par la formule «food is medecine». Les végétaux (algues Kombu – laminaires- et soja) occupent une grande place dans leur régime alimentaire, influencé à la fois par les pratiques chinoises et les traditions japonaises : le porc, le kombu et le tofu (protéines de soja) font partie des aliments «festifs», mais l'association algues-tofu fait partie du régime quotidien.

Composés indésirables ?

Les macroalgues ne présentent pas de danger pour la santé car il n'y a pas de macroalgues alimentaires toxiques à notre connaissance. Nous ne citons pas ici le cas des algues vertes de prolifération laissées en tas sur les plages qui peuvent générer des problèmes de toxicité liés à l'émanation de gaz toxique due à la fermentation des algues.

Il n'y a que très peu d'exemples rapportés sur des cas de toxicité associés aux macroalgues. Un apport excessif d'iode issu d'algues très riches en iode peut altérer les fonctions thyroïdiennes. Cependant une telle toxicité est rarissime. Nous pouvons citer le cas de populations de certaines régions côtières du Japon ou de Chine où l'absorption d'algues ou d'eau du puits riche en iode suffit à causer un goitre, le plus souvent asymptomatique, chez 7 à 10 % des adultes (Suzuki & al, 1965).

Toutefois, la qualité de l'algue est le reflet de son environnement. Par exemple le plomb, le mercure, le cadmium, le cuivre, peuvent être présents dans l'environnement. Les espèces d'algues utilisables en alimentation humaine sont visées en France par la DGCCRF et des teneurs maximales en métaux lourds sont associées afin de garantir la non toxicité de ces aliments. Ces taux assez bas sont une forte garantie pour la sécurité alimentaire. La qualité des eaux littorales fran-

çaises est bonne et permet de récolter des algues sans problème associé de métaux lourds. Étain, plomb, et mercure pour des algues récoltées en France sont toujours en dessous des valeurs seuils. Spécifiquement certaines algues vont être plus riches en arsenic ou en cadmium. Ainsi Fucus est connu pour accumuler des teneurs en cadmium et les laminaires connues pour avoir des teneurs plus élevées que les autres algues en arsenic. Par contre la montée des teneurs en cadmium pour d'autres algues (par exemple du wakame) est un phénomène nouveau qui s'accroît depuis quelques années, phénomène aussi observé dans les mollusques par l'Ifremer.

Dans ce cas, des traitements simples tels le lavage poussé à l'eau douce ou le blanchiment vont permettre d'obtenir des algues ayant des teneurs en métaux lourds respectant la réglementation.

Conclusion

Grâce à leurs atouts nutritionnels, les légumes de la mer (algues) devraient trouver une place de choix dans notre

alimentation. En plus des apports en fibres, en minéraux, en composés antioxydants, les algues sont avant tout source de couleur, de goût, de texture et de variété dans l'assiette. Apprenons à consommer davantage ces légumes de mer dans des soupes, des salades, des sauces d'accompagnement et même dans des smoothies pleins de vitalité. Les créateurs de recettes sauront sans doute imaginer de multiples applications pour ces nouveaux légumes.

Bibliographie

Aquaron R, Delange F, Marchal P, Lognone V, Ninane L. Bioavailability of seaweed iodine in human beings. *Cell Mol Biol* 2002, 48 : 553-560.

Arasaki S & T (1985) Les légumes de mer – Comment être et paraître en forme. Guy Trédaniel Editions de La Maisnie éd pour la traduction française. Japan publications trading Co Ltd, 1977.

Dagnelie P.C, van Staveren W.A, van den Berg H. Vitamin B12 from algae appears not to be bioavailable. *Amer. J. Clin. Nutr.* 1991, 53 : 695-697.

FAO 2011, d'après Ifremer (aquaculture.ifremer.fr/statistiques-mondiales/Stats-vegetaux-aquatiques/production-mondiale)).

Fitton H. Marine algae and health: a review of the scientific and historical literature. *Glycoscience and nutrition* 2005, 6(2) : 8.

Funahashi H, Imai T, Mase T, Sekiya M, Yokoi K, Hayashi H, Shibata A, Hayashi T, Nishikawa M, Suda N, Hibi Y, Mizuno Y, Tsukamura K, Hayakawa A, Tanuma S. Seaweed prevents breast cancer? *Jpn J. Cancer Res*; 2001, 92 (5) : 483-487.

Hehemann J-H, Correc G, Barbeyron T, Helbert W, Czejek M, Michel G. Transfer of carbohydrate-active enzymes from marine bacteria to Japanese gut microbiota. *Nature* 2010, 464(8) : 908-912.

Higashi-Okai K, Otani S., Okai Y. Potent suppressive effect of a Japanese edible seaweed, *Enteromorpha prolifera* (Sujiao-nori) on initiation and promotion phases of chemically induced mouse skin tumorigenesis. *Cancer Lett.* 1999, 140 : 21-25.

Holdt S.L, Kraan S. Bioactive compounds in seaweed : functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.* 2011, 23 : 543-597.

Ishizuki Y, Yamauchi K, Miura Y. Transient thyrotoxicosis induced by Japanese kombu. *Nihon Naibunpi Gakkai Zasshi* 1989, 65(2): 91-98.

Wakame



Jensen MG, Kristensen M, Astrup A. Effect of alginate supplementation on weight loss in obese subjects completing a 12-week energy restricted diet : a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2012, 96(1) : 5-13.

Kim J.Y, Moon S.J, Kim K.R, Sohn C.Y, Oh J.J. Dietary iodine intake and urinary iodine excretion in normal Korean adults. *Yonsei Medical Journal* 1998, 39(4): 355-362.

Kumar CS, Ganesan P., Suresh PV, Bhaskar N. Fucoxanthin restrains oxidative stress induced by retinol deficiency through modulation of Na⁺K⁺-ATPase and antioxidant enzyme activities in rats. *J Food Sci Tech* 2008, 45 : 1-13.

Lahaye M. Marine algae as sources of fibres : Determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some sea vegetables. *J. Sci Food Agr.* 1991, 54 : 587-594.

Marchal et al., 2000; ANIS. Proceedings of the 8th World Salt Symposium, 2000.

Maeda H, Tsukui T, Sashima T, Hosokawa M, Miyashita K. Seaweed carotenoid, fucoxanthin, as a multi-functional nutrient. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2008 17 (1), 196-199.

Matsumoto M, Hosokawa M, Matsukawa N, Hagio M, Shinoki A, Nishimukai M, Miyashita K, Yajima T, Hara H. Suppressing effects of the marine carotenoids, fucoxanthin and fucoxanthinol on triglyceride absorption in lymph duct-cannulated rats. *Eur J Nutr.* 2010, 49(4) : 243-249.

Michikawa T, Inoue M, Shimazu T, Sawada N, Iwasaki M, Sasazuki S, Yamaji T, Tsugane S. Seaweed consumption and the risk of thyroid cancer in women : the Japan Health Center-based Prospective study. *European Journal of Cancer Prevention* 2012, 21(3).

Moon S, Kim J. Iodine content of human milk and dietary iodine intake of Korean lactating mothers. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 1999, 50(3): 165-171.

Nakamura E, Yokota H, Matsui T. The in vitro digestibility and absorption of magnesium in some edible seaweeds. *J Sci Food Agric* 2012, 92 : 2305-2309.

Rajauria G, Jaiswal A.K, Abu-gannam N, Gupta S. Antimicrobial, antioxidant and free radical-scavenging capacity of brown seaweed *Himantalia elongata* from western coast of Ireland. *Journal of Food biochemistry* 2012, sous presse.

Saisine n° 2007-SA-0007. 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.

Sho H (2001). History and characteristics of Okinawan longevity food. *Asia Pac J Clin Nutr* 10(2):159-64.

Suzuki H, Higuchi T, Sawa K, Ohtaki S, Horiuchi Y (1965). Endemic coast goiter. In Hokkaido, Japan. *Acta Endocrinol.*, (Kbh) 50:161-170.

Teas J. The consumption of seaweed as a protective factor in the etiology of breast cancer. *Med hypotheses* 1981, 7(5) : 601-613.

Teas J, Hebert JR, Fitton JH, Zimba PV. Algae- a poor man's HAART ? *Med Hypotheses* 2004, 62 (4) : 507-510.

Teas J, Pino S, Critchley A, Braverman L.E. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid* 2004, 14(10) : 836-841.

Valeix P, Zarebska M, Preziosi P, Galan P, Pelletier B, Hercberg S. Iodine deficiency in France. *The Lancet* 353 - 1999 : 1766-1767.

Teas J, Kurzer M, Hurley T, Sepkovic D, Longcope C, Hebert J. Seaweed, soy and estrogen metabolism in healthy postmenopausal American women. *American Association of Cancer Research, Washington DC.* April 1-4, 2006.

Teas J, Patterson K, Royer J. Could Dietary Algae protect against HIV Progression? *HIV Nutrition Update* February 15, 2005

Van Der Berg H, Brandsen L, Sinkeldam B.J. Vitamin B12 content and bioavailability of spirulina and nori in rat. *Journal of Nutritional Biochemistry* 1991, 2(6), 314-318.

Vaugelade P, Hoebler C, Bernard F, Guillon F, Lahaye M, Duee P-H, Darcy-Vrillon B. Non-starch polysaccharides extracted from seaweed can modulate intestinal absorption of glucose and insulin response in the pig. *Reprod. Nutr. Dev.* 2000, 40 : 33-47.

Watanabe F, Takenaka S, Kittaka-Katsura H, Ebara S, Miyamoto E. Characterization and bioavailability of vitamin-B12 compounds from edible algae. *J Nutr. Sci. Vitaminol.* 2002, 48: 325-331.

Zava T, Zava D. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan : a literature-based analysis. *Thyroid research* 2011, 4, 14.